

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH
BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

Bakalářská práce

Metody měření rychlosti infiltrace vody do půdy

Vedoucí práce: Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.

Autor práce: Jiří Pivoňka

České Budějovice 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří PIVOŇKA**
Osobní číslo: **Z10241**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Metody měření rychlosti infiltrace vody do půdy**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce bude podrobná rešerše popisující různé metody měření infiltrace vody do půdy. Dále bude součástí práce terénní měření infiltrace na půdách s různým využitím území. Zjištěné rozdíly v infiltračních schopnostech půd s různým rostlinným pokryvem budou použity v rámci výzkumných projektů katedry, především při modelování vlivů změn využívání krajiny na vodní režim povodí.

1. Literární rešerše.
 - a/ infiltrace
 - b/ metody měření infiltrace
 - c/ výsledky měření českých i zahraničních autorů
2. Popis konkrétních podmínek a použitých metod.
3. Terénní měření.
4. Vyhodnocení a závěr.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Katedra krajinného managementu
Jiří Pivoňka
Z10241


Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Kutílek, M. Vodohospodářská pedologie, Praha, 1978. 295 s.
Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
Manuály a technické specifikace různých přístrojů pro měření infiltrace.
Články v recenzovaných časopisech (dop. Journal of Hydrology, Hydrological processes, Water Resources Research a další).

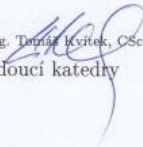
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **8. března 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2013**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


Ing. Karel Suchý, Ph.D.
proděkan pověřený vedením ZF

L.S.


prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Babicích dne 5. 1. 2013

.....
Jiří Pivoňka

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Pavlu Žlábkovi, Ph.D., za odborné vedení, konzultace, připomínky a cenné rady při psaní této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Tachecímu, Ph.D. za odborné vedení a rady při terénním měření. Také děkuji své rodině a přátelům za podporu během studia a vytvoření zázemí, díky kterému jsem také mohl napsat tuto práci.

Abstrakt

Tato práce se zabývá terénním měřením ustálené rychlosti infiltrace na povodí Kopaninského potoka. Při měření byl použit jednoválcový výtopový infiltrometr a kompaktní přetlakový infiltrometr. Na povodí bylo provedeno v červenci a srpnu 2012 celkem 30 infiltračních pokusů. Rychlost infiltrace byla měřena na TTP a na orné půdě. Obě použité metody prokázaly, že ustálená infiltrační rychlost je v průměru přibližně stejná na TTP i orné půdě. Dále jsou v práci popsány nejběžnější metody měření infiltrace a porovnávány výzkumy českých a zahraničních autorů.

Klíčová slova: ustálená infiltrační rychlost, jednoválcový infiltrometr, kompaktní přetlakový infiltrometr, metody měření infiltrace

Abstract

This thesis deals with field measurements of steady infiltration rate in the Kopaninský stream catchment. Single-ring infiltrometer and compact pressure infiltrometer were used for measurement. 30 infiltration tests were made in the catchment in July and August 2012. Infiltration rate was measured on grassland and arable land. Both methods showed, that steady infiltration rate is approximately the same on grassland and arable land. Further the most common methods of infiltration measurements and comparison of Czech and foreign research are described in this thesis.

Key words: steady infiltration rate, single-ring infiltrometer, compact pressure infiltrometer, methods of infiltration measurements

Obsah

1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	10
2.1 Půdní voda.....	10
2.1.1 Proudění půdní vody.....	10
2.2 Infiltrace	11
2.2.1 Infiltrace srážek.....	12
2.2.2 Vliv půdní struktury na infiltraci	13
2.3 Metody měření infiltrace	14
2.3.1 Válcové výtopové infiltrometry.....	14
2.3.2 Kompaktní přetlakový infiltrometr	16
2.3.3 Jednoduchý tlakový infiltrometr	18
2.3.4 Kruhový Mini Disk infiltrometr	18
2.3.5 Dešťový simulátor	19
2.3.6 Tenzní infiltrometr.....	19
2.3.7 Hood infiltrometr	20
2.3.8 Guelphský permeametr	20
2.4 Srovnání výsledků českých a zahraničních autorů.....	20
2.4.1 Měření infiltračních rychlostí u českých autorů	20
2.4.2 Měření infiltračních rychlostí u zahraničních autorů.....	22
3. MATERIÁL A METODY	25
3.1 Popis konkrétního území	25
3.1.1 Geografická poloha.....	25
3.1.2 Vyhodnocení území z hlediska klimatických vlivů.....	26
3.1.3 Geologické a pedologické hledisko území	26
3.1.4 Vyhodnocení dle kódu BPEJ	27
3.1.5 Hydrologické poměry	28
3.2 Použité metody	28
3.2.1 Infiltrace výtopou – jednoválcová metoda.....	28
3.2.2 Kompaktní přetlakový (výtopový) infiltrometr	29
4. TERÉNNÍ MĚŘENÍ	30
4.1 Jednoválcová výtopová metoda.....	30
4.1.1 Pomůcky	30

4.1.2 Přípravné práce	30
4.1.3 Vlastní měření.....	32
4. 2 Kompaktní přetlakový infiltrometr	34
4.2.1 Pomůcky	34
4.2.2 Přípravné práce	34
4.2.3 Vlastní měření.....	36
5. VÝSLEDKY A DISKUSE	39
5.1 Ustálená infiltrační rychlost – jednoválcová metoda	39
5.2 Ustálená infiltrační rychlost – kompaktní přetlakový infiltrometr.....	43
5.3 Srovnání dosažených výsledků s jinými autory	44
6. ZÁVĚR	46
7. SEZNAM LITERATURY	47
8. PŘÍLOHY	52

1. ÚVOD

Přítomnost vody v půdě je nesmírně důležitá, všechny procesy probíhající v půdě jsou úzce propojeny právě s vodou a spolu s živinami teplem a vzduchem je hlavní podmínkou půdní úrodnosti. Voda je nezbytná pro život všech organismů na planetě, avšak dokáže být taktéž nebezpečná. Velké množství srážek může zapříčinit vodní erozi a transport půdních částic do vodních toků.

Infiltrace je proces, který srážkovou vodu dostává do půdy, a tím omezí odnos půdy a povrchový odtok. Proto je infiltrace velice významným procesem v půdě a je třeba se jím zabývat. Informace o tom, jak rychle se voda pohybuje v půdě, se využívají v zemědělství, vodním hospodářství, ochraně přírody a krajiny, lesnictví a dalších oborech. V této práci jsou charakterizovány nejběžnější metody používané při měření infiltrace.

V práci se zabývám terénním měřením rychlosti infiltrace vody do půdy na plochách s odlišným využitím území. Terénní měření probíhalo na povodí Kopaninského potoka a data, která během měření byla získána, byla následně vyhodnocena. V této práci je zahrnuto porovnání různých metod měření infiltrace a porovnání vyhodnocených dat na lokalitách s různým využitím.

Cílem této bakalářské práce bylo získání dat při měření na povodí Kopaninského toku a jejich následné zpracování a vyhodnocení. V rámci analyzování měření na jednotlivých plochách s rozdílným využitím bylo cílem porovnat rozdíly rychlosti infiltrace vody do půdy a dále také porovnání dvou odlišných metod měření infiltrace. Zjištěné rozdíly v infiltračních schopnostech půd budou dále využity ve výzkumných projektech katedry, především při modelování vlivů změn využívání krajiny na vodní režim povodí.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

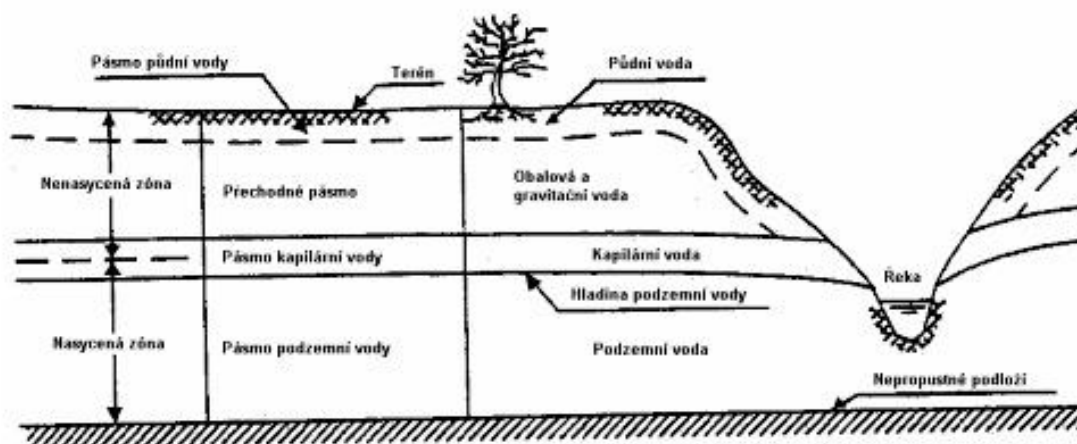
2.1 Půdní voda

KUTÍLEK (1978) uvádí, že veškerá voda, která se nachází v půdě, se nazývá půdní, s výjimkou tzv. krystalické vody, která není za půdní vodu považována. Podle HANUSINA (1996) je pohyb vody v krajině umožněn prostřednictvím hydrologických procesů, které můžeme uceleně nazvat jako hydrologický cyklus. Hydrologický proces je každý pohyb vody v krajině, způsobený gravitací a sluneční energií. KUTÍLEK (1978) je přesvědčen, že půdní voda, chování půdní vody a její pohyb je pro zvládnutí celého hydrologického cyklu rozhodujícím činitelem. Objem vody, který je ve vodě zadržován hraje zásadní roli v celém hydrologickém cyklu. V porovnání s celkovým množstvím vody v nádržích na našem území je objem vody v půdě přibližně o řád vyšší.

2.1.1 Proudění půdní vody

KUTÍLEK (1978) považuje proudění vody v půdě je významné z několika hledisek. Proudění je důležitým článkem hydrologického cyklu. Dále také z hlediska rostlinné výroby, a taktéž vodou se uskutečňuje transport rozpuštěných látek v půdním profilu. Při transportu unášených látek často dochází k přeměně těchto látek. Proto je půdní vodě přikládán velký význam v ochraně zdrojů podzemních vod a při tvorbě a ochraně životního prostředí. Schopnost půdy vést vodu, což je vlastnost, jež uskutečňuje proudění v půdě, se nazývá hydraulická vodivost.

Voda v půdě se pohybuje v pórech. V půdních pórech je vždy obsaženo určité množství kapalné fáze, kterou nazýváme půdní voda. Prostor, ve kterém se voda pohybuje, je omezen maximálním objemem pórů (KUTÍLEK 1978). Podle VALENTOVÉ (2007) mohou být všechny póry zcela zaplněny vodou, ale také nemusí. Podle tohoto kritéria rozeznáváme nasycenou (zvodnělou zónu) a nenasycenou zónu (zóna aerace). Jak lze vidět na obr. č. 1, nasycená zóna je součástí pásma podzemní vody a částečně pásma kapilární vody. Nenasycená zóna zahrnuje částečně pásmo kapilární vody, přechodné pásmo a pásmo půdní vody. RAWLS (2002) nazývá zvláštní případ pohybu vody v nenasyceném půdním prostředí jako infiltraci neboli vsak vody do půdy.



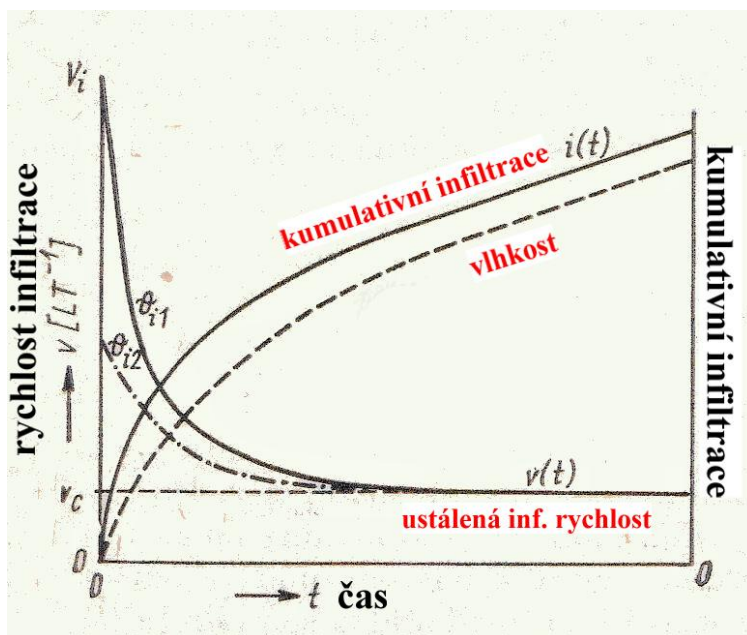
Obr. č. 1 Rozdělení vody ve vertikálním profilu (VALENTOVÁ 2007)

2.2 Infiltrace

POELS (2009) definuje infiltraci jako proces, který umožňuje vstup vody pod povrch země. KUTÍLEK A KOL. (2000) nazývá infiltraci jako průtok vody do půdy přes topografický povrch. PITTER (2009) zahrnuje infiltraci do koloběhu vody a dále uvádí, že se jedná o vsakování vody do půdy a propustných hornin. Infiltrace je jedním z nejdůležitějších procesů, které způsobují vznik podzemní vody. RAWLS (2002) definuje infiltraci jako proces, kdy voda vstupuje do země ve formě dešťových, sněhových srážek nebo zavlažování.

Infiltrace má významnou roli ve vodním režimu půd. Pokud víme, jakou rychlostí se voda vsakuje do půdy a za jakých podmínek, můžeme zjistit stav celého půdního profilu a schopnost půdy hospodařit s vodou (MAŠÍČEK A KOL. 2011). Infiltrace ovlivňuje půdní profil a celé jeho vodní hospodářství. Mezi základní infiltrační charakteristiky patří rychlost (intenzita) infiltrace a velikost infiltrace (tzv. kumulativní infiltrace). Tyto charakteristiky udává stav půdního profilu (RAWLS 2002). Intenzita infiltrace hraje významnou roli při ochraně půdy před povrchovým odtokem (LHOTSKÝ 2000). Pokud je intenzita srážek vyšší, než intenzita infiltrace nastává právě povrchový odtok (BENETIN A KOL. 1987). Nejvýznamnějším vlivem na intenzitu infiltrace vody s povrchu do větších hloubek je míra propustnosti půdního pokryvu a svrchních vrstev hornin (KŘÍŽ 1983). Kumulativní infiltrace nám udává celkové množství vody, které se infiltrovalo od zahájení měření, až po jeho ukončení. Za určitý čas se rychlost infiltrace bude ustalovat a zůstat v podstatě konstantní (viz obr. č. 2). Kumulativní infiltrace přitom bude lineárně s časem

narůstat. Tento stav může být někdy nazýván jako kvazistacionární (KUTÍLEK 1978).



Obr. č. 2 Závislost kumulativní infiltrace a rychlosti infiltrace na čase (KUTÍLEK 1978, upraveno autorem)

Infiltrace je složitý děj, závisející především na intenzitě srážek (KREŠL 2001). Ovšem LUKAS A KOL. (2007) uvádějí, že infiltrace je ovlivňována řadou dalších faktorů, mezi které patří vlastnosti půdy (struktura, textura, morfologické, chemické a vlhkostní parametry), vlastnosti půdního povrchu (např. výskyt půdního škraloupu), způsob hospodaření na půdě (technologie zpracování půdy, druh vegetačního pokryvu) a přírodní podmínky (teplota a vlhkost půdy). Podle REICOSKYHO A KOL. (2005) se průběh infiltrace odvíjí od množství vody a způsobu, jakým je voda dopravována k povrchu půdy (srážky, závlaha, zátopa). Neméně důležité jsou také vlastnosti půdy, z nichž jsou nejvýznamnější zrnitost, struktura, stavba půdního profilu, pórovitost a objemová hmotnost půdy.

2.2.1 Infiltrace srážek

Srážka dopadající na povrch je díky infiltraci rozdělena na dvě části. Jeden podíl doplňuje zásobu půdní vody v profilu a druhá část srážky povrchově odtéká (KUTÍLEK 1978). Při přívalových deštích je povrch půdy ohrožen vznikem vodní eroze, proto je schopnost půdy infiltrovat srážky velice důležitá (MORGAN 2005). Část, která se infiltruje, protéká půdním profilem, horninovým podložím a rezervoáry

podzemních vod, než se následně její podíl dostane do vodních toků. Když srovnáme rychlost povrchového odtoku a průtok půdním a horninovým porézním prostředím, zjistíme, že průtok vody v profilu je velmi pomalý. Z tohoto důvodu velká infiltrace způsobuje zpomalení oběhu vody, což je obecně bráno za příznivý jev (KUTÍLEK 1978).

Průběh infiltrace ze srážek je následovný. Jednotlivé kapky, které dopadají na povrch, zvlhčují půdu v oddělených ploškách a půda se drénuje před dalším dopadem kapky. To nám říká, že infiltrace ze srážek probíhá jako řada přerušovaných mikroprocesů zvlhčení a odvodnění se zřetelnou hysterezí (KUTÍLEK 1978).

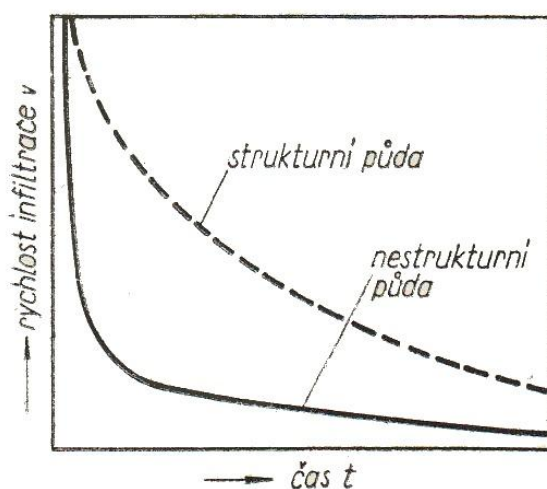
Na intenzitu infiltrace srážkové vody má vliv také tvar reliéfu. Nejvýznamnější jsou přitom svahy, které značí nejrozšířenější a nejdynamičtější prvek reliéfu pevnin a jsou charakteristické pro velkou část (asi 90%) povrchu souše (DEMEK A KOL. 1976). Mezi vlastnosti svahů, které jsou významné pro vsakování vody, patří sklon a délka svahu. Čím vyšší máme sklon svahu, tím jsou podmínky pro vsak horší. Důvodem je zkrácená doba styku vody s povrchem půdy, tudíž rychlost povrchového odtoku vody narůstá. Naopak délka svahu může mít za následek větší intenzitu infiltrace vody. Důležitá je ovšem propustnost hornin, které tvoří svah a také rozrušenost svahu způsobená např. zvětráváním hornin. Intenzita infiltrace srážek na svahu je dána sklonem, vegetačním pokryvem a propustností půdního profilu (KŘÍŽ 1983).

2.2.2 Vliv půdní struktury na infiltraci

Infiltrační schopnost půd je určena strukturou půdního profilu a stavem vrchní vrstvy půdy. Dále je také ovlivňována druhem vegetačního krytu, který ochraňuje povrch před vznikem půdního škraloupu při přívalových deštích. Strukturou půdního profilu lze ovlivnit agrotechnickými zásahy. Těžké mechanismy při obhospodařování pozemků utužují půdu, což má negativní vliv na infiltraci vody do půdy (HRÁDEK 1998). KUTÍLEK (1978) srovnává vliv strukturní a nestrukturní středně těžké až těžké půdy, jinak stejných vlastností, na infiltrační rychlost. U nestrukturní půdy je počáteční rychlost infiltrace nižší a velice rychle se dále snižuje. Zatímco u strukturní půdy dochází k mírnějšímu snižování rychlosti infiltrace (viz obr. č. 3). Prudké snížení infiltrace na nestrukturní půdě je způsobeno rozpadem pseudoagregátů a vznikem půdního škraloupu. Vzduch uzavřený pod škraloupem

zhoršuje průběh infiltrace. U strukturální půdy se vzduch z půdních pórů vytrácí. Strukturální půda dobře hospodaří s vodou, přičemž nestrukturní půda není z vodohospodářského hlediska přínosem. Nestrukturní půda zvyšuje povrchový odtok, snižuje příjem vody do půdního profilu a snadněji je vysušována.

Do půdní struktury můžeme zařadit geometrické uspořádání částic a mezičástic, které jsou pomocí vnitřních sil vázány mezi sebou. Na tomto je závislé chování a pohyb půdní vody a jak odolává utužení půdy (TRUMAN A FRANZMEIER 2005).



Obr. č. 3 Průběh infiltrace na půdě s odlišnou strukturou (KUTÍLEK 1978)

2.3 Metody měření infiltrace

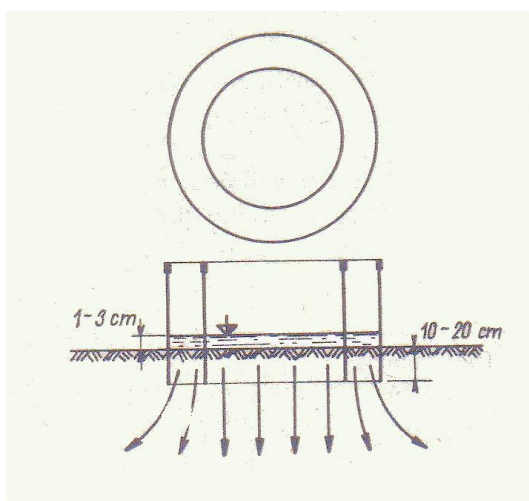
2.3.1 Válcové výtopové infiltrometry

Infiltrační rychlost se měří v terénu infiltračním pokusem, kdy se voda vsakuje ve velkých infiltrometrech s různým půdorysem, obvykle to jsou soustředné válce (KUTÍLEK 1978). K měření rychlosti infiltrace vody do půdy se používají jednoválcové a dvouválcové infiltrometry. KLUTE (1986) navrhuje použití jednoho válce o značném průměru. Ovšem KOVAŘÍČEK A KOL. (2007) uvádí, že pro měření v terénu jsou obecně více preferovány a používány dvouválcové infiltrometry.

Dále se budu zabývat pouze dvouválcovou metodou, neboť tato metoda je mnohem běžnější než jednoválcová metoda, při měření infiltrace pomocí výtopy.

2.3.1.1 Dvouválcový infiltrometr

Infiltrační pokus výtopovou metodou je založen na měření vody, která se vsakuje mezi soustřednými válci. U dvouválcové metody se vsakovací schopnost měří na povrchu půdy. Povrch musí být nejprve sestříhán nůžkami a očištěn, avšak nesmí být porušen přirozený stav povrchu. Dva soustředné válce jsou položeny na vybranou plochu a pomocí dřevěného trámku a palice zatlučeny, nejdříve vnitřní válec, poté vnější válec do hloubky 10 – 20 cm. Spáry okolo válce se utěsní zeminou. Do vnitřního válce je vložen hrot kontrolující hladinu vody. Na dno válce je umístěna ochranná perforovaná deska, která zabraňuje rozplavování povrchu při nalévání vody do válce (KAMENČÍKOVÁ 2009). Ve vnitřním válci je sledováno množství zasáknuté vody v závislosti na čase, vnější válec má za úkol zachovat svislost proudnic ve vnitřním válci (viz obr. č. 4). K měření se používají válce různého průměru a mělo by platit, že plocha vnějšího válce je 1,73 krát větší než u vnitřního (KAMENČÍKOVÁ 2008).



Obr. č. 4 *Soustředné válce a směr proudnic ve válcích* (KUTÍLEK 1978)

Vlastní měření se uskutečňuje doléváním známého objemu vody nad referenční úroveň stabilizovanou měrným hrotem. Objem vody a čas dolévání se zaznamenává. Minimální výška hladiny v obou válcích se udržuje v rozmezí 1 – 4 cm. Měření se ukončuje v tu dobu, kdy dojde k relativnímu ustálení rychlosti infiltrace (KAMENČÍKOVÁ 2009).

2.3.1.2 Automatické měření infiltrace výtopou

Měření výšky hladiny je uskutečňováno především pomocí hrotových měřidel, což není příliš přesné a je zatíženo subjektivní chybou obsluhy při odečítání.

Obsluha sleduje hrot, měří čas, zapisuje jej a dolévá vodu, proto je vhodné celý proces automatizovat a snížit tím vliv obsluhy na případnou chybu (MATULA 1986).

Zařízení pro automatické měření hladiny a záznamu času se skládá z plovákového měřidla hladiny s opticko-elektronickým odečítáním výšky, podpůrných elektrických obvodů, upravené kalkulačky s hodinami Tesla MR 4110 a baterie (MATULA 1986).

MATULA (1986) stanoví následující postup při měření infiltrace se zařízením s automatickým záznamem. Po umístění infiltrometru na zájmovou plochu se přišroubuje plovákové měřidlo hladiny k děrované desce, která je osazená v infiltrometru. Dále se připojí kalkulačku a měřidlo ke zdroji energie. Na kalkulačce se přepne tlačítko TM CORR do polohy ON a ve stejný čas, kdy se nalije voda do infiltrometru spustíme stopky. Po spuštění je nutné dvakrát stlačit tlačítko RES, tím se připraví stopky k indikaci mezičasu. Pokles hladiny je signalizován akustickým signálem. Obsluha dolévá vodu a zaznamenává čas ze stopek.

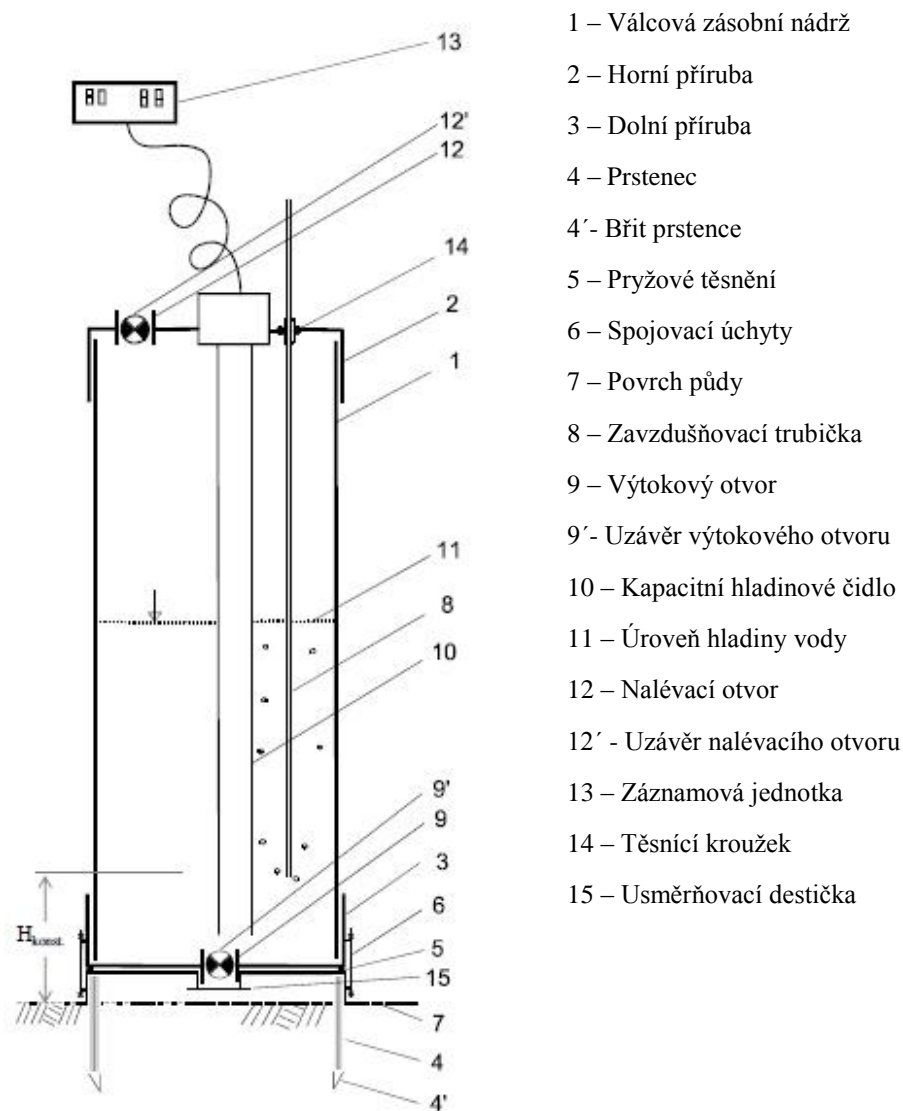
MATULA A DIRKSEN (1989) dokončili automatizaci měření infiltrace, tím že navrhli zařízení pro automatické dávkování vody do válce.

2.3.2 Kompaktní přetlakový infiltrometr

KULHAVÝ A KOL. (2007) popisují filtraci vody půdou pomocí přenosného tlakového infiltrometru. Jeho využití se naskýtá při operativním stanovení hydraulické vodivosti jednotlivých půdních horizontů. Podle KULHAVÉHO A KVÍTKA (2010) infiltrometr poskytuje podklad pro vyjádření infiltračních charakteristik a zohledňuje aktuální stav povrchu, stav vody v pórech a vliv půdního edafonu.

Přetlakový infiltrometr je sestaven ze čtyř základních dílů (viz obr. č. 5). Ze zásobní válcové nádrže, která funguje na principu Mariottovy láhve, dále z prstence sloužícího pro zaražení do půdy, z hladinového čidla a záznamové jednotky (dataloggeru). Základní princip zkoušky je takový, že voda je přiváděna do půdy takovou rychlostí, jako se vsakuje. Tím zjišťujeme okamžitou intenzitu vsaku vody do půdy na zvoleném rozhraní půdního profilu (KULHAVÝ A KOL. 2007). KULHAVÝ A KVÍTEK (2010) uvádí, že úbytek vody je zaznamenáván kapacitním čidlem během krátkého časového intervalu a ukládán na záznamovou jednotku.

KUTÍLEK A NIELSEN (1994) uvádí, že plošně menší infiltrační pokusy mohou vykazovat velkou odlišnost měřených dat a vyžadují provádět větší počet pokusů. Mezi tyto infiltrační pokusy musíme zařadit i měření kompaktním přetlakovým infiltrometrem.

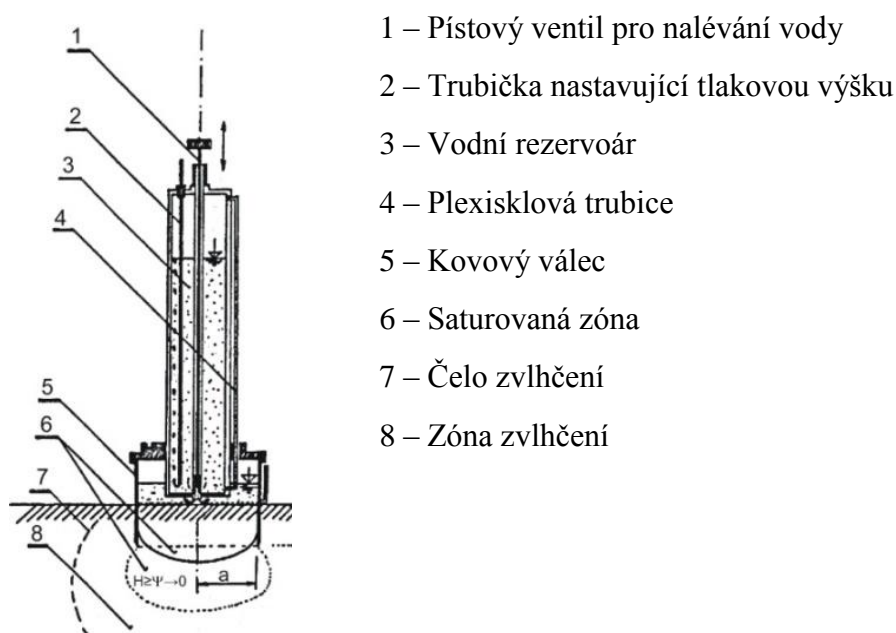


Obr. č. 5 Schéma kompaktního přetlakového infiltrometru (KULHAVÝ A KOL. 2007)

Přístroj je omezen především velikostí válcové zásobní nádrže. Podle KVÍTKA A KULHAVÉHO (2010) je limitující maximální hodnota kumulativní infiltrace 280 až 300 mm, když počítáme i s objemem potřebným k zaplnění prostoru nad povrchem půdy. Infiltrometr je vhodný pro měření velmi malé rychlosti infiltrace a pro půdy s vysokou infiltrační schopností (lehké půdy, půdy s preferenčními cestami).

2.3.3 Jednoduchý tlakový infiltrometr

MATULA A KOZÁKOVÁ (1997) popisují jednoduchý tlakový infiltrometr jako infiltrometr Mariottova typu, který je zkonstruován z nekorodujících materiálů (plexisklo, PVC, mosaz). Zařízení nevyžaduje žádný zdroj energie a pracuje na mechanicko – hydraulickém principu. Infiltrometr měří kumulativní infiltraci v malém infiltračním válci o průměru 15 cm. Infiltrometr je popsán na obr. č. 6. Nevýhody infiltrometru jsou podle KULHAVÉHO A KOL. (2007) špatná manipulace, data není možno automaticky ukládat a naměřená data jsou poměrně nepřesná.

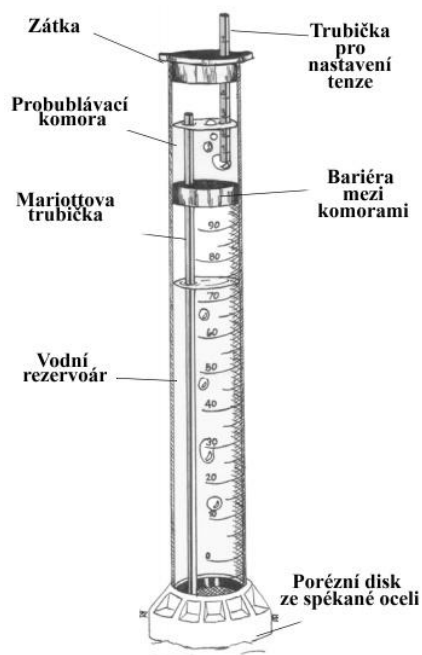


Obr. č. 6 Schéma jednoduchého tlakového infiltrometru (MATULA A KOZÁKOVÁ 1997)

2.3.4 Kruhový Mini Disk infiltrometr

Mini Disk infiltrometr je malý přístroj sloužící k měření nenasycené hydraulické vodivosti. Vyžaduje manuální obsluhu a skládá se ze dvou komor umístěných v jedné trubici (viz obr. č. 7). Horní i dolní komora je naplněna před zahájením měření vodou (DECAGON DEVICES 2012). ŠINDELÁŘ A KOL. (2009) říká, že horní bublinková komora slouží pro nastavení sání vzduchu a voda z dolní komory se infiltuje skrze polopropustnou membránu do půdy. Výhodou infiltrometru je velmi malá spotřeba vody (cca 135 ml na jedno měření).

Podrobný postup a zásady při měření popisuje ŠINDELÁŘ A KOL. (2009) a taktéž jsou uvedeny v manuálu přístroje.



Obr. č. 7 Schéma Mini Disk infiltrometru (DECAGON DEVICES 2012, upraveno autorem)

2.3.5 Dešťový simulátor

KOVAŘÍČEK A KOL. (2007) uvádí, že stanovení infiltrace pomocí simulátoru deště je přesnější, vyžaduje nižší spotřebu vody, ale více časově náročné a pracnější než dvouválcové infiltrometry. Rychlost infiltrace se určuje z přesně stanovené intenzity deště a povrchového odtoku vody z měřicí plochy. Hodnoty se zapisují v pravidelných časových intervalech. Měření se ukončuje po ustálení rychlosti infiltrace. KOVAŘÍČEK A KOL. (2008) podrobněji popisuje dešťový simulátor a práci s ním.

2.3.6 Tenzní infiltrometr

ŠPONGROVÁ A KOL. (2009) uvádí, že tenzní infiltrometry jsou běžně používanou metodou ke stanovení hydraulické vodivosti v terénu. Měření jsou ovšem časově náročná a nákladná. Kvalitnější tenzní infiltrometry již vyžadují pouze minimální zásah obsluhy.

2.3.7 Hood infiltrometr

Hood infiltrometr je typ tenzního infiltrometru vhodný k měření nasycené a nenasycené hydraulické vodivosti v terénu. SCHWAERZEL A PUNZEL (2007) poukazují na studie, podle kterých kontaktní materiál (membrána, disk) ovlivňuje měření infiltrace vody do půdy. U Hood infiltrometru je půda v přímém kontaktu s infiltrovanou vodou. Zapotřebí je pouze zkrátit vegetační kryt pod infiltračním zvonem zhruba na výšku 5 mm.

2.3.8 Guelphský permeametr

DAVID A KOL. (2009) uvádí, že přístroj je vhodný pro měření nasycené hydraulické vodivosti (tab. č. 1). Guelphský permeametr je zařazen do skupiny tzv. závrtných infiltrometrů a pracuje na principu Mariottovy láhve, která je přizpůsobena měření ve vrtu. Podle MATULY A KOL. (1989) lze měřit infiltraci i ve velkých hloubkách.

Guelphský permeametr je složen ze zásobního válce a výtokové části se spodním perforovaným měrným čidlem a zavzdušňovací trubice (ČERMÁK 2010). Podrobný popis přístroje je zmiňuje např. KUTÍLEK A KOL. (2000).

Podle DAVIDA A KOL. (2009) je ve vrtu nastavena stálá tlaková výška a je sledován úbytek vody zapříčiněné vsakem vody do půdy v časových intervalech. Měření se ukončuje tehdy, když bude profil nasycen.

Tab. č. 1 *Souhrn vlastností Guelphského permeamtru*

Výhody	Méně pracné	Krátká příprava	Spotřeba vody
Nevýhody	Měření až v hloubce 15 cm	Malý průřez	Méně stabilní výsledky

(JAČKA A PAVLÁSEK 2010, DAVID A KOL. 2009, upraveno autorem)

2.4 Srovnání výsledků českých a zahraničních autorů

2.4.1 Měření infiltračních rychlostí u českých autorů

VIČANOVÁ A KOL. (2008) prováděli v roce 2008 terénní měření na kambizemích. Jednalo se o půdy hlinitopísčité. Měření bylo porovnáváno rychlost infiltrace na orné půdě a na TTP pomocí dvouválcové výtokové metody. Rychlost

infiltrace vody do půdy na orné půdě nepřesáhla $6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. U TTP dubnová a květnová měření nepřesáhla rychlost $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, červnová měření měla rychlost o něco vyšší ($6 - 8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$), tudíž byla rychlost vsakování vyšší než u orné půdy. Výsledky z předchozích 3 měsíců však ukazují, že rychlost infiltrace byla podobná na obou pozemcích.

Měření rychlosti infiltrace dvouválcovou metodou prováděné MAŠÍČKEM A KOL. (2011) probíhalo na orné půdě na kambizemích, hlinitých až písčitohlinitých půdách. V roce 2009 bylo uskutečněno 5 výjezdů do terénu. Měření rychlostí infiltrace byla téměř ve všech případech vyrovnaná, kromě posledního měření, kde byly výsledky značně rozkolísané. To bylo způsobené pravděpodobně preferenčními cestami a nižší vlhkostí půdy. Při prvním výjezdu byla průměrná rychlost infiltrace $0,4 - 0,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, což vzhledem k vysoké hodnotě kumulativní infiltrace poukazuje na dobrou vsakovací schopnost půd. Při druhém výjezdu se rychlost pohybovala v rozmezí $1,6 - 2,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Při třetím výjezdu se hodnoty pohybovaly mezi $0,25 - 0,85 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, nižší kumulativní infiltrace poukázala na větší zhutnění půdy. U čtvrtého výjezdu byla průměrná rychlost infiltrace $0,85 - 2,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Rychlost infiltrace je vždy z počátku vyšší a poté se snižuje. Strmý pokles poukázal na nestrukturní půdu s velkým množstvím pseudoagregátů.

Vliv způsobu zpracování půdy na infiltrační schopnosti půdy

KAMENČÍKOVÁ (2008) a KAMENČÍKOVÁ (2009) posuzovala infiltrační rychlost u klasické technologie obdělávání půdy a minimalizačního zpracování. Měření byla uskutečněna v roce 2008 od dubna do srpna na kambizemích, lehkých, hlinitopísčitých půdách za pomoci dvouválcového infiltrometru. Všechna měření byla charakteristická svou vyrovnaností a rozptyl hodnot byl mezi $0,5 - 1,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. U všech měření byla vyhodnocena vyšší infiltrační schopnost na pozemcích s klasickým zpracováním. Rozdíl mezi klasickým a minimalizačním zpracováním byl cca $0,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Půda obdělávaná klasickým způsobem dokáže pojmout více vody a tím dochází ke snížení erozní ohroženosti půd.

ŠINDELÁŘ A KOL. (2009) srovnává pozemky s konvenčním (každoroční orba), minimalizačním zpracováním a pozemky bez zpracování (přímé setí). Mini Disk infiltrometrem byla na jílovitohlinité půdě stanovena hydraulická vodivost.

Největší hydraulická vodivost byla zjištěna u konvenčního zpracování, u varianty s minimalizačním zpracováním je méně než poloviční a u přímého setí 14x nižší.

Měření MATULY (2003), které probíhalo po třech letech (1997 a 2000) poukázalo, jak minimalizační zpracování a přímé setí ovlivnilo rychlost infiltrace. Hydraulická vodivost poklesla u minimalizačního zpracování 3x a u přímého setí 6x. Tento pokles může mít za následek zvýšení povrchového odtoku a nebezpečí eroze.

Vliv využívání půdy na infiltrační schopnosti půdy

SOCHOREC A HEJDUK (2012) prováděli srovnání rychlosti infiltrace na třech různě využívaných travních porostech. Měření bylo prováděno na TTP bez vlivu zhutnění (PN), na porostech spásaných skotem (PA) a pozemku obhospodařované velkovýrobním způsobem (LO). Při měření byla použita dvouválcová výtopová metoda. Půda byla stanovena jako hlinitá až písčitohlinitá, půdní typ kambizem.

Tab. č. 2 *Srovnání rychlosti infiltrace na různě využívaných plochách*

	Před první sečí	Po první sečí	Na konci vegetace
PN	45 mm*min ⁻¹	8 - 9 mm*min ⁻¹	8 - 10 mm*min ⁻¹
PA	7 mm*min ⁻¹	4 mm*min ⁻¹	0,6 - 0,8 mm*min ⁻¹
LO	8 mm*min ⁻¹	5 mm*min ⁻¹	4 - 5 mm*min ⁻¹

(SOCHOREC A HEJDUK 2012, upraveno autorem)

Z tab. č. 2 je patrné, že před první sečí jsou hodnoty u PN výrazně vyšší, což je způsobeno zlepšením struktury půdy vlivem mrazu. Rychlost infiltrace na pozemcích PA a LO je nižší vlivem zhutnění a absencí kultivace půdy. Toto bylo potvrzeno i z výsledků HEJDUKA A KASPRZAKA (2008). Z výsledků SOCHORCE A HEJDUKA (2012) vyplývá, že po první sečí a na konci vegetace došlo na porostech PA a LO k výraznému zpomalení infiltrace. Vlivem zatížení travních porostů sklízecí technikou a zvířaty dochází ke značnému omezení infiltrace.

2.4.2 Měření infiltračních rychlostí u zahraničních autorů

V letech 1988 až 1989 MOROKE A KOL. (2009) zkoumali rychlost infiltrace vody na čtyřech různých půdních typech (jílovitohlinitá, písčitohlinitá,

písčitojílovitá a písčítá zemina). Taktéž srovnávali vliv zpracování půdy na rychlost infiltrace na těchto půdních typech. Použitou metodou byla dvouválcová výtopová metoda. Jak lze vidět na tab. č. 3 nejmenší infiltrace byla na uježděných plochách. Ve srovnání konvenční a velmi hluboké orby byla u konvenčního způsobu vyšší infiltrace, avšak ne nijak významně. Kumulativní infiltrace a ustálená rychlost infiltrace byla vyšší na písčítých půdách než na jílovitých půdách. U dvojité radličkové orby byla prokázána nižší infiltrace než u jednoduché radličkové orby a velmi hluboké orby. Infiltrace nebyla významně odlišná mezi těmito orebními systémy.

Tab. č. 3 *Srovnání rychlosti infiltrace na různých půdních typech s různým způsobem obhospodařování*

	Velmi hluboká orba	Jednoduchá radličková orba	Dvojitá radličková orba	Uježděný pruh pozemku
Jílovitohlinitá	0,03 – 0,04 mm*min ⁻¹	0,04 mm*min ⁻¹	neměřeno	0,05 mm*min ⁻¹
Písčitohlinitá	0,07 – 0,08 mm*min ⁻¹	0,08 mm*min ⁻¹	0,05 mm*min ⁻¹	0,06 mm*min ⁻¹
Písčitojílovitá	0,05 – 0,06 mm*min ⁻¹	0,05 – 0,06 mm*min ⁻¹	0,02 mm*min ⁻¹	0 mm*min ⁻¹
Písčítá	0,09 mm*min ⁻¹	0,08 mm*min ⁻¹	0,06 – 0,07 mm*min ⁻¹	0 mm*min ⁻¹

(MOROKE A KOL. 2009, upraveno autorem)

K obdobným výsledkům na jílovitohlinitých půdách dospěli i LIU A KOL. (2011), kteří prováděli terénní měření s pomocí dvouválcového výtopového infiltrometru. Byly provedeny 3 měření a hodnoty u všech měření se pohybovali mezi 0,5 – 1,0 mm/min, což svědčilo o poměrně dobré vyrovnanosti rychlosti infiltrace vody do půdy. Současně byl taktéž proveden pokus s dešťovým simulátorem, kde hodnoty infiltrační rychlosti byli vyšší. Měření se simulátorem deště prováděl na orné půdě i SINGH A KOL. (1999), který dospěl k nižším hodnotám, a to 0,06 – 0,13 mm/min.

KECHAVARZI A KOL. (2009) použili tenzní infiltrometr na orné půdě ke stanovení hydraulické vodivosti. Jednalo se o půdy písčité a hlinité. Byly porovnávány pozemky s konvenčním, minimalizačním zpracováním a pozemky bez

zpracování. Výsledky dokázaly, že minimalizační zpracování a pozemky bez zpracování měli vyšší hydraulickou vodivost než pozemky obdělávané konvenčně. Ve výzkumu, který prováděl CASTELLINI A VENTRELLA (2012) a také srovnával konvenční a minimalizační způsob obdělávání, bylo dosaženo v roce 2007 stejného výsledku. Ovšem v předešlých dvou letech byla hydraulická vodivost u konvenčního obdělávání půdy vyšší než u minimalizačního, avšak nijak významně.

Když srovnáme výsledky KECHAVARZIHO A KOL. (2009) a výzkum CASTELLINIHO A VENTRELLY (2012) z roku 2007, zjistíme, že dospěli zcela k jiným závěrům než výše zmíněné výzkumy českých autorů ŠINDELÁŘE A KOL. (2009) a MATULY (2003).

3. MATERIÁL A METODY

3.1 Popis konkrétního území

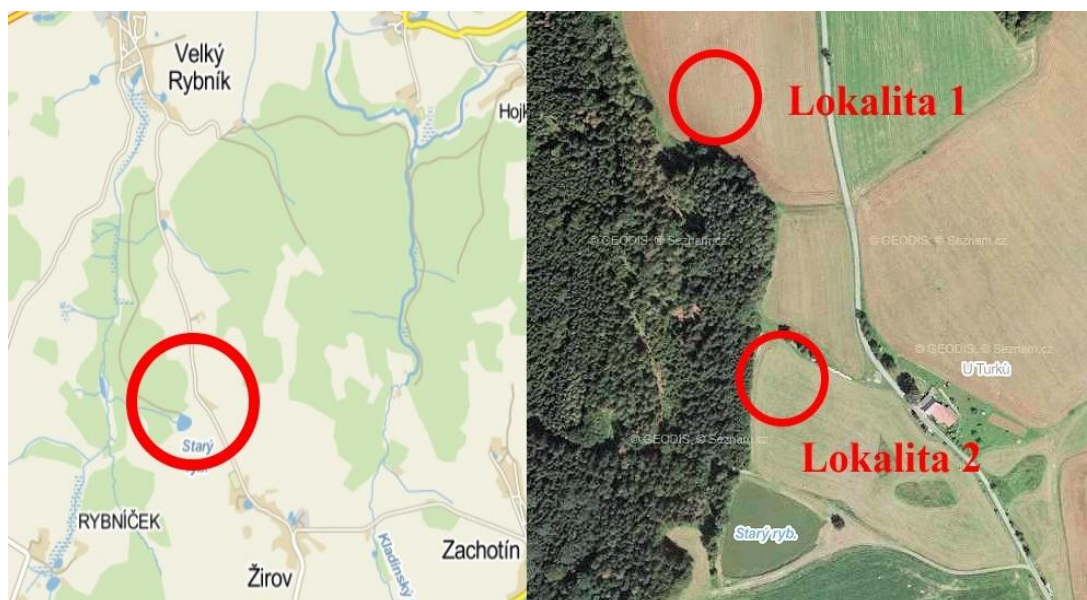
3.1.1 Geografická poloha

Lokality, na kterých bylo prováděno měření, se nacházejí v Kraji Vysočina, v bývalém okrese Pelhřimov. Experimentální plochy leží mezi obcemi Velký Rybník a Žirov (viz obr. č. 8). Obec Žirov leží v průměrné nadmořské výšce 564 metrů nad mořem, avšak experimentální plochy leží v nadmořské výšce pohybující se kolem 580 metrů nad mořem. Nejvyšším bodem v okolí je Černý vrch (614 m n.m.).

Území se nachází v provincii Česká vysočina, v Česko-moravské subprovincii, v geomorfologické oblasti Česko-moravská vrchovina a v geomorfologickém celku Křemešnická vrchovina, podcelku Želivská pahorkatina.

Z hlediska biogeografie patří území do provincie středoevropských listnatých lesů, hercynské subprovincie a do Pelhřimovského bioregionu (CULEK 1996).

Území se nachází na souboru map 1 :50 000 ČGÚ, list 23 – 14 Pelhřimov.



Obr. č. 8 Poloha experimentálních ploch (www.mapy.cz, upraveno autorem)

3.1.2 Vyhodnocení území z hlediska klimatických vlivů

Území se nachází v mírně teplém, vlhkém regionu (viz obr. č. 9). Základními charakteristickými rysy tohoto klimatického regionu jsou uvedeny v tab. č. 4.

Tab. č. 4 *Klimatická charakteristika území*

Symbol regionu	Průměrná roční teplota (°C)	Suma teplot nad +10 °C	Průměrný roční úhrn srážek (mm)	Pravděpodobnost suchých vegetačních období (%)	Vláhová jistota
MT4	7,5 – 8,5	2200 - 2400	650 - 750	5 – 15	10

(KLEČKA A KORBÍNI 1973)

QUITT (1971) charakterizoval oblast MT4 jako oblast se suchým, krátkým létem. Přejídné období je krátké a jaro a podzim je mírné. Zima je charakterizována jako mírně teplá a sněhový pokryv má krátké trvání.

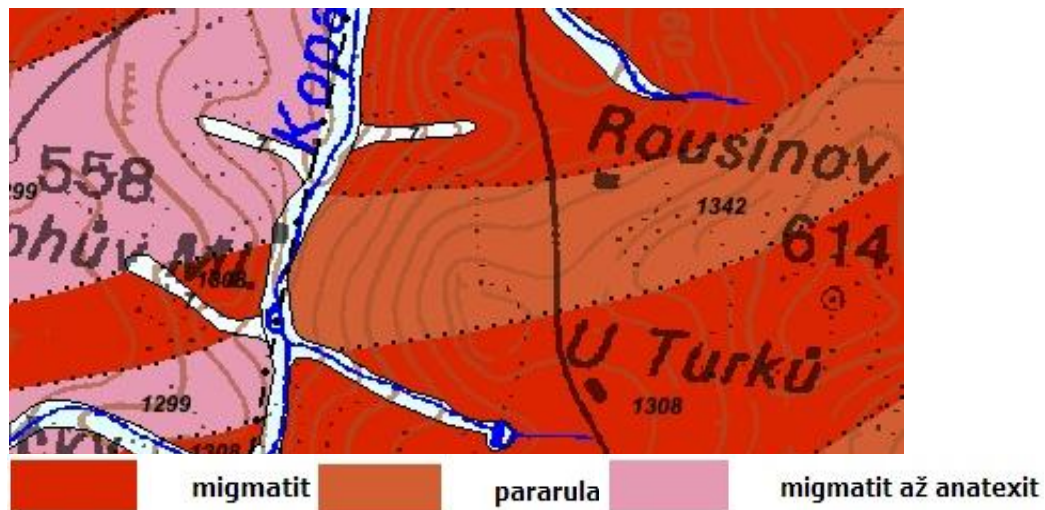


Obr. č. 9 *Klimatická oblast* (www.sowac-gis.cz, upraveno autorem)

3.1.3 Geologické a pedologické hledisko území

Skalní podklad tvoří bioticko – muskovitické svorové ruly a svory muldanubika s vložkami kvarcitů a kvarciticých rul. Zkoumané území je tvořeno kyselějšími přeměněnými horninami. V uvedené mapě (obr. č. 10) lze vidět, že na území ve kterém se provádělo měření, se nachází pararula a migmatit.

Území se nachází na středně těžkých půdách, kde se vyskytuje převážně kambizem modální a oglejená. Kambizemě jsou typické půdy pahorkatin a nižších a středních poloh vrchovin. Kambizemě jsou středně propustné. Půda po nasycení vodou zůstává vlhká několik dní.



Obr. č. 10 Geologická mapa 1:50000 (www.geology.cz)

3.1.4 Vyhodnocení dle kódu BPEJ

Bonitovaná půdně-ekologická jednotka (BPEJ) je určitá hodnota produkčního potenciálu, který je závislý především na půdě, půdotvorném substrátu, klimatu a reliéfu. BPEJ se neohlíží na vlastnické hranice, je to specifická část území a vyjadřuje se specifickým pětimístným číselným kódem. 1. číslice vyznačuje příslušnost ke klimatickému regionu, 2. a 3. číslice značí příslušnost k hlavní půdní jednotce, 4. číslice kombinuje údaje o svažitosti a expozici ke světovým stranám a 5. číslice kombinuje skeletovitost a hloubku půdního profilu (NĚMEC 2001). V tab. č. 5 je uvedena podrobná charakteristika kódů BPEJ, které se nacházejí na místech, kde bylo prováděno měření.

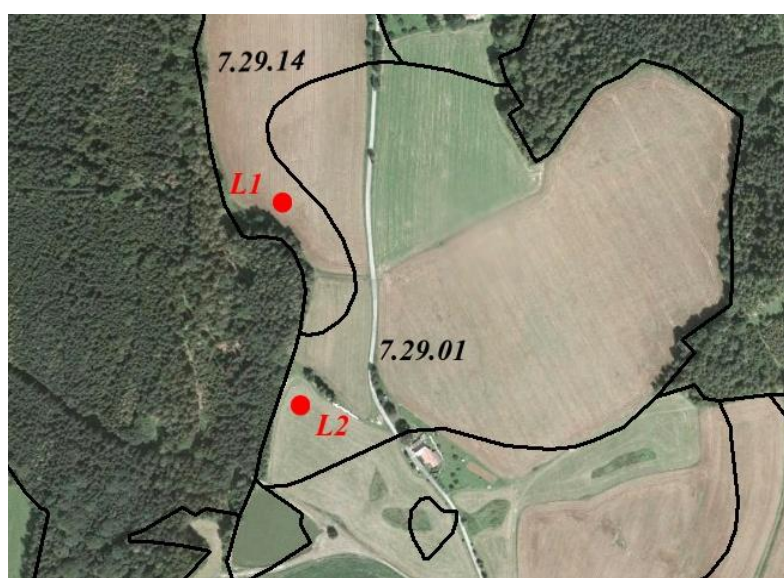
Tab. č. 5 Popis kódu BPEJ na experimentálních plochách

Kód BPEJ	Klimatický region	Hlavní půdní jednotka	Svažitost a expozice k svět. stranám	Skeletovitost a hloubka půdního profilu
7.29.14	7 – MT4	29 - Kambizemě	1 – mírný svah	4 – střední, hluboká až středně hluboká
7.29.01	7 – MT4	29 - Kambizemě	0 - rovina	1 - žádná až slabá, hluboká až středně hluboká

(KLEČKA A KORBÍNI 1973)

První lokalitě (L1) náleží kód BPEJ 7.29.14, druhé lokalitě (L2) náleží kód BPEJ 7.29.01. Na obou lokalitách ve zkoumaném území se vyskytuje HPJ 29 (viz obr. č. 11). Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb., která

charakterizuje bonitované půdně ekologické jednotky, jsou hlavní půdní jednotky s číslem 29 charakterizovány jako kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variet, na rulách, svorech, fylitech, popřípadě žulách, středně těžké až středně těžké lehčí, bez skeletu až středně skeletovité, s převažujícími dobrými vláhovými poměry.



Obr. č. 11 *Mapa BPEJ* (VÚMOP Praha, upraveno autorem)

3.1.5 Hydrologické poměry

Zájmové území patří z hydrogeologického hlediska do hlavního povodí Labe, blíže dolní Vltavy, blíže povodí Želivky, hydrologické povodí č. 1-09-02-031 Kopaninský potok. Plocha dílčího povodí je 9,120 km². Délka Kopaninského potoka je 6,5 km. Kopaninský potok se vlévá do Jankovského potoka a je jeho levostranným přítokem. Jižně od obou lokalit se nachází Starý rybník, který má rozlohu 0,54 ha.

3.2 Použité metody

3.2.1 Infiltrace výtopou – jednoválcová metoda

Při měření infiltrace výtopovou metodou se často používá infiltrometr s kruhovým půdorysem. Měří se množství zasáklé vody do půdy v určitém čase. Častěji používaná je dvouválcová metoda, kde vnější válec má zachovávat svislost proudnic a vertikální průběh infiltrace. Jednoválcová metoda má tudíž oproti dvouválcové metodě tuto nevýhodu a s rostoucí propustností se zvyšuje důležitost

vnějšího válce. Jednoválcová metoda lze použít u těžších a méně propustných půd. (KREJČA A KUTÍLEK 1988).

Kruhový infiltrometr se nejprve zarazí do povrchu půdy a dovnitř válce se umístí hrot. Do válce se nalije voda nad úroveň hrotu a spustí se stopky. Měří se čas, za který hladina poklesne na úroveň hrotu a hodnota se spolu s dolévaným množstvím vody zapíše. Tento proces se opakuje, do té doby než se rychlost infiltrace ustálí. Metoda se používá spíše pro orientační stanovení infiltrace a postup měření je podrobněji popsán v kapitolách 4.1.1, 4.1.2 a 4.1.3.

3.2.2 Kompaktní přetlakový (výtopový) infiltrometr

Další metoda, která byla použita při terénním měření je metoda s použitím kompaktního přetlakového infiltrometru. Podstata přetlakového infiltrometru spočívá v tom, že hladinové kapacitní čidlo zaznamenává pokles hladiny v krátkých časových intervalech. Naměřená data o poklesu hladiny se automaticky zaznamenávají na záznamovou jednotku (KULHAVÝ A KVÍTEK 2010). Podrobnější popis, jak se zařízením pracuje a jak zařízení funguje, je zmíněn v kapitolách 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, případně 2.3.2.

Toto zařízení dokáže měřit kumulativní infiltraci do půdy z výtopy v malém kovovém válci. Zařízení je nezávislé na zdroji energie, avšak záznamové zařízení musí být připojeno k 12V baterii. Celé zařízení je umístěno v přenosném boxu, takže tím je velice usnadněna manipulace s přístrojem v terénu a box chrání zařízení proti případnému poškození.

4. TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Terénní měření probíhalo ve dnech 31. 7. 2012 a 2. 8. 2012 u obce Velký Rybník, která se nachází mezi Pelhřimovem a Humpolcem. Při měření byly použity dvě různé metody měření infiltrace. Při měření infiltrace jednoválcovou výtopovou metodou bylo provedeno celkem 25 pokusů, pomocí kompaktního výtopového infiltrometru bylo provedeno celkem 5 pokusů. Byly vybrány experimentální plochy s odlišným využitím území. Měření se uskutečnilo na orné půdě a trvalém travním porostu (TTP). Jak je vidět na obr. č. 8, experimentální plochy jsou od sebe vzdáleny několik set metrů.

4.1 Jednoválcová výtopová metoda

První čtyři pokusy byly provedeny na orné půdě, v uježděném pruhu na poli. Vzhledem k vysokému utužení půdy, které vede ke značnému zmenšení infiltrace, by byli výsledky tímto jevem značně ovlivněné, a tak bylo měření přesunuto na neuježděnou část pole – lokalita 1 (viz obr. č. 8). Na neuježděné ploše bylo provedeno celkem 9 pokusů. Na lokalitě 2 (viz obr. č. 8), kterou byl trvalý travní porost, bylo provedeno celkem 12 pokusů.

4.1.1 Pomůcky

Při měření infiltrace výtopovou metodou byly použity válcové infiltrometry o průměrech 0,346 m, 0,350 m, 0,353 m, 0,355 m, 0,357 m, 0,359 m. Dále byly použity ocelové hřeby s jedním špičatým a jedním tupým hrotem. Další nezbytné pomůcky byly také stopky, plastové barely s vodou a plastové odměrné válce různého objemu určené pro dolévání přesného potřebného množství vody. Poté byla využita palice pro zatlučení válce, libela, nůž, nůžky, plastelína, metr, dřevěný trámeček, rýč, zápisník a psací potřeby.

4.1.2 Přípravné práce

Nejprve muselo být zajištěné dostatečné množství vody. Voda byla čerpána z nedalekého rybníka pomocí plastových barelů a následně převážena na místo. Nedostatek vody mohl měření zhatit, tudíž voda musela být kontinuálně na místo doplňována. Přesné množství vody bylo odměřeno do odměrných válců. Nalítý

objem byl u každého válce jiný, jelikož dolévaný objem před započítáním pokusu nemůžeme znát.

Následně byla vybrána pozice pro umístění válce a místo bylo zbaveno nadbytečného vegetačního krytu, jako jsou např. stébla trávy, větvičky, stébla slámy nebo jiné posklizňové zbytky. Pokud by se tyto nečistoty ve válci nechali, museli by tam zůstat až do ukončení pokusu, protože jinak by při odstranění ovlivnily výšku hladiny. V případě provádění pokusu na TTP se musela nadbytečná tráva sestříhat nůžkami (obr. č. 12). Pod vybrané místo by se nemělo šlapat, aby se půda neutužovala. Poté došlo na zatlučení válce do půdy. Na horní hranu válce byl položen dřevěný trámek a pomocí palice byl válec dopraven do půdy (obr. č. 13). Válec byl zaražen do hloubky 15 – 20 cm tak, aby nedocházelo k podtékání. Libelou bylo ověřeno, zda je válec zatlučen v rovině. Případné nerovnosti se dorovnali palicí. Dále byl také změřen průměr válce ve dvou místech a hodnoty zapsány do zápisníku, ze kterých byl následně vypočten průměrný průměr válce. Pomocí plastelíny byly utěsněny vnitřní stěny válce, aby voda neodtékala podél stěn. Do nejvyššího bodu ve válci byl zapíchnut hřeb, špičatým hrotem nahoru. Hrot nesmí přesahovat horní hranu válce a zpravidla byl zapíchnáván tak, aby ze země přesahovali 2 – 3 cm.



Obr. č. 12 *Sestříhání vegetačního pokryvu nůžkami* (vlastní foto)



Obr. č. 13 Zatloukání válce pomocí dřevěného trámku (vlastní foto)

4.1.3 Vlastní měření

Měření u jednoho válce probíhalo ve dvojici a každý měl stanovené své úlohy, které bude vykonávat. Měřič má stopky, měří čas a zapisuje do zápisníku okamžik, kdy hrot protne hladinu a také zapisuje množství dolité vody. Druhý ve dvojici se stará o vodu. Do odměrných válců nalévá přesné množství vody, které si určí měřič a vlévá vodu do válce v okamžik, kdy mu měřič nahlásí, že hrot protnul hladinu.

Voda by měla být nalévána tak, aby co nejméně rozvířila zeminu ve válci. Proto byl použit obyčejný papír, přes který se voda do válce dolévala. Hladina vody musí přesahovat hrot a nesmí přesahovat horní okraj válce (obr. č. 14). V okamžik, kdy se dolévá voda do válce, jsou již stopky zapnuté a do zápisníku se zapíše čas dolití a množství dolité vody. Měřič sleduje neustále hrot a až hrot protne hladinu, zapíše čas. Ve stejný okamžik se taktéž dolije určené množství vody a zapíše. Tento postup se neustále opakuje, dokud se rychlost infiltrace neustálí. Po ustálení rychlosti infiltrace se zaznamená čas, kdy se vynořil hrot a další voda se už nedolévá. Ustálená infiltrační rychlost byla odhadována tak, že časový rozdíl mezi jednotlivými okamžiky, kdy se hrot objevil na hladině, v posledních měřeních se měnil prakticky už pouze v řádech sekund maximálně desítek sekund. S přibývajícím časem je půda nasycenější a rychlost vsakování pomalejší.



Obr. č. 14 Hladina vody ve válci s hrotem (vlastní foto)

Když bylo měření ukončeno, bylo postoupeno k vyjmutí válce z povrchu (obr. č. 15). Při vyjmutí byl využit rýč. Za pomoci rýče byl válec vyvrácen z povrchu země. Muselo být postupováno velmi opatrně, aby nedocházelo k poškození válce. Po vyjmutí válce se opět zemina z válce navrátila na původní místo.

Nejdelší pokus trval 1:51 hodin a nejkratší pokus trval 35 minut. Po vytažení válce byl válec přemístěn na další místo, kde byl proveden další pokus. Místa byla od sebe vzdálena asi 2 metry.

Po ukončení všech měření byla všechna data ze zápisníku přepsána do počítače v programu Microsoft Office Excel 2007.



Obr. č. 15 Vyjmutí válce z povrchu (vlastní foto)

4. 2 Kompaktní přetlakový infiltrometr

Vzhledem k časové náročnosti, kdy jeden pokus trval až 4 hodiny, bylo přetlakovým infiltrometrem provedeno pouze 5 pokusů. Na lokalitě 1 (obr. č. 8), kterou je orná půda (neuježděná část pole) byly provedeny 2 pokusy. Na lokalitě 2 (obr. č. 8), na které je trvalý travní porost, byly provedeny 3 pokusy.

4.2.1 Pomůcky

Při měření infiltrace byly použity 2 kompaktní výtopové infiltrometry spolu s dataloggerem omega OM-PL420 (obr. č. 16). Dále byla využita 12 V baterie, která byla připojena na datalogger. Také byly potřeba plastové barely s vodou, trychtýř, libela, metr, mazací tuk, voltmetr, nůž, psací potřeby a zápisník.



Obr. č.16 Kompaktní infiltrometr a datalogger připojený k baterii (vlastní foto)

4.2.2 Přípravné práce

Stejně jak u předchozí metody muselo být také zde zajištěno dostatečné množství vody. Při měření infiltrace s pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru je spotřebováno daleko méně vody než u výtopové metody. Voda byla dovezena na místo v plastových barelech o objemu 5 litrů. Voda se čerpala ze Starého rybníka nacházející se v blízkosti experimentálních ploch.

Důležité bylo opět vybrané místo zbavit vegetačního pokryvu (na TTP zastříhat pomocí nůžek nebo nože). Příprava přístroje před měřením spočívá taktéž v nastavení dataloggeru. Bylo potřeba nastavit aktuální čas a interval záznamu. Na všech



Obr. č. 17 Montáž kapacitního čidla (vlastní foto)

dataloggerech byl nastaven interval záznamu na 20 sekund.

Před začátkem měření bylo nutno provést montáž zásobní nádrže. Do válce bylo zašroubováno kovové kapacitní čidlo (obr. č. 17). Kapacitní čidlo musí být zašroubováno vzduchotěsně, čehož bylo dosaženo pomocí použití mazacího tuku. Na horní kontakty kapacitního čidla byl nasunut konektor a přišroubován propojovací kabel. Poté byla do horní průchodky zasunuta nastavitelná zavzdušňovací trubička a byl zkontrolován stav pryžového těsnění. Opět bylo nutné použít mazací tuk k zajištění vzduchotěsnosti, tentokrát na část zavzdušňovací trubičky a pryžový O-kroužek. Dále byla zkontrolována kompletnost přístroje, včetně funkčnosti jednotlivých dílů (pohyblivost dolního ventilu, pohyblivost uzávěru nalévacího otvoru, těsnost horní kovové příruby, nastavení úchytů zářezecího prstence). Dalším krokem bylo zapojení konektoru propojovacího kabelu čidla do dataloggeru. Modrý a červený kontakt konektoru byl připojen ke 12 V baterii. Při zapojování baterie je nutné dodržet polaritu. Baterie by měla být den před měřením zkontrolována, zda je nabitá. Pomocí voltmetru bylo proměřeno napětí v baterii v dataloggeru.

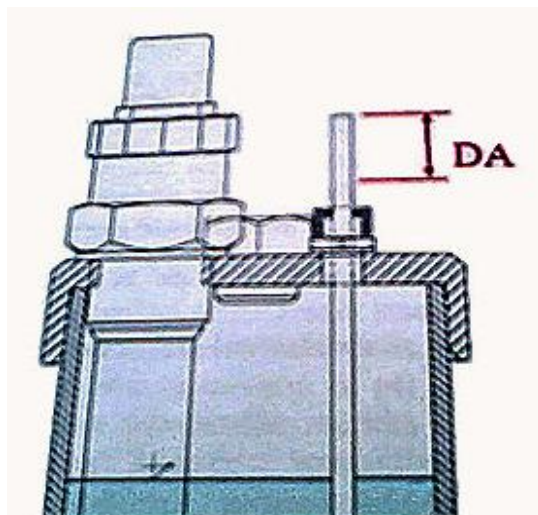
Následně byl zaražen do země ocelový vymežovací prstenec s břitem pomocí zářezecího zařízení (obr. č. 18). Prstenec infiltrometru byl zatlučen tak, že horní okraj prstence byl cca. 1-2 cm nad povrchem půdy. Také byl vyplněn protokol o měření doplněný náčrtem a změřena a zapsána výška prostoru mezi horním okrajem válečku a povrchem půdy. Na ocelový prstenec byla nasazena a upevněna zásobní nádrž infiltrometru. Bylo postupováno velmi opatrně a tak, aby byla zachována těsnost zaraženého prstence do půdy. Se zeminou v zářezecím prstenci by se nemělo hýbat. Ještě bylo nutné zvolit úroveň zasunutí zavzdušňovací trubičky do válce.



Obr. č. 18 *Zarážení prstence do povrchu (vlastní foto)*

Utáhnutím převlečné matice byla zafixována nastavená výška a taktéž vzduchově utěsněn průchod trubičky z láhve. Výška byla zaznamenána do protokolu jako hodnota DA resp. A (obr. č. 19).

Dále byl vymontován uzávěr nalévacího otvoru a uzavřen dolní ventil. Pokud je otočná páčka svisle (v ose válce), dolní ventil je otevřen. Pokud je otočná páčka vodorovně, dolní ventil je uzavřen.



Obr. č. 19 Znárodnění nastavení zavzdušňovací trubičky (manuál přístroje)

4.2.3 Vlastní měření

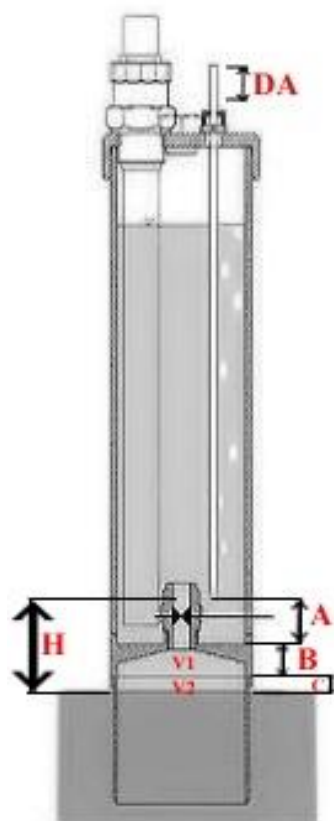
Po ukončení přípravných prací (10 – 15 min.) započne vlastní měření v okamžiku, kdy se do válce nalije voda. Na plexisklovém válci byla vyznačena maximální hladina vody, která nesmí být překročena, jinak by došlo ke zkreslení výsledků měření. Po dolití stanoveného množství vody byla utažena zásepka nalévacího otvoru.

Přibližně 1-3 minuty před zahájením měření byl zapnut datalogger. Tato doba mu umožní identifikovat výšku počáteční hladiny. Měření bylo zahájeno až po otevření průtokového ventilu. Po uplynutí doby, kterou datalogger potřebuje pro svou správnou funkci, byl průtokový ventil otevřen (pootočen o 90°). Během několika vteřin došlo



Obr. č. 20 Zaplnění prostoru pod infiltrometrem (vlastní foto)

k zaplnění prostoru mezi povrchem půdy a přírubou infiltrometru (V1 a V2 – viz obr. č. 21). Toto se projevovalo bouřlivým bubláním z otvoru ventilu (obr. č. 20). Bubláni po několika vteřinách ustalo a bubliny se začali objevovat na dolním konci zavzdušňovací trubice. Tímto nám Mariottova láhev značí svou funkci a intenzita bublin nám udává rychlost infiltrace.



DA – difference od dorazu trubičky na dně

H – hydrostatický tlak na povrchu půdy

$H = A + B + C$ [mm]

A – nastavuje uživatel [mm]

B – uvádí výrobce v dokumentaci [mm]

C – měří se v terénu [mm]

$V = V1 + V2$ [ml, cm³]

V1 – uvádí výrobce

V – stanoví se analýzou záznamu dataloggeru

Obr. č. 21 Schéma kompaktního přetlakového infiltrometru (manuál přístroje)

Voda se nechala odtékat až do úrovně cca 1 cm nad dolní okraj zavzdušňovací trubice. V tu dobu, kdy hladina dosáhla této úrovně, musela být voda ve válci doplněna. Doplnění muselo být provedeno v co nejkratším intervalu. Nejprve musel být uzavřen dolní ventil, následně otevřen nalévací otvor a poté dolita voda. Nyní mohl být nalévací otvor opět vzduchotěsně uzavřen a dolní ventil opět otevřen. Tento postup se opakoval až do ukončení měření.

Měření bylo ukončeno tehdy, když se rychlost infiltrace ustálila. Ustálení infiltrace se v terénu těžko pozoruje a bylo prováděno pomocí vizuálního sledování zásobní nádrže a zavzdušňovací trubice. V manuálu přístroje bylo uvedeno, že měření by mělo trvat minimálně 2 hodiny, optimálně 3-4 hodiny. Tento časový interval měření byl vždy splněn, s výjimkou jednoho měření, kdy bylo měření ukončeno dřív, z toho důvodu, že zde bylo měření výrazně ovlivněno preferenčními

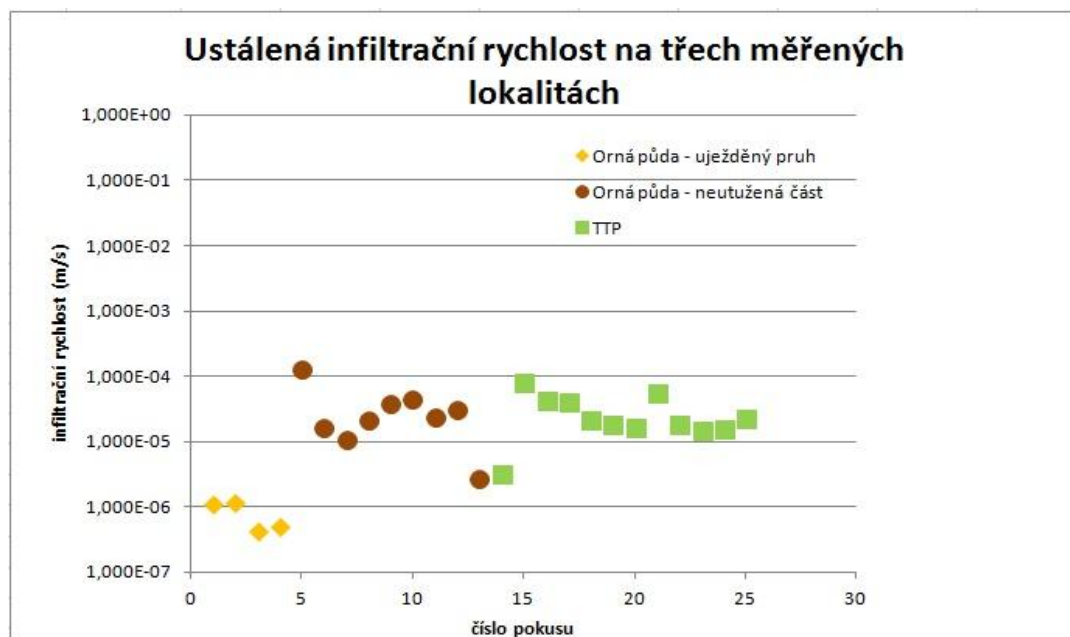
cestami (pukliny, myší díry, cesty po žížalách apod.). Po ustálení rychlosti infiltrace bylo měření ukončeno pootočením průtokového ventilu zpět do stejné polohy, kdy byl ventil uzavřen. Po skončení měření byl vypnut datalogger, ze kterého byla následně stažena naměřená data. Následně už byla odpojována zásobní nádrž od ocelového zarážecího prstence. Zarážecí prsteneček se tak nyní mohl vyjmout z půdy a celý proces měření byl opakován na jiné lokalitě.

Měření pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru bylo poměrně jednoduché. Přístroj vyžadoval minimální obsluhu a byl nenáročný na objem vody. Přístroj je vhodný především pro měření velmi malých rychlostí infiltrace, neboť uzavřená konstrukce a automatizace měření umožňuje libovolně dlouhou dobu měření.

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Ustálená infiltrační rychlost – jednoválcová metoda

Celkem bylo provedeno 25 infiltračních pokusů na třech rozdílných lokalitách. První lokalitou byla utužená část orné půdy (utužení bylo způsobeno obhospodařováním pozemku zemědělskou technikou), druhou lokalitou byla orná půda bez důsledku utužení, třetí lokalitou byl trvalý travní porost.



Obr. č. 22 Srovnání rozdílů ustálené infiltrační rychlosti infiltrace na orné půdě a TTP - jednoválcová metoda

Měření ustálené infiltrační rychlosti pomocí jednoválcové výtopové metody ukázala poměrně velkou vyrovnanost. Výsledky ukázaly, že ustálená infiltrační rychlost na orné půdě nebyla výrazně odlišná od TTP, na utužené půdě byla rychlost nižší (obr. č. 22). Na obr. č. 23 je vidět, že infiltrační rychlost na utužené části orné půdy dosáhla průměrné rychlosti $8,12E-07$ m/s.

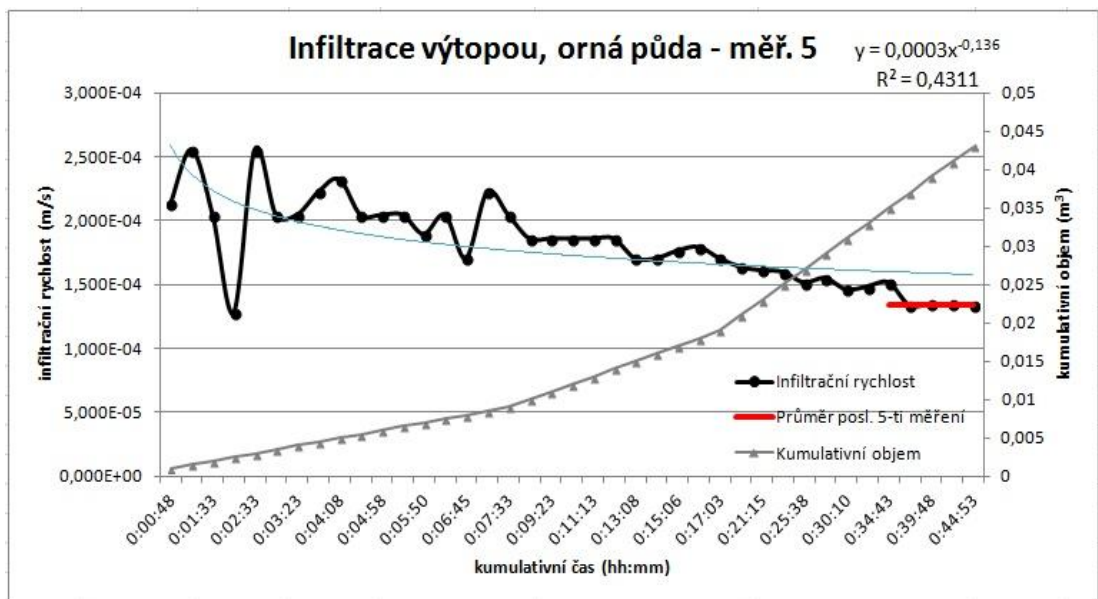
Orná půda - uježděný pruh	Infiltrační rychlost (m/s)	Průměr inf. rychlosti (m/s)	Medián inf. rychlosti (m/s)
měření č. 1	1,108E-06	8,12E-07	8,14E-07
měření č. 2	1,187E-06		
měření č. 3	4,326E-07		
měření č. 4	5,201E-07		

Obr. č. 23 Tabulka ustálené infiltrační rychlosti na orné půdě postižené utužením

Orná půda - neutužená část	Infiltrační rychlost (m/s)	Průměr inf. rychlosti (m/s)	Medián inf. rychlosti (m/s)
měření č. 5	1,336E-04	3,65E-05	2,45E-05
měření č. 6	1,714E-05		
měření č. 7	1,103E-05		
měření č. 8	2,198E-05		
měření č. 9	3,864E-05		
měření č. 10	4,580E-05		
měření č. 11	2,452E-05		
měření č. 12	3,263E-05		
měření č. 13	2,750E-06		

Obr. č. 24 Tabulka ustálené infiltrační rychlosti na neutužené orné půdě

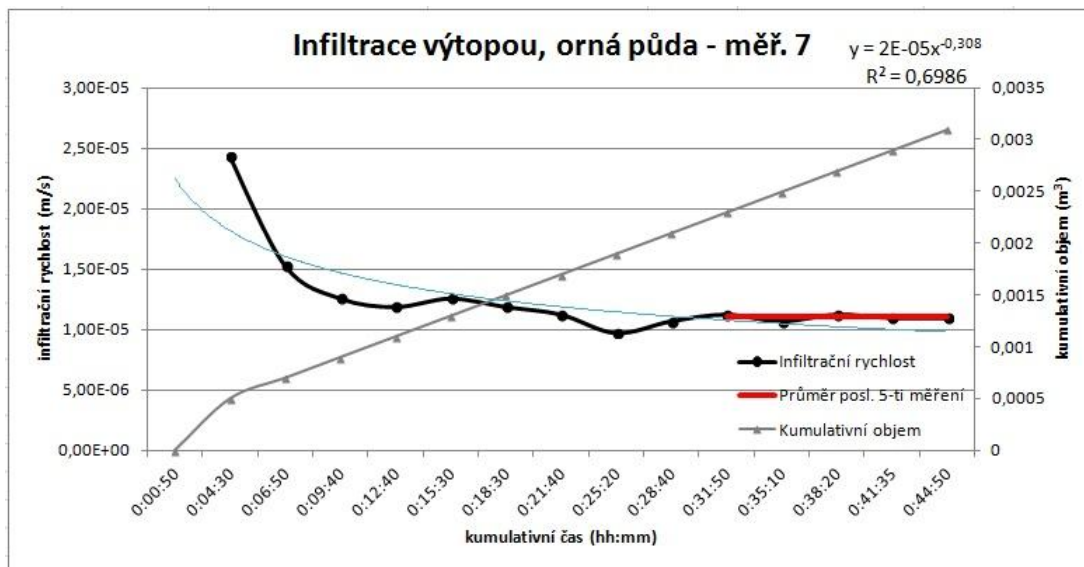
Z obr. č. 24 je patrné, že rozptyl v rychlostech infiltrace u všech 9 měření je nepatrně větší, např. u měření č. 5 (obr. č. 25) bylo dosaženo o řád vyšší ustálené rychlosti infiltrace než u měření č. 7 (obr. č. 26). Naopak u měření č. 13 (obr. č. 27) bylo dosaženo nejnižší ustálené rychlosti infiltrace vody do půdy. Tyto odchylky byly však zanedbatelné a průměrná ustálená infiltrační rychlost na orné půdě bez důsledku utužení zemědělskou technikou byla 3,65E-05 m/s.



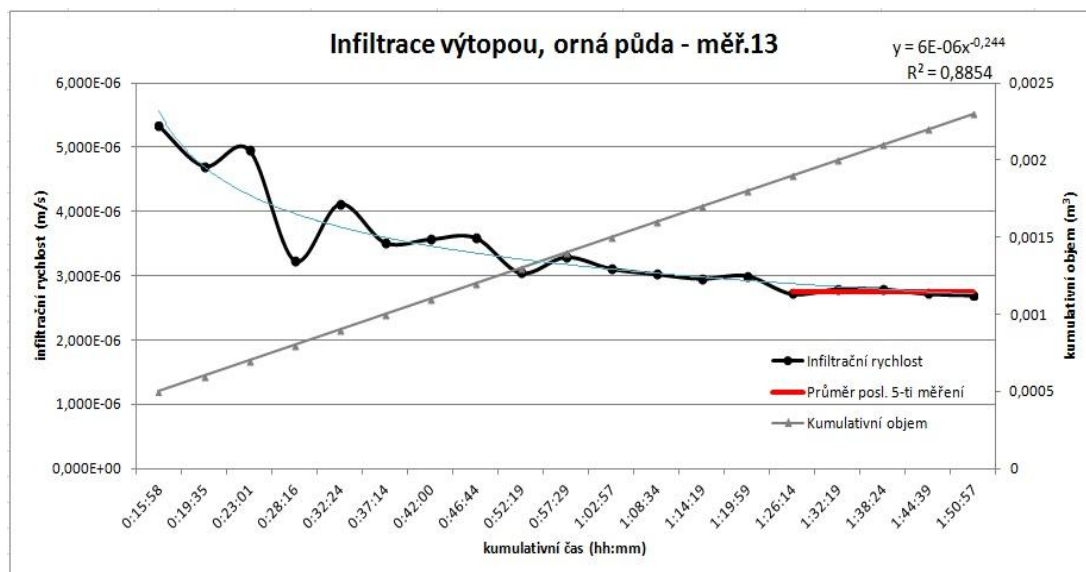
Obr. č. 25 Graf infiltračních charakteristik z měření č. 5 na orné půdě

Z obr. č. 25 je patrné, že rychlost infiltrace zpočátku velmi kolísala. Velké výkyvy cca po deseti minutách ustály a rychlost infiltrace se začala pomalu snižovat a ustalovat. K ustálení rychlosti infiltrace došlo po 45 minutách. Ustálená rychlost infiltrace u měření č. 5 byla 1,375E-04 m/s. Kumulativní objem stále narůstal, nejprve objem činil 500 ml, po sedmi a půl minutách vzrostl na 1000 ml a po devatenácti minutách opět narostl, a to na 2000 ml. Celkový kumulativní objem u

měření č. 5 dosáhl hodnoty $0,043 \text{ m}^3$, což byla vůbec nejvyšší hodnota kumulativního objemu ze všech měření na orné půdě.



Obr. č. 26 Graf infiltračních charakteristik z měření č. 7 na orné půdě



Obr. č. 27 Graf infiltračních charakteristik z měření č. 13 na orné půdě

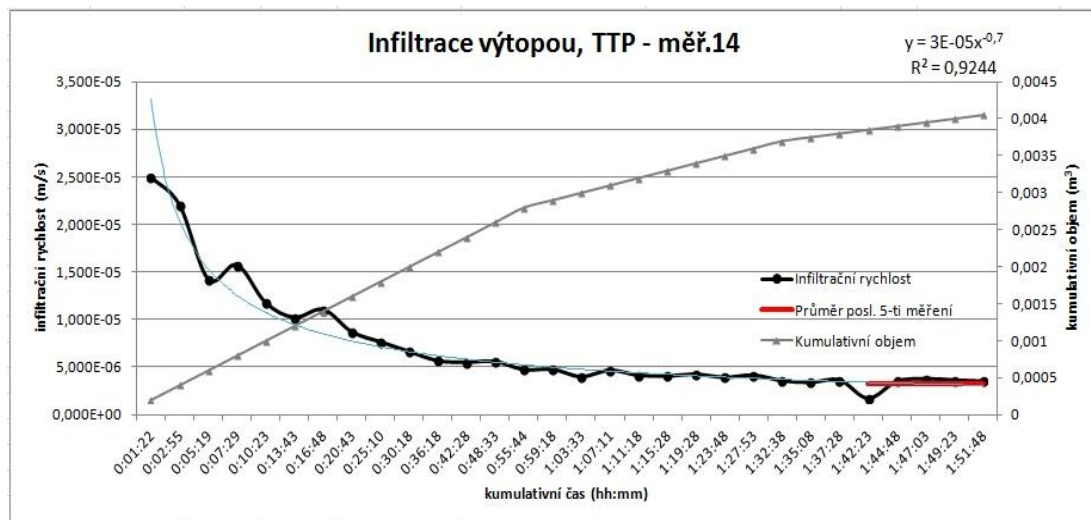
Obr. č. 27 ukazuje, že doba, za kterou se rychlost infiltrace ustálí, se může přiblížit i dvěma hodinám. Ustálená rychlost infiltrace měla hodnotu $2,750E-06 \text{ m/s}$. Tato rychlost infiltrace byla nejnižší, která byla změřena ze všech prováděných měření na neutužené části orné půdy. Tento pokus, jako jediný byl proveden 2. 8.

2012, tedy o dva dny později než všechny ostatní měření, které byly prováděny jednoválcovým výtopovým infiltrometrem.

Měření na trvalém travním porostu se prokázala ještě větší vyrovnaností, průměrná ustálená infiltrační rychlost byla $2,95E-05$ m/s (obr. č. 28). Z průměru vyčnívalo pouze měření č. 14 (obr. č. 29), kde byla naměřena nižší rychlost infiltrace ($3,242E-06$ m/s), která mohla být způsobena pojezdy těžké mechanizace na zemědělsky využívaném travním porostu.

TTP	Infiltrační rychlost (m/s)	Průměr inf. rychlosti (m/s)	Medián inf. rychlosti (m/s)
měření č. 14	3,242E-06	$2,95E-05$	$2,00E-05$
měření č. 15	8,185E-05		
měření č. 16	4,315E-05		
měření č. 17	4,075E-05		
měření č. 18	2,139E-05		
měření č. 19	1,852E-05		
měření č. 20	1,699E-05		
měření č. 21	5,534E-05		
měření č. 22	1,851E-05		
měření č. 23	1,523E-05		
měření č. 24	1,579E-05		
měření č. 25	2,328E-05		

Obr. č. 28 Tabulka ustálené infiltrační rychlosti na trvalém travním porostu



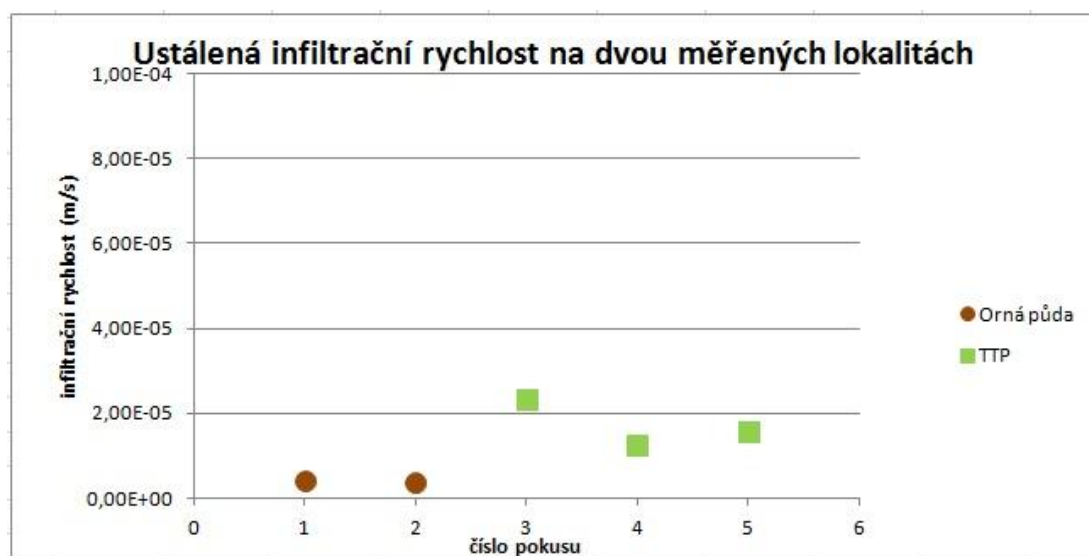
Obr. č. 29 Graf infiltračních charakteristik z měření č. 14 na TTP

Jak je vidět na obr. č. 29 průběh infiltrace vody do půdy na TTP je stejný jako u orné půdy, infiltrace nejprve kolísá a postupně se rychlost snižuje až do doby, kdy se ustálí. U měření č. 14 se rychlost infiltrace ustálila po necelých dvou hodinách na

hodnotě $3,242\text{E-}06$ m/s. Dolévaný objem vody se postupně snižoval a kumulativní objem měl hodnotu $0,00405$ m³.

5.2 Ustálená infiltrační rychlost – kompaktní přetlakový infiltrometr

Kompaktním přetlakovým infiltrometrem bylo provedeno celkem 5 infiltračních pokusů. Měření ustálené infiltrační rychlosti probíhalo na dvou odlišných lokalitách, a to na neutužené části orné půdy a na TTP. Ustálená infiltrační rychlost byla vyhodnocována jako průměr z posledních 10-ti měření.



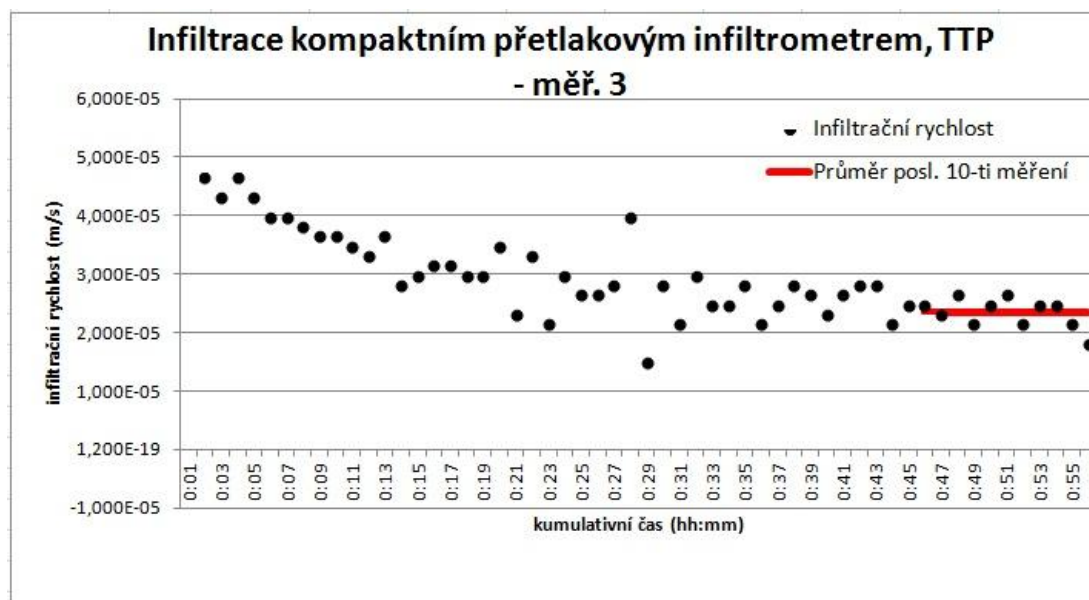
Obr. č. 30 Srovnání rozdílů ustálené infiltrační rychlosti infiltrace na orné půdě a TTP - kompaktní přetlakový infiltrometr

Terénní měření a následné vyhodnocení dat ukázalo, že ustálená infiltrační rychlost byla vyšší na TTP než na orné půdě, avšak rozdíly v rychlostech nebyly příliš významné (obr. č. 30). Z obr. č. 31 jsou patrné průměrné infiltrační rychlosti u všech pěti provedených pokusů, jak na orné půdě, tak na TTP. U orné půdy průměrná ustálená infiltrační rychlost měla hodnotu $4,17\text{E-}06$ m/s, u TTP $1,73\text{E-}05$ m/s. V porovnání s měřením, které bylo prováděno jednoválcovou metodou na orné půdě ve stejné lokalitě (obr. č. 24), byla průměrná ustálená infiltrační rychlost přibližně o řád nižší než u metody prováděné kompaktním přetlakovým infiltrometrem. U TTP byly výsledky měření infiltrace podobné u obou použitých metod.

Orná půda	Infiltrační rychlost (m/s)	Průměr inf. rychlosti (m/s)	Medián inf. rychlosti (m/s)
měření č. 1	4,33E-06	4,17E-06	4,17E-06
měření č. 2	4,00E-06		
TTP	Infiltrační rychlost (m/s)	Průměr inf. rychlosti (m/s)	Medián inf. rychlosti (m/s)
měření č. 3	2,35E-05	1,73E-05	1,58E-05
měření č. 4	1,27E-05		
měření č. 5	1,58E-05		

Obr. č. 31 Tabulka ustálené infiltrační rychlosti na orné půdě a TTP

Rozptyl dvou naměřených hodnot na orné půdě byl minimální, u třech měření na TTP došlo k větším rozdílům než na orné půdě, ale stále byly hodnoty velice podobné a rozdíl nepřesáhl hodnotu jednoho řádu. Z obr. č. 30 lze vidět, že největší hodnotu ustálené infiltrační rychlosti ($2,35E-05$ m/s) mělo měření č. 3 (obr. č. 32), které bylo ovšem prováděno o 2 dny dříve než ostatní pokusy.



Obr. č. 32 Graf ustálené infiltrační rychlosti u měření č. 3 na TTP

Z obr. č. 32 je patrné, že infiltrační rychlost se postupem času stále snižovala. U měření č. 3 byla hodnota ustálené infiltrační rychlosti $2,35E-05$ m/s. Pokus trval necelou hodinu, což je pro měření kompaktním výtopovým infiltrometrem nedostačující a výsledky mohou být touto chybou negativně ovlivněny.

5.3 Srovnání dosažených výsledků s jinými autory

Když srovnáme výsledky, kterých bylo dosaženo jednoválcovou výtopovou metodou na orné půdě s výsledky ostatních autorů, kteří prováděli měření infiltrace

na orné půdě pomocí dvouválcových infiltrometrů, bylo zjištěno, že rychlost infiltrace se pohybuje ve stejných řádech. Např. MAŠÍČEK A KOL. (2011), jejichž výzkum je uveden v kapitole 2.4.1, dospěl k hodnotám infiltrační rychlosti v rozmezí $1,30E-05$ m/s až $3,40E-05$ m/s. V tomto rozptylu se pohybovali i KAMENČÍKOVÁ (2008), u VIČANOVÉ (2008) byla zjištěna vyšší rychlost infiltrace ($0,10E-03$ m/s až $0,83E-04$ m/s). Průměrná hodnota rychlosti infiltrace, která byla dosažena při terénním měření na orné půdě, v rámci této bakalářské práce byla $3,65E-05$ m/s.

6. ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na porovnání infiltrační rychlosti na plochách s různým využitím území, a to při použití dvou odlišných metod měření infiltrace vody do půdy. V rámci terénního měření byla měřena infiltrace na orné půdě a trvalém travním porostu za pomoci jednoválcového infiltrometru a kompaktního přetlakového výtopového infiltrometru. Terénní měření probíhalo na přelomu července a srpna na povodí Kopaninského potoka, které se nachází v bývalém okrese Pelhřimov a je pozorováno Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Stanovení reprezentativní hodnoty ustálené infiltrační rychlosti v terénu bylo poměrně složité a při určování této charakteristiky byla nutná časová náročnost, pečlivost a přesnost. Dlouhodobé měření bylo vyžadováno zvláště u kompaktního přetlakového infiltrometru, z tohoto pohledu se ukázala vhodnější jednoválcová metoda. U jednoválcové metody ovšem může velmi snadno dojít k nepozornosti nebo jiné chybě měřiče. Obě použité metody se ukázaly jako vhodný nástroj pro stanovení ustálené infiltrační rychlosti.

Obecně je předpokládáno, že trvalé travní porosty mají lepší vsakovací schopnost než orná půda. Z tohoto pohledu se výsledky ukázali jako velice zajímavé, neboť rychlost infiltrace na TTP a orné půdě se pohybovala přibližně ve stejných hodnotách. Toto bylo utvrzeno zvláště u jednoválcové metody, kdy bylo provedeno dostatek infiltračních pokusů a žádný z nich nijak význačně nevybočoval z řady. Také byl při terénním měření prokázán negativní vliv utužení půdy zemědělskou technikou na rychlost vsakování vody do půdy.

Proces infiltrace je v přírodě velice důležitým jevem. Zvýšením rychlosti vsakování do půdy, s čímž je spojeno snížení povrchového odtoku, zabráníme vzniku vodní eroze a smyvu orné půdy z pozemků. Rychlost infiltrace do půdy můžeme ovlivnit vhodným obhospodařováním půdy, volbou technologie zpracování půdy a setí nebo také vhodným využíváním půdy. I proto je důležité se zabývat, sledovat, měřit a vyhodnocovat rychlost infiltrace a mělo by být dále pokračováno ve výzkumu veškerých infiltračních charakteristik.

7. SEZNAM LITERATURY

1. BENETIN, J., DVOŘÁK, J., FÍDLER, J., KABINA, P.: *Odvodňovanie*. Příroda, Bratislava, 1987, 574 s.
2. CASTELLINI, M., VENTRELLA, D.: *Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy*. Soil and Tillage Research, 2012, č. 124, s. 47 – 56.
3. CULEK, M.: *Biogeografické členění České republiky*. Enigma, Praha, 1996, 244 s.
4. ČERMÁK, P.: *Využívání organických odpadů při hydrofyzikální úpravě půdních vlastností antropozemí výsypek*. Waste Forum, 2010, č. 2, s. 133 – 138.
5. DAVID, V., DOSTÁL, T., DOČKAL, M., KOUDELKA, P., KRÁSA, J., STROUHAL, L., VRÁNA, K.: *Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích*. Závěrečná zpráva projektu výzkumu a vývoje OC189, Praha, 2009, 170 s.
6. DECAGON DEVICES, INC.: *Minidisk Infiltrometer, User's manual*. Pullman, Washington, 2012, 26 s.
7. DEMEK, J., QUITT, E., RAUŠER, J.: *Úvod do obecné fyzické geografie*. Academia, Praha, 1976, 400 s.
8. FLOW-GROUP, s.r.o.: *Uživatelský manuál, Kompaktní výtopový infiltrometr*. 2006, 6 s.
9. HANUSIN, J.: *Prirodná krajina-voda-spoločnosť*. Životné prostredie, Ústav krajinnej ekologie SAV, Bratislava, 1996, č. 6. Dostupné z: <http://seps.sk/zp/casopisy/zp/1996/6/hanusin.htm>.
10. HEJDUK, S., KASPRZAK, K.: *Vliv travních porostů na erozi půdy a povrchový odtok vody*. In: *Trávníky 2008*. 1. vyd. Agentura Bonus, Hrdějovice, 2008, s. 13 – 16.
11. HRÁDEK, F.: *Opatření ke zvýšení retence a akumulace vody v povodí*. In: *Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody*. VÚMOP, Praha, 1998, s. 35 – 40.
12. JAČKA, L., PAVLÁSEK, J.: *Vybrané hydropedologické charakteristiky podzolů v centrální oblasti NP Šumava*. Vodohospodářské technicko – ekonomické informace, 2010, č. 5, s. 17 – 19.

13. KAMENČÍKOVÁ, I.: *Posouzení infiltrační schopnosti půdy v závislosti na způsobu zpracování půdy*. In: *70 roků SvF STU Zborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference*. Slovenská technická univerzita, Bratislava, 2008, s. 1 – 9.
14. KAMENČÍKOVÁ, I.: *Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou v k. ú. Horní Meziříčko*. In: *XII. Mezinárodní vědecká konference*. CERM, Brno, 2009, s. 85 – 89.
15. KECHAVARZI, C., ŠPONGROVÁ, K., DRESSER, M., MATULA, S., GODWIN, R. J.: *Laboratory and field testing of an automated tension infiltrometer*. Biosystems Engineering, 2009, č. 2, s. 266 – 277.
16. KLEČKA, M., KORBÍNI, J.: *Bonitace zemědělského půdního fondu ČSSR*. Závěrečná zpráva VÚEZVŽ a VÚEPP, Praha-Bratislava, 1973, 51 s.
17. KLUTE, A.: *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, 1986, 1358 s.
18. KOVAŘÍČEK, P., ŠINDELÁŘ, R., HŮLA, J., HONZÍK, I.: *Measurement of water infiltration in soil using the rain simulation method*. Research Institute of Agricultural Engineering, 2008, č. 54, s. 123 – 129.
19. KOVAŘÍČEK, P., ŠINDELÁŘ, R., KROULÍK, M., HŮLA, J., VLÁŠKOVÁ, M.: *Metoda měření infiltrace vody do půdy zadešťovacím zařízením*. In: *Zpráva o činnosti 2006*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 2007, s. 39 – 43.
20. KREJČA, M., KUTÍLEK, M.: *Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvouválcová metoda)*. Vodní hospodářství, 1988, č. 5, s. 123 – 129.
21. KREŠL, J.: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 2001, 125 s.
22. KRŮŽ, H.: *Hydrologie podzemních vod*. Academia, Praha, 1983, 289 s.
23. KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T.: *Zkušenosti s používáním kompaktního přetlakového infiltrometru*. Vodní hospodářství, 2010, č. 6, s. 179 – 180.
24. KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M., DOLEŽAL, F., ČMELÍK, M.: *Přetlakový infiltrometr pro terénní stanovení vsakovací schopnosti půd*. In: *Zemědělské odvodnění drenáží - Racionalizace využívání, údržby a oprav*. NAZV ev. č. QF 3095, VÚMOP, Pardubice, 2007, s. 85.
25. KUTÍLEK, M.: *Vodohospodářská pedologie*. SNTL, Praha, 1978, 295 s.
26. KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M.: *Hydropedologie 10*. ČVUT, Praha, 2000, 176 s.

27. KUTÍLEK, M., NIELSEN, D. R.: *Soil Hydrology*. Catena Verlag GeoScience Publisher, Cremlingen - Destedt, 1994, 370 s.
28. LHOTSKÝ, J.: *Zhutňování půd a opatření proti němu*. ÚZPI, Praha, 2000, 61 s.
29. LIU, H., LEI, T. W., ZHAO, J., YUAN, C. P., FAN, Y. T., QU, L. Q.: *Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method*. *Journal of Hydrology*, 2011, č. 396, s. 24 – 32.
30. LUKAS, V., ŠTIBINGER, J., PROCHÁZKOVÁ, B., NEUDERT, L.: *Vliv rozdílného způsobu zpracování půdy na infiltrační vlastnosti půdního povrchu*. In: *Sborník odborných příspěvků a sdělení „MZLU pěstitelům 2007“*. AF MZLU, Brno, 2007, s. 47 – 51.
31. MAŠÍČEK, T., TOMAN, F., VIČANOVÁ, M.: *Infiltrační schopnost půdy v porostech rychle rostoucích dřevin*. In: *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí*. 1. vyd. Středová, H., Rožnovský, J., Litschmann, T., 2011, s. 1 – 9.
32. MATULA, S.: *Zařízení pro automatické měření infiltrace v infiltrometru*. *Vodohospodářský časopis*, 1986, č. 2, s. 219 – 223.
33. MATULA, S.: *The influence of tillage treatments on water infiltration into soil profile*. *Plant Soil Environment*, 2003, č. 7, s. 298 – 306.
34. MATULA, S., SEMOTÁN, J., VESELÁ, J.: *Hydropedologie – Praktikum*. České vysoké učení technické, Praha, 1989, 144 s.
35. MATULA, S., KOZÁKOVÁ, H.: *A simple pressure infiltrometer for determinativ of soil hydraulic properties by in situ infiltration measurements*. *Rostlinná výroba*, 1997, č. 43, s. 405 – 413.
36. MORAVCOVÁ, J., KOUPILOVÁ, M., VÁCHAL, J., VACHÁLOVÁ, R., PÁRTLOVÁ, P., KREJČA, M., ŠÍR, M., STRAKOVÁ, J.: *Vliv zemědělského využití území na jakost vody v důsledku extrémních srážko – odtokových jevů*. *Littera Scripta*, 2008, č. 2, s. 147 – 160.
37. MORGAN, R. P. C.: *Soil Erosion and Conservation*. 3rd. Ed. Blackwell Publishing, Oxford, 2005, 320 s.
38. MOROKE, T. S., DIKINYA, O., PATRICK, C.: *Comparative assessment of water infiltration of soils under different tillage systems in eastern Botswana*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2009, č. 34, s. 316 – 323.

39. NĚMEC, J.: *Bonitace a oceňování zemědělské půdy České republiky*. Výzkumný stav zemědělské ekonomiky, Praha, 2001, 260 s.
40. PITTER, P.: *Hydrochemie*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 2009, 375 s.
41. POELS, D. J.: *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Academic Press, Amsterdam, 2009, 517 s.
42. QUITT, E.: *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1971, 73 s.
43. RAWLS, W. J.: *Infiltration Properties*. Encyclopedia of Soil Science, 2002, s. 689 – 692.
44. REICOSKY, D. C., LINDSTROM, M. J., SCHUMACHER, T. E., LOBB, D. E., MALO, D. D.: *Tillage-Induced CO₂ Loss Across An Eroded Landscape*. Soil & Tillage Research, 2005, č. 81, s. 183 – 194.
45. SCHWAERZEL, K., PUNZEL, J.: *Hood infiltrometer – A new type of tension infiltrometer*. Soil Science Society of America Journal, 2007, č. 4, s. 1437 – 1448.
46. SINGH, R., PANIGRAHY, N., PHILIP, G.: *Modified rainfall simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion studies*. Agricultural Water Management, 1999, č. 3, 167 – 175.
47. SOCHOREC, M., HEJDUK, S.: *Infiltrační schopnost půdy u rozdílně využívaných travních porostů*. Konference MendeNet 2012, 2012, s. 522 – 527.
48. ŠINDELÁŘ, R., KOVAŘÍČEK, P., VLÁŠKOVÁ, M., HŮLA, J., KROULÍK, M.: *Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru Mini Disk*. Agritech Science, 2009, č. 2, s. 1 – 6.
49. ŠPONGROVÁ, K., KECHAVARZI, C., DRESSER, M., MATULA, S., GODWIN, R. J.: *Development of an automated tension infiltrometer for field use*. Vadose Zone Journal, 2009, č. 8, s. 810 – 817.
50. TRUMAN, C. C., FRANZMEIER, D. P.: *Structure, Pedological Concepts, and Water Flow*. Encyclopedia of Soil Science, 2005, s. 1698.
51. VALENTOVÁ, J.: *Hydraulika podzemní vody*. ČVUT, Praha, 2007, 174 s.
52. VIČANOVÁ, M., MAŠÍČEK, T., TOMAN, F., STEJSKAL, B., POKORNÁ, J.: *Průběžné výsledky měření infiltrace vody do půdy na lokalitě Vatín*. In: *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině*. Rožnovský, J., Litschmann, T., 2008, s. 1 – 7.

53. *Vyhláška ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci, Praha.*

Internetové zdroje

<http://www.hydromeliorace.cz/povodi/>

<http://www.geology.cz/>

<http://www.sowac-gis.cz/>

<http://mapy.cz/>

8. PŘÍLOHY



Příloha 1: Jednoválcový infiltrometr s plastelínou pro utěsnění



Příloha 2: Zaražený infiltrometr do povrchu půdy



Příloha 3: Infiltrometr zaplněný vodou



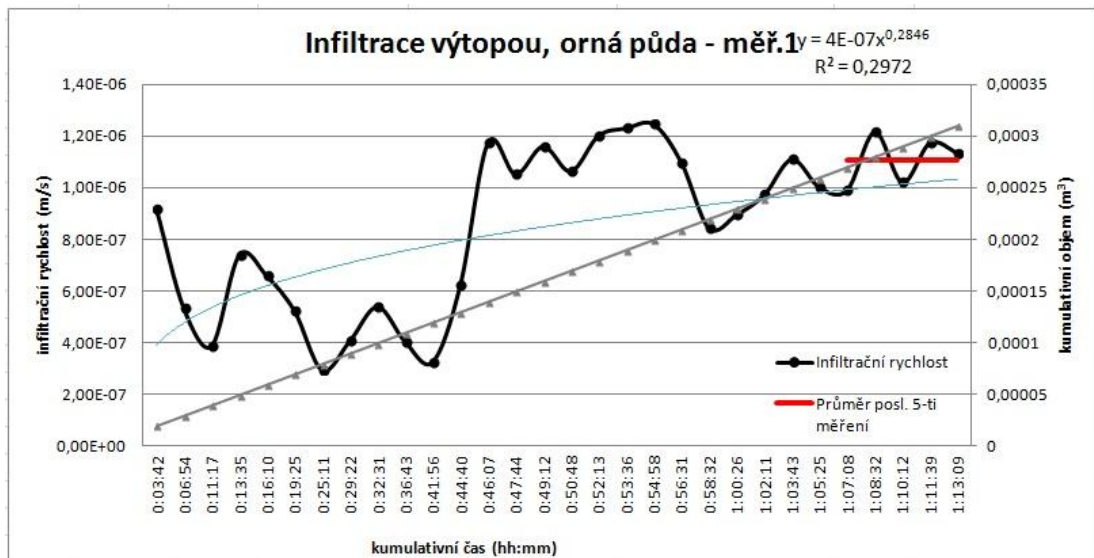
Příloha 4: Průřez infiltrometrem po vytažení z povrchu



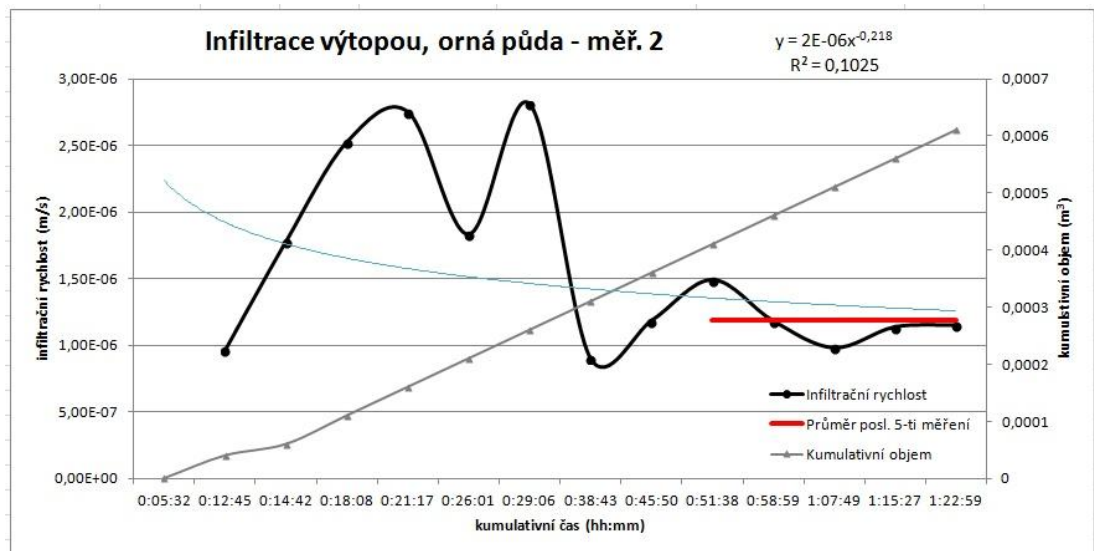
Příloha 5: Ocelový prstenec kompaktního infiltrometru zaražený do povrchu

číslo měření	typ vegetace	číslo válce	průměr válce (cm)	čas nalití vody (s)	doplnění vody	časový rozdíl	objem vody
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1	0:01	0:01:55	}	500 ml
							0:02:20
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:04:15	}	500 ml
							0:02:50
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:07:05	}	500 ml
							0:03:25
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:10:30	}	500 ml
							0:03:15
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:13:45	}	500 ml
							0:03:30
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:17:15	}	500 ml
							0:04:05
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:21:20	}	500 ml
							0:04:45
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:26:05	}	500 ml
							0:04:10
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:30:15	}	200 ml
							0:01:47
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:32:02	}	200 ml
							0:01:53
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:33:55	}	200 ml
							0:01:57
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:35:52	}	200 ml
							0:01:57
21.	Travní porost	21.	34,5; 36,1		0:37:49	}	

Příloha 6: Zápisník při měření infiltrace po přepsání do PC – pokus č. 21



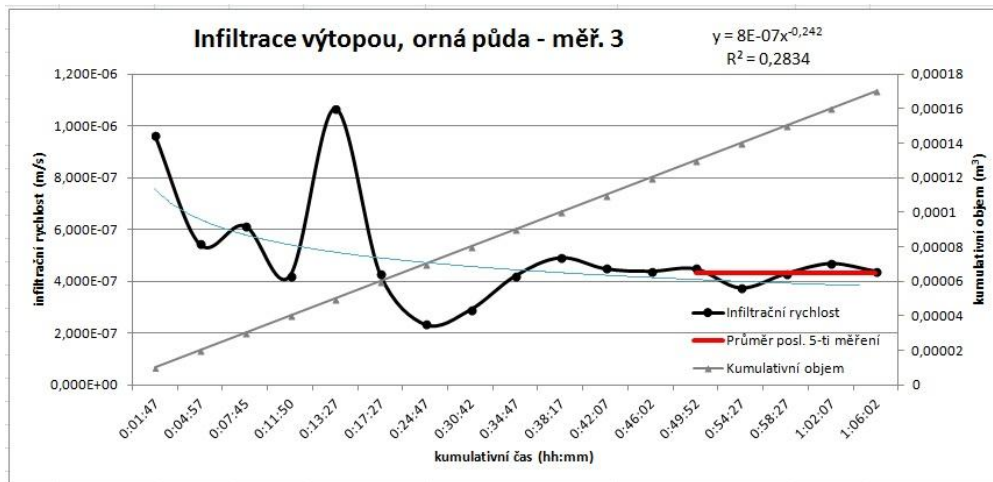
Příloha 7: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 1 na orné půdě



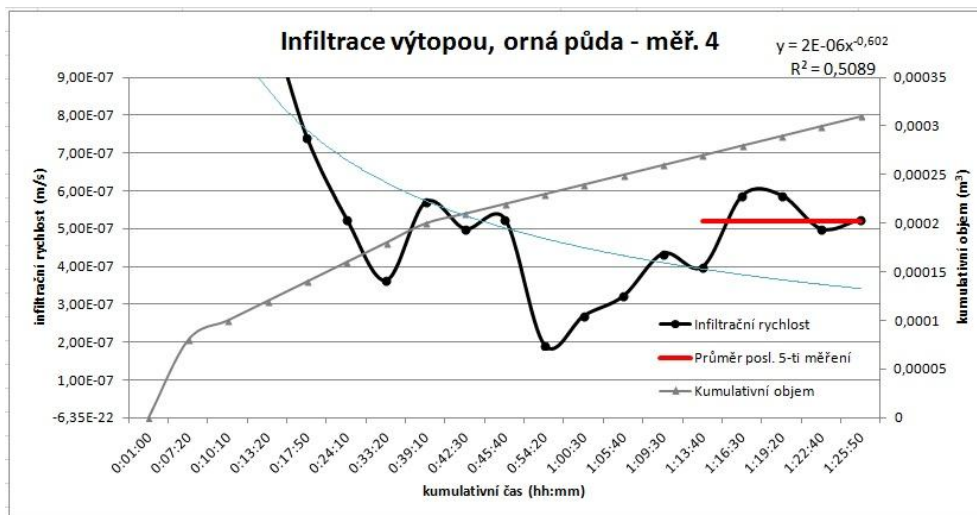
Příloha 8: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 2 na orné půdě

objem (ml)	objem (m ³)	čas	čas (s)	kumulativní čas	infiltrační rychlost (m/s)	kumulativní objem (m ³)
0	0	0:05:32	332	0:05:32		0
40	0,00004	0:07:13	433	0:12:45	9,602E-07	0,00004
20	0,00002	0:01:57	117	0:14:42	1,777E-06	0,00006
50	0,00005	0:03:26	206	0:18:08	2,523E-06	0,00011
50	0,00005	0:03:09	189	0:21:17	2,750E-06	0,00016
50	0,00005	0:04:44	284	0:26:01	1,830E-06	0,00021
50	0,00005	0:03:05	185	0:29:06	2,809E-06	0,00026
50	0,00005	0:09:37	577	0:38:43	9,007E-07	0,00031
50	0,00005	0:07:06	426	0:45:50	1,181E-06	0,00036
50	0,00005	0:05:49	349	0:51:38	1,489E-06	0,00041
50	0,00005	0:07:20	440	0:58:59	1,181E-06	0,00046
50	0,00005	0:08:51	531	1:07:49	9,787E-07	0,00051
50	0,00005	0:07:38	458	1:15:27	1,135E-06	0,00056
50	0,00005	0:07:32	452	1:22:59	1,150E-06	0,00061

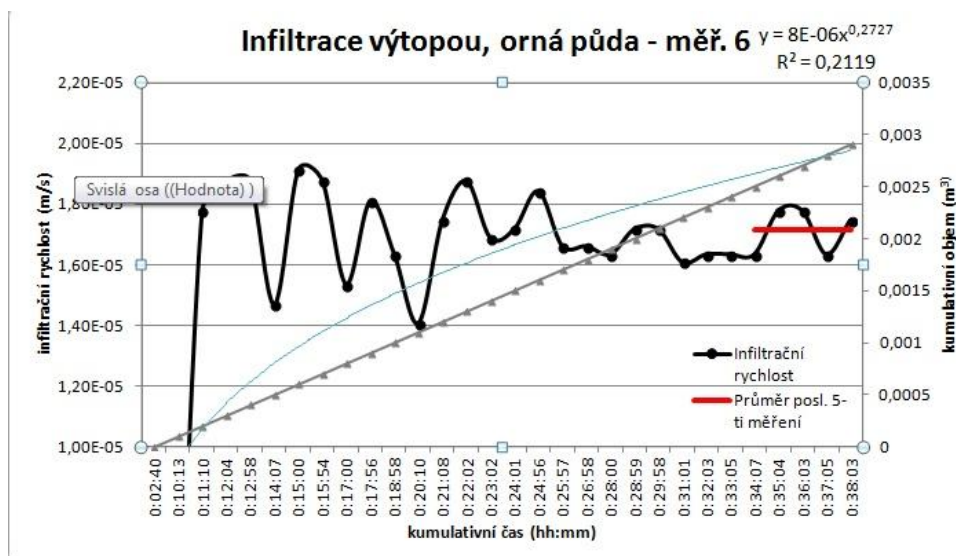
Příloha 9: Tabulka infiltračních charakteristik u měření č. 2



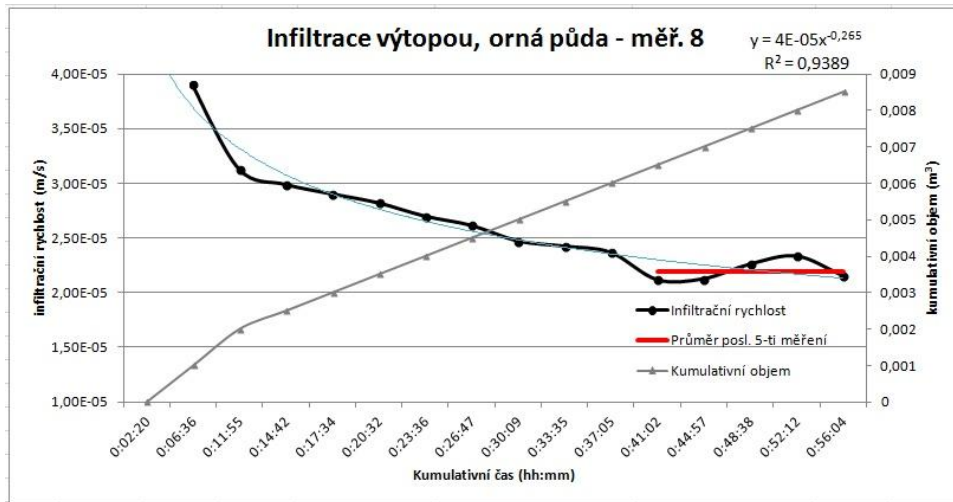
Příloha 10: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 3 na orné půdě



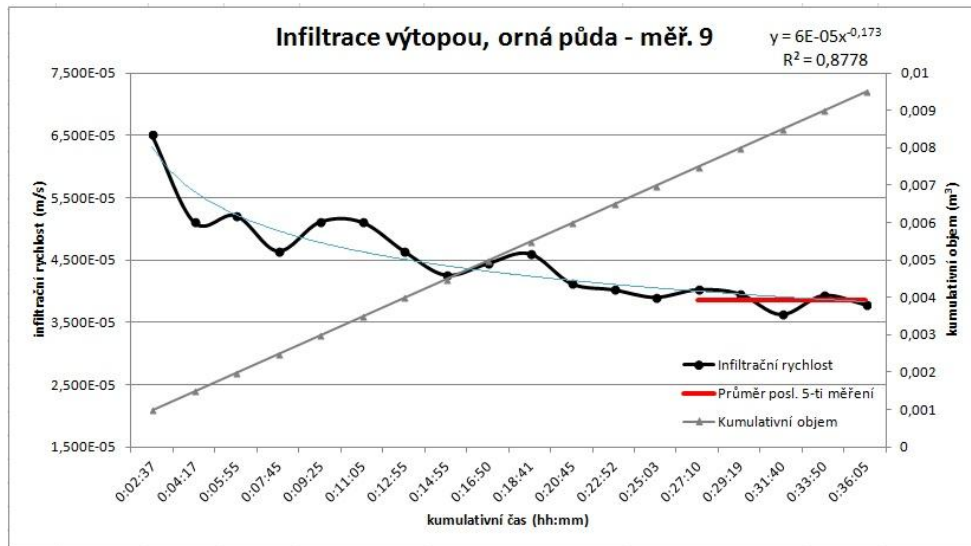
Příloha 11: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 4 na orné půdě



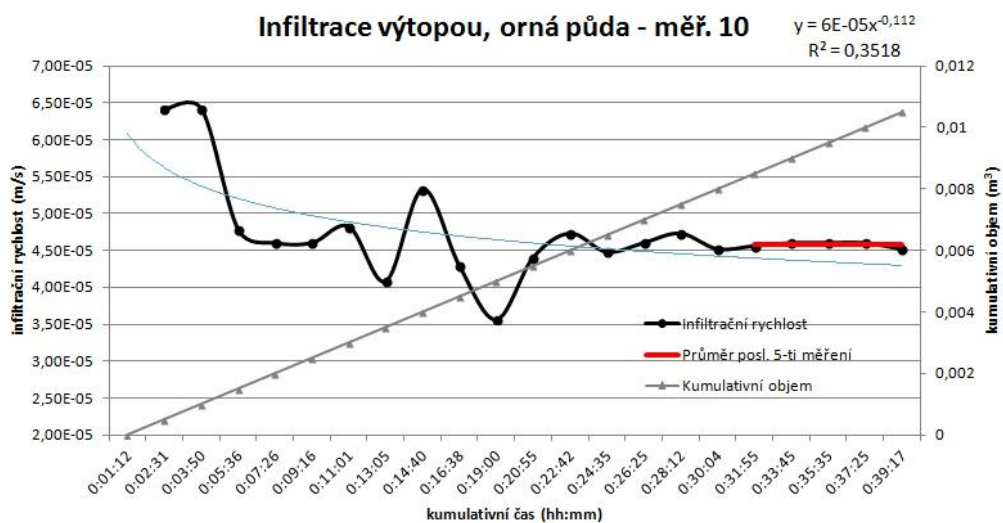
Příloha 12: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 6 na orné půdě



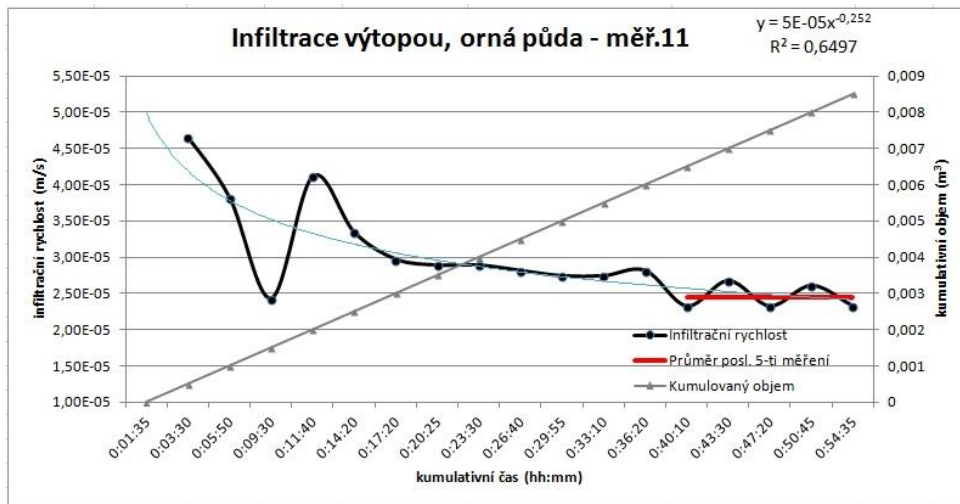
Příloha 13: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 8 na orné půdě



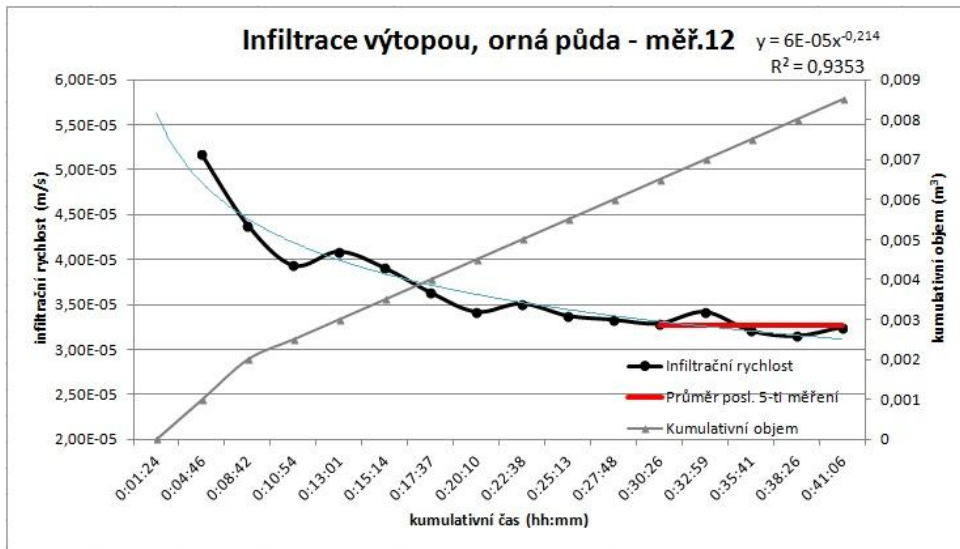
Příloha 14: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 9 na orné půdě



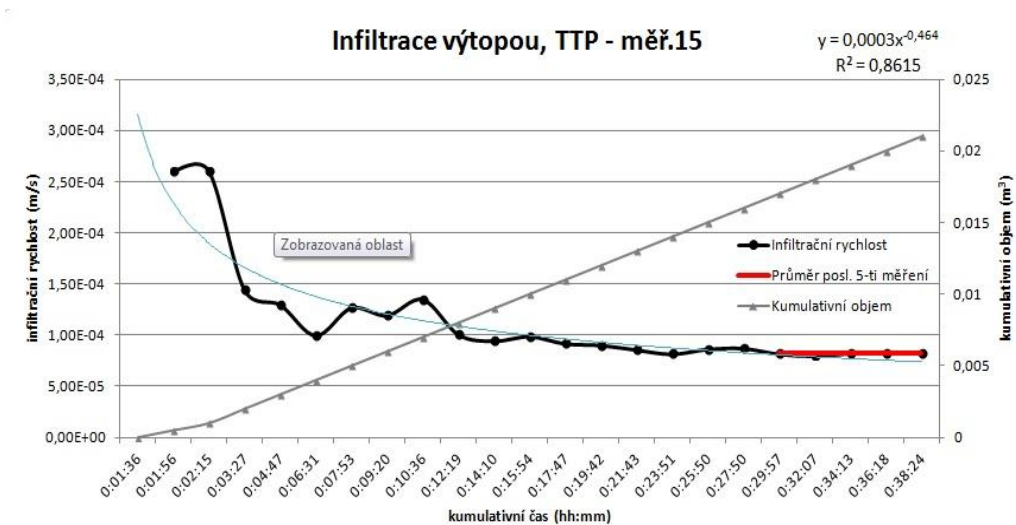
Příloha 15: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 10 na orné půdě



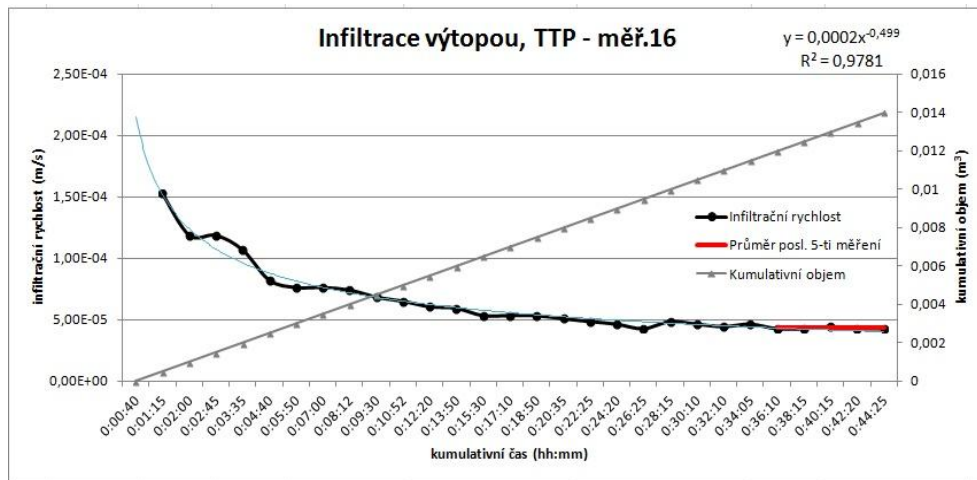
Příloha 16: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 11 na orné půdě



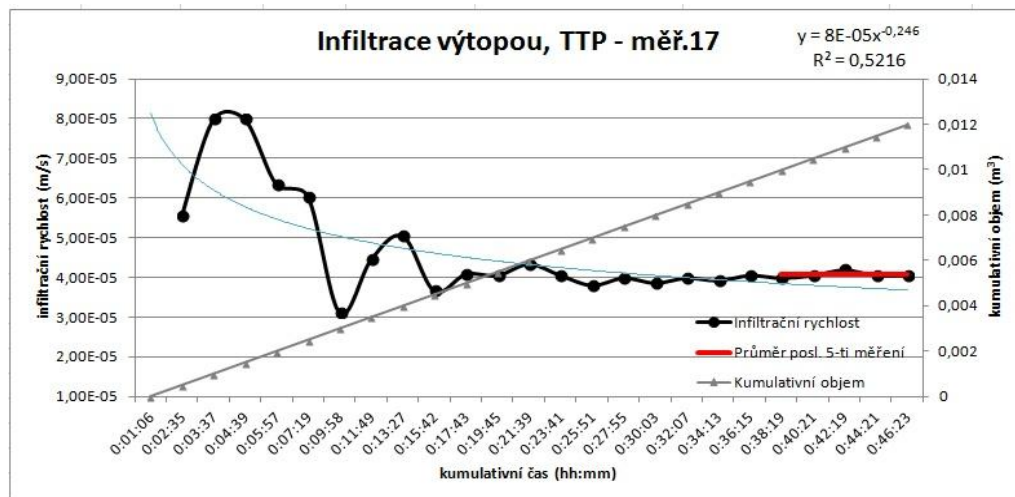
Příloha 17: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 12 na orné půdě



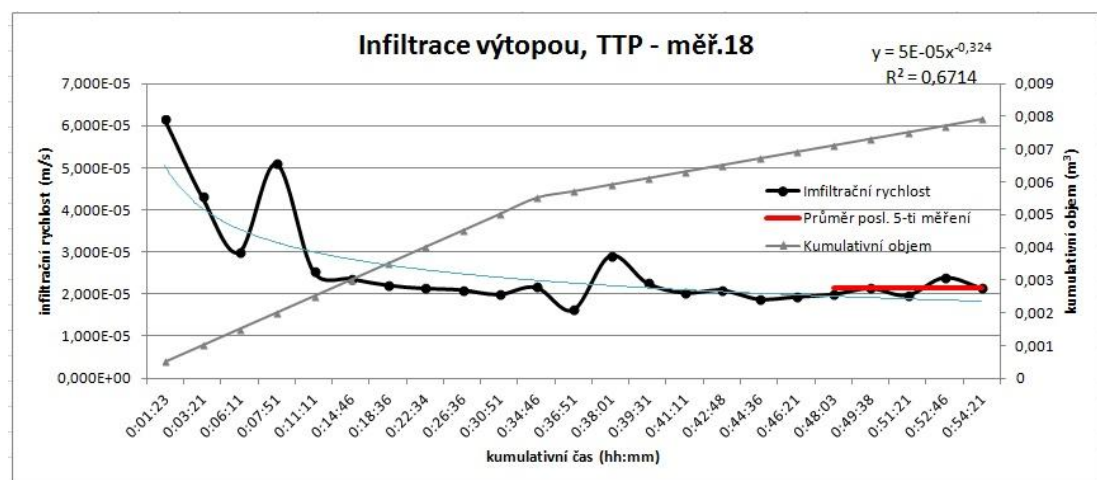
Příloha 18: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 15 na TTP



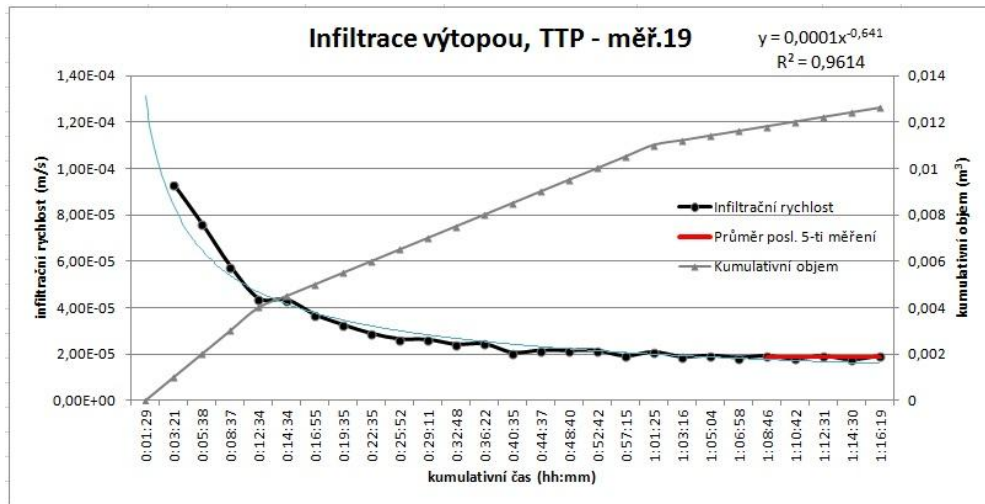
Příloha 19: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 16 na TTP



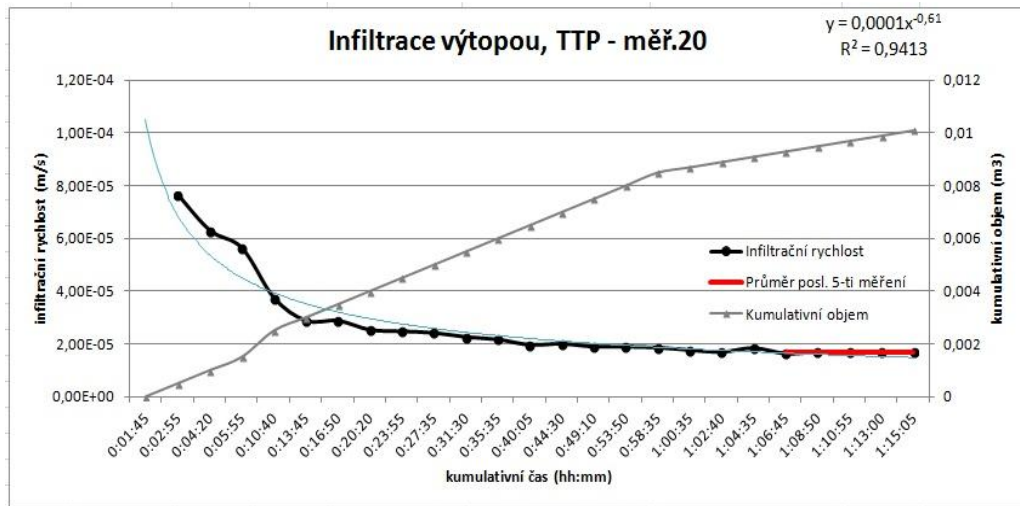
Příloha 20: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 17 na TTP



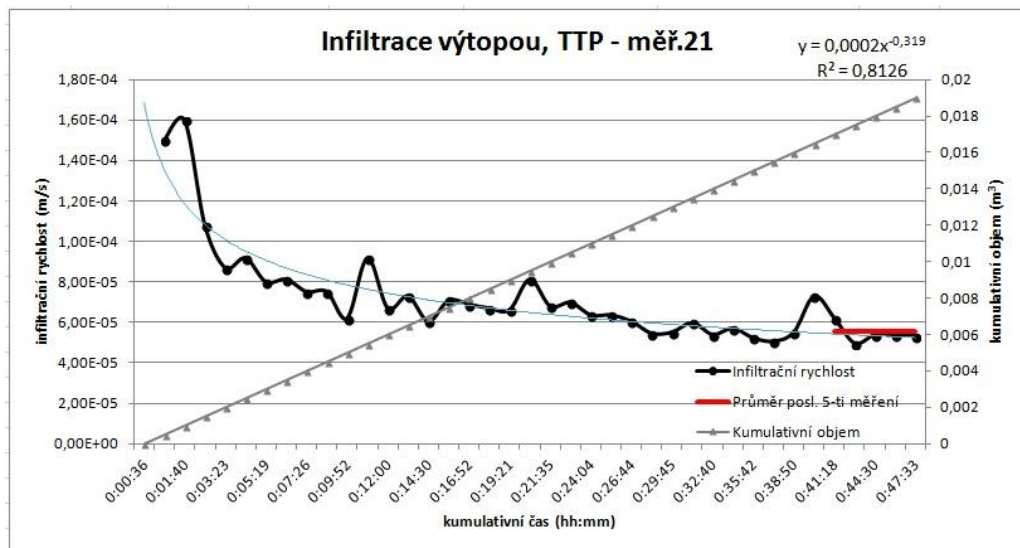
Příloha 21: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 18 na TTP



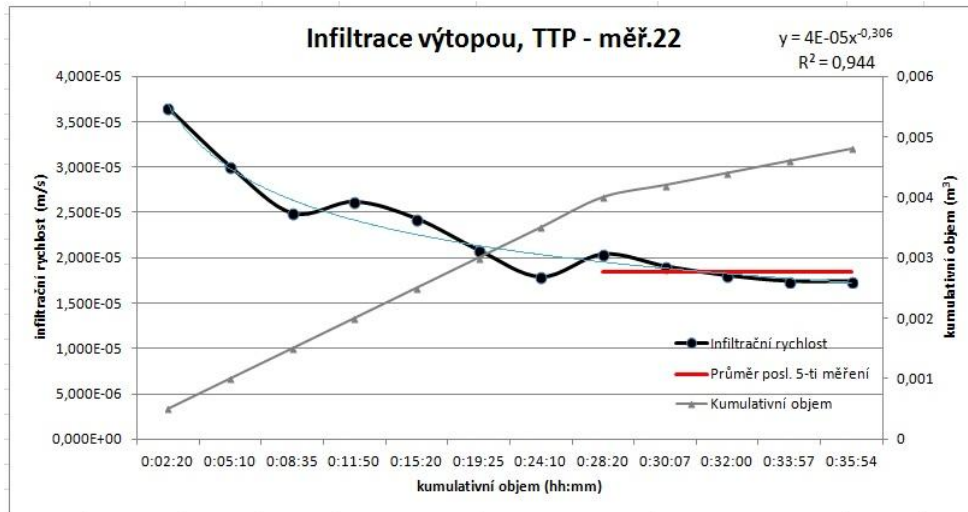
Příloha 22: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 19 na TTP



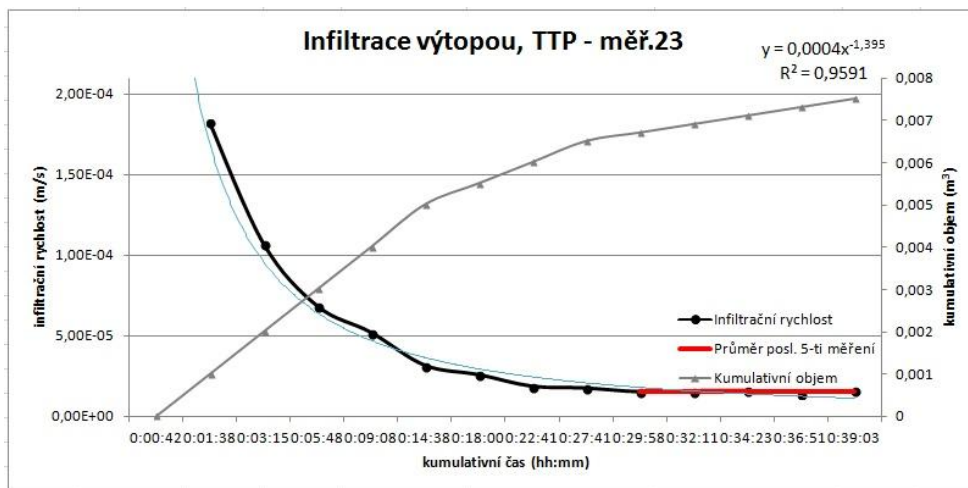
Příloha 23: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 20 na TTP



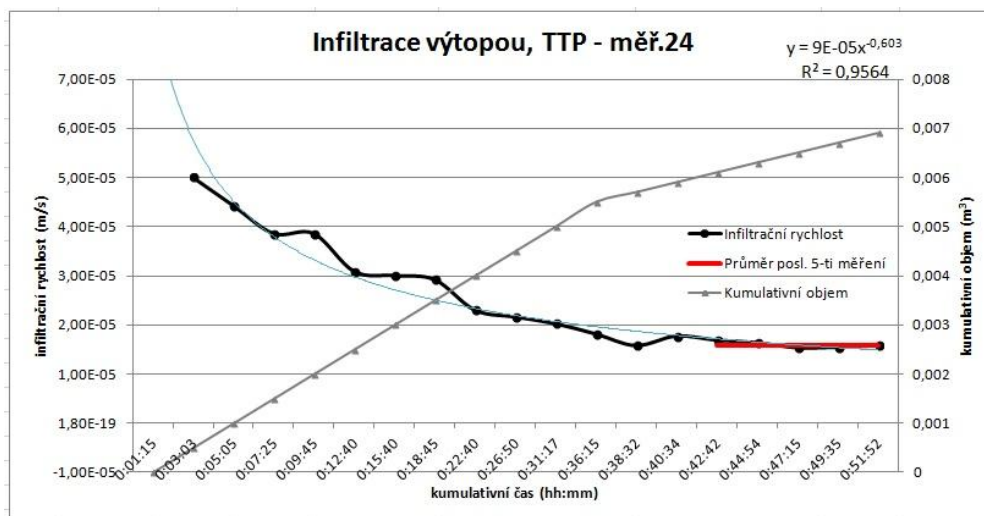
Příloha 24: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 21 na TTP



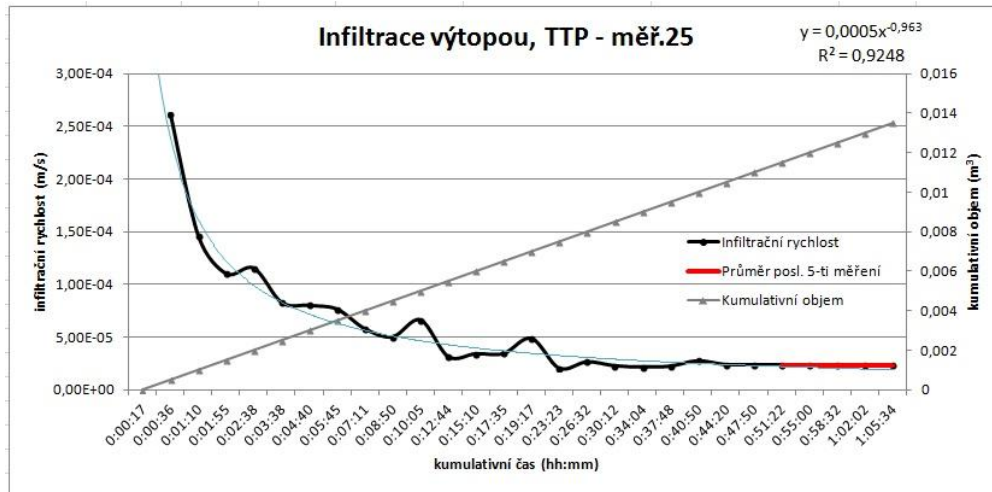
Příloha 25: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 22 na TTP



Příloha 26: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 23 na TTP



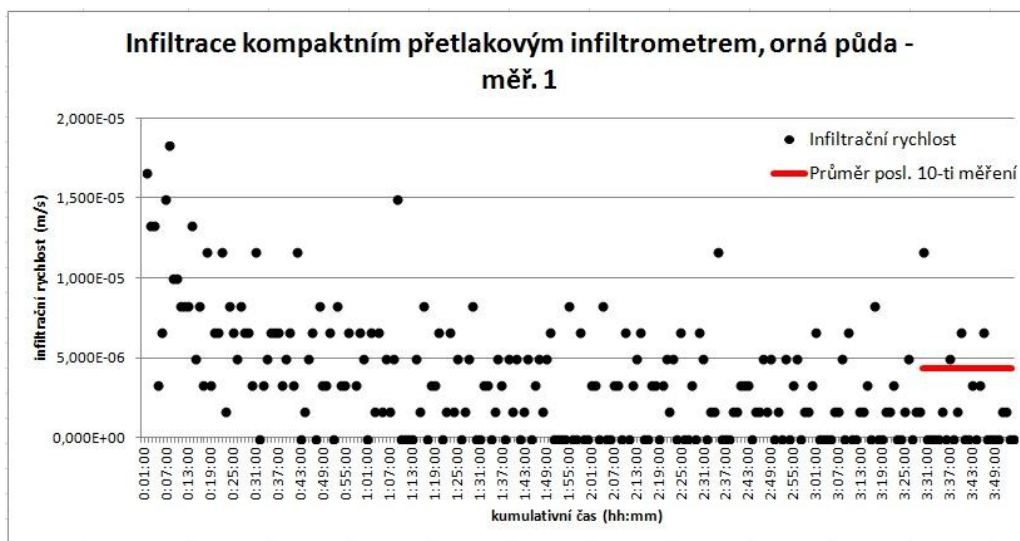
Příloha 27: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 24 na TTP



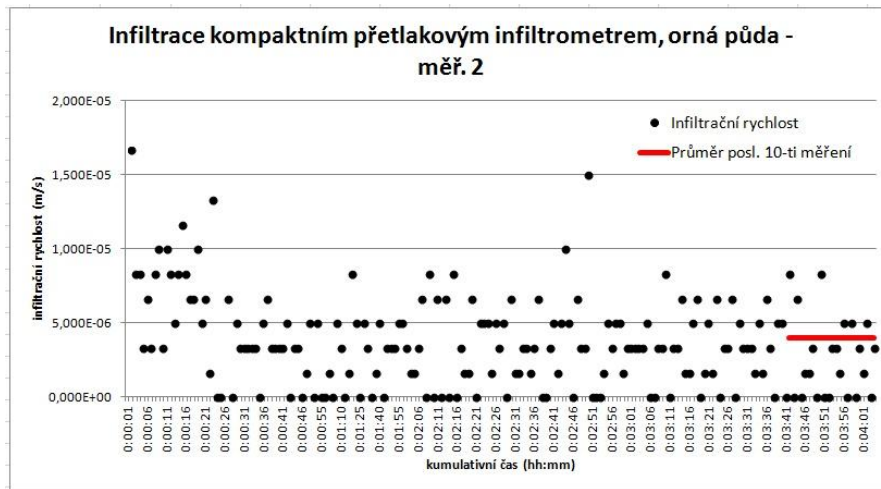
Příloha 28: Graf infiltračních charakteristik z měření č. 25 na TTP

objem (ml)	objem (m ³)	čas	čas (s)	kumulativní čas	infiltrační rychlost (m/s)	kumulativní objem (m ³)
0	0	0:02:20	140	0:02:20		0
1000	0,001	0:04:16	256	0:06:36	3,902E-05	0,001
1000	0,001	0:05:19	319	0:11:55	3,132E-05	0,002
500	0,0005	0:02:47	167	0:14:42	2,991E-05	0,0025
500	0,0005	0:02:52	172	0:17:34	2,904E-05	0,003
500	0,0005	0:02:57	177	0:20:32	2,822E-05	0,0035
500	0,0005	0:03:05	185	0:23:36	2,700E-05	0,004
500	0,0005	0:03:11	191	0:26:47	2,615E-05	0,0045
500	0,0005	0:03:22	202	0:30:09	2,473E-05	0,005
500	0,0005	0:03:26	206	0:33:35	2,425E-05	0,0055
500	0,0005	0:03:31	211	0:37:05	2,367E-05	0,006
500	0,0005	0:03:56	236	0:41:02	2,117E-05	0,0065
500	0,0005	0:03:55	235	0:44:57	2,126E-05	0,007
500	0,0005	0:03:41	221	0:48:38	2,260E-05	0,0075
500	0,0005	0:03:34	214	0:52:12	2,334E-05	0,008
500	0,0005	0:03:52	232	0:56:04	2,153E-05	0,0085

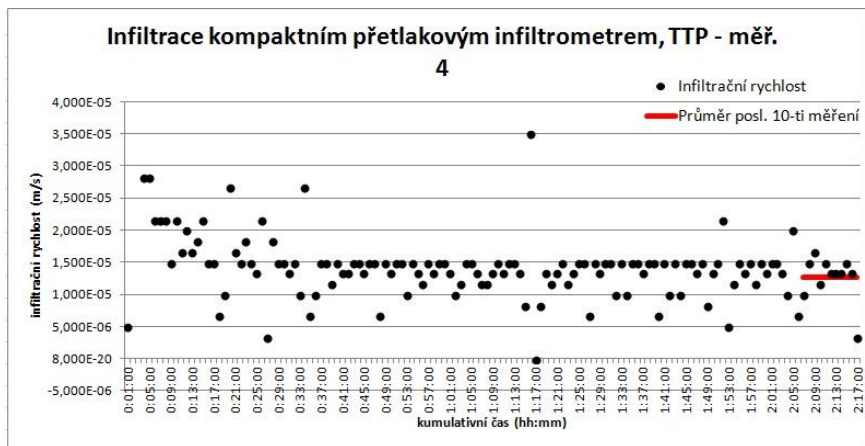
Příloha 29: Tabulka infiltračních charakteristik u měření č. 8



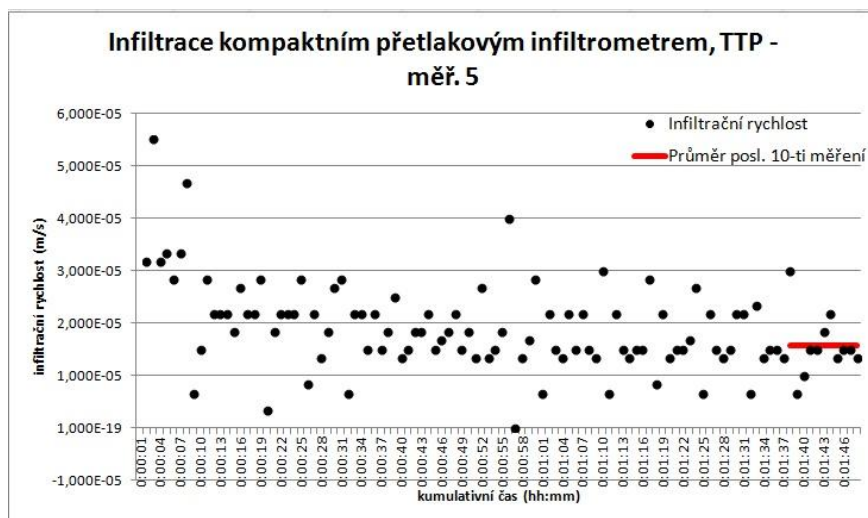
Příloha 30: Tabulka infiltračních charakteristik u měření č. 1 pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru



Příloha 31: Tabulka infiltračních charakteristik u měření č. 2 pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru



Příloha 31: Tabulka infiltračních charakteristik u měření č. 4 pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru



Příloha 32: Tabulka infiltračních charakteristik u měření č. 5 pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru