

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

TRVALÉ MATERIÁLY PRO PODPORU PROTIEROZNÍHO VÝSEVU A VÝSADBY
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Jakub Nývlt

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Nývlt

Územní plánování

Název práce

Trvalé materiály pro podporu protierozního výsevu a výsadby

Název anglicky

Erosion control permanent materials for steep slopes

Cíle práce

Cílem práce je poskytnout souhrn dostupných a aktuálně využívaných trvalých materiálů pro erozní zabezpečení svahů pozemních komunikací. Práce je navázána na projekt revize Technických podmínek 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací".

Metodika

Rešerše dostupné literatury a článků. Přímá komunikace s 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, rohože, 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.

OSMAN, Khan Towhid, et al. *Soil degradation, conservation and remediation*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

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 22. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Trvalé materiály pro podporu protierozního výsevu a výsadby“ 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 2023

.....

Poděkování

Srdečně bych rád poděkoval své vedoucí práce Ing. Janě Kalibové, Ph.D. za pomoc a trpělivost při tvorbě mé bakalářské práce. Dále bych poděkoval všem zúčastněným firmám a zástupcům Ředitelství silnic a dálnic ČR za setkání v Kostelci nad Černými Lesy, kde mi umožnili seznámit se s používanými materiály a zajistili mi dostatek informací. Na závěr bych poděkoval mé rodině, která za mnou po celou dobu tvorby práce stála a byla mojí podporou.

Abstrakt

Úkolem bakalářské práce na téma „Trvalé materiály pro podporu protierozního výsevu a výsadby“ je představit a popsat současné možnosti trvalé ochrany povrchu svahu před následky eroze související s aktualizací TP 53.

Práce začíná upřesněním dané terminologie dle norem pro snazší srozumitelnost. Navazující kapitola se zaměřuje rešeršní formou na hlavní činitele eroze popisem jejich vzniku, vlivu a důsledku. Následně je věnována pozornost tvorbě povrchového odtoku a jak samotná vegetace pomáhá chránit svah před erozí.

Hlavní část práce představí jednotlivé typy trvalé protierozní ochrany, popíše technické požadavky kladené na materiál, technologii pokládky na svah a následnou údržbu. Některé materiály budou doplněny i o fotodokumentaci realizací. Před touto kapitolou bude stručně popsána alternativa ve formě přírodních materiálů.

V závěru práce jsou diskutovány jednotlivé realizace s nejčastějšími příčinami selhání protierozních opatření a zdůrazněn význam spolupráce výzkumu s praxí. Doplněno je srovnání starého předpisu s připravovaným novým zněním, které je plánováno vstoupit v platnost na jaře 2023.

Klíčová slova: eroze, svah, povrchový odtok, geosyntetika, rohože, síť

Abstract

The purpose of the bachelor thesis on "Erosion control permanent materials for steep slopes" is to present and describe the current options for permanent protection of the slope surface from the effects of erosion, related to the update of TP 53.

The thesis begins by clarifying the terminology given according to the standards for the reader's clarity. The following chapter focuses on the main factors of erosion by describing their origin, influence and consequence. Subsequently, attention is given to the generation of surface runoff and how vegetation itself helps protect the slope from erosion.

The main part of the thesis introduces the different types of permanent erosion control, describes the technical requirements imposed on the material, the application technology on the slope and the subsequent maintenance. This chapter will be preceded by a brief description of the alternative in the form of natural and biodegradable materials.

In the final part of the thesis, individual implementations are discussed with the most common reasons for the failure of erosion control measures and the importance of research-practice collaboration is emphasised. A comparison of the old regulation with the upcoming new version, which is planned to come into force in spring 2023, is added.

Key words: erosion, slope, surface runoff, geosynthetics, mats, nets

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	2
3. Metodika.....	2
4. Termíny a definice.....	2
5. Eroze a její vznik.....	9
5.1 Vodní eroze.....	9
5.2 Větrná eroze.....	12
5.3 Sněhová eroze.....	13
6. Povrchový odtok.....	13
7. Vliv vegetačního pokryvu na erozní proces.....	13
8. Protierozní opatření na strmých nezemědělských svazích.....	14
9. Přírodní protierozní materiály.....	15
10. Trvalé protierozní materiály.....	15
10.1 Georohože.....	15
10.2 Geomříže.....	19
10.3 Geosítě.....	20
10.4 3D panely.....	21
10.5 Gabiony.....	23
10.6 Betonová zatravňovací dlažba.....	25
10.7 Plastové zatravňovací dlaždice.....	28
10.8 Geobuňky.....	30
10.9 Geokompozit.....	33
11. Diskuze.....	36
12. Závěr a přínos práce.....	43
13. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	44
14. Seznam obrázků.....	47

1. Úvod

Téma ochrany před erozí se v zemědělství hojně používá, avšak eroze na nezemědělských svazích není tolik probírána. Při výběru tématu mě zaujal problém, který kolem sebe vidáme každý den, ale neuvědomujeme si plně jeho příčiny a především následky. Tím problémem je eroze na strmých nezemědělských svazích. Možnosti protierozní ochrany povrchu svahu a s tím spojené podpory výsevu a výsadby v současné době upravují pouze Technické podmínky 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací", pod záštitou Ministerstva dopravy (© 2003). V současnosti je tento dokument zastaralý, a proto byla Ministerstvem dopravy iniciována revize.

Revize probíhala formou týmové spolupráce. Předkládaná bakalářská práce poskytla podklady pro dílčí část nově připravovaného předpisu TP 53, který se věnuje trvalým materiálům na podporu růstu protierozní vegetace a výsadby. Ve starých podmínkách jsou řešeny i přírodní alternativy, avšak tyto přírodě blízké materiály ne vždy poskytují dostatečnou ochranu proti vodě. Protierozní zabezpečení povrchu svahu je žádoucí řešit primárně přírodními nebo přírodě blízkými materiály, pokud je však z důvodu náročných stanovištních podmínek (expozice svahu, vysoké sklony, vodní režim apod.) potřeba podpořit svah, použijeme trvalé materiály. Cílem není aplikace trvalých geosyntetik, cílem je ozeleněný stabilní svah.

Rešeršní část pojednává o erozním procesu, příčinách eroze a možnostech docílení erozně zabezpečeného svahu, ideálně ozeleněném. Kapitoly věnující se jednotlivým typům trvalých materiálů zahrnují technické požadavky, technologii pokládky a údržby. Důležité je neopomenout následný monitoring pro případ, že by se vyskytly problémy nebo opatření selhalo. Pro účely této práce Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD) poskytlo fotografie a informace o realizacích, kde byly využity vybrané zmíněné produkty. Fotografie jsou doplněné komentářem o nejčastějších chybách, které provází použití těchto materiálů v praxi. Většina zhotovitelů z praxe neví, co se se svahem děje po předání hotového díla. Případné chyby, které se následně vyskytnou, proto nejsou dokumentovány a předávány, z tohoto důvodu se mohou nadále opakovat.

Výzkum a vývoj nových protierozních opatření je nezbytný, avšak bez komunikace se zhotoviteli je zbytečný. Objevují se otázky vycházející ze zkušeností a mířící k prozkoumání, proč tento problém nastal a jak se mu vyvarovat. Příkladem může být výška humusové vrstvy nad georochozí, kdy dodavatelé ze zaběhnuté rutiny používají určitou výšku, a přitom nejnovější výzkum z loňského roku prokázal,

že nemá smysl dávat humus na georož, protože dojde ke spláchnutí povrchovým odtokem (Člen řešitelského týmu revize TP 53, ústní sdělení 2022). Díky jasnému přehledu současných opatření dokládajícímu i nejčastější pochybení, které vedou k selhání protierozního opatření, bude možné těmto chybám v budoucnu předcházet.

2. Cíle práce

Cílem práce je poskytnout souhrn dostupných a aktuálně využívaných trvalých materiálů pro erozní zabezpečení svahů pozemních komunikací. Práce je navázána na projekt revize Technických podmínek 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací".

3. Metodika

V úvodu práce bude rešeršní formou dle dostupné odborné literatury představen erozní proces, povrchový odtok a vliv vegetace na ochranu povrchu před erozí. Praktická část bude dále vycházet ze stávajících Technických podmínek 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací", které jsou však zastaralé. Na popud Ministerstva dopravy byl zadán projekt revize starých TP 53. Na této revizi se podílí Ředitelství silnic a dálnic ČR, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP), Česká zemědělská univerzita v Praze (ČZU) a České vysoké učení technické v Praze (ČVUT). Tato bakalářská práce poskytne podklady pro dílčí část nového znění TP 53, konkrétně seznam trvalých materiálů na podporu protierozního výsevu a výsadby. Za účelem revize proběhne přímá komunikace na setkání pořádaném v Kostelci nad Černými Lesy, kde proběhne odborný seminář se zástupci těchto institucí. Mezi účastníky budou i zástupci největších dodavatelů protierozního zabezpečení svahů pozemních komunikací v ČR. Ústně sdělené poznatky ze semináře budou citovány jako (autor, ústní sdělení datum). Výstupem práce bude seznam aktuálně používaných trvalých materiálů pro zabezpečení povrchu strmých svahů před erozí. Seznam bude zahrnovat představení jednotlivých produktů s vizualizacemi, technickými požadavky, technologií pokládky na svah i následné údržby. Některé typy materiálů budou doplněny o ukázky z realizací.

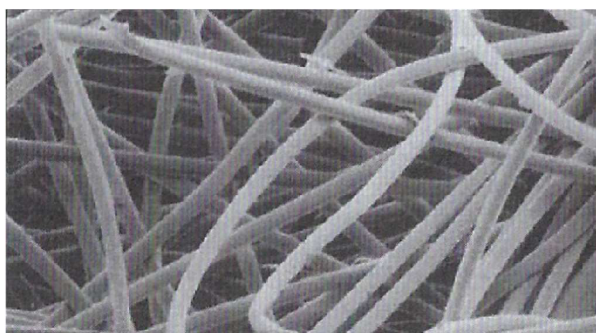
4. Termíny a definice

Z důvodů častých chyb v terminologii je uvedena tato kapitola, které poskytne termíny a definice dle platných norem. Zmíněna bude široká skupina geosyntetik. Použité normy týkající se problému protierozního opatření na nezemědělských svazích jsou ČSN EN ISO 10318-1, ČSN 83 9041, ČSN 75 0140, ČSN 75 0142, ČSN 83 9001.

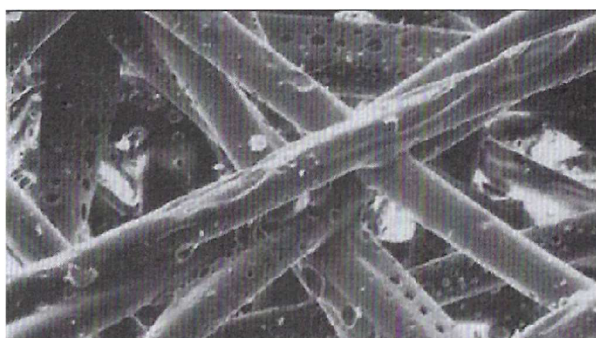
Geosyntetika (*geosynthetic*) - zkratka **GSY**; druhový termín popisující výrobek, u něhož alespoň jedna složka je vyrobena ze syntetického nebo přírodního polymeru ve tvaru fólie, pásku nebo trojrozměrné struktury, používaný ve styku se zemínou a/nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství (ČSN EN ISO 10318-1). Polymer nemusí být vždy umělý, nýbrž může být i přírodní.

Geotextilie (*geotextile*) - zkratka **GTX**; 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 (ČSN EN ISO 10318-1). Vyrábí se přírodní ve formě sítí pro podporu růstu a mulčovací rohože, umělá slouží pro separaci zemín, zpevnění a zabránění růstu plevelů.

- **Netkaná** (*nonwoven geotextile*) - zkratka **GTX-NW**; geotextilie vyrobená z urovnaných nebo nahodile orientovaných staplových vláken, nekonečných vláken (filamentů) nebo jiných prvků spojených mechanicky a/nebo tepelně a/nebo chemicky (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 1 a 2).



Obrázek 1: Mechanicky pojená geotextilie netkaná (Ponikelský a kol., 2011)



Obrázek 2: Tepelně pojená geotextilie netkaná (Ponikelský a kol., 2011)

- **Pletená** (*knitted geotextile*) - zkratka **GTX-K**; geotextilie vyrobená proplétáním smyček z jedné nebo více přízí, nekonečných vláken nebo jiných prvků (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 3 a 4).

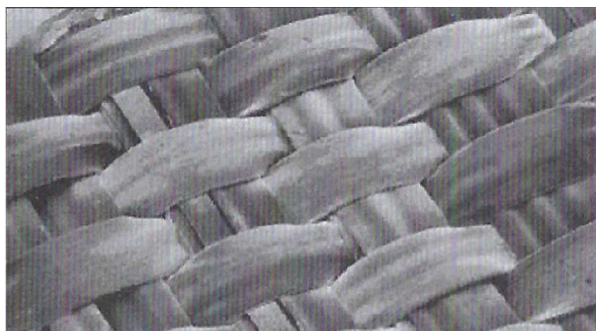


Obrázek 3: Spodní povrch pletené geotextilie (Ponikelský a kol., 2011)

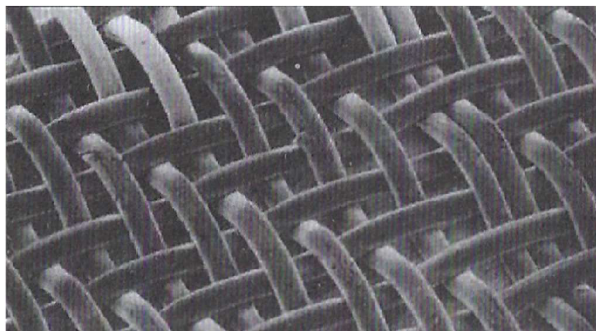


Obrázek 4: Horní povrch pletené geotextilie (Ponikelský a kol., 2011)

- **Tkaná** (*woven geotextile*) - zkratka **GTX-W**; geotextilie vyrobená provazováním, obvykle v pravém úhlu, dvou nebo více soustav nití z nekonečných vláken, pásků nebo jiných prvků (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 5 a 6).



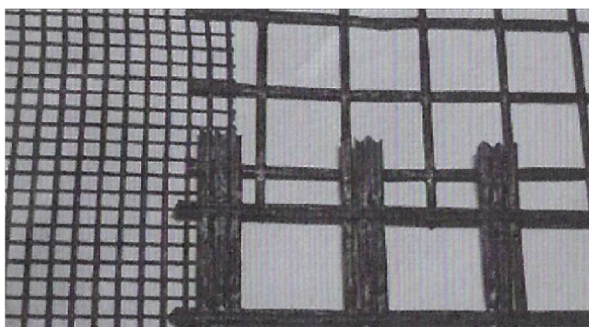
Obrázek 5: Tkaná geotextilie z extrudovaných pásků (Ponikelský a kol., 2011)



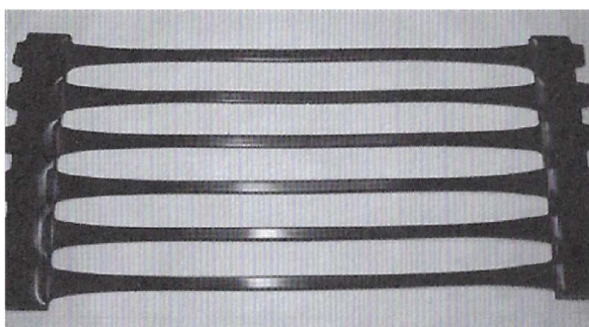
Obrázek 6: Tkaná geotextilie z monofilu (Ponikelský a kol., 2011)

Výrobek podobný geotextilii (*geotextile-related product*) - zkratka **GTP**; geotextilie vyrobena provazováním, obvykle v pravém úhlu, dvou nebo více soustav nití z nekonečných vláken, pásků nebo jiných prvků (ČSN EN ISO 10318-1).

Geomříž (*geogrid*) - zkratka **GGR**; plošná polymerní struktura sestávající z pravidelné otevřené sítě pevně spojených tahových prvků, které mohou být spojeny vytlačováním, pojením, propletením nebo provázáním a jejíž otvory jsou větší než její prvky (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 7,8 a 9).



Obrázek 7: Tkaná geomříž (Ponikelský a kol., 2011)

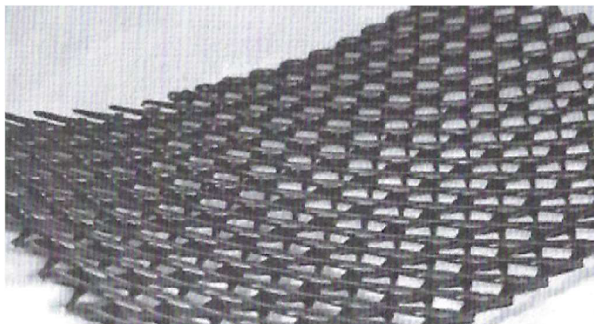


Obrázek 8: Extrudovaná monolitická geomříž (Ponikelský a kol., 2011)



Obrázek 9: Extrudovaná spojovaná geomříž (Ponikelský a kol., 2011)

Geosít' (*geonet*) - zkratka **GNT**; geosyntetika sestávající z rovnoběžných soustav žebér uložených přes sebe a pevně spojených s obdobnými soustavami v různých úhlech (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 10).



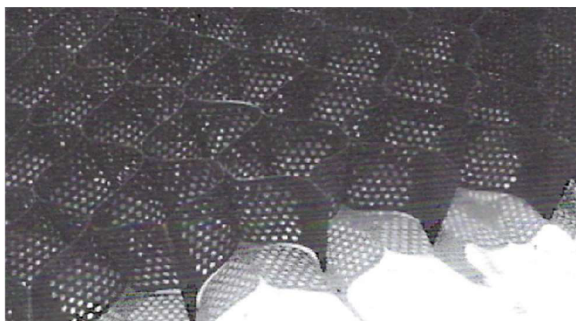
Obrázek 10: Třívrstvá geosít' (Ponikelský a kol., 2011)

Georohož (*geomat*) - zkratka **GMA**; trojrozměrná propustná struktura vyrobená z polymerních monofilamentů a/nebo jiných prvků (syntetických nebo přírodních), mechanicky a/nebo tepelně a/nebo chemicky a/nebo jiným způsobem spojených (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 11).



Obrázek 11: Georohož (Ponikelský a kol., 2011)

Geobuňka (*geocell*) - zkratka **GCE**; trojrozměrná propustná polymerní (syntetická nebo přírodní) struktura ve tvaru včelího plástu nebo podobné buněčné struktury, vyrobená spojením pásků geosyntetik (ČSN EN ISO 10318-1) (obrázek 12).

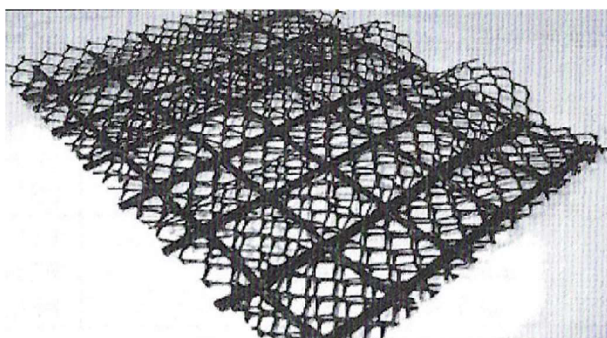


Obrázek 12: Propustná geobuňka (Ponikelský a kol., 2011)

Geokompozit (*geocomposite*) - zkratka **GCO**; průmyslově vyrobený sdružený materiál, který mezi svými složkami obsahuje nejméně jeden geosyntetický výrobek (ČSN EN ISO 10318-1). Z pohledu zaměření práce na TP 53 je okrajově zmíněno a používá se jen jako doplněk k některým realizacím pro odvedení vody ze zemního tělesa (obrázek 13), tento typ geokompozitu proto nesouvisí přímo s napomáháním výsadby a výsevu. Geokompozit může sloužit ale i k protierozní funkci, kde se kombinují jednotlivé materiály (obrázek 14).



Obrázek 13: Drenážní geokompozit s geosítí (Ponikelský a kol., 2011)

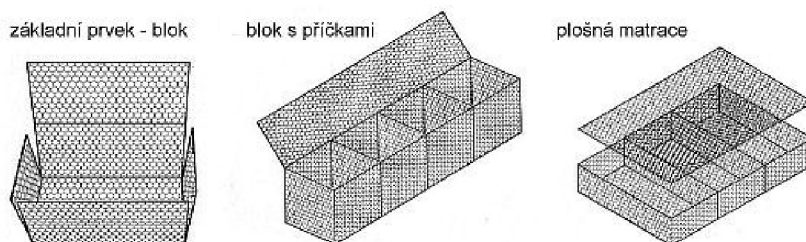


Obrázek 14: Protierozní geokompozit složený z georochože a geomříže (Ponikelský a kol., 2011)

Stabilizace (*stabilization*) - zlepšení mechanických vlastností nestmeleného zrnitého materiálu vložním jedné nebo více geosyntetických vrstev, přičemž dochází k minimalizaci pohybu nestmeleného zrnitého materiálu a při aplikovaném zatížení je redukována jeho deformace (ČSN EN ISO 10318-1). Bez stabilizace zemního tělesa nedokážeme stabilizovat povrch svahu. Má práce je ale navázána na TP 53, tedy povrch, a zajištěné těleso je předpokladem pro správně stabilizovaný povrch.

Gabion kamenný; drátěný koš vyplněný kamenem/štěrkem; zdivo z lomového kamene na sucho do drátěných košů (*wire gabion, gabion*) - hranatý vyztužený koš z drátěného pletiva vyplněný kameny nebo štěrkem (ČSN 83 9041)

(obrázek 15). Slouží spíše pro stabilitu zemního tělesa, ale napomůže k zmenšení sklonu, kde se již může použít protierozní ochrana povrchu.



Obrázek 15: Typy gabionů (Číhal, 2017)

Eroze (*erosion*) - rozrušování zemského povrchu erozními činiteli, spojené s přemísťováním a ukládáním uvolněného materiálu (ČSN 75 0140).

- **Větrná** (*wind erosion*) - přírodní jev, při kterém vítr působí na povrch půdy svou mechanickou silou, rozrušuje půdy a uvolňuje půdní částice, které uvádí do pohybu a přenáší je na různou vzdálenost, kde po snížení rychlosti větru dochází k jejich ukládání. (ČSN 75 0142).
- **Vodní** (*water erosion*) - rozrušování půdy nebo hornin zpravidla tekoucí vodou (ČSN 75 0142).

Hydroseiv (*hydroseeding*) - způsob zakládání porostu, nejčastěji trávniku, při kterém se nastříkuje na povrch terénu osivo promíchané s vodou jako nosným médiem, materiály na zlepšení půdy, hnojivy, pojivem a mulčovacím materiálem (ČSN 83 9001) (obrázek 16).



Obrázek 16: Aplikace hydroseivu na svah (GABRIEL, 2019)

5. Eroze a její vznik

Eroze spočívá v rozrušování půdního povrchu, transportu a sedimentaci uvolněných půdních částic za působení vody, větru, ledu a jiných tzv. erozních činitelů (Janeček, 2005).

Eroze je přirozený proces, který probíhá buď normálně (tzv. geologická eroze), nebo zrychleně v důsledku lidských zásahů do krajiny. Normální eroze je prakticky nepozorovatelná, působí přirozeně, mění neustále reliéf terénu a ztráty půdy jsou kompenzovány půdotvorným procesem. Zrychlená eroze má opačně za následek rychlé odnášení částic půdy, v tomto případě půdotvorný proces nestíhá nahradit ztracené částice zeminy (Novotný, 2014).

Základními činiteli eroze působícími na svazích komunikace je voda, vítr, někdy sníh (Holý, 1994). Krom narušování a ztráty stability zemních těles je nutné nejdříve řešit povrch, kde hrozí odnášení částic zemin ze svahu kolem komunikace i přilehlých zemědělských ploch, které zanáší odvodňovací zařízení, např. příkopy a propustky (MD, ©2003). Stabilita zemního tělesa je důležitá stejně jako zabezpečení povrchu svahu, na které se zaměřuje TP 53, protože pokud není zabezpečen povrch svahu, může povrchová voda pronikat i do zemního tělesa a narušit jeho stabilitu (Kalibová, ústní sdělení 2023).

5.1 Vodní eroze

Proces vodní eroze se projevuje rozrušováním půdního povrchu za působení kinetické energie deště a unášecí síly povrchového odtoku. Uvolněný materiál je následně transportován a sedimentuje v místech více či méně žádoucích. Tento proces většinou nelze zcela zastavit. Lze však aplikovat taková opatření, která působí jednak preventivně (zabraňují vzniku eroze), tak i pomáhá eliminovat následné škody. Na vznik vodní eroze má kromě půdních vlastností (textura, struktura) zásadní vliv sklon svahu s kombinací jeho délky po spádnicí. Míra erozní odolnosti svahu souvisí dále s vegetačním pokryvem, vlastnostmi půdy (textura, struktura), drsností povrchu a její erodovatelnosti, vytvořenými protierozními opatřeními a nakonec četnými přívalovými dešti střídajícími sezóny sucha.

Vodní eroze se projevuje ve formě plošné a později soustředně ve výmolové, přechod mezi nimi je pozvolný (Novotný, 2014).

Plošná eroze zobrazená na obrázku 17 způsobuje rozrušování a rovnoměrný smyv půdních částic. V počátku vzniká eroze selektivní, kde se

vyplavují jemnozrnné půdní částice obsahující chemické látky, současně dochází ke změně textury půdy a snížení obsahu živin. Selektivní erozi nelze zřetelně zaregistrovat, zjistíme ji však podle akumulace jemného sedimentu pod svahem zanášející příkopy či komunikace. Na svahu se může projevovat nerovnoměrným růstem vegetace, různou kvalitou úseků svahu a rozdílnou barvou půdy (Holý, 1994). Při odnosu např. travního semene se na svahu vytvoří holé, nechráněné plochy (Novotný, 2014). Za působení stékající vody mající větší kinetickou energii dochází k vrstvenému odnášení půdní hmoty, střídání málo a více odolných vrstev. Vrstvená eroze se projevuje v širokých pruzích, kde dochází ke ztrátě úrodné půdy, tato eroze je závislá na reliéfu terénu (Holý, 1994).



Obrázek 17: Plošná eroze (Rattayova et al, 2019)

Výmolná vodní eroze je způsobena plošným odtokem, díky kumulované vodě stékající po povrchu. Voda vytváří mělké zářezy, které se postupně prohlubují. Prvním stupněm výmolné vodní eroze je eroze rýžková (viz. obrázek 18) a brázdová, ze kterých vzniká koncentrací stékající vody spojující se hlubší rýhy a tím dochází ke vzniku rýhové eroze zobrazené na obrázku 19. Zesilující rýhová eroze má za následek vznik výmolné eroze (obrázek 20), která může svým působením způsobit erozi stržovou (obrázek 21), vyznačující se velmi hlubokými propastmi ohrožující stabilitu půdy (Holý, 1994).



Obrázek 18: Rýžková eroze (Boardman, 2022)



Obrázek 19: Rýhová eroze (Novotný, 2014)



Obrázek 20: Výmolná eroze (Kwaad, 1986)



Obrázek 21: Stržová eroze (Cranfield University, © 2023)

5.2 Větrná eroze

Větrná eroze působí na povrch půdy mechanickou silou větru, tím ji rozrušuje a odnáší částice půdy na jiné místo. Faktory ovlivňující větrnou erozi jsou meteorologické a půdní i zapříčiněné přímým zásahem člověka (Janeček, 2005).

Celý proces lze dělit do tří fází. Na počátku je uvedení rozrušených částic půdy do pohybu, následně jejich transport a nakonec ukládání. V prvních dvou fázích dochází k turbulentnímu proudění, unášecí síla větru překonává tření a gravitační sílu, třetí fáze nastane při snížení unášecí síly větru.

Vítr působí na erozně ohrožený povrch dvěma způsoby: deflací, kdy uvolněné půdní částice jsou odnášeny větrem na různé vzdálenosti, a korazí, která se projevuje za pomoci deflace v obroušování pevných hornin. Intenzita obroušování je závislá na fyzikálních vlastnostech materiálu, druhu a tvaru nesených částic větrem a mocnosti větru (Holý, 1994).

Erozně nejvíce ohrožené jsou plochy bez vegetačního pokryvu a s nízkou půdní vlhkostí. Účinek eroze se zvyšuje s nepřerušovanou délkou proudění ve směru větru. Samotný pohyb nesených částic půdy se projevuje válením (sunutím) po povrchu, skokem neboli saltací nebo vznášením do ovzduší ve formě suspenze (Janeček, 2005).

5.3 Sněhová eroze

Eroze způsobená rychlým táním sněhu. Dochází k intenzivnímu odtoku vody po ještě zamrzlé půdě, která má omezené vsakování, a současně mrazem narušená půda je náchylnější k odnášení sedimentu (Novotný, 2014).

6. Povrchový odtok

Povrchový odtok vzniká nejčastěji při přívalových deštích a na jaře, kdy půda již nasycená vodou nevsakuje tající sníh a bývá často ještě zmrzlá. Na více nakloněných svazích se povrchový odtok projevuje nejčastěji, díky své unášecí síle rozrušuje povrch svahu a následně unáší narušené částice zeminy. Obecně odtok nastává ve chvíli, kdy síla deště a její vysoký úhrn překročí kapacitu infiltrace a dosáhne stavu nasycení půdy.

Povrchový odtok dělíme do třech fází:

- V první fázi půda zvládá infiltrovat vodu z deště a nevzniká možnost povrchového odtoku.
- Druhá fáze nastává, když intenzita deště překročí možnou infiltraci půdy. Voda následně začne stékat k uzavřenému profilu ve směru svahu s nejvyšším sklonem.
- Třetí fáze se projevuje soustředěným odtokem (Kalibová, 2016).

Povrchový odtok se projevuje ve dvou formách, a to jako plošný a soustředěný odtok. Plošný odtok probíhá v souvislé ploše o stejné hloubce po povrchu ve formě rýh v odtokových drahách nebo v určitém příčném tvaru svahu, kde se jeho souvislá plocha narušuje (kameny, vegetací apod.). Avšak s narůstající délkou svahu se hloubka stékající vody zvětšuje. Soustředěný odtok se projevuje dočasně nebo trvale v hydrografické síti a vzniká z koncentrace plošného odtoku (Holý, 1994). U povrchového odtoku je důležité především zohlednit výšku/objem, kulminační průtok a unášecí sílu.

Vliv na povrchový odtok nemají pouze antropogenní faktory, ale ovlivňovány jsou i klimatickými a geografickými charakteristikami daného místa. Z pohledu protierozní ochrany je nejdůležitější fáze odtoku při nejvyšším smyvu, ke kterému dochází přesně při kulminaci (Kalibová, 2016).

7. Vliv vegetačního pokryvu na erozní proces

Zapojená vegetace je nejlepší protierozní ochrana, ale v některých případech to neustojí sama, tedy je potřeba zapojení přírodních a trvalých materiálů pro podporu

výsevu a výsadby. Nadzemní část vegetace vytváří ochrannou vrstvu nad povrchem a podzemní kořenový systém snižuje erozivní a destabilizující účinky povrchového odtoku (Morgan, 1995).

Kořenový systém vegetace poskytuje půdě vyšší pevnost ve smyku. Celkově vyztužuje, kotví a zhutňuje zeminu svojí hustotou kořenů. Kořeny rostoucí více do hloubky podporují pevnost ve smyku oproti kořenům rozprostírajícím se do boků, které zesilují půdu v tahu.

Kořeny mohou podpořit retenční kapacitu půdy. Obecně zvyšují pórovitost zeminy, která má za následek zvýšení rychlosti infiltrace. Nadzemní část vegetace chrání povrch před kinetickou energií dopadajících dešťových kapek.

Hustota vegetačního pokryvu určuje průtokovou kapacitu. Nadzemní zelená část zvyšuje hydraulickou drsnost povrchu, zpomaluje povrchový odtok a kořeny stabilizují půdní profil, zabraňují roztrušování a transportu sedimentu (Dorairaj, 2021).

8. Protierozní opatření na strmých nezemědělských svazích

Protierozní ochrana spočívá:

- a) V ochraně povrchu před působením erozních činitelů (vegetace, přírodní materiály)
- b) Ve zvýšení odolnosti půdy (trvalé materiály)

Konkrétní typ opatření se odvíjí od druhu erozního ohrožení, dané morfologie svahu, poptávce cílového pokryvu svahu a následné údržbě.

Předpokladem pro návrh protierozní ochrany povrchu svahu je omezení přístupu cizí vody a jejího odvedení, následně je třeba zamezit tvorbě povrchového odtoku z dešťových srážek na místě vzniku, kde zpomaluje rychlost unášecí síly povrchového odtoku. Půdní povrch se chrání dále proti kinetické energii dešťových kapek a před působením větru. Ochrana by měla podpořit retenci vody do půdy a zároveň udržet zvýšenou vlhkost pro podporu vegetace. V případě, že protierozní ochrana selže, je třeba být připraven na kontrolu odnosu sedimentu, kde ho dané opatření bezpečně zachytí. Kvalitní a dlouhodobá účinnost ochrany je závislá na správné instalaci, kotvení a následné údržbě. Bakalářská práce se dále zabývá výhradně trvalými materiály, které se využívají k ochraně svahu pozemních komunikací. Ve chvíli, kdy opatření fungují na těchto svazích, mohou se použít i na svahy skládek, parků atd.

9. Přírodní protierozní materiály

Přírodní materiál ve formě vegetace je nevhodnější a přírodě blízká protierozní ochrana svahu. Z tohoto důvodu se jí snažíme využívat na svahu jako první (MD, ©2003). Pokud vysázená vegetace neodolává, saháme po přírodních materiálech z juty a kokosu. Nicméně i ty přírodní někdy nestačí a pak přichází na řadu trvalé. Z toho vyplývá, že svah má buď velký sklon nebo je trvale vystaven vodě. Přírodní materiály toto nezvládají, a proto se používají jako dočasné formy ochrany, než přebere stabilitu svahu již zmíněná vegetace.

Typy přírodních materiálů:

- Travní porost
- Hydroosev
- Dřeviny a vegetace
- Geotextilie z juty nebo kokosu
- Travní rohože
- Mulčovací rohože

Přírodní geotextilie se umísťují výhradně na povrch svahu a podporují v raném stadiu zakořenění vegetace, časem i při rozkladu mulčují zeminu. Této kapitole se věnuje více kolega David Hlava v jeho bakalářské práci „Přírodní materiály pro podporu protierozního výsevu a výsadby“.

10. Trvalé protierozní materiály

Trvalé materiály pro podporu výsevu a výsadby vegetace zůstávají v půdě trvale a používají se tam, kde samotná vegetace a přírodní materiály nestačí. Cílem není použít geosyntetikum za každou cenu, ale docílit stabilního svahu, ideálně s ozeleněnou povrchovou vrstvou.

Pokládka se obecně provádí na urovnaný povrch, kdy se po správné instalaci zasype humózní vrstvou a oseje. Výjimku mají materiály sloužící k odvedení vody či zpevnění zemního tělesa, které se umísťují hlouběji pod povrch. Důležitým pravidlem je dobře zpevněné zemní těleso, bez kterého by správně provedená protierozní ochrana povrchu svahu nefungovala. Od trvalých materiálů je vyžadována pevnost v tlaku/tahu, odolnost proti UV záření, vodě, chemické nezávadnosti apod.

10.1 Georohože

Georohože jsou vyrobeny z polymerních vláken nebo jiných prvků tvořící trojrozměrnou propustnou strukturu. Tato struktura je spojována

mechanicky, tepelně, chemicky nebo jiným způsobem a může být vyztužena geomřížemi nebo ocelovou sítí pro vyšší pevnost v tahu. Více směry prostorově strukturovaný materiál vytváří vrstvu o šířce 10 až 20 mm a její poréznost je více jak 90 %. Umisťují se podél břehů a toků řek s nízkou rychlostí vody a na svazích (ISO TC 221/WG 6). Používá se k ochraně proti erozi způsobené srážkami a proudící vodě, která je odvedena za pomocí rohože ze svahu. Hlavní funkce však spočívá v zajištění počátečního stádia kořenového systému travního porostu. Georohože jsou vyrobeny v mnoha barvách a provedeních, jejich názorná ukázka je na obrázku č. 22. Po instalaci se rohož zasype směsí humusu s travním semenem, k docílení přírodního vzhledu krajiny (GEOMAT, © 2022a).

Podle druhu má georohož využití u svahů do sklonu cca 45°, na strmějších svazích nezvládá držet vodu pro růst trávy (GEOMAT, © 2022a). Zamezuje vznik rýhové eroze a odplavování částic zeminy, rohož má uplatnitelný význam při hrozbě silné vodní eroze (Grepl, ústní sdělení 2022).



Obrázek 22: Různé druhy georohoží (Nývít, 2023)

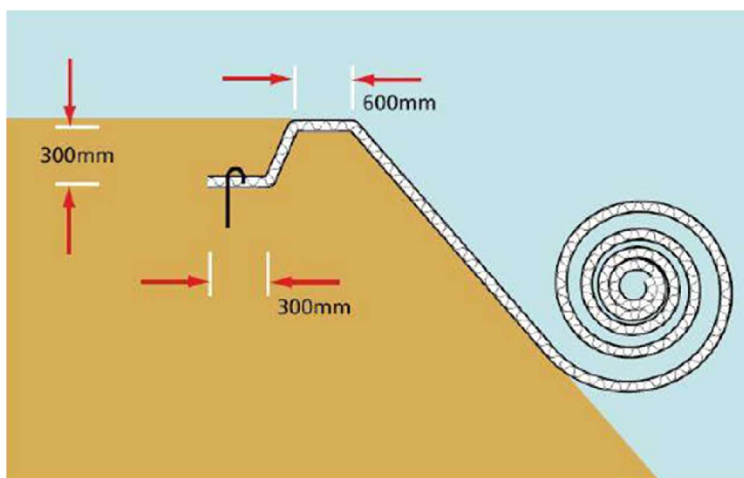
Technické požadavky

Požadavky pro georohože jsou stejné jako pro ostatní protierozní materiály. Musí být nezávadné pro životní prostředí, udržovat tvarovou stálost, umožnit snadnou manipulaci na svahu, nebránit v růstu vegetace a mít pevnost minimálně 3,0 kN/m (Grepl, ústní sdělení 2022). Existují různé varianty a barevná provedení. Dobře zvolená barva napomáhá estetickému zapadnutí do přírody a má vliv na teplotní podmínky při pohlcování a odražení světla na svahu.

Technologie pokládky (aplikace na svah)

Před aplikací georochože je nutné upravit podklad na požadovaný sklon, míru zhutnění, tvar svahu atd. dle projektové dokumentace. Pro těsný kontakt s povrchem svahu musí podklad být urovnaný a zbavený nežádoucích předmětů jako jsou kmeny či kořeny (MARCADOR, 2019a).

Hlavní ukotvení v koruně svahu se řeší do kotevní rýhy veliké cca 0,3 m x 0,3 m za hranicí svahu vzdálené cca 0,6 m (tzv. zámek), zobrazen je na obrázku 23. Georochož se následně volně bez napínání rozvine shora dolů. Rozměry kotevních rýh a počet kolíků rozmístěných po svahu závisí na konkrétních podmínkách projektové dokumentace. Obecně se jeví, že čím strmější a členitější je svah, tím je nižší spon kotvení. Rýha v koruně svahu se následně po ukotvení zasype zeminou a povrch se zhutní. Přímo v patě svahu je také nutné vykopat kotevní rýhu, následně v ní georochož ukotvit a také zasypat zeminou, která se nakonec zhutní (MARCADOR, 2019a; GEOMAT, © 2022a). Ke kotvení se používá ocelová tvarovaná kotvicí skoba ve tvaru „J“ s délkou od 10 do 30 cm (GEOMAT, © 2022b).



Obrázek 23: Ukotvení v koruně svahu (MARCADOR, 2019)

Pásky rohože se musí překrývat cca 15 cm a následně se zabezpečí kotevními kolíky, pro pokračování v roli je zapotřebí též překryv s ukotvením s doporučenými 30 cm (MARCADOR, 2019a). Na jednom metru čtverečním se u sklonu 1:2 kotví dvěma ocelovými kotvami a pro svahy nad 1:1 čtyřmi kotvami (GEOMAT, © 2022b). Nepřekrytá georochož může způsobit selhání funkčnosti a následná koncentrace povrchového odtoku přímo v nezajištěném místě podpoří tvorbu eroze, bývá to jeden z nejčastějších důvodů selhání protierozního opatření svahu (Grepl, ústní sdělení 2022).

Po instalaci se povrch zasype kvalitní humózní jemnozrnnou zeminou (o dané frakce – musí propadnout oky rohože), oseje travním semenem a následně rozhrabe ručně hráběmi tak, aby prostor v rohoži byl zaplněn. Je možné použít již zeminu předem promíchanou s osivem. Finální povrch se v praxi lehce uválí do výšky 5–10 cm nad gerohoží, ale poslední výzkumy ČVUT ukazují, že vše, co je nad gerohoží, se spláchne deštěm (Kavka, ústní sdělení 2022). Následně se mírně zavlažuje, minimálně po dobu 14 dnů (GEOMAT, © 2022a). Pro výsadbu dřevin je možné rohož rozřezat v místě výsadby, po realizaci se odstávající okraje pečlivě přikotví (MD, ©2003). Postupy instalace na svah pro jednotlivý druh gerohože dodá distributor.

Nejčastějšími chybami při instalaci gerohože jsou již zmíněné překryvy sousedních rohoží, zasypání nevhodnou zeminou o určité frakci a výšce, v neposlední řadě opomenutí tvorby zámku v koruně a patě svahu. Již provedená realizace (obrázek 24, 25) je probírána v diskuzi.

Údržba

Při správném položení rohože pod povrch nanesené zeminy není údržba nijak specifikována a odpovídá péči o ozeleněný svah.



Obrázek 24: Aplikace gerohože na svah (Kozák, 2012)

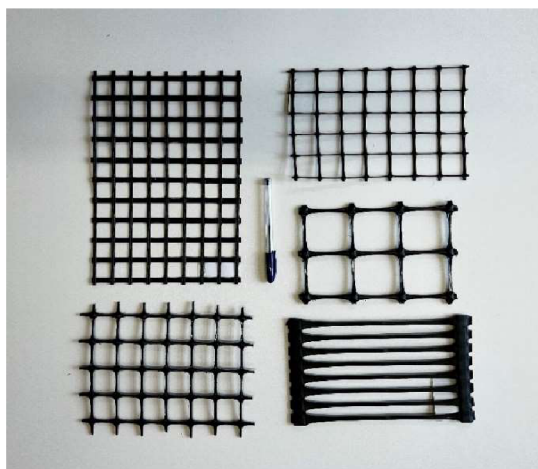


Obrázek 25: Zatravněný svah za pomoci georochože (Kozák, 2012)

10.2 Geomříže

Geomříže jsou geosyntetické materiály využívané převážně v dopravním stavitelství, infrastruktuře a pro geotechnické konstrukční řešení. Geomříž je vyvinuta pro vyztužení a stabilitu zeminy, stabilizaci podpovrchové vrstvy komunikací. Aplikuje se na opěrné zdi a svahy vyžadující zpevnění.

Existuje mnoho různých forem a tvarů (obrázek 26), vyrábí se jednoosý, dvouosý a tříosý. Rozmanitost typů geomříží umožňuje projektantům a inženýrům navrhnout různé možnosti stability, ale je složitější se rozhodnout pro ten správný typ. Materiál výrobku se může lišit, ale běžně se vyrábí z polyesteru, polypropylenu s vysokou hustotou (PP) nebo polyethylenu s vysokou hustotou a jeho výroba se provádí za pomoci vytlačování, pletení, tkaní a svařování.



Obrázek 26: Různé druhy geomříží (Nývtl, 2023)

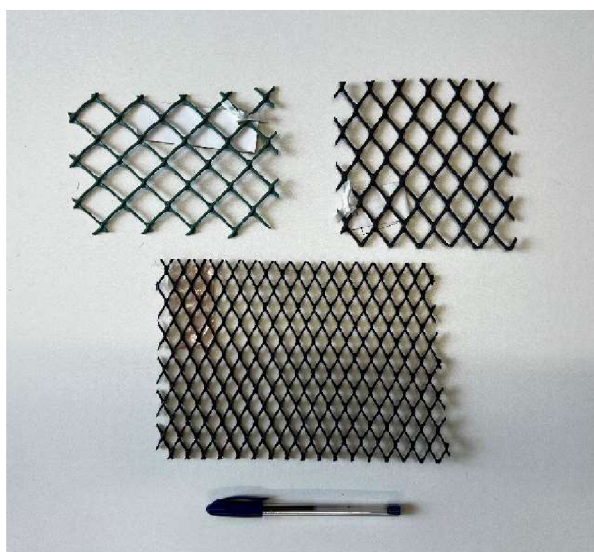
Mechanismus stability je závislý na spojení zeminy a kameniva s mřížkou. Otevřená plocha geomříže je typicky 50 % a jejich velikost by měla účinně splňovat spojení kameniva a zeminy s geomříží (Al-Barqawi, 2021).

Geomříž není primárně určena pro protierozní funkci, ale slouží k stabilitě zemního tělesa. Pro správné řešení stability povrchu zeminy je však zabezpečený svah zásadní vstupní podmínkou (GEOMAT, © 2022c).

10.3 Geosítě

Geosítě je plochý polymerní produkt sestavený z pravidelné husté sítě žeber integrálně spojených rovnoběžných sad, které překrývají podobné sady pod odlišnými úhly. Vizually se podobá geomřížím, ovšem liší se nejen v materiálu nebo v jejich parametrech, ale i ve funkci určené pro odvádění vody například ze svahu.

Jsou vyrobeny procesem vytlačování a jejich protiběžné otáčení je vytvořeno za horkého plastu pomocí šnekového extruderu. Žebra jsou většinou tlustá od 5 do 10 mm a protínají se v 60 až 80 stupních, tvoří tím otvor ve tvaru diamantu (obrázek 27).



Obrázek 27: Různé druhy geosítí (Nývlt, 2023)

Používají se výhradně jako jádra do drenážních geokompozitů pro vedení vody. Dominantní zastoupení využití materiálu je ve skládkování (Shukla, 2016), kde odvádí vodu a zabraňuje k narušení zemního tělesa.

10.4 3D panely

3D panely tvoří trojrozměrná ocelová mřížková struktura s protikorozní ochranou vytvořená za pomoci žárového zinkování nebo poplastování. Jednotlivé samostatné panely o rozměru cca 6 m² jsou provázány vázacími smyčkami a vyztuženy ocelovými tyčemi v různých směrech. Celý tento systém musí být kotven do svahu za pomoci kotevních tyčí (obrázek 28). 3D systém je vyplněn drceným kamenivem o určité frakci a na povrch je umístěna zemina s osivem (Frاندl, 2018; Prelovsky, 2020).

Systém je vhodný pro strmé svahy tvořící nesoudržný sypký materiál (Red, 2019). Díky své přizpůsobivosti k povrchu terénu zvládne instalaci na různé tvary a sklony svahů (Prelovsky, 2020). Propustnost a odvádění vody ze svahu umožňuje růst vegetaci i různým dřevinám, které mohou za určitý čas převzít stabilitu svahu. Ne vždy je tomu správně, dodavatel s projektantem by toto řešení a údržbu měli zvážit a doporučit (Tůma, ústní sdělení 2022). V této době existuje zatím pouze jediný výrobce tohoto protierozního řešení.



Obrázek 28: 3D panel s ocelovými tyčemi, vázací smyčkou a kotvou (Nývlt, 2023)

Technické požadavky

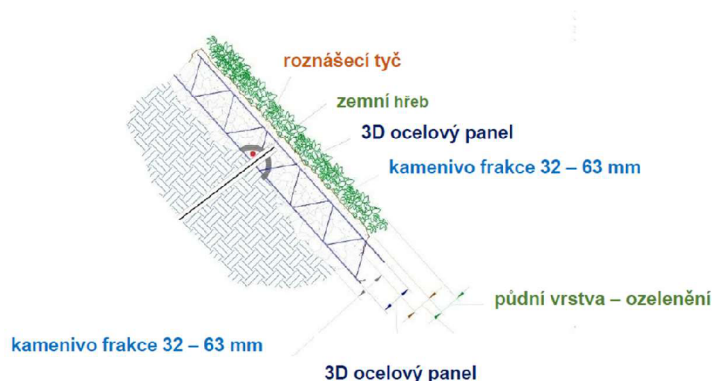
Mřížková struktura by měla být tvarově stálá, propustná pro vegetaci, v čase stálá a nezávadná pro životní prostředí. Kamenivo vložené do systému umožňuje optimální spojení nanesené ornice s ocelovou konstrukcí a tím vytváří povrchovou drenáž.

Technologie pokládky (aplikace na svah)

Ocelový systém složený z jednotlivých panelů o výšce cca 80 mm je provázán vázacími smyčkami a zpevněn za pomoci roznášecích tyčí či

ocelových lan o průměru 10 až 12 mm. Kotevní tyče připomínající tvar T neboli zemní hřebíky drží celý tento trojrozměrný rošt ve svahu. Distributor či výrobce s realizační firmou přizpůsobí správné kotvení daným podmínkám (Prelovsky, 2020).

K dosažení správného vegetačního růstu a protierozní ochrany je zapotřebí panely vyplnit kamenivem o frakci 32-63 mm, na které je následně nanesena vrstva ornice o tloušťce 1-2 mm s travnatým semenem či nastříkaný hydroosev. Zobrazené schéma na obrázku 29 znázorňuje skladbu pokládky. Výplň kameny se provádí strojně těžkou technikou a roznášení po panelech ručně za pomoci lezecké techniky. Ornice se skládá na systém vysypáváním korečkovým jeřábem, věčkovou lopatou, lopatovým jeřábem, spádovou lopatou nebo stříkáním humusoidní zeminy s travním semenem (obrázek 29). 3D panely umožňují trvalou stabilizaci svahu se zatravněním až do cca 65°. Pro lepší stabilizaci podkladu se může ukládat separační geotextilie pod systém nebo zbudování drenáží odvodňovacích per v místech očekávaného proudění vody. Vše je na konzultaci s projektantem stavby a dodavatelem výrobku (Tůma, ústní sdělení 2022; J. Krismer, © 2022).



Obrázek 29: Schéma položeného 3D panelu (Krismer, 2022)

Pochybení v instalaci 3D panelů bývá nejčastěji v špatně zvolené frakci kameniva, které musí propadnout panely (obrázek 30), a v následné humusoidní zemině, která se může nesprávnou technologií nanést. Je důležité vždy myslet i na bezpečnost okolí svahu před povrchovým odtokem (obrázek 31). Podrobnější komentář k realizaci se nachází v diskuzi.

Údržba

Není zde žádná speciálně vyžadovaná údržba, pečuje se pouze o povrchovou vrstvu dle technologie péče o zeleň.



Obrázek 30: Instalovaný systém z 3D panelů připravený na nástřik humusoidní vrstvy (Kozák, 2022)



Obrázek 31: Výsledné ozelenění (Krismer, 2022)

10.5 Gabiony

Gabion tvoří koš vyrobený z drátěného ocelového roštu, může být potažen ochrannou vrstvou z polyvinylchloridu (PVC) nebo pozinkován. Gabion se využívá převážně v konstrukčním odvětví v mnoha podobách a je vyplněn kamenivem nebo drceným betonem o určité velikosti a mechanických vlastnostech (Asadpour, 2017; Uray, 2022). Existují různé podoby, nejpoužívanější jsou krabicové a matracové, ale můžeme nalézt i pytlivé či válcové. Gabiony se rozdělují ještě na dva typy dle spoje ocelových drátěných roštů. Dráty jsou buď k sobě svařené nebo celý blok drží vcelku dvojitě kroucené pletivo. Velkou výhodou mají kroucené dráty, které oproti svařeným blokům mají možnost deformace, a nemůže nastat přetržení sváru. Pro

docílení silné konstrukční stability se mohou gabiony ukotvit předpínací ocelí k zemnímu tělesu (Asadpour, 2017).

Gabion umožňuje usazení zeminy v jeho volnější struktuře a následně pomáhá růstu vegetace. Je možné ho ozelenit zelenou bio textilíí pro dosažení přírodního vzhledu. Zároveň nevyžaduje tak nákladné výdaje pro stavbu jako jiné opěrné zdi, umožňuje propustnost vody a nevyžaduje tím potřebnou drenáž. Gabiony nevyžadují pravidelnou údržbu a postupné sedání stavby je umožněno (Uray, 2022).

Ve vodním stavitelství gabiony chrání břehy hrází a svahy potoků před erozí způsobenou vlnami a proudící vodou (Asadpour, 2017). Uplatňují se i na opěrné zdi ve stavebnictví (silnice, dálnice, železnice), kde chrání svahy před sesuvem a padajícím kamením (Uray, 2022).

Tento typ stability souvisí spíše s TP 97 – „geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací“ a nemá vliv na povrchovou erozi, kterou řeší již zmíněné materiály pro podporu růstu vegetace. Neslouží tedy ke stabilitě svahu, ale spíše k jeho patě. Za pomoci gabionu lze snížit sklon svahu, kde lze snadněji vysázet vegetaci, a s nižším sklonem přichází i nižší riziko tvorby eroze (obrázek 32).



Obrázek 32: Gabionová zeď (ŘSD, 2022)

Existuje alternativa konstrukce ke gabionům, která se hojně využívá v dopravním stavitelství. Green Terramesh (obrázek 33) je určen pro tvorbu stabilizovaných zelených svahů do sklonu 70°. Systém je tvořen z jednoho bloku a je vyrobený z dvouzákrutové sítě. V čelní části je vložen výztužný svařovaný panel, vložený již při výrobě. Sklon svahu zajišťují trojúhelníkové podpěry a dodatečné tyčové podpěry kotvené do příčných ocelových prutů.

Čelní část zajišťuje biodegradovatelná georochož, kde se umístí i zemina s hydroosevem. Jednotlivé bloky jsou ukládány na sebe a vedle sebe, spojeny jsou C-kroužky. Konstrukční systém zajišťuje před zhroutilím zemní těleso a má výhodu v možnosti ozeleněného svahu, viditelného na obrázku 32 (Horňáková, 2017).



Obrázek 33: Green Terramesh s částečnou vegetací (Maccaferri, 2015)

10.6 Betonová zatravnovací dlažba

Zatravnovací betonová dlažba se vyrábí v mnoha barvách, provedeních a tvarech, ale hlavní funkci ve stabilitě svahu a podpoře růstu zeleně má společnou (Pojar, 2019). Využití nacházela již v době staré verze TP 53 na svazích silně ohrožených erozí. Tyto svahy se nachází u vodotečí (obrázek 34, 36), u komunikací, v prostoru přítoku cizí vody a tam, kde je potřeba zajistit stabilitu svahu (MD, ©2003). Vyrábí se vibrolisováním směsi betonu, je levnější než plastové zatravnovací koberce, ale je těžší. Umožňuje růst vegetace ve volných prostorách dlažby a voda má možnost jimi protéct (Pojar, 2019). Na trhu se objevují klasické typy dlažeb s dutinami a kloubové, které jsou probírány samostatně v této kapitole.

Technické požadavky

Dlažby jsou z velké části opatřeny stálou impregnací proti nasákavosti vody. Tyto dlažby mají výhodu, že neberou vegetaci vláhu pro potřebný růst (Pojar, 2019). Měla by mít odolnost proti chemickým látkám a účinkům vod dle ČSN 73 1326 a TKP kap. 18. Zemina využívaná v prostorech dlažby musí

splňovat požadavky kvality a její úprava se provádí dle podmínek péče o travní porost (MD, ©2003).

Dlažba s dutinami

Tato dlažba je vizuálně nejbližší k přírodnímu vzhledu, kde dutiny dlažby tvoří velkou část cca 40 %. Takové procento dutiny zvládne zachytit více vody do zeminy a minimalizuje tím odtok. Zabraňuje v půdní erozi stékáním dešťových vod po zpevněném povrchu (Nitterhouse Masonry Products, © 2022; Pojar, 2019). Důležitým prvkem správně fungující betonové zatravnovací dlažby je podklad, který by měl být dostatečně zhutněn a odvodněn. Vrstvy tvořící podklad jsou závislé na specifických geologických podmínkách daného svahu (DITON, 2022).

Pokládka na terén se provádí ručně proti spádu daného svahu. Otvary se vyplňují drceným kamenivem nebo zeminou promíchanou s travnatým semenem. Zemina se následně musí zhutnit pro správné zakořenění a růst trávy. Hutnění výplní otvorů se nesmí provádět vibrační deskou (DITON, 2022).



Obrázek 34: Zpevněný příkop betonovou dlažbou (Prefa Brno a.s., © 2019)

Kloubová dlažba

Dlažba připomínající kloub zvládne kopírovat členitý povrch svahu (max. 1,1 m nahoru a dolů) a je možné ji pokládat až na 60° svazích. Pokládka nevyžaduje dodatečné kotevní ani spojovací materiály (malty či lepidla), postačuje jeho hmotnost a „uzamknutí“ (zámek a klíč na obrázku 35), které zabraňují jejich pohybu větrem, vodou či růstem vegetace (STAVOBLOCK SYSTEM, © 2022a; STAVOBLOCK SYSTEM, © 2022b). Uzamknutí tvoří minimálně tři kusy spojené do sebe, aby zabránily horizontálnímu pohybu. Volné prostory mezi prefabrikovanými bloky tvoří min. 16 % a pevnost v tlaku musí splňovat min. 15 MPa. Využití má jako ochrana na březích řek (obrázek 36), dnech vodních toků, násypů dopravních cest, suchých poldrů a tam, kde je potřeba podpořit počátek růstu vegetačního krytu při působení eroze. Vždy je potřeba se o navrženém systému protierozní ochrany poradit s autorizovaným technikem a geotechnikem, který má za úkol vypracovat zprávu o stabilitě svahu (STAVOBLOCK SYSTEM, © 2022a).



Obrázek 35: Kloubová dlažba (STAVOBLOCK SYSTEM, © 2023)

Obecný postup pro pokládku kloubové dlažby je urovnaný terén s odstraněnými kameny a kořeny. V případě kamenitého terénu se posype terén hlinitým štěrkopískem v tloušťce cca 150-200 mm. Provede se nejprve pokládka geotextilie a následně se položí systém dlažby. Nakonec se zasypají dutiny suchou zeminou, osejí se travním semenem a v průběhu času, než vzroste vegetace, se terén zalívá. Systém je bezúdržbový a vyžaduje v určitých případech pouze sekání trávy (STAVOBLOCK SYSTEM, © 2022a).



Obrázek 36: Zazeleněný svah vodního toku kloubovou dlažbou (STAVOBLOCK SYSTEM, © 2023)

10.7 Plastové zatravňovací dlaždice

Plastové zatravňovací dlaždice umožňují více přirozený vsak vody do podloží než betonové dílce. Systém dlaždic je tvořen z jednotlivých speciálních prvků umožňujících přizpůsobit se tvaru terénu a kopírovat jeho reliéf (Puruplast, © 2023). Používají se u vodních či drážních těles nebo u svahů a srázů silnic a dálnic (PROSTAVBU, © 2022). Sklon svahu by neměl přesáhnout 10° (GEOMAT, © 2023e). Na trhu existují dlaždice různých barev a velikostí rastru, ty velké mají možnost výsadby větší vegetace (PROSTAVBU, © 2022) (obrázek 37).



Obrázek 37: Plastová zatravňovací dlaždice (PROSTAVBU, © 2022)

Technické požadavky

Dlaždice se vyrábí z recyklovaného plastu, ve kterém je polyetylen a jejich případná likvidace by měla být šetrná k přírodě svou znovu recyklovatelností. Jejich UV a teplotní stálost musí být stabilní, neohrožující zdraví a přirozený stav přírody. Stejně jako u betonových dlaždic musí být odolné v agresivním prostředí (Puruplast, © 2023).

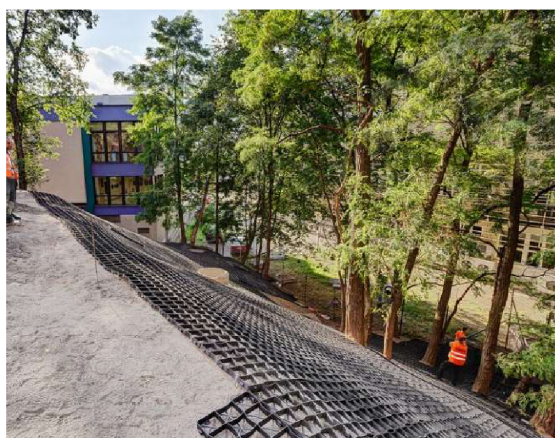
Technologie pokládky (aplikace na svah)

Podklad musí být srovnaný a očištěný od veškerého porostu, jeho pevnost je dána správně provedeným podkladem dle geologických podmínek. Pokládka dlaždic se provádí seshora dolů a symetricky do stran. Spojování se zajišťuje pomocí zámků na dlaždicích za pomoci gumové paličky. Přecházející okraje se mohou zkrátit na požadovaný tvar kotoučovou pilou, ruční pilou nebo úhlovou brusku. Typ kotevní tyče určuje složení podkladu dle instrukcí výrobce. Následně se otvory zasypají vhodnou zeminou k horní hraně mřížky a oseje travním semenem či rostlinami a keři. Výsadba se doporučuje v období jara či podzimu, kdy je půda dostatečně vlhká (PROSTAVBU, 2020).

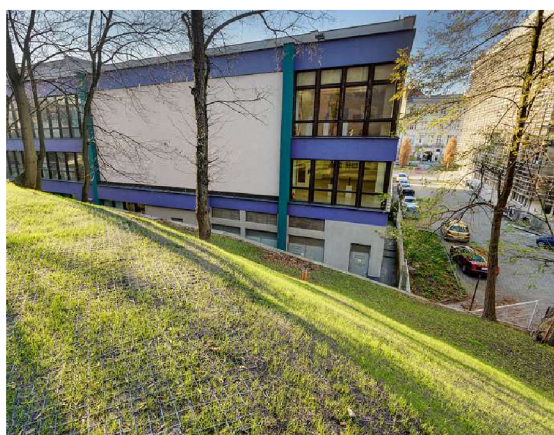
Příkladem pokládky je ukázka obrázků 38 a 39, kde je patrná důležitost správně připraveného svahu na pokládku. Plastové zatravnovací dílce se přizpůsobily díky speciálním spojovacím dílům terénu a umožňují bezpečný přechod bez narušení povrchu svahu.

Údržba

Při zakořeňování je důležité udržovat vláhu a prvních 4-12 týdnů, než vegetace docílí své funkce, se nedoporučuje sečení (PROSTAVBU, 2020). Dále se o vegetaci pečuje dle podmínek péče o zeleň.



Obrázek 38: Instalace plastové zatravnovací dlaždice (PROSTAVBU, © 2022)



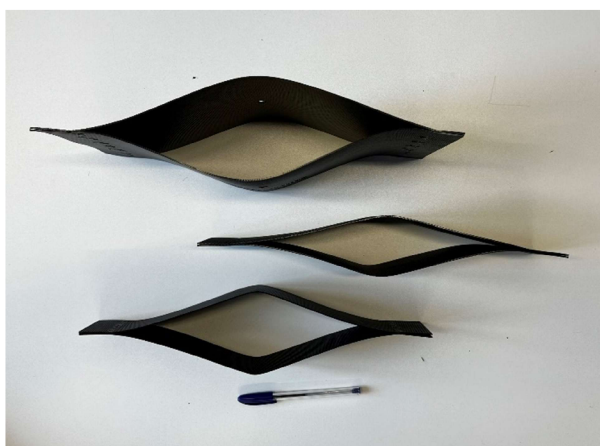
Obrázek 39: Cílový ozeleněný svah (PROSTAVBU, © 2022)

10.8 Geobuňky

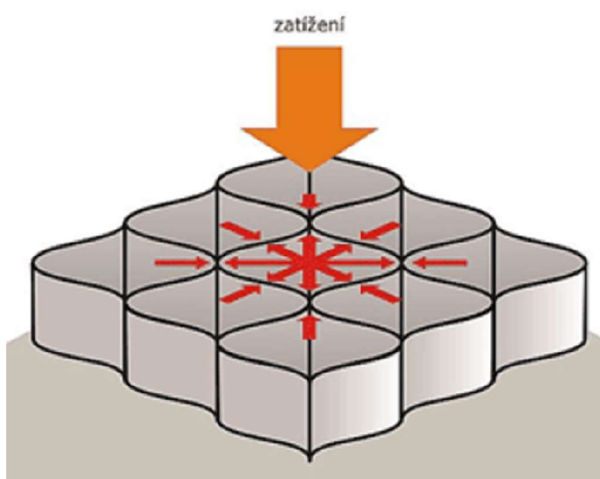
Geobuňky jsou trojrozměrné prvky připomínající včelí plástve (obrázek 40) tvořené z pásků fólie spojené lokálně svařením, lepením nebo páskováním k sobě. Folie mohou být děrované pro dosažení propustnosti vody a zvýšení úhlu tření mezi výplní a stěnou fólie. Vyrobeny jsou z vysoko hustotního polyetylénu (HDPE) a otvory jsou vyplněny zeminou, drceným kamenivem, pískem nebo původní odtěženou zeminou. Výplňový materiál je chráněn pláštvi proti přemísťování a vytváří zpevněný podklad rozkladem rovnoměrné zátěže zobrazené na obrázku 41. Pro jednodušší přepravu jsou jednotlivé pásy přeloženy a rozvinuty až při instalaci (GEOMAT, © 2022f; GEOMAT, © 2022d).

Jsou vhodné pro zvýšení únosnosti podkladních vrstev dopravních komunikací, pro protierozní ochranu svahů zasažených deštěm nebo koryt řek, v neposlední řadě i pro stabilizaci strmých opěrných zemních konstrukcí (GEOMAT, © 2022d).

Používají se na suchých strmějších svazích ohrožených převážně sesuvem a vodní erozí. Geobuňky jsou primárně určeny k stabilizaci a zabránění přesunu zeminy. Vrchní povrchová vrstva je proto nadále ohrožena erozí a měla by být opatřena i jiným protierozním řešením (ISO TC 221/WG 6).



Obrázek 40: Různé velikosti geobuňek (Nývtl, 2023)



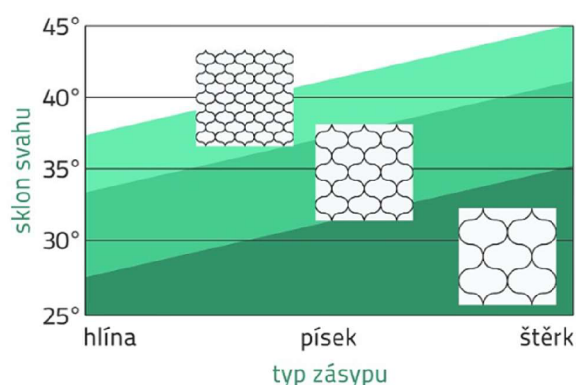
Obrázek 41: Rozklad zátížení v geobuňce (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, © 2012)

Technické požadavky

Geobuňky nesmí narušit normální funkci životního prostředí, například bránit v růstu vegetace, a musí splňovat základní technické i ekologické požadavky. Vysoko hustotní polyethylen nemá negativní vliv na složku přírody a má vysokou odolnost při UV záření a při působení chemických látek (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, © 2012)

Přesné použití závisí na konkrétních podmínkách jako je sklon svahu, únosnost podloží, předpokládané zatížení, ale běžně se používají do sklonu cca 40°. Pro správné dosažení růstu vegetace je nutné vytvořit silnou vrstvu ornice. Doporučená velikost buněk je 37 buněk/m² až 21 buněk/m², u větších velikostech je možné osázet i vhodnými bylinami nebo dřevinami.

Dle technických podmínek by měly být geobuňky tvarově stálé, aby nedošlo k porušení, proto by měly mít optimální tloušťku stěny 1,5 ($\pm 0,2$) mm a výšku mezi 50 mm až 250 mm. Při roztažení dosahují pásy šířky 2,5 m, délky i 18 m, jejich pevnost v tahu se pohybuje mezi 12–15 kN/m (Grepl, ústní sdělení 2022; MD, ©2003; Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, © 2012). Pro zásyp písčitými zeminami při sklonu svahu 35° se doporučuje použít typy s vyšší hustotou buněk na m², u štěrkového zásypu se sklonem 30° se zvolí typ s nižší hustotou buněk na m², viz. obrázek č. 42 (GEOMAT, © 2022d).



Obrázek 42: Tabulka pro výběr vhodné geobuňky (GEOMAT, © 2023)

Technologie pokládky (aplikace na svah)

Technologie pokládky se podle různých systémů a druhů geobuněk liší. Pro správné položení dodá distributor protierozního výrobku pracovní postup. Základními požadavky jsou upravený svah, přikotvení a zahrnutí vhodným materiálem, nejlépe zeminou s travním osivem, nebo u větších geobuněk osázením vhodnými dřevinami. U svahu delšího než 50 m je doporučeno udělat lavice (přerušení svahu po vrstevnici). Folie by měly být propustné a v případě, že se instalují neděrované, je doporučeno provést pod geobuňkami drenážní systém (Grepl, ústní sdělení 2022; MD, ©2003).

Postup aplikace geobuněk je následovný. Musí se pokládat na rovný terén, bez prohlubní, rýh, kamenů, dřev a případného plevelu. Následně se vytvoří kotevní rýhy o výšce instalované geobuňky v koruně a patě svahu k eliminaci sesuvu protierozní ochrany. Jednotlivé pásy se rozbalí ze svahu dolů a ukotví. Kotví se za pomoci betonářské oceli a spojují stahovacími páskami. Po ukotvení se zasypou kotevní rýhy i jednotlivé geobuňky. Prostory geobuněk se vyplňují ze spodní části svahu ke koruně, ve výšce buňky + cca

25-50 mm navršené zeminy z důvodu "zasedání". Nakonec se přidá osivo nebo se buňky vyplní vhodnými rostlinami a bylinami (GEOMAT, © 2022d).

Kotevní betonářská ocel se používá ve tvaru U nebo J o tloušťce 8-10 mm. Délka a rozmístění závisí na dané technické dokumentaci, která počítá s určitým sklonem, na délce svahu i na vlastnosti zeminy podkladu, do které se kotvy zatloukají (Grepl, ústní sdělení 2022).

Špatně zvolený postup pokládky na svah může vést k sesuvu ochranné vrstvy. Nejčastější chybou bývá zanedbaná kotevní rýha v koruně svahu (viz. obrázek 43), nevhodně připravený povrch pro pokládku a nevhodně zvolená technologie vyplnění buněk daným materiálem. V diskuzi jsou zmíněny podrobněji následky špatně provedené instalace.

Údržba

Po realizaci vyžadují geobuňky minimální údržbu (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, © 2012). Dřeviny a vegetace se udržují dle požadavků péče o zeleň.



Obrázek 43: Chybně provedená instalace geobuňek (Kozák, 2021)

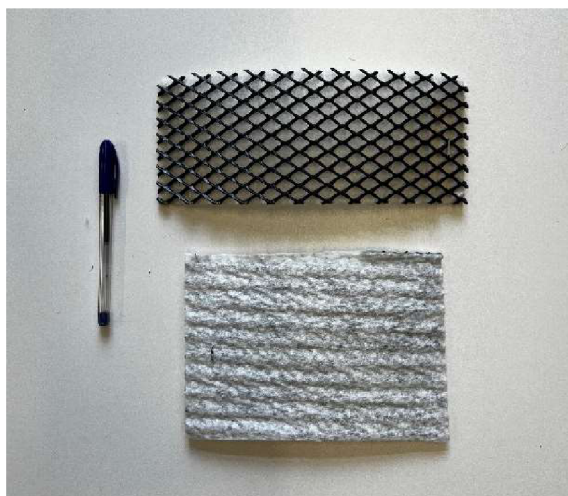
10.9 Geokompozit

Geokompozit se skládá z vrstev různých materiálů a má za cíl dosáhnout nejlepších výsledků v odvedení vody ze svahu, vytváří protierozní ochranu, separuje zeminu, upevňuje zemní těleso atd. V této kapitole je okrajově zmíněn drenážní geokompozit pro pořádek v terminologii. Pozornost

je více věnována 3D kompozitní síti, která byla představena na odborném semináři.

Drenážní geokompozit

Drenážní geokompozit se skládá většinou z geosítě, případně z jiného materiálu tvořící jádro, a geotextilie, geomembrány nebo jiného materiálu obklopující geosít z horní a spodní vrstvy pro zabránění částicím zeminy vniknout do drenážního systému (Shukla, 2016) (obrázek 44).



Obrázek 44: Geokompozit (Nývtl, 2023)

Použití geokompozitu je obdobné jako u geosítě, tedy na skládkách, povrchových nádržích nebo tam, kde chceme usměrnit či odvézt vodu, například ze svahu. Drenážní systém podléhá biologickému působení a je obvykle konstruován pro čištění za pomoci splachu (Ling, 2003).

Pro úplnost výčtu geosyntetik uvádím i geokompozit, ale ve vztahu s protierozní ochranou (podpory výsevu a výsadby) se nepoužívá. Z toho důvodu se podrobně materiálu nevěnuji.

3D kompozitní síť

Výztužná 3D kompozitní síť určená ke stabilizaci zemních konstrukcí je vyráběná pletením pro zajištění vysoké pevnosti v tahu a rozměrové stálosti materiálu (obrázek 45). Je určena pro příkré svahy rekultivovaných skládek odpadů, kanálů a jiných vodních těles. Díky své vysoké pevnosti a hodnotě tření je výrobek určen i k protierozní ochraně. Síť je vyrobena v kombinaci polyethylenové geomřížky, vysokopevnostní polyesterové přize

a v neposlední řadě tuhé pásky z polypropylenu, celkově vytváří 3D efektivní výrobek (MARCADOR, 2019b).

Sít' má využití primárně na svazích skládek. Tam, kde je potřeba ozelenit skládku a zároveň existují specifické požadavky na kořeny, které mohou narušit izolační vrstvy. Cílem není mít za každou cenu na svahu geosyntetika, ale docílit zeleného svahu.



Obrázek 45: 3D kompozitní síť (Nývlt, 2023)

Technické požadavky na 3D kompozitní síť

Role síťoviny jsou zabaleny do obalu chránícím před UV zářením, obal se musí odstranit těsně před pokládkou. Manipulace a přemístění rolí musí být provedeno jejich zvednutím nebo klením, nesmí být vlečeny či jinak poškozeny. Skladují se na rovinné ploše maximálně v pěti vrstvách. Po rozbalení rolí z obalu je třeba výrobek zakrýt do 14 dnů. V případě pokládky systému bentonitové rohože se zakrytí řídí technologickým předpisem pro bentonitové rohože. Dodáván je v rolích o šířce 3 m a délky 100 m, výrobek lze stříhat nebo řezat. Pevnost v podélném směru by měla odpovídat 100 kN/m (MARCADOR, 2019b).

Technologie pokládky 3D kompozitní sítě (aplikace na svah)

Instalace může být provedena přímo na podklad z izolačního geosyntetického materiálu nebo mezi rekultivační vrstvy na rovnou jemnozrnnou zeminu o min. šířce 0,30 m s doporučenou frakcí zeminy 0-25 mm s maximálně 25 % zrny většími jak 12 mm. Krycí vrstva zeminy se

nanáší ohleduplně a nesmí obsahovat ostré nebo velké předměty, které by narušily síťovinu. Pojezdová plocha odpovídá minimální šířce, ale je zapotřebí zamezit akceleraci a prudkému brždění vozidel.

Role se rozbaluje ve směru dolů po spádnicí, položená síť musí být dostatečně napnutá a síť nesmí být zvlněná. Druhá role se rozbaluje hned vedle první s přesahem 10-20 cm. Pokračování pokládky dalších rolí je ve stejném postupu. V rozích se používá metoda klínová, ta spočívá v přesazení pásů v horní části svahu o více než 10–20 cm, přičemž pásy v dolní části se nemusí stýkat. Při pokládce ve větrném počasí je nutné rozbalené sítě zatížit v pruzích pytli s pískem, pneumatikami nebo jiným možným řešením. Zatížení musí být ponecháno po dobu, než bude materiál zasypán.

Spojování pásů se provádí prostým přesazením jednotlivých pásů vedle sebe. Pro lepší zabezpečení se doporučuje každé dva metry připevnit pásy k sobě pomocí plastových stahovacích pásek. Příčné spoje lze pouze realizovat ve spodní části svahu cca ve třetině po spádnicí, nejlepší je však příčné spoje nevytvářet. Příčný spoj se spojuje překryvem minimálně 100 cm dlouhým, kdy vrchní pás překrývá spodní. Překryv je nutné zabezpečit ve dvou řadách stahovacími páskami nebo ocelovými skobami dostatečně dlouhými s ohledem na typ zeminy.

Pokud se jedná o skládku, výrobek je umístěn nad těsnícím a drenážním systémem. Přesné položení a ukotvení je stanoveno projektantem stavby na konkrétních podmínkách projektu souvisejících se sklonem a délkou svahu, vlastností vrchní zeminy atd. (MARCADOR, 2019b).

Údržba 3D kompozitní sítě

Samotná síť je bez údržby a pečuje se pouze o zeleň na vrchní vrstvě dle péče o vegetaci.

11. Diskuze

Nové znění TP 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací" má vytvořit pomyslnou „kuchařku“, která doporučí vhodné opatření pro konkrétní svah v případě, že nemám po ruce inženýra, kterého nenajdu na každém rohu. Nevýhoda je v tom, že inženýr nemusí mít přehled o současných technologiích a výsledcích výzkumu. Zkušenost tedy může být přínosná, ale metody, na které je odborník zvyklý, už nemusí dostačovat. Zde se mu naskýtá možnost rozšířit si obzor o nové materiály (trendy). Z tohoto důvodu bylo velmi užitečné setkání v Kostelci nad Černými Lesy,

kde se sešel výzkum a praxe. To se běžně nestává, a proto vznikají názorové rozepře. Prováděný výzkum má být přínosem pro praxi. V návaznosti na tuto práci a výzkum bude vytvořen fotokatalog, který poskytne typologii jednotlivých svahů, jejich erozního narušení a doporučí vhodné metody sanace.

I když nejsou technické podmínky právně závazné, vždy záleží na tom, zda doporučení vzniklé z výzkumu a praxe bude dotyčná osoba respektovat. Pokud by ale nastalo pochybení a právní předpis na něj odkázal, může se stát právně závazným (Nováková, 2013).

Příkladem, kdy došlo k posunu na poli vědomostí, může být příklad výšky zeminy uložené nad protierozním geosyntetikem. Přesné hodnoty nejsou závazně stanovené a jsou pouze doporučené. Jak prokázal poslední výzkum, při vrstvení volné zeminy nad geosyntetikum hrozí splach nechráněné zeminy. Toto téma se na semináři v Kostelci nad Černými Lesy probíralo. Od zhotovitelů a dodavatelů se zjistilo, že dávají 5-10 cm zeminy (ornice) v domněnání dobře provedené práce. Zatím nepublikovaný výzkum ČVUT ukazuje, že vše, co je nad georohoží, je smyto povrchovým odtokem. Důvod je jednoduchý, nemá ji co chránit a držet na svahu (Kavka, ústní sdělení 2022). I pro lidi z praxe je to novinka. Většinou odevzdají zakázku a jdou od toho pryč. Nemají důvod se k tomu vracet, nevyhledávají zpětnou vazbu.

Oproti starému znění technických podmínek nebyla do trvalých protierozních opatření zařazena umělá geotextilie. Hlavní princip geotextilií je v separaci dvou různých materiálů, zpevnění zemního tělesa, filtraci nebo drenáži (GEOMAT, © 2023g). Proti tvorbě eroze se ale najdou i přírodní geotextilie. Na obrázku 46 je ukázka bodové keřové výsadby. Ačkoliv tato problematika spadá do přírodních materiálů, je z obrázku patrné, že na první pohled se může geotextilie považovat za umělou. Od podobné instalace umělých materiálů se očekává zabránění růstu plevele, zadržetí vlhkosti v půdě a ochrana povrchu svahu před kinetickou energií deště. Poměrně nedávno byl vyvinut ekvivalent této umělé geotextilie vyrobený z přírodních biodegradabilních materiálů a napomáhající při svém rozkladu v růstu bodově vysázených bylin a keřů (GEOMAT, © 2023h). V současné době, pokud přírodní materiály nestačí, musíme sáhnout po plastových. Může se však stát, že se poměrně brzo vyvine takový přírodní materiál, který bude mít technické vlastnosti trvalých geosyntetik. Vývoj jde dopředu, a proto je důležitá komunikace vývoje a praxe. Nejsem si však jistý, zda je toto protierozní opatření zvoleno dobře. Je důležité, aby byla vhodně rozmístěna a zvolena vysázená vegetace, která časem převezme stabilitu povrchu. Pokud by se tak nestalo, zůstává otázkou, zda po

rozkladu na holé zemině a při účinkách eroze travní porost dokáže zakořenit, vyrůst a doplnit tak prázdné mezery.



Obrázek 46: Geotextilie s bodovou výsadbou keřů (GEOMAT, © 2023)

Příkladem nevhodně použité tkané geotextilie je následná ukázka (obrázek 47) na svazích nádraží Zahradního Města. „Zajištěné“ svahy o cca 30-45° jsou zrealizované dle obrázku 48 principem pokládky geotextilie, na ní je nastříkaný hydroosev, následuje aplikace cca 5 cm tloušťky zeminy a další vrstva hydroosevu. Zde nastala technologická nekázeň. Hydroosev se vždy aplikuje navrch, a ne dospod. Zemina se po spodní vrstvě nástřiku sesunula, protože nebyla fixována například georochozí. Zůstává tedy otázka, jak mohlo dojít k tomuto pochybení. Chybou může být i případná aplikace před deštěm, kdy nepříznivé počasí narušuje čerstvě nastříkaný hydroosev. S tím by kvalifikovaný aplikátor měl počítat (Kozák, ústní sdělení 2023). Hydroosev je stabilizující vrstva, pokud není provázána s podložím (vysoká vrstva zeminy), povrch svahu ujede.



Obrázek 47: Narušení povrchu svahu na svazích nádraží Zahradního Města (Nývt, 2023)



Obrázek 48: Tloušťka nahnuté zeminy s hydroosevem na geotextilii (Nývtl, 2023)

Druhým typem protierozní ochrany ze staré normy, nezařazené do tohoto seznamu, je lineární textilní vlákno smíchané se zeminou a osivem aplikovaným na svah. Vlákna nahrazují v zemině kořeny a tím zvyšují pevnost tlaku podporující i s následnou vzrostlou vegetací protierozní funkci. Tato metoda se nepoužívá kvůli nedostatečné možnosti rozvolnění vláken v zemině a neekologičnosti (Kalibová, ústní sdělení 2023).

Posledním nezařazeným materiálem jsou travní rohože doplněné o osivo. Skladba rohože je tvořena z netkané geotextilie z přírodních či umělých vláken a jejich kombinací, pojiva (lepidla) a nosiče osiva. Spoj zajišťuje přírodní nebo syntetické nitě či provazy. Zadržuje dostatečnou vláhu v zemině, mulčuje, zabraňuje prorůstání plevelů a vzniku eroze. Technologie se v praxi moc nevyužívá, dochází k technologickým chybám a sanace je komplikovaná. Při skladování musí být zajištěna dostatečná optimální vlhkost, aby rohož nevyschla nebo nezvlhla a nezplesnivěla (Kalibová, ústní sdělení 2023). Při realizaci je nutné dbát i na roční období pokládky, doporučuje se před zimou, aby sníh „přilepil“ systém k zemině. Často se stává, že se přírodní rohož nafukuje a tím nesplňuje očekávané vlastnosti. Problémem bývá i složení osevní směsi. Z důvodu výroby v cizích zemích se může na rohožích objevit nepůvodní osivo a hrozí zavlečení invazních druhů (Kozák, ústní sdělení 2023).

Na základě konzultace se zástupci ŘSD (Ing. Otakar Kozák a Mgr. Václav Mráz) budou uvedeny příklady technologických chyb a jejich následků na již provedených realizacích.

- U silnice I/37 nedaleko Opatavic nad Labem (obrázek 24) se provedla instalace georohože, kde se postupovalo částečně správně. Důležité bylo zajistit překryv sousedících pásů o minimálně 15 cm. Pochybení došlo v následném zasypání, kdy musí jemnozrnná zemina propadnout oky. Zde však byla použita nepřesívaná hrubší zemina (Kozák, ústní sdělení 2023). Z mého pohledu bych viděl pochybení i v neprovedeném zámku v patě svahu a v případně tlustší navršené vrstvě zeminy nad georohoží. V tomto případě travní porost vzrostl (obrázek 25) a prozatím nenastal smyv zeminy.
- Svahy na modernizované železniční trati u Votic se zajistily pomocí systémů 3D panelů (obrázek 30). Při této realizaci dle investora proběhlo vše v pořádku, ale vyskytuje se obava z hlediska funkčnosti (schopnosti odolat korozi) kotevních tyčí ve svahu. Výrobce uvádí, že by měly vydržet více jak 50 let, názory jsou však různé. Problém může způsobit voda, která se může dostat k nechráněným tyčím, a následně je zkorodovat (Kozák, ústní sdělení 2023). Je ale zapotřebí při instalaci tohoto systému vždy kontrolovat správné zajištění do svahu. Po instalaci se panely zasypou kameny o určité frakci a na ně přijde stříkaná humusoidní zemina. Na obrázku 31 je připraven i odtokový kanál pohlcující případný povrchový odtok ze svahu sloužící k zabezpečení prostoru železnice.
- Instalace geobuněk na dálnici D1 v 67-70 kilometru se provedla nekvalitně a chybně. První technologická chyba v pokládce nastala v koruně svahu, kde geobuňka měla být zajištěna a následně zakopána v kotevní rýze (obrázek 43). Hrozí sesuv celé ochranné vrstvy a následné narušení stability svahu, ale i bezpečí pod svahem. Urovaný svah je vždy základem správně fungujícího protierozního opatření. Zde vznikly po dělnících díry, které vedly k vlnité instalaci a ohrožení nadále působící eroze. Naposlední pochybení proběhlo při zasypání štěrkem, který se nasypal navrch v koruně svahu a rozhrnul. Zasypání má probíhat postupně za pomoci svahovací lžice, aby nedošlo k porušení a posunu geobuněk (Kozák, ústní sdělení 2023).

Problémy a technologické chyby se netýkají pouze trvalých materiálů, ale i přírodních, jak ukazuje obrázek 49. Zde došlo k nesprávné technologii pokládky

přírodních protierozních sítí. Sítě jsou správně rolovány dolu po svahu a je zachován překryv sousedních pásů, nicméně dělníci aplikující sítě na svah vytváří prošlapy povrchu půdy. Ty vedou ke koncentraci povrchového odtoku a vzniku dalších erozních rýh. Při pokládce technologií se při pohybu po svahu musí využívat žebříky položené na svah. Lze si všimnout i neurovnaného a narušeného svahu erozí. Před instalací se musí povrch svahu urovnat a zbavit těchto nerovností, které mohou pod protierozní ochranou negativně působit.



Obrázek 49: Instalace protierozní ochrany na porušený svah (Kozák, 2021)

Výše uvedené příklady nesprávné technologie pokládky mohou vést k negativním důsledkům pod daným svahem. Zmíněné byly proto, aby se společnost z uvedených chyb poučila a již je neopakovala.

Vývoj umělých materiálů se snaží hledat ekologická řešení. Například v barevných variantách, které méně narušují vzhled krajiny, a dále v recyklovatelnosti materiálu. Když se totiž provede instalace dobře, tak ani nepoznáme, že nějaké geosyntetikum na svahu je (viz. obrázek 50). Z hlediska trvalého charakteru musíme ale vždy pomýšlet na to, jak dlouho má být daná ochrana na svahu, kvůli následné recyklaci a likvidaci.



Obrázek 50: Příklad neaptné instalace georochože v přírodě (MARCADOR, 2022)

Při zabezpečení povrchu svahu před erozí je zapotřebí stanovit si hned na začátku, jaká má být cílová podoba daného svahu. Zda to má být zapojený vegetační pokryv nebo zpevněný svah pouze umělým materiálem. Z pohledu přírodě blízkých opatření by měl být kladen důraz na přírodní materiály. Výjimku můžou tvořit skalní stěny, kde vegetace není žádoucí. Na těchto svazích by zapojená vegetace mohla vést k dalšímu narušování stability povrchu. Protierozní zabezpečení povrchu svahu by mělo mít za cíl vytvoření zapojeného vegetačního pokryvu.

12. Závěr a přínos práce

Do nového znění byly doplněny informace o technologii pokládky a následné údržbě. Aktualizace TP 53 "Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací" a tato bakalářská práce pomohou ke zvýšení povědomí o chybách, nových informacích a trendech v trvalých materiálech pro podporu protierozního výsevu a výsadby. Největším přínosem v rámci zpracování této práce byla debata mezi výzkumem a praxí, díky níž bude nové znění technických podmínek aktuální a doplněné o poslední vědecké poznatky.

Ne všechna geosyntetika podporují růst. V rešerši bylo zjištěno, že některá slouží čistě na zpevnění zemního tělesa, případně k odvedení vody ze svahu. Nicméně stabilita zemního tělesa a odvod cizí vody jsou základními vstupními předpoklady pro návrh protierozního zabezpečení povrchu svahu.

Během zpracování bakalářské práce byl zaznamenán i rozpor v používané terminologii. Nové znění TP 53 by kromě poskytnutí aktualizovaného a rozšířeného metodického postupu zabezpečení povrchu svahu pozemních komunikací před erozí mohlo přispět ke sjednocení používané terminologie.

Při ochraně těchto svahů by se měla primárně volit cesta přírodních materiálů. Avšak v některých stanovištních podmínkách, a to z důvodů klimatických, topografických apod., nemohou přírodní materiály poskytnout dostatečnou ochranu půdě, případně vysázené vegetaci. Je zapotřebí stabilizovat svah s využitím trvalých materiálů. Jedná se sice o zavádění umělých materiálů do přírodního prostředí, ovšem pokud se pokládka provede technologicky správně a zvolí se vhodná osevní směs odpovídající stanovištním podmínkám, po zapojení a vzejití vegetace není umělá složka v prostředí vůbec patrná (viz. obrázek 50).

13. Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborná publikace

Al-Barqawi, M., 2021: Polymer Geogrids: A Review of Material, Design and Structure Relationships. *Materials* 14 (16), 25 s.

Asadpour, H., 2017: Stability Analysis of Gabion wall with Tieback in Seismic Regions. *Civil Engineering Journal* 3 (5). 319-331

DITON, 2022: Technický list – Dlažby vegetační a zatravňovací tvárnice, DITON, Střítež, 7 s.

Dorairaj, D., 2021: Present practices and emerging opportunities in bioengineering for slope stabilization in Malaysia: An overview. *PeerJ* 9. 34 s.

Frاندl, T., 2018: Subsurface Investigation and Landslide Monitoring as a Basis for Planning Protection Measures – Case Study Doren Landslide -. Symposium Proceedings of the INTERPRAENENT 2018 in the Pacific Rim. 373-379

PROSTAVBU, 2020: Montážní návod pro dlažby geosystem a obrubníky geoborder. PROSTAVBU, Brno, 12 s.

Kalibová, J., 2016: Problematika tvorby povrchového odtoku a epizodní řešení jeho erozních projevů. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 155 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

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

Janeček, M., 2005: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Nakladatelství ISV, Praha, 195 s.

Ling, I. H., 2003: Reinforced Soil Engineering: Advances in Research and Practice. Nakladatelství Marcel Dekker, Inc.. New York, 510 s. ISBN: 0-8247-4254-0

MARCADOR, 2019 b: Afired 3D 100 Výztužná síť pro stabilizaci zeminy příkrých svahů (rekultivace skládek odpadů) aplikační manuál pro pokládku. Technické oddělení Marcador, Dvůr Králové nad Labem, 1 s.

MARCADOR, 2019 a: Tenax multimat manuál pokládky. Marcador, Dvůr Králové nad Labem, 3 s.

Morgan, R., 1995: Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. E & fn spon, London, 288 s.

Novotný, I. a kol., 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi. Vydavatelství Ministerstvo zemědělství, Praha, 73 s.

Shukla, S. K., 2016: An Introduction to Geosynthetic Engineering. Nakladatelství Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-4987-7809-1.

Uray, E., 2022: Gabion structures and retaining walls design criteria. Advanced Engineering Science 2. 127-134

Legislativní předpisy a normy

ČSN 75 0140: Meliorace – Terminologie eroze, hydromeliorace a rekultivace půdy. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2016. 122 s.

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

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

ČSN 83 9041: Technologie vegetačních úprav v krajině – Technicko-biologické způsoby stabilizace terénu – Stabilizace výsevy, výsadbami, konstrukcemi ze živých a neživých materiálů a stavebních prvků, kombinované konstrukce. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2006. 28 s.

ČSN EN ISO 10318-1: Geosyntetika – Část 1: Termíny a definice. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2015. 16 s.

ISO TC 221/WG 6: Design using geosynthetics. BSI, United Kingdom, 2020. 67 s.

TP 53: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky. Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno, 2003. 52 s.

Ústní sdělení

Grepl, D., Ing., 2022: MARCADOR

Kalibová, J., Ing. Ph. D., 2023: Česká zemědělská univerzita v Praze

Kavka, P., Ing. Ph. D., 2022: České vysoké učení technické v Praze

Kozák, O., Ing., 2023: Ředitelství silnic a dálnic ČR

Mráz, V., Mgr., 2023: Ředitelství silnic a dálnic ČR

Tůma, F., Ing., 2022: J. KRISMER

Internetové zdroje

GEOMAT, © 2022 a: Protierozní georohož (online) [cit. 2022.08.10], dostupné z <<https://www.geomall.cz/protierozni-georohoz-trinter>>.

GEOMAT, © 2022 b: Jak ukotvit ekotextilie a mulčovací rohože na svazích? (online) [cit. 2022.08.15], dostupné z <<https://www.geomall.cz/blog/kotveni-ekotextilii-a-mulcovacich-rohozi-na-svazich>>.

GEOMAT, © 2022 c: Měkká tkaná geomříž (online) [cit. 2022.08.28], dostupné z <<https://www.geomall.cz/mekka-tkana-geomriz-miragrid-gx>>.

GEOMAT, © 2022 d: Geobuňky: jejich výhody a možnosti využití (online) [cit. 2022.09.03], dostupné z <<https://www.geomall.cz/blog/jak-vyuzit-geobunky-nejen-pro-stabilizaci-svahu>>.

GEOMAT, © 2023 e: Pokládka zatravnovací dlažby krok za krokem (online) [cit. 2023.02.19], dostupné z <<https://www.geomall.cz/blog/jak-na-pokladku-zatravnovaci-dlazby-instalace-krok-za-krokem-blog>>.

GEOMAT, © 2022 f: Geobuňky (online) [cit. 2022.09.01], dostupné z <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geobunky/>>.

GEOMAT, © 2023 g: Geotextilie (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geotextilie/>>.

GEOMAT, © 2023 h: Ekotextilie ze 100% biomasy – Agrotex EKO+ 157g (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <<https://www.geomall.cz/ekotextilie-ze-100-biomasy-agrotex-eko-157g#>>.

PROSTAVBU, © 2022: svahová dlažba geosystem S60s (online) [cit. 2023.02.19], dostupné z <<https://www.zatravnovaci-dlazby.cz/produkt/dlazba-geosystem-s60s/>>.

J. KRISMER, © 2022: Hang – und böschungssicherung (online) [cit. 2022.09.05], dostupné z <<https://www.krismer.com/hang-boeschung.html>>.

Horňáková, T. 2017: Aplikácie vystužených oporných múrov pomocou systému Green Terramesh na niektorých stavbách v ČR (online) [cit. 2023.02.24], dostupné z <<http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/aplikacie-vystuzenych-opornych-murov-pomocou-systemu-green-terramesh-na-niektorych-stavbach-v-cr/>>.

NITTERHOUSE MASONRY PRODUCTS, © 2022: Turfstone pavers (online) [cit. 2022.12.13], dostupné z <<https://www.nitterhousemasonry.com/our-products/turfstone-pavers/>>.

Nováková, P., 2013: O technických normách (I.): Jak je to s jejich závazností? (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <<https://www.patria.cz/pravo/2315574/o-technickychnormach-i-jak-je-to-s-jejich-zavaznosti.html>>.

Pojar, P., 2019: Kam se hodí vegetační dlažba? (online) [cit. 2022.12.13], dostupné z <<https://www.ceskestavby.cz/clanky/kam-se-hodi-vegetacni-dlazba-22975.html>>.

Prelovský, B., 2020: Netradičné sanačné a stabilizačné konštrukcie pri sanáciách zosuvov (online) [cit. 2022.08.04], dostupné z <<https://www.asb.sk/stavebnictvo/inziniarske-stavby/geotechnika/netradicne-sanacne-a-stabilizacne-konstrukcie-pri-sanaciach-zosuvov>>.

PURUPLAST, © 2023: Zatravnovací dlažba (online) [cit. 2023.02.18], dostupné z <<https://www.puruplast.cz/zatravnovaci-dlazba/>>.

Red. 2019: U Moravské Třebové silnici chrání 3D panely. V Česku se na strmých svazích použily poprvé (online) [cit. 2022.08.04], dostupné z <<http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/u-moravske-trebove-silnici-chrani-3d-panely-v-cesku-se-na-strmych-svazich-pouzily-poprve/>>.

STAVOBLOCK SYSTEM, © 2022 a: Montážní příručka Tri-lock (online) [cit. 2023.12.17], dostupné z <<https://www.stavoblock.cz/file/3716/montazni-prirucka-tri-lock.pdf?version=202205021512?v=20220502031239>>.

STAVOBLOCK SYSTEM, © 2022 b: Katalogový list dlažba a protierozní systém TRI-LOCK (online) [cit. 2023.12.17], dostupné z <<https://www.stavoblock.cz/file/3715/katalogovy-list-dlazba-a-protierozni-system-tri-lock.pdf?version=202111161459?v=20211116025958>>.

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. © 2012: Stabilizace a ochrana svahů pomocí geobuněk (online) [cit. 2022.09.10], dostupné z <<https://geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/Stabilizace-a-ochrana-svahu-pomoci-geobunek-Gracias.pdf>>.

14. Seznam obrázků

Obrázek 1: Mechanicky spojená geotextilie netkaná (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 2: Tepelně spojená geotextilie netkaná (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 3: Spodní povrch pletené geotextilie (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 4: Horní povrch pletené geotextilie (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 5: Tkaná geotextilie z extrudovaných pásků (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 6: Tkaná geotextilie z monofilu (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 7: Tkaná geomříž (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 8: Extrudovaná monolitická geomříž (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 9: Extrudovaná spojovaná geomříž (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 10: Třívrstvá geosíť (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 11: Georohož (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 12: Propustná geobuňka (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 13: Drenážní geokompozit s geosítí (Ponikelský, Z. a kol., 2011)

Obrázek 14: Protierozní geokompozit složený z georohože a geomříže (Ponikelský a kol., 2011)

Obrázek 15: Typy gabionů (Číhal, B.: Gabiony (online) [cit. 2023.03.10], dostupné z <<https://www.stavebniklub.cz/33/gabiony-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EvlcoRunmztNJgw2e21-OBikukZUZLWmsA/>>.

Obrázek 16: Aplikace hydroosevu na svah (GABRIEL: Hydroosev na vinici (online) [cit. 2023.03.10], dostupné z <<https://gabriel.cz/projekty/hydroosev-na-vinici/>>.

Obrázek 17: Plošná eroze (Rattayova et al, 2019)

Obrázek 18: Rýžková eroze (Boardman, 2022)

Obrázek 19: Rýhová eroze (Novotný, 2014)

Obrázek 20: Výmolná eroze (Kwaad, 1986)

Obrázek 21: Stržová eroze (Cranfield University: Eroze půdy (online) [cit. 2023.03.10], dostupné z <http://www.soil-net.com/dev/page.cfm?pageid=secondary_threats_erosion>.

Obrázek 22: Různé druhy georohoží (Nývlt, 2023)

Obrázek 23: Ukotvení v koruně svahu (MARCADOR, 2019)

Obrázek 24: Aplikace georohože na svah (Kozák, 2012)

Obrázek 25: Zatravněný svah za pomoci georohože (Kozák, 2012)

Obrázek 26: Různé druhy geomříží (Nývlt, 2023)

Obrázek 27: Různé druhy geosítí (Nývlt, 2023)

Obrázek 28: 3D panel s ocelovými tyčemi, vázací smyčkou a kotvou (Nývlt, 2023)

Obrázek 29: Schéma položeného 3D panelu (Krismer, 2022)

Obrázek 30: Instalovaný systém z 3D panelů, připravený na nástřik humosoidní vrstvy (Kozák, 2022)

Obrázek 31: Výsledné ozelenění (Krismer, 2022)

Obrázek 32: Gabionová zeď (ŘSD: M2 – Gabionové konstrukce pozemních komunikací (online) [cit. 2023.03.13], dostupné z <https://www.rsd.cz/documents/38144/282525/M2_GABION_2022.pdf/bd958d22-b1e7-47ab-e5e3-f9efa03b2e4d?version=1.0&t=1660645845886&download=true>. (ŘSD, 2022)

Obrázek 33: Green Terramesh s částečnou vegetací (Maccaferri: GREEN TERRAMESH SYSTEM INSTALLATION GUIDE (online) [cit. 2023.03.13], dostupné z <https://www.geofabrics.co/sites/default/files/installationguides/GreenTerrameshInstallationGuideNZ_0.pdf>.

Obrázek 34: Zpevněný příkop betonovou dlažbou (Prefa Brno a.s.: Zatravňovací dlažba Andezit® (online) [cit. 2023.03.14], dostupné z <<https://www.prefa.cz/prefa-dekor/betonova-dlazba/zatravnovaci-dlazba-andezit/>>.

Obrázek 35: Kloubová dlažba (STAVOBLOCK SYSTEM: Retenční dlažba (online) [cit. 2023.03.14], dostupné z <<https://www.stavoblock.cz/protierozni-dlazba-dlazba-pro-rybniky-a-brehy>>.

Obrázek 36: Zazeleněný svah vodního toku kloubovou dlažbou (STAVOBLOCK SYSTEM: Retenční dlažba (online) [cit. 2023.03.14], dostupné z <<https://www.stavoblock.cz/protierozni-dlazba-dlazba-pro-rybniky-a-brehy>>.

Obrázek 37: Plastová zatravňovací dlaždice (PROSTAVBU: zatravňovací dlažba geoSYSTEM GE40 max (online) [cit. 2023.03.14], dostupné z <<https://www.zatravnovaci-dlazby.cz/produkt/dlazba-geosystem-ge40-max/>>.

Obrázek 38: Instalace plastové zatravňovací dlaždice (PROSTAVBU: Zpevnění svahu v centru Poznaně (online) [cit. 2023.03.14], dostupné z <<https://www.zatravnovaci-dlazby.cz/realizace/zpevneni-svahu-poznan/>>.

Obrázek 39: Cílový ozeleněný svah (PROSTAVBU: Zpevnění svahu v centru Poznaně (online) [cit. 2023.03.14], dostupné z <<https://www.zatravnovaci-dlazby.cz/realizace/zpevneni-svahu-poznan/>>.

Obrázek 40: Různé velikosti geobuňek (Nývlt, 2023)

Obrázek 41: Rozklad zatížení v geobuňce (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, © 2012)

Obrázek 42: Tabulka pro výběr vhodné geobuňky (GEOMAT: Geobuňky: jejich výhody a možnosti využití (online) [cit. 2023.03.13], dostupné z <<https://www.geomall.cz/blog/jak-vyuzit-geobunky-nejen-pro-stabilizaci-svahu>>.

Obrázek 43: Špatně provedená instalace geobuňek (Kozák, 2021)

Obrázek 44: Geokompozit (Nývlt, 2023)

Obrázek 45: 3D kompozitní síť (Nývlt, 2023)

Obrázek 46: Geotextilie s bodovou výsadbou keřů (GEOMAT: Ekotextilie ze 100% biomasy – Agrotex EKO+ 157g (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <<https://www.geomall.cz/ekotextilie-ze-100-biomasy-agrotex-eko-157g>>.

Obrázek 47: Narušení povrchu svahu na svazích nádraží Zahradního Města (Nývlt, 2023)

Obrázek 48: Tloušťka nahnuté zeminy s hydroosevem na geotextilii (Nývlt, 2023)

Obrázek 49: Instalace protierozní ochrany na porušený svah (Kozák, 2021)

Obrázek 50: Příklad nepatrné instalace georochože v přírodě (MARCADOR, 2022)