

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Bc. HANA ROHMOVÁ

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

VLIV INTENZITY DEŠTĚ NA EFEKTIVITU
PROTIEROZNÍCH GEOTEXTILIÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Hana Rohmová

2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv intenzity deště na efektivitu protierozních geotextilií, vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Sadově Bc. Hana Rohmová

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Janě Kalibové Ph. D. za velkou dávku trpělivosti a odborné vedení, které mi věnovala. Zvláštní poděkování pak náleží nejbližším, za podporu a důvěru, kterou mi v průběhu celého studia a při zpracování této práce poskytovali.

V Sadově dne

Abstrakt

Diplomová práce si klade za cíl zhodnotit, zda při změně intenzity dešťových srážek, kterým budou vystaveny vzorky vybrané protierozní geotextilie, dojde k změně efektivity těchto geotextilií, tj. zda při změně intenzity uměle vytvořeného a řízeného deště dojde ke změně koncentrace sedimentu v odebíraných vzorcích povrchového odtoku a zda dojde díky použití geotextilie ke snížení objemu tohoto odtoku.

K získání dat byl realizován experiment, při kterém bylo využito simulátoru deště. Simulátorem byly řízeně zadešťovány čtyři testovací plochy s uměle vrstveným půdním profilem. Na třech testovacích plochách byla zemina kryta přírodní geotextilií a jedna plocha nebyla kryta, jednalo se o plochu kontrolní, holou půdu. Tato diplomová práce zpracovává data získaná z plochy s jutovou geotextilií o plošné hmotnosti 500 g/m² a srovnává je s daty z plochy kontrolní. Ostatní dva typy geotextilií jsou předmětem samostatných diplomových prací.

Jutová geotextilie snížila koncentraci splavovaného sedimentu o 89 % ve srovnání s kontrolní plochou. Dále bylo zjištěno, že jutová geotextilie má vliv i na množství povrchového odtoku při některých intenzitách deště, avšak neplatí že vždy povrchový odtok snižuje.

Klíčová slova: efektivita geotextilie, simulace srážek, povrchový odtok, jutová geotextilie

Abstrakt

The aim of the diploma thesis is to evaluate whether the effectiveness of these geotextiles changes when the intensity of rainfall to which samples of selected anti-erosion geotextiles are exposed changes, i.e. whether the concentration of sediment in the collected surface samples changes when the intensity of artificially created and controlled rain changes. runoff and whether the volume of this runoff will be reduced thanks to the use of geotextiles.

To obtain data, an experiment was carried out in which a rain simulator was used. Four test areas with an artificially layered soil profile were rained in a controlled manner using the simulator. In three test areas, the soil was covered with natural

geotextile and one area was not covered, it was a control area, bare soil. This diploma thesis processes data obtained from an area with jute geotextile with an area weight of 500 g/m² and compares it with data from a control area. The other two types of geotextiles are the subject of separate diploma theses.

The jute geotextile reduced the concentration of drifted sediment by 89% compared to the control area. Furthermore, it was found that jute geotextile also has an effect on the amount of surface runoff at certain intensities of rain, but it does not mean that it always reduces surface runoff.

Keywords: geotextile effectiveness, rainfall simulation, surface runoff, jute geotextile

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle.....	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Eroze	4
3.2	Geotextilie	9
3.3	Jutová geotextilie	11
3.4	Simulátory deště.....	12
4	Metodika	14
4.1	Příprava zeminy	18
4.2	Příprava žlabů.....	19
4.3	Průtokoměr	22
4.4	Vlhkost půdy	22
4.5	Dešťový simulátor.....	24
4.6	Příprava a odběry vzorků	25
4.7	Měření	28
5	Výsledky	31
6	Diskuse.....	44
7	Závěr	49
8	Přehled použitých zdrojů a literatury	51
9	Přílohy.....	57

1 Úvod

Půda je velmi významným přírodním bohatstvím státu a je považována za neobnovitelný zdroj vzhledem k tomu, že její přirozená obnova probíhá jen velmi pomalu (Šarapatka a kol. 2021).

Půda je ohrožována erozí. V podmínkách ČR se jedná zejména o erozi vodní a větrnou (VÚMOP ©2024). Dochází k rozrušování zemského povrchu a odnosu půdních částic a jejich transportu na jiné místo. K erozi dochází přirozeným geologickým způsobem, nebo zrychleným způsobem, kde je rozhodujícím vlivem působení člověka. Půdu ohrožuje množství procesů, vedoucích k omezení nebo až ztrátě schopnosti půdy plnit své základní produkční a mimoprodukční funkce. Morfologie svahu, vegetace a půdní typ mají zásadní podíl na erozním chování půdy (Morgan 2005). Orná půda a půda bez vegetačního pokryvu je nejzranitelnější (Kamamia a kol. 2022).

Dešťové srážky a povrchový odtok jsou hlavními hybateli vodní eroze. Působí zde kinetická energie při dopadu dešťových kapek (Neumann a kol. 2019) a mechanická síla vody, stékající na svažitéch pozemcích po povrchu půdy.

Dopadem dešťových kapek na půdu dochází k rozrušování půdních profilů a transportu částic a k jejich následné sedimentaci. Se zvyšující se intenzitou dešťových kapek dochází k působení vyšší kinetické energie a většímu destruktivnímu účinku na půdu. Uvolněné a povrchovým odtokem unesené částice následně sedimentují v různých místech a způsobují výrazné škody na zemědělských půdách, porostech, v korytech řek, vodních dílech, i na majetku.

V některých případech může být sedimentace půdních částic i vítaným jevem, protože zúrodňuje plochy například v deltách řek po záplavách (El-Ramady a kol. 2019). Většinou je však transport a sedimentace půdních částic považován za nežádoucí jev.

Na nechráněných svažitéch pozemcích dochází k erozi jednodušeji než na svazích, které jsou porostlé vegetačním krytem (Morgan 2005, Ricskon 1995). Především na nově zrealizovaných technických stavbách, ať už se jedná o komunikace, železnice či vodní stavby, nejsou zářezy a svahy pokryté žádnou vegetací, která by zvýšila jejich ochranu. Doplněním holých svahů a zářezů vhodnými

materiály jako jsou geosyntetika (Norma ČSN EN ISO 10318-1), je lze před erozí chránit, nebo erozi minimalizovat (Geomat ©2014). Geosyntetika jsou vhodná především pro technická řešení staveb. Vzhledem k tomu, že se aplikují plošně, nejsou tyto protierozní prvky vhodné pro využití v zemědělství na orné půdě.

V této diplomové práci bude popisována realizace a vyhodnocení laboratorního experimentu, při kterém bude použita protierozní geotextilie z přírodního jutového vlákna. Geotextilie bude umístěna na pokusném svahu se sklonem 27° a bude vystavována třem různě silným intenzitám deště z dešťového simulátoru. Bude sledován účinek těchto umělých dešťů na chování geotextilie a půdy. Záměrem je zjištění, zda geotextilie má či nemá vliv na ztrátu půdních částic a na vzniklý objem povrchového odtoku.

2 Cíle

Cílem diplomové práce je zhodnotit, zda při změně intenzity dešťové srážky, které budou vystaveny vzorky vybrané protierozní geotextilie, dochází ke změně efektivity této geotextilie, tj, zda při změně intenzity uměle vytvořeného a řízeného deště dojde ke změně koncentrace splavované zeminy v odebíraných vzorcích povrchového odtoku a zda dojde díky použití geotextilie ke snížení objemu tohoto odtoku.

3 Literární rešerše

3.1 Eroze

Na vznik půdy má vliv mnoho faktorů a procesů. Jedná se především o fyzikální a chemické procesy, dále klimatické vlivy a vlivy biotického prostředí. Tyto činitele ovlivňují celkové složení půdního substrátu (Rejšek a Vácha 2018)

Půdotvorný proces je nepřetržitý cyklus. Probíhá stále, průběžně a vznikem půdního profilu nekončí, ale je jeho součástí. Na našem území, tedy v mírném podnebném pásmu jsou hlavními aktéry půdotvorného procesu především humifikace, eluviace (vyplavování, ochuzování), iluviace (obohacování), oglejení a glejový proces v půdách zamokřených (Němeček a kol. 1990).

Slovo eroze pochází z latinského „erodere“ a v překladu znamená nahlodávat, rozrušovat. K rozrušování dochází působením abiotických vlivů jako jsou vítr, déšť, sníh, led a působením biotických činitelů jako jsou rostliny, živočichové a člověk (Zachar 1982). I eroze pomáhá v tvorbě půdy, a to při erozi matečné horniny, ale problém je v jejím zrychlení (Prachowski a kol. 2024). Eroze půdy může vést až ke ztrátě přirozených habitatů a snížení biodiverzity, což má za následek ztrátu ekosystémových služeb (Foley a kol. 2005).

Erozi můžeme dělit z několika různých hledisek:

➤ podle intenzity: přirozená, zrychlená

- přirozená – průběžně probíhající v přírodě tisíce let, většinou s malou intenzitou. Nedochozí při ní k úbytku půdy, protože úbytek půdních částic je nahrazován tvorbou nových částic z půdotvorného substrátu. Půdní profil zůstává obdobné mocnosti, avšak bývá změněno zrnitostní složení.
- zrychlená – ovlivněna činností člověka, který svým jednáním zrychluje normální erozi. Dochází ke ztrátám půdních částic, a tyto ztráty jsou vyšší, než je schopnost půdotvorného procesu takto ztracené částice nahradit. Pozorována je hlavně v zemědělství, lesnictví, těžbě, stavebnictví.

➤ podle příčiny: vodní, větrná, sněhová, ledovcová, zemní, antropogenní

- vodní – způsobovaná kinetickou energií při dopadu dešťových kapek, nebo mechanickou silou vody, stékající na svažitých pozemcích po povrchu půdy.
- větrná – vyvolaná kinetickou energií větru. Dochází k ní obvykle při kombinaci větru s dostatečnou silou a suchém, rovinném povrchu bez vegetačního krytu.
- sněhová – v podhorských a horských oblastech na strmých svazích ji způsobují laviny, v nížinách pomalý pohyb tající vrstvy sněhu, v ČR není příliš obvyklá
- ledovcová – způsobovaná pohyby ledovců, v ČR se aktuálně nevyskytuje
- zemní – erozní činnost částí svahů prosycených vodou, především suťových proudů
- antropogenní – způsobená člověkem, může k ní docházet nepřímo například omezováním vegetačního pokryvu, změnou fyzikálních, chemických či biologických vlastností půdy a přímo, výstavbou a urbanizací.

➤ podle formy: povrchová plošná, výmolová, podpovrchová, proudová vodní

- povrchová eroze plošná – dochází k odnosu půdních částic z plochy značného rozsahu
- povrchová výmolná – voda se při odtoku postupně sdružuje a vznikají mělké a postupně se prohlubující zářezy v půdním profilu. Podle velikosti těchto zářezů je dále členěna na: rýžkovou, brázdovou, rýhovou, výmolovou a stržovou
- podpovrchová eroze – nejvýraznější při vymílání podzemní vodou
- proudová vodní eroze – probíhá v rámci vodního toku (dnová, břehová)

➤ podle mechanismu: mezirýžková, rýžková

- mezirýžková eroze – při dopadu dešťových kapek na povrch půdy, ovlivňuje ji vegetační pokryv
- rýžková eroze – probíhá v místech soustředěného odtoku

Na svažitých pozemcích dochází k pohybu, kdy se voda a látky obsažené v půdě transportují ve směru sklonu svahu, a to díky gravitaci (Zádorová a Peňížek 2020).

Zrnitost půdního profilu tento pohyb ovlivňuje, protože voda lépe prostupuje propustnějšími půdními horizonty (Ma 2015). Když je půda nasycena vodou, určuje rychlost odtoku zrnitost půdy.

Novák (1910) klasifikuje půdní druhy dle zrnitosti, kdy bere v potaz podíl částic menších než 0,01 mm v procentech a dělí je na:

- Písčité půdy s obsahem 0–10 %
- Hlinitopísčité půdy s obsahem 10–20 %
- Písčitohlinité s obsahem půdy 20–30 %
- Hlinité půdy s obsahem 30–45 %
- Jílovitohlinité půdy s obsahem 45–60 %
- Jílovité půdy s obsahem 60–75 %
- Jíl s obsahem nad 75 %

V půdách písčitých se voda pohybuje snáze a rychleji než v půdách jílovitých. Zrnitost půd také ovlivňuje erodovatelnost, kdy jsou náchylnější půdy s vysokým obsahem prachu a jílu než půdy písčité. To je dáno tím, že v písčitých půdách dochází více ke vsakování vody než k povrchovému odtoku. Oproti prachu a jílu jsou částice písku většinou těžší, a proto hůře transportovatelné (Vlček 2015). Povrchový odtok vzniká ve chvíli, kdy intenzita deště přesáhne vsakovací schopnost půdy. Dalším významným faktorem jsou povětrnostní podmínky. Intenzita srážek a síla větru hrají klíčovou roli v tomto procesu. Silný déšť může vyvolat povrchovou erozi a větrná eroze může být problematická zejména v suchých oblastech (Šarapatka a kol. 2021). Neméně významným faktorem je také sklon terénu. Čím větší je sklon terénu, tím větší je riziko eroze půdy. Na strmých svazích má voda tendenci rychleji odtékat, což zvyšuje odnos půdy (Janeček a kol. 2012)

Zrychlenou erozi způsobuje člověk. Zrychlená eroze má negativní dopady na funkce půdy. Tyto důsledky zahrnují zhoršení jak produkčních, tak mimoprodukčních funkcí půdy, degradaci fyzikálně-chemických vlastností, snížení obsahu živin a organické hmoty, mechanické poškození plodin, znečištění vodních toků, kontaminaci podzemních vod, nanesení sedimentů do nádrží, poškození infrastruktury a budov. Vyjmenované dopady mají vliv i na nárůst finančních nákladů jak na odstranění důsledků, tak na udržení funkcí půdy (Pavlů, 2018).

Eroze na zemědělské půdě má řadu negativních dopadů jako je například ztráta úrodnosti. Dochází k postupné ztrátě úrodné orniční vrstvy půdy, což má za následek snížení výnosů zemědělských plodin a celkové zhoršení podmínek pro zemědělství (Syvitski a kol. 2005, Janeček 2007). Dochází ke znečištění vodních zdrojů. Odnášené půdní částice mohou zanášet vodní toky a nádrže, což také způsobuje zhoršení kvality vody a narušuje ekosystémy (Walling a Fang 2003). Zemědělské činnosti, jako je prováděná orba, setí a sklizeň, mohou narušit půdní strukturu a snížit její schopnost zadržovat vodu, což také zvyšuje riziko eroze. Dle Šindeláře a kol. (2012) i hloubka orby má vliv na infiltraci vody do půdy a následnou rychlost tvorby povrchového odtoku (Šindelář a kol. 2012). Zvolení správného způsobu hospodaření na pozemcích, spočívající ve výběru a pěstování vhodných rostlin, zavedení organizačních protierozních opatření, jako je změna velikostí a tvarů pozemků a dále přijetí agrotechnických opatření jako například orba po vrstevnici, setí do posklizňových zbytků, mulčování a technická opatření jako je zatravnění či použití protierozních geotextilií snižuje riziko ztráty půdy na pozemcích ohrožených erozí (Janeček a kol. 2012b). Nejlepší ochranou půdy je nízký, hustý vegetační porost. Vegetace efektivně chrání povrch půdy před erozí a ztrátou půdy (Saurabh a Bahadur 2023). Trvale zatravněné plochy působí proti erozi neefektivněji (Kalibová a kol. 2016).

Eroze půdy způsobovaná dešťovými srážkami snižuje produktivitu a úrodnost půdy, omezuje zemědělskou produkci a ohrožuje ekologickou stabilitu (Šarapatka a kol. 2021).

Nejčastěji používanou metodou pro stanovení intenzity vodní eroze, je tzv. Univerzální rovnice USLE (Wischmeier, Smith 1978). Jedná se o matematický model popisující proces vodní eroze půdy. Déšť a kinetická energie dešťových kapek je v této rovnici č. 1 zastoupena faktorem erozní účinnosti deště, tj. R - faktorem.

$$\text{Rovnice č. 1: } G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Kdy G = průměrná dlouhodobá ztráta půdy v t/rok/ha

R ... faktor erozní účinnosti deště

K ... faktor erodovatelnosti půdy

L ... faktor délky svahu

S ... faktor sklonu svahu

C ... faktor ochranného vlivu vegetace

P ... faktor účinnosti protierozních opatření

Rovnicí USLE (Wischmeier, Smith 1978) lze odhadovat dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy v tunách/ha/rok. Pro výpočet ztráty půdy v kratším časovém období, nebo pro ztrátu při jednotlivých srážkách, se však nepoužívá. R-faktor pro území České republiky je $R = 48 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Janeček a kol. (2012a) navrhuje, aby se pro poměry České republiky používala vyšší hodnota R-faktoru. Uvádí, že zvýšení R faktoru ve výpočtech významným způsobem přispěje ke snížení ztrát půdy erozí na území republiky (Janeček a kol. 2012a). Kavka a kol. (2020) zpracovali metodiku „Ochrana umělých svahů před erozí a stabilizace povrchové vrstvy“, kde se věnují inovaci výpočtu erozního ohrožení. Vychází z výpočtu stability povrchové vrstvy a z posouzení limitních rychlostí povrchového odtoku a tečného napětí, tedy z určení charakteristik proudění. Získání těchto hodnot vychází z hydrologicko–hydraulického výpočtu a tím ze znalosti průtoků a objemů odtoku. Nad to, jak sami uvádějí, tato metoda může být využita nejen ke kvantifikaci eroze, ale také určení objemu odtoku, kulminačních průtoků a následně k navržení lepších odváděcích prvků pro realizaci staveb komunikací, zářezů a náspů (Kavka a kol. 2020).

Proces eroze způsobený dešťovými srážkami lze rozdělit do tří hlavních fází: první fáze zahrnuje narušení povrchu půdy kinetickou energií, druhá fáze spočívá v transportu půdních částic a ve třetí fázi dochází ke snížení schopnosti vody unášet částice a následné sedimentaci odnesených částic. Při dešti, zvláště pokud je prudký a intenzivní dochází snadno k erozi. Kinetická energie kapek, která je hlavním činitelem rozrušování půdních agregátů, je závislá na hmotnosti (velikosti) kapek a rychlosti jejich dopadu do půdy (Liu a kol. 2013, Nývlt a Kavka 2017). Jak sumarizoval informace například Fernández-Raga a kol. (2017), po dopadu dešťové kapky na povrch půdy dochází k jejímu rozstříknutí do menších kapek různých velikostí spolu s půdními částicemi. Větší půdní částice o velikosti 50–2000 μm jsou transportovány samostatně, zatímco menší částice pod 50 μm jsou přenášeny spolu s drobnými kapkami, které vznikly rozpadem původní velké kapky. Sklon svahu ovlivňuje posun půdních částic při kapkové erozi; čím větší je sklon, tím větší je posun půdních částic. Na rovinatých plochách je posun půdních částic minimální, protože prostor po odnesené částici je rychle obsazen jinými půdními částicemi, které sedimentují (Fernández-Raga a kol. 2017).

Tvar, sklon svahu a poloha svahu ve vztahu k světovým stranám, také ovlivňuje průběh eroze. Na svazích, které jsou exponovány na západ nebo jih, a také na těch,

kteře jsou vystaveny větru a tání sněhu, se často zvyšuje míra eroze (Mouillot a kol. 2005; Arnau-Rosalén a kol. 2008), protože jak uvádí Stuurop a kol. (2022) i teplota půdy má vliv na míru a rychlost infiltrace vody do půdy (Stuurop a kol. 2022). Při množství srážek, které se již nejsou schopny infiltrovat do půdy, dochází k povrchovému odtoku. Ten způsobuje vznik erozních rýh, které mohou být i výrazně velké (Geomat ©2024a). A proto by efektivní protierozní ochrana měla snižovat erozní účinky deště, snížit povrchový odtok a zvýšit zasakování vody do půdy (Vlček 2015).

Ministerstvo dopravy nechalo odborníky shrnout aktuální poznatky z výzkumu a praktické zkušeností z realizací staveb a vydalo předpis Technické podmínky TP53 – Protierozní opatření na svazích PK (pozemních komunikací). Technické podmínky TP 53 shrnují požadavky, které Ministerstvo dopravy vyžaduje pro ochranu svahů před erozí, při návrhu, implementaci, opravách a údržbě protierozních opatření na svazích zemního tělesa pozemních komunikací. Předmětem je stanovení podmínek a požadavků pro návrh a aplikaci geosyntetik s funkcí ochrany proti erozi povrchu svahů. Návrh protierozních opatření v souladu s danými stanovištními podmínkami a požadovaným koncovým stavem svahu. Identifikace klíčových vlastností geosyntetik pro danou funkci, včetně jejich specifikací. Vymezení postupů nezbytných pro protierozní zabezpečení povrchu svahu u pozemních komunikací. Shrnutí zásad pro manipulaci a skladování ochranných materiálů tak, aby nedošlo k jejich poškození před jejich aplikací na svah. Hodnocení erozního poškození a rizika. Metody sanace svahů poškozených erozí (TP 53/2023).

3.2 Geotextilie

Norma ČSN EN ISO 10318-1 definuje geotextilie jako plošný, propustný textilní materiál vyrobený z polymerů (syntetických nebo přírodních), který může být netkaný, pletený nebo tkaný. Tyto materiály jsou určeny k použití v geotechnických a stavebních inženýrských aplikacích, kde jsou v kontaktu se zemínou a/nebo jinými materiály (Norma ČSN EN ISO 10318-1).

Geotextilie můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny, dle původu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, a to na geotextilie syntetické a geotextilie z přírodních vláken.

Syntetické geotextilie jsou vyráběny z termoplastických polymerů, jako je polypropylen nebo polyester. Syntetické geotextilie dále můžeme dělit dle způsobu jejich výroby na geotextilie tkané, netkané a pletené. Mezi geosyntetika, kromě syntetických vláken, mohou být zařazeny i výrobky z vláken přírodních. Jedná se především o geotextilie, které jsou vyrobeny z přírodních vláken, jako je například juta a kokos. Využívají se především pro funkci povrchové protierozní ochrany na místech, kde biodegradace vláken v čase může být požadovanou vlastností (TP 97/2021).

Podle Rickson (1995) je často používaným opatřením pro kontrolu eroze umístění geotextilií na svazích. Geotextilie mají dobré mechanické vlastnosti, a proto nacházejí uplatnění v oblasti zpevnění a stabilizace půdy. Marczak a kol. uvádí, že pouze 2 % geosyntetik je v současnosti vyráběno z obnovitelných zdrojů. Nicméně je předpoklad, až pro 50 % realizací jsou vhodná přírodní vlákna a biopolymery, a mohou úspěšně nahradit syntetické materiály (Marczak a kol. 2020). Existuje široká škála geotextilií vyráběných z přírodních vláken, jako je juta, len, kokosová vlákna, palmová vlákna, sisal, kopřiva, sláma, bavlna a vlna (Ramzan a kol. 2020) Tyto materiály jsou v současnosti dostupné na trhu, ale zatím nejsou široce využívány v oblasti environmentálního inženýrství (Marczak a kol., 2020).

Geotextilie se používají jako preventivní protierozní opatření zabraňující odnosu půdních částic především na svazích u technických staveb jako jsou železnice, silnice a vodní stavby (Prambauer 2019). Mají za úkol podpořit růst vegetace a dočasně zpevnit povrch svahu, než vysázená zeleň přebere jejich protierozní funkci (Luo a kol., 2013).

Firma Geomat člení geosyntetika na propustné a nepropustné. Nepropustné geosyntetika jsou geomembrány a jílová těsnění. Propustné geosyntetika jsou geotextilie, geomříže, geokompozity, georochože a geobuňky (Geomat ©2011).

Pro navrhování protierozních opatření u technických staveb se používají Technické podmínky TP 53. Tyto podmínky stanovují požadavek, že pro protierozní opatření na svazích pozemních komunikací, budou využívány hlavně biologicky odbouratelné materiály (TP 53/2023).

Technické podmínky TP 97 pro geotextilie a další geosyntetické materiály v zemním tělese pozemních komunikací jsou využívány pro navrhování, zabudování a kontrolu geotextilií a dalších geosyntetických materiálů v zemních tělesech

pro pozemní komunikace. Dle těchto technických podmínek jsou geosyntetika při stavbách komunikací používána pro účely filtrační, drenážní, výztužné, separační, včetně ochranné a protierozní funkce a velmi často se tyto funkce v zemním tělese prolínají (TP 97/2021).

3.3 Jutová geotextilie

Jutové vlákno se získává rozvlákněním stonku rostliny Jutovník *Corchorus capsularis* nebo *Corchorus olitorius*, jedná se většinou o jednoleté někdy i víceleté rostliny. Pěstují se tam, kde je vlhké tropické klima jako například v Indii, Bangladéši, Číně, Thajsku. Jutové vlákno je tvořeno z 58-63% celulosou, ligninem z 12-14%, hemnicelulosou 21-25% a pectinem 0,5-1,5% (Koerner 2016). Jutové vlákno je nasákové a bobtná, jak uvádí Ingold (2013) až o 300 %. Toho je využíváno u jutové sítě, díky tomu má lepší přilnavost na povrch svahu a také lépe drží vlhkost, pro následný lepší rozvoj vegetace (Ingold 2013).

U jutové protierozní sítě uvádí výrobce Juteko, spol. s r.o., že životnost je středně dlouhá. Jedná se o životnost 2-4 roky, kdy její trvanlivost ovlivňuje vlhkost v místě použití, množství přímého slunečního záření a také to, zda je geotextilie na povrchu, či zda je přesypána vrstvou zeminy, mulče či kůry. Po svém rozpadu v půdě funguje jako hnojivo (Juteko 2024). Geomat pak uvádí, že funkční životnost jutové geotextilie 500 g/m² je 12-24 měsíců (Geomat ©2024a). Biologická odbouratelnost některých přírodních vláken je hlavní překážkou pro jejich dlouhodobé využití (Chakravarthy a kol. 2021).

Jutová geotextilie se jeví jako vhodná k aplikacím na holých svazích, protože účinně snižuje povrchový odtok a smyv půdních částic. Nedoporučuje využití u vysokých sklonů svahu.

Jak uvádí Geomat (2024b) aplikace geotextilie na svah má svá pravidla a specifika, které je nutno pro zajištění funkčnosti stabilizace svahu a zajištění ochrany proti erozi dodržet. Postup je následující: nejprve je svah očištěn od kamenů, plevele, dřevěných a jiných cizích úlomků. Veškeré prohlubně jsou vyplněny zeminou. V horní části a u paty svahu jsou vyhloubeny kotevní rýhy, široké minimálně 500 mm a hluboké 250 mm. Volný konec role protierozního výrobku je přichycen v horní

kotevní rýze pomocí kotevních prvků. Zbytek role se postupně rozvine shora dolů podél spádnice svahu. Veškeré nerovnosti jsou vyrovnány a výrobek je dále přikotven i po ploše a v patě svahu. Kotevní rýhy jsou poté zasypány, aby byl výrobek pevně zajištěn. Svah je nakonec pokryt a vyrovnán humózní vrstvou o tloušťce 50–75 mm, která může být doplněna výsevem travního osiva (Geomat ©2024b).

Kalibová a kol. (2017) zkoumali dopad intenzity srážek na hydrologickou účinnost geotextilií používaných k ochraně před erozí, z jejich výzkumu je patrné, že z jimi zkoumaných geotextilií jutová síť s plošnou hmotností 500 g/m² nejvíce snižovala povrchový při všech jimi aplikovaných intenzitách srážek (Kalibová a kol. 2017). Další výhodou jsou vynikající hydrofilní vlastnosti, které podporují růst rostlin (Geomat ©2024b). Jutová geotextilie představuje ekologicky šetrnou alternativu, která je biologicky rozložitelná a nabízí efektivní ochranu půdy před erozí.

3.4 Simulátory deště

Simulátory dešťových srážek jsou speciální zařízení, která se používají při laboratorních i terénních studiích vlivu srážek na erozi půdy a infiltraci vody do půdy. Simulátory mají různé provozní vlastnosti. Lze je naprogramovat a ovlivňovat tak množství a intenzity srážek, které simulátor vyprodukuje. Srážky vytvořené dešťovými simulátory mají většinou stálou intenzitou deště, to však není charakteristické pro přirozené přírodní srážky (Dunkerley 2021).

Simulátory dešťových srážek můžeme rozdělit dle metody použité k výrobě dešťových kapek. Jedná se o simulátory využívající trysky, někdy označované jako simulátory tlakových trysek a simulátory využívající formovače kapek, označované jako simulátory netlakových trysek (Aksoy a kol. 2012).

Simulátory se k výzkumu používají již desítky let. Hignett a kol. již v roce 1995 stanovil nejdůležitější vhodné vlastnosti dešťového simulátoru, kdy prvotním požadavkem je přesnost v reprodukování velikosti dešťových kapek a jejich kinetické energie, rovnoměrnost v distribuci kapek na 1 m² zadešťované plochy, možnost simulovat srážky různé doby trvání a různé intenzity, dalším stanoveným požadavkem je mobilita zařízení a náklady na pořízení a provoz (Hignett a kol. 1995),

Z tohoto důvodu může docházet k významným rozdílům ve studiích o ztrátách půdy a vody a skutečným chováním srážky v běžném prostředí. Jsou vyvíjeny i simulátory, které se dají naprogramovat tak, aby simulovali přírodě bližší srážky, a to z důvodu, aby naměřené výsledky pak byly srovnatelné a lépe se daly předvídat dopady a vlivy u srážek přírodních (Macedo a kol. 2021).

Dokonce při použití stejného typu zadešťovacího přístroje byla zaznamenána variabilita měřených charakteristik deště (Frasson a kol. 2011, Johannsen a kol. 2020).

Další rozdíl je v kinetické energii deště, kdy u simulovaných srážek je jiná než u srážek přírodních. Neuman a kol. (2019) uvádí, že deště vytvářené tryskovým simulátorem mají kinetickou energii významně nižší než deště přirozené se stejnou intenzitou (Neuman a kol. 2019). Srovnání provedli ve své studii i Petrů a Kalibová (2018) a uvádějí, že umělé dešťové srážky mají kinetickou energii výrazně vyšší, než jak je vypočtena z běžně používaných rovnic pro výpočet kinetické energie (Petrů a Kalibová 2018). Kinetická energie kapek, která je hlavním činitelem rozrušování půdních agregátů, je závislá na hmotnosti (velikosti) kapek a rychlosti jejich dopadu do půdy (Nývlt a Kavka 2017). Nelze tvrdit, že simulovaná srážka vyvolá stejný erozní účinek jako přírodní srážka o stejné intenzitě, neboť kinetická energie simulovaného deště je významně nižší. Je tedy důležité kalibrovat vztah mezi intenzitou deště a kinetickou energií pro každý simulátor (typ trysky) (Petrů a Kalibová 2018).

Obvyklou metodou při simulacích dešťových srážek v experimentech, je použití konstantní intenzity deště. Ale jak uvádí Dunkerley (2021) tato metoda nedokáže zachytit dynamiku rychlých změn intenzity, které jsou typické pro přirozené srážky, ani zrcadlit variabilitu profilů intenzity srážek v přírodě. Tento přístup při experimentech však může mít za následek nižší rychlosti odtoku a vyšší míru infiltrace, než jaké jsou pozorovány za podmínek přirozených intenzit srážek. Proto doporučuje přehodnotit navrhovaný způsob simulace dešťových srážek tak, aby lépe reflektoval přirozené změny intenzity a různorodost srážek a jejich dopad na klíčové procesy na povrchu, jako je odtok a eroze půdy (Dunkerley 2021).

4 Metodika

Laboratorní experiment probíhal v období od 9.6.2022 do 17.6.2022 v erozně-sedimentologické laboratoři (obrázek č. 1) katedry biotechnických úprav krajiny, která se nachází v přízemí budovy Mezifakultního centra environmentálních věd, České zemědělské univerzity v Praze.

Před počátkem laboratorního experimentu byli účastníci řádně poučeni o bezpečnosti práce na pracovišti, o způsobu ovládání zařízení umístěných v erozně-sedimentologické laboratoři. Dále byl zopakován požadovaný postup pro provedení experimentu. Samotného experimentu se ve výše uvedeném termínu zúčastnily celkem tři osoby – Bc. Hana Rohmová, Michaela Brožíková a Bc. Sabina Vojkůvková.

K experimentu bylo využito zařízení dešťového simulátoru tryskového typu Norton Ladder Rainfall Simulator. Simulátorem byly řízeně zadešťovány čtyři testovací plochy se zeminou. Na třech testovacích plochách byly umístěny přírodní geotextilie a jedna plocha nebyla kryta, jednalo se o plochu kontrolní, holou půdu.

Použitými geotextiliemi byly kokosová síť s plošnou hmotností 400 g/m², kokosová síť s plošnou hmotností 700 g/m² a jutová síť s plošnou hmotností 500 g/m². Zkoumané plochy byly nastaveny do sklonu 1:2, aby byl simulován obvykle používaný sklon svahů u technických staveb jako jsou železnice, silnice, vodní stavby.

Zadešťování probíhalo v intervalech 15 minut srážka, poté 15 minut bez srážky, kdy srážka byla simulována ve třech různých intenzitách deště, vždy s pěti opakováními při jedné intenzitě. Celkem tedy bylo simulováno 15 srážkových událostí, při kterých byly ve třetí, šesté, deváté, dvanácté a patnácté minutě odebrány vzorky povrchového odtoku.

Intenzita prvního cyklu srážky byla nastavena na cyklus simulátoru 1D, která odpovídala hodnotě 0,54 mm/min. Intenzita druhého cyklu srážky byla nastavena na cyklus 4S a činila 1 mm/min. Intenzita třetího cyklu srážky byla nastavena na cyklus simulátoru 4D a činila 1,27 mm/min.



Obrázek č. 1: Příprava půdy do odtokových žlabů před zadešťovacím pokusem v erozně sedimentologické laboratoři

Během experimentu byly do předpřipravených vzorkovnic (obrázek č. 2) odebírány vzorky povrchového odtoku ve třetí, šesté, deváté, dvanácté a patnácté minutě deště, každého cyklu intenzity deště. Odebrané vzorky sloužily pro následné zpracování a vyhodnocení koncentrace sedimentu.



Obrázek č. 2: Vzorkovnice pro odběr vzorků povrchového odtoku

Při experimentu byl průběžně zaznamenáván objem povrchového odtoku ze zadešťovaných ploch, prostřednictvím počítáním „překlopů“ mechanických překlápěcích průtokoměrů (obrázek č. 3). Objem povrchového odtoku byl

zaznamenáván v době patnáctiminutového deště a následných patnácti minut bez srážky, a to pro každý provedený dešť a každou intenzitu.



Obrázek č. 3: Mechanický překlápěcí průtokoměr

V tomto konkrétním případě byla zkoumána efektivita přírodní jutové geotextilie - protierozní sítě s plošnou hmotností 500 g/m^2 , s velikostí oka $10 \times 30 \text{ mm}$ (obrázek č. 4).



Obrázek č. 4: Jutová síť s plošnou hmotností 500 g/m^2



Obrázek č. 5: Plocha s jutovou geotextilií po simulaci deště

Při experimentu naměřené výsledky byly porovnávány s kontrolní plochou, kde nebyla použita žádná protierozní geotextilie (obrázek č. 6).



Obrázek č. 6: Kontrolní plocha před simulací deště



Obrázek č. 7: Kontrolní plocha po simulaci deště, kde je viditelný smyv nejjemnější frakce půdy

Ověřovanou hypotézou tohoto laboratorního experimentu bylo:

H1: zda při zvýšení/snížení intenzity simulovaného zátěžového deště dojde ke zvýšení/snížení koncentrace splavované zeminy v odebíraných vzorcích povrchového odtoku.

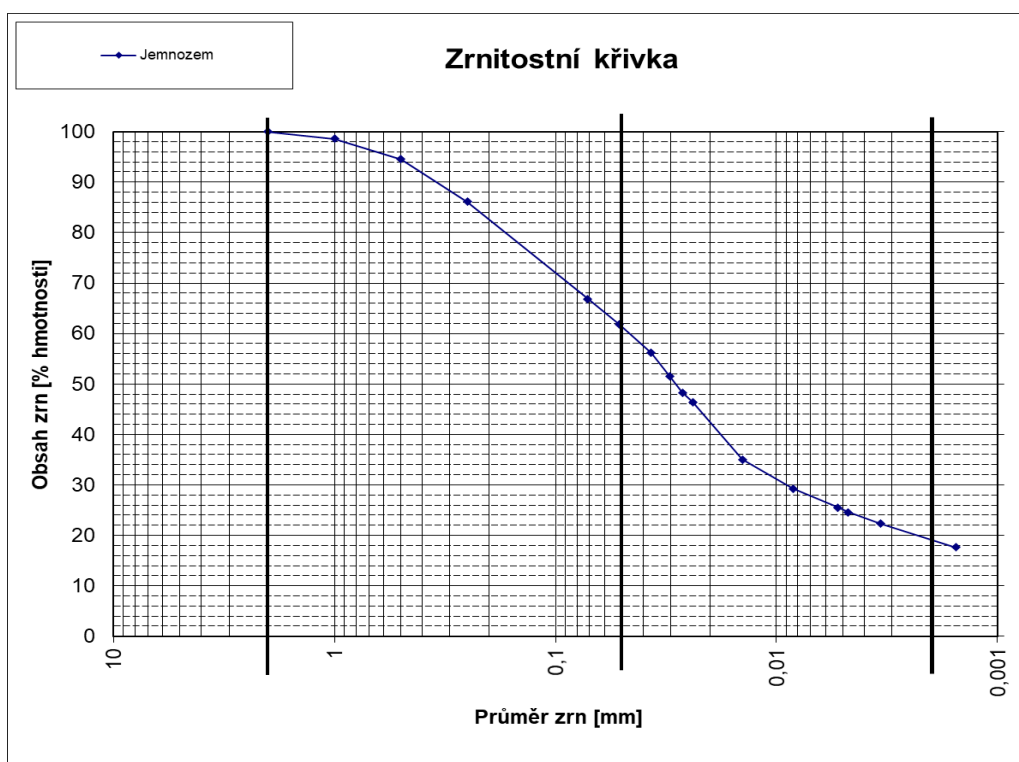
H2: zda při zvýšení/snížení intenzity simulovaného zátěžového deště dojde ke zvýšení/snížení objemu povrchového odtoku

Kolegyně zjišťovaly H1 a H2 ostatních dvou geotextilií a výsledky shrnou v jejich bakalářské a diplomové práci.

4.1 Příprava zeminy

Půda, která byla použita pro tento experiment, byla v potřebném množství získána od zahradníků z areálu České zemědělské univerzity v Praze. Jednalo se o zahradní substrát.

Pro možnost určení zrnitosti byl ze zahradního substrátu odebrán vzorek o hmotnosti 500 g. Sítováním vzorku přes síta s různou velikostí ok byl zjištěn podíl jednotlivých zrnitostních frakcí. Vzorek obsahoval podíl 19 % jílu, 43 % prachu a 38 % písku, kdy se dle zrnitostní křivky jedná o jemnozem. Zrnitostní křivka s podrobným vyjádřením zrnitosti použitého půdního vzorku je znázorněna níže uvedeným grafem (obrázek č. 8).



Obrázek č. 8: Graf zrnitostní křivky půdy použité při experimentu

Voda byla zachytávána do nádoby umístěné pod žlabem. Objem infiltrované vody by bylo možno díky tomu měřit, avšak při našem experimentu nebyl podpovrchový odtok předmětem zájmu.

Povrchový odtok, který stéká při uměle vyvolané srážce z půdních boxů je sveden do sběrného žlabu trojúhelníkového tvaru a následně teče do mechanického překlopného průtokoměru (obrázek č. 11).



Obrázek č. 11: Odtokový žlab při zadešťování

Zemina pro experiment byla postupně vrstvena do půdních boxů umístěných v odtokových žlabech (obrázek č. 12). Žlaby byly před počátkem plnění půdou pečlivě vyčištěny a vyloženy černou netkanou geotextilií o rozměrech 130 x 130 cm. Geotextilie byla instalována jednotlivě do každého ze čtyř žlabů.

Půdní box má rozměry 1,1 x 1,1 m a plní se půdou po hranu, tj. v celkové mocnosti 10 cm (obrázek č. 13). Při plnění žlabů zeminou bylo postupováno opatrně, tak aby nedošlo k posunu geotextilie na dně půdního boxu a propadu zeminy žlabem a k jeho následnému zanášení. Box byl plněn zeminou ve vrstvách (obrázek č. 12) po cca 2,5 cm až do úplného naplnění v mocnosti 10 cm.

Každá jednotlivá vrstva byla zarovnáována rovným prknem a vlastní vahou kostky ze zámkové dlažby mírně zhutněna.



Obrázek č. 12: Postupné plnění odtokového žlabu zeminou



Obrázek č. 13: Zemina naplněná po hranu půdního boxu

Dosažená měrná hmotnost byla zjištěna odběrem půdních vzorků do fyzikálních (Kopeckého) válečků a zjištěné výsledky jsou zobrazeny v tabulce č. 3 a v tabulce č. 4, v části výsledky.

Celkovou hmotnost zeminy v jednotlivých půdních boxech jsme evidovali při jejich plnění. Byla zvážena prázdná nádoba, plná nádoba a sledován počet nádob při plnění půdního boxu. Celková hmotnost použité zeminy v jednotlivých půdních boxech je uvedena v části výsledky v tabulce č. 1.

4.3 Průtokoměr

Pro možnost zaznamenání množství povrchového odtoku jsou pod odtokovými žlaby v laboratoři umístěny mechanické překlopné průtokoměry (obrázek č. 14).



Obrázek č. 14.: Mechanický průtokoměr

Před samotným zahájením simulace deště byly kalibrovány průtokoměry. Byla nalita voda do každého jednotlivého průtokoměru, aby byl zjištěn objem vody, která se v průtokoměru v době překlopení na jednu i druhou stranu nachází. Voda byla nalévána prostřednictvím skleněných laboratorních válců, ze kterých se dá odečíst vlitý objem vody. U průtokoměru, který byl umístěn pod žlabem s Jutou 500 g/m^2 a pod kontrolní plochou – holou půdou byl naměřen objem 500 ml na jeden překlop.

Počítání překlopení průtokoměrů tak probíhalo manuálně, sledováním a zapisováním počtu překlopení v dané srážkové události u každého žlabu samostatně.

4.4 Vlhkost půdy

Gravimetrickou metodou byla stanovena vlhkost půdy, která byla použita pro naplnění žlabů. Z každého žlabu byly požadováním způsobem opatrně odebrány tři vzorky půdy do Kopeckého válečků (obrázek č. 15). Každý z válečků a každé víčko je označeno vlastním číslem. Váleček byl před odběrem zvážen bez víčka a samostatně byla vážena víčka na laboratorní váze s přesností na tisícinu gramu. Dále byly zváženy laboratorní sklíčka se stejnou přesností váhy (tabulka č. 3). Na tato sklíčka byly opatrně přesouvány Kopeckého válečky bez plastových víček.



Obrázek č. 15: Vážení půdního vzorku s Kopeckého válečkem a sklíčkem

Odebrané vzorky půdy byly zváženy včetně sklíčka a válečku (obrázek č. 15) a následně vloženy do sušárny, kde byly při teplotě 105 °C sušeny po dobu 24 hodin. Po vychladnutí byly vysušené vzorky opět zváženy, opět s přesností na tisícinny gramu. Váhy vzorků půdy byly před vysušením i po vysušení zaznamenány do vytvořené tabulky (tabulka č. 3).

Vlhkost ve vzorcích půdy byla stanovena dle rovnice č. 2.

Rovnice č. 2)

$$\text{Hmotnostní vlhkost } v \% = \frac{\text{hmotnost před vysušením } v \text{ g} - \text{hmotnost po vysušení } v \text{ g}}{\text{hmotnost po vysušení } v \text{ g}} \times 100$$

Tímto způsobem byla zjištěna vlhkost každého jednotlivého vzorku půdy odebraného do Kopeckého válečku (tabulka č. 4). Následným zprůměrováním procentuální vlhkosti vzorků půdy z Kopeckého válečků pro kontrolní plochu a pro žlab s jutou, byla určena průměrná procentní vlhkost pro použitou půdu, pro každou jednotlivou intenzitu (tabulka č. 4).

4.5 Dešťový simulátor

V laboratoři se nachází zařízení dešťového simulátoru tryskového typu Norton Ladder Rainfall Simulator (obrázek č. 16), to bylo zkonstruováno Dr. D. Nortonem z USDA-ASR, Národní laboratoře pro výzkum eroze půdy Univerzity ve West Lafayette, USA.

Zařízení je tvořeno hliníkovým rámem s rozměry 5 x 0,76 x 0,25 m. Tento rám je osazen čtyřmi tryskami typu VeeJet 80100 (Sparng System), oscilačním mechanismem, motorem, rozvodem vody, ventily a tlakoměry. Maximální tlak vody 0,41 MPa. Lze na něm vytvořit déšť v deseti variantách intenzit 1-5, sigle nebo duble, s rozsahem výšky srážek 18,66 mm/hod až po 126,60 mm/hod. Variabilita kinetické energie dešťových kapek může být v rozsahu 248,60 J/m² až po 1184,23 J/m², na tryskách umí vytvořit v maximu déšť s průtokem 14,75 l/min vody. Vlastnosti srážek použitých při pokusu jsou uvedeny v tabulce č. 1.



Obrázek č. 16: Dešťový simulátor v erozně – sedimentologické laboratoři

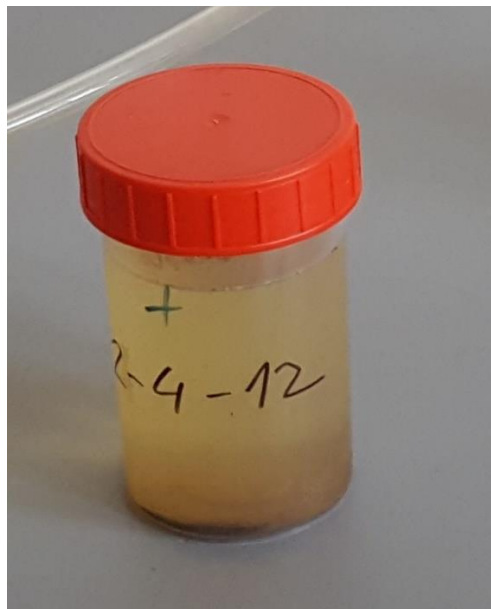
Nastavený cyklus	Intenzita deště mm/hod	Intenzita deště mm/min	Kinetická energie J/m ²
1D	32,1	0,54	464,91
4S	59,15	0,99	761,33
4D	76,03	1,27	862,44

Tabulka č. 1: Použité intenzity srážek a jejich vlastnosti

Voda, kterou je při provozu prostřednictvím přívodního potrubí zásobován zadržovač, je umístěna v IBC plastové zásobní nádrži o objemu 1 m³. Do zásobní nádrže je voda přes potrubí a uzavírací kohouty přiváděna z vodovodního řádu v laboratoři. Zásobní nádrž byla naplněna před zahájením každého cyklu intenzity deště. Při samotném zadržování bylo přesto množství vody v nádrži průběžně sledováno, aby nedošlo k jejímu nedostatku pro zadržovací zařízení a tím chybě při experimentu.

4.6 Příprava a odběry vzorků

Před zahájením experimentu na zadržovacím zařízení byly umyty, osušeny a lihovým fixem jednotlivě popsány laboratorní plastové nádoby o objemu 200 ml s víčkem. Tyto vzorkovnice byly připraveny v potřebném množství tj, celkem 300 ks pro realizaci experimentu. Označeny byly způsobem x-x-x pro možnou následnou identifikaci, kdy toto označení vzorkovnic znamenalo: číslo žlabu, pořadí dešťové srážky a minuta provedeného odběru (obrázek č. 17).



Obrázek č. 17: Vzorkovnice s označením čísla žlabu, srážky a minuty odběru

Pro každý vzorek povrchového odtoku, který měl být při experimentu odebrán, byl předem připraven filtrační papír, přizpůsobený svým tvarem tvaru filtrační nálevky. Každý jednotlivý filtrační papírek byl zvážen s přesností na tisícinu gramu

a propisovací tužkou vzestupně označen svým číslem (obrázek č. 18). Propisovací tužka byla použita z důvodu, že se na mokřém filtračním papírku nerozpíjí a označení zůstane čitelné. Číslo filtračního papírku poté bylo zavedeno do tabulky (příloha č. 1–6). U některých vzorků bylo potřeba použít více kusů filtračních papírků při filtraci sedimentu, a to z důvodu, aby se filtrační papírky sedimentem neucpávaly.



Obrázek č. 18: Vážení filtračních papírků

Pro možnost zaznamenání měřených údajů byla vytvořena tabulka, do které byly následně zapisovány hodnoty zjištěné po odběru vzorků povrchového odtoku (příloha č. 1-6).

Všechny žlaby s pokusnými plochami byly za pomoci vyšroubování závitové tyče nastaveny do sklonu 1:2, tj. v úhlu 27° . Žlab byl ve své trojúhelníkové části pod hranou půdního boxu pečlivě vyčištěn od případně napadané půdy. Kdyby nebyla tato půda odstraněna, mohla by ovlivnit množství zjištěného sedimentu v odebíraných vzorcích povrchového odtoku. Aby nedošlo k ovlivnění množství měřeného povrchového odtoku, byla trojúhelníková část žlabu překryta černou igelitovou folií (obrázek č. 19). Folie zabraňovala stékání vody přímo ze zadržovače do průtokoměru.



Obrázek č. 19: Odtokový žlab s jutovou sítí a zakrytím trojúhelníkové části

Na pokusnou plochu, která již byla uvedena do požadovaného sklonu, byla instalována přírodní jutová síť o plošné hmotnosti 500 g/m^2 . Předem byla uštěřižena do rozměru cca $115 \times 160 \text{ cm}$ a následně volně položena na svah, přesně se spodní hranou půdního boxu (obrázek č. 19). V horní části byl přesah jutové sítě ponechán volně viset přes vrchní hranu žlabu.

Kompletně připravené žlaby (obrázek č. 20) byly před počátkem simulace dešťové srážky vycentrovány pod zadešťovačem tak, aby střed pokusného svahu stál pod středem zadešťovacích trysek.



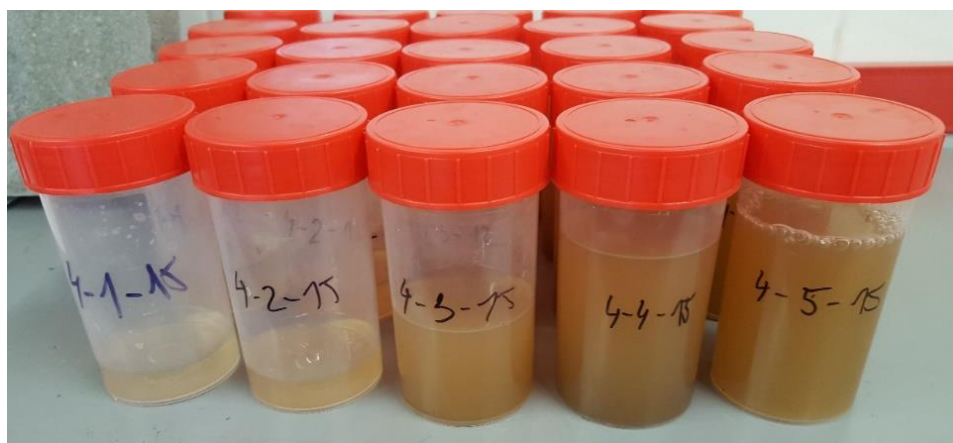
Obrázek č. 20: Připravené odtokové žlaby před zahájením simulace deště

4.7 Měření

Po naplnění zásobní nádrže, bylo zkontrolováno, zda je na nádrži otevřen spodní ventil, ze kterého teče voda do čerpadla. Následně bylo zapnuto čerpadlo a tím byl umožněn přívod vody k tryskám na simulátoru. Poté byl zkontrolován na manometrech umístěných nad simulátorem tlak vody. Ventily na přívodu vody byl tlak upraven na hodnotu 0,41 kPa.

U řídicí jednotky simulátoru byl zapnut měnič napětí a na ovládacím panelu simulátoru byla zapnuta páčka Controller. Ovládacím knoflíkem byla nastavena požadovaná intenzita zadešťování a nastaveny potřebné kmity trysek. Následně byl spuštěn motor zadešťovače a vzápětí spuštěny trysky. Společně s tímto krokem spuštění simulátoru bylo zapnuto odpočítávání času, k čemuž byla použita funkce stopky na mobilním telefonu.

Během měření byly z vyústění trojúhelníkové části žlabu odebírány do předem připravených a označených vzorkovnic vzorky vzniklého povrchového odtoku v požadovaných časových intervalech. Jednalo se o odběr vzorku do vzorkovnice u každého žlabu a každé dešťové srážky v třetí, šesté, deváté, dvanácté a patnácté minutě simulované srážky (obrázek č. 21). Objem odebíraného vzorku byl plněn do maximálně 2/3 objemu vzorkovnice. Z každého žlabu bylo odebráno pět vzorků při pěti dešťových srážkách, při třech simulovaných intenzitách deště, na celkem čtyřech zadešťovaných žlabech.



Obrázek č. 21: Vzorky odebrané z kontrolní plochy, intenzita 1D

Zároveň byl během zadešťování sledován a zapisován počet překlopení mechanických průtokoměrů.

Jednotlivě odebrané vzorky povrchového odtoku, kterých bylo celkem 300, byly nejdříve intenzivně protřepány. A to z důvodu, aby nezůstal ve vzorkovnicích žádný zbytek sedimentu. Poté byly vzorky přes laboratorní porcelánový trychtýř se sítkem a s vloženým filtračním papírkem, filtrovány pomocí podtlakového filtračního zařízení (obrázek č. 22).

Vzorky povrchového odtoku byly filtrovány až po dokončení všech cyklů řízeného zadešťování.



Obrázek č. 22: Podtlakové filtrační zařízení vlevo, vpravo sediment na filtračním papírku

Všechny takto získané vzorky se sedimentem bylo následně nutno vysušit v laboratorní sušárně (obrázek č. 23). Sušárna byla nastavena na teplotu sušení 105 °C, a to na dobu 24 hodin.



Obrázek č. 23: Sušení filtračních papírků se sedimentem v sušárně

Po dokončení cyklu sušení byly filtrační papírky se zachyceným sedimentem zváženy na laboratorní váze s přesností na tisícinu gramu.

Z údajů, které jsme vážením a měřením získali, bylo možno vypočítat hmotnost sedimentu zachyceného ve vzorku a koncentraci sedimentu dle následujících jednoduchých rovnic č. 3 a č. 4.

Rovnice č. 3:

Hmotnost sedimentu v mg = Hmotnost filtračního papírku s vysušeným sedimentem v mg – hmotnost jednotlivého filtračního papírku bez sedimentu v mg

Rovnice č.4:

Koncentrace v g/ml = $\left(\frac{\text{hmotnost sedimentu po vysušení v g}}{\text{objem vzorku odebraného při měření v ml}} \right)$

5 Výsledky

Experimentem byla ověřována hypotéza H1: při zvýšení/snížení intenzity simulovaného zátěžového deště dojde ke zvýšení/snížení koncentrace splavované zeminy v odebíraných vzorcích povrchového odtoku a H2: zda při zvýšení/snížení intenzity simulovaného zátěžového deště dojde ke zvýšení/snížení objemu povrchového odtoku.

Při plnění půdních boxů zahradním substrátem byla sledována hmotnost použité zeminy. Hmotnost pro půdní box s jutou a holou půdou při všech použitých intenzitách je uvedena v tabulce č. 2. Hmotnost zeminy v půdním boxu s jutou pro intenzitu 4D činila 125,75 kg. V ostatních půdních boxech činila vždy 131,46 kg.

intenzita	žlab	váha plné nádoby v g	počet nádob	hmotnost zeminy v kg
1D	holá půda	6043,1	23	131,46
1D	juta 500	6043,1	23	131,46
4S	holá půda	6043,1	23	131,46
4S	juta 500	6043,1	23	131,46
4D	holá půda	6043,1	23	131,46
4D	juta 500	6043,1	22	125,75

Tabulka č. 2: Hmotnost zeminy v jednotlivých půdních boxech a intenzitách

Data získaná z vážení vzorků půdy z Kopeckého válečků jsou uvedeny v tabulce č. 3. Rozptyl váhy nevysušených půdních vzorků z Kopeckého válečků se nacházel mezi 95,14 g u vzorku z válečku č. 501 až po 121,49 g u vzorku z válečku č. 505.

U vysušených vzorků půdy byl rozptyl vah v rozsahu od 70,99 g u vzorku z válečku č. 516, až po 96,97 g u vzorku z válečku č. 506.

žlab	číslo válečku	hm. válečku s víčkem	hm. víček	hm. válečku před vysušením	hm. po vysušení	hm. sklíčka	hm. válečku bez víčka a bez zeminy před	hm. zeminy před	hm. zeminy po
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1- kontrola 1D	505,00	123,60	16,25	245,09	216,13	16,66	107,35	121,49	92,13
	502,00	127,20	15,89	226,94	204,25	16,07	111,30	99,75	76,88
	508,00	131,18	16,29	233,86	209,74	17,37	114,89	102,67	77,47
4- JUTA 1D	506,00	123,50	16,09	244,83	221,39	17,02	107,40	121,34	96,97
	501,00	121,91	16,27	217,05	192,96	16,02	105,64	95,14	71,30
	516,00	127,54	15,89	224,00	198,92	16,29	111,65	96,46	70,99
1- kontrola 4S	512,00	122,06	16,28	222,33	198,10	16,98	105,78	100,28	75,35
	519,00	121,59	16,27	219,34	197,03	17,05	105,31	97,75	74,66
	520,00	123,41	15,89	220,28	198,70	17,09	107,52	96,88	74,10
4- JUTA 4S	514,00	122,38	16,32	230,41	208,42	17,30	106,07	108,03	85,05
	518,00	127,55	15,91	229,51	207,31	16,23	111,64	101,96	79,44
	12,00	111,50	13,02	221,18	200,52	17,37	98,48	109,67	84,67
1- kontrola 4D	28,00	108,96	12,42	214,13	187,35	17,37	96,54	105,17	73,43
	80,00	108,90	12,40	214,90	186,89	17,07	96,50	105,99	73,33
	32,00	107,63	12,43	212,31	185,80	16,96	95,20	104,68	73,64
4- JUTA 4D	518,00	127,93	16,29	241,42	208,09	16,19	111,64	113,49	80,26
	514,00	121,99	15,92	233,00	204,68	15,54	106,07	111,01	83,08
	520,00	123,80	16,27	229,65	201,93	16,66	107,53	105,85	77,75

Tabulka č. 3: Záznam a výsledky vážení zeminy z Kopeckého válečku

Tabulka č. 4 zobrazuje hmotnosti odebraných půdních vzorků z Kopeckého válečků a zjištěnou vlhkost půdního profilu pro jednotlivé intenzity. Vlhkost odebraných půdních vzorků se pohybovala v rozmezí od 20,08 % u válečku č. 506 až po 30,82 % u válečku č. 80. Průměrná vlhkost půdních vzorků byla mezi 22,05 % u plochy s jutovou geotextilií při přípravě pro intenzitu deště 4S až po hodnotu 30,22% při přípravě kontrolní plochy pro intenzitu 4D.

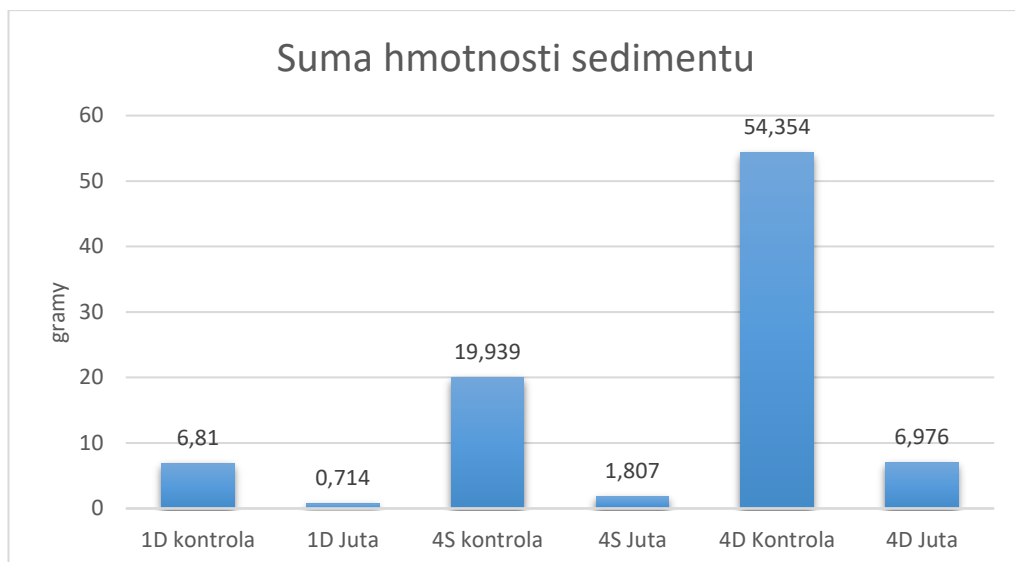
žlab	číslo válečku	hm. zeminy před sušením	hm. zeminy po vysušení	hm. vody	% vlhkost	průměrná % vlhkost
		[g]	[g]	[g]	%	%
1-kontrola 1D	505	121,492	92,125	29,367	24,17	23,88
	502	99,747	76,878	22,869	22,93	
	508	102,674	77,473	25,201	24,54	
4- JUTA 1D	506	121,336	96,974	24,362	20,08	23,85
	501	95,14	71,302	23,838	25,06	

	516	96,46	70,985	25,475	26,41	
1-kontrola 4S	512	100,275	75,347	24,928	24,86	24,00
	519	97,754	74,661	23,093	23,62	
	520	96,876	74,098	22,778	23,51	
4- JUTA 4S	514	108,029	85,051	22,978	21,27	22,05
	518	101,961	79,443	22,518	22,08	
	12	109,673	84,67	25,003	22,80	
1-kontrola 4D	28	105,168	73,433	31,735	30,18	30,22
	80	105,993	73,33	32,663	30,82	
	32	104,681	73,638	31,043	29,65	
4- JUTA 4D	518	113,493	80,263	33,23	29,28	27,00
	514	111,012	83,078	27,934	25,16	
	520	105,846	77,745	28,101	26,55	

Tabulka č. 4: Počáteční vlhkost půdního profilu pro jednotlivé intenzity

Níže v grafu (obrázek č. 24) jsou uvedeny celkové hodnoty sedimentu ze všech pěti srážek, tj. součet hmotnosti sedimentu z kontrolní plochy a plochy s jutou, rozdělené dle jednotlivých intenzit srážky.

Při intenzitě srážky 1D na kontrolní ploše byla navážena celková hmotnost sedimentu 6,81 g, u plochy s jutou byla celková hmotnost 0,714 g. Hmotnost sedimentu z plochy s jutovou geotextilií byla o 89,5 % nižší oproti kontrolní ploše. Při intenzitě srážky 4S byla na kontrolní ploše navážena celková hmotnost sedimentu 19,939 g, u plochy s jutou byla celková hmotnost 1,807 g. Hmotnost sedimentu z plochy s jutovou geotextilií byla o 90,9 % nižší oproti kontrolní ploše. Při intenzitě srážky 4D na kontrolní ploše byla navážena celková hmotnost sedimentu 54,354 g, u plochy s jutou činila celková hmotnost 6,976 g. Hmotnost sedimentu z plochy s jutovou geotextilií byla o 87,2 % nižší oproti kontrolní ploše. Rozdíl hmotnosti sedimentu u intenzity 1D mezi kontrolní plochou a jutou byl 6,096 g. U intenzity 4S činil tento rozdíl 18,132 g a u intenzity 4D byl rozdíl dokonce 47,378 g.

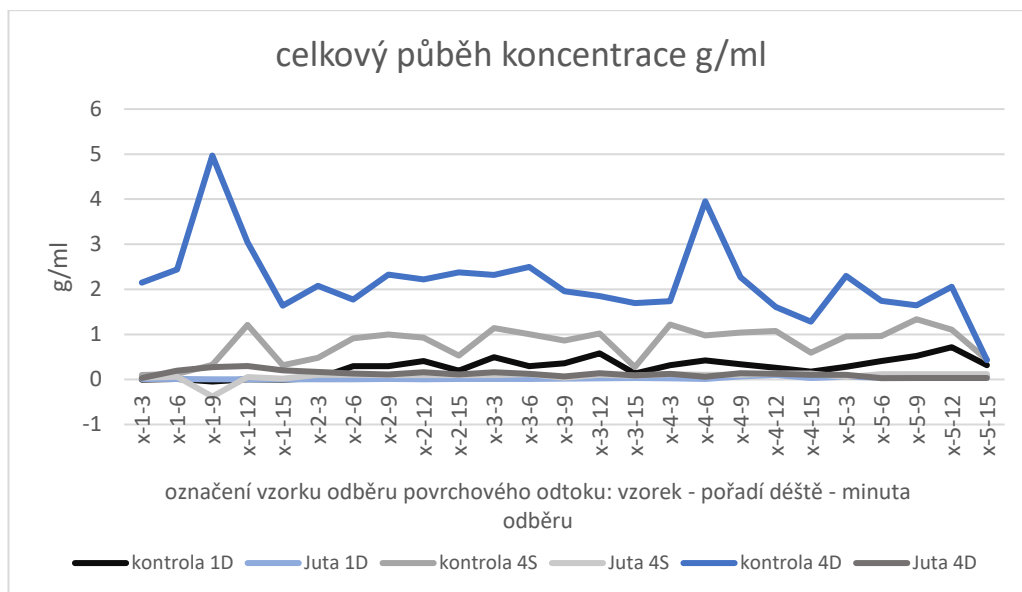


Obrázek č. 24: Celkový součet hmotností sedimentu v gramech, při jednotlivých intenzitách a plochách

Z dat i grafu je jasně patrné, že celkové hmotnostní množství splaveného sedimentu stoupalo u plochy s kontrolní plochou i u plochy s jutou. Zároveň vyplývá, že plocha, která byla opatřena jutovou geotextilií ztrácela půdu výrazně méně než plocha kontrolní, holá půda. U intenzity 1D to bylo o 89,5 % méně, u intenzity 4S o 90,9 % méně a u intenzity 4D o 87,2 % méně oproti ploše kontrolní.

Z grafu celkového průběhu koncentrace (obrázek č. 25) je znatelné, že koncentrace sedimentu byla u juty výrazně nižší než u kontrolní plochy, a to většinou ve všech třech intenzitách.

Nejvyšší koncentrace sedimentu ze všech měření byla zaznamenána v intenzitě 4D u kontrolní plochy u vzorku odebraného v prvním dešti v deváté minutě. Nejnižší celkovou koncentraci vykazuje plocha s jutou při intenzitě 4D.

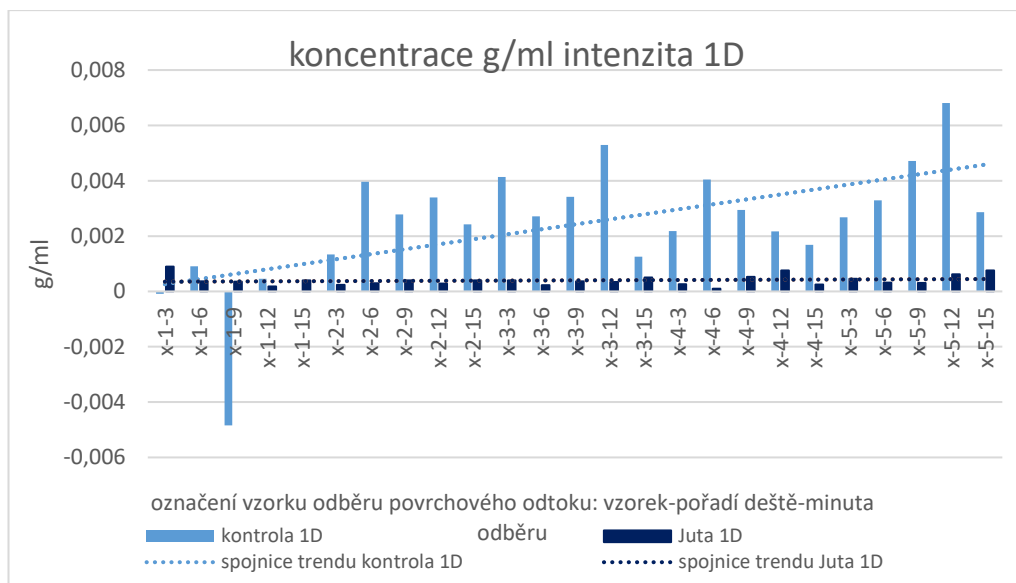


Obrázek č. 25: Průběh koncentrace sedimentu v g/ml ve vzorcích ze všech pěti dešťů, při všech třech intenzitách

Níže jsou uvedeny grafy se zobrazením koncentrace sedimentu ze vzorků z povrchového odtoku rozdělených dle jednotlivých intenzit (obrázek č. 26, 27, 28), když osa x značí koncentraci v g/ml. Vzhledem k tomu, že graf zobrazuje vzorky ze dvou ploch, tj. ze žlabu s jutovou geotextilií a ze žlabu s kontrolní plochou, je číslo žlabu nahrazeno písmenem „x“. Osa y v grafu zobrazuje označení vzorku odběru povrchového odtoku: vzorek-pořadí deště-minuta odběru.

Koncentraci sedimentu při intenzitě srážky 1D zobrazuje obrázek č. 26. Z grafu je patrný výrazný rozdíl v koncentraci sedimentu mezi kontrolní plochou a plochou s jutovou geotextilií. Koncentrace na holé půdě průběžně kolísá, avšak celkově je výrazně vyšší než na ploše s jutovou textilií. Koncentrace u juty také průběžně kolísá, ale celkově je významně nižší. Plocha s holou půdou má v intenzitě 1D celkově stoupající trend. Juta také vykazuje celkově stoupající trend, avšak méně výrazně.

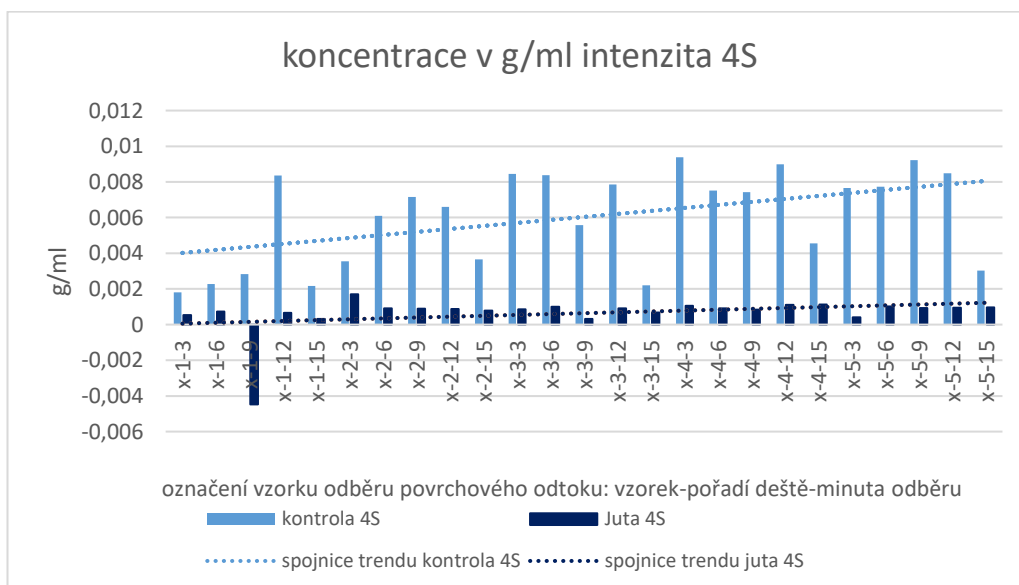
Třetí hodnota na ose y ze vzorku x-1-9 z kontrolní plochy je chybová, tj. vzorek odebraný v deváté minutě prvního deště této intenzity.



Obrázek č. 26: Koncentrace sedimentu v g/ml při intenzitě srážky 1D

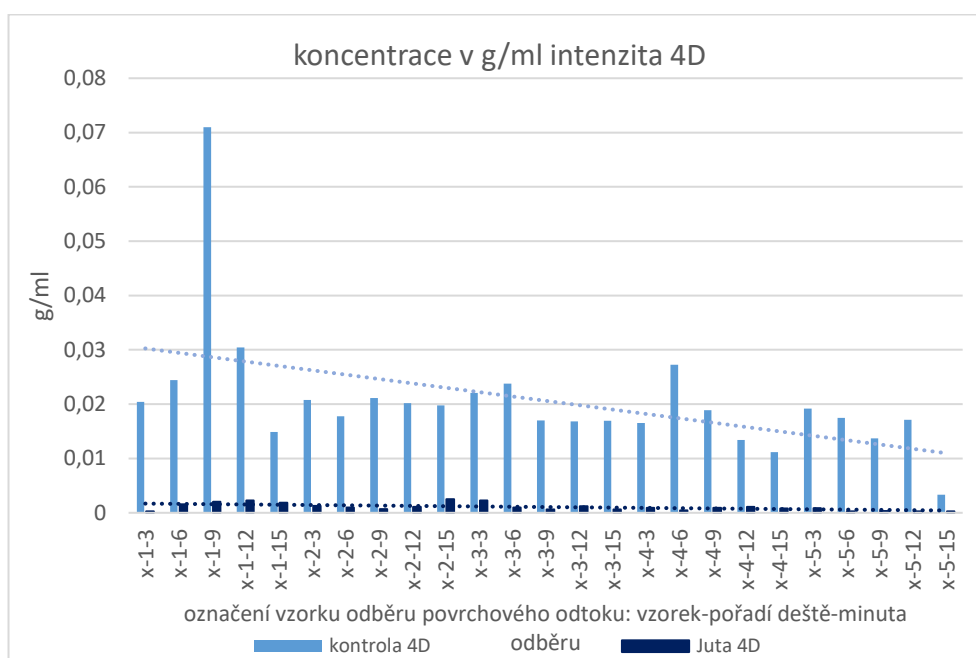
Koncentraci sedimentu při intenzitě 4S zobrazuje obrázek č. 27. Z grafu je opět patrný výrazný rozdíl v koncentraci sedimentu mezi kontrolní plochou a plochou s jutovou geotextilií. Koncentrace na holé půdě průběžně kolísá, avšak celkově je výrazně vyšší než na ploše s jutovou textilií. Koncentrace u juty také průběžně kolísá, ale celkově je významně nižší. Plocha s holou půdou má v intenzitě 4S celkově stoupající trend. Juta také vykazuje celkově stoupající trend, avšak méně výrazně.

Třetí hodnota na ose y ze vzorku x-1-9 z plochy s jutou je chybová, tj, vzorek odebraný v deváté minutě prvního deště této intenzity.



Obrázek č. 27: Koncentraci sedimentu v g/ml při intenzitě srážky 4S

Koncentrace sedimentu při intenzitě 4D ukazuje obrázek č. 28. Z grafu je opět patrný výrazný rozdíl v koncentraci sedimentu mezi kontrolní plochou a plochou s jutovou geotextilií. Koncentrace na holé půdě po maximu u vzorku x-1-9 klesne a poté průběžně kolísá, avšak celkově je násobně vyšší než na ploše s jutovou textilií. Koncentrace u juty také průběžně kolísá, ale celkově je významně nižší. Celkově má však koncentrace klesající trend u holé půdy i u juty.

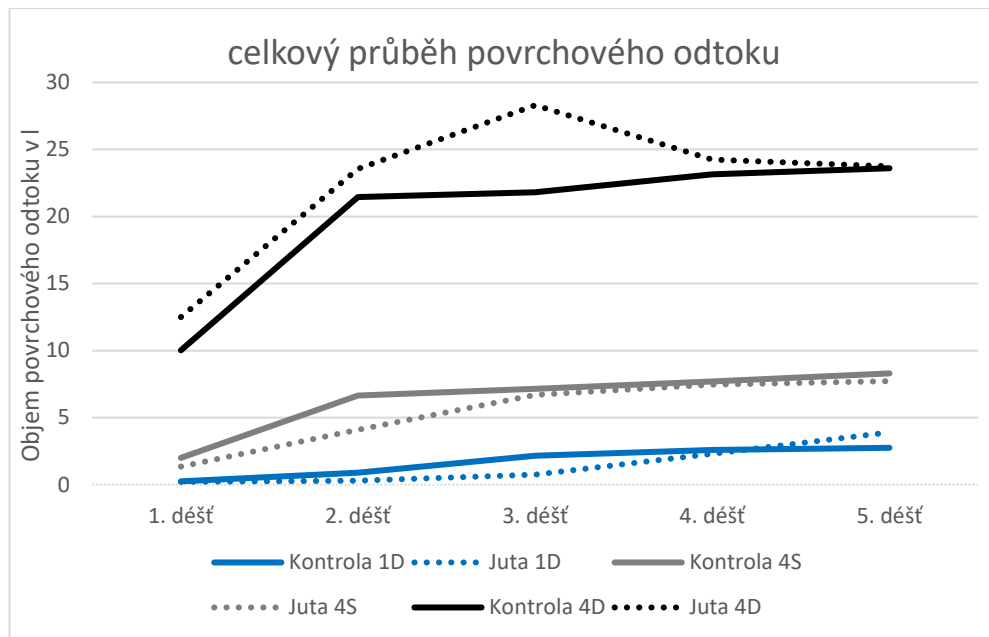


Obrázek č. 28: Koncentraci sedimentu v g/ml při intenzitě srážky 4D

V tabulce č. 5 je uveden naměřený objem povrchové odtoku v litrech, pro žlab s kontrolní plochou a s plochou s jutovou geotextilií, s rozdělením dle pořadí dešťové srážky.

žlab	1. déšť	2. déšť	3. déšť	4. déšť	5. déšť
kontrola	0,25	0,9	2,15	2,6	2,75
Juta	0,21	0,3	0,75	2,3	3,9
kontrola	2	6,65	7,15	7,7	8,3
Juta	1,35	4,1	6,7	7,45	7,72
kontrola	10,02	21,45	21,8	23,15	23,6
Juta	12,5	23,55	28,3	24,25	23,75

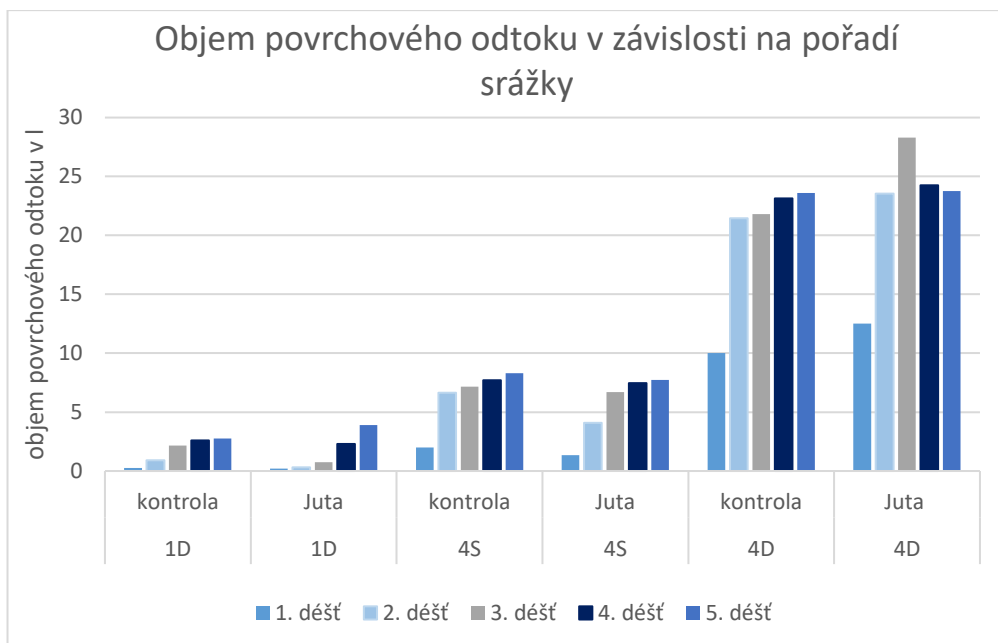
Tabulka č. 5: objem povrchové odtoku v litrech, pro žlab s kontrolní plochou a s plochou s jutovou geotextilií, s rozdělením dle pořadí dešťové srážky



Obrázek č. 29: Zobrazení průběhu povrchového odtoku ze všech pěti dešťů v litrech, u obou ploch (kontrolní a krytá jutovou geotextilií), ve všech třech intenzitách

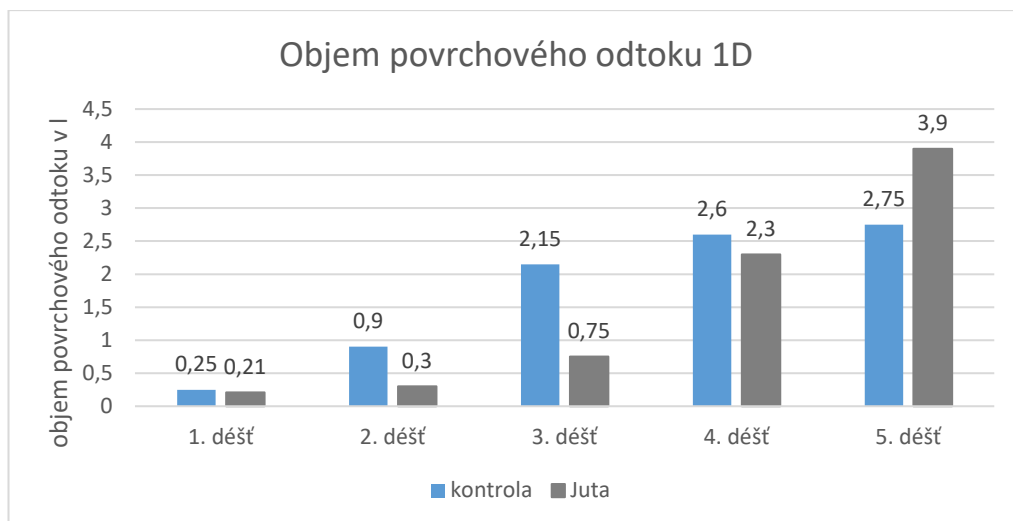
Graf se zobrazením celkového průběhu povrchového odtoku (obrázek č. 29) ukazuje významný rozdíl mezi odtokem při intenzitě 1D u obou ploch, intenzitě 4S a intenzitě 4D. Mezi intenzitami se jedná o rozdíl v násobcích objemů odtoků. Povrchový odtok na ploše s jutovou geotextilií při intenzitě 1D byl o 13,8% nižší, než na kontrolní ploše. Povrchový odtok na ploše s jutovou geotextilií při intenzitě 4S byl o 14,1 % nižší, než na kontrolní ploše. Povrchový odtok na ploše s jutovou geotextilií při intenzitě 4D byl o 12,3 % vyšší, než na kontrolní ploše. Nejvyšší povrchový odtok probíhal u plochy s jutovou geotextilií ve třetím dešti při intenzitě 4D. Nejnižší u juty v prvním dešti při intenzitě 1D. Dále je z grafu viditelné, že trend povrchového odtoku při všech intenzitách většinou stoupal.

Z níže uvedeného grafu (obrázek č. 30) je patrné, že objem povrchového odtoku s každým dílčím měřeným deštěm stoupal. A to i u kontrolní plochy, tak i u plochy s jutou. Výjimkou je plocha s jutou intenzita 1D, kdy v pátém měření byl povrchový odtok vyšší než na kontrolní ploše a při čtvrtém a pátém měření při intenzitě 4D, vykazuje po maximu ve třetím dešti povrchový odtok sestupnou tendenci.



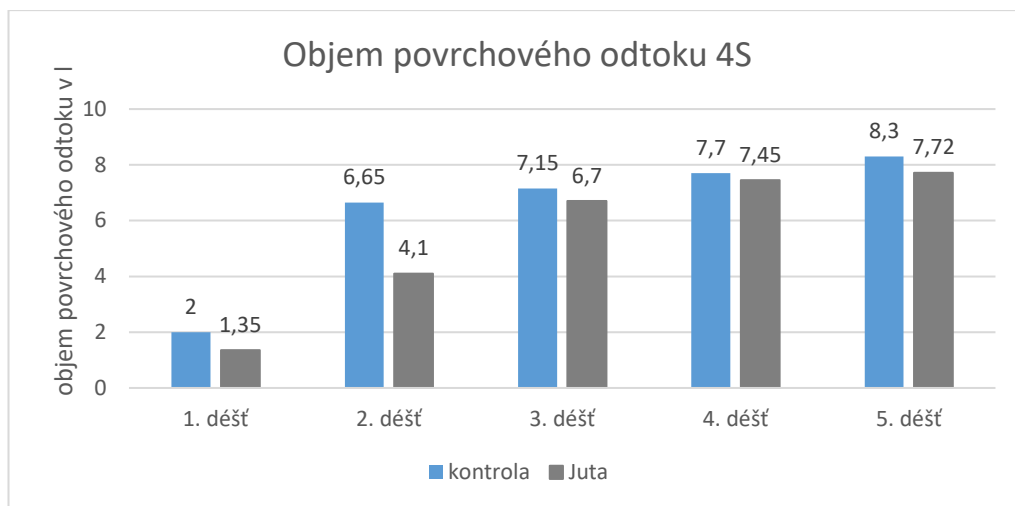
Obrázek č. 30: Naměřený objem povrchového odtoku v litrech, ze všech tří intenzit, z plochy kontrolní i plochy s jutou, rozdělený dle jednotlivých dešťových srážek

Povrchový odtok na ploše s Jutou stoupal u intenzity 1D od objemu od 0,21 l při prvním dešti do 3,9 l při pátém dešti. Objem povrchového odtoku u kontrolní plochy se zvyšoval od 0,25 l až na 2,75 l. Při prvním měřeném dešti byl rozdíl objemu povrchového odtoku mezi holou půdou a plochou s jutou jen malý a to jen 0,04 l. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 16 % nižší oproti kontrolní ploše. Při druhém dešti rozdíl stoupl a na holé půdě byl o 0,4 l vyšší než na ploše s jutou. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 66,7 % nižší oproti kontrolní ploše. Třetí měřený dešť vykazoval rozdíl 1,4 l, o který byl odtok na holé půdě vyšší. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 65,1 % nižší oproti kontrolní ploše. U čtvrtého deště se rozdíl odtoku snížil u holé půdy jen na 0,3 l oproti ploše s jutou. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 11,5 % nižší oproti kontrolní ploše. Pátý dešť vykazoval opak, snížil se odtok u holé půdy a plocha s jutou měla poprvé vyšší odtok než holá půda, a to o 1,15 l. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 41,8 % vyšší oproti kontrolní ploše. Z toho plyne, že povrchový odtok na holé půdě průběžně stoupal, i když od třetího deště pomaleji a povrchový odtok na ploše s jutou stoupal stále (obrázek č. 31).



Obrázek č. 31: Naměřený objem povrchového odtoku v litrech, při intenzitě 1D, pro holou půdu a pro plochu s jutou, s rozdělením dle pořadí deště

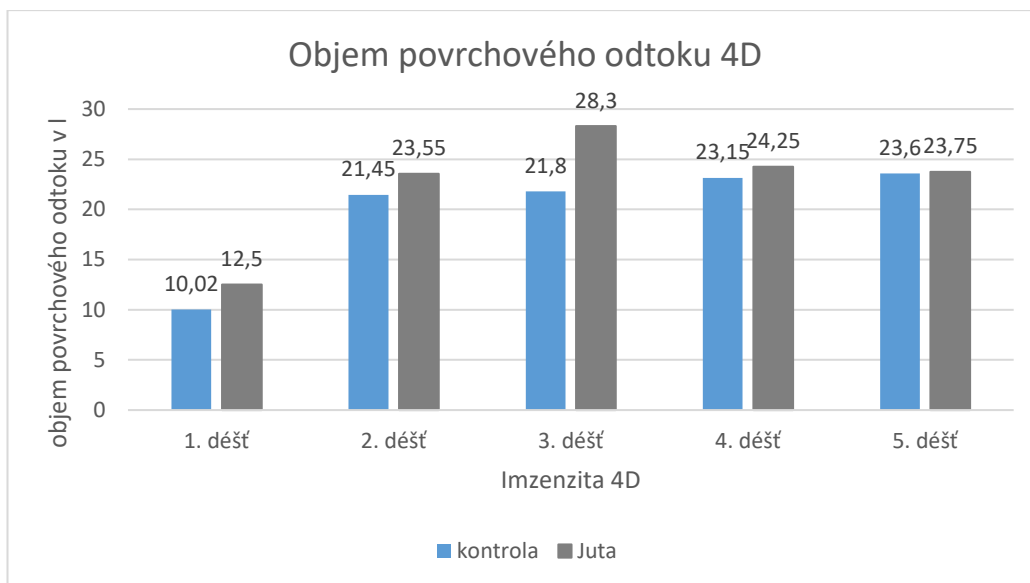
Povrchový odtok na ploše s Jutou stoupal u intenzity 4S od objemu 1,35 l při prvním dešti po 7,72 l u deště pátého. Objem povrchového odtoku u kontrolní plochy se zvyšoval od 2 l u prvního deště až na 8,3 l u deště pátého. Při prvním měřeném dešti byl rozdíl objemu povrchového odtoku mezi holou půdou a jutou 0,65 l. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 32,5 % nižší oproti kontrolní ploše. Při druhém dešti rozdíl stoupl a na holé půdě byl o 2,55 l vyšší než na ploše s jutou. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 38,3 % nižší oproti kontrolní ploše. Třetí měřený dešť vykazoval rozdíl 0,45 l, o který byl odtok na holé půdě vyšší, ale celkově se rozdíl mezi plochami začal snižovat. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 6,2 % nižší oproti kontrolní ploše. U čtvrtého deště se rozdíl odtoku snížil u holé půdy jen na 0,25 l oproti jutě. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 3,3 % nižší oproti kontrolní ploše. Pátý dešť vykazoval rozdíl 0,58 l, kdy odtok u holé půdy byl stále vyšší než odtok z plochy s jutovou geotextilií. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 7,23 % nižší oproti kontrolní ploše. Z toho plyne, že povrchový odtok na holé půdě i na ploše s jutou stoupal (obrázek č. 32).



Obrázek č. 32: Naměřený objem povrchového odtoku v litrech, při intenzitě 4S, pro holou půdu a pro plochu s jutou, s rozdělením dle pořadí deště

Povrchový odtok na ploše s jutou stoupal u intenzity 4D od objemu 12,5 l po 28,3 l. U intenzity 4D se u Juty postupně až do třetího měření objem povrchového odtoku zvyšoval, ve čtvrtém a pátém měření se snižoval. Objem povrchového odtoku u kontrolní plochy se zvyšoval od 10,02 l až na 23,6 l.

Při prvním měřeném dešti byl rozdíl objemu povrchového odtoku mezi holou půdou a Jutou o 2,48 l vyšší, a to u plochy s Jutou. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 24,8 % vyšší oproti kontrolní ploše. Při druhém dešti rozdíl stoupl a na ploše s Jutou byl o 2,1 l vyšší než na ploše s holou půdou a byl nižší než prvního deště. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 9,8 % vyšší oproti kontrolní ploše. Třetí měřený dešť vykazoval rozdíl 6,5 l, o který byl odtok na ploše s Jutou vyšší než na holé půdě. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 29,8 % vyšší oproti kontrolní ploše. Povrchový odtok byl nejvyšší z celé série měření. U čtvrtého deště se rozdíl odtoku snížil u holé půdy jen o 1,1 l oproti Jutě. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 4,8 % vyšší oproti kontrolní ploše. Pátý dešť vykazoval rozdíl 0,15 l, kdy odtok u holé půdy byl stále nižší než odtok u Juty. Plocha s jutou měla povrchový odtok o 0,7 % vyšší oproti kontrolní ploše. Z toho plyne, že povrchový odtok na Jutě byl u měření 4D vždy vyšší než u holé půdy, po celou dobu stoupal, ale snižovaly se rozdíly mezi oběma plochami (obrázek č. 33).



Obrázek č. 33: Naměřený objem povrchového odtoku v litrech, při intenzitě 4D, pro holou půdu a pro plochu s jutou, s rozdělením dle pořadí deště

Se zvyšujícím se objemem povrchového odtoku se významně zvyšovala ztráta půdy na kontrolní ploše i na ploše s jutovou geotextilií. Taktéž se zvyšujícím se objemem odtoku stoupala koncentrace sedimentu ve vzorcích.

Experiment potvrdil, že při použití jutové geotextilie došlo k výraznému snížení splavování sedimentu oproti splavování sedimentu na kontrolní ploše.

Efektivita geotextilie v % zadržení sedimentu byla vypočítána dle vztahu v rovnici č. 5 (Sutherland 1998) a průměrná efektivita geotextilie v % zadržení sedimentu byla vypočtena dle rovnice č. 6.

Rovnice č. 5:

$$\text{Efektivita}_{\text{sediment}} \text{ v } \% = \left(\frac{\text{hmotnost sedimentu z kontrolní plochy v g} - \text{hmotnost sedimentu s geotextilií v g}}{\text{hmotnost sedimentu z kontrolní plochy v g}} \right) \times 100$$

Rovnice č. 6:

$$\text{Průměrná efektivita}_{\text{sediment}} \text{ v } \% = \left(\frac{\text{Efektivita 1D} + \text{Efektivita 4S} + \text{Efektivita 4D}}{\text{počet intenzit}} \right)$$

Při měření 1D byla jutová geotextilie efektivnější o 89,5% v zadržení částic půdy, než smyv na kontrolní ploše.

U intenzity deště 4S byla jutová geotextilie efektivnější o 90,9 % v zadržení částic půdy, než smyv na kontrolní ploše.

U intenzity deště 4D byla jutová geotextilie efektivnější o 87,2% v zadržení částic půdy, než smyv na kontrolní ploše.

Průměrná efektivita jutové geotextilie z hlediska zadržení sedimentu při měření činila 89,2 %.

Efektivita jutové geotextilie v % z hlediska povrchového odtoku byla zjištěna dle vztahu v rovnici č. 7 (Álvarez-Mozos 2014) a průměrná efektivita geotextilie v % z hlediska povrchového odtoku byla vypočtena dle rovnice č. 8.

Rovnice č. 7:

$$\text{Efektivita}_{\text{odtok v \%}} = \left(\frac{\text{odtok z kontrolní plochy v l} - \text{odtok z plochy s geotextilií v l}}{\text{odtok z kontrolní plochy v l}} \right) \times 100$$

Rovnice č. 8:

$$\text{Průměrná efektivita}_{\text{odtok v \%}} = \left(\frac{\text{Efektivita 1D} + \text{Efektivita 4S} + \text{Efektivita 4D}}{\text{počet intenzit}} \right)$$

Při měření 1D byla jutová síť efektivnější o 13,8 % ve snížení povrchového odtoku, než odtok na kontrolní ploše.

U intenzity deště 4S byla jutová síť efektivnější o 14,1 % ve snížení povrchového odtoku, než odtok na kontrolní ploše.

U intenzity deště 4D byla jutová síť efektivnější o – 12,3 % ve snížení povrchového odtoku, než odtok na kontrolní ploše. To znamená, že u intenzity 4D nesnížila povrchový odtok.

Průměrná efektivita jutové geotextilie z hlediska snížení povrchového odtoku při měření činila 5,2 %.

Experiment potvrdil, že při použití jutové geotextilie došlo k výraznému snížení povrchového odtoku na této ploše u intenzity 1D a 4S. U nejvyšší intenzity 4D tento trend nepokračoval a docházelo k vyššímu povrchovému odtoku na ploše s jutovou geotextilií, než na kontrolní ploše.

6 Diskuse

Možnost zúčastnit se realizovaného laboratorního experimentu byla pro mě osobně velmi přínosná a zajímavá. Již od počátku experimentu, bylo možno i pouhým okem vysledovat určitou účinnost jutové geotextilie, účinky kinetické energie dešťových kapek a vznik povrchového odtoku. Nejmarkantněji to bylo vidět při pohledu na plochy před započítáním zadešťování a následně po jeho ukončení. Na ploše s jutovou geotextilií byly po dešťových událostech viditelné prohlubně, které kopírovaly tvar jutové geotextilie. Prohlubně se vytvářely v místech, kde nebyla vlákna jutové geotextilie. Jak uvádí Fernández-Raga a kol. způsobuje to kinetická energie kapek deště a unášecí síla vody, když vznikne povrchový odtok. Ten způsobí následně smyv půdních částic (Fernández-Raga a kol. 2017). S vyšší intenzitou použitého deště byl tento stav viditelnější. V místech, kde ležela vlákna jutové geotextilie byla půda chráněna a nesmývala se výrazně (obrázek č. 5). Na kontrolní ploše docházelo ke smyvu půdních částic průběžně, bez výraznějších nerovností (obrázek č. 6). Nasákavost jutových vláken v geotextilii pomáhala při nižších intenzitách a v počátečních deštích se snížením povrchového odtoku. Protože jutová vlákna mohou zvětšit svůj objem až o 300 % (Ingold 2013). Po plném nasycení vláken v jutové geotextilie poté dojde k lepšímu přilnutí na svah a výška vláken tvoří překážku, která pomáhá zadržet půdní částice a tím snižuje množství splavovaného sedimentu.

Následně provedené výpočty, získané výsledky a jejich zhodnocení, které byly v rámci tohoto experimentu a zpracování diplomové práce realizovaly, efektivitu jutové geotextilie potvrzují.

Při intenzitě 1D vzorky odebrané z plochy s holou půdou měly celkově stoupající trend, tj. koncentrace sedimentu se postupně zvyšovala. Plocha s jutovou geotextilií také vykazovala celkově stoupající trend, avšak méně výrazně než holá půda.

Koncentrace při intenzitě 4S na holé půdě průběžně kolísala, celkově byla výrazně vyšší než na ploše s jutovou geotextilií. Koncentrace u jutové geotextilie také průběžně kolísala, ale celkově byla významně nižší. Plocha s holou půdou měla v intenzitě 4S celkově stoupající trend. Jutová geotextilie také vykazovala celkově stoupající trend, avšak méně výrazně.

Při intenzitě 4D byl výrazný rozdíl v koncentraci sedimentu mezi kontrolní plochou a plochou s jutovou geotextilií. Koncentrace na holé půdě po maximu v deváté minutě klesne a poté průběžně kolísá, avšak celkově je o násobky výrazně vyšší než na ploše s jutovou geotextilií. Koncentrace u juty také průběžně kolísá, ale celkově je významně nižší. Koncentrace klesající trend u holé půdy i u juty. Nejnižší celkovou koncentraci vykazovala plocha s jutou při intenzitě 4D.

Překvapila zjištěná vysoká efektivita jutové geotextilie při zadržení půdních částic a celkově zhruba stejně vysoká průměrná efektivita jutové geotextilie při zadržení půdních částic, a to při všech vytvořených intenzitách dešťových srážek.

V porovnání s diplomovou prací (Vorlová 2019), která byla zpracována na totožné téma v roce 2019, je vypočtená efektivita při zachycení půdních částic naprosto odlišná. Bc. Diana Vorlová sice uvádí, že efektivita jutové sítě je při jejím experimentu vysoká, avšak dosáhla u intenzity deště 1 mm/min efektivitu 47,39 %, u intenzity deště 1,27 mm/min efektivitu 16,63 % a u intenzity deště 2,11 mm/min efektivitu 18,64 % (Vorlová 2019). Ve výše uvedené diplomové práci byla vypočtena efektivita pouze pro množství splavovaného sedimentu, nikoliv efektivita pro odtok.

V našem případě efektivita geotextilie pro množství splavovaného sedimentu u druhé intenzity deště oproti první efektivitě sloupne a ve třetí intenzitě klesne níže, než je efektivita první intenzity. Je pravdou, že intenzity srážek v její práci byly odlišné od námi použitých, avšak v případě našeho měření, ani při změně intenzity deště, není rozdíl v efektivitě geotextilie v podstatě významný.

Při simulaci dešťových srážek za použití jutové geotextilie s plošnou hmotností 500 g/m² vysledovali podobný výsledek také Chakravarthy a GuhaRay (2023). Mitchell a kolektiv také potvrdili účinnost jutové sítě na snížení množství splavených půdních částí a množství povrchového odtoku. Odtok z jutové sítě byl jen 35 % oproti odtoku z kontrolní plochy (Mitchell a kol. 2006). Naopak na strmých svazích, při jejich experimentu se sklonem 45° a 60° Álvares-Mosoz a kol. (2014) snížení povrchového odtoku díky jutové geotextilii nepozorovali (Álvares-Mosoz a kol. 2014).

Objem povrchového odtoku při intenzitě 1D byl až do čtvrtého deště u juty nižší než na kontrolní ploše, u pátého deště byl povrchový odtok vyšší. Je pravděpodobné, že došlo k plnému nasycení jutové geotextilie, uvolňovala se voda i z ní, a díky tomu přestala povrchový odtok snižovat. Celkově však došlo ke snížení povrchového odtoku

na ploše s Jutou u intenzity 1D a 4S. U intenzity 4D tento trend nepokračoval a docházelo k vyššímu povrchovému odtoku na ploše s Jutou.

Efektivita jutové geotextilie byla ve vztahu k snižování povrchového odtoku při měření 1D o 13,8 % vyšší než povrchový odtok na kontrolní ploše. O tato procenta povrchový odtok jutová geotextilie snižuje. Efektivita jutové geotextilie byla ve vztahu k snižování povrchového odtoku při měření u intenzity 4S o 14,1 % vyšší než povrchový odtok na kontrolní ploše. O tato procenta povrchový odtok jutová geotextilie snižuje. Při 4D byla jutová síť efektivnější o – 12,3 % ve snížení povrchového odtoku, než odtok na kontrolní ploše. To znamená, že u intenzity 4D nesnížila povrchový odtok.

Průměrná efektivita jutové geotextilie z hlediska snížení povrchového odtoku při měření činila 5,2 %. Tato hodnota ale není vypovídající, průměr velmi zkresluje jednotlivé průběhy odtoku. Při intenzitě 1D a intenzitě 4S byla efektivita jutové geotextilie pozitivní, snižovala povrchový odtok oproti ploše s holou půdou. Při intenzitě 4D byla efektivita negativní, povrchový odtok již nesnížovala, ale naopak byl povrchový odtok na ploše s jutovou geotextilií vyšší.

Došlo ke snížení povrchového odtoku na ploše s jutovou geotextilií u intenzity 1D a 4S. U intenzity 4D tento trend nepokračoval a docházelo k vyššímu povrchovému odtoku na ploše s jutou. Pravděpodobně při nižších intenzitách deště dochází k lepší infiltraci a nasáknutí jutové geotextilie, u vyšší intenzity však tento efekt nepřetrvá a Juta již povrchový odtok nesnížuje.

Z výsledků lze tedy vyvodit závěr, že jutová geotextilie i přesto, že ne vždy snížila vzniklý povrchový odtok, velmi zásadně snížila množství splavovaných půdních částic ze zadešťované plochy při experimentu, který byl realizován jako základ této diplomové práce.

Vlček uvádí, že efektivní protierozní ochrana má snižovat erozní účinky deště, snížit povrchový odtok a zvýšit zasakování vody do půdy (Vlček 2015). Domnívám se, že těmto požadavkům zkoumaná jutová geotextilie vyhovuje. Dokázala snížit erozivní účinky deště, což vyvozují z výrazného rozdílu v množství splaveného sedimentu mezi kontrolní plochu a plochou s jutovou geotextilií. Jutová geotextilie vykazovala při experimentu snížení splaveného sedimentu o 89,2 % oproti ploše kontrolní. Povrchový odtok ne vždy, ale většinou snižovala. Z hlediska zvýšení

zasakování vody do půdy má také geotextilie také svůj vliv. U nižších intenzit bylo patrné, že na ploše s jutovou geotextilií vzniká povrchový odtok později než na kontrolní ploše. Důvodem byla skutečnost, že část vody do sebe nasákla jutová vlákna geotextilie, a tak počátek povrchového odtoku oddálila.

Textura použitého půdního vzorku má vliv na výsledky výše prezentovaného experimentu. Je předpoklad, že při jiné zrnitostní struktuře půdního vzorku, by byly naměřené výsledky koncentrace splavené zeminy a objemu povrchového odtoku jiné, neboť jak uvádí Morgan (2005) půdní typ má významný podíl na erozním chování půdy.

V příloze č. 1, kde jsou v tabulce zaznamenány všechna námi získaná vstupní data při intenzitě 1D na kontrolní ploše se vyskytly tři chybné výsledky. Jde o následně vypočtená data při měření váhy sedimentu a koncentrace sedimentu. Chyba je u vzorku povrchového odtoku 1-1-3, filtračního papírku č. 1. Obdobná chyba se vyskytuje u vzorku povrchového odtoku 1-1-9, filtračního papírku č. 3. a vzorku povrchového odtoku 1-2-12, filtračního papírku č. 18.

Obdobnou chybu při intenzitě 4S na ploše s jutou vykazuje výsledek vážení sedimentu ze vzorku povrchového odtoku 4-1-9, kdy je chybná váha filtračního papírku č. 214 (příloha č. 4).

Na kontrolní ploše vykazuje chybu vzorek 1-5-15 u intenzity 4D. S velmi vysokou pravděpodobností došlo při vážení čistých filtračních papírků k chybnému zápisu váhy u těchto 5 ks. Tato chybná data měla mírný vliv na výsledek experimentu.

I přes výše uvedené se domnívám, že chyby nebyly tak zásadní, aby výrazně ovlivnily vyvozené závěry experimentu. Sice snižují zjištěnou hmotnost sedimentu z kontrolní plochy, kterou u intenzity 1D snížily o 0,06 g, ale ta přesto po celou dobu vykazovala výrazně vyšší množství sedimentu než plocha s jutou. Pokud by k chybě nedošlo, výsledkem by byl rozdíl v množství sedimentu mezi kontrolní plochou a plochou s jutou ještě vyšší.

Tyto chyby následně ovlivnily výsledek výpočtu kumulativní koncentrace za všechny intenzity, tj 1D, 4S a 4D dohromady. A to proto, že záporné hodnoty celkovou koncentraci sedimentu snížily. Zároveň snížili i údaje o celkové koncentraci z intenzity 1D a 4S a také v grafech se zobrazením jednotlivých průběhů koncentrace narušují řadu hodnot na ose y.

Výše prezentované výsledky experimentu jsou pouze jedním ze střípků v rámci bádání na téma efektivitý geotextilií. Nelze je generalizovat, neboť ani vědci zabývající se tímto výzkumem dlouhodobě, nedocházejí ke stejným výsledkům. Jak uvádí Comino a kol. (2016), je to způsobeno mimo jiné i nestejnorodostí metodických postupů při simulacích dešťových srážek, různými časy a intenzitami působení deště, různými použitými simulátory, různým prostředím (sklony svahu), ve kterých výzkumy probíhají a také vlastnostmi použitého půdního substrátu (Comino a kol. 2016).

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit, zda při změně intenzity dešťové srážky, které byl vystaven vzorek jutové protierozní geotextilie s plošnou hmotností 500 g/m², dochází ke změně efektivity geotextilie, tj, zda při změně intenzity uměle vytvořeného a řízeného deště dojde ke změně koncentrace splavované zeminy v odebíraných vzorcích povrchového odtoku a zda dojde díky použití geotextilie ke snížení nebo zvýšení objemu tohoto odtoku.

Jak ukázaly výsledky našeho experimentu, jutová geotextilie výrazně snižuje splavování částic půdy na svahu se sklonem 27°, a to při všech použitých intenzitách srážkových událostí, které byly v rámci této diplomové práce použity. Průměrná efektivita geotextilie vypočtená dle rovnice č. 6 činila 89,2 %. O tolik procent je tedy jutová geotextilie účinnější v zachycení částic půdy oproti situaci, kdy plocha svahu není ničím chráněna.

Do určité míry (do svého plného nasycení) jutová síť snižuje i povrchový odtok. Při intenzitě 1D o 13,8 % a 4S o 14,1 % povrchový odtok snižovala. U intenzity 4D došlo u efektivity k minusové hodnotě: - 12,3 %. To znamená, že již byl odtok na Jutě vyšší než na kontrolní ploše. Průměrná efektivita pro odtok byla vypočtena ve výši 5,2 %. Nicméně díky plnému nasycení jutové geotextilie stoupá efektivita v zachycení splavovaného sedimentu, kdy jutová vlákna zvyšují svůj objem a hmotnost a díky tomu dojde k plnému kontaktu geotextilie s povrchem půdy a výška vlákna coby překážky povrchového odtoku stoupá.

Analýza výsledků v této diplomové práci prokázala, že použití přírodní jutové geotextilie, při použitím zahradním substrátu, má významný vliv na erozní chování půdy na svahu se sklonem 27°.

Je vhodné pokračovat v dalších laboratorních měřeních a rozvíjet výsledky z dešťovacích pokusů v dalších diplomových pracích.

Přestože simulace prováděné dešťovými simulátory v laboratorních podmínkách, případně se simulátory umístěnými v pokusném venkovním prostředí nekopírují přesně přírodní dešťové srážky, jsou výsledky takových experimentů přínosem, který může dalším bádáním vést ke snižování následků intenzivních dešťových jevů, především díky možnosti opakování experimentu v konstantních kontrolovaných podmínkách. Výsledky takových experimentů mohou být vhodným

nástrojem a při rozhodování o volbě materiálů k zabránění zrychlené eroze na různých typech půd a různých sklonech svahů. Získaná data, pokud by jich byla celá série, by se také dala využít při vývoji či výrobě protierozních materiálů a sítí.

8 Přehled použitých zdrojů a literatury

1. Aksoy H., Unal N. E., Cokgor S., Gedikli A., Yoon J., Koca K., Inci S. B., Eris E., 2012: A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *CATENA*, 98, p. 63-72.
2. Álvarez-Mozos J., Abad E., Giménez R., Campo M. A., Goñi M., Arive M., Casali J., Díez J., Diego I., 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. *CATENA*, 118, p. 168-178.
3. Arnau-Rosalén E., Calvo-Cases A., Boix-Fayos C., Lavee H., Sarah P., 2008: Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. *Geomorphology*, 101, p. 595-606.
4. Comino R. J., Iserloh T., Morvan X., Malam I. O., Naisse C., Keesstra S.D., Cerdà A., Prosdocimi M., Arnáez J., Lasanta T., 2016: Soil Erosion Processes in European Vineyards: A Qualitative Comparison of Rainfall Simulation Measurements in Germany, Spain and France. *Hydrology*, 3, 1, p. 6.
5. Dunkerley D., 2021: The importance of incorporating rain intensity profiles in rainfall simulation studies of infiltration, runoff production, soil erosion, and related landsurface processes. *Journal of Hydrology*, 603, A, p. 126834.
6. El-Ramady, H., Alshaal, T., Bakr, N., Elbana, T., Mohamed, E., Belal, 2019: The Soils of Egypt. *World Soils Book Series*. Springer, Cham, p. 137–157.
7. Fernández-Raga M., Palencia C., Keesstra S., Jordán A., Fraile R., Angulo-Martínez M., Cerdà A., 2017: Splash erosion: A review with unanswered questions. *Earth-Science Reviews*, 171, p. 463-477.
8. Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Helkowski J. H., 2005: Global consequences of land use. *Science*, 309, p. 570-574.
9. Frasson R.P. de M., Da Cunha L.K., Krajewski W.F., 2011: Assessment of the Thies optical disdrometer performance. *Atmospheric Research*, 101, 1–2, p. 237–255.

10. Hignett C., Wakindiki I., Quinton J.N., Catt J.A., 1995: An automated laboratory rainfall simulation system with controlled rainfall intensity, raindrop energy and soil drainage, *Soil Technology*, 8, 1, p. 31-42.
11. Chakravarthy G. S., GuhaRay, A., 2023: Reduction of Surface Erosion of Soil Slopes Using Alkali Activated Binder Treated Jute Fibers. In: *Earth Retaining Structures and Stability Analysis: Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2021 Volume 6*. Springer Nature, p. 231.
12. Chakravarthy, G. S., GuhaRay, A., Kar, A., 2021: Experimental Investigations on Strength and Durability of Alkali-Activated Binder-Treated Natural Jute Geotextile. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7, p. 97.
13. Ingold T.S., 2013: *The Geotextiles and Geomembranes Manual*, 1. ed., Elsevier: Oxford, p. 610.
14. Janeček M. Dostál T., Dufková J., Dumbrovský M., Hůla J., Kadlec V., Konečná J., Kovář P., Krása J., Kubátová E., Kobzová D., Kudrnáčová M., Novotný I., Podhrázká J., Pražan J., Procházková E., Středová H., Toman F., Vopravil J., Vlasák J., 2012b): *Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika*, Česká zemědělská univerzita, Praha, 117 s.
15. Janeček M., 2007: *Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 76 s.
16. Janeček M., Kubátová E., Procházková E., 2012 a): Vliv úhrnů a intenzit dešťů na ztráty půdy vodní erozí, *Vodní hospodářství* 2/2012, s. 134-137.
17. Johannsen L., Zambon N., Strauss P., Dostal T., Neumann M., Zumr D., Cochrane T. A., Blöschl G., Klik A., 2020: Comparison of three types of laser optical disdrometers under natural rainfall conditions. *Hydrological Sciences Journal*, 65, 4, p. 524–535.
18. Kalibová J., Jačka L., Petrů J., 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions, *Solid Earth*, 7, p. 469–479.
19. Kalibová J., Petrů J., Jačka L., 2017: Impact of rainfall intensity on the hydrological performance of erosion control geotextiles. *Environmental Earth Sciences*, 76, p. 1-9.

20. Kamamia A.W., Vogel C., Mwangi H.M., Feger K., Sang J., Julich S., 2022: Using soil erosion as an indicator for integrated water resources management: a case study of Ruiru drinking water reservoir, Kenya. *Environmental Earth Sciences*, vol. 81, p. 502.
21. Kavka P., Vaníček M., Marek O., Zúmr D., Tejkl A., Kubínová R., Neumann M., Dufka D., 2020: Ochrana umělých svahů před erozí a stabilizace povrchové vrstvy: metodika. České vysoké učení technické v Praze, Strix Chomutov a.s., Geosyntetika s.r.o., 29 s.
22. Koerner R., 2016: *Geotextiles: From Design to Applications*. Woodhead Publishing, 642 p.
23. Liu, X. C., Gao, T. C., Liu, L., 2013: A comparison of rainfall measurements from multiple instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, p. 1585–1595.
24. 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 road slope in Beijing, China. *Catena*, 109, p. 150-156.
25. Ma W., Zhang X., Zhen Q., Zhang Y., 2015: Effect of soil on water infiltration in semiarid reclaimed land. *Water Quality Research Journal*, vol. 51, 1, p. 33–41.
26. Macedo P. M. S., Pinto M. F., Sobrinho T. A., Schultz N., Coutinho T. A. R., Fonseca de Carvalho D., 2021: A modified portable rainfall simulator for soil erosion assessment under different rainfall patterns. *Journal of Hydrology*, 596, p. 12605.
27. Marczak D., Lejcuś K., Misiewicz J., 2020: Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 268, p. 122129.
28. Mitchell D., Barton A.P., Fullen M. A., Hocking T. J., Zeng W.B., Yi Z., 2006: Field studies of the effects of jute geotextiles on runoff and erosion in Shropshire. UK. *Soil Use and Management*, 19, 2, p. 182-184.
29. Morgan, R.P.C., 2005: *Soil Erosion and Conservation*, 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford, p. 304.

30. Mouillot F., Ratte J. P., Joffre R., Mouillot D., Rambal S., 2005: Long-term forest dynamic after land abandonment in a fire prone Mediterranean landscape (central Corsica, France). *Landscape Ecology*, 20, p. 101-112.
31. Němeček, J., Smolíková, L., Kutílek, M., 1990: *Pedologie a paleopedologie*. Vyd. 1. Academia, Praha, 546 s.
32. Neumann M., Zúmr D., Kavka P., Laburda T., Lolk Johannsen L., Zambon N., Dostál T., Strauss P., Klik A., 2019: Vlastnosti uměle generovaných srážek využívaných pro studium eroze půdy. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 61, 6, s. 10–17.
33. Norma ČSN EN ISO 10318-1 (806172) Geosyntetika - Část 1: Termíny a definice, Česká technická norma, 2015.
34. Novák J., 1910: Příspěvky k půdním typům Čech a Moravy. *Sborník Zemědělské fakulty v Brně*, 12, 3, s. 15-61.
35. Nývlt O., Kavka P., 2016: Řídicí systém mobilního simulátoru, případová studie, *Automa*, 7, s. 29-33.
36. Pavlů L., 2018. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 76 s.
37. Petrů J., Kalibová J., 2018: Measurement and computation of kinetic energy of simulated rainfall in comparison with natural rainfall. *Soil and Water Research*, 13, 4, p. 226–233.
38. Prachowski J., Szturc J., Kučera J., Podhrázká J., 2024: Erosion risk analysis in a changing climate. *Soil & Water Research*, 19,1, p. 50-63.
39. Prambauer M., Wendeler C., Weitzenböck J., Burgstaller C., 2019: Biodegradable geotextiles – An overview of existing and potential materials. *Geotextiles and Geomembranes*, 47, 1, p. 48-59.
40. Ramzan M.B., Naeem, M.S., Rehman, A., Raza, A., 2020: Fibers for Geotextiles. In: Ahmad, S., Rasheed, A., Nawab, Y. (Eds.), *Fibers for Technical Textiles. Topics in Mining, Metallurgy and Materials Engineering*. Springer, Cham.
41. Rejšek K., Vácha R., 2018: *Nauka o půdě*. Agriprint, Olomouc, 527 s.
42. Rickson R. J., 1995: "Water induced soil erosion." In *Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition)*, edited by Michael J. Goss and Margaret Oliver. Academic Press, 2023, p. 193-207.

43. Saurabh K., Bahadur R L., 2023: Case study on soil-reinforced embankment slope stability with natural fibre additives. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, vol. 176, 5, p. 270-284.
44. Stuurop J. C., van der Zee S.E.A.T.M., French H. K., 2022: The influence of soil texture and environmental conditions on frozen soil infiltration: A numerical investigation. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 194. p. 103456.
45. Sutherland R. A., 1998: Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years. *Land Degradation Development*, 9, 6, p. 465-486.
46. Syvitski J. P., Vorosmarty C. J., Kettner A. J., Green P., 2005: Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 5720, p. 376-380.
47. Šarapatka B., Borůvka L., Konečná J., Podhrázká J., Pospíšilová E., Sánka M., Šantrůčková H., Vácha R., Žigová A., 2021: "Půda – přehlížené bohatství." Publikace pro střední školy i další zájemce o danou problematiku. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 63 s.
48. Šindelář R., Kovaříček P., Kroulík M., Hůla J., 2012: Hodnocení povrchového odtoku vody metodou simulace deště. Výzkumný ústav zemědělské techniky v.v.i., Praha.
49. Technické podmínky 53, 2023: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky. Ministerstvo dopravy, odbor liniových staveb. Praha.
50. Technické podmínky 97, 2021: Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací. Technické podmínky. Ministerstvo dopravy, odbor liniových staveb, Praha
51. Vlček V., 2015: Kvalita a zdraví půdy. Mendlova univerzita v Brně, Brno, 136 s.
52. Vorlová D., 2019: Vliv intenzity deště na efektivitu protierozních opatření, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra biotechnických úprav krajiny, Praha, 65 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

53. Walling, D. E., Fang, D., 2003: Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39, 1-2, p. 111-126
54. Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide Book to Conservation Planning. Agr. Handbook No.537, US. Department of Agriculture, Washington.
55. Zádorová T., Penížek V., 2020: Základy půdní klasifikace I. Česká zemědělská univerzita, 1. vydání, Powerprint s.r.o., Praha, 74 s.
56. Zachar D., 1982: Chapter 4: Erosion Factors and Conditions Governing Soil Erosion and Erosion Processes. In D. Zachar (Ed.), *Developments in Soil Science*. Elsevier, 10, p. 205-387.
57. Geomat ©2014: Typy geotextilií a jejich funkce ve stavebních konstrukcích (online) [cit. 2.2.2024], dostupné z <https://www.geomat.cz/blog/typy-geotextilii-a-jejich-funkce-ve-stavebnich-konstrukcich/>
58. Geomat ©2011: Funkce geosyntetik a jejich využití, (online) [cit. 25.2.2024], dostupné z https://www.slideshare.net/GEOMAT_EU/funkce-geosyntetik-a-jejich-vyuit
59. Geomat ©2024a): Přírodní ochrana svahu (online) [cit. 29.2.2024], dostupné z <https://www.geomat.cz/aplikace-co-resime/protierozni-ochrana/prirodni-ochrana-svahu/>
60. Geomat ©2024b): Kokosové a jutové sítě, rohože, válce, textilie v protierozní ochraně a zpevňování svahů (online) [cit. 29.2.2024], dostupné z <https://www.geomat.cz/blog/kokosove-a-jutove-site-rohoze-valce-textilie-v-protierozni-ochrane-a-zpevnovani-svahu/>
61. Juteko ©2024: Geotextilie (online) [cit. 16.2.2024], dostupné z <https://www.juteko.cz/kategorie/geotextilie-protierozni-site/>
62. VÚMOP © 2024: Eroze půdy (online) [cit. 1.11.2023] dostupné z <https://www.vumop.cz/eroze-pudy>

9 Přílohy

Příloha č. 1: Tabulka se záznamy dat, kontrolní plocha, intenzita **1D**

vzorek PO	číslo FP	před vysušením				po vysušení			
		hmotnost FP	hmotnost FP se sedimentem	objem vzorku	objem přidané vody	hmotnost FP + sediment	hmotnost sediment	objem vzorku	koncentrace
		g	g	ml	ml	g	g	ml	g/ml
1-1-3	1	0,655	1,913	12		0,654	-0,001	12	-8,3E-05
1-1-6	2	0,654	1,841	11		0,664	0,010	11	0,000909
1-1-9	3	0,643	1,872	9,5		0,597	-0,046	9,5	-0,00484
1-1-12	4	0,653	1,910	11		0,658	0,005	11	0,000455
1-1-15	5	0,643	1,830	14,5	10	0,643	0,000	14,5	0
1-2-3	6	0,648	1,776	19,5		0,674	0,026	19,5	0,001333
	7	0,643	1,831			0,712	0,069		
1-2-6	8	0,644	1,930	75	10	0,756	0,112	75	0,00396
	9	0,648	1,682			0,764	0,116		
	10	0,647	2,063			0,701	0,054		
1-2-9	11	0,681	2,483			0,728	0,047		
	12	0,663	2,416			0,702	0,039		
	13	0,650	1,723	105	5	0,697	0,047	105	0,002781
	14	0,666	2,680			0,762	0,096		
	15	0,655	1,918			0,664	0,009		
	16	0,637	2,105			0,763	0,126		
1-2-12	17	0,629	2,308			0,674	0,045		
	18	0,682	2,976			0,669	-0,013		
	19	0,672	1,650			0,714	0,042		
	21	0,633	2,204	120	15	0,647	0,014	120	0,0034
	20	0,665	1,807			0,712	0,047		
	22	0,649	2,347			0,704	0,055		
	23	0,639	1,935			0,644	0,005		
	24	0,631	2,166			0,713	0,082		
	25	0,648	1,815			0,653	0,005		
1-2-15	26	0,656	1,594			0,705	0,049		
	27	0,648	2,114	80		0,727	0,079	80	0,002425
	28	0,638	1,734			0,704	0,066		
	29	0,646	2,241			0,749	0,103		
1-3-3	30	0,629	2,350			0,726	0,097		
	31	0,652	2,210	120	15	0,776	0,124	120	0,004133
	32	0,641	2,258			0,813	0,172		
1-3-6	33	0,657	2,069			0,731	0,074		
	34	0,672	2,254	110	10	0,774	0,102	110	0,002709
	35	0,619	1,612			0,741	0,122		
1-3-9	36	0,628	2,179			0,719	0,091		
	37	0,623	2,240	105		0,718	0,095	105	0,003419
	38	0,641	2,358			0,814	0,173		
	39	0,606	2,237			0,718	0,112		
1-3-12	40	0,615	2,158	190	80	0,882	0,267	110	0,005291
	41	0,617	1,661			0,820	0,203		
1-3-15	42	0,604	1,825			0,680	0,076		
	43	0,618	1,713	105		0,674	0,056	105	0,001257
	44	0,641	1,641			0,747	0,106		
1-4-3	45	0,599	2,283	165	20	0,773	0,174	145	0,002179
	46	0,629	1,820			0,665	0,036		
1-4-6	47	0,623	2,730			0,875	0,252		
	48	0,608	1,800	115	10	0,781	0,173	105	0,004048
1-4-9	49	0,626	2,236			0,771	0,145		
	50	0,629	2,231	115		0,822	0,193	115	0,002939
1-4-12	51	0,625	2,158	120		0,885	0,260	120	0,002167
1-4-15	52	0,633	2,211	115	10	0,810	0,177	105	0,001686
1-5-3	53	0,619	2,054			0,750	0,131		
	54	0,628	1,784	115	10	0,778	0,150	105	0,002676
1-5-6	55	0,622	1,919			0,747	0,125		
	56	0,625	2,400	125		0,912	0,287	125	0,003296
1-5-9	57	0,608	2,351			0,891	0,283		
	58	0,613	1,697	120	10	0,849	0,236	110	0,004718
1-5-12	59	0,607	2,267			0,978	0,371		
	60	0,630	2,430	105		0,974	0,344	105	0,00681
1-5-15	61	0,640	2,013			0,839	0,199		
	62	0,652	1,963	120	10	0,768	0,116	110	0,002864
1-kontrola							6,810		

Příloha č. 2: Tabulka se záznamy dat, plocha s jutou, intenzita **1D**

vzorek PO	číslo FP	před vysušením				po vysušení			
		hmotnost FP	hmotnost FP se sedimentem	objem vzorku	objem přidané vody	hmotnost FP + sediment	hmotnost sediment	objem vzorku	koncentrace
		g	g	ml	ml	g	g	ml	g/ml
4-1-3	111	0,618	1,782	10		0,627	0,009	10,000	0,0009
4-1-6	112	0,623	1,298	25		0,632	0,009	25,000	0,00036
4-1-9	113	0,636	0,59	20		0,643	0,007	20,000	0,00035
4-1-12	114	0,604	1,79	40		0,611	0,007	40,000	0,000175
4-1-15	115	0,624	1,548	10		0,628	0,004	10,000	0,0004
4-2-3	116	0,661	1,942	25		0,667	0,006	25,000	0,00024
4-2-6	117	0,672	1,896	20		0,678	0,006	20,000	0,0003
4-2-9	118	0,624	0,192	25		0,634	0,010	25,000	0,0004
4-2-12	119	0,637	1,625	25		0,644	0,007	25,000	0,00028
4-2-15	120	0,654	1,775	20		0,662	0,008	20,000	0,0004
4-3-3	121	0,601	1,185	25		0,611	0,010	25,000	0,0004
4-3-6	122	0,613	1,853	50		0,624	0,011	50,000	0,00022
4-3-9	123	0,603	1,517	55		0,623	0,020	55,000	0,000364
4-3-12	124	0,646	1,966	70		0,67	0,024	70,000	0,000343
4-3-15	125	0,632	1,809	70		0,667	0,035	70,000	0,0005
4-4-3	126	0,63	1,99	95		0,655	0,025	95,000	0,000263
4-4-6	127	0,66	2,077	140		0,674	0,014	140,000	0,0001
4-4-9	128	0,601	2,024	130		0,669	0,068	130,000	0,000523
4-4-12	129	0,605	2,077	130		0,704	0,099	130,000	0,000762
4-4-15	130	0,656	1,728	130		0,688	0,032	130,000	0,000246
4-5-3	131	0,619	1,957	125		0,676	0,057	125,000	0,000456
4-5-6	132	0,617	1,932	131		0,658	0,041	131,000	0,000313
4-5-9	133	0,646	2,111	133		0,687	0,041	133,000	0,000308
4-5-12	134	0,627	2,065	135	10	0,711	0,084	135,000	0,000622
4-5-15	135	0,653	2,152	105		0,733	0,080	105,000	0,000762
4 - juta							0,705		

Příloha č. 3: Tabulka se záznamem dat, kontrolní plocha, intenzita 4S

vzorek PO	číslo FP	před vysušením				po vysušení			
		hmotnost FP	hmotnost FP se sedimentem	objem vzorku	objem přidané vody	hmotnost FP + sediment	hmotnost sediment	objem vzorku	koncentrace
		g	g	ml	ml	g	g	ml	g/ml
1-1-3	136	0,653	1,599	65	10	0,752	0,099	55	0,002
1-1-6	137	0,64	2,34	55		0,765	0,125	55	0,002
1-1-9	138	0,616	3,015	125	10	0,942	0,326	115	0,003
1-1-12	140	0,604	3,647	145		1,817	1,213	145	0,008
1-1-15	139	0,63	1,984	155	10	0,795	0,165	145	0,002
	142	0,614	1,64			0,764	0,15		
1-2-3	141	0,637	3,951	185	50	1,116	0,479	135	0,004
1-2-6	143	0,586	3,498	160	10	1,5	0,914	150	0,006
1-2-9	144	0,607	3,664	140		1,608	1,001	140	0,007
1-2-12	145	0,634	4,457	140		1,559	0,925	140	0,007
1-2-15	146	0,617	3,13	155	10	1,146	0,529	145	0,004
1-3-3	147	0,65	4,129	135		1,79	1,14	135	0,008
1-3-6	148	0,599	3,863	170	50	1,604	1,005	120	0,008
1-3-9	149	0,643	3,84	175	20	1,508	0,865	155	0,006
1-3-12	150	0,673	3,955	130		1,694	1,021	130	0,008
1-3-15	151	0,647	2,167	145	20	0,923	0,276	125	0,002
1-4-3	152	0,653	4,187	130		1,872	1,219	130	0,009
1-4-6	153	0,624	4,661	130		1,6	0,976	130	0,008
1-4-9	155	0,588	3,571	140		1,628	1,04	140	0,007
1-4-12	154	0,588	4,538	135	15	1,666	1,078	120	0,009
1-4-15	156	0,615	2,98	130		1,207	0,592	130	0,005
1-5-3	158	0,639	3,605	145	20	1,596	0,957	125	0,008
1-5-6	157	0,625	3,616	125		1,591	0,966	125	0,008
1-5-9	159	0,618	3,773	145		1,954	1,336	145	0,009
1-5-12	160	0,612	4,591	140	10	1,714	1,102	130	0,008
1-5-15	161	0,633	3,059	145		1,073	0,44	145	0,003
1 kontrola							19,939		

Příloha č. 4: Tabulka se záznamem dat, plocha s jutou, intenzita 4S

vzorek PO	číslo FP	před vysušením				po vysušení			
		hmotnost FP	hmotnost FP se sedimentem	objem vzorku	objem přidané vody	hmotnost FP + sediment	hmotnost sediment	objem vzorku	koncentrace
		g	g	ml	ml	g	g	ml	g/ml
4-1-3	212	0,63	1,496	70		0,667	0,037	70	0,001
4-1-6	213	0,616	1,32	90	10	0,674	0,058	80	0,001
4-1-9	214	0,612	1,409	95	10	0,232	-0,38	85	-0,004
4-1-12	215	0,599	1,891	80		0,651	0,052	80	0,001
4-1-15	216	0,658	1,448	60		0,677	0,019	60	0,000
4-2-3	217	0,634	2,094	70	10	0,736	0,102	60	0,002
4-2-6	218	0,639	2,071	125	10	0,743	0,104	115	0,001
4-2-9	219	0,654	2,229	105		0,748	0,094	105	0,001
4-2-12	220	0,651	2,01	130	20	0,747	0,096	110	0,001
4-2-15	221	0,68	2,03	125		0,778	0,098	125	0,001
4-3-3	222	0,673	2,087	110		0,767	0,094	110	0,001
4-3-6	223	0,644	2,005	115		0,759	0,115	115	0,001
4-3-9	224	0,651	2,089	120		0,689	0,038	120	0,000
4-3-12	225	0,667	2,248	115		0,771	0,104	115	0,001
4-3-15	226	0,657	2,008	120		0,739	0,082	120	0,001
4-4-3	227	0,663	2,279	110		0,778	0,115	110	0,001
4-4-6	228	0,67	2,134	110		0,77	0,1	110	0,001
4-4-9	229	0,659	2,258	120		0,759	0,1	120	0,001
4-4-12	230	0,646	2,211	130	10	0,778	0,132	120	0,001
4-4-15	231	0,627	2,087	115		0,757	0,13	115	0,001
4-5-3	232	0,648	2,105	130		0,702	0,054	130	0,000
4-5-6	233	0,659	1,98	135	20	0,776	0,117	115	0,001
4-5-9	234	0,635	2,044	125		0,751	0,116	125	0,001
4-5-12	235	0,638	2,092	130	10	0,752	0,114	120	0,001
4-5-15	236	0,66	2,048	120		0,776	0,116	120	0,001
juta							1,807		

Příloha č. 5: Tabulka se záznamem dat, kontrolní plocha, intenzita 4D

vzorek PO	číslo FP	před vysušením				po vysušení			
		hmotnost FP	hmotnost FP se sedimentem	objem vzorku	objem přidané vody	hmotnost FP + sediment	hmotnost sediment	objem vzorku	koncentrace
		g	g	ml	ml	g	g	ml	g/ml
1-1-3	237	0,663	2,608	155	50	0,946	0,283	105	0,020
	238	0,676	4,946			2,425	1,749		
	239	0,625	1,668			0,740	0,115		
1-1-6	240	0,672	3,160	120	20	1,234	0,562	100	0,024
	241	0,643	3,050			1,219	0,576		
	242	0,631	4,468			1,934	1,303		
1-1-9	243	0,630	5,996	120	50	3,078	2,448	70	0,071
	244	0,650	5,932			3,171	2,521		
1-1-12	245	0,657	3,721	150	50	1,594	0,937	100	0,030
	246	0,677	6,198			2,782	2,105		
1-1-15	247	0,629	2,947	130	20	1,179	0,550	110	0,015
	248	0,626	3,632			1,714	1,088		
1-2-3	249	0,625	5,540	120	20	2,703	2,078	100	0,021
1-2-6	250	0,619	4,816	120	20	2,394	1,775	100	0,018
1-2-9	251	0,617	5,727	130	20	2,888	2,271	110	0,021
	252	0,645	1,298			0,698	0,053		
1-2-12	253	0,633	2,853	140	30	1,160	0,527	110	0,020
	254	0,664	4,878			2,356	1,692		
1-2-15	255	0,622	2,379	150	30	0,999	0,377	120	0,020
	256	0,643	5,337			2,641	1,998		
1-3-3	257	0,636	2,880	135	30	1,284	0,648	105	0,022
	258	0,604	4,356			2,274	1,670		
1-3-6	259	0,613	2,741	155	50	1,100	0,487	105	0,024
	260	0,642	5,443			2,651	2,009		
1-3-9	261	0,640	2,585	135	20	1,194	0,554	115	0,017
	262	0,606	3,387			2,008	1,402		
1-3-12	263	0,623	3,145	130	20	1,328	0,705	110	0,017
	264	0,642	3,125			1,790	1,148		
1-3-15	265	0,619	3,948	140	40	2,008	1,389	100	0,017
	266	0,603	2,486			0,911	0,308		
1-4-3	267	0,603	4,505	125	20	2,339	1,736	105	0,017
1-4-6	268	0,605	7,327	145	0	4,557	3,952	145	0,027
1-4-9	269	0,615	4,519	120	0	2,885	2,270	120	0,019
1-4-12	270	0,606	2,947	150	30	1,393	0,787	120	0,013
	271	0,610	2,563			1,435	0,825		
1-4-15	272	0,655	2,791	135	20	1,129	0,474	115	0,011
	273	0,616	2,740			1,427	0,811		
1-5-3	274	0,629	5,724	140	20	2,928	2,299	120	0,019
1-5-6	275	0,609	2,847	120	20	1,116	0,507	100	0,017
	276	0,632	4,230			1,872	1,240		
1-5-9	277	0,619	2,869	140	20	1,215	0,596	120	0,014
	278	0,640	3,678			1,686	1,046		
1-5-12	279	0,653	2,917	160	40	1,244	0,591	120	0,017
	280	0,657	3,581			2,120	1,463		
1-5-15	281	0,642	2,516	150	20	1,202	0,560	130	0,003
	282	0,647	2,701			0,516	-0,131		
1-kontrola							54,354		

Příloha č. 6: Tabulka se záznamem dat, plocha s jutou, intenzita 4D

vzorek PO	číslo FP	před vysušením				po vysušení			
		hmotnost FP	hmotnost FP se sedimentem	objem vzorku	objem přidané vody	hmotnost FP + sediment	hmotnost sediment	objem vzorku	koncentrace
		g	g	ml	ml	g	g	ml	g/ml
4-1-3	346	0,640	2,348	125	0	0,673	0,033	125	0,000
4-1-6	347	0,626	2,448	125	0	0,822	0,196	125	0,002
4-1-9	348	0,581	2,136	155	20	0,709	0,128	135	0,002
	351	0,619	2,313			0,763	0,144		
4-1-12	349	0,631	2,307	160	30	0,726	0,095	130	0,002
	352	0,638	2,449			0,841	0,203		
4-1-15	350	0,586	2,273	140	30	0,787	0,201	110	0,002
	353	0,617	2,482			0,791	0,174		
4-2-3	354	0,637	2,437	165	33	0,803	0,166	132	0,001
	356	0,615	2,555			0,871	0,256		
4-2-6	355	0,636	2,377	155	20	0,770	0,134	135	0,001
	357	0,665	2,898			0,913	0,248		
4-2-9	358	0,648	2,317	175	20	0,756	0,108	155	0,001
	361	0,613	2,745			0,800	0,187		
4-2-12	359	0,651	2,060	155	10	0,809	0,158	145	0,001
	360	0,646	1,880			0,880	0,234		
4-2-15	362	0,664	1,985	75	30	0,777	0,113	45	0,003
	363	0,658	2,184			0,832	0,174		
4-3-3	364	0,642	2,277	130	60	0,802	0,160	70	0,002
	365	0,645	2,414			0,954	0,309		
4-3-6	366	0,661	2,169	155	30	0,783	0,122	125	0,001
	367	0,648	2,561			0,916	0,268		
4-3-9	368	0,654	2,183	140	30	0,725	0,071	110	0,001
	369	0,665	2,395			0,890	0,225		
4-3-12	370	0,686	1,683	145	30	0,827	0,141	115	0,001
	371	0,679	1,424			0,771	0,092		
4-3-15	372	0,652	1,559	160	20	0,739	0,087	140	0,001
	373	0,668	1,719			0,888	0,220		
4-4-3	374	0,652	2,077	150	20	0,774	0,122	130	0,001
	375	0,614	1,467			0,836	0,222		
4-4-6	376	0,597	1,923	150	20	0,658	0,061	130	0,000
	377	0,594	2,156			0,709	0,115		
4-4-9	378	0,651	2,321	155	10	0,787	0,136	145	0,001
	379	0,648	2,516			0,902	0,254		
4-4-12	380	0,667	1,610	150	40	0,790	0,123	110	0,001
	381	0,640	2,105			0,840	0,200		
4-4-15	382	0,658	2,630	145	20	0,760	0,102	125	0,001
	383	0,599	2,333			0,644	0,045		
4-5-3	384	0,646	1,429	140	20	0,750	0,104	120	0,001
	385	0,617	1,672			0,858	0,241		
4-5-6	386	0,623	2,042	140	20	0,652	0,029	120	0,000
	387	0,654	2,924			0,786	0,132		
4-5-9	388	0,638	2,411	125	20	0,671	0,033	105	0,000
	389	0,629	2,441			0,780	0,151		
4-5-12	390	0,655	2,171	140	20	0,686	0,031	120	0,000
	391	0,640	2,549			0,741	0,101		
4-5-15	392	0,634	2,220	130	20	0,664	0,030	110	0,000
	393	0,640	2,323			0,737	0,097		
4-juta							6,976		