

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

**SANACE EROZÍ POŠKOZENÝCH SVAHŮ**  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Kryštof Hroudný

Praha 2023

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kryštof Hroudný

Územní plánování

Název práce

**Sanace erozí poškozených svahů**

Název anglicky

**Remedial measures for damaged slopes due to soil erosion**

---

### Cíle práce

Shrnutí dostupných a aktuálně využívaných metod a technologií pro sanaci erozí poškozených svahů v rámci projektu revize Technických podmínek 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací".

### Metodika

Rešerše dostupné literatury a článků. Přímá komunikace se všemi dodavateli protierozních opatření na území ČR a zástupci Ředitelství silnic a dálnic ČR. Setkání bude probíhat formou odborného semináře pořádaného v Kostelci nad Černými Lesy. Podchycení důležitých a platných informací také ze stávajících Technických podmínek 53 "Protierozní opatření na svazích 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, geosyntetika, geotextilie, síť

---

**Doporučené zdroje informací**

ÁLVAREZ-MOZOS, Jesús, et al. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. *Catena*, 2014, 118: 168-178.

GRAY, Donald H.; SOTIR, Robbin B. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. John Wiley & Sons, 1996.

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 06. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Sanace erozí poškozených svahů“ 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 31.3.2023

.....

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Janě Kalibové, Ph.D. za cenné rady, informace a pevné nervy při vedení této bakalářské práce. Dále pak mé rodině a blízkým přátelům. V poslední řadě bych chtěl poděkovat paní PaedDr. Jarmile Janouškové, která mě provedla celou střední školou a nasměrovala mě ke studiu vysoké školy.

# Sanace erozí poškozených svahů

## Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku týkající se sanace erozí poškozených svahů pozemních komunikací. Pro komplexní pochopení dané tematiky je stručně rozebrána i eroze na zemědělské půdě. V první části práce je řešena problematika eroze, jejího dělení, a také její příčina vzniku. Ve druhé části práce je řešena sanace erozí narušených svahů pozemních komunikací. Jsou popsány druhy sanace, metody rozeznání příčiny eroze a její nápravy. V poslední části práce diskutuje konkrétní příklady realizací strmých nezemědělských svahů z pohledu jejich eroze a následné sanace. Práce vznikla v rámci projektu revize TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". Autor byl součástí řešitelského týmu a jeho poznatky přímo přispěly k přípravě nového znění tohoto předpisu.

**Klíčová slova:** eroze, svah, povrchový odtok, geosyntetika, geotextílie, síť,

# **Remedial measure for damaged slopes due to soil erosion**

## **Abstract**

The bachelor thesis focuses on the issue of remediation of erosion-damaged slopes along roads. To comprehensively understand the topic, erosion on agricultural land is briefly discussed as well. The first part of the thesis addresses the issue of erosion, its classification, and the causes of its occurrence. The second part of the thesis deals with the remediation of slopes along roads that have been affected by erosion. Types of remediation, methods for identifying the causes of erosion, and remediation techniques are described. In the final part of the thesis, specific examples of remediation of steep non-agricultural slopes from the perspective of erosion and subsequent remediation are discussed. The thesis was created as part of the revision project for Technical Standard 53 "Erosion Control of Slopes Along Roads". The author was part of the research team, and their findings directly contributed to the preparation of the new version of this regulation.

**Keywords:** erosion, slope, surface runoff, geosynthetics, geotextiles, nets.

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Metodika .....</b>	<b>11</b>
<b>4 Teoretická východiska .....</b>	<b>12</b>
4.1 Eroze .....	12
4.1.1 Pojem eroze .....	12
4.1.2 Dělení eroze .....	12
4.1.2.1 Rozdělení eroze podle činitele.....	12
4.1.2.2 Rozdělení eroze podle formy.....	15
4.1.2.3 Třídění eroze podle intenzity.....	16
4.1.2.4 Třídění eroze podle mechanismu.....	16
4.1.3 Činitele ovlivňující erozi .....	17
4.1.3.1 Klimatické a hydrogeologické poměry .....	17
4.1.3.2 Morfologické poměry.....	18
4.1.3.3 Geologický a půdní faktor .....	18
4.1.3.4 Vegetační faktor .....	19
4.1.3.5 Antropogenní činitelé .....	20
4.2 Protierozní opatření.....	21
4.2.1 Protierozní opatření dle použitého materiálu.....	21
4.2.1.1 Technická protierozní opatření.....	21
4.2.1.2 Biologická protierozní opatření.....	23
4.2.1.3 Kombinovaná protierozní opatření.....	24
<b>5 Zásady pro sanace svahů.....</b>	<b>24</b>
5.1 Posouzení příčin vzniku poškození.....	25
5.2 Sanace svahu zemního tělesa .....	26
5.3 Sanace povrchového narušení svahu.....	27
<b>6 Sanace svahů přilehlých komunikací .....</b>	<b>28</b>
6.1 Sanace svahu přírodním porostem .....	29
6.2 Úprava tvaru svahu .....	30
6.3 Odvodnění svahu.....	30
6.3.1 Povrchové odvodnění .....	31
6.3.2 Hloubkové odvodnění.....	31
6.4 Ochrana svahu před zvětráváním a erozí .....	32



6.5	Zpevňování hornin .....	32
6.6	Technická stabilizační a sanační opatření .....	33
6.7	Gabiony .....	34
6.8	Etapizace sanace.....	35
<b>7</b>	<b>Praktické příklady sanace svahů pozemních komunikací .....</b>	<b>37</b>
7.1.1	Jablonec nad Nisou .....	37
7.1.2	Dálnice D3 .....	38
7.1.3	Návrhy na sanaci.....	39
7.1.3.1	Sanace nevyhovujícího prvku.....	39
7.1.3.2	Sanace položené jutové geotextilie .....	39
7.1.3.3	Sanace položené kokosové geotextilie .....	40
7.1.3.4	Sanace špatně provedené protierozní ochrany .....	40
7.1.3.5	Sanace protieroznímu prvku.....	41
<b>8</b>	<b>Praktické příklady protierozních opatření.....</b>	<b>42</b>
8.1.1	Přírodní ochrana – kokosová geotextilie .....	42
8.1.2	Přírodní ochrana – jutová geotextilie.....	43
8.1.3	Trvalá ochrana – georohož .....	44
8.1.4	Trvalá ochrana – geobuňky.....	45
<b>9</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>11</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>52</b>
<b>12</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek a zkratk .....</b>	<b>55</b>
12.1	Seznam obrázků .....	55
12.2	Seznam použitých zkratk.....	56

# 1 Úvod

Eroze je závažným problémem, který se týká mnoha oblastí lidské činnosti a způsobuje velké ekologické i ekonomické škody. Eroze strmých zářezových a násypových svahů přilehlých pozemním komunikacím nebo jiným liniovým stavbám je jedním z hlavních faktorů ohrožujících bezpečnost silničního provozu a výstavby dopravní infrastruktury a může mít následně vliv i na kvalitu povrchových i podzemních vod. Sanace erozí poškozených svahů komunikací je tak důležitým tématem v oblasti ochrany životního prostředí a bezpečnosti provozu infrastruktury. Eroze může způsobit zhoršení stavu silnic, snížení kvality jízdniho povrchu, a dokonce i kolaps svahů a následnou blokadu dopravních cest. Sedimenty pak mohou omezit průchodnost a kapacitu odvodňovacích systémů a ovlivnit kvalitu povrchových i podzemních vod.

V této bakalářské práci je zhodnocena problematika eroze svahů přilehlých ke komunikacím. Pro komplexní uvedení problému je zmíněna stručně i eroze na zemědělské půdě. V rámci práce je představena teorie vzniku eroze, její druhy a příčiny eroze a dopady eroze na životní prostředí a infrastrukturu. Dále je zde rozebrána problematika sanace eroze svahů přilehlých komunikací, včetně výčtu technologií a materiálů, které jsou v praxi k sanaci využívány. Základní kámen pro správné navržení sanace je rozpoznání kdy a jak sanovat, což je popsáno v jedné samostatné kapitole.

Součástí návrhu sanačního opatření je určení příčiny eroze a návrh prevence eroze do budoucna s ohledem na efektivnost, náklady a požadavky na následnou údržbu opatření. Práce proto poskytuje rešerši aktuálních vědeckých poznatků a metodik v oblasti vzniku eroze, které vychází i ze setkání zástupců Ředitelství silnic a dálnic České republiky, Výzkumný úřad meliorací a ochrany půdy, Česká zemědělská univerzita v Praze a České vysoké učení technické v Praze, které na popud MD ČR připravují revizi TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". TP 53 je v současné době jediný oficiální dokument upravující zajištění povrchu strmých svahů přilehlých PK před erozí. V samotném závěru jsou ukázány jednotlivé příklady z praxe sanací erozí poškozených svahů a diskutovány příčiny vzniku problému a alternativní řešení

## 2 Cíl práce

Vlivem eroze dochází každoročně u dálnic ke ztrátám půdy a následné degradaci půdy i svahů. To je zejména v daných silničních lokalitách problém nejen pro ekosystém, ale také pro člověka za volantem svého vozu. Eroze je všude kolem nás, a proto může docházet k sesuvům na vozovku a následným karambolům. Cílem této práce je přiblížit sanaci erozí poškozených svahů, ale také samotné fungování a vznik eroze. Poznatky budou zahrnuty v připravované revizi TP53, kterou připravuje tým ČZU ve spolupráci s VUMOP, ŘSD a ČVUT. Tato práce vznikla součinností s kolegy Filipem Hauzerem, Davidem Hlavou a Jakubem Nývltem, kteří jsou součástí řešitelského týmu. Práce jsou tedy propojeny a je na ně zde odkazováno.

Dalším cílem této práce je přehledně popsat rozdíl mezi sanací zemního tělesa a sanací povrchového narušení. Následné poznatky by měli být zhodnocené do příkladů z praxe, které budou popsány a doplněny o fotodokumentaci.

## 3 Metodika

Rešerše dostupné literatury a článků. Přímá komunikace se všemi dodavateli protierozních opatření na území ČR a zástupci Ředitelství silnic a dálnic ČR. Setkání bude probíhat formou odborného semináře pořádaného v Kostelci nad Černými Lesy. Podchycení důležitých a platných informací také ze stávajících Technických podmínek 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací". Výstupem práce bude ucelený přehled sanací erozí poškozených svahů. Jednotlivé příklady a technické postupy podléhají konzultaci jednak s předními experty na dané téma, ale také 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 zpracováním výstupů odborného semináře do nové verze TP 53.

## **4 Teoretická východiska**

### **4.1 Eroze**

Půda patří mezi jedny z nejcennějších přírodních bohatství světa. Stejně jako uhlí, ropa, nebo zemní plyn se řadí mezi neobnovitelné přírodní zdroje. Díky svému širokému rozsahu funkcí hraje důležitou roli v zemědělství a lesnictví. Na půdu působí celá řada procesů, které ohrožují její schopnost plnit své funkce, jedním z nich je právě eroze. Tato bakalářská práce se zabývá erozí u nezemědělských ploch, ale v této kapitola je popsána eroze jako celek pro celkové pochopení dané tematiky a problému.

#### **Rozšíření eroze v České republice**

V České republice se předpokládá možnost ohrožení erozí více jak u 50% půdy. Ve většině případů na území ČR se jedná o erozi vodní – cca 40%. Zbýlých 10% degraduje eroze větrná.

##### **4.1.1 Pojem eroze**

Eroze je přirozený přírodní proces, při kterém na půdu působí okolní jevy (např. voda, vítr, led...) svou mechanickou silou. Eroze nemusí být způsobena pouze přírodními vlivy, ale také lidským zásahem. Erozi dochází k uvolňování, rozpouštění, obrušování, sedimentaci či k transportu zemského povrchu. Zemský povrch působením eroze na jedné straně degraduje (klesá) a na druhé straně hromaděním usazených hmot agraduje (vyvyšuje se).

Na rychlost eroze mají velký vliv klimatické podmínky. Je známo, že k nejrychlejší erozi dochází v oblastech stepí a polopouští (tzv. semiaridní podnebí), kde je sucho, ale zároveň je i dostatek srážek.

##### **4.1.2 Dělení eroze**

###### **4.1.2.1 Rozdělení eroze podle činitele**

###### **4.1.2.1.1 Vodní eroze**

Vodní eroze je jedním z nejrozšířenějších typů eroze a vyskytuje se v oblastech s častými srážkami a měkkými půdami. Jedná se o proces, při kterém dochází k postupnému odnášení půdy a horninových částic vodou. Vodní eroze může mít vážné důsledky pro půdní úrodnost, kvalitu vodních toků a stability svahů.

Vodní erozi lze rozdělit do tří základních typů: laminární, rýhovou a tunelovou erozi. Laminární eroze je nejmenší formou a dochází k ní při velmi malých srážkových událostech. Při této erozi dochází k postupnému odplavování povrchových vrstev půdy vodou, která stéká po povrchu. Rýhová eroze je mnohem významnější a dochází k ní při větších srážkových událostech. Voda se snaží vytvořit si cestu po nejmenších odolných místech a postupně vytváří rýhy a strže. Tunelová eroze je největší formou vodní eroze a dochází k ní při velmi velkých srážkových událostech. Voda se v tuto chvíli snaží prokopat si cestu skrz svah a vytváří tunely a velké díry.

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují intenzitu vodní eroze. Mezi nejdůležitější faktory patří sklon svahu, typ půdy, vegetační kryt, intenzita srážek a délka srážkových událostí. Člověk však může významně ovlivnit intenzitu vodní eroze pomocí vhodných protierozních opatření.

Mezi základní zásady navrhování protierozních opatření patří prevence, ochrana půdy a kontrolované odvodnění. Prevence spočívá v minimalizaci či eliminaci faktorů, které zvyšují riziko vodní eroze, jako je například odlesňování, nadměrný pastevní tlak nebo výstavba bez vhodné ochrany. Ochrana půdy se zaměřuje na minimalizaci vlivu srážek na půdní strukturu a stabilitu.

V České republice je vodní eroze spolu se zastavováním území nejzávažnějším druhem degradace půdy. Ohrožuje téměř 50% zemědělské půdy. (Prokop a kol., 2014)

#### 4.1.2.1.2 Větrná eroze

Větrná eroze je procesem odnášení povrchového materiálu vlivem větru. Tento proces se odehrává v oblastech s nízkou vegetační pokrývkou a malým množstvím srážek. Větrná eroze může být přirozeným procesem, ale v moderní době se výrazně zhoršuje lidskou činností, zejména zemědělstvím, těžbou a stavbou infrastruktury.

Příčiny větrné eroze jsou komplexní a zahrnují povrchovou strukturu, klimatické podmínky a vegetační pokryv. Větrná eroze má výrazný dopad na kvalitu půdy a zhoršuje výnosy plodin. Kromě toho může větrná eroze ovlivnit kvalitu vzduchu a vodních toků, zejména v blízkosti oblastí s intenzivní zemědělskou výrobou.

Existuje několik způsobů, jak minimalizovat dopady větrné eroze. Patří mezi ně omezení obdělávání půdy, zlepšení vegetačního pokryvu, konstrukce zátarasů a zalesňování

postižených oblastí. Výběr vhodného způsobu závisí na mnoha faktorech, jako jsou klimatické podmínky, typ půdy a požadovaný výnos plodin.

Mezi nejúčinnější opatření patří ochrana zemědělských plodin a půdy pomocí výsadby vegetačních pásů, které pomáhají udržovat vlhkost v půdě a zlepšují její strukturu. Další možností je použití technologií, jako jsou náletové druhy rostlin, které dokážou přežít v náročných podmínkách a pomáhají udržovat půdu na svém místě. (Šimůnek, Jelínek, 2016) (Gao et al., 2020) (Shao, 2008)

#### 4.1.2.1.3 Sněhová eroze

Ke sněhové erozi (nivální erozi) dochází v podstatě jen v zimě. Nejčastěji vzniká pohybem sněhu ve formě lavin, kdy působí na půdu velký tlak a rychlost sněhu. Obvykle dochází k devastaci zasaženého pásu území. Při jarním tání může být vyvolána i pomalým pohybem vrstvy sněhu.

V České republice je tento typ eroze ve velmi malém rozsahu. Týká se pouze podhorských oblastí. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.1.4 Ledovcová eroze

Glaciální neboli ledovcová eroze je způsobena pohybem ledovců, kdy svou energií působí na skalní podloží. Erozi se tvoří útvary jako např. ledovcová údolí, morény, balvany atd.

V České republice docházelo k tomuto typu eroze historicky, nyní se vyskytuje pouze v zaledněných velehorách (Alpy, Kavkaz, Skalisté hory). (Holý, 1994)

#### 4.1.2.1.5 Zemní eroze

Zemní eroze je proces, při kterém dochází k odtěžení a odnášení zeminy a půdních částic z jednoho místa na jiné vlivem vodního nebo větrného toku. Eroze je běžným jevem na svazích a kamenitém podloží, kde mohou být náchylnější ke ztrátám půdy.

V případě svahů přilehlých k silnicím a komunikacím může být zemní eroze způsobena různými faktory, jako jsou bouřkové srážky, silné větry, nedostatečné pokrytí vegetací, špatně navrženými odvodňovacími systémy a intenzivním lidským zásahem v okolí.

Zemito-kamenitý proud (ZEKAPR) může být způsoben přívalovým deštěm, který vyvolává silné proudění vody s pískem a kameny. Tento proud může být velmi destruktivní a může způsobit velké škody na svazích a silničních konstrukcích. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.1.6 Antropogenní eroze

Antropogenní eroze je typ eroze způsobený vlivem člověka. Tento děj probíhá při obhospodařování půdy, výstavbě dopravních a vodohospodářských zařízení, při nedůsledném zabezpečování děl protierozní ochranou apod. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.2 Rozdělení eroze podle formy

Aby bylo možné vyhodnotit závažnost eroze, je nutné vědět, jakou formu může mít.

- formy povrchové vodní eroze
  - o plošná vodní eroze
  - o výmolná vodní eroze
  - o proudová vodní eroze
- formy podpovrchové vodní eroze
- formy větrné eroze
  - o deflace
  - o koraze

##### 4.1.2.2.1 Plošná eroze

Plošná vodní eroze probíhá na povrchu půdy. Plošným odtokem dochází ke smyvu půdní hmoty po celé ploše rovnoměrně, čímž se postupně snižuje mocnost půdy. Plošnou erozi lze dále dělit na selektivní, vrstvenou a rýžkovou. Selektivní eroze odnáší jemné půdní částice a probíhá zvolna a nepozorovaně (jemný materiál v dolní části svahu). Vrstvená eroze působí větší kinetickou energií stékající vody, dochází ke střídání různě odolných vrstev půdy (projev na celé ploše svahu nebo v pruzích). Mluvíme-li o husté síti drobných úzkých zářezů pak mluvíme o rýžkové erozi. (Holý, 1994)

##### 4.1.2.2.2 Výmolná eroze

Výmolná vodní eroze představuje postupné stékání povrchové vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, postupně se prohlubující. Výmolovou erozi dělíme na brázdovou, rýhovou, výmolovou a stržovou. Brázdová eroze je hustá síť mělkých širších zářezů, které plynule přecházejí z plošné eroze. Povrchově stékající voda do hlubších prohlubujících rýh se nazývá rýhová eroze. Vyšším stupněm rýhové eroze je eroze výmolová, která může být do tvaru V nebo U. Ještě vyšším stupněm je eroze stržová, kdy přitékající voda

tvoří vodopád a strhává s sebou půdu. Stržová eroze je velmi nebezpečná a devastuje území. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.2.3 Proudová eroze

Proudovou vodní erozí nazýváme působení vodních proudů ve vodních tocích. Proudovou erozi lze dále dělit na dnovou nebo břehovou. Dnová eroze působí v podélných osách toku a deformuje pouze dno. Kolmo na osu toku probíhá naopak eroze břehová, kdy dochází k destrukci břehů. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.2.4 Podpovrchová vodní eroze

Podpovrchová vodní eroze přemísťuje půdní částice a živiny z vrchních vrstev do nižších za pomoci podzemní srážkové vody. Působením podzemních vod může docházet ke vzniku tunelů (označováno jako tunelová eroze), které snižují stabilitu nadložních vrstev a mohou vést až k proboření stropu tunelů. Propadáním stropu tunelů vznikají hluboké výmoly, proto se můžeme setkat s tím, že tunelová eroze bývá občas řazená mezi výmolné eroze. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.3 Třídění eroze podle intenzity

Erozi lze, dle intenzity, rozdělit na dva druhy – normální (geologickou) a zrychlenou (působením člověka). Geologická eroze je přirozený děj. Přetváří reliéf území postupně a ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic. Naopak eroze zrychlená smývá půdní částice v rozsahu, který nemůže být nahrazen půdotvorným procesem. Zrychlená eroze zemědělských půd vážně ohrožuje produkci půdy a může vyvolávat velké škody, proto by se neměla brát na lehkou váhu. Cílem protierozní ochrany je přiblížit se erozi normální. (Holý, 1994)

#### 4.1.2.4 Třídění eroze podle mechanismu

Dalším tříděním eroze je dělení podle mechanismu. To spočívá v rozdílném principu hydrauliky a může být označováno jako rýžková nebo mezirýžková eroze. Rýžková eroze bývá způsobena soustředěnou odtékající vodou velké hloubky v rýžkách (laminární proudění). Mezirýžková eroze je způsobená dopadem dešťových kapek na povrch půdy, kdy dochází k uvolnění částic do vzduchu a následně se rozstříkávají zpět na půdu. (Holý, 1994)



### 4.1.3 Činitele ovlivňující erozi

Eroze se zpravidla může objevovat v různé intenzitě a různé formě, a také může dosahovat odlišného rozsahu neboli stupně působení za danou složku. O tomto obecně rozhodují činitelé, kteří nepůsobí jednotlivě, ale vždy ve vzájemné spolupráci neboli seskupení. Jedná se o klimatické a hydrologické poměry, morfologické poměry, geologické a půdní faktory, vegetační faktor a antropogenního činitele. Daný činitel funguje v seskupení, ovšem může v daném okamžiku převládat, a to je pro účinnost eroze rozhodující.

#### 4.1.3.1 Klimatické a hydrogeologické poměry

Klimatické poměry jsou charakterizované intenzitou, množstvím a časovým výskytem atmosférických srážek, dále pak teplotními poměry a roční dobou. Jsou považovány za základní předpoklady odtokového procesu.

Hlavním činitelem ovlivňující proces vodní eroze jsou srážky. Erozní průběh ve většině případů vzniká a probíhá vyvoláním přívalovými srážkami, které jsou charakteristické svou vysokou intenzitou, krátkou dobou trvání a velmi nízkou rychlostí infiltrace. Rychlost infiltrace vody do půdy a následné zadržení vody v půdě je ovlivněna hydrologickými vlastnostmi půdy, která má vliv na intenzitu rozsahu a výskytu vodní eroze.

K tomu, aby došlo k povrchovému odtoku na svažitém terénu dochází tehdy, když je překročena schopnost vsakovat vodu do půdy, čímž dochází vysokou intenzitou deště. Schopnost vsakovat je přímo závislá na klimatických, fyzikálně geografických a antropogenních činitelích působících svými nepříznivými vlivy na vodní režim území. Složení půdy a různé písčité a jílové frakce udávají rychlost její infiltrace. Obecné pravidlo zní, že čím větší je schopnost infiltrace půdy, tím menší je půdní povrchový odtok a transport.

Dalším vlivem na erozi je výskyt svahu vzhledem ke světovým stranám. Tání sněhu je v jarních měsících rychlejší na jižních a východních stranách svahu a tím pádem je zde i větší povrchový odtok a vymrzání vegetace. V letních měsících je pak intenzivnější vysychání a rychlejší rozklad organických látek. Dále pak i usychání vegetace na propustných půdách. To potom vede k následnému zvyšování intenzity eroze ve srovnání se svahy, které jsou zastíněné na severní a východní straně. Na závětrné straně svahu je naopak značně vyšší odtok sněhových vod, kde se během zimy hromadí vysoká vrstva sněhu. (Zlatuška, 2022)

#### 4.1.3.2 Morfologické poměry

Jedním ze základních faktorů, které ovlivňují vodní erozi, jsou délka, sklon a tvar svahu. Obecné pravidlo pro vliv morfologického poměru zní, že čím je svah delší a má větší sklon, tím je větší i intenzita erozního procesu. Jeden z nejdůležitějších faktorů eroze svahu je právě jeho sklon. Jeho vliv na dané rozrušení půdy může být ovlivněn a následně zeslaben ostatními faktory, ovšem nikdy nemůže být plně potlačen. Rostoucí délka svahu nemá tedy takový vliv na ztrátu půdy svahu jako právě jeho sklon. Délka svahu je v protierozní ochraně definována jako horizontální vzdálenost od místa vzniku povrchového odtoku k místu, kde se sklon svahu zmenšuje. V tomto místě dochází k následné akumulaci erodovaného materiálu nebo se povrchový odtok soustředí do odtokové dráhy. Dalším sledovaným jevem je tzv. nepřerušovaná délka svahu. Jedná se o místo v horní hraně pozemku k prvku, který přerušuje povrchový odtok. Takovýmto místem je myšleno např. cesta s příkopem, příkop, průleh, hrázka atd. Rozsah vodní eroze roste s rostoucí nepřerušovanou délkou svahu.

Co se týče tvaru svahu, tedy svahy konvexní, konkávní a kombinované, tak je také dalším velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje intenzitu eroze. Když se vezme stejná délka a srovná se i stejné převýšení daného svahu, tak nejvyšší riziko vzniku vodní eroze je na svazích konkávních, naopak na konvexních je riziko menší.

Na vzniku a průběhu vodní eroze se projevuje i velikost plochy, ze které odtékají srážkové vody. I na méně sklonitých půdních blocích může dojít k eroznímu smyvu půdy právě vlivem velkých půdních bloků. Dochází tomu tak z důvodu nepřítomnosti vhodných protierozních přerušujících prvků. Ideální obecnou velikost pozemku jde určit velmi těžko, protože na každý konkrétní příklad jde zohlednit celá škála možných působících vlivů. Proto je tedy do značné míry velikost pozemku určena tamními geologickými poměry. Z tohoto důvodu jsou stanoveny v obecné rovině velikosti půdních bloků do určité přibližné hranice. U rovinatých pozemků je to do 50 ha a u členitějších území je to do 20 ha. (Zlatuška, 2022)

#### 4.1.3.3 Geologický a půdní faktor

Geologický a půdní poměry území ovlivňují odolnost půdy a tím i tedy intenzitu erozních procesů. Podloží ovlivňuje erozní procesy v místech, kde podloží snadno zvětrává a dochází tak následně k snadnému rozrušení půdy. Ta je následně vlivem větru nebo povrchovým odtokem odnesena z půdního profilu.

Tím, že je půda náchylná k tvorbě eroze se nazývá erodovatelnost. To znamená schopnost půdy odolávat odlučování půdních částic a jejich následný transport povrchovým odtokem, popřípadě větrem. O míře erodovatelnosti rozhoduje převážně soudržnost půdních částic a infiltrační schopnost půdy.

V případě písčitéch forem půdy, tak jsou méně soudržné než půdy jílové, proto se mají agregáty s vyšším písku tendenci snadněji rozpadat. Na druhé straně čím větší jsou částice písku, tím více jsou odolnější vůči transportu. To je určeno větší silou, která je za potřebí vyvinout k jejich transportu povrchovým odtokem. Vůči erozi je odolnější dobře agregovaná jílovitá půda nežli půda s hrubou texturou. Dojde-li však na uvolnění částic jílu, daleko snadněji se pak odplavují díky jejich malé velikosti a nízké hmotnosti. Proto je obecně známo, že půdy s vysokým obsahem prachových částic jsou nejvíce náchylným typem na erodovatelnost půdy.

Za nejlepší podmínky pro odolnost vůči erozi jsou považovány území tvořená z vápenců. Naopak území méně příznivé jsou vyvěřeliny a ty nejméně příznivé na různých sedimentech, převážně písčitéch, hlinitých, jílovitých a křídových slínech. Za ty úplně nejhorší podmínky se považují sprašové usazeniny. (Zlatuška, 2022)

#### 4.1.3.4 Vegetační faktor

Z biologických podmínek o erozní činnosti rozhodují hlavně dva faktory, kterými jsou rostlinný kryt a biologický stav půdy. Právě rostlinná pokrývka působí na možný vznik a intenzitu účinnosti eroze velmi výrazně. Je tomu tak neboť při dobrém druhovém složení a stavu porostu je půda chráněna před vznikem eroze. Na intenzitu erozních procesů se vegetace projevuje přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadu dešťových kapek a před silným působením větru. Rostlinný kryt dále zvyšuje drsnost povrchu půdy a tím je snížena rychlost povrchového odtoku. Mimo jiné také ovlivňuje míru eroze i nepřímo svým působením na půdní vlastnosti, zejména pórovitost a propustnost. To také včetně omezení možnosti zanášení porů rozplavenými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem, který omezuje možnost odnosu půdy.

Kořenový systém zpevňuje půdu mechanicky a je při něm důležité, aby byla hustota kořenů co největší stejně tak jako jejich hloubka v půdním profilu. Vegetace má ochranný vliv přímo úměrný na hustotu a pokryv porostu. Proto je řídká vegetace méně účinná a může napomáhat dokonce ke koncentraci proudění. Z hlediska protierozní ochrany jsou nejlepší lesní

a travní porosty. Oproti tomu nedostatečné chránění půdy je způsobem konvenční širokořádkové plodiny.

Zemědělské plodiny svoji protierozní účinnost v průběhu roku výrazně mění. Nejmenší ochrannou činnost mají rostliny mezi obdobími založením nového porostu až do doby, než začne alespoň k částečnému zapojení nově založených porostů. Po postupném zapojení porostu nabírá ochrana na účinnosti a zvyšuje tak svoji protierozní funkci vegetačního faktoru.

Ze souhrnu výše uvedených informací je na první pohled patrné, že svahy komunikací, ke kterým se svažují zemědělské pozemky, jsou velmi ovlivněny pěstovanými zemědělskými plodinami. Proto když nastane výskyt vodní eroze, je na přiléhajícím svahu komunikace riziko vzniku velké škále problému. Může dojít k zanesení nejen komunikace, ale také probíhajícího cestního příkopu. V daleko horším případě může dojít ke kompletnímu narušení samotného svahu. To poukazuje na fakt, že je potřeba zabývat se nejen bezprostředně přilehlým svahům ke komunikaci, tak i k zemědělským pozemkům, které svojí polohou a charakterem mohou způsobovat vodní erozi a záporně tak ovlivní pozemní komunikaci. Proto základem úsilí o zamezení problému by měla být snaha zadržet vodu přímo v místě dopadu. Z tohoto důvodu by mělo být na erozně ohrožených pozemcích hospodařeno se zapojením ochranných technologií, která snižují riziko výskytu a vzniku vodní eroze. (Zlatuška, 2022)

#### 4.1.3.5 Antropogenní činitelé

Mimo to, že na vznik a průběh eroze mají vliv přírodní jevy, tak zde také nese podíl člověk. Ten je označován za antropogenního činitele. Když dojde k erozi půdy vlivem člověka, hovoří se o tzv. zrychlené erozi. Ke zrychlené erozi dochází smyvem půdy v takovém rozsahu, že již nestačí být nahrazována přirozeným půdotvorným procesem. Díky dlouhodobému působení zrychlené eroze dochází k degradaci půdy, čím postupem času přestává plnit svoji funkci v krajině.

V krajině je antropogenní činnost značnou mírou projevena na zemědělských plochách, kde je způsobena obhospodařováním půdy. Jedná se převážně o volbu daného druhu plodiny, rozmístění kultur, osevní postup a technické zásahy zemědělců. Neřadíme mezi ně jen zemědělce, dalšími antropogenními činiteli jsou např. průmyslové a těžební činnosti, obhospodařování lesní půdy, výstavby komunikací či urbanizace krajiny.

Jedny z nejnáchylnějších k erozi jsou intenzivně kultivované zemědělské půdy. Konvenční systém pěstování plodin je založen na každoročním používání orby. Takovýto

způsob orby zanechává půdu po určitou část roku zcela holou nebo s minimálním pokryvem rostlinných zbytků. Tím je napomáháno hlavně u více svažitých pozemků ke zrychlení vodní eroze.

Dalším způsobem zásahu člověka je odlesňování. Tím napomáhá značným způsobem ke zrychlení eroze půdy. Rychlost povrchového odtoku a eroze je u odlesněných oblastí vysoká. Odstraněním ochranného pokryvu, tedy odlesňováním, se urychluje eroze půdy. Zejména tak riziko eroze roste při odstraňování ochranné vegetace na strmých a dlouhých svazích. Naproti tomu plně zapojený les vytváří téměř dokonalou ochranu půdy před erozí. Jednotlivá patra stromů zachytávají značnou část srážek a dochází tak ke snížení množství dopadající vody na půdu. Další důležitou funkci plní kořenová soustava stromů, půdní humus a nadložní humusová pokrývka. Pokud dojde k jejímu odstranění, dochází tak ke zvýšení možnosti výskytu erozních procesů.

K nepříznivých erozním procesům dochází také při technických stavebních zásazích do krajiny. S tímto by se mělo počítat již při projektování a samotném zhmotňování stavební vize. Proto je za potřebí hned v ranné fázi posoudit všechny možné podmínky a scénáře, které se na staveništi vyvíjí a zamezit tak vzniku a průběhu eroze. Při řešení nežádoucího působení antropogenních činitelů v krajině z pohledu eroze půdy měl být ucelený přístup, jak využít území, zájmy vlastníků, ale také dodržování zásad správné zemědělské praxe. (Zlatuška, 2022)

## **4.2 Protierozní opatření**

Tato kapitola popisuje jednotlivé protierozní opatření, které se používají při erozi na svazích přilehlých ke komunikacím. Je zde popsáno pouze okrajové řešení daného problému. Podrobnější informace ohledně jednotlivých principů, a hlavně používaných materiálů, při navrhování protierozních opatření, jsou k nalezení v pracích kolegů (Hlava, 2023) (Nývlt, 2023). Naopak obsáhlejší studie ohledně zásad navrhování protierozních opatření je k nalezení u kolegy (Hauzer, 2023).

### **4.2.1 Protierozní opatření dle použitého materiálu**

#### **4.2.1.1 Technická protierozní opatření**

Technická protierozní opatření svahů pozemních komunikací se obvykle dělí na primární a sekundární. Primární opatření jsou zaměřena na prevenci vzniku eroze, zatímco sekundární opatření slouží ke stabilizaci již erozně ohrožených svahů.

Mezi primární protierozní opatření patří:

1. Vybavení svahu vegetací – Vegetační pokryv je jedním z nejúčinnějších způsobů, jak zabránit erozi půdy. Rostliny mají schopnost zachytávat vodu a stabilizovat svah, což brání vytváření povrchového odtoku a erozi.
2. Šetrné zpracování půdy – Při stavbě komunikací je důležité zohlednit půdní typ a stav, aby byla minimalizována narušení půdní struktury. Půda by měla být udržována v co nejlepším stavu a minimálně narušována.
3. Přírodní technická opatření – Mezi přírodní technická opatření patří například zpevnění svahu pomocí kamenů, které zabraňují průniku vody a udržují půdu na místě.

Sekundární protierozní opatření jsou zaměřena na stabilizaci již erozně ohrožených svahů a mohou být aplikována v následujících formách:

1. Kamenitá krytina – Kamenitá krytina je často používána ke stabilizaci svahů, kde vegetace nestačí. Kameny jsou umístěny na svahu tak, aby zabraňovaly erozi.
2. Geotextilie – Geotextilie jsou používány k fixaci půdy a omezení eroze na svazích s vysokou náchylností k erozi.
3. Ochranné sítě – Ochranné sítě jsou také používány ke stabilizaci svahů. Tyto sítě jsou většinou vyrobeny z umělých materiálů a jsou umístěny na svahu tak, aby zamezily pohybu půdy.
4. Hydroseeding – Hydroseeding je proces, při kterém je na svah aplikována směs vody, semínek rostlin a hnojiv. Tento proces vytváří rychlou vegetaci, která pomáhá stabilizovat svah a snižuje riziko eroze.

Technická protierozní opatření se zaměřují na stabilizaci svahů a ochranu proti erozi. Tyto metody jsou často velmi účinné a rychle působí. Mezi nejčastěji používané technické metody patří například výstavba gabionových zdí, zábran, zábradlí a násypů. Tyto metody mohou být kombinovány s dalšími opatřeními, jako jsou biologické nebo chemické metody. Důležitým faktorem je také vhodná údržba těchto opatření, která zajišťuje jejich dlouhodobou účinnost. Technická opatření jsou obvykle nejdražší variantou, ale mohou být nezbytná zejména v případech, kdy jsou svahy velmi strmé nebo kdy hrozí nebezpečí sesuvů půdy. (Bílek, Hartvich, 2015) (Januška, 2003)

#### 4.2.1.2 Biologická protierozní opatření

Biologická protierozní opatření se zaměřují na zajištění vegetačního krytu svahu, který zabraňuje erozi půdy deštěm a větrem. Mezi nejčastější biologická protierozní opatření patří:

- Zalesňování: Výsadba stromů a keřů pomáhá zpevnit svah a snižuje tak riziko eroze. Dřeviny také zvyšují biodiverzitu a poskytují další ekosystémové služby.
- Výsadba tráv a bylin: Rostliny s hustým kořenovým systémem jsou schopny stabilizovat půdu a snižovat riziko eroze. Trávy a byliny také zlepšují kvalitu půdy a poskytují prostředí pro další organismy.
- Použití mulčovacích materiálů: Mulčovací materiály, jako jsou sláma, listí, nebo rašelina, se kladou na svah a chrání půdu před vodní a větrnou erozí. Tyto materiály také přispívají ke zlepšení půdní struktury a zvyšují obsah organické hmoty v půdě.
- Použití kůrovců: Kůrovci jsou dřevokazné hmyzí druhy, kteří napadají oslabené stromy. Když se kůrovci rozmnoží a napadnou větší plochy lesa, vznikne takzvaný kůrovcový kalamit, což může být z hlediska lesního hospodářství nežádoucí. Avšak po kůrovcových kalamitách vzniká v lesích velké množství odumřelého dřeva, které může být využito pro protierozní opatření, např. jako kladení keřů a dřevních konstrukcí na svahy.
- Využití technologií biologického inženýrství: Biologické inženýrství je využívání biologických procesů a organismů pro řešení technických problémů. V protierozním inženýrství se například využívají speciální druhy rostlin, které mají kořenové systémy schopné efektivně zpevňovat svahy. Další možností je využití biologických stavebních materiálů, jako jsou sláma nebo bambusové tyče.

Biologická protierozní opatření na svazích pozemních komunikací jsou účinná a ekologicky šetrná. Tyto opatření jsou navržena tak, aby posilovala přirozené procesy v ekosystémech a minimalizovala negativní dopady na životní prostředí. Opatření zahrnují výsadbu vegetace, jako jsou trávy, keře a stromy, a použití biologických materiálů, jako jsou sítě z rostlinných vláken, sláma, seno a další materiály. Tyto materiály pomáhají k zachycování půdy a zvyšují stabilitu svahu. Biologická opatření mají nízké náklady na údržbu a jsou dlouhodobě udržitelná. Nicméně mohou trvat několik let, než se plně vyvinou a účinně chrání svahy před erozí. (Novák, Houška, 2009) (Brilly, Chestem, 2017) (Gover, Vandaele, 1994)

#### 4.2.1.3 Kombinovaná protierozní opatření

Kombinovaná protierozní opatření svahů pozemních komunikací kombinují různé prvky technických, biologických a chemických opatření pro zlepšení stability svahu a omezení eroze. Tyto prvky mohou zahrnovat:

- Výsadbu rostlin, které mají hluboký kořenový systém, který zpevňuje svah a zadržuje půdu
- Použití geomříží a jiných geosyntetických materiálů, které podporují svah a snižují riziko eroze
- Aplikaci chemických stabilizátorů půdy, které snižují rozpustnost půdních částic a zvyšují pevnost svahu
- Konstrukci drenážních zařízení, která snižují tlak vody v půdě a snižují riziko sesuvu svahu

Změnu sklonu svahu a jeho profilu, aby se snížila náchylnost k erozi a zvýšila stability. Jedním z příkladů kombinovaných protierozních opatření je kombinace inženýrských a biologických opatření. Tento přístup zahrnuje použití vegetačních prvků k posílení svahu a snížení erozního tlaku na svah, a současně jsou instalována inženýrská opatření, jako jsou geomříže, aby se zvýšila pevnost svahu a odolnost vůči erozi.

Dalším příkladem jsou kombinovaná opatření spojující inženýrská opatření s technologiemi úpravy půdy, jako je mulčování, což snižuje erozní tlak na svahu a zároveň chrání půdu před vysycháním a zachovává tak její schopnost absorbovat vodu.

V některých případech mohou být použity kombinované opatření využívající všechny tři přístupy –technické, biologické a chemické. Tento přístup zahrnuje použití geomříží pro posílení svahu, vegetačních prvků pro snížení erozního tlaku a aplikace chemikálií k pevnějšímu spojení půdy a snížení její náchylnosti k erozi.

Kombinovaná opatření jsou často účinnější než jednotlivá opatření, protože zahrnují využití více technik a strategií k dosažení účinné ochrany proti erozi svahu pozemní komunikace. (Casalí a kol., 2013) (Grey, Leiser, 1982) (Knapík, Janeček, 2007)

## 5 Zásady pro sanace svahů

V rámci předpisu TP 53, pro nějž je tato práce podkladem, je řešena pouze protierozní ochrana svahu, nikoliv statická stabilita svahu, dimenzování kotvení trvalých materiálů ani



dimenzování svahu ovlivněného proudící nebo stagnující vodou. Na to je potřeba brát ohled při každém navrhování sanace svahů pozemních komunikací a tyto aspekty vyřešit předem. Pro vytvoření úspěšné sanace je třeba mít svah, který je stabilní a který není ohrožen cizí vodou.

## 5.1 Posouzení příčin vzniku poškození

Jedna z hlavních otázek je určit, kdy je potřeba provést sanaci svahu. V první řadě je potřeba posoudit vzniklé poruchy a zvážit, zda jde o poruchu protierozního opatření prvotní nebo druhotnou (viz níže), která vyžaduje speciální technické opatření. Poruchy vznikají nejen na svazích nově vybudovaných komunikací, ale převážně na komunikacích, které jsou i mnohá léta v provozu. Důležitým aspektem, který je potřeba zvážit je, zda se bude porucha na svahu zvětšovat, nebo byla způsobena ojedinělým případem a pravděpodobně zůstane stále ve stejném stádiu. Sanace pak může proběhnout formou výměny malého kousku geotextilie, který je následně pečlivým šitím spojen s původní GTX zašitý, nebo o výměnu celého jednoho pruhu tkaniny na svahu. Dalším příkladem je výměna kompletně celého erozního patření. Tyto problémy je vždy potřeba na místě analyzovat a s odborným promyšlením následně realizovat ta, u kterých došlo k co nejmenším možným zásahům do krajiny.

Poruchy prvotní většinou souvisí s technologií zabezpečení povrchu svahu:

- technologická nekázeň při pokládce geotextilie
- nedostatečné založení pásu v horní části svahu
- malý počet kotev
- nevhodné umístění kotev
- nedostatečné překrytí jednotlivých pásů textilií
- nevhodná velikost geotextilie

Poruchy druhotné souvisí s přípravnými pracemi (stabilizace zemního tělesa a řešení odvodu cizí vody) a nečekanými událostmi (výron podzemních vod):

- nevhodně navržený tvar svahu
- špatně provedené svahovací práce s velkými výškovými rozdíly
- nerovnoměrné sedání provedené zemní konstrukce
- mechanické narušení protierozního opatření
- nefungující odvodňovací zařízení
- výrony podzemních vod

## 5.2 Sanace svahu zemního tělesa

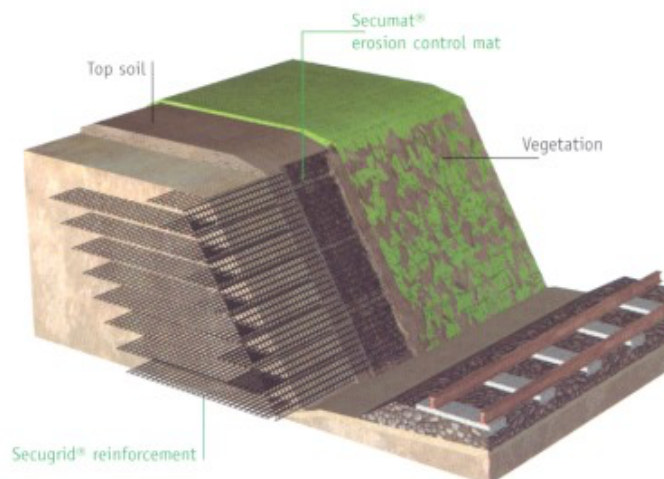
Při řešení problému zpevnění strmých svahů se sklonem od 20 do 70° je nutné v první řadě rozlišit dvě základní otázky, které se navzájem prolínají. První otázkou je vnitřní stabilita svahu, která zahrnuje posílení zemní konstrukce pomocí horizontálně položených výztužných geomříží (Obrázek 1). Tyto geomříže v kombinaci se zeminou zajišťují stabilitu a funkčnost celé konstrukce. Druhou otázkou je stabilita povrchu svahu, což zahrnuje ochranu svahu před erozí.

Jak již bylo zmíněno výše, nejčastěji se využívají horizontálně položené výztužné geomříže. Ty jsou umístěny do zeminy, aby zajišťovaly stabilitu svahu a minimalizovaly riziko jeho posunu. Kromě toho se také používají různé lícové prvky, jako jsou ocelové prvky, geomříže nebo georochože, které zabraňují vypadávání zeminy ze strmého líce a splavování.

Vyztužené strmé svahy umožňují zvětšení využitelné plochy nad svahem, což může být využito například k rozšíření silnic a železnic pro zvýšení jejich kapacity nebo ke snížení záboru okolních pozemků spojených s jejich výkupem. Celkově je zpevňování svahů velmi důležité, protože nestabilní svahy mohou způsobit vážné škody na majetku nebo dokonce ohrozit lidské životy.

Zpevnění strmých svahů pomocí vyztužené zeminy je rychlou, ekonomickou a všestrannou technologií pro konstrukci násypů a sanaci sesuvů, zejména tam, kde je požadován strmý sklon svahu. Vyztužené svahy jsou obvykle cenově dostupnější než betonové konstrukce a méně náročné na únosnost základové půdy.

Konstrukce je přizpůsobena účelu a velikosti stavby tak, aby co nejlépe vyhovovala jejímu charakteru. U svahů se sklonem do 50° často není nutné zlepšovat líc svahu, a tak se pro zvýšení povrchové stability používají protierozní georochože, které se aplikují na dokončený svah. Pro sklony nad 50° se obvykle používá výztužná geomříž nebo ocelové panely napojené na výztužné geomříže, které pokrývají celé čelo svahu.



Obrázek 1 – vyztužený svah (BBF, 2003)

### 5.3 Sanace povrchového narušení svahu

Pro zpevnění povrchu svahů, na kterých hrozí eroze nebo se již vyskytují erozní rýhy a dochází ke splavování povrchové vrstvy zeminy, můžeme využít protierozní ochrany pomocí geosyntetik (ČSN EN ISO 10318-1). Geosyntetika je výrobek, u něhož je alespoň jedna složka vyrobena ze syntetického nebo přírodního polymeru ve tvaru fólie, pásky nebo trojrozměrné struktury, používané ve styku se zemínou a / nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství (zkratka GSY). (Kalibová, 2022)

Pro dočasnou ochranu svahů před vodní erozí a splavováním zeminy jsou vhodné geotextílie. Geotextílie je plošný, propustný, polymerní (syntetický nebo přírodní) textilní materiál, který může být netkaný, pletený nebo tkaný, používaný ve styku se zemínou a/nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství, zkratka GTX (ČSN EN ISO 10318-1) (Kalibová, 2022)

Netkaná geotextílie: textilie vyrobená ze směrově nebo nahodile orientovaných vláken, příze nebo jiných prvků mechanicky a/nebo tepelně a/nebo lepidlem spojovaných (viz EN ISO 10318) (Kalibová, 2022)

Pletená geotextílie: geotextílie vyráběná vnitřním smyčkováním jedné nebo více přízí, vláken nebo jiných prvků (viz EN ISO 10318) (Kalibová, 2022)

Tkaná geotextílie: geotextilie vyráběná prokládáním obvykle v pravém úhlu dvou nebo více sad příze, vláken, pásek nebo jiných výrobků (viz EN ISO 10318) (Kalibová, 2022)

Trvalou ochranu proti erozi na svazích mohou zajistit protierozní georochože a geobuňky. Tyto prostředky jsou vhodné pro svahy, které jsou vystaveny proudu vody nebo pro dlouhodobou ochranu. Georochože a geobuňky jsou obvykle vyrobeny z umělých materiálů, ale existují i varianty z přírodních materiálů.

Je důležité dbát na to, aby zpevnění svahů bylo provedeno správně a s ohledem na životní prostředí, aby nedocházelo k negativním dopadům na ekosystém a krajinu. Proto by mělo být zpevnění provedeno s ohledem na místní podmínky, například typ půdy, sklon svahu, vegetační pokryv a přítomnost fauny.

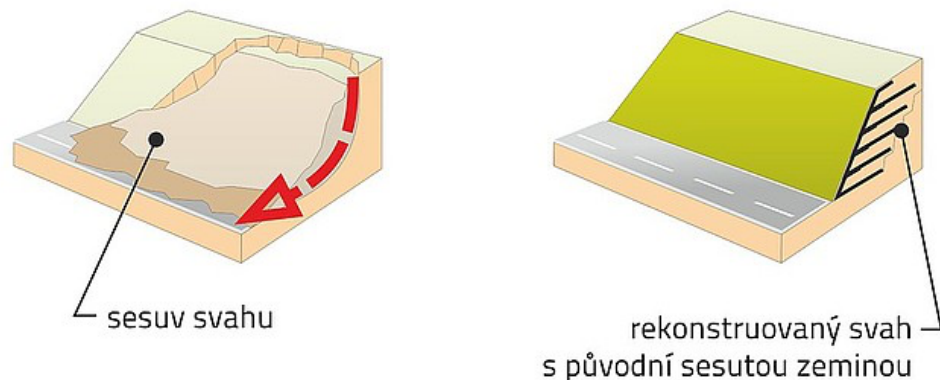
## **6 Sanace svahů přilehlých komunikací**

Ať už při samotném výstavbě, nebo při normálním používání komunikací dochází z několika aspektů k častým sesuvům násypů i zářezů, byť u těch je to méně časté, které je potřeba následně sanovat. Porušený svah je nutné stabilizovat, což jde rozdělit do několika fází dle principu realizace. Jedná se o úpravu tvaru svahu, odvodnění svahu, ochranu před zvětráváním a erozí, zpevňování hornin a technické stabilizační a sanační opatření.

Při rozhodování, která metoda sanace je ta správná, se klade především důraz na typ svahové deformace, její hloubkový i plošný rozsah, druh komunikace, který je svahovým pohybem ohrožen a příčina vzniku sesuvu půdy. Významnou roli hraje také finanční hledisko, ať už rozpočet na sanaci, tak důležitost dané komunikace.

Tradiční metody sanace sesuvů jsou zpravidla velmi časově náročné. Dochází k vytěžení a následnému odvozu sesunuté zeminy, která je následně nahrazena vhodným materiálem. Náhradou za sesunutý materiál bývá dovezené kamenivo, čímž vzniká dopravní zatížení na stavbu a dochází tím nejen k prodloužení doby sanace, ale také vzniku vysokých emisí CO<sub>2</sub>. Proto je jakožto vhodnější varianta volena technika opětovného použití sesunuté zeminy, která je vyztužena geomřížemi (Obrázek 2) tak, aby protínaly smykovou plochu sesuvu. Výsledkem toho je nejen snížení uhlíkové stopy, ale opravy se tak stávají levnější a nenáročnější pro narušení dopravního provozu.

Úplným základem pro předpoklad dlouhodobé účinnosti sanačních prvků je jejich následná pravidelná údržba. To platí hlavně pro systém odvodnění svahů, kde může při následné poruše dojít k následné negativní stabilitě svahu. Dalšími velmi důležitými prvky ke kontrole jsou stabilizační opatření, kde může dojít k nežádoucí korozi (např. kotvy). (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987) (Pašek, 1995)



Obrázek 2 - Sesuv a následná rekonstrukce svahu (Geomat, 2023)

## 6.1 Sanace svahu přírodním porostem

Sanace svahů rostlinným porostem je ekologickou a relativně levnou metodou, která je často využívána pro stabilizaci svahů a snížení rizika sesuvů půdy. Tato metoda využívá schopnosti kořenů rostlin pronikat do půdy a držet ji pohromadě, což pomáhá zabránit erozi a destabilizaci svahu.

Mezi nejčastěji používané rostliny pro sanaci svahů patří traviny, keře a stromy. Tyto rostliny mají silné kořeny, které pronikají hluboko do půdy a drží ji pohromadě. Navíc rostliny produkují organickou hmotu, která pomáhá zlepšit strukturu půdy a zvyšuje její schopnost zadržovat vlhkost.

Další výhodou sanace svahů rostlinným porostem je, že rostliny poskytují prostor pro rozvoj půdního života, což zlepšuje půdní kvalitu a podporuje biodiverzitu. Navíc rostliny produkují kyslík a snižují emise skleníkových plynů, což přispívá ke zlepšení kvality ovzduší.

Při sanaci svahů rostlinným porostem je důležité zvolit vhodné druhy rostlin, které jsou schopné růst a udržet se na svahu. Rostliny by měly být umístěny tak, aby co nejlépe pokryly celý svah a zabránily erozi. V některých případech je také vhodné kombinovat sanaci rostlinným porostem s jinými stabilizačními opatřeními, jako jsou například geosyntetické vrstvy nebo drenážní systémy. (Česká asociace pro krajinu a ekologii, 2019) (Úřad městské části Praha 6, 2019)

## 6.2 Úprava tvaru svahu

O následné úpravě svahu rozhoduje především způsob jeho destrukce. Způsob úpravy je odlišný a záleží, jak je svah tvořen. Zvolení odlišného postupu je např. v případě svahu tvořeného zeminami, kde dochází primárně k jednoduchému rotačnímu sesuvu, a u svahu, kde hrozí vytlačení měkké vrstvy zemin z podloží.

Úpravou vegetačního krytu se docílí ochrany proti erozi, zvětrávání a infiltraci povrchových vod. Zabrání se tak promrzání zeminy, ovšem u paty svahu je účinnější provedení přísypu štěrkovitou sypaninou.

K obecnému zlepšení stability svahů vede zmenšení objemu zemního tělesa ve vyšších aktivních polohách daného útvaru nebo právě naopak zvětšení v jeho dolní pasivní oblasti. V tomto případě slouží, jako jeden z nejjednodušších a nejpoužívanějších způsobů, jak zpevnit svah, technika provedení přítěžovacích násypů u paty svahu. Ta se provádí se zabudovanou drenážní vrstvou v patě náspu, pro lepší účinek stability. Dalšími způsoby úpravy tvaru svahu jsou odlehčovací zářezy v horní části, zmírnění sklonu terénu, odstranění sesunutého materiálu nebo případné přemístění materiálu z horní části svahu k patě. (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987)

## 6.3 Odvodnění svahu

Jedním z nejdůležitějších a nejrozsáhlejších sanačních prvků je odvodnění. Jejím cílem je celkově snížit hladinu podzemní vody v daném sesuvu, nebo alespoň pórových tlaků. Během srážek se voda negativně dostává do přirozených kolektorů buďto vsakem, nebo zachycením v přítomných trhlinách. Následně voda proniká do masivu, kde působí jako nežádoucí faktor a způsobuje snižující stabilitu svahu.

Odvodnění se obecně dělí na povrchové a hloubkové. Při požadavku na odvedení povrchových vod se používají systémy odvodňovacích příkopů, kanálů a potrubí. U hloubkového odvodnění se nejčastěji využívají horizontální vrty, štoly a sběrné šachty. K izolaci sesuvných území proti přítoku podzemní vody se může využít kombinace podzemní stěny s hloubkovým odvodněním. (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987) (SG Geotechnika a.s., 1999)

### 6.3.1 Povrchové odvodnění

Povrchové odvodnění je důležitým prvkem v ochraně svahů pozemních komunikací před erozí. Cílem povrchového odvodnění je odklonit vodu pryč od svahu a zabránit tak jejímu pronikání do podloží. Pokud se voda dostane pod povrch svahu, může způsobit erozi a sesuvy.

Povrchové odvodnění může být dosaženo několika způsoby. Jedním z nich je vytvoření příkopu na okraji silnice nebo komunikace, který slouží k odvádění vody pryč od svahu. Tento příkop může být vyplněn kameny, štěrkem nebo jiným materiálem, který umožňuje vodě rychle odtékat. Další možností je instalace propustků, které umožňují vodě projít pod komunikací a vyhnout se tak pronikání do svahu.

Důležitým prvkem povrchového odvodnění je také správně navržený povrch komunikace. Povrch by měl být skloněný směrem od svahu, aby se voda mohla snadno stékat pryč od komunikace. Povrch by měl být také dostatečně pevný a odolný proti erozi, aby se minimalizovaly škody způsobené vodou.

Další možností pro povrchové odvodnění jsou speciální drenážní systémy, které umožňují vodě rychle odtékat pryč od svahu. Tyto systémy mohou být instalovány pod povrchem komunikace nebo podél okraje silnice nebo cesty.

Při navrhování povrchového odvodnění je důležité brát v úvahu místní podmínky, jako je sklon svahu, typ půdy, srážky a další faktory. Správně navržené a instalované povrchové odvodnění může pomoci minimalizovat erozi a ochránit svahy pozemních komunikací před poškozením. (Liu, at all., 2020) (Lee, at all., 2014)

### 6.3.2 Hloubkové odvodnění

Hloubkové odvodnění svahů pozemních komunikací je významným opatřením pro ochranu proti erozi a sesuvům. Jeho účelem je snížit hladinu podzemní vody a zabránit jejímu průniku do horních vrstev půdy, kde by mohla způsobit destabilizaci svahu. Hloubkové odvodnění se obvykle provádí pomocí drenážních systémů, které umožňují rychlý odtok vody z hloubky pod svahem.

Existují různé typy drenážních systémů používaných pro hloubkové odvodnění. Vertikální drenážní systémy jsou jedním z nejčastěji používaných typů. Tyto systémy jsou složeny z vertikálních drenážních rour, které jsou instalovány hluboko v půdě pod svahem. Tyto

roury mají v sobě otvory, které umožňují vodu z hloubky odvodit a přenést ji do sběrného zařízení, odkud je odváděna pryč. Vertikální drenážní systémy jsou obvykle umístěny podél svahů, které jsou náchylné k sesuvům nebo kde je voda stékající z povrchu příliš hluboko v podloží.

Dalším typem drenážního systému používaného pro hloubkové odvodnění je horizontální drenáž. Tyto systémy jsou umístěny vodorovně pod povrchem půdy a mají za úkol odvádět vodu, která proniká do podloží. Horizontální drenáž se používá zejména v situacích, kdy je hloubka podzemní vody velká a vertikální drenáž nestačí.

Kromě drenážních systémů se pro hloubkové odvodnění mohou používat také další technické stabilizační a sanační opatření, jako jsou geosyntetické vrstvy, drenážní kanály, jímky, sběrná zařízení a další.

Hloubkové odvodnění je obvykle nákladné a vyžaduje speciální výbavu a vybavení pro instalaci a údržbu. Při navrhování opatření pro hloubkové odvodnění je důležité brát v úvahu místní podmínky, jako jsou typ půdy, sklon svahu a další faktory. Správně navržený a instalovaný drenážní systém minimalizuje. (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987) (SG Geotechnika a.s., 1999)

## **6.4 Ochrana svahu před zvětráváním a erozí**

Způsob ochrany svahu před zvětráváním a erozí se volí hlavně tehdy, je-li svah tvořen převážně zeminami nebo skalním masivem. Zhoršené mechanické vlastnosti zemního prostředí vedou k možným erozím a je možné jim zabránit výsadbou travnatých a dřevinných prvků. Jejich kořeny prorůstají do určité hloubky zeminy, dochází tak k jejímu zpevnění. Mimo jiné se jedná o živý organismus, který potřebuje vodu a je schopen ji odsávat z podloží. Vhodným typem pro výsadbu jsou převážně listnaté dřeviny s vysokou spotřebou vody, které mají hluboký kořenový systém. Dalším pomocníkem pro zmírnění zvětrávání a eroze jsou geomříže. U skalních stěn se používají odlišné způsoby. Primárně používaná ochrana u tohoto útvaru jsou pláště ze stříkaného betonu, torkretové omítky, kotvené obkladové stěny a geomříže. (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987)

## **6.5 Zpevňování hornin**

Sanace zpevňování hornin u pozemních komunikací se obvykle provádí v případě, kdy dochází k nestabilitě skalního masivu a hrozí nebezpečí pádu kamenných bloků na komunikaci.



Tento problém se vyskytuje zejména v oblastech s vysokými skalnatými svahy a v oblastech s častými sesuvy půdy.

Existuje několik technik a postupů pro sanaci zpevňování hornin, z nichž některé jsou:

1. Vrtání kotvení: Tato technika zahrnuje vrtání otvorů do horniny a instalaci kotev, které slouží k upevnění kamenných bloků v masivu.
2. Síťování: Tato technika zahrnuje instalaci ocelových sítí, které jsou umístěny přesně na místech, kde hrozí pád kamenných bloků. Síť slouží k zadržení a upevnění bloků v hornině.
3. Přilepování hornin: Tato technika zahrnuje aplikaci speciálních lepidel a speciálních pryskyřic na povrch kamenných bloků, aby se upevnily v hornině.
4. Výztuž betonem: Tato technika zahrnuje použití betonové výztuže na místech, kde se hrozí pád kamenných bloků.
5. Zábrany: Tato technika zahrnuje instalaci bariér a zábran, které slouží k zadržení a zamezení pádu kamenných bloků na komunikaci.
6. Odstraňování volných hornin: Tato technika zahrnuje odstraňování volných hornin z masivu a instalaci sítí a kotvení na místech, kde hrozí pád kamenných bloků.

Sanace zpevňování hornin je složitý proces, který vyžaduje zkušené odborníky a vhodné vybavení. Je důležité správně identifikovat a ohodnotit nebezpečí na místě, aby bylo možné zvolit vhodnou techniku a postup pro sanaci. V případě pochybností o stavu skalního masivu je vhodné získat konzultaci od odborníků na geologii a geotechniku. (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987) (SG Geotechnika a.s., 1999)

## **6.6 Technická stabilizační a sanační opatření**

Existuje mnoho technických stabilizačních a sanačních opatření, která se používají k stabilizaci a sanaci různých druhů svahů. Mezi tyto opatření patří výsadba vegetace, kamenné zídky a pilíře, betonové zdi a bloky, překážky, terasy, erozní korýtko, retence stěn, železobetonové nosníky, odkloňovací příkopy a povrchová ochrana.

Výsadba vegetace je jedním z opatření, které se používá k posílení kořenového systému a snížení erozního účinku vody a větru. Kamenné zídky a pilíře poskytují pevný a odolný povrch, který může být použit pro posílení svahu a rozložení tlaku způsobeného gravitací a

vodou. Betonové zdi a bloky poskytují pevný a odolný povrch, který může být použit pro posílení svahu a minimalizaci eroze.

Překážky, jako jsou dřevěné tyče, kameny, betonové bloky atd., mohou být použity k rozložení tlaku vody a snížení erozního účinku. Terasy mohou být použity k rozdělení svahu na úrovně a minimalizaci erozního účinku. Erozní korýtky mohou být vytvořena na svahu k minimalizaci eroze a k zachycení a odvádění vody.

Retenční stěny jsou konstrukce, které slouží k odvádění vody ze svahu a k ochraně proti sesuvům. Železobetonové nosníky poskytují vysokou pevnost a mohou být použity pro posílení svahu a minimalizaci eroze. Odkloňovací příkopy mohou být použity k odvádění vody zpět do řeky nebo jiného toku, aby se minimalizovalo erozní riziko. Povrchová ochrana může zahrnovat různé materiály, jako jsou geotextilie, netkané textilie, kameny a další, které mohou být položeny na povrch svahu k minimalizaci eroze a ochraně kořenového systému vegetace. (Záruba, Mencl, 1969) (Záruba, Mencl, 1987) (SG Geotechnika a.s., 1999)

## **6.7 Gabiony**

Gabiony jsou oblíbenou metodou pro sanaci svahů pozemních komunikací. Jedná se o koše nebo sítě vyrobené z ocelového drátu, které jsou naplněny kameny, štěrkem nebo jiným vhodným materiálem. Gabiony mají výborné hydraulické vlastnosti a jsou schopny odolávat silnému proudění vody.

Pro sanaci svahů se gabiony obvykle umísťují na svah ve formě zdi. Tyto zdi mohou být různě vysoké a různě široké podle požadovaného účelu. Gabionové zdi mají výbornou schopnost odolávat erozi a zabránit sesuvu půdy.

Pro správnou funkci gabionové zdi je důležité vhodně navrhnout a dimenzovat její konstrukci. Je nutné zajistit dostatečnou stabilitu zdi a její propojení se svahem. Důležitým faktorem je také vhodný výběr a umístění kamenného materiálu do gabionů.

Gabiony jsou relativně snadno a rychle instalovatelné a mají relativně nízké náklady v porovnání s jinými technologiemi pro sanaci svahů. Jejich výhodou je také jejich estetický vzhled, který se dobře hodí do přírodního prostředí. (Verner a kol., 2006) (Prantl a kol., 2013) (Novák a kol., 2010)

## 6.8 Etapizace sanace

Návrhy sanačních opatření se často dělají v ucelených celcích a jejich realizace se provádí po etapách. Je to mu tak z důvodu úspor finančních prostředků, ale také časové návaznosti jednotlivých prvků.

Po dokončení realizace první etapy sanace, nejčastěji to bývá odvodnění, se ověřují účinnosti provedených opatření pomocí instalovaného monitorovacího zařízení. Výsledek a rozbor měření slouží jako podklad k přípravě dalších etap. K těm na základě provedenému měření vůbec nemusí dojít, nebo jejich realizace bude probíhat jen v částečném rozsahu. Tomuto postupu se říká observační metoda.

U návrhu sanace je nutné zaměřit se nejen na účinnost a co nejmenší cenovou úsporu také na životnost a nutnou údržbu jednotlivých prvků navržených v zájmovém území. Tyto prvky se na základě jejich životnosti dají rozdělit na:

- Prvky sanace se kompletní životností přesahující nebo srovnatelnou se životností celé stavby, která svah chrání a není potřeba ji nijak udržovat. Jde především o úpravy geometrie svahu, šterková žebra zasahující po smykovou plochu, velkorozměrové betonové piloty, opěrné stěny a také některé odvodňovací štoly.
- Prvky sanace s životností desítek let, které vyžadují kontrolu po uplynutí jejich životnosti, nebo opravu, případně jejich kompletní výměnu. Převážně se jedná o prvky, které podléhají korozi (např. kotvy). Odhad jejich životnosti by měl být součástí každého stavebního projektu z důvodu plánované revize a zabránění poškození svahu.
- Prvky sanace vyžadující pravidelnou údržbu. Jedná se o systémy povrchového a podpovrchového odvodnění. Ty je za potřebí v pravidelných intervalech kontrolovat a udržovat. Plány kontrol by měly být součástí stavebního projektu.

Etapizace sanací erozí poškozených svahů pozemních komunikací je důležitá pro efektivní a úspornou implementaci protierozních opatření. Tento proces obvykle zahrnuje několik fází, jako je průzkum, plánování, realizace a sledování. Během průzkumu je nutné zjistit charakteristiky eroze, typ a stav půdy, topografii svahu a další důležité faktory. Na základě těchto informací se vytváří plán sanace, který zahrnuje výběr vhodných protierozních opatření, například biologických, technických, chemických a kombinovaných opatření.

Realizace protierozních opatření by měla být prováděna postupně a efektivně tak, aby byla minimalizována další degradace svahu a okolního prostředí. Sledování po implementaci opatření je také důležité pro kontrolu účinnosti a úspěšnosti sanace.

V rámci etapizace sanací erozí poškozených svahů pozemních komunikací se často používají různé modely a nástroje, například hydrologické modely, geologické modely a modely erozních procesů, které pomáhají při výběru nejvhodnějších protierozních opatření. (Kodešová a kol., 2016) (Kodešová a kol., 2019) (SG Geotechnika a.s., 1999)

## 7 Praktické příklady sanace svahů pozemních komunikací

V této kapitole jsou ukázány provedené sanační práce firmou Geomat. Jednotlivý popis projektů je doplněn o fotodokumentaci a popis materiálů, které byly na zakázce použity.

### 7.1.1 Jablonec nad Nisou

Po sesunutí byla v lokalitě (Jablonec nad Nisou) provedena sanace svahu v první části odtěžením sesunuté zeminy. Následně byl svah vyztužen (nahrazen) novou opěrnou konstrukcí ve sklonu cca 60°. Strmý svah byl navržen se systém vyztužené zeminy pro výstavbu opěrné konstrukce (Obrázek 3). Ten tvoří hned čtyři komponenty, ocelové sítě s trvalou protikorozní ochranou, monolitické geomříže, spojovací a konstrukční prvky. Použity byly materiály Tensar RE: monolitická geomříž, používá se do opěrných konstrukcí a pro vyztužení zeminy. Panel Speedy A: svařované gabiony pro vytvoření konstrukcí z drátěných košů, které se vyplňují lomovým nebo přírodním kamenem, recyklátem nebo jiným pevným materiálem. Geomat K-P: kokosová mulčovací rohož ze 100% kokosu, používá se k protierozní ochraně pro okamžitou ochranu před erozí. Zakázka byla realizovaná v roce 2013.

#### Fotodokumentace:



Obrázek 3 - Sanace sesuvu svahu v Jablonci nad Nisou (Geomat, 2023)

V daném místě byla sanace provedena správně. Problém s cizí vodou by zde neměl nastat, proto není potřeba řešit prostor nad sanovaným svahem. Příčinou selhání svahu byla nedostatečná, spíše nenacházející se protierozní ochrana. Degradace svahu byla touto sanací vyřešena a v budoucnu by se neměl v daném místě problém opakovat.

### 7.1.2 Dálnice D3

V rámci vybudování dálnice D3 směr Slovensko bylo realizováno násypy ve strmých sklonech, technické řešení zde bylo využití vyztužené zeminy (Obrázek 4). Příčinou nutné sanace bylo nezbytné budování vyztužení svahů. Použity byly materiály Miragrid GX – tkaná geomříž obalovaná vlákna PVC, pro stabilizaci měkkého podloží. Geomatex NTI – standardní geotextilie pro stavební účely, využita pro separace a filtrace zeminy (Obrázek 5). Zakázka byla realizovaná v roce 2015.

#### Fotodokumentace:



Obrázek 4 - Sanace vyztužené zeminy (Geomat, 2023)



Obrázek 5 – Následné zazelenění povrchu geomříže (Geomat, 2023)

Tím, že je svah přímo napojený na dálnici se musela sanace vyřešit co nejrychleji. Zvolený systém byl proto pro svoji časovou nenáročnost zvolen správně. Problém by se neměl opakovat, a naopak zde dojde k velké schopnosti travního porostu bránit vodě k možné erozi.

### 7.1.3 Návrhy na sanaci

V této kapitole jsou vybrány jednotlivé případy, kdy je potřeba provést sanaci. Příložené snímky byly konzultovány při setkání dodavatelů protierozních opatření, které se konalo v dubnu roku 2022. Autoři zdrojů souhlasili s jejich uveřejněním v této BP. Podrobné zhodnocení a návrh na sanaci je proveden v diskusi (kapitola 9).

#### 7.1.3.1 Sanace nevyhovujícího prvku

Na příloženém obrázku níže (Obrázek 6) je na první pohled vidět, že na daném svahu došlo ke špatně zvolenému protieroznímu prvku. Sanační opatření by mělo vyřešit tento problém správně zvolenou geotextilií, který by měla více lícovat se svahem.



Obrázek 6 - Špatně zvolený prvek (Podnikelský, Grepl, 2022)

#### 7.1.3.2 Sanace položené jutové geotextilie

V tomto případě (Obrázek 7) došlo k chybně položené geotextilii na erozí poškozených svah. Pochybení vzniklo při pokládce, kdy montážníci položili textilií opačným směrem. Sanace toho svahu by neměla být jak časově, tak konstrukčně náročná.



Obrázek 7 - Špatně položená jutová geotextilie (Zýka, 2022)

#### 7.1.3.3 Sanace položené kokosové geotextilie

Na obrázku níže (Obrázek 8) je hned na první pohled vidět, že přiložená kokosová geotextilie byla chybně instalována na svah. Došlo zde ke zdvižení textilie travním porostem, který tak nemá šanci plnit svoji protierozní ochranu. Vegetace v daném místě nemá takovou sílu, jaká by zde byla potřeba pro plnění protierozní formy.



Obrázek 8 - Špatně položená kokosová síť (Podnikelský, Grepl, 2022)

#### 7.1.3.4 Sanace špatně provedené protierozní ochrany

V tomto případě (Obrázek 9) došlo k chybně položené georochozi na erozí poškozených svah. Ta by měla být instalována min. 20 cm pod povrch svahu, což se zde nastalo a nedošlo tak k nedokonalému zakořenění travního porostu. Protierozní prvek byl následně potrhán a vyplaven přívalovými srážkami, které zde degradují půdu.





Obrázek 9 - Špatně provedená instalace na povrch svahu (Podnikelský, Grepl, 2022)

#### 7.1.3.5 Sanace protieroznímu prvku

V poslední přiložené ukázce (Obrázek 10) z praxe je hned na první pohled patrné, že v dané lokalitě byl špatně zvolen protierozní prvek. Sanační opatření by proto mělo být navrženo s více promyšleným druhem materiálu. Geotextilie zde nestačí a svah s travním porostem znovu podléhá erozi. Vhodnější by zde bylo aplikovat 3D georohož.



Obrázek 10 - Špatně zvolený protierozní prvek (Podnikelský, Grepl, 2022)

## 8 Praktické příklady protierozních opatření

V této kapitole jsou vybrány jednotlivé příklady protierozních opatření z praxe. Příložené snímky byly konzultovány při setkání dodavatelů protierozních opatření, které se konalo v dubnu roku 2022. Autoři zdrojů souhlasili s jejich uveřejněním v této BP. Popis této kapitoly určuje, jak by měl vypadat správně ošetřený svah, aby nebyla nutná sanace, proto je tato kapitola v pořadí až za ní. Komentář auta k jednotlivé zakázce je k dispozici pod fotodokumentací.

### 8.1.1 Přírodní ochrana – kokosová geotextilie

Obec Olomoučany se rozhodla pro revitalizaci jednoho ze svých svahů přilehajícímu ke frekventované komunikaci. Byla zde navržena výsadba keřů a stromů, které zapadají do rázu dané lokality. Jako ochrana před erozí byla aplikována protierozní kokosová (Obrázek 11) síť 700 g a netkaná geotextilie 200g. Použity byly materiály kokosová geotextilie – jedná se o rohož ze 100 % přírodního materiálu (kokos), používá se jako dočasná ochrana, která se časem rozloží. Geotextilie – netkaná geotextilie používaná převážně pro stavební účely, hlavní složkou je 100 % recyklovatelný PET, hlavní výhodou jsou její filtrační schopnosti. Projekt byl realizován v roce 2017.

#### Fotodokumentace:



Obrázek 11 - Protierozní ochrana kokosová geotextilie (Geomat, 2023)

Příčina eroze svahu převážně díky nedostatečnému krytu vegetace, bez schopnosti zadržet vodu. Zvolený prvek kokosové geotextilie zde byl správně aplikovaný na svah, erozi by tak měla být zabráněno

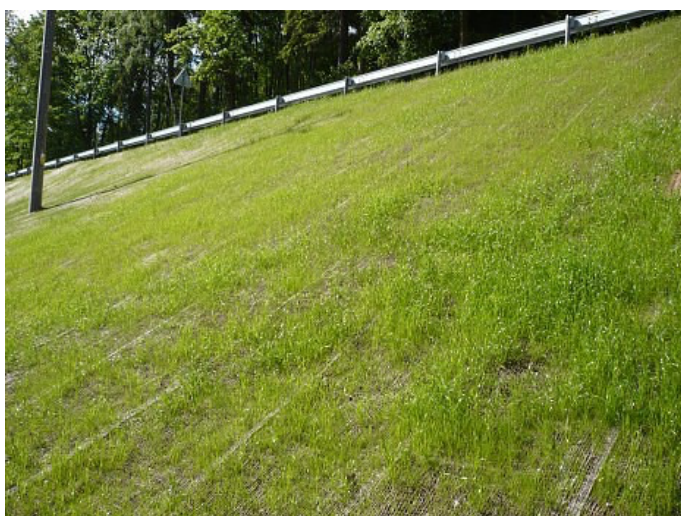
### 8.1.2 Přírodní ochrana – jutová geotextilie

K rekonstrukci násypu silnice v Žacléři byla využita jutová geotextilie (Obrázek 12), která dodává oporu a ochranu vzrůstající travě. Rohož se časem rozpadne a dochází tak k přírodnímu (Obrázek 13) protieroznímu opatření svahu. Použity byly materiály jutová síť – rohož vyrobená ze 100 % přírodního materiálu, juty, používaná jako dočasná ochrana, která se časem (12-24 měsíců) rozpadne. Projekt byl realizován v roce 2009.

#### Fotodokumentace:



Obrázek 12 - Instalovaná jutová geotextilie (Geomat, 2023)



Obrázek 13 - Vzrůstající travní porost (Geomat, 2023)

Příčina eroze svahu převážně díky nedostatečnému krytu vegetace, odtok vody z přilehlé komunikace bez vsaku. Naprosto správně zvolený protierozní prvek, který dodává krajině nejen potřebný vegetační pokryv, tak i estetickou formu.

### 8.1.3 Trvalá ochrana – georohož

Protierozní ochrana v dané lokalitě (Milán, Itálie) byla instalována jako georohož (Obrázek 14), správným způsobem, tedy 20 cm pod povrchem svahu. Trvalá protierozní funkce vyztužení svahu zde pomohla silnému uchycení travního porostu (Obrázek 15), které tak zamezuje vzniku další eroze. Použit byl materiál georohož TENAX MULTIMAR R – doporučená aplikace na strmější svahy, vyztužuje kořenový systém travního porostu.

#### Fotodokumentace:



Obrázek 14 - Instalovaná geozohož 20 cm pod povrch svahu (Podnikelský, Grepl, 2022)



Obrázek 15 – Plně funkční a vzrostlý travní porost (Podnikelský, Grepl, 2022)

Příčina eroze svahu převážně díky nedostatečnému krytu vegetace, odtok vody z přilehlé komunikace bez vsaku. V dané místě by se sice dal problém řešit jedním z přírodních materiálů, ale tento svah je pro svůj velký sklon náročnější na ochranu. Proto byl prvek formou této georohože zvolen správně. Otázkou je, zda byla dostatečně vyřešena i plocha na svahem, kde by mohlo docházet k přívalům cizí vody. Následně by byla tedy potřeba sanace.

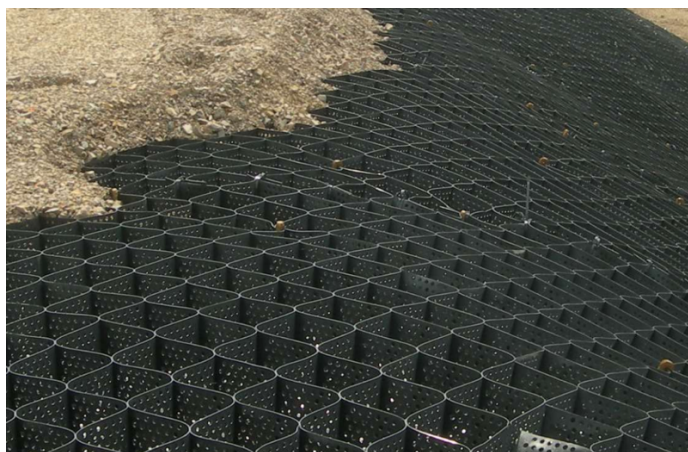
#### 8.1.4 Trvalá ochrana – geobuňky

Při revitalizaci svahu u komunikace bylo nutné zlepšit a vyztužit podloží. Pro tento účel byla pro svah navržena soustava geobuněk (Obrázek 16), které plošným roznosem napětí stabilizují podkladní vrstvy. Použité trvalé materiály jsou geobuňky (Obrázek 17) – použití pro stabilizaci a zlepšení základových podmínek, protierozní prvek pro zadržení částic zeminy, kořenů a malých rostlin pro velmi namáhané svahy.

##### Fotodokumentace:



Obrázek 16 – Zasypaní geobuněk zeminou (Podnikelský, Grepl, 2022)



Obrázek 17 – Detail kotvení pásů buněk k sobě (Podnikelský, Grepl, 2022)

Nutné vyztužení podloží po erozi přetíženého svahu. Pro zajištění svahu by nestačila žádná lehká konstrukce. Proto zde nedával smysl žádný z výše zmiňovaných protierozních prvků, proto soubor geobuněk byl vybrán správně. Svah by měl být tedy vyřešen a v budoucny by nemělo dojít k žádné sanaci.

## 9 Diskuse

Tato bakalářská práce se v návaznosti na spolupráci na revizi TP53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací" zabývala problematikou sanací erozí narušených svahů PK. Nejprve byla vytvořena rešerše erozního procesu. Eroze zemědělských ploch představuje rovněž závažný problém, proto byla také stručně zmíněna. Číslo degradace a náchylnost půdy na vodní erozi jsou varovná, což bylo názorně stručně ukázáno v první kapitole této práce.

Primárně je třeba oddělit sanaci zemního tělesa a sanaci povrchového narušení svahu. Jak je avizováno výše, nemůžeme provádět sanace bez předem jisté statické stability svahu a vyřešení odvodu cizí vody. Pokud máme tyto dva aspekty zařízené, může se začít provádět sanace.

Sanace svahu zemního tělesa zahrnuje hloubkové stabilizace a sanace proti sesuvům. Hloubkové stabilizace zahrnují například injektáž a kotvení, které slouží k posílení půdního tělesa a zabránění jeho posunu. Sanace proti sesuvům pak zahrnují metody, jako je například stěnování, vytvoření přírodních opěr, překrytí sesuvů nebo odvodňování svahu. Vyztužená zemina je zemina, která byla zpevněna pomocí různých materiálů, jako jsou geosyntetické textilie nebo geokompozity. Tyto materiály jsou umístěny uvnitř zeminy nebo na jejím povrchu a slouží k tomu, aby zlepšily její nosnost, stabilitu a odolnost vůči erozi a dalším vlivům. Výhody vyztužené zeminy zahrnují rychlou a snadnou instalaci, nízké náklady v porovnání s jinými metodami zpevnění zeminy a vysokou účinnost v různých podmínkách.

Sanace povrchového narušení svahu zahrnuje metody, které slouží k omezení eroze a ochraně svahu před dalším poškozením. Tyto metody mohou zahrnovat například opravy trhlin v ohranných geotextiliích (např. kokosové a jutové síti), nebo použití dalšího rostlinného krytu pro stabilizaci svahu a zabránění eroze. Další metodou je například instalace umělých geosyntetik, které poslouží k lepší stabilizaci kořenového systému a zadržení vody v krajině.

Sanace svahů pozemních komunikací je důležitá z hlediska bezpečnosti a stability komunikací, ale také z hlediska ochrany životního prostředí a ochrany přírodních zdrojů. Níže jsou uvedeny některé důvody, proč je důležité sanovat svahy pozemních komunikací:

1. Bezpečnost silničního provozu: Nestabilní a nezabezpečené svahy mohou představovat nebezpečí pro řidiče a ostatní účastníky silničního provozu. Padající

kameny, sesuvy a zemětřesení jsou pouze některé z nebezpečí, která mohou vzniknout, pokud nejsou svahy správně sanovány.

2. Ochrana přírodních zdrojů: Nechráněné svahy mohou způsobit erozi a degradaci půdy, což může mít vliv na kvalitu půdy a ovlivnit rostlinný růst. Sanace svahů pomáhá minimalizovat tento vliv a chrání přírodní zdroje.
3. Ochrana životního prostředí: Nezabezpečené svahy mohou vést ke znečištění vodních toků, což může mít negativní dopad na ekosystémy. Sanace svahů pomáhá minimalizovat riziko znečištění a chrání životní prostředí.
4. Ekonomické důvody: Sanace svahů pozemních komunikací může být nákladná, ale dlouhodobě může ušetřit peníze na údržbě a opravách. Správně sanované svahy totiž vyžadují méně údržby a jsou odolnější vůči povětrnostním vlivům.
5. Zákonné povinnosti: V některých zemích jsou majitelé komunikací povinni zajistit bezpečnost svahů a zabránit jejich poškození nebo degradaci. Pokud tuto povinnost neplní, mohou být vystaveni pokutám nebo jiným právním následkům.

Geosyntetika, zejména geotextilie a geomříže jsou moderní technologií, která se používá pro sanaci svahů. Mezi jejich hlavní výhody patří to, že jsou relativně snadno instalovatelné, mohou být instalovány ve velkých množstvích a jsou cenově dostupné. Geomříže jsou také velmi účinné při stabilizaci svahu a zabraňují další erozi.

Další výhodou je, že instalace geomříží může být provedena bez velkého zásahu do půdy, což minimalizuje negativní vliv na životní prostředí. Navíc mohou být použity jako podpěrné prvky, což je užitečné při stavbě nových pozemních komunikací v obtížně přístupných oblastech.

Primárně by mělo být při boji s erozí docíleno zhotovení svahu, který ji nebude potřeba sanovat. Pro předpoklad správně fungujícího svahu je na prvním místě volba adekvátního protierozního opatření pro konkrétní stanovištní podmínky.

Je těžké říct, které materiály jsou ty nejvhodnější pro použití jako protierozní opatření. Jestli jsou to přírodní (kokosová/jutová síť) nebo trvalé (např. georochože/3D rochože), nám jistě objasní kolegové, kteří na dané téma píšou své práce (Hlava, 2023) (Nývlt, 2023). S jistotou věci lze říct, že důležitá je hlavně volba vhodného materiálu a následná důkladná pokládka na svah, následně pak údržba.



V kapitole praktických ukázek (kapitola 7 a 8) bylo hlavním cílem demonstrovat poznatky získané při přípravě revize TP 53. S využitím získaných materiálů, načerpaných ze setkání dodavatelů protierozních opatření v rámci revize TP53 v Kostelci nad Černými lesy, jsem vytvořil soupis provedených akcí. Zmíněny byly i ty nepovedené, na kterých se daly demonstrovat nejčastější chyby aplikace vedoucí k potřebě sanace.

U obrázku 6 je na první pohled špatně zvolený materiál. Provedená geomříž absolutně nelícuje se svahem. Navrhoval bych kompletní sanaci povrchové úpravy svahu, tedy odstranění celého prvku. Následně bych použil síť z přírodního těžšího materiálu, nejspíše kokosovou síť o plošné hmotnosti 700g/m<sup>2</sup>. Správně a dostatečně bych ji ukotvil (počet kotev by stanovil projektant po domluvě se statikem) a zajistil přiléhavost k terénu, aby vegetace mohla bezpečně vzrůstat a plnit tak svoji funkci.

U obrázku 7 došlo k fatální chybě na straně montážníků pokládajících jutovou síť. Ta byla položena opačným směrem. Místo vodorovné pokládky by byla správně provedená svislá. Jako sanační opatření navrhuji odstranit povrchovou vrstvu sítě a položit ji ve svislém směru od koruny po patu svahu. Svislou pokládku bych začal v náspu svahu a provedl bych dle uchycení kolíky dle projektové dokumentace.

U obrázku 8 je sice síť položena správným směrem, ale absolutně nedoléhá na povrch terénu. Vegetace tím pádem nemá dostatečný prostor pro svůj růst a může docházet k uhynutí rostlinného porostu. Sanací bych se snažil v první řadě geotextílii rozbalit volným stylem na svah tak, aby co nejlépe přilnula s povrchem. Následně ji uchytil zase správnou proporcí kolíků. Pak už zbývá jen doufat, že si vegetace najde cestu mezi prostory sítě a dodá svahu potřebnou ochranu.

Na obrázku 9 je názorně vidět, jak byl proveden špatný výběr materiálu a možná i dokonce špatná pokládka georochože. Materiál dostatečně nesplynul s povrchem, a tak došlo k tomu, že travní porost dostatečně nezakořenil. Zmiňovaná georochož následně odpadla a jednotlivé pláty se od sebe oddělily. Na svah bych nejprve vybral vhodný materiál, nejspíše trvalý materiál typu georochož s pevností tahu 100 kN/m. Pro stabilizaci povrchové vrstvy bych georochož dal dle doporučení dodavatelů >20 cm pod povrch svahu. Následně bych zasypal zeminou a vegetace by se postaral o zbytek. Díky trvalému materiálu by zde rostlinný porost měl zde připravené podmínky pro pevné zakořenění.

U obrázku 10 je hned na první pohled vidět nevhodně zvolený materiál, který byl položen na svah u přilehlé komunikace. Velmi strmý svah je přetížený erozí a kokosová

geotextilie zde nestačila. Svah tedy znovu podléhá erozi. Jako sanační opatření bych provedl výběr stejného materiálu jako v předchozím případě. Položenou georochož bych zase zanesl >20 cm pod povrch svahu a bezpečně ukotvil dle projektu. Následný rostlinný pokryv by dodal svahu bezpečnou protierozní ochranu. Tam, kde kokos nestačil, bych navrhoval jednoznačně přidat 3D georochož pod povrch svahu a následně by mohla přijít již zmiňovaná kokosová geotextilie, která by podpořila ještě víc finální vegetační pokryv svahu.

## 10 Závěr

Cílem této bakalářské práce na téma sanace erozí poškozených nezemědělských svahů bylo vypracování literární rešerše, která bude sloužit jako podklad pro vypracování jedné z kapitol nového znění TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací", které v roce 2023 svou aktualizovanou podobou nahradí původní předpis z roku 2003. V první části této práce je popsáno teoretické hledisko problematiky eroze, její dělení a činitelé, kteří ji ovlivňují. Problematika eroze je velmi rozšířený a v poslední době i rozebíraný pojem, proto se v rámci sběru dat zaběhlo lehce i do zemědělské půdy, která je přeci jen pro naši obživu a celkově fungování společnosti velmi důležitá. Dalším úkolem bylo přiblížit tematiku samotné protierozní ochrany. Té se tato práce věnuje hodně okrajově a odkazuje na kolegy, kteří se v rámci týmové spolupráci na revizi TP 53 zabývají přírodními a umělými ochrannými materiály (Hlava, 2023) (Nývt, 2023) a zásadami návrhu protierozních opatření (Hauzer, 2023).

Druhá část práce se zabývá problematikou sanace svahů, kde jsou uceleně rozděleny příčiny vzniku poškození svahu. Dále je rozdělena sanace na poškození zemního tělesa a povrchové poškození. Jak je výše uvedeno a je nutno zopakovat na závěr, nelze projektovat sanaci svahů bez statického výpočtu stability svahu. Na což je navázáno v další kapitole sanace svahů přilehlých komunikací, kde jsou popsány i sanace tělesa svahu.

Posledním cílem, který se podařilo naplnit, bylo shromáždit ukázky příkladů z praxe sanace erozí poškozených svahů, nebo protierozních opatření na strmých svazích PK. Převážná většina fotodokumentace a jednotlivé zakázky byly prezentovány a na setkání dodavatelů protierozních opatření, které se konalo v dubnu roku 2022. Autoři zdrojů souhlasili s jejich uveřejněním v této BP.

Na úplný závěr je důležité zmínit, že z rešerše dostupných odborných publikací a technických předpisů a konzultací se členy řešitelského týmu revize TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací", je patrná urgentní potřeba aktualizace dostupných zdrojů a tvorba závazných technických metodologických podkladů. Pro erozní zabezpečení strmých nezemědělských svahů (nejen přímo přilehlých PK, ale i svahy vzniklých při výstavbě a rekultivacích) a následné sanace. Novela TP 53, která bude obsahovat i podklady uvedené v této BP, poslouží mnoho odborným, ale i neodborným subjektům.

## 11 Seznam použitých zdrojů

PROKOP, P. a kol. (2014). Vodní eroze. [online] Dostupné z: <https://www.agronomicka.cz/view.php?cisloclanku=2014050005> [Citováno 21. 10. 2022].

STUHLÍK, E. a kol. (2005). Vodní eroze. [online] Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/zemdelstvi/pudy/ochrana-pudy/vodni-eroze/> [Citováno 22. 10. 2022].

BOARDMAN, J., & POESEN, J. (2006). Soil erosion in Europe: Major processes, causes and consequences. *European Journal of Soil Science*, 57(1), 16-26.

GAO, X., CHEN, F., ZHANG, X., & ZHANG, W. (2020). Wind Erosion: Causes, Processes and Control Strategies. *Earth-Science Reviews*, 201, 102991.

SHAO, Y. (2008). *Physics and Modelling of Wind Erosion*. Springer Netherlands.

ŠIMŮNEK, V., & JELÍNEK, R. (2016). *Zemědělská meteorologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze.

HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-01-01078-3.

FOSTER, G. R., WISCHMEIER, W.H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. 1974. *Transactions of ASAE* 17(1):305-309.

JANEČEK, M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. 1. vyd. Praha: VÚMOP, 2007. 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

PODHRÁZSKÁ, J., DUFKOVÁ, J. *Protierozní ochrana půdy*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005 ISBN 80-7157-856-8

CASALÍ, J., VANÍČEK, I., DVOŘÁK, J. (2013). *Protierozní opatření v krajině – metodika a ukázky z praxe*. Praha: Ministerstvo zemědělství.

GREY, D. H., LEISER, A. T. (1982). *Biotechnical slope protection and erosion control*. Van Nostrand Reinhold Company.

KNAPÍK, J., JANEČEK, M. (2007). Technické protierozní opatření na komunikacích. *Časopis Slezského zemského muzea*, 56, 109-124.

LEE, S., LEE, J., (2004). Combined use of vegetation and mulch to reduce post-fire soil erosion in a small catchment. *Hydrological processes*, 18(4), 699-712.

NOVÁK J., ŠULC, M., DRBAL, K., & FIALA, J. (2013). *Vliv způsobu obhospodařování půdy na erozi a kvalitu vody*. Brno: Ústav vodního hospodářství, vodních staveb a krajinného inženýrství.

TERLIEN, M. T. (2006). Wind erosion control using vegetation in drylands. *Journal of Arid Environments*, 65(2), 174-196.

- NOVOTNÝ, Ivan. Příručka ochrany proti vodní erozi: [aktualizované znění – leden 2014]. 2., aktualiz. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014. ISBN 978-80-87361-33-7.
- BRILLY, M., GHESTEM, M. (2017). Grassed waterways for soil erosion control: a review. *Environmental Reviews*, 25(1), 70-79.
- GOVERS, G., VANDAELE, K. (1994). The role of vegetation in the control of erosion and sedimentation in catchments. *Progress in Physical Geography*, 18(2), 145-171.
- JIANG, Z., WANG, F. (2015). Review on application of vegetation ecological engineering for soil erosion control on slopes. *Environmental Earth Sciences*, 74(8), 6673-6685.
- NOVÁK, P., HOUŠKA, J. (2009). Využití vegetačních prvků v krajině jako protierozní ochrany. *Voda–zemědělství–lesnictví*, 59(4), 49-53.
- BÍLEK, L., & HARTVICH, F. (2015). Protierozní opatření na komunikacích a železničních tratích. Jekora, Praha.
- JANUŠKA, V. (2003). Úpravy krajiny a protierozní opatření. MZLU v Brně, Brno.
- PAŠEK, J.: Inženýrská geologie, 2.díl, Praha, 1995
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V.: Sesuvy a zabezpečování svahů, Academia Praha, 1969
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V.: Sesuvy a zabezpečování svahů, Academia Praha, 1987
- SG GEOTECHNIKA a.s.: Studie – Obecné zásady postupů směřujících ke stabilizaci sesuvů, Praha, 1999
- HULLA, J., TURČEK, P., BALIAK, F., KLEPSATEL, F.: Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve. Jaga Group, Bratislava 2002, ISBN 80-88905-42-7
- DUMAS, P., Printemps et al.: Developing erosion models for integrated coastal zone management: A case study of The New Caledonia west coast, 2010, *Marine Pollution Bulletin* 61 (2010) 519–529
- LEE, J., et al. Evaluation of Erosion Control Measures for Mountainous Highway Construction Sites in Korea. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 2014, roč. 34, č. 6, s. 1677-1686.
- LIU, J., et al. Slope Drainage and Erosion Control System for Mountain Highways in China. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 2020, roč. 146, č. 10, s. 04020107.
- KODEŠOVÁ, R., KUBIČÁR, P., KOZLOVSKÝ, M. (2016). Etapizace sanací erozních jevů na svazích. *Vědecké práce Stavební fakulty TU v Brně*, 23(39), 29-38.
- KODEŠOVÁ, R., KOZLOVSKÝ, M., KUBIČÁR, P., Kubeš, M. (2019). Metodika stanovení efektivity protierozních opatření na území se silniční sítí. *Vodní hospodářství*, 69(2), 95-100.
- PRANTL, A., ŠEJNOHA, J., SVOBODA, M.: Geotechnické stavitelství, skripta ČVUT v Praze, 2013.

NOVÁK, M., MÁCHAL, K., KŮS, V.: Gabiony, nakladatelství GRADA, 2010.

VERNER, D., PROCHÁZKA, J., NOVOTNÝ, P.: Geotechnické konstrukce, skripta VUT v Brně, 2006.

MARADOVÁ, S.: Protierozní ochranná opatření v zemědělské krajině. [online]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11751112-1-zakladni-informace-o-erozi-monitoring-eroze-zemedelske-pudy.html>

KAVKA, P., VANÍČEK, M., MAREK, O., ZUMR, D., TEJKL, A., KUBÍNOVÁ, R., NEUMAN, M., DUFKA, D., Ochrana umělých svahů před erozí a stabilizace povrchové vrstvy. Cerifikovaná metodika. Strix Chomutov a.s., České Vysoké Učení Technické v Praze, Geosyntetika s.r.o. , 2020, ISBN 978-80-01-06806-9 dostupné na <https://smoderp.fsv.cvut.cz/>

GEOMAT s.r.o. © 2023, <https://www.geomat.cz/reference/strme-svahy-a-sanace-sesuvu/sanace-sesuvu-komunikace-v-jablonci-nad-nisou/>

Česká asociace pro krajinu a ekologii. (2019). Sanace svahů. Dostupné z: <https://www.cake.cz/sanace-svahu/>

Úřad městské části Praha 6. (2019). Sanace svahů pomocí rostlin. Dostupné z: <https://www.praha6.cz/sanace-svahu-pomoci-rostlin.aspx>

ZLATUŠKA, K., ČZU, [zlatuska@fld.czu.cz](mailto:zlatuska@fld.czu.cz), ústní sdělení dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

KALIBOVÁ, J., ČZU, [kalibova@fzp.czu.cz](mailto:kalibova@fzp.czu.cz), ústní sdělení dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

HAUZER, F., 2023: Zásady navrhování protierozních opatření – BP, ČZU, Fakulta životního prostředí.

HLAVA, D., 2023: Přírodní materiály pro podporu protierozního výsevu a výsadby – BP, ČZU, Fakulta životního prostředí.

NÝVLT, J., 2023: Trvalé materiály pro podporu protierozního výsevu a výsadby – BP, ČZU, Fakulta životního prostředí.

## 12 Seznam obrázků, tabulek a zkratk

### 12.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vyztužený svah (BBF, 2003)

Dostupné z: <http://www.bbf.pt/eng/index2.asp?Destino=geotecnica-taludesgrelha.asp&Menu=menugeotecnica.asp>

Obrázek 2 - Sesuv a následná rekonstrukce svahu (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/aplikace-co-resime/zpevneni-svahu/sanace-sesuvu-svahu/>

Obrázek 3 - Sesuv svahu s Jablonci nad Nisou (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/reference/sanace-sesuvu-komunikace-v-jablonci-nad-nisou/>

Obrázek 4 - Sanace vyztužené zeminy (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/reference/strme-svahy-a-sanace-sesuvu/vyztuzene-svahy-pod-dalnicí-d3-v-useku-svrcinovec-skalite/>

Obrázek 5 – Následné zazelenění povrchu geomříže (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/reference/strme-svahy-a-sanace-sesuvu/vyztuzene-svahy-pod-dalnicí-d3-v-useku-svrcinovec-skalite/>

Obrázek 6 - Špatně zvolený prvek (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 7 - Špatně položená jutová síť (Zýka, 2022)

Dostupné z: ZÝKA, J., Juta, [info@juta.cz](mailto:info@juta.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 8 - Špatně položená kokosová síť (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 9 - Špatně provedená instalace na povrch svahu (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 10 - Špatně zvolený protierozní prvek (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 11 - Protierozní ochrana kokosová síť (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/reference/protierozni-ochrana/protierozni-ochrana-svahu-v-obci-olomucany/>

Obrázek 12 - Instalovaná jutová síť (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/reference/protierozni-ochrana/kokosove-site-jako-protierozni-ochrana-svahu-pri-rekonstrukci-silnice-v-zacleri/>

Obrázek 13 - Vzdávající travní porost (Geomat, 2023)

Dostupné z: <https://www.geomat.cz/reference/protierozni-ochrana/kokosove-site-jako-protierozni-ochrana-svahu-pri-rekonstrukci-silnice-v-zacleri/>

Obrázek 14 - Instalovaná geozohož 20 cm pod povrch svahu (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 15 – Plně funkční a vzrostlý travní porost (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 16 – Zасыпání geobuněk zeminou (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

Obrázek 17 – Detail kotvení pásů buněk k sobě (Podnikelský, Grepl, 2022)

Dostupné z: PODNIKELSKÝ, Z., GREPL, D., Marcador, [info@marcador.cz](mailto:info@marcador.cz), prezentace v rámci setkání dodavatelů k revizi TP53 dne 28.4.2022, v Kostelci nad Černými lesy.

## 12.2 Seznam použitých zkratk

NAPŘ: NAPŘÍKLAD

TP 58: TECHNICKÉ PODMÍNKY 58