

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.

Autor: Bc. Diana Vorlová

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Diana Vorlová

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 efektivit 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 22. 03. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv intenzity deště na efektivitu protierozních opatření“ vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Jany Kalibové, Ph. D. Uvedla jsem všechny literární zdroje, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 23. 2. 2019

.....

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Janě Kalibové Ph. D. za trpělivost a odborné vedení, které mi věnovala. Zvláštní dík pak náleží mé rodině a nejbližším, za podporu a důvěru, kterou mi v průběhu celé práce poskytovali.

V Praze dne 23. 2. 2019

.....

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá hodnocením efektivnosti protierozní geotextilie (jutové sítě o plošné hmotnosti 500 g/m^2) v laboratorních podmínkách za pomoci dešťového simulátoru a zároveň sleduje vývoj efektivity geotextilie dle změn intenzity deště. Geotextilie byla aplikována na umělý půdní profil o sklonu svahu 1:2, který byl vystaven dešti o třech intenzitách: $I_1 = 1 \text{ mm/min}$, $I_2 = 1,27 \text{ mm/min}$, $I_3 = 2,11 \text{ mm/min}$. Efektivita protierozní geotextilie byla porovnávána dle objemu povrchového odtoku a ztráty půdy, vždy ve srovnání s kontrolním svahem, který nebyl ošetřen žádnou geotextilií (holá půda).

Klíčová slova:

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

Abstract:

This diploma thesis deals with evaluation of efficiency of erosion control geotextile (jute net with surface weight of 500 g/m^2) in laboratory conditions with the use of rain simulator under certain rain intensity. And at the same time monitors changes in the geotextile efficiency under changing rainfall intensity. The geotextile was applied on an artificial soil profile with slope of 1:2 which was exposed to rainfall at three intensities: $I_1 = 1 \text{ mm/min}$, $I_2 = 1,27 \text{ mm/min}$, $I_3 = 2,11 \text{ mm/min}$. Efficiency of erosion control geotextiles was compared by volume of surface runoff and soil loss always in comparison with a control slope not treated with any geotextile (bare soil). The diploma thesis further evaluates the change of geotextile efficiency in the change of rain intensity.

Keywords:

erosion control geotextiles, simulated rainfall, rainfall intensity, surface runoff, soil loss

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Cíle práce	12
3.	Metodika	13
3.1	Simulátor deště a odtokové žlaby.....	13
3.2	Zemina pro měření	14
3.3	Příprava žlabů.....	15
3.4	Simulovaný déšť a sběr dat	17
4.	Rešerše	20
4.1	Eroze.....	20
4.1.1	Vodní eroze	22
4.2	Geotextilie	23
4.3	Simulátor deště	27
5.	Výsledky	29
5.1	Půdní vlhkost a zrnitost	30
5.2	Vyhodnocení objemu povrchového odtoku	32
5.3	Výsledky koncentrace sedimentu	36
5.4	Vyhodnocení objemu infiltrované vody.....	45
6.	Diskuze.....	46
7.	Závěr a přínos práce	48
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů	49
8.1	Odborné publikace	49
8.2	Legislativa	52
8.3	Internetové zdroje.....	52
9	Obrázky, tabulky, rovnice	53
9.1	Obrázky	53

9.2	Tabulky.....	54
9.3	Rovnice.....	55

1. Úvod

V České republice je nejvíce půdy zasaženo vodní nebo větrnou erozí. Plochy, které jsou erozí zasaženy, často nejsou nijak systematicky chráněny. Nekontruluje se a neomezuje se ztráta půdy, která by měla dosahovat přípustných hodnot. Přípustné hodnoty ztráty půdy jsou takové hodnoty, při kterých nedochází ke snižování mocnosti půdního profilu či většímu zhoršování kvality vodních toků (Janeček et. al., 2012).

Vodní eroze je jedním z nejsilnějších faktorů, které ovlivňují úrodnost půdy a udržitelné zemědělství. Z kvalitativního hlediska je eroze multifaktoriální proces, který je řízen a ovlivněn několika faktory – typem půdy, sklonem svahu, využitím půdy (rostlinná nebo živočišná produkce) a hospodaření s půdou (zachování úrodnosti a ekologických funkcí). Poslední dva faktory (využívání a hospodaření s půdou) nejvíce ovlivňují půdu, která se vyskytuje ve svahu, kde je malé množství srážek. Takové plochy se musí chránit nejvíc (Devátý et. al., 2019). Ochranou před erozí může být i provedení pozemkových úprav, protože dbají na respektování vlastnických, ekologických, vodohospodářských poměrů. Pozemkové úpravy jsou základním opatřením, co se týče zásad protierozní ochrany. Další důležitou součástí ochrany proti erozi je správné hospodaření (správné pěstování plodin) na pozemcích, které jsou ohrožené erozí a přijímání protierozních opatření – organizační (úpravě tvaru a velikosti pozemku), agrotechnické (hrázkování či plečkování) a technické (zatravnění, aplikace protierozních geotextilií) (Janeček et. al., 2012).

Mezi lety 1830 a 1918 byla Česká republika součástí rakousko-uherské monarchie, ve které bylo zemědělství řízeno podle společné zemědělské politiky. V letech 1826 a 1843 nastalo pro Čechy předindustriální či ranně industriální období, které se vyznačuje zvýšenou těžbou uhlí a růstem populace. Zároveň rostla i intenzita zemědělského hospodaření. Na konci druhé světové války nastala výrazná změna v zemědělském hospodaření – zvířata byla nahrazena stroji, intenzita a efektivita rostlinné produkce výrazně vzrostla. Po roce 1948 se v České republice politické síly rozhodly nastolit centrálně plánovou ekonomiku a začaly se znárodňovat průmyslové a zemědělské výroby. Tento přechod měl na zemědělství velký dopad – řízení ve velkém rozsahu. Plochy orné půdy byly zvyšovány tím, že pro zemědělství začaly využívat plochy, které byly nejméně vhodné. Největší negativní dopad na půdu měl rok 1989 (Devátý et. al., 2019). Po roce 1989 docházelo k privatizaci a proměně

zemědělských družstev. Předpokládalo se, že nastane změna v přístupu k využití zemědělské půdy a zároveň k její ochraně. Dále se očekávalo, že dojde k šetrnějšímu hospodaření a utváření menších územních celků. Ale privatizace tyto změny nepřinesla, nedošlo tedy ke zmenšení pozemků a tím pádem ani ke zvýšení diverzity ploch (Janeček et. al., 2012). Nyní se velké pozemky člení na menší. Aplikují se taková opatření, aby docházelo co k nejnižší ztrátám půdy a zároveň co k nejefektivnějšímu hospodaření. Historický vývoj zemědělské krajiny má sloužit jako podklad pro politiky s cílem zlepšit budoucí koncepční rozhodnutí. (Devátý et. al., 2019).

Eroze se netýká jen zemědělských pozemků, ale i pozemků, které slouží pro technické stavby. Do krajiny se čím dál víc zasahuje stavebními záměry – výstavba silnice či železnice. Provoz na těchto komunikacích a tratích se zvyšuje a je ohrožena jejich bezpečnost vlivem nesprávné provedení stavby či špatném aplikování protierozní ochrany (Liu et. al., 2016).

Tato diplomová práce se bude nejčastěji pohybovat kolem slov eroze, vodní eroze a geotextilie, proto budou na úvod uvedeny definice těchto pojmů. Eroze je pojem, který popisuje rozrušování zemského povrchu. Toto rozrušování může být způsobeno přírodními činiteli (vodou, větrem apod.) nebo lidskou činností. Vodní eroze může být způsobena povrchovým odtokem nebo kinetickou energií padajícího deště. Jde o rozrušování půdního povrchu, které doprovází přemísťování a ukládání uvolněného materiálu. Geotextilie jsou propustné plošné textilie, které se dle účelu dělí na – výztužné, ochranné, filtrační, mulčovací, aj. Zajímavostí je, že jedna geotextilie může posloužit k několika účelům najednou (Ministerstvo dopravy, 2003). Tato diplomová práce se zaměřuje na geotextilie ochranné.

Geotextilie se vyrábí ze syntetických nebo přírodních materiálů – polypropylenu, polyesteru, juty, kokosu a jiných. Výhoda syntetických geotextilií spočívá v tom, že nepodléhají plísním a bakteriím jako geotextilie z přírodních materiálů. Přírodní geotextilie fungují převážně jako mulčovací materiál. Účinnost geotextilií je závislá na několika faktorech, jakož jsou: délka pozemku, fyzikální vlastnosti geotextilie, geotextilní typ (přírodní, syntetický), sklon svahu a typ půdy. Typ půdy znamená, z čeho je půda složená a jaké má vlastnosti. Zásadní vliv má poměr obsahu písku, prachu a jílu v půdě (Rickson, 2006). Od 50. let se geotextilie začaly používat jako protierozní ochrana při inženýrských projektech, jako byly například hráze, základy pro silnice a stabilita svahu nádrže (Rickson, 1988).

Geotextilie je plošná protierozní ochrana svahů, která je vytvořená z nití, svazků vláken, které po propojení tvoří síť. Plošné sítě se používají tam, kde je vyšší ohroženost svahu vodní erozí. Geotextilní sítě se používají jako ochrana povrchu svahu proti erozi a dále chrání vzrůstající rostliny. Nejčastěji se sítě pokládají do zářezů, náspů s délkou svahu nad 5 metrů. Ideálním sklonem od 1:1,5 a vyšší (Ministerstvo dopravy, 2003).

Diplomová práce vyhodnocuje efektivnost protierozní geotextilie – jutové sítě s plošnou hmotností 500 g/m^2 . Měření probíhalo v laboratorních podmínkách za použití dešťového simulátoru Norton Ladder Rainfall Simulator. Laboratorní podmínky simulují prostředí bez okolních vlivů (narušení poryvy větru) a je možné provádět měření opakovaně za stejných podmínek. Výhodou dešťového simulátoru je možnost vytvořit opakovaně umělou srážku o různých intenzitách. Geotextilie, která je předmětem měření byla aplikována na umělý půdní profil o sklonu svahu 1:2. Zátěžový déšť byl nastaven na tři intenzity: $I_1 = 1 \text{ mm/min}$, $I_2 = 1,27 \text{ mm/min}$, $I_3 = 2,11 \text{ mm/min}$. Výsledkem této diplomové práce je stanovení efektivnosti protierozní geotextilie na základě dat objemu povrchového odtoku a koncentrace sedimentu. Tyto hodnoty byly získávány a porovnávány ze dvou ploch – kontrolního svahu (s holou půdou) a svahu, který byl ošetřen protierozní geotextilií (jutovou sítí).

2. Cíle práce

Cílem práce je vyhodnocení efektivity jutové protierozní geotextilie při sklonu svahu 1:2 (27°) a intenzitách zátěžového deště (I1 = 1 mm/min, I2 = 1,27 mm/min, I3 = 2,11 mm/min). Cíle bude dosaženo provedením pokusných měření v laboratorních podmínkách za pomoci dešťového simulátoru Norton Ladder Rainfall Simulator. Pro experiment bude použita geotextilie typu: J500 – jutové vlákno 500 g/m², která se aplikuje vždy na jeden ze dvou pokusných žlabů, druhý svah s holým půdním povrchem (bez aplikace geotextilie) bude sloužit jako kontrolní.

Závěry budou vycházet ze srovnání objemu povrchového odtoku a koncentrace sedimentu z odebraných vzorků povrchového odtoku.

3. Metodika

Experiment byl prováděn v laboratorních podmínkách na České zemědělské univerzitě v Praze. Měření probíhalo v erozně sedimentologické laboratoři MCEV na Fakultě životního prostředí s využitím simulátoru deště typu „Norton Ladder Rainfall Simulator“. Pro experiment byly použity geotextilie typu: J500 – jutové vlákno 500 g/m^2 (velikost oka $10 \times 30 \text{ mm}$), C400 – kokosové vlákno 400 g/m^2 (velikost oka $20 \times 25 \text{ mm}$) a C700 – kokosové vlákno 700 g/m^2 (velikost oka $20 \times 25 \text{ mm}$) (Obr. č. 1, 2, 3). Pro tuto diplomovou práci byla vybrána jen geotextilie z jutového materiálu. Zbylým vzorkům geotextilie se věnují jiné diplomové práce. Proto po zbytek práce bude věnována pozornost jen jutové geotextilii.



Obr. č. 1 – Jutová protierozní síť 500 g/m^2 (J500)



Obr. č. 2 – Kokosová protierozní síť 400 g/m^2 (C400)



Obr. č. 3 – Kokosová protierozní síť 700 g/m^2 (C700)

Jutová síť byla aplikována na plochu žlabu v určitém sklonu, na kterou se v 15minutových intervalech po pěti opakování prováděl simulovaný déšť v intenzitách $I_1 = 1 \text{ mm/min}$, $I_2 = 1,27 \text{ mm/min}$, $I_3 = 2,11 \text{ mm/min}$. Z každého měření se odebraly vzorky objemu povrchového odtoku a hmotnosti splavené zeminy. Měření probíhalo na dvou pokusných žlabech. Žlab s geotextilií byl porovnáván s kontrolní plochou (žlab s holou zeminou).

3.1 Simulátor deště a odtokové žlaby

Pro potřeby diplomové práce byl využit simulátor deště Nort Ladder Rainfall Simulator. Tento simulátor se dá využít nejen k simulaci deště v laboratorních podmínkách ale i v terénu. Konstrukce je tvořena rámem, čtyřmi tryskami, oscilačním mechanismem, motorem, systémem pro rozvod vody, ventily a tlakoměrem. Trysky

jsou od sebe rovnoměrně rozmístěny ve vzdálenosti 1,37 m. Trysky se podél vodorovné osy kývají a rovnoměrně prší na připravenou plochu pod nimi. Dle toho, jaký je nastaven tlak vody a frekvence kmitu trysek je určena intenzita simulovaného deště. Tlak vody je regulován ventilem na přívodním potrubí a frekvence kmitu se nastavuje pomocí počítače.

Odtokové žlaby (Obr. č. 9) jsou umístěny pod tryskami simulátoru deště. U žlabů se dá nastavit libovolný sklon od 0° do 33°. Odtokový žlab se skládá z půdního boxu, ten je tvořen dnem z plechového roštu. Půdní box má rozměry 1,1 x 1,1 m. Infiltrovaná voda je odváděna po dně odtokového žlabu do měrných nádob. Povrchový odtok je sveden do trojúhelníkového sběrného žlabu a pokračuje svodnými trubkami do mechanických překlopných průtokoměru s elektronickým záznamem času a počtu překlopení pro záznam objemu odtoku.

3.2 Zemina pro měření

Zemina použitá pro měření byla získána ze skrývky, na pozemcích České zemědělské univerzity v Praze za Fakultou životního prostředí z ploch výstavby nových školních prostor (Obr. č. 4, 5). U zeminy byla stanovena zrnitost, která se určila pomocí kombinace různých typů sít a následně hustoměrné metody, díky které je znám druh půdního vzorku. Podkladem pro stanovení zrnitosti byl Taxonomický klasifikační systém půd České republiky (Němeček et al., 2001).



Obr. č. 4 – Převoz zeminy ze skrývky
Autor: Bc. Lucie Vávrová



Obr. č. 5 – Převoz zeminy do laboratoře
Autor: Bc. Lucie Vávrová

Tím, že zemina byla uložena na vzduchu a větrala, nebylo třeba ji zvlášť sušit. Pro stanovení počáteční vlhkosti se prováděl odběr do kovových váženek (Obr. č. 6) z již umístěné zeminy ve žlabech (gravimetrická metoda). Váženka se odebírala z každého žlabu (s geotextilií i kontrolního bez geotextilie) a byla označena datem, číslem žlabu a číslem váženky. Následně se váženka zvážíla na laboratorní váze, tato hmotnost se porovnála s hmotností po vysušení v sušárně (Obr. č. 7), která byla nastavena na 105 °C – gravimetrická metoda. Jak již bylo zmíněno, z půdních vzorků byla zjištěna procentuální půdní vlhkost (Rovnice č. 1), ta se zjistila podílem obsahu vody a hmotností vzorku po vysušení, to celé násobeno stem, aby výsledná hodnota byla vyjádřena v procentech.

$$\text{Půdní vlhkost (\%)} = \frac{\text{Hmotnost vody ve vzorku (g)}}{\text{Hmotnostno vzorku po vysušení (g)}} * 100$$

Rovnice č. 1 – Procentuální půdní vlhkost



Obr. č. 6 – Laboratorní pomůcky



Obr. č. 7 – Sušení vzorků

3.3 Příprava žlabů

Na dno žlabu byla umístěna filtrační geotextilie (Obr. č. 8, 9), ta měla za účel nepropustit půdní částice, které by mohly zanášet odtokovou část žlabu. Filtrační geotextilie zároveň musela zajistit propuštění infiltrované vody. V následujících krocích se opakovaně nasypala část půdního vzorku o mocnosti 3 – 4 cm, pomocí prkna se půdní vrstva rovnoměrně po žlabu rozprostřela, upěchovala se cihlou. Před každým nasypáním se musela zemina zvážit, aby ve všech žlabech bylo stejné množství. Celková mocnost žlabu je 10 cm. Z odebraných půdních vzorků

byla stanovena objemová hmotnost (Rovnice č. 2), která byla $1,16 \text{ g/cm}^3$. Objemová hmotnost se vypočítala z rozdílu hmotnosti vzorku po vysušení a hmotnosti kopečného válečku, který se podělil objemem kopečného válečku.

$$\text{Objemová hmotnost (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Hmotnost vzorku po vysušení (g)} - \text{Hmotnost kopečného válečku (g)}}{\text{Objem kopečného válečku (100cm}^3\text{)}}$$

Rovnice č. 2 – Objemová hmotnost

Když byla zemina připravená v boxech, pomocí závitové tyče se nastavil požadovaný sklon odtokového žlabu (1:2). Sběrný žlab musel být vyčištěn od zbylých půdních částic, které se mohly usadit z minulých měření. Aby do sběrného žlabu nekapala voda ze simulátoru, která by mohla ovlivnit hodnoty povrchového odtoku, bylo nutné ho přikrýt folií.



Obr. č. 8 – Filtrační geotextilie



Obr. č. 9 – Čistý připravený žlab

3.4 Simulovaný déšť a sběr dat

Voda používaná pro provoz simulátoru deště byla přiváděna z vodního řádu do zásobní nádrže o objemu 1 m³. Pomocí čerpadla a přívodního potrubí se následně přiváděla k samotným tryskám simulátoru (Obr. č. 10). Na simulaci bylo zapotřebí mít nastavený správný tlak vody v tryskách, ten se nastavil pomocí tlakoměru (Obr. č. 11), který je umístěn na trubkách u trysek a upravil se pomocí ventilů u přívodu vody do trubek. Výchozí hodnota tlaku musela být 41 kPa.

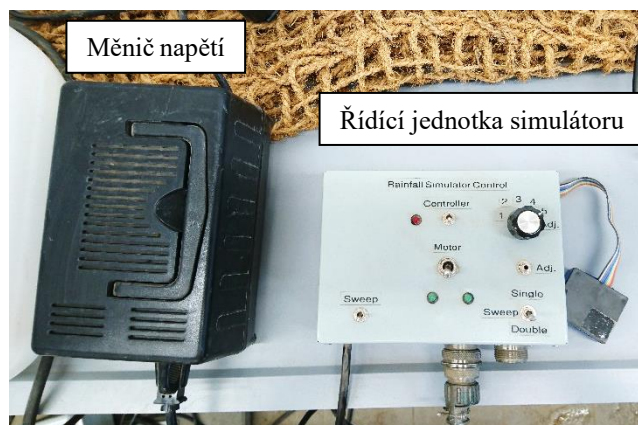


Obr. č. 10 – Trysky simulátoru



Obr. č. 11 – Tlakoměr

Před zapnutím samotného simulátoru musel být zapojený měnič napětí (Obr. č. 12) napojený na řídicí jednotku simulátoru. Následně bylo možné simulátor zapnout. Simulátor se ovládal přepínáním páček na řídicí jednotce (Obr. č. 12). Na řídicí jednotce bylo možné nastavit hodnotu intenzity deště a typ kmitů trysek Single/Double.



Obr. č. 12 – Měníč napětí řídicí jednotka simulátoru deště

Sběr dat objemu povrchového odtoku probíhal v intervalech – 3, 6, 9, 12 a 15 minut. Časový záznam o objemu povrchového odtoku zaznamenával datalogger napojený na překlopné průtokoměry. Data z dataloggeru se přenášela USB kabelem do programu spuštěného v PC. Před každým měřením se musely překlopné průtokoměry na-kalibrovat, aby se každý člunek překlápěl při stejném objemu vody. Odpočítávání času začínalo ve stejnou chvíli jako spuštění simulátoru. Nejdříve se sledoval čas vzniku povrchového odtoku od začátku srážkové události.

Infiltrovaná voda se odváděla speciálním vývodem na spodní straně odtokového žlabu do sběrné nádoby (Obr. č. 13). Nádoba pod ním byla umístěna od začátku měření a následně ještě dalších 15 minut po skončení měření.

Povrchový odtok byl sváděn svým speciálním vývodem do sběrné nádoby v intervalech 3, 6, 9, 12 a 15 minut. Tento sběr se prováděl manuálně do nádoby, která se označila čísly, která udávala informace o žlabu, minutě deště/srážkové události a pořadí měření v rámci série pěti opakování. Z těchto vzorků se následně určila koncentrace sedimentu.

Pro zjištění hmotnosti sedimentu (Rovnice č. 3) se provedla filtrace odebraných vzorků povrchového odtoku. Filtrace byla provedena za sníženého tlaku (Obr. č. 14). Přefiltrované vzorku sedimentu byly sušeny do konstantní hmotnosti při 105 °C v sušárně. Na základě hmotnosti sedimentu a objemu povrchového odtoku se stanovila koncentrace sedimentu. (Rovnice č. 4) Předpokladem bylo, že celková koncentrace sedimentu na ploše ošetřené jutou bude menší než na ploše kontroly, což se potvrdilo.

Dále se předpokládalo, že koncentrace sedimentu bude s rostoucí intenzitou deště vzrůstat, a to jak u kontrolního svahu (holé půdy), tak u půdy kryté geotextilií. Tato hypotéza, ale nebyla zcela prokázána.

Hmotnost sedimentu (g)

$$\begin{aligned} &= \text{Hmotnost filtračního papírku včetně sedimentu (g)} \\ &- \text{Hmotnost filtračního papírku bez sedimentu (g)} \end{aligned}$$

Rovnice č. 3 – Stanovení hmotnosti sedimentu

$$\text{Koncentrace sedimentu (g)} = \frac{\text{Hmotnost sedimentu po vysušení (g)}}{\text{Objem vzorku odebrán při měření (ml)}}$$

Rovnice č. 4 – Stanovení koncentrace sedimentu



Obr. č. 13 – Nádoba pro odběr infiltrované vody



Obr. č. 14 – Souprava pro podtlakovou filtraci

4. Rešerše

4.1 Eroze

Eroze půdy je definovaný proces, při kterém dochází k degradaci půdy, která ztrácí schopnost produkce (Novotný et al., 2014). Eroze je rovněž proces přirozený, při kterém dochází ke ztrátám mocnosti půdy v důsledku oddělení a přepravy půdních částic pomocí dešťových kapek, povrchového odtoku a vlivem dalších erozních činitelů (Rickson, 2006). Problém zrychlené eroze zasahuje jak do environmentální sféry, tak do sféry ekonomické (Bhattacharyya R. et al., 2009). Environmentální dopady způsobené erozí půdy a produkcí sedimentů jsou velice nebezpečné pro životní prostředí (ztráta živin, znečištění vodních toků a nádrží, eutrofizace atd.). Nebezpečné dopady eroze jsou zaznamenány a krajináři, stavitelé a inženýři se musí řídit pokyny, aby předcházeli erozi a sesuvům půdy (Rickson, 2006). Předcházení a minimalizaci erozních ztrát za účelem ochrany vod, půdy a půdních zdrojů má za cíl i politika Evropské unie. Příkladem může být 7. Akční program EU pro životní prostředí do roku 2020 – EAP (2014). V České republice tuto problematiku zastřešuje dokument Státní politika životního prostředí ČR 2012–2020, za který je odpovědné Ministerstvo životního prostředí (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2016). Nejzranitelnější a nejnáchylnější místa pro tvorbu eroze jsou zemědělské plochy a staveniště. Velikost eroze na těchto místech několikrát převyšuje přijatelné normy (Rickson, 2006). Eroze půdy je velmi rozšířená a ovlivňuje jak zemědělství, lesnictví, tak stavebnictví.

Rozsah a závažnost eroze neustále narůstá a tak, představuje významnou hrozbu. Eroze půdy vyčerpává, při jejím působení přichází půda o vodu a živiny, které jsou nesmírně důležité pro zemědělskou produkci a pro zachování biologické rozmanitosti (Tauro et. al., 2018). Dále půda funguje jako základ pro produkci biomasy a je klíčová pro tvorbu stanovišť a bioty (Kalibová, Petruš, 2018). Ztráta půdy je dále podporována rychlým hospodářským rozvojem a populačním růstem, kdy je vyvíjen tlak na stavbu nové silniční sítě a rozvoj infrastruktury (Tauro et. al., 2018). Za poslední desetiletí se silniční síť výrazně rozrostla z důvodu vyššího tlaku přepravy osob a zboží. Následkem je změna geomorfologie a hydrologických poměrů v krajině, které vedou ke zvýšení výskytu eroze (Seutloali, Beckedahl, 2015). Místa, která jsou zasažena erozí nebo změnou klimatu či neudržitelným využíváním půdy, jsou vystavena podstatným změnám využití půdy (Egbujou et. al., 2018). Nerovnováha mezi erozí

a tvorbou půdy se zhoršuje. Eroze odnáší půdní částice rychleji, než je půda schopna se sama obnovovat a vytvářet hloubku – mocnost půdního profilu. Například 1 cm půdy je schopen se vytvořit v průměru za 100 let (Rickson, 2006).

Erozi můžeme rozdělit na normální a zrychlenou (Novotný et al., 2014). Nesprávné využití půdy, hornictví, odlesňování, stavba silniční infrastruktury bez aplikace ochranných opatření způsobují degradaci půdy (Mehta et. al., 2018). Lidé si krajinu upravují, vytváří si plochy, které potřebují pro co nejefektivnější výnosy. S tím souvisí jak degradace půdy, tak i degradace životního prostředí. Na svazích modifikovaných lidmi se nejčastěji objevuje zrychlená eroze (Sutherland, Ziegler, 2007). Při vlivu zrychlené eroze je půda více vyčerpaná, neúrodná a snižuje hloubka zakořenění vegetace (Sutherland., Ziegler, 2006). Proti tomuto projevu bylo nutné vytvořit opatření, které degradaci půdy bude omezovat. Jak přímo na místě, tak i mimo lokalitu vznikající eroze. Studie z posledních let zjistily, že modifikované svahy, jakož jsou například dálniční svahy, svahy kolem železnice nebo sjezdovky, jsou nejčastěji chráněny proti erozi pomocí geosyntetického materiálu (Sutherland, Ziegler, 2007). Mezi geosyntetický materiál patří geotextilie, geomříže, síťovina apod. Geosyntetický materiál lze snadno přepravovat a aplikovat na ohrožený svah. Montáž je snadná a nevyžaduje mnoho pracovních sil nebo specializovaná zařízení. Rozmanitost tohoto materiálu poskytuje široký výběr, který je nejvhodnější do postižené oblasti (Broda et. al., 2017).

Půda je nejlépe chráněna, pokud na ní roste nízký, hustý vegetační kryt. Taková vegetace dokáže nejlépe chránit půdní povrch před ztrátou zeminy. Proti erozi nejefektivněji působí trvale zatravněné plochy (Kalibová et. al., 2016). Nejvíce je potřeba půdu ochraňovat proti účinku dopadajících kapek erozně nebezpečného deště a před unášecí silou povrchového odtoku. Je potřeba podpořit vsak vody do půdy, snížit unášecí sílu povrchového odtoku. Tyto stavy lze zmírnit nebo podpořit několika opatřeními – organizační, agrotechnické, technické. Zaprvé, organizační opatření spočívá v úpravě tvaru a velikosti pozemku, vysázení ochranného zatravnění, pásové pěstování plodin a jejich vhodné umístění. Zadruhé, agrotechnické opatření zajišťuje, aby setí či sázení probíhalo po vrstevnici, aby se provádělo hrázkování či plečkování. Zatřetí technické opatření obsahuje výstavbu příkopů, ochranných hrází a nádrží, teras a zatravnění, aplikace protierozních geotextilií. (Novotný et al., 2014).

4.1.1 Vodní eroze

Vodní eroze vzniká tak, že půdní částice jsou uvolňovány při silném nárazu dešťové kapky nebo jsou půdní agregáty smývány povrchovým odtokem (Morgan, Rickson, 1995). Nejčastěji vodní eroze vzniká při prudkých přívalových deštích a v oblastech kde dochází k náhlému tání sněhu, při kterém se tvoří prudký povrchový odtok vody. Podkategorií vodní eroze je eroze rýhová, která se vyskytuje hlavně na svazích podél pozemních komunikací. Vytváří se tak, že voda stéká po svazích a vytváří na povrchu malé brázdy. Rýhy se postupně prohlubují a vytváří se větší zářezy. Tato eroze se vyskytuje především na půdách malé vsakovací schopnosti, tím je i podpořen silný povrchový odtok. Dále jsou náchylné půdy méně hutné, holé a nechráněné souvislou vegetací. Zářezy silničních svahů jsou ohroženy plošnou erozí. Plošná eroze znamená plošné splachování půdních částic a jejich usazování, tím zanášejí odvodňovací příkopy a propustky (Ministerstvo dopravy, 2003).

Vodní eroze může vážně poškodit životní prostředí. Dobrý vegetační kryt může této erozi zabránit a poskytuje půdě dlouhodobou ochranu (Tauro et. al., 2018). Avšak růst mladých rostlin je znemožněn působením erozními silami deště a povrchového odtoku. Semena a sazenice mohou být poškozeny nebo dokonce z půdy vymyty. Takto jsou strmé erodované svahy velice ohroženy a růst vegetace na tomto typu svahu je velice omezený. Proto se na tyto svahy aplikuje geotextilie, zaprvé jako dočasný a alternativní pokryv, zadruhé jako okamžitá ochrana před vodní erozí, zatřetí jako pomoc, aby vegetace měla šanci vyrůst a následně tvořit ochranou vrstvu (Smets et al, 2011).

Příčiny vodní eroze jsou různé, příkladem vzniku je zhoršení fyzikálně-chemických vlastností půdy, či snižování mocnosti půdního profilu nebo propustnosti půdy. Dále snížení obsahu živin v půdě, humusu a další. Splavené částice vodní erozí znečišťují a zakalují vodní zdroje, snižují kvalitu prostředí pro vodní rostliny a živočichy a snižují průtočnost toků (Novotný et al., 2014). Splavený sediment slouží jako přeprava kontaminantů do míst, kam by se za normálních okolností nedostaly. Proto už v letech 1800 byla zhotovena průkopnická práce E. Wollneye, kdy je dokázáno že pro snížení eroze a zároveň odtoku půdních částic je zapotřebí mít pokrytý svah vegetací (Sutherland, Ziegler, 2006).

Přirozenou a účinnou ochranou proti vodní erozi je vegetace. Rostlina kryje půdu svým květem a listem a stabilizuje ji kořenovým systémem. Když vznikne vegetační pokryv, zachytí srážky, rozloží velikost dešťové kapky a zároveň sníží rychlost dopadu tak, aby se snížila kinetická energie kapky, která bude mít nižší dopadový efekt na půdu. Stonky rostlin narušují přímé proudění povrchového odtoku, snižují jeho rychlost proudění a tím opět snižují kinetickou energii povrchového odtoku, která by mohla způsobit oddělení a přepravu půdních částic. Poslední pomocnou silou vegetace jsou kořeny, které podporují infiltraci vody do půdy (Rickson, 2006).

4.2 Geotextilie

Geotextilie je vymezena pojmem v ČSN EN ISO 10318-1 (2015), tato norma ji definuje jako plošný, syntetický nebo přírodní materiál, který může být tkaný, netkaný nebo pletený, používaný ve styku se zemínou nebo jinými materiály při zemních a stavebních pracích.

Technickým požadavkem pro geotextilie je nezávadnost pro životní prostředí, musí být stále ve svém tvaru a zároveň pevná, nesmí omezovat růst vegetace, musí mít požadovanou velikost oka, přilnavost k terénu. Geotextilie má vysokou efektivitu k minimalizaci povrchového odtoku, sedimentu a zároveň má vysoký protierozní účinek. Po aplikaci na půdu přilnou k povrchu a splynou s ním. Po namočení geotextilie nabyde na svém objemu a zvýší se její přilnutí k povrchu půdy (Liu et. al., 2016).

Protierozní geotextilie je vhodná k omezení půdní eroze na svahu a přispívá k lepšímu uchycení vegetace ve svahu. Stabilizace svahu proti erozi je zdoluhavý proces z důvodů zásahů lidské činnosti, které vedly ke změnám využívání půdy. Využívání půdy ovlivnilo stabilitu svahu, která se dá podpořit zatravněním a aplikací jutové protierozní geotextilie (Manivannan S. et. al., 2018). Vegetace na svahu chrání povrch půdy před smyvem půdních částic, tvorbou erozních rýh a rostliny před podemletím. Geotextilie jsou využívány při kultivaci znečištěných vodních toků a půdních rekultivacích. Podporují stabilní a přírodní filtr, zadržují větší částice zeminy (Zlatuška, 2003). Geotextilie jsou účinným nástrojem prevence eroze v důsledku dopadu dešťových kapek. Přírodní geotextilie jsou vyráběny především jako rohože, používají se na svazích, kde je třeba obnovit či podpořit vegetaci. Biologické textilie jsou mnohdy lepším nástrojem za účelem ochrany půdy

než geotextilie syntetické (Jakab et al., 2012). Biologické geotextilie je používají především na ochranu svahu před erozí. Jsou nástrojem při snížení ztrát půdy ve svahu, ale zároveň mají kladný vliv na udržení vlhkosti v půdě. Při použití protierozní geotextilie na strmých svazích je možné snížit povrchový odtok až o 50 %. Podle toho, z jakého přírodního materiálu je geotextilie vyrobena, má i různé vlastnosti (Kertész et. al., 2011).

Problém v aplikaci přírodních geotextilií nastává na orné půdě, kdy je omezena kultivačními technologiemi. Dále se přírodní geotextilie nedají aplikovat na strmé svahy – vinice, ovocné sady. Problém eroze v těchto oblastech se dá řešit zatravněním či vysazením jiné podobné vegetace, která by zabránila erozi nebo jen ztrátě vlhkosti půdy (Jakab et al., 2012). Avšak z celkových údajů z experimentů je dokázáno, že biologické geotextilie snižují odtok a ztrátu půdu průměrně o 46 až 79 % při porovnání s půdou, která nebyla nijak ošetřena. To se týká jak laboratorních podmínek, tak i přírodních (Smets et al, 2011). Snížení povrchového odtoku a efektivita protierozní geotextilie závisí na lokálních podmínkách kam je juta umístěna. Problémem mohou být specifické vlastnosti půdy, sklon, morfologie nebo podnebí (Kalibová et. al, 2017).

Funkčností se dělí na separační, výztužné, ochranné a filtrační, přičemž jedna geotextilie svede splnit několik funkcí najednou. První funkčnost zajišťuje separační geotextilie, která pomáhá při oddělení dvou materiálů o různém složení, aby nedocházelo jejich promíchání s následným ohrožením funkcí vrstev. Separální geotextilie nachází využití na skládkách odpadů nebo u drenážních systémů. Výztužné textilie se používají na stabilitu stavebních děl na neúnosném podloží pro svou vysokou pevnost. Ochranné textilie jsou používány tam, kde jsou konstrukce citlivé na porušení nebo je zapotřebí ochrana materiálu při ukládání dalších vrstev. Poslední variantou je funkce filtrační, kdy geotextilie zabraňuje při proudění vody pohybu pevných částic a tím následnému ucpání a znehodnocení například drenážního systému (Zlatuška, 2003).

Dále protierozní geotextilie můžeme dělit podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny – syntetické a směsné nebo přírodní. Syntetické geotextilie jsou vyrobeny z umělých hmot nebo s příměsí přírodních vláken. Při výrobě lze zaručit výdrž a funkčnost geotextilie (Zlatuška, 2003). Syntetické geotextilie jsou obvykle vyrobeny z polymerů, které mají vyšší pevnost v tahu a jejich životnost se pohybuje kolem

20 let. Zatímco geotextilie z biologického materiálu vydrží od 2 do 5 let (Álvarez-Mozos et al., 2014). Syntetické geotextilie jsou biologicky neodbouratelné a mohou způsobovat znečištění půdy. Už při výrobě způsobují znečištění vody a vzduchu. Mnohdy stojí více peněz než geotextilie z přírodních materiálů, avšak jsou dominantou na trhu (Fullen et al., 2007). Vyhotovení biologických rohoží je tedy podstatně levnější. Je to z toho důvodu, že tkanina nepotřebuje žádnou třídu kvality a převážně jsou na její výrobu zaměstnáváni lidé z třetího světa (Jakab et al., 2012). Dle předběžných šetření mají přírodní geotextilie velký globální potenciál. Je to varianta, která je efektivní a hlavně nenákladná, jak bylo uvedeno výše (Smets et al., 2011). U přírodních vláken je výdrž a funkčnost složitější. Přírodní materiál se získává z jutových, kokosových či bavlněných přízí. Většinou se jedná o podřadný nebo odpadní materiál, který nelze využít jinak (Zlatuška, 2003). Ale jsou 100 % biologicky rozložitelné, dokáží potlačit extrémní kolísání teploty v půdě, zachovávají půdní vlhkost a snižují průnik intenzivního slunečního záření na půdu (Bhattacharyya et al., 2010).

Geotextilie se mohou dále lišit dle způsobu výroby. Kde přicházejí v úvahu dva způsoby – tkaná nebo netkaná. Tkaná geotextilie je produkována na stavech a je vhodná pro podporu růstu travního osiva. Netkaná geotextilie je vyráběna vrstvením nasekané příze na plochu a její zpevnění vpichováním. Tím je formována do plsti, která může být různě hustá a silná. Takto silná geotextilie napomáhá boji proti plevelům, ale naopak zpomaluje růst travního osiva. S tím je spojeno i nebezpečí zaschnutí či zapaření vegetace pod hustou a silnou geotextilií. Plusem je, že je účinnější při ochraně vůči erozi ve svahu (Zlatuška, 2003).

Jutová protierozní geotextilie (Obr. č. 15) může být tkaná i netkaná. Byla vyvinuta pro řadu geotechnických využití, například pro zpevnění břehů nebo zpevnění svahů u silnic (Ghosh et al., 2014). Jutová geotextilie má několik výhod, jednou z ní je cenová dostupnost oproti jiným přírodním geotextiliím (Bhattacharyya et al., 2010). Dále je velice šetrná k životnímu prostředí a ve stavebnictví může nahradit syntetický materiál. Je vysoce hygroskopická a pomáhá utužovat půdu (Muniruzzaman et al., 2016). Životnost takovéto geotextilie se předpokládá na 1–2 roky. Doporučený sklon je 30° a maximální do 45°. Jutová síť se rozpadne po 2 letech od pokládky (Bhattacharyya et al., 2010). Pokud se jutová geotextilie aplikuje do prostředí, které je nasycené vodou, její životnost se zkracuje na 6 až 9 měsíců

(Muniruzzaman et. al., 2016). Proto se juta se většinou používá ve svazích neohrožených proudem vody, aby zabránila půdní erozi a pomohla rychlejšímu zatravnění nebo uchycení jiného vhodného porostu (Ghosh et. al., 2017). I sluneční záření není pro tuto geotextilii vhodné – ztrácí barvu a pevnost. Není vhodná do strmých a vysokohorských svahů (Bhattacharyya at al., 2010). Jutová geotextilie se dá použít při kontrole eroze na bočních svazích dálnice či jako výstužná část při stavbě nové silnice, která má špatné podloží (Broda et. al., 2016). Špatné podloží způsobí deformaci vozovky při zatížení, proto na okrajích vznikají ostré roztřepené hrany, jak se kousky asfaltu odlupují. Proto se nad podloží musí aplikovat výstužná vrstva, která je tvořená jutovou geotextilií, aby zvýšila pevnost vozovky (Muniruzzaman et. al., 2016). Existuje mnoho efektivních aplikací geosyntetického materiálu (geotextilie, geomříže, síťovina apod.) na ochranu nízkoobjemových silnic, ale prozatím nejsou geosyntetické materiály v tomto odvětví plně využity. Nízkoobjemové silnice se vyznačují tím, že ročně ji využije 1000–400 či méně vozidel za den v průměru. Takové silnice tvoří zhruba dvě třetiny všech cest po celém světě, přesto se jako výstuž podloží nebo ochrana proti erozi geosyntetické materiály nepoužívají (Keller, 2016)



Obr. č. 15 - Jutová protierozní geotextilie

Jutová geotextilie má speciální vlastnosti, v mokrém stavu dokáže nabobtnat až o 20 %. Tato vlastnost vytváří příznivé mikroklima, které podporuje růst vegetace. Další výhody, které tkaná jutová geotextilie má jsou například:

- snížení rychlosti odnosu půdy tím, že jednotlivé půdní částice musí překonávat překážku (vlákna geotextilie) po své dráze odnosu ze svahu
- tkanina sítě je pórovitá, v suchých místech podporuje lepší vstřebávání vlhkosti do půdy a infiltraci vody
- pokud se jutová síť používá pro růst vegetace, je snadné rozpoznat, jak se vegetaci daří. Tomu pomáhají síťová oka, které dle jejich velikosti rozdělují vegetaci na části (Ghosh et. al., 2015)

4.3 Simulátor deště

Pro tuto diplomovou práci byl použit dešťový simulátor Norton Ladder Rainfall Simulator tryskový s kyvným ramenem.

Simulátory deště jsou nejvíce využívány pro účely výzkumu, kdy výsledky ze simulací tvoří podklad pro další výzkum. Simulátory přírodní dešť nedokáží vytvořit, ale vědci nemohou na přirozený dešť čekat. Simulátor opakovaně vytváří umělou srážku o různých intenzitách. Cílem výzkumu za použití simulátoru může být efektivita vegetační ochrany, moment výskytu eroze a odtoku v závislosti na sklonu svahu, půdní infiltrace (Hudson, 1993). Podstatou takovýchto měření za použití simulátoru je možnost opakování měření a porovnání výsledků, které musejí být získány pokaždé za stejných podmínek, a toho se v přírodě nedá docílit (Kibet et al, 2014).

Druhů simulátorů je široká řada, pro různé účely se používá různý typ. Pokud se provádí výzkum založený na zjištění infiltrace a odtoku, není třeba používat simulátor, který dokáže napodobit srážku přirozenou. Tyto vlastnosti jsou zapotřebí například při studiu eroze (Hudson, 1993). Simulátory se dělí na dvě hlavní skupiny: tryskové a kapkové. Tryskové simulátory vytvářejí dešť rozstříkáváním vody pod vysokým tlakem. Voda je do nich přiváděna potrubím. Rychlost kapek je nejvíce podobná přirozené rychlosti přírodního deště. Zatímco u simulátorů kapkových je voda přiváděna do nádrže, která se nachází nad plochou probíhajícího výzkumu. Dno nádrže s vodou je proděravěno, v místech děr jsou vloženy trubičky či vlákna, po kterých voda gravitačně odkapává (Cedrà, 1999).

Dle Janečka et. al. (2012) by měl simulátor určité požadavky. Neměl by mít vysoké nároky na výrobu a provoz. Měl by být přenosný a co nejpřesněji napodobovat reálné dešťové srážky. Nejčastějšími společnými vlastnosti simulátorů jsou: přesnost, mobilní zdroj vody, testovací plocha, postřikovací mechanismus, zařízení pro měření povrchového odtoku a smyvu půdy. Je jasné, že všechny tyto vlastnosti jeden simulátor nemůže splňovat, avšak se ukázalo, že výzkum infiltrace a eroze je efektivní i přes nesplnění všech požadavků.

U dešťových simulátorů je nejvíce důležitá velikost kapek. Jejich rychlost dopadu by se měla blížit dešti přirozenému, kdy maximální rychlost kapky je 9 m/s. Dále je důležitý úhel, pod kterým kapky dopadají, tento úhel by měl být v nevhodnějším případě vertikální. Srážka by měla být co nejméně ovlivněná větrem. Intenzitu srážky jde zvolit a při pokusu si drží konstantní hodnotu. V poslední řadě je důležité srážku opakovat a nastavit čas jejího trvání (Janeček et. al., 2013).

Mezi výhody použití dešťových simulátorů patří volba nastavení vlastností vytvářeného umělého deště, tím se sníží pravděpodobnost naměření nepředvídatelných nebo náhodných hodnot. Dále mezi výhody patří možnost opakovaného měření bez toho, aniž by se muselo čekat na přírodní dešť. Lze rychleji a snadněji nastavit simulátor na již připravené protierozní opatření než na novém opatření na odtokových parcelách. Naopak mezi nevýhody lze zařadit náklady vynaložené na simulátory, které dokážou pokrýt zkoumanou plochu nad 100 m², převážně tyto simulátory jsou i velké, mohutné a těžké. Na simulátorech se používají malé plochy měření, data získaná z těchto ploch často nemohou být použita a aplikována na plochy o mnohem větších rozměrech (polní pozemky). A zároveň simulátory, které se používají v přírodních podmínkách jsou ovlivňovány například větrem (Hudson, 1993).

5. Výsledky

Minulý rok byly zpracovány diplomové práce na podobné téma jako má tato diplomová práce, kdy byla porovnáována efektivnost protierozní geotextilie na různých sklonech svahu, při stejné intenzitě zátěžového deště. Tato diplomová práce doplňuje a rozšiřuje získaná data o jutové protierozní geotextilii (stejný sklon, různá intenzita). Byly provedeny tři série měření. Při každé sérii měření byla nastavena různá intenzita deště. Efektivita byla zhodnocována na sklonu 1:2 a dále při třech intenzitách zátěžového deště – 1 mm/min, 1,27 mm/min, 2,11 mm/min. Tyto intenzity odpovídají dvou, pěti a dvaceti letým srážkám pro stanici Praha – Dejvice (stanoveno metodou redukce jednodenních maximálních srážkových úhrnů) (Kovář et. al., 2013). Svah ošetřený jutovou geotextilií byl porovnáván se svahem s holou půdou – kontrolní plochou. Sklon, který byl použit se nejčastěji vyskytuje u náspů, zářezů podél silnic a železnic.

Základní hypotéza celého měření byla snižující se efektivita jutové geotextilie vůči vzrůstající intenzitě simulovaného deště. Tato hypotéza byla potvrzena z výsledků, které jsou zpracovány do grafů a tabulek.

Diplomová práce vznikla v rámci týmové spolupráce, tudíž se vzájemně doplňují a tvoří komplexní porovnání přírodních geotextilií – juty a dvou kokosových sítí s různou hustotou.

5.1 Půdní vlhkost a zrnitost

Pro každý žlab byla stanovena půdní vlhkost pomocí gravimetrické metody. Z každého žlabu byl odebrán půdní vzorek, ze kterého se zjistilo procentuální zastoupení vody (Tab. č. 1). Procentuální vlhkost se pohybovala v rozmezí od 13,84 % do 15,41 %.

Dále je v tabulce (Tab. č. 1) zaznamenána jednotlivá hmotnost zeminy v každém žlabu. Minimální hmotnost byla 172,620 kg a maximální hmotnost byla 177,589 kg.

Dalšími veličinami byli hmotnosti půdního vzorku před vysušením a po vysušení a obsah vody pro jednotlivé žlaby.

Intenzita	Žlab	Hmotnost zeminy ve žlabu (kg)	Hmotnost vzorku před vysušením (g)	Hmotnost vzorku po vysušení (g)	Hmotnost vody (g)	Vlhkost (%)
I1	Kontrola	177,589	208,782	183,394	25,388	13,84
	J500	173,052	219,565	190,541	29,024	15,23
I2	Kontrola	175,532	188,067	164,570	23,497	14,28
	J500	172,705	206,573	179,273	27,300	15,23
I3	Kontrola	172,620	201,725	174,792	26,933	15,41
	J500	174,800	181,480	157,952	23,528	14,90

Tab. č. 1 – Stanovení procentuální půdní vlhkosti

Pro každý žlab se stanovoval i zrnitostní rozbor zeminy. Zrnitost se určila pomocí kombinace různých typů sít (Tab. č. 2) a následně hustoměrné metody (Tab. č. 3). Pomocí pyknometrů byly stanoveny měrné hmotnosti. Typ půdy nelze jednoznačně určit, protože se jedná o zeminu, která byla odebrána ze skrývky. Ale převážně se zemina dá hodnotit jako půdotvorný substrát – písčité spraš s minimální příměsí hnědozemě. Půdní druh dle Trojúhelníkového diagramu půd (NRSC USDA) se jedná o hlínu až hlínu prachovou (Tab. č. 4).

Žlab J500		Žlab kontroly	
Velikost síta (mm)	Zbytek na sítu (%)	Velikost síta (mm)	Zbytek na sítu (%)
10	0	10	97,8
8	99,4	8	97,4
5,6	97,8	5,6	97,0
4	96,6	4	96,1
2	94,0	2	93,7
1	92,1	1	91,6
0,5	88,3	0,5	88,6
0,3	84,0	0,3	85,8
0,065725	73,5	0,0728	70,0
0,047206	70,0	0,0521	65,6
0,0344	64,0	0,0373	60,7
0,0222	57,8	0,0239	55,8
0,0134	46,3	0,0141	46,0
0,0080	38,6	0,0084	36,2
0,0050	32,6	0,0052	29,9
0,0032	28,5	0,0033	26,4
0,0015	21,6	0,0015	21,05

Tab. č. 2 – Zrnitostní rozbor zeminy pomocí různě velkých sít

Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou		
Lokalita	ČZU	ČZU
Číslo vzorku	žlab J500	žlab kontroly
Hloubka (cm)	0-10	0-10
Barva zrn	světle hnědá	světle hnědá
Navážka vlhká (g)	336,74	377,09
Navážka vysušená (g)	328,8	367,021
Navážka hustom. (g)	44,085	31,243
Sušina hustom. (g)	43,052	30,408
Hustota pev. č. (g/cm ³)	2,68	2,7
Hustota vody (g/cm ³)	1	1
Válec č.	5	4
Hustoměr	5	4

Tab. č. 3 – Zrnitostní rozbor pomocí hustoměrné metody

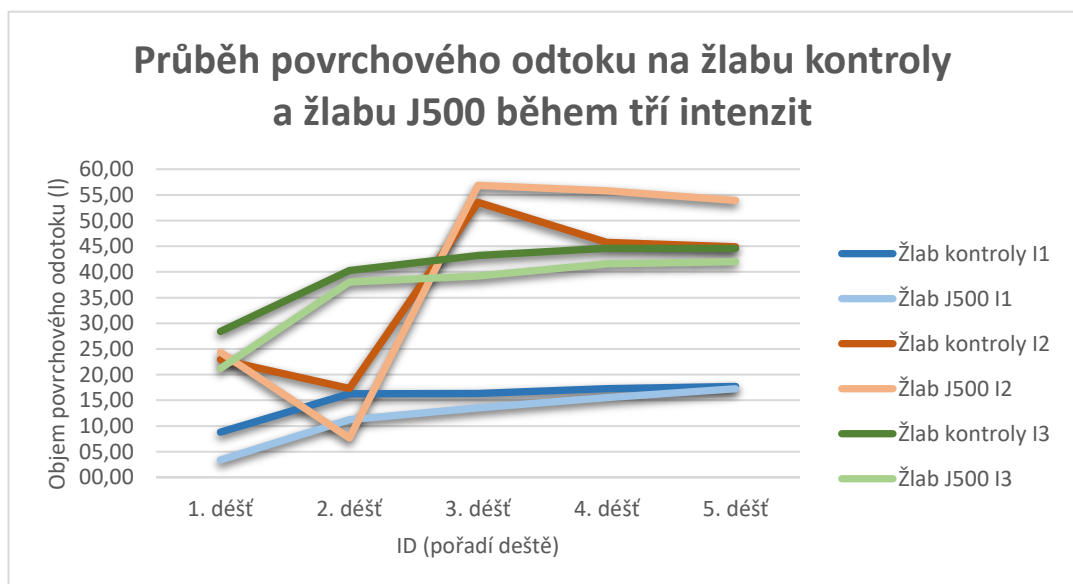
Zrnitostní kategorie			
Frakce	Průměr zrna (mm)	%	
		Žlab J500	Žlab kontroly
Jíl	< 0,002 mm	26	24
Prach	0,002-0,05 mm	48	46
Písek	0,005-2 mm	26	30

Tab. č. 4 – Stanovení zrnitostní kategorie

5.2 Vyhodnocení objemu povrchového odtoku

Celkový objem povrchového odtoku byl jednoznačně ovlivněn zvolenou intenzitou deště. U žlabu kontroly platí, že čím větší intenzita, tím větší povrchový odtok. Dalším faktorem, díky kterému vzrůstal objem odtoku bylo vzrůstající nasycení půdy během série měření. Objem povrchového odtoku byl měřen s využitím překlopných průtokoměrů.

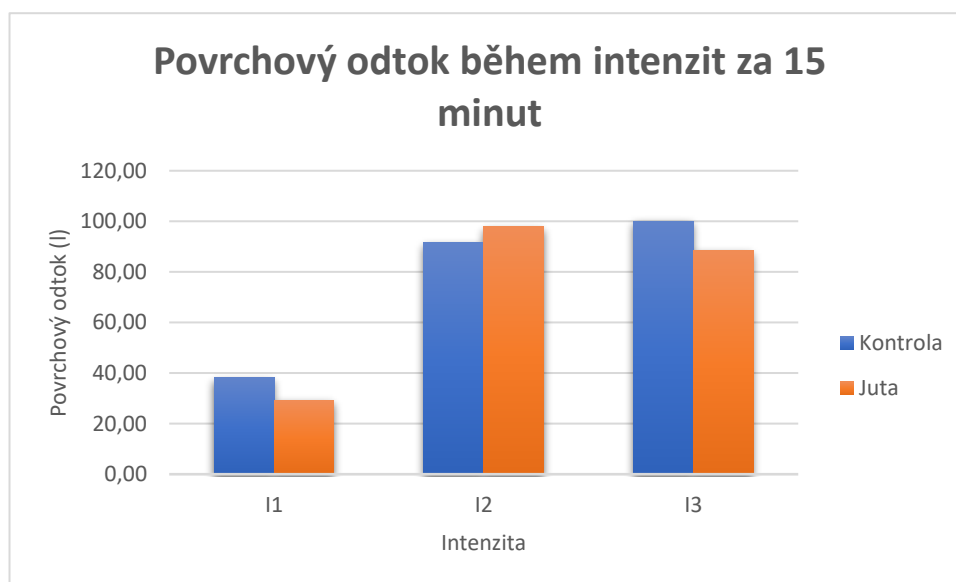
Z grafu průběhu povrchového odtoku na žlabu kontroly a žlabu ošetřeného jutovou protierozní geotextilií během tří intenzit je vidět porovnání objemu napříč všemi dešti (Obr. č. 16). Je vidět, že se žlaby v rámci jednotlivých intenzit v objemu povrchového odtoku přibližují stejným hodnotám. Žlab kontroly skoro ve všech intenzitách převyšuje svými hodnotami žlab J500. Žlab s jutovou geotextilií má vyšší hodnoty pouze u intenzity I2 od 3. deště, kdy je větší objem povrchového odtoku způsoben pravděpodobně tím, že je jutová geotextilie nasycena vodou, kterou pomalu uvolňuje.



Obr. č. 16 – Průběh růstu objemu povrchového odtoku na žlabu kontroly a žlabu J500 během tří intenzit

V grafu povrchového odtoku během intenzit za 15 minut, je porovnán žlab kontroly a juty během všech tří intenzit v průběhu celého zátěžového deště (Obr. č. 17). Z grafu je vidět, že povrchový odtok u svahu neošetřeného geotextilií (kontrolní žlab) vzrůstá. Zatímco u juty do I2 vzrůstá a pak u I3 klesá. Nepoměr mezi kontrolou a jutou je vidět při I2, kdy objem povrchového odtoku u kontroly je menší než u juty. Tato situace by teoreticky nastat neměla, ale je to pravděpodobně tím, že jutová geotextilie uvolňuje vodu z předchozího deště. Ukazuje to, že efektivnost jutové geotextilie je nejvyšší při intenzitě I1, kdy je intenzita deště nejnižší a to 1 mm/min a dále naopak při nejvyšší intenzitě I3 = 2,11 mm/min.

Nicméně vzhledem ke zvláštnímu průběhu dat u I2 nelze vyloučit chybu měření způsobenou buď poruchou dataloggeru (záznam objemu odtoku), nebo kolísáním tlaku vody přiváděné k tryskám simulátoru (intenzita deště). Pro budoucí práci a vyhodnocení dat doporučuji přeměření pro intenzitu I2, ovšem z časových a kapacitních důvodů nebylo toto opravné měření zahrnout do této diplomové práce. Ovšem i ze sérií při intenzitách I1 a I3 lze potvrdit původní předpoklad, že s rostoucí intenzitou deště klesá protierozní účinek geotextilie, nebo-li poroste objem povrchového odtoku.



Obr. č. 17 – Celkový objem povrchového odtoku během jednotlivých intenzit za 15 minut

Jednotlivé rozdíly objemu povrchového odtoku během všech třech intenzit (I1, I2, I3) můžeme vidět níže (Tab. č. 5). Tabulka zobrazuje žlab kontroly a žlab s ochranou geotextilií J500. Rozdíly objemů povrchového odtoku vznikly odečtením objemů po 15 minutách od objemů naměřených po 30 minutách. Můžeme tedy vidět kolik vody ještě oteklo po zátěžovém dešti v 15minutovém intervalu bez deště.

Objem povrchového odtoku po zátěžovém dešti v 15minutovém intervalu bez deště		
Intenzita	Kontrola	Juta
I1	0,05	2,39
I2	1,37	3,05
I3	0,85	5,10

Tab. č. 5 - Objem povrchového odtoku po zátěžovém dešti v 15minutovém intervalu bez deště

Podrobnější přehled objemu povrchového odtoku je uveden níže (Tab. č. 6, 7, 8). Povrchové odtoky jsou v tabulkách rozřazeny dle jednotlivých intenzit, typu pokusné plochy a pořadí deště. Dále v tabulkách můžeme vidět v jakých časech nastal povrchový odtok, jaký byl objem povrchového odtoku za první 15minutový interval (doba trvání deště) a následně po 30 minutách, kdy v tento druhý 15minutový interval na zkusnou plochu neprší. Avšak tato doba je důležitá pro doběh celkového povrchového odtoku.

Ze všech měření je vidět, že počátek povrchového odtoku se se vzrůstajícím počtem opakování deště zkracuje. Tento jev je způsoben postupným nasycením půdního vzorku vodou. Dalším jevem je vzrůstající objem povrchového odtoku, bez ohledu na zvolené intenzitě, žlabu s kontrolní plochou či žlabu ošetřeného jutovou geotextilií.

Objem povrchového odtoku – intenzita I1					
Žlab	ID (pořadí deště)	Začátek povrchového odtoku (min)	Objem povrchového odtoku za 15 min (l)	Objem povrchového odtoku za 30 min (l)	Celkový objem (l)
Kontrola	1	3:10	4,70	4,10	8,80
	2	0:59	8,00	8,30	16,30
	3	0:40	8,15	8,20	16,35
	4	0:42	8,55	8,70	17,25
	5	0:30	8,78	8,93	17,70
Juta	1	6:55	1,26	2,12	3,38
	2	2:17	5,58	5,63	11,21
	3	1:51	6,54	7,00	13,54
	4	1:35	7,51	8,02	15,53
	5	1:17	8,37	8,88	17,25

Tab. č. 6 – Vyhodnocení objemu povrchového odtoku během intenzity I1 na kontrolním (holém) svahu a svahu ošetřeném jutovou geotextilií

Objem povrchového odtoku – intenzita I2					
Žlab	ID (pořadí deště)	Začátek povrchového odtoku (min)	Objem povrchového odtoku za 15 min (l)	Objem povrchového odtoku za 30 min (l)	Celkový objem (l)
Kontrola	1	1:02	11,43	11,53	22,95
	2	0:24	8,60	8,70	17,30
	3	0:22	26,73	26,83	53,55
	4	0:24	22,83	22,93	45,75
	5	0:23	21,95	22,93	44,88
Juta	1	2:25	12,10	12,30	24,40
	2	0:53	3,70	3,95	7,65
	3	0:50	28,15	28,70	56,85
	4	0:47	27,10	28,70	55,80
	5	0:38	26,75	27,20	53,95

Tab. č. 7 - Vyhodnocení objemu povrchového odtoku během intenzity I2 na kontrolním (holém) svahu a svahu ošetřeném jutovou geotextilií

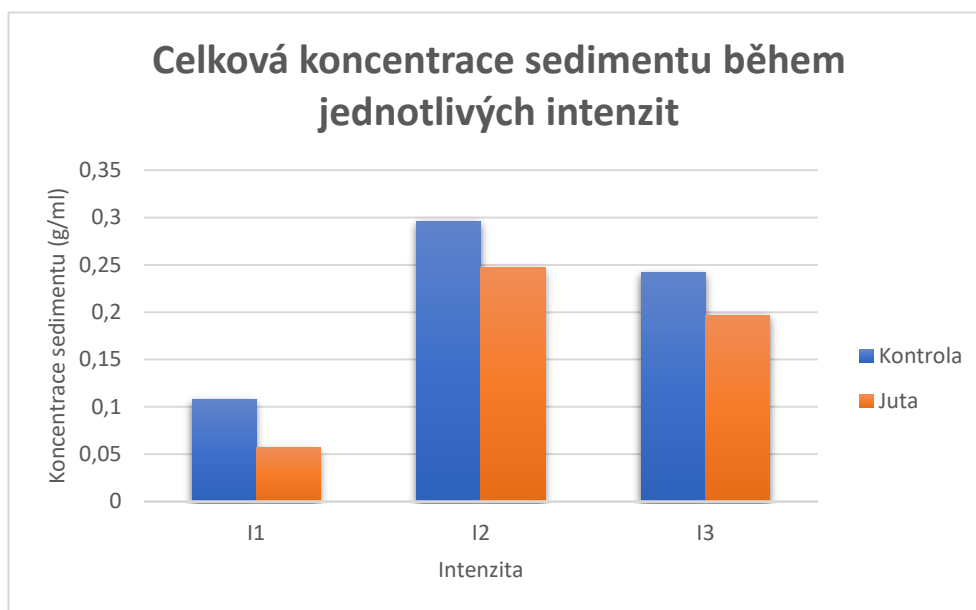
Objem povrchového odtoku – intenzita I3					
Žlab	ID (pořadí deště)	Začátek povrchového odtoku (min)	Objem povrchového odtoku za 15 min (l)	Objem povrchového odtoku za 30 min (l)	Celkový objem (l)
Kontrola	1	1:40	14,45	13,95	28,40
	2	0:20	20,00	20,30	40,30
	3	0:26	21,28	21,95	43,23
	4	0:26	22,25	22,35	44,60
	5	0:26	22,15	22,43	44,58
Juta	1	1:35	10,10	11,10	21,20
	2	0:30	18,60	19,40	38,00
	3	0:50	19,10	20,10	39,20
	4	0:30	20,45	21,15	41,60
	5	0:32	20,20	21,80	42,00

Tab. č. 8 - Vyhodnocení objemu povrchového odtoku během intenzity I3 na kontrolním (holém) svahu a svahu ošetřeném jutovou geotextilií

5.3 Výsledky koncentrace sedimentu

Koncentrace sedimentu byla stanovena z odebraných vzorků povrchového odtoku. Dalo se předpokládat, že celková koncentrace sedimentu na ploše ošetřené jutou bude menší než na ploše kontroly, což se potvrdilo. Dále se předpokládalo, že koncentrace sedimentu bude s rostoucí intenzitou deště vzrůstat, a to jak u kontrolního svahu (holé půdy), tak u půdy kryté geotextilií. Tato hypotéza, ale nebyla zcela prokázána. (Obr. č. 18) Intenzita I1 a intenzita I2 hypotézu zvyšující se koncentrace sedimentu potvrzuje. Avšak intenzita I3 vykazuje naopak pokles hmotnosti sedimentu, jak u žlabu kontroly, tak u žlabu ošetřeného jutovou sítí. U žlabu ošetřeného jutovou geotextilií se pokles sedimentu dá vysvětlit, tak že jutová síť se rychleji a více nasýtila vodou. Tím pádem byla geotextilie těžší a lépe přilnula k povrchu. Mohla více nabobtnat a tím vytvořila větší překážku pro proudění vody a odnos sedimentu.

Koncentrace sedimentu u plochy ošetřené jutovou geotextilií je nižší než u holé půdy. Rozdíl koncentrace sedimentu mezi intenzitou I1 a zbylými měřeními intenzitami (I2 + I3) je velmi viditelný, činí přibližně 2 g/ml. Rozdíly v jednotlivých intenzitách mezi jutou a kontrolou jsou srovnatelné. Potvrzuje se zde, že čím větší je intenzita deště, tím více se smyje sedimentu. (Obr. č. 18)



Obr. č. 18 – Množství sedimentu během jednotlivých intenzit na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií

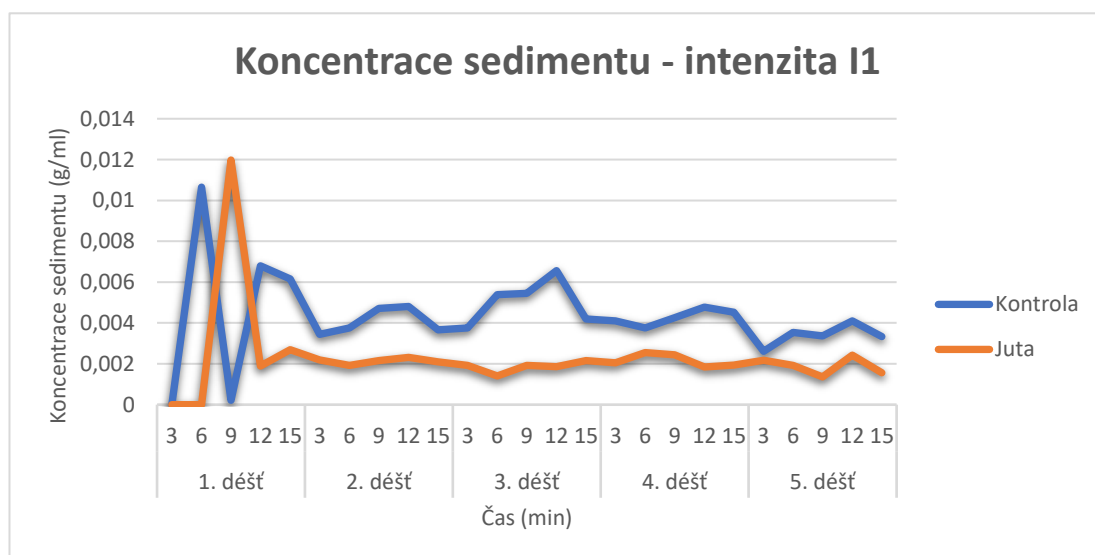
Koncentrace sedimentu žlabu kontroly a žlabu ošetřeného jutou byla zpracována do přehledné tabulky. (Tab. č. 9) Stejně tak, jako u objemu povrchového odtoku, data u I2 vykazují zvláštní hodnoty. Opět nejde vyloučit chybu měření způsobenou poruchou dataloggeru (záznam objemu povrchového odtoku), nebo kolísáním tlaku vody přiváděné k tryskám simulátoru (intenzita deště). Pro budoucí práci a vyhodnocení dat doporučuji přeměření pro intenzitu I2. Ze sérií měření při intenzitách I1 a I3 lze ovšem potvrdit původní předpoklad, že s rostoucí intenzitou deště klesá protierozní účinek geotextilie.

Koncentrace sedimentu (g/ml)		
Intenzita	Kontrola	Juta
I1	0,11	0,06
I2	0,30	0,25
I3	0,24	0,20

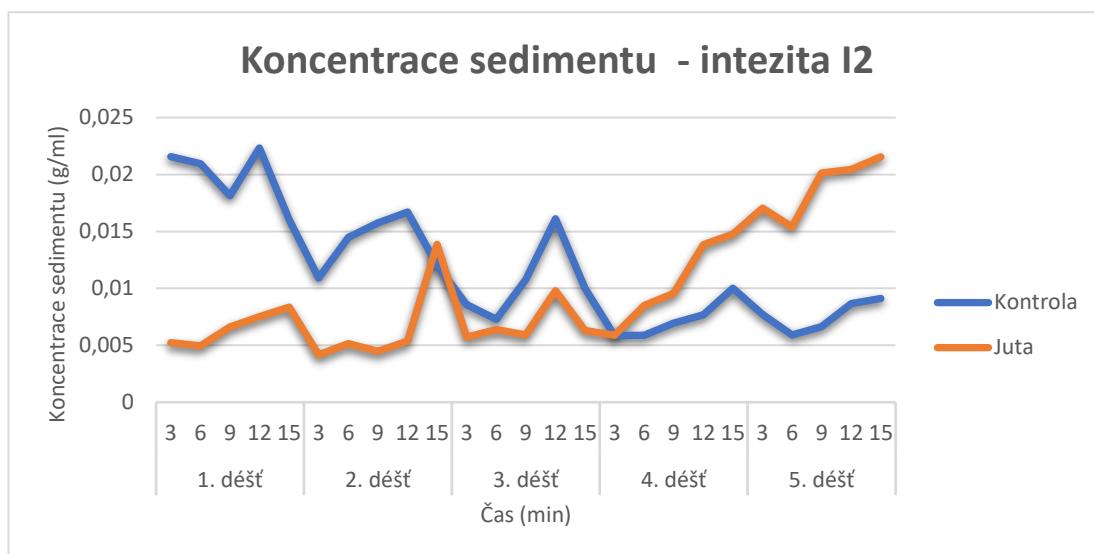
Tab. č. 9 – Množství sedimentu ze žlabu kontroly a žlabu ošetřeného jutovou geotextilií

Byla provedena analýza výsledků koncentrace sedimentu během jednotlivých dešťů I1, I2 a I3 jak u žlabu kontroly, tak u žlabu ošetřeného jutovou protierozní geotextilií. Grafy (Obr. č. 19, 20, 21) ukazují, jak se vyvíjela hmotnost sedimentu v závislosti na minutách deště. Koncentrace sedimentu byla zjištěna podílem hmotnosti sedimentu po vysušení a objemu vzorku, který byl odebrán při měření.

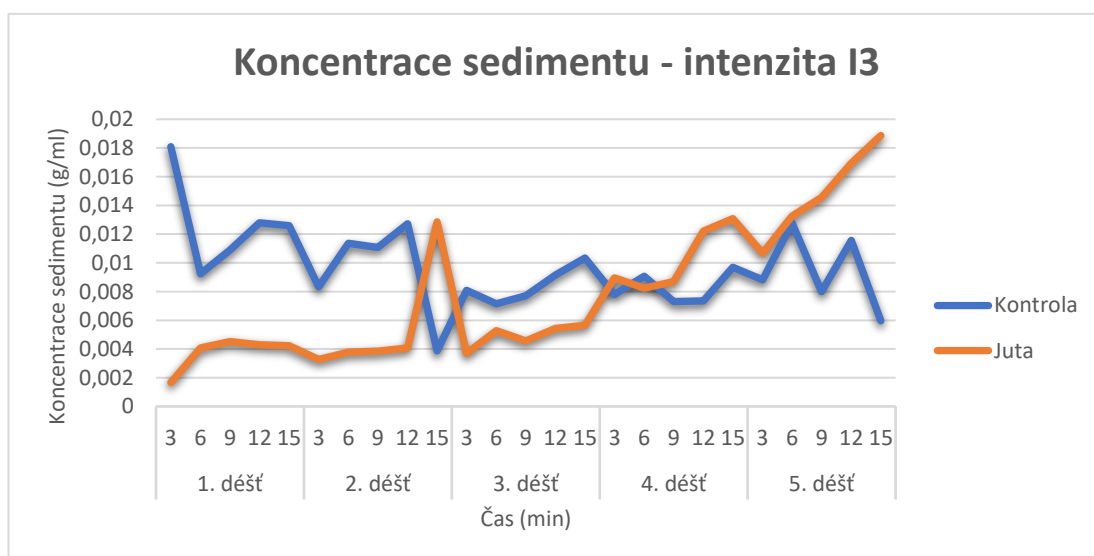
Při porovnání všech tří grafů (Obr. č. 19, 20, 21) je vidět, že na začátku každého měření při nové intenzitě, je koncentrace sedimentu nejvyšší. Je to způsobeno tím, že dešť nejdřív smyje volné částice zeminy. Z výsledků vyplývá, že ochranná geotextilie typu jutové sítě s plošnou hmotností 500 g/m² (velikost oka 10x30 mm), se nejvíce hodí do nižších intenzit (1 mm/min) ve sklonu 27°. Poslední dva grafy jsou důkazem, že vyšší intenzity není juta schopna smyv ze svahu zadržet. Juta se rychle nasytí vodou, přilne k povrchu svahu, vlákno juty nabobtná a brání smyvu. Avšak u 4. zátěžového deště svou sílu ztrácí. Výkyvy v hodnotách během minut zátěžového deště mohou být způsobeny nárazovým uvolněním „hroudy“ (většího množství) sedimentu. Rozdíly mezi koncentrací sedimentu u žlabu kontroly a žlabu s geotextilií za intenzity I2 a I3 zátěžového deště se pohybují kolem 0,01 gramu. Ale cílem je, aby u svahu ošetřeném geotextilií byla koncentrace sedimentu vždy nižší než u svahu holého (kontrolního).



Obr. č. 19 - Koncentrace sedimentu během intenzity I1 a během jednotlivých dešťů na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií



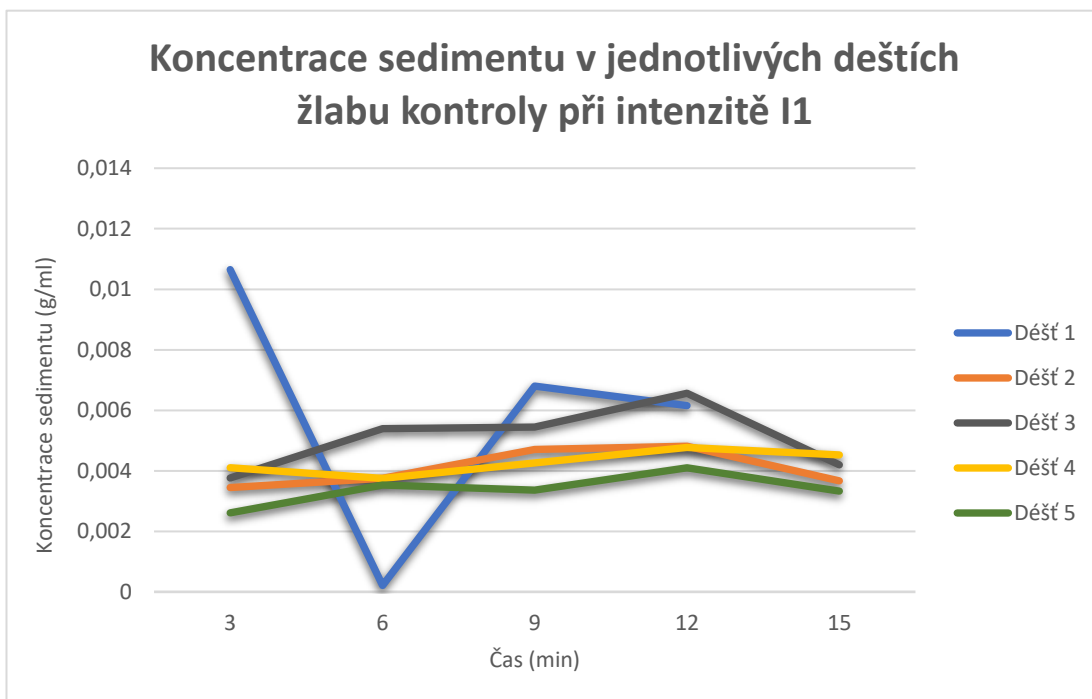
Obr. č. 20 - Koncentrace sedimentu během intenzity I2 a během jednotlivých dešťů na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií



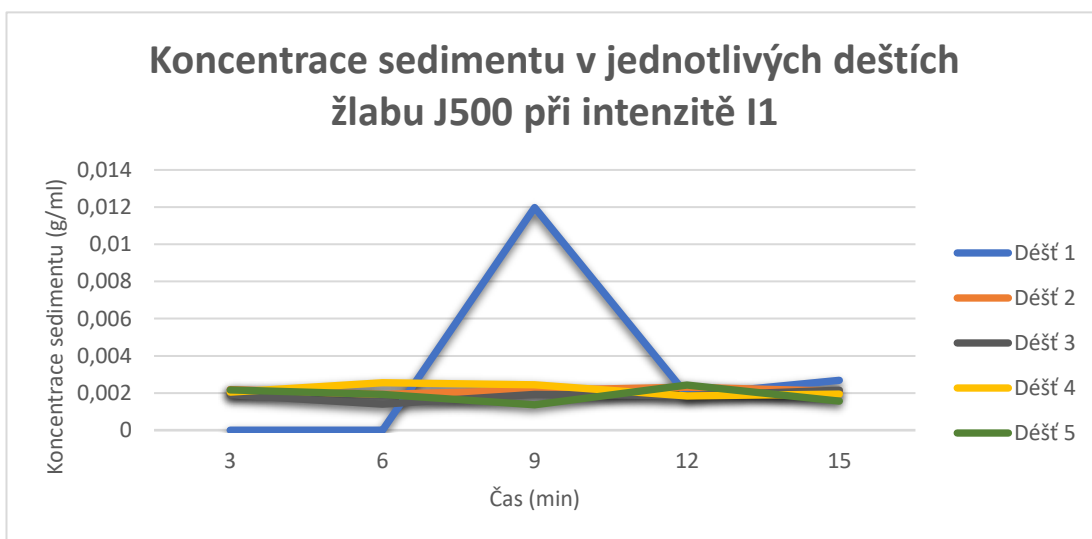
Obr. č. 21 – Koncentrace sedimentu během intenzity I3 a během jednotlivých dešťů na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií

Vývoj koncentrace při intenzitě I1 na žlabu kontroly a žlabu ošetřeného jutovou geotextilií můžeme porovnat v následujících dvou grafech (Obr. č. 22, 23). Koncentrace sedimentu u žlabu kontroly na začátku prvního deště a jeho třetí minuty dosahuje vysokých hodnot z toho důvodu, protože první dešť s sebou odnese všechny neuchycené půdní částice. Poté je vidět, že u šesté minuty koncentrace sedimentu

je na nule a zase se zvyšuje. V následujících deštích u žlabu kontroly koncentrace sedimentu je ustálená. Něco podobného se stalo i u žlabu ošetřeného geotextilií, akorát první nárůst smyvu nastal až o tři minuty později než u žlabu kontroly. Musí to být způsobeno právě aplikovanou jutovou sítí. V následujících deštích se také koncentrace sedimentu pohybuje v ustálených hodnotách. Hodnoty u žlabu s geotextilií jsou mnohem nižší než u žlabu kontroly. Je zde vidět vysoká efektivita jutové geotextilie, která byla u I1 = 47,39 %, I2 = 16,63 %, I3 = 18,64 %.

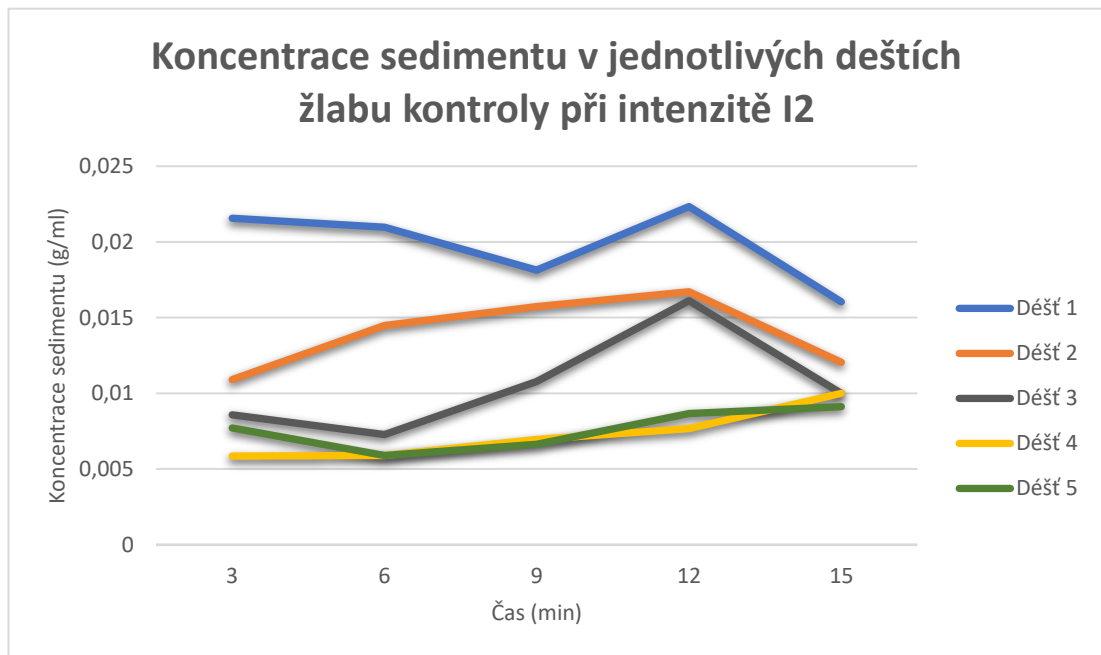


Obr. č. 22 – Koncentrace sedimentu ve žlabu kontroly při intenzitě I1

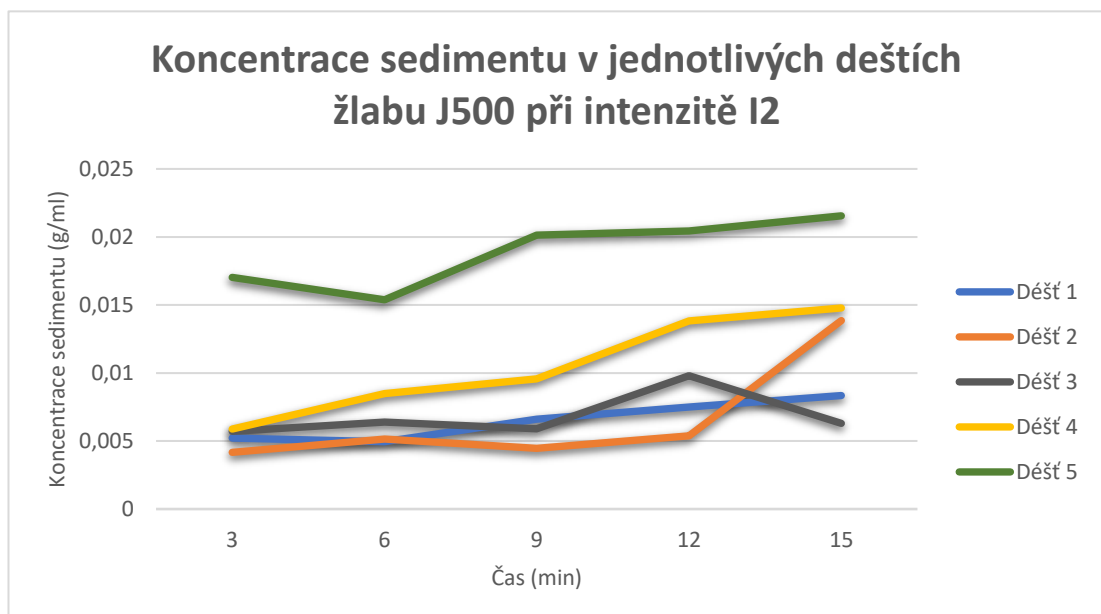


Obr. č. 23 – Koncentrace sedimentu ve žlabu J500 při intenzitě I1

Následující dva grafy (Obr. č. 24, 25) také znázorňují koncentraci sedimentu v obou žlabech ale za intenzity I2. U žlabu kontroly došlo k podobné skutečnosti jako u intenzity I1 – u prvního deště byla koncentrace sedimentu nejvyšší. V následujících deštích se koncentrace sedimentu proměnlivě měnila. U žlabu J500 nastala nejvyšší odchylka až posledního pátého deště, který se absolutně odchyľuje. Při této intenzitě už tedy nastává snižování efektivnosti jutové geotextilie, ale stále jsou hodnoty koncentrace sedimentu nižší než u žlabu kontroly.

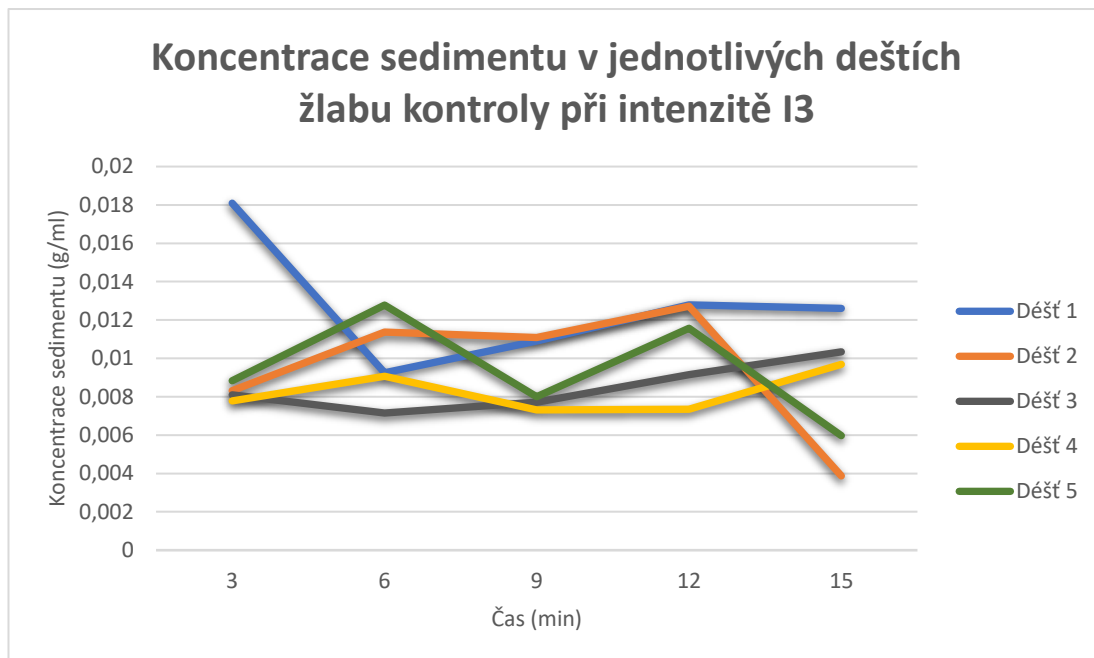


Obr. č. 24 – Koncentrace sedimentu ve žlabu kontroly při intenzitě I2

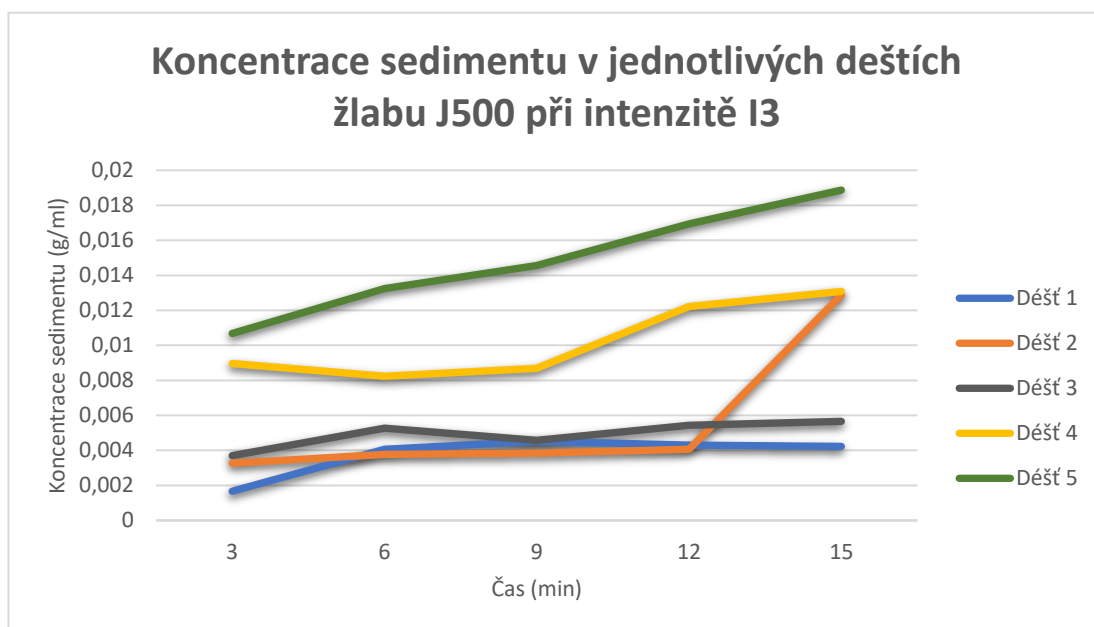


Obr. č. 25 – Koncentrace sedimentu ve žlabu J500 při intenzitě I2

Další na porovnání v této sérii grafů patří intenzitě I3 (Obr. č. 26, 27). Žlab kontroly se nijak nevymyká předchozím měřením. Ale u žlabu J500 můžeme vidět ještě nižší efektivitu než u předchozí intenzity I3. Vysokých hodnot koncentrace sedimentu dosahuje už od čtvrtého deště. Tyto hodnoty převyšují žlab kontroly.

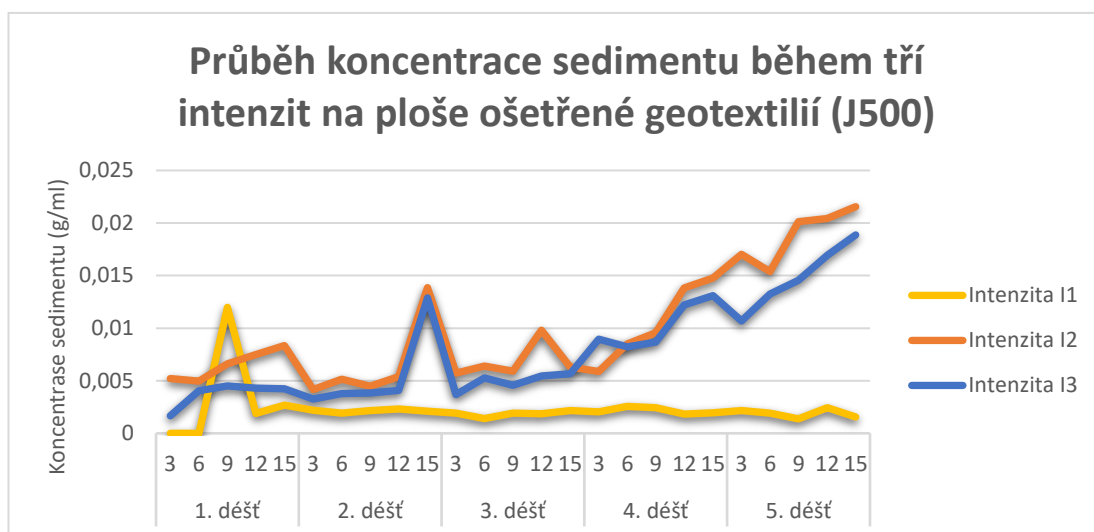


Obr. č. 26 – Koncentrace sedimentu ve žlabu kontroly při intenzitě I3



Obr. č. 27 – Koncentrace sedimentu ve žlabu J500 při intenzitě I3

Níže z grafu (Obr. č. 28) je možno vidět, jak probíhala koncentrace sedimentu na žlabu, který byl ošetřen jutovou geotextilií, během všech intenzit (I1, I2, I3). Bezespору je jasné, že efektivita geotextilie dosahuje nejvyšších hodnot při intenzitě I1. Tudíž s rostoucí intenzitou deště geotextilie ztrácí na efektivnosti. Hlavně pokud je jutová geotextilie vystavena delším srážkovým událostem. Při intenzitě I2 a I3 je prokazatelně vidět nárůst koncentrace sedimentu nad hodnoty žlabu s kontrolní plochou od 4. měření zátěžového deště.



Obr. č. 28 – Vývoj koncentrace sedimentu během tří intenzit za jednotlivých dešťů na svahu ošetřeném jutovou geotextilií

Pro vizualizaci následků působení deště na půdu holou a půdu chráněnou geotextilií jsou níže uvedené fotografie (Obr. č. 29, 30, 31, 32). Tyto fotografie byly pořízeny z měření, kdy zátěžový dešť byl nastaven na intenzitu I1. U obrázku č. 29 je znázorněn žlab kontroly s připravenou utuženou zeminou, který bude vystaven zátěžovému dešti. Na obrázku č. 30 je vidět kontrolní žlab, po celkovém měření. Při porovnání je vidět, že zemina na povrchu nemá volné částice a půdní agregáty, ale je hladká, se sklonem k tvorbě krusty. Tento odnos půdních částic byl zaznamenán jako koncentrace sedimentu v povrchovém odtoku. Na obrázcích č. 31 a 32 je vidět aplikovaná jutová protierozní síť. Na obrázcích je vidět porovnání, jak juta vypadá před zátěžovým deštěm a bezprostředně po něm. Před zátěžovým deštěm je síť suchá, načechraná, nerovnoměrně rozprostřená a nepřiléhá ke svahu. Zatímco po zátěžovém

dešti je vidět změna – síťová vlákna nabobtnala, rozprostřela se po svahu, a hlavně ke svahu přilehla a vytvořila se zeminou vazbu. Na obrázku č. 32 je vidět, že zemina na svém povrchu má prohlubně tam, kde byly oka sítě – tam, kam dopadal déšť a půda nebyla chráněna, tudíž byla vymývána (tzv. splash erosion).



Obr. č. 29 – Žlab kontroly před zátěžovým deštěm



Obr. č. 30 – Žlab kontroly po zátěžovém dešti



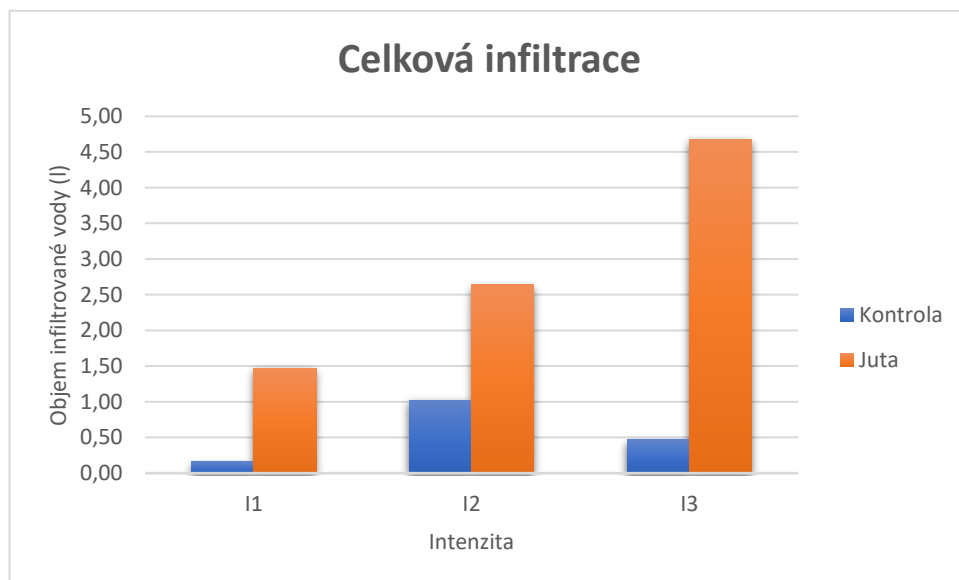
Obr. č. 31 – Žlab J500 před zátěžovým deštěm



Obr. č. 32 – Žlab J500 po zátěžovém dešti

5.4 Vyhodnocení objemu infiltrované vody

Z následujícího grafu (Obr. č. 33) je vidět, že celková infiltrace u žlabu ošetřeného jutou se v průběhu měření zvyšovala. Čím větší intenzita, tím větší infiltrace. I při tom, že srážka u I3 odpovídá srážce 20leté, byla juta schopna vodu na povrchu zadržet tak dlouho, aby měla čas se do půdy vsáknout a infiltrovat. U žlabu s kontrolou je objem infiltrace odpovídající k intenzitě deště. U I1 je srážka nejmenší, voda má šanci a čas se vsakovat. Následuje srážka I2, kdy proces je podobný jako u I1, ale u srážky I3 objem infiltrace klesl v poměru s I2. Je to z toho důvodu, že srážka I3 odpovídá 20leté srážce a půda nedokázala vodu udržet dostatečně dlouho, aby došlo k infiltraci. Když se voda nemohla vsáknout, došlo tak k jejímu odvedení povrchovým odtokem.



Obr. č. 33 – Objem celkové infiltrace během jednotlivých intenzit

6. Diskuze

Základní hypotéza celé práce, která spočívala v měření za laboratorních podmínek byla snižující se efektivita jutové geotextilie se vzrůstající intenzitou simulovaného deště. Tato hypotéza byla potvrzena z výše uvedených výsledků (grafů a tabulek). I přes to, že naměřené hodnoty u I2 mají zvláštní průběh. U této intenzity nelze vyloučit chybu měření způsobenou poruchou dataloggeru či kolísáním tlaku vody přiváděné k tryskám simulátoru. Při měření se úspěšně podařilo nasimulovat podobné podmínky, aby bylo možné jednotlivé výsledky porovnat. Například průměrná objemová hmotnost zeminy (v jednotlivých žlabech činila 174 kg, přičemž největší rozdíl mezi jednotlivými hmotnostmi byly 2 kg. Stejně tak vyhovovala i půdní vlhkost v jednotlivých žlabech, která průměrně činila 14,8 % s odchylkou plus mínus.

Objem povrchového odtoku u žlabu kontroly postupně vzrůstá vzájemně tak, jak je volena vyšší intenzita zátěžového deště. Umělý půdní profil žlabu je postupně sycen vodou, klesá schopnost infiltrace vody do půdy, tím pádem se zvyšuje objem povrchového odtoku. Avšak u žlabu, který je ošetřen jutovou geotextilií nastal zlom při měření u intenzity I2, kdy objem povrchového odtoku převýšil hodnoty objemu u žlabu kontroly. Tento jev byl pravděpodobně způsoben tím, že juta z předchozího deště absorbovala vodu a následně ji pomalu začala uvolňovat.

Efektivita jutové geotextilie z pohledu koncentrace sedimentu dosahovala hodnot u I1 - 47 % a u I3 - 18 %. Procentuální snížení efektivity jutové geotextilie od první série měření do třetí série měření bylo o 29 %. Přičemž nejúčinnější byla jutová geotextilie v zachycování půdních částic při intenzitě I1, kdy intenzita je rovna dvouleté srážce. Dále výsledky prokázaly, že jutová geotextilie výrazně snižuje koncentraci sedimentu oproti kontrolnímu žlabu, který nebyl ošetřen protierozní geotextilií. Vysoké koncentrace sedimentu u žlabu kontroly, jsou způsobené tím, že kapky deště dopadají přímo na holou půdu, kterou rozrušují a povrchový odtok následně půdní částice odnáší s sebou pryč (Obr. č. 29). Zatímco u žlabu, který je ošetřen jutovou geotextilií dochází k částečné ochraně holé půdy před kinetickou energií dešťových kapek a uvolněný materiál je sítí částečně zachytáván. Půda a jutová síť vytvoří mezi sebou vazby a po odejmutí geotextilie lze zpozorovat mozaiku, kterou po sobě jutová síť zanechala (Obr. č. 31). Hodnoty koncentrace sedimentu jsou

ovlivňovány vlhkostí půdy, půdním druhem, sklonem svahu nebo objemem povrchového odtoku.

Pro porovnání výsledků z tohoto experimentu byly vybrány dva články od Kalibové et. al. (2016, 2017). Článek z roku 2016 hodnotí účinnost jutové a kokosové geotextilie proti erozi v laboratorních i polních podmínkách. Článek z roku 2017 hodnotí dopad intenzity srážek na hydrologický výkon protierozních geotextilií – o kolik se snížil povrchový odtok, pokud byla na svah aplikována GTX. Oba články jsou vhodné z důvodu použití stejných protierozních geotextilií, jako pro výzkum v této sérii měření – J500, C400, C700. Rozdílem byl nastavený sklon umělého půdního profilu, který byl 9° a nastavení jiné intenzity zátěžového deště. Ve výsledcích je srovnatelné, že jutová geotextilie je velice efektivní na snížení povrchového odtoku v porovnání se žlabem kontroly. Jutová geotextilie vychází efektivněji než kokosové geotextilie, co se týče snížení povrchového odtoku.

V průběhu měření pro tuto diplomovou práci došlo k selhání a rozbití dataloggeru, který zaznamenával objem povrchového odtoku. Stalo se tak při měření intenzity I2, jak na žlabu kontroly, tak žlabu s jutovou geotextilií. Přesněji se to stalo během 6 minut, kdy datalogger zaznamenal na žlabu kontroly jen 8 překlopů a na žlabu J500 pouze 4 překlopy. Po tomto zjištění následovalo počítání objemu povrchového odtoku stále za pomoci překlopných průtokoměrů ale bez dataloggeru. Počet překlopů se počítal a zaznamenával ručně pomocí stopování času.

7. Závěr a přínos práce

Eroze je zrychlována a má větší potenciál na narušeném svahu (bez vegetace). Narušený svah může být u dálnice či uměle vytvořená sjezdová trať. Takového svahy se musí chránit (jde hlavně o odstranění vegetačního krytu). Nejlepší ochranou jsou přírodní geotextilie. Kromě ochranného účinku jsou přínosem pro půdu, která leží pod geotextilií, jelikož po rozkladu tvoří biomasu pro vzrůstající vegetaci (Sutherland A. R., Ziegler D. A., 2007). Ztráta půdy a zeminy tvoří nestabilitu svahu, tyto ztráty by měly být výzvou a zaměřením se na lidskou činnost – bránit se proti erozi a nepodporovat ji (Tauro, 2018).

Proto se provádí studie efektivity protierozních opatření, včetně geotextilií, jako v této diplomové práci. Efektivita jutové geotextilie se při měření v této práci pohybovala v rozmezí 47 % - 18 %. Přičemž byla ovlivněna několika faktory – intenzita simulovaného deště, sklon umělého půdního profilu, vlhkost nebo typ půdy. Zjistit efektivitu jutové geotextilie bylo i cílem tohoto měření. Jutové geotextilie byla aplikována na umělý půdní profil o sklonu svahu 1:2 (27°). Jutová síť byla vystavena zátěžovému dešti o třech intenzitách (I1 = 1 mm/min, I2 = 1,27 mm/min, I3 = 2,11 mm/min). Výsledky přinesly zjištění, že efektivita jutové sítě s rostoucí intenzitou klesá (Obr. č. 27). Při porovnání koncentrace sedimentu se žlabem kontroly je zřejmé, že jutová síť protierozní vlastnosti splňuje, neboť koncentrace sedimentu u žlabu ošetřeného jutovou geotextilií je výrazně nižší. Dále mezi pozitivní vlastnosti jutové geotextilie patří: zpomalení povrchového odtoku a zvýšení objemu infiltrované vody.

Diplomová práce vznikla v rámci týmové spolupráce, díky níž výsledky společně tvoří komplexnější celek. Práce jsou zaměřené na porovnání více druhů protierozních geotextilií, za stejného sklonu, půdního typu i intenzit zátěžového deště. Výsledky, které byla získány v této diplomové práci, mohou být použity jako zdroj informací pro vědecké články, který zhodnotí vlastnosti protierozních geotextilií a jejich efektivitu v závislosti na sklonu svahu či intenzitě zátěžového deště. V dalším kroku mohou být zahrnuty další faktory ovlivňující efektivitu protierozní geotextilie, například změna půdního typu. Výsledky mohou také pomoci při procesu optimalizace výběru vhodného protierozního materiálu pro konkrétní stanovištní podmínky.

Při zpracování diplomové práce došlo k naplnění předem stanovených cílů.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

8.1 Odborné publikace

ÁLVAREZ-MOZOS J. et al., 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence on the establishment and growth of vegetation. *Catena* 121, P. 195 – 203.

BHATTACHARYYA R. et al., 2009: Utilizing palm-leaf geotextile mats to conserve loamy sand soil in the United Kingdom. Elsevier. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130, P. 50 – 58.

BHATTACHARYYA R. et al., 2010: Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena* 81, P. 184 – 195.

BRODA J. et al., 2016: Innovative Geotextiles for Reinforcement of Roadside Ditch. *Tekstilec* 59 (2), P. 115 – 120.

BRODA J. et al., 2017: Application of recycled fibres and geotextiles for the stabilisation of steep slopes. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 254.

CEDRÀ A., 1999: Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *Cuadernos I. Geogr´afica* 25, P. 45 – 84.

DEVÁTÝ J. et al., 2019: Effects of historical land use and land pattern changes on soil erosion – Case studies from Lower Austria and Central Bohemia. Elsevier, *Land Use Policy* 82, P. 674 – 685.

EGBUJOU CH. I. et al., 2018: Geochemical characterization of banana, buriti palm, jute and coir fibres for use as biogeotextiles for erosion control. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, P. 202 – 215.

FULLEN et al., 2007: Contributions of biogeotextiles to sustainable development and soil conservation in developing countries: the BORASSUS Project. *Ecosystems and Sustainable Development*. WIT Press, Southampton, UK, P. 123 – 141.

GHOSH K. S. et al., 2014: Design and development of woven jute geotextiles for potential applications in the field of geotechnical constructions. *The Journal of The Textile Institute*, P. 550 – 563.

GHOSH K. S. et. al., 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, P. 561 – 573.

GHOSH K. S. et. al., 2017: Potential Applications of Open Weave Jute Geotextile (Soil Saver) in Meeting Geotechnical Difficulties. Elsevier, *Procedia Engineering* 200, P. 200 – 205.

JAKAB G. et al., 2012: Biological geotextiles against soil degradation under subhumid climate – a case study. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, May, Vol. 7, No. 2, P. 125 – 134.

JANEČEK M. et. al., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha.

JANEČEK M. et. al., 2013: Využití simulátorů deště ve výzkumu eroze. *Vodní hospodářství*: 63 (5): P. 168 – 172.

KALIBOVÁ J. et al., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth*, P. 469 – 479.

KALIBOVÁ J. et al., 2017: Impact of rainfall intensity on the hydrological performance of erosion control geotextiles. *Environ Earth Sci*, 76:429.

KALIBOVÁ J., PETRŮ J., 2018: Measurement and Computation of Kinetic Energy of Simulated Rainfall in Comparison with Natural Rainfall. *Soil & Water Res.* 13, P. 226 – 233.

KELLER R. G., 2016: Application of geosynthetics on low-volume roads. Elsevier, *Transportation Geotechnics* 8, P. 119 – 131.

KERTÉSZ Á. et. al., 2011: Biological geotextiles as a tool for soil moisture conservation. *Land degradation & Development* 22, P. 472 – 479.

KIBET L. C. et. al., 2014: A Protocol for Conducting Rainfall Simulation to Study Soil Runoff. *Journal of Visualized Experiments* 86.

KOVÁŘ P. et. al., 2013: Možnosti využití modelové simulace hydrologických dat pro vodohospodářské studie a projekty. *Vodní hospodářství* (63).

LIU H. et. al., 2016: Effectiveness of geotextiles for road slope protection under simulated rainfall. *Environ Earth Sci* 75:1198.

MANIVANNAN S. et. al., 2018: Efficacy of open weave jute geotextiles in controlling soil erosion and its impact on hill slope stabilization. Indian journal of agricultural sciences, P. 679 – 684.

MEHTA H. et. al., 2018: Effect of geojute technique on density, diversity and carbon stock of plant species in landslide site of North West Himalaya. Journal of Mountain Science 15 (9), P. 1961 – 1971.

MORGAN R. P. C., RICKSON R. J., 1995: Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. E & FN Spon, London.

MUNIRUZZAMAN S. M. et. al., 2016: Effectiveness of jute geotextiles in flexible pavement construction. International Journal of GEOMATE, P. 1644 – 1648.

NĚMEČEK J. et al., 2001: Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha.

NOVOTNÝ I. et al., 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.

RICKSON R. J., 1988: The use of geotextiles in soil erosion control: comparison of performance on two soils. Rimwanich, S. (ED), Land Conservation for Future Generations Proceedings of Conference V. International Soil Conservation, January, P. 18 - 29.

RICKSON R. J., 2006: Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. Earth Surface Processes & Landforms 31, P. 550 – 560.

SEUTLOALI E. K., BECKEDAHL R. H., 2015: A Review Of Road-Related Soil Erosion: An Assessment Of Causes, Evaluation Techniques And Available Control Measures. Earth Sciences Research Journal, P. 73 – 80.

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 3 March, P. 480 – 494.

SUTHERLAND A. R., ZIEGLER D. A., 2006: Hillslope runoff and erosion as affected by rolled erosion control systems: a field study. Hydrological processes 20, P. 2839 – 2855.

SUTHERLAND A. R., ZIEGLER D. A., 2007: Effectiveness of coir-based rolled erosion control systems in reducing sediment transport from hillslopes. *Applied Geography* 27, P. 150 – 164.

TAURO F. et. al., 2018: Field studies on the soil loss reduction effectiveness of three biodegradable geotextiles. *Journal of Agricultural Engineering*, P. 117 - 123.

TAURO F. et. al., 2018: Field studies on the soil loss reduction effectiveness of three biodegradable geotextiles. *Journal of Agricultural Engineering*, volume XLIX:799.

ZLATUŠKA K., 2003: Ochrana břehů vodního toku zatravněním zejména za podpory geotextilií. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

8.2 Legislativa

ČSN EN ISO 10318-1, 2015: Geosyntetika – Část 1: Termíny a definice. Textilní zkušební ústav, Brno.

MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky. Ministerstvo dopravy, obor pozemních komunikací, Brno, P. 52.

8.3 Internetové zdroje

HUDSON N. W., 1993: Field measurement of soil erosion and runoff (online) [cit. 2019.02.07], dostupné z <<http://www.fao.org/docrep/T0848E/t0848e00.htm#TopOfPage>>.

MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR, 2016: Státní politika životního prostředí ČR 2012–2020 (online) [cit. 2019.03.21], dostupné z <<https://www.databaze-strategie.cz/cz/mzp/strategie/statni-politika-zivotniho-prostredi-cr-2012-2020-akt-2016>>.

9 Obrázky, tabulky, rovnice

9.1 Obrázky

Obr. č. 1 – Jutová protierozní síť 500 g/m² (J500)

Obr. č. 2 – Kokosová protierozní síť 400 g/m² (C400)

Obr. č. 3 – Kokosová protierozní síť 700 g/m² (C700)

Obr. č. 4 – Převoz zeminy ze skrývky, Autor: Bc. Lucie Vávrová

Obr. č. 5 – Převoz zeminy do laboratoře, Autor: Bc. Lucie Vávrová

Obr. č. 6 – Laboratorní pomůcky

Obr. č. 7 – Sušení vzorků

Obr. č. 8 – Filtrační geotextilie

Obr. č. 9 – Čistý připravený žlab

Obr. č. 10 – Trysky simulátoru

Obr. č. 11 – Tlakoměr

Obr. č. 12 – Měnič napětí řídicí jednotka simulátoru deště

Obr. č. 13 – Nádoba pro odběr infiltrované vody

Obr. č. 14 – Souprava pro podtlakovou filtraci

Obr. č. 15 – Jutová protierozní geotextilie

Obr. č. 16 – Průběh růstu objemu povrchového odtoku na žlabu kontroly a žlabu J500 během tří intenzit

Obr. č. 17 – Celkový objem povrchového odtoku během jednotlivých intenzit za 15 minut

Obr. č. 18 – Množství sedimentu během jednotlivých intenzit na holém svahu nebo svahu ošetřeného jutovou geotextilií

Obr. č. 19 – Koncentrace sedimentu během intenzity I1 a během jednotlivých dešťů na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií

Obr. č. 20 – Koncentrace sedimentu během intenzity I2 a během jednotlivých dešťů na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií

- Obr. č. 21 – Koncentrace sedimentu během intenzity I3 a během jednotlivých dešťů na holém svahu nebo svahu ošetřeném jutovou geotextilií
- Obr. č. 22 – Koncentrace sedimentu ve žlabu kontroly při intenzitě I1
- Obr. č. 23 – Koncentrace sedimentu ve žlabu J500 při intenzitě I1
- Obr. č. 24 – Koncentrace sedimentu ve žlabu kontroly při intenzitě I2
- Obr. č. 25 – Koncentrace sedimentu ve žlabu J500 při intenzitě I2
- Obr. č. 26 – Koncentrace sedimentu ve žlabu kontroly při intenzitě I3
- Obr. č. 27 – Koncentrace sedimentu ve žlabu J500 při intenzitě I3
- Obr. č. 28 – Vývoj koncentrace sedimentu během tří intenzit za jednotlivých dešťů na svahu ošetřeném jutovou geotextilií
- Obr. č. 29 – Žlab kontroly před zátěžovým deštěm
- Obr. č. 30 – Žlab kontroly po zátěžovém dešti
- Obr. č. 31 – Žlab J500 před zátěžovým deštěm
- Obr. č. 32 – Žlab J500 po zátěžovém dešti
- Obr. č. 33 – Objem celkové infiltrace během jednotlivých intenzit

9.2 Tabulky

- Tab. č. 1 – Půdní vlhkost
- Tab. č. 2 – Zrnitostní rozbor zeminy pomocí různě velkých sít
- Tab. č. 3 – Zrnitostní rozbor pomocí hustoměrné metody
- Tab. č. 4 – Stanovení zrnitostní kategorie
- Tab. č. 5 – Objem povrchového odtoku po zátěžovém dešti v 15minutovém intervalu bez deště
- Tab. č. 6 – Vyhodnocení objemu povrchového odtoku během intenzity I1 na kontrolním (holém) svahu a svahu ošetřeném jutovou geotextilií
- Tab. č. 7 – Vyhodnocení objemu povrchového odtoku během intenzity I2 na kontrolním (holém) svahu a svahu ošetřeném jutovou geotextilií

Tab. č. 8 – Vyhodnocení objemu povrchového odtoku během intenzity I3 na kontrolním (holém) svahu a svahu ošetřeném jutovou geotextilií

Tab. č. 9 – Množství sedimentu ze žlabu kontroly a žlabu ošetřeného jutovou geotextilií

9.3 Rovnice

Rovnice č. 1 – Stanovení procentuální půdní vlhkosti

Rovnice č. 2 – Objemová hmotnost

Rovnice č. 3 – Stanovení hmotnost sedimentu

Rovnice č. 4 – Stanovení koncentrace sedimentu