

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

VLIV SKLONU SVAHU NA EFEKTIVITU PROTIEROZNÍ
GEOTEXTILIE – LABORATORNÍ STUDIE
DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Bc. Zuzana Kvíčalová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zuzana Kvíčalová

Krajinné inženýrství

Název práce

Vliv sklonu svahu na efektivitu protierozní geotextilie – laboratorní studie

Název anglicky

The effect of slope gradient on the efficiency of an erosion control geotextile – a laboratory study

Cíle práce

Cílem diplomové práce je porovnat účinnost vybrané geotextilie na třech různých modelových sklonech svahu za konstantní intenzity simulovaného zátěžového deště.

Metodika

Práce bude obsahovat literární rešerši přibližující základní pojmy a aktuální stav řešené problematiky (protierozní ochrana nezemědělských svahů s důrazem na geotextilie). Druhá část práce bude experimentální formou zkoumat vliv sklonu svahu na protierozní účinek geotextilie z kokosového vlákna. Data z plochy ošetřené geotextilií budou porovnána s daty z kontrolního svahu (holá půda neošetřená geotextilií) o stejném sklonu. Protierozní účinek bude hodnocen dle objemu povrchového odtoku a ztráty půdy (koncentrace sedimentu v povrchovém odtoku) z modelového svahu zatíženého simulovanou dešťovou srážkou o konstantní intenzitě.

Doporučený rozsah práce

40-60 normostran

Klíčová slova

eroze, povrchový odtok, geotextilie, simulátor deště

Doporučené zdroje informací

- HUANG C., GASCUEL-ODOUX C., CROS-CAYOT S., 2001: Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion. *Catena* 46: 177-188.
- KALIBOVÁ J., JAČKA L., PETRŮ J., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth* 7: 469-479.
- MOZOS J. Á. et al., 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. *Catena* 118: 168-178.
- RICKSON R. J., 2006: Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 550-560.
- SMETS T. et al., 2011: Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. *Land degradation & development* 22: 480-494.
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 ZS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2018

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 12. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jany Kalibové, Ph.D., další informace mi poskytla Ing. Eva Pánková, a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 10.12.2018

Poděkování

V této části bych ráda poděkovala především Ing. Janě Kalibové, Ph.D. za trpělivost a odborné rady a připomínky během přípravy mé diplomové práce. Můj dík patří rovněž mé rodině a blízkým za maximální podporu při jejím vypracování.

V Praze dne 10.12.2018

ABSTRAKT

Diplomová práce porovnává účinnost geotextilie, protierozní sítě z kokosového vlákna o plošné hmotnosti 400 g/m^2 , na sklonech svahu 1:2,5; 1:2 a 1:1,5 vystavených simulovanému dešti o konstantní intenzitě 1 mm/min .

Účinnost je zkoumána s využitím laboratorního simulátoru deště Norton Ladder Rainfall Simulator. V práci jsou porovnávána data získaná z pokusného uměle vrstveného půdního profilu ošetřeného geotextilií s daty získanými z kontrolní plochy, kterou představuje holý půdní profil o totožném sklonu svahu. Protierozní účinek geotextilie je posouzen podle objemu povrchového odtoku, způsobeného simulovaným zátěžovým deštěm, a koncentrace sedimentu v něm obsaženém.

Z výsledků práce vyplývá, že testovaná protierozní síť nejvíce snižuje objem povrchového odtoku po aplikaci na svah o sklonu 1 : 2,5, nicméně nejlepšího výsledku při snižování koncentrace sedimentu obsaženého v povrchovém odtoku bylo dosaženo při jejím využití na svahu o sklonu 1 : 1,5. Z hlediska zkoumaných parametrů je nejméně účinná aplikace vybrané protierozní sítě na svah o sklonu 1 : 2, ale i v tomto případě bylo dosaženo velmi dobrých výsledků.

Výsledky této práce mohou být využity při volbě materiálu určeného k protierozní ochraně strmých svahů nově vzniklých během stavební činnosti.

Klíčová slova: eroze, povrchový odtok, geotextilie, kokosová síť, ztráta půdy erozí, simulátor deště

ABSTRACT

This diploma thesis compares the efficiency of the biodegradable erosion control geotextile, a 400 g/m² coir net installed in laboratory conditions on steep slopes of gradients 1:2,5; 1:2 and 1:1,5 exposed to simulated rainfall of constant intensity 1 mm/min.

The efficiency is explored using the Norton Ladder Rainfall Simulator. The data obtained from the geotextile treated slope with artificially layered soil profile are compared to the data obtained from the control bare soil slope under the same conditions. The performance of the geotextile was assessed by the volume of runoff and soil loss caused by simulated rainfall.

The greatest runoff reduction performed by the geotextile was observed after its application on a slope of gradient 1:2,5, however, the best results in decreasing soil loss was achieved after its installation on a slope of gradient 1:1,5. The results show that, from the point of view of the studied parameters, the coir geotextile was least effective when applied to a slope of gradient 1:2 but even in this case very good results have been achieved.

The results of this work can help in the selection of material intended for the protection of steep slopes created during civil engineering projects realization.

Key words: erosion, overland runoff, geotextile, coir net, soil loss, rainfall simulator

OBSAH

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce	10
3. Metodika	11
3.1 Experimentální prostředí	11
3.2 Použité materiály	11
3.3 Simulátor deště.....	11
3.4 Příprava pokusu a sběr dat	12
3.4.1 Příprava odtokových žlabů.....	12
3.4.2 Simulace deště	13
3.4.3 Sběr dat	14
3.5 Zpracování dat	15
4. Eroze	17
4.1 Pojem eroze a její druhy	17
4.2 Příčiny eroze.....	17
4.3 Povrchový odtok a vodní eroze.....	18
4.4 Erozní modelování	19
4.5 Výzkumné sledování eroze	21
4.6 Následky eroze	22
5. Protierozní opatření	23
5.1 Opatření organizační a agrotechnická	23
5.2 Opatření (bio)technická	24
6. Geotextilie	25
6.1 Druhy a materiály geotextilií.....	25
6.2 Funkce a použití geotextilií	26
6.3 Účinnost geotextilií	26

7.	Výsledky práce	29
7.1	Aplikace geotextilie na sklon svahu 1:2,5	29
7.2	Aplikace geotextilie na sklon svahu 1:2	31
7.3	Aplikace geotextilie na sklon svahu 1:1,5	34
7.4	Zhodnocení vývoje po aplikaci geotextilie	37
8.	Diskuse.....	38
9.	Závěr a přínos práce.....	39
10.	Přehled literatury a použitých zdrojů	40
11.	Přílohy	44

1. Úvod

Eroze půdy je přírodní proces, při kterém dochází působením vody, větru, ledu a dalších činitelů k narušování půdního povrchu, transportu uvolněných půdních částic a k jejich ukládání na jiném místě. Záznamy o erozi půdy jsou dle Janečka (2005) tisíce let staré, relativně nové je však poznání, že člověk svými zásahy může vyvolávat erozi zrychlenou. Zrychlená eroze půdy je patrná na všech člověkem modifikovaných svazích (Sutherland et Ziegler, 2007).

Tvorba jednoho centimetru půdy trvá za příznivých podmínek desítky až stovky let (Jenny, 1941), zajišťovat preventivní protierozní ochranu je proto mnohem efektivnější, než snahy vrátit degradovanou půdu do původního stavu.

Projekty stavebního inženýrství, jako jsou výstavba nových cest, budování ochranných hrází a stabilizace svahů nádrží, jsou často doprovázeny vznikem strmých svahů, které tvoří narušená holá půda bez vegetace velmi citlivá na procesy povrchového odtoku a eroze. Takový stav má za následek ztrátu půdy ze svahu, zanášení řek a nádrží sedimentem a v neposlední řadě může být příčinou dopravních nehod (Cerdá, 2007).

Biologicky rozložitelné geotextilie mají potenciál významně snížit ztrátu půdy v ohrožených oblastech a zajistit stabilitu svahů (Tauro et al., 2018). Geotextilie se využívají v protierozní ochraně již více než 50 let (Mitchell, 2003 in Bhattacharyya, 2010) a na téma jejich účinnosti bylo zpracováno již několik studií, které hodnotí jejich efektivitu v různých souvislostech a prostředích, nicméně samostatnému zkoumání vlivu sklonu svahu na efektivitu protierozních geotextilií nebyla dosud věnovaná příliš velká pozornost.

2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je porovnat účinnost protierozní geotextilie z kokosového vlákna JUTENON ECC o plošné hmotnosti 400 g/m^2 na modelových sklonech svahu 1:2,5; 1:2 a 1:1,5 za konstantní intenzity simulovaného zátěžového deště 1 mm/min . Účinnost bude hodnocena dle objemu povrchového odtoku a ztráty půdy z modelového svahu. Součástí práce bude literární rešerše představující stručný souhrn problematiky povrchového odtoku a eroze a jejich řešení za využití protierozních geotextilií.

Výstup práce bude tvořen sérií dat o povrchovém odtoku a koncentraci sedimentu naměřených v průběhu testování na jednotlivých sklonech uspořádaných do tabulek a grafů.

3. Metodika

3.1 Experimentální prostředí

Testování účinnosti zvolené protierozní geotextilie (dále také GTX) probíhalo v plně zařízené Erozně-sedimentologické laboratoři Mezifakultního centra environmentálních věd České zemědělské univerzity v Praze v období říjen 2017 - duben 2018. Pro účely hodnocení laboratoř disponovala simulátorem deště s příslušenstvím (viz kapitola 3.3), dataloggerem překlopných průtokoměrů, sušárnou, kompresorem a základním laboratorním vybavením, jako jsou odměrné válce, baňky, nálevky a filtrační papíry.

3.2 Použité materiály

Hodnocení probíhalo na zvolené protierozní síti z kokosového vlákna JUTENON ECC o plošné hmotnosti 400 g/m^2 (dále také C 400). Umělý svah byl modelován pomocí zeminy získané ze stavební skrývky z oblasti Trutnovska. Zrnitostní složení půdy bylo určeno sedimentační metodou zrnitostního rozboru za využití zrnitostní křivky. Tuto metodu popisuje Valla (2004). Podle Novákovy klasifikace se jednalo o zeminu hlinitopísčitou, dle Kopeckého pak o písek hlinitý.

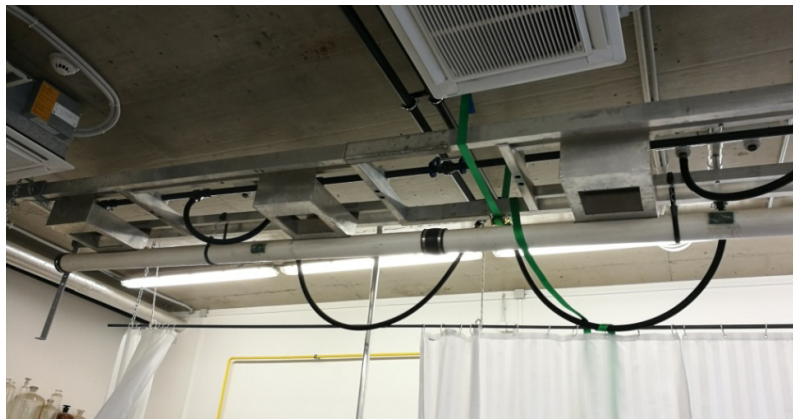
3.3 Simulátor deště

Výzkum eroze půdy probíhal za využití simulátoru deště Norton Ladder Rainfall Simulator. Určení simulátoru je pro laboratorní i terénní simulace deště. Konstrukce simulátoru je tvořena hliníkovým rámem, který nese čtyři trysky pro ostřík až čtyř výzkumných ploch, oscilační mechanismus, motor, systém rozvodu vody - přívod vody ze zásobní nádrže k tryskám a odvod přebytečné vody do zásobní nádrže, ventily a tlakoměry. Trysky jsou umístěny na rámu ve vzdálenosti 1,37 m. Tato část rámu vykonává kývavý pohyb a tím dochází k rovnoměrnému ostříku plochy (viz Obr. 1).

Na tryskách byl udržován stálý tlak vody 0,41 MPa. Intenzita deště byla dále upravena frekvencí kyvů potrubí s tryskami, která byla nastavena pomocí kontrolní jednotky simulátoru, na které lze upravit intenzitu kmitů trysek a typ kmitů

(jednoduchý / dvojité). Pomocí kontrolní jednotky je dále zapínán a vypínán motor simulátoru a kmitání trysek.

Simulátor je v laboratoři umístěn nad čtyřmi plastovými sklopnými odtokovými žlaby (viz Obr. 2). U každého žlabu je možné nastavit sklon do maxima 33° (odpovídá sklonu 1:1,5). Všechny žlaby obsahují box o rozměru 1,1 x 1,1 m s půdou umístěnou na plechovém roštu zakrytém geotextilií, který umožňuje odtok infiltrované vody do měrných nádob. Povrchový odtok je sveden do trojúhelníkové části v čele žlabu, odkud odtéká do mechanických překlopných průtokoměrů napojených na datalogger, jež slouží k automatickému záznamu času a počtu překlopení pro zjištění celkového objemu odtoku.



Obr. 1 Konstrukce simulátoru deště

3.4 Příprava pokusu a sběr dat

3.4.1 Příprava odtokových žlabů

K naplnění boxů půdou byl odebrán svrchní horizont půdního profilu ze skrývky. Tento vzorek byl proset přes síto o velikosti oka 20 mm a rozprostřen na plachtu v tloušťce cca 10 centimetrů, kde prosychal při pokojové teplotě 24 hodin. Takto připravená půda byla vložena do boxů na filtrační geotextilii ve 4 vrstvách o mocnostech 4, 2, 2 a 2 cm s ohledem na to, aby nejsvrchnější vrstva končila v rovině s okrajem boxu a nedocházelo k hromadění vody v boxu, nýbrž k přímému odvodu povrchového odtoku do sběrného žlabu. Každá vrstva půdy byla rovnoměrně rozprostřena pomocí rovného prkna a upěchována tlakem cihly. Aplikované množství půdy v jednotlivých vrstvách každého boxu bylo předem zváženo, a malý

vzorek půdy byl odebrán ke stanovení vlhkosti půdy gravimetrickou metodou. Měrná hmotnost půdy byla stanovena pyknometricky dle Rejška (1999) a její hodnota činila $2,63 \text{ g/cm}^3$.

Požadovaný sklon odtokového žlabu byl nastaven pomocí závitové tyče umístěné pode dnem a žlab byl srovnán tak, aby tryska simulátoru deště směřovala na jeho střed. Trojúhelníková část sběrného žlabu určená k odvodu povrchového odtoku byla vyčištěna od nečistot a doplněna vodou po hrdlo odtoku tak, aby nedošlo k zadržení vody z povrchového odtoku ve sběrném žlabu. Nakonec byla tato část zakryta ochrannou fólií, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků vodou ze simulovaného deště.

Překlopné průtokoměry napojené na konce odtoků ze sběrných žlabů byly pomocí závaží nakalibrovány tak, aby docházelo k jejich překlápění po naplnění obou komor stejným objemem vody a byly připojeny k dataloggeru, který pomocí elektromagnetických senzorů zaznamenával počet překlopení. Zařízení bylo pomocí USB rozhraní připojeno k PC a naměřená data byla automaticky ukládána každou 1 minutu.



Obr. 2 Připravené sběrné žlaby

3.4.2 Simulace deště

Zdroj vody pro simulaci deště během experimentu představovala nádrž o objemu 1 m^3 , která byla plněna z vodovodního řadu. Za využití čerpadla byla voda vytlačována potrubím k simulátoru umístěnému pod stropem laboratoře. Pomocí ventilu pro regulaci tlaku vody na simulátoru, umístěném na výtlačném potrubí, byla

upravena hodnota tlaku na tryskách na 41 kPa. Provoz simulátoru byl ovládán řídicí jednotkou, kde byla nastavena hodnota intenzity simulovaného deště 4 a typ kmitů Single. Takto nastavené hodnoty simulátoru distribuují umělý déšť o intenzitě 1 mm/min. Pomocí řídicí jednotky byl rovněž zapnut motor simulátoru a kmity trysek.

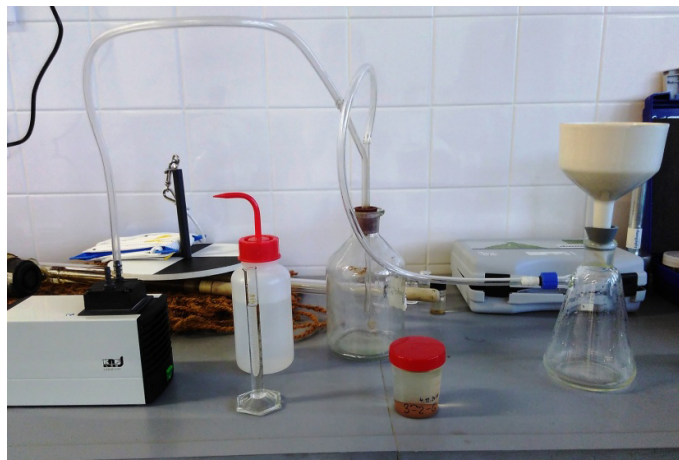
3.4.3 Sběr dat

Pro účely experimentu byl navržen zátěžový déšť o době trvání 15 minut a intenzitě 1 mm/min. Po ostřiku plochy následovala 15 minut pauza, která umožnila dotok vody zadržené půdou či geotextilií povrchovým odtokem a infiltrací. Pro kontrolní svah i pro svah ošetřený geotextilií bylo provedeno vždy pět opakování měření pro konkrétní sklon. Účinnost geotextilie byla testována na třech sklonech svahu nejběžněji používaných při budování svahů a násypů během stavební činnosti, zejména při stavbě pozemních komunikací, kterými jsou dle technických podmínek protierozních opatření na svazích pozemních komunikací sklony 1:2,5; 1:2 a 1:1,5. Během měření byly odebírány vzorky povrchového odtoku pro stanovení koncentrace sedimentu. Vzorky byly odebírány v každé 3., 6., 9., 12. a 15. minutě měření do plastových uzavíratelných vzorkovnic o objemu 100 ml označených datem a kódem x - x - xx, představujícím číslo žlabu (1, 2) - opakování měření (1 - 5) - minutu odběru vzorku (3, 6, 9, 12, 15). Odběr vzorků probíhal vložením vzorkovnic do zdroje povrchového odtoku v místě napojení průtokoměrů na odtokové žlaby a odebráno bylo celkem 25 vzorků pro každý testovaný sklon, včetně prázdných variant, kdy povrchový odtok nenastal do tří minut od zahájení ostřiku plochy. Zaznamenán byl rovněž počátek povrchového odtoku.

Objem povrchového odtoku byl měřen pomocí překlopných průtokoměrů napojených na odtokové žlaby. Průtokoměr napojený na žlab číslo 1 byl nakalibrován tak, aby došlo k jeho překlopení po naplnění objemem 655 ml, druhý se překlopil po naplnění objemem 1245 ml.

Pro určení koncentrace sedimentu ve vzorcích povrchového odtoku bylo nutné vzorky přefiltrovat. Pro rychlejší získání dat bylo využito podtlakové filtrace za pomoci vývěvy (viz Obr. 3). Vzorky ve vzorkovnicích byly protřepány a filtrovány přes filtrační papír o známé hmotnosti, který byl před vážením sušen v sušárně 24 hodin při teplotě 105°C a označen číslem. Objem přefiltrovaného

vzorku byl zaznamenán včetně objemu přidané vody potřebné k lepšímu uchycení filtračního papíru v nálevce a k vypláchnutí zbytku vzorku sedimentu ze vzorkovnice. Objem odebraného vzorku byl stanoven po odečtení množství přidané vody poté, co byl celkový objem změřen odměrným válcem. Filtrační papír se sedimentem byl následně vložen do sušárny, kde se sušil při teplotě 105°C po dobu 24 hodin a poté byl opět zvážen. Od zaznamenané hmotnosti vysušeného vzorku bylo potřeba odečíst hmotnost filtračního papíru a následně byla z rozdílu hmotností určena hmotnost sedimentu. Na základě objemu povrchového odtoku a hmotnosti sedimentu byla stanovena koncentrace sedimentu ve vzorku.



Obr. 3 Filtrace vzorků

3.5 Zpracování dat

Během testování vybrané geotextilie byla veškerá data zapisována ručně do papírových tabulek a poté byla přepsána a dále zpracována v programu balíčku Microsoft Office 2007 - Excel. Data byla pro účely analýz zpracována do přehledných tabulek a grafů (viz Obr. 4 - 9 a Přílohy 1 - 3).

V průběhu měření přímo byla zaznamenána data o sklonu svahu, intenzitě zátěžového deště, počátku povrchového odtoku jako doby uběhlé od začátku simulované dešťové srážky a počtu překlopení průtokoměrů. Po uplynutí doby určené k dotoku zbylé vody, která činila 15 minut po ukončení ostříku zkoumané plochy simulovaným deštěm, byl doplněn rovněž údaj o objemu vody infiltrované půdou. Data byla vložena do tabulek (viz Tabulky 1, 2, 4, 5, 7 a 8) a došlo ke stanovení celkového objemu povrchového odtoku (značeno také PO) na konci

měření (po uplynutí doby určené k dotoku) jako součinu počtu překlopení průtokoměru a jeho objemu, který činil 655 nebo 1 245 ml v závislosti na použitém průtokoměru. Později byla tato hodnota upřesněna o objem odebraných vzorků.

Při filtraci vzorků odebraných ke stanovení koncentrace sedimentu byla přidána a zpracována data o hmotnosti filtračních papírků, objemu vzorku, objemu přidané vody a hmotnosti sedimentu. Výsledná koncentrace sedimentu v jednotlivých vzorcích povrchového odtoku byla stanovena jako hmotnost vysušeného sedimentu k objemu vzorku v jednotkách g/ml (viz Rovnice 1).

$$c = \frac{m_s}{V} \quad (1)$$

kde: c koncentrace sedimentu [g/ml]
 m_s ... hmotnost sedimentu [g]
 V objem vzorku [ml]

Vyhodnocení zlepšení či zhoršení stavu po aplikaci geotextilie bylo provedeno analogicky dle Kalibové et al. (2016) vyjádřením výsledných hodnot získaných ze svahů ošetřených geotextilií jako podílu hodnot získaných z kontrolního svahu v procentech (viz Rovnice 2 - 4).

$$RR_{15} = \frac{R_{15 \text{ geotextilie}}}{R_{15 \text{ kontrola}}} \cdot 100 \quad (2)$$

kde: RR_{15} poměr povrchového odtoku [%]
 $R_{15 \text{ geotextilie}}$... povrchový odtok ze svahu ošetřeného GTX [ml]
 $R_{15 \text{ kontrola}}$ povrchový odtok z kontrolního svahu [ml]

$$QR = \frac{Q_{\text{geotextilie}}}{Q_{\text{kontrola}}} \cdot 100 \quad (3)$$

kde: QR poměr průměrných hodnot PO [%]
 $Q_{\text{geotextilie}}$... průměrný PO ze svahu ošetřeného GTX [ml]
 Q_{kontrola} průměrný PO z kontrolního svahu [ml]

$$SLR = \frac{SL_{\text{geotextilie}}}{SL_{\text{kontrola}}} \cdot 100 \quad (4)$$

kde: SLR poměr koncentrace sedimentu [%]
 $SL_{\text{geotextilie}}$... koncentrace sedimentu na svahu s GTX [g/ml]
 SL_{kontrola} koncentrace sedimentu na kontrolním svahu [g/ml]

4. Eroze

4.1 Pojem eroze a její druhy

Eroze je nejčastěji charakterizována jako přírodní proces, při kterém dochází působením vody, větru a ledu, ale i dalších erozních činitelů k rozrušování povrchu půdy, transportu půdních částic a jejich opětovnému usazení na jiném místě. Jedná se o proces mechanické degradace, která má za následek zarovnávaní zemského povrchu (planaci). Erozi můžeme rozlišovat geologickou (normální) a zrychlenou, kterou způsobuje člověk svými zásahy.

Jelikož máme několik erozních činitelů, tak i eroze se dělí na několik druhů. Můžeme ji dělit na erozi vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou (nivální) a další. V našich podmínkách se jedná zpravidla o erozi vodní a větrnou (Janeček et al., 2005). Téma této diplomové práce a využití geotextilií se váže především k erozi vodní, ostatní druhy eroze jsou zde proto pouze zmíněny.

4.2 Příčiny eroze

Vznik erozního procesu, jeho průběh a intenzita jsou ovlivněny působením řady faktorů, které uvádí Janeček (2005) následovně.

U vodní eroze můžeme tyto faktory rozdělit na:

- klimatické a hydrologické - zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství, rozdělení a intenzita srážek, povrchový odtok, teplota, výpar, výskyt, směr a síla větru
- morfologické - sklon, tvar, délka a expozice svahu
- půdní a geologické - půdní druh a typ, textura a struktura půdy, vlhkost půdy a obsah humusu, povaha horninového substrátu
- vegetační - délka trvání a hustota vegetačního krytu
- způsob obhospodařování půdy

Mezi faktory ovlivňující erozi větrnou patří faktory:

- klimatické - vlhkost území a intenzita, směr a četnost větrů
- půdní - drsnost půdního povrchu, vlhkost půdy, druh a struktura půdy

- morfologické - orientace k převládajícímu směru větru, délka území
- vegetační - délka trvání a hustota vegetačního krytu
- způsoby obhospodařování půdy

4.3 Povrchový odtok a vodní eroze

Janeček (2005) uvádí, že průměrně na každém místě na území ČR se jedenkrát za rok vyskytne 5 až 6 krátkodobých přívalových dešťů se srážkovým úhrnem nad 10 mm. Zejména na svažitéch pozemcích dochází při těchto deštích ke zvýšenému povrchovému odtoku, jestliže jejich intenzita a úhrn překračuje počáteční akumulaci půdy a intenzitu infiltrace. Tento jev nastává také v období jarního tání, kdy nasycená a zmrzlá půda nestačí vodu vsakovat. Povrchově odtékající voda se soustřeďuje a vytváří v půdě rýžky, rýhy a občas až strže. Odtok z horních částí povodí stéká dolů různými druhy proudění, které jsou ovlivňovány několika faktory, jako je rozložení srážek v prostoru a čase, akumulace v povodí, hydraulika vodního toku apod. Voda může dosáhnout soustředěného odtoku koryty několika způsoby. Procesy, které přepravují srážkovou vodu, jejich objem a načasování se liší s vlastnostmi půdy, charakterem dešťové srážky, topografií a nepřímo s klimatem, vegetací a land use (Kirkby, 1978).

Na světě tvoří až 62 % srážek povrchový odtok, který je společně s kinetickou energií deště hlavním erozním činitelem (Kalibová, 2016).

Povrchový odtok může být rozdělen do tří fází (Beven, 2011 ex. Kalibová, 2016):

1. Fáze nasycování půdy, kdy intenzita deště nepřekračuje intenzitu infiltrace a nevzniká povrchový odtok. Srážková voda je na ploše zadržena v povrchových depresích.
2. Fáze plošného odtoku, kdy intenzita deště překračuje intenzitu infiltrace. Voda začne stékat ve směru největšího sklonu svahu k uzávěrovému profilu.
3. Fáze soustředěného odtoku říční sítí, na kterém se podílí i podpovrchový odtok.

Hydrologické podklady pro navrhování protierozních opatření by měly vycházet ze sledovaných průtoků v uzávěrovém profilu povodí. Ke stanovení potřebných návrhových parametrů, jako je kulminační průtok a objem odtoku je užíváno hydrologických modelů, které vyjadřují vliv charakteristiky povodí na odtokový proces. Jednoduchou a poměrně přesnou metodou pro určení srážkoodtokového vztahu je například Metoda čísel odtokových křivek - CN (curve number) zavedená Službou ochrany přírodních zdrojů Ministerstva zemědělství USA. Tato metoda určuje objem přímého odtoku s předpokladem, že objem odtoku k úhrnu přívalové srážky je roven objemu zadržené vody k potenciálnímu zadržnému objemu (Janeček et al., 2008).

Vodní eroze rozrušuje povrch půdy především působením kinetické energie dopadajících dešťových kapek na nechráněný povrch půdy a následně unášecí silou povrchového odtoku. Můžeme ji rozdělit na vodní erozi plošnou, rýžkovou, rýhovou, výmolovou a proudovou. Plošná eroze představuje narušování půdy rovnoměrně po celé ploše pozemku. Jejím působením se v některých případech snižuje půdní profil až na horninové podloží. Janeček (2005) dále dělí tento druh eroze na dvě fáze. První fází je kapková eroze, kterou dochází k vytvoření drobných jamek na povrchu půdy. Další fází je eroze, vznikající při pohybu vody po nakloněné ploše svahu. Rýžková eroze o hloubce a šířce rýžek několik centimetrů vzniká soustředěním plošného odtoku. Při postupném prohlubování stružek způsobeném větším soustředěním vody vznikají erozní rýhy. Nejvyšší formu vodní eroze představují strže, jejichž příčný profil převyšuje rozměr 1 m.

4.4 Erozní modelování

Erozní modelování představuje relativně nový přístup k prostorové predikci náchylnosti půdy k různým druhům eroze (Feiznia et al., 2018). K určení ztráty půdy erozí je k dispozici množství modelů. Obecně můžeme modely rozdělit na dvě skupiny - empirické a fyzikální modely. Ke stanovení roční míry erozního smyvu jsou ve všech klimatických oblastech používány empirické modely. Tyto modely jsou jednoduché a nevyžadují příliš mnoho vstupních dat. Nevýhodou těchto modelů je, že nezohledňují účinek extrémního deště (Shrestha et Jetten, 2018). V České republice se ke stanovení ohroženosti půd vodní erozí a hodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření využívá Univerzální Wischmeier-Smithova

rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí - USLE (viz Rovnice 5). Rovnice je odvozena z principu jednotkového pozemku o délce 22,13 m a sklonu svahu 9 %, bez vegetace následovně (Janeček et al., 2012):

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (5)$$

kde: G ... průměrná roční ztráta půdy $[t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}]$
R ... faktor erozní účinnosti deště $[MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}]$
K ... faktor erodovatelnosti půdy $[t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1}]$
L ... faktor délky svahu
S ... faktor sklonu svahu
C ... faktor ochranného vlivu vegetačního krytu
P ... faktor účinnosti protierozních opatření

Jedná se o velmi jednoduchou rovnici, pro jejíž rutinní využití byla vytvořena sada katalogů vstupních dat. Výsledek rovnice představuje hodnotu průměrné roční ztráty půdy v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ (Kadlec, 2014). Další možností z řady empirických modelů je Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy - RUSLE, která je upravena tak, aby ji bylo možné aplikovat nejen na zemědělské půdě, ale i na nezemědělsky využívaných územích, například na staveništích. RUSLE byla vyvinuta z USLE změnou v postupu určení erozních faktorů (Janeček et al., 2005).

Fyzikální modely integrují experimentální informace a po správné kalibraci mohou být využity k tomu, aby prozkoumaly možnou odezvu systému během různých scénářů (Morgan, 2002 in Guzmán, 2015). Mají také mnohem sofistikovanější strukturu, která jim umožňuje lépe popsat vliv a interakce různých faktorů ovlivňujících erozi. Tyto modely často poskytují i jiný typ informací, než jaký poskytují modely empirické, jako například model WEPP, který odhaduje časové a prostorové rozložení ztráty půdy, produkci sedimentu, objem odtoku, bilanci půdní vody a další (Nearing, 1998). Nejlepším možným modelem pro predikci ztráty půdy erozí je podle Nearinga (1998) fyzikální model, který je reálnou replikou skutečného území. Vstupy tohoto modelu představují podobný typ půdy, využití půdy, velikost, tvar, sklon a klima. Tyto modely ovšem zvyšují nároky na vstupní data a vyžadují kalibraci pro podmínky šetřeného území. Kladou také vyšší nároky na znalosti uživatelů a jejich schopnost práce s výpočetní technikou (Janeček, 2008). Využití simulačních modelů je v současnosti spojováno

s prostředky GIS. Principem metod využití geografických informačních systémů je, že podkladová data pro výpočet jsou převedena do mapových vrstev GIS a poté do rastru. Nejpoužívanějším nástrojem využívajícím GIS je v současnosti model USLE2D. Mezi simulační modely vodní eroze používané v České republice dále patří např. HydroCAD, SMODERP, KINFIL, EROSION 2D/3D, WEPP a další (Janeček et al., 2012). Aby bylo možné vyvinout model predikce eroze, je zapotřebí porozumět vztahům mezi stavem povrchu a procesy odtoku a tvorby sedimentu v různých prostorových a časových měřítkách (Huang et al., 2001).

4.5 Výzkumné sledování eroze

Poznání zákonitostí procesu vodní eroze je založeno na terénním pozorování a laboratorních experimentech (Janeček et al., 2005). Výzkum eroze je ztěžován především tím, že se jedná o proces přerušovaný. Zpravidla se proto zkoumají následky eroze v podobě ztrát půdy z pozemku a produkce sedimentu. Asi nejpřesněji můžeme intenzitu a průběh eroze zjistit na přesně vymezených odtokových parcelkách zachycováním odtékající vody a smyté zeminy. Parcelky se navrhuje o ploše 100 m², tedy o šířce 2 - 4 a délce 20 - 40 metrů. Tyto jsou od sebe odděleny zábranami z plechu či plastu nebo zatravněnými hrázkami. Parcelky jsou zakončeny žlaby k zachycení povrchového odtoku ústícími do sedimentačních nádrží.

Jelikož je výskyt dešťů způsobujících erozi na našem území náhodný a nepravidelný, je efektivnější založit sledování eroze na metodě simulovaných srážek, avšak simulovaný déšť je možné aplikovat pouze na omezené ploše a nemůže zcela nahradit erozní působení přirozené srážky (Janeček et al., 2008). Dešťové simulátory mohou produkovat rovnoměrně rozložené srážky s odpovídající velikostí dešťových kapek a kinetickou energií blízkou přirozenému dešti (Mhaske et al., 2019). Hlavní výhodou je, že simulátory mohou vyvinout širokou škálu intenzit umělého deště, aniž by bylo nutné čekat na déšť přírodní (Navas et al., 1990). Simulátory deště jsou zpravidla charakteristické přenosností, mobilním zdrojem vody, ohraničenou testovací plochou, postřikovacím mechanismem a zařízením pro soustředění a měření povrchového odtoku a erozního smyvu. Simulátory jsou důležité nástroje pro výzkum eroze a infiltrace, které produkují reálná data vhodná k dalšímu studiu a umožňují opakování dešťových srážek kdykoli a kdekoli.

Podle produkce deště mohou být děleny na simulátory kapkovací, které jsou vhodné pro malé plochy v laboratorních podmínkách a tryskové. V České republice jsou konstruovány dva typy simulátorů a to přenosný kapkovací polní simulátor a tryskový převozný simulátor, jehož záběr plochy umožňuje rozvinout povrchový odtok a odnos půdních částic (Janeček et al., 2008).

Ačkoli laboratorní experimenty provází řada nedostatků v podobě zjednodušení polních podmínek (vlhkost a struktura půdy, půdní profil, délka pozemku apod.), Smets (2011) prokázal, že rozsah a průměrné hodnoty povrchového odtoku a ztráty půdy naměřené v polních podmínkách a při laboratorních experimentech jsou velmi podobné.

Tato diplomová práce je založena na laboratorním experimentu s využitím simulátoru deště z důvodu menší časové náročnosti (bez nutnosti čekání na přirozenou dešťovou srážku) a možnosti násobného opakování experimentu za konstantních podmínek.

4.6 Následky eroze

Degradace půdy způsobená erozí má za následek snížení její produkční schopnosti. Zrychlená eroze ochuzuje půdu o ornici, která představuje její nejúrodnější část a zmenšuje mocnost půdního profilu (Novotný et al., 2017). V půdě dochází k nepříznivým změnám v koloběhu živin a organické hmoty, změnám v textuře a struktuře půdy a zároveň také k nepříznivým změnám jejích chemických a fyzikálních vlastností. Změny fyzikálních vlastností půdy zahrnují nepříznivou změnu její objemové hmotnosti, vodní kapacity, pórovitosti a infiltrační schopnosti. Ke změnám chemických vlastností půdy dochází snižováním obsahu organické hmoty a minerálních látek v půdě vedoucích ke snížení úrodnosti půd.

Eroze půdy má nejen ekonomický dopad, ale působí také škody za hranicemi postižených pozemků, kde dochází k zanášení vodních toků a případně i nádrží sedimentem. Erozní smyvy obsahují nejvíce jílových, prachových a organických látek, které mají velkou schopnost absorpce patogenních organismů, pesticidů, rostlinných živin a chemických látek. Sedimenty tedy přímo ovlivňují život korýšů, měkkýšů a ryb ve vodních ekosystémech. Vysoký koloidní zákal rovněž zhoršuje či až znemožňuje proces úpravy vody. Nejvíce splavenin pochází z eroze zemědělské

půdy, ale náchylné jsou rovněž obnažené stavební plochy, nezpevněné lesní a polní cesty a břehy koryt vodních toků. V některých případech může smyv z těchto ploch převyšovat smyv ze zemědělských půd.

Za příznivých podmínek vyžaduje pro svůj vznik vrstva půdy o mocnosti 2 - 3 cm 200 až 1000 let. Zajišťovat preventivní protierozní ochranu je mnohem efektivnější, než snahy vrátit degradovanou půdu do původního stavu zúrodňujícími opatřeními (Janeček et al., 2005).

5. Protierozní opatření

Půdu je potřeba na svazích chránit před vodní erozí protierozními opatřeními. Ochrana proti vodní erozi spočívá v ochraně půdy před účinky dopadajících dešťových kapek, v zachycení vody odtékající po povrchu půdy, podpoře vsaku povrchového odtoku do půdy, snížení rychlosti odtékající vody a zachycení smyté zeminy. Jednotlivé způsoby ochrany jsou používány s ohledem na požadované snížení smyvu půdy, potřebnou ochranu objektů a jejich účinnost. Jedná se o kombinaci organizačních, agrotechnických a technických opatření, která respektují základní požadavky a možnosti současné zemědělské výroby. Při návrhu protierozních opatření je z finančního hlediska nutné navrhovat od nejjednodušších opatření organizačních a agrotechnických k opatřením technickým (MZe ©2011).

Návrhu protierozních opatření předchází průzkum, kterým se získají podklady potřebné k posouzení hydrologických poměrů v území a stanovení erozní ohroženosti. Nedílnou součástí průzkumu je rekognoskace terénu, která upřesňuje hydrologické poměry, organizaci a využití půdního fondu, způsob hospodaření na pozemku a nesrovnalosti mapových podkladů v porovnání se současným stavem. Návrh ochrany půdy před vodní erozí se skládá ze tří etap. Nejprve je potřeba vyhodnotit ohroženost řešeného území, poté navrhnout protierozní opatření a na závěr posoudit návrh z hlediska účinnosti (Janeček et al., 2008).

5.1 Opatření organizační a agrotechnická

Protierozní opatření organizačního charakteru spočívají v organizaci činností na pozemku. Základem těchto je orientace zemědělských pozemků delší stranou

na směr vrstevnic, volba vhodného tvaru a velikosti pozemků a vymezení parcel ke změně druhů pozemků. V protierozní ochraně hraje důležitou roli vegetační kryt. Mezi organizační protierozní opatření proto řadíme i protierozní rozmísťování plodin, pásové střídání plodin a v krajních případech aplikované ochranné zatravnění pozemku.

Agrotechnická opatření spočívají v technologii zpracování půdy a mají za úkol minimalizovat dobu, kdy je půda bez vegetačního krytu. Mezi tato protierozní opatření řadíme technologie ochranného zpracování půdy, které představují bezorebné obdělávání půdy. Přínosem v protierozní ochraně je rovněž ponechání posklizňových zbytků na povrchu zemědělské půdy a zařazení meziplodin do osevních postupů zahrnujících širokořádkové plodiny (Janeček et al., 2012).

5.2 Opatření (bio)technická

Protierozní opatření technického charakteru se navrhují po vyčerpání možností protierozních opatření organizačních a agrotechnických. K jejich realizaci často vede potřeba ochrany sousedních pozemků a infrastruktury před povrchovým odtokem (Kadlec et al., 2014). Opatření slouží především k vyrovnání terénních nerovností a ke snížení podélného sklonu velmi prudkých svahů. Jejich účelem je také chránit okolní pozemky před cizí vodou a neškodné odvedení a retardace povrchového odtoku. Janeček (2008) dále dělí tato opatření na dvě skupiny. První skupinu tvoří zemní úpravy, jako jsou terénní urovnávky a budování teras a mezí, druhou skupinou jsou pak hydrotechnické prvky jako průlehy, příkopy, ochranné hrázky či nádrže. Geotextilie lze zařadit mezi technicko-biologické způsoby stabilizace terénu využitelné při bioinženýringu (viz níže).

Hlavním rozdílem mezi technickými protierozními opatřeními a ostatními typy opatření je jejich technický charakter patrný na způsobu navrhování a realizace. Jedná se o opatření investiční a je potřeba tato posuzovat v souladu se Stavebním zákonem č. 183/2006 Sb., v platném znění. Česká státní norma ČSN 75 4500 - Protierozní ochrana zemědělské půdy rozeznává jako technická protierozní opatření terénní urovnávky, terasy, příkopy, průlehy, vsakovací pásy, sedimentační pásy, zatravněné údolnice, ochranné hrázky, sanace erozních výmolů a strží, ochranné nádrže a polní cesty s protierozní funkcí (Kadlec et al., 2014).

Nejefektivnějším protierozním opatřením je především na nově vytvořených svazích využití vegetace v kombinaci s inertními materiály, tzv. bioinženýring. Bioinženýring zahrnuje techniky, které využívají rostliny jako živé stavební materiály k ochraně před přírodními riziky, jako jsou eroze půdy, povodně a sesuvy půdy (Rey et al., 2019). K ochraně strmých svahů je doporučena aplikace materiálů, které podporují zapojení vegetace, jako jsou tmelící materiály na bázi škrobů, polymerů nebo mulčovací, jako je sláma, seno, dřevěná vlákna a protierozní příkrývky. Mezi opatření poskytující jednoduchou, rychlou a účinnou ochranu na strmých svazích patří drnování, mulčování, aplikace hydroosevu nebo travních rohoží a geotextilií (Janeček et al., 2008).

6. Geotextilie

Horáčková (2007) popisuje geotextilii dle ČSN EN ISO 10320 jako plošný, propustný, polymerní (přírodní nebo syntetický) textilní materiál, který je používán v kontaktu se zemínou či jinými materiály při jeho použití v geotechnice nebo stavebnictví. Geotextilie získávají v posledních letech stále větší význam při utváření krajiny. Jedná se o materiály, které významně snižují rozsah a intenzitu eroze, protože jejich ochranný účinek po aplikaci na půdu je okamžitý. Geotextilie také zabraňují vymývání osiva a podporují upevnění kořenového systému vegetace (Dvorscak et Hrib, 2004).

6.1 Druhy a materiály geotextilií

Podle způsobu výroby můžeme rozlišovat geotextilie netkané, tkané, pletené, geomříže, geokompozity a georohože (Horáčková, 2007).

Geotextilie mohou být vyhotoveny z různých výrobních materiálů. Jedná se o syntetické materiály, jako je polypropylen, polyester a polyetylen, nebo přírodní materiály, nejčastěji jutové a kokosové vlákno. Prodejce geotextilií GEOMAT s.r.o. dále uvádí životnost kokosové geotextilie pro zpevnění svahů 3 - 5 let. Jutová síť má proti tomu životnost pouze 2 roky a poté obě přírodní varianty slouží jako přírodní hnojivo. Hustota vláken je v případě kokosové sítě nejčastěji 400 nebo 700 g/m², v případě juty je tato hodnota 500 g/m². Rozdíl v ceně obou přírodních variant je nevelký, přičemž síť z kokosového vlákna jsou zpravidla o trochu dražší.

6.2 Funkce a použití geotextilií

Geotextilie mají širokou škálu využití. Jejich funkce může být filtrační, separační, drenážní, ochranná, výztužná nebo protierozní. Lze je použít pro zpevnění svahů, zlepšení podloží, vyztužení asfaltu, ale také při protierozní ochraně, při stavbě opěrných zdí a mostů či budování skládek a jejich odvodnění (GEOMAT s.r.o. ©2018).

Protierozní ochranná funkce geotextilií je zajištěna kombinací funkce separační, filtrační a vyztužovací. Spočívá v prevenci nebo omezení pohybu zeminy, zabránění vyplavování částic zeminy a v ochraně vegetace do doby jejího uchycení. Běžně využívané jsou geomříže, georohože a geosítě z přírodních materiálů či polypropylenu. Pro dlouhodobou ochranu jsou využívány geosítě z pevných materiálů (Morgan et Rickson, 1995).

6.3 Účinnost geotextilií

Analýzy vztahů mezi vlastnostmi geotextilií a tvorbou sedimentu (erozí) pomáhají identifikovat, které vlastnosti jsou důležité při ovlivňování jejich účinnosti. Jako významné vlastnosti protierozních geotextilií uvádí Rickson (2006) procentuální pokrytí, drsnost způsobenou geotextilií, vodní kapacitu geotextilie, hmotnost mokré geotextilie a její schopnost zvýšit hloubku odtoku. Ciubotariu (2010) považuje za rozhodující vlastnosti geotextilií jejich mechanickou reakci, filtrační schopnost a chemickou odolnost. Horáčková (2007) za Textilní zkušební ústav v Brně uvádí jako rozhodné vlastnosti při protierozní ochranné funkci geotextilií pevnost v tahu, tažnost, odolnost vůči statickému a dynamickému protržení, charakteristickou velikost otvorů, propustnost vody kolmo k rovině, poškození během ukládání, třecí vlastnosti a odolnost proti povětrnostním vlivům, chemickému stárnutí, působení chemikálií a proti působení mikroorganismů.

Přírodní vlákna obecně jsou charakteristická vyšší pevností a vodní kapacitou s poměrně nízkou roztažností a pružností. Syntetická vlákna disponují vysokou pevností a roztažností s odpovídající pružností, zato jejich schopnost absorbovat vlhkost je velmi nízká (Ciubotariu et al., 2010).

Míra ochrany půdy geotextilií se liší podle typu půdy a intenzity dešťových srážek. Rickson (2006) ve své práci uvádí, že všechny geotextilie snižují ztrátu půdy

účinněji z jílovitohlinité půdy než z písčitohlinité při nízké intenzitě srážky, nicméně při vyšší intenzitě srážky vykazují pouze geotextilie z kokosového vlákna a polyamidová protierozní matrace lepší výsledky na jílovitohlinité půdě v porovnání s půdou písčitohlinitou.

Schopnost geotextilií bránit erozi vyvolané povrchovým odtokem se významně váže na konkrétní vlastnosti geotextilií. Geotextilie schopné vysoké absorpce vody mají jen malý efekt na objem povrchového odtoku, avšak vodní kapacita materiálu je velmi důležitá, protože čím je geotextilie vlhčí, tím lépe přilne k povrchu půdy a pomáhá snížit rychlost povrchového odtoku a nedochází tak k odnosu půdních částic. Drsnost vyvolaná geotextilií je blízká efektu přirozené vegetace, ovlivňuje dráhu povrchového odtoku a vytváří lokální turbulence a víry, které zpomalují povrchový odtok, a tím významně ovlivňuje erozi (Rickson, 2006).

Jen velmi obtížně lze určit, zda dochází ke snížení odtoku vlivem geotextilie nebo vlastnostmi půdy. Testované geotextilie v laboratorních podmínkách na povrchu bez půdy významně snižují objem odtoku při všech intenzitách deště, kromě geotextilie z kokosového vlákna o plošné hmotnosti 400 g/m^2 při intenzitě $90,5 \text{ mm/h}$, která při těchto hodnotách nemá žádný vliv na objem odtoku (Kalibová et al., 2017).

Účinnost geotextilie při snižování vodní eroze exponenciálně určuje délka svahu, trvání deště a půdní typ. Exponenciální vztahy naznačují, že geotextilie jsou méně účinné při použití na větších pozemcích, tedy kompletní pokrytí geotextilií je méně efektivní než pokrytí menších ploch (Bhattacharyya et al., 2010).

Důležité je zmínit, že efektivita protierozních geotextilií se výrazně neliší prostředím, ve kterém jsou testovány. Na základě dat naměřených v polních podmínkách vykazují přírodní geotextilie účinnost při snižování ztráty půdy v průměru $46 - 79 \%$ v porovnání s holou nechráněnou půdou. Za využití totožných materiálů při laboratorních experimentech dochází ke snížení ztráty půdy o $43 - 84 \%$. Hodnoty jednotlivých měření se mohou výrazně lišit, nicméně průměrná hodnota měření v terénu je srovnatelná se střední hodnotou laboratorních experimentů (Smets et al., 2011). Více se touto problematikou zabývala Kalibová et al. (2016). Její výzkum ukázal, že při ochraně před povrchovým odtokem je účinnost geotextilií v laboratorních podmínkách bez půdy a v polních podmínkách

značně rozdílná, nicméně všechny testované materiály prokázaly velmi dobré výsledky při snížení ztráty půdy, přičemž jako nejúčinnější byla vyhodnocena jutová síť o plošné hmotnosti 500 g/m².

Na velmi prudkých svazích (45° a 60°) má aplikace jutových a kokosových geotextilií za následek až třikrát vyšší nárůst objemu odtoku v porovnání s plochami ošetřenými hydroosevem. Tyto negativní hodnoty značí, že déšť může “protéct“ skrz vlákna geotextilie, aniž by došlo k infiltraci do půdy. V případě ztráty půdy je z přírodních materiálů nejlépe hodnocena geotextilie z kokosového vlákna, která dosahuje lepších výsledků díky větší tloušťce vlákna a tím vyvolané vyšší hydraulické drsnosti povrchu svahu (Álvarez-Mozos et al., 2014).

7. Výsledky práce

7.1 Aplikace geotextilie na sklon svahu 1:2,5

Přehled výsledků povrchového odtoku zjišťovaného na svahu o sklonu 1:2,5 je uveden v Tabulce 1 pro kontrolní svah a pro svah ošetřený geotextilií v Tabulce 2.

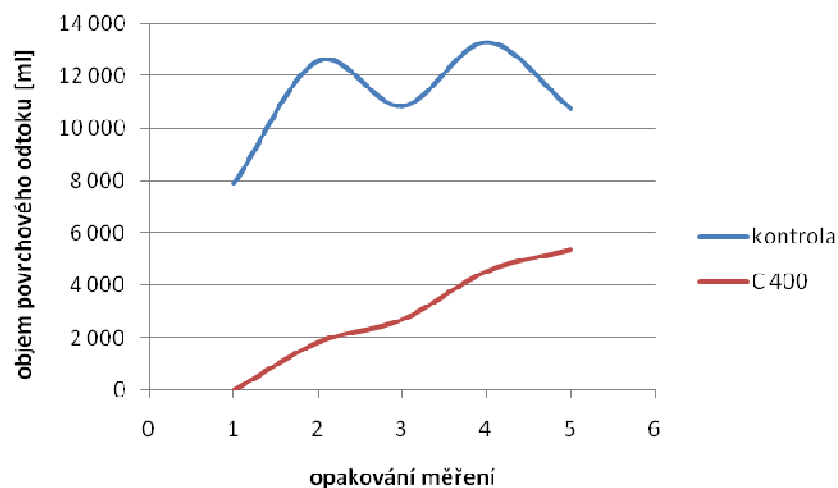
opakování měření	počátek PO [min]	objem odebraných vzorků [ml]	celkový objem PO [ml]	infiltrace [ml]
1	4	421	7 891	500
2	0,5	450	12 589	75
3	0	485	10 856	0
4	0	447	13 308	0
5	0	482	10 753	0

Tabulka 1: Hodnoty povrchového odtoku z kontrolního svahu při sklonu 1:2,5

opakování měření	počátek PO [min]	objem odebraných vzorků [ml]	celkový objem PO [ml]	infiltrace [ml]	objem PO jako podíl kontroly [%]
1	-	0	0	0	0
2	3,5	308	1 834	640	14,6
3	0,5	410	2 703	1 775	24,9
4	0	448	4 542	2 000	34,1
5	0	449	5 362	2 050	49,9

Tabulka 2: Hodnoty povrchového odtoku po aplikaci geotextilie na svah o sklonu 1:2,5

Získávání výsledků z kontrolního svahu probíhalo za využití překlopného průtokoměru o objemu 1 245 ml. Svah ošetřený geotextilií byl modelován ve žlabu napojeném na průtokoměr o objemu 655 ml. Průměrná hodnota objemu povrchového odtoku získaná jako průměr za všech pět opakování měření odpovídá v případě kontrolního svahu hodnotě 11 079 ml a u svahu ošetřeného geotextilií hodnotě 2 888 ml. V průměru tedy geotextilie snižuje objem povrchového odtoku o 73,9 % oproti hodnotě získané z nechráněného svahu. Maximální objem povrchového odtoku byl zaznamenán na ploše s geotextilií na konci třetího měření, kdy činil 4 043 ml. Lépe je průběh povrchového odtoku v jednotlivých měřeních patrný z grafu na Obr. 4. Průměrný čas počátku povrchového odtoku byl u kontrolního svahu zjištěn po 0,9 min od zahájení simulované dešťové srážky, u svahu ošetřeného geotextilií nastal povrchový odtok v průměru po 1 min.



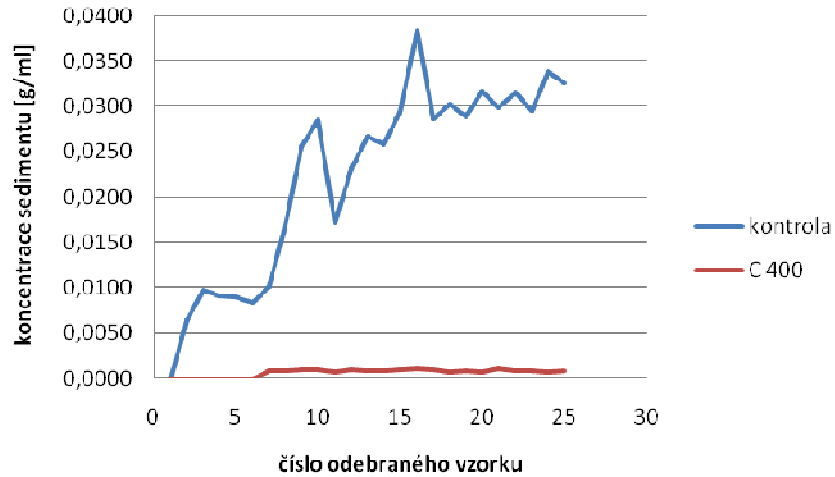
Obr. 4: Průběh objemu povrchového odtoku během měření na svahu o sklonu 1:2,5

Výsledné koncentrace sedimentu vypočítané pro jednotlivé události odběrů vzorků, jak pro kontrolní svah, tak pro svah ošetřený geotextilií (C 400), jsou pro sklon svahu 1:2,5 rozepsány v Tabulce 3.

opakování měření	minuta odběru	koncentrace sedimentu [g/ml]		koncentrace sedimentu [g/l]		koncentrace sedimentu [% kontroly]	
		kontrola	C 400	kontrola	C 400	kontrola	C 400
1	3	0,0000	0,0000	0,00	0,00	100	0,0
1	6	0,0064	0,0000	6,40	0,00	100	0,0
1	9	0,0098	0,0000	9,79	0,00	100	0,0
1	12	0,0091	0,0000	9,09	0,00	100	0,0
1	15	0,0089	0,0000	8,94	0,00	100	0,0
2	3	0,0083	0,0000	8,33	0,00	100	0,0
2	6	0,0101	0,0009	10,13	0,87	100	8,6
2	9	0,0169	0,0009	16,91	0,91	100	5,4
2	12	0,0256	0,0010	25,60	0,95	100	3,7
2	15	0,0285	0,0009	28,50	0,93	100	3,3
3	3	0,0172	0,0007	17,19	0,67	100	3,9
3	6	0,0231	0,0009	23,06	0,94	100	4,1
3	9	0,0267	0,0009	26,73	0,85	100	3,2
3	12	0,0258	0,0009	25,79	0,87	100	3,4
3	15	0,0293	0,0010	29,29	0,97	100	3,3
4	3	0,0385	0,0011	38,46	1,09	100	2,8
4	6	0,0286	0,0009	28,59	0,94	100	3,3
4	9	0,0303	0,0008	30,30	0,77	100	2,5
4	12	0,0289	0,0008	28,89	0,85	100	2,9
4	15	0,0316	0,0008	31,63	0,76	100	2,4
5	3	0,0299	0,0011	29,85	1,05	100	3,5
5	6	0,0315	0,0008	31,54	0,84	100	2,7
5	9	0,0295	0,0008	29,55	0,78	100	2,6
5	12	0,0338	0,0008	33,80	0,77	100	2,3
5	15	0,0325	0,0009	32,51	0,85	100	2,6

Tabulka 3: Koncentrace sedimentu při sklonu svahu 1:2,5

Výsledky koncentrace sedimentu ve vzorcích povrchového odtoku získaných z plochy ošetřené geotextilií byly opět převedeny na procento hodnoty získané z kontrolního svahu. Nejhoršího výsledku při testování na sklonu svahu 1:2,5 bylo dosaženo krátce po zahájení povrchového odtoku, kdy koncentrace sedimentu vystoupala na 8,6 % hodnoty získané z nechráněného svahu, což značí zlepšení o 91,4 % oproti kontrolní ploše, tedy velmi dobrý výsledek. Vidíme, že koncentrace sedimentu zjištěná na kontrolním svahu dosáhla svého maxima na počátku čtvrtého opakování. Rozdíly v koncentraci sedimentu ve vzorcích získaných ze svahu pokrytého geotextilií jsou oproti tomu minimální. Následující graf (viz Obr. 5) zobrazuje průběh koncentrace sedimentu ve vzorcích získaných ze všech pěti opakování měření na daném sklonu.



Obr. 5: Koncentrace sedimentu v průběhu měření na svahu o sklonu 1:2,5

7.2 Aplikace geotextilie na sklon svahu 1:2

Výsledky získané z měření na svahu o sklonu 1:2 byly zpracovány analogicky. Data o povrchovém odtoku z kontrolní plochy a plochy ošetřené geotextilií jsou zaznamenána v Tabulkách 4 a 5.

V obou případech byla data získána za pomoci překlopného průtokoměru o objemu 655 ml, který byl během čtvrtého a pátého měření na svahu ošetřeném geotextilií překalibrován na objem 700 ml z důvodu poruchy. Celkový průměrný objem povrchového odtoku z kontrolního svahu byl zjištěn 9 145 ml a průměr získaný z plochy s aplikovanou geotextilií byl zaznamenán 5 459 ml, což představuje

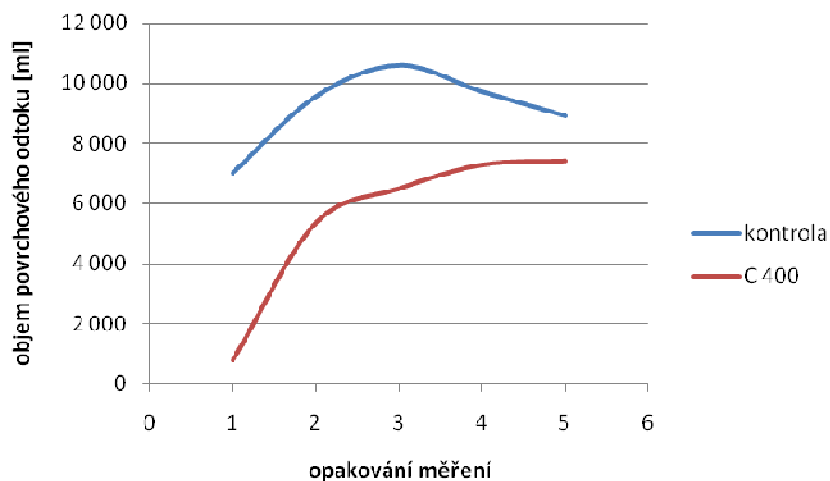
59,7 % objemu povrchového odtoku zachyceného z kontrolního svahu. Objem odtoku z plochy ošetřené geotextilií v jednotlivých měřeních rostl a svého maxima dosáhl na konci posledního pátého měření (viz Obr. 6), kdy jeho hodnota vzrostla na 7 396 ml. Průměrný čas počátku povrchového odtoku byl u kontrolního svahu stanoven 1,41 min po zahájení simulované dešťové srážky a u svahu s testovanou geotextilií 2,55 min.

opakování měření	počátek PO [min]	objem odebraných vzorků [ml]	celkový objem PO [ml]	infiltrace [ml]
1	4	411	6 994	0
2	0,75	544	9 550	0
3	0,73	540	10 581	0
4	0,80	485	9 701	0
5	0,77	550	8 901	0

Tabulka 4: Hodnoty povrchového odtoku z kontrolního svahu při sklonu 1:2

opakování měření	počátek PO [min]	objem odebraných vzorků [ml]	celkový objem PO [ml]	infiltrace [ml]	objem PO jako podíl kontroly [%]
1	11	140	795	40	11,4
2	1,75	437	5 350	85	56,0
3	0	428	6 487	230	61,3
4	0	445	7 270	260	74,9
5	0	396	7 396	305	83,1

Tabulka 5: Hodnoty povrchového odtoku po aplikaci geotextilie na svah o sklonu 1:2

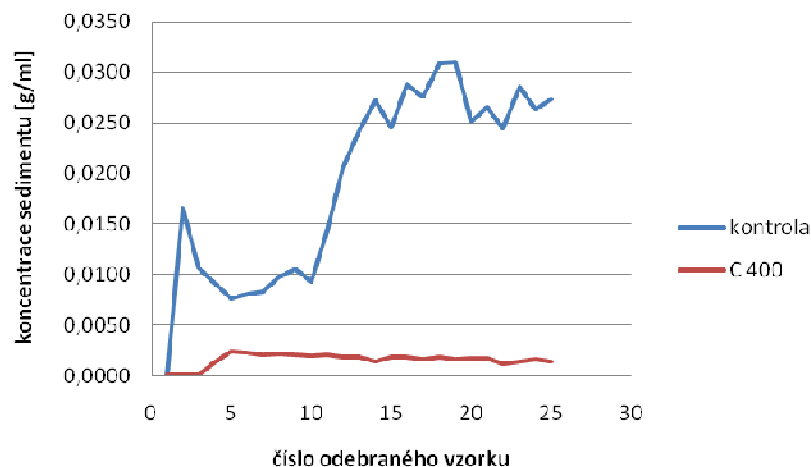


Obr. 6: Průběh objemu povrchového odtoku během měření na svahu o sklonu 1:2

Hodnoty koncentrace sedimentu v povrchovém odtoku jsou pro oba případy uvedeny v Tabulce 6. Je patrné, že největší koncentrace sedimentu ve vzorcích ze svahu ošetřeného geotextilií byla zjištěna opět krátce po zahájení povrchového odtoku v 15. minutě prvního měření a její hodnota vystoupala na 31,3 % koncentrace zjištěné z kontrolního svahu. Průběh koncentrace sedimentu na daném sklonu svahu přibližuje graf na Obr. 7.

opakování měření	minuta odběru	koncentrace sedimentu [g/ml]		koncentrace sedimentu [g/l]		koncentrace sedimentu [% kontroly]	
		kontrola	C 400	kontrola	C 400	kontrola	C 400
1	3	0,0000	0,0000	0,00	0,00	100	0,0
1	6	0,0165	0,0000	16,50	0,00	100	0,0
1	9	0,0106	0,0000	10,57	0,00	100	0,0
1	12	0,0091	0,0013	9,06	1,35	100	14,9
1	15	0,0076	0,0024	7,62	2,38	100	31,3
2	3	0,0080	0,0023	7,97	2,31	100	29,0
2	6	0,0082	0,0021	8,22	2,06	100	25,0
2	9	0,0097	0,0021	9,68	2,12	100	21,9
2	12	0,0105	0,0021	10,48	2,07	100	19,8
2	15	0,0093	0,0020	9,30	1,98	100	21,3
3	3	0,0143	0,0020	14,29	2,01	100	14,1
3	6	0,0205	0,0018	20,45	1,85	100	9,0
3	9	0,0243	0,0018	24,25	1,77	100	7,3
3	12	0,0272	0,0013	27,17	1,33	100	4,9
3	15	0,0245	0,0018	24,46	1,79	100	7,3
4	3	0,0288	0,0018	28,77	1,84	100	6,4
4	6	0,0275	0,0016	27,51	1,62	100	5,9
4	9	0,0308	0,0018	30,80	1,85	100	6,0
4	12	0,0310	0,0016	30,97	1,64	100	5,3
4	15	0,0250	0,0017	25,03	1,74	100	7,0
5	3	0,0265	0,0017	26,55	1,65	100	6,2
5	6	0,0244	0,0011	24,40	1,08	100	4,4
5	9	0,0285	0,0014	28,46	1,37	100	4,8
5	12	0,0263	0,0016	26,30	1,55	100	5,9
5	15	0,0273	0,0013	27,34	1,34	100	4,9

Tabulka 6: Koncentrace sedimentu při sklonu svahu 1:2



Obr. 7: Koncentrace sedimentu v průběhu měření na svahu o sklonu 1:2

7.3 Aplikace geotextilie na sklon svahu 1:1,5

Přehled o objemu povrchového odtoku zjištěného ze svahu o sklonu 1:1,5 je prezentován v Tabulce 7 pro kontrolní holý svah a v Tabulce 8 pro svah ošetřený geotextilií.

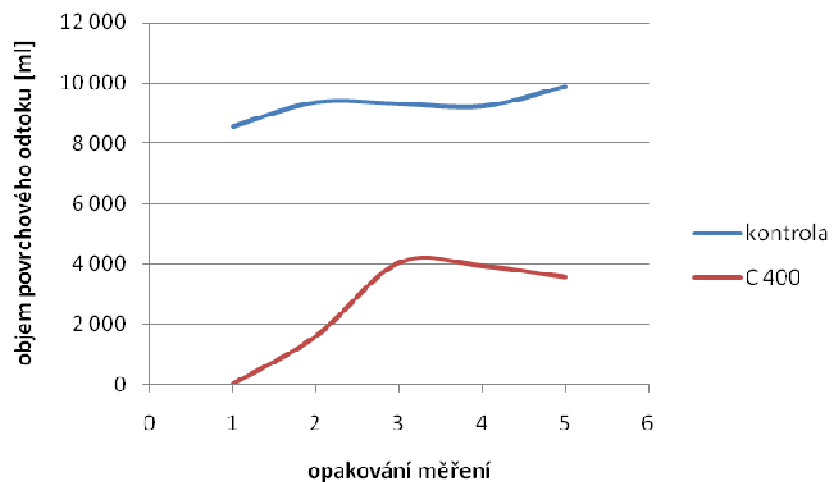
opakování měření	počátek povrchového odtoku [min]	objem odebraných vzorků [ml]	celkový objem povrchového odtoku [ml]	infiltrace [ml]
1	1,75	503	8 579	240
2	1	519	9 362	170
3	0	584	9 315	180
4	0	555	9 234	195
5	0	547	9 881	200

Tabulka 7: Hodnoty povrchového odtoku z kontrolního svahu při sklonu 1:1,5

opakování měření	počátek povrchového odtoku [min]	objem odebraných vzorků [ml]	celkový objem povrchového odtoku [ml]	infiltrace [ml]	objem PO jako podíl kontroly [%]
1	-	0	0	0	0
2	7	242	1 595	50	17,0
3	2,5	440	4 043	400	43,4
4	2,25	493	3 932	550	42,6
5	2	442	3 553	500	36,0

Tabulka 8: Hodnoty povrchového odtoku po aplikaci geotextilie na svah o sklonu 1:1,5

V případě tohoto sklonu byla průměrná hodnota objemu povrchového odtoku zjištěná z kontrolního svahu 9 274 ml, kdy hodnota jen lehce kolísala v porovnání jednotlivých měření (viz Obr. 8). Průměr získaný z plochy chráněné geotextilií činí 2 625 ml, což představuje 28,3 % průměrné hodnoty povrchového odtoku z kontrolního svahu, tedy zlepšení o 71,7 %. Maximální hodnoty objemu odtoku bylo na chráněném svahu dosaženo na konci třetího měření, kdy se hodnota vyšplhala na 4 043 ml. Hodnoty povrchového odtoku byly získány za využití překlopného průtokoměru o objemu 655 ml. Počátek povrchového odtoku z kontrolní plochy byl stanoven na průměrnou hodnotu 0,55 min, na ploše s aplikovanou geotextilií nastal v průměru po 3,44 min.

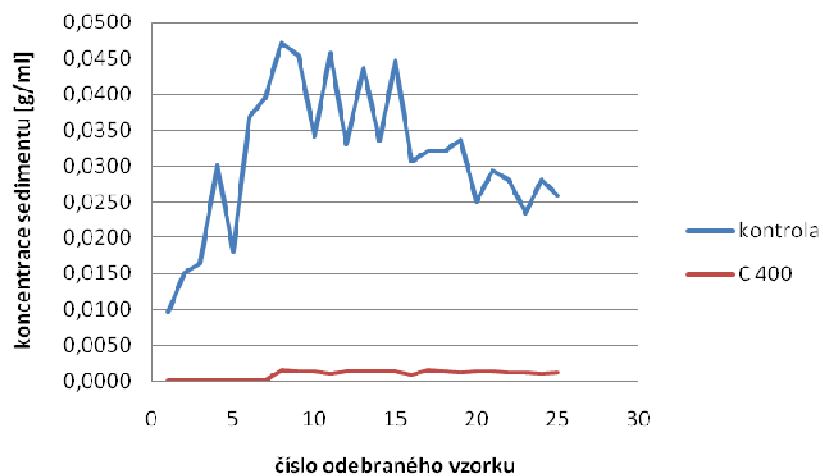


Obr. 8: Koncentrace sedimentu v průběhu měření na svahu o sklonu 1:1,5

Koncentrace sedimentu zjištěná z obou zkoumaných ploch za jednotlivá měření je uvedena v Tabulce 9. Z hodnot pro plochu ošetřenou geotextilií je patrné, že nejvyšší koncentrace sedimentu v porovnání s kontrolním svahem byla v tomto případě zaznamenána na konci čtvrtého opakování měření, kde její hodnota představovala 5 % koncentrace zjištěné z kontrolního svahu. Vývoj koncentrace sedimentu zjištěného na jednotlivých plochách je patrný z grafu (viz Obr. 9).

opakování měření	minuta odběru	koncentrace sedimentu [g/ml]		koncentrace sedimentu [g/l]		koncentrace sedimentu [% kontroly]	
		kontrola	C 400	kontrola	C 400	kontrola	C 400
1	3	0,0097	0,0000	9,65	0,00	100	0,0
1	6	0,0151	0,0000	15,07	0,00	100	0,0
1	9	0,0165	0,0000	16,45	0,00	100	0,0
1	12	0,0302	0,0000	30,22	0,00	100	0,0
1	15	0,0180	0,0000	18,00	0,00	100	0,0
2	3	0,0369	0,0000	36,90	0,00	100	0,0
2	6	0,0395	0,0000	39,47	0,00	100	0,0
2	9	0,0472	0,0015	47,18	1,46	100	3,1
2	12	0,0454	0,0014	45,39	1,38	100	3,0
2	15	0,0342	0,0013	34,20	1,29	100	3,8
3	3	0,0458	0,0009	45,79	0,95	100	2,1
3	6	0,0330	0,0013	32,98	1,31	100	4,0
3	9	0,0437	0,0013	43,69	1,29	100	3,0
3	12	0,0335	0,0013	33,52	1,29	100	3,8
3	15	0,0446	0,0012	44,61	1,24	100	2,8
4	3	0,0306	0,0009	30,59	0,87	100	2,9
4	6	0,0321	0,0015	32,06	1,45	100	4,5
4	9	0,0320	0,0013	32,00	1,35	100	4,2
4	12	0,0337	0,0012	33,73	1,17	100	3,5
4	15	0,0251	0,0013	25,08	1,27	100	5,0
5	3	0,0293	0,0013	29,32	1,25	100	4,3
5	6	0,0281	0,0011	28,15	1,09	100	3,9
5	9	0,0235	0,0011	23,51	1,13	100	4,8
5	12	0,0281	0,0010	28,08	1,03	100	3,7
5	15	0,0259	0,0011	25,90	1,12	100	4,3

Tabulka 9: Koncentrace sedimentu při sklonu svahu 1:1,5



Obr. 9: Koncentrace sedimentu v průběhu měření na svahu o sklonu 1:1,5

7.4 Zhodnocení vývoje po aplikaci geotextilie

Protierozní geotextilie z kokosového vlákna byla aplikována na tři sklony svahu řazené od nejmenšího po nejprudší 1:2,5; 1:2 a 1:1,5. V závislosti na dřívějších studiích bylo očekáváno postupné klesání efektivity protierozní geotextilie s růstem sklonu svahu. Výsledky v podobě průměrných hodnot získaných během měření však nevykazují žádný rostoucí trend v objemu povrchového odtoku ani koncentrace sedimentu na svahu ošetřeném geotextilií v závislosti na růstu sklonu. Nejhorších výsledků v podobě snížení objemu povrchového odtoku v průměru o 40,3 % a maximální koncentrace sedimentu o 68,7 % bylo dosaženo u středního testovaného sklonu svahu 1:2. I přesto se však jedná o velmi dobré výsledky.

V Tabulce 10 jsou shrnuta data reprezentující veličiny měřené na svahu ošetřeném geotextilií pro jednotlivé sklony. Průběh koncentrace sedimentu pro případ kontrolního svahu i svahu ošetřeného geotextilií během jednotlivých měření na všech třech zkoumaných sklonech svahu je graficky zpracován v Příloze č.1 - 3.

sklon svahu	1:2,5	1:2	1:1,5
průměrný objem PO [ml]	2 888	5 459	2 625
podíl kontroly [%]	26,1	59,7	28,3
maximální koncentrace sedimentu v porovnání s kontrolou [%]	8,6	31,3	5,0

Tabulka 10: Souhrn dat pro jednotlivé sklony ošetřené geotextilií

8. Diskuse

Distributor testované geotextilie z kokosového vlákna o plošné hmotnosti 400 g/m^2 JUTENON ECC 400 Juta, a.s. uvádí na svém webovém portále maximální doporučený sklon svahu pro aplikaci materiálu 1:1,5 (Juta, a.s. ©2010). V rámci této diplomové práce byl testován vliv sklonu svahu na efektivitu zmíněné protierozní geotextilie na výše popsaných sklonech svahu, přičemž nejprudší sklon byl modelován o velikosti právě 1:1,5. V práci bylo očekáváno dosažení nejlepších výsledků na nejmírnějším sklonu svahu (1:2,5) s trendem postupného snižování efektivitu s růstem sklonu do maxima (1:1,5).

Z výsledků laboratorního testování vyplývá, že ve všech třech případech měla geotextilie značný vliv na snížení objemu povrchového odtoku. Tento fakt popisuje i Kalibová et al. (2016). Nejvyšší hodnoty povrchového odtoku byly zjištěny na sklonu svahu 1:2, kde jejich hodnota vystoupala až na 59,7 % hodnoty naměřené na kontrolním svahu. Nejhorší výsledky byly místo toho očekávány na nejprudším sklonu (1:1,5), kde bylo maximum zachyceného povrchového odtoku stanoveno pouze na 28,3 % hodnoty zjištěné z kontrolního svahu. Tento fakt mohl být způsoben špatnou aplikací protierozní sítě na svah a jejím nedostatečným přilnutím k povrchu půdy, což je důležitý faktor účinnosti geotextilie, jak podrobněji popisuje Rickson (2006). S tímto pravděpodobně souvisí i fakt, že počátek povrchového odtoku na sklonu svahu 1:2 nastal dříve než na zbylých sklonech, tedy i na nejstrmějším sklonu, kde bychom očekávali, že započne jako první. Jednou z příčin mohlo být také zanesení překlopných průtokoměrů sedimentem a jejich překlopení dříve, než došlo k naplnění požadovaným objemem povrchového odtoku. Obecně však na všech sklonech geotextilie významně oddálila počátek povrchového odtoku v porovnání s kontrolním svahem. Podobných výsledků dosáhli také Sutherland et Ziegler (2007).

Z hlediska koncentrace sedimentu rovněž nedošlo k potvrzení trendu rovnoměrného zhoršování účinnosti s růstem sklonu svahu, jak bylo očekáváno. Nejnížší hodnoty koncentrace byly dle výsledků naměřeny na modelovém svahu o sklonu 1:1,5, který představuje nejprudší testovaný svah a tudíž by zde mělo docházet k největšímu odnosu půdních částic. Nejhorších výsledků bylo dosaženo opět po aplikaci na sklon 1:2. Těchto výsledků mohlo být dosaženo chybou popsanou

výše či řadou dalších. Nejvyšších hodnot koncentrace sedimentu bylo dosaženo krátce po zahájení povrchového odtoku, což vede k chybám ve špatné přípravě odtokových žlabů a možnému zachycení sedimentu usazeného v soustavě po předchozích měřeních. Další možností, jak mohlo dojít k těmto výsledkům je například aplikace příliš vysušené zeminy do odtokových žlabů a její nedostatečné zhutnění.

9. Závěr a přínos práce

Cílem této diplomové práce bylo porovnat v laboratorních podmínkách účinnost protierozní geotextilie z kokosového vlákna o plošné hmotnosti 400 g/m^2 za simulované dešťové srážky o konstantní intenzitě 1 mm/min na sklonech svahu 1:2,5; 1:2 a 1:1,5. Účinnost materiálu byla hodnocena dle objemu povrchového odtoku a ztráty půdy z uměle vytvořeného svahu pokrytého geotextilií v porovnání s kontrolním svahem představujícím holou půdu.

Z výsledků vyplývá, že síť měla nejlepší efekt na zabránění povrchového odtoku při použití na sklonu svahu 1:2,5, tedy na nejnižším testovaném sklonu, kde v průměru snížila objem povrchového odtoku o 73,9 % v porovnání s nechráněným kontrolním svahem. Nejhorších výsledků bylo dosaženo po její aplikaci na svah o sklonu 1 : 2, kde došlo ke snížení objemu povrchového odtoku v průměru pouze o 40,3 %, což mohlo být způsobeno řadou faktorů popsaných výše.

Z hlediska koncentrace sedimentu bylo nejlepších výsledků dosaženo při aplikaci sítě na svah o sklonu 1:1,5, tedy na nejprudší z testovaných sklonů, kde hodnota koncentrace sedimentu vystoupala maximálně na 5 % celkové koncentrace sedimentu zjištěné z nechráněného kontrolního svahu. Aplikace geotextilie zde tedy snížila koncentraci sedimentu o 95 %. Nejhorších výsledků bylo opět dosaženo po aplikaci sítě na sklon svahu 1:2, kde došlo ke snížení koncentrace sedimentu o 68,7 % koncentrace zjištěné na kontrolním svahu.

Z výsledků této diplomové práce vyplývá, že protierozní síť z kokosového vlákna o plošné hmotnosti 400 g/m^2 je nejméně účinná při aplikaci na čerstvě budované svahy o sklonu 1:2.

10. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Álvarez-Mozos J. [ed.], 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. *Catena* 118. 168-178.
- Bhattacharyya R. [ed.], 2010: Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena* 81. 184 - 195.
- Cerdá A., 2007: Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Science of The Total Environment* 378. 151 - 155.
- Ciubotariu A. M., Rusu L., Tiron C., Kovar R., Budulan C., Roman M., 2010: Erosion control using geotextiles. In: 7th International Conference - TEXSCI 2010. Technická univerzita, Liberec.
- Dvorscak P. et Hrib M., 2004: Použitie protieróznych prírodných materiálov rohoží a sietí na svahách ciest. In: Jute in geo-textiles and diversified products: international symposium cum exhibition on jute. Technická univerzita, Liberec. 68 - 77.
- Feiznia S., Pournader M., Ahmadi H., Karimi H., Peirovan H. R., 2018: Spatial prediction of soil erosion susceptibility: an evaluation of the maximum entropy model. *Earth Science Informatics* 11. 389 - 401.
- Guzmán G. [ed.], 2015: Study of sediment movement in an irrigated maize-cotton system combining rainfall simulations, sediment tracers and soil erosion models. *Journal of Hydrology* 524. 227 - 242.
- Horáčková S., 2007: Funkce a použití geotextilií a výrobků podobných geotextiliím v praxi. In: Co dokáže textil: odborný program pro veletrh Styl Brno 2007. Technická univerzita, Liberec. 201 - 211.
- Huang C., Gascuel-Oudoux C., Cros-Cayot S., 2001: Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion. *Catena* 46. 177 - 188.
- Janeček M. [ed.], 2005: Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, 195 s.
- Janeček M. [ed.], 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita, Praha, 172 s.

- Janeček M. [ed.], 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. powerprint, Praha, 113 s.
- Jenny H., 1941: Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company, New York, 281 p.
- Kadlec V. [ed.], 2014: Navrhování technických protierozních opatření: Metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 100 s.
- Kalibová, J., 2016: Problematika tvorby povrchového odtoku a epizodní řešení jeho erozních projevů. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 155 s. (disertační práce).
- Kalibová J., Jačka L., Petřů J., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth* 7. 469 - 479.
- Kalibová J., Petřů J., Jačka L., 2017: Impact of rainfall intensity on the hydrological performance of erosion control geotextiles. *Environmental Earth Sciences* 76: 429.
- Kirkby M., 1978: Hillslope hydrology. John Wiley & Sons, Chichester UK. 389 s.
- Mhaske S. N., Pathak K., Basak A., 2019: A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena* 172. 408 - 420.
- Morgan R. P. C. et Rickson R. J. [eds.], 1995: Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach. E & FN Spon, London, 274 p.
- Navas A., Alberto F., Machín J., Galán A., 1990: Design and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion. *Soil Technology* 3, Issue 4. 385 - 397.
- Nearing M. A., 1998: Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. *Catena* 32. 15 - 22.
- Novotný I. [ed.], 2017: Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy. Ministerstvo zemědělství, Praha, 87 s.
- Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství, Praha, 2011. 56 s.
- Rejšek K., 1999: Lesnická pedologie - cvičení. MZLU, Brno, 152 s.

- Rey F. [ed.], 2018: Soil and water bioengineering: Practice and research Leeds for reconciling natural hazard control and ecological restoration. *Science of the Total Environment* 648. 1210 - 1218.
- Rickson R. J., 2006: Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surfaces Processes and Landforms* 31. 550 - 560.
- Shrestha, D. P. et Jetten V. G., 2018: Modelling erosion on a daily basis, an adaptation of the MMF approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 64. 117 - 131.
- Smets T. [ed.], 2011: Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. *Land Degradation & Development* 22. 480 - 494.
- Sutherland R.A. et Ziegler A.D., 2007: Effectiveness of Coir-based rolled erosion control systems in reducing sediment transport from hillslopes. *Applied Geography* 27. 150 - 164.
- Tauro F, Cornelini P., Grimaldi S., Petroselli A., 2018: Field studies on the soil loss reduction effectiveness of free biodegradable geotextiles. *Journal of Agricultural Engineering* 2018, XLIX:799. 117 - 123.
- TP 53: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky. Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, ASPK, s.r.o., Brno, 2003. 53 s.
- Valla M. [ed.], 2004: Pedologické praktikum. Česká zemědělská univerzita, katedra pedologie a geologie AF, Praha, 151 s.

Internetové zdroje

GEOMAT s.r.o., 2018: Aplikace - co řešíme (online) [cit. 2018.11.21], dostupné z <<https://www.geomat.cz/aplikace-co-resime/>>.

GEOMAT s.r.o., 2018: Výrobky - katalog (online) [cit. 2018.11.21], dostupné z <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/>>.

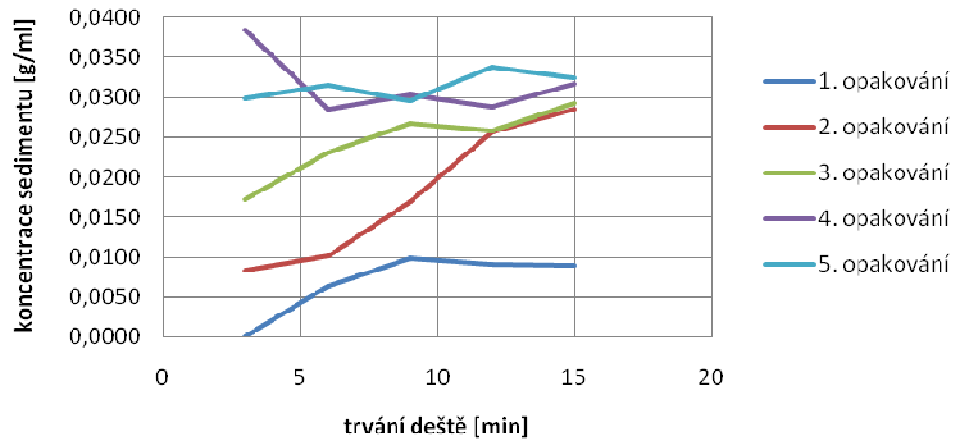
GEOMAT s.r.o., 2018: Rohože (online) [cit. 2018.11.28], dostupné z <<https://www.geomall.cz/zahradni-sortiment/rohoze>>.

Juta, a.s., 2010: Výrobky - JUTENON EC (online) [cit. 2018.12.5], dostupné z <<http://www.juta.cz/vyrobni-programy/geosyntetika/vyrobky/jutenon-ec.html>>.

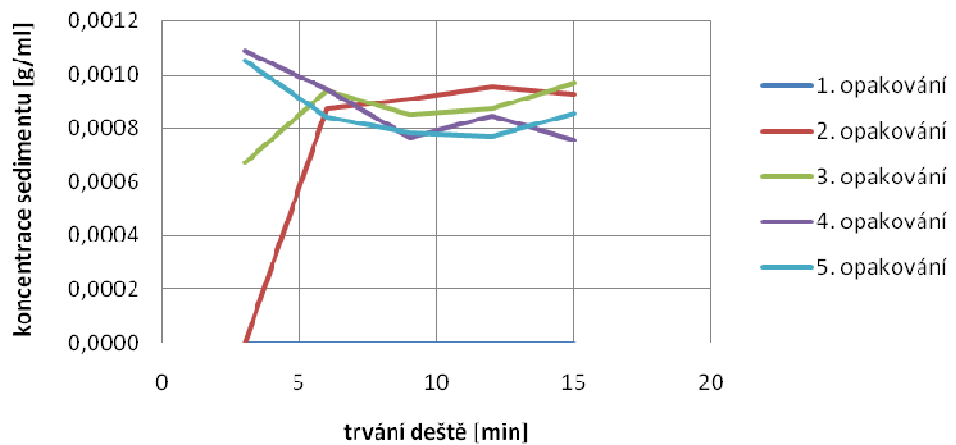
11. Přílohy

Příloha č.1: Vývoj koncentrace sedimentu na svahu o sklonu 1:2,5

Koncentrace sedimentu - kontrola, sklon 1 : 2,5

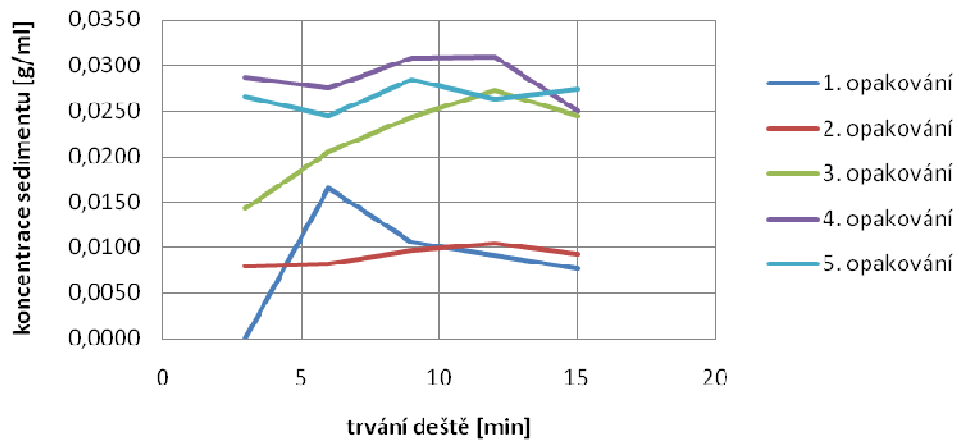


Koncentrace sedimentu - C 400, sklon 1 : 2,5

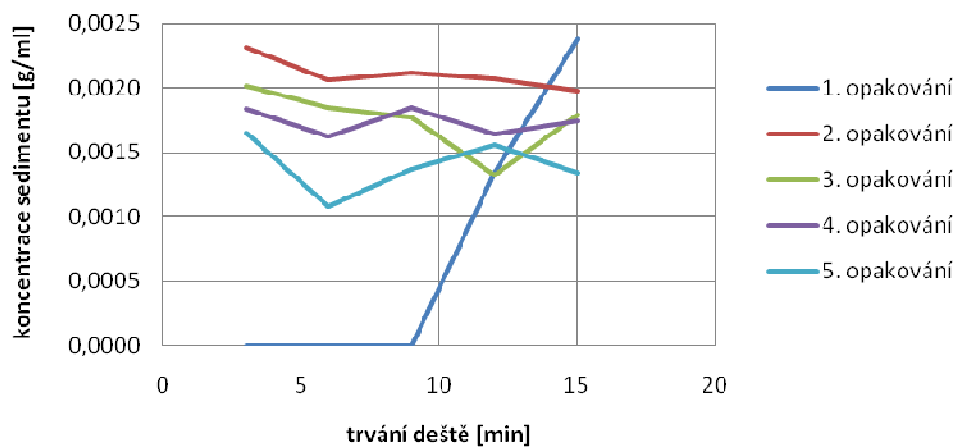


Příloha č.2: Vývoj koncentrace sedimentu na svahu o sklonu 1:2

Koncentrace sedimentu - kontrola, sklon 1 : 2

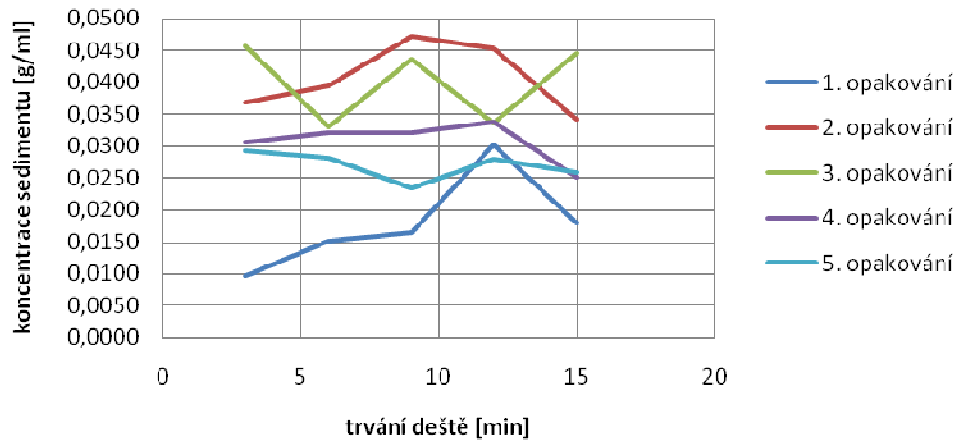


Koncentrace sedimentu - C 400, sklon 1 : 2



Příloha č.3: Vývoj koncentrace sedimentu na svahu o sklonu 1:1,5

Koncentrace sedimentu - kontrola, sklon 1 : 1,5



Koncentrace sedimentu - C 400, sklon 1 : 1,5

