

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vliv časového průběhu intenzity dešťové srážky na  
proces infiltrace

Autor: Bc. Denisa Novotná

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

2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Denisa Novotná

Regionální environmentální správa

Název práce

**Vliv časového průběhu intenzity dešťové srážky na proces infiltrace**

Název anglicky

**Influence of time course of rainfall intensity on the infiltration process**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce je provést sérii měření infiltrace s využitím simulace deště o proměnné a konstantní intenzitě a vyhodnotit rozdíly v době výtopy při konstantní a proměnné intenzitě deště. Dílčím cílem práce je v rámci rešerše stručně popsat problematiku srážkoodtokového procesu povodí, povodní a eroze půdy způsobené povrchovým odtokem.

### Metodika

Literární rešerše bude zpracovaná na základě čerpání informací z tuzemské a zahraniční literatury, praktická část bude založena na dokumentaci terénního měření, práce s infiltrometrem a způsobu zpracování naměřených dat. Získaná data z jednotlivých srážkových událostí poslouží k vynesení infiltrační křivky. V závěru budou porovnány hodnoty doby výtopy.

**Doporučený rozsah práce**

40-60 normostran

**Klíčová slova**

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

---

**Doporučené zdroje informací**

HOLÝ, M. *Eroze a životní prostředí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01078-3.  
MORGAN, R P C. *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell, 2005. ISBN 1-4051-1781-8.  
NIELSEN, D R. – KUTÍLEK, M. *Soil hydrology*. Cremlingen-Destedt: Catena, 1994. ISBN 3-923381-26-3.  
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**

2017/18 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra biotechnických úprav krajiny

---

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2018

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2018

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2018

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem samostatně vypracovala tuto diplomovou práci pod odborným vedením Ing. Jany Kalibové, Ph.D. a v práci uvádím všechny použité literární zdroje a prameny.

V Hostivici dne 25. 3. 2018

.....

Denisa Novotná

## **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 řady cenných rad při jejím zpracování.

**Vliv časového průběhu intenzity dešťové  
srážky na proces infiltrace**

**Influence of time course of rainfall  
intensity on the infiltration process**

## **Abstrakt**

Cílem této práce je provést sérii měření s využitím simulace deště o proměnné a konstantní intenzitě a vyhodnotit a porovnat doby výtopy při těchto intenzitách. Na pokusné lokalitě v obci Nebušice bylo provedeno v říjnu 2017 37 měření. V lednu 2018 bylo pro porovnání provedeno 20 měření v laboratoři na umělém půdním profilu. Při měření byl využit prototyp infiltrometru vyvíjený v rámci výzkumného projektu TAČR TH02010802 „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“, který má do budoucna tvořit základ nového, přesnějšího varovného systému před bleskovými povodněmi. V metodice práce je popsán infiltrometr a jeho části, je uvedeno, jak se přístroj ovládá a nastavuje. Pomocí ilustračních obrázků a návodu je popsána jeho instalace v terénu. V rešeršní části práce je stručně popsána problematika srážkoodtokového procesu v povodí, povodní a eroze půdy způsobené povrchovým odtokem. Dále jsou v práci popsány nejběžnější metody měření infiltrace. Výsledky práce nepotvrdily ani nevyvrátily hypotézu, že při konstantní intenzitě deště dojde k výtopě rychleji, než při proměnné intenzitě deště.

## **Klíčová slova**

- intenzita deště
- infiltrace
- infiltrometr
- eroze
- povrchový odtok
- bleskové povodně

## **Abstract**

The aim of this work is to make series of measurements using the rainfall simulation of variable and constant intensity. We use this data to evaluate and compare the ponding time under these intensities. 37 measurements were made in October 2017 at the experimental location in Nebušice. Another 20 measurements were made in January 2018 on artificial soil profile at the laboratory for comparison purposes. Measurements have been taken by infiltrometer prototype, which is being developed within research project of TAČR TH02010802 „The system of timely prediction of flash floods based on the direct measurement of infiltration“. This infiltrometer is eventually going to form the basis of a new, more accurate warning system of flash floods. Infiltrometer and it's parts are described in methodology, including how to use the device, and also how to set it up correctly. Proper field installation is described by set of illustrations and instructions. The problem of precipitation-flow process, floods and soil erosion caused by surface runoff is briefly described in research part of this thesis. Furthermore, the most common methods of measuring infiltration are described. The results of the work did neither confirm or contradict hypothesis that during a constant intensity of rain, flood come faster than during the variable rain intensity.

## **Keywords**

- rain intensity
- infiltration
- infiltrometer
- erosion
- surface runoff
- flash flood



## Obsah:

<b>1. Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Cíle práce</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Metodika</b> .....	<b>14</b>
3.1 Literární řešerše .....	14
3.2 Praktická část .....	14
3.2.1 Popis přístroje .....	14
3.2.2 Popis funkcí infiltrometru .....	18
3.2.3 Vlastní nastavení použité v rámci této práce.....	21
3.2.4 Průběh měření.....	22
3.2.5 Instalace infiltrometru do terénu.....	23
3.3 Vyhodnocení dat.....	24
<b>4. Literární řešerše</b> .....	<b>25</b>
4.1 Eroze.....	25
4.2 Druhy eroze .....	25
4.2.1 Vodní eroze .....	25
4.2.2 Větrná eroze .....	27
4.2.3 Ledovcová eroze .....	28
4.2.4 Sněhová eroze .....	28
4.2.5 Antropogenní eroze .....	28
4.3 Atmosférické srážky.....	29
4.3.1 Typy atmosférických srážek.....	29
4.3.2 Měření srážek.....	30
4.4 Infiltrace.....	31
4.4.1 Metody měření infiltrace .....	33
4.5 Povrchový odtok .....	36
4.6 Povodně .....	37
4.6.1 Přívalové povodně a jejich předpověď .....	38
4.7 Kritický bod.....	39
<b>5. Charakteristika studijního území</b> .....	<b>40</b>
5.1 Lokalizace .....	40
5.2 Klimatická charakteristika lokality.....	42
5.3 Pedologická charakteristika lokality .....	42
5.4 Geologické poměry.....	43
<b>6. Výsledky a diskuze</b> .....	<b>45</b>
6.1 Terénní měření 24. 10. 2017 .....	46
6.2 Terénní měření 25. 10. 2017 .....	50

6.3	Měření v laboratoři 11. 1. 2018 .....	54
7.	<b>Závěr</b> .....	<b>60</b>
8.	<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>61</b>
9.	<b>Seznam obrázků a tabulek</b> .....	<b>64</b>

## 1. Úvod

Přívalové povodně jsou jeden z extrémních erozních faktorů, před kterým se těžko chrání. V rámci předpovědní povodňové služby využívá ČHMÚ v letních měsících Indikátor přívalových povodní, pokrývající celé území státu. Systém ale nezohledňuje časové změny půdních podmínek, např. na zemědělsky využívaných půdách, což je zdrojem chyb, zejména s ohledem na proměnlivé infiltrační charakteristiky půd. Další metody předpovědi přívalových povodní s využitím stávajících modelů používaných ČHMÚ, resp. nově vyvíjených, jsou v současnosti ve stádiu výzkumu a testování. Paralelně od roku 1998 pak byly v mnoha jednotlivých místech v ČR vytvořeny lokální varovné systémy (Tachecí a kol. 2016).

V této diplomové práci bude představen infiltrometr, který je novinkou v oblasti předpovědi bleskové povodně. Měl by tvořit základ nového, přesnějšího varovného systému. Infiltrometr je založen na měření aktuální infiltrační schopnosti půd a bude propojen s předpovědí ČHMÚ, což přinese přesnější lokalizaci a načasování přívalových srážek, díky které bude možné na dané lokalitě s předstihem několika hodin provést měření aktuálních infiltračních schopností půdy a následně posoudit riziko vzniku bleskové povodně. V současné době jsou varovné systémy zatíženy velkou chybou v důsledku nepřesné místní i časové lokalizace srážkových jader. Tento infiltrometr se od předchozích produktů liší především tím, že umí simulovat proměnnou intenzitu deště, která více odpovídá skutečnému dešti. Také je velice jednoduchý na užívání a lehce přenosný.

Území České republiky je převážně vystaveno dvěma hlavními typům povodňového nebezpečí. Z nedávné minulosti máme v živé paměti jak problémy spojené s odstraňováním následků povodní z regionálních dešťů (např. Morava 1997, Čechy 2002), tak nově se snažíme předcházet a minimalizovat škody způsobené právě tzv. bleskovými povodněmi z přívalových srážek. Vzpomeňme na červen, červenec a srpen roku 2009, kdy Česká republika byla postižena řadou extrémních srážkových epizod, což vedlo ke zvýšení povrchového odtoku a podmínek pro vznik povodní. Bouřky byly většinou místní povahy a ovlivňovaly téměř celé území republiky (MZE ©2014).

V podmínkách České republiky je výskyt přívalových, erozně nebezpečných dešťů nepravidelný a těžko předvídatelný. Podle statistik Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) kolísá výskyt těchto dešťů v jedné lokalitě v širokém rozmezí, nejvyšší pravděpodobnost jejich výskytu je v období od května

do srpna. Při intenzivních dešťových srážkách má velký význam infiltrační kapacita půdy, jež následně určuje poměr mezi dešťovou vodou, která se infiltruje do půdy a podzemních vod a vodou zbylou – tvořící povrchový odtok. Nízká infiltrace srážkové vody do půdy představuje při přívalových deštích riziko lokálních povodní a na nechráněné půdě vysoké riziko vodní eroze. V případě zemědělské půdy vzniká největší riziko na pozemcích, kde jsou pěstovány širokořádkové plodiny – nejvíce využívaná je kukuřice, ale poškozování půdy vodní erozí hrozí i u dalších plodin (cukrovka, slunečnice, brambory) (Hůla a kol. 2010).

Podle Zprávy o stavu životního prostředí České republiky (CENIA 2015) bylo v roce 2015 potencionálně ohroženo dlouhodobým průměrným smyvem půdy vyšším než 2,1 t/ha/rok celkem 47,3 % hodnocené výměry zemědělské půdy v ČR. Z toho bylo ohroženo extrémní vodní erozí 11,4 % zemědělské půdy.

Doposud byla infiltrační schopnost půdy měřena buď metodou výtopy, nebo simulací deště o konstantní intenzitě. Představený infiltrometr umožňuje simulovat déšť jak o konstantní, tak proměnné intenzitě. Proměnná intenzita více odpovídá přirozenému dešti, ovšem provedení a vyhodnocení měření je složitější. Cílem práce je 1) vyhodnotit rozdíly v době výtopy způsobené dešťovou srážkou o proměnné a konstantní intenzitě a 2) na základě výstupů z prvního cíle diskutovat, zda má smysl směřovat budoucí technologický vývoj k simulaci srážek o proměnné intenzitě, nebo zda konstantní průběh intenzity simulované srážky poskytuje dostatečně přesné výstupy. Výsledky práce by měly pomoci ke zdokonalení varovných systémů a následné včasné předpovědi přívalových povodní.

## 2. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je:

- provést sérii měření infiltrace s využitím simulace deště o proměnné a konstantní intenzitě,
- vyhodnotit rozdíly v době výtopy při konstantní nebo proměnné intenzitě deště,
- na základě výstupů z druhého cíle diskutovat, zda má smysl směřovat budoucí technologický vývoj k simulaci srážek o proměnné intenzitě, nebo zda konstantní průběh intenzity simulované srážky poskytuje dostatečně přesné výstupy.

V rámci rešerše bude stručně popsána problematika srážkoodtokového procesu v povodí, povodní a eroze půdy způsobené povrchovým odtokem.

### 3. Metodika

#### 3.1 Literární rešerše

Teoretická část práce bude zpracována jako rešerše formou deskripce k dané problematice. Na základě čerpání informací z tuzemské a zahraniční literatury bude stručně popsána problematika eroze a její druhy se zaměřením na erozi vodní, jejich výskyt a lokalizace v České republice. Další část rešerše přiblíží téma srážek, povrchového odtoku a povodní. V závěru rešerše budou zmíněny způsoby měření infiltrace.

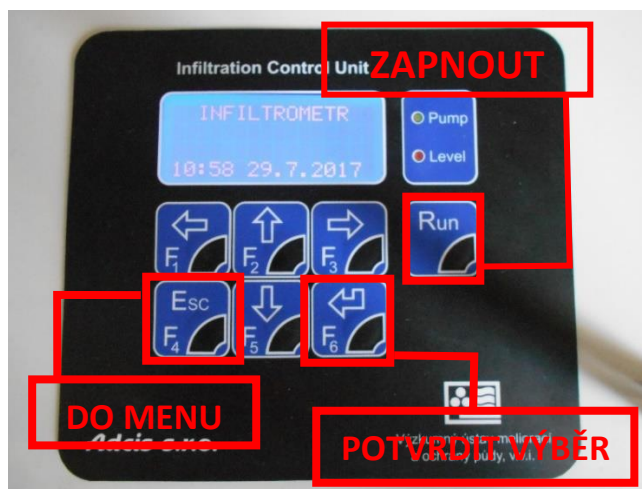
#### 3.2 Praktická část

Praktická část práce bude založena na popisu práce s infiltrometrem, dokumentaci terénního měření, a způsobu zpracování naměřených dat.

##### 3.2.1 Popis přístroje

Infiltrometr, vyrobený firmou ADCIS s.r.o. v rámci TAČR (viz. úvod), se skládá z několika částí. Nejdůležitější a hlavní část je kontrolní jednotka, kterou lze vidět na obrázku č. 1.

Na kontrolní jednotce se nachází několik tlačítek, které slouží k obsluze infiltrometru. Základním tlačítkem je tlačítko Run, kterým se infiltrometr spustí, a tlačítko Esc, kterým se uživatel dostane do ovládacího menu. Dále kontrolní jednotka obsahuje tlačítka, kterými se pohybujeme v menu, především tlačítka F1, F2, F3 a F5. Tlačítko F6, Enter, slouží k potvrzení výběru, ale pokud se nacházíme na základní obrazovce a stiskneme tlačítko F6, dostaneme se do menu Fáze měření. Umístění ovládacích tlačítek lze vidět na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1 : Klávesnice kontrolní jednotky.

Na kontrolní jednotce se také nachází dvě malá LED světla. Zelené (Pump) blikne při každém pulzu čerpadla. Červené LED světlo (Level) se rozsvítí, jakmile dojde ke spojení hrotu s hladinou, tzn. signalizuje, že došlo k výtopě. Červené světlo bude svítit, dokud nedojde k utržení hrotu od hladiny, tzn. dokud nedojde k odtržení menisku. Umístění LED světel lze vidět na obrázku č. 2.



**Obrázek č. 2 : LED světla na kontrolní jednotce.**

Další součástí infiltrometru je prstenec neboli vymežovací válec, který se zatlačí do půdního profilu tak, aby definoval infiltrační oblast a vertikálně usměrnil proces infiltrace v povrchové vrstvě. Jak lze vidět na obrázku č. 3, shora je instalován výškově nastavitelný hladinový hrot, který umožňuje na principu propojení elektrického obvodu kontrolovat zatopení vymežovacího válce. Podél vnitřní stěny prstence lze nainstalovat zadešťovací trysku (viz. obrázek č. 3). Uvedená verze prstence (průměr 100 mm) je ovšem dimenzována pouze pro hodnoty intenzity deště odpovídající konstantnímu průběhu. Při proměnné intenzitě deště je třeba aplikovat hodnoty převyšující kapacitu uvedeného aparátu (především trysky). Podrobnosti o návrhových srážkách a průběhu konstantní a proměnné intenzity deště jsou poskytnuty v kapitole 3.2.4 *Průběh měření*. Pro umožnění simulace deště o vyšší intenzitě bude pro účely diplomové práce použit prstenec o menším průměru (61 mm) a voda bude čerpána přímo do hadičky, nebude instalována zadešťovací tryska (viz. obrázek č. 11).



**Obrázek č. 3:** Prstenec s hrotem a zadešřovací tryskou.

Infiltrometr lze s prstencem propojit pomocí dvou kabelů označených INFILTROMETR nebo VÝTOPA. Kabel INFILTROMETR slouží pro měření simulovaného deště (obrázek č. 4). Kabel VÝTOPA (obrázek č. 5) slouží k měření skutečného deště. Každý kabel má dva výstupy. Modrý drát s červeným zakončením, tzv. faston, se napojuje na zemnění prstence, černý se připojuje k hrotu prstence (obrázek č. 6).

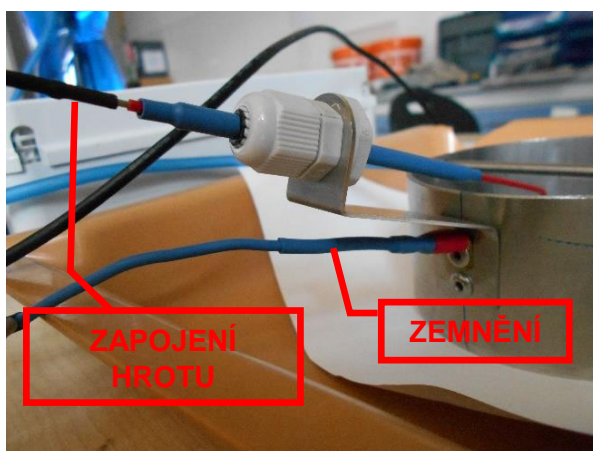


**Obrázek č. 4 :** Kabel INFILTROMETR, sloužící k simulaci deště.



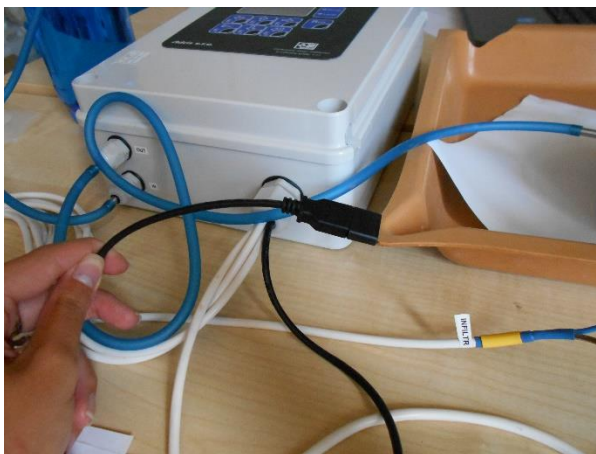


**Obrázek č. 5:** Kabel VÝTOPA, sloužící k měření skutečného deště.



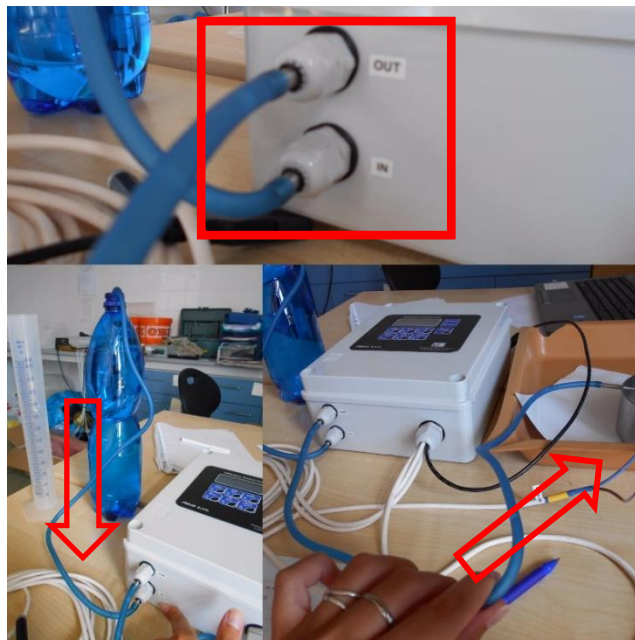
**Obrázek č. 6:** Detailní zobrazení zapojení na prstenc

Černý kabel, který lze vidět na obrázku č. 7, se používá ke stahování naměřených dat z infiltrometru do počítače. Bílý kabel lze připojit k solárnímu panelu, nebo na jiný externí zdroj energie. Infiltrometr by měl na plně nabitou baterii vydržet celý den měření.



**Obrázek č. 7:** Kabel ke stahování dat.

Na ovládací, neboli kontrolní jednotce, se nachází dva výstupy, IN a OUT. Na výstup IN se napojuje hadička, která přes filtr nasává vodu ze zdroje do čerpadla infiltrometru. Na výstup OUT se napojuje hadička, která přivádí vodu z čerpadla do trysky. Zapojení hadiček lze vidět na obrázku č. 8.



**Obrázek č. 8:** Výstupy na kontrolní jednotce.

### 3.2.2 Popis funkcí infiltrometru

V hlavním menu, do kterého se dostaneme z hlavní obrazovky stisknutím klávesy F1, jsou na výběr čtyři možnosti (uvedeny jsou vždy název položky a vysvětlení funkce):

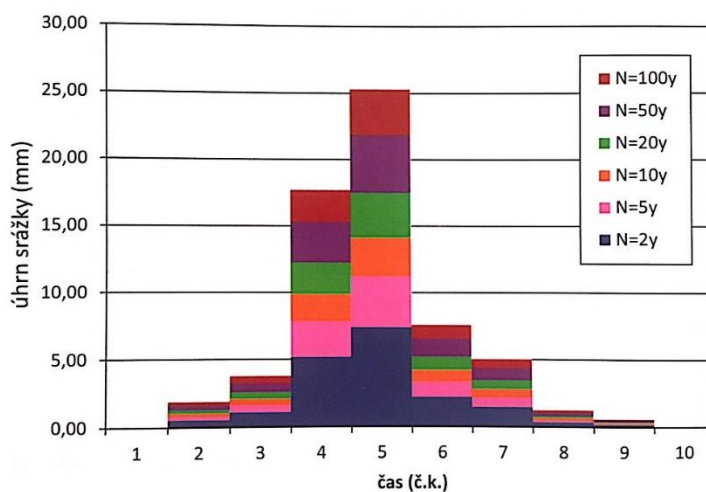
#### 1. Nastavení pro měření, kde se nastavují parametry pro měření:

- průměr prstence; původní prstenec má průměr 100 mm, pro účely mé diplomové práce však používáme menší průměr prstence (61 mm),
- výška hrotu nad terénem; nastavuje se kvůli nerovnostem půdního profilu, obvykle cca 5 mm,
- měření fáze 2; jakmile dojde k výtopě a následnému odtrhnutí menisku, přístroj začne měřit znovu, pokud bychom nechali jednu fázi, přístroj po odtržení hrotu od hladiny vytopeného prstence ukončí měření,
- indikace hladiny; přístroj zaznamená, že došlo ke spojení hladinového hrotu s hladinou,

- indikace periody; jakmile dojde ke spojení hrotu s hladinou, rozsvítí se červená LED dioda,
- inverzní činnost čerpadla; připraveno pro budoucí využití přístroje – pro odčerpávání vody z půdních sond, nesouvisí s metodikou práce,
- počítání korekce; odečet „nadbytečné“ vody – doba výtopy je upravena o dobu potřebnou pro nakapání objemu mezi povrchem terénu a hrotem,
- detekce hladiny hrotem; jakmile se výškový hrot dotkne hladiny, přístroj zaznamená čas výtopy,
- pro vybrané čerpadlo lokalit; z databáze přístroje se vybere lokalita, která odpovídá vstupním hodnotám návrhové srážky – N-letost, konkrétní hodnota intenzity deště
- volba ukončení měření; zvolíme, jakým způsobem dojde k ukončení měření. K dispozici jsou 4 možnosti, my volíme „pokračovat v maximální intenzitě“, tzn. že po dosažení doby výtopy a utržení hrotu dojde k dočerpání už jen maximální možnou intenzitou deště (nepokračuje se v hodnotách odpovídajícím průběhu intenzity srážky (viz. tabulka č. 1).

## 2. Nastavení přístroje:

- nastavení křivek; zatím je v přístroji zadaná jen jedna křivka pro proměnnou intenzitu, která svým průběhem odpovídá hyetogramu ÚFA Akademie věd (viz. obrázek č. 9 ),



**Obrázek č. 9:** Hyetogram ÚFA Akademie věd pro  $t=20$  min (Kovář a kol. 2013).

- telefonní čísla; slouží pro komunikaci přístroje přes SMS, zatím je jen jedno, do budoucna by mohlo být až 6,
- výběr lokality; zatím jedna, do budoucna by mohlo být až 600, podle hydrometeorologických stanic (Šamaj a kol. 1983),
- počet kroužků (původně počet čerpadel); zatím máme jeden kroužek, do budoucna by mohlo být až šest čerpadel, tedy i šest kroužků, pro měření dešťů o různých intenzitách (N-letostech) najednou,
- voda v nádrži - nastavíme podle toho, kolik vody máme ve zdroji,
- reálná srážka; zda měříme srážku skutečnou nebo simulovanou,
- podsvícení LCD; necháme původní nastavení, při aktivitě 70 %, v úsporném režimu 1 %, případně upravíme dle uvážení uživatele
- kontrast LCD; necháme také v původním nastavení, 70 %, případně upravíme dle uvážení uživatele
- vypínání LCD; zde je možnost On a Off, pokud tuto možnost zapneme, při delší neaktivitě se LCD obrazovka vypne a šetří baterii,
- vypínání LCD se SOL panelem,
- vypínání LCD; nastavíme čas vypnutí např. 5 minut,
- zobrazení telefonního čísla příchozího hovoru,
- zobrazení čísla příchozí SMS zprávy,
- data měření na FTP server.

### 3. Ostatní:

- uložit nastavení,
- načíst nastavení; pro případ, že bychom chtěli načíst poslední uložené nastavení – odpadá nutnost opakovaného manuálního nastavení,
- výchozí nastavení; přístroj se vrátí do továrního nastavení, které ale neodpovídá žádnému měření, které my provádíme,
- přepnutí do programovacího modu; tato možnost slouží pro přehrávání softwaru,
- restart systému,
- čas běhu systému; ukazuje nám, jak dlouho je přístroj zapnutý,
- zapnutí připojení k PC; pokud chceme stáhnout naměřená data do počítače, musíme nejprve zapnout tuto možnost, pak až připojit k počítači,
- síla signálu GSM; vzdálený přístup k přístroji,
- GSM/FTP; globální systém pro mobilní komunikaci,

- Systém info; jedná se o Software verze 3.14.72, DPS 002, VC 001, informace pro konstruktéry,
- Přihlášení, PIN; slouží do budoucna pro vzdálený přístup přes mobilní telefon,
- Odhlášení; slouží do budoucna pro vzdálený přístup přes mobilní telefon,
- Výpis napětí.

**4. Vypnutí přístroje**, dokud je přístroj zapojen ke zdroji energie, nelze vypnout.

### 3.2.3 Vlastní nastavení použité v rámci této práce

V rámci nastavení měření pro účely mé diplomové práce se nevyužijí všechny nabízené funkce a možnosti nastavení. V následujících odstavcích budou uvedeny jen ty funkce, které budeme nastavovat. Nejdůležitější je první sekce nastavení „Nastavení pro měření“:

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

V „Nastavení přístroje“ budeme nastavovat jen některé parametry:

- nastavení křivek, nastavíme 1,
- voda v nádrži, 2 l,
- reálná srážka, nastavíme NE.

V sekci „Ostatní“ jen nastavení uložíme.

### 3.2.4 Průběh měření

Pokud je přístroj nastaven, vrátíme se zpět na hlavní obrazovku pomocí tlačítka F4 (Esc). Z hlavní obrazovky se stisknutím tlačítka F6 (Enter) dostaneme do samotného procesu měření. To má několik fází:

- **zavodnění**, při kterém se dostane voda do celého přístroje (čerpadla), a odstraní se vzduchové bubliny z hadiček, které přivádí vodu ze zdroje a následně odvádí vodu do trysky,
- **kalibrace** (viz. obrázek č. 10), při které zjistíme, kolik ml vody připadá na 1 puls čerpadla, kalibrace se provádí až třikrát, do přístroje zadáváme průměrnou hodnotu,
- **měření**, kde nastavujeme TSR (doba srážky), tu nastavíme 15 minut, stejně jako pro TZK (doba zkoušky). Určíme, zda chceme naměřit proměnnou nebo konstantní intenzitu srážky a následně zadáváme úhrn srážky. Pro účely mé diplomové práce použijeme úhrn pro 100-letý déšť a to 45,6 mm, to je určeno dle modelu DES\_RAIN (Kovář a kol. 2013). Přístroj celkový úhrn srážky rozdělí dle zadané doby trvání srážky a průběhu intenzity (proměnná/konstantní). Konkrétní hodnoty intenzity deště uvádí tabulka č. 1.

délka deště = 15min  
délka časového kroku = 1,5 min (90 s)  
hodnoty intenzity (mm/min) v časových krocích

	číslo časového kroku časový rozsah kroku (s)	1 0-90	2 91-180	3 181-270	4 271-360	5 361-450	6 451-540	7 541-630	8 631-720	9 721-810	10 811-900
intenzita (mm/min) pro jednotlivé doby opakování*	N = 2 roky	0	0.2775	0.5550	2.5904	3.7005	1.1101	0.7401	0.1850	0.0925	0
	N = 5 let	0	0.4195	0.8390	3.9157	5.5939	1.6781	1.1187	0.2796	0.1398	0
	N = 10 let	0	0.5180	1.0360	4.8350	6.9072	2.0721	1.3814	0.3453	0.1726	0
	N = 20 let	0	0.6391	1.2783	5.9657	8.5225	2.5567	1.7045	0.4261	0.2130	0
	N = 50 let	0	0.7939	1.5879	7.4102	10.586	3.1758	2.1172	0.5293	0.2646	0
	N = 100 let	0	0.9122	1.8244	8.5143	12.163	3.6489	2.4326	0.6081	0.3040	0

**Tabulka č. 1: Hodnoty intenzity deště (Kovář a kol. 2013).**



**Obrázek č. 10:** Kalibrace.

### 3.2.5 Instalace infiltrometru do terénu

Pokud jsou nastaveny všechny potřebné parametry, které jsou nutné pro úspěšné měření, může se přejít k instalaci infiltrometru na pokusné lokalitě.

Nejdříve se připraví půdní povrch a to tak, že se pomocí nůžek odstraní vegetace na místě, kde chceme měření spustit. Vegetaci nevytrháváme ručně, abychom nenarušili půdní povrch a nezpůsobili vznik preferenčních cest. Menší prstenec, o průměru 61 mm, se pomocí prkénka a palice zatluče na připravené místo. Větší prstenec, o průměru 100 mm, se zatluče tak, aby menší prstenec byl přibližně v jeho středu.

Prstenec zapojíme tak, jak bylo popsáno v kapitole 3.2.1 *Popis přístroje*, zapojíme hrot a faston. Hrot nastavíme tak, aby byl ve výšce 5 mm nad povrchem. Oba prstence uzemníme, aby nedocházelo k hromadění elektrického náboje. Protože chceme, aby simulovaný déšť dopadal pouze do menšího prstence, provizorně připevníme hadičku k vyššímu hrníčku a sítku (provizorní řešení, v rámci dalšího vývoje přístroje bude vyřešeno lépe). Sítko použijeme proto, aby se simulovaný déšť soustředil přibližně ve středu menšího prstence. Pozn.: autorka si uvědomuje nedostatky tohoto způsobu aplikace deště (velké kapky, nerozmístěné rovnoměrně po ploše prstence). Pro pilotní výzkum a srovnání doby výtopy způsobené srážkou o proměnné a konstantní intenzitě je však tento postup

dostačující. Zapojení infiltrometru v terénu by pak mohlo vypadat přibližně jako na obrázku č. 11.



**Obrázek č. 11:** Instalace infiltrometru v terénu.

### 3.3 Vyhodnocení dat

Z naměřených dat budou vyhodnoceny a porovnány doby výtopy a vyneseny počáteční části infiltrační křivky (neměřilo se až do ustálení infiltrace, jelikož tato práce se zaměřuje na vyhodnocení doby výtopy). Infiltrační křivky budou vyneseny až od bodu doby výtopy, jelikož konstrukční řešení přístroje neumožňuje přesně určit průběh infiltrace před dosažením výtopy. Budou porovnány hodnoty doby výtopy způsobené příčinnou srážkou o konstantní intenzitě, a doby výtopy z měření, kde příčinná srážka měla proměnnou intenzitu.

V závěru práce budou diskutovány zjištěné výsledky.



## **4. Literární rešerše**

### **4.1 Eroze**

Intenzivní využívání půdy pro zemědělskou výrobu a realizace investiční výstavby porušila postupně přirozený kryt půdy a vystavila její povrch působení erozních sil. Rozvinula se eroze, spočívající v destrukčním účinku vody a větru na půdní povrch. Dochází k rozrušování a odnosu půdní hmoty zemského povrchu a k jejímu ukládání. Zároveň dochází k transportu chemických látek uvolněných z půdy tekoucí vodou, jež způsobují v mnoha případech výrazné zhoršení jakosti povrchových i podzemních vod a současně ztrátu živin pro vegetaci (Holý 1994).

Když na půdu dopadají dešťové kapky, oddělují se z ní půdní částice, a to v míře, která závisí na velikosti a rychlosti dopadajících kapek. Následně jsou oddělené půdní částice odnášeny povrchovou tekoucí vodou. Některé částice vyplňují půdní póry a uzavírají tak povrch půdy, čímž snižují infiltrační schopnost půdy. K tvorbě povrchového odtoku dochází, jestliže množství srážek převyšuje infiltrační schopnost půdy. Odstraňování půdy erozí probíhá mnohem rychleji, než ji půdotvorné procesy dokáží nahradit (SoCo Project Team 2009).

Od roku 2000 u nás každým dnem mizí 10,7 ha půdy a tento trend roste. Největší podíl na tomto stavu má výstavba silnic a dálnic (Janeček 2008).

### **4.2 Druhy eroze**

Kvalitní ochrana půdy vychází z kvalitní znalosti vlastního procesu eroze a specifik jednotlivých typů eroze. Druhy eroze se dělí především podle činitele, který způsobuje vznik a působí na průběh erozních procesů. Rozeznáváme:

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

#### **4.2.1 Vodní eroze**

Vodní eroze je vyvolávána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Povrchový odtok vzniká z přívalových nebo dlouhotrvajících srážek, ze sněhových vod při jarním tání a také koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti. Voda mořská, jezerní

a rybníční způsobuje erozi pobřeží, podzemní vody, zejména vody v krasových útvarech, vyvolávají kromě mechanické eroze i chemickou erozi (Schmidt 2000).

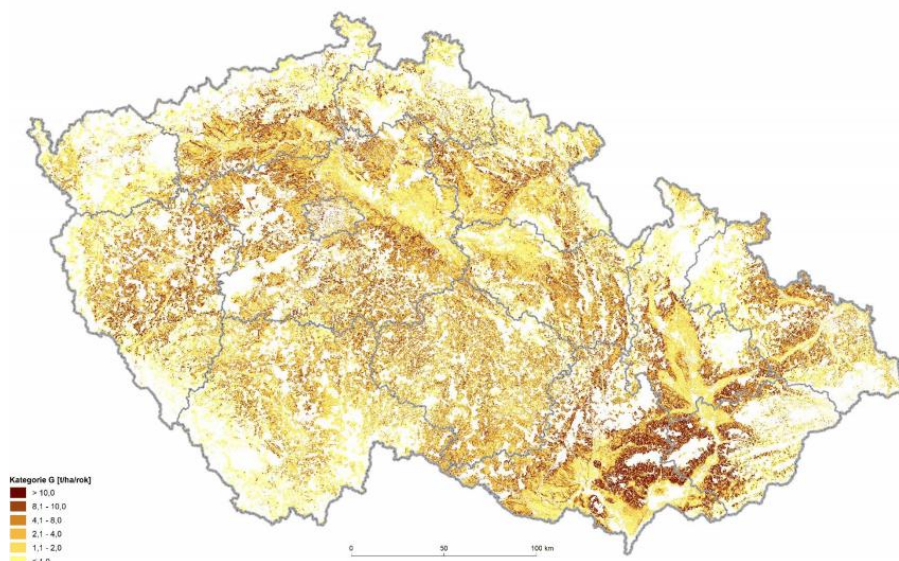
Působení dešťových kapek na půdní povrch je dáno jejich kinetickou energií. Ta je příčinou rozrušování půdních agregátů a uvolňování půdních částic, které mohou být přemístěny na vzdálenost až několik centimetrů. Energie vodních kapek zvyšuje proudění povrchového odtoku (Weggel a Rustom 1992).

Přívalové srážky představují významné riziko vzniku vodní eroze. Dešťové kapky zasáhnou značnou silou půdní povrch a uvolňují půdní částice. Tyto částice se smývají do půdních pórů půdy a zabraňují pronikání vody do půdy. Voda se pak hromadí na povrchu a zvyšuje odtok, který s sebou půdu odnáší. Dobře strukturované půdy jsou méně náchylné k erozi. Dopad dešťových srážek je minimalizován, pokud je půdní plocha chráněna rostlinným pokryvem (Zuazo 2008).

Náchylnost půdy k vodní erozi závisí na:

- intenzitě srážek (erozivita) – silné dešťové srážky představují riziko, protože těžké kapky, dopadající na holou půdu způsobují, že povrch půdy se ucpává,
- povaze půdy (erodibilita) – půdní hmota se liší ve schopnostech odolávat nárazu deště,
- délce svahu – pokud je svah dlouhý, voda, která stéká dolu po svahu, se pohybuje rychleji a odnáší s sebou více půdy (má vyšší tangenciální napětí, tzv. unášecí sílu),
- sklonu svahu – rychlost odtoku stoupá na strmých svazích, tím roste síla vody, která odnáší půdní částice (Schwab 1993).

Na obrázku č. 12 lze vidět, že v České republice je nejvíce vodní erozí ohrožena oblast jižní Moravy. Je to dáno tím, že se zde vyskytují černozemě. Hlavním důvodem je zrnitostní složení ornice a snižující se obsah humusu (VÚMOP 2016). Ztráta půdy zde několikanásobně překračuje povolený limit.

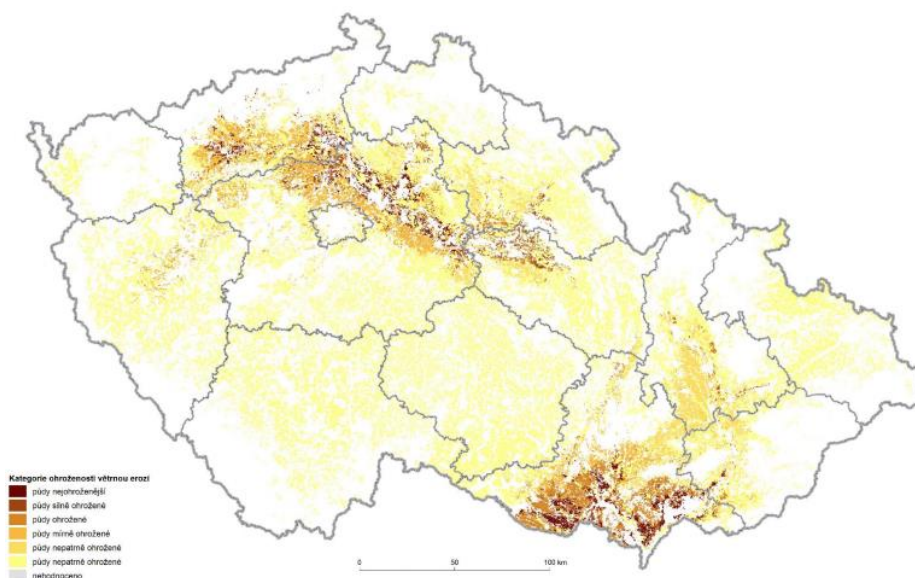


**Obrázek č. 12:** Potencionální ohroženost zemědělské půdy v ČR vodní erozí (VÚMOP 2015).

#### 4.2.2 Větrná eroze

Větrná eroze se vyskytuje v mnoha suchých, polosuchých a zemědělských oblastech světa. Jedná se o environmentální proces ovlivněný geologickými a klimatickými variacemi, stejně jako lidskou činností (Shao 2008).

Na obrázku č. 13 lze vidět, že v České republice je nejvíce ohrožena větrnou erozí opět oblast jižní Moravy a také oblasti Litoměřicka a Lounska. Je to dáno především nízkou lesnatostí a přítomností lehkých písčitých a hlinitopísčitých půd.



**Obrázek č. 13:** Potencionální ohroženost ČR větrnou erozí (VÚMOP 2015).

### **4.2.3 Ledovcová eroze**

Ledovcová eroze je způsobena ledovci, které se pohybují, působením gravitace, do údolí. Při pohybu ledovce eroduje skalní podloží, které se obrušuje a vyhlazuje. Ledovec tak unáší velké množství uvolněné horniny. Ledovcová eroze se vyskytuje především ve vysokohorských oblastech, např. Alpách, Kavkazu, Skalistých horách (Holý 1994).

### **4.2.4 Sněhová eroze**

Sněhové laviny mohou na půdách vyvíjet značné erozivní síly. Pokud sněhová lavina proudí přímo nad holou půdou, může její síla rozrušovat a zachytit půdu. Půdní materiál unášený lavinou se dopravuje do oblasti, kde se ukládá, mění chemické složení půd a potenciálně přispívá k jedinečnému tvaru půdy. Množství erodovaných a nahromaděných půdních materiálů závisí na charakteristice laviny a na morfologických vlastnostech a také na půdních vlastnostech a vegetačním krytí (Freppaz a kol. 2010).

### **4.2.5 Antropogenní eroze**

Lidská činnost může vést k erozi dvěma způsoby, a to jak přímo přes zemní práce, jako je těžba, tak nepřímo tím, že činnosti, jako je kultivace, destabilizují svahové materiály a urychlují erozi vlivem větru nebo vody.

Dřívější i současné lomy a hornické činnosti mohou představovat velké objemy zemského pohybu. Některé kultivační postupy mohou také vést k přímému pohybu materiálu směrem dolů. Lidské aktivity také mají obrovský dopad na jiné formy eroze, zejména větrnou a vodní. Kultivace, odlesňování a pastva hospodářských zvířat odkrývá holý povrch půdy, která je více náchylná větrné a vodní erozi (Holý 1994).

### 4.3 Atmosférické srážky

Jak se lze dočíst v kapitole 4.2.1 *Vodní eroze*, déšť, tedy dešťové kapky, způsobují rozrušování pokryvu a následně vzniklý povrchový odtok unáší uvolněné půdní částice. Je třeba se ale seznámit i s dalšími typy atmosférických srážek, protože ty mohou ovlivnit půdní stav.

#### 4.3.1 Typy atmosférických srážek

Atmosférické srážky mohou být kapalné, které se vyskytují ve formě deště nebo mrholení, a pevné, které se vyskytují ve formě sněhu nebo krup. Srážky se dělí na vertikální (déšť, sníh, kroupy) a horizontální (rosa, jinovatka, ledovka). V erozním procesu popisovaném v této diplomové práci mají největší význam vertikální srážky a to především déšť.

#### Déšť

Vodní srážky vypadávají z oblaků v podobě kapek o průměru obvykle větším než 0,5 mm, maximálně 7 mm. Při větších přeháňkách jsou dešťové kapky větší, ale při pádu se odporem vzduchu rozpadají na menší. Rozeznáváme:

- deště z tepla, které vznikají kontaktním ohřevem vlhkého vzduchu o zemský povrch, jeho následným výstupem do vyšších vrstev atmosféry, kde se dynamicky ochladí. Tyto deště se vyznačují velkými intenzitami a zasahují menší plochy. Způsobují rozvodnění menších toků. Jsou typické pro oblasti rovníkového pásma, u nás se vyskytují v letním období, nazýváme je tzv. lijáky; do této kategorie patří přívalové deště způsobující bleskové povodně
- deště orografické, vyvolané reliéfem území, zejména horami, bývají často vytrvalé a méně vydatné,
- deště cyklonální, vznikají postupující tlakovou depresí (cyklonou). Malé hluboké cyklony přinášejí průtrže mračen (velká intenzita), ploché cyklony vyvolávají rozsáhlé a vytrvalé deště (Rezáčová a kol. 2007).

### 4.3.2 Měření srážek

Množství srážek, které dopadly na zemský povrch, jejich časové a prostorové rozdělení, se zjišťuje měřením. Používá se k tomu síť srážkoměrných stanic uspořádaná tak, aby co nejlépe určila charakteristiky srážky na území.

Měření srážek v obyčejných dešťoměrných stanicích se provádí jednou za 24 hodin, obvykle v 7 hodin ráno, takže každé měření udává úhrn srážek spadlých za předcházejících 24 hodin, které se označují datem předcházejícího dne (Šilar 1996).

Množství srážek se vyjadřuje zpravidla jako srážková výška, která je definována jako tloušťka vrstvy vody v milimetrech, která by se vytvořila z deště na dané ploše odtoku, výparu nebo vsaku. Množství srážek spadlých v bodě se vyjadřuje jako výška vrstvy a nazývá se srážkový úhrn, který se udává v milimetrech. U dešťů se kromě úhrnu měří také intenzita, která je dána podílem úhrnu a trvání deště. Úhrn srážek se měří v síti srážkoměrných stanic, ve kterých jsou nainstalovány srážkoměry (ombrometry), nebo zapisující dešťoměr (ombrograf). Na nepřístupných místech jsou srážky zachycovány za delší období totalizátory (Pokorná a Záborská 2008).

Základní srážkoměrnou síť ČHMÚ tvoří cca 535 srážkoměrných stanic. Měření srážek se také provádí na všech stanicích vyššího typu (klimatologické, meteorologické, letecké) a celkový počet stanic ČHMÚ měřících srážky je tedy 694, které lze vidět na obrázku č. 14. Automatizovaně se dnes měří srážky na 335 stanicích. Z těchto stanic jsou k dispozici měření v minutových intervalech zasílaných každých 10 minut. Výsledky manuálního měření se získávají jednou měsíčně (ČHMÚ 2010).

## SRÁŽKOMĚRNÉ STANICE ČHMÚ

stav: říjen 2013



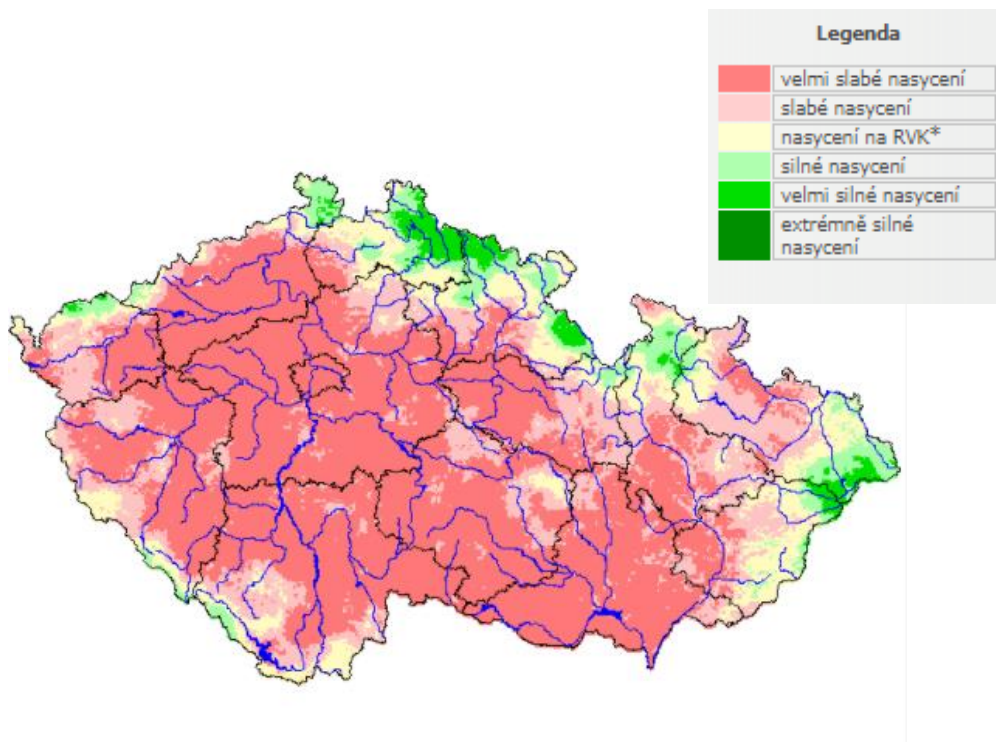
**Obrázek č. 14:** Umístění srážkoměrných stanic v ČR v roce 2013 (ČHMÚ 2013).

### 4.4 Infiltrace

Infiltrací nebo vsakem se nazývá pronikání vody do zemského povrchu do půd a hornin. Infiltrace je složitý děj, který je závislý na řadě faktorů. Především závisí na intenzitě srážek a půdních poměrech. Infiltrace je nerovnoměrná - časem se její intenzita snižuje. Například propustná vrstva štěrkopísku po určitou dobu pohlcuje veškerý dopadající déšť a teprve po úplném nasycení všech pórů propustné vrstvy nastane při trvajícím dešti povrchový odtok a vsak je pak již velmi pomalý (Jing a kol. 2017).

Přímým důsledkem zásahů do půdy při jejím zpracování jsou změny velikosti, distribuce a struktury pórů v půdě, což ovlivňuje vodní režim v půdě a pohyb vzduchu. Nadměrnou intenzitou zpracování půdy může docházet k narušování struktury půdy. Postupy zpracování půdy ovlivňují odolnost půdy vůči vodní i větrné erozi. Koloběh srážkové vody zadržené v půdním profilu je ve srovnání s povrchovým odtokem velmi pomalý. Při vysoké infiltraci vody do půdy dochází ke zpomalení koloběhu vody v půdním profilu, což je příznivý jev. Naopak nežádoucím jevem je urychlení hydrologického cyklu při malé infiltraci. Infiltrace vody do půdy a ztráty vody povrchovým odtokem závisí na podmínkách v orniční vrstvě. Zpracování půdy má na hydrofyzikální vlastnosti ornice významný vliv (Kovaříček a kol. 2007).

Na obrázku č. 15 lze vidět, že nejvíce vodou nasycená území v ČR jsou především horské oblasti. Jedná se hlavně o Lužické a Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory, Jeseníky a Beskydy. Krušné hory a Šumava mají nasycení půdy vodou nižší, kvůli srážkovému stínu. Může však docházet k lokálním výkyvům, které by měl v budoucnu pokrýt popisovaný vyvíjený systém protipovodňového varovného systému (TAČR – TH02010802).



**Obrázek č. 15:** Nasycenost území ČR vodou (ČHMÚ 2017).

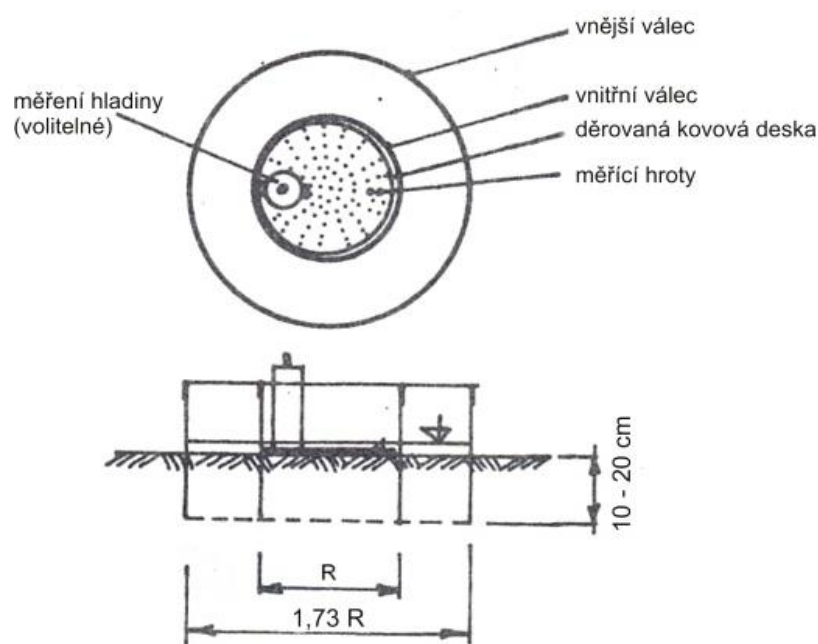


#### 4.4.1 Metody měření infiltrace

Pro komplexní měření se v hydrologické praxi používá dešťový simulátor, jde však o provozně složitě zařízení větších rozměrů náročné na vydatnost vodního zdroje. Alternativou mohou být výtopové infiltrometry, u nichž není intenzita přítoku regulována. Obecně se tradiční využití polních dešťových simulátorů a infiltrometrů zásadně liší od využití ve varovných systémech. V dalších odstavcích budou stručně představeny některé způsoby měření infiltrace.

##### Válcové výtopové infiltrometry

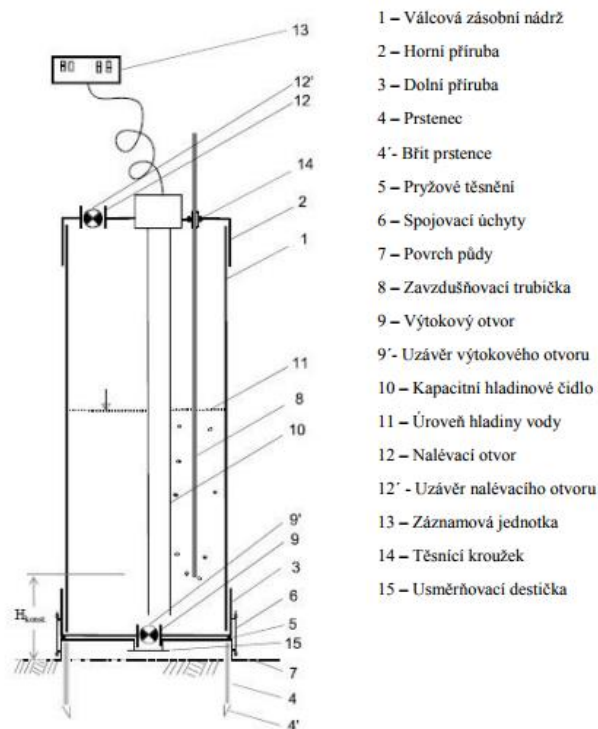
K měření rychlosti infiltrace vody do půdy se používají jednoválcové a dvouválcové infiltrometry. Obecně jsou pro měření v terénu více používány dvouválcové infiltrometry, kdy se vsakovací schopnost měří na povrchu půdy (Kutílek 1978). Schéma dvouválcového infiltrometru lze vidět na obrázku č. 16.



**Obrázek č. 16:** Schéma dvouválcového infiltrometru  
([www.hydopedologie.agrobiologie.cz](http://www.hydopedologie.agrobiologie.cz)).

##### Kompaktní přetlakový infiltrometr

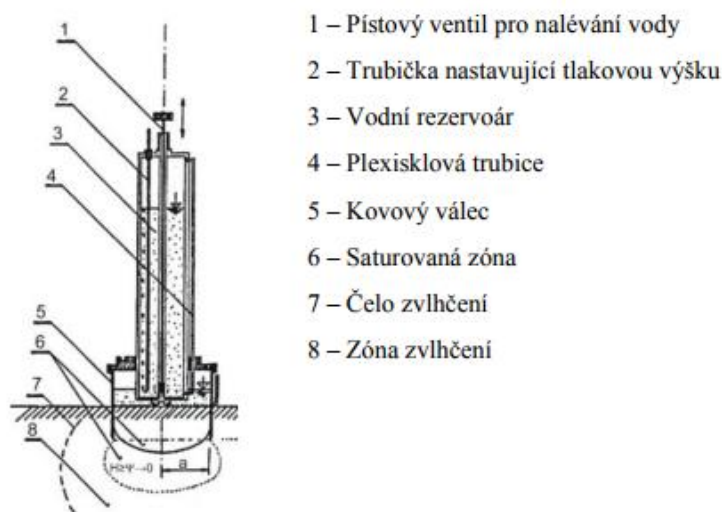
Tento infiltrometr se používá především při operativním stanovení hydraulické vodivosti jednotlivých půdních horizontů. Získávají se z něj data, která slouží jako podklad pro vyjádření infiltračních charakteristik. Základní princip této metody je takový, že voda je přiváděna do půdy takovou rychlostí, jako se vsakuje (Kulhavý a kol. 2007). Schéma tohoto infiltrometru lze vidět na obrázku č. 17.



**Obrázek č. 17:** Schéma kompaktního přetlakového infiltrometru (Kulhavý a kol. 2007).

### Jednoduchý tlakový infiltrometr

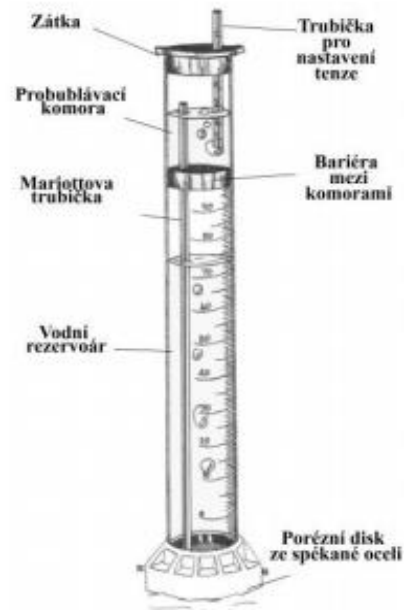
Tento druh infiltrometru slouží k měření kumulativní infiltrace v malém infiltračním válci o průměru 15 cm. Nevýhodou tohoto typu infiltrometru je špatná manipulace s ním, data není možno automaticky ukládat a naměřená data nejsou zcela přesná (Kulhavý a kol. 2007). Schéma infiltrometru lze vidět na obrázku č. 18.



**Obrázek č. 18:** Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru (Matula a Kozáková 1997).

### Kruhový Mini Disk infiltrometr

Tento typ infiltrometru se používá k měření nenasyčené hydraulické vodivosti. Skládá se ze dvou komor (viz. obrázek č. 19) umístěných v jedné trubici nad sebou. Před začátkem měření jsou obě komory naplněny vodou. Jakmile je infiltrometr umístěn na místě měření, voda se začne ze spodní komory infiltrovat do půdy (Decagon Devices 2012).



**Obrázek č. 19:** Schéma Mini Disk infiltrometru (Decagon Devices 2012).

### Dešťový simulátor

Měření infiltrace pomocí dešťového simulátoru je mnohem přesnější, spotřebuje se méně vody, ale naopak je více časově náročné a pracné, než dvouválcové infiltrometry. Měření se ukončí, jakmile dojde k ustálení rychlosti infiltrace (Kovaříček a kol. 2008). Na tomto principu je založeno měření popsané v této diplomové práci.

Známé jsou i další metody měření infiltrace, např.: tenzní infiltrometr, hood infiltrometr, Guelphský permeametr (Kulhavý a kol. 2007).

## 4.5 Povrchový odtok

Povrchová voda odtékající 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). Jejich množství, plošné a časové rozdělení předurčují i režim našich toků (Dub a Němec 1969).

Povrchový odtok je hydrologický proces, který vzniká koncentrací povrchové vody, která nabývá na síle a způsobuje transport půdních částic, což činí vodu hustší. Povrchový odtok způsobuje jevy jako je eroze půdy a povodně. Většinou se jedná o vodní srážky, které se neinfiltroují do půdy, protože intenzita deště je vyšší, než je půdní infiltrační/retenční kapacita (Matoušek 2010).

Celý odtokový proces lze vidět na obrázku č. 20.



**Obrázek č. 20:** Odtokový proces (Langhammer 2007).

Tento proces je velice obtížně měřitelný. Jakmile voda proudí po povrchu, může se infiltrovat nebo nahromadit, v závislosti na topografické a morfologické charakteristice půdy. Povrchový odtok může ovlivnit mnoho faktorů, především charakteristika půdy (typ, drsnost, propustnost), využití půdy (vegetace, zemědělství), geologie, geomorfologie a charakteristika srážek (intenzita, frekvence, trvání) (Lagadec a kol. 2016).

Dle studie Vymezení přispívajících ploch nad závěrovými profily erozně ohrožených drah odtoku na orné půdě pro potřeby Rámcové směrnice pro vodní politiku 2000/60/ES bylo v zemědělské krajině ČR identifikováno přes 33 000 erozně ohrožených drah soustředěného povrchového odtoku o celkové délce 12 000 km (Drongová 2013).

#### **4.6 Povodně**

Podle § 64 vodního zákona (254/2001 Sb.) 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.

Z hlediska meteorologických příčin se rozlišují povodně dešťové, sněhové a smíšené. Zvláštním případem jsou povodně ledové, způsobené dočasným zmenšením průtočnosti koryt ledovou zácpou. V současnosti se povodně rozlišují také na letní, zimní a neurčitý typ. U nás platí, že prakticky všechny dešťové povodně vyskytující se od května do října lze zařadit do letního typu a většinu smíšených, nebo ledových povodní od prosince do března do zimního typu. Takové jednoznačné přiřazení nemusí souhlasit jen v měsících duben a listopad (Státníková 2012).

Aby se předcházelo povodňovým situacím, zavádí se ve vodohospodářské praxi tzv. protipovodňová opatření (viz obrázek č. 21), které však zahrnují širší spektrum ochranných opatření v povodí, jejichž cílem je zvyšování akumulace a retence vody v povodí, protierozní ochrana půdního fondu a protipovodňová ochrana ohroženého území (Čamrová a Jílková 2006).



Obrázek č. 21: Klasifikace protipovodňových opatření (Čamrová a Jílková 2006).

#### 4.6.1 Přívalové povodně a jejich předpověď

Pro účely této diplomové práce jsou nejvýznamnější přívalové neboli bleskové povodně. Povodně z přívalových srážek jsou specifickým přírodním jevem. Jsou charakteristické prudkým vzestupem i následným rychlým poklesem hladin toků. Zasahují zpravidla malá povodí o velikosti několik desítek km<sup>2</sup>, jejich ničivá síla může mít katastrofální následky, a to i z důvodu momentu překvapení, kdy obyvatelé zasažené obce nejsou na příchod povodně nijak připraveni (Březková a kol. 2012).

Série ničivých přívalových povodní, která zasáhla Českou republiku v třetí dekádě června a počátkem července 2009, poukázala na nutnost vyvinout nové nástroje pro předpověď přívalových povodní a jejich nasazení do provozu. ČHMÚ vytvořil nástroj Flash Flood Guidance inspirovaný americkým systémem FFG, kterým operativně počítá nasycení půdy v rámci celé České republiky, výsledky jsou veřejně přístupné na internetových stránkách <http://hydro.chmi.cz>. Tento nástroj umožňuje i výpočet odtoku ze zájmového povodí (Březková a kol. 2012).

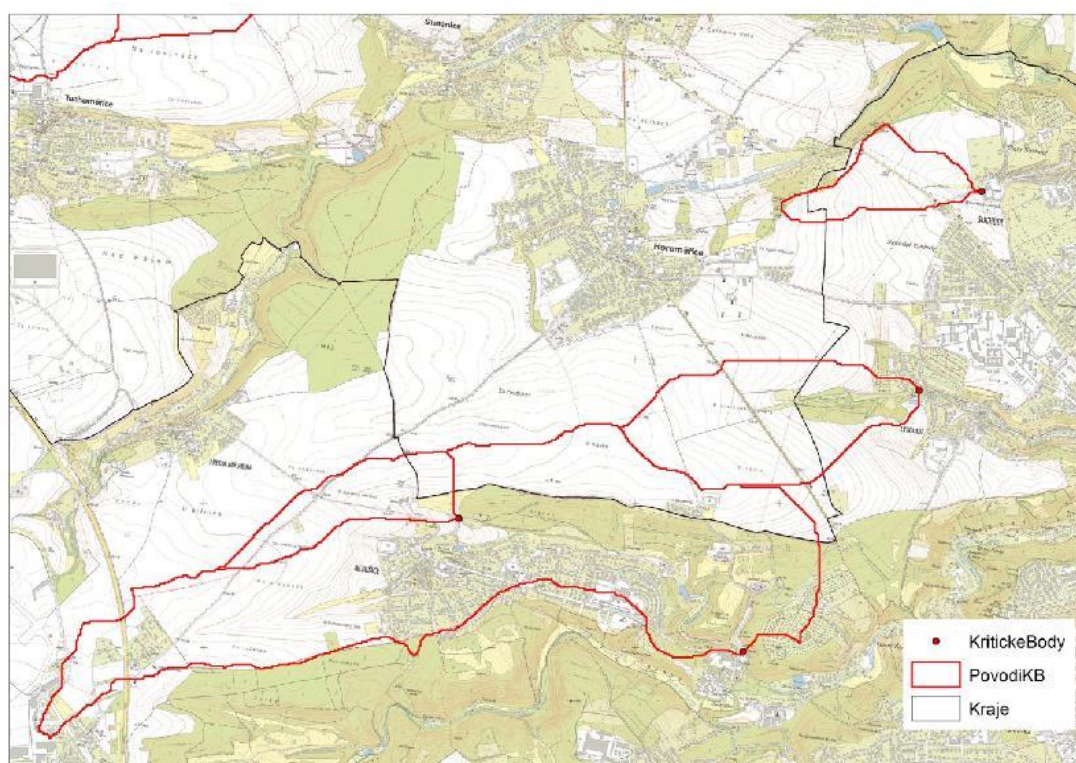
Problematika predikce přívalových povodní je velmi obtížně řešitelná, protože je zcela závislá na monitoringu a predikci konvektivních srážek (typické v létě), kde chyba měření i předpovědi často dosahuje desítek procent. Je tedy reálné nebezpečí, že budou vydány výstrahy i v případě, že povodeň ve skutečnosti nenastane (tzv. falešné alarmy), a naopak – skutečná povodeň nemusí být danými nástroji vůbec předpovězena (Drbal 2012).

## 4.7 Kritický bod

Aby mohla být provedena série měření, musela se vybrat vhodná lokalita, která by byla teoreticky ohrožena bleskovými povodněmi

Kritický bod je místo, kde linie dráhy soustředěného odtoku vnikají do zastavěné části obcí. Je určen průsečíkem dané hranice zastavěného území obce s linií dráhy soustředěného odtoku s velikostí přispívající plochy  $\geq 0,3 \text{ km}^2$  (VÚV T. G. M. ©2009). Dle kritických bodů lze vybrat místa vhodná pro výzkumnou činnost spojenou s bleskovými povodněmi, jelikož je zde reálné riziko jejich vzniku.

Při hledání výzkumné lokality pro účely mé diplomové práce byl vybrán kritický bod u obce Nebušice. Umístění tohoto bodu lze vidět na obrázku č. 22. Tato lokalita nese reálné riziko vzniku bleskové povodně. Střetávají se zde dvě linie soustředěného povrchového odtoku a zároveň je tento bod na hranici intravilánu.

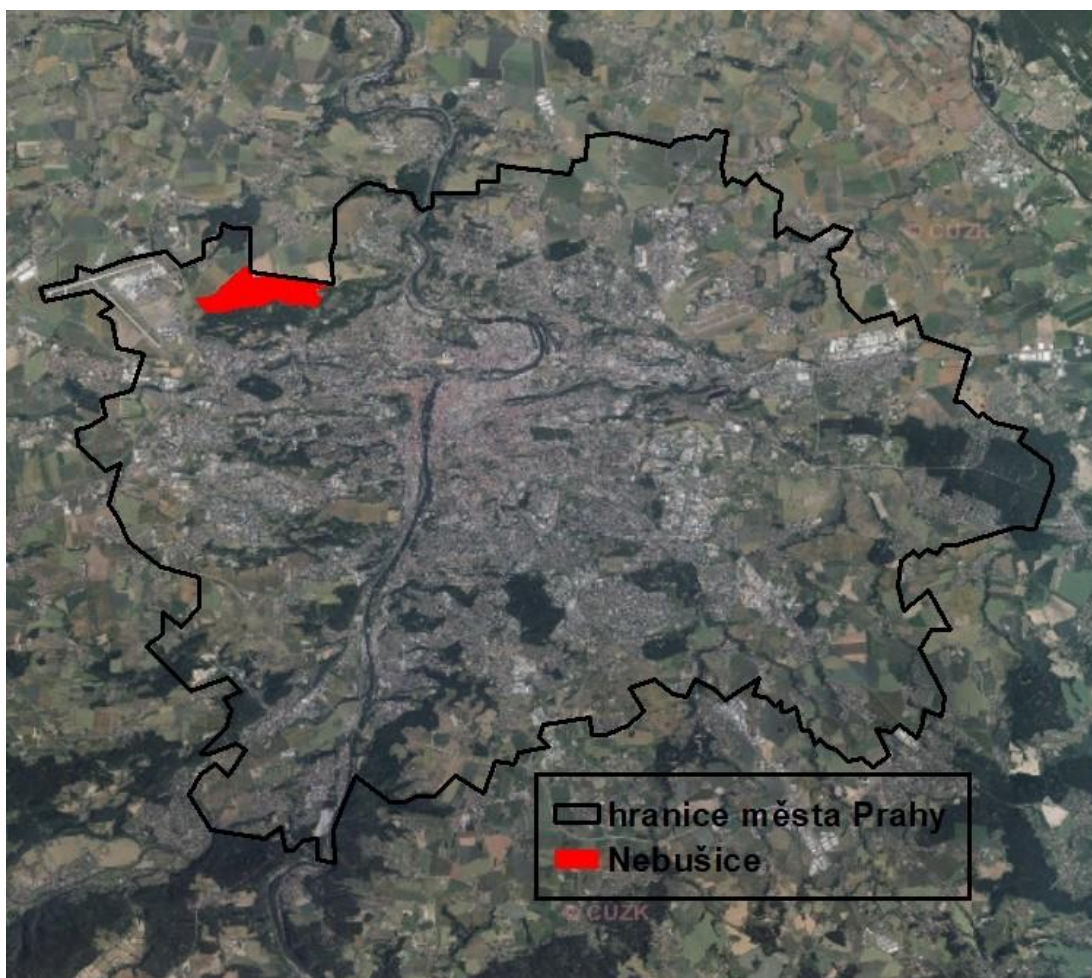


**Obrázek č. 22:** Kritické body a jejich povodí (Petrů 2017, nepublikováno).

## 5. Charakteristika studijního území

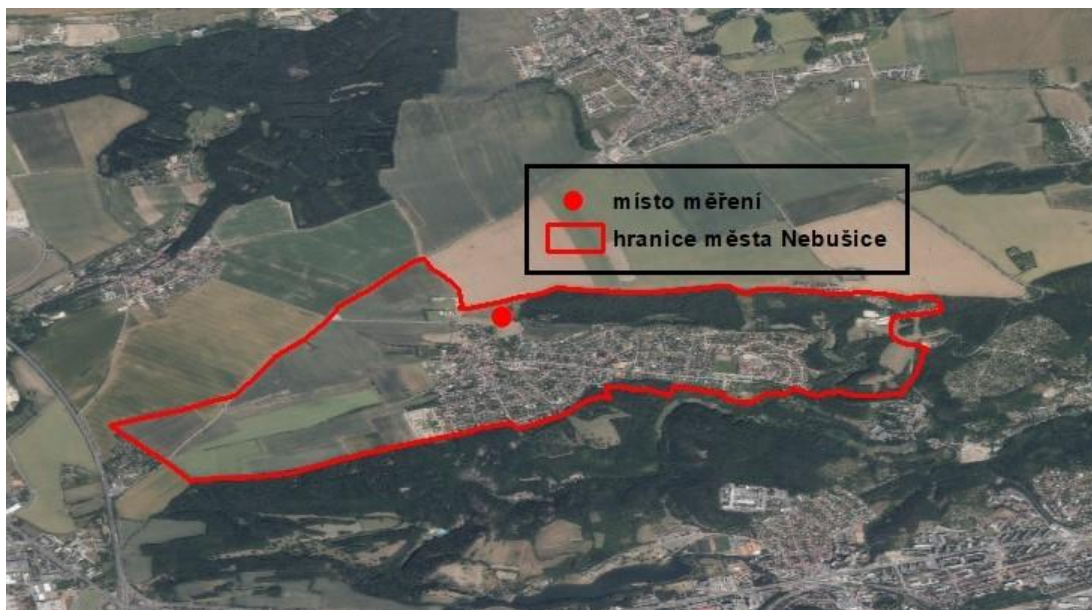
### 5.1 Lokalizace

Nebušice jsou katastrální území a také městská část na severozápadě hlavního města Prahy. Jejich GPS souřadnice jsou 50.1113781N, 14.3315869E. Rozloha Nebušic činí 368,07 ha. K 31. 12. 2015 zde bylo evidováno 3319 obyvatel. Umístění Nebušic lze vidět na obrázku č. 23 a 24.



*Obrázek č. 23: Umístění pokusné lokality Nebušice v rámci Prahy.*





**Obrázek č. 24:** Hranice městské části Nebušice a bod měření.

Pozemek, na kterém probíhala jednotlivá měření, nese parcelní číslo 1018/1 a jeho výměra činí 34313 m<sup>2</sup>. Jeho hranice lze vidět na obrázku č. 25. Bonitovaná půdně ekologická jednotka pozemku je 2.37.46 (ČÚZK 2018). Tato BPEJ legislativně spadá dle Vyhlášky o stanovení tříd ochrany č. 48/2001 Sb. do V. třídy ochrany zemědělského půdního fondu (VÚMOP 2017).

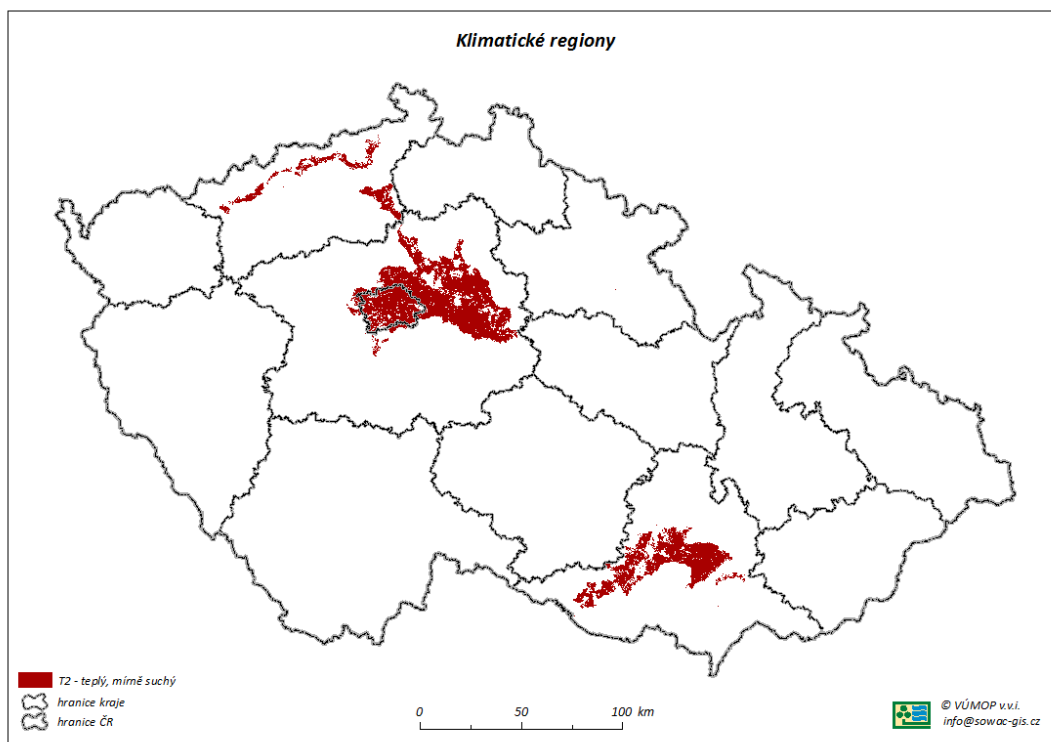


**Obrázek č. 25:** Detailní zobrazení pozemku.

## 5.2 Klimatická charakteristika lokality

Pozemek spadá do druhého klimatického regionu, který je rozšířen ve středních Čechách a v severozápadních Čechách. Na Moravě je rozšířen na západní a severní části Dyjskosvrateckého úvalu od Znojma po Brno a v jižní části Vyškovské brány, jak lze vidět na obrázku č. 26.

Průměrná roční teplota se pohybuje od 8 °C do 9 °C. Průměrný úhrn srážek je zde 500 – 600 mm (VÚMOP 2017).

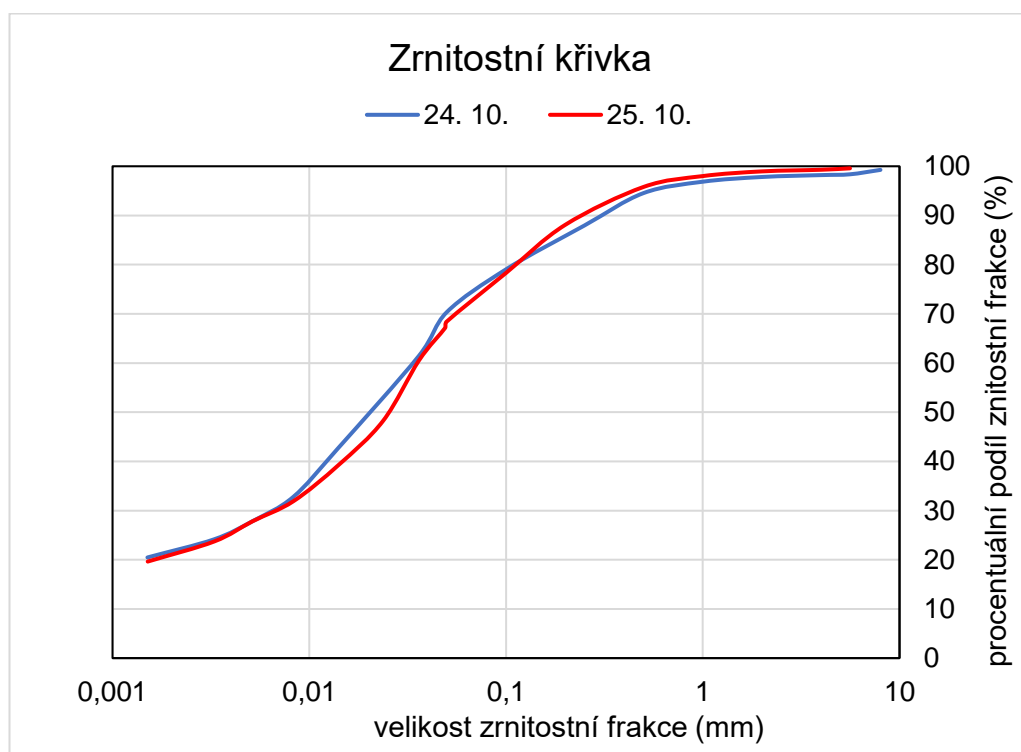


**Obrázek č. 26:** 2. klimatický region dle BPEJ (VÚMOP 2017).

## 5.3 Pedologická charakteristika lokality

Hlavní půdní jednotka je 37, tzn., že se zde nachází půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení. Převládají převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné. Jedná se o hlinitopísčité až jílovitohlinité půdy. Tyto půdy jsou vhodné k zatravnění, ale nevhodné k zalesnění nebo ke stavbě nádrží. Na těchto půdách je vysoké riziko ohrožení acidifikací a také zde hrozí riziko ohrožení větrnou erozí (VÚMOP 2017).

Na obrázku č. 27 jsou znázorněny zrnitostní křivky, které byly vytvořeny na základě měření hustoty vzorků půdy z terénního měření. Z grafu vyplývá, že se snižující se velikostí zrnitostní frakce, klesá i procentuální podíl zrnitostní frakce. Oba vzorky půdy, jak z 24. 10. 2017, tak i z 25. 10. 2017, mají téměř totožnou zrnitostní křivku. Liší se jen minimálně.

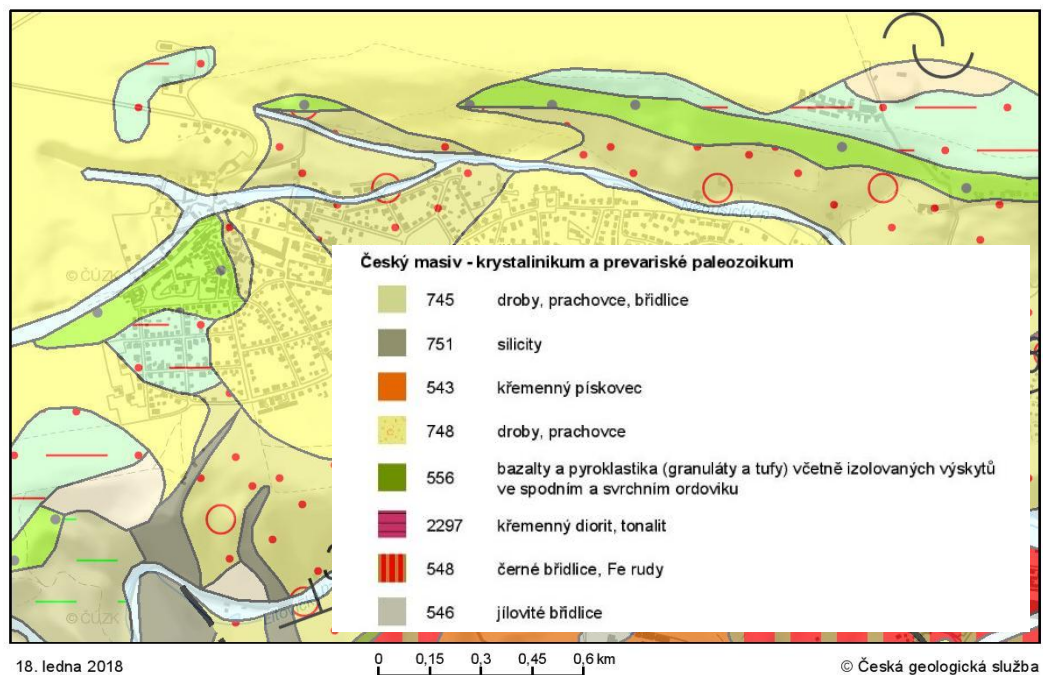


**Obrázek č. 27:** Zrnitost vzorků půdy (Pánková 2018, nepublikováno).

#### 5.4 Geologické poměry

Pozemek má sklon 7 – 12 °, tedy střední sklon. Je orientovaný na jih (jihozápad až jihovýchod). Půda je středně skeletovitá s celkovým obsahem skeletu 25 – 50 %. Jedná se o mělkou půdu o hloubce 0 – 30 cm (VÚMOP 2017).

Obrázek č. 28 zobrazuje geologickou mapu pokusného území Nebušice. Na vybraném pozemku se nachází droby, prachovce a břidlice.



**Obrázek č. 28:** Geologická mapa – Nebušice (ČGS 2018).

## 6. Výsledky a diskuze

Na pokusné lokalitě v obci Nebušice bylo provedeno 37 měření pomocí simulace deště, 19 měření o konstantní intenzitě deště a 18 měření o proměnné intenzitě deště. Déšť byl simulován pomocí přenosného infiltrometru, který byl vyroben firmou ADCIS s. r. o. Tento přenosný infiltrometr je předmětem vývoje v rámci projektu TA ČR (Technologická agentura ČR) TH02010802 „Systém včasné predikce přívalových povodní založený na přímém měření infiltrace“, ve kterém je zapojena jak ČZU v Praze, tak VÚMOP. Tento projekt má za cíl navrhnout originální postup včasné predikce přívalových povodní pro malá území, založený na přímém měření infiltrační schopnosti půd, zohledňující zejména jejich stupeň nasycení předchozími srážkami jako hlavní indikátor rizika tvorby povrchového odtoku a následných jevů.

Přehled o jednotlivých dobách výtopy poskytují tabulky č. 2 – 4. Pro vynesení části infiltračních křivek (dále jen infiltrační křivky) byla použita jen ta měření, při kterých došlo k výtopě. Naměřená data byla stažena z infiltrometru ve formátu *.log*, ten byl následně převeden do formátu *.csv* a to pomocí převodního programu *Infiltr\_View*, který byl dodán výrobcem infiltrometru (firmou ADCIS s.r.o.).

Aby mohly být vyneseny infiltrační křivky, bylo nutné zjistit, jak dlouhé byly úseky mezi sepnutím čerpadla a dosažením výtopy a jaké množství vody připadlo na jednotlivé úseky. (Čerpadlo po dosažení doby výtopy přestává čerpat a čeká až do utržení menisku, kdy svou činnost obnoví opět až do dosažení výtopy). Přívod vody dávkovací jednotkou v této fázi probíhá zpravidla maximální možnou intenzitou přítoku. Podíl těchto dvou zjištěných údajů určil rychlost infiltrace v daném úseku. To je klíčová veličina pro vynesení části infiltrační křivky.

Cílem všech měření bylo otestovat hypotézu H: k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště, než při proměnné intenzitě. Tato hypotéza byla založena na faktu, že u konstantní srážky je půdní profil ihned vystaven poměrně vysoké hodnotě, zatímco u proměnné srážky je intenzita deště nejprve mírná, pak krátkodobě dosáhne svého maxima a následně opět klesá (viz tabulka č. 1 s průběhem intenzity).

Z dat vyplývá, že tuto hypotézu se nepodařilo jednoznačně prokázat ani vyvrátit. Rozdíly mezi jednotlivými dobami výtopy jsou velké. Vzhledem k nekonzistenci terénních dat bylo dodatečně provedeno i měření infiltrace v laboratorních podmínkách na umělém půdním profilu, který byl vytvořen v laboratoři Z016 na FŽP ČZU v Praze v kóji o rozměrech 109x109 cm a hloubce 8 cm. Objem použité půdy činil 0,10 m<sup>3</sup>. Záměrem bylo napodobit práci v terénu a porovnat naměřené hodnoty jednotlivých časů výtopy z terénního průzkumu a z laboratoře.

Předně šlo o homogenní půdní profil. Hypotézu H se částečně podařilo prokázat, protože k výtopě vždy došlo ve chvíli, kdy proměnná intenzita deště dosahovala nejvyšší možné intenzity.

### 6.1 Terénní měření 24. 10. 2017

Dne 24. 10. 2017 bylo provedeno 8 měření o konstantní intenzitě a 8 měření o proměnné intenzitě. Z těchto měření došlo k výtopě u pěti měření o konstantní intenzitě a u čtyř měření o proměnné intenzitě. Tento den se teplota v Praze pohybovala okolo 11 °C. Tabulka č. 2 ukazuje souhrn měření. Z tabulky lze vyčíst, že výtopa proběhla v různých časech, nejčastěji ale v rozmezí 200 až 300 sekund. To může být způsobeno různou pórovitostí, zrnitostí půdy nebo zhutněním půdy na různých místech, protože měření probíhala na části pozemku o rozloze 10x15 m.

ID	ZAČÁTEK	KONEC	VÝTOPA (s)	Proměnná/Konstantní (P/K)
1	9:30	9:45	310	P
2	9:49	10:04	305	P
3	10:07	10:22	BEZ VÝTOPY	P
4	10:37	10:52	BEZ VÝTOPY	P
5	11:00	11:15	BEZ VÝTOPY	P
6	13:55	14:10	BEZ VÝTOPY	P
7	14:13	14:28	315	P
8	14:30	14:45	282	P
9	11:20	11:35	BEZ VÝTOPY	K
10	11:44	11:59	BEZ VÝTOPY	K
11	12:04	12:19	186	K
12	12:21	12:36	151	K
13	12:39	12:54	322	K
14	12:58	13:13	85	K
15	13:17	13:32	BEZ VÝTOPY	K
16	13:35	13:50	878	K

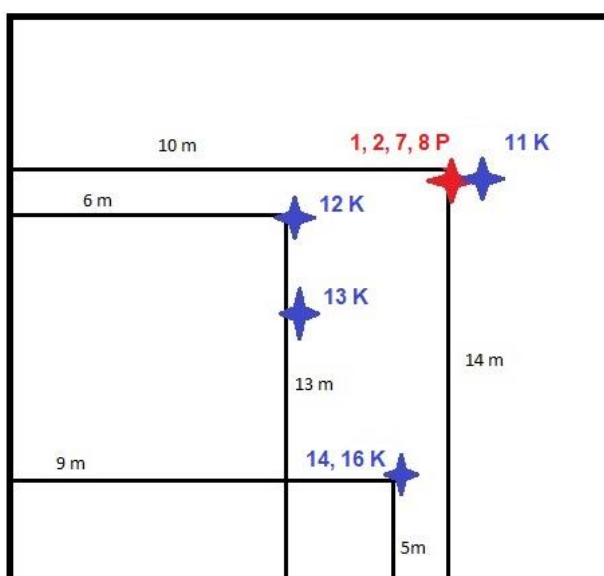
*Tabulka č. 2: Souhrn měření z 24. 10. 2017*

Na obrázku č. 29 je zachycena autorka při terénním měření ze dne 24. 10. 2017.



**Obrázek č. 29:** Zachycení autora v terénu dne 24. 10. 2017.

Na obrázku č. 30 je zobrazeno rozmístění jednotlivých měření. Modré hvězdy znázorňují deště o konstantní intenzitě a červené hvězdy znázorňují deště o proměnné intenzitě. Nejvíce zarážející je výsledná výtopy u 14 a 16 K (14. a 16. měření o konstantní intenzitě), kdy měření byla provedena několik centimetrů od sebe a doba výtopy se liší o 800 vteřin. Lze předpokládat, že na místě, kde proběhla výtopy rychleji, mohla být půda více utužená, např. po průjezdu motorového vozidla.



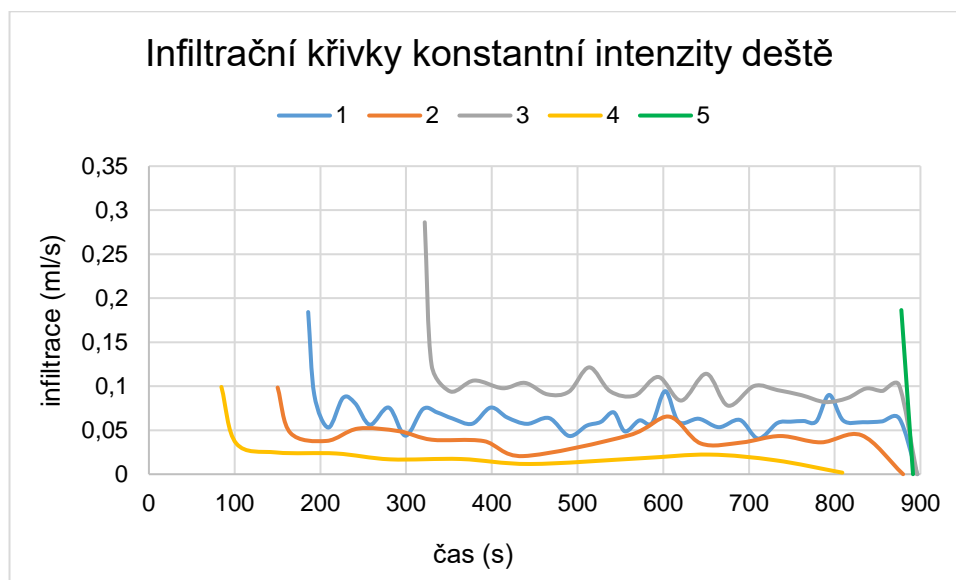
**Obrázek č. 30:** Rozmístění měření na pokusné lokalitě dne 24. 10. 2017.

Na obrázku č. 31 lze pozorovat, že časy výtopy se extrémně liší. U křivky číslo 5 došlo k výtopě těsně před ukončením měření, které trvalo 15 minut (900 s), proto má tato křivka tak krátký průběh. Naopak u měření číslo 4, které zobrazuje žlutá křivka, došlo k výtopě v 85. vteřině. Důvody rozdílných časů výtopy byly popsány výše.

Dále z grafu vyplývá, že největší objem vody, který byl načerpán a následně infiltrován, připadá na křivku číslo 3. To může být způsobeno větší pórovitostí půdy na místě měření.

Křivky číslo 2 a 4 nemají tolik měnící se tvar, protože při měření nedošlo k tolika sepnutí čerpadla, které udržuje přerušovaným zapínáním a vypínáním, úroveň hladiny v závislosti na dosažení hladinového hrotu. To vypovídá o tom, že na místech měření probíhala infiltrace pomaleji.

Pozitivním výsledkem je, že graf zobrazuje tendenci k postupnému ustálení infiltrace, tedy že všechny křivky postupně klesají. Lze předpokládat, že pokud by měření trvalo déle, došlo by k úplnému ustálení infiltrace, až by byla půda zcela nasycena vodou.



**Obrázek č. 31:** Infiltrační křivky konstantní intenzity deště.

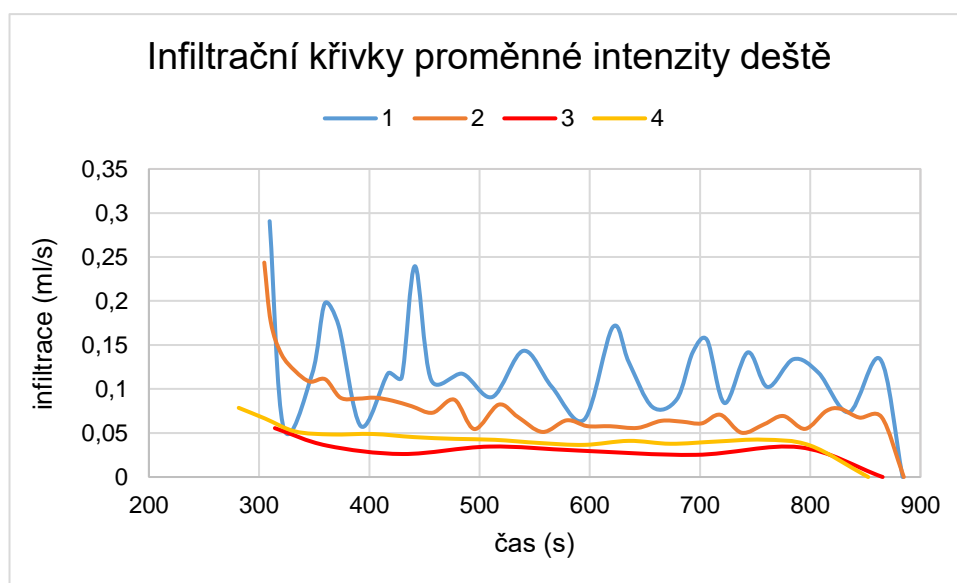


Z obrázku č. 32 lze vyčíst, že k výtopě při proměnné intenzitě deště došlo ve všech případech téměř ve stejný čas. Čas výtopy se pohybuje okolo 300 vteřin.

Největší výkyvy rychlosti infiltrace se vyskytují u křivky číslo 1. Z toho vyplývá, že na místě měření probíhala infiltrace rychleji, proto došlo k tolika sepnutím čerpadla. Při tomto měření byl zároveň vyčerpán největší objem vody a to téměř 98 ml.

Na rozdíl od křivky číslo 1, kde infiltrace probíhala rychle, křivky číslo 3 a 4 mají mírný ustálený průběh. Zde probíhala infiltrace výrazně pomaleji a k sepnutím čerpadla docházelo mnohem méně často a jednotlivé úseky mezi sepnutím byly dlouhé.

Stejně jako u obrázku č. 31, tak i u obrázku č. 32 lze pozorovat, že jednotlivé křivky mají klesající tvar, z toho lze usoudit, že pokud by měření trvalo déle, došlo by k úplnému ustálení infiltrace, při plném nasycení půdy vodou.



**Obrázek č. 32:** Infiltrační křivky proměnné intenzity deště.

## 6.2 Terénní měření 25. 10. 2017

Dne 25. 10. 2017 bylo na stejné lokalitě provedeno celkem 21 měření, z toho 10 o proměnné intenzitě deště a 11 o konstantní intenzitě deště. Autorka je při tomto měření zachycena na obrázku č. 33. Z následující tabulky č. 3 je patrné, že k výtopě došlo téměř u všech měření. Může to být dáno tím, že tento den bylo teplejší počasí a bez předchozí srážky byl půdní profil o něco méně nasycený vodou, proto se simulovaný déšť lépe infiltroval. Teplota v Praze se pohybovala okolo 15 °C, tedy o 4 stupně více než předešlý den. Podobně jako u měření z 24. 10. 2017, časy výtopy se nejčastěji pohybují v rozmezí 200 až 300 sekund, ale některá měření se svým časem výtopy, vybočují (viz. tabulka č. 3).

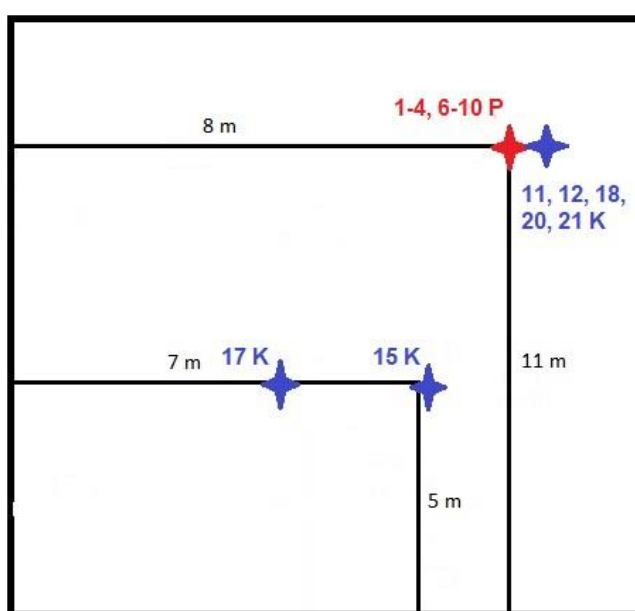
ID	ZAČÁTEK	KONEC	VÝTOPA (s)	Proměnná/Konstantní (P/K)
1	9:48	10:03	312	P
2	10:07	10:22	365	P
3	10:24	10:39	345	P
4	10:46	11:01	408	P
5	11:06	11:21	BEZ VÝTOPY	P
6	11:23	11:38	322	P
7	11:45	12:00	330	P
8	12:03	12:18	310	P
9	12:21	12:36	369	P
10	12:38	12:53	286	P
11	13:02	13:17	259	K
12	13:20	13:35	394	K
13	13:37	13:52	BEZ VÝTOPY	K
14	13:55	14:10	BEZ VÝTOPY	K
15	14:15	14:30	347	K
16	14:33	14:48	BEZ VÝTOPY	K
17	14:52	15:07	312	K
18	15:11	15:26	507	K
19	15:30	15:45	BEZ VÝTOPY	K
20	15:47	16:02	266	K
21	16:06	16:21	649	K

*Tabulka č. 3: Souhrn měření z 25. 10. 2017.*



**Obrázek č. 33:** Zachycení autora v terénu dne 25. 10. 2017.

Měření byla prováděna přibližně ve stejné oblasti pozemku, jako předešlý den, ale ne ve stejných bodech. Proto jsou časy výtopy podobné jako u měření z 24. 10. 2017. Zarážející jsou ale časy výtopy u 18 a 21 K, kdy se výtopa extrémně liší od ostatních měření, i přes to, že měření byla prováděna několik centimetrů od sebe, jak lze vidět na obrázku č. 34. Může to být dáno půdním pokryvem, který nebyl na pozemku všude stejný. Na některých místech se vyskytoval trvalý travní porost, ten způsobuje rychlejší infiltraci a větší zadržení vody v půdě. Někde se naopak vyskytovala holá místa s krustou, která byla bez půdního pokryvu. To má za následek pomalejší infiltraci a větší možnost vzniku povrchového odtoku.



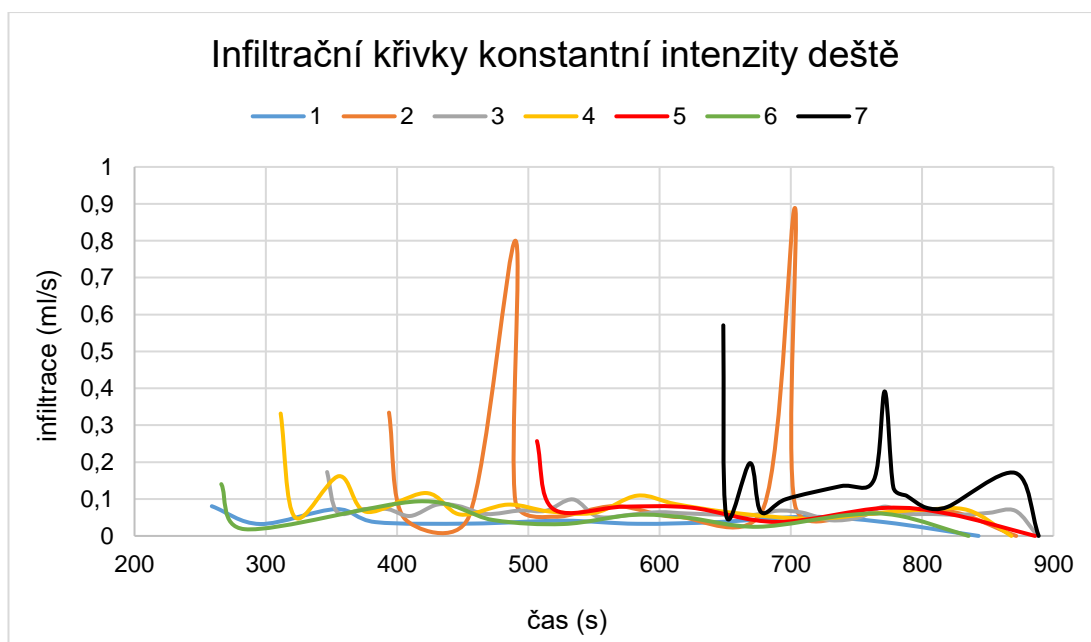
**Obrázek č. 34:** Rozmístění měření na pokusné lokalitě dne 25. 10. 2017.

Na obrázku č. 35 je zřetelně vidět, že k výtopě došlo v různých časech. Především je to zřetelné u křivky 7, u které došlo k výtopě v 649. sekundě. Proto má tato křivka tak krátký průběh.

Z obrázku č. 35 je nejvíce nápadná křivka 2, která má na první pohled, od ostatních křivek, jiný průběh. Odlišný tvar je způsoben dvěma velice krátkými úseky mezi sepnutím čerpadla, kdy infiltrace proběhla velmi rychle a to způsobilo dva vysoké výkyvy křivky, nebo je to způsobeno velkými kapkami, které zčeřily hladinu a způsobily spojení hladiny s hrotem a následné okamžité odtrhnutí.

Křivky 1 a 6 mají mírný ustálený průběh. Zde probíhala infiltrace výrazně pomaleji a k sepnutí čerpadla docházelo mnohem méně často a jednotlivé úseky mezi sepnutím byly dlouhé.

Stejně jako u předešlých grafů, je i zde zřetelně znát, že jednotlivé křivky postupně klesají, z toho lze usoudit, že pokud by měření trvalo déle, došlo by k úplnému ustálení infiltrace, až by byla půda zcela nasycena vodou.



**Obrázek č. 35:** Infiltrační křivky konstantní intenzity deště.

U měření proměnné intenzity deště dne 25. 10. 2017 došlo k výtopě téměř u všech měření. Čas výtopy se opět pohyboval okolo 300 sekund, jak lze vidět na obrázku č. 36. Infiltrační křivky tohoto měření jsou velice různorodé a na první pohled lze určit, že infiltrace většinou probíhala velmi rychle. To lze vyčíst z proměnlivosti křivek.

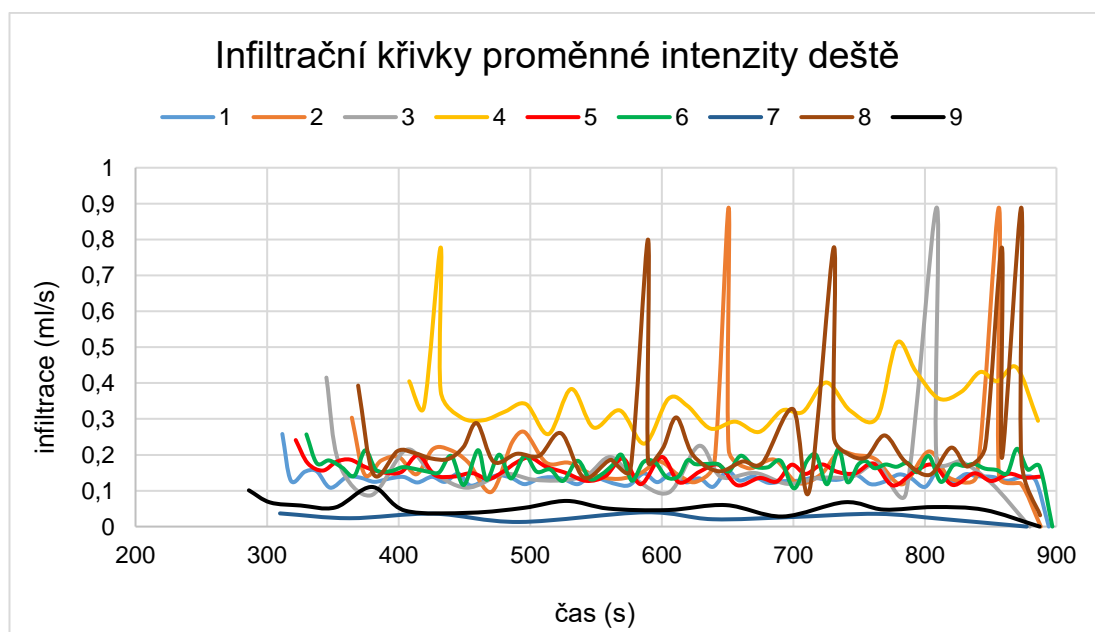
Na první pohled zaujmou křivky 2, 3, 4 a 8, a to svými vysokými výkyvy. To je opět způsobeno krátkými úseky mezi sepnutím čerpadla a zároveň je to známka rychlé infiltrace vody do půdy nebo také dopadu velké kapky, která zčeří hladinu a tím dojde ke spojení hladiny s hrotem a okamžitému odtrhnutí menisku.

Podle křivek 1, 5 a 6 lze určit, že při těchto měřeních probíhala infiltrace velmi rychle a tvary křivek jsou podobné.

U měření, která zobrazují křivky 7 a 9, lze určit, že infiltrace probíhala velmi pomalu a k sepnutí čerpadla docházelo méně. Jednotlivé úseky mezi sepnutím čerpadla byly dlouhé, a proto mají tyto křivky mírný a ustálený průběh.

Z grafu je také značné to, že největší objem načerpané vody připadá na křivku 4. Při tomto měření bylo načerpáno 247,42 ml vody.

I u tohoto grafu je vidět, že křivky ke konci měření klesají a lze předpokládat, že pokud by se v měření pokračovalo, došlo by k ustálení infiltrace a úplnému nasycení půdy vodou.



**Obrázek č. 36:** Infiltrační křivky proměnné intenzity deště.

### 6.3 Měření v laboratoři 11. 1. 2018

Dne 11. 1. 2018 bylo na uměle vytvořeném povrchu provedeno 20 měření, 10 o konstantní intenzitě deště a 10 o proměnné intenzitě deště. Na obrázku č. 37 je znázorněno, jak měření v laboratoři vypadalo. K výtopě došlo jen u čtyř měření o proměnné intenzitě deště. Časy výtopy se opět pohybovaly v rozmezí 300 - 400 sekund. Souhrn měření, při kterých došlo k výtopě, je znázorněn v tabulce č. 4.

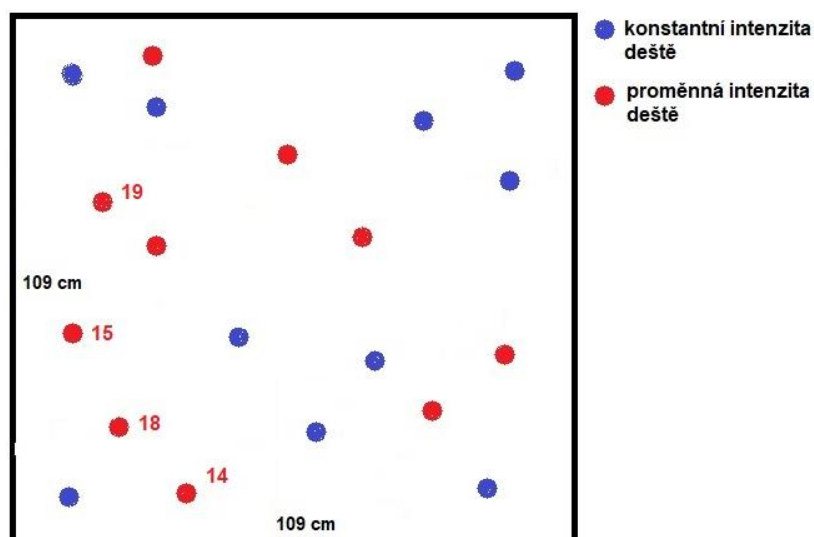
ID	ZAČÁTEK	KONEC	VÝTOPA (s)	Proměnná/Konstantní (P/K)
1	10:22	10:37	BEZ VÝTOPY	K
2	10:39	10:54	BEZ VÝTOPY	K
3	10:56	11:11	BEZ VÝTOPY	K
4	11:14	11:29	BEZ VÝTOPY	K
5	11:32	11:47	BEZ VÝTOPY	K
6	13:16	13:31	BEZ VÝTOPY	K
7	13:33	13:48	BEZ VÝTOPY	K
8	13:50	14:05	BEZ VÝTOPY	K
9	14:07	14:22	BEZ VÝTOPY	K
10	14:24	14:39	BEZ VÝTOPY	K
11	11:50	12:05	BEZ VÝTOPY	P
12	12:07	12:22	BEZ VÝTOPY	P
13	12:25	12:40	BEZ VÝTOPY	P
14	<b>12:41</b>	<b>12:56</b>	<b>401</b>	<b>P</b>
15	<b>12:58</b>	<b>13:13</b>	<b>341</b>	<b>P</b>
16	14:41	14:56	BEZ VÝTOPY	P
17	14:58	15:13	BEZ VÝTOPY	P
18	<b>15:15</b>	<b>15:30</b>	<b>394</b>	<b>P</b>
19	<b>15:33</b>	<b>15:48</b>	<b>305</b>	<b>P</b>
20	15:50	16:05	BEZ VÝTOPY	P

*Tabulka č. 4: Souhrn měření z 11. 1. 2018.*



**Obrázek č. 37:** Měření v laboratoři dne 11. 1. 2018.

Na obrázku č. 38 je znázorněno rozmístění všech měření, která proběhla v laboratoři. U číslicemi popsaných měření došlo k výtopě. Jedná se jen o měření, kde simulovaný déšť probíhal proměnnou intenzitou. U všech těchto měření došlo k výtopě ve chvíli, kdy déšť kapal největší intenzitou. K výtopě u ostatních měření nedošlo nejspíše z důvodu velice vyschlého půdního profilu. Jelikož byl tento umělý půdní profil vytvořen 13. 12. 2017 a měření byla kvůli poruše přístroje a jeho nutné opravě provedena až o měsíc později, je toto hlavní příčina



**Obrázek č. 38:** Rozmístění měření na uměle vytvořeném povrchu v laboratoři dne 11. 1. 2018.

Na obrázku č. 39 je názorně vidět, že k výtopám došlo mezi 300. a 400. sekundou. Infiltrační křivky tohoto měření jsou velice proměnlivé a na první pohled lze říci, že infiltrace probíhala rychle.

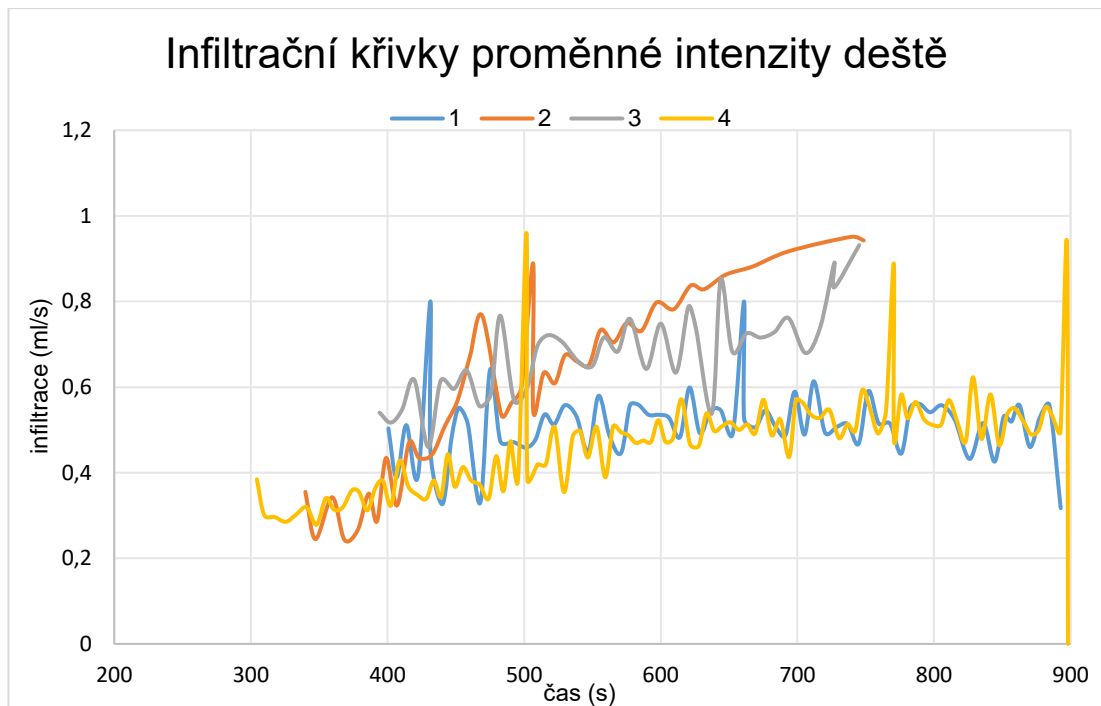
Měření, které zobrazuje křivka 1, probíhalo poměrně kontinuálně, infiltrace většinou probíhala ve stejné rychlosti a úseky mezi jednotlivými sepnutými čerpadla byly přibližně stejně dlouhé. Vyskytly se ale dva velké výkyvy, kdy úseky mezi sepnutím čerpadla byly velice krátké, a to 0,1 s, a infiltrace proběhla velmi rychle nebo opět došlo k čerání hladiny, které způsobilo spojení hladiny s hrotem a následné okamžité odtrhnutí menisku.

U měření, které zobrazují křivky 2 a 3, probíhala infiltrace výrazně rychleji (umístěny výše na svislé ose). Zároveň byl při těchto měření načerpán největší objem vody, a to 453 ml.

Křivka 4 zobrazuje měření, při kterém probíhala infiltrace obdobně jako u 1, s rozdílem v době výtopy. Jednotlivé úseky mezi sepnutím čerpadla byly většinou přibližně stejně dlouhé, okolo 5 až 6 sekund. Vyskytly se ale tři případy, kdy úsek mezi sepnutím čerpadla byl kratší jak 1 sekunda a infiltrace proběhla rychlostí 0,9 ml/s.

Zvláštní je, že na rozdíl od výsledků terénních měření, zde není zřetelný klesající trend infiltrační křivky. Důvodem může být velmi nízká vlhkost půdního profilu způsobená časovou prodlevou mezi přípravou profilu a vlastním měření (kvůli poruše přístroje – viz výše). Celkově rychlý průběh infiltrace tak měl vliv na rozkolísanost křivek (čerání hladiny, rychlá sepnutí čerpadla) a zároveň mohlo docházet ke strukturním změnám v půdním profilu při jeho rychlém sycení. Následkem těchto změn mohly vznikat drobné preferenční cesty v půdním profilu a ovlivňovat tak průběh infiltrace. Laboratorní měření doporučuji v budoucím výzkumu zopakovat pro ověření spolehlivosti dat. Zároveň by mohlo být přínosem před vlastním měřením infiltrace simulovat dešťovou srážku nad celým půdním profilem v pokusném žlabu. Toto je v možnostech laboratoře Z016, která disponuje simulátorem deště. Díky předchozí srážce dojde k nasycení půdního profilu a dost možná i k jeho částečnému sjednocení a vylepšení struktury. Více nasycený profil povede i ke kratší době výtopy a přiblížení bodu ustálení infiltrace.





**Obrázek č. 39:** Infiltrační křivky proměnné intenzity deště.

Ze zpracovaných výsledků z terénních měření a z laboratoře je patrné, že k době výtopy, což je čas, který počítáme od začátku srážky k vytvoření povrchového odtoku, docházelo nejčastěji v rozmezí 300 až 400 vteřin. Z naměřených dat lze určit, že na pokusné lokalitě proběhla doba výtopy poměrně pozdě od zahájení měření. Vzhledem k tomu, že na mnoha místech výtopa vůbec nenastala, a na ostatních místech výtopa nenastala okamžitě, je možné charakterizovat povrch půd, na kterých probíhala terénní měření, jako prostředí s nadprůměrnými, vynikajícími infiltračními vlastnostmi.

Časy výtopy bohužel nepotvrdily ani nevyvrátily naši hypotézu: že k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště, než při proměnné intenzitě, protože k dobám výtopy docházelo přibližně ve stejných časech. Ovšem bylo doloženo, že při proměnné intenzitě deště dojde k výtopě ve chvíli jeho nejvyšší intenzity, což může napovídat, že průběh intenzity deště má významný vliv na dobu výtopy. Tento déšť odpovídá skutečnému dešti, a proto bych myšlenku, směřovat budoucí technologický vývoj k simulaci srážek o proměnné intenzitě nezavrhovala před novou sérií měření v laboratoři za korektních vlhkostních podmínek (viz doporučení k simulaci předchozí srážky na str. 58). Déšť o konstantní intenzitě se v přírodě nevyskytuje a z měření neposkytuje dostatečně přesné výstupy.

Pro účely mé diplomové práce jsem všechna měření měla nastavena na déšť trvající 15 minut. Zásadní pro mě byly časy výtopy, a proto nebylo nutné, aby měření pokračovala až do úplného ustálení infiltrace. Při tolika měřeních, která jsem uskutečnila, jak v terénu, tak v laboratoři, by to bylo velice časově náročné, protože k ustálení infiltrace může dojít až po několika hodinách zadešťování. Celý průběh infiltrace bude měřen v rámci další etapy řešení TAČR. Co se týká rychlosti infiltrace, odpovídá hlavní půdní jednotce, která určuje půdy se střední rychlostí infiltrace. Bohužel nevíme, zda i při úplném nasycení, z důvodu, který byl uveden výše.

Jednou z problematických částí měření byl okamžik, kdy docházelo k utržení menisku. Protože jsem nepoužívala k zadešťování zadešťovací trysku, ale vodu jsem přiváděla přímo z hadičky na sítko, vznikaly velké kapky. Někdy se i více pulzů nahromadilo a vznikla jedna velká kapka, která rozčeřila hladinu a tím došlo ke spojení hladiny s hrotem a následným okamžitým odtrhnutím menisku. To může mít za následek velice krátký úsek mezi sepnutím čerpadla a ve výsledcích to může vypadat, jako velice rychlá infiltrace. Chtělo by se zamyslet nad řešením tohoto problému. Zadešťovací tryska nemohla být použita, ale bylo nutné, aby se voda soustředila přibližně ve středu prstence, nebo alespoň aby kapala rovnoměrně, po celé šířce prstence, ale nekapala mimo prstenec.

Zadešťovací trysku jsem nepoužila, protože všechna měření byla nastavena na déšť s N-letostí 100 let, tedy vysoký úhrn srážek a to 45,61 mm za 15 minut. Intenzita srážky je rovna podílu úhrnu a doby trvání srážky a ta byla nastavena na 15 minut. Zadešťovací tryska s tak vysokou intenzitou deště neumí pracovat, a proto měření s tryskou a s prstencem o průměru 10 cm nebylo možné. Z tohoto důvodu jsem použila variantu menšího prstence o průměru 6,1 cm a vodu jsem přiváděla přímo z hadičky přes sítko. Toto řešení bylo pouze provizorní, proto by bylo vhodné zamyslet se nad zlepšením. Například, aby se zadešťovací tryska mohla instalovat i na prstenec o menším průměru. Možná by stačilo pouze přeinstalovat software infiltrometru tak, aby déšť o nejvyšší intenzitě mohl být simulován na menším profilu, případně využít jiného čerpadla. Toto je ale otázka pro konstruktéry, kteří infiltrometr navrhovali, zda je to vůbec možné.

U výsledků měření z laboratoře bylo u křivky 2 a 3 zmíněno, že infiltrace probíhala od ostatních měření výrazně rychleji. Zároveň bylo načerpáno největší množství vody, a to 453 ml. Nejspíš to bylo způsobeno vznikem preferenční cesty okolo prstence, která vznikla při aplikaci prstence do půdy. Půda byla vyschlá a hodně se drolila. Jak předcházet tomuto problému je diskutováno na str. 58.

Původním hlavním cílem mé diplomové práce bylo potvrdit hypotézu H: že průběh intenzity deště má vliv na dobu výtopy. Především to, že při konstantní intenzitě deště dojde k výtopě rychleji, než při proměnné intenzitě deště. To se ale bohužel nepodařilo dokázat ani vyvrátit. Byla by to otázka dalších několika desítek měření, aby bylo více dat, která by se dala porovnávat. Také by bylo dobré měřit na různých typech půdy na různých pozemcích. Současně by bylo také vhodné provést měření až do plného ustálení infiltrace, aby bylo možné vyhodnotit, zda data odpovídají půdním charakteristikám a jsou tedy spolehlivá, nebo zda došlo k chybě měření a výsledky by neměly být zahrnuty do finálního vyhodnocení. Ostatní cíle práce byly naplněny.

## 7. Závěr

Rešeršní část diplomové práce byla zaměřena na popis různých druhů eroze. Bylo zjištěno, že na území České republiky se nejvíce vyskytuje větrná a vodní eroze. Nejvíce ohrožená je část jižní Moravy, a to hlavně vodní erozí. Hlavním důvodem je zrnitostní složení ornice a snižující se obsah humusu. Ztráta půdy zde několikanásobně překračuje povolený limit. Větrnou erozí jsou také ohroženy oblasti Litoměřicka a Lounska. Je to dáno především nízkou lesnatostí a přítomností lehkých písčitých a hlinitopísčitých půd.

Dále byla popsána problematika atmosférických srážek a jejich druhů. S tím související infiltrace. Tento pojem je pro tuto diplomovou práci zásadní, protože na infiltraci byla založena všechna měření.

Velkým problémem posledních let představují bleskové povodně, které se vyskytují především v letních měsících. Jsou těžko předvídatelné a způsobují vysoké škody jak na majetku, tak i na lidských životech. Proto je za potřebí vyvinout správně fungující systém, který přispěje k předpovědi těchto bleskových povodní. Proto byl vyvinut infiltrometr, kterým byla provedena všechna měření v rámci této diplomové práce. Tento přístroj se stále vyvíjí a doladují se jeho chyby a nedostatky. Jeho velkou výhodou ovšem je jeho snadné ovládání a přenosnost. Nevýhodou se může zdát jeho dlouhý vývoj, který stále probíhá. Tento přístroj by v budoucnu mohl pomoci spoustě obcí, které by mohly být ohroženy bleskovými povodněmi. Počítá se s tím, že v případě hrozby se automaticky odešle SMS, která bude varovat například starostu obce, který může dopředu informovat své občany a provést patřičná ochranná opatření.

Měření nebyla potvrzena ani vyvrácena hypotéze H: k výtopě dojde rychleji při konstantní intenzitě deště, než při proměnné intenzitě. Tato hypotéza byla založena na faktu, že u konstantní srážky je půdní profil ihned vystaven poměrně vysoké hodnotě, zatímco u proměnné srážky je intenzita deště nejprve mírná, pak krátkodobě dosáhne svého maxima a následně opět klesá. Bylo ovšem zjištěno, že na pokusné lokalitě by došlo ke vzniku povrchového odtoku při intenzitě deště 3,04 mm/min přibližně za 5 minut. Toto je ale intenzita určená pro déšť, který se vyskytuje jednou za 100 let a trvá 15 minut. Proto je velice nepravděpodobné, že by zde došlo k povodni. Finální stanovisko by bylo třeba ovšem zaujmout v návaznosti na předpověď přívalových srážek (jejich intenzitu a dobu trvání) poskytnutou ČHMÚ.

## 8. Seznam použité literatury

*Odborné publikace:*

**BRADY N. C., WEIL R. R., 2002:** The nature and properties of soils. New Jersey, 960 s.

**CENIA, 2015:** Zpráva o životním prostředí České republiky 2015. Praha.

**ČAMROVÁ L., JÍLKOVÁ J., 2006:** Povodňové škody a nástroje k jejich snížení. JDS, Praha, 420 s.

**DECAGON DEVICES, INC., 2012:** Minidisk Infiltrometer, user's manual. Pullman, Washington, 26 s.

**DUB O., NĚMEC J., 1969:** Hydrologie. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 86-87, 180.

**HOLÝ M., 1994:** Eroze a životní prostředí. ČVUT, Praha, 14-26.

**JANEČEK M., 2008:** Základy erodologie. FŽP ČZU, Praha, 165 s.

**KULHAVÝ Z., SOUKUP M., DOLEŽAL F., ČMELÍK M., 2007:** Přetlakový infiltrometr pro terénní stanovení vsakovací schopnosti půd. VÚMOP, Pardubice, 85 s.

**KUTÍLEK M., 1978:** Vodohospodářská pedologie. SNTL, Praha, 295 s.

**MATOUŠEK V., 2010:** Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 14 s.

**MZE, 2014:** Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

**POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008:** Hydrologie a hydropedologie. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 22-24.

**ŘEZÁČOVÁ D., NOVÁK P., KAŠPAR M., SETVÁK M., 2007:** Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha, 576 s.

**SOCO PROJECT TEAM, 2009:** Final report on the project Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo). European Commission, Luxembourg.

**SCHMIDT J., 2000:** Soil Erosion: application of physically based models. Springer, Germany, 150 s.

**SCHWAB G. O., 1993:** Soil and water conservation engineering. Wiley, New York, 91 s.

**SHAO Y., 2008:** Physics and modelling of wind erosion. Springer, Cologne, 21 - 25.

**STÁTNIKOVÁ P., 2012:** Povodně a záplavy. Paseka, Praha, 7s.

**ŠAMAJ F., BRÁZDIL R., VALOVIČ J., 1983:** Denné úhrny zrážok s mimoriadnou vydatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. Sborník práce SHMÚ. ALFA, Bratislava, 19 - 112.

**ŠILAR J., 1996:** Hydrologie v životním prostředí. Ostrava, Vysoká škola báňská, 23 - 29.

**VÚV T. G. M., 2009:** Metodický návod pro identifikaci KB. Výzkumný ústav vodohospodářský, Praha, 4s.

*Články v odborných a vědeckých publikacích:*

**BŘEZKOVÁ L., NOVÁK P., ŠÁLEK M., JANÁL P., KYZVAROVÁ H., FROLÍK P., 2012:** Možnosti predikce přívalových povodní. Vodní hospodářství 2012/9: 304 - 306.

**DRBAL K., 2012:** Hodnocení povodňových rizik. Vodní hospodářství 2012/9: 288 - 293.

**DRONGOVÁ K., 2013:** Výzkum eroze v drahách soustředěného povrchového odtoku v České republice. Vodní hospodářství 2013/9: 312 - 315.

**FREPPAZ M., GODONE D., FILIPPA G., MAGGIONI M., LUNARDI S., WILLIAMS M., ZANINI E., 2010:** Soil erosion caused by snow avalanches. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 2010/4: 412 - 421.

**HŮLA J., KOVAŘÍČEK P., KROULÍK M., 2010:** Vsakování vody do půdy a povrchový odtok vody u širokořádkových plodin. Listy cukrovarnické a řepařské 126/1: 22 - 25.

**JING Z., TINGWU L., ZHE Y., YAQI H., XIUSHENG Y., 2017:** Effects of time step length and positioning location on ring-measured infiltration rate. CATENA 2017/157: 344 - 356.

**KOVÁŘ P., ŠIMKOVÁ J., ROUS V., 2013:** Možnosti využití modelové simulace hydrologických dat pro vodohospodářské studie a projekty. Vodní hospodářství 12/2013: 416 – 420.

**KOVAŘÍČEK P., ŠINDELÁŘ R., KROULÍK M., HŮLA J., 2007:** Vliv způsobu zpracování půdy na rychlost infiltrace vody do půdy. Listy cukrovarnické a řepařské 123/9: 272 - 275.

**KOVAŘÍČEK P., ŠINDELÁŘ R., HŮLA J., HONZÍK I., 2008:** Measurement of water infiltration in soil using the rain simulation method. Research Institute of Agriculture Engineering 2008/54: 123 - 129.

**LAGADEC L. R., PATRICE P., BRAUD I., CHAZELLE B., MOULIN L., DEHOTIN J., HAUCHARD E., BREIL P., 2016:** Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. Journal of Hydrology 2016/541: 495 - 509.

**MATULA S., KOZÁKOVÁ H., 1997:** A simple pressure infiltrometer for determination of soil hydraulic properties by in situ infiltration measurements. Rostlinná výroba 1997/43: 405 - 413.

**TACHECÍ P., SUCHÁNEK M., ŠPATKA J., KREJČÍ F., 2016:** Předpovědní povodňové systémy. Příklady řešení a návrh pro přívalové povodně. Vodní hospodářství 2016/5: 8 - 12.

**WEGGEL J. R., RUSTOM R., 1992:** Soil erosion by rainfall – State of art. Geotextiles and Geomembranes, 1992/11: 551 – 572.

**ZUAZO V. H., 2008:** Soil erosion and runoff prevention by plant covers. Agronomy for Sustainable Development 2008/28: 65 - 86.

*Internetové zdroje:*

**ČHMÚ, ©2010:** Měření srážek na stanicích ČHMÚ (online) [cit. 21. 10. 2017], dostupné z <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1276515350> .

**ČÚZK, ©2018:** Informace o pozemku (online) [cit. 18. 1. 2018], dostupné z <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=E3FxrS-czmTzLbbzyrlbAQqCrZAYPjFdE4yCMMgpepbmP9gBVgHZ02RwpNJE5VzCtCjZoStvlufeujV9g4Gb-22DRgW2iROEzydNUbvMrwx8ztW-PHj-a2ID7R0vyscXe> .

**VÚMOP, ©2016:** Nabídka mapových a datových produktů (online) [cit. 17. 11. 2017], dostupné z [https://geoportal.vumop.cz/download/2016\\_katalogMap.pdf](https://geoportal.vumop.cz/download/2016_katalogMap.pdf) .

**VÚMOP, ©2017:** eKatalog BPEJ (online) [cit. 18. 1. 2018], dostupné z <https://bpej.vumop.cz/index.php?value=23746> .

*Platné právní předpisy:*

**Zákon o vodách č. 254/2001 Sb., v platném znění.**

*Nepublikované zdroje:*

**PÁNKOVÁ E., 2018:** Zrnitost vzorků půdy. ČZU v Praze, FŽP, KBÚK, nepublikováno.

**PETRŮ J., 2017:** Mapa kritický bodů. ČZU v Praze, FŽP, KBÚK, nepublikováno.

## **9. Seznam obrázků a tabulek**

**Obrázek č. 1:** Tlačítka na kontrolní jednotce.

**Obrázek č. 2:** LED světla na kontrolní jednotce.

**Obrázek č. 3:** Prstenec s hrotem a zadešťovací tryskou.

**Obrázek č. 4:** Kabel INFILTROMETR, sloužící k simulaci deště.

**Obrázek č. 5:** Kabel VÝTOPA, sloužící k měření skutečného deště.

**Obrázek č. 6:** Detailní zapojení na prstenec.

**Obrázek č. 7:** Kabel ke stahování dat.

**Obrázek č. 8:** Výstupy na kontrolní jednotce.

**Obrázek č. 9:** Hyetogram ÚFA Akademie věd pro  $t = 20$  min (Kovář a kol. 2013).

**Obrázek č. 10:** Kalibrace.

**Obrázek č. 11:** Instalace infiltrometru v terénu.

**Obrázek č. 12:** Potencionální ohroženost zemědělské půdy v ČR vodní erozí (online) [cit. 28. 10. 2017], dostupné z

[http://www.vumop.cz/sites/default/files/2016\\_katalogMap.pdf](http://www.vumop.cz/sites/default/files/2016_katalogMap.pdf) .

**Obrázek č. 13:** Potencionální ohroženost ČR větrnou erozí (online) [cit. 30. 10. 2017], dostupné z [http://www.vumop.cz/sites/default/files/2016\\_katalogMap.pdf](http://www.vumop.cz/sites/default/files/2016_katalogMap.pdf) .

**Obrázek č. 14:** Umístění srážkoměrných stanic v ČR v roce 2013 (online) [cit. 17. 11. 2017], dostupné z <http://www.branadovesmiru.eu/odborne-clanky/meteorologie.html>.



**Obrázek č. 15:** Nasycenost území ČR vodou (online) [cit. 15. 11. 2017], dostupné z [http://hydro.chmi.cz/hpps/main\\_rain.php?mt=ffg](http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php?mt=ffg) .

**Obrázek č. 16:** Schéma dvouválcového infiltrometru (online) [cit. 24. 1. 2018], dostupné z <http://hydropedologie.agrobiologie.cz/dvouvalec.html> .

**Obrázek č. 17:** Schéma kompaktního přetlakového infiltrometru (Kulhavý a kol. 2007).

**Obrázek č. 18:** Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru (Matula a Kozáková 1997).

**Obrázek č. 19:** Schéma Mini Disk infiltrometru (Decagon Devices 2012).

**Obrázek č. 20:** Odtokový proces (Langhammer 2007).

**Obrázek č. 21:** Klasifikace protipovodňových opatření (Čamrová a Jílková 2006).

**Obrázek č. 22:** Kritické body a jejich povodí (Petrů 2017, nepublikováno).

**Obrázek č. 23:** Umístění pokusné lokality Nebušice v rámci Prahy.

**Obrázek č. 24:** Hranice městské části Nebušice a bod měření.

**Obrázek č. 25:** Detailní zobrazení pozemku.

**Obrázek č. 26:** 2. klimatický region dle BPEJ (online) [cit. 18. 1. 2018], dostupné z <https://bpej.vumop.cz/index.php?value=23746> .

**Obrázek č. 27:** Zrnitost vzorků půdy (Pánková 2018, nepublikováno).

**Obrázek č. 28:** Geologická mapa – Nebušice (online) [cit. 18. 1. 2018], dostupné z <https://mapy.geology.cz/geocr50/?center=-748800%2C-1039500%2C102067&level=8> .

**Obrázek č. 29:** Zachycení autora v terénu dne 24. 10. 2017.

**Obrázek č. 30:** Rozmístění měření na pokusné lokalitě dne 24. 10. 2017.

**Obrázek č. 31:** Infiltrační křivky konstantní intenzity deště.

**Obrázek č. 32:** Infiltrační křivky proměnné intenzity deště.

**Obrázek č. 33:** Zachycení autor v terénu dne 25. 10. 2017.

**Obrázek č. 34:** Rozmístění měření na pokusné lokalitě dne 25. 10. 2017.

**Obrázek č. 35:** Infiltrační křivky konstantní intenzity deště.

**Obrázek č. 36:** Infiltrační křivky proměnné intenzity deště.

**Obrázek č. 37:** Měření v laboratoři dne 11. 1. 2018.

**Obrázek č. 38:** Rozmístění měření na uměle vytvořeném povrchu v laboratoři dne 11. 1. 2018.

**Obrázek č. 39:** Infiltrační křivky proměnné intenzity deště.

**Tabulka č. 1:** Hodnoty intenzity deště (Kovář a kol. 2013).

**Tabulka č. 2:** Souhrn měření z 24. 10. 2017.

**Tabulka č. 3:** Souhrn měření z 25. 10. 2017.

**Tabulka č. 4:** Souhrn měření z 11. 1. 2018.