

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH
BUDĚJOVICÍCH**

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

Diplomová práce

**Vyhodnocení vsakovacích schopností půd pomocí
přetlakového infiltrometru**

Vedoucí práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jiří Pivoňka

České Budějovice 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří PIVOŇKA**
Osobní číslo: **Z13561**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Vyhodnocení vsakovacích schopností půd pomocí přetlakového infiltrometru**
Zadávatel katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Infiltrační schopnosti půd výrazně ovlivňují odtokový režim krajiny. V rámci této diplomové práce proběhne terénní měření infiltrace na půdách vybraného povodí a zjištěné infiltrační schopnosti půd budou použity v rámci výzkumných projektů katedry krajinného managementu, a to především jako vstupní data do hydrologického modelování odtoků vody z povodí.

Rámcový obsah DI:
Rešerše na dané téma.
Výběr vhodného povodí a jeho popis.
Praktické měření infiltračních rychlostí v terénu.
Zpracování naměřených dat.
Vyhodnocení, diskuze a závěr.


Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50 stran textu**
Forma zpracování diplomové 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 přetlakového infiltrometru.
časopisy: **Journal of Hydrology, Hydrological processes, Water Resources Research, atd.**


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav BYSTRICKÝ, Ph.D.**
Katedra krajinářského managementu

Datum zadání diplomové práce: **17. března 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**


prof. Ing. Miroslav Šech, CSc., dr. h. c.
děkan


L.S.


doc. Ing. Pavel Opatr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to- v nezkrácené podobě- v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Babicích dne 13. 2. 2015

.....

Jiří Pivoňka

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D., za odborné vedení, konzultace, připomínky a cenné rady při psaní této práce. Také děkuji své rodině a přátelům za podporu během studia a vytvoření zázemí, díky kterému jsem také mohl napsat tuto diplomovou práci.

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na vyhodnocení infiltračních schopností půd v povodí Lužického toku v katastrálním území Babice u Netolic. V rámci terénního měření byl použit kompaktní přetlakový infiltrometr. Ve vybraném území bylo provedeno celkem 26 infiltračních pokusů na 5 lokalitách. V práci byla srovnávána infiltrační rychlost na lokalitách s odlišnou BPEJ, respektive HSP. Dále byly také zhodnoceny infiltrační schopnosti na půdách s odlišným využitím území. Pro vyhodnocení infiltrace byly použity empirické infiltrační rovnice dle Philipa. Naměřené hodnoty byly dále tabulkově a graficky zpracovávány. Nejvyšší infiltrační rychlost byla naměřena na orné půdě (L5). V práci byla potvrzena funkčnost rozdělení půd do HSP. Dále byly také detailně popsány zásady měření infiltrace s kompaktním přetlakovým infiltrometrem.

Klíčová slova: kompaktní přetlakový infiltrometr, ustálená infiltrační rychlost, hydrologické skupiny půd, BPEJ, Philipovy infiltrační rovnice

Abstract

This thesis is focused on the evaluation of the infiltration capacity of soil in Lužický stream catchment in the cadastral unit Babice u Netolic. For the field measurement was used compact pressure infiltrometer. In the selected area were performed 26 infiltration experiments in 5 locations. In this thesis was compared infiltration rate at locations with different BPEJ (estimated pedologic-ecological unit), respectively HSP (hydrologic soil groups). Furthermore was also evaluated infiltration capacity on soils with different land use. To evaluate infiltration were used empirical infiltration equations according to Philip. Then the measured values were processed in tabular and graphical way. The highest infiltration rate was measured on arable land (L5). The classification of soil was examined according to HSP. Furthermore were also described in detail the principles of infiltration measurement using compact pressure infiltrometer.

Key words: compact pressure infiltrometer, steady infiltration rate, hydrologic soil groups, BPEJ, infiltration equation of Philip

Obsah

1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	11
2.1 Proudění vody v půdě.....	11
2.1.1 Darcyho zákon – nasycená zóna.....	12
2.1.2 Darcy-Buckinghamův zákon pro nenasycené proudění	14
2.2 Infiltrace	15
2.2.1 Význam infiltrace	15
2.2.2 Průběh infiltrace.....	16
2.2.3 Charakteristiky infiltrace	18
2.3 Vlastnosti ovlivňující infiltraci.....	20
2.3.1 Hydrologické a klimatické faktory	20
2.3.2 Půdní faktory.....	21
2.3.3 Půdní organismy	24
2.3.4 Topografické podmínky.....	24
2.3.5 Činnost člověka.....	25
2.4 Metody měření infiltrace	26
2.4.1 Výtopová metoda.....	26
2.4.2 Minidiskový infiltrometr.....	27
2.4.3 Další metody měření infiltračních charakteristik.....	28
2.5 Kompaktní výtopový infiltrometr	28
2.5.1 Schéma infiltrometru	29
2.5.2 Princip Mariottovy lahve	29
2.5.3 Princip infiltrační zkoušky.....	30
2.6 Hydrologické skupiny půd	31
3. MATERIÁL A METODY	34
3.1 Popis konkrétního území	34
3.1.1 Geografická poloha a geomorfologie	34
3.1.2 Klimatické poměry	35
3.1.3 Geologické a pedologické poměry	36
3.1.4 Vyhodnocení dle kódu BPEJ	37
3.1.5 Sklonitostní poměry	40

3.1.6 Hydrologické poměry	41
3.2 Použité metody – Kompaktní výtopový infiltrometr.....	42
3.3 Vyhodnocení měření dle Philipových infiltračních rovnic	42
3.3.1 Zpracování dat z infiltrometru	43
4. TERÉNNÍ MĚŘENÍ	46
4.1 Pomůcky	47
4.2 Přípravné práce.....	48
4.3 Proces vlastního měření.....	51
5. VÝSLEDKY A DISKUSE	55
5.1 Lokalita 1.....	56
5.2 Lokalita 2.....	57
5.3 Lokalita 3.....	58
5.4 Lokalita 4.....	61
5.5 Lokalita 5 – srovnání TTP a orné půdy.....	62
5.6 Porovnání naměřených dat s metodikou.....	65
6. ZÁVĚR	67
7. SEZNAM LITERATURY	69
8. PŘÍLOHY	76
9. SEZNAM ZKRATEK.....	92

1. ÚVOD

Půda má pro existenci života na Zemi nesporný význam. Na problémy půdní vody se momentálně soustřeďuje velká pozornost z mnoha důvodů. Půda má nesporný význam nejen z hlediska zemědělského využití, ale také má schopnost zadržovat vodu a ovlivňovat hydrologickou bilanci a oběh vody. Zadržovaný objem vody, který protéká půdním prostředím, má dominantní postavení v hydrologickém cyklu. Vztah půdy a vody a jejich problémů jsou předmětem řešení vědních oborů, jako je hydroopedologie, hydrologie, hydrogeologie, pedologie, hydraulika, hydrochemie a dalších. Získané poznatky o pohybu vody v půdě je možno uplatnit v zemědělství, vodním hospodářství, krajinném a územním plánování, lesnictví, stavebnictví, protierozní ochraně a ochraně životního prostředí.

Vzduch, teplo, živiny a právě voda jsou hlavní podmínkou pro existenci života všech organismů na Zemi. Voda ovšem přináší i jistá nebezpečí. Povrchová voda zapříčiňuje povodně, vodní erozi, zanášení vodních nádrží splaveninami atd. Infiltrace srážkových vod do půdy je předpokladem zvyšování vodohospodářské účinnosti povodí. Infiltrační schopnosti půd výrazně ovlivňují odtokový režim krajiny. Voda, která se infiltruje, se neúčastní erodujícího procesu a je využitelná pro potřebu vegetace oproti vodě, která povrchově odtéká.

Diplomová práce je zaměřena na terénní měření infiltrace vody do půdy pomocí kompaktního výtopového infiltrometru. V práci jsem se věnoval půdám, které jsou rozděleny do odlišných hydrologických skupin půd (HSP). Data, která jsem během měření získal, byla vyhodnocena a následně porovnána podle kategorií hydrologických skupin půd, které stanovil JANEČEK A KOL. (2005). Hydrologické skupiny půd reprezentují typickou rychlost infiltrace a jsou řazeny do 4 skupin. Terénní měření probíhalo v katastrálním území Babice u Netolic na povodí Lužického potoka. V práci je také obsažen detailní popis kompaktního přetlakového (výtopového) infiltrometru a podrobně popsána manipulace a práce s tímto přístrojem. Okrajově jsem se zabýval i ostatními metodami měření infiltračních charakteristik.

Cílem této diplomové práce bylo získání dat z terénních měření probíhajících ve vybrané lokalitě a jejich následná analýza, zpracování a vyhodnocení. V rámci vyhodnocování dat z jednotlivých lokalit bylo prověřeno zařazení půd dle BPEJ

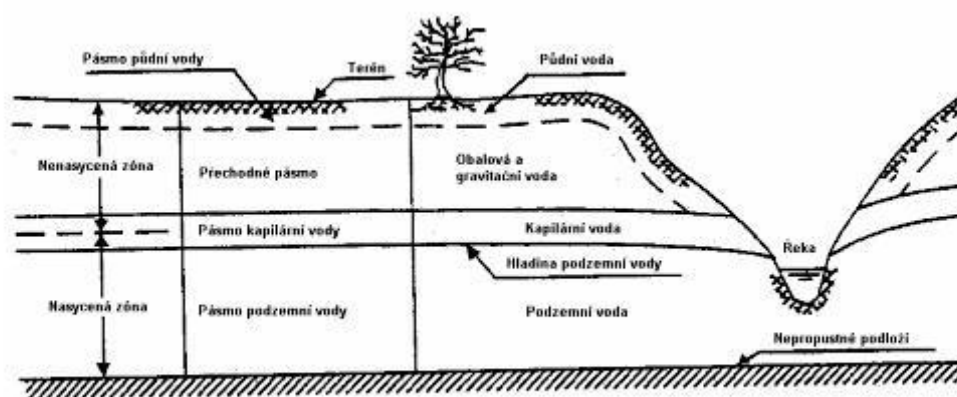
do hydrologických skupin půd, které provedl JANEČEK A KOL. (2005). Zjištěné infiltrační schopnosti půd budou použity v rámci výzkumných projektů katedry krajinného managementu, a to především jako vstupní data do hydrologického modelování odtoku vody z povodí. Dalším cílem bylo vytvoření uceleného přehledu o procesu infiltrace vody do půdy a také přehled o konstrukci a používání kompaktního výtopového infiltrometru.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Proudění vody v půdě

Voda v půdě se pohybuje v pórech. Veškerá voda, která je obsažena v půdě, se nazývá půdní voda. To znamená, že v půdních pórech je vždy obsaženo určité množství kapalné fáze. V hydrologickém cyklu je půdní voda, její chování a pohyb důležitým a často rozhodujícím činitelem pro zvládnutí celého cyklu. Objem vody, který je v půdě 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 (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 pásma kapilární vody, přechodné pásmo a pásmo půdní vody. Podle KUTÍLKA A KOL. (1993) je prostor, v němž se voda může pohybovat, omezený a maximálně odpovídá objemu pórů. Pokud voda vyplňuje při proudění všechny póry a půda je nasycena vodou, nazývá se proudění nasycené. Jestliže je půda jen z části nasycena vodou, vlhkost je menší než pórovitost, tak označujeme proudění vody jako nenasycené. RAWLS (2002) nazývá zvláštní případ pohybu vody v nenasyceném půdním prostředí jako infiltraci neboli vsak vody do půdy.



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

KUTÍLEK (1978) považuje proudění vody v půdě za významné z hlediska rostlinné výroby, a taktéž vodou se uskutečňuje transport rozpuštěných látek v půdním profilu. Při transportu unášených látek často dochází k přeměně těchto

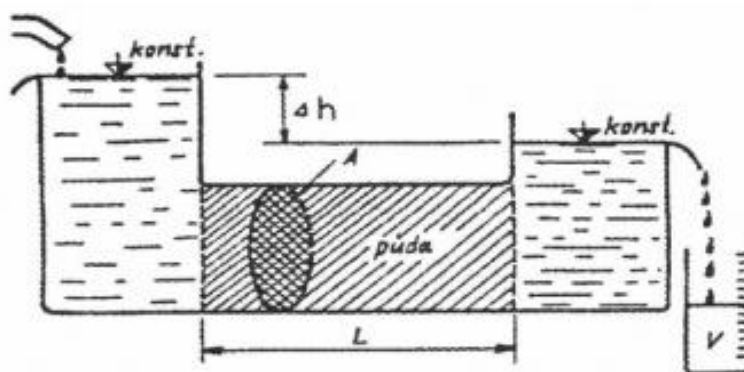
látek. Proto je půdní vodě přikládán velký význam v ochraně zdrojů podzemních vod a při tvorbě a ochraně životního prostředí. Vlastnost půdy propouštět vodu se nazývá hydraulická vodivost nebo také propustnost s rozměrem rychlosti a je označována symbolem K . Proudění vody v půdě se popisuje Darcyho zákonem.

2.1.1 Darcyho zákon – nasycená zóna

O nasycené proudění se jedná, pokud při proudění voda vyplňuje všechny póry a půda je nasycena vodou. Proudění vody v půdě je často popisováno pomocí makroskopicky pozorovaných fyzikálních veličin. Tento jev znázorňují pokusy na obr. č. 2 a obr. č. 3. Trubice na obr. č. 2 je vyplněna půdou s plochou průřezu A_p , úroveň horní a dolní hladiny je dána přepadem, proudění je ustálené. Voda protéká půdou a pod spodním přepadem se měří objem vody V , který proteče půdou za čas t . Makroskopická rychlost proudění vody v je dána vztahem:

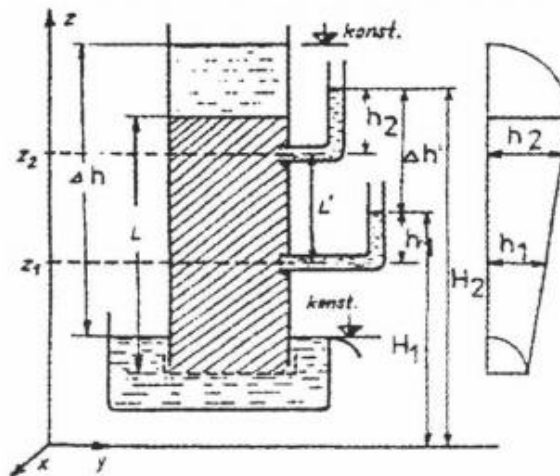
$$v = \frac{V}{A_p * t} \quad [\text{L.T}^{-1}] \quad (1)$$

Makroskopická rychlost v je nazývána také jako zdánlivá, darcyovská nebo hustota toku. Při popisu proudění vody v půdě je zjednodušeně uvažováno, že voda protéká celým profilem vzorku a zanedbává existenci půdních zrn. To umožňuje aplikovat teorii potenciálního proudění (KUTÍLEK A KOL. 2004).



Obr. č. 2 Ustálené proudění sloupcem homogenní půdy (KUTÍLEK 2004)

Rychlost vody se zvyšuje při vzrůstu výšky Δh (obr. č. 3) a snižuje se při zvětšení délky sloupce L ve směru proudění.



Obr. č. 3 Tlakové poměry při proudění vody sloupcem homogenní půdy (KUTÍLEK 2004)

V letech 1852 až 1855 prováděl francouzský hydraulik Henry Darcy v Dijonu první experimenty proudění vody písčítými filtry. Zjistil, že se množství vody, které proteče zeminou za jednotku času, přímo úměrně zvětšuje s rostoucím rozdílem hladin Δh [L] před vtokem a po výtoku z půdy a nepřímo úměrně s rostoucí délkou sloupce L [L] ve směru proudění vody. Nasycená hydraulická vodivost K_s [$L \cdot T^{-1}$] je charakteristika vyjadřující schopnost zeminy vést vodu. Jím odvozená rovnice se nazývá Darcyho zákon a v případě obr. č. 2 má tvar (DARCY, 1856):

$$v = K_s * \frac{\Delta h}{L} \quad [L \cdot T^{-1}] \quad (2)$$

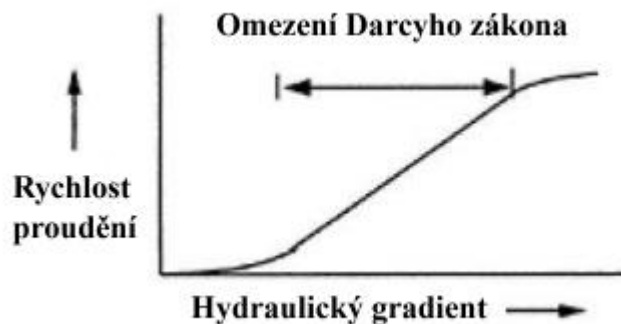
Darcyho zákon vyjadřuje lineární závislost mezi rychlostí proudění a hydraulickým gradientem (hydraulický sklon $\frac{\Delta h}{L}$). Darcyho zákon má omezenou platnost a neplatí pro veškeré hodnoty hydraulického gradientu mezi nulou a nekonečnem. Meze platnosti Darcyho zákona jsou znázorněny na obr. č. 4. V případě velmi hrubozrnného materiálu bude Darcyho zákon neplatný, jelikož setrvačné síly převažují nad viskózními a klesá přírůstek rychlosti proudění v závislosti na hydraulickém gradientu. Tento stav proudění se nazývá postlineární. Darcyho zákon je platný, pouze pokud se jedná o lineární oblast proudění. Pro rozlišení lineárního a postlineárního proudění se používá Reynoldsovo číslo Re (VALENTOVÁ 2007):

$$\text{Re} = \frac{v^* d}{\nu_1} \quad [-] \quad (3)$$

v ... rychlost proudění [L.T⁻¹]

ν_1 ... kinematická viskozita kapaliny [L².T⁻¹]

d ... reprezentativní rozměr porézního prostředí - průměr efektivního zrna [L]



Obr. č. 4 Omezení platnosti Darcyho zákona (LAL A SHUKLA 2004, upraveno autorem)

2.1.2 Darcy-Buckinghamův zákon pro nenasycené proudění

Nenasycené proudění je v půdě častější jev než nasycené proudění. Za nenasycené proudění označujeme takové proudění vody, když je půda nasycena vodou jen z části a vlhkost je menší než pórovitost. Nenasycená zóna se nachází mezi nasycenou zónou a povrchem půdy. Pro popis nenasyceného proudění se využívá Darcy-Buckinghamův zákon (LAL A SHUKLA 2004). KUTÍLEK A KOL. (2004) popisuje Darcy-Buckinghamův zákon pro vícerozměrné proudění ve tvaru:

$$v = -K * gradH \quad (4)$$

$$v = -K * \frac{dH}{dz} \quad (5)$$

Rychlost proudění je zde označována jako v . Nenasycená hydraulická vodivost K je součinitel, který udává, v jaké míře je umožněno proudění vody v půdě. Obvykle je K udávána v cm.s⁻¹ a je závislá na vlhkosti půdy a vlhkostním potenciálu. H je celkový potenciál na jednotkovou tíhu vyjádřený v jednotkách

hydraulické výšky [L]. **GradH** se nazývá hydraulický gradient (třírozměrný) a je vyjádřen poměrem dH/dz . Při řešení běžných úloh můžeme celkový potenciál **H** vyjádřit jako součet gravitačního potenciálu **z** a vlhkostního potenciálu **h** a ostatní složky celkového potenciálu zanedbat (KUTÍLEK A KOL. 2004).

2.2 Infiltrace

První použití pojmu infiltrace v souvislosti s vodním hospodářstvím se připisuje G. P. Marshovi. MARSH (1865) chápe infiltraci vody do půdy jako rozdíl mezi deštěm a povrchovým odtokem na malém území. DOLEŽAL A KVÍTEK (2004) a KUTÍLEK A KOL. (2000) definují infiltraci jako průtok vody přes topografický povrch a následný pohyb vody půdním profilem. RIEDL A ZACHAR (1973) nazývají infiltraci jako pronikání vody srážkové, či uměle dodané z povrchu půdy do jejích hlubších vrstev. SOZYKIN (1940) nazývá vsakování jako pohyb vody kapilárními póry a průsakem vody půdními makropóry. MOLČANOV (1960) nazývá infiltrací vertikální vstup vody půdními horizonty směrem pod povrch. RAWLS (2002) definuje infiltraci jako proces, kdy voda vstupuje do země ve formě dešťových, sněhových srážek nebo zavlažováním. POELS (2009) definuje infiltraci jako proces, který umožňuje vstup vody pod povrch země. VYSOCKIJ (1930) uvádí, že infiltrace je schopnost půdy přijímat vodu pomocí kapilárních pórů a vlivem působení gravitačních sil, pokud je vlhkost půdy vyšší jak maximální polní vodní kapacita.

Infiltrace má významnou roli ve vodním režimu půd a ovlivňuje celý půdní profil. 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). Podle VÁŠÍ A DRBALA (1975) vsakování vody do půdy vykazuje časovou proměnlivost. Počáteční vysoká intenzita infiltrace (podle počáteční vlhkosti půdy) se rychle snižuje a dosahuje po určité době vyrovnaných hodnot, které do určité míry odpovídají propustnosti půdy.

2.2.1 Význam infiltrace

VIČANOVÁ A KOL. (2008) uvádí, že proces infiltrace vytváří zásoby půdní a podzemní vody. Jde o důležitou problematiku z hlediska klimatických změn, kdy je potřeba zpomalit odtok vody z pozemků a podpořit vsakování vody do půdy. Zvýšením retenční schopnosti půd lze omezit ztráty půdy způsobené vodní erozí.

ZDRALEK (1999) zdůrazňuje, že vlivem vodní eroze dochází ke snížení orníční vrstvy a nenávratné ztrátě zeminy, humusu a minerálních živin a dále se také zhoršují fyzikální a chemické vlastnosti. Podle PODHRÁZSKÉ A DUFKOVÉ (2005) je v protierozní ochraně infiltrační schopnost půd jedním z podkladů pro stanovení objemu přímého odtoku z povodí za přívalovou srážku na základě metody čísel odtokových křivek (CN - křivky). Kvůli využití metody CN – křivek se půdy rozdělují do hydrologických skupin na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém nasycení. Pokud podle ZDRALKA (1999) dojde k narušení půdy a její degradaci, odrazí se tato skutečnost i na autoregulační schopnosti krajiny a její odolnost vůči rušivým vlivům.

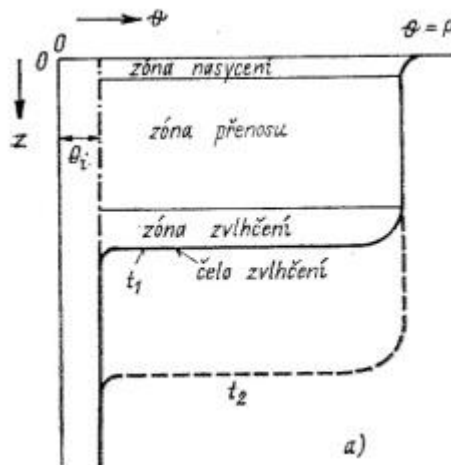
Infiltrace rozděljuje srážky, kde část srážek doplňuje zásoby půdní vody v profilu a na vodu, která povrchově a podpovrchově (hypodermicky) odtéká. Infiltrace má velký význam pro využití srážkové vody pro rostliny a závisí na ní růst vegetace. Infiltrace způsobuje zpomalení oběhu vody v krajině, jelikož část srážkové vody se dostává do půdního profilu a protéká horninovým podložím a rezervoáry podzemních vod a až následně se její podíl dostane do vodních toků. Tento jev je ve srovnání s rychlostí povrchového odtoku velmi pomalý a obecně je považován za příznivý (VÁŠA A DRBAL 1975).

2.2.2 Průběh infiltrace

Podle KUTÍLKA (1978) jsou procesy infiltrace, redistribuce a výpar vody z půdy součástí nestacionárního nenasyčeného proudění vody. Při dopadu prvních kapek vody nebo při prvním styku vody s půdou se začíná projevovat infiltrační schopnost půdy. V případě, že je voda vedena k povrchu půdy takovou rychlostí jako se vsakuje, jedná se o maximální hodnotu rychlosti infiltrace neboli vsakovací schopnost. Rychlost vsaku dodaného objemu vody (rychlost infiltrace) je proměnlivá s časem.

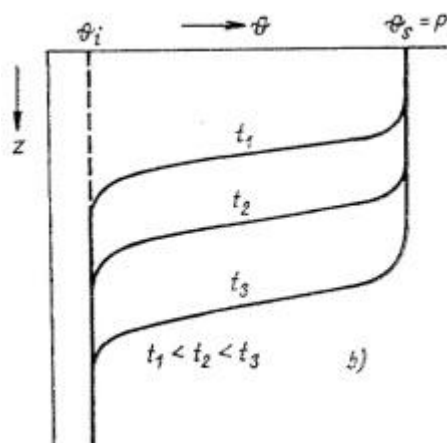
KUTÍLEK (1978) si představuje průběh infiltrace tak, že voda vniká do homogenní půdy jako hydraulický píst, který se s narůstajícím časem postupně více a více zahlubuje do půdy. Přesun vody tuto pravidelnost narušuje místní nehomogenitou půdy, ale pokud se vlhkost vody zprůměruje na větší ploše, tak je možné stále pozorovat stejné schodovité (krabicové) profily. Podle COLEMANA A BODMANA (1945) lze na vlhkostním profilu půdy rozpoznat zónu nasycení,

do níž je možno zahrnout i přechodnou zónu (PHILIP, 1957). Obě zóny nabývají mocnosti několika mm až cm. Zóna nasycení vzniká v důsledku zhutnění povrchu a ztráty struktury půdy. Obr. č. 5 popisuje její průběh v homogenní půdě.



Obr. č. 5 Vlhkostní profil při infiltraci do homogenní půdy (KUTÍLEK 1978)

Pod zónou nasycení se nachází zóna přenosu, která má velkou mocnost. V této zóně je vlhkost půdy nižší, ale v průběhu infiltrace se mocnost této zóny mění. Vlhkostní profil zakončuje zóna zvlhčení, která je zesponu ohraničená čelem zvlhčení. V případě, že se jedná o nehomogenní půdu, čelo zvlhčení bývá ukloněno, jak znázorňuje obr. č. 6. Avšak v mnoha případech se výše zmíněný vlhkostní profil liší, především pokud infiltrace probíhá na nehomogenních půdách. V takovém případě je před čelem zvlhčení uzavřený vzduch, který nemá možnost uniknout, nebo když je počáteční vlhkost výrazně proměnná s rostoucí hloubkou. Další odlišnosti ve vlhkostním profilu mohou způsobovat trhliny a chodbičky, které způsobuje zooedafon. Tyto jevy způsobují vysokou rychlost vtékání vody (stejnou jako při přivalových deštích nebo tání sněhu), což se projevuje vysokou nasyceností zóny zvlhčení (KUTÍLEK 1978).



Obr. č. 6 Vlhkostní profil při infiltraci do nehomogenní půdy (KUTÍLEK 1978)

KUTÍLEK (1978) tedy rozdělil průběh infiltrace na 4 zóny:

- *Zóna nasycení* – hodnota plné vodní kapacity je plně nasycena vodou. Hodnota nasycení je omezena.
- *Zóna přenosu* – závisí na průběhu, délce a rostoucí hloubce infiltrace vody. Hodnotu plné vodní kapacity nenaplňuje až k jejímu úplnému nasycení. S délkou infiltrace se mění mocnost vrstvy.
- *Zóna zvlhčení* – mění se s rostoucí hloubkou i časem.
- *Čelo zvlhčení* – určuje hranici postupu infiltrující vody.

2.2.3 Charakteristiky infiltrace

Mezi základní infiltrační charakteristiky patří rychlost (intenzita) infiltrace a velikost infiltrace (tzv. kumulativní infiltrace). Tyto charakteristiky udává stav půdního profilu (RAWLS 2002).

Intenzita infiltrace

Intenzita neboli rychlost infiltrace (v_t) udává množství vody, které se za jednotku času vsákne do půdy v určitém časovém termínu (t) od počátku vsakování. Udává se nejčastěji v jednotkách [mm/min] a [l/s/ha] (VÁŠA A DRBAL 1975).

Intenzita infiltrace hraje významnou roli při ochraně půdy před povrchovým odtokem (LHOTSKÝ 2000). Pokud je intenzita srážek vyšší než intenzita infiltrace,

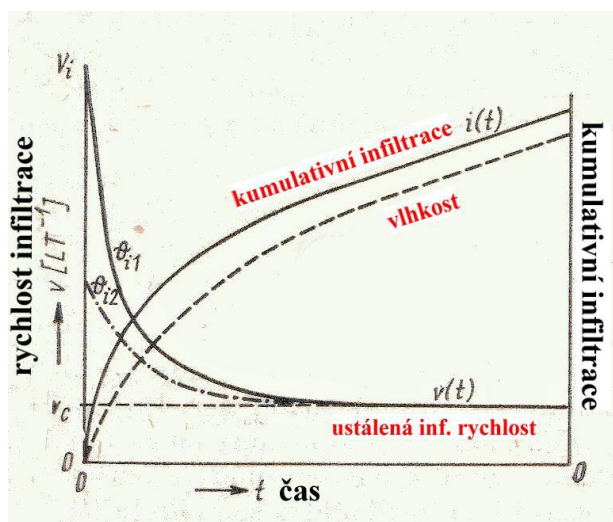
nastává právě povrchový odtok (BENETIN A KOL. 1987). Nejvýznamnějším vlivem na intenzitu infiltrace vody z povrchu do větších hloubek je míra propustnosti půdního pokryvu a svrchních vrstev hornin (KŘÍŽ 1983). Na intenzitu infiltrace srážkové vody má vliv taktéž tvar reliéfu. Nejvýznamnější jsou přitom svahy, které značí nejrozšířenější a nejdynamičtější prvek reliéfu pevnin a jsou charakteristické pro velkou část (asi 90%) povrchu souše (DEMEK A KOL. 1976). Intenzita infiltrace srážek na svahu je dána sklonem, vegetačním pokryvem a propustností půdního profilu (KŘÍŽ 1983).

KUTÍLEK (1978) uvádí, že pokud je srážkou nebo jiným uměle vyvolaným vlivem dodáno dostatečné množství vody do půdy, je intenzita infiltrace rovna vsakovací schopnosti půdy. Intenzita infiltrace má největší hodnotu na svém počátku a s přibývajícím časem obvykle klesá a po určitém času se stane téměř konstantní.

Kumulativní infiltrace

Podle VÁŠI A DRBALA (1975) můžeme kumulativní infiltraci nebo také velikost infiltrace (i_t) definovat jako celkové množství vody, které se vsákne do půdy od zahájení vsakování až do doby „t“ (ukončení měření). Kumulativní infiltrace je vyjadřována v [mm] nebo [l/ha].

Na rozdíl od rychlosti infiltrace, která se bude ustalovat a zůstávat téměř neměnná (viz obr. č. 7), kumulativní infiltrace bude lineárně s časem narůstat. Tento stav může být někdy nazýván jako kvazistacionární (KUTÍLEK 1978).



Obr. č. 7 Závislost kumulativní infiltrace a rychlosti infiltrace na čase (KUTÍLEK 1978, upraveno autorem)

2.3 Vlastnosti ovlivňující infiltraci

Podle KŘEČKA (1978) je pro objasnění způsobu ovlivňování infiltrace třeba uvažovat děj infiltrace v bezprostřední závislosti na přívodu srážkové vody, která je schopna se infiltrovat do povrchu půdy a také na infiltrační schopnosti povrchu a na prosakování vody půdou po infiltraci.

V přírodních podmínkách je proces infiltrace ovlivňován řadou faktorů. Mezi ně lze zahrnout především fyzikální vlastnosti půdy, vegetační kryt, intenzita a trvání srážek, a chemické složení látek, které jsou v interakci s půdou a vodou (DOLEŽAL A KVÍTEK 2004).

2.3.1 Hydrologické a klimatické faktory

Mezi hydrologické faktory, které ovlivňují infiltraci, můžeme zařadit především intenzitu a dobu trvání srážek. KUTÍLEK (1978) uvádí, že 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. V případě, že intenzita srážky je menší nebo rovna rychlosti infiltrace, celá srážka se zasáhne do povrchu a nedochází ke vzniku povrchového odtoku. Pokud intenzita srážek přesáhne rychlost infiltrace, tak se nejprve srážka vsakuje do povrchu a zatím nenastává povrchový odtok. Ve druhé fázi se vsakuje pouze už jen určitý podíl srážky a začíná se tvořit povrchový odtok, který s časem narůstá. KŘEČEK (1978) uvádí, že teplotní a vlhkostní režim a také režim proudění vzduchu má vliv na přístup srážkové vody k půdě a působí také na stav nasycenosti půdního profilu na začátku infiltrace.

Podle JANDÁKA A KOL. (2007) vzájemný poměr srážek a výparu rozhoduje o stupni ovlhčení půdy ovlivňující intenzitu a kvalitu vnitřních pochodů v půdě, včetně vsaku vody do půdy.

Dalším vlivem ovlivňující infiltraci je typ a rozsah promrzání půdního profilu. Promrznutím půdy dochází k ucpání půdních pórů a zabránění vsakování vody do půdy. Přítomnost sněhu nebo ledové pokrývky snižuje potencionální infiltrační velikost a intenzita tání působí na infiltraci podobně jako intenzita deště (KŘEČEK 1978).

2.3.2 Půdní faktory

Podle LUKASE A KOL. (2007) mezi půdní faktory, které ovlivňují průběh infiltrace, patří vlhkost půdy, struktura, textura, morfologické, chemické a vlhkostní parametry. REICOSKY A KOL. (2005) zmiňuje také zrnitost, pórovitost, stavbu půdního profilu a objemovou hmotnost půdy.

Podle VÁŠI A DRBALA (1975) je pro vodní poměry půdy významná zrnitostní nehomogenita půdního profilu. Střídání zrnitostně rozdílných vrstev se projevuje v rozdělení půdní vlhkosti a ovlivňuje pohyb půdní vody.

Další vlastností, která ovlivňuje infiltraci, je pórovitost půdy. Ta nám udává poměr objemu pórů k celkovému objemu půdy. JANDÁK A KOL. (2001) klasifikuje póry podle velikosti a druhu sil působících na vodu na póry kapilární, semikapilární a nekapilární. Kapilární póry zabezpečují vzlínání a nekapilární póry propouštějí gravitační vodu a umožňují výměnu vzduchu. V semikapilárních pórech dochází k pozvolnému ustalování podzemní vody (přechod mezi kapilárními a nekapilárními póry). Podle MATULY A KOL. (1989) pórovitost u půd se mění v závislosti na zrnitosti, struktuře a obsahu humusu. MUSGRAVE A HOLTAN (1964) říkají, že v průběhu infiltrace pórovitost klesá vlivem bobtnání půdních koloidů a ucpáváním pórů rozpadem půdních pseudoagregátů. Rozpad pseudoagregátů během infiltrace závisí na počáteční vlhkosti půdy, která ovlivňuje obsah vzduchu v pórech zabraňující infiltraci.

KREŠL (2001) uvádí, že humusová vrstva usnadňuje unikání vzduchu, který se hromadí před čelem zvlhčení. Obsah organické hmoty zabraňuje vytvoření spojitě vodní vrstvy, čímž ovlivňuje rychlost infiltrace.

Objemová hmotnost půdy je hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu, s póry vyplněnými vodou a vzduchem. Její hodnota je nestálá a odvíjí se od podílů pórů v půdě a míře jejich naplnění vodou (KUTÍLEK A KOL. 2000).

GARDNER A KOL. (1999) kategorizoval infiltraci do 5-ti skupin a závislost intenzity infiltrace na charakteru půdy lze vidět v tab. č. 1. Tab. č. 1 ukazuje, že těžké půdy s vyšším obsahem jílnatých částic se prokazují nejnižší rychlostí

infiltrace. Také VALIŠ A ŠÁLEK (1978) kategorizovali půdu podle vsakovacích schopností (tab. č. 2).

Tab. č. 1 *Kategorizace rychlosti infiltrace a propustnosti půd při nenasyčení vodou* (GARDNER A KOL. 1999)

kategorie	infiltrace	charakteristika půdy
A	velmi vysoká 2,5-5,0 mm.min ⁻¹ a vyšší	vysoká až nadměrná infiltrace; převážně hluboké a nadměrně odvodněné písky a šterkopísky; s časem se infiltrace nezpomaluje
B	vysoká 0,85-2,5 mm.min ⁻¹	hlinitopísčité půdy nebo půdy s velmi propustným podložím a středně těžkou omicí; např. lehké spraše
C	střední 0,25-0,85 mm.min ⁻¹	hlinité, dobře strukturní půdy, případně středně těžké v povrchové vrstvě a těžší (jh) ve spodině
D	nízká 0,08-0,25 mm.min ⁻¹	jílovitohlinité půdy, půdy nestrukturní, nestrukturní, půdy s výrazným utužením, půdy s lehčí povrch. vrstvou a těžší (jílovitou) spodinou
E	velmi nízká pod 0,08 mm.min ⁻¹	velmi nízká infiltrace od povrchu; těžké, jílovité půdy nebo jíly, popř. půdy obdobného charakteru; v počátku může být infiltrace velmi rychlá do gravitačních pórů (trhlin) do nabobtnání jílu

Tab. č. 2 *Kategorizace půd podle jejich vsakovací schopnosti* (VALIŠ A ŠÁLEK 1978)

Kategorie půdy podle vsakovací schopnosti	Charakteristika půdy podle jejich stálých vlastností a podle vlhkosti
I. Vsakovací schopnost je zpočátku velká až střední a v průběhu času se rychle zmenšuje	-Půda hlinitá nebo jílovitá s velkým množstvím snadno rozplavitelných agregátů (pseudoagregáty) -Půda suchá až vyprahlá, s obsahem vody odpovídajícím bodu snížené dostupnosti a méně.
II. Vsakovací schopnost je na počátku velká i střední, v průběhu času se zmenšuje pozvolna	-Půda s vyvinutou agregovanou strukturou o pevných a vodovzdorných agregátech. Obvykle hlinitá až jílovitohlinitá s větším obsahem humusu a nasyceným sorpčním komplexem. -Půda s obsahem vody v rozmezí mezi maximální kapilární kapacitou a bodem snížené dostupnosti.
III. Vsakovací schopnost na počátku malá až střední, v průběhu času je téměř konstantní	-Půda bez agregace, ulehlá, o malé kapilární pórovitosti, nenakypřená. Z hlediska zrnitostního složení může být písčítá, ale i jílovitá nebo hlinitá (spraš). -Půda s obsahem vody větším, než maximální kapilární kapacita.

Zhutnění půdy

Zhutnění půdy má negativní vliv na infiltrační charakteristiky a dochází ke snížení infiltrační rychlosti a celkovému ovlivnění pohybu vody v půdě. Zhutnění je především zapříčiněno špatným obhospodařováním půdy. Jedná se především o používání těžké mechanizace v zemědělství, obdělávání podmáčených a vlhkých pozemků a velké množství hospodářských zvířat na danou velikost pozemku. Zhutněním půdy dochází ke snížení pórovitosti a propustnosti a naopak zvýšení objemové hmotnosti půdy, což má za následek snížení infiltrační schopnosti půdy a vznik povrchového odtoku a vodní eroze (JAVŮREK A VACH 2008).

Podle JAVŮRKA A VACHA (2008) můžeme předcházet zhutnění tím, že snížíme počet pojezdů po pozemku anebo zvýšením podílu organické hmoty v půdě a výsevem regeneračních plodin. Uplatněním těchto agromelioračních opatření dochází nejen ke snížení zhutnění, ale také ke zvýšení úrodnosti půd.

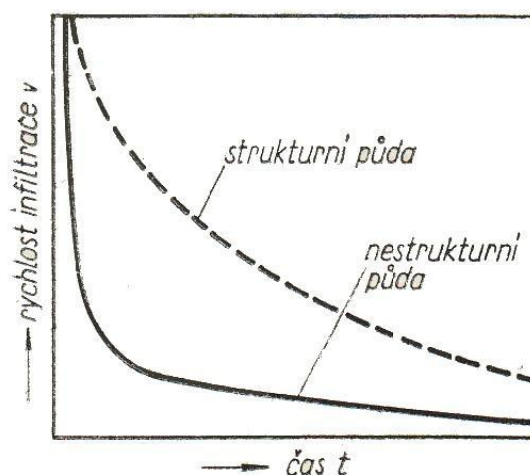
Struktura půdy

Struktura půdy je určena prostorovým uspořádáním půdních částic. Stabilita těchto částic a jejich odolnost vůči rozplavování má významný vliv na infiltraci. Strukturní půda se stabilními agregáty má vyrovnaný vodní režim s dobrým zasakováním srážkové vody (JANDÁK A KOL. 2001).

Infiltrační schopnost půd je určena strukturou půdního profilu a stavem vrchní vrstvy půdy. Dále je taktéž ovlivňována druhem vegetačního krytu, který ochraňuje povrch před vznikem půdního škraloupu při přívalových deštích. Strukturu půdního profilu lze ovlivnit agrotechnickými zásahy (HRÁDEK 1998). Podle JANDÁKA A KOL. (2007) nejvýznamněji na půdní strukturu působí dešťová voda a půdní roztok. KITTREDGE (1948) také uvádí, že půdní strukturu ovlivňuje intenzita deště a velikost vodních kapek dopadajících na půdní povrch a jejich kinetická energie. Kapky rozrušují půdní agregáty a mění strukturu povrchové půdní vrstvy.

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. 8). Prudké

snížení infiltrace na nestrukturní půdě je způsobeno rozpadem pseudoagregátů a vznikem půdního škraloupu. Vzduch uzavřený pod škraloupem zhoršuje průběh infiltrace. U strukturní půdy se vzduch z půdních pórů vytrácí. Strukturní 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.



Obr. č. 8 Porovnání rychlosti infiltrace na strukturní a nestrukturní půdě (KUTÍLEK 1978)

2.3.3 Půdní organismy

Podle JANDÁKA A KOL. (2007) se půdní organismy dělí na mikroedafon (bakterie, řasy, prvoci), mezoedafon (červi, měkkýši, členovci), makroedafon (obratlovci). Z hlediska infiltrace hraje největší roli mezoedafon a makroedafon. Jeho zástupci mechanicky rozrušují půdu a vytvářejí chodbičky v půdním profilu, kterými se vsakuje srážková voda.

Voda se při vsakování do půdy dostává především nekapilárními póry, ale nejrychleji a nejsnadněji dutinami a trhlinami vytvořenými zooedafonem (krtci, dešťovky apod.) nebo po odumřelých kořincích (VÁŠA A DRBAL 1975). Tento jev VYSOCKIJ (1930) nazývá influkcí neboli vtékáním a má za následek velké nepravidelnosti v průběhu vsakování vody.

2.3.4 Topografické podmínky

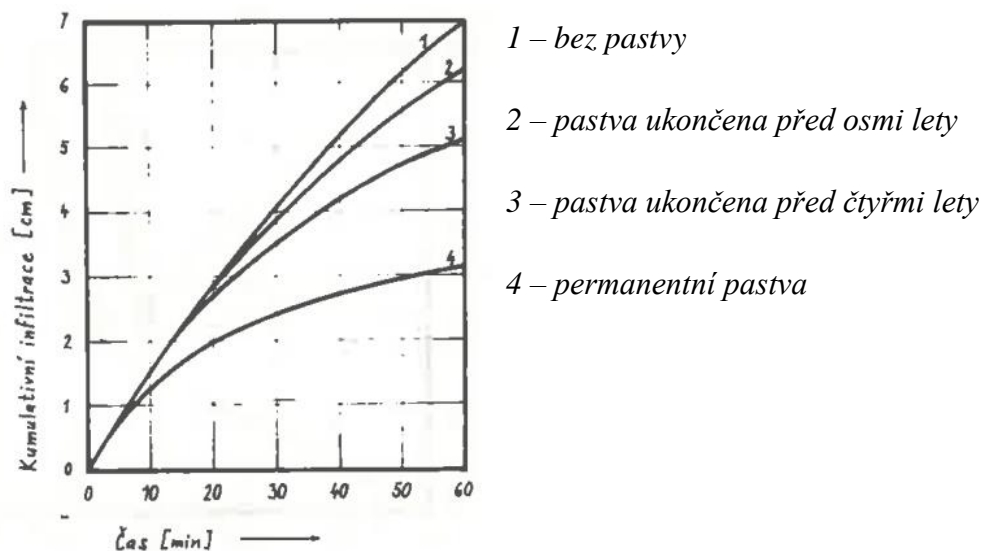
Z topografických podmínek má vliv na infiltraci dle PIERCE (1967) zejména sklon, tvar terénu a jeho drsnost. Tyto charakteristiky zemského povrchu jsou využívány v hydraulickém mechanismu tvorby povrchového odtoku, který roste se sklonem a délkou svahu a klesá s jeho drsností. KŘÍŽ (1983) uvádí, že čím 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.

PIERCE (1967) dále doplňuje, že nadmořská výška a konfigurace terénu působí na utváření klimatických prvků, z hlediska infiltrace se jedná především o ovlivňování množství srážek.

2.3.5 Činnost člověka

Člověk ovlivňuje infiltrační schopnost především prostřednictvím půdních poměrů. Z hlediska půdy se jedná o půdní agrotechniku, kterou je ovlivňována drsnost půdního povrchu a jeho jímavost a vodohospodářské meliorace (KŘEČEK 1978). HOLTAN A KIRKPATRICK (1950) upozorňují na negativní ovlivnění infiltrace zapříčiněné pastvou skotu (obr. č. 9), která má za následek utužení půdy a tvorbu pro vodu těžko propustné vrstvy.



Obr. č. 9 Vliv pastvy na infiltraci na zatravněných plochách (HOLTAN A KIRKPATRICK 1950)

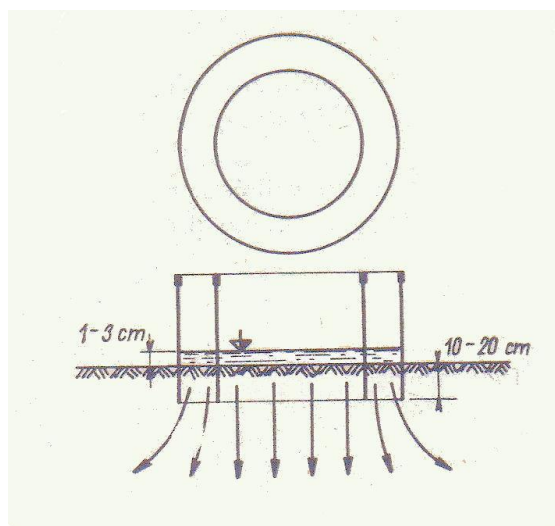
HANSEN (1975) konstatuje nepříznivý vliv vodních sportů na infiltrační charakteristiky břehů řek. Spouštěním lodí a kempováním dochází k poškození povrchu půdy, vegetace a i k utužení půdy.

2.4 Metody měření infiltrace

Měření infiltračních charakteristik se provádí především v polních podmínkách, laboratorní metody jsou vhodné pouze pro zjištění vlivu některých vymezených faktorů. Pro zjišťování a vyhodnocování poměrů v půdě se provádí měření vsakovací schopnosti půdy pomocí výtopové metody ve dvojitéch vsakovacích válcích (KREŠL 2001). Další metody pro zjišťování infiltrace mohou být metody pomocí kompaktního infiltrometru, minidiskového infiltrometru, jednoduchého tlakového infiltrometru, tenzního infiltrometru nebo dále postřikovací metody s použitím dešťového simulátoru.

2.4.1 Výtopová metoda

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). Podle VALIŠE A ŠÁLKA (1970) jsou použity dva soustředné válce, přičemž vnější válec tvoří manžetu vsakující vody, která zabraňuje zkreslení průběhu infiltrace vlivem proudění vody do stran (obr. č. 10). Ve vnitřním válci je sledováno množství zasáknuté vody v závislosti na čase.



Obr. č. 10 *Soustředné válce a směr proudnic ve válcích* (KUTÍLEK 1978)

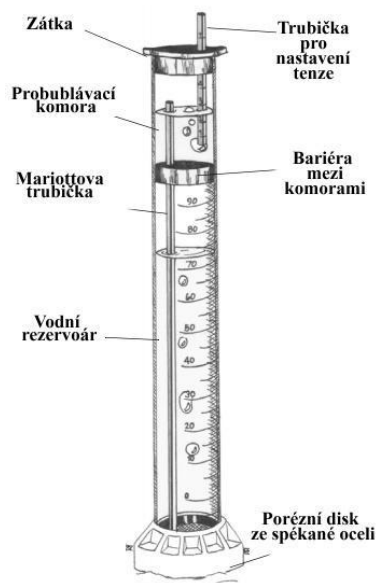
U dvouválcové výtopové metody se vsakovací schopnost měří na povrchu půdy. Soustředné válce jsou zaraženy do povrchu (nejprve vnitřní válec a následně vnější) zhruba do hloubky 10 až 20 cm. Do vnitřního válce je umístěn hrot indikující pokles hladiny vody ve válci. Proces měření se uskutečňuje doléváním známého objemu vody nad referenční úroveň stabilizovaný měrným hrotem. Pokud hladina

klesne na úroveň hrotu, dolévá se známý objem vody a zaznamenává se právě objem vody a čas. V dobu, kdy dojde k relativnímu ustálení rychlosti vsakování, měření se ukončuje (KAMENČÍKOVÁ 2009).

2.4.2 Minidiskový infiltrometr

Mini Disk infiltrometr je malý přístroj sloužící k měření nenasyčené hydraulické vodivosti. Nasyčená hydraulická vodivost je často ovlivněna výskytem preferenčních cest (trhliny, cestičky po žízálech apod.), ve kterých je proudění vody často mnohonásobně rychlejší než v půdní matici. Tento jev lze eliminovat použitím podtlakového minidiskového infiltrometru. Nastavením určitého podtlaku (záporné tlakové výšky) na půdní povrch jsou z procesu infiltrace vody do půdy vyloučeny póry s menší vstupní hodnotou vzduchu (preferenční cesty) než je aplikovaný podtlak a voda tak proudí především půdní maticí. Obecně se tedy dá tvrdit, že s rostoucím podtlakem aplikovaným na půdní povrch, se snižuje množství pórů zapojených do infiltrace a hodnota nenasyčené hydraulické vodivosti klesá. Výsledkem měření je pak jeden bod nenasyčené hydraulické vodivosti pro nastavenou tlakovou výšku (HILLEL 1998).

Minidiskový infiltrometr je složen ze dvou komor, které jsou umístěny v jedné trubici (obr. č. 11). Obě komory jsou naplněny vodou. Horní komora slouží pro nastavení sání vzduchu a voda z dolní komory se infiltroje přes polopropustnou membránu (ŠINDELÁŘ A KOL. 2009).



Obr. č. 11 Schéma Minidiskového infiltrometru (DECAGON DEVICES 2012)

Je třeba říci, že existuje mnoho konstrukčních řešení infiltrometrů a nelze stanovit jednotný postup a zásady při měření. Nutné je se řídit manuály jednotlivých přístrojů.

2.4.3 Další metody měření infiltračních charakteristik

Mezi další méně časté metody měření infiltrace patří jednoduchý tlakový infiltrometr. Podle MATULY A KOZÁKOVÉ (1997) tento infiltrometr pracuje na mechanicko-hydraulickém principu a měří infiltrační charakteristiky v malém válci o průměru 15 cm. Součástí infiltrometru je Mariottova lahev.

Další možností měření infiltrace je postřikovací metoda, která využívá tryskový simulátor deště. Postřikovací metoda je využívána především na lesních půdách. U této metody se stanoví velikost infiltrace jako rozdíl mezi dodaným množstvím vody a odtokem z vymezeného území. Postřikovací metoda nejvíce simuluje podmínky při skutečném dešti (KREŠL 2001). Podle KOVAŘÍČKA A KOL. (2007) je dešťový simulátor přesnější než válcové výtopové infiltrometry, avšak časově náročnější.

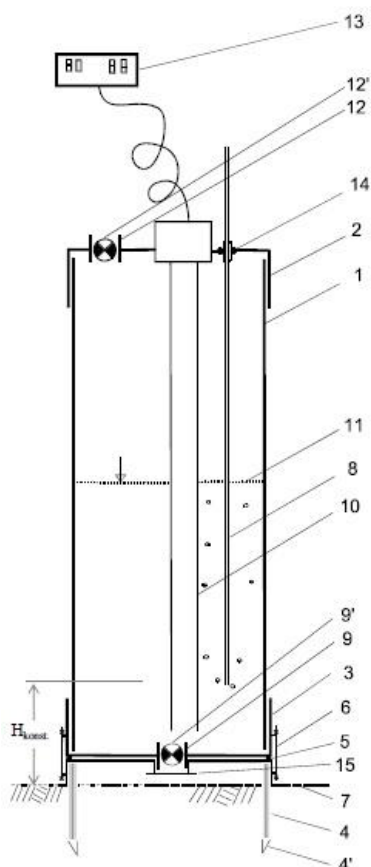
Infiltrační charakteristiky můžeme dále měřit například tenzními infiltrometry, hood infiltrometry, guelphskými permeametry. Tyto metody nejsou příliš využívány, proto nebudou dále rozepisovány. Metoda pomocí kompaktního výtopového infiltrometru bude popsána v kapitole 2.5 a 4.

2.5 Kompaktní výtopový infiltrometr

Infiltrometr poskytuje podklad pro zhodnocení a parametrizaci infiltrační schopnosti půd. Podstata kompaktního (přetlakového) výtopového infiltrometru podle technického řešení spočívá v tom, že úbytek vody je v krátkých časových intervalech měřen přesným kapacitním hladinovým čidlem a automaticky jsou tato naměřená data o poklesu hladiny zaznamenávána a ukládána na záznamovou jednotku. Kompaktní infiltrometr zohledňuje faktory, které např. při měření infiltrace válcovým výtopovým infiltrometrem mohou měření výrazně ovlivnit. A je to především vliv půdního edafonu (tvorba preferenčních cest), aktuální stav povrchu a svrchních vrstev, stav vody v pórech a jejich struktura. Infiltrometr je patentově chráněn dokumentem ÚPV: CZ300463 (KULHAVÝ A KVÍTEK 2010).

2.5.1 Schéma infiltrometru

Přetlakový infiltrometr je sestaven ze čtyř základních dílů (obr. č. 12). Ze zásobní válcové nádrže, která funguje na principu Mariottovy lahve, dále z prstence sloužícího pro zaražení do půdy, z hladinového čidla a záznamové jednotky (dataloggeru) (KULHAVÝ A KOL. 2007). Zásobní válcová nádrž je vyrobena z plexiskla, čímž umožňuje snadnou kontrolu poklesu hladiny ve válci. Objem nádrže nám udává limity použitelnosti infiltrometru, neboť maximální hodnota kumulativní infiltrace je cca 280 až 300 mm.



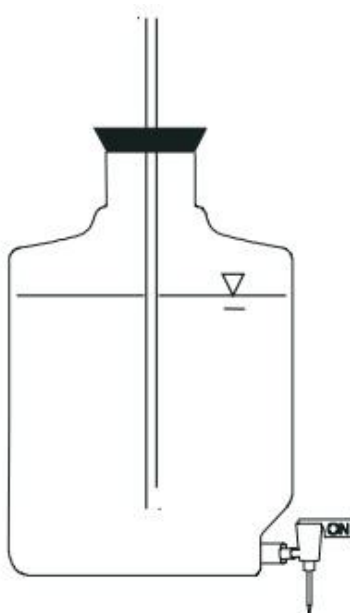
- 1 – Válcová zásobní nádrž
- 2 – Horní příruba
- 3 – Dolní příruba
- 4 – Prstenec
- 4' – Břit prstence
- 5 – Pryžové těsnění
- 6 – Spojovací úchyty
- 7 – Povrch půdy
- 8 – Zavzdušňovací trubička
- 9 – Výtokový otvor
- 9' – Uzávěr výtokového otvoru
- 10 – Kapacitní hladinové čidlo
- 11 – Úroveň hladiny vody
- 12 – Nalévací otvor
- 12' - Uzávěr nalévacího otvoru
- 13 – Záznamová jednotka
- 14 – Těsnící kroužek
- 15 – Usměrňovací destička

Obr. č. 12 Schéma kompaktního přetlakového infiltrometru (KULHAVÝ A KOL. 2007)

2.5.2 Princip Mariottovy lahve

Mariottova lahev byla zkonstruována francouzským fyzikem Edme Mariottem v 17. století. Mariottova lahev zajišťuje stálý tlakový spád nezávislý na množství odečtené kapaliny (MOORE 2004). Mariottova lahev je zařízení,

které zajišťuje udržení stálého hydrostatického tlaku, tudíž poskytuje konstantní výtopovou rychlost kapaliny. Pro dosažení konstantní rychlosti výtokové rychlosti, musí být na dně lahve stále nějaká kapalina (MAROTO A KOL. 2002) a konec zavzdušňovací trubice stále pod úrovní hladiny vody (obr. č. 13), jinak by odtok vody z nádrže nebyl konstantní. Spodní konec zavzdušňovací trubice by měl být zešikmený kvůli tvorbě bublinek. Horní konec lahve musí být vzduchotěsně uzavřen víkem s dírou na zavzdušňovací trubici. Zavzdušňovací trubice umožňuje přístup vzduchu a tím udržuje konstantní tlak, což má za následek konstantní odtok vody z lahve (MOORE 2004). Signalizace funkčnosti Mariottovy lahve probíhá pomocí vzduchových bublin, které ucházejí ze zavzdušňovací trubice (KULHAVÝ A KVÍTEK 2010). Podle MOOREA (2004) by Mariottova lahev měla být postavena na stabilní podložce a uvádí, že na začátku měření mohou být velké výchytky, a proto je důležité provádět několik pokusů, aby bylo možné stanovit průměrný odtok.



Obr. č. 13 Schéma Mariottovy lahve (MOORE 2004)

2.5.3 Princip infiltrační zkoušky

Principem měření kompaktním infiltrometrem je přívod vody právě takovou rychlostí, jakou se vsakuje voda do půdy. Tím je zjištěna maximální okamžitá intenzita vsaku podle rychlosti infiltrace na zvoleném rozhraní půdního profilu. Současně je zjišťována kumulativní infiltrace za určitý časový interval (MACEK

A KOL. 2012). Kapacitní čidlo zaznamenává úbytek vody během krátkého časového intervalu (nejčastěji 20 sekund) a tato data o poklesu jsou automaticky ukládána na datalogger (KULHAVÝ A KVÍTEK 2010).

Infiltrometr nevyžaduje v průběhu měření žádnou obsluhu (kromě dolévání vody do zásobní nádrže, pokud je to nutné) a je možné měřit na několika přístrojích současně a snížit tak časovou náročnost terénních měření. Během instalace a měření nedochází ke ztrátám vody, minimalizuje se tak její potřeba (KULHAVÝ A KVÍTEK 2010).

2.6 Hydrologické skupiny půd

JANEČEK A KOL. (2005) rozdělil hydrologické vlastnosti půd podle BPEJ do 4 skupin: A, B, C, D. Zvolená kategorizace podle hydrologických skupin půd definuje typickou rychlost infiltrace. Hydrologické skupiny půd jsou zařazeny na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení (tab. č. 3). Pro přibližnou orientaci při zařazování půd do hydrologických skupin je možné použít tab. č. 4. Pokud jsou u hydrologických skupin uvedeny dva symboly, znamenají rozpětí variability dané varianty. Při menší četnosti výskytu je alternativa v závorce.

Tab. č. 3 *Hydrologické skupiny půd* (JANEČEK A KOL. 2005)

Skupina	Charakteristika hydrologických vlastností	Rychlost infiltrace [mm.min ⁻¹]	Rychlost infiltrace [mm.den ⁻¹]
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky	> 0,12	> 172
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité	0,06 – 0,12	86,4 – 172
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité	0,02 – 0,06	28,8 – 86,4
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující především jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím	< 0,02	< 28,8

Hydrologické skupiny půd spolu s vlhkostí půdy a využitím půdy tvoří základní podklady pro stanovení čísel odtokových křivek (metoda CN křivek). Tato metoda je používána pro stanovení přímého objemu odtoku a kulminačního průtoku z přívalového deště o zvolené četnosti výskytu v zejména zemědělsky využívaných malých povodích (JANEČEK A KOL. 2005).

Tab. č. 4 Zařazení bonitovaných půdně-ekologických jednotek ČR do kategorií hydrologických skupin půd (JANEČEK A KOL. 2005)

Kategorie v mapě BPEJ	Hydrologická půdní skupina	Půdní subtyp	Substrát
1	B	ČMn, ČMk /ČM, ČMk/	spraš
2	B	ČMi /ČMd/	spraš
3	B /C/	ČMč /ČMl/	spraš, spraš-slín
4	A	ČMr /ČM/	lehké substr.
5	B	ČM	spraš/písek
6	C - D	ČMp, ČMpc /ČM/	slín /vylehčení Ap/
7	D	ČMp, ČMpc, SMm /ČM, ČMsm/	slín, slinitý jíl
8	B /C/	ČM, HM smyté	sprašové mat., /slín/
9	B	ŠMm /ČMi/	spraš
10	B	HMm, HMč, HMg' /HM/	spraš
11	B	HMm, HMg' /HM/	sprašová hlína
12	B	HMm, HMg /HM/	polygenetická hlína
13	B	HM, IP	hlína - lehký mat.
14	B	IP, HMi /g/	sprašová nebo polygenetická hlína
15	B /C/	IP, HMi, HP-HPi /g/	polygenetická hlína
16	B /A/	IP	zahliněné /šterko/ písky
17	A /B/	IP, /IP/	písky /hlinité proplástky/
18	B - C	RA, RA h	svahoviny vápenců, terras
19	B - C	PR, PRh /RA, R th/	opuky, slínovce
20	D	PS, PSk /HP, RA/	slíny
21	A	HP, RGmPR /DA/	písky
22	A - B	HP, PR /HP, RA/	zahliněné /šterko/ písky
23	A - B	HPg'	písek / jíl
24	B - C	HP, HPa, HPp /g/	svahoviny flyš S - tS
25	B /C/	HP, HPa /g/	svahoviny opuky S - /tS/
26	B /C/	HP, HPa /g/	svahoviny břidlic S - /TS/
27	B	HP, HPa	svahoviny břidlic, drob, flyš IS
28	B	HP /g/	svahoviny bázik S
29	B	HP, HPa /g/	svahoviny eruptiv, metamorfik IS-S

30	B	HP, HPa /g/	svahoviny, permokarbon, IS-S
31	A /B/	HP, HPa	svahoviny pískovců IS-L
32	B/ A	HP, HPa	svahoviny eruptiv, metamorfik IS-L
33	B - C	HP, HPa /g/	svahoviny, permokarbon, S-tS
34	B	HPao, RZ	svahoviny, eruptiv, metamorfik
35	B /A/	HPao, RZ	svahoviny, sedimentované horniny
36	B	RZ, HPao	svahoviny
37	B /A/	mělké lehké	rozpad hornin, svahoviny
38	C - D	mělké střední až těžké	rozpad hornin, svahoviny
39	C - D	rankry	rozpad hornin
40	B	svažitě 12 stupňů	lehké až 1 S
41	C - D	svažitě 12 stupňů	střední až těžké
42	C	HMg	sprašová hlína
43	C	HMig, IP g	sprašová hlína
44	C	PG /OG/	sprašová hlína
45	C	HMg	polygenetická hlína
46	C	HMig, IP g	polygenetická hlína
47	C	PG /OG/	polygenetická hlína
48	C	HPg, PG /OG/	svahoviny břidlic S
49	D	HPg, PG /OG/	svahoviny těžké tS - T
50	C	HPg, PG /OG/	svahoviny eruptiv a metamorfik S - IS
51	C	HPg, PG /OG/	zahliněné štěrkopisky
52	C /D/	PH, HPg /OG/	limnický terciér IS
53	C /D/	PG, HPg /OG/	terciérní substrát S /T
54	D	PG, HPpg /OG/	jíly
55	A	NP	lehké nivní sedimenty
56	B	NP	střední nivní sedimenty
57	C - D	NPp	těžké nivní sedimenty
58	B - C	NPG	střední nivní sedimenty
59	D	NPG	těžké nivní sedimenty
60	B	ČA /LP/	nivní, sprašové sedimenty S
61	C /D/	ČA /LP/	slíny, nivní sedimenty
62	C	ČAG /LPG/	nivní sedimenty aj. S
63	D	ČAG /LPG/	slíny, nivní sedimenty
64 – 76	C		hydromorfní půdy s výjimkou zkulturněných 64 a 65 a části katén 73 - 76, nutnost individuálního řešení
0, 99	nebonitován	nebonitováno	nebonitováno

3. MATERIÁL A METODY

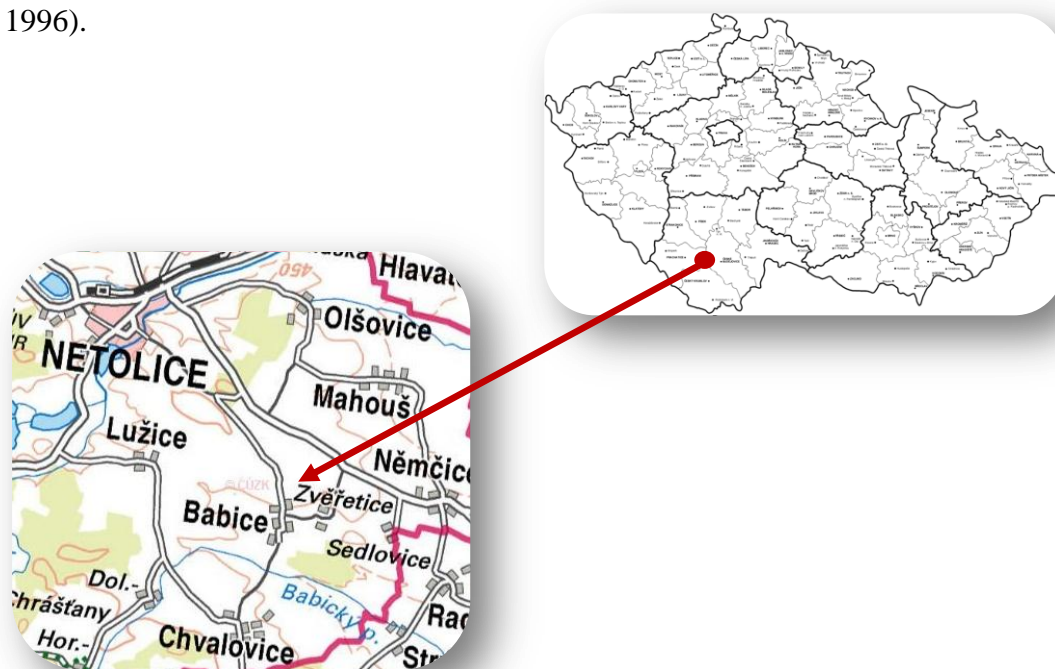
3.1 Popis konkrétního území

3.1.1 Geografická poloha a geomorfologie

Lokality, na kterých bylo prováděno měření, se nacházejí v Jihočeském kraji, v severovýchodní části bývalého okresu Prachatice. Území se nachází zhruba 20 km od krajského města České Budějovice. Experimentální plochy leží v katastrálním území Babice u Netolic (obr. č. 14). Průměrná nadmořská výška obce je 447 m n. m.

Z hlediska geomorfologie leží Babice v Šumavské soustavě, v podsoustavě Šumavské hornatiny, v celku Šumavského podhůří, podcelku Bavorovské vrchoviny a okrsku Netolické pahorkatiny. Netolická pahorkatina je na jihovýchodním konci Bavorské vrchoviny. Je to plochá pahorkatina z biotitických pararul, ortorul a granulitů moldanubika. Reliéf je mírně zvlněný erozně denudační s úklonem k severovýchodu (DEMEK 1987).

Z hlediska biogeografie patří území do provincie středoevropských listnatých lesů, hercynské subprovincie a do Českobudějovického bioregionu, kde bioregion má vyrovnané zastoupení rybníků, vlhkých luk, kulturních borů a orné půdy (CULEK 1996).



Obr. č. 14 Geografická poloha vybraného území (www.cuzk.cz, upraveno autorem)

3.1.2 Klimatické poměry

Území se nachází v klimatické oblasti MT 5 (mírně teplá oblast). QUITT (1971) charakterizoval oblast MT 5 jako oblast, kde je léto krátké, chladné až mírně chladné, suché až mírně suché. Přechodné období je postupně normální až dlouhé s mírným jarem a mírným podzimem. Zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s poměrně krátkým trváním sněhové pokrývky. Převládající směr větru je západní. Vybrané klimatické charakteristiky tohoto regionu jsou popsány v tab. č. 5.

Místní podnebí je utvářeno dvěma činiteli, jenž jsou hlavně typické pro utváření podnebí: poměrně mělká a široká pánev, která je ze všech stran uzavřená a přítomnost horských masívů Alp, Šumavy a Novohradských hor.

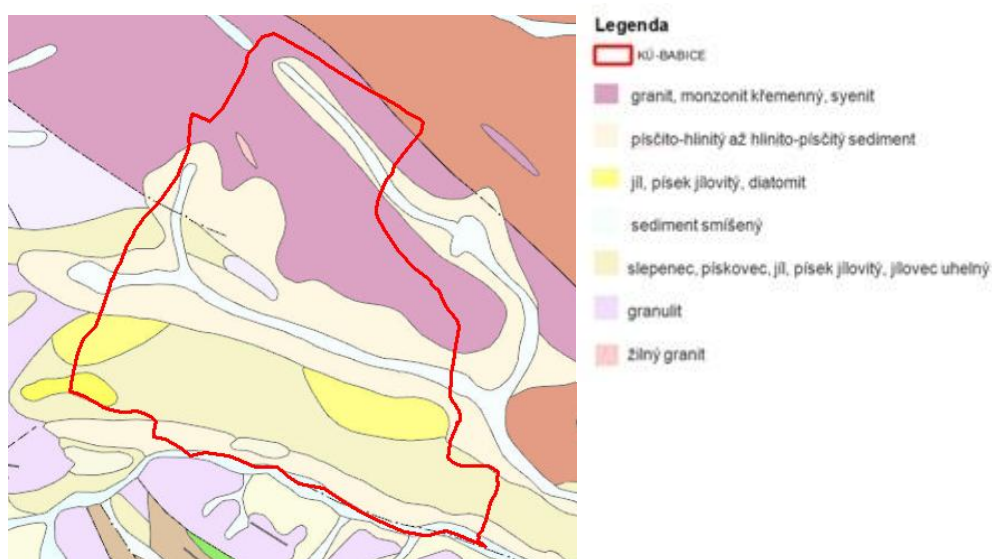
První činitel zapříčiňuje stékání a hromadění studeného vzduchu, což způsobuje extrémně nízké minimální teploty. Má též vliv na snížení rychlosti větru. Díky většímu počtu rybníků, je zde možné zaznamenat vyšší vlhkost vzduchu. Druhý činitel má značný vliv na oblačnost, srážky a teplotu vzduchu, což se projevuje fénovými vlastnostmi klimatu. V zimě, kdy převládá západní proudění, leží celá pánev v pásmu výrazného závětrného zeslabení, v létě, kdy převládá SZ a S proudění, se projevují vzdálená návětrí Novohradských hor. Nejvýrazněji se tento jev projevuje v množství zimních a letních srážek.

Tab. č. 5 *Klimatická charakteristika území (QUITT 1971)*

Vybrané klimatické charakteristiky	MT 5
Počet letních dnů	30 - 40
Počet mrazových dnů	130 - 140
Průměrná teplota v lednu v °C	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci v °C	16 - 17
Srážkový úhrn ve vegetačním období v mm	350 - 450
Srážkový úhrn v zimním období v mm	250 - 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60 - 100

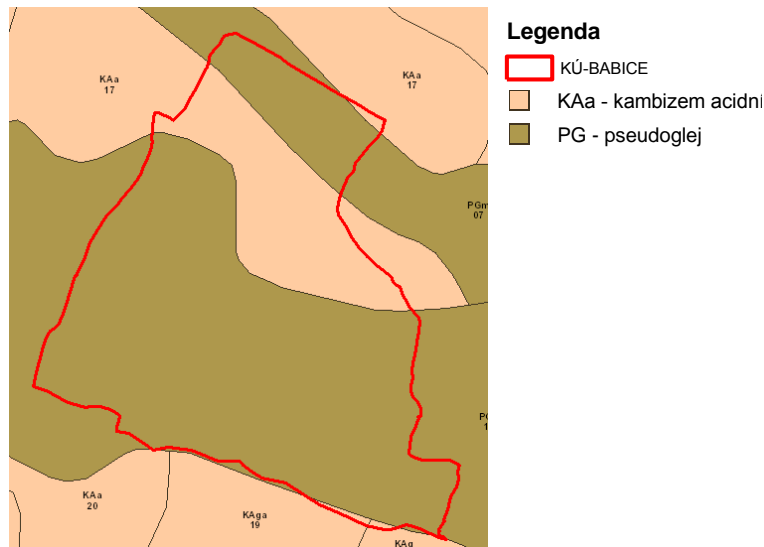
3.1.3 Geologické a pedologické poměry

Dominantními horninami jsou v řešeném území horniny mydlovarského souvrství, a sice jeho spodní část. Z období paleozoika se zde vyskytují porfyrické amfibolbiotitické melanokratické žuly. Území Netolické pahorkatiny je složeno z biotických pararul, ortorul a granulitů. Na experimentálních plochách se vyskytují jíly a jílovité písky, bazální slepence a pískovce a v okolí vodních toků smíšené sedimenty. V severní části vybraného území převažuje granit a křemenný monozit (obr. č. 15).



Obr. č. 15. Geologická mapa 1:50000 (www.geology.cz, upraveno autorem)

Na obr. č. 16 je vidět, že měření probíhalo převážně na pseudoglejích, které plošně převažují, a kambizemích. Kambizemě patří k nejrozšířenějším půdám v ČR a jsou typickými půdami pahorkatin a nižších a středních poloh vrchovin. Kambizemě jsou středně propustné. Půda po nasycení vodou zůstává vlhká několik dní a ve svažitém terénu je náchylná k vodní erozi. Pseudogleje se vyskytují v rovinnatějších prvcích reliéfu a v plochých depresích pásma pahorkatin a podhůří. Svým dominantním výskytem tak tento půdní typ potvrzuje téměř stejnorodý charakter jihovýchodní části území. Pseudogleje se vyznačují velmi hlubokým půdním profilem se středně hlubokou orníci hnědošedé barvy.

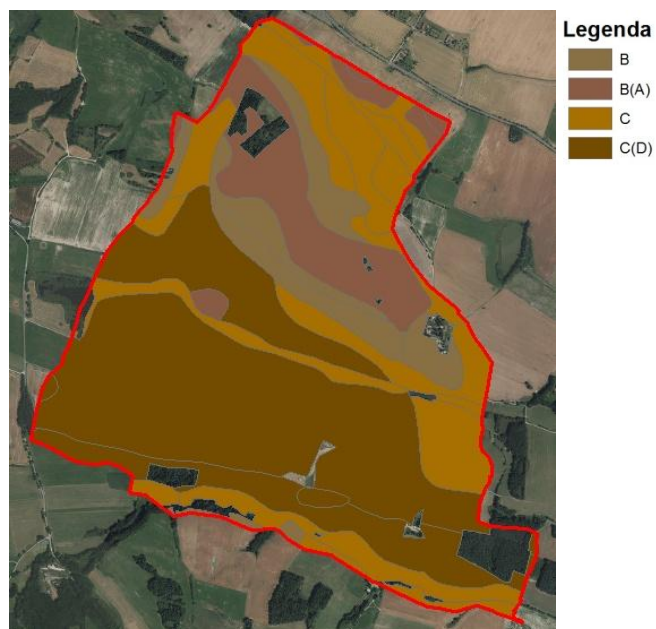


Obr. č. 16. *Mapa půdních typů* (www.geoportal.gov.cz, upraveno autorem)

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. 6 je uvedena podrobná charakteristika kódů BPEJ, které se nacházejí na místech, kde bylo prováděno měření.

Mimo jiné kód BPEJ, přesněji hlavní půdní jednotka, definuje rozdělení půd podle hydrologických skupin půd do čtyř skupin (A, B, C, D). Tato kategorizace podle hydrologických skupin půd definuje typickou rychlost infiltrace (JANEČEK A KOL. 2005). Obr. č. 17 znázorňuje hydrologické skupiny půd v katastrálním území Babice u Netolic.



Obr. č. 17 *Mapa hydrologických skupin půd* (VÚMOP Praha, upraveno autorem)

Tab. č. 6 *Popis kódu BPEJ na experimentálních plochách* (KLEČKA A KORBÍNI 1973, JANEČEK A KOL. 2005, upraveno autorem)

<i>Kód BPEJ</i>	<i>Klimatický region</i>	<i>Hlavní půdní jednotka</i>	<i>Svažitost a expozice</i>	<i>Hloubka půdy a skeletovitost</i>	<i>Substrát</i>	<i>Hydrologická půdní skupina</i>
5.53.01	MT 5	Pseudogleje	rovina, všesměrná	žádná až slabá, hluboká až středně hluboká	terciární substrát S /T	C /A/
5.29.14	MT 5	Kambizemě	mírný svah, všesměrná	střední, hluboká až středně hluboká.	svahoviny eruptiv, metamorfik IS-S	B
5.47.00	MT 5	Pseudogleje	rovina, všesměrná	žádná, hluboká	polygenetická hlína	C
5.32.14	MT 5	Kambizemě	mírný svah, všesměrná	střední, hluboká až středně hluboká	svahoviny eruptiv, metamorfik IS-L	B /A/

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb. charakterizuje vybrané bonitované půdně ekologické jednotky takto:

- HPJ 53 – Pseudogleje a kambizemě pseudoglejové na usazeninách limnického terciéru, středně těžké, s těžkou spodinou, obvykle bez šterku, málo propustné, dočasně zamokřené.
- HPJ 29 – Kambizemě typické a kambizemě dystrické a jejich slabě oglejené formy převážně na rulách, žulách a svorech a na výlevných kyselých horninách, středně těžké až lehčí, mírně šterkovité, většinou s dobrými vláhovými poměry.
- HPJ 47 – Pseudogleje na svahových hlínách, středně těžké až středně skeletovité nebo slabě kamenité, náchylné k dočasnému zamokření.
- HPJ 32 - Kambizemě typické a kambizemě dystrické na žulách, rulách, svorech a jim podobných horninách a výlevných kyselých horninách, většinou slabě až středně šterkovité, s vyšším obsahem hrubšího písku, značně vodopropustné, vláhové poměry jsou velmi závislé na vodních srážkách.

Znázornění jednotlivých lokalit

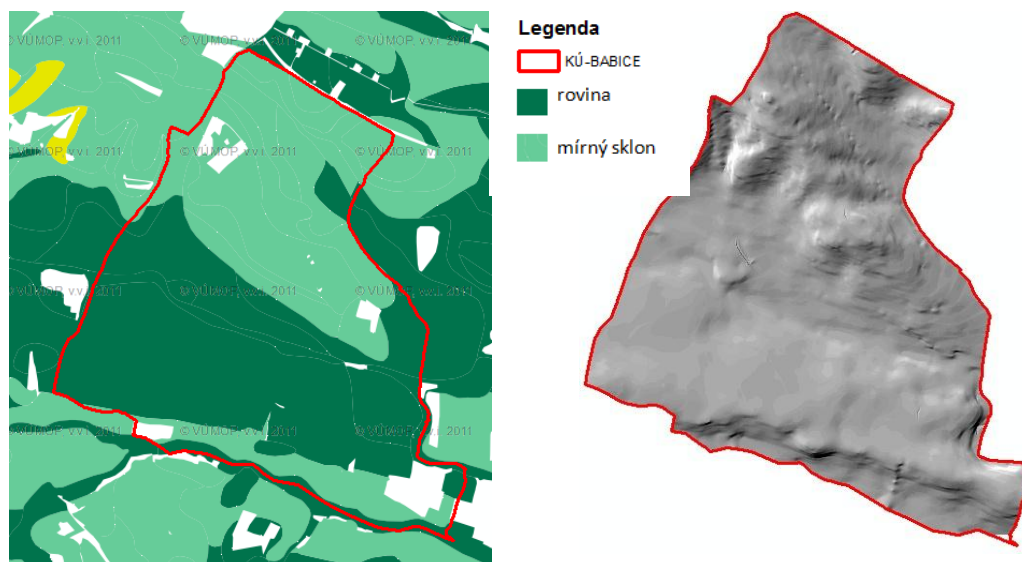
Na obr. č. 18 jsou znázorněny všechny lokality, na kterých bylo prováděno měření infiltračních schopností půd. Lokalita 1 (L1) se nachází jižně od intravilánu obce Babice na TTP. Na L1 se nachází hlavní půdní jednotka (HPJ) č. 47, můžeme ji tedy zařadit dle JANEČKA A KOL. (2005) do hydrologické skupiny C, půdy s nízkou rychlostí infiltrace. Lokalita 2 (L2) a lokalita 3 (L3) jsou situovány severozápadně od intravilánu na tzv. Pasekách (významný krajinný prvek). L2 a L3 se vyskytují na zemědělsky nevyužívaných trvalých travních porostech a jsou od sebe vzdáleny cca 100 m. L2 má HPJ č. 29, tedy hydrologická skupina B. L3 je na HPJ č. 32, tedy hydrologická skupina B /A/. Lokalita 4 (L4) leží západně od intravilánu obce Babice a je využívána jako trvalý travní porost. Tato lokalita spadá do hydrologické skupiny C /D/ a její HPJ je č. 53. K lokalitě 5 (L5), která leží přibližně 20 metrů od L3, náleží HPJ č. 32, avšak L5 je využívána jako orná půda.



Obr. č. 18 Mapa BPEJ – Znázornění experimentálních ploch (VÚMOP Praha, upraveno autorem)

3.1.5 Sklonitostní poměry

Jak lze vidět na obr. č. 19, vybrané území je převážně rovinaté s mírným sklonem. Dle charakteristiky VÚMOP Praha je rovina popsána jako území se sklonem 1° až 3° a pro mírný sklon jsou stanoveny hodnoty od 3° do 7° . Z digitálního modelu terénu (obr. č. 19) je patrné, že se v severnější části území nachází členitější terén než na zbytku katastrálního území.



Obr. č. 19 Znárodnění sklonitosti v území (VÚMOP Praha, upraveno autorem)

3.1.6 Hydrologické poměry

Vybrané území je odvodňováno východním směrem do rybníka Dehtář. Významnou vodotečí je Lužický potok, který pramení jižně od obce Lužice a protéká Lužickým rybníkem, dále obcí Babice a západně od obce Strýčice se vlévá do Babického potoka. Babický potok pramení v prostoru mezi Stříbrnou horou a Chrástfanským vrchem. Lužický i Babický potok mají mimořádný biologický význam s typickou vegetací olšin a vrbin kolem meandrujícího toku. Dále severozápadně od obce Zvěřetice pramení bezejmenná vodoteč, která protéká Hořejším zvěřetickým rybníkem, obcí Zvěřetice a vtéká do Lužického potoka. Širší hydrologické poměry jsou znázorněny na obr. č. 20.



Obr. č. 20 Hydrologické poměry v zájmové lokalitě – povodí Lužického potoka (www.heis.vuv.cz, upraveno autorem)

3.2 Použité metody – Kompaktní výtopový infiltrometr

Při terénním měření byl použit kompaktní výtopový infiltrometr. Toto zařízení pracuje na principu Mariottovy lahve a dokáže měřit kumulativní infiltraci do půdy z výtopy v malém kovovém válci. Do infiltrometru je voda přiváděna stejnou rychlostí jakou se vsakuje a zjišťujeme okamžité maximální hodnoty rychlosti infiltrace (intenzity vsaku) vody na zvoleném rozhraní půdního profilu. Přístroj je vhodný zejména pro měření velmi malých rychlostí infiltrace, neboť uzavřená konstrukce eliminuje vliv výparu a automatizace měření umožňuje libovolně dlouhou dobu měření. Infiltrometr je nezávislý na energetickém zdroji, avšak záznamové zařízení (datalogger) musí být připojeno k 12V baterii. Manipulace s přístrojem je usnadněna tím, že je přístroj umístěn v přenosném boxu, který chrání infiltrometr proti případnému poškození.

Přístroj byl u předchozího měření v rámci bakalářské práce kalibrován a hodnoty infiltrace u kompaktního infiltrometru byly srovnatelné s jednoválcovou výtopovou metodou.

Jak se zařízením pracovat, obsluhovat jej a podrobnější popis, jak kompaktní výtopový infiltrometr funguje, je zmíněn v kapitolách 2.5, 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, 4.1, 4.2 a 4.3.

3.3 Vyhodnocení měření dle Philipových infiltračních rovnic

Způsob řešení Johna Philipa vychází z Richardsových rovnic (RICHARDS 1931), které se transformují do difusního tvaru, přitom se zanedbá vliv gravitace. Poté se rovnice řeší s pomocí Boltzmanovy transformace. Výsledkem je výraz pro stanovení kumulativní infiltrace $i(t)$ v čase t , vyjádřený nekonečnou řadou ve tvaru:

$$i(t) = \sum_{n=1,2,3..}^{\infty} C_n t^{n/2} + k(k_i [H])t \quad (6)$$

kde C_n jsou odvozené n -té členy řady, t je čas), k ($k_i [H]$) je nenasycená hydraulická vodivost, která odpovídá počáteční vlhkosti $W_i [-]$. Dále byl zanedbán poslední člen v rovnici (6) a substitucí $n=2$ byla transformována rovnice (6) ve dvouparametrickou rovnici kumulativní infiltrace. KUTÍLEK A NIELSEN (1994), ŠTIBINGER (2006),

KOVÁŘ A ŠTIBINGER (2008) prokázali, že jak pro vodohospodářskou praxi, tak pro vědecké účely je aproximace $n=2$ použitelná aniž by došlo ke zkreslení popisu infiltračních procesů a znehodnocení výsledků. Takto upravená dvouparametrická rovnice kumulativní infiltrace Philipova typu má tvar:

$$i(t) = C_1 t^{1/2} + C_2 t \quad (7)$$

kde parametrem C_1 [$M.T^{-1/2}$] je udána sorpční schopnosti půdy a parametr C_2 [$M.T^{-1}$] charakterizuje déle trvající infiltraci. Kumulativní infiltrace $i(t)$ definuje množství infiltrované vody v určitém čase t převedené na jednotku délky.

Častější vyjádření rovnice (7) je pomocí symbolů sorptivity S [$M.T^{-1/2}$] a součinitele dlouhodobé infiltrace A [$M.T^{-1}$], který je fyzikálně velice blízký hodnotě hydraulické vodivosti K [$M.T^{-1}$], takže platí vztah:

$$i(t) = S t^{1/2} + A t \quad (8)$$

Pokud zderivujeme rovnici kumulativní infiltrace (8) podle času t , lze vyjádřit intenzitu infiltrace $v(t)$ [$L.T^{-1}$]. Rovnice intenzity infiltrace má tedy tvar:

$$v(t) = \frac{1}{2} S t^{-1/2} + A \quad (9)$$

Rovnice kumulativní infiltrace (8) a rovnice intenzity infiltrace (9) jsou nazývány jako zkrácené Philipovy infiltrační rovnice, přičemž tyto rovnice vhodným způsobem aproximují přírodní procesy vertikální infiltrace do nenasyceného pórovitého půdního prostředí. Použití Philipových infiltračních rovnic bylo mnohokrát otestováno v inženýrské vodohospodářské praxi a ve vědecké sféře (KULHAVÝ A KOL. 2012, PHILIP 1957).

3.3.1 Zpracování dat z infiltrometru

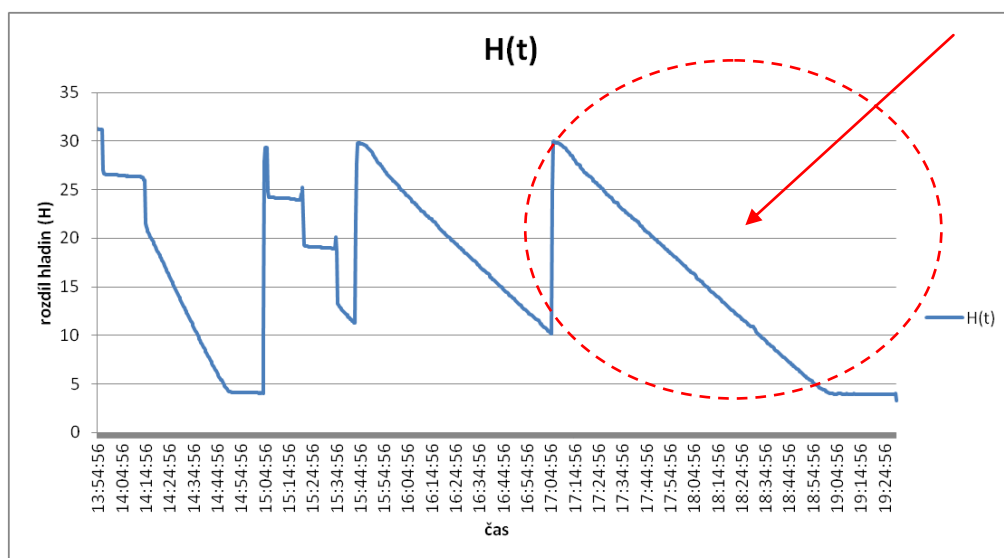
Nejprve byla naměřená data stažena z dataloggeru do PC za pomoci programu OM-PL Series Interface Software. Následně byla data z tohoto programu exportována do programu MS EXCEL 2007, který umožňuje přehlednější a jednodušší práci s daty. Naměřená data byla zpracována podle Philipových

infiltračních rovnic. Snahou bylo nastavení parametrů S a A v rovnici (8), případně (9) pro aproximaci infiltrační rychlosti.

Data uložená v dataloggeru byla v jednotkách mA a bylo nutno je převést na hodnotu výšky vodního sloupce H [cm]. Pro tuto operaci byl použit vzorec podle KULHAVÉHO A KOL. (2007):

$$H = 1,9019 * mA - 5,1481 \quad (10)$$

Dále bylo nutné vybrat optimální část dat z hodnot uložených na dataloggeru k aproximaci (obr. č. 21) a vhodný časový interval pro další výpočty a vyhodnocování. Při hledání vhodného časového intervalu bylo využito databázových operací MS EXCEL. Při hledání optimálního intervalu musel být zohledněn rozdíl úrovně hladiny na začátku a na konci měření. Tento rozdíl byl vydělen číslem 20 a následně odečten od úrovně horní hladiny. Interval se většinou pohyboval mezi 2 až 6 minutami.

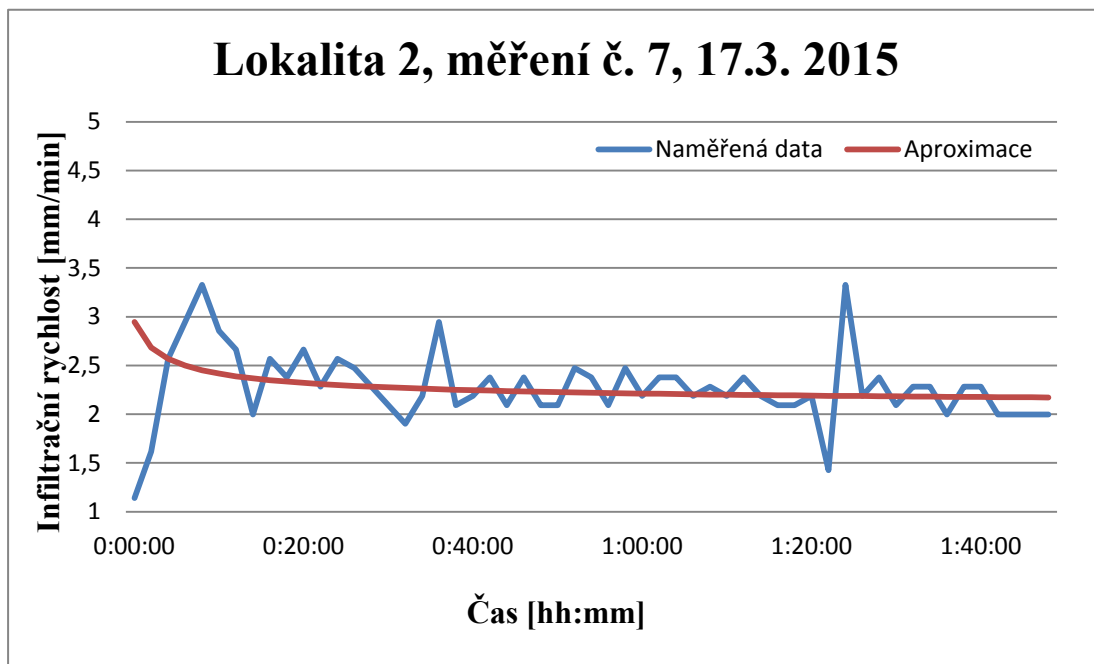


Obr. č. 21 Výběr vhodné části dat z dataloggeru k aproximaci

Ze získaných dat z dataloggeru byla vypočtena infiltrační rychlost v mm/min . A to odečtením hodnot od předchozí úrovně hladiny byly vypočítány diference změny infiltrační rychlosti. Z podílu těchto diferencí a časového intervalu byla stanovena infiltrační rychlost.

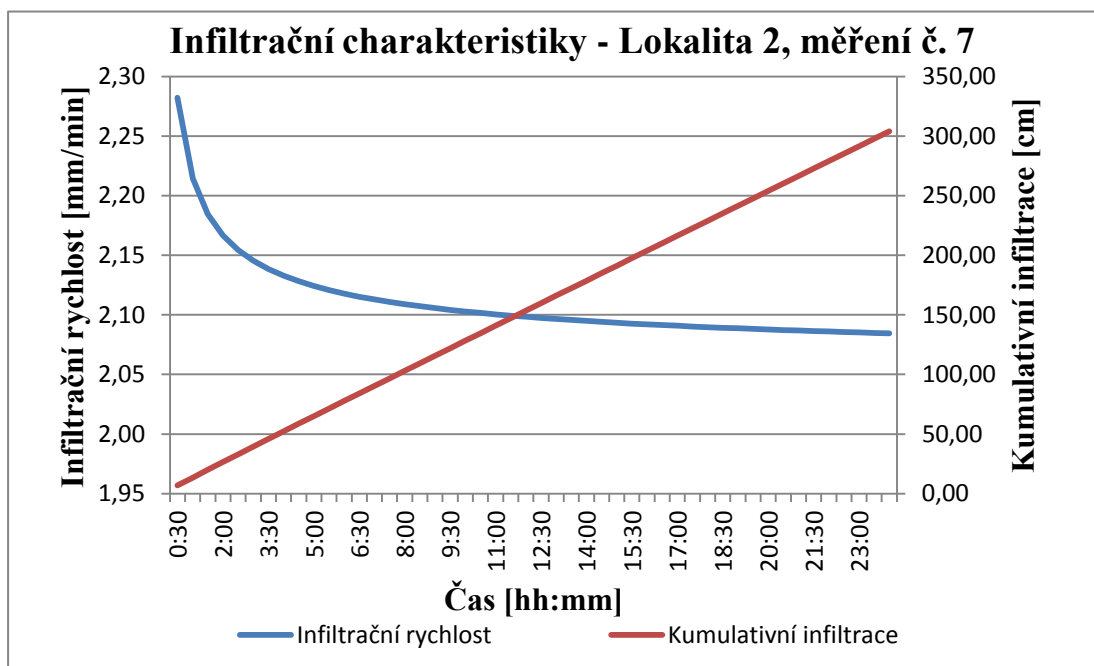
Nyní byla získaná data připravena k aproximaci dle PHILIPA (1957), ke které bylo využito rovnice (9). Optima parametrů S a A byly zjištěny pomocí

metody nejmenších čtverců a následně dopočítávány za pomoci nástroje „Řešitel“ v programu MS EXCEL 2007. Tento nástroj citlivostní analýzy slouží k vyhledávání optimální hodnoty cílové buňky tak, že mění hodnoty v buňkách použitých k výpočtu cílové buňky. Pomocí parametrů S a A z rovnice (9) bylo možné stanovit hodnoty infiltrační rychlosti v určitém čase a vynést tyto hodnoty do grafů (obr. č. 22).



Obr. č. 22 Skutečná a aproximovaná rychlost infiltrace

Výsledné parametry z aproximace byly použity pro extrapolaci na dobu trvání zkoušky či jiné časové období (obr. č. 23) a pro výpočet K.



Obr. č. 23 Extrapolace infiltračních charakteristik podle Philipových rovnic

4. TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Terénní měření probíhalo v období od první poloviny měsíce března 2015 do první poloviny dubna 2015 v okolí obce Babice, která se nachází mezi Prachaticemi a Českými Budějovicemi. Při terénním měření byla použita přetlaková metoda měření infiltrace, a to pomocí kompaktního výtopového infiltrometru (obr. č. 24). Na vybraných lokalitách bylo celkem provedeno 26 pokusů, což vykazovalo velkou časovou náročnost vzhledem k tomu, že každý z pokusů trval 2 až 4 hodiny. Při terénním měření byly vybrány experimentální plochy, které jsou řazeny do různých hydrologických skupin půd. Jak je vidět v tab. č. 3, hydrologické skupiny půd rozdělil JANEČEK A KOL. (2005) do 4 skupin na základě typické rychlosti infiltrace vody do půdy. Měření se uskutečnilo na hydrologické skupině zařazené do kategorie C (2 různé lokality z hlediska využití území), dále na skupině B a B /A/ a C /D/. Všechny experimentální plochy jsou znázorněny na obr. č. 18 a obr. č. 25. Lokality, ve kterých bylo prováděno měření, jsou od sebe vzdáleny maximálně několik set metrů.



Obr. č. 24 *Kompaktní infiltrometr s dataloggerem Omega připojený na 12 V baterii (Foto: Jiří Pivoňka)*

Infiltrometr při jednotlivých měření nestál vždy na stejném místě, ale byl přesunut o 2 metry od místa předchozího měření, čímž byla vytvářena pravidelná síť. Na lokalitě 1 bylo provedeno celkem 5 měření kompaktním výtopovým infiltrometrem. L1 se nachází na HSP C. Na lokalitě 2 bylo provedeno celkem 6 pokusů a byla zařazena do HSP B. Na L3, L4, L5 bylo změřeno celkem 5 pokusů.

Všechny lokality se nacházejí na trvalých travních porostech, s výjimkou L5, která je na orné půdě. Blíže jsou lokality popsány v tab. č. 7, případně v tab. č. 6.

Tab. č. 7 Popis jednotlivých lokalit, počet měření a zařazení do HSP

Lokalita	Počet měření	Hydrologická skupina půd	Využití území	Hlavní půdní jednotka
L1	5	C	TTP	47 - Pseudogleje
L2	6	B	TTP	29 – Kambizemě
L3	5	B /A/	TTP	32 - Kambizemě
L4	5	C /D/	TTP	53 - Pseudogleje
L5	5	B /A/	Orná půda	32 - Kambizemě



Obr. č. 25 Vyznačení všech lokalit v rámci k.ú. Babice, povodí Lužického toku (ww.cuzk.cz, upraveno autorem)

4.1 Pomůcky

Měření infiltračních charakteristik bylo prováděno pomocí kompaktního výtopového infiltrometru a dataloggeru Omega OM-PL420, který byl připojen k přístroji. Datalogger musel být připojen ke zdroji elektrické energie, takže dále musela být využita 12 V baterie (obr. č. 26). Dalšími nezbytnými pomůckami byly

plastové barely a lahve s vodou, trychtýř, voltmetr, nabíječka k baterii, mazací tuk, libela, metr, nůž, stopky, psací potřeby a zápisník. Jelikož datalogger (obr. č. 27) uchovává v paměti pouze jedno měření, bylo nutné mít nablízku notebook pro stažení a uložení dat.



Obr. č. 26 Přenosná baterie (Foto: Jiří Pivoňka)



Obr. č. 27 Datalogger Omega OM-PL420 (Foto: Jiří Pivoňka)

4.2 Přípravné práce

Nejprve muselo být zajištěno dostatečné množství vody pro celou dobu měření. Voda byla uchovávána v plastových lahvích s objemem 2 litry a kontinuálně doplňována po celý průběh měření. Mezi výhody kompaktního výtopového infiltrometru oproti jiným metodám měření infiltrace patří, že při měření je spotřebovaný objem vody mnohem menší.

Pokud to bylo nutné, muselo být vybrané místo zbaveno vegetačního pokryvu. Tento úkon spočíval v zastříhnutí pokryvu pomocí nůžek nebo nože tak, aby bylo možné umístit válec do povrchu půdy. Příprava zařízení před měřením spočívá také v nastavení dataloggeru. Na dataloggeru je nezbytné nastavit aktuální datum, čas a interval záznamu. Interval záznamu byl nastaven na 20 sekund.

Před zahájením měření bylo nutné provést montáž zásobní nádrže. Montáž nádrže spočívá v zašroubování kapacitního čidla (obr. č. 28), které musí být vzduchotěsně uzavřeno. Pro tento účel je třeba použít při montáži mazací tuk. Na horní kontakty čidla byl nasunut konektor a přišroubován propojovací kabel. Do horní průchodky byla zasunuta zavzdušňovací trubička a následně zkontrolován stav pryžového těsnění a pohyblivost převlečné matice. Opět bylo důležité využít mazací tuk k zajištění vzduchotěsnosti spoje při utažení převlečné matice (ošetření pryžového O-kroužku a části zavzdušňovací trubičky). Následuje kontrola kompletnosti přístroje a funkčnosti jednotlivých dílů, například pohyblivost dolního

ventilu, pohyblivost uzávěru nalévacího otvoru, těsnost horní kovové příruby a nastavení úchytů zářezacího prstence, dále kontrola stavu pryžových těsnění a jejich případná výměna a doplnění servisní sady.



Obr. č. 28 Kapacitní čidlo a úroveň vysunutí zavzdušňovací trubičky (Foto: Jiří Pivoňka)

Důležitým úkonem bylo uzavření dolního ventilu (obr. č. 29), tzn. překloupnout otočnou páčku do vodorovné polohy. Byl povolen a vymontován uzávěr nalévacího otvoru. Následně mohlo být přistoupeno k naplnění zásobní nádrže vodou. Úroveň, do které se voda doplňuje, je maximálně 2 cm pod dolní okraj kovové příruby (víka zásobní nádrže). Nad touto úrovní není výška hladiny čidlem registrována, což může zkreslit výsledky měření. Z tohoto důvodu byla na plexisklovém válci vyznačena ryska pro maximální hladinu. Nyní byla zašroubována a utažena zásepka v nalévacím otvoru. Opět byl použit mazací tuk pro dosažení co největší vzduchotěsnosti.



Obr. č. 29 Uzavřený vypouštěcí ventil infiltrometru (Foto: Jiří Pivoňka)

Dalším krokem bylo připojení dataloggeru k přístroji pomocí propojovacího kabelu a také propojit datalogger s 12 V baterií. Zásadní bylo dodržet polaritu. Tedy červený kladný pól baterie spojit s červeným kabelem a modrý záporný pól s modrým kabelem. Výrobce dle návodu doporučuje den předem zkontrolovat, zda je baterie nabitá (nabití může trvat až 1 den). Dále byla zkontrolována 9 V baterie v dataloggeru (proměření napětí voltmetrem).

Kompletní, vodou naplněná a elektrickými kabely k dataloggeru připojená zásobní nádrž byla odsunuta na odstavnou podložku do svislé polohy a přitom nesměla být dolní strana přístroje znečištěna. Poté se již mohlo přistoupit k zatlučení zářezacího kroužku infiltrometru (obr. č. 31) do povrchu půdy. Ocelový zářezací kroužek byl zatlučen do povrchu pomocí zářezacího zařízení (obr. č. 30) tak, aby horní okraj kroužku byl zhruba 1 až 2 cm nad povrchem půdy, případně také až zároveň s povrchem půdy. Byl kladen důraz na to, aby byl válec zaražen vodorovně s povrchem půdy.



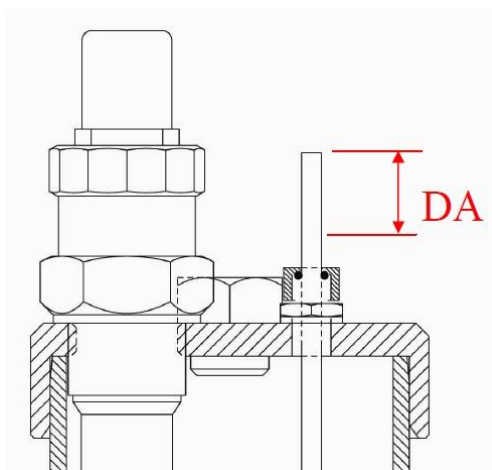
Obr. č. 30 Zářezací zařízení (Foto: Jiří Pivoňka)



Obr. č. 31 Ocelový zářezací kroužek (Foto: Jiří Pivoňka)

Následujícím krokem bylo nasazení a upevnění zásobní nádrže infiltrometru na ocelový zářezací kroužek. Muselo být postupováno velmi opatrně kvůli zachování těsnosti zářezacího válce do půdy a pohnutí zeminy v zářezacím kroužku. Poté byla

dle předpokládané hydraulické vodivosti půdy zvolena úroveň zasunutí zavzdušňovací trubičky do Mariottovy lahve. Utažením převlečné matice byl nastaven konstantní hydrostatický tlak na povrch půdy a diference výšky vysunutí zavzdušňovací trubičky nad úroveň dolního dorazu trubičky na dno zásobní nádrže byla zaznamenána do protokolu jako hodnota DA, resp. A (obr. č. 32). Nastavený hydrostatický tlak (H) se vypočte jako součet: $H = A+B+C$ (obr. č. 34).



Obr. č. 32 Znárodnění vysunutí zavzdušňovací trubičky (manuál přístroje)

Následovalo vyplnění protokolu o měření, kde bylo znázorněno území na náčrtu a zaznamenána výška prostoru mezi horním okrajem zářezového kroužku a povrchem půdy (aritmetický průměr třech měření na diagonálách). Dále byl zaznamenán čas a výška hladiny na začátku a na konci měření a případně také čas dolítí vody do válce. V protokolu byl také zapsán typ přístroje, označení dataloggeru a úroveň zasunutí zavzdušňovací trubičky Mariottovy lahve.

4.3 Proces vlastního měření

Po provedení všech přípravných prací (max. 15 minut) bylo postoupeno k samotnému měření infiltračních charakteristik. Cca 1 až 3 minuty před zahájením měření byl spuštěn datalogger. Tato doba umožní dataloggeru identifikovat a registrovat počáteční úroveň hladiny. Zapnutí dataloggeru bylo provedeno tak, že se uzavřela dvířka konektoru na dataloggeru. Pokud jsou dvířka otevřena, data nejsou registrována do paměti, a proto se nesmí v průběhu měření s dvířky nijak manipulovat. Pokaždé po znovuotevření dvířek je třeba data stáhnout do PC a vymazat paměť, protože datalogger má paměť pouze jen na jedno měření a nová

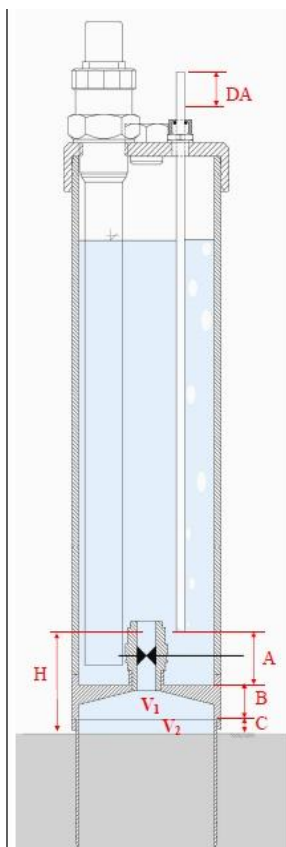
data by se neukládala. Datalogger indikuje svou správnou funkci blikáním zelené LED diody na přední části.

Po uplynutí doby, kterou potřebuje datalogger pro registraci hladiny, byl otevřen průtokový ventil (pootočen o 90° do vodorovné polohy) u zásobní nádrže. Po otevření dojde během několika vteřin k zaplnění prostoru mezi povrchem půdy a horním okrajem zářezového kroužku ($V_1 + V_2$, viz obr. č. 34). Jak je vidět na obr. č. 33, toto se projevovalo intenzivním výronem bublin ze středového otvoru ventilu v zásobní nádrži. Toto výrazné bubláni ustalo po několika vteřinách a bublinky se začaly objevovat na dolním konci zavzdušňovací trubičky. Existence těchto bublinek nám signalizuje funkčnost Mariottovy lahve a intenzita bubláni udává rychlost infiltrace vody.



Obr. č. 33 *Výron bublin při plnění prostoru pod infiltrometrem (Foto: Jiří Pivoňka)*

Voda v nádrži se nechala odtékat až do úrovně zhruba 1 cm nad horní okraj výpustného ventilu, případně do úrovně cca 1 cm nad dolní okraj zavzdušňovací trubičky. Pokud by hladina vody klesla níž, Mariottova lahev by přestala plnit svou funkci (nastala by infiltrace s proměnným spádem). Když se přiblížila hladina vody k této limitní hranici, byl uzavřen dolní ventil (pootočen do svislé polohy), otevřen nalévací otvor a dolita voda až pod vyznačenou rysku. Poté byl nalévací otvor znovu vzduchotěsně uzavřen a dolní ventil otevřen. Celá tato operace musela být provedena v co nejkratším časovém intervalu.



DA – diference 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 – měřeno v terénu [mm]

$V = V_1 + V_2$ [ml, cm³]

V₁ – uvádí výrobce

V₂ – měřeno v terénu

Obr. č. 34 Schéma kompaktního přetlakového infiltrometru (manuál přístroje)

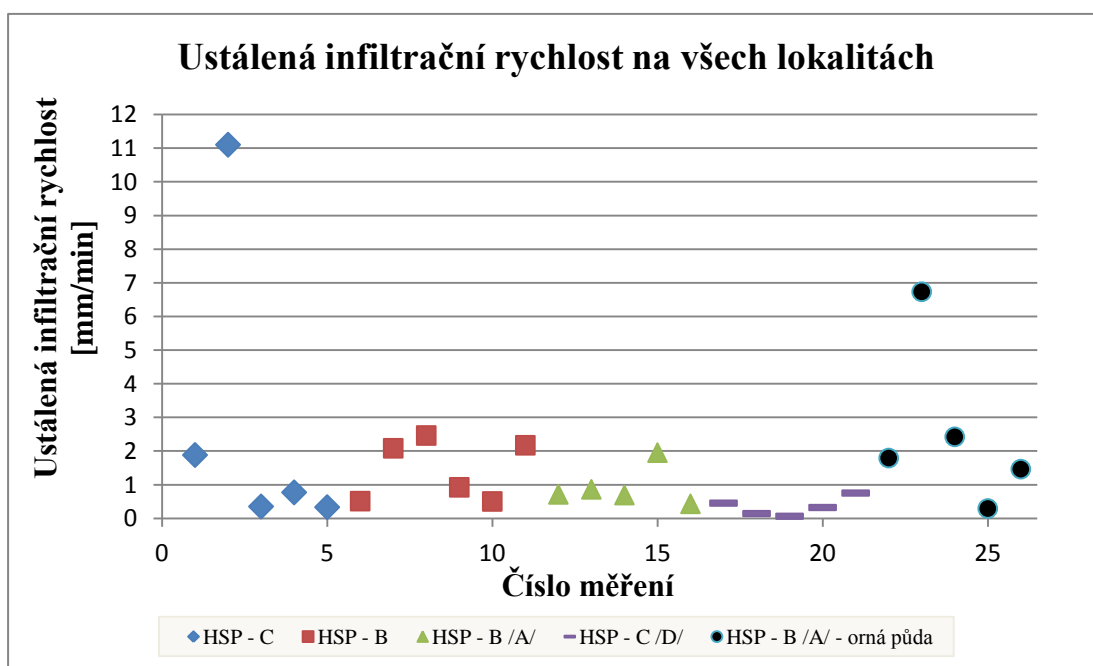
Měření bylo ukončeno v dobu, kdy se doba infiltrace ustálila. Toto kritérium bylo obtížné v terénu stanovit a bylo vyhodnocováno pomocí vizuální kontroly, když byl počítán počet bublin unikajících z konce zavzdušňovací trubice za určitý časový interval (většinou 1 min). Další možností bylo měřit pokles hladiny v nádrži za daný časový úsek. Pokud se ve zvoleném časovém intervalu opakovala 3x stejná diference, bylo měření považováno za ustálené. Měření bylo ukončeno pootočením dolního ventilu do vodorovné polohy. Dle manuálu přístroje je doporučená doba měření minimálně 2 hodiny.

Po uzavření dolního ventilu se vyčkalo 3 minuty než datalogger zaregistruje hladinu na konstantní úrovni a až posléze byl datalogger odpojen od celé soustavy. Následně byla naměřená data stažena přímo v terénu do notebooku a datalogger vymazán tak, aby bylo ho možné použít pro další měření. Nyní se již mohla odpojit zásobní nádrž od zářecího kroužku, který také mohl být vyjmut z půdního profilu. Celý tento proces měření infiltrace pomocí kompaktního infiltrometru byl opakován na dalších lokalitách.

Měření s kompaktním výtopovým infiltrometrem a dataloggerem Omega nebylo složité, avšak velmi časově náročné, neboť jeden pokus trval minimálně 2 hodiny. Infiltrometr potřeboval pouze minimální obsluhu v průběhu měření a byl nenáročný na objem spotřebované vody. Kompaktní infiltrometr je určen především pro měření velmi malých rychlostí infiltrace u málo propustných půd, jelikož vzduchotěsné konstrukční řešení přístroje eliminuje vliv výparu a automatizace měření umožňuje v podstatě jakkoliv dlouhou dobu měření.

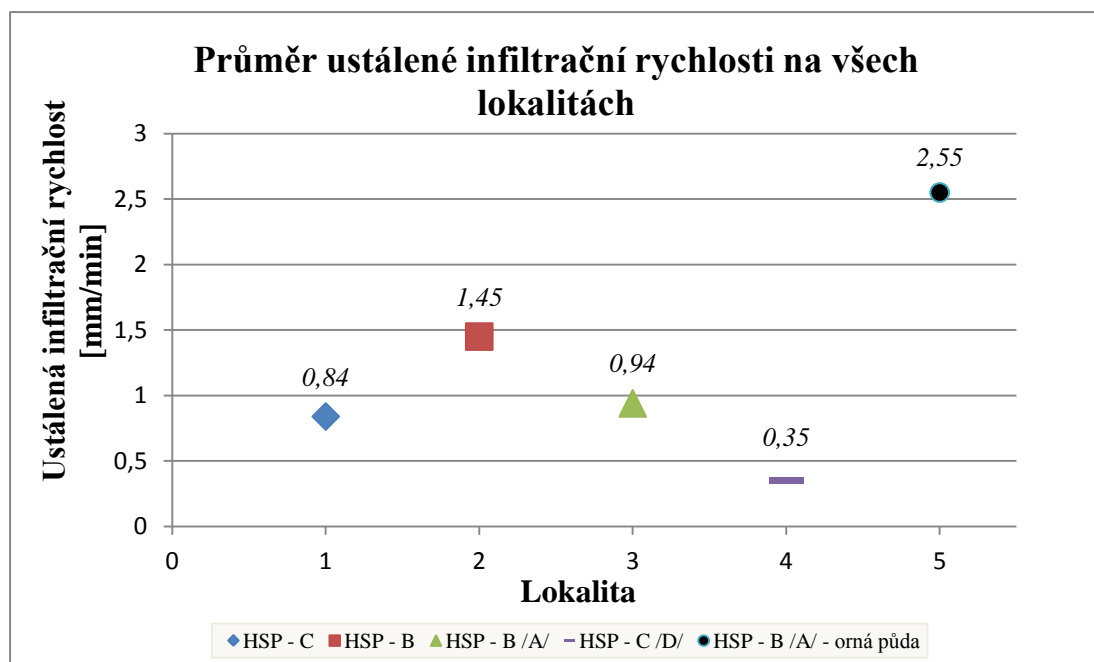
5. VÝSLEDKY A DISKUSE

Kompaktním infiltrometrem bylo provedeno celkem 26 infiltračních pokusů na 5-ti odlišných lokalitách (obr. č. 35, obr. č. 36) v rámci jednoho katastrálního území a jednoho povodí. Lokality se lišily především v zařazení do hydrologických skupin půd (HSP), ale také rozdílným využitím území. V rámci této práce byla porovnávána ustálená infiltrační rychlost na čtyřech různých BPEJ, tedy i na odlišných hydrologických skupinách. Dále byla srovnávána rychlost infiltrace na stejné HSP, avšak na půdě s odlišným využitím území (TTP a orná půda). Měření č. 1 až měření č. 21 bylo uskutečněno na TTP a měření č. 22 až měření č. 26 na orné půdě. U každého měření byla také stanovena hodnota nasycené hydraulické vodivosti K . Hodnota ustálené infiltrační rychlosti byla odvozována pomocí Philipových rovnic.



Obr. č. 35 Srovnání rozdílů infiltrační rychlosti na všech lokalitách

Z obr. č. 35 je patrné, že měření prokázala poměrně velkou vyrovnanost a z průměru výrazněji vybočovaly pouze měření č. 2 a měření č. 23. Nejmenší rozptyl u jednotlivých měření byl u HSP C /D/ na L5 a naopak nejvíce rozptýleny byly hodnoty měřené na orné půdě.



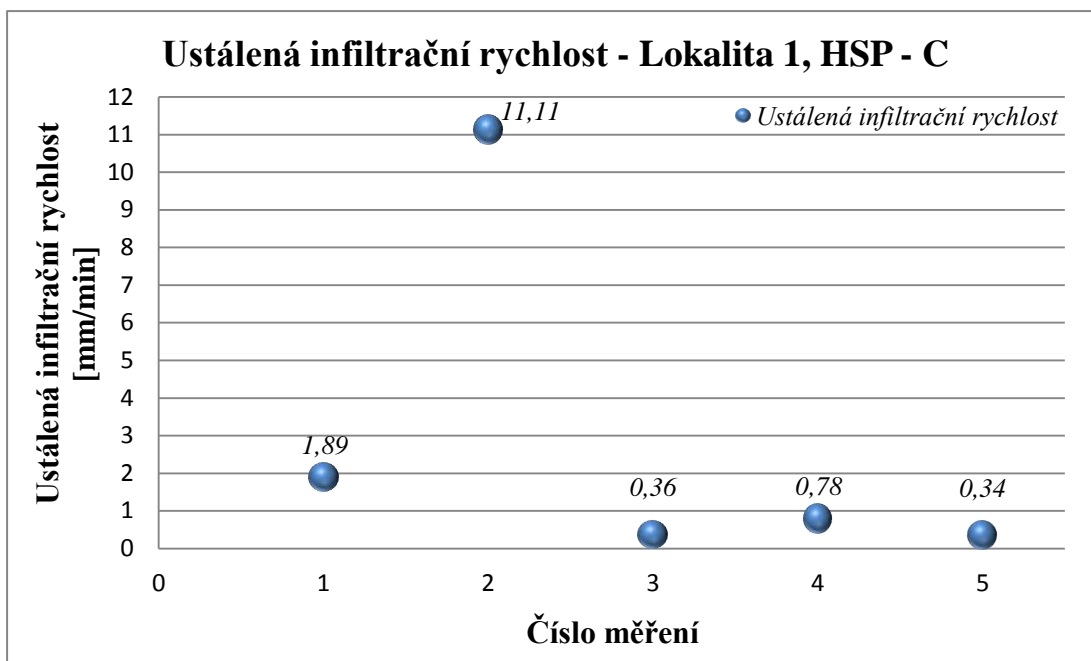
Obr. č. 36 Srovnání průměrné infiltrační rychlosti na jednotlivých lokalitách

5.1 Lokalita 1

Na lokalitě 1 proběhlo celkem 5 měření. Měření č. 2 se výrazně lišilo od ostatních čtyř měření. Jak je vidět z obr. č. 37, naměřená infiltrační rychlost byla cca o řád vyšší, což mohlo být způsobeno např. preferenčními cestami, které v půdě vytvořil edafon. Vliv činnosti edafonu při dlouhodobém měření infiltrace zkoumal také PELÍŠEK A KOL. (2013) v jehož výzkumu se projevila variabilita hodnot infiltrace vody, neboť edafon, zejména žížaly a drobní savci, utvářejí v půdě z části proměnlivou a z části stabilní síť chodeb. Taktéž podle prováděných měření VIČANOVÉ A KOL. (2008) preferenční cesty ovlivnily průběh infiltračního pokusu a současně uvádí, že tato měření, která mají odchylku, se do průměru nezapočítávají. Jelikož měření č. 2 bylo zatíženo chybou, tak v průměru nebylo zohledněno. Jak je vidět v tab. č. 8, průměr ustálené infiltrační rychlosti na L1 byl 0,84 mm/min.

Tab. č. 8 Infiltrační charakteristiky na L1

Číslo měření	Infiltrační rychlost - naměřená [mm/min]	Ustálená infiltrační rychlost – dle Philipových rovnic [mm/min]	Průměr ustálené infiltrační rychlosti [mm/min]	Nasycená hydraulická vodivost K [mm/min]
1	1,99	1,89	0,84	1,9222
2	10,71	11,11		11,1507
3	0,70	0,36		0,6274
4	1,02	0,78		0,8424
5	0,37	0,34		0,3509



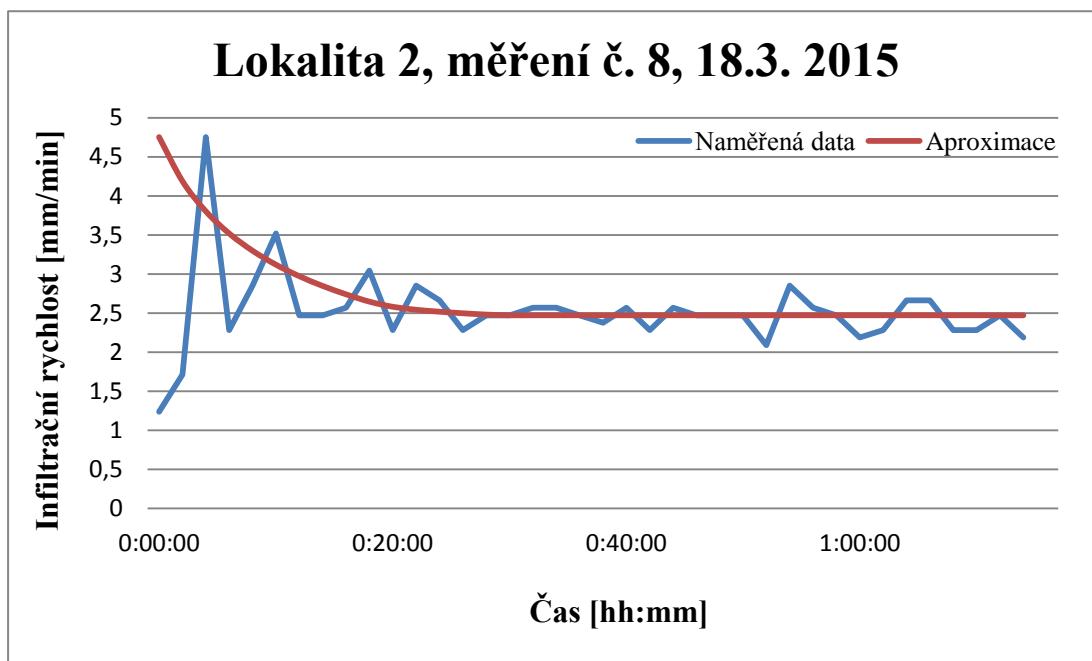
Obr. č. 37 Ustálená infiltrační rychlost na L1

5.2 Lokalita 2

Na lokalitě 2 bylo uskutečněno 6 měření. Měření na této lokalitě nebyla tak vyrovnaná jako u L1, avšak rozptyl nebyl nijak výrazný a žádné měření nevybočilo z řady. Nejnižší rychlost byla u měření č. 10, a to 0,51 mm/min, a naopak nejvyšší infiltrační rychlost měla hodnotu 2,47 mm/min a byla naměřena v pokusu č. 8 (obr. č. 38). Zajímavé je, že tyto 2 měření, která měla největší rozptyl, se uskutečnila ve stejný den na místech vzdálených od sebe cca 2 metry. U kompaktního přetlakového infiltrometru bývá tento rozptyl na stejné lokalitě častý, což potvrdil i PELÍŠEK A KOL. (2013), který měl rozptyl při dlouhodobém měření na totožné lokalitě od 0,33 mm/min do 9,0 mm/min a měření se taktéž uskutečnila v jeden den. Tab. č. 9 ukazuje, že průměrná ustálená infiltrační rychlost činila 1,45 mm/min.

Tab. č. 9 *Infiltrační charakteristiky na L2*

Číslo měření	Infiltrační rychlost – naměřená [mm/min]	Ustálená infiltrační rychlost – dle Philipových rovnic [mm/min]	Průměr ustálené infiltrační rychlosti [mm/min]	Nasyčená hydraulická vodivost K [mm/min]
6	0,52	0,52	1,45	0,5230
7	2,17	2,09		2,1112
8	2,47	2,47		2,4724
9	0,96	0,93		0,9433
10	0,52	0,51		0,5158
11	2,28	2,18		2,2051



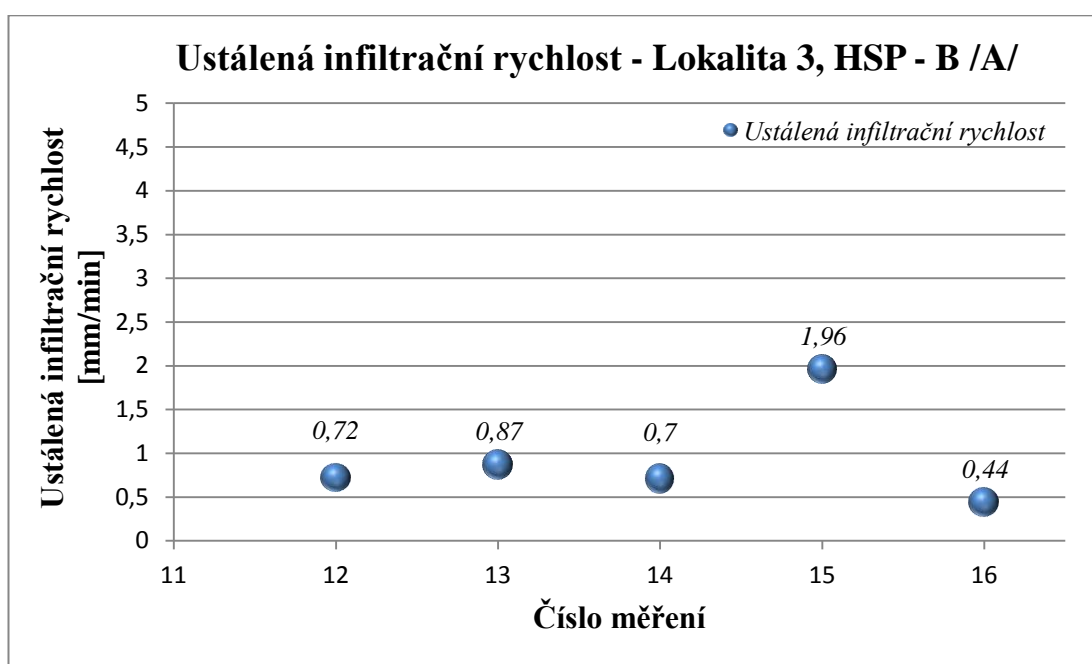
Obr. č. 38 *Graf rychlosti infiltrace na lokalitě 2, měření č. 8*

5.3 Lokalita 3

Na třetí lokalitě bylo infiltrometrem změřeno celkem 5 pokusů. Nejvyšší naměřená ustálená infiltrační rychlost byla u měření č. 15 (1,96 mm/min). Jak lze vidět z tab. č. 10, infiltrační rychlost u ostatních pokusů na této lokalitě nepřesáhla hodnotu 1 mm/min a všechna měření neměla velkou odchylku od průměru. Průměrná infiltrační rychlost byla stanovena na 0,94 mm/min.

Tab. č. 10 *Infiltrační charakteristiky na L3*

Číslo měření	Infiltrační rychlost – naměřená [mm/min]	Ustálená infiltrační rychlost – dle Philipových rovnic [mm/min]	Průměr ustálené infiltrační rychlosti [mm/min]	Nasycená hydraulická vodivost K [mm/min]
12	0,77	0,72	0,94	0,7378
13	0,99	0,87		0,9089
14	0,77	0,70		0,7218
15	3,11	1,96		2,6627
16	0,55	0,44		0,4822

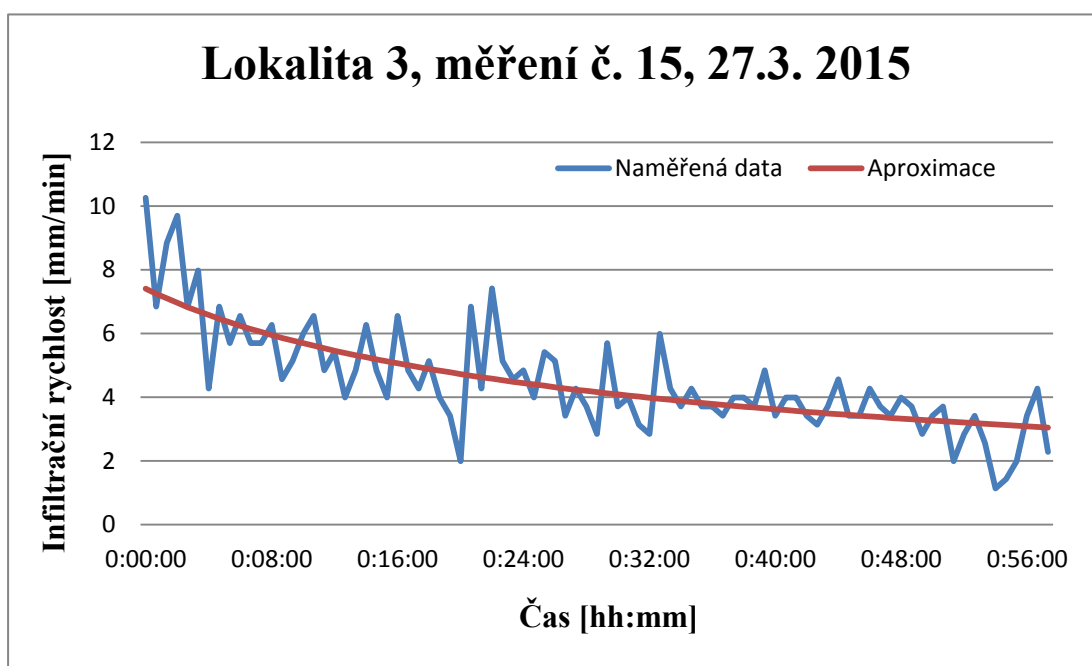


Obr. č. 39 *Ustálená infiltrační rychlost na L3*

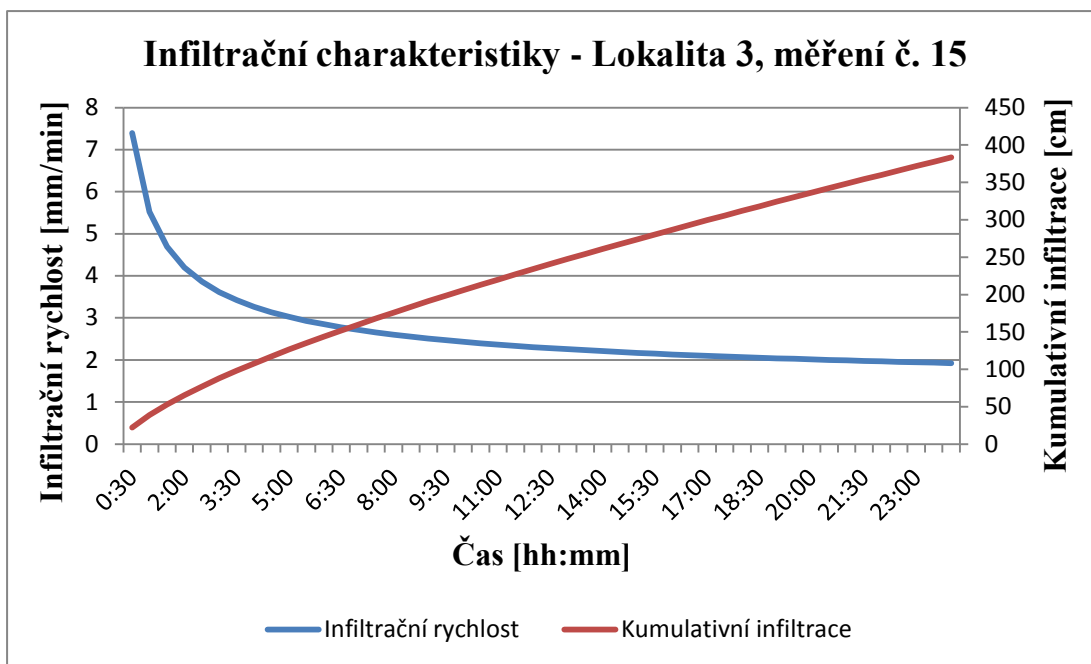
U zmiňovaného měření č. 15 byla naměřena vyšší infiltrační rychlost oproti průměru, a to 3,11 mm/min. Z obr. č. 40 je patrné, že se rychlost infiltrace ve vybraném úseku na konci měření neustálila a dále by zřejmě klesala, čímž byla potvrzena vyrovnanost všech získaných hodnot na této lokalitě. Ustálení infiltrační rychlosti se v terénu obtížně stanovuje a měření č. 15 bylo ukončeno dříve, než se rychlost skutečně ustálila, přestože doba infiltračního pokusu byla 2 hodiny a 16 minut. Předčasné ukončení měření se projevilo také na extrapolaci pomocí Philipových rovnic, kde se rychlost infiltrace zastavila na hodnotě 1,96 mm/min (obr. č. 41), avšak lze předpokládat, že při ponechání přístroje na daném místě by rychlost byla ještě nižší. KULHAVÝ A KVÍTEK (2010) uvádějí, že k ukončení

zkoušky lze přistoupit, pokud tři po sobě jdoucí poklesy hladiny v zásobní nádrži byly uskutečněny ve stejném či přibližném časovém intervalu. Tato podmínka byla u měření č. 15 splněna, avšak po vyhodnocení bylo zjištěno, že k ustálení rychlosti nedošlo.

Lokalita 3 (HSP - B/A/) byla svým charakterem z hlediska popisu území velmi podobná předchozí L2 (HSP - B). Průměrné ustálené rychlosti nebyly na těchto dvou lokalitách nějak výrazně rozdílné (obr. č. 36). Podle metodiky JANEČKA A KOL. (2005) by HSP B/A/, tedy lokalita 3, měla mít vyšší infiltrační rychlost než HSP /B/, avšak toto tvrzení nebylo při měření potvrzeno.



Obr. č. 40 Graf měření č. 15, znázornění špatného odhadu ustálení rychlosti infiltrace



Obr. č. 41 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 15

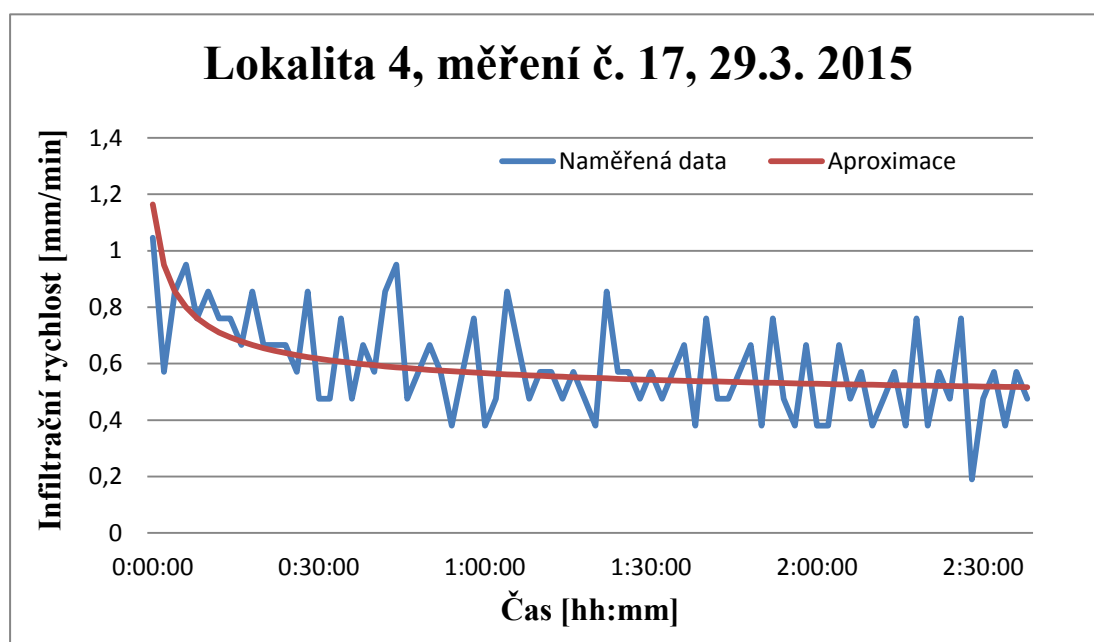
5.4 Lokalita 4

Všech 5 měření na čtvrté lokalitě se vyznačovalo velkou vyrovnaností. Jak ukazuje tab. č. 11, rozdíl v nejnižší a nejvyšší naměřené infiltrační rychlosti je pouze 0,63 mm/min. Průměrná ustálená infiltrační rychlost na L4 měla hodnotu 0,35 mm/min, což je ze všech měřených lokalit nejnižší rychlost infiltrace a odpovídá to také metodice JANEČKA A KOL. (2005), která udává pro hydrologickou skupinu půd D nejnižší rychlost infiltrace ze všech čtyř HSP. L4 se nachází na HSP – C/D/, tedy přechod mezi C a D. HSP – D se ve vybraném území nenachází.

Tab. č. 11 Infiltrační charakteristiky na L4

Číslo měření	Infiltrační rychlost – naměřená [mm/min]	Ustálená infiltrační rychlost – dle Philipových rovnic [mm/min]	Průměr ustálené infiltrační rychlosti [mm/min]	Nasycená hydraulická vodivost K [mm/min]
17	0,52	0,46	0,35	0,4843
18	0,19	0,15		0,1668
19	0,07	0,07		0,0697
20	0,38	0,33		0,0577
21	0,70	0,76		0,1287

Na rozdíl od předchozí lokality, kde u měření č. 15 bylo nesprávně stanoveno ustálení infiltrační rychlosti, tak na L4 měla všechna měření správný průběh a vždy se povedlo odhadnout dobu, kdy se infiltrace ustálila. Ustálení infiltrace lze vidět u měření č. 17 na obr. č. 42, rychlost infiltrace s průběhem času postupně klesá a poslední hodinu je téměř konstantní. V tomto případě trvala infiltrační zkouška 2 hodiny a 43 minut.



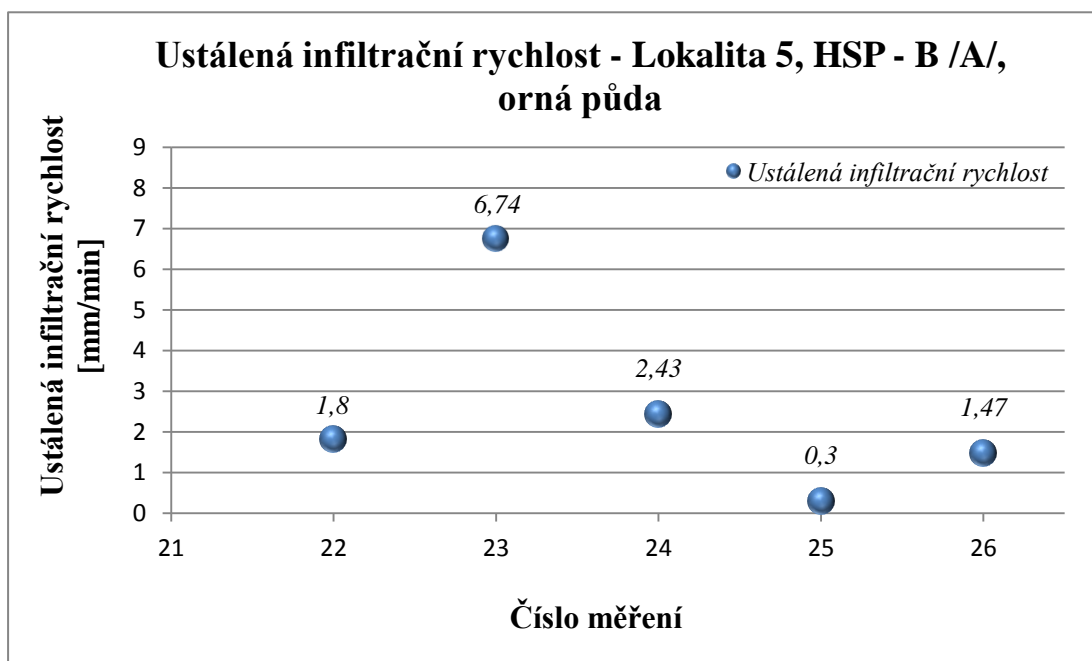
Obr. č. 42 Ustálení rychlosti infiltrace na lokalitě 4 u měření č. 17

5.5 Lokalita 5 – srovnání TTP a orné půdy

Na lokalitě 5 bylo provedeno 5 měření infiltračních charakteristik. Tato lokalita se jako jediná nacházela na orné půdě, přičemž HSP byla stejná jako u L3, tedy B/A/. Pokud srovnáme data z ostatních lokalit a data z L5, tak vyhodnocená data z této lokality se vyznačovala velkými rozdíly v jednotlivých měřeních (obr. č. 43). Nejnížší hodnota infiltrace byla u měření č. 25 (0,30 mm/min), naopak nejvyšší rychlost byla 6,74 mm/ min u měření č. 23. Z tab. č. 12 vyplývá, že průměrná ustálená infiltrační rychlost byla 2,55 mm/ min. Tato hodnota se ukázala jako nejvyšší naměřená rychlost ze všech pěti posuzovaných lokalit.

Tab. č. 12 *Infiltrační charakteristiky na L5*

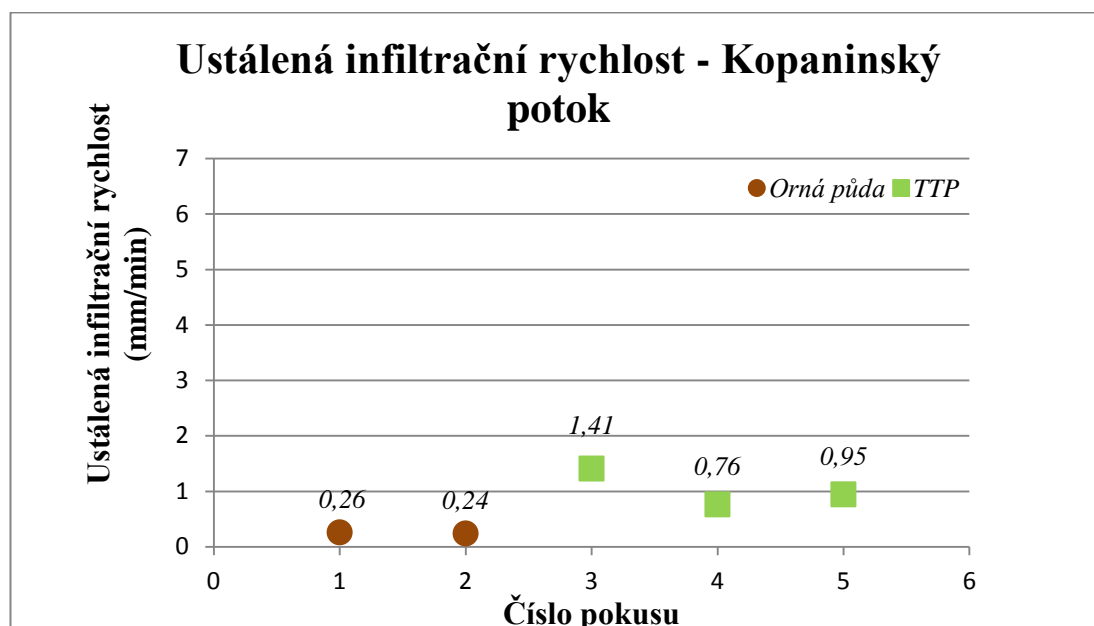
Číslo měření	Infiltrační rychlost – naměřená [mm/min]	Ustálená infiltrační rychlost – dle Philipových rovnic [mm/min]	Průměr ustálené infiltrační rychlosti [mm/min]	Nasycená hydraulická vodivost K [mm/min]
22	2,74	1,80	2,55	0,3824
23	7,35	6,74		1,2645
24	2,94	2,43		0,4731
25	0,36	0,30		0,0614
26	5,12	1,47		0,3916



Obr. č. 43 *Ustálená infiltrační rychlost na orné půdě L5*

Obr. č. 36 také srovnává vliv využití území (orná půda a TTP) na infiltrační rychlost na jedné BPEJ a HSP B/A/. Vyhodnocené výsledky na orné půdě byly zajímavé, neboť průměrná ustálená infiltrační rychlost na L5 byla ze všech lokalit nejvyšší. Rozdíl nebyl nikterak výrazný, avšak obecně je předpokládáno, že trvalé travní porosty mají lepší vsakovací schopnosti než orná půda, což potvrzuje MAŠÍČEK A KOL. (2013), který uvádí, že v průměru vyšší rychlost vsaku vody do půdy vykazoval při vzájemném porovnání TTP. Rozdíl rychlostí infiltrace se pohyboval v rozmezí 3,95–0,58 mm/min. Také GALLAYOVÁ a GALLAY (2006) uvádějí, že zapojený travní porost má průměrně o 10 % vyšší pórovitost

než orná půda a má lepší půdní strukturu, což umožňuje plynulý vsak srážek. Na orné půdě bylo provedeno pouze 5 infiltračních pokusů, avšak toto tvrzení potvrzují také měření, která byla uskutečněna v rámci bakalářské práce (obr. č. 44).

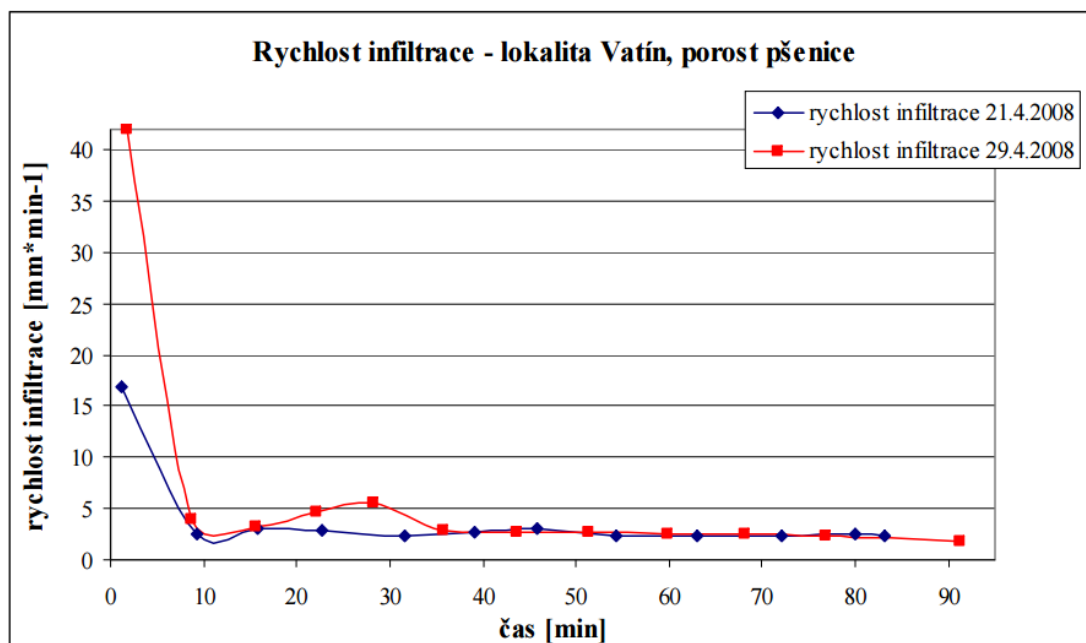


Obr. č. 44 Srovnání rozdílů ustálené infiltrační rychlosti na TTP a orné půdě – kompaktní infiltrometr, povodí Kopaninského toku, HSP – B (PIVOŇKA 2013)

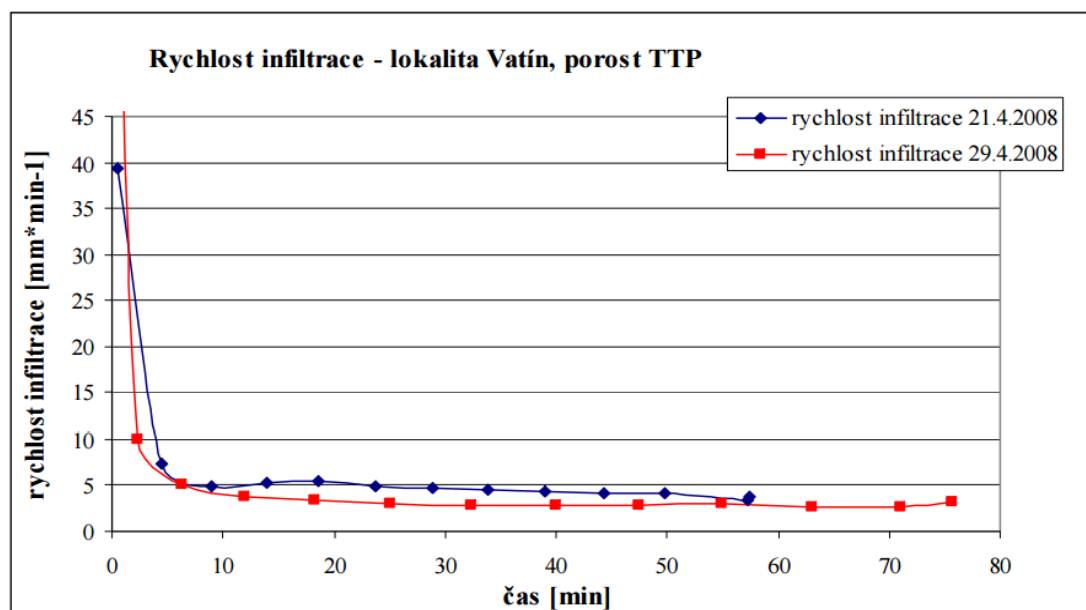
Srovnání vsakovacích schopností na travních porostech a orné půdě je však obtížné a rozporuplné, neboť např. HEJDUK (2009) naopak zjistil, že na orné půdě je infiltrace vyšší než na trvalých travních porostech. HŮLA A KOL. (2012) porovnávali ve svém dlouhodobém výzkumu mimo jiné i rychlost infiltrace na TTP a orné půdě. Na začátku vegetace byla infiltrační rychlost (průměr všech měření) u orné půdy 3,37 mm/ min a u TTP 1,73 mm/min. Ke konci vegetačního cyklu byla infiltrační rychlost již téměř vyrovnaná u obou využití území (TTP – 2,58 mm/min, orná půda – 2,72 mm/min), avšak rychlost na orné půdě byla stále vyšší. Srovnatelných hodnot na TTP i orné půdě dosáhla také VIČANOVÁ A KOL. (2008). Jak je vidět na obr. č. 45 a obr. č. 46 naměřená rychlost v dubnu se pohybovala kolem 2,5 mm/min. Měření prováděna v červnu však ukázala lepší infiltrační schopnost u TTP.

Především z měření prováděných HŮLOU A KOL. (2012) a VIČANOVOU A KOL. (2008) je patrné, že rychlost infiltrace na TTP je proměnlivá v závislosti na vegetačním období, rozrušení půdního drnu, okamžité vlhkosti půdy či na zapravení kompostu do porostu. Jejich výsledky dokázaly, že infiltrační

rychlost na TTP na začátku vegetačního období je obdobná jako na orné půdě, což bylo potvrzeno také při terénním měření v rámci této práce.



Obr. č. 45 Rychlost infiltrace na orné půdě (VIČANOVÁ A KOL. 2008)

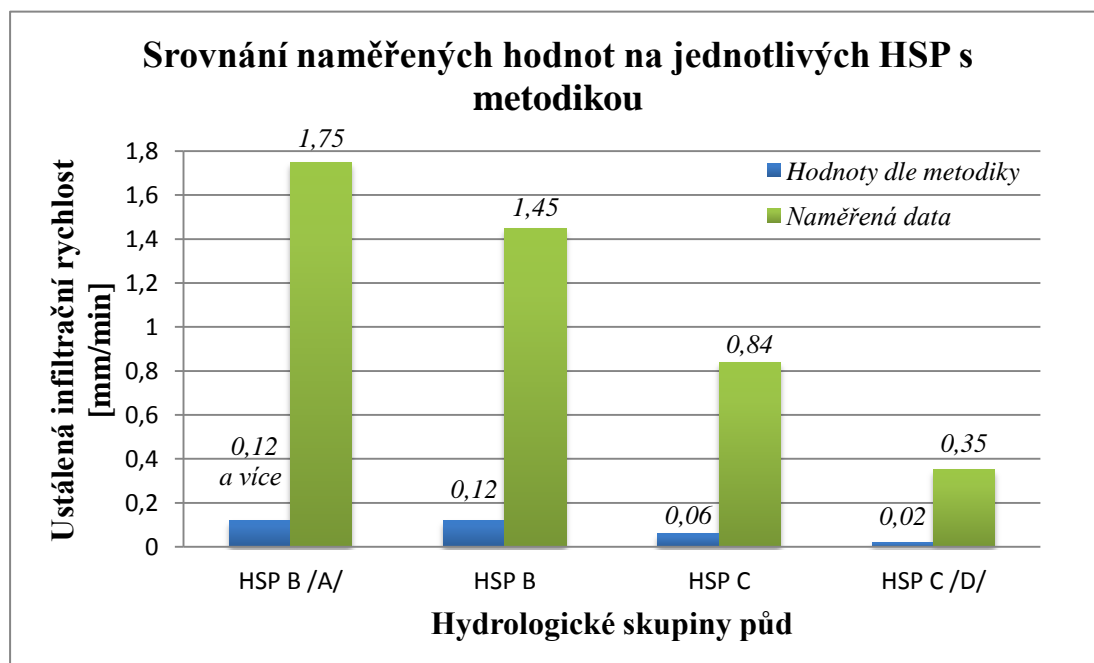


Obr. č. 46 Rychlost infiltrace na TTP (VIČANOVÁ A KOL. 2008)

5.6 Porovnání naměřených dat s metodikou

Z obr. č. 47 je patrné, že provedená měření na jednotlivých hydrologických skupinách potvrdila teorii JANEČKA A KOL. (2005), že nejrychlejší ustálená infiltrační rychlost je na HSP A a naopak nejpomaleji se voda vsakuje na HSP D.

Jelikož se na vybraném území nevyskytovala HSP A, tak měření byla prováděna na HSP B /A/, která je na rozmezí zmiňovaných hydrologických skupin. Na HSP B /A/ bylo prováděno měření na dvou lokalitách (L3 a L5) a na obr. č. 45 byl znázorněn průměr z L3 a L5 - 1,75 mm/min.



Obr. č. 47 Porovnání naměřených dat na hydrologických skupinách půd s JANEČKA A KOL. (2005)

Pokud ovšem srovnáme dosažené výsledky z jednotlivých hydrologických skupin s metodikou JANEČKA A KOL. (2005), zjistíme, že vyhodnocená data ze všech pěti lokalit jsou přibližně o řád vyšší než u metodiky. K obdobným závěrům došel také MAŠÍČEK A KOL. (2013), který měřil infiltrační rychlost na HSP B. Na TTP bylo dosaženo hodnot od 0,5 mm/min do 2,8 mm/min a na orné půdě byl rozptýl v rychlosti infiltrace od 0,4 mm/min do 1,5 mm/min. Jak lze vidět z obr. č. 47, průměrná naměřená ustálená infiltrační rychlost na HSP B v rámci této práce byla 1,45 mm/min a MAŠÍČEK A KOL. (2013) dospěl na travním porostu k průměrné infiltrační rychlosti 1,25 mm/min.

Vzniklý rozdíl v určení hydrologické skupiny půd z BPEJ a ustálené infiltrační rychlosti může být způsoben také tím, že HSP je daná tabulková hodnota na rozdíl od naměřené rychlosti infiltrace z prováděného terénního měření.

6. ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na vyhodnocení vsakovacích schopností půd pomocí kompaktního přetlakového infiltrometru. Infiltrační charakteristiky byly měřeny na pěti odlišných lokalitách a porovnávány s metodikou JANEČKA A KOL. (2005), který zařadil půdy podle hlavní půdní jednotky do 4 skupin dle rychlosti infiltrace. Měření probíhalo od 13. 3. 2015 do 9. 4. 2015 na plochách s rozdílným využitím území a na různých BPEJ v rámci povodí Lužického toku v katastrálním území Babice u Netolic, které se nachází v bývalém okrese Prachatice v Jihočeském kraji.

Kompaktní přetlakový infiltrometr vyžaduje dlouhodobé měření v řádu několika hodin, avšak během měření není potřeba téměř žádná obsluha. U tohoto typu infiltrometru se prokázalo, že stanovení reprezentativní hodnoty ustálené infiltrační rychlosti v terénu bylo obtížné. Ustálení infiltrace bylo stanovováno dle intenzity bublání ze zavzdušňovací trubičky, což vyžadovalo časovou náročnost, soustředěnost a přesnost. Naměřená data byla dále vyhodnocována a hodnota ustálené infiltrační rychlosti byla stanovena pomocí Philipových infiltračních rovnic.

Zjištěné výsledky se ukázaly zajímavé z několika pohledů, jelikož byla prokázána funkčnost rozdělení půd do HSP. Vyhodnocená data potvrdila, že nejrychleji se voda do půdy infiltuje na hydrologické skupině A a v dalších skupinách rychlost infiltrace klesala až ke skupině D, která je z hlediska vsakovacích schopností nejméně vhodná. Ovšem naměřené hodnoty byly přibližně o řád vyšší, než typická rychlost infiltrace u jednotlivých HSP, které uvádí JANEČEK A KOL. (2005). V rámci terénního měření bylo také zjištěno, že při srovnání rychlosti infiltrace na stejné BPEJ, avšak odlišném využití území (orná půda a TTP), byla ustálená infiltrační rychlost vyšší u orné půdy. Zjištěné rozdíly však nebyly příliš výrazné. Podobných výsledků z hlediska rozdílné rychlosti infiltrace na rozdílném využití území bylo také dosaženo již dříve v rámci předchozí bakalářské práce.

Infiltrace je proces, při kterém se voda dostává do půdního profilu. Je součástí koloběhu vody v krajině, ovlivňuje vodní režim půd, zásoby podzemní vody a intenzitu povrchového odtoku. Infiltrace vody má značný význam zejména při intenzivních přívalových srážkách. Špatná schopnost půd infiltrovat vodu a následný velký povrchový odtok srážkové vody představuje při intenzivních

deštích velké riziko povodní a na orné půdě i vysoké riziko vodní eroze. Zvýšení infiltrace vody do půdy má tedy velký význam pro omezení vodní eroze, v protipovodňových opatřeních a pro zásobování půdy vodou.

S ohledem na komplikovanost a propojenost působení mnoha faktorů na průběh infiltrace nelze stanovit jednoznačné zákonitosti vlivu těchto faktorů na vsakovací schopnost půdy. I přes popsané skutečnosti má problematika sledování infiltrační schopnosti půd své opodstatnění z hlediska možnosti vytváření podmínek, které podporují snížení ztráty půdy vodní erozí a protipovodňovou ochranu. Konkrétnější závěry u infiltračních procesů je možné vyvozovat až po delším sledování a provedení velkého množství infiltračních zkoušek.

7. SEZNAM LITERATURY

1. BENETIN, J., DVOŘÁK, J., FÍDLER, J., KABINA, P.: *Odvodňovanie. Príroda*, Bratislava, 1987, 574 s.
2. COLEMAN, E. A., BODMAN, G. B.: *Moisture and energy conditions during downward entry of water into moist and layered soils*. Soil Science Society of America Journal, 1945, č. 9, s. 35 – 40.
3. CULEK, M.: *Biogeografické členění České republiky*. Enigma, Praha, 1996, 244 s.
4. DARCY, H.: *Les fontaines publique de la ville de Dijon*. Dalmont, Paris, 1856.
5. DECAGON DEVICES, INC.: *Minidisk Infiltrometer, User's manual*. Pullman, Washington, 2014, 21 s.
6. DEMEK, J.: *Zeměpisný lexikon ČSR, hory a nížiny*. Academia, Praha, 1987, 584 s.
7. DEMEK, J., QUITT, E., RAUŠER, J.: *Úvod do obecné fyzické geografie*. Academia, Praha, 1976, 400 s.
8. DOLEŽAL, F., KVÍTEK, T.: *The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in penepains of Central European highlands with regard to water quality generation processes*. Physics and Chemistry of the Earth, 2004, č. 29, s. 775-785.
9. GALLAYOVÁ, Z.; GALLAY, I.: *Príspevok k poznaniu infiltračnej schopnosti rôzne využívaných TTP BR Poľana*. In: *Sborník z mezinárodní mezioborové konference Venkovská krajina, Slavičín u Hoštětína*. ZO ČSOP Veronica, Brno, 2006, s. 44 – 47.
10. GARDNER A KOL.: *Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení vodou*. 1999. Dostupné na: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/\\$file/in_dikatory_el.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/$file/in_dikatory_el.pdf) [cit. 7.2.2015].
11. HANSEN, E. A.: *Does canoeing increase streambank erosion?* U.S. Department of Agriculture Forest service, 1975, 4. s.
12. HEJDUK, S.: *Comparison of surface runoffs from grasslands and arable land*. Grassland Science in Europe, 2009, č. 15, s. 63-67.

13. HILLEL, D. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego, 1998, 771 s.
14. HOLTAN, H. N., KIRKPATRICK, M. H.: *Railfall infiltration and hydraulics of flow in run-off computation*. Transnational American Geophysical Union, 1950, č. 31, s. 771 – 779.
15. 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.
16. HŮLA, J., BADALÍKOVÁ, B., KOVAŘÍČEK, P., VLÁŠKOVÁ, M., BARTLOVÁ, J.: *Úprava fyzikálních vlastností půdy a retenční schopnosti půdy zapravením kompostů z odpadní biomasy*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 2012, 30 s.
17. JANDÁK, J., POKORNÝ, E., PRAX, A.: *Půdoznalství, 1. vyd.*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 2001, 92 s.
18. JANDÁK, J., POKORNÝ, E., PRAX, A.: *Půdoznalství, 2. vyd.*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 2007, 142 s.
19. JANEČEK, M.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV, Praha, 2005, 195 s.
20. JAVŮREK, M., VACH, M.: *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Metodika pro praxi, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 2008, 26 s.
21. KAMENČÍKOVÁ, I.: *Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou v k. ú. Horní Meziříčko*. In: *XII. Mezinárodní vědecká konference*. CERM, Brno, 2009, s. 85 – 89.
22. KITTREDGE, J.: *Forest influences*. The American Forestry Series, McGraw-Hill, New York, 1948, 394 s.
23. KLEČKA, M., KORBÍNI, J.: *Bonitace zemědělského půdního fondu ČSSR*. Závěrečná zpráva VÚEZVŽ a VÚEPP, Praha-Bratislava, 1973, 51 s.
24. KOVÁŘ, P., ŠTIBINGER J.: *Metodika návrhu a výstavby optimální varianty protipovodňových a protierozních opatření (PPPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině*. Číslo grantu: NVP-MZE 2005, VRK1/TP3-DP6 (1G577040), ČZU Praha, FŽP, KBÚK, Praha, 2008, 8 s.

25. 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.
26. KREŠL, J.: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 2001, 125 s.
27. KŘEČEK, J.: *Vliv lesních porostů na infiltraci vody do půdy*. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 1978, č. 2, 72 s.
28. KRÍŽ, H.: *Hydrologie podzemních vod*. Academia, Praha, 1983, 289 s.
29. KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T.: *Zkušenosti s používáním kompaktního přetlakového infiltrometru*. Vodní hospodářství, 2010, č. 6, s. 179 – 180.
30. KULHAVÝ, Z., JAKOUBEK, J., MACEK, L., ŠTIBINGER, J.: *Posílení infiltračních procesů regulací odtoku vod z malých povodí*. Redakčně upravená roční zpráva, ev. č. QJ 1220050, VÚMOP, Pardubice, Praha, Vysoké Mýto, 2012, 220 s.
31. 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, 85 s.
32. KUTÍLEK, M.: *Vodohospodářská pedologie*. SNTL, Praha, 1978, 295 s.
33. KUTÍLEK, M., NIELSEN, D. R.: *Soil Hydrology*. Catena Verlag GeoScience Publisher, Cremlingen - Destedt, 1994, 370 s.
34. KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M.: *Hydropedologie 10*. ČVUT, Praha, 2000, 176 s.
35. KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M.: *Hydropedologie*. ČVUT, Praha, 1993, 176 s.
36. LAL, R., SHUKLA, M. K.: *Principles of soil physics*. Marcel Dekker, Inc., New York, 2004, 716 s.
37. LHOTSKÝ, J.: *Zhutňování půd a opatření proti němu*. ÚZPI, Praha, 2000, 61 s.

38. 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.
39. MACEK, L., VOLOŠ, B., ŠKRIPKO, J., SATRAPOVÁ, A., VRKOČ, J., MIČKOVÁ, M.: *Popis modelových řešení na povodí Zádolského potoka a na lokalitě Sosnová.* Zpráva projektu QJ1220050, 2012, 41 s. In: *Posílení infiltračních procesů regulací odtoku vod z malých povodí,* Kulhavý, Z., Redakčně upravená roční zpráva č. QJ1220050, Praha, 2012, 220 s.
40. MAROTO, J.A., DE DIOS, J, DE LAS NIEVES, F.J.: *Use of a Mariotte bottle for the experimental study of the transition from laminar to turbulent flow.* American Journal of Physics, 2002, č. 70, roč. 7, s. 698-701.
41. MARSH, G. P.: *Man and Nature: Or, Physical Geography as Modified by Human Action.* Charles Scribner, New York, 1865, 560 s.
42. 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.
43. MAŠÍČEK, T., TOMAN, F., VIČANOVÁ, M.: *Sledování průběhu infiltrační schopnosti půdy v trvalém travním porostu a v porostu rychle rostoucích dřevin během vegetačního období roku 2011.* Littera Scripta, 2013, č. 2, roč. 6, s. 172–183.
44. MATULA, S., SEMOTÁN, J., VESELÁ, J.: *Hydropedologie – Praktikum.* České vysoké učení technické, Praha, 1989, 144 s.
45. MOLČANOV, A. A.: *Gidrologičeskej rol lesa.* AN SSSR, Moskva, 1960, 484 s.
46. MOORE, R.D.: *Construction of a Mariotte bottle for constant-rate tracer injection into small streams.* Streamline Watershed Management Bulletin, 2004, č. 8, roč. 1, s. 15 -16.
47. MUSGRAVE, G. W., HOLTAN, H. N.: *Infiltration.* In: *Handbook of applied hydrology,* McGraw-Hill, New York, 1964, č. 12, 30 s.
48. NĚMEC, J.: *Bonitace a oceňování zemědělské půdy České republiky.* Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, Praha, 2001, 260 s.

49. PELÍŠEK, I., KULHAVÝ, Z., ČMELÍK, M.: *Měření hydropedologických charakteristik pro určení účinnosti modernizace drenáží*. VÚMOP, Pardubice, 2013, 15 s.
50. PHILIP, J. R.: *Theory of infiltration. 1, 2, 3, 4, 5*. Soil Science, 1957, č. 83, č. 83, č. 84, č. 84, s. 345 – 357, s. 435 – 448, s. 160 – 178, s. 257 – 264, s. 329 – 339.
51. PIERCE, R. S.: *Evidence of overland flow on forest Watersheds*. In: *International symposium on f. hydrology*, Pergamon Press, Oxford, 1967, s. 247 – 253.
52. PIVOŇKA, J.: *Metody měření rychlosti infiltrace vody do půdy*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 2013, 63 s.
53. PODHRÁZSKÁ, J., DUFKOVÁ, J.: *Protierozní ochrana půdy, 1. vyd.* MZLU, Brno, 1995, 53 s.
54. POELS, D. J.: *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Academic Press, Amsterdam, 2009, 517 s.
55. QUITT, E.: *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1971, 73 s.
56. RAWLS, W. J.: *Infiltration Properties*. Encyclopedia of Soil Science, 2002, s. 689 – 692.
57. 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.
58. RICHARDS, L. A.: *Capillary conduction of liquid through the porous media*. Physics, 1931, č. 1, s. 318 – 333.
59. RIEDL, D., ZACHAR, D.: *Lesotechnické meliorace. 1. vyd.* Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1973, 568 s.
60. SOZYKIN, N. F.: *O dinamike vpitivaniya vody v počvu*. In: *Maximalnyj stok s malych basedov*. Sborník stavej pod red. G.D. Dubliera, Moskva, 1940, s. 330-359.
61. 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.

62. ŠTIBINGER, J.: *Použití tříparametrické infiltrační rovnice při odhadu retenčních schopností povrchových vrstev krajiny*. Meliorace v lesním hospodářství a v krajinném inženýrství, Sborník referátů, ČZU Praha, Fakulta lesnická a environmentální a VÚMOP Praha, Praha, 2006, s. 51 – 60.
63. VALENTOVÁ, J.: *Hydraulika podzemní vody*. ČVUT, Praha, 2007, 174 s.
64. VALIŠ, S., ŠÁLEK, J.: *Hydropedologické praktikum*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 1978, 136 s.
65. VÁŠA, J., DRBAL, J.: *Retence, pohyb a charakteristika půdní vody*. Práce a studie VÚV 131, Praha, 1975, 377 s.
66. 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.
67. *Vyhláška ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci*, Praha.
68. VYSOCKIJ, G. N.: *Skizzen über die hydrologischen Grundlagen der Bodenkunde*. Iber Internazionaler Kongress für Bodenkunde Pedology, č. 4, 1930.
69. ZDRALEK, M.: *Eroze půdy a její význam při hodnocení stability krajiny*. Ekologická stabilita a její hodnocení 1999, Sborník referátů, 1. vyd. Ostrava, 1999, s. 62 – 64.

Internetové zdroje

1. *Hydromeliorace*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: 1. <http://www.hydromeliorace.cz/povodi/>
2. *Česká geologická služba*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/>
3. *Geoportál SOWAC - GIS*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz/>
4. *Mapový portál www.mapy.cz*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: www.mapy.cz

5. *Hydroekologický informační systém VÚV TGM*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/>
6. *Národní geoportál INSPIRE*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz>
7. *Mapový portál informačního systému ochrany přírody*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://mapy.nature.cz/>
8. *ČÚZK*. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: www.cuzk.cz

Další zdroje

1. *Územní plán obce Babice*
2. *Generel Územního systému ekologické stability obce Babice*
3. *Manuál kompaktního přetlakového infiltrometru*
4. *Manuál dataloggeru OM-PL420*

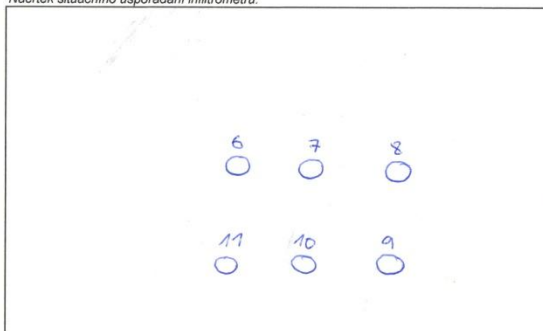
8. PŘÍLOHY

Protokol polní zkoušky měření infiltrace výtopou pro přístroj typu VÚMOP-ZBA

Lokalita: uk. v Babčicích u Netolče - L2
 Datum: 16.3. - 19.3. 2015
 Měří: Siřič. Píčovka
 Počasí: slunečno, větrno, 15-18°C
 Typ přístroje: KPI 1 Vzdálenost A¹ v [cm]:

Výř. číslo: 11002/10025

Náčrtek situačního uspořádání infiltrometrů:



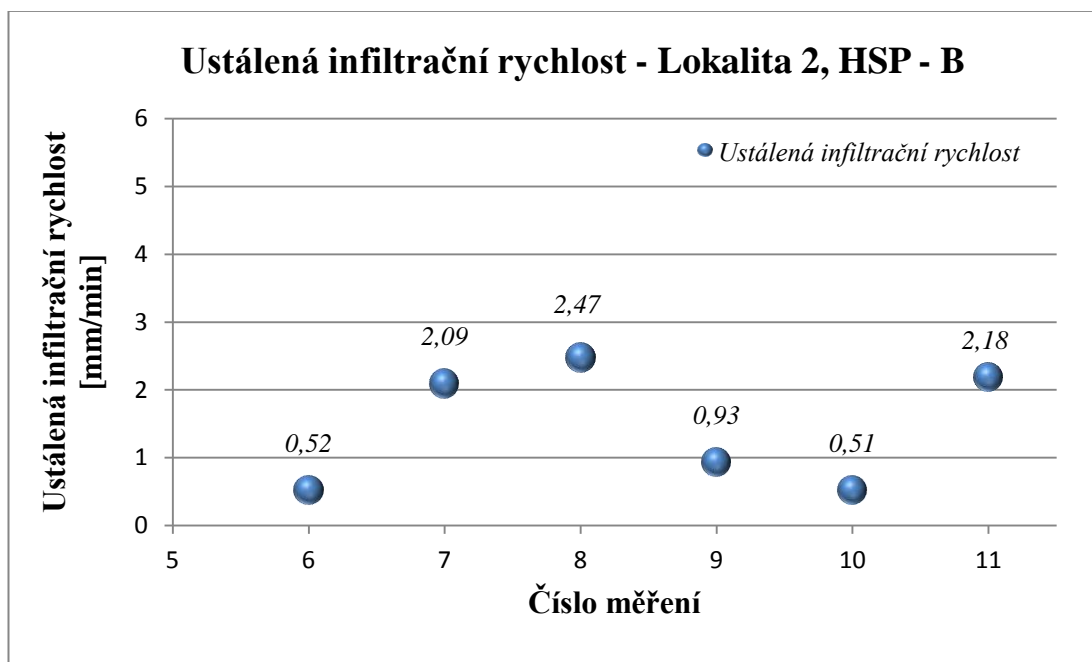
Popis průběhu infiltrace:

č. válce	Označení válce	Oměření prostoru válce V^2			Výška hl. trubičky [cm] V^3	Začátek		Konec		Začátek (1. dojití)		Konec		Začátek (2. dojití)		Konec		
		výška v [cm]	1.	2.		3.	Výška hl. [cm] V^4	Čas [hod:min]	Výška hl. [cm] V^4	Čas [hod:min]	Výška hl. [cm] V^4	Čas [hod:min]	Výška hl. [cm] V^4	Čas [hod:min]	Výška hl. [cm] V^4	Čas [hod:min]	Výška hl. [cm] V^4	Čas [hod:min]
1	6	10025 (11-PL420)	4,7	4,7	4,8	10,4	30,6	13:45	17:67	17:07								
2	7	10025 (11-PL420)	4,6	4,7	4,7	10,4	29,7	15:43	4,2	19:00	10,2	17:05	30,0	17:06				
3	8	10025 (11-PL420)	4,8	4,8	4,8	10,4	30,9	10:06	10,9	12:37	9,7	11:19	30,7	11:20				
4	9	10025 (11-PL420)	4,7	4,7	4,6	10,4	31,3	12:54	8,0	15:58								
5	10	10025 (11-PL420)	4,6	4,5	4,5	10,4	30,6	16:12	15,9	19:46								
6	11	10025 (11-PL420)	4,6	4,6	4,6	10,4	31,9	16:11	6,0	19:23	3,6	17:48	30,4	17:50				

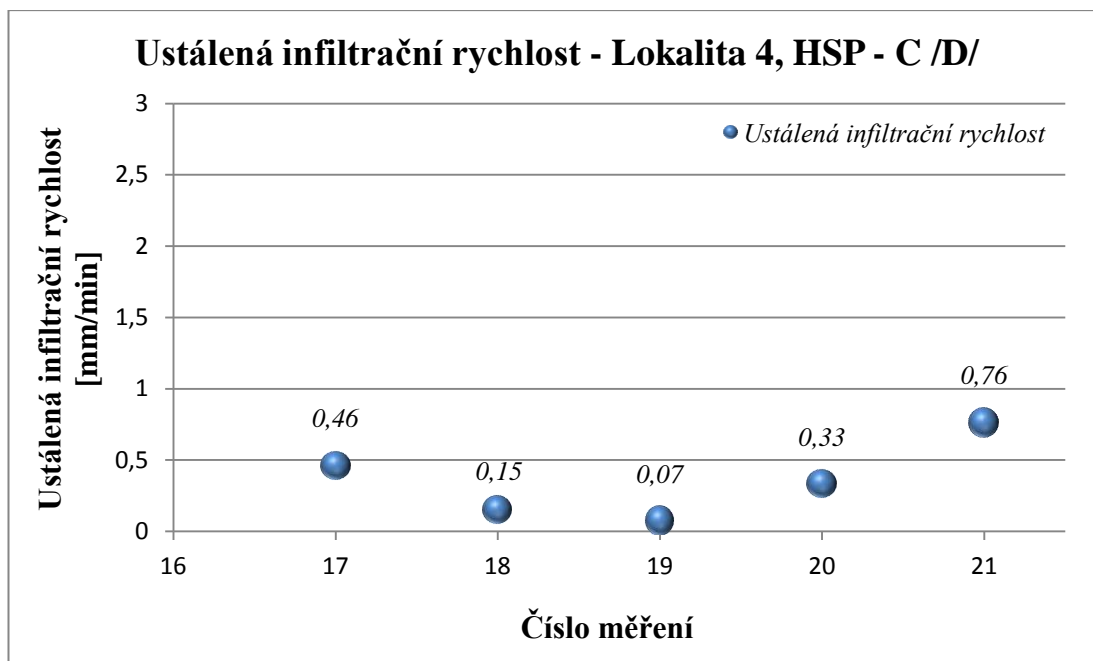
Poznámky:

- V^1 - Výrobem utvářené vzdálenosti mezi dnem zásobního prostoru a horní hranou zarážecího válce
- V^2 - Slouží pro kontrolní výpočet objemu prostoru mezi povrchem půdy a pomyslnou rovinou horní hrany zarážecího válce
- V^3 - Popisuje zvolené vsunutí uzavírací trubičky Mariottovy láhve (měřeno oproti dolnímu dorazu trubičky na dno zásobního prostoru)
- V^4 - Kontrolní oměření výšky hladiny v zásobní nádrži vůči referenčnímu bodu (např. horní hraně dolní kovové příruby zásobní nádrže)
- V^5 - Neporušené vzorky reprezentují stav půdy před zahájením zkoušky (vlhkost, objemová hmotnost, pH, pK, obsah prvků poblíž místa měření)

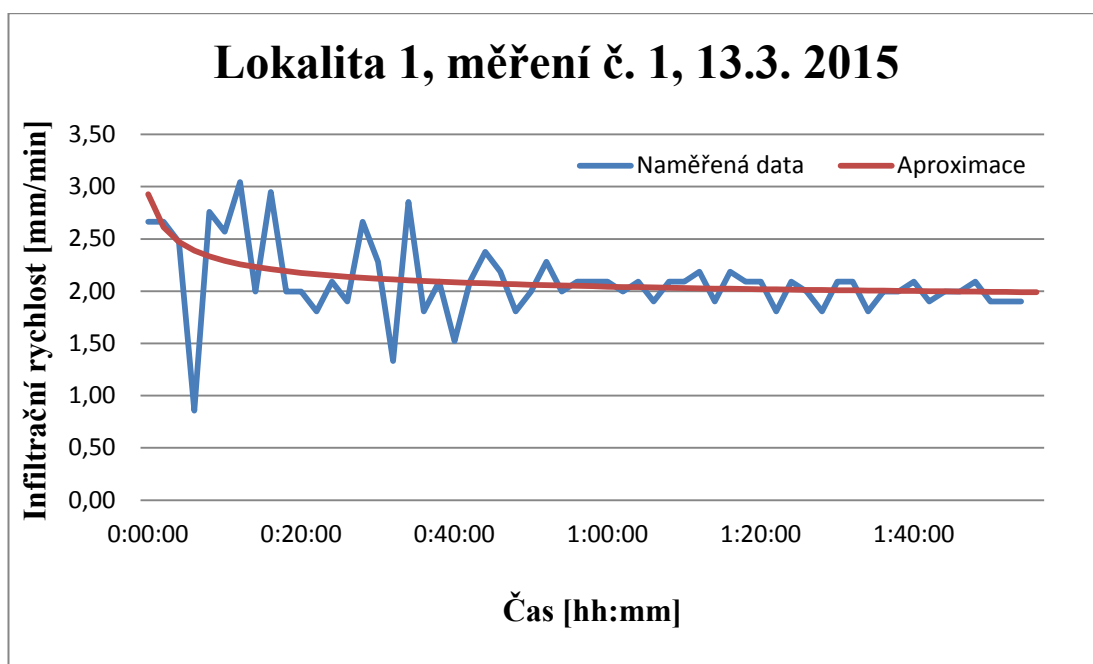
Příloha 1 Protokol z měření infiltrace – Lokalita 2



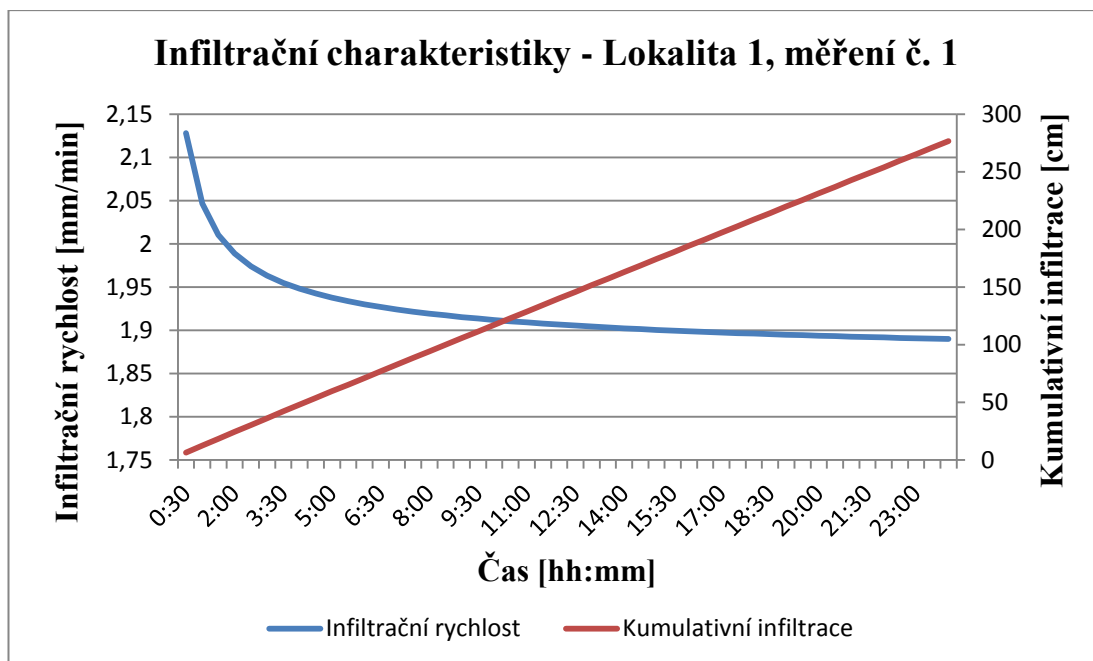
Příloha 2 Ustálená infiltrační rychlost na L2



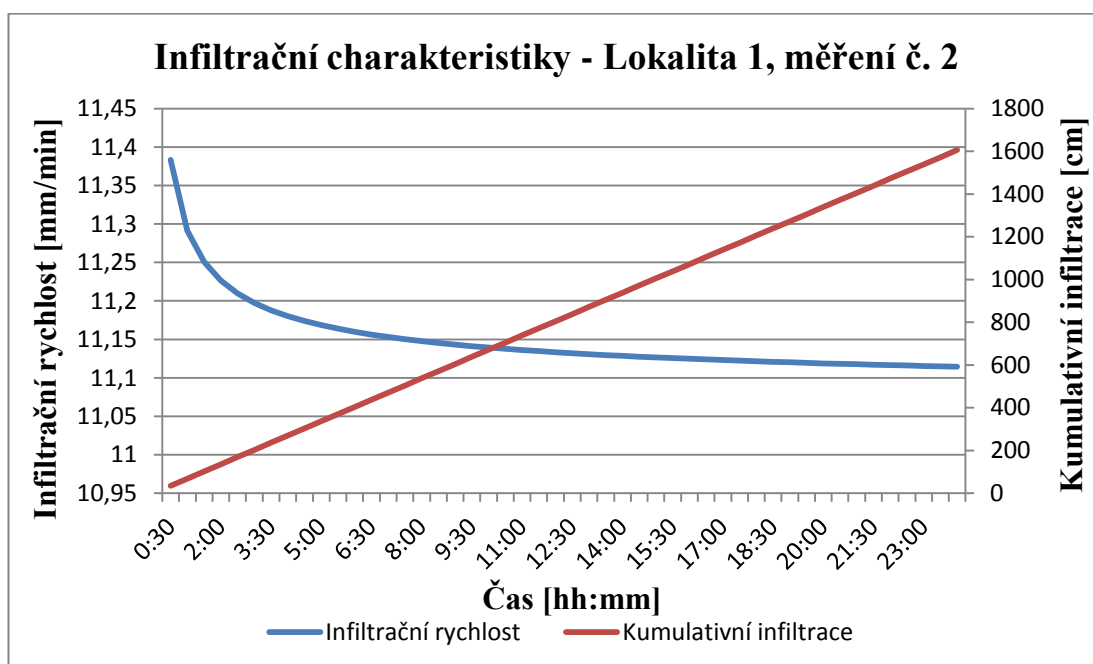
Příloha 3 Ustálená infiltrační rychlost na L4



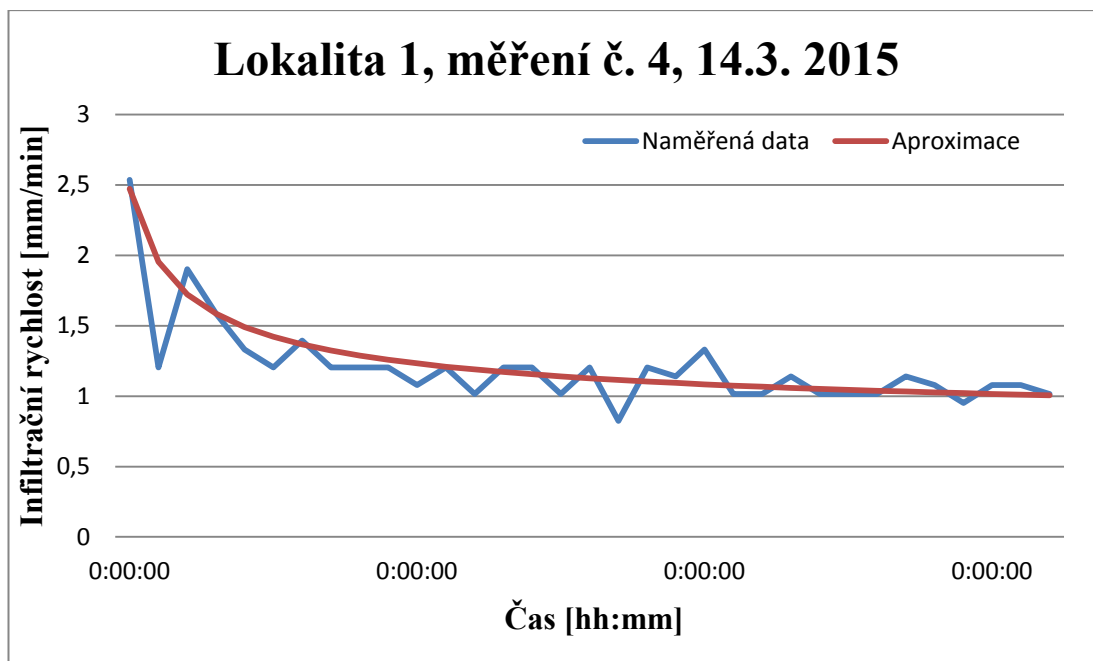
Příloha 4 Průběh měření infiltrační rychlosti na L1 u měření č. 1



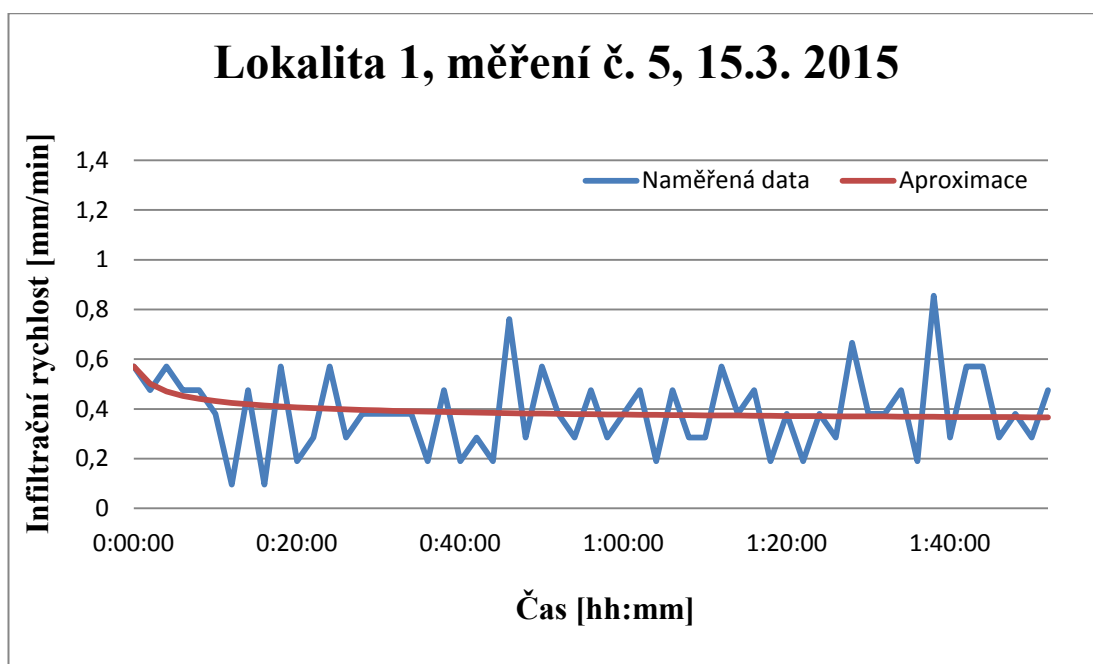
Příloha 5 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 1



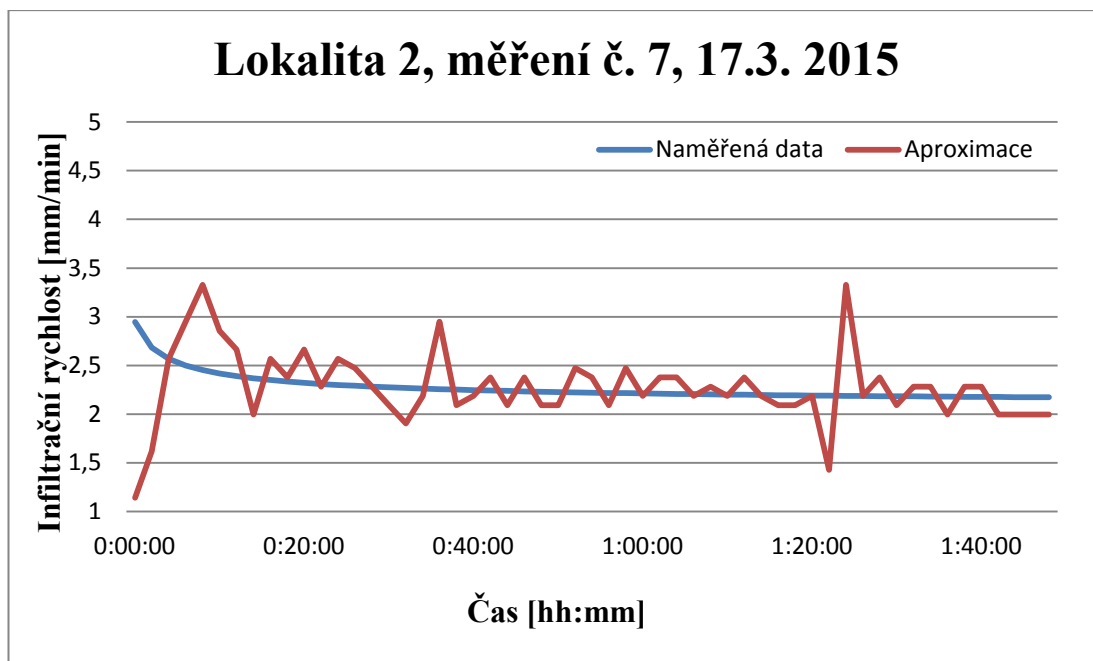
Příloha 6 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 2



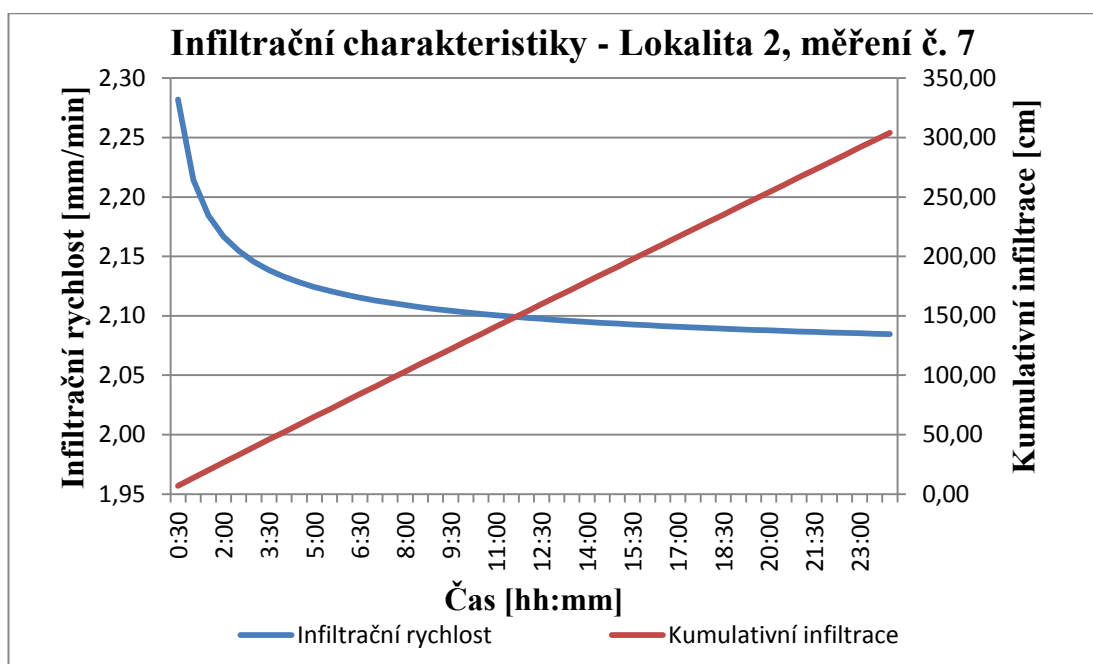
Příloha 7 Průběh měření infiltrační rychlosti na L1 u měření č. 4



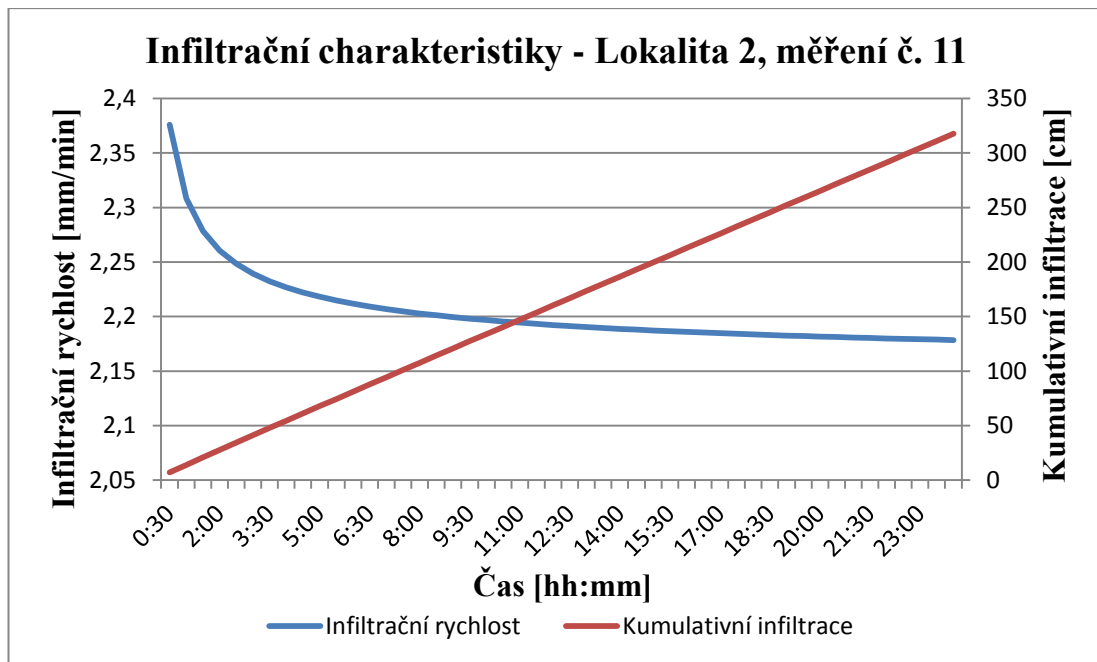
Příloha 8 Průběh měření infiltrační rychlosti na L1 u měření č. 4



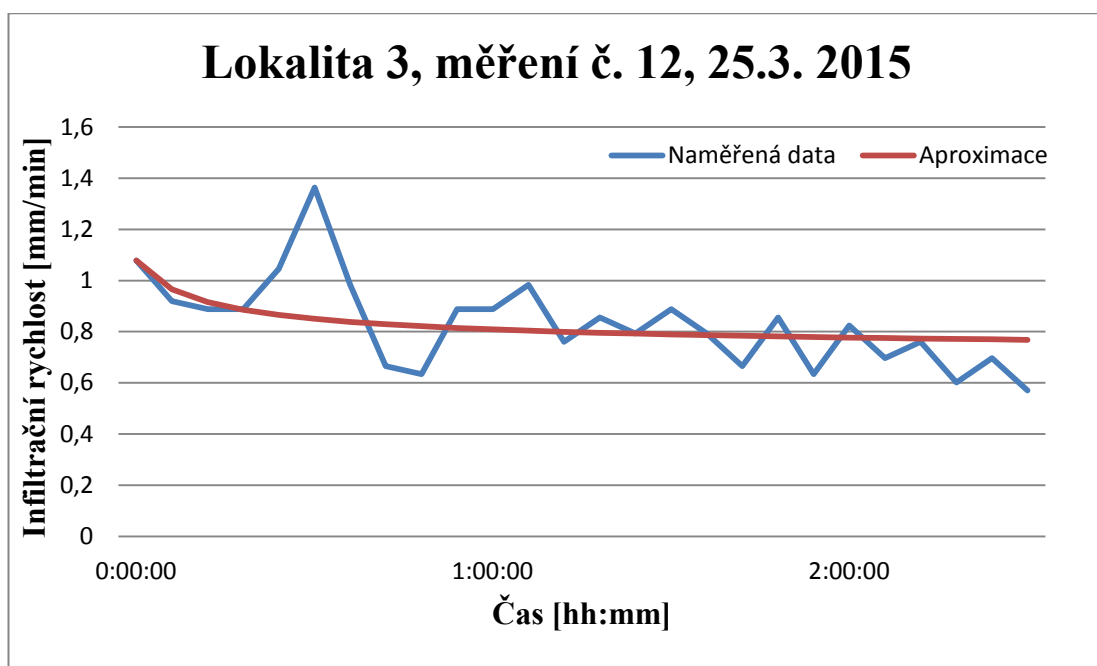
Příloha 9 Průběh měření infiltrační rychlosti na L2 u měření č. 7



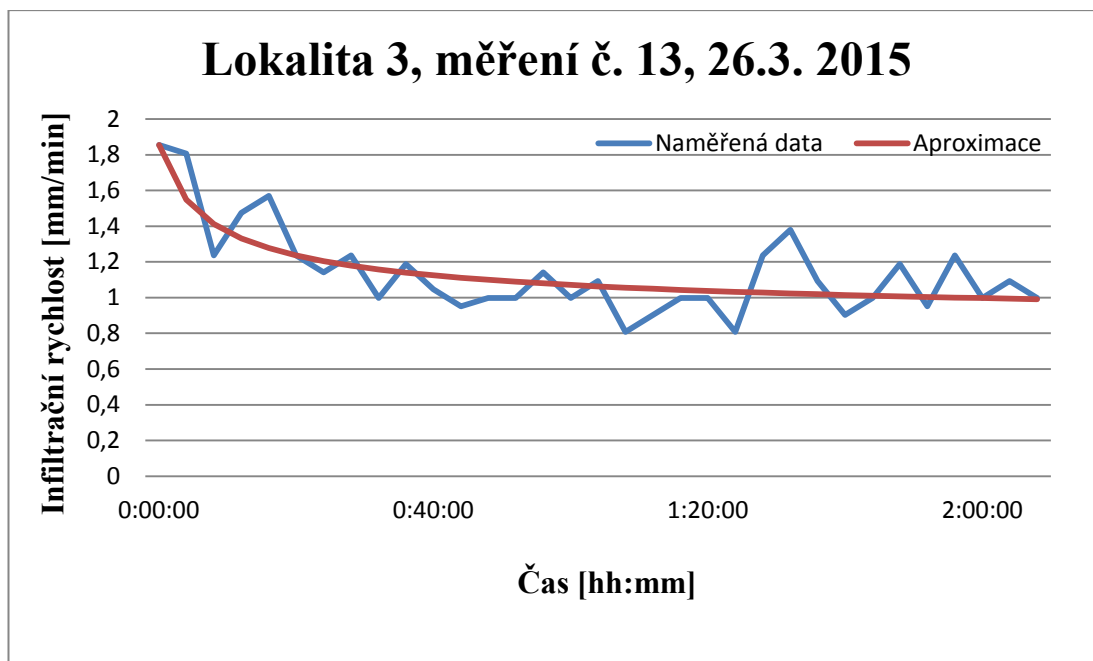
Příloha 10 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 7



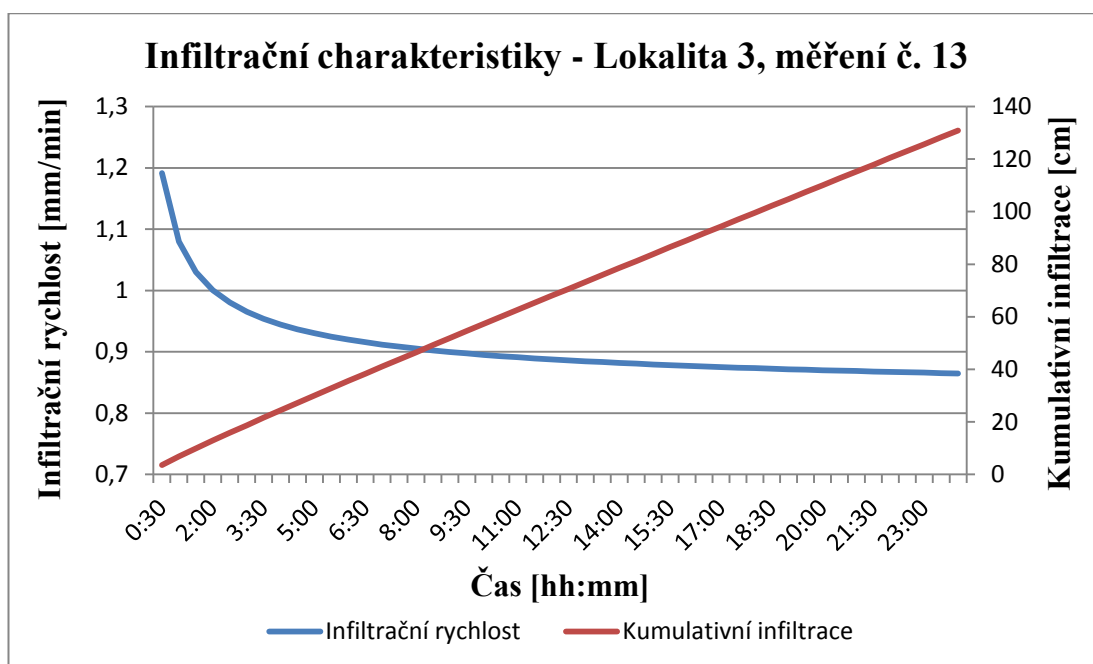
Příloha 11 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 11



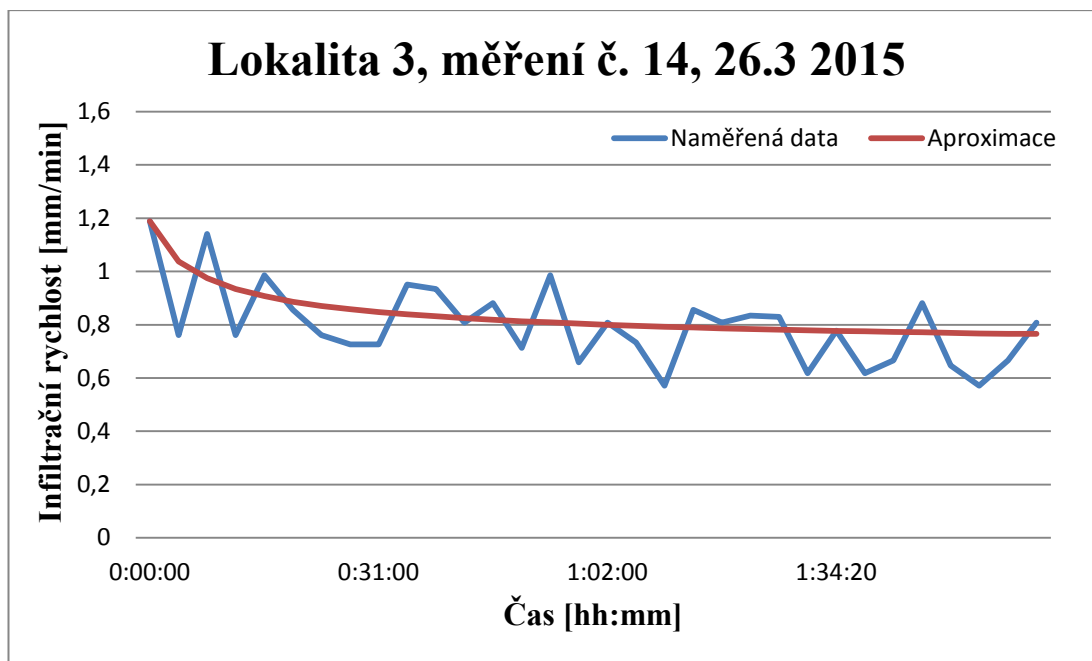
Příloha 12 Průběh měření infiltrační rychlosti na L3 u měření č. 12



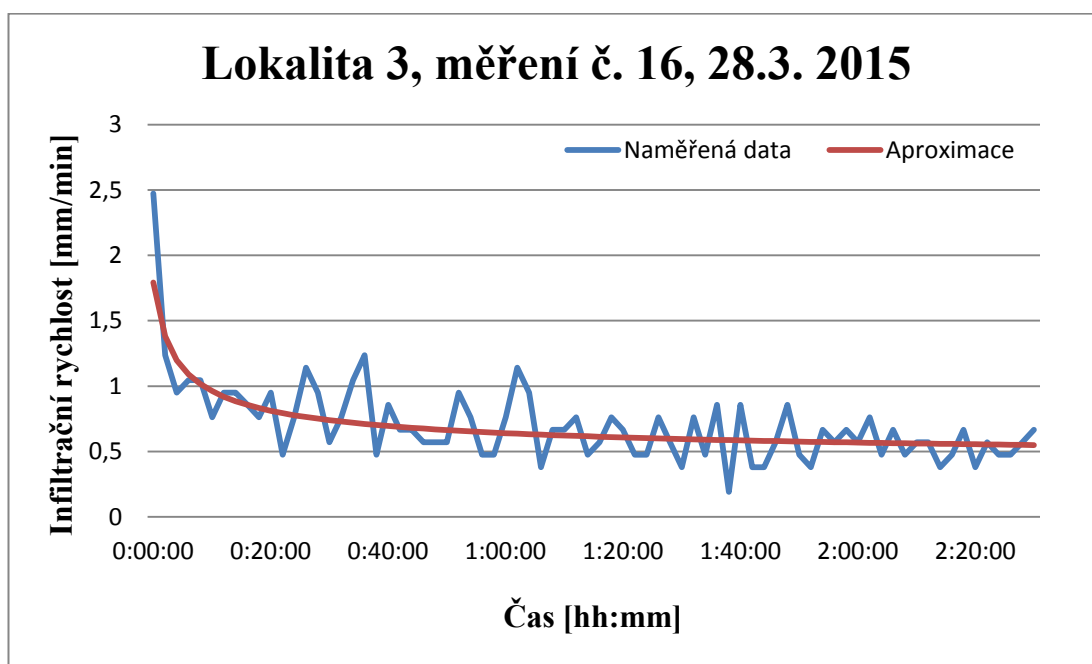
Příloha 13 Průběh měření infiltrační rychlosti na L3 u měření č. 13



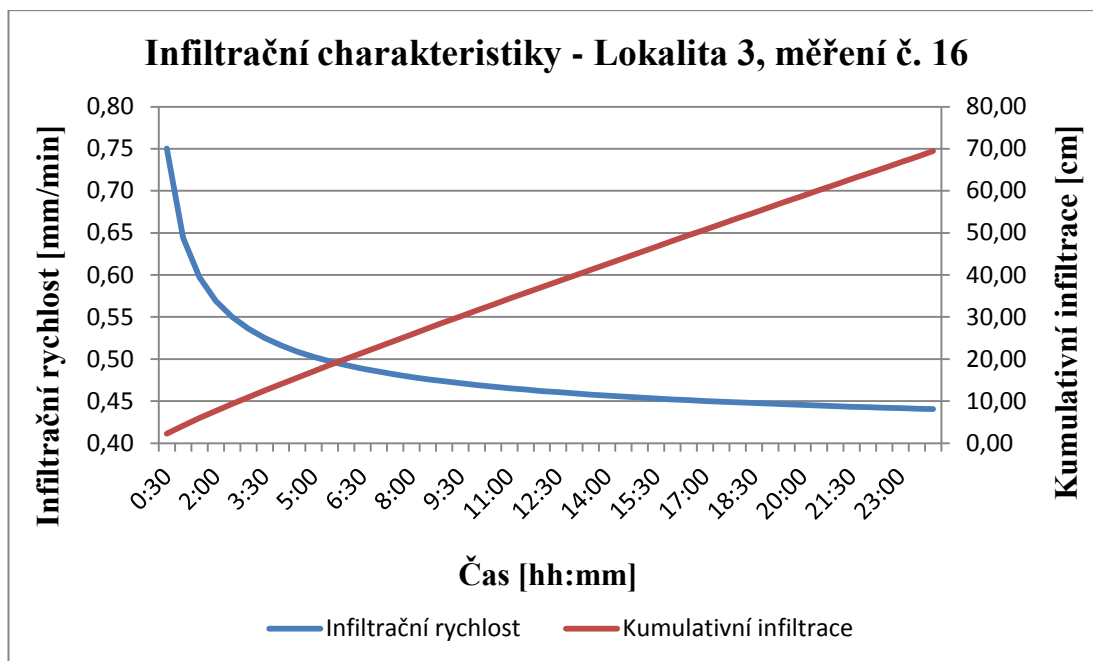
Příloha 14 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 13



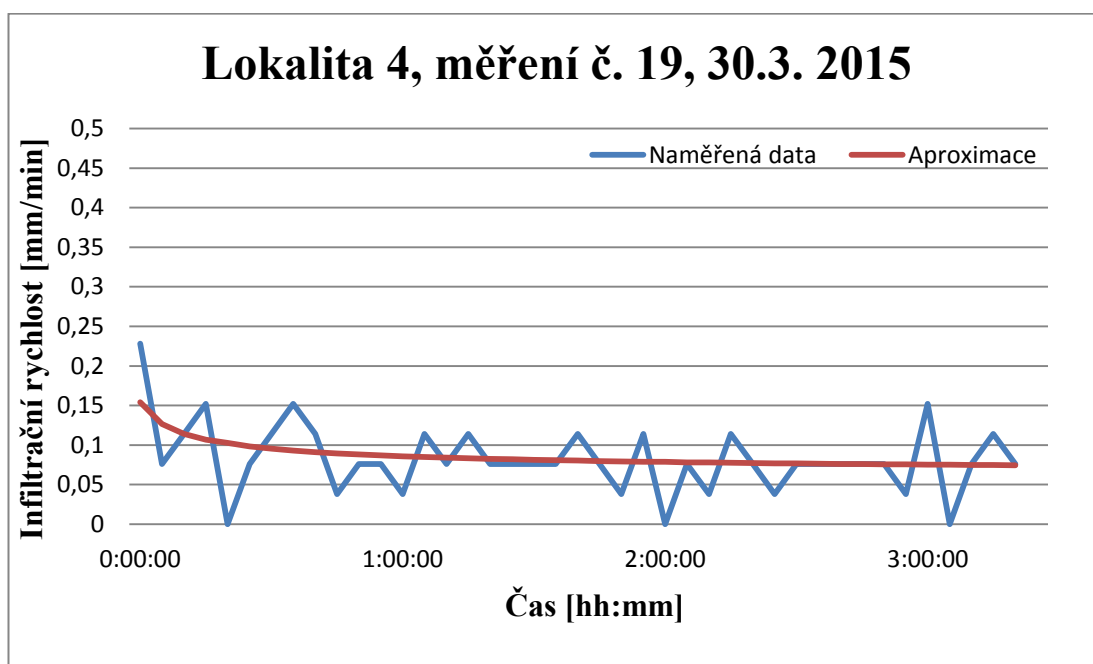
Příloha 15 Průběh měření infiltrační rychlosti na L3 u měření č. 14



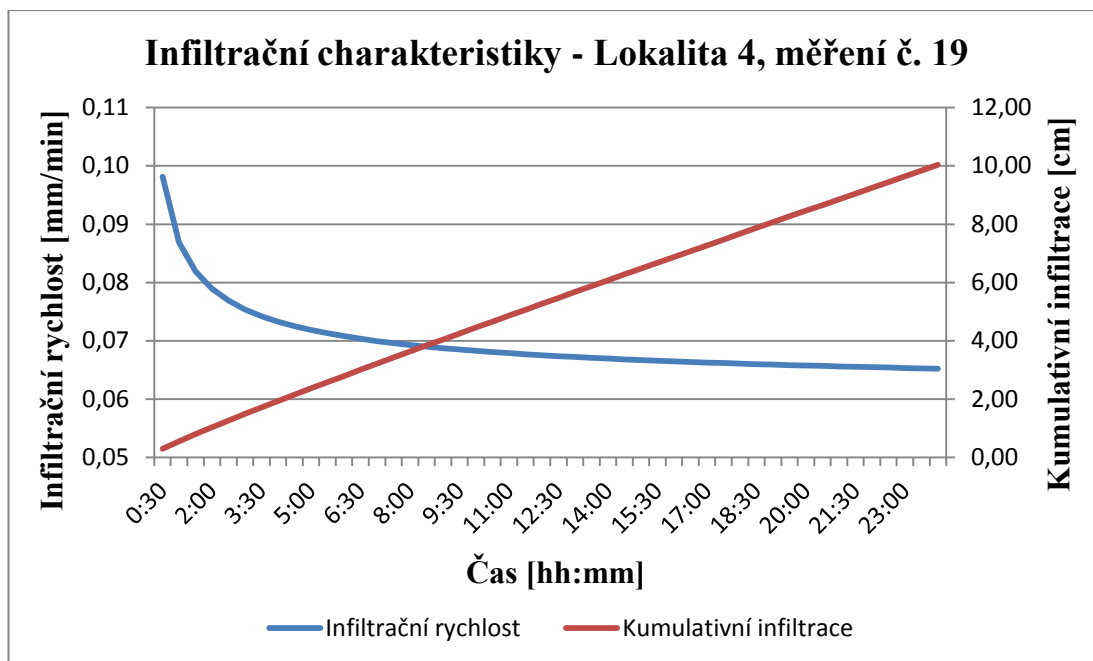
Příloha 16 Průběh měření infiltrační rychlosti na L3 u měření č. 16



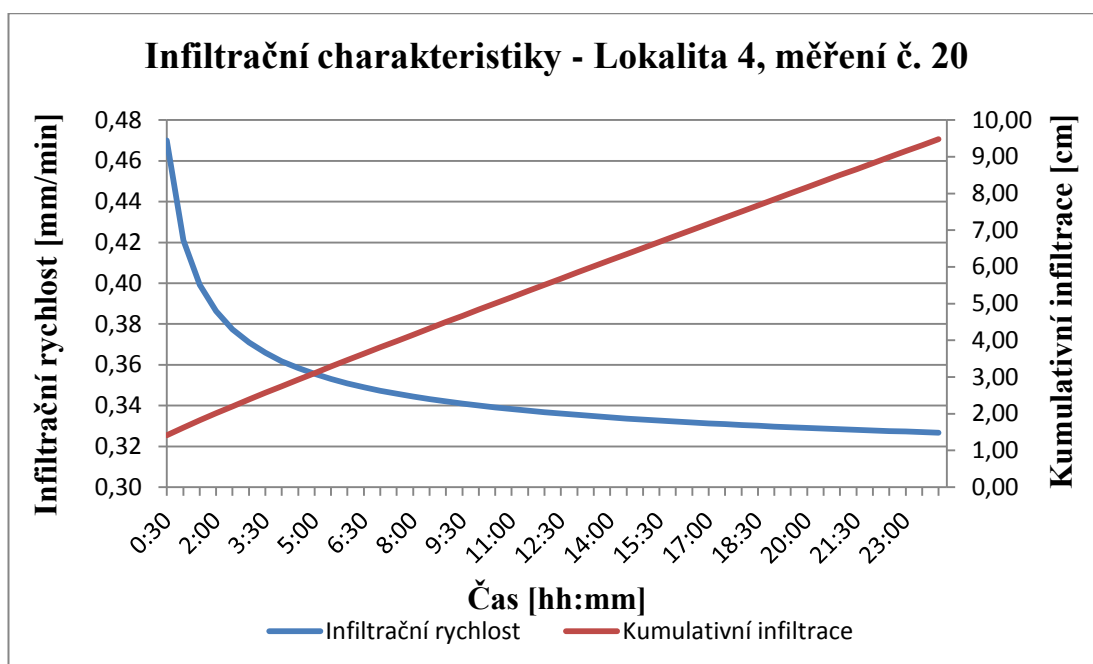
Příloha 17 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 16



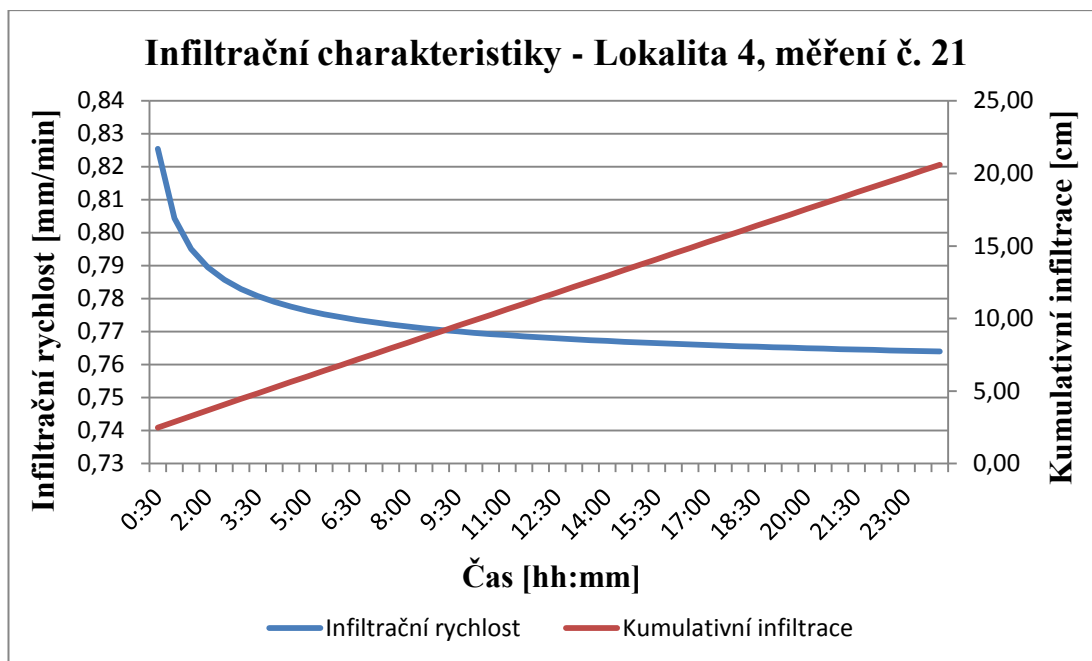
Příloha 18 Průběh měření infiltrační rychlosti na L4 u měření č. 19



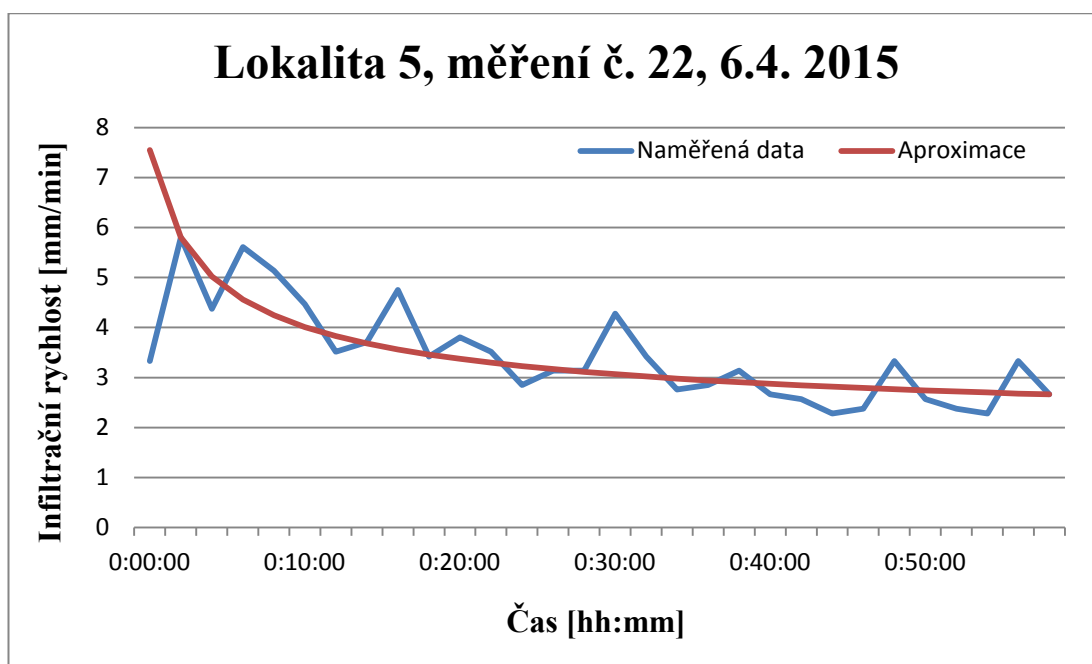
Příloha 19 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 19



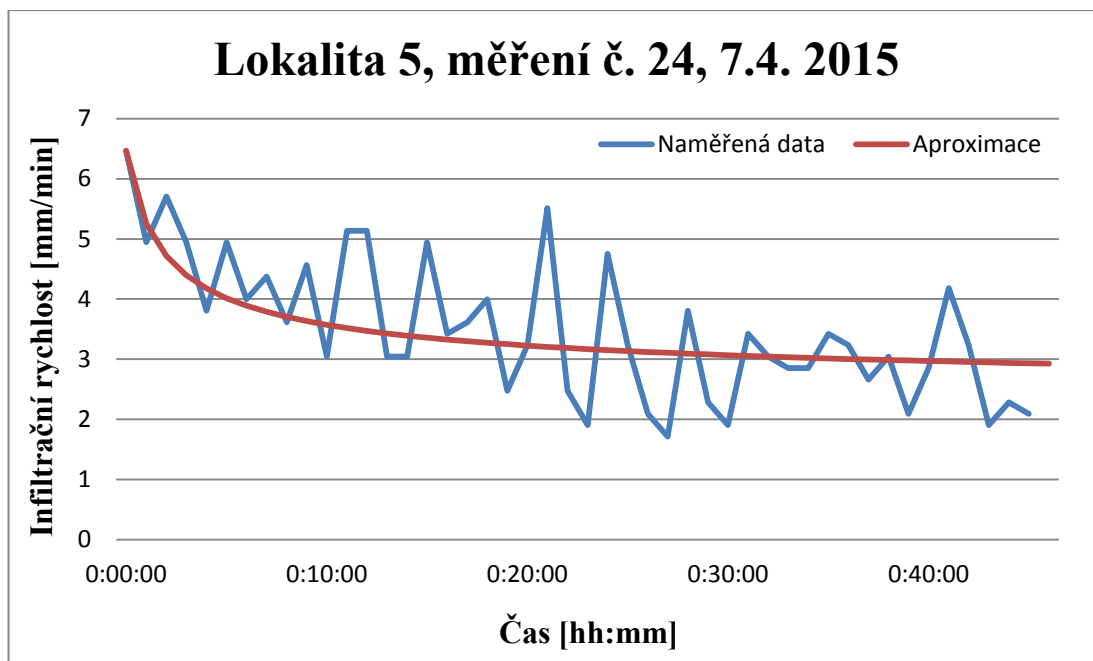
Příloha 20 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 20



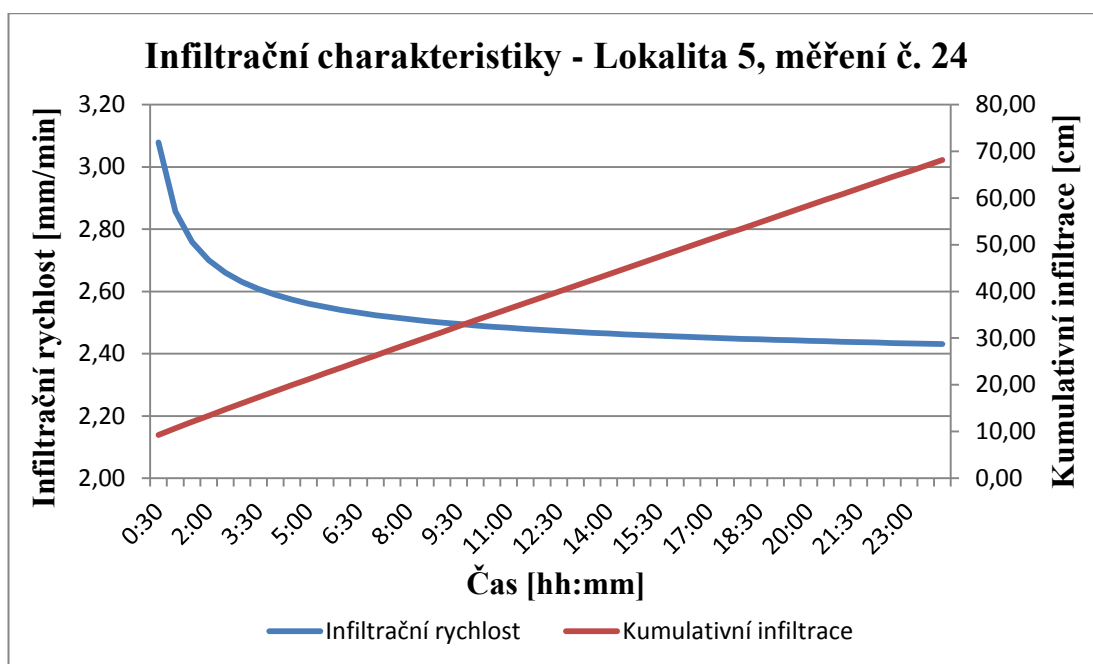
Příloha 21 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 21



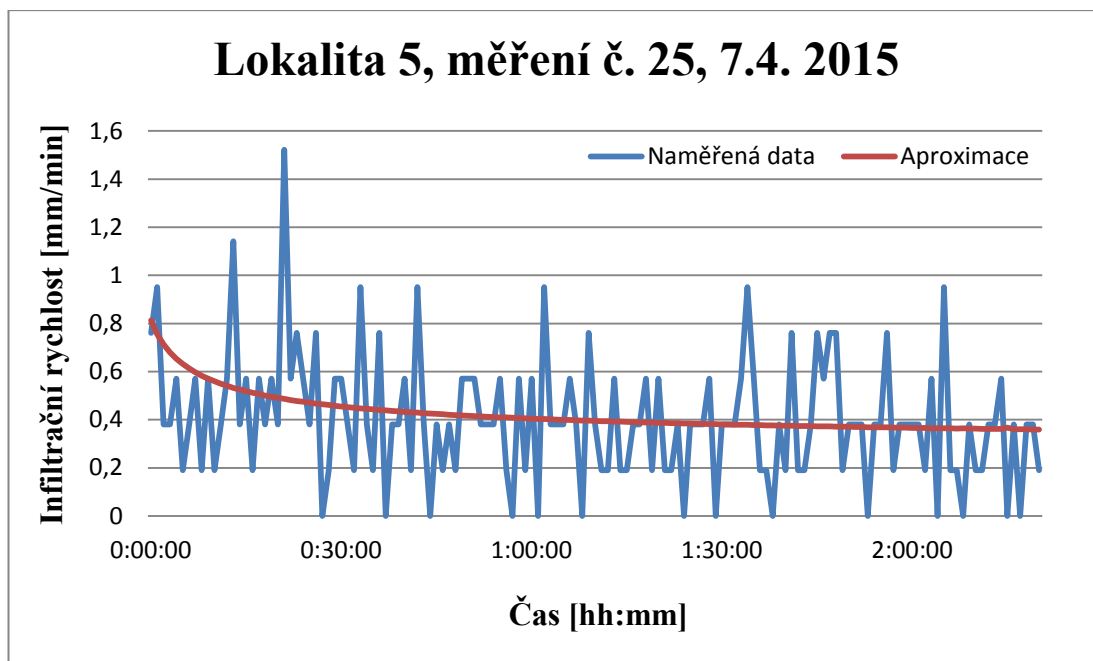
Příloha 22 Průběh měření infiltrační rychlosti na L5 u měření č. 22



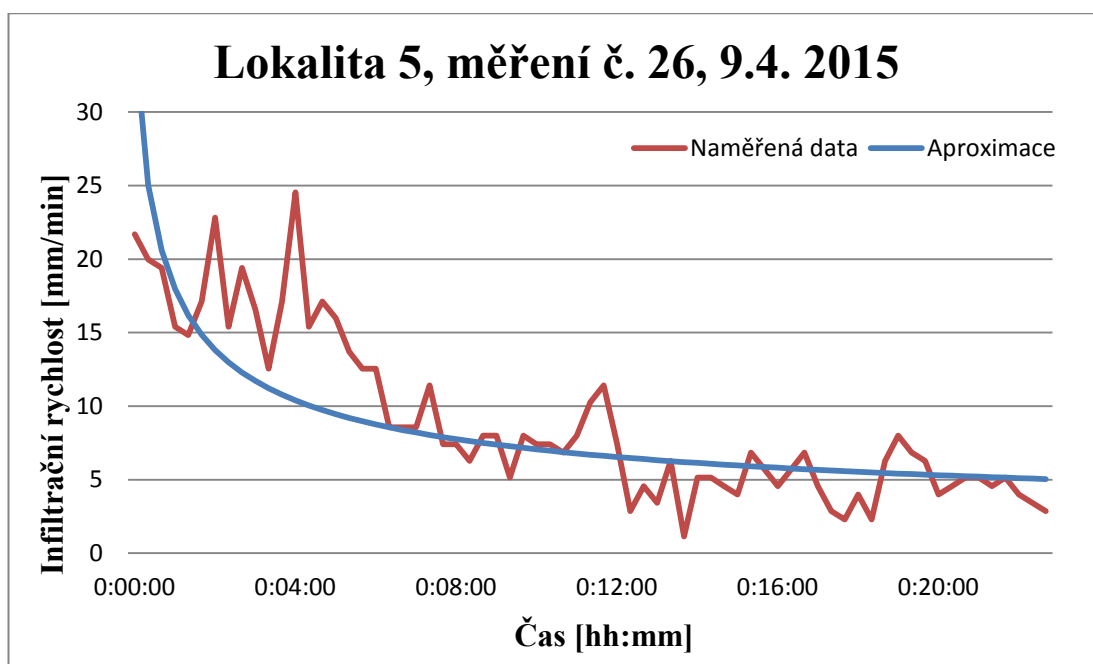
Příloha 23 Průběh měření infiltrační rychlosti na L5 u měření č. 24



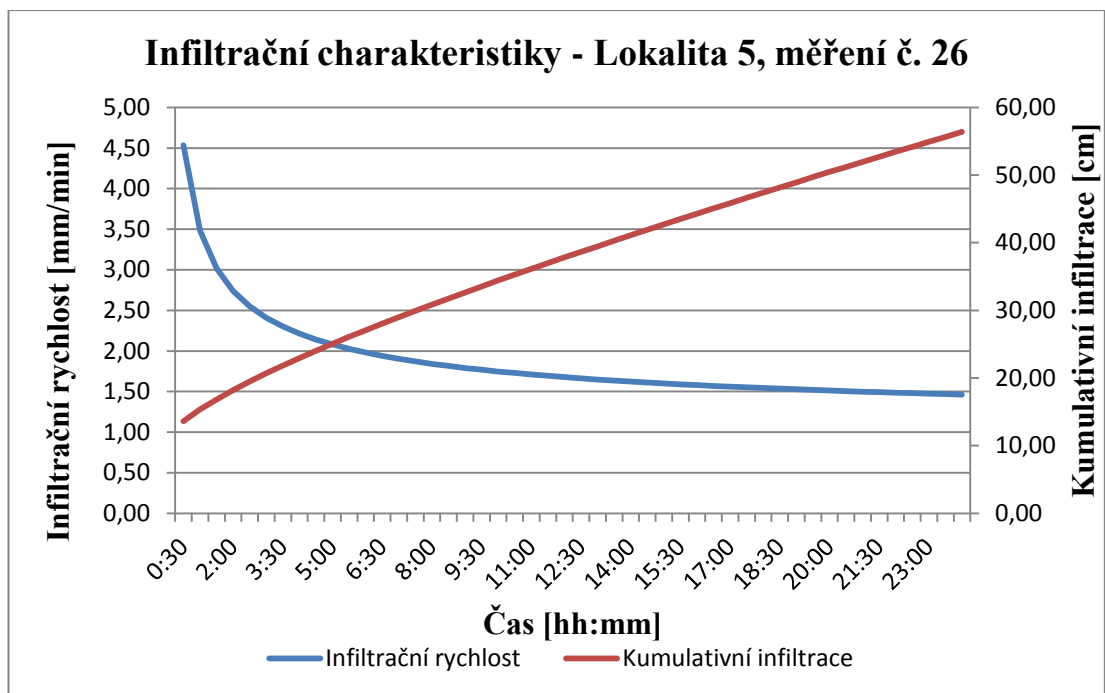
Příloha 24 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 24



Příloha 25 Průběh měření infiltrační rychlosti na L5 u měření č. 25



Příloha 26 Průběh měření infiltrační rychlosti na L5 u měření č. 26



Příloha 27 Ustálení infiltrační rychlosti pomocí extrapolace u měření č. 26



Příloha 28 Válec zaražený do povrchu a naplněný vodou (Foto: Jiří Pivoňka)



Příloha 29 *Průřez nasycené zeminy ve válci po vytažení z povrchu* (Foto: Jiří Pivoňka)



Příloha 30 *Edafon ve válci se zeminou* (Foto: Jiří Pivoňka)



Příloha 31 *Plnění prostoru mezi povrchem a zásobní nádrží* (Foto: Jiří Pivoňka)

9. SEZNAM ZKRATEK

A	<i>součinitel dlouhodobé infiltrace</i>
BPEJ	<i>Bonitovaná půdně ekologická jednotka</i>
cm	<i>centimetr</i>
CN	<i>Curve Numbers</i>
ČR	<i>Česká Republika</i>
GradH	<i>hydraulický gradient</i>
h	<i>vlhkostní potenciál</i>
HPJ	<i>hlavní půdní jednotka</i>
HSP	<i>hydrologická skupina půd</i>
i_t	<i>velikost infiltrace</i>
K	<i>hydraulická vodivost</i>
k.ú.	<i>katastrální území</i>
km	<i>kilometr</i>
l/s/ha	<i>litr za sekundu na hektar</i>
L1	<i>Lokalita 1</i>
L2	<i>Lokalita 2</i>
L3	<i>Lokalita 3</i>
L4	<i>Lokalita 4</i>
L5	<i>Lokalita 5</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
m n.m	<i>metry nad mořem</i>
max.	<i>maximum</i>
mm/min	<i>milimetr za minuty</i>
MS	<i>Microsoft</i>
MT	<i>mírně teplý</i>

PC	<i>Personal Computer</i>
Re	<i>Reynoldsovo číslo</i>
S	<i>sorptivita</i>
SZ	<i>severozápad</i>
TTP	<i>trvalý travní porost</i>
ÚPV	<i>Úřad průmyslového vlastnictví</i>
V	<i>volt</i>
v_t	<i>rychlost infiltrace</i>
VÚMOP	<i>Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd</i>
z	<i>gravitační potenciál</i>