

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Srovnání doby výtopy způsobené simulovaným
deštěm o konstantní a proměnné intenzitě –
laboratorní studie

Autor: Bc. Jana Maňáková

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

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jana Maňáková

Regionální environmentální správa

Název práce

Srovnání doby výtopy způsobené simulovaným deštěm o konstantní a proměnné intenzitě – laboratorní studie

Název anglicky

Comparison of ponding time caused by simulated rainfall of constant and variable intensity – laboratory study

Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce je provést sérii měření infiltrace s využitím simulace deště a vyhodnotit rozdíly v době výtopy způsobené simulovaným deštěm o konstantní a proměnné intenzitě.

Dílčím cílem práce je v rámci rešerše stručně popsat problematiku srážko-odtokového procesu povodí, povodní a eroze půdy způsobené povrchovým odtokem.

Metodika

Literární rešerše bude zpracována na základě čerpání informací z tuzemské a zahraniční literatury, praktická část bude založena na dokumentaci měření v laboratoři, práce s infiltrometrem a způsobu zpracování naměřených dat. V závěru budou porovnány hodnoty doby výtopy způsobené simulovaným deštěm o konstantní a proměnné intenzitě.

Doporučený rozsah práce

40-60 normostran

Klíčová slova

infiltrace, infiltrometr, intenzita deště, povodně, povrchový odtok, eroze

Doporučené zdroje informací

- HOLÝ, M. *Eroze a životní prostředí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01078-3.
KUTÍLEK, M. – NIELSEN, D R. *Soil hydrology*. Cremlingen-Destedt: Catena, 1994. ISBN 3-923381-26-3.
MORGAN, R P C. *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell, 2005. ISBN 1-4051-1781-8.
SCHMIDT J., 2000: *Soil Erosion: application of physically based models*. Springer, Germany.
SCHWAB G. O., 1993: *Soil and water conservation engineering*. Wiley, New York.
ŠILAR, J. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Centrum pro otázky životního prostředí UK, 1996. ISBN 80-7078-361-3.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 12. 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Jany Kalibové, Ph.D. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala. Další informace mi poskytli autoři uvedení v seznamu zdrojů.

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

V Chlumci nad Cidlinou dne 4.12.2019

.....

Bc. Jana Maňáková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí mé diplomové práce, paní Ing. Janě Kalibové, Ph.D., za její odbornou pomoc, konzultace, udání směru mé práce a za poskytnutí mnoha cenných rad při jejím zpracování.

V Chlumci nad Cidlinou dne 4.12.2019

.....

Bc. Jana Maňáková

Abstrakt

Tato diplomová práce dokumentuje výsledky série měření doby výtopy s využitím simulovaného deště o proměnné a konstantní intenzitě. Cílem práce bylo srovnání rozdílů v době výtopy při konstantní a proměnné intenzitě příčinné dešťové srážky. V březnu 2018 bylo provedeno 22 měření v laboratoři na uměle vytvořeném půdním profilu. K měření byl použit prototyp infiltrometru, který je vyvíjen v rámci výzkumného projektu TAČR TH02010802 „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“ (2017-2020). V metodice práce je popsán infiltrometr a jeho části. Je popsáno, jak se přístroj ovládá a nastavuje a s pomocí fotodokumentace je popsána jeho instalace na půdním profilu a měření. V rešeršní části je pak stručně popsána problematika srážko-odtokového procesu v povodí, eroze způsobené povrchovým odtokem, atmosférické srážky a povodně. Dále je zde stručně popsána infiltrace a metody měření infiltrace. Výsledky práce nepotvrdily, ani nevyvrátily hypotézu, že při konstantní intenzitě deště dojde k výtopě rychleji než při intenzitě proměnné.

Klíčová slova

- Infiltrace, infiltrometr, intenzita deště, povodně, povrchový odtok, eroze

Abstract

The aim of this thesis is to carry out a series of measurements using simulated rainfall with variable and constant intensity and to compare the periods of discharge at these intensities. In March 2018, 22 measurements were carried out in the laboratory on an artificial soil profile. The infiltrometer prototype, which is being developed as part of the TAČR TH02010802 research project "Early Prediction of Floods Based on Direct Infiltration Measurement" (2017-2020), was used for the measurement. Infiltrator and its parts are described in the work methodology. It is explained how the device is handled and set and with the help of photo documentation its installation on soil profile and measurement is described as well. In the research part, the issue of rainfall-runoff process in the catchment area, erosion caused by surface runoff, atmospheric precipitation and floods are covered. Furthermore, infiltration and methods of measuring of infiltration are briefly described. The results of the work neither confirmed nor disapproved the hypothesis that at a constant rain intensity, the floods will come faster than at a variable intensity.

Key words

- Infiltration, infiltrometer, rain intensity, floods, surface runoff, erosion

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Metodika	3
3.1 Popis přístroje	4
3.2 Popis funkcí infiltrometru.....	6
3.3 Nastavení přístroje použité v rámci této diplomové práce.....	8
3.4 Průběh měření.....	8
3.5 Vyhodnocení dat.....	11
3.6 Proces vytvoření půdního profilu	13
4. Literární rešerše.....	14
4.1 Atmosférické srážky	14
4.1.1 Druhy srážek	15
4.1.2 Měření srážek	17
4.1.3 Meteorologické stanice.....	17
4.2 Povrchový odtok.....	18
4.3 Infiltrace.....	19
4.3.1 Metody měření infiltrace	20
4.3.2 Faktory ovlivňující infiltraci.....	24
4.4 Eroze.....	26
4.4.1 Vodní eroze.....	27
4.4.2 Sněhová eroze.....	28
4.4.3 Ledovcová eroze.....	28
4.4.4 Větrná eroze.....	29
4.4.5 Antropogenní eroze	29
4.5 Povodně	30

4.5.1 Historické případy přívalových povodní	30
4.5.2 Ochrana před povodněmi.....	31
4.5.3 Lokální výstražné systémy	32
4.3.4 Technologická agentura ČR a prototyp infiltrometru.....	33
5. Výsledky a diskuze	33
5.1 Měření v laboratoři dne 13.3.2018	35
5.2 Měření v laboratoři dne 20.3.2018	37
5.3 Měření v laboratoři dne 27.3.2018	38
6. Závěr.....	42
7. Seznam použitých zdrojů	43
8. Seznam obrázků a tabulek.....	48

1. Úvod

Od konce 90. let jsou v České republice (ČR) významným vodohospodářským problémem povodně. Kromě rozsáhlých povodní z let 1997, 2002 a 2006 postihují však řadu obcí České republiky pravidelně také lokální bleskové povodně. Jedná se o povodňové události probíhající v území do 100 ha v povodích do 10 km², které v důsledku svého malého rozsahu a lokálního významu unikají pozornosti široké veřejnosti i centrálních orgánů veřejné správy. Každoročně tak na území ČR dochází k 60-100 lokálním bleskovým povodním, které poškozují obce zejména na horních částech toků a v podhorských či horských oblastech (Čamrová a kol. 2006).

Následky lokálních bleskových povodní se zabývají především orgány obce ve spolupráci s postiženými občany. Realizace případné protipovodňové ochrany rovněž spočívá na obecním úřadě, který problematiku řeší v rámci svých omezených finančních možností a územních pravomocí (Čamrová a kol. 2006). Bleskové povodně jsou těžko předvídatelné a způsobují škody na majetku, v nejhorších případech i na životech. Proto je potřeba vyvinout dobře fungující varovný systém, který pomůže předpovídat bleskové povodně.

V této diplomové práci bude představen prototyp infiltrometru, který je novinkou v oblasti předpovědi bleskových povodní. Má tvořit základ nového, přesnějšího varovného systému. Infiltrometr je založen na přímém měření infiltrační schopnosti půd, zohledňující zejména jejich stupeň nasycení předchozími srážkami jako hlavní indikátor rizika tvorby povrchového odtoku a následných jevů (Kalibová 2019).

Doposud byla infiltrační schopnost půdy měřena buď metodou výtopy, nebo simulací deště o konstantní intenzitě. Výhodou představovaného infiltrometru je především to, že umí simulovat proměnnou intenzitu deště, která více odpovídá skutečnému dešti. Také je lehce přenosný a snadný na užívání.

Cílem práce je vyhodnotit rozdíly v době výtopy způsobené dešťovou srážkou o proměnné i konstantní intenzitě a potvrdit, nebo vyvrátit hypotézu, že při konstantní intenzitě dojde k výtopě dřív než při proměnné.

2. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je:

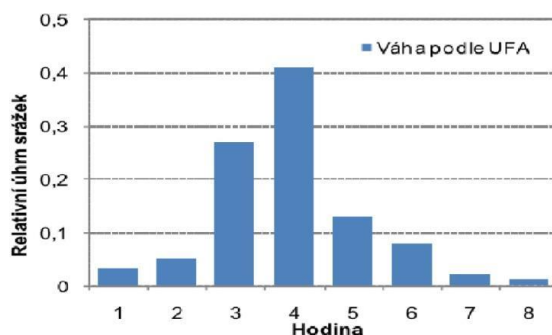
- provést sérii měření doby výtopy s využitím simulace deště o proměnné a konstantní intenzitě,
- vyhodnotit rozdíly v době výtopy při konstantní a proměnné intenzitě deště,

V rámci literární rešerše bude stručně popsána problematika srážko-odtokového procesu v povodí, povodní a eroze půdy způsobené povrchovým odtokem. Dále zde budou popsány základní typy měření infiltrace.

3. Metodika

V kapitole „Metodika“ je popsán přístroj infiltrometr. Jedná se o prototyp zařízení pro kontinuální měření infiltrace metodou simulace deště. Přístroj je unikátní tím, že umožňuje simulovat zátěžový dešť o konstantní i proměnné intenzitě. Výstupem měření je kromě záznamu infiltračního procesu i informace o době výtopy. Předchozí verze přístroje (simulující pouze dešť o konstantní intenzitě) již byla úspěšně otestována v provozu. Stávající prototyp je vyvíjen v rámci výzkumného projektu TAČR TH02010802 „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“ (2017-2020). Projekt navrhuje originální postup včasné predikce přívalových povodní, založený na přímém měření infiltrační schopnosti půd, zohledňující zejména jejich stupeň nasycení předchozími srážkami jako hlavní indikátor rizika tvorby povrchového odtoku a následných jevů (Kalibová 2019). Výhodou tohoto přístroje je jeho snadné ovládání. Do budoucna se počítá s tím, že by vlastníky přístroje mohli být například starostové obcí z oblastí ohrožených bleskovými povodněmi.

V práci je popsán postup nastavení přístroje, jeho instalace do půdního profilu a měření doby výtopy. Měření probíhala v laboratorních podmínkách České zemědělské univerzity v Praze. Prototypem infiltrometru byly měřeny dva typy srážek. Konstantní srážka, kdy intenzita deště je po celou dobu trvání srážky stejná, a proměnná srážka. U proměnné srážky dochází v průběhu jejího trvání ke změnám intenzity deště. Průběh intenzity napodobuje přirozený dešť a odpovídá hyetogramu, dle ÚFA (Ústav fyziky atmosféry) Akademie věd ČR (obrázek č. 1).



Obrázek č. 1: Hyetogram dle ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR zobrazující proměnnou srážku

(Zdroj: Jeníček 2009)

3.1 Popis přístroje

Hlavní částí infiltrometru je kontrolní jednotka. Na kontrolní jednotce se nachází několik tlačítek, která slouží k obsluze přístroje (viz obrázek č. 2). Základním tlačítkem je tlačítko START, kterým se přístroj uvede do provozu. Druhým tlačítkem Esc se dostaneme do ovládacího menu. Dále přístroj obsahuje tlačítka F1, F2, F3 a F4, kterými se pohybujeme v menu a tlačítko OK, kterým potvrzujeme výběr.



Obrázek č. 2: *Kontrolní jednotka sloužící k ovládání přístroje*

Další součástí infiltrometru je půdní sonda ve tvaru kroužku neboli prstence, která se zatlačí do půdního profilu. Prstenec má průměr 100 mm a je k němu připevněn hrot, který nám indikuje výtopu kroužku. Hrot je ke kroužku připevněn pomocí šroubu, jehož uvolnění nám dovolí pohybovat hrotem a tím nastavit jeho výšku nad terénem. Protože prstenec o průměru 100 mm je určen pro měření doby výtopy u proměnného deště pouze při nižší intenzitě, byl v mém případě použit menší prstenec o průměru 61 mm. V menším prstenci je možné měřit dobu výtopy pro všechny typy intenzity deště u konstantního i proměnného typu deště.

Přístroj lze propojit s prstencem pomocí dvou kabelů označených jako VÝTOPA nebo INFILTROMETR. Kabel VÝTOPA slouží k měření doby výtopy způsobené skutečným (reálným) deštěm a kabel INFILTROMETR k měření doby výtopy způsobené simulovaným deštěm. Diplomová práce se zabývá měřením doby výtopy způsobené simulovaným deštěm, proto byl použit kabel INFILTROMETR, který má dva výstupy. Jeden výstup se připojí na prstenec, přímo pod upevnění hrotu, druhý výstup (černý) se nasadí na konec hrotu, který směřuje ven z prstence (obrázek č. 3).



Obrázek č. 3: *Upevnění hrotu ke kroužku*

Na ovládací jednotce se dále nachází USB konektor, který slouží k připojení přístroje k PC a stahování dat a vstup pro kabel od nabíječky. Přístroj je vybaven bateriemi, které plně nabitě vydrží několik hodin měření. Je zde možnost i solárního nabíjení. Dále zde najdeme dva výstupy IN a OUT, jak můžeme vidět na obrázku č. 4. Na výstup IN se napojí hadička s filtrem, která nasává vodu ze zdroje do čerpadla infiltrometru. Na výstup OUT se napojí hadička, která přivádí vodu z čerpadla do trysky. Zdrojem vody byla dvoulitrová kádinka s kohoutkovou vodou.



Obrázek č. 4: *Zapojení hadiček pro čerpání vody ze zásobní nádrže k čerpadlu a trysce simulátoru*

3.2 Popis funkcí infiltrometru

Po zapnutí přístroje tlačítkem START se pomocí tlačítka Esc dostaneme do menu, kde jsou na výběr čtyři možnosti (uveden je vždy název položky a vysvětlení její funkce):

1. Nastavení přístroje – zde se nastavují parametry pro měření

- Průměr prstence – standardní prstenec má průměr 100 mm, pro účely mé diplomové práce byl použit menší prstenec o průměru 61 mm (na větším prstenci není z kapacitních důvodů možné simulovat vysoké hodnoty intenzity deště při proměnném průběhu intenzity srážky),
- Výška hrotu nad terénem – udává se kvůli nerovnostem na půdním profilu, udává se obvykle 5 mm,
- Měření fáze 2 – jakmile dojde k výtopě a odtržení menisku, přístroj bude měřit pokračovat v měření. Pokud bychom nastavili, že nechceme měřit fázi 2, přístroj by po odtržení hrotu od hladiny ukončil měření,
- Indikace hladiny – přístroj zaznamená, že se hrot spojil s hladinou,
- Indikace periody – jakmile dojde ke spojení hrotu s hladinou, rozsvítí se LED dioda,
- Inverzní činnost čerpadla – nesouvisí s měřením pro diplomovou práci-připraveno pro budoucí využití přístroje,
- Počítání korekce hrotu – doba výtopy je upravena o dobu potřebnou pro nakapání objemu mezi povrchem terénu a hrotem,
- Detekce hladiny hrotem – jakmile se hrot dotkne hladiny, přístroj zaznamená čas výtopy,
- Lokalita – Z databáze přístroje se vybere lokalita, která odpovídá vstupním hodnotám návrhové srážky – N-letos, konkrétní hodnota intenzity deště. Pro účely této diplomové práce se lokalita nenastavovala,
- Ukončení měření – zde se nastavuje „pokračovat v maximální intenzitě“ což znamená, že po utržení hrotu dojde k dočerpání maximální možnou intenzitou

2. Nastavení přístroje

- Nastavení křivek – pro proměnnou intenzitu se nastavuje křivka 1, pro konstantní intenzitu křivka 2,
- Telefonní čísla – v budoucnu bude sloužit pro komunikaci s přístrojem přes SMS,

- Výběr lokality – pro mou práci se lokalita nenastavuje,
- Počet kroužků – jeden,
- Voda v nádrži – nastavíme tolik, kolik máme ve zdroji,
- Reální srážka – zde nastavíme, zda měříme reálnou srážku nebo simulovanou,
- Podsvícení LCD – necháme podle původního nastavení, nebo na uvážení uživatele,
- Vypínání LCD – při delší neaktivitě se LCD displej vypne a šetří baterii,
- Data měření na FTP server,

3. Ostatní

- Uložit nastavení – pro případ opakovaného měření nemusíme stále manuálně zadávat nastavení,
- Načíst nastavení – pro případ, že bychom chtěli načíst poslední uložené nastavení, nemusí se tak opakovat manuální nastavení,
- Výchozí nastavení – přístroj se vrátí do továrního nastavení,
- Přepnutí do programovacího modu,
- Restart systému,
- Čas běhu systému – ukazuje, jak dlouho je přístroj zapnutý,
- Zapnutí připojení k PC – pokud chceme stáhnout naměřená data do PC, musíme nejprve zapnout tuto možnost a poté přístroj pomocí kabelu připojit k PC,
- Síla signálu GSM,
- GSM/FTP – globální systém pro mobilní komunikaci,
- Přihlášení – slouží do budoucna pro použití mobilního telefonu ke vzdálenému přístupu,
- Odhlášení – slouží do budoucna pro použití mobilního telefonu ke vzdálenému přístupu,
- Výpis napětí,

4. Vypnutí přístroje

- Tento oddíl je využíván po ukončení měření a přenosu dat do počítače a slouží k vypnutí přístroje

3.3 Nastavení přístroje použité v rámci této diplomové práce

V rámci této diplomové práce nebyly využity všechny funkce přístroje. V následujících odstavcích jsou popsány pouze ty funkce, které byly nastaveny.

První sekci je „Nastavení pro měření“, kde bylo nastaveno:

- průměr prstence, nastaveno 61 mm,
- výška hrotu, nastaveno 5 mm,
- měření fáze 2, nastaveno ANO,
- indikace hladiny, nastaveno ANO,
- indikace periody, nastaveno ANO,
- inverzní činnost čerpadla, nastaveno NE,
- počítání korekce hrotu, nastaveno ANO,
- detekce hladiny hrotem, nastaveno ANO,
- pro vybrané čerpadlo lokalit, nastaveno NE,
- volba ukončení měření, nastavena maximální intenzita,

V druhé sekci „Nastavení přístroje“ bylo nastaveno následující:

- nastavení křivek, nastavena křivka 1 při měření proměnné intenzity, nastavena křivka 2 při měření konstantní intenzity,
- voda v nádrži, nastaveno 1,5 litrů,
- reální srážka, nastaveno NE,

Ve třetí sekci „Ostatní“ bylo pouze uloženo nastavení.

3.4 Průběh měření

Pokud je přístroj nastaven, přistoupíme k samotnému měření, které má několik fází. Těmi jsou zavodnění, kalibrace a měření.

Zavodnění – cílem zavodnění je dostat vodu do celého přístroje a odstranit vzduchové bubliny z hadiček. Proces zavodnění byl vybrán na displeji, spustil se klávesou OK a neměl předem určenou dobu trvání. Nechával se běžet tak dlouho, dokud se voda nedostala do celého komplexu. Proces se dá urychlit poklepáním na hadičku v místě bubliny. Poté byl proces zavodnění na přístroji zastaven.

Kalibrace – před kalibrací bylo nutno hadičku, která se jinak nasazuje na trysku vložit, do odměrného válce. Cílem kalibrace je zjistit, kolik ml vody připadne na jeden pulz čerpadla infiltrometru. Z této hodnoty pak přístroj vychází při nastavení intenzity zátěžového simulovaného deště. Začátek kalibrace byl opět vybrán a tlačítkem OK spuštěn na displeji. Po spuštění přístroj začal pumpovat vodu ze zdroje v celkovém počtu 1000 pulzů. Průběh jsme mohli sledovat na displeji, kde se zobrazilo deset čárek a postupně se měnily v X. Po uběhnutí 1000 pulzů se přístroj zastavil a v odměrném válci bylo odečteno množství napumpované vody. Když se objem vody vydělil tisícem, byla získána hodnota objemu vody připadající na jeden pulz čerpadla.

Kalibraci je vhodné provádět minimálně třikrát. V mém případě se prováděla třikrát a výsledná průměrná hodnota byla zapsaná do přístroje. Průběh kalibrace je zachycen na obrázku č. 5.



Obrázek č. 5: *Soustava při kalibraci*

Měření – zde byla nastavena doba srážky na 15 minut a doba zkoušky na 60 minut. Dále se nastavilo, zda chceme měřit intenzitu konstantní nebo proměnnou a byl zadán úhrn srážek. Pro účely mé diplomové práce byl použit úhrn 45,61 mm, odpovídající návrhové srážce s dobou opakování $N=100$ let. To je určeno dle programu DES RAIN. Přístroj celkový úhrn srážky rozdělí dle zadané doby trvání a průběhu intenzity (proměnná, konstantní). Stanovení jednotlivých intenzit proběhlo metodou redukce jednodenních maximálních srážkových úhrnů (Kovář a kol. 2013).

Po nastavení všech potřebných parametrů se přechází k instalaci sondy (prstence) do půdy. Půdní povrch byl uměle vytvořen v laboratoři. Vytvoření půdního povrchu je

popsáno v kapitole s názvem „Proces tvorby vytvoření půdního profilu“ na straně č. 13 této práce. Jelikož laboratoř disponuje simulátorem deště, před zahájením instalace prstence byla provedena simulace deště nad celým půdním profilem ve žlabu. Tím došlo k nasycení půdního profilu a částečně i k jeho sjednocení a vylepšení struktury. Se zvyšující se nasyceností dochází k výtopě v kratším čase. Na žlab se přšlo tak dlouho, dokud se nezačaly tvořit kaluže. Poté byl menší prstenec zatlačen do půdního profilu, přibližně 2-3 cm do hloubky. Větší prstenec, ke kterému je připevněn hrot, byl zatlačen tak, aby menší byl přibližně v jeho středu. Hrot byl nastaven tak, aby byl přibližně 5 mm nad půdním povrchem. Aby nastavení hrotu bylo co nejpřesnější, používalo se při nastavování pravítko. Protože uzemnění bylo vedeno fastonem jen do vnějšího prstence, zatímco voda byla vstříkována do prstence vnitřního, bylo tedy nutné oba prstence propojit elektrickými svorkami pro uzavření obvodu. V původním návrhu byla hadička připevněna na trysku. V mém případě, bylo vytvořeno provizorní řešení, kvůli umožnění simulace deště o vyšší intenzitě (tryska kapacitně nestačila). Hadička přivádějící vodu z čerpadla byla elektrickou páskou připevněna na gumovou palici podloženou prkýnkem a přes sítko přiváděla vodu do menšího prstence. Sítko bylo použito, aby nahradilo trysku. Vše je vidět na obrázku č. 6. Toto řešení je velmi provizorní, ovšem pro tento výzkum a srovnání doby výtopy při konstantní a proměnné intenzitě je postačující.

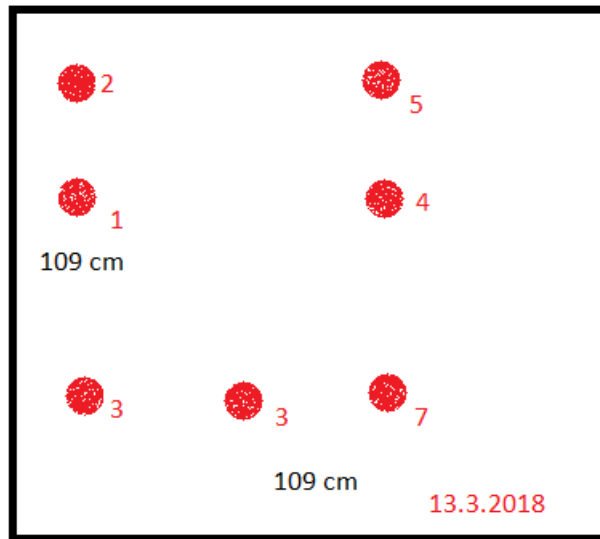
Měření trvalo 60 minut a celkově bylo provedeno 22 měření ve třech dnech. Po dokončení každého měření byla odejmuta palice s připevněnou hadičkou, odejmuty elektrické svorky, vyjmuty prstence z půdy a přemístěny přibližně o 20 cm dál. V případě, že nedocházelo ke změně nastavení měření, stačilo pouze potvrdit začátek dalšího měření. Pauzy mezi měřeními trvaly přibližně 5 minut.



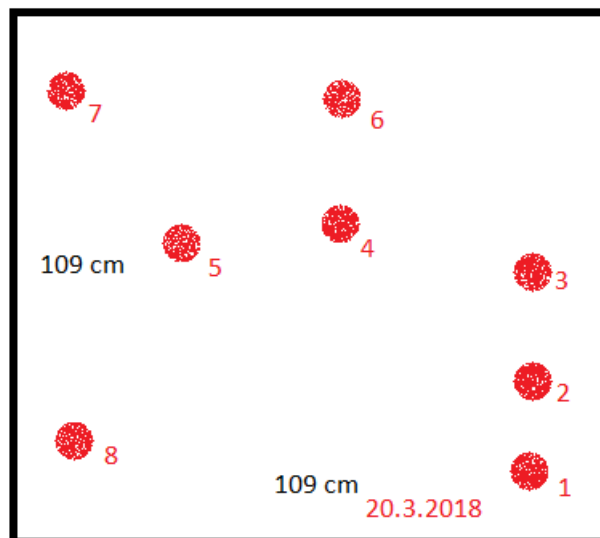
Obrázek č.6: *Instalace infiltrometru v laboratoři*

3.5 Vyhodnocení dat

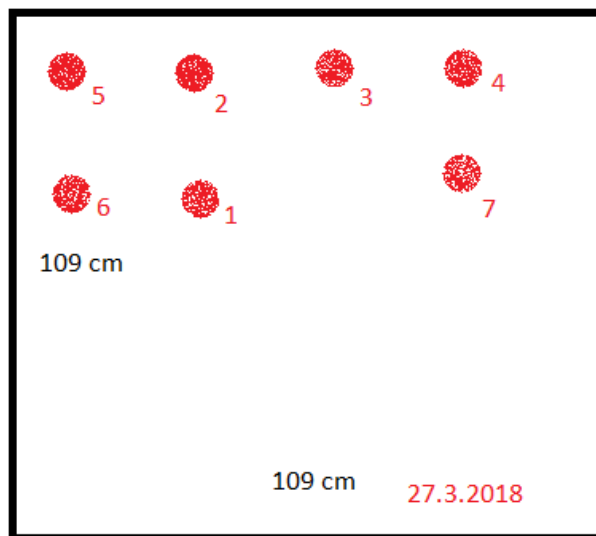
Zaznamenávání naměřených dat bylo provedeno v počítači. Měřila se doba výtopy způsobená simulovaným deštěm a všechna naměřená data byla zaznamenávána i ručně na papír. V závěru práce budou diskutovány výsledky a graficky porovnány doby výtopy způsobené srážkou o konstantní intenzitě a doby výtopy způsobené srážkou o proměnné intenzitě. Cílem této práce je potvrdit, nebo vyvrátit hypotézu, že intenzita deště má vliv na dobu výtopy. A že k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště než při proměnné intenzitě. Tato hypotéza se opírá o fakt, že u konstantní srážky je půdní profil ihned vystaven poměrně vysoké hodnotě, zatímco u proměnné srážky je intenzita deště nejprve mírná, pak dosáhne svého maxima a následně opět klesá. Schéma rozmístění jednotlivých sond je vidět na obrázcích č. 7, 8, 9.



Obrázek č.7: Rozmístění sond při měření ve dne 13.3.2018



Obrázek č.8: Rozmístění sond při měření ve dne 20.3.2018



Obrázek č.9: Rozmístění sond při měření ve dne 27.3.2018

3.6. Proces vytvoření půdního profilu

Půdní profil byl uměle vytvořen v podmínkách erozně sedimentační laboratoře ČZU. Pokusné odtokové žlaby jsou vidět na obrázku č. 10. Nejprve byla na dno žlabu uložena filtrační geotextilie o dostatečné povrchové hustotě, aby půdní částice nepropadávaly do odtokové části žlabu, ale zároveň bylo zajištěno proudění infiltrované vody. Na geotextilii byla nasypána část půdního vzorku. Vrstva přibližně 3-4 cm. Pomocí rovného prkna odpovídajícího velikosti boxu byla půda rovnoměrně rozložena po žlabu a upěchována pomocí cihly. Zemina nesmí být příliš vlhká, aby při udusávání cihlou nedocházelo k příliš velkému zhutnění.

Analogickým procesem byly přidávány zhruba dvoucentimetrové vrstvy půdy tak, aby nakonec dosahovala k okraji boxu a umožnila odvod povrchového odtoku do trojúhelníkového sběrného žlabu. Aplikované množství půdy bylo vždy předem zvaženo a celková váha byla zaznamenána. Ve všech čtyřech žlabech bylo navrstveno stejné množství půdy (Kalibová 2019). Zrnitostní rozbor byl proveden paní Ing. Pánkovou (Katedra biotechnických úprav krajiny). Na jehož základě bylo určeno procentuální zastoupení frakcí půdy, které je znázorněno na obrázcích č. 21, 22, 23.



Obrázek č. 10: *Pokusné odtokové žlaby s překlápěcími průtokoměry*

(Zdroj: Kalibová 2019)

4. Literární rešerše

Kapitola „Literární rešerše“ je zaměřena na srážko-odtokový proces v povodí, na srážky zasahující území České republiky, parametry ovlivňující schopnost půdního profilu infiltrovat povrchový odtok, erozi způsobenou povrchovým odtokem, a na negativní dopady přívalové povodně. V neposlední řadě také popisuje možnosti, jak bleskové povodně předvídat. Zde byl zmíněn varovný systém, meteorologické stanice a projekt TA ČR (Technologické agentury ČR). Podrobněji je pak tato kapitola zaměřena na samotný proces infiltrace vody do půdy a na způsoby měření infiltrace.

4.1 Atmosférické srážky

Atmosférické srážky jsou součástí hydrologického cyklu vody na Zemi. Jsou zdrojem pitné vody, mají také vliv na slanost oceánů a na charakter přírodního prostředí. Atmosférické srážky jsou velice důležité i pro celou řadu lidských činností. Obzvláště jsou důležité pro zemědělce, vodní hospodáře a lesníky. Právě ti jsou nejvíce dotčeni jejich přebytkem nebo nedostatkem. Pro jejich praxi má velký význam znalost prostorového rozložení srážek a jejich časových změn (Tolasz 2007).

Při pohybech vzduchu kondenzuje vodní pára a tvoří se oblak, který definujeme jako viditelnou soustavu kapek vody nebo ledových krystalků vznášejících se v ovzduší (Seifert 1987). Při teplotách pod 0 °C menší část přechlazených vodních kapek obsahující vhodná krystalizační jádra zmrzne v ledové částičky. Protože tlak nasycené vodní páry nad ledem je menší než tentýž tlak nad kapalnou vodou, vytvoří se pak záhy stav, kdy se kapičky přechlazené vody vypařují, zatímco ledové částice narůstají postupným ukládáním molekul vodní páry na svém povrchu. Po dosažení kritické velikosti, kdy jejich pádová rychlost převyší rychlost vzestupných pohybů vzduchu v oblaku, začnou ledové částice padat dolů, v oblasti pod hladinou teploty 0 °C tají a mění se v dešťové kapky. Atmosférickým srážkám padajícím k zemi říkáme hydrometeory (Bednář 2003).

V ČR se množství srážek liší v rámci střídajících se roční období a také v rámci různých nadmořských výšek. Na více než 60% území ČR roční úhrn srážek dosahuje 600-800 mm. Nejvíce srážek spadne od května do srpna a nejdeštivějším měsícem bývá zpravidla červenec. Naopak nejméně srážek bývá v únoru (Honsová 2006).

4.1.1 Druhy srážek

Srážky dělíme na horizontální a vertikální. Vertikální srážky jsou srážkami padajícími z oblaků. Patří mezi ně:

Mrholení – jsou srážky s vodními kapičkami o průměru menším než 0,5 mm a přinášejí většinou velmi nízké srážkové úhrny při minimálních intenzitách. Je typické pro podzimní měsíce. Mrholení, jehož kapky mrznou při dopadu na přechlazený zemský povrch říkáme mrznoucí mrholení. Bývá příčinou nebezpečných ledovek.

Děšť – vodní srážky vypadávající z oblaků v podobě kapek o průměru větším než 0,5 mm, a to až do průměru 5,5 mm. Děšť může být i mrznoucí. Je to děšť, jehož kapky mrznou po dopadu na přechlazený zemský povrch nebo předmět (Sobíšek 1993).

Sníh – sněžení jsou srážky zimního typu, kdy padají z oblaků sněhové vločky, z nichž každá má jedinečný tvar. Jedná se o tvar dendritu. Sníh nahromaděný ve větším množství na prochlazeném zemském povrchu se nazývá sněhová pokrývka. Jelikož z místa dopadu ihned neodtéká, představuje tak důležitý prvek v koloběhu vody v přírodě (Kopáček a spol. 2005, Fierz a kol. 2009).

Smíšené srážky – v podobě deště se sněhem. Vlivem výskytu kladných teplot ve výšce dochází k roztátí některých sněhových vloček do podoby dešťových kapek. Jde o srážky zimního typu, kdy se vyskytuje přechodové období mezi ustupujícím studeným a nastupujícím teplejším vzduchem, nebo naopak (pocasimeteoaktuality.com).

Sněhová zrna – tuhé srážky, které se skládají z malých zrněk ledu. Jsou neprůhledné, mají zploštělý nebo podlouhlý tvar a velikost menší než 1 mm. Při dopadu na povrch se netříští.

Sněhové krupky – tuhé srážky kulovitěho tvaru o velikosti 2-5 mm. Vzhledem často připomínají polystyrénové kuličky.

Kroupy – velké kusy ledu bílé barvy, které jsou produktem bouřek. Mají průměr 5-50 mm (Kopáček a spol. 2005). Kroupy jsou nebezpečné především svojí kinetickou energií. Jejich pád může způsobit i smrt.

Horizontálním srážkám můžeme říkat též srážky usazené, neboť jde o usazené vodní kapičky nebo zmrzlou vodu na zemském povrchu či na dalších předmětech.

Ovlhnutí – je způsobeno vysokou vlhkostí vzduchu a jedná se jen o velmi slabé navlhčení předmětů, které jsou vystaveny působení povětrnostních podmínek. Vyskytuje se na kamenech, ale především na vertikálních plochách, jako jsou kmeny stromů, sloupy a zdi.

Rosa – jedná se o kondenzované kapičky vody, které vznikají na vegetaci a na horizontálních plochách předmětů při povrchu země. Vyskytuje se za jasných nocí bez větru. Důležitá je dostatečná vlhkost vzduchu.

Jíní – je zmrzlá rosa usazující se na trávě a různých vodorovných plochách. Vzniká za předpokladu, že teplota povrchu je nižší než teplota rosného bodu. Ta je menší než 0°C.

Jinovatka – je obdobou jíní, avšak vzniká i na předmětech nad zemí jako jsou elektrická vedení, jehličí a větve, nebo střechy budov. Tvoří se při teplotách nižších než -8°C. Při poklepu z předmětů opadáva.

Námraza – sněhová, nebo ledová neprůhledná vrstva, která se usazuje na větvích a drátech a odolává i silnému větru (pocasimeteoaktuality.com).

V důsledku výskytu některých vertikálních nebo horizontálních srážek může dojít k výskytu následujících nebezpečných meteorologických jevů:

Ledovka – vzniká v důsledku mrznoucího deště. Jedná se o ledový povlak, který je hladký, průhledný a kompaktní. Je velmi nebezpečná pro silniční a letecký provoz.

Náledí – vzniká v důsledku zmrznutí mokrých povrchů po roztání sněhu, výskytu kapalných nebo tuhých či kombinací, a to za kladných teplot vzduchu. Po následném poklesu teploty vzduchu pod bod mrazu v přízemní vrstvě vzniká náledí (pocasimeteoaktuality.com).

4.1.2 Měření srážek

Srážky se udávají v milimetrech, tzn. vrstva spadlé vody, kdyby nebylo odtoku, výparu nebo vsaku. Měření srážek se standardně provádí pomocí srážkoměrů (ombrometrů nebo pluviometrů) umístěných 1 m nad povrchem (Dub 1969, Šilar 1996). U deště se kromě úhrnu měří také intenzita, která je dána podílem úhrnu a dobou trváním deště. Na odlehlých místech se používají totalizátory s větší sběrnou nádobou, jež umožňuje sběr srážek za delší časové období. V takovém sběrači je voda překryta vrstvou oleje, aby se zabránilo výpadu (Dub 1969, Pokorná a Zábranská 2008). V případě, kdy nelze srážky měřit přímo, je možno využít dálkového (satelitního) průzkumu srážek, jenž může být vhodný právě v odlehlých oblastech, Jedná se o metodu více senzorového snímání (Huffman 2007). Dnes se přechází na automatické srážkoměry. Jak je řečeno v diplomové práci slečny Novotné, automatizovaně se dnes měří srážky na 335 stanicích (Novotná 2018).

4.1.3 Meteorologické stanice

Meteorologické stanice slouží k získávání meteorologických dat v celosvětovém měřítku a jsou hlavními prostředky světového pozorovacího systému. Jejich úkolem je soustavné sledování počasí a jeho změn. Mimo to se v zájmu srovnatelnosti konají meteorologická pozorování v určitých termínech pozorování. Tyto termíny jsou stanoveny podle účelů, kterým meteorologická stanovení slouží (Meteocentrum 2009).

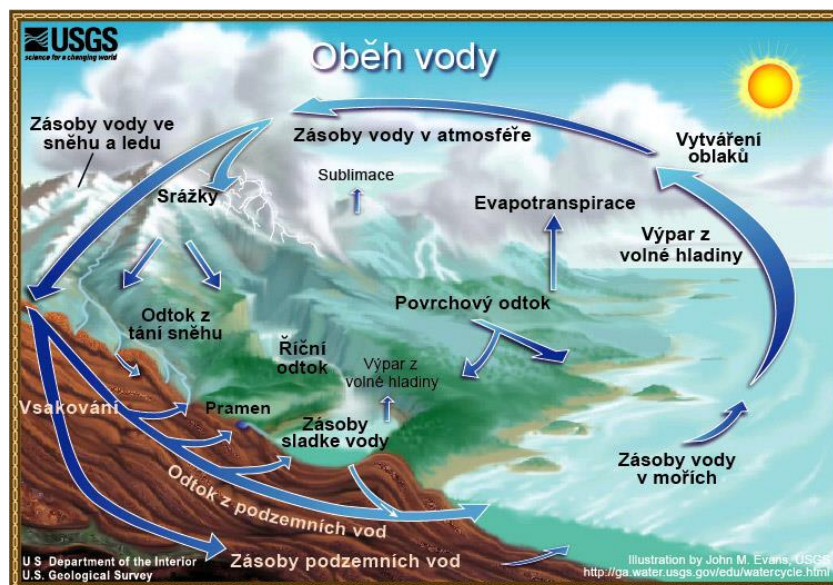
Meteorologické stanice se třídí podle různých hledisek:

- Podle odborného zaměření – synoptické, klimatologické, letecké, zemědělsko-meteorologické a se speciálním zaměřením,
- Podle charakteru získávání dat – přízemní a aerologické,
- Podle umístění – pozemní, námořní a na letadlech
- Podle poměru meteorologických pozorovatelů k meteorologickým stanicím – profesionální a dobrovolnické
- Podle stupně součinnosti s člověkem – stanice automatické a s lidskou obsluhou (Meteocentrum 2009).

Provozovatelem zajišťující hydrometeorologickou službu v České republice je Český hydrometeorologický úřad (ČHMÚ), který má sídlo v Praze. ČHMÚ je ústřední orgán České republiky pro obory kvality ovzduší, meteorologie, klimatologie či hydrologie. Mimo jiné je zodpovědný za provoz výstražné služby včetně Smogového varovného a regulačního systému. Kromě provozu staničních sítí a zajišťování odborných služeb se zabývá také vědecko-výzkumnou činností v oblastech zájmu. ČHMÚ má v České republice celkem 7 regionálních poboček (ČHMÚ 2018).

4.2 Povrchový odtok

Povrchový odtok je proces, který vzniká koncentrací povrchové vody. Většinou se jedná o vodní srážky, které se neinfiltují do půdy, protože intenzita srážek je vyšší, než je půdní infiltrační (retenční) kapacita (Matoušek 2010). Zjednodušeně lze říct, že srážky (dotace) převažují nad ztrátami. Povrchová voda, která odtéká z území říčních sítí, pochází z deště, ze sněhu, z výronů podzemních vod nebo z ledovců. V našich podmínkách jsou převládajícím zdrojem povrchového odtoku atmosférické srážky (déšť a sníh) a jejich množství předurčuje režim našich toků (Dub a Němec 1969). Povrchový odtok může ovlivnit mnoho faktorů, například charakteristika půdy, využívání půdy a charakteristika srážek (intenzita, frekvence, doba trvání). Odtokový proces je znázorněn na obrázku č. 11.



Obrázek č. 11: Koloběh vody na Zemi

(Zdroj: PERLMAN, Howard. The water cycle: Natural water cycle. In: *USGS: Science for a changing world* [online]. United States [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-natural-water-cycle>)

4.3 Infiltrace

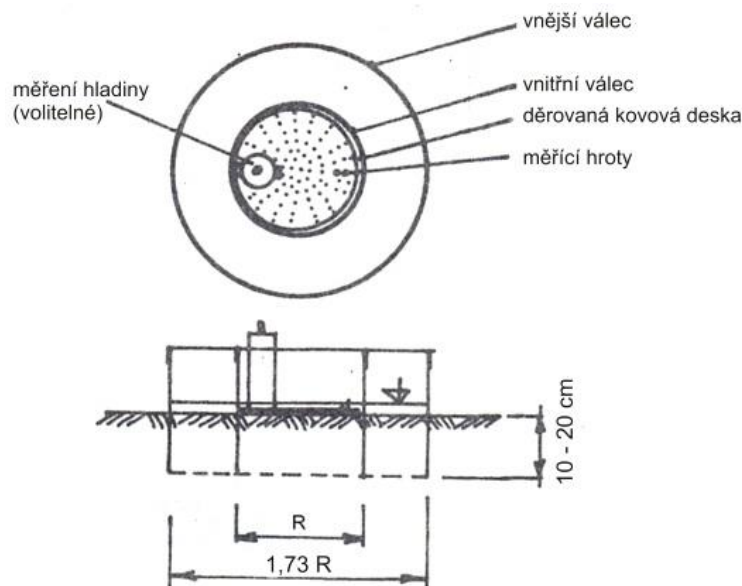
Infiltrace je základním prvkem hydrologických procesů a je významnou součástí koloběhu vody na Zemi. Pojem infiltrace má více definic. V jedné z nich je infiltrace definována jako proces, při kterém se povrchová voda dostává do propustného prostředí. Pojem infiltrace definuje průtok vody přes topografický povrch do půdy a celkové množství vsáknuté vody je označováno jako kumulativní infiltrace. Dále je možno infiltraci definovat jako pronikání vody srážkové či uměle dodané z povrchu půdy do jejích hlubších vrstev a množství vody, které se vsákne do půdy za jednotku času, se nazývá intenzitou vsaku nebo též rychlost infiltrace. Celkové množství vsáknuté do půdy za jednotku času t určuje velikost infiltrace, vyjadřuje se v délkových jednotkách mm (Kutílek 2000, Ambrožová 2003, Riedl 1972, Jury a kol.1946, Rönnqvist 2018). Intenzita infiltrace je proměnlivá a závislá jak na půdních podmínkách, tak na intenzitě srážek.

4.3.1 Metody měření infiltrace

Metod pro měření infiltrace je mnoho. V této podkapitole jsou popsány pouze ty nejznámější.

Metoda pomocí výtopy – válcová

Tato metoda se zakládá na principu udržování stálé výtopy o určité výšce v mm. Používají se buď jednoválcové, nebo dvouválcové infiltrometry. Obecně se pro měření v terénu více používají dvouválcové infiltrometry, kdy se vsakující schopnost měří na povrchu půdy. Válec se zanoří do půdy do dostatečné hloubky a zvolí se vhodná výška výtopy, která se udržuje. Dále je potřeba zvolit vhodný časový úsek, po který budeme měřit (Kutílek 1978). Schéma dvouválcového infiltrometru je zobrazeno na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12: Schéma dvouválcového infiltrometru

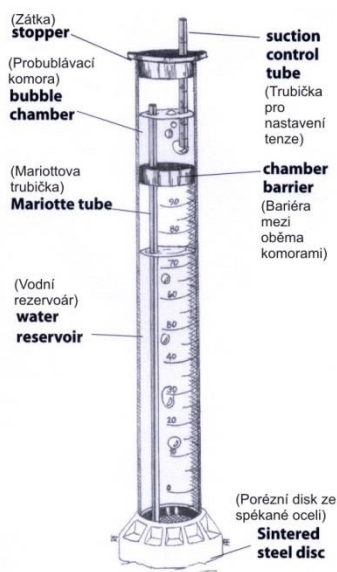
(zdroj: Schéma dvouválcového infiltrometru (online) [cit. 2019-09-23], dostupné z: www.hydropedologie.agrobiologie.cz)

Podtlakový infiltrometr

Tato metoda patří mezi jednodušší způsoby měření. Toto zařízení funguje na principu mechanicko-hydraulickém a není k němu tedy potřeba žádný zdroj energie. Skládá se ze dvou komor umístěných v jedné trubici nad sebou (jak je vidět na obrázku č.

13). Obě tyto komory jsou před začátkem měření naplněny vodou. Poloha trubičky v horní komoře reguluje tlakovou výšku (tenzi), při které bude voda infiltrována.

Spodní komora je kalibrována a objem je značen v ml. Spodní část infiltrometru je tvořena porézním diskem ze spékané nerezové oceli. Tento disk má průměr 4,5 cm a je proto snadné ho umístit na povrch půdy, který musí být urovnaný. Jakmile se zařízení umístí na povrch půdy, začne voda ze spodní komory infiltrovat do půdy (www.hydropedologie.agrobiologie.cz, Kirkham 2004).

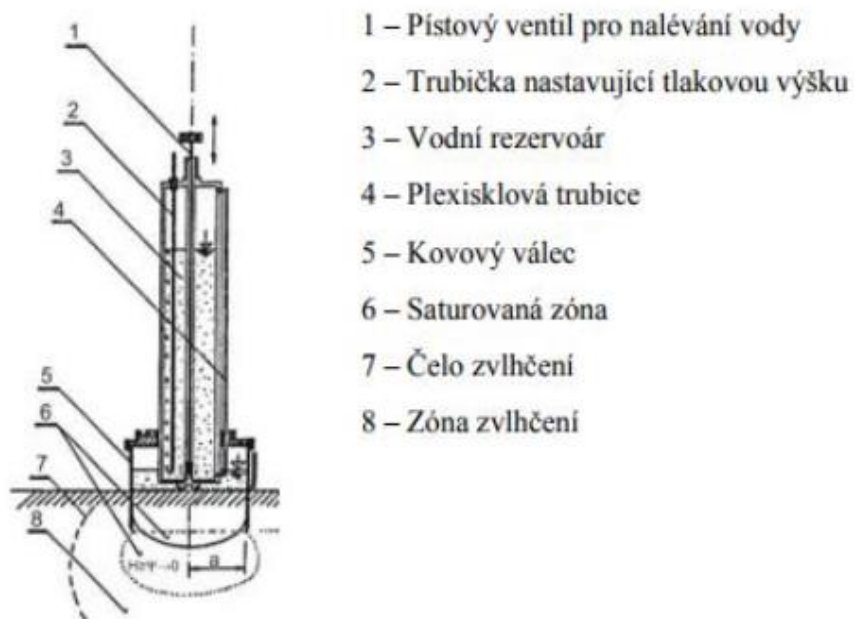


Obrázek č. 13: Schéma podtlakového infiltrometru

(zdroj: Šindelář 2008)

Jednoduchý tlakový infiltrometr

Jednoduchý tlakový infiltrometr je vyrobený z nekorodujících materiálů. Zařízení pracuje na mechanicko-hydraulickém základě bez nároku na zdroj energie, je přenosné do běžných polních podmínek a obsluhované jedním až dvěma pracovníky. Infiltrační ocelový válec infiltrometru o průměru 15 cm je opatřen samostatným vodoznakem pro kontrolu konstantní výšky vody h v infiltrometru a času jejího dosažení po zahájení zatápnění plochy v infiltračním válci vodou. Nevýhodou tohoto infiltrometru je, že naměřená data není možno automaticky ukládat (Kulhavý a kol 2007). Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru je zobrazeno na obrázku č.14.

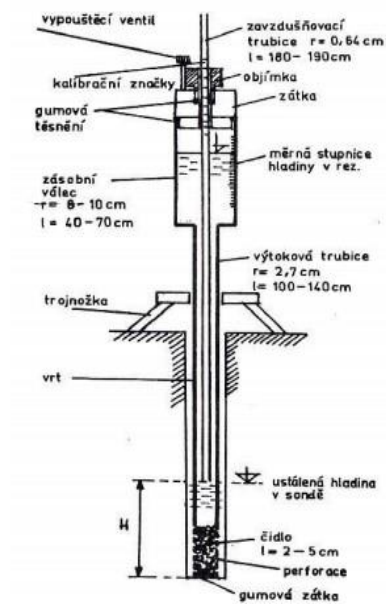


Obrázek č. 14: Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru

(Zdroj: Matula a kol. 1997)

Guelphský permeametr

Permeametr se skládá ze zásobníku vody spojeného s trubicí, které má na spodním okraji perforovanou mřížku umožňující odtok vody z infiltrometru, a trubice zajišťující přístup vzduchu. Permeametr je umístěn do vyvrtané sondy o známém průměru, pomocí vzduchové trubice je nastavena hladina vody v sondě (konstantní tlaková výška) a je měřena kumulativní infiltrace vody do půdy. Výhodou Guelphského permeametr je, že se dá použít i na svažitéch územích, na kterých je problematické zajistit vodorovný povrch (Kodešová a kol. 2015). Schéma Guelphského permeametr je zobrazeno na obrázku číslo 15.



Obrázek č. 15: Schéma Guelphského permeamtru

(Zdroj: Kulhavý a kol. 2007)

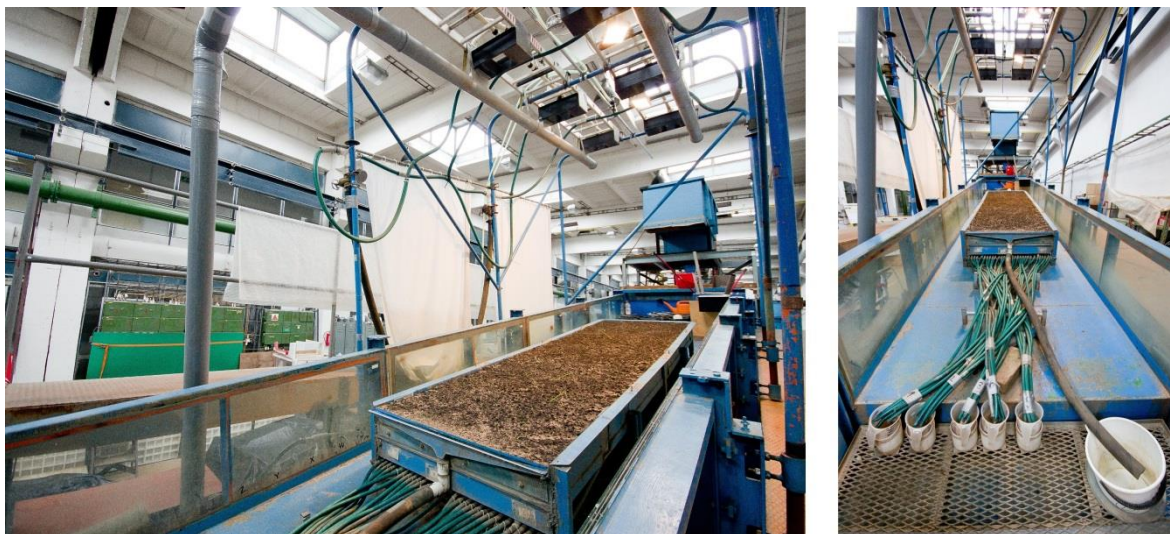
Dešťový simulátor

Měření infiltrace pomocí dešťového simulátoru patří mezi nejpřesnější metody, avšak je pracnější a časově náročné. Je zde zapotřebí větší množství techniky. Známe dva typy přístrojů, které mají:

a) soustavu trubek – výhodou je tvorba kapek o různé velikosti, nevýhodou je potřeba přetlaku v systému trubek

b) soustavu výtokových trubic – výhodou je, že spádový rozvod nepotřebuje tlak, nevýhodou je naopak jednotná velikost kapek (Kutílek a spol.1988).

Měření se ukončí, jakmile dojde k ustálení rychlosti infiltrace (Kovaříček a kol. 2008). Na tomto principu je založeno měření v této diplomové práci. Na obrázku č. 16 je znázorněn tryskový dešťový simulátor, který je umístěn na Stavební fakultě na Českém vysokém učení technickém v Praze (ČVUT).



Obrázek č. 16: *Simulátor deště*

(Zdroj: ČVUT 2017)

4.3.2 Faktory ovlivňující infiltraci

Proces infiltrace, kdy dochází k vsakování vody do půdy, je podmiňován spolupůsobením mnoha faktorů, které ovlivňují nejen infiltrované množství vody, ale i infiltrační rychlost. V následujícím textu je přehled těch nejvýznamnějších vlivů, které se při svém spolupůsobení podílejí na infiltračních procesech.

Zhutnění půdy

K procesu zhutnění půdy obvykle dochází používáním těžké zemědělské nebo lesní techniky. Zhutnění půdy může také způsobovat nepřiměřené množství zemědělských zvířat na lokalitě. U půdy, která podléhá zhutnění neboli také mechanickému utužení (pedokompakce) dochází k negativním změnám ve fyzikálních vlastnostech. U takto poškozených půd vzrůstá objemová hmotnost a zároveň klesá pórovitost, což může vést až k destruktivním účinkům na půdní agregáty (Javůrek a Vach 2008, Shroff a kol. 2003). Na povrchu půdy se utvoří málo propustná vrstva, která vodu ze srážek nepustí do hlubších vrstev a brání tak infiltraci. V tomto důsledku vzniká povrchový odtok, který s sebou transportuje půdní částice a způsobuje tak proces eroze půdy. Náprava a prevence vedoucí k odstranění, nebo alespoň ke zmírnění zhutnění spočívá ve využívání vhodných agrotechnických opatření. Na zemědělské půdě to znamená především opatření, kdy se provádí výsev vhodných regeneračních plodin. Dalším opatření, které je možno v praxi

využit je minimalizace počtu přejezdů v lokalitě. Stejně tak je možné minimalizovat počet přejezdů za nevhodných klimatických podmínek jako je vlhké a deštivé počasí.

Půdní organismy

Půdní organismy tvoří nedílnou součást procesů, které v půdním prostředí probíhají a zároveň ovlivňují infiltraci vody do půdy. Půdní biota se podílí na proměnách organické hmoty, ale i na biologickém zvětrávání minerálních částí. Z hlediska utváření půdních agregátů plní půdní organismy v tomto procesu klíčovou a nezastupitelnou roli. Půdní edafon také ovlivňuje zastoupení živin v půdě a je jedinečným indikátorem biologického samočištění půdy (Hůla a kol. 2010, Mishra 2012).

Pokryv půdy

Půdní pokryv významně ovlivňuje infiltrační schopnost dané lokality. Každý typ půdního pokryvu rozdílně ovlivňuje infiltraci a chrání povrch půdy před erozí. Nepoškozená lesní půda dokáže v mnoha případech odvrátit povodňovou situaci, a to především díky skvělým retenčním a infiltračním schopnostem. Lesní půda obsahuje velké množství gravitačních pórů a povrchová voda je jejich prostřednictvím odvedená do podzemních vod. Dobré infiltrační schopnosti mají i půdy pokryté nízkou vegetací, a naopak nejhůře dokážou vodu infiltrovat zemědělské půdy, které bývají zhutněné, jak již bylo uvedeno v textu výše (Hůla a kol. 2010).

Vlhkost půdy

Zvýšená vlhkost půdy snižuje intenzitu infiltrace vody. Je tomu tak v důsledku pohybu vody, která byla v půdě přítomna ještě před vsakem, v kapilárních pórech půdy a současně pohybem nově se infiltrující vody převážně v nekapilárních pórech. Nekapilární póry jsou charakteristické neomezeným působením gravitace na vodu. Voda se tak díky tomu dostává do hlubších vrstev půdy a její původní místo zaplňuje vzduch. Naopak kapilární póry umožňují pohyb vody proti působení gravitace vlivem kapilárních sil, avšak takový ohyb vody je omezený. Optimální poměr kapilárních a nekapilárních pórů je 2-3 : 1 (Herynek 1997, Kutílek 1978).

Intenzita srážek

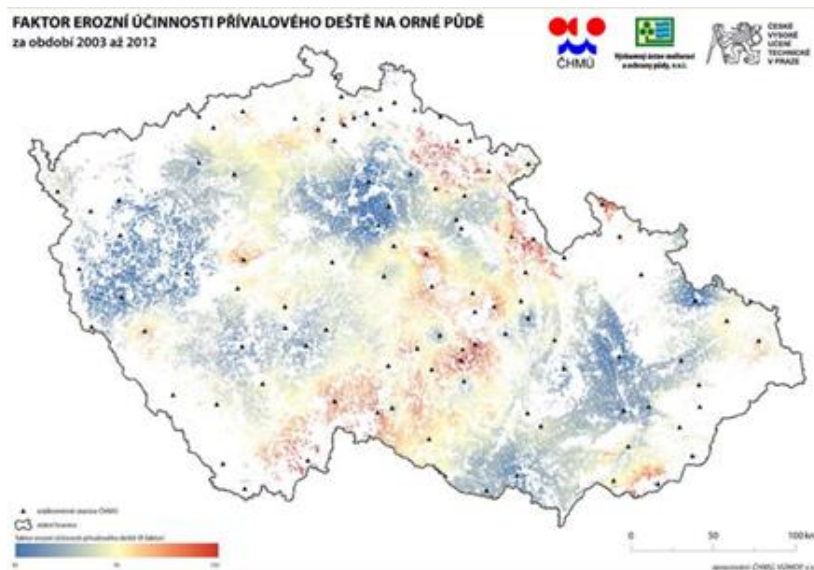
Intenzita infiltrace je podmíněna intenzitou srážek a množstvím vody, která dopadá na povrch půdy. Intenzita infiltrace je vyjádřena v jednotkách $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ nebo $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$. Intenzita infiltrace je rovna kapacitě půdy, pokud je dodáno dostatečné množství vody na povrch půdy, a to buď prostřednictvím srážek či umělým zavlažením. Všeobecně platí, že intenzita infiltrace dosahuje v počátečním čase nejvyšších hodnot a s přibývajícím časem intenzita klesá a lze říct, že po určité době je její hodnota téměř konstantní (Kutílek 1978).

Půdní vzduch

Rychlost infiltrace také ovlivňuje obsah vzduchu uzavřeného v půdě. Voda vstupující do půdy posouvá vzduch do větších hloubek, a ten nemůže dál nikam unikat. Díky tomu roste tlak v půdě a výrazně se snižuje rychlost vsaku vody do půdy (Kutílek 1966).

4.4 Eroze

V diplomové práci (Novotná 2018) je uvedeno, že dopadají-li dešťové kapky na půdu, oddělují se z ní půdní částice, a to v míře, která závisí na velikosti a rychlosti dopadajících kapek. Následně jsou oddělené půdní částice odnášeny tekoucí povrchovou vodou. Některé částice vyplňují půdní póry a uzavírají tak povrch půdy, čímž se snižuje infiltrační schopnost půdy. K tvorbě povrchového odtoku dochází, jestliže množství srážek převyšují infiltrační schopnost půdy. Na obrázku č.17 je vidět vliv přívalového deště na erozi orné půdy v ČR.



Obrázek č.17: Mapa znázorňující vliv přívalového deště na erozi orné půdy v ČR

(Zdroj: Novotný a kol. 2014)

Eroze je přirozený proces rozrušování a transportu objektů na zemském povrchu. Příčinou eroze je mechanické působení pohybujících se okolních látek – především větru a vody. Intenzivní zemědělství, odlesňování, silnice, antropogenní klimatické změny a rozšiřování měst patří k nejvýznamnějším lidským činnostem, pokud jde o jejich vliv na stimulaci eroze (Julien 2010).

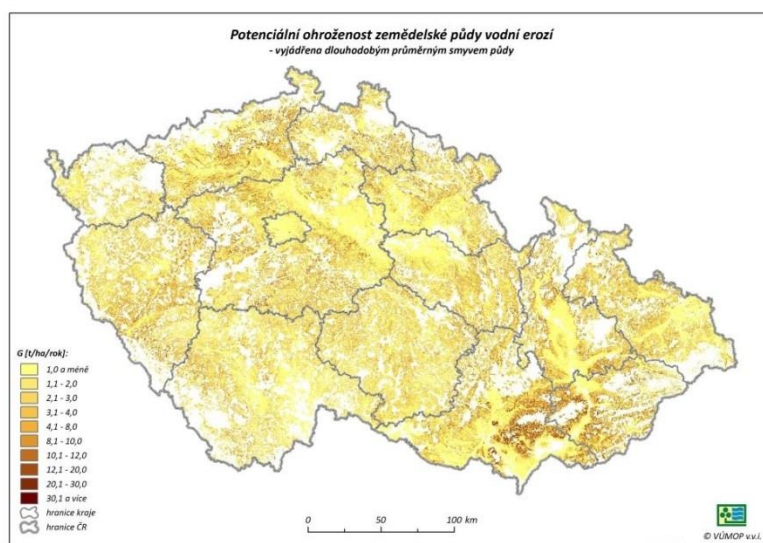
Druhy eroze se dělí podle činitele, který vznik eroze způsobuje. Rozeznáváme:

- vodní erozi,
- sněhovou erozi,
- ledovcovou erozi,
- větrnou erozi,
- antropogenní erozi,

4.4.1 Vodní eroze

Vodní eroze je definována jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody (Novotný 2014). Vodní eroze je vyvolána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody (Morgan 2005). Povrchový odtok vzniká z přívalových nebo dlouhotrvajících srážek, ze sněhových vod při jarním tání a také

koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti (Holý 1994). Vodní eroze ohrožuje více než 50% výměry orné půdy v ČR. Na vznik eroze má největší vliv sklonitost pozemku v kombinaci s délkou pozemku po spádnici, dále vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi, uplatněná protierozní opatření a v neposlední řadě častý výskyt přívalových srážek, které střídá období sucha (Novotný 2014). Z obrázku č.18 je patrné, že nejvíce je vodní erozí ohrožen jihomoravský kraj. Voda mořská, jezerní a rybníční způsobuje erozi pobřeží. Pozemní vody, zejména vody v krasových útvarech, vyvolávají kromě mechanické eroze i erozi chemickou (Schmidt 2000).



Obrázek č. 18: *Potenciální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí*

(Zdroj: VÚMOP 2015)

4.4.2 Sněhová eroze

Sněhová eroze vzniká pohybem sněhu ve formě lavin, jejichž erozní činnost probíhá při velkých tlacích a rychlostech sněhu. Často devastuje zasažený pás území. Sněhová eroze může být vyvolána i pomalým pohybem vrstvy sněhu po neumrzlém půdním povrchu při jarním tání. Projevuje se zejména v podhorských oblastech (Holý 1994).

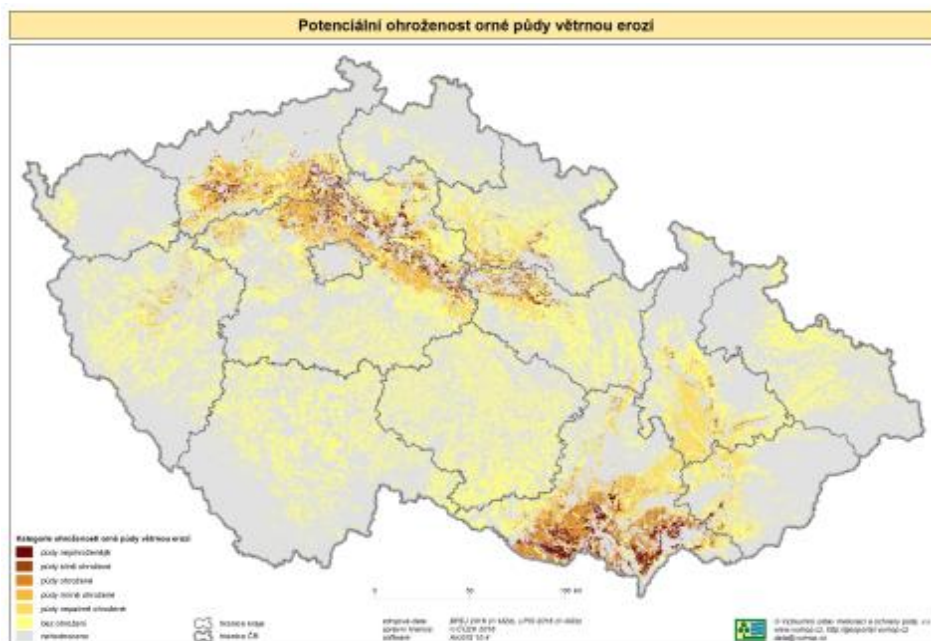
4.4.3 Ledovcová eroze

Ledovcovou erozi způsobují ledovce pohybující se působením tíže do údolí. Při pohybu vynakládá ledovec převážnou část energie na erodování skalního podloží, které se

tím obrušuje a vyhlazuje. Ledovcová eroze se vyskytuje především ve vysokohorských oblastech, např. Alpy, Kavkaz, Skalisté hory apod.), v našich podmínkách se v současné době nevyskytuje (Holý 1994).

4.4.4 Větrná eroze

Větrná eroze spočívá v rozrušování půdní hmoty kinetickou energií větru, v přemístování uvolněných částic a jejich ukládání při poklesu energie vzdušného proudu. Větrná eroze se podílí na znečišťování ovzduší, které ohrožuje zdraví obyvatel (VÚMOP). Větrná eroze v zemědělských oblastech vede k degradaci půdy. Během eroze jsou jemné částice půdy bohaté na živiny a organické látky odváděny větrem na velké vzdálenosti, což vede ke ztrátě půdních živin. Odstranění jemných částic větrnou erozí zanechává hrubší a méně úrodný materiál. V důsledku toho se erodované půdy stávají méně produktivní a mají menší kapacitu zadržování vody (Shao 2008). Potenciální ohroženost orné půdy větrnou erozí v ČR je patrná z obrázku č. 19.



Obrázek č.19: *Potenciální ohroženost orné půdy větrnou erozí*

(Zdroj: VÚMOP 2015)

4.4.5 Antropogenní eroze

Člověk má vliv na vznik a průběh erozních procesů svými zásahy do přírody. Je výrazným činitelem při vzniku zrychlené eroze a na erozní procesy působí nepřímo i

přímo. Nepřímý vliv se projevuje ničením přirozeného vegetačního krytu půdy, zhoršením fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy, znečištěním půdy odpady apod., přímý vliv se projevuje zejména realizací technických staveb a urbanizací (Holý 1994).

4.5 Povodně

Infiltrace zásadně ovlivňuje tvorbu a celkový objem povrchového odtoku, který může vézt až ke vzniku povodně. Způsobů, jak definovat povodeň, je celá řada. Podle §64 zákona č.254/2001 Sb. (vodní zákon) se povodněmi rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. V závislosti na mechanismu vzniku dělíme povodně nejčastěji na povodně přirozené a povodně zvláštní. Přirozené povodně představují přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, které je způsobné přírodními jevy, zejména v souvislosti s:

- táním sněhu, resp. v kombinaci s dešťovými srážkami,
- dlouhotrvajícími regionálními dešťovými srážkami,
- krátkodobými dešťovými srážkami velké intenzity,
- chodem ledů.

Za zvláštní povodně se pak považují povodně způsobené:

- poruchou vodního díla,
- havárií vodního díla (protržení),
- nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (Adamec 2012).

4.5.1 Historické případy přívalových povodní

Povodně jsou přírodní katastrofou, kterou nikdy nebudeme schopni zcela eliminovat, nebo předem odhadnout její přesný průběh. Povodně většího rozsahu se objevují sporadicky a jejich dopady jsou vždy rozdílné. Lidé byli odedávna nuceni čelit povodním, které představovaly vážný problém již před několika tisíci lety ve staré Číně nebo v Egyptě (Kocman a spol. 2011). Na území ČR byly rozsáhlé záplavy zaznamenány v poslední čtvrtině 19. století a poté s časovým odstupem více jak sto let až v posledním

desetiletí. V srpnu 2002 zasáhly Českou republiku a řadu dalších evropských zemí povodně s katastrofálními následky. Povodeň zasáhla všechny přítoky Vltavy a ovlivnila průtok Labe a dolní Ohře (zejména tedy jih, jihozápad a sever Čech). Příčinou této povodně byly nadměrné a dlouhotrvající srážky, v jejichž důsledku došlo k vyčerpání absorpční kapacity půdy. Povodňová vlna pak postupovala povodím Vltavy a následně Labe až na hranice s Německem (Čamrová 2006, Státníková 2012). Při těchto povodních zahynulo 17 obyvatel (Brázdil a kol. 2004) a celková škoda byla odhadnuta na 75,1 miliard korun (Čamrová a kol. 2004). Následovaly další významné povodně, a to v červnu 2006, přelom června a července 2009 a červen 2013 (Štěpánková a kol. 2013).

4.5.2 Ochrana před povodněmi

Aby se předcházelo povodním, zavádí se ve vodohospodářské praxi tzv. protipovodňová opatření (viz obrázek č.20), která však zahrnují širší spektrum ochranných opatření v povodí, jejichž cílem je zvyšování akumulace a retence vody v povodí, protierozní ochrana a protipovodňová ochrana ohroženého území (Čamrová a kol.2006).



Obrázek č. 20: Klasifikace protipovodňových opatření

(Zdroj: Čamrová a Jílková 2006)

K ochraně před povodněmi nám pomáhají povodňové orgány. Povodňové orgány jsou zákonem definované orgány oprávněné k řízení, organizaci a kontrole opatření k ochraně před povodněmi. Rozlišujeme povodňové orgány pro období mimo povodeň a

pro dobu trvání povodně. Jak uvádí Adamec a kol (2012) mezi povodňové orgány mimo povodeň patří: orgány obcí, obecní úřady ORP, krajské úřady a Ministerstvo ŽP. Mezi povodňové orgány v období trvání povodně patří povodňové komise obcí, povodňové komise ORP, povodňové komise krajů a Ústřední povodňová komise (Adamec a kol. 2012).

4.5.3 Lokální výstražné systémy

Pro účely této diplomové práce jsou nejvýznamnější přívalové povodně. Přívalové povodně jsou charakteristické svým rychlým vývojem. V časovém období desítek minut až několika hodin dochází zejména na malých vodních tocích k prudkému zvednutí hladiny, avšak po její kulminaci většinou dochází k podobně rychlému poklesu (ČHMÚ). Nebezpečí přívalových povodní spočívá především v jejich rychlém a mnohdy nečekaném nástupu, ale také ve velké rychlosti proudu, který s sebou navíc unáší množství pevného materiálu jako jsou části stromů a větví, ale i například části pobořených domů (Winget 2008). Škody tedy nevznikají pouze z důsledku zaplavení, ale také dynamickými účinky proudící vody. Zcela se vyhnout přívalové povodni nelze, ale včasnou detekcí je možné zmírnit negativní dopady povodní na lidské životy a škody na majetku. Proto jsou vyvíjeny lokální výstražné a varovné systémy, které je třeba rozvíjet (Kocman a spol. 2011).

Základní funkce lokálního výstražného systému a navazujícího varovného systému jsou popsány v následujícím textu.

- a) Pokud dojde k překročení limitních hodnot srážek, srážkoměry lokálního výstražného systému (LVS) odešlou alarmové zprávy starostovi ohrožené obce, správě povodí a majitelům nejvíce ohrožených objektů. Největším nebezpečím jsou intenzivní srážky zejména v letním období. Tyto srážky většinou nelze lokalizovat ani spolehlivě předpovídat.
- b) Vodoměrné stanice lokálního výstražného systému zaznamenávají vzestup hladiny na toku způsobený srážkami. Při překročení zvolených stupňů povodňové aktivity jsou opět odesílány alarmové zprávy zadaným příjemcům.
- c) Starosta obce (popřípadě člen povodňové orgánu) na základě obdržených zpráv provádí okamžité vyhodnocení situace. Podle dosažení limitních hodnot vyhláší stupně povodňové aktivity, aktivuje prvky varování a vyzoomění

obyvatelstva a vykonává další činnost v souladu s povodňovým plánem. Aktuální zprávy o vývoji situace jsou zobrazeny na webových stránkách ČHMÚ nebo správy povodí

- d) Při rozvoji povodně poskytuje HZS pomoc obyvatelstvu při ochraně života a zdraví a materiálních hodnot a řídí další složky integrovaného záchranného systému (Kocman a kol. 2011).

4.5.4 Technologická agentura ČR a prototyp infiltrometru

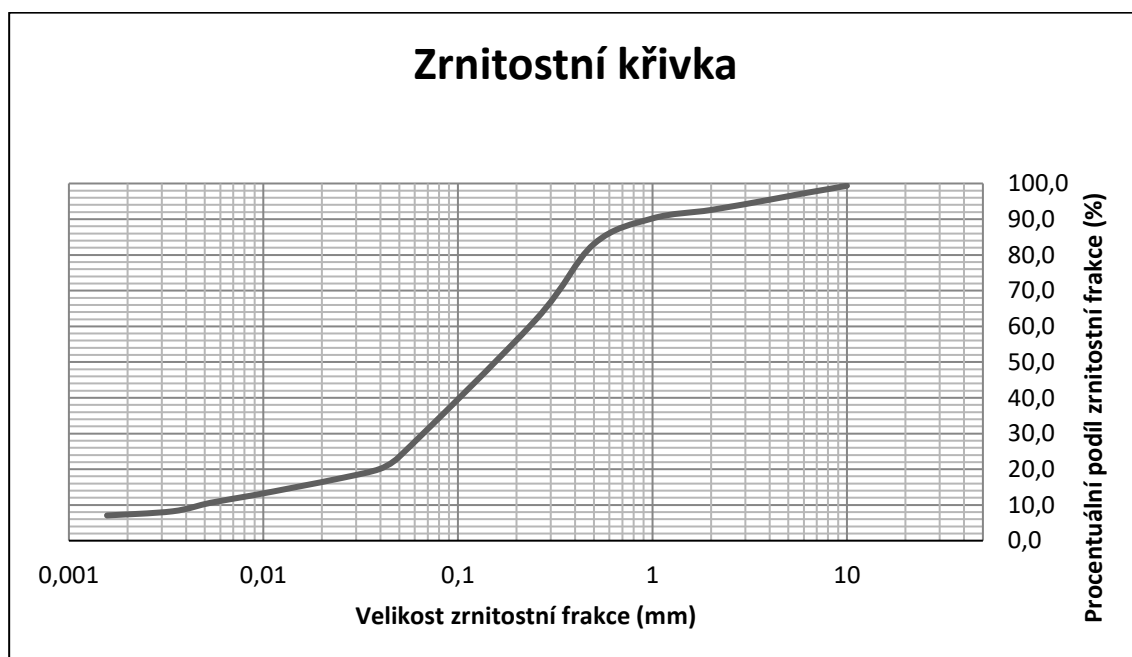
V roce 2017 byl zahájen projekt „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“. Projekt je realizován pod Technologickou agenturou České republiky – TA ČR v rámci programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON a ukončení řešení je naplánováno na 31.12.2020 (Kulhavý 2017). Výsledným produktem je varovný systém využívající prototyp infiltrometru, který má zlepšit včasnou predikci přívalových povodní, což poskytuje dostatečný předstih varování před reálnou hrozbou přívalové povodně pro aktivaci krizových systémů řízení. Hlavním garantem tohoto projektu je Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. ve spolupráci s firmou ADCIS s.r.o. a Českou zemědělskou univerzitou v Praze. Cílem je zvýšit uplatnitelnost inovované technologie v praxi, zejména pro malé obce, průmyslové objekty a hydrologická pracoviště, jako je ČHMÚ (Kulhavý a kol. 2016).

5. Výsledky a diskuse

Celkem bylo provedeno 22 měření na uměle vytvořeném povrchu ve žlabu velkém 109 x 109 cm v podmínkách erozně sedimentační laboratoře ČZU. Měřila se doba výtopy způsobená simulovaným deštěm o konstantní, nebo proměnné intenzitě. Časová prodleva mezi měřeními byla přibližně 5 minut. Během této doby docházelo k instalaci přístroje nebo k provádění kalibrace. Déšť byl simulován pomocí přenosného infiltrometru, který je schopen zároveň simulovat zátěžovou dešťovou srážku. Jak již bylo výše v textu řečeno, tento přístroj je vyvinut v rámci projektu TAČR (Technologická agentura ČR) „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“ (TH02010802). Tento projekt má za cíl navrhnout originální postup včasné predikce přívalových povodní, založený na měření infiltrační schopnosti půd.

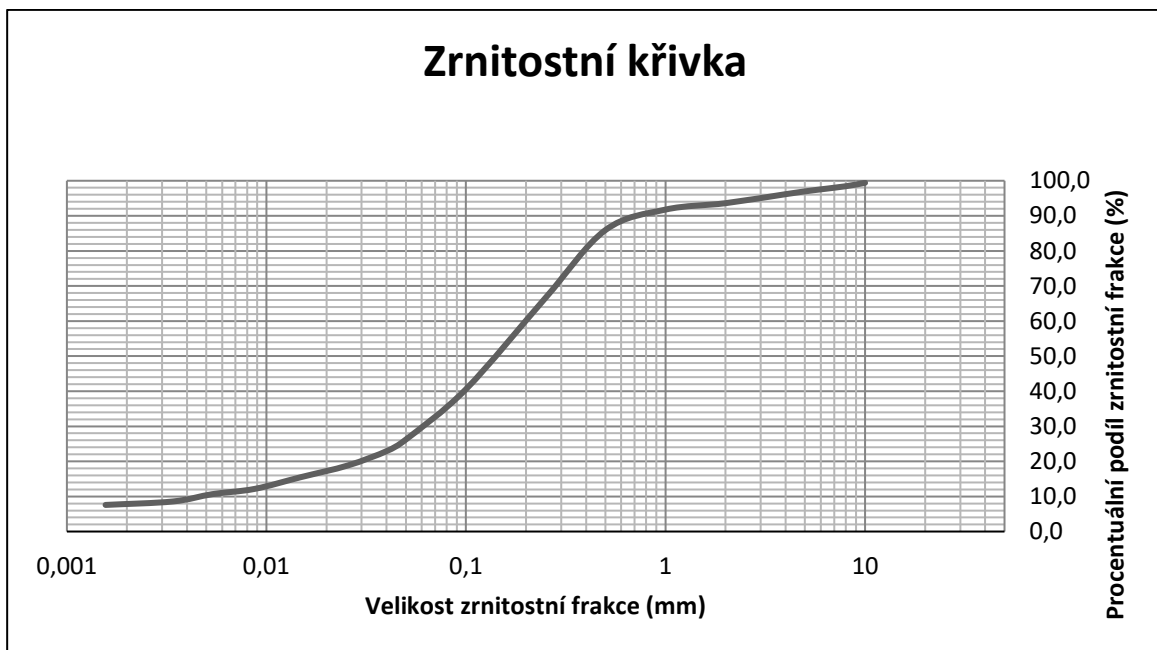
Cílem všech měření bylo otestovat hypotézu, že k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště než při proměnné. Tato hypotéza vychází z faktu, že u konstantní srážky je půdní profil vystaven poměrně vysoké hodnotě, zatímco u proměnné srážky je intenzita srážky nejprve mírná, poté na krátkou dobu dosáhne svého maxima a následně opět klesá.

Během měření byly paní Ing. Pánkovou (Katedra biotechnických úprav krajiny) odebrány vzorky půdy a kombinací metody hustoměrné a proséváním byla stanovena zrnitost a půdní druh. Při prvních dvou měřeních byl vzorek na rozhraní písčité hlíny až hlinitého písku, při posledním měření byl půdní druh vzorku vyhodnocen jako písčité hlína. Zrnitostní křivky půdních vzorků jsou na obrázcích č. 21, 22 a 23. Z grafů vyplývá, že se snižující se velikostí zrnitostní frakce, klesá i procentuální podíl zrnitostní frakce.



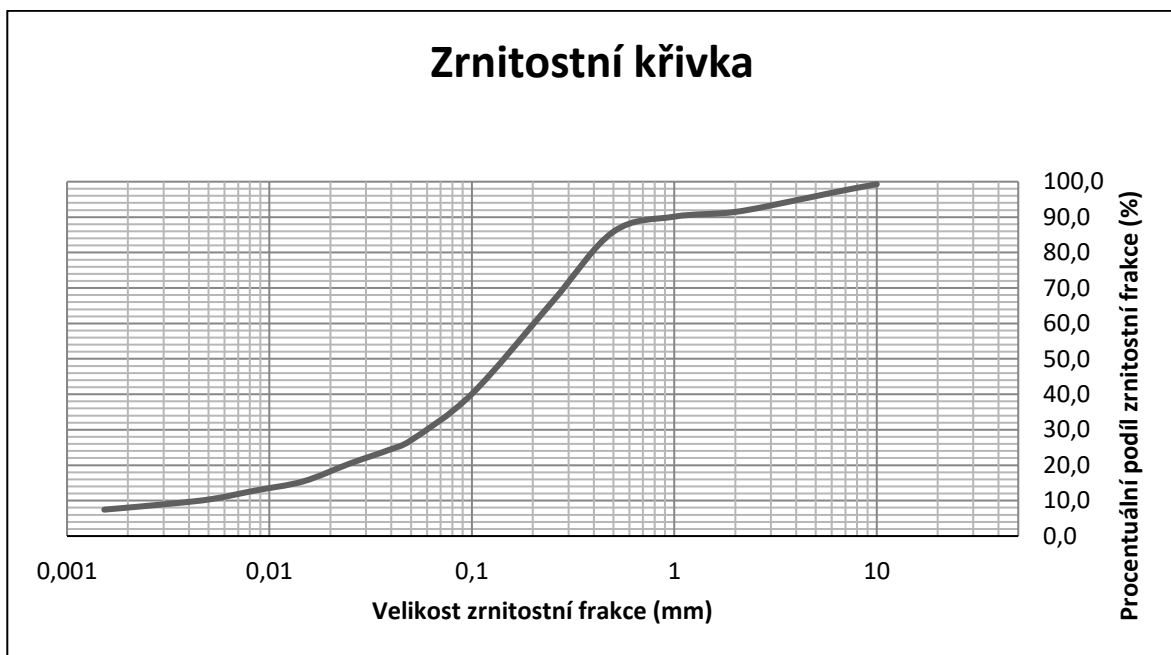
Obrázek č. 21: Zrnitostní křivka ze dne 13.3.2018

(Zdroj: Pánková 2018, nepublikováno)



Obrázek č. 22: Zrnitostní křivka ze dne 20.3.2018

(Zdroj: Pánková 2018, nepublikováno)



Obrázek č. 23: Zrnitostní křivka ze dne 27.3.2018

(Zdroj: Pánková 2018, nepublikováno)

5.1 Měření v laboratoři dne 13.3.2018

Dne 13.3.2018 byla provedena 4 měření o proměnné intenzitě a 3 měření o konstantní intenzitě v laboratorních podmínkách na uměle vytvořeném půdním profilu. Jak měření vypadalo, je vidět na obrázku č. 24. Jelikož laboratoř disponuje simulátorem deště, před zahájením měření infiltrace byla provedena simulace deště nad celým půdním profilem ve žlabu. Tím došlo k nasycení půdního profilu a částečně i k jeho sjednocení a vylepšení struktury. Se zvyšující se nasyceností dochází k výtopě v kratším čase.

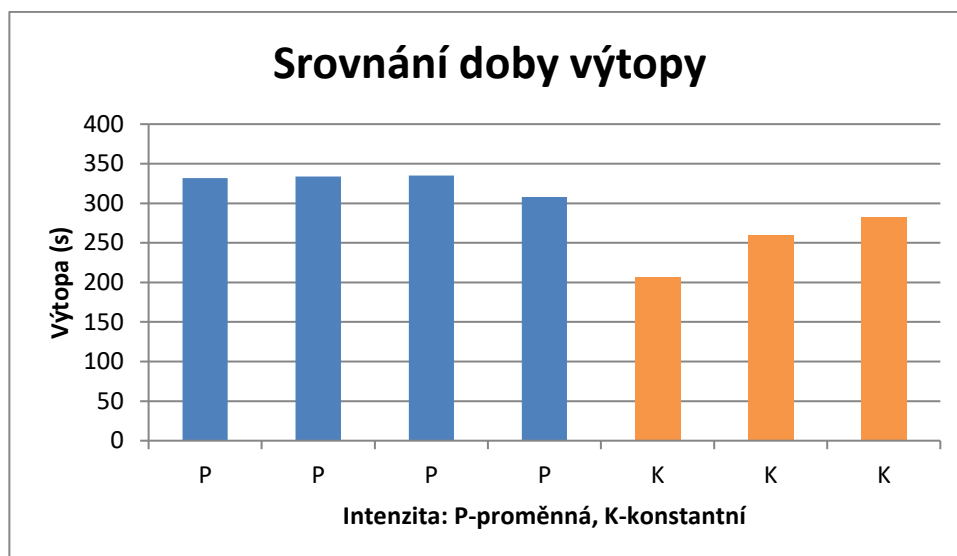


Obrázek č. 24: Měření v laboratoři na vytvořeném půdním profilu

U všech měření došlo k výtopě. Výška hrotu byla nastavována přibližně na 5 mm. Doba srážky byla nastavena na 15 minut, doba zkoušky na 60 minut. Rozmístění měření bylo přibližně 20 cm od sebe. Časy výtopy jsou zaznamenány v tabulce č. 1. Při konstantní intenzitě docházelo k výtopě v rozmezí 200-300 sekund, při proměnné intenzitě v rozmezí 300-350 sekund. To je zřejmé i z obrázku č. 25 a potvrzovalo by to testovanou hypotézu.

Měření	Hrot (mm)	Intenzita	Začátek	Konec	Výtopa (s)
1	5	Proměnná	8:16	9:16	332
2	5	Proměnná	9:25	10:25	334
3	5	Proměnná	10:30	11:30	335
4	5	Proměnná	11:38	12:38	308
5	5	Konstantní	13:42	14:42	282
6	5	Konstantní	15:00	16:00	207
7	5	Konstantní	16:05	17:08	260

Tabulka č. 1: Souhrn měření z 13.3.2018



Obrázek č. 25: Srovnání doby výtopy z 13.3.2018

5.2 Měření v laboratoři dne 20.3.2018

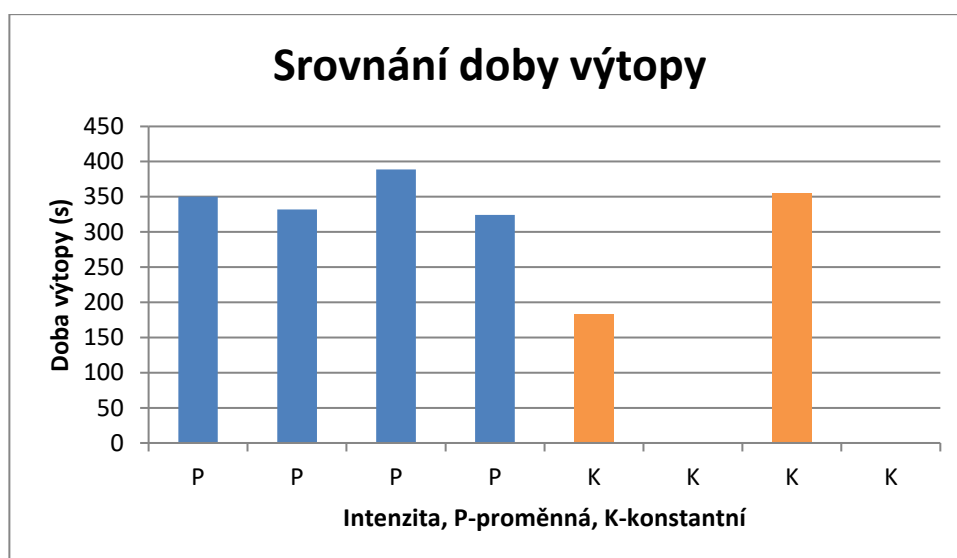
Další měření proběhla dne 20.3.2018. Tato měření již tak jednoznačně hypotézu nepotvrdila. Byla provedena 4 měření o konstantní intenzitě srážky a 4 měření o proměnné intenzitě. Před zahájením samotného měření infiltrace byla opět provedena simulace deště nad celým půdním profilem ve žlabu. Výška hrotu byla opět pomocí pravítka nastavena na 5 mm. Doba srážky byla nastavena na 15 minut, doba zkoušky na 60 minut. Při dvou měření o konstantní intenzitě k výtopě nedošlo.

Může to být z důvodu, že tato měření probíhala jako poslední a půdní profil už mohl být trochu vyschlý a voda se lépe infiltrovala. Také mohla být v půdním profilu preferenční cesta, kudy mohla voda odtékat a tím nedošlo k výtopě.

Měření	Hrot (mm)	Intenzita	Začátek	Konec	Výtopa (s)
1	5	Proměnná	8:54	9:54	332
2	5	Proměnná	10:00	11:00	389
3	5	Proměnná	11:12	12:12	350
4	5	Proměnná	12:15	13:15	324
5	5	Konstantní	13:18	14:18	355
6	5	Konstantní	14:21	15:21	182
7	5	Konstantní	15:26	16:26	Neproběhla
8	5	Konstantní	16:30	17:30	Neproběhla

Tabulka č. 2: Souhrn měření ze 20.3.2018

Z obrázku č. 26 je patrné, že se nepotvrdila hypotéza, která říká, že k výtopě dojde dřív při konstantní intenzitě deště než při proměnné. K výtopě docházelo při konstantní i proměnné intenzitě v podobných časech, a to v rozmezí 300-400 sekund. Výjimkou je pouze jedno měření o konstantní intenzitě, kdy došlo k výtopě při 182 sekundách. To mohlo být zapříčiněno tím, že se na sítko nahromadilo více pulzů a vznikla velká kapka, který rozčeřila hladinu a tím došlo ke spojení hladiny s hrotem a okamžitým odtrhnutím menisku. Při dvou měření o konstantní intenzitě nedošlo k výtopě, proto jim byla v grafu přiřazena hodnota 0. Vliv na dobu výtopy mohou mít také rozdílné podmínky v půdním profilu. Při manipulaci sondou (prstencem) může dojít k načechrání profilu a tím mohou vzniknout preferenční cesty a nemusí dojít k výtopě. Stejně tak může mít vliv na dobu výtopy umístění jednotlivých sond v rámci žlabu nebo vzdálenost jednotlivých měření od sebe.



Obrázek č. 26: Srovnání doby výtopy z 20.3.2018

5.3 Měření v laboratoři dne 27.3.2018

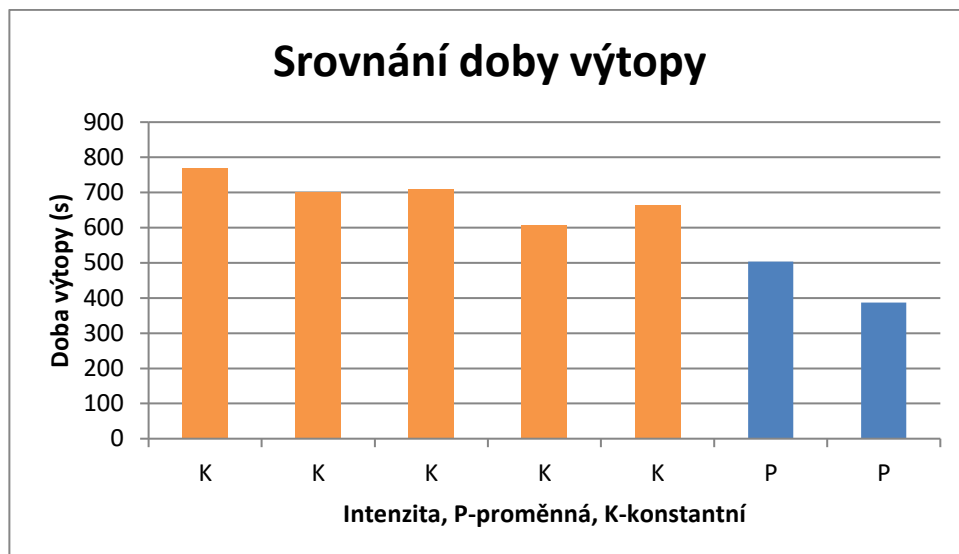
Třetí série měření proběhla dne 27.2.2018. Protože plocha žlabu, ve kterém byl vytvořen půdní profil není neomezená, měření ze dne 27.3.2018 probíhalo na jiném půdním profilu než první dva dny měření. Půdní profil byl opět uměle vytvořen v laboratorních podmínkách erozně sedimentační laboratoře ČZU. Měření jinak probíhala stejně jako všechna ostatní. Výška hrotu byla nastavována přibližně na 5 mm. Doba srážky byla nastavena na 15 minut, doba zkoušky na 60 minut. Opět bylo nutné před zahájením měření provést simulaci deště nad celým půdním profilem, aby došlo k

částečnému nasycení půdního profilu. Byla provedena 2 měření o proměnné intenzitě a 5 měření o intenzitě konstantní. Doby, při kterých došlo k výtopě, jsou zřejmé z tabulky č. 3, nebo obrázku č. 27. V případě, že nedošlo k výtopě, byla dolita voda přes sítko, které simuluje trysku. Vytvořily se tak podmínky pro umělou výtopu, aby přístroj začal zapisovat data (podklad pro grafický výstup). Bez doby výtopy přístroj data nezačne zapisovat. Následně bylo nutné zjistit, zda k výtopě nedochází z důvodu špatné instalace půdní sondy (prstence) - vznikly praskliny a preferenční cesty, nebo zda je půda jen tolik propustná.

Toto se pozná podle průběhu infiltrační křivky. Pokud je vše v pořádku, nejsou zde preferenční cesty, křivka se plynule ustaluje a limitně se blíží k ustálené hodnotě. V případě špatné instalace by byla jednotlivá bodová měření (červené body) rozptýlená a poměrně vzdálená od zelené proložené křivky. Infiltrační křivky z těchto měření bohužel nemohou být vykresleny, jelikož z důvodu poruchy přístroje nebyla data zapsána na disk. Jedná se o poruchu, která již byla v rámci vývoje přístroje odstraněna. Kolik mililitrů vody bylo třeba dolít, aby došlo k výtopě, je zřejmé z tabulky č. 3.

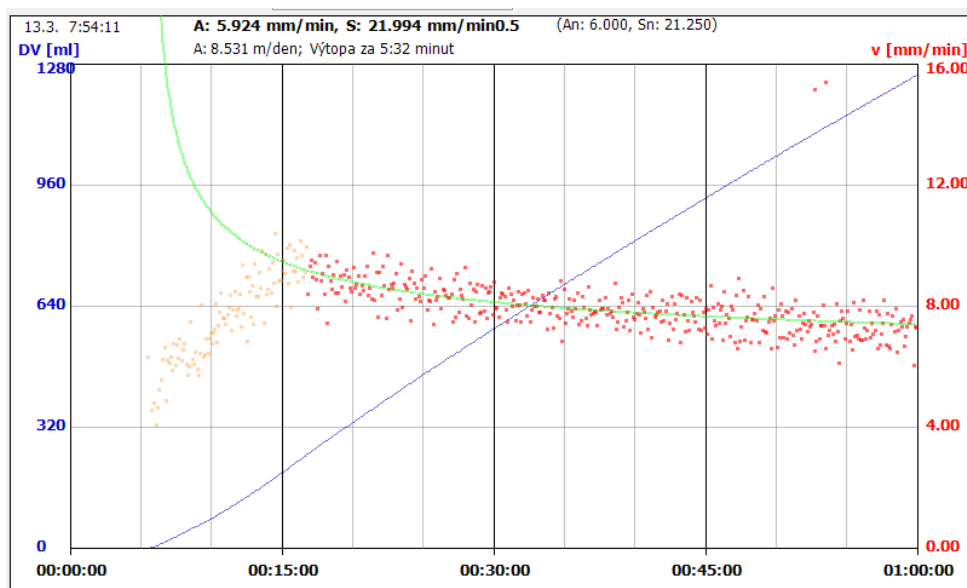
Měření	Hrot (mm)	Intenzita	Začátek	Konec	Výtopa (s)
1	5	Proměnná	8:16	9:16	504
2	5	Proměnná	9:24	10:24	387
3	5	Konstantní	10:27	11:27	607 (dolito 22 ml)
4	5	Konstantní	11:44	12:44	663 (dolito 20 ml)
5	5	Konstantní	12:49	13:49	708 (dolito 17 ml)
6	5	Konstantní	13:54	14:54	702 (dolito 15 ml)
7	5	Konstantní	14:59	15:59	769 (dolito 20 ml)

Tabulka č. 3: *Souhrn měření z 27.3.2018*



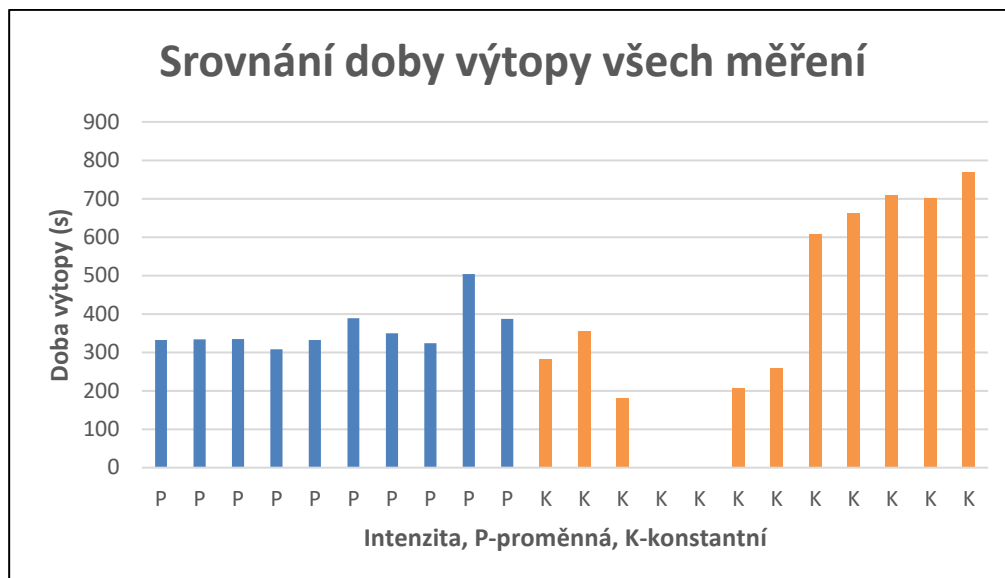
Obrázek č. 27: Srovnání doby výtopy z 27.3.2018

Pro ilustraci je zde obrázek č. 28, kde jsou zobrazeny infiltrační křivky z měření na jiné lokalitě. Takto běžně vypadá grafický výstup z měření.



Obrázek č. 28: Infiltrační křivky – ilustrační foto

(Zdroj: Kalibová 2018)



Obrázek č. 29: Srovnání doby výtopy všech měření

Pro přehlednější srovnání dob výtopy jsou na obr. č.29 znázorněna všechna měření. Z grafu je patrné, že se nepotvrdila hypotéza, která říká, že k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště než při proměnné. Dále je z grafu vidíme, že při proměnné intenzitě deště docházelo k výtopě v rozmezí 308 až 504 vteřin. Při konstantní intenzitě jsou časy výtopy značně „rozlitané“ v rozmezí od 182 vteřin až do 769 vteřin. U dvou měření s konstantní intenzitou nedošlo k výtopě, proto jim byla v grafu přiřazena hodnota 0.

V rámci této diplomové práce bylo uskutečněno pouze 22 měření, protože tato měření jsou časově náročná. Jedno samotné měření trvá 60 minut, a ještě musíme počítat s časem na kalibraci a instalaci přístroje. Dle mého názoru 22 měření není dostačující a je nutné provést další měření. Rozhodně bych budoucí technologický vývoj směřovala k simulaci srážek o proměnné intenzitě, jelikož déšť v přírodě má také proměnnou intenzitu.

6. Závěr

V rešeršní části diplomové práce byla popsána problematika atmosférických srážek, jejich druhů a s nimi související infiltrace, která je pro tuto práci stěžejní. Dále byla práce zaměřena na popis vybraných druhů eroze.

Velký problém v posledních letech představují bleskové povodně. Jsou těžko předvídatelné a způsobují vysoké škody na majetku, případně na životech. Proto je potřeba vyvinout dobře fungující varovný systém, který pomůže předpovídat bleskové povodně. Touto problematikou se zabývá výzkumný projekt TAČR TH02010802 „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“, v rámci něhož byl vyvinut infiltrometr, kterým byla provedena všechna měření v této diplomové práci. Tento přístroj je stále ve fázi vývoje. Jeho velkou výhodou je snadné ovládání a přesnost. Nevýhodou se může zdát dlouhá doba jeho vývoje. Do budoucna by mohli být vlastníky přístroje starostové obcí či majitelé firem z oblastí ohrožených povodněmi. Počítá se s tím, že v případě ohrožení přístroj sám automaticky odešle SMS, a tím bude varovat například starostu dané obce, který díky tomu může informovat občany a začít provádět ochranná opatření.

Cílem měření bylo ověřit vliv průběhu intenzity deště (proměnná/konstantní) na výstupní data infiltrometru. Výsledky poslouží jako podklady pro další technologický vývoj zařízení. Měření nebyla potvrzena ani vyvrácena hypotéza, že k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště než při proměnné. Tato hypotéza se opírá o fakt, že u konstantní srážky je půdní profil ihned vystaven poměrně vysoké hodnotě, zatímco u proměnné srážky je intenzita deště nejprve mírná, pak dosáhne na chvíli svého maxima a následně opět klesá.

Pro ověření hypotézy je dle mého názoru potřeba ještě více měření, aby se mohla výsledná data mezi sebou porovnávat. Také by bylo vhodné měřit na různých typech půdy na různých pozemcích.

7. Seznam použitých zdrojů

1. ADAMEC, Vilém. *Ochrana před povodněmi a ochrana obyvatelstva*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-118-7.
2. BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologie: [úvod do studia dějů v zemské atmosféře]*. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5.
3. BRÁZDIL, Rudolf, Petr DOBROVOLNÝ, Vilibald KAKOS a Oldřich KOTYZA. Historical and recent floods in the Czech Republic: causes, seasonality, trends, impacts. In *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. 1. vyd. Dordrecht: Springer, 2006. s. 247-259, 13 s. NATO Science Series - Vol. 67. ISBN 1-4020-4597-2.
4. ČAMROVÁ, Lenka a Jiřina JÍLKOVÁ. *Povodně v území: Institucionální a ekonomické souvislosti*. 1. Praha: Eurolex Bohemia, 2006. ISBN 80-7379-000-9.
5. ČAMROVÁ, Lenka a Jiřina JÍLKOVÁ. *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. 1. Praha: IEEP, Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku, 2006. ISBN 80-86684-35-0.
6. DUB, Otto. NĚMEC, Jaromír. *Hydrologie*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1969.
7. HANIŠOVÁ, Lucie. *Optimalizace pracovního postupu s infiltrometrem*. Praha, 2018. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Ing. Jana Kalibová, Ph.D.
8. HERYNEK, J. (1997) Vodohospodářské a lesotechnické meliorace a jejich vliv na průběh povodní ICID Povodně a krajina, Brno.
9. HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-01-01078-3.
10. HONSOVÁ, Dagmar. *Srážkové poměry v České republice* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=650>.
11. HRÁDEK, František a Petr KUŘÍK. *Hydrologie*. 3. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, 2008. ISBN 978-80-213-1744-4.

12. HŮLA, Josef. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-80-86884-53-0.
13. JAVŮREK, Miloslav a Milan VACH. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008. ISBN 978-80-87011-57-7.
14. JULIEN, Pierre Y. *Erosion and sedimentation*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-53737-7.
15. JURY, William A., Wilford R. GARDNER a Walter H. GARDNER. *SoilPhysics*. 5. 1946. ISBN 0-471-83108-5.
16. KIRKHAM, M.B. *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Přepřacované vydání. Amsterdam: Elsevier, 2004, 520 s. ISBN 0080492169.
17. KODEŠOVÁ, Radka, Antonín NIKODEM, Ondřej JAKŠÍK, Aleš KLEMENT a Miroslav FÉR. *Metodika průzkumu hydropedologických podmínek na území ovlivněném vodní erozí: certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, katedra pedologie a ochrany půd, 2015. ISBN 978-80-213-2601-9.
18. KOVÁŘ, P. – ŠIMKOVÁ, J. – ROUS, V. Možnosti využití modelové simulace hydrologických dat pro vodohospodářské studie a projekty. *Vodní hospodářství*, 2013, roč. 63, č. 12, s. 24-28. ISSN: 1211-0760.
19. KOPÁČEK, Jaroslav a Jan BEDNÁŘ. *Jak vzniká počasí*. V Praze: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1002-7.
20. KULHAVÝ, Zbyněk. *Systém včasné predikace přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace: Odborná zpráva za r.2017 (příloha k průběžné zprávě) č. projektu TH02010802*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2017.
21. KUTÍLEK, Miroslav, Václav KURÁŽ a Milena CÍSLEROVÁ. *Hydropedologie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2237-4.
22. KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie: celostátní učebnice pro vysoké školy*. Praha: SNTL, 1966.

23. KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie: vysokoškolská učebnice. 2., přeprac. vyd.* Praha: SNTL, 1978. Řada stavební literatury.
24. MATOUŠEK, Václav. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů.* Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2010. ISBN 978-80-87402-08-5.
25. MATULA, S., KOZÁKOVÁ, H. A simple pressure infiltrometer for determination of soil hydraulic properties by in situ infiltration measurements. 1997. *Rostlinná výroba*, 43, 405-413.
26. MISHRA, P.C. *Soil Pollution And Soil Organisms.* Dotisk. APH Publishing, 2012, 282 s. ISBN 9788131303443.
27. MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation.* 3rd ed. Malden, MA: Blackwell Pub., 2005. ISBN 14-051-1781-8.
28. NOVOTNÁ, Bc. Denisa. *Vliv časového průběhu intenzity dešťové srážky na proces infiltrace.* Praha, 2018. Diplomová práce. Česká Zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Ing. Jana Kalibová, Ph.D.
29. NOVOTNÝ, Ivan. *Příručka ochrany proti vodní erozi: [aktualizované znění - leden 2014]. 2., aktualiz. vyd.* Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014. ISBN 978-80-87361-33-7.
30. POKORNÁ, Dana a Jana ZÁBRANSKÁ. *Hydrologie a hydropedologie. 1.* Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-707-1.
31. RIEDL, O. ZACHAR, D. *Lesotechnické meliorace.* Praha, 1973.
32. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Aplikovaná a technická hydrobiologie.* Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2003. ISBN 978-80-7080-521-3.
33. SCHMIDT J., 2000: *Soil Erosion: application of physically based models.* Springer, Germany, 150 s.
34. SEIFERT, Vladimír. *Rozumíme počasí?.* Praha: Artia, 1987. Barevný průvodce.
35. SHAO, Yaping. *Physics and Modelling of Wind Erosion.* 2nd. revised and expanded edition. Germany: Springer, 2008. ISBN 978-1-4020-8894-0.

36. SHROFF, Arvin V. a Dhananjay L. SHAH. *Soil mechanics and geotechnical engineering*. Exton PA: A.A. Balkema, c2003. ISBN 9058092356.

37. SOBÍŠEK, B. 1993. Meteorologický slovník výkladový terminologický: S cizojazyčnými názvy hesel ve slovenštině, angličtině, němčině, francouzštině a ruštině. Academia. Praha. 594 s. ISBN: 80-85368-45-5.

38. STÁTNÍKOVÁ, Pavla. *Povodně a záplavy*. V Praze: Paseka, 2012. Zmizelá Praha. ISBN 978-80-7432-182-5.

39. STŘEDOVÁ, Hana, Jaroslav ROŽNOVSKÝ a Tomáš LITSCHMANN, ed. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí: sborník abstraktů z mezinárodní konference : Skalní mlýn 2.-4.2.2011*. Praha: Česká bioklimatická společnost v nakl. Český hydrometeorologický ústav, 2011. ISBN 978-80-86690-87-2.

40. ŠILAR, Jan. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-7078-361-3.

41. TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 9788086690261.

42. WINGET, Mary. *Floods*. LernerClassroom, 2008. ISBN 9781580138680.

Platné právní předpisy:

Zákon č.254/2001 Sb., Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění

Internetové zdroje:

1. *Nenasycená hydraulická vodivost - Mini Disk Infiltrimeter* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <http://hydropedologie.agrobiologie.cz/minidisk.html>
2. HUFFMAN, George J. *Journal of hydrometeorology* [online]. 2007, (8), 38-55 [cit. 2019-03-09]. DOI: 10.1175/JHM560.1. Dostupné z: [http://hydro.ou.edu/files/publications/2007/The%20TRMM%20Multisatellite%20Precipitation%20Analysis%20\(TMPA\)%20Quasi-Global,%20Multiyear,%20Combined-Sensor%20Precipitation%20Estimates%20at%20Fine%20Scales.pdf](http://hydro.ou.edu/files/publications/2007/The%20TRMM%20Multisatellite%20Precipitation%20Analysis%20(TMPA)%20Quasi-Global,%20Multiyear,%20Combined-Sensor%20Precipitation%20Estimates%20at%20Fine%20Scales.pdf)
3. Eroze půdy. *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.* [online]. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <https://www.vumop.cz/eroze-pudy.cz>

4. KOCMAN, T., KUBÁT, J. & MUSIL, P., 2011. Lokální výstražné a varovné systémy v ochraně před povodněmi [online]. [cit.2019-9-19], dostupné z: <http://www.povis.cz/mzp/131/LVVS.pdf>
5. Projekty TA ČR. *Výzkumný ústav meliorací* [online]. [cit. 2019-09-23]. Dostupné z: <https://www.vumop.cz/projekty-ta-cr>
6. Pojem srážky a jejich druhy [online]. [cit. 2019-09-23]. Dostupné z: <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/meteorologie/atmosfericke-srazky/>
7. FIERZ, C. a kol. *The International Classification for Seasonal Snow on the Ground*. Paříž: UNESCO-IHP, 2009. 81 s. [online]. [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186462>
8. *Historie ústavu* [online]. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/o-nas/historie-ustavu.cz>
9. *Meteocentrum: Meteorologické stanice* [online]. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20090529072412/http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/index.php>
10. RÖNNQVIST, Hans. Double-Ring Infiltrometer for *In-Situ* Permeability Determination of Dam Material. *Engineering* [online]. 2018, **10**(06), 320-328 [cit. 2019-12-03]. DOI: 10.4236/eng.2018.106022. ISSN 1947-3931. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/eng.2018.106022>
11. ŠINDELÁŘ, R., KOVAŘÍČEK, P., VLÁŠKOVÁ, M., HŮLA, J., KROULÍK, M. Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru Mini Disk. [Measurement of water infiltration into soil using round infiltrometer Mini disk]. *Agrotech Science*, [online], 2008, [cit. 2019-12-03], roč. 2, č. 3, článek 4, s. 1-6. Dostupný z WWW: <www.agritech.cz>. ISSN 1802-8942

Nepublikované zdroje:

1. Ing. Pánková (2018), Katedra biotechnických úprav krajiny: Zrnitost vzorů půdy, nepublikováno
2. Ing. Jana Kalibová, Ph.D. (2019) Katedra biotechnických úprav krajiny: Popis infiltrometru, nepublikováno
3. RNDr. Michal Jeníček, Ph.D. (2009): Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany. Univerzita Karlova v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha (disertační práce), nepublikováno, dep. UK
4. Ing. Jana Kalibová, Ph.D. (2019) Katedra biotechnických úprav krajiny: Výzkum eroze půdy s využitím laboratorního simulátoru deště v laboratoři MCEV. Manuál

8. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1: Hyetogram dle ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR zobrazující proměnnou srážku

Obrázek č. 2: Kontrolní jednotka sloužící k ovládní přístroje

Obrázek č. 3: Upevnění hrotu ke kroužku

Obrázek č. 4: Zapojení hadiček pro čerpání vody ze zásobní nádrže k čerpadlu a trysce simulátoru

Obrázek č. 5: Soustava při kalibraci

Obrázek č. 6: Instalace infiltrometru v laboratoři

Obrázek č. 7: Rozmístění sond při měření ve dne 13.3.2018

Obrázek č. 8: Rozmístění sond při měření ve dne 20.3.2018

Obrázek č. 9: Rozmístění sond při měření ve dne 27.3.2018

Obrázek č. 10: Pokusné odtokové žlaby s překlápěcími průtokoměry

Obrázek č. 11: Koloběh vody na Zemi

Obrázek č. 12: Schéma dvouválcového infiltrometru

Obrázek č. 13: Schéma podtlakového infiltrometru

Obrázek č. 14: Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru

Obrázek č. 15: Schéma Guelphského permeometru

Obrázek č. 16: Simulátor deště

Obrázek č. 17: Mapa znázorňující vliv přívalového deště na erozi orné půdy v ČR

Obrázek č. 18: Potenciální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí

Obrázek č. 19: Potenciální ohroženost orné půdy větrnou erozí

Obrázek č. 20: Klasifikace protipovodňových opatření

Obrázek č. 21: Zrnitostní křivka ze dne 13.3.2018

Obrázek č.22: Zrnitostní křivka ze dne 20.3.2018

Obrázek č. 23: Zrnitostní křivka ze dne 27.3.2018

Obrázek č. 24: Měření v laboratoři na vytvořeném půdním profilu

Obrázek č. 25: Srovnání doby výtopy z 13.3.2018

Obrázek č. 26: Srovnání doby výtopy z 20.3.2018

Obrázek č. 27: Srovnání doby výtopy z 27.3.2018

Obrázek č. 28: Infiltrační křivky – ilustrační foto

Obrázek č. 29: Srovnání doby výtopy všech měření

Tabulka č. 1: Souhrn měření z 13.3.2018

Tabulka č. 2: Souhrn měření z 20.3.2018

Tabulka č. 3: Souhrn měření z 27.3.2018