

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

Vliv intenzity deště na efektivitu protierozních opatření

Diplomová práce

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

Diplomant: Bc. Zuzana Šelepová

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Zuzana Šelepová

Regionální environmentální správa

Název práce

Vliv intenzity deště na efektivitu protierozních opatření

Název anglicky

Impact of rainfall intensity on the effectiveness of erosion control measures

---

### Cíle práce

Efektivitu protierozních geotextilií lze definovat jako jejich schopnost redukovat objem povrchového odtoku způsobeného zátěžovou dešťovou srážkou a schopnost redukovat ztrátu půdy erozí způsobenou povrchově proudící vodou.

Cílem diplomové práce je zhodnotit, zda při změně intenzity dešťové srážky, které budou vystaveny vzorky vybrané geotextilie, dochází ke změně efektivity této geotextilie.

### Metodika

Experiment bude probíhat v laboratorních podmínkách s využitím simulátoru deště. Pokusné plochy v podobě svahu pokrytého uměle vrstveným (holým) půdním profilem budou pokryty vzorky vybrané geotextilie a vystaveny simulovanému zátěžovému dešti o třech různých intenzitách a době trvání 15 minut, v pěti opakováních.

V průběhu deště budou odebírány vzorky povrchového odtoku a zaznamenáván celkový objem povrchového odtoku. Z odebraných vzorků budou stanoveny bodové koncentrace sedimentu a následně celková ztráta půdy. Hodnoty objemu povrchového odtoku a ztráty půdy budou sloužit pro vyhodnocení změn v efektivitě geotextilie. Výsledky z pokusné plochy se vzorkem geotextilie budou vždy porovnány s hodnotami získanými z kontrolní plochy. Kontrolní plochu bude představovat svah o stejném sklonu pokrytý pouze holou půdou.

**Doporučený rozsah práce**

50-70 stran

**Klíčová slova**

protierozní geotextilie, simulovaný déšť, intenzita deště, povrchový odtok, ztráta půdy

---

**Doporučené zdroje informací**

- Álvarez-Mozos, J., Abad, E., Giménez, R., Campo, M. A., Goñi, M., Arive, M., Casali, J., Díez, J., and Diego, I. (2014): Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes, Part 1: Effects of runoff and soil loss. *Catena* 118: 168–178.
- Bhattacharyya, R., Smets, T., Fullen, M. A., Poesen, J., and Booth, C. A. (2010): Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis, *Catena*, 81, 184–195.
- Kalibová, J., Petrů, J., Jačka, L. (2017): Variability in Jute and Coir Geotextile Performance as Related to Rainfall Intensity. *Land Degradation and Development. Environmentla Earth Sciences* 76:429. DOI: 10.1007/s12665-017-6746-y.
- Morgan, R. P. C., Rickson, R. J. (eds.), (1995): *Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach* Morgan. E & FN SPON, Cranfield, UK, 274 p.
- Rickson, R. J. (2006): Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles, *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 550–560.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2019

---

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Jany Kalibové, Ph.D. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 11.04.2019

.....

## Poděkování

Ráda bych touto cestou podělovala Ing. Janě Kalibové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které napomohly ke zpracování této práce.

## Abstrakt

Vyhodnocení efektivnosti protierozní kokosové geotextilie o plošné hmotnosti 700 g/m<sup>2</sup>, která byla použita na umělém půdním profilu o sklonu svahu 1:2 (27°), probíhalo v laboratorních podmínkách erozně sedimentologické laboratoře za pomoci dešťového simulátoru. Sklon svahu 1:2 byl zvolen pro jeho časté používání v praxi, zejména při navrhování svahů, násypů a zářezů podél liniových staveb, jako jsou silnice, železnice nebo vodní toky. Měření probíhalo současně na kontrolním svahu, který představoval holý půdní profil o stejném sklonu. Pokus byl proveden vždy v pěti opakováních pro tři intenzity dešťové srážky (1 mm/min, 1,27 mm/min a 2,11 mm/min, což odpovídá době opakování N = 2, 5 a 20 let). Protierozní účinek byl vyhodnocen na základě dat objemu povrchového odtoku a koncentrace sedimentu v povrchovém odtoku. Ve výsledném zhodnocení byla prokázána efektivita geotextilie při všech třech sledovaných intenzitách deště, zejména z pohledu koncentrace sedimentu, kde množství sedimentu kleslo řádově o 55–85 %. Objem povrchového odtoku klesl pouze u nejnižší intenzity deště, u dvou vyšších intenzit došlo ke zvýšení objemu povrchového odtoku oproti holému kontrolnímu svahu.

Klíčová slova: geotextilie, dešťový simulátor, povrchový odtok, ztráta půdy, koncentrace sedimentu, juta, kokosová síť

## Abstract

The evaluation of the effectiveness of the coir geotextile (700 g / m<sup>2</sup>), which was installed on an artificial soil profile with slope 1: 2 (27 °), was carried out in the laboratory conditions of the erosion-sedimentological laboratory using a rainfall simulator. The slope 1: 2 is often used in practice, especially when designing slopes (cuts and fills) along roads, railways or watercourses. At each measurement, this experiment was also a control sample, which was represented by plain soil profile of the same slope. The experiment was performed in five repetition for three rainfall intensities of 1 mm / min, 1.27 mm / min and 2.11 mm / min, corresponding to the repetition time for N = 2, 5 and 20 years. The erosion control effect was based on surface runoff data and sediment concentration. The final evaluation shows the effectiveness of the geotextile in all three rainfall intensities, especially in the monitoring of sediment concentration, where amount of sediment decreased by about 55-80 %. The surface runoff volume only dropped at the lowest rainfall, with two higher intensities the surface runoff volume increased compared to the bare control slope.

Keywords: geotextile, rainfall simulator, surface runoff, soil loss, sediment concentration, jute, coir

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Cíle práce .....	11
3	Metodika .....	12
3.1	Příprava půdy pro měření .....	14
3.2	Zdroj vody a simulace deště .....	15
3.3	Zaznamenávání dat a měření .....	17
3.4	Zpracování dat .....	18
3.5	Vyhodnocení dat .....	20
4	Současný stav eroze v ČR .....	21
5	Metody výzkumu eroze .....	24
6	Geotextilie .....	26
6.1	Přírodní geotextilie jako priorita .....	27
6.2	Použití geotextilií jako ochrana zemního tělesa pozemních komunikací ....	28
7	Výsledky výzkumu při použití přírodních geotextilií .....	32
7.1	Přínos geotextilie pro prevenci eroze .....	32
8	Výsledky .....	34
8.1	Souhrnné výsledky a porovnání provedených měření .....	35
8.2	Měření s intenzitou I1=1 mm/min .....	37
8.3	Měření s intenzitou I2=1,27 mm/min .....	40
8.4	Měření s intenzitou I3=2,11 mm/min .....	43
9	Diskuse .....	47
10	Závěr a přínos práce .....	50
11	Literatura .....	52
12	Seznam obrázků .....	57
13	Seznam tabulek .....	59
14	Seznam rovnic .....	60



# 1 Úvod

Eroze půdy je celosvětově řešeným problémem, který negativně ovlivňuje všechny ekosystémy. V posledních 50 letech stále stoupá rozsah a závažnost negativních důsledků eroze (Bhattacharyya a kol, 2009). Vodní eroze vzniká především v oblastech, které trpí na přivalové deště nebo na náhlé tání sněhu. Hlavní příčinou eroze je povrchový odtok, který vzniká tehdy, když se srážková voda nestačí vsakovat do půdy a začne odtékat po povrchu, tedy intenzita dešťové srážky překročí intenzitu vsaku. Kinetická energie dešťových kapek je pak příčinou rozbití půdních agregátů a v kombinaci s povrchovým odtokem dojde k nežádoucímu přemístění půdních částic (Technické podmínky 53, 2003; Němec a Hladný, 2006).

Nejlepší ochranou půdy před erozí je vegetace, a to jak stromová nebo keřová, tak travní porost. Než dojde k vytvoření dostatečně hustého vegetačního pokryvu se silným kořenovým systémem, je nutné na toto přechodné období zajistit dočasnou ochranu půdního profilu, kde bychom měli upřednostnit řešení přírodního charakteru (Bhattacharyya et al., 2009, Technické podmínky 53, 2003). Od sedmdesátých let 20. století se pracovalo na vývoji výrobků, které by pomohly ke snížení zrychlené eroze (Dayte, 1994). Zprvu už i samotným typem hospodaření nebo technickými úpravami terénu bylo možné omezit erozní účinek. Nicméně postupem času, se zvyšujícími se stavebními zásahy, se eroze přestala týkat jen zemědělských půd a začala se týkat i pozemků, které jsou součástí technických staveb. Z toho důvodu bylo třeba přejít k opatřením, která budou dočasně chránit obnažený půdní povrch. Řešení problémů eroze u technických staveb typu silnice či železnice se může považovat za detail, nicméně je nutné si uvědomit, že provoz na těchto komunikacích se stále zvyšuje a nesprávně provedená stavba, která zahrnuje i fázi realizace protierozního opatření, může mít vliv na bezpečnost komunikací (Liu, Wang, Zhang, & Kong, 2016). V současné době je na trhu uvedeno několik typů protierozních opatření, která mohou být jak z přírodních, tak z umělých materiálů. U dobře zrealizovaného projektu by mělo mít protierozní opatření dočasný charakter a v konečné fázi by tato opatření měla plně nahradit a půdu stabilizovat vzrostlá vegetace (Morgan, 1995).

Diplomová práce vyhodnocuje vliv protierozní geotextilie, konkrétně kokosové sítě o plošné hmotnost 700 g/m<sup>2</sup>, na objem povrchového odtoku při změně

intenzity dešťové srážky. Intenzitu dešťové srážky nejsme schopni v přírodních podmínkách ovlivnit, nicméně můžeme přizpůsobit použití konkrétního protierozního materiálu například na základě sledovaných jevů jako je množství a průměrná intenzita srážek, teplota a typ půdního vzorku v daném území.

Při pokusu byla na jeden ze dvou svahů o sklonu 27° (1:2) aplikována již zmíněná kokosové geotextilie. Tyto svahy byly vystaveny zátěžovému dešti, který trval vždy 15 minut, ve třech různých intenzitách – konkrétně 1 mm/min, 1,27 mm/min a 2,11 mm/min, což odpovídá době opakování  $N = 2,5$  a 20 let). Dešťová srážka byla aplikována za pomoci dešťového simulátoru „Norton Ladder Rainfall Simulator“, který je k dispozici v erozně sedimentologické laboratoři v budově MCEV České zemědělské univerzity v Praze. Sklon 1:2 byl zvolen pro jeho časté používání v praxi, zejména při navrhování svahů, násypů a zářezů podél liniových staveb jako jsou silnice, železnice nebo vodní toky (ČSN 73 6133, 2010). Základním sledovaným jevem byl objem povrchového odtoku, se kterým úzce souvisí i rovněž sledované koncentrace sedimentů v jednotlivých vzorcích povrchového odtoku a množství vody infiltrované do půdy během simulované srážky a po ukončení simulace. Vliv na efektivitu geotextilie může mít také vlhkost půdního vzorku, zhutnění povrchu nebo sklon svahu, který ale pro potřeby této práce zůstal vždy 27°. Všechny sledované jevy budou vyhodnoceny v kapitole Výsledky.

Dosud získaná data o chování geotextilií jsou velmi rozmanitá (Bhattacharyya a kol, 2010; Rickson, 2006), proto výsledky tohoto výzkumu mohou být cenným přínosem pro další zhodnocení a výzkumy. Pro získání kvalitních výsledků je nutné sledovat jednotlivé faktory, které mohou ovlivnit chování a efektivitu geotextilie. Jedním z nich je právě intenzita deště, které se tato práce věnuje. Výsledky přispějí k rozšíření znalostí o chování protierozních geotextilií a pomohou v procesu výběru optimálního protierozního výrobku v konkrétních stanovištních podmínkách.

## 2 Cíle práce

Cílem práce je zdokumentování trendu efektivity protierozní kokosové sítě o hmotnosti  $700 \text{ g/m}^2$ , dále C700, v závislosti na změně intenzity dešťové srážky. Předpokladem je podstatné snížení erozní účinnosti deště, tedy i koncentrace sedimentu ve sledovaných vzorcích povrchového odtoku, tedy že s rostoucí intenzitou bude klesat efektivita geotextilie.

Cíle bylo dosaženo výzkumem prováděným v laboratorních podmínkách. Pokus byl prováděn na umělých půdních profilech o sklonu  $27^\circ$ , na kterých docházelo k simulaci dešťové srážky o intenzitách  $1 \text{ mm/min}$ ,  $1,27 \text{ mm/min}$  a  $2,11 \text{ mm/min}$ , což odpovídá době opakování  $N = 2, 5, 20$  let. K simulaci byl využit dešťový simulátor „Norton Ladder Rainfall Simulator“. Pro každou intenzitu bylo provedeno celkem 5 po sobě jdoucích srážkových událostí, jejichž doba trvání je celkem 30 minut – 15 minut zátěžový déšť, 15 minut pauza mezi jednotlivými dešti.

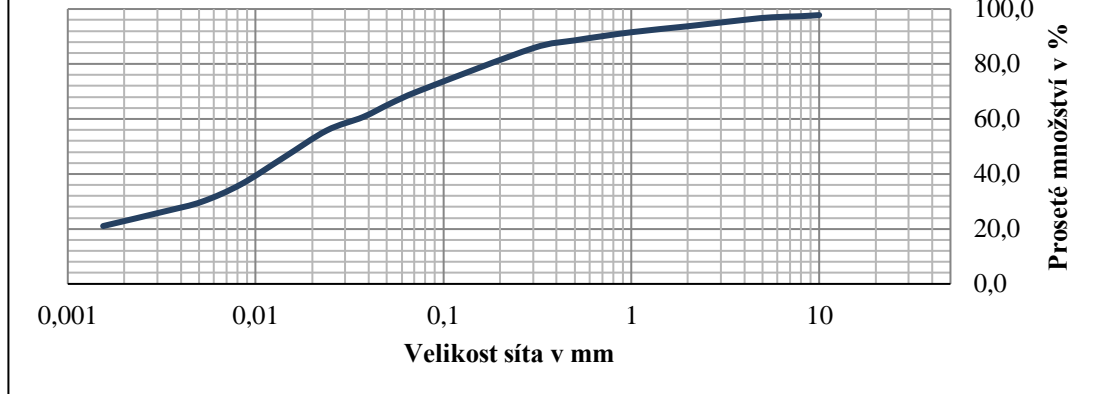
Pro splnění cíle byly odebírány a evidovány vlastnosti vzorku půdy a odebírána a zaznamenávána data o objemu povrchového odtoku, obsahu sedimentu v povrchovém odtoku a objemu infiltrované vody.

### 3 Metodika

Experiment probíhal v laboratorních podmínkách s využitím umělých půdních profilů. Na uměle vytvořených svazích o sklonu 1:2, kdy se na jednom z nich nacházel vzorek geotextilie, konkrétně kokosová síť o plošné hmotnosti 700 g/m<sup>2</sup>. Druhý, kontrolní svah, byl holý, tedy bez použití jakéhokoli protierozního opatření. Cílem výzkumu bylo zjistit, zda a jak se mění efektivita protierozního opatření v závislosti na změně intenzity zátěžové dešťové srážky. K dosažení cíle bylo provedeno celkem 15 sérií (=pět dešťů pro jednu intenzitu). Měření jedné série trvalo 15 minut a bylo provedeno v laboratorních podmínkách České zemědělské univerzity v Praze. Pomocí dešťového simulátoru „Norton Ladder Rainfall Simulator“ byly na pokus použity 3 různé intenzity deště, konkrétně 1 mm/min (N = 2 roky), 1,27 mm/min (N = 5 let) a 2,11 mm/min (N = 20 let), které byly stanoveny metodou redukce jednodenních maximálních srážkových úhrnů pro stanici Praha-Dejvice. Následně byly stanoveny redukované intenzity pro krátké doby trvání deště modelem DES\_RAIN (Kovář a kol, 2013).

Ze skrývky zeminy na staveništi nově budované Lesnické fakulty České zemědělské univerzity v Praze bylo přemístěno množství zeminy potřebné na laboratorní pokusy. Byl proveden zrnitostní rozbor, na základě kterého bylo určeno procentuální zastoupení frakcí půdy, které je znázorněno na obrázku č. 1. Stejná data jsou znázorněna také v tabulce č. 1. Pro přiblížení půdního druhu byly použity také hodnoty uvedené v tabulce č. 2. Půdní druh nebylo možné jednoznačně určit, vzhledem k tomu, že byla použita skrývka zeminy. Jedná se půdotvorný substrát písčitou spraš s nepatrnou příměsí hnědozemě (Němeček J., 2001).

## Zrnitostní rozbor použitého druhu zeminy



Obrázek 1 – Zrnitostní křivka zeminy použité pro pokus

Velikost síta (mm)	Proseté množství (%)
10	97,8
8	97,4
5,6	97,0
4	96,1
2	93,7
1	91,6
0,5	88,6
0,3	85,8
0,0728	70,0
0,0521	65,6
0,0373	60,7
0,0239	55,8
0,0141	46,0
0,0084	36,2
0,0052	29,9
0,0033	26,4
0,0015	21,1

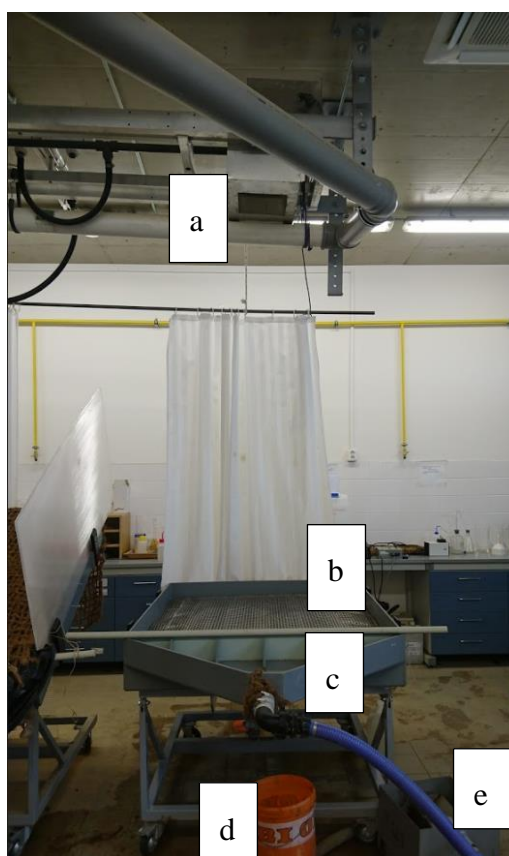
Tabulka 1 - Množství zeminy prošlé skrze síta při zrnitostním rozboru

<b>Lokalita</b>	Staveniště Lesnické fakulty
<b>Číslo vzorku</b>	1
<b>Hloubka (cm)</b>	0-10
<b>Barva zrn</b>	světle hnědá
<b>Navážka vlhká (g)</b>	377,09 g
<b>Navážka vysušená (g)</b>	367,02 g
<b>Navážka hustom (g)</b>	31,243 g
<b>Sušina hustom. (g)</b>	30,408 g
<b>Hustota pev.č. (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,7

Tabulka 2- Vstupní hodnoty zrnitostního rozboru

### 3.1 Příprava půdy pro měření

Před začátkem přípravy půdního profilu byla na dno žlabu (obr. č. 2–b) umístěna filtrační netkaná geotextilie o velikosti 110 cm x 110 cm (přesně na žlab), aby nepropadávaly půdní částice do odtokové části žlabu, ale zároveň bylo potřeba zajistit volný odtok infiltrované vody, která je zachytávána pod umělým půdním profilem do nádoby (obr. č. 2–d). Jedná se o vodu, která se během simulace infiltruje skrz půdní profil.



Obrázek 2 - Popis simulátoru deště a umělého půdního profilu s příslušenstvím; a - trysky simulátoru deště, b - odtoková plocha, c - sběrný žlab, d - zachycení infiltrované vody, e - průtokoměr

Do takto připraveného žlabu bylo možno rovnoměrně rozprostírat a upěchovat zeminu. Veškerá zemina byla před umístěním do žlabu zvážena na váze. Zemina nesmí být příliš vlhká, aby při udusávání (v našem případě vahou cihly) nedocházelo k příliš velkému ztuhnutí. Žlab byl ve vrstvách naplněn po okraj do celkové mocnosti půdního profilu 10 cm. Pro každou sérii měření byl vždy připraven nový půdní profil stejným

způsobem. Dle rozborů šesti odebraných neporušených půdních vzorků byla stanovena průměrná objemová hmotnost půdy  $1,16 \text{ g/cm}^3$  dle vzorce níže:

$$\text{Objemová hmotnost} = \frac{\text{hmotnost vzorku po vysušení (g)} - \text{hmotnost odběrového válečku (g)}}{\text{objem odběrového válečku (100 cm}^3\text{)}}$$

*Rovnice 1- Objemová hmotnost suché půdy v  $\text{g/cm}^3$  (POKORNÝ, 2007)*

Pomocí závitové tyče, která je součástí žlabu, byl nastaven sklon 1:2 ( $27^\circ$ ). Po tomto úkonu je třeba vyčistit sběrný žlábek (obr. č. 2–c) od napadaných půdních částic, aby nezkreslovaly výsledky sedimentu obsaženého v povrchovém odtoku. Tento žlábek je třeba zakrýt nepropustnou folií, aby nedošlo k ovlivnění výsledků z napadaných kapek přímo ze simulátoru deště. Dále je přes celý pokusný svah umístěn zvolený typ geotextilie, konkrétně kokosová síť o plošné hmotnosti  $700 \text{ g/m}^2$  (obr. 3). Geotextilie je pokládána na plochu svahu ve směru sklonu a pomalu rozmotávána. Z vrchní části necháme přesah zhruba 50 cm, který slouží k fixaci sítě na svahu.



*Obrázek 3 - Geotextilie – kokosová síť C700*

### 3.2 Zdroj vody a simulace deště

Ze zásobní nádrže o objemu  $1 \text{ m}^3$  byla přivedena voda pomocí čerpadla a potrubí do simulátoru deště. Tato nádrž je plněna z vodovodního řádu. Bylo třeba hlídat dostatek vody v nádrži, aby se při pokusu nestalo, že nečekaně dojde. Po zapnutí

čerpadla a přívodu vody k tryskám simulátoru následovala kontrola tlakoměru, který musí ukazovat hodnotu 41 kPa tak, jako na obrázku č. 4. Pokud se zobrazuje jiná hodnota, je nutné tlak upravit pomocí tlakových ventilů, které jsou umístěny u zásobníku vody.



Obrázek 4 - Nastavení tlakoměru pro simulaci

Před zapnutím simulátoru je také nutné zkontrolovat, zda je připojen i měnič napětí. Zapnutím tlačítka Controller (obr. č. 5) se spustí řídicí jednotka, na které se nastavuje hodnota intenzity deště a zvolí se typ kmitů trysek – single nebo double. Pro potřeby této práce byly použity módy 4S pro 1mm/min (N=2roky), 4D pro 1,27 mm/min (N=5 let) a 5D pro 2,11mm/min (N=20let). Tyto hodnoty byly stanoveny dle modelu DES RAIN, který je vytvořen na základě metody redukce maximálních jednodenních srážkových úhrnů, pro stanici Praha-Dejvice (Kovář a kol, 2013). Páčkou Sweep se spustí kmitání trysek a současně začne měření času, který je sledován po dobu 15 minut deště a následně navazujících 15 minut po dešti, kdy se stále zaznamenává objem povrchového odtoku. Po skončení tohoto třiceti minutového sledování bylo odečteno množství infiltrované vody a byla zapsána data o objemu povrchového odtoku.



Obrázek 5- Kontrolní jednotka simulátoru deště



### 3.3 Zaznamenávání dat a měření

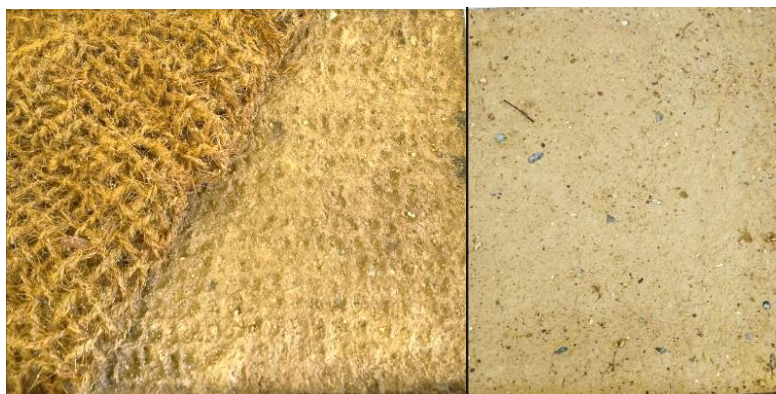
Před začátkem měření je nutné zkalibrovat překlopné průtokoměry. Následně můžeme připojit datalogger, který zaznamenává počet a čas překlopů průtokoměru při měření do jednoduchého počítačového programu. Senzory překlopů jsou přišroubovány ke konstrukci průtokoměru, můžeme tedy zapojit datalogger do sítě a připojit USB k počítači, kde si otevřeme program, ve kterém si nastavíme pravidelné ukládání dat (1 minuta). Po stisknutí tlačítka start se data začnou ukládat v intervalu 1 minuty do složky počítače.

V tuto chvíli je příprava hotova a je možné se pustit do samotného měření. Je potřeba spustit souběžně datalogger, simulátor deště i odpočet času. Doba trvání srážkové události je určena na 15 minut. Během měření je potřeba zaznamenat dobu koncentrace neboli čas počátku povrchového odtoku. Každé tři minuty jsou odebírány z roury, která vede do průtokoměrů, vzorky povrchového odtoku pro vyhodnocení koncentrace sedimentu do odběrných nádob, které jsou popsány číslem deště a minutou odběru. Po skočení 15minutové simulace následuje 15minutová pauza, během které ale stále probíhá záznam odtoku pomocí dataloggeru. Před začátkem další simulace je zapotřebí zaznamenat hodnotu objemu infiltrované vody, která byla sbírána do nádoby pod umělým půdním profilem, pomocí odměrného válce a zaznamenat hodnotu povrchového odtoku zaznamenané průtokoměrem. Proces pro jednu intenzitu deště probíhá v pěti opakováních. Fotografie žlabů po provedeném dešti je na obrázku č. 6.



Obrázek 6- Svah pokrytý kokosovou sítí (vlevo), kontrolní svah (vpravo) po provedené sérii měření

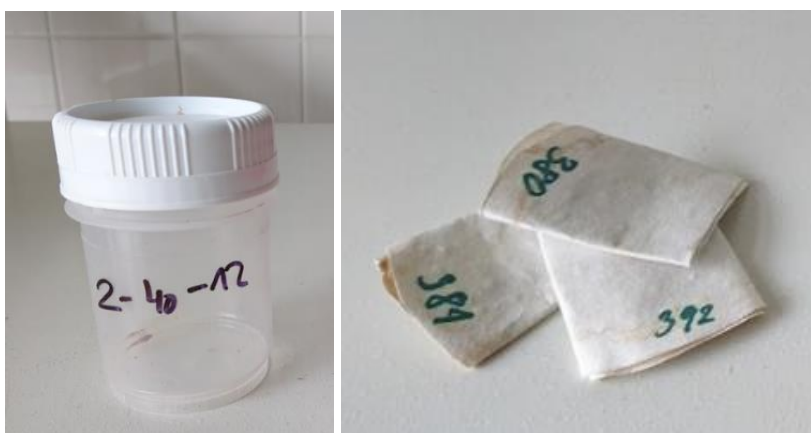
Z níže uvedeného obrázku č. 7. Je možné sledovat rozdíl po dešti mezi povrchem svahu s geotextilií a bez ní. Jak je vidno z detailu vlevo, povrch obsahuje i drobnou strukturu, naopak v pravé části, kde je detail svahu bez protierozní ochrany je vidno, že zůstaly částice větší struktury, ty menší byly deštěm smyty.



Obrázek 7 - Detail půdního povrchu pro provedení celé série měření (5 dešťů)

### 3.4 Zpracování dat

Během měření byly odebírány vzorky povrchového odtoku do předem připravených a popsáných vzorkovnic (obr. č. 8 vlevo). Každá vzorkovnice byla popsána tak, aby se dala identifikovat číslem žlabu, pořadím deště a minutou odběru. Toto označení se zaneslo do excelové tabulky. Pro každou vzorkovnici byl připraven filtrační papír, který byl tvarem přizpůsoben filtrační nálevce a označen číslem. Do tabulky byla zaznamenána také jeho váha s přesností na tisíce gramů.



Obrázek 8- Vzorkovnice pro odběr povrchového odtoku (vlevo), filtrační papíry se vzorkem sedimentu (vpravo)

Všechny vzorky povrchového odtoku byly vyhodnoceny bezprostředně po ukončení simulované srážky. Jednotlivě odebrané vzorky byly zpracovány pomocí podtlakové filtrace (obr. 9).



Obrázek 9 - Podtlaková filtrace

Všechny takto získané vzorky je nutné vysušit v sušárně při 105 °C po dobu 24 hodin (obr. č. 10). Po vysušení se vzorky zváží s přesností na tisíciny gramu. Pro zaznamenávání těchto údajů byla vytvořena excelová tabulka obsahující následující údaje – číslo vzorkovnice, číslo filtračního papírku, jeho váha bez sedimentu s přesností na tisíciny gramu, objem vzorku a objem přidané vody v mililitrech a samozřejmě váha filtračního papíru (FP) a sedimentu po vysušení. Z těchto záznamů je dále možno dopočítat hmotnost sedimentu a koncentrace sedimentu dle následujících rovnic č. 2 a 3.

$$\text{Hmotnost sedimentu (g)} = \text{hmotnost vysušeného FP vč. sedimentu} - \text{hmotnost FP bez sedimentu}$$

Rovnice 2 - Stanovení hmotnosti sedimentu v gramech

$$\text{Koncentrace sedimentu } \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right) = \frac{\text{hmotnost sedimentu v g}}{\text{objem vzorku v ml}}$$

Rovnice 3- Stanovení koncentrace sedimentu v g/ml



Obrázek 10- Sušárna vzorků Venticell

Vlhkost vzorku půdy byla stanovena pomocí gravimetrické metody, tedy odebraný vzorek byl zvážen a následně vložen do sušárny, kde byl při teplotě 105 °C sušen 24 hodin. Následně byl vysušený vzorek opět zvážen. Hmotnostní vlhkost v procentech byla určena dle rovnice č. 4.

$$\text{Vlhkost (\%)} = \frac{\text{Obsah vody (g)}}{\text{Celková hmotost vzorku po vysušení (g)}} * 100$$

Rovnice 4 - Výpočet vlhkosti půdního vzorku v % (POKORNÝ, 2007)

### 3.5 Vyhodnocení dat

Veškerá data byla zpracována do podoby tabulek a grafů. Výsledky jsou uvedeny jak souhrnně, tak pro každou intenzitu deště zvlášť. Data pro tuto diplomovou práci byla získána v rámci týmové spolupráce pro několik vzorků geotextilie. Tato práce shrnuje výsledky za použití kokosové sítě o plošné hmotnosti 700 g/m<sup>2</sup>.

## 4 Současný stav eroze v ČR

Půda patří k nejcennějšímu přírodnímu bohatství a je neobnovitelným přírodním zdrojem i výrobním faktorem (Buringh & Dudal, 1987). Vedle ohrožení půdy znečištěním, acidifikací nebo utužením se v dnešní době setkáváme také s erozí ohrožeností. Eroze je přírodní proces a v určité míře může být i prospěšná. V posledních letech se ale z eroze stává světovým problémem, který je třeba řešit. Eroze je totiž v posledních letech zesílena a podílí se na ní zejména lidská činnost. Nejvíce bývá ohrožená zemědělská půda, kvůli intenzifikaci zemědělství nebo změnám v pěstování plodin, případně nedodržováním osevniho postupu. Naopak správné umístění kultur a pozemků nebo orba po vrstevnici může objem povrchového odtoku snížit a tím snížit i riziko eroze (Novotný, 2017; Jůva, 1957). Ohroženými půdami jsou ale samozřejmě i půdy nezemědělské, a to zejména z důvodu stavební činnosti a uměle tvořených velmi sklonitých svahů.

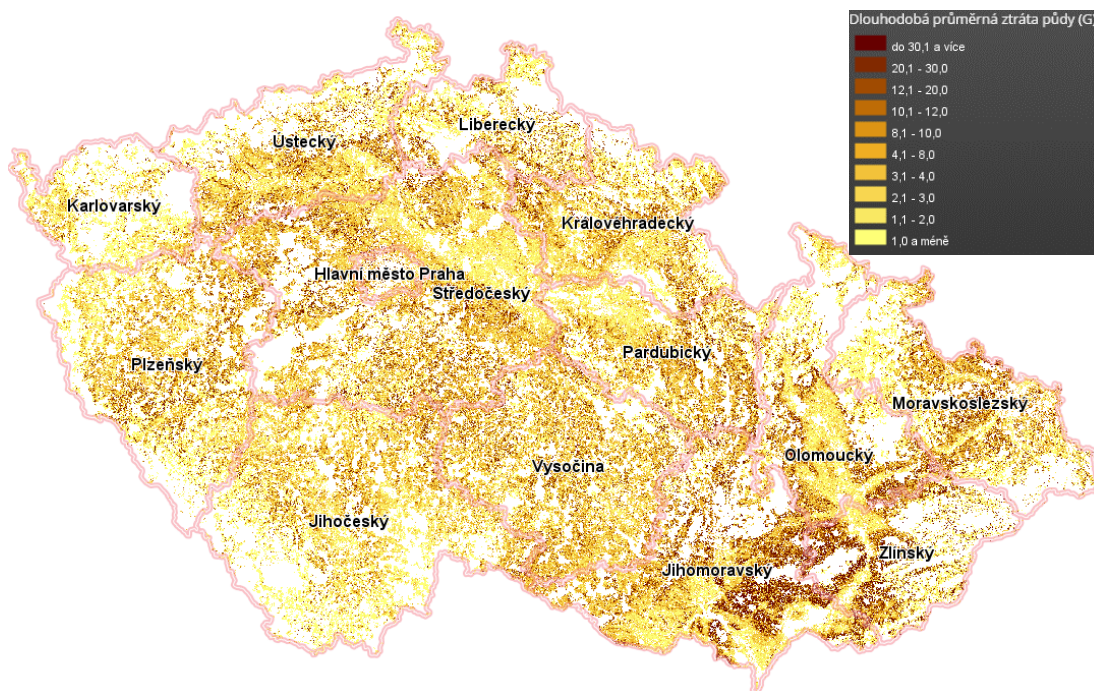
Průměrná dlouhodobá ztráta půdy by neměla překročit stanovenou přípustnou ztrátu půdy. Pokud je tato hodnota překročena, je nutné protierozní opatření pro zachování správně funkce půdy a její úrodnosti. Přípustná hodnota ztráty půdy se určuje dle její hloubky a je doporučena dle tabulky č. 3 níže (Novotný, 2017).

Hloubka půdy	G (t.ha-1.rok-1)
Mělké půdy, hloubka do 30 cm	Doporučeno převést do TTP*
Střední půdy, hluboká půda, hloubka nad 30 cm	4

\*TTP = trvalý travní porost

Tabulka 3 - Přípustná hodnota ztráty půdy v ČR (Novotný, 2017)

Průměrná roční ztráta půdy na zemědělských pozemcích v České republice je znázorněna na obrázku č. 11 níže. Nejvíce ohrožený je Jihomoravský kraj, kde hodnoty dosahují minimálně 30,1 t.ha-1.rok-1 a více. Ve zprávě o životním prostředí České republiky se uvádí, že 56,7 % zemědělské půdy je ohroženo vodní erozí a zhruba 18 % větrnou erozí. Za extrémně ohrožené půdy se považují ty, které dosahují průměrné roční ztráty půdy nad 10 tun na hektar za rok (Mertl a kol., 2016).



Obrázek 11 - Průměrná roční ztráta půdy v ČR (GEOPORTÁL SOWAC-GIS, 2017)

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy se dá stanovit pomocí tzv. univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), která je vyjádřena následovně:

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

Rovnice 5 - Rovnice USLE (JANEČEK M. a kol, 2012)

Jednotlivá písmena charakterizují dle Janečka (2012) tyto veličiny:

- G - průměrná dlouhodobá ztráta půdy (t.ha-1.rok-1),
- R- faktor erozní účinnosti deště vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů (MJ·ha-1·cm·h-1)
- K - faktor erodovatelnosti půdy vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu (t·h·MJ-1·cm-1)
- L - faktor délky svahu vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí
- S - faktor sklonu svahu vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí

- C - faktor ochranného vlivu vegetace vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice
- P - faktor účinnosti protierozních opatření

Mimo zemědělskou půdu a pozemky s členitým reliéfem se často řeší projevy eroze zejména kvůli stavební činnosti, kdy člověk mění jak využití půdy, tak i okolí staveb jako například strmé svahy a hráze nebo konstrukce zemních těles. Vzniká stále větší množství nepropustných ploch. A právě zde hraje velkou roli užívání protierozní ochrany (Řejha, 2011). Velmi často bývá řešena eroze u silničních svahů, kde správně provedené protierozní opatření může mít pozitivní vliv na bezpečnost pozemních komunikací, zejména proto, že se v posledních letech můžeme setkat s projevem extrémních výkyvů počasí. Dbát na bezpečnost je nutné samozřejmě i kvůli stále se zvyšujícímu zatížení komunikací (Liu et al., 2016).

Jeden z faktorů u holých strmých svahů může být také odlesňování, které nese velkou vinu na prohlubující se erozi (Ghosh a kol., 2015) Problematice odlesňování a s tím souvisejícímu zvyšujícímu se povrchovému odtoku na těchto místech se věnoval například Tachecí (2002). V lese totiž dochází k zachycení srážkové vody na listech a větvích stromů a v případě jeho absence se tedy tato srážková voda zapojí do povrchového odtoku, mimo jiné se také sníží výpad (Tachecí, 2002).

## 5 Metody výzkumu eroze

Metody výzkumu eroze rozlišujeme na přímé, které vychází z přímého měření eroze, a nepřímé metody, které využívají data pro predikci vývoje a následků eroze. Jednotlivá data můžeme získat z výzkumu přímo v terénu, tedy v polních podmínkách, nebo z laboratorních výzkumů (Morgan, 1996).

Výzkumem přímo v terénu bychom měli získat data o ztrátě půdy. Je tedy nutné vybrat plochu tak, aby reprezentovala danou oblast, a podle toho volíme i velikost pokusné plochy (Zachar, 1970). Zvolit je možné i metodu výzkumu. Ambulantní metoda se používá pro orientační výsledky výše eroze v místech, kde je omezený přístup a nevyhovuje tak metoda stabilní, která se využívá pro dlouhodobé výzkumy eroze (Misral, 2008). Nejpřesnější metodou je samozřejmě využívání přirozených srážek, nicméně tento proces je značně náročný na obsluhu a čas (Zachar, 1970), proto se využívají simulátory deště.

Použití simulátorů deště vědci, kteří zkoumali půdu a hydrologii, se datuje asi od roku 1930. Kategorizují se mimo jiné také dle rozměrů a principu tvorby kapek (Kavka, 2016). U kyvných simulátorů se intenzita deště určuje přímo pomocí kyvu ramena, respektive počtem kyvů ramena. Bohužel, nevýhodou těchto simulátorů je vcelku vysoká spotřeba vody, která je pro použití v terénu nevhodná, avšak garantuje stabilní průtok vody. Pulzní simulátory dosahují požadované intenzity deště pomocí otevírání a zavírání přívodu vody do trysek. Vzhledem k tomu, že se každá tryska musí ovládat separátně, je ovládání poněkud náročné. Mimo jiné je nutné pro udržení stálého tlaku vody spínat jednotlivé trysky, protože při spínání po skupinách by došlo ke zpoždění a tlak vody v trysce by nabíhal pomaleji, což je nežádoucí z hlediska udržení přesné kinetické energie deště (Kavka, 2016).

Jednoznačnou výhodou dešťových simulátorů je jejich použití v jakémkoli období. Je možné si také pokus provést při různých charakteristikách srážek (intenzita, doba trvání), přirozené srážky si takto přizpůsobit nemůžeme (McKenzie a kol., 2002).

Použití simulátoru deště může mít do značné míry i nevýhody. Pravděpodobně nikdy nebudeme schopni úplně simulovat všechny související podmínky jako například teplotu nebo rychlost větru – během bouří. Klesající teploty a vítr mohou do značné míry ovlivnit směr srážek (Lusby a Lichty, 1983). Simulátory jsou také



omezeny rozlohou zadeš'ované plochy. Je tedy pravděpodobné, že v takto malém měřítku není možné přesně reprezentovat erozní proces na celých plochách v povodí, které bývají vystaveny přirozené srážce.

Výsledky výzkumu eroze by měly sloužit pro boj proti erozi a současně by měly ověřovat funkčnost stávajících i nových protierozních opatření (Janeček, 2008).

## 6 Geotextilie

Pojem geosyntetika popisuje výrobky, které obsahují minimálně jednu část vyrobenou ze syntetického nebo přírodního polymeru a který může mít formu fólie, pásku nebo trojrozměrnou strukturu (ČSN EN ISO 10318 1, 2015). Aktuálně na trhu nalezneme nepřeborné množství druhů geosyntetik, které se liší druhem použitého materiálu a kvalitou. Před samotným výběrem konkrétní protierozní ochrany je nutné vyhodnotit závažnost ohrožení erozí. Nejčastější formou ochrany ohrožených svahů pak bývá aplikace protierozních geotextilií (Řejha, 2011).

Geotextilie, které se používají jako dočasná protierozní ochrana sklonitých terénů, jsou vyrobené z nití nebo svazků vzájemně provázaných vláken, které jsou propojené do hustých sítí (Kašpar, 2011). Použití geotextilií nám nabízí okamžitou a přiměřenou možnost ochrany svahu před ztrátou půdy v období od výsadby ochranného porostu (travní porost, keře, stromy) do stabilního porostu s vyvinutým kořenovým systémem, který bude schopen chránit půdu (Luo a kol., 2013). Kromě toho jsou geotextilie vhodné i pro potlačení výkyvů teplot a udržují půdní vlhkost a zvyšují infiltraci do půdy (Bhattacharyya et al., 2009).

Dle způsobu výroby je můžeme rozdělit na tkané, netkané, pletené či kombinované nebo podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Z umělých materiálů je to polyakrylnitrát (PAN), polyester PET, polyamid PAD, polypropylen PP nebo polyetylen PE. Z přírodních materiálů, kterými se budu dále zabývat detailněji, jsou to například len, juta nebo kokosové vlákno (Technické podmínky 53, 2003). Netkané geotextilie poskytují pokrytí celého povrchu, jsou propustné, ale vzhledem k jejich hustotě brání rozvoji nežádoucího plevelu. Rohože, které pokrývají povrch pouze částečně, se aplikují na svahy, u kterých se počítá se zatravněním nebo jiným porostem. Obě varianty můžeme najít v nabídce jak syntetické tak z přírodních materiálů (Jakab a kol., 2012).

Geotextilie jsou výrobky, které spadají do oblasti stavebnictví, tedy jsou to tzv. výrobky spadající do působnosti nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 305/2011 EU, kde jsou stanoveny podmínky pro uvádění výrobků na trh. Ty, které splňují podmínky a jsou posouzeny podle těchto podmínek, dostanou tzv. prohlášení o vlastnostech (Horáčková, 2017). Mezi základní technické požadavky, které by měly

být splněny, patří například nezávadnost pro životní prostředí, a to vzhledem k tomu, že dochází k přímému kontaktu s půdou. Dalšími vlastnostmi by měla být dobrá přilnavost, stálost a pevnost, tedy takové, aby materiál odolal unášecí síle vody a větru či mechanickému namáhání. Minimální pevnost geotextilie je stanovena na  $3 \text{ kN.m}^{-1}$  (Technické podmínky 53, 2003).

Bylo vydáno několik norem upravujících vlastnosti geotextilií, které byly postupně revidovány. Revize jsou považovány za velmi podstatné a vyžadují, aby všechny geotextilie, které jsou uvedeny na trh po datu 3/2018, byly v souladu s těmito nejnovějšími normami a ty, které již mají certifikaci, je nutno recertifikovat podle aktuálně platných nových specifikací (Horáčková, 2017). Aktuálně platné normy v této oblasti vlastností geotextilií jsou ČSN EN ISO 10776, ČSN EN 13250, ČSN EN 13249, ČSN ISO 10318 1.

## 6.1 Přírodní geotextilie jako priorita

Už v rané fázi projektování nových záměrů v oblasti výstavby silnic, dálnic a železnic je vhodné zvážit také hydrologické poměry v dotčených oblastech. V posledních letech se zvyšuje povědomí a zájem lidí o ochranu životního prostředí. Dospěli jsme do stádia, kdy je třeba řešit problémy, které způsobí lidé svým narušováním přírodních systémů, zejména stavební činností. Z toho důvodu je třeba se zabývat stabilizací a obnovou oblastí poškozených stavební činností a vrátit se i zpět k již proběhlým projektům, kde je třeba dodatečně okolí staveb revitalizovat (Yang a kol, 2016).

V oblasti stavebnictví se stále potýkáme s problémem používání umělých geosyntetik, která sice splní účel, k jakému jsou vyrobena, ale nejedná se o přírodě blízké materiály a jejich doba rozkladu je příliš velká. Snahou populace v 21. století by mělo být používání takových materiálů, které splňují požadavky jak technické, tak biologické. To znamená takový materiál, který splní účel dočasné ochrany půdy, než se vytvoří dostatečně stabilní vegetační pokryv, ale zároveň se rozloží podstatně rychleji než umělá geosyntetika. Tím můžou být právě přírodní geotextilie jako je juta, kokos nebo palmové rohože (Ghosh, Bhattacharyya, & Gupta, 2015). Některé zdroje uvádějí, že používání umělých geosyntetik je upřednostňováno zejména z ekonomických důvodů, jelikož nabízejí nejlepší poměr mezi efektivitou a cenou

(Kašpar, 2011), jiné zdroje naopak tvrdí, že přírodní geotextilie mohou být cenově konkurenceschopnou variantou (Kalibová a kol, 2017) již zmíněným umělým výrobkům. Náklady na použití jutové geotextilie jsou v současné době nižší oproti použití syntetického materiálu (The Bombay Textile Research Association, 2012).

Z počátku bude vždy sloužit geotextilie jednak jako ochrana před nečistotami, jako je prach, bahno apod., tak i jako částečná ochrana půdy před erozí, která snižuje rychlost povrchového odtoku a zachycuje odnášené částice. Biologické geotextilie mají navíc hydroskopické vlastnosti, tedy jsou schopny absorbovat určitou část vody. Tak mohou oddálit počátek a objem povrchového odtoku, zachytit větší množství odnášených částic a jejich postupné uvolňování vlhkosti tak podporuje růst vegetace (Ghosh a kol, 2015). Současně se mezi výhody přírodních geotextilií dá zařadit jejich lepší přilnavost k terénu a jsou tedy i více efektivní (Langford, 1996).

Pro potřeby této práce byla použita kokosová síť. Kokosová vlákna jsou získávána ze skořápek kokosového ořechu. Vlákna se zpracovávají vzájemným propojováním a stlačováním bez použití chemických prostředků. Kokosové sítě obsahují lignin a celulózu, jejichž použití nezatěžuje životní prostředí. Jedná se o látky, které odolávají vlhkosti a jsou bez zápachu. Kokosová geotextilie s nižší plošnou hmotností ( $400 \text{ g/m}^2$ ) se používá pro svahy do  $30^\circ$  a její výhodou je střednědobý rozklad, větší plošná hmotnost ( $700 \text{ g/m}^2$ ) se používá pro svahy dosahující až  $45^\circ$ , doba rozkladu v tomto případě delší, až 5 let (Chybík, 2009).

## 6.2 Použití geotextilií jako ochrana zemního tělesa pozemních komunikací

Dle Technických podmínek 53, které byly vydány Ministerstvem dopravy, a které se týkají obecně geosyntetik v zemním tělese pozemních komunikací, byla vypracována orientační tabulka vhodnosti použití geosyntetik a ocelového pletiva. V tabulce č. 4 nás pro účely této práce zajímá aplikace protierozní ochrana, kde se jako nejvhodnější jeví jednak ocelové pletivo, které je vhodné pro ochranu proti pádu kamení u skalních svahů, ale také geobuňky a georochože, které jsou vhodné k ochraně půdy (Technické podmínky 53, 2008). V tabulce jsou také uvedeny funkce geotextilie, ke kterým může být určena. Filtrační funkce podporuje zadržení zeminy, která je uvolněna působením hydrodynamických sil, ale zároveň má takovou strukturu, aby

byl zajištěn snadný průchod vody. K prevenci nebo omezení nechtěného pohybu kapalin slouží izolační funkce. Separální funkce zabraňuje nežádoucímu mísení rozdílných druhů půdy. Bezpečné odvedení hromadící se vody zajišťuje funkce odvodňovací. Ochranná funkce omezí poškození půdy, při kterém by mohlo dojít během výstavby nebo před trvalým zatravněním. Poslední nejmenovanou je funkce vyztužovací, kde se využívá vysoká tahová pevnost. Ta se ocení zejména při zabudování geotextilie do zemního tělesa, čímž se zajistí příznivý statický stav (Ponikelský a kol., 2011).

Výrobek	Aplikace					
	Filtrace	Drenáž	Vyztužení	Separace		
				Klasická separace	Ochrana	Protierozní ochrana
Tkané geotextilie	x		xxx	xx		x
Netkané geotextilie	xxx	x	x	xxx	xxx	x
Pletené geotextilie	x		xxx	xx		x
Geomříže			xxx			x
Ocelové pletivo			xxx			xxx*
Geobuňky						xxx
Drenážní kompozit		xxx		x	xx	
Georochože					x	xxx

\* pro skalní povrchy, xxx – velmi vhodné, xx – možné použít, x – obvykle se nepoužívá, nevyplněná pole – použití není relevantní

Tabulka 4- Orientační použití vhodnosti geosyntetik a ocelového pletiva (Technické podmínky 57, 2008)

U pozemních komunikací, ale i u jiných stavebních projektů, se můžeme setkat se dvěma typy vodní eroze – povrchovou a vnitřní. Vnitřní vodní erozí je ohrožena stabilita násypu zemního tělesa vlivem stoupání a klesání vodní hladiny a postupného vyplavování jemných částic ze zemních těles. Může dojít až ke zhroucení tělesa (Řejha, 2011). Z povrchové vodní eroze se u silničních svahů můžeme setkat zejména s erozí rýhovou, která je charakteristická tím, že na povrchu zanechá malé zřetelné rýhy, které se postupně prohlubují. S erozí se potýká zejména půda, která má špatné vsakovací schopnosti. Smyté zemité částice se často usazují v příkopech nebo propustcích pod strmým silničním svahem (Technické podmínky 53, 2003).

Nejvíce jsou erozí ohroženy takzvané svahy komunikace v zářezu, které nalezneme na obrázku č. 12 pod číslem sedm. Na těchto místech není mnohdy téměř žádná vegetace a vzniká zde tak vyšší riziko vodní nebo větrné eroze. Výrazné

narušení by mohlo vést až k zhroucení svahu nebo sesuvu půdy (Rickson, 1988). Správně zrealizovaný projekt vede k dočasné protierozní ochraně za pomoci protierozního opatření a v konečné fázi ke vzrostlé vegetaci, která svah stabilizuje a nahradí tak dočasné protierozní opatření (Morgan, 1995).



Obrázek 12 - Základní názvosloví pozemní komunikace (Puchrik, 2004)

Erodivané svahy mají nižší plodnost, jelikož dochází ke ztrátám nejen půdních částic, ale také živin a organických látek, které ovlivňují jak strukturu půdy, tak její vodní kapacitu a pórovitost. To omezuje růst ochranného vegetačního pokryvu. Kromě ohrožení strmých svahů podél pozemních komunikací, jsou ohroženy také silniční příkopy nebo kanalizace. Zanedbaná péče o jednotlivé části zemních těles může způsobit i závažné problémy z hlediska bezpečnosti silničního provozu (Álvarez-Mozos et al., 2014).

Při rozhodování, zda zvolíme syntetické nebo biologické geotextilie, do značné míry rozhoduje cena. Syntetické geotextilie mohou být až 10x dražší než přírodní. Mimo jiné některé studie prokázaly, že přírodní geotextilie mohou být mnohem účinnější než syntetické například díky své přilnavosti k terénu (Langford a Coleman, 1996). Výhodou je samozřejmě i jejich 100% biologická rozložitelnost a lepší přilnavost k půdě. Přírodní vlákna se rozkládají průměrně 2-5 let, zatímco syntetické produkty minimálně 25 let. Při použití biologických geotextilií jde pouze o dočasnou

ochranu půdy před erozí, nikoli trvalou (Bhattacharyya et al., 2009). Je tedy vhodné dopředu počítat s nahrazením těchto opatření vegetačním pokryvem.

Řešení eroze u silničních svahů se může zdát jako ne příliš důležitá věc, ale je třeba myslet na stále se zvyšující provoz na pozemních komunikacích a poslední dobou i často se objevující extrémní projevy počasí. To vše může mít vliv na bezpečnost silničního provozu. Snížení eroze půdy může ochránit pozemní komunikace od nehod, protože zabrání odnosu půdy zejména větrem, ale i vodou na silnice, kde se může při změně počasí dojit vlivem těchto nečistot snáze k dopravní nehodě. Není možné zajistit úklid na takovém množství pozemních komunikací. Efektivnost protierozního opatření je samozřejmě závislá i na intenzitě deště, proto je nutné zvolit ochranu v závislosti na stanovištních podmínkách (Liu et al., 2016).

Dle hydrologických vlastností, které jsou uvedeny v tabulce č. 5, můžeme půdy rozdělit do 4 skupin: A, B, C, D. Skupiny jsou vytvořeny dle rychlosti infiltrace vody do půdy bez vegetačního pokryvu. Obecně platí, že čím více je půda schopna pojmout vody, tím více se může minimalizovat objem povrchového odtoku. Extrémně vysoká schopnost infiltrace může ale naopak způsobit přílišné vyplavování živin z půdy do podloží a podzemních vod. Infiltraci ovlivňuje několik faktorů, kterými jsou například intenzita a množství dešťových srážek na území, teplota, roční období, ale také fyzikální vlastnosti půdy jako zrnitost, struktura, pórovitost, půdní vlhkost apod. Velmi důležitým vlivem je ale také využití půdy a okolí (JANEČEK M. a kol, 2012).

Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologických vlastností půd
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace (větší než 0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo šterky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06-0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02-0,06 mm/min) při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu, půdy jílovitohlinité až jílovité
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (méně než 0,02 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím

Tabulka 5- Hydrologické vlastnosti půd (JANEČEK M. a kol, 2012)

## 7 Výsledky výzkumu při použití přírodních geotextilií

Problémy s erozí vznikají všude kolem nás, zejména tam, kde člověk narušuje přírodní systémy, tedy na zemědělských půdách, ve vinicích a sadech nebo strmých nezemědělských svazích (Jakab et al., 2012). Ve světě bylo provedeno již několik experimentů, při kterých byla použita jako protierozní ochrana přírodní geotextilie, juta, kokosové vlákno, jak v laboratorních podmínkách, tak v terénu. Geotextilie bývají aplikovány při nové výstavbě nebo sanaci určité lokality, kde si příroda sama neporadila. Zde citované výzkumy se prováděly na zemědělských půdách, ve vinicích nebo pro revitalizaci okolí stavby. Následující podkapitoly uvádějí jednotlivé výsledky použití přírodních geotextilií při různých typech ochrany. Výsledky ukazují, že účinnost je přímo závislá nejen na použitém typu geotextilie, ale také na dalších jevech, jako jsou například klimatické podmínky.

### 7.1 Přínos geotextilie pro prevenci eroze

Většina studií se zabývá tím, že geotextilie snižují ztrátu půdy a objem povrchového odtoku. Dle Álvarez-Mozose (2014) je ale také dokázáno, že mají vliv mimo jiné i na rychlost klíčení semen a růst vegetace. Tato zlepšení jsou připisována zejména schopnosti zadržet vlhkost. Nicméně je důležité, aby nedošlo ke špatnému provzdušnění a zapaření vegetace a nevznikly plísňe, které by mohly rostlinám výrazně uškodit. V tomto výzkumu se prokázalo, že na svahu 45° má jutová síť velmi pozitivní vliv na rychlý růst vegetace, překvapivě kokosová rohož tyto účinky neměla, dokonce se objevila ve výsledcích až za kontrolním holým svahem, a to bylo pravděpodobně způsobeno vysokou hustotou, která bránila interakci semene a půdy. Ke změně by mohla pomoci aplikace semene před položení kokosové rohože, jelikož v tomto výzkumu to bylo právě naopak (Álvarez-Mozos et al., 2014).

Při výzkumu v Maďarsku v oblasti vinic, se po aplikaci geotextilie zjistil přebytek vlhkosti. Existují ale i protichůdné názory, které nesouhlasí s příznivým vlivem geotextilií na vlhkost půdy. Tyto rozdíly mohou být způsobeny rozdílnými klimatickými podmínkami ve zkoumaných lokalitách. Očekává se, že role geotextilií bude mít v budoucnu velký význam, a to zejména z důvodu stále vyšší



pravděpodobnosti extrémních meteorologických jevů, které způsobují závažné eroze půdy (Kertész et al., 2011).

Výsledky výzkumů ukazují, že geotextilie jsou neúčinnější s průměrnou intenzitou srážek. Se zvyšující se intenzitou klesá efektivita geotextilií (Liu et al., 2016), nicméně závisí také na dalších faktorech, které mohou ovlivnit výsledky. V České republice neexistuje podklad, který by doporučil použití geotextilie dle sklonu svahu a typu půdy. Je tedy žádoucí zjistit, které geotextilie preferovat a za jakých podmínek. Z toho důvodu byl proveden experiment, který měří změnu efektivitu kokosové geotextilie C700 na základě změny intenzity dešťové srážky na svahu strmém  $27^\circ$ , tento sklon se velmi často používá při stavbě pozemních komunikací.

## 8 Výsledky

Výsledná data byla získána celkem ze tří sérií měření, která se lišila intenzitou deště, s cílem určit efektivitu kokosové sítě o plošné hmotnosti 700 g/m<sup>2</sup> a zhodnotit její vývoj s měnící se intenzitou deště. V každém měření je porovnáván svah pokrytý kokosovou sítí s kontrolním holým svahem. Jednotlivé intenzity odpovídají hodnotám stanoveným metodou redukce jednodenních maximálních srážkových úhrnů pro stanici Praha-Dejvice (Kovář et al., 2013) a jsou uvedeny níže:

- I1 = 1 mm/min (N= 2 roky)
- I2 = 1,27 mm/min (N= 5 let)
- I3 = 2,11 mm/min (N= 20 let)

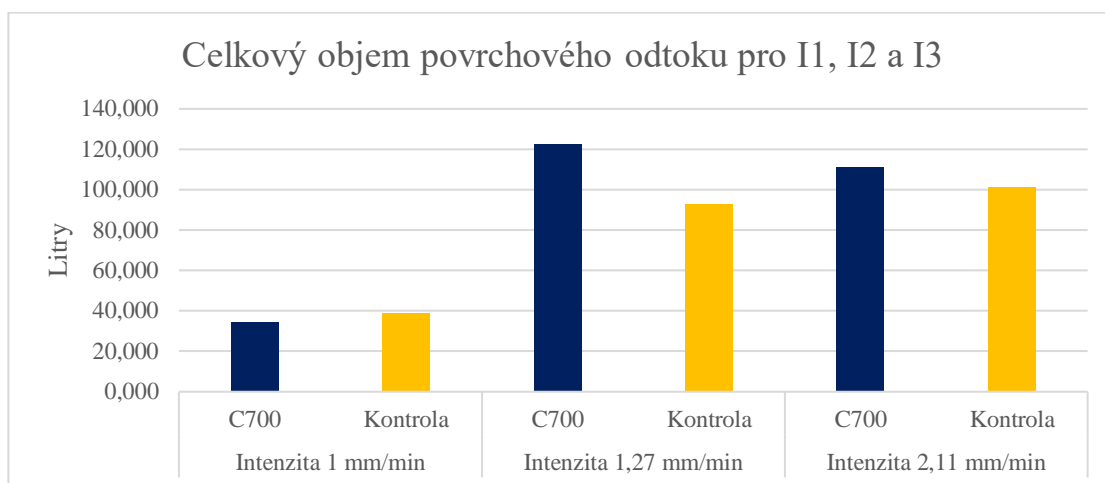
Níže uvedená tabulka č. 6 shrnuje gravimetrické údaje pro určení vlhkosti jednotlivých vzorků půdy uměle připraveného půdního profilu na pokusných svazích. Hmotnost zeminy u jednotlivých půdních profilů byla ve všech sériích měření srovnatelná. Z odebraných a zvážených vzorků se dle rovnice uvedené v metodice stanovila procentuální vlhkost, která se pohybuje od 11,6 % do 15,8 %, přičemž kontrolní svah a svah s geotextilií má vždy pro každou intenzitu deště srovnatelnou vlhkost.

Intenzita	Žlab	Hmotnost zeminy ve žlabu (kg)	Hmotnost vzorku před vysušení (g)	Hmotnost vzorku po vysušení (g)	Obsah vody (g)	Vlhkost (%)
I1	Geotextilie C700	173,160	40,922	35,619	5,303	14,888
	Kontrolní svah (holá půda)	177,589	42,293	36,870	5,423	14,708
I2	Geotextilie C700	176,250	23,066	19,916	3,150	15,816
	Kontrolní svah (holá půda)	175,532	29,032	25,215	3,817	15,138
I3	Geotextilie C700	179,400	25,431	22,693	2,738	12,065
	Kontrolní svah (holá půda)	172,620	24,462	21,916	2,546	11,617

Tabulka 6 - Gravimetrie pro všechny typy intenzit I1, I2 a I3

## 8.1 Souhrnné výsledky a porovnání provedených měření

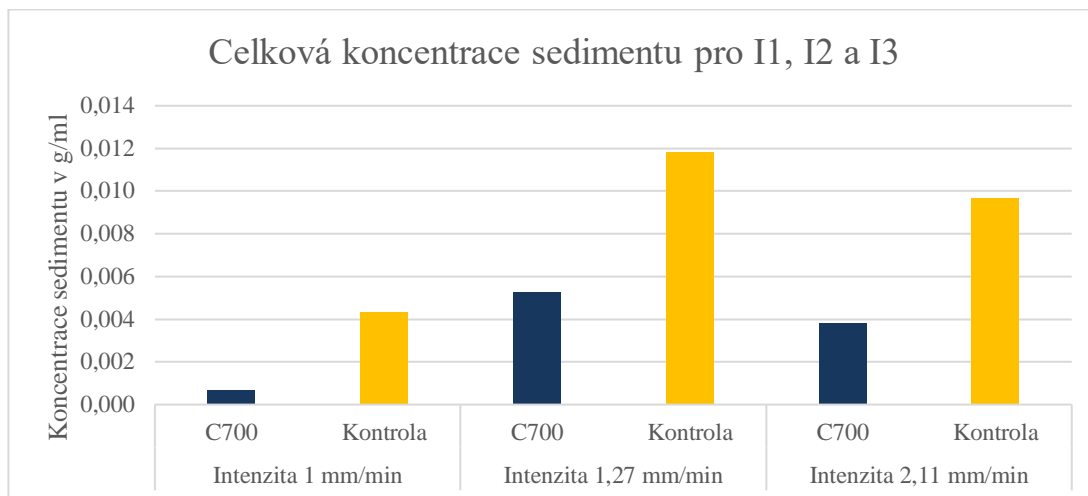
Na obrázku č. 13 je znázorněn celkový objem povrchového odtoku ze všech pěti opakování při jednotlivých intenzitách deště. Hodnota objemu povrchového odtoku je u kontrolního svahu vyšší jen v jednom případě, a to při první intenzitě deště zhruba o 4 litry. U zbývajících dvou vyšších intenzit deště se celkový objem povrchového odtoku pohybuje ve vyšších hodnotách u svahu pokrytého geotextilií. Objem povrchového odtoku nezáleží jen na intenzitě deště, ale také na zhutnění povrchu nebo vlhkosti zeminy před zahájením pokusu, proto je tyto hodnoty nutné brát v úvahu i v celkovém vyhodnocení. Detailnější vyhodnocení objemu povrchového odtoku bude uvedeno v jednotlivých kapitolách výsledků pro každou intenzitu deště.



Obrázek 13- Vývoj povrchového odtoku v jednotlivých intenzitách deště po 30 minutách

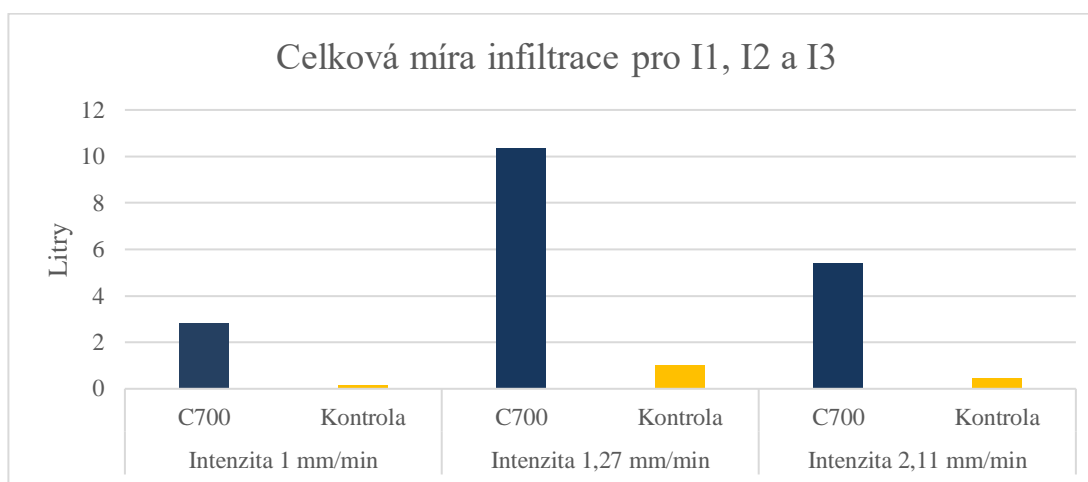
Při vyhodnocení celkové koncentrace sedimentu se předpokládalo, že pokusný svah pokrytý geotextilií bude vykazovat snížení celkové koncentrace sedimentu. Tento předpoklad se potvrdil, jak vyplývá z obrázku č. 14. Celková koncentrace sedimentu je oproti holému kontrolnímu svahu výrazně nižší. Největší rozdíl byl zaznamenán při první intenzitě, kde se smyv snížil o 85 % oproti svahu bez geotextilie. Překvapivě největší koncentrace byla naměřena při druhé intenzitě, a to jak u svahu s kokosovou sítí, tak u holého svahu. Ačkoli byl u svahu pokrytého geotextilií naměřen vyšší objem povrchového odtoku, u dvou vyšších intenzit deště byla koncentrace sedimentu vždy nižší, než u kontrolního svahu. Geotextilie snížila smyv o 55 % při druhé intenzitě a o 60 % při třetí, nejvyšší, intenzitě. Průběh koncentrace sedimentu v jednotlivých

srážkových událostech je zhodnocen vždy pro každou intenzitu v jednotlivých kapitolách.



Obrázek 14 - Celková koncentrace sedimentu dle jednotlivých intenzit pro všech 5 opakování deště

Objem infiltrované vody (dále jen infiltrace) byla odečtena vždy po 15 minutách od ukončení deště. Součet infiltrované vody za všech 5 opakování v jedné intenzitě pro každý svah je uveden na obrázku č. 15. Data ukazují, že infiltrace u svahů, které byly pokryty geotextilií je výrazně vyšší, a to zejména proto, že kokosová síť zadržela určitou část vody a průběžně ji pak uvolňovala. Půda měla tak více času na vsakování vody. Největší množství infiltrované vody bylo zaznamenáno při druhé intenzitě deště. Vývoj infiltrace v jednotlivých deštích každé intenzity je zpracován v kapitolách s vyhodnocením výsledků pro jednotlivé intenzity deště.



Obrázek 15 - Celková míra infiltrace po 15 minutách od ukončení deště pro jednotlivé typy intenzit, součet všech pěti opakování

## 8.2 Měření s intenzitou $I_1=1$ mm/min

Nejnižší intenzita byla zvolena 1 mm/min, což odpovídá dvouleté dešťové srážce pro stanici Praha-Dejvice.

Z tabulky č. 7 níže lze vyčíst potřebné údaje pro výpočet vlhkosti v procentech. V tomto případě je vlhkost vzorku srovnatelná - 14,89 % u vzorku s geotextilií a 14,71 % u kontrolního svahu. Dále můžeme porovnat hmotnost zeminy v jednotlivých žlabech. Hmotnost se nepatrně liší, může to být způsobeno větším zhutněním půdy na kontrolním svahu.

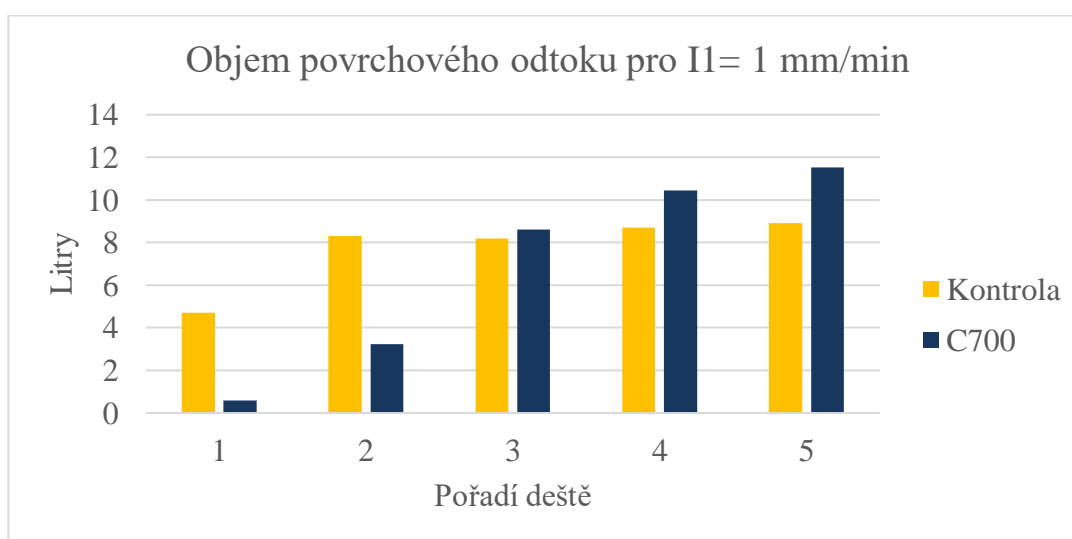
Žlab	Hmotnost zeminy ve žlabu (kg)	Hmotnost vzorku před vysušení (g)	Hmotnost vzorku po vysušení (g)	Obsah vody (g)	Vlhkost (%)
Geotextilie C700	173,160	40,922	35,619	5,303	14,888
Kontrolní svah (holá půda)	177,589	42,293	36,870	5,423	14,708

Tabulka 7 - Gravimetrické stanovení vlhkosti půdy pro intenzitu 1 mm/min

Dalším sledovaným jevem je objem povrchového odtoku (tabulka č. 8), kde sledujeme jeho začátek a průběh během celé série měření. Povrchový odtok začal při prvním dešti u obou typů ploch až po třech minutách, u kontrolního svahu v čase 3:10 min a u svahu s kokosovou sítí 3:23 min po začátku měření. Čas začátku povrchového odtoku se postupně snižoval a při posledním dešti začal už po třiceti vteřinách u kontrolního svahu a po 40 vteřinách u svahu s geotextilií. Z obrázku č. 16 uvedeného níže vyplývá, že u holého kontrolního svahu se po druhém dešti hodnota objemu povrchového odtoku v podstatě ustálila někde kolem 8,3 litru za 15 minut. Naopak u svahu pokrytého geotextilií si lze všimnout neustále stoupající tendence, jejíž maximum je v 5. dešti s hodnotou 11,5 l. Pro lepší vizualizaci je průběh objemu povrchového odtoku v jednotlivých deštích znázorněn graficky na níže uvedeném obrázku č. 16.

Typ povrchu svahu	Pořadí deště	Objem povrchového odtoku po 15 minutách (l)	Objem povrchového odtoku po 30 minutách (l)	Začátek povrchového odtoku (min)
kontrolní svah (holá půda)	1	4,70	4,70	3:10
	2	8,00	8,30	0:59
	3	8,15	8,20	0:40
	4	8,55	8,70	0:42
	5	8,78	8,93	0:30
Geotextilie C700	1	0,50	0,60	3:23
	2	2,55	3,23	2:33
	3	7,03	8,60	0:30
	4	8,83	10,45	0:01
	5	9,73	11,53	0:40

Tabulka 8 – Objem povrchového odtoku pro kontrolní svah a svah pokrytý kokosovou geotextilií

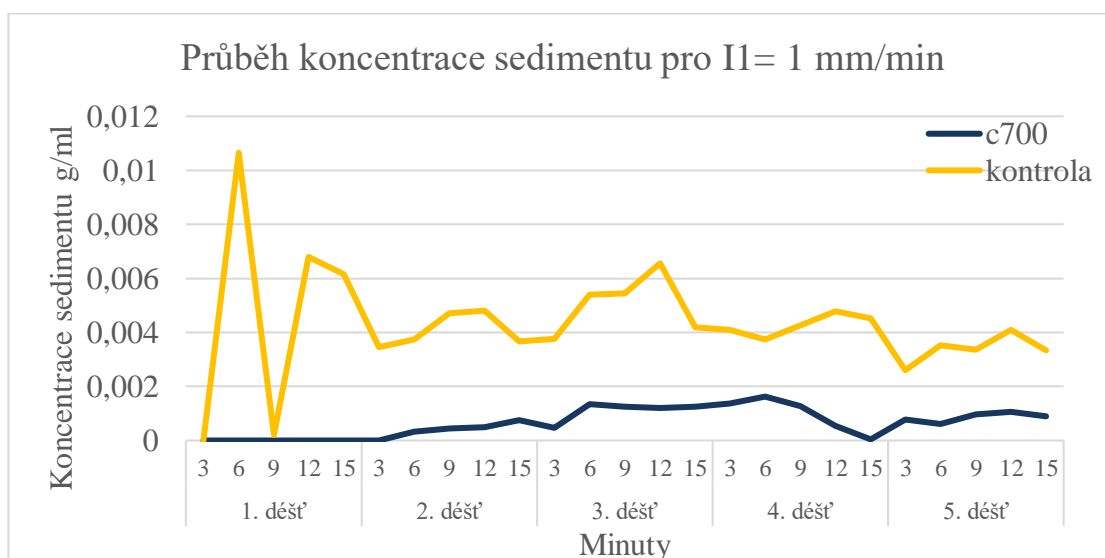


Obrázek 16- Objem povrchového odtoku při intenzitě 1 mm/min v jednotlivých deštích

S objemem povrchového odtoku také úzce souvisí průběh grafu koncentrace sedimentu. Při prvním dešti se v prvních 3 minutách neodebral žádný vzorek, protože nenastal povrchový odtok. Tedy začínáme na nulové koncentraci sedimentu pro

kontrolní svah, i ten pokrytý kokosovou sítí. V 6. minutě se setkáváme s vysokým skokem a následně s velkým poklesem u kontrolního svahu.

Při této intenzitě se, dle obrázku č. 17, hodnoty koncentrace u kontrolního svahu pohybují nejčastěji mezi 2,5 g/l do 6 g/l. Křivka koncentrace sedimentu u svahu s kokosovou sítí se hodnotami velice liší. Pohybuje se od 0 g/l do 1,6 g/ml. Kokosová síť prokázala, že pozitivně ovlivňuje obsah sedimentu v povrchovém odtoku.

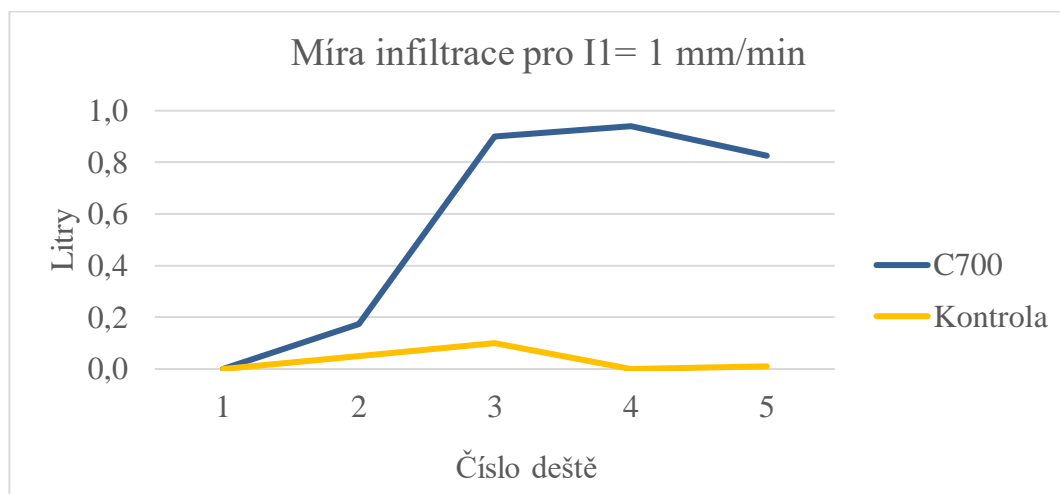


Obrázek 17- Průběh koncentrace sedimentu pro celou sérii měření pro intenzitu 1mm/min

Pro potřeby této práce byla sledován i objem infiltrované vody a jeho průběh je znázorněn na obrázku č. 18. V porovnání míry infiltrace jednoznačně vítězí svah pokrytý geotextílii. Nejvyšší hodnoty dosáhla infiltrace při čtvrtém dešti, a to bezmála 1 l, přesněji 940 ml. Oproti tomu kontrolní svah má největší naměřenou hodnotu pouze s hodnotou 100 ml při třetím dešti. Vývoj, který můžeme sledovat na obr. 18, ukazuje schopnost geotextilie zadržet dešťové srážky pro další možnost vsakování. Během čtvrtého a pátého simulovaného deště došlo k poklesu růstu a opět poklesu objemu infiltrované vody, což značí úplné nasycení kokosové sítě vodou. Zvýšil se tedy objem povrchového odtoku a snížila se schopnost zadržet vodu.

Půda bez ochranné geotextilie vykazuje také jistou snahu o infiltraci vody během prvních dvou dešťů, nicméně půda ji nemůže najednou pojmout tolik a dochází

tak k odtékání formou povrchového odtoku, jelikož vydatnost deště překročila infiltrační kapacitu půdy.



Obrázek 18- Míra infiltrace pro intenzitu 1mm/min

### 8.3 Měření s intenzitou I2=1,27 mm/min

Druhou zvolenou srážkovou intenzitou je 1,27 mm/min, což se rovná srážce pětileté.

V tabulce č. 9 níže jsou uvedeny všechny potřebné údaje pro výpočet. Byla zjištěna srovnatelná vlhkost půdy pro svah s geotextilií 15,81 % a vlhkost půdy pro holý kontrolní svah 15,14 %. Rozdíl ve vlhkosti je nepatrný. Hmotnost zeminy ve žlabu se nám opět pohybuje okolo 175 kg, je tedy srovnatelná i s předchozím měřením.

Žlab	Hmotnost zeminy ve žlabu (kg)	Hmotnost vzorku před vysušení (g)	Hmotnost vzorku po vysušení (g)	Obsah vody (g)	Vlhkost (%)
Geotextilie C700	176,250	23,066	19,916	3,150	15,816
Kontrolní svah (holá půda)	175,532	29,032	25,215	3,817	15,138

Tabulka 9 - Gravimetrické stanovení vlhkosti půdy pro intenzitu 1,27 mm/min

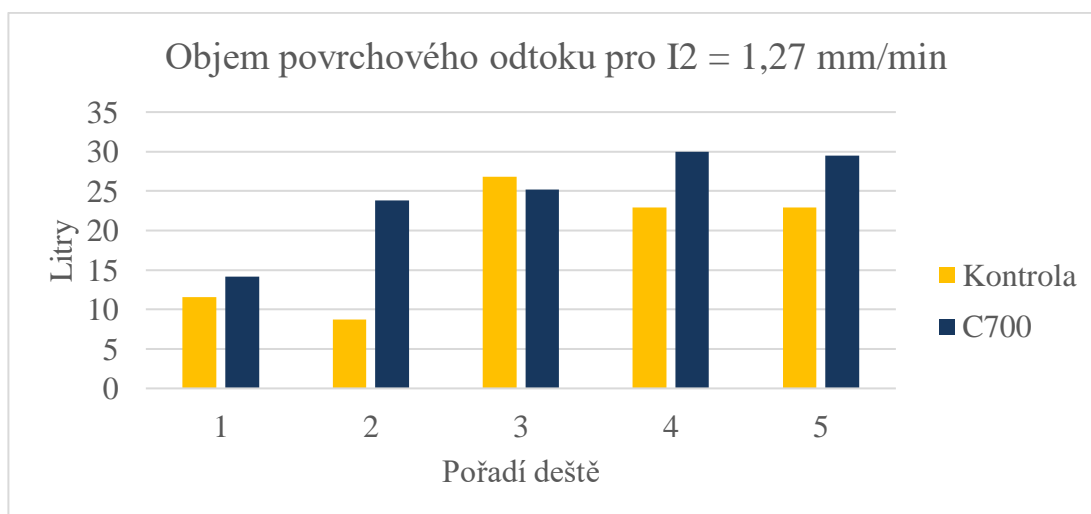
Z tabulky č. 10, která se věnuje povrchovému odtoku lze vyčíst začátek povrchového odtoku u kontrolního svahu po jedné minutě a u svahu s kokosovou sítí po jeden a půl minutě. Čas začátku povrchového odtoku se u holého svahu ustálil hned od druhého deště, kdy začínal po cca 23 vteřinách od začátku nového měření. Co se



týče svahu s geotextilií, tam se začátek povrchového odtoku neustále zrychloval, ve třetím dešti klesl na 45 vteřin a v posledním, pátém dešti, dokonce začal hned se spuštěním simulátoru. Začátek povrchového odtoku u holého svahu se ustálil po druhém dešti na zhruba 22 vteřin. Objem povrchového odtoku je v tomto měření nepřesný z důvodu poruchy přístroje, na kterou se přišlo po druhém dešti. Pro lepší vizualizaci je průběh objemu povrchového odtoku v jednotlivých deštích znázorněn graficky na níže uvedeném obrázku č. 19.

Žlab	Pořadí deště	Objem povrchového odtoku po 15 minutách (l)	Objem povrchového odtoku po 30 minutách (l)	Začátek povrchového odtoku (min)
kontrolní svah (holá půda)	1	11,43	11,53	1:02
	2	8,60	8,70	0:24
	3	26,73	26,83	0:22
	4	22,83	22,93	0:24
	5	21,95	22,93	0:23
Geotextilie C700	1	13,63	14,15	1:26
	2	22,15	23,80	1:12
	3	23,23	25,18	0:45
	4	27,90	30,00	0:08
	5	28,00	29,45	hned

Tabulka 10 - Údaje o povrchovém odtoku k intenzitě 1,27 mm/min pro svah s geotextilií i kontrolní svah

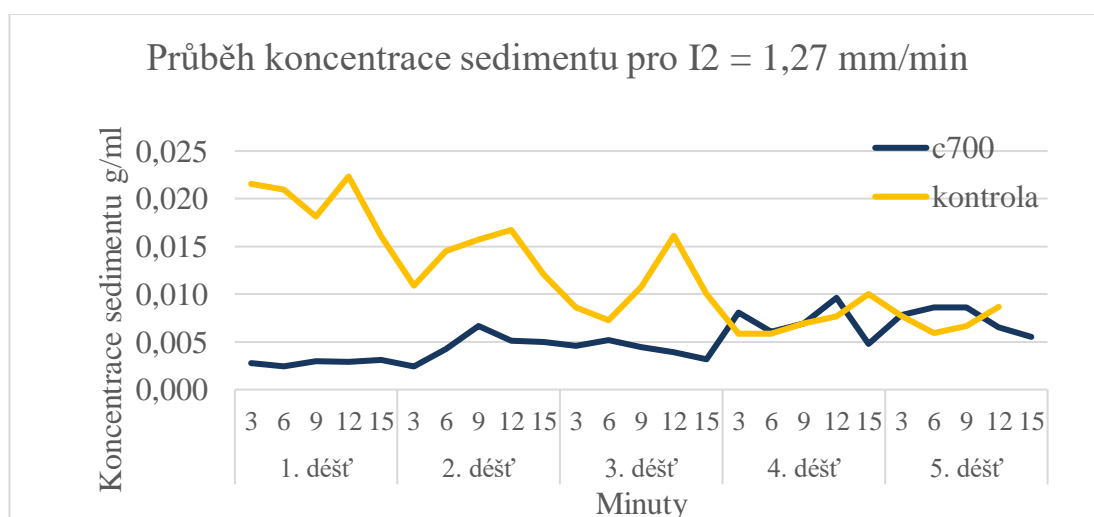


Obrázek 19 - Objem povrchového odtoku při intenzitě 1,27 mm/min

S objemem povrchového odtoku také úzce souvisí průběh grafu koncentrace. Při prvním dešti se v prvních 3 minutách neodebral žádný vzorek, tedy začínáme na nulové koncentraci sedimentu pro kontrolní svah, i ten pokrytý kokosovou sítí. V 6. minutě se setkáváme s vysokým skokem a následně s velkým poklesem u kontrolního svahu. To by mohlo být způsobeno tím, že začal povrchový odtok, který se zvyšoval a sebral s sebou najednou větší množství volných částic, které nebyly v přechozích minutách odneseny, právě kvůli začátku povrchového odtoku.

Obrázek č. 20 znázorňuje koncentraci sedimentu dle jednotlivých dešťů po sledovaných minutách. Nejvíce sedimentu u kontrolního svahu bylo odneseno při prvním dešti, při každém dalším koncentrace sedimentu klesá. Při této intenzitě byl zaznamenán povrchový odtok při prvním dešti už po 1. minutě. Hodnoty se pohybují mezi 5 g/l do 22 g/l.

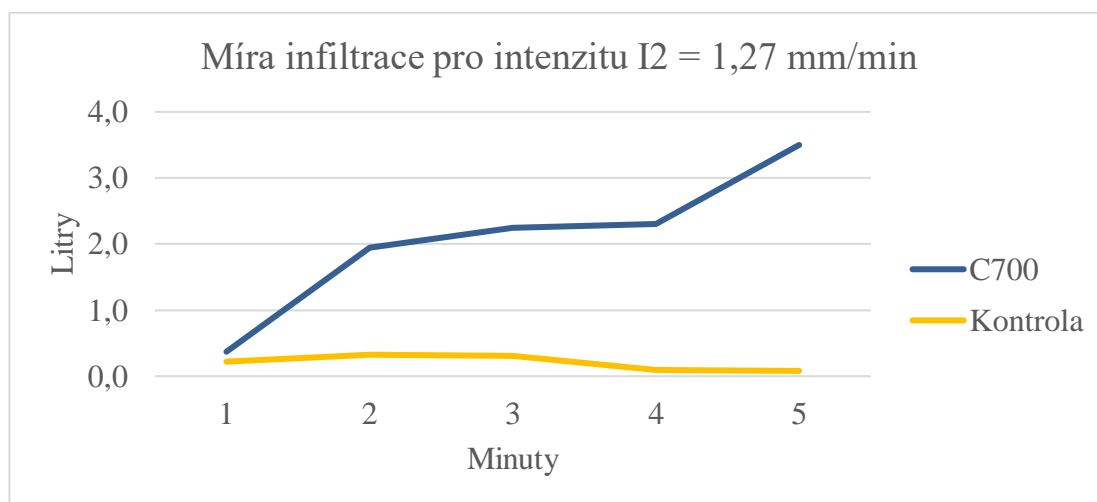
Průběh koncentrace sedimentu pro svah s geotextilií je relativně stálý s tendencí mírného růstu. Hodnoty se pohybují od 2 g/l do 9 g/l, tedy výrazně méně oproti kontrolnímu svahu, což je znát už při prvním pohledu na graf. U čtvrtého a pátého deště se hodnoty svahu s geotextilií a holého svahu přiblížily, v pátém dešti se dokonce hodnota svahu s ochrannou geotextilií dostane nad svah bez ochrany. Efektivita kokosové sítě je tedy znatelná zejména při prvních třech deštích.



Obrázek 20 - Průběh koncentrace sedimentu pro celou sérii měření pro intenzitu 1,27 mm/min

Míra infiltrace znázorněná na obrázku č. 21 dokazuje, že geotextilie má schopnost zadržet dešťové srážky, které při nasycení postupně uvolňuje do půdy a

udržuje tak její vlhkost delší dobu i po skončení deště. Nejvyšší hodnoty objemu infiltrované vody v tomto případě bylo dosaženo při pátém dešti, a to 3,5 l. Kontrola oproti tomu dosahovala hodnot maximálně do 350 ml.



Obrázek 21 - Míra infiltrace pro intenzitu 1,27 mm/min

#### 8.4 Měření s intenzitou I3=2,11 mm/min

Poslední, nejvyšší zkoumanou intenzitou je dvacetiletá srážka s hodnotou 2,11mm/min.

Hodnoty potřebné k výpočtu jsou uvedeny v tabulce č. 11 níže. Byla vypočítána vlhkost půdy pro svah s geotextilií 12,06 % a vlhkost půdy pro holý kontrolní svah 11,61 %. Rozdíl ve vlhkosti je nepatrný. Hmotnost zeminy ve žlabu se stále v rozmezí od 170 do 180 kg, je tedy srovnatelná i s předchozími měřeními.

Žlab	Hmotnost zeminy ve žlabu (kg)	Hmotnost vzorku před vysušení (g)	Hmotnost vzorku po vysušení (g)	Obsah vody (g)	Vlhkost (%)
Geotextilie C700	179,400	25,431	22,693	2,738	12,065
Kontrolní svah (holá půda)	172,620	24,462	21,916	2,546	11,617

Tabulka 11 - Gravimetrické stanovení vlhkosti půdy pro intenzitu 2,11 mm/min

Povrchový odtok (tabulka č. 12) začal při této intenzitě na holém svahu v čase 1:40 min a na svahu s geotextilií v čase 1:50 min. Čas povrchového odtoku u holého svahu se ustálil od druhého deště, vždy cca 25 sekund pro spuštění nového deště.

U svahu s kokosovou sítí se neustále čas začátku snižoval. Od třetího deště to bylo 10 sekund, v pátém dešti začal ihned po spuštění simulátoru.

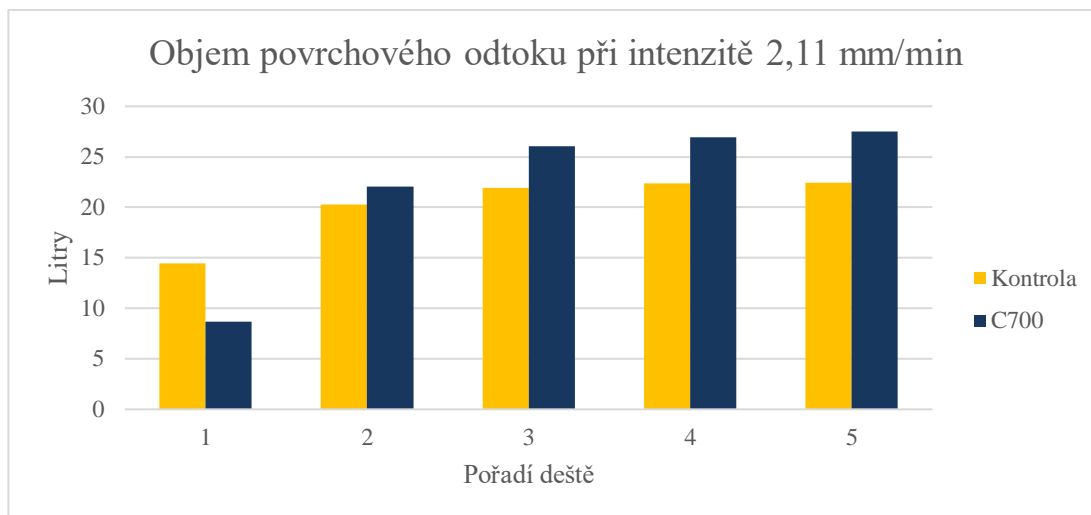
Objem povrchového odtoku je znázorněn dle jednotlivých dešťů na níže uvedeném obrázku č. 22. Tendence má relativně stejný průběh, liší se pouze v hodnotách. Pouze v případě prvního deště dosahuje kontrolní svah vyšších hodnot oproti svahu s geotextilií, jelikož během prvního deště byla kokosová síť schopna absorbovat srážky a na holém svahu kvůli její absenci začal povrchový odtok o 1 minutu a 20 vteřin dříve.

Od druhého deště začíná objem povrchového odtoku na svahu s geotextilií dosahovat vyšších hodnot než u svahu kontrolního, jelikož geotextilie není již schopna absorbovat další vodu, a navíc postupně uvolňuje i tu, kterou zadržela. Na kontrolním svahu stále všechny srážky odchází v podobě povrchového odtoku.

Žlab	Pořadí deště	Objem povrchového odtoku po 15 minutách (l)	Objem povrchového odtoku po 30 minutách (l)	Začátek povrchového odtoku (min)
kontrolní svah (holá půda)	1	14,45	14,45	1:40
	2	20,00	20,30	0:20
	3	21,28	21,95	0:26
	4	22,25	22,35	0:26
	5	22,15	22,43	0:26
Geotextilie C700	1	8,50	8,70	1:50
	2	19,80	22,05	1:09
	3	23,70	26,05	0:09
	4	24,48	26,93	0:10
	5	25,18	27,50	hned

Tabulka 12 - Údaje o povrchovém odtoku k intenzitě 2,11 mm/min pro geotextilii i kontrolní svah

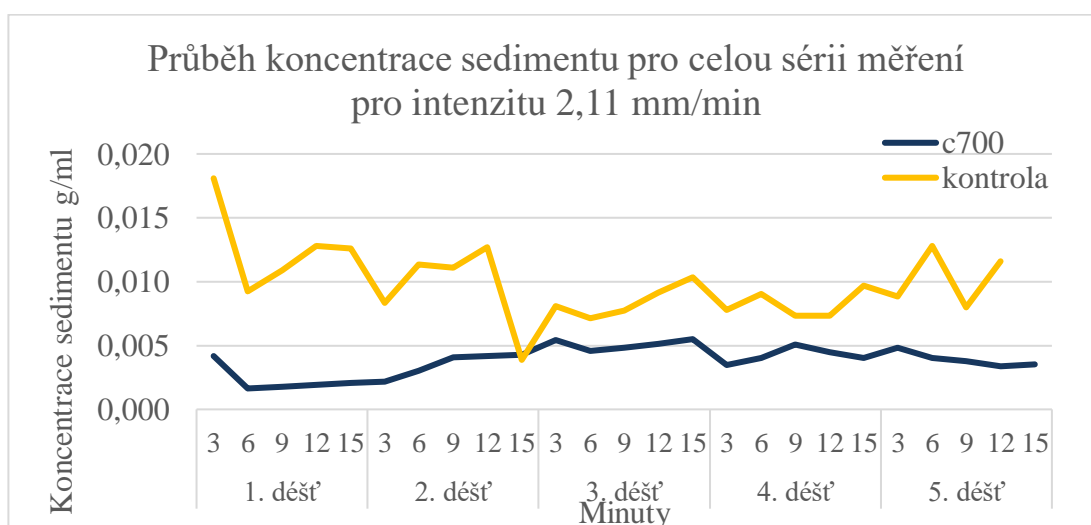
Pro lepší vizualizaci je průběh povrchového odtoku v jednotlivých deštích znázorněn graficky na níže uvedeném obrázku č. 22.



Obrázek 22 - Objem povrchového odtoku při intenzitě 2,11 mm/min

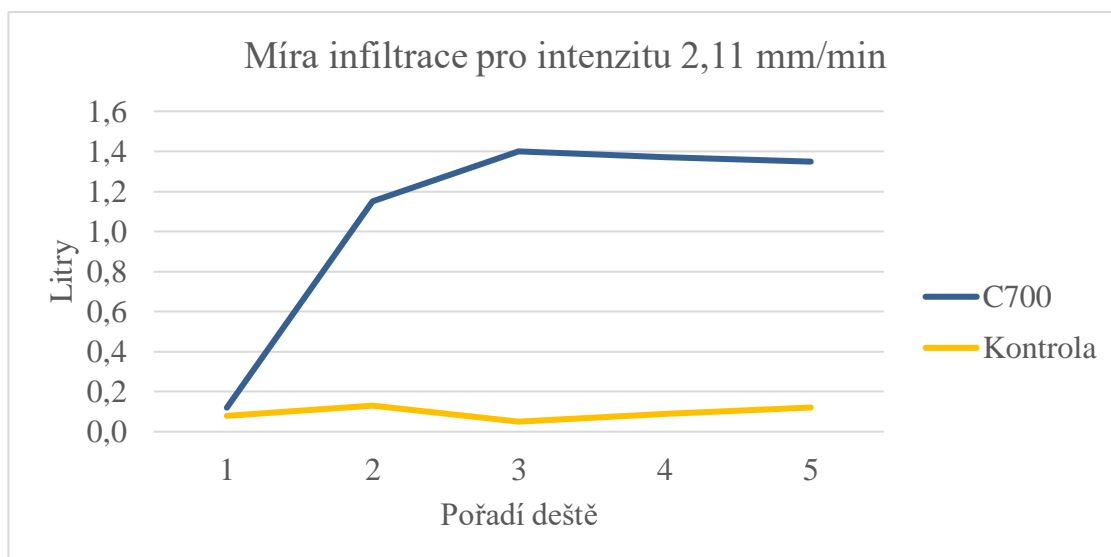
Obrázek č. 23 znázorňuje koncentraci sedimentu dle jednotlivých dešťů po sledovaných minutách. Nejvíce sedimentu u kontrolního svahu bylo odneseno při prvním dešti, při každém dalším koncentrace sedimentu klesá. Při této intenzitě byl zaznamenán povrchový odtok při prvním dešti už po 1. minutě. Hodnoty se pohybují mezi 0,005 g/ml do 0,022 g/ml.

Koncentrace sedimentu při poslední nejvyšší intenzitě se převážně pohybuje v hodnotách od 7 g/l do 13g/l u svahu kontrolního a od 1,5 g/l do 5,5 g/l u svahu s kokosovou sítí. Nejvyšší hodnota na kontrolním svahu byla dosažena při prvním dešti v prvních třech minutách, kdy jsou vodou odneseny všechny volné částice půdy za pomoci povrchového odtoku.



Obrázek 23 - Průběh koncentrace sedimentu pro celou sérii měření pro intenzitu 2,11 mm/min

Míra infiltrace, znázorněna na obrázku č. 24, při poslední nejvyšší intenzitě dosahovala při použití kokosové sítě maximální hodnotu při 3. dešti s hodnotou 1,4 l. U holého svahu bylo dosaženo maxima (130 ml) při druhém dešti. Infiltrace naměřená u kontrolního svahu se vůbec nedá srovnávat s tou, která byla naměřena u svahu s kokosovou sítí, kde jsou hodnoty díky její funkci mnohem vyšší asi 92 %.



Obrázek 24 - Míra infiltrace pro intenzitu 2,11 mm/min

## 9 Diskuse

Výsledky výzkumu prokázaly, že přítomnost kokosové sítě C700 měla vliv na celkové množství sedimentu obsažené v povrchovém odtoku. Nejefektivnější se kokosová geotextilie jeví při nejnižší intenzitě deště  $I_1 = 1$  mm/min, kdy její účinnost sníží obsah sedimentu asi o 84 % oproti kontrolnímu svahu. U následujících dvou vyšších intenzit se efektivita snížila (při  $I_2$  o 55 %, při  $I_3$  o 60 %), stále však byla pro koncentraci sedimentu v povrchovém odtoku klíčovou. Efektivita se snížila z důvodu nedostatku kapacity pro absorpci další srážkové vody. Větší počáteční hodnota koncentrace sedimentu na začátku každého měření souvisí pravděpodobně se začínajícím povrchovým odtokem, který smyl najednou větší množství volných půdních částic, které nebyly v přechozích minutách odneseny z důvodu absence povrchového odtoku. Při extrémních srážkách je pravděpodobné, že dojde ke snížení efektivy geotextilie, a zejména pak ke zvýšení koncentrace sedimentu v povrchovém odtoku. Data zpracovaná v této práci sice neukazují přímou úměru, ale lze potvrdit, že koncentrace sedimentu se s rostoucí intenzitou zvyší. Dle Ricksona (2000) existují tzv. kritické hodnoty intenzity srážek, při jejichž překročení nemá geotextilie žádný účinek, nicméně v tomto výzkumu bylo dosaženo pouze výsledku snížení efektivy geotextilie.

Během vyhodnocování výsledků filtrovaných vzorků a vážení po jejich vysušení bylo zjištěno, že nepoužité filtrační papírky (dále jen FP) mají před a po vysušení jinou hmotnost. Důvodem je pravděpodobně absorpce vzdušné vlhkosti v laboratoři, jelikož během měření zde byla zvýšena. Toto zjištění vedlo k úpravě hmotnosti filtračního papírku v tabulce tak, aby nebyla hmotnost sedimentu ovlivněna. Do budoucna doporučuji neopomenout umístění FP do exsikátoru

Účinnost geotextilie je závislá na několika faktorech, jako je počáteční vlhkost půdního vzorku a půdní druh, sklon svahu, intenzita dešťové srážky, objem povrchového odtoku a pravděpodobně i teplota prostředí. Dle tabulek gravimetrie (tabulky č. 7, 9 a 11) se podařilo docílit relativně podobných hodnot vlhkosti pro potřeby porovnání. Půdní druh, sklon a sklon svahu byl pro všechny série měření zachován stejný. Intenzita srážek má jednoznačně vliv na změnu efektivy kokosové geotextilie.

Zajímavým poznatkem výzkumu jsou výsledky pro druhou intenzitu 1,27 mm/min, kde koncentrace sedimentu, objem povrchového odtoku a infiltrovaná voda dosahují největších hodnot ze všech měření. Pravděpodobně se jedná o chybu v měření. Mohlo jít o změny v tlaku vody přiváděné k simulátoru či o jinou poruchu. Přesná příčina v zatím není známa. Vzhledem k technickým problémům při měření s druhou intenzitou  $I_2=1,27$  mm/min, by bylo vhodné měření zopakovat, toto však z kapacitních a časových důvodů již nebylo zahrnuto do programu této diplomové práce. Během druhého měření při  $I_2$  došlo při druhém dešti ke zjištění, že datalogger, zaznamenávající překlopy, nefunguje. Další deště tohoto měření a i měření při třetí intenzitě bylo tedy zaznamenáváno ručně, jelikož oprava snímacího čidla by přerušila měření na dlouhou dobu. Všechny překlopy i časy překlopů byly zaznamenány do excelové tabulky, kde byla data vyhodnocena. Hodnota objemu povrchového odtoku při druhém dešti je tak pravděpodobně chybná, což by mělo být zohledněno při dalším vyhodnocování dat. I při vynechání dat pro  $I_2$  lze však konstatovat, že předpokládané chování geotextilie (viz Cíle) a vývoj jejího vlivu na povrchový odtok byly daty potvrzeny (při srovnání  $I_1$  a  $I_3$ ).

Co se týče začátku povrchového odtoku, lze vyhodnotit, že u svahu pokrytého ochrannou geotextilií se v průběhu pěti dešťů neustále zrychloval, jelikož docházelo k uvolňování absorbované vody z předchozích srážkových událostí. Naopak u kontrolního svahu se začátek ustálil už při druhém dešti každého měření. Svah pokrytý geotextilií vykázal zpoždění začátku povrchového odtoku v prvních dvou až třech deštích. Tyto výsledky mimo jiné potvrzuje i Sutherland a Ziegler (2007). Objem povrchového odtoku se tak může zvýšit, jelikož geotextilie má omezenou schopnost absorbce vody. U holého svahu se začátek povrchového odtoku relativně ustálil při druhém dešti každé série, jelikož byla naplněna absorpční kapacita půdy. Se zvyšující se intenzitou se tedy předpokládá zvýšení objemu povrchového odtoku. V případě tohoto výzkumu se objem povrchového odtoku v při porovnání  $I_1$  a  $I_2$  razantně zvýšil, ačkoli intenzita deště nebyla natolik rozdílná. Při porovnání výsledků  $I_2$  a  $I_3$  ale tak razantní rozdíl nebyl, ačkoli se intenzita téměř zdvojnásobila. Nelze tedy vyloučit poruchu přístroje, případně kolísání tlaku vody.

Dalším hodnoceným faktorem byla infiltrace. Infiltrační schopnost holé půdy je výrazně nižší, jelikož absorpční kapacita půdy je velmi rychle dosažena. Z toho tedy vyplývá, že vydatnost deště předčila infiltrační schopnost půdy. Svah opatřen



geotextilií měl infiltrační schopnost mnohem větší. Geotextilie byla schopna část vody absorbovat a následně postupně uvolňovat. Půda tak byla schopna vodu postupně infiltrovat. Pokles infiltrace u posledních dešťů lze připsat také třeba zanesení půdních pórů jemnými částicemi, což vede ke snížení infiltrační rychlosti a kapacity. Další příčinou omezené možnosti infiltrace může být i krusta, která snižuje jednak infiltraci vody do půdy a vodní kapacitu a zvyšuje tak i smyv zeminy při intenzivních deštích (Josef & Pavel, 2010). Velké rozdíly týkající infiltrace holého svahu a svahu s geotextilií potvrzuje například i Sutherland a Ziegler (2007) naopak v opozici je Rickson (2000). Tyto rozdíly mohou být způsobeny typem používaných půd pro pokusy (Kalibová a kol., 2016).

Kokosová síť C700 se při tomto výzkumu projevila jako nejúčinnější při intenzitě  $I_1=1$  mm/min. Lze tedy předpokládat, že v případě nižších intenzit bude její účinek ještě vyšší. Největší efektivitu geotextilie pro průměrné srážky potvrzuje ve svém výzkumu i Liua kol. (2016) Pro další hodnocení doporučuji porovnat geotextilii C700 s jiným typem geotextilie, případně pokus zopakovat pro potvrzení výsledků, vzhledem k technickým problémům, které při výzkumu nastaly během měření při intenzitě  $I_2$ .

## 10 Závěr a přínos práce

Cílem této práce bylo v první části vypracování literární rešerše, která sloužila jako podklad pro vyhodnocení výzkumu prováděného v laboratorních podmínkách. Druhá část je věnována vyhodnocení výsledků výzkumu v oblasti objemu povrchového odtoku ze svahu zatíženého simulovanou dešťovou srážkou o třech intenzitách, koncentrace sedimentu v povrchovém odtoku a objemu infiltrované vody.

Nejen výsledky této práce, ale i zmíněné výsledky jiných výzkumů ve světě i v České republice prokazují, že geotextilie jsou pozitivním přínosem pro každý svah, jehož obnažený povrch není nijak chráněn před erozí. V ideálním případě je vhodné geotextilii použít v kombinaci s hydroosevem (Janeček M. a kol, 2012) jako dočasnou ochranu půdního profilu, než dojde na postiženém místě k růstu a zakoření vegetace.

Výsledky jednoznačně prokazují efektivitu použití geotextilie a zároveň potvrzují závislost efektivity na intenzitě dešťové srážky. Z hodnot míry koncentrace sedimentu jasně vyplývá zmírnění odnosu sedimentu oproti holému kontrolnímu svahu. Na základě dat týkajících se infiltrace lze potvrdit zlepšení infiltračních možností půdy při použití geotextilie. Začátek povrchového odtoku byl při použití geotextilie oddálen a existující povrchový odtok byl zpomalen, což vede i k již zmíněnému zmírnění smyvu půdních částic.

Z výsledků vyplynulo, že kokosová síť má největší efekt při mírnější intenzitě srážek. S rostoucí intenzitou se efekt snižuje. Nicméně stále plní protierozní funkci. Při vyšších intenzitách by bylo vhodné zamyslet se nad použitím jiné, vhodnější, přírodní geotextilie nebo se rozhodnout pro realizaci biotechnických opatření jako jsou například protierozní meze, zasakovací pásy, příkopy, průlehy, terasy nebo protierozní nádrže, jejichž cílem je podpořit infiltraci, omezit soustředování povrchového odtoku do stružek a zpomalovat a neškodně odvést odtok. Tato opatření tvoří mimo jiné jen funkci protierozní, ale také ekologickou a estetickou. Při správném realizování a udržování se tak může jednat o velmi trvalé opatření (Podhrázká a Dufková, 2005).

Tato práce vznikla za týmové spolupráce, která umožnila otestovat celkem tři vzorky geotextilií. Tyto komplexnější výsledky mohou být dále rozšiřovány a na jejich základě může být také provedeno vyhodnocení vhodnosti jednotlivých typů geotextilií

na různé typy svahů do oblastí s různými intenzitami deště. Výzkum navazuje na již publikované články (Kalibová et al. 2017 atd.).

# 11 Literatura

- Álvarez-Mozos, J., Abad, E., Goñi, M., Giménez, R., Campo, M. A., Díez, J., ... Diego, I. (2014). Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence on the establishment and growth of vegetation. *Catena*, *121*, 195–203.
- Bhattacharyya, R., Fullen, M. A., Davies, K., & Booth, C. A. (2009). Utilizing palm-leaf geotextile mats to conserve loamy sand soil in the United Kingdom. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *130*(1–2), 50–58.
- Bhattacharyya, R., Smets, T., Fullen, M. A., Poesen, J., & Booth, C. A. (2010). Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena*, *81*(3), 184–195.
- Buringh, P., & Dudal, R. (1987). Agricultural Land Use in Space and Time. *Wolman M. G., Fournier F. G. A. (Eds.): Land Transformation in Agriculture. John Wiley, New York:*, 9–43.
- Chybík, J. (2009). Přírodní stavební materiály. *Grada Publishing, a.s., Praha*.
- ČSN 73 6133. (2010). Návrh provádění zemního tělesa pozemních komunikací. *Úřad pro Technickou Normalizaci, Metrologii a Státní Zkušebnictví, Praha*, 68.
- ČSN EN ISO 10318 1. (2015). *Geosyntetika - Část 1: Termíny a definice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- Dayte, K. R., & Gore, V. N. (n.d.). Application of natural geotextiles and related products. *Geotextiles and Geomembranes 13.*, 371–388.
- Dayte, K. R., & Gore, V. N. (n.d.). Application of natural geotextiles and related products. *Geotextiles and Geomembranes 13.*, 371–388.
- GEOPORTÁL SOWAC-GIS. (2017). Retrieved from <https://mapy.vumop.cz/>
- Ghosh, S. K., Bhattacharyya, R., & Gupta, K. R. (2015). Design and Engineering of Open Weave Jute Soil Saver for Potential Application in the Field of Soil Erosion Control and Hill Slope Management. *Journal of Natural Fibers*, *12*(6), 561–573.
- Ghosh, S. K., Bhattacharyya, R., Mondal, M. M., Choudhury, P. K., & Sanyal, T. (2015). Design and development of woven jute geotextiles for potential

- applications in the field of geotechnical constructions. *Journal of the Textile Institute*, 106(5), 550–563. <https://doi.org/10.1080/00405000.2014.929272>
- Horáčková, S. (2017). V oblasti standardizace geotextilií konečně jasněji. *ELEKTRONICKÝ MĚSÍČNÍK ASOCIACE TEXTILNÍHO – ODĚVNÍHO – KOŽEĎELNÉHO PRŮMYSLU*, XVI(6), 28–29.
- Jakab, G., Szalai, Z., Kertész, Á., Tóth, A., Madarász, B., & Szabó, S. (2012). Biological geotextiles against soil degradation under subhumid climate - A case study. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(2), 125–134.
- Janeček, M. (2008). *Základy erodologie* (1. vydání). Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
- JANEČEK M. a kol. (2012). Ochrana zemědělské půdy před erozí.
- Jaroslav Puchřík. (2004). *Ministerstvo dopravy a centrum dopravního výzkumu* (Dopravní s). Akademické nakladatelství CERM.
- Josef, H., & Pavel, K. (2010). Vsakování vody do půdy a povrchový odtok vody u širokořádkových plodin, 22–26.
- Jůva, K. (1957). *Odvodňování půdy*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- Kalibová, J., Jačka, L., & Petru, J. (2016). The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth*, 7(2), 469–479.
- Kalibová, J., Petru, J., & Jačka, L. (2017). Impact of rainfall intensity on the hydrological performance of erosion control geotextiles. *Environmental Earth Sciences*, 76(12).
- Kašpar, M. (2011). *Typy geotextilií a jejich funkce ve stavebních konstrukcích*. Geomail.
- Kavka, P. (2016). Řídicí systém mobilního simulátoru deště. *Automa*.
- Kertész, Á., Szalai, Z., Jakab, G., Tóth, A., Szabó, S., Madarász, B., ... Yi, Z. (2011). Biological geotextiles as a tool for soil moisture conservation. *Land Degradation and Development*, 22(5), 472–479.
- Kovář, P., Šimková, J., & Rous, V. (2013). Možnosti využití modelové simulace

hydrologických dat pro vodohospodářské studie a projekty. *Vodní Hospodářství*, (roč. 63), 24–28.

Langford, R. L., & Coleman, M. J. (1996). Biodegradable erosion control blankets prove effective on Iowa wildlife refuge. *International Erosion Control Association Proceedings of Conference, Seattle, USA, XXVII*, 13–20.

Liu, H., Wang, J., Zhang, K., & Kong, Y. (2016). Effectiveness of geotextiles for road slope protection under simulated rainfall. *Environmental Earth Sciences*, 75(16), 1–11.

Luo, H., Zhao, T., Dong, M., Peng, X., Guo, Y., Wang, Z., & Liang, C. (2013). Field studies on the effect of three geotextiles on runoff and erosion of roas slope in Beijing. *China. Elsevir Catena*, 150–156.

Lusby, G. C., & Lichty, R. W. (1983). Use of rainfall-simulator data in precipitation-runoff modeling studies. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, (83–4159), 66.

McKenzie, N., Coughlan, K., & Cresswell, H. (2002). Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation. *Csiro Publishing, Australia*, 359.

Mertl, J., Myšková, T., H., P., J., P., T., P., M., R., & Vlčková, V. (2016). Zpráva o ťivotním prostředí České republiky 2016. *MŽP, Praha*.

Misral, I. A. (2008). *Soil pollution: origin, monitoring & remediation* (2. vydání). Berlín: Springer.

Morgan, R. P. C. (1996). *Soil erosion and conservation* (2. vydání). Essex: Longman.

Morgan, R. P. C., & Rickson, R. J. (1995). Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach. *Chapman & Hall, London*, 274.

Němec, J., & Hladný, J. (2006). *Voda v České Republice*. Praha: Consult.

Němeček J. (2001). *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

Novotný, I. (2017). Příručka ochrany proti vodní erozi.

Podhrázská, J., & Dufková, J. (2005). *Protierozní ochrana půdy*. Brno: MZLU v Brně.

POKORNÝ, E., & ŠARAPATKA, Bořivoj HEJÁTKOVÁ, K. (2007). *Hodnocení*

*kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka*. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura.

- Ponikelský, Z., Miča, L., Štork, V., & Valášek, J. (2011). Geosyntetika funkce, popis, terminologie. *IGS-CZ*, 34.
- Řejha, M. (2011). Protierozní zabezpečení svahů zemních těles a svahů zemních konstrukcí. *ASB*. Retrieved from <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/doprava/protierozni-zabezpeceni-svahu-zemnich-teles-asvahu-zemnich-konstrukci>
- Rickson, R. J. (1988). The use of geotextiles in soil erosion control: comparison of performance on two soils. *Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok*, 961–970.
- Rickson, R. J. (2000). *The use of geotextiles for soil erosion control, Ph.D. thesis*. Cranfield: Cranfield University.
- Rickson, R. J. (2006). Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surface Processes & Landforms* 31, 550–560.
- Sutherland, R. A., & Ziegler, A. D. (2007). Effectiveness of coir-based rolled erosion control systems in reducing sediment transport from hillslopes. *Applied Geography*, 27(3–4), 150–164.
- Tachecí, P. (2002). *Hydrologický režim malého horského povodí a odhad účinků změny prostoru*. Praha: ČVUT.
- Technické podmínky 53. (2003). *Protierozní opatření na svazích a pozemních komunikacích*. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací.
- Technické podmínky 57. (2008). *Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací - technické podmínky*. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor infrastruktury.
- The Bombay Textile Research Association. (2012). Handbook of Geotextiles 1. Special publication No. 02.2.34. *L.B.S. Marg, Ghatkopar W., Mumbai*.
- Yang, Y., Yang, J., Zhao, T., Huang, X., & Zhao, P. (2016). Ecological restoration of highway slope by covering with straw-mat and seeding with grass-legume mixture. *Ecological Engineering*, 90, 68–76.

Zachar, D. (1970). *Erózia pôdy* (2. vydání). Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied.



## 12 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Zrnitostní křivka zeminy použité pro pokus.....	13
Obrázek 2 - Popis simulátoru deště a umělého půdního profilu s příslušenstvím; a - trysky simulátoru deště, b - odtoková plocha, c - sběrný žlab. d – zachycení infiltrované vody, e - průtokoměr.....	14
Obrázek 3 - Geotextilie – kokosová síť C700 .....	15
Obrázek 4 - Nastavení tlakoměru pro simulaci .....	16
Obrázek 5- Kontrolní jednotka simulátoru deště.....	16
Obrázek 6- Svah pokrytý kokosovou sítí (vlevo), kontrolní svah (vpravo) po provedené sérii měření .....	17
Obrázek 7 - Detail půdního povrchu pro provedení celé série měření (5 dešťů) .....	18
Obrázek 8- Vzorkovnice pro odběr povrchového odtoku (vlevo) filtrační papíry se vzorkem sedimentu (vpravo).....	18
Obrázek 9 - Podtlaková filtrace .....	19
Obrázek 10- Sušárna vzorků Venticell .....	20
Obrázek 11 - Průměrná roční ztráta půdy v ČR(GEOPORTÁL SOWAC-GIS,2017) .....	22
Obrázek 12 - Základní názvosloví pozemní komunikace (Puchrík, 2004).....	30
Obrázek 13- Vývoj povrchového odtoku v jednotlivých intenzitách deště po 30 minutách.....	35
Obrázek 14 - Celková koncentrace sedimentu dle jednotlivých intenzit pro všech 5 opakování deště .....	36
Obrázek 15 - Celková míra infiltrace po 15 minutách od ukončení deště pro jednotlivé typy intenzit, součet všech pěti opakování.....	36
Obrázek 16- Objem povrchového odtoku při intenzitě 1 mm/min v jednotlivých deštích .....	38
Obrázek 17- Průběh koncentrace sedimentu pro celou sérii měření pro intenzitu 1mm/min .....	39

Obrázek 18- Míra infiltrace pro intenzitu 1 mm/min .....	40
Obrázek 19 - Objem povrchového odtoku při intenzitě 1,27 mm/min .....	41
Obrázek 20 - Průběh koncentrace sedimentu pro celou sérii měření pro intenzitu 1,27 mm/min .....	42
Obrázek 21 - Míra infiltrace pro intenzitu 1,27 mm/min.....	43
Obrázek 22 - Objem povrchového odtoku při intenzitě 2,11 mm/min .....	45
Obrázek 23 - Průběh koncentrace sedimentu pro celou sérii měření pro intenzitu 2,11 mm/min .....	45
Obrázek 24 - Míra infiltrace pro intenzitu 2,11 mm/min.....	46

## 13 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Množství zeminy prošlé skrze síta při zrnitostním rozboru .....	13
Tabulka 2- Vstupní hodnoty zrnitostního rozboru.....	13
Tabulka 3 - Přípustná hodnota ztráty půdy v ČR (Novotný, 2017).....	21
Tabulka 4- Orientační použití vhodnosti geosyntetik a ocelového pletiva (Technické podmínky 57, 2008).....	29
Tabulka 5- Hydrologické vlastnosti půd(JANEČEK M. a kol, 2012).....	31
Tabulka 6 - Gravimetrie pro všechny typy intenzit I1, I2 a I3 .....	34
Tabulka 7 - Gravimetrické stanovení vlhkosti půdy pro intenzitu 1 mm/min .....	37
Tabulka 8 – Objem povrchového odtoku pro kontrolní svah a svah pokrytý kokosovou geotextilií.....	38
Tabulka 9 - Gravimetrické stanovení vlhkosti půdy pro intenzitu 1,27 mm/min .....	40
Tabulka 10 - Údaje o povrchovém odtoku k intenzitě 1,27 mm/min pro svah s geotextilií i kontrolní svah.....	41
Tabulka 11 - Gravimetrické stanovení vlhkosti půdy pro intenzitu 2,11 mm/min.....	43
Tabulka 12 - Údaje o povrchovém odtoku k intenzitě 2,11 mm/min pro geotextilii i kontrolní svah .....	44

## 14 Seznam rovnic

Rovnice 1- Objemová hmotnost suché půdy v $\text{g/cm}^3$ (POKORNÝ, 2007) .....	15
Rovnice 2 - Stanovení hmotnosti sedimentu v gramech.....	19
Rovnice 3- Stanovení koncentrace sedimentu v $\text{g/ml}$ .....	19
Rovnice 4 - Výpočet vlhkosti půdního vzorku v % (POKORNÝ, 2007) .....	20
Rovnice 5 - Rovnice USLE (JANEČEK M. a kol, 2012 .....	22