

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MĚŘENÍ INFILTRACE NA LESNÍCH PŮDÁCH VZNIKAJÍCÍCH
POD ROZDÍLNÝMI DŘEVINAMI NA LOKALITĚ AMÁLIE

VEDOUCÍ: ING. LUKÁŠ JAČKA, PH.D.

BAKALANT: TEREZA LIŠKOVÁ

PRAHA, 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Lišková

Vodní hospodářství

Název práce

Měření infiltrace na lesních půdách vznikajících pod rozdílnými dřevinami na lokalitě Amálie

Název anglicky

Infiltration measurements in forest soils developing under different tree species at the Amálie site

Cíle práce

Sepsat podrobnou literární rešerši se zaměřením na infiltrační schopnosti půdy a základní hydrofyzikální vlastnosti.

Pod rozdílnými dřevinami na lokalitě Amálie provést terénní měření kumulativní infiltrace a rychlosti infiltrace a vyhodnotit vybrané infiltrační charakteristiky.

Metodika

Stručně popsat vybrané hydrofyzikální vlastnosti půdy úzce související s infiltrační schopností půdy a dále popsat vlastnosti vybraných druhů dřevin (buk, smrk, modřín).

Na vybraných lokalitách provést terénní měření infiltračních schopností s využitím jednoválcové metody s kladnou výškou výtopy na povrchu. Vyhodnotit naměřená data a popsat rozdílné hodnoty kumulativní infiltrace a infiltrační rychlosti v závislosti na dřevině.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

infiltrace, půdní voda, jednoválcová metoda, půdní vlastnosti, vliv dřevin

Doporučené zdroje informací

Alagna, V., Bagarello, V., Di Prima, S., Iovino, M., 2015. Determining hydraulic properties of a loam soil by alternative infiltrometer techniques. John Wiley & Sons, Ltd., USA.
Jing, Z., Tingwu, L., Zhe, Y., Yaq,i H., Xiusheng, Y., 2017. Effects of time step length and positioning location on ring-measured infiltration rate. CATENA 2017/157, 344 – 356.
Kutílek, M., Nielsen, D. R., 1994. Soil hydrology. Cremlingen-Destedt: Catena, ISBN 3-923381-26-3.
Kutílek, M., 1978. Vodohospodářská pedologie. SNLT/ALFA, Praha, 296 s.
Tomášek, M., 2007. Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, 68 s.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lukáš Jačka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Konzultant

Ing. Martin Kovář

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Měření infiltrace na lesních půdách vznikajících pod rozdílnými dřevinami na lokalitě Amálie vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze

.....

Tereza Lišková

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Lukáši Jačkovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Martinu Kováři za cenné rady a podněty a za odborné vedení při zpracování této bakalářské práce. Vděk patří i mé rodině a blízkým, za jejich podporu.

Abstrakt

Práce se zabývá měřením kumulativní infiltrace a infiltrační rychlosti pod vybranými dřevinami na lokalitě Amálie. Rešerše se zaměřuje na půdní vlastnosti spjaté s infiltrací a vodou v půdě, vymezuje pojem infiltrace a popisuje metody měření. Poslední část rešerše je tvořena popisem dřevin – buk, modřín, smrk. Měření bylo provedeno jednoválcovou metodou s kladnou výškou výtopy na povrchu. Výsledky měření hodnotí neočekávaně modřínový les, jako prostředí s nejslabšími infiltračními schopnostmi, lépe si vedl bukový les a nejvyšší hodnoty byly zaznamenány pro smrkový les. Výsledné hodnoty ustálené infiltrační rychlosti se pohybovaly vlivem velké heterogenity půdního prostředí v rozmezí od 0,007 mm/s do 0,146 mm/s. Zkoumání infiltrace lesních půd je velmi užitečné, neboť její pozorování přináší cenná data o koloběhu vody, díky kterým je možné lépe hospodařit s vodou v krajině. Proto by do budoucna bylo přínosné provádět více měření infiltračních schopností půd pod odlišnými dřevinami.

Klíčová slova: infiltrace, půdní voda, jednoválcová metoda, půdní vlastnosti, vliv dřevin

Abstract

The thesis deals with the measurement of cumulative infiltration and infiltration rate under selected tree species at the Amálie site. The review focuses on soil properties related to infiltration and soil water, defines the concept of infiltration, and describes the measurement methods. The last part of the research consists of a description of tree species – beech, larch, spruce. The measurements were carried out using the single-ring method with a positive surface elevation. Unexpectedly, the measurement results rank the larch forest as the environment with the weakest infiltration capacity, the beech forest performed better, and the highest values were recorded for the spruce forest. The resulting steady-state infiltration rate values ranged from 0.007 mm/s to 0.146 mm/s due to the high heterogeneity of the soil environment. The investigation of infiltration rate of forest soils is very useful as its observation provides valuable data on water circulation that can help to better manage water in the landscape. Therefore, more measurements of soil infiltration capacity under different tree species would be beneficial in the future.

Key words: infiltration, soil water, single-ring method, soil properties, influence of trees

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce	2
3. Literární rešerše.....	3
3.1 Půda	3
3.1.1 Struktura a pórovitost	3
3.1.2 Zrnitostní složení půdy	4
3.1.3 Měrná a objemová hmotnosti půdy	6
3.1.4 Půdní voda.....	7
3.1.5 Nasycená hydraulická vodivost.....	8
3.1.6 Hydrofobie.....	9
3.1.7 Organická část půdy	9
3.2 Infiltrace.....	10
3.2.1 Válcová metoda měření.....	11
3.2.2 Další metody měření	13
3.2.3 Vyhodnocování naměřených dat	15
3.3 Lesní dřeviny	17
3.3.1 Smrk ztepilý	17
3.3.2 Buk lesní.....	18
3.3.3 Modřín opadavý	18
3.3.4 Srovnání kořenových systémů vybraných dřevin	18
3.4 Území Amálie.....	20
3.4.1 Charakteristika.....	20
4. Metodika	21

4.1	Plán měření	21
4.2	Příprava měření.....	21
4.3	Postup měření	22
4.4	Výpočty.....	23
5.	Výsledky	24
5.1	Vyhodnocení měření – lokalita buk.....	24
5.2	Vyhodnocení měření – lokalita modřín	26
5.3	Vyhodnocení měření – lokalita smrk.....	28
5.4	Srovnání lokalit.....	30
6.	Diskuse.....	32
7.	Závěr	34
8.	Zdroje	35
9.	Přílohy	41

1. Úvod

Většina zemského povrchu je pokrytá vodou, bez které by na naší planetě nebyla existence života vůbec možná. Globální koloběh vody je založen na mnoha procesech, jedním z nich je vsakování vody nazpět do půdy. Vlivem klimatických změn dochází k narušení koloběhu vody na Zemi. Změny se projevují suchem a nedostatek vody, přívalovými dešti, povodněmi a vodní erozí, v oblastech, kde donedávna takové přírodní podmínky nepanovaly. Proto je důležité zaměřit pozornost na dílčí procesy koloběhu, které mohou být pozitivně ovlivněny lidskou činností, ve prospěch přírody a života na Zemi.

Práce se věnuje terénnímu měření infiltrace na lesní půdě pod rozdílnými dřevinami. Les hraje velkou roli v hospodaření s vodou v přírodě. Nejen, že vodu zadržuje, propouští ji do hlubších podzemních vrstev, ale také ji z půdy odvádí a odpařuje ze svého povrchu do atmosféry. Práce se zaměřuje na tři dřeviny, a sice buk, modřín a smrk, a jejich rozdílný potenciál ovlivnit infiltraci v lesních stanovištích.

Literární rešerše je koncipována do tří hlavních kapitol – půda, infiltrace, lesní dřeviny. Kapitola o půdě představuje jednotlivé půdní vlastnosti ovlivňující vsakování vody. V kapitole zaměřené na infiltraci je tento proces přiblížen, jsou zde představeny metody měření, blíže pak válcová metoda, která byla využita pro měření v terénu. Metodika poté podrobně popisuje průběh měření infiltrace v terénu. Na závěr jsou vyhodnoceny a popsány data nasbíraná v terénu. Diskuse zhodnocuje výsledky a nastiňuje možnosti zlepšení.

2. Cíl práce

Cílem práce je provést na vybraných lokalitách terénní měření infiltrace za pomoci jednoválcové metody s kladnou výškou výtopy na povrchu. Vyhodnotit naměřená data a na základě literární rešerše popsat rozdíly v hodnotách kumulativní infiltrace a infiltrační rychlosti v závislosti na dřevině.

Literární rešerše bude zaměřena na infiltrační schopnosti půdy a na základní hydrofyzikální vlastnosti půdy. Dále také bude popisovat vlastnosti vybraných dřevin (buk, modřín, smrk).

3. Literární rešerše

3.1 Půda

Půda. Nenahraditelná součást přírody, jejíž množství je omezené a nelze rozšířit umělou výrobou. Považujeme ji tedy za neobnovitelný přírodní zdroj.

Pedologie nahlíží na půdu jako na nejsvrchnější vrstvu zemského obalu. Jedná se o živý organismus, jenž je v neustálém vývoji a podléhá procesům, které ho utvářejí v horizontu mnoha let (Tomášek 1995). I když se tolik mění, stále přechovává informace, jaké procesy předcházely změnám, co se dělo při vývoji a tvoření daných vrstev půdy. Základ se skládá z minerálů, organismů a zvětralin (Bičík & kol., 2009). V půdě se nachází pevná část, ale i plynná a kapalná. Díky výskytu všech skupenství a jejich vzájemné propojenosti lze označit půdu za trojfázový systém (Pavlásek & Jačka, 2014a). Půdní profil, tedy řez půdou, umožňuje pozorování onoho složení. V půdním profilu jsou znatelné půdní horizonty, vrstvy odlišné barevnosti s rozdílnou strukturou a různými vlastnostmi (Šimek, 2019). Fyzikální vlastnosti půdy budou blíže popsány v následujících podkapitolách.

3.1.1 Struktura a pórovitost

Na půdu nelze nahlížet jako na kompaktní hmotu, protože obsahuje mezi částicemi, které ji utvářejí, volné prostory neboli póry (Šarapatka, 2014). Struktura tak nahlíží na uspořádání půdních pórů a agregátů. Pojmeme půdní póry se označují prostory v půdě vyplněné vzduchem nebo tekutinou. Za půdní agregáty se považují shluky elementárních částic. Hodnocení struktury záleží na tvaru, velikosti a stabilitě agregátů. (Šimek, 2019). Podle velikosti jsou agregáty rozděleny na mikroagregáty a makroagregáty, kdy hraniční hodnota rozdělení činí 0,25 mm. Pokud jsou agregáty nestabilní a při kontaktu s vodou dochází k jejich rozpadu, označují se za pseudoagregáty.

Dle výskytu agregátů rozdělujeme půdy na půdu nestrukturní, půdu se slabě vyvinutou strukturou a půdu strukturní. V nestrukturní půdě se agregáty nevyskytují, jedná se pouze o pseudoagregáty nebo samostatné částičky. Pokud se v půdě nachází agregáty ve stopovém množství a převládají samostatné částičky, struktura je slabě vyvinuta. U půdy strukturní pak převládá zastoupení lehce oddělitelných makroagregátů. Struktura půdy má vliv na půdní vlhkost, provzdušnění půdy, tedy i na infiltraci, a to tak že u půd strukturních

je pozorována vyšší infiltrace a pozvolněji klesající infiltrace v čase než u půd nestrukturních (Pavlásek & Jačka, 2014a).

Pórovitost půdy, která je často definována též jako celková pórovitost, určuje poměr objemu půdních pórů k objemu zkoumané půdy. To lze nejlépe vyjádřit obecným vzorcem:

$$P = \frac{V_p}{V_s}, \quad (1)$$

kde P označuje celkovou pórovitost, V_p objem pórů a V_s celkový objem vzorku půdy (Šarapatka, 2014). Pórovitost je další významnou fyzikální vlastností půdy, která se odvíjí od její struktury (Šimek, 2019). Jelikož jde o poměr, udává se v procentech (Thierfelder & kol, 2005).

Dělení pórů dle velikosti:

- Kapilární póry
- Semikapilární póry
- Gravitační póry

Póry kapilární svým průměrem nepřesahují 0,2 mm a vodu vážou kapilární silou, která ovlivňuje dostupnost a pohyb vody. Semikapilární póry jsou středem mezi gravitačními a kapilárními. Gravitační póry svými rozměry umožňují vodě přirozený pohyb dolů zapříčiněný gravitační silou, provzdušňují půdu (Vráblíková & Vráblík, 2006). Tvar pórů lze rozdělit podle velikosti, avšak póry svou proměnlivostí velmi často mění průřez a celkový tvar. Jejich klikatou stavbou vzniká pórovitá síť (Czachor, 2006).

Záleží také na druhu půdy, protože každý půdní druh má odlišnou pórovitost. Obecně platí, že nejvíce pórovité jsou jílovité půdy, po nich hlinité půdy a nejméně pórovité jsou půdy písčité (Šarapatka, 2014).

3.1.2 Zrnitostní složení půdy

Dle Klasifikačního systému půd České republiky je půda členěna na jemnozem a skelet.

Rozlišují se základní tři zrnitostní kategorie jemnozeme: písek, prach a jíl. Písek je tvořen částicemi z křemene, živce, případně z úštěpků silikátových hornin (Šarapatka, 2014). Jedná se o provzdušněnou a velmi propustnou kategorii půdních částic se

schopností rychlého vysychání (Vráblíková & Vráblík, 2006). Prachem jsou částičky s velikostí mezi pískem a jílem, s nejhojnějším výskytem v půdách sprašových. Jíl se vyznačuje nejmenšími částicemi, které tvoří velkou povrchovou plochu, díky čemuž mění své fyzikální vlastnosti v závislosti na přítomnosti vody.

Skeletem se rozumí úlomky hornin o rozměrech nad 2 mm. Je členěn na hrubý písek, štěrk, kamení a balvany.

Klasifikace půdní zrnitosti spadá mezi nejstarší způsoby půdního rozboru. Schöne rozdělil zrnitostní klasifikaci do následujících čtyř tříd, které se užívají dodnes pro technické účely:

Písek	0,10-2,00 mm
Práškovitý písek	0,05-0,10 mm
Prach	0,01-0,05 mm
Jílnaté částice	<0,01 mm.

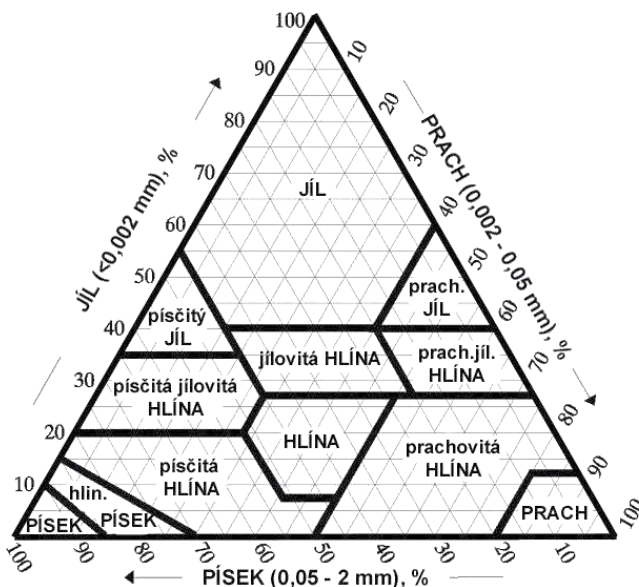
K určení zrnitosti půd a následnému zrnitostnímu rozboru se nejčastěji využívá síťování nebo sedimentační metoda.

Rozbor pomocí sítí probíhá tím způsobem, že půdní vzorek je proséván přes síta o určitém průměru ok. Výsledkem je procentuální obsah částic dané velikosti. Tato metoda se používá převážně pro určení skeletu a písku (Šarapatka, 2014).

Sedimentační metoda pak slouží hlavně pro určení obsahu jílových a prachových částic ve zkoumaném vzorku půdy. Základem metody je sedimentační rychlost částic půdy ve vazké kapalině, která se liší v závislosti na velikosti částic a na charakteru disperzního prostředí.

Výsledná data rozboru zrnitostního složení půdy pak udávají podíl jednotlivých frakcí, které půdní vzorek obsahuje. Z těchto dat lze vymodelovat čáru zrnitosti, která graficky vyobrazuje procentuální zastoupení jednotlivých druhů částic a je nejpodrobnější informací o půdním složení. Čára zrnitosti je tak nezastupitelnou pomůckou pro určení půdního druhu, stejně tak trojúhelníkový diagram zrnitosti (Obr. 1) (Pavlásek & Jačka, 2014a).

Podle druhu půdy řadíme zeminu mezi lehké, střední a těžké. Lehké půdy velmi dobře propouští vodu a mají vysoký obsah půdního vzduchu. Bývají náchylné na vysychání a vyplavování živin. Střední půdy vlídně hospodaří s vodou při zásobování rostlin a infiltrují příznivě srážkovou vodu. Těžké půdy nejsou příliš propustné, voda i vzduch jsou v nich pevně vázány (Vráblíková & Vráblík, 2006).



Obr. 1: Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (Němeček, 2011)

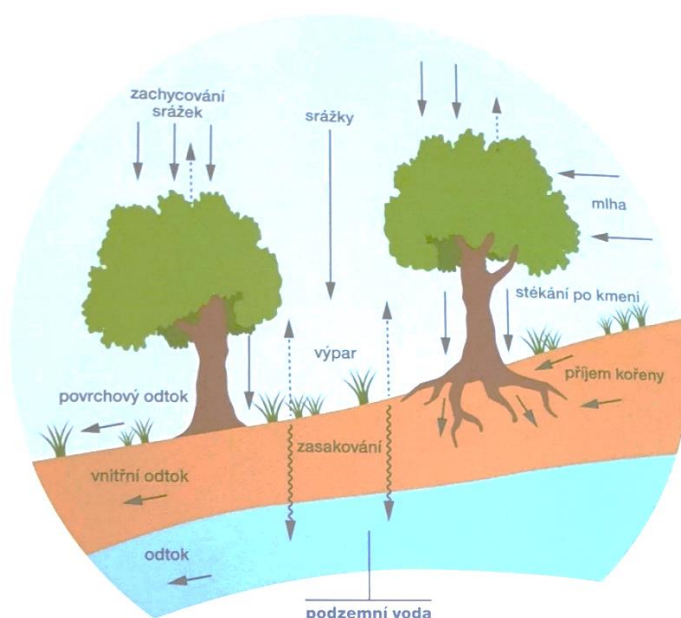
3.1.3 Měrná a objemová hmotnosti půdy

Měrnou hmotností půdy se rozumí její mineralogická skladba a množství organické hmoty. Je vyjádřena poměrem hmotnosti pevných částí půdy bez pórů vůči objemu. Pro určení objemu se využívá pyknometr a hmotnost se určuje vážením.

Objemová hmotnost půdy vyjadřuje hmotnost daného objemu půdy v přirozeném uložení, které může být ovlivněno zpracováním půdy v zemědělství či lesnictví. Objemová hmotnost zahrnuje poměr pevných částí půdy a pórovitost, z toho je logicky vyvozováno, že vysoký podíl pórů vede k nižší objemové hmotnosti a naopak. Stejně tak zrnitost frakce ovlivňuje objemovou hmotnost, přičemž jemnější zrnitost vede zpravidla k nižší objemové hmotnosti, zatímco zrnitější půdy mají vyšší objemovou hmotnost (Šarapatka, 2014).

3.1.4 Půdní voda

V půdě se nachází voda ve všech třech skupenstvích – v pevném, plynném i kapalném. Hlavní vodní příjem pro půdu se naskytuje z atmosféry v podobě srážek. Voda je půdou zachytávána a propouštěna do hlubších vrstev, část srážek je odpařena zpět do atmosféry (Tomášek, 2007). Zasakování, povrchový i podpovrchový odtok, evapotranspirace, kondenzace a srážky – to vše je součástí hydrologického cyklu na povrchu Země, který ročně globální cirkulací z oceánů nad kontinentální pevninu přinese zhruba 40 000 km³ vody v podobě oblačnosti a následných srážek. Podobný objem se poté vrací zpět do oceánů povrchovými toky, infiltrací a podzemním prouděním. Podrobnější pevninský cyklus vody v zalesněné oblasti je vyobrazen na Obr. 2, kde je patrné ovlivnění hydrologického cyklu lesním porostem (Šimek, 2019).



Obr. 2: Vodní režim v zalesněné oblasti (Šimek, 2019)

Proto je důležité zkoumat infiltraci lesních půd. Znalostí infiltrace je možno vysvětlit vodní režim půdy, a díky tomu zvolit vhodné dřeviny vzhledem k hydrologickým podmínkám. Volba dřevin s ohledem na infiltraci může zabránit erozi a povodním (Mašíček & kol., 2011). Všechny dřeviny mají vliv svou korunou a kmenem na vzdušnou oblast a svými kořeny na půdní oblast. Špatný výběr dřeviny při nové výsadbě lesa a při rekultivaci ohrožuje přírodní prostředí a narušuje poměr přítoku a odtoku (Válek, 1977).

Půdní vodu dělíme do několika kategorií. Fyzikální pohled říká, že půdní voda může být gravitační, kapilární nebo hydroskopická (Šimek, 2019). Za gravitační půdní vodu označujeme takovou, která díky zvýšení vlhkosti přestane být vázaná kapilární silou a podléhá tíhové síle (Kutílek, 1978). Voda, na níž působí kapilární síla a která se vyskytuje v kapilární pórech, nese přízvisko kapilární. Silně poutaná hydroskopická voda pak neslouží rostlinám ani neodtéká, je využívána pouze určitými mikroorganismy (Šimek, 2019). Mezi vlastnosti popisující proudění vody v půdě patří infiltrace, pórovitost, vlhkost, kapilarita a měrná a objemová hmotnost. Pohyb vody v půdě zajišťují póry (Sklenička, 2003).

Proudění vody v půdě neprobíhá rovnoměrně, stejně tak i vlhkost půdy je nerovnoměrná. Tato nestálost má za následek rychlostní výkyvy proudění půdním profilem. Nerovnoměrnost proudění konkrétními prostory, často skrze makropóry, se nazývá preferenční proudění. Tento jev je často pozorován podél kořenů, v puklinách a v chodbičkách způsobených edafonem. V těchto místech vznikají preferenční cesty (National Research Council, ©2001).

3.1.5 Nasycená hydraulická vodivost

Nasycená hydraulická vodivost je fyzikální veličina, označující se K_s . Udává se v jednotkách $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nabývá nejvyšších hodnot $5\cdot 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v případě šterku, jde-li o jíl klesne až pod hodnotu $1\cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jedná se o primární znázornění možností půdy – porézního prostředí – vést vodu (Pavlásek a Jačka, 2014a). Tato půdní vlastnost má vliv na mnoho procesů odehrávajících se v půdním prostředí, jako například na infiltraci (Alagna & kol., 2015). Je nezbytná pro modelování pohybu vody v půdě a pro modelování přesunu rozpuštěných látek. Hodnoty K_s závisí jak na vlastnostech kapaliny, tak i na vlastnostech prostředí. Z vlastností kapalin je hodnota nasycené hydraulické vodivosti ovlivněna hustotou kapaliny a viskozitou kapaliny. Prostředí má vliv na K_s svou pórovitostí, svým zrnitostním složením, měrným povrchem a zakřivením pórů.

Určení nasycené hydraulické vodivosti je prováděno nepřímým měřením nebo přímým měřením. Mezi nepřímé metody měření patří například měření laboratorním permeametr. Hojně používanou metodou přímého měření je guelphský permeametr

(Pavlásek a Jačka, 2014a). Tato metoda je blíže popsána dále v metodách měření infiltrace (kapitola 3.2.2).

3.1.6 Hydrofobie

Hydrofobie neboli vodoodpudivost, je s časem proměnlivá vlastnost půdy. Je způsobena hydrofobními částicemi, které dokážou odpuzovat kapky vody. Tyto částice mají organický původ a jejich výskyt je založen na rozkladu organické hmoty, listů a jehličí, na působení organismů, slizovém povlaku kořenů (Dlapa & kol., 2004). Způsobují dočasný nepromokavý filtr na částech půdy a tím je snižovaná infiltrace. Pokud je půda velmi hydrofobní, dochází k evaporaci vody dříve, než ji půda stihne infiltrovat (Hallett, 2007). Vodoodpudivost na povrchu půdních částic při smáčení vodou přetrvává v rozpětí několika sekund až týdnů. Předpoklad pro příjem vody závisí na množství hydrofobních látek v půdě. Obsah těchto látek poté ovlivňuje množství vyplavených živin z půdy, stabilitu agregátů a procento vody v půdě (Mendelu, 2023). Vysoká hydrofobie nepříznivě ovlivňuje erozi, které předchází snížená infiltrační schopnost půdy a s tím spojený povrchový odtok (Brandt, 1969).

3.1.7 Organická část půdy

Půda je hojně obohacovaná o organickou hmotu díky vegetaci, obzvláště rostlinným opadem a odumřelými zbytky rostlin. Kořeny rostlin pomáhají s prokypřováním, s utvářením struktury půdy a s rozkladem minerálů.

Další organickou částí v půdě je edafon, tedy žížaly, drobní členovci, plísňe, houby, hmyz (Kubát, 2008). Činností živých organismů se navyšuje procento pórů a tím dochází k ovlivnění infiltračních schopností půdy (Javůrek & Vach, 2008).

3.2 Infiltrace

Procesem infiltrace se označuje prostupování vody do půdy nebo též pohlcování vody půdou (Horton, 1933). Jak uvádí Kutílek (1978), infiltrovaná voda proudí půdním profilem, dále horninovým podložím až k hladině podzemních vod, dále se částečně dostává do vodních toků. Na rozdíl od přímého povrchového odtoku, je ten podpovrchový pomalejší, což má kladný vliv na oběh vody v přírodě. Nedostatečná infiltrace a následný povrchový odtok za nepříznivých podmínek způsobují vodní erozi (Zdrálek, 1999).

Rychlost vsakování vody, tedy infiltrační rychlost, se odvíjí od vlastností půdy, druhu vegetace na stanovišti a od vydatnosti srážek a jejich typu (Vopravil & kol., 2010). Infiltrace lineárně roste s mírou srážek. Půda, která je sušší, je schopna infiltrovat více vody (Wang & kol., 2008). Přívalové deště stejně jako degradace půdy nepříznivě ovlivňují vsakování vody do půdy (Thierfelder & kol., 2005). Infiltrační rychlost se odlišuje v závislosti na půdním druhu tak, že nejrychleji probíhá zpravidla u půd písčitých, kde může dosahovat hodnot 100-150 mm za hodinu, u půd jílovitých 1-5 mm za hodinu (Šarapatka, 2014). Rychlost infiltrace je možno spočítat za pomoci vzorce:

$$v = \frac{V}{A \cdot t}, \quad (2)$$

kde V udává objem vody, A infiltrační plochu a t čas, během kterého probíhá infiltrace.

Další hodnota charakterizující infiltraci se nazývá kumulativní infiltrace, a ta udává celkové infiltrované množství vody od počátku až do konce měření. Vzorec pro výpočet zní následovně:

$$i = \frac{V}{A}, \quad (3)$$

V označuje objem infiltrované vody, A infiltrační plochu. Infiltrační rychlost se postupem času ustaluje až se stává konstantní, zatímco kumulativní infiltrace nabývá s uplynulým časem hodnot lineárně úměrných (Kutílek, 1978).

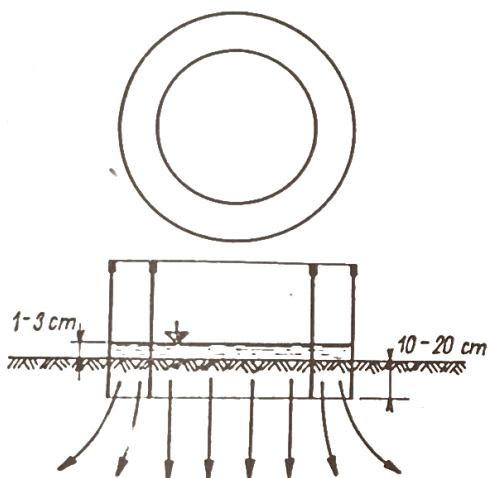
Existují různé způsoby měření infiltrace a rozdílné infiltrometry. Zvolit vyhovující metodu pro dané podmínky měření je velmi důležité, neboť nevhodný typ měření může mít podíl na zkreslení dat (Císlerová, 1989). Metody s kladnou výškou výtopy ovlivňují proudění vody v makropórech. Tímto prouděním je podporován vznik preferenčních cest,

a to může mít za následek vyšší hodnoty ustálené infiltrační rychlosti až o řád. Také využití malých infiltračních ploch přináší nepřesné výsledky, kdy data z jedné lokality mohou být značně odlišná. Tento rozdíl výsledků lze snížit provedením více pokusů (Kutílek & Nielsen, 1994). Zhang & kol. (2017) se zaměřují na časové intervaly během měření infiltrace a dochází k závěru, že kratší časové rozestupy redukují chybu výsledných hodnot.

Následující podkapitola popisuje podrobně válcovou metodu, neboť právě touto metodou byla provedena měření v rámci této práce. Po ní následuje podkapitola přibližující i jiné možnosti měření infiltrace.

3.2.1 Válcová metoda měření

Jedná se o metodu výtopovou s kladnou tlakovou výškou. Pro měření jsou používány dva soustředné válce nebo jen jeden samostatný válec. Dvouválcová metoda oproti jednoválcové by měla zajišťovat potlačení horizontální složky proudění (Obr. 3) (Reynolds, 2008). Proto Kovaříček & kol. (2007) uvádí, že užívanější variantou je právě dvouválcová metoda, i když Reynolds (2008) prosazuje více jednoválcovou metodu.



Obr. 3: Dva soustředné infiltrační válce (Kutílek, 1978)

Vnější válec plní funkci udržování svislého proudění v oblasti pod vnitřním válcem, vnitřní válec je určen k samotnému měření a probíhá v něm odečet poklesu hladiny pomocí hrotů (Bařková, 2013). Ovšem ne ve všech případech vnější válec plní svůj účel, neboť i při jeho užití dochází při některých měření k postrannímu rozlévání, v jiných

případech proudění způsobené vnějším válcem potlačuje proudění vody dolévané do vnitřního válce, a tím jsou ovlivněny naměřené hodnoty. Dvouválcová metoda tedy neposkytuje pokaždé požadované podmínky vsakování.

Průměr válců může nabývat rozměrů 5 až 120 cm (Krejča & kol., 1988; Císlerová, 1989). Pokud je prostředí velmi heterogenní, je vhodnější zvolit větší průměr válce (Lai & Ren, 2007). Vzhledem k heterogenitě půdy v České republice, je vhodné použití válců s průměrem nad 50 cm. Měření s válci o těchto rozměrech je ovšem náročnější na realizaci. Osazování větších válců je náročnější, spotřeba vody roste s větším průměrem válce. Kvůli tomu se častěji zvolí válce menších rozměrů (Pavlásek & Jačka, 2014b).

Při přípravě měření by neměl být porušen běžný povrchový stav půdy. Nejprve je zatlučen vnitřní válec, poté až následuje vnější válec. Jsou utěsněny stěny válců. Aplikace perforované desky na dno válce zajistí ochranu před rozplavováním povrchu, ke kterému by mohlo dojít doléváním vody (Kamenčíková, 2009). Na Obr. 4 je k vidění příprava jednoválcové metody.



Obr. 4: Jednoválcová metoda měření infiltrace (foto autor)

Princip měření není složitý. Do válce je doléváno známe množství vody, tak aby hladina neklesla pod požadovanou výšku výtopy. Časové intervaly mezi doléváním jsou zaznamenávány do formuláře, dokud není infiltrace ustálená (Kutílek, 1978). Pomůcky určené k jednoválcové metodě a přesný postup měření jsou uvedeny v kapitole 4.

Výhodou válcové metody měření infiltrace jsou především snadná manipulace s pomůckami, jednoduchost měření, dlouholeté zkušenosti s metodou, možnosti vyhodnocení dat a nízké náklady. Mezi zápory této metody spadá: náročnost osazování válce do půdy v prostředí s překážkami (kamení, kořeny), narušení poréznosti prostředí zatlučením válce, těžko měřitelné hlubší půdní vrstvy, udržování stejné výšky výtopy v obou válcích (Pavlásek & Jačka, 2014a). Nevýhodou je také možná chyba měření způsobena obsluhou při odečítání poklesu hladiny z hrotů (Matula, 1986).

Měření válcovými infiltrometry je využíváno při provádění návrhů sportovních hřišť, trubní drenáže nebo například při řešení nepropustných vrstev na skládkách komunálního odpadu (Baťková, 2013).

3.2.2 Další metody měření

Guelphský permeametr (Obr. 5) je určen pro měření ve vrtech, které vykazují nenasyčené prostředí, kde není přítomna hladina podzemní vody (Krejča & kol., 1988). Při měření je ve vrtu utvořena permanentní tlaková výška. Předmětem pokusu je sledování infiltrace vody a s ní spojený úbytek vody v zásobníku za určitý čas. Konec nastává ve chvíli, kdy je půdní profil nasycen a k úbytku vody dochází konstantně, tedy nastává vsakování ustálenou infiltrační rychlostí. Přístroj je nejčastěji využíván pro určení nasycené hydraulické vodivosti (David & kol., 2009).

System fungování zařízení je založen na principu Mariottovy láhve s uzpůsobením pro měření ve vrtech. Výhodou této metody je, že měření je možno provádět i v hlubších vrtech (Matula & kol, 1989). Maximální hloubka měření by mohla být až 8 m, ale nejčastěji se provádí měření pouze ve hloubkách v rozmezí 1 až 2 metrů. Další kladné atributy tohoto permeamtru jsou nenáročnost na množství vody, snadná obsluha, lehká manipulace, rychlost měření (Pavlásek & Jačka, 2014a).



Obr. 5: Guelphský permeametr (foto autor)

Pomocí **dešťového simulátoru** lze určit infiltrační rychlost z hodnot přesně stanovené intenzity deště a povrchového odtoku z plochy, na které probíhá měření. Zařízení umožňuje nastavit intenzitu srážek, a tudíž ji přizpůsobit podmínkám, které jsou pro danou oblast měření specifické. Infiltrace závisí na nastavené intenzitě deště a na zachyceném povrchovém odtoku. Sběr hodnot probíhá ve stanovených časových intervalech a je ukončen v momentu ustálení infiltrační rychlosti (Kovaříček & kol., 2008).

Metoda simulace deště je výhodná, pokud je účelem zkoumání nejen infiltrace, ale také vliv dešťových kapek na půdní povrch a míra eroze. Nasbíraná data jsou nápomocná při navrhování protierozních opatření (Janeček & kol., 2008)

Dalším typem infiltrometru je **kruhový mini disk**, který je využíván hlavně k získávání dat nenasycené hydraulické vodivosti. Jde o malý přístroj, složený ze dvou komor uložených do jedné trubice. V obou komorách je před zahájením měření voda (Decagon device, 2012). Funkce vrchní komory spočívá v regulaci tlakové výšky, dolní komora se používá pro kalibraci. K infiltraci dochází přes porézní disk, který je v kontaktu s půdou. Malý objem vodního rezervoáru přístroje je jeho velkou výhodou, neboť pro jedno měření není za potřebí více než 140 ml vody (Šindelář & kol, 2009; Baťková, 2013)

Mezi běžně používané metody se řadí i **tenzní infiltrometr** (nebo též tenzometr), ačkoliv měření s ním je finančně i časově náročné. Nicméně kvalitní tenzometry nepotřebují skoro žádnou obsluhu (Špongrová & kol., 2009). Sběr dat za pomoci tohoto zařízení je založen na měření sacího tlaku půdy. Tenzometr je složen z trubice opatřené polopropustnou membránou, vršek trubice pak uzavírá víčko a tlakoměr.

Jednosondovou metodu je možno použít pouze v oblastech měření, ve kterých se v požadované vrstvě nachází hladina podzemní vody (Bařková, 2013). Měření tedy probíhá v zóně nasycení. Jedná se o vhodnou metodu zjišťování K_s (Eijkelkamp, 2023). Pro měření je zapotřebí vyvrtat adekvátně hluboký vrt a následně počkat, až se ve vrtu ustálí vodní hladina. Vzápětí je voda z vrtu odčerpávána a je zaznamenán čas vzestupu hladiny ve vrtu (Kutílek & kol., 2004).

Automatizované měření a **automatický infiltrometr**, vyžadující minimum obsluhování, je stále ve vývoji. Už Matula (1986) uvedl, že automatizované měření by snížilo chybu měření a popisuje zařízení, které potřebuje obsluhu na dolévání vody, ale čas a pokles hladiny zaznamenává samo. Kovář & Pavlásek (2017) provedli měření automatickým infiltrometrem zkonstruovaným na České zemědělské univerzitě v Praze. Pokus ukázal, že přístroj provádí měření spolehlivě. Přístroj je však poměrně veliký a mohou nastat problémy při transportu na lokalitu měření a dalším problémem je objemná spotřeba vody. Automatizace má ale stále své výhody, nenáročnost obsluhování umožňuje provádět více měření paralelně. Díky automatickému infiltrometru je možno nastavit velmi malou výšku výtopy.

3.2.3 Vyhodnocování naměřených dat

Philipovo řešení vychází z myšlenky, že proces infiltrace je možno rozdělit do dvou složek. Původcem jedné složky je půdní potenciál, té druhé složky pak gravitační potenciál (Pavlásek & Jačka, 2014b). Zjednodušené řešení rovnice pro kumulativní infiltraci I za čas t po vyloučení členů nekonečné řady poté vypadá následovně

$$I = S_e t^{\frac{1}{2}} + At. \quad (4)$$

S_e zde znázorňuje sorptivitu, parametr A napomáhá k nepřesnému odhadu hydraulické nasycené vodivosti (Philip, 1957). Výpočtem se dostává odhad průběhu kumulativní infiltrace a infiltračních rychlostí a dalších půdních veličin.

Scaling neboli škálování je ukazatel variability při vyhodnocení půdních vlastností. Princip škálování je založen na hypotéze, že heterogenní půda v sobě obsahuje shodné homogenní domény, tudíž jsou si pochody probíhající v půdě podobné. Tuto podobnost je možno dokázat faktorem, který převádí data jedné oblasti na data druhé, čímž jsou si tato data vzájemně přiblížena (Miller & Miller, 1956).

Škálování je možno využít pro stanovení reprezentativního průběhu pozorované vlastnosti půdy a přináší variabilitu oné vlastnosti. Škálovací faktor charakterizuje nejen variabilitu měřené veličiny, ale i ostatních půdních vlastností, jejichž měření by bylo nákladné a komplikované uskutečnit v tak rozsáhlém množství, ve kterém by přineslo požadovanou variabilitu. Postup škálování lze aplikovat například na opakovaná měření průběhu infiltrace jedné lokality (Císlarová, 1989).

3.3 Lesní dřeviny

Lesy hrají velkou roli v hydrologii povodí, na kterou je třeba se více zaměřit, vzhledem k nastávajícím změnám vodního režimu způsobených změnou klimatu (Hlásny, 2013). Přínosem lesních dřevin je bezpochyby jejich protierozní schopnost a vodohospodářská užitečnost. Pomáhají chránit půdu před vodní erozí i před větrnou erozí a příznivě ovlivňují hydrologickou bilanci. Lesní dřeviny napomáhají infiltraci dešťových srážek napříč půdním profilem. Půdní profil je poután kořenovým systémem dřevin, který jednak chrání před vyvrácením a před odnosem půdy, ale také ovlivňuje množství srážkové vody v půdních vrstvách.

Lesní porost má silný vliv na vodní režim, neboť působí jak na srážky spadlé na půdní povrch, tak i na srážky nacházející se ve vzdušném prostředí. V této oblasti vykazují dřeviny značnou efektivitu a konkrétní volba dřevin může pomoci při hledání východiska vodohospodářských problémů na určitých stanovištích (Válek, 1977).

Následující podkapitoly se věnují dřevinám, které tvořily prostředí lokalit, na kterých probíhalo měření v rámci metodiky.

3.3.1 Smrk ztepilý

Svým latinským jménem zvaný *Picea excelsa*. Jedná se o jehličnatý strom. Smrk ztepilý je hojně rozšířen v horských lesích a není náchylný k zastínění (Válek, 1977). Lze ho ale nalézt i v oblastech nižších nadmořských výšek, obzvláště v blízkosti mokřadů nebo na místech časté klimatické inverze (Chmelař, 1987).

Své kořeny zapouští smrk do hloubky 5 až 30 centimetrů a dorůstá se výšky 30 metrů. Kořeny, rozrůstající se ve svrchní části půdního horizontu, umožňují distribuovat vodu pouze mělkou vrstvou půdy, tato vrstva poté při velkých srážkách rozbředá, což v krajních situacích může způsobit sesuv půdy nebo i vyvrácení porostu. Upevňující schopnosti smrku tedy nejsou v porovnání s jinými dřevinami tak kvalitní, ale stále jsou poměrně vysoké (Válek, 1977). Kvůli svému kořenovému uspořádání trpí smrk na nedostatek vláhy. Výhodou tohoto druhu je jeho nenáročnost ohledně chemického složení půdy (Chmelař, 1987). Na druhou stranu v oblastech smrkových monokultur dochází ke kysnutí

půdy, což má za následek podstatné ztížení uchycení nových listnatých stromů (Kremer, 1995).

3.3.2 Buk lesní

Buk lesní, latinsky *Fagus sylvatica*, je pomalu rostoucí strom, který snáší silné zastínění. Jedná se o dřevinu citlivou na poranění, s nízkou výmladností (Válek, 1977). Dorůstá se výšky 35 až 45 metrů a dožívá se až 400 let (Zahradník, 2014). Kůra buku má hladkou strukturu. Kořenový systém je zapuštěn svisle případně šikmo do půdy, čímž činí buk velmi užitečnou dřevinou v oblastech pramenišť. Kořeny zarůstají do hloubky větší než 1 m, tím je zajištěno výrazné navyšování infiltrace srážek do hlubších půdních vrstev a současně je zamezováno soustředování povrchového odtoku. Navzdory tomu buk nesnáší zaplavení a nehodí se na úbočí, kde dochází k sesuvům. (Válek, 1977). Vyrůstá hlavně v provlhčených půdách s vysokým obsahem živin (Kremer, 1995).

3.3.3 Modřín opadavý

Modřín opadavý nebo též evropský, latinsky *Larix decidua*, je horskou dřevinou, která je schopná růst velmi rychle, při splnění podmínky dostatečného světla (Válek, 1977). Jehlice modřínu se na podzim nejdříve zabarví do žluta a poté opadají (Kremer, 1995). Ve vhodném prostředí se modřín dorůstá až 50 metrů a dožívá 500 let. Pokud nemá dostatek slunečního světla, projeví se to zakrslým vzrůstem. I přes náročnost na světelné podmínky, je modřín velmi odolný při teplotních výkyvech a ustojí i tuhé kontinentální zimy. Přírodným prostředím mu jsou horní hranice lesa v horských oblastech. V České republice se vyskytuje povětšinou umělou výsadbou (Chmelař, 1987).

Kořenový systém této dřeviny nabývá kulovitěho tvaru směřujícího svisle dolů, rozvinutého všestranně, zasahující do hloubky 2 metrů, o délce více jak 6 metrů. Takový kořen zajišťuje dobré zakotvení v půdě. Modřín má dobrou schopnost upevňovat půdní vrstvu (Válek, 1977). Avšak v suché písčité půdě koření při povrchu (Svoboda, 1953).

3.3.4 Srovnání kořenových systémů vybraných dřevin

Pokud budeme srovnávat délku kořenů, všechny tři dřeviny spadají do kategorie stromů s dlouhými kořeny více jak 6 m. Avšak v hloubce zapouštění kořenů jsou rozdíly. Zatímco smrk své kořeny nezapouští v průměru hlouběji než 30 cm, buk se prorůstá do hloubek

pod 100 cm, modřín dokonce až pod 200 cm. Hustotu rozvětvení kořenů má z těchto tří dřevin největší buk, který je zařazen do skupiny středně hustého rozvětvení, smrk i modřín spadají do skupiny řídké hustoty rozvětvení kořenů. Co se růstu týče, nejrychleji roste modřín, střední rychlost růstu má smrk a nejpomaleji roste buk (Válek, 1977). Tabulka 1 názorně vyobrazuje rozdíl kořenových systémů buku, modřínu a smrku.

		
Buk lesní	Modřín opadavý	Smrk ztepilý

Tabulka 1: srovnání kořenů dřevin (vls.cz, upraveno autorem)

3.4 Území Amálie

Měření v rámci této práce proběhla na pozemcích České zemědělské univerzity v Praze rozprostírajících se v katastrálním území obce Ruda, okres Rakovník, Středočeský kraj. Lokalita nese název Amálie a je označována za přírodní laboratoř, neboť v ní od roku 2019 probíhá projekt „Chytrá krajina“. Celková rozloha činí zhruba 500 ha. Hlavní využití území spočívá v živočišné a rostlinné výrobě a v konvenčním zemědělství. Její prostory jsou využívány k verifikaci inovativních metod v lesnictví a zemědělství a ke zkoumání následků konkrétních jevů v prostředí. Výstupy z pozorování je možno generalizovat na nezanedbatelné území ČR.

3.4.1 Charakteristika

Podnebný charakter Amálie odpovídá krajinně, jíž lze očekávat v následujících dekádách na většině území České republiky. Realizovaná opatření na území Amálie si kladou za cíl přizpůsobit krajinu blížícím se klimatickým změnám a tím získat dostatek dat pro vytvoření ucelené metodiky pro vytváření opatření, která budou podporovat zmírnění změn i na zbytku území ČR, ba dokonce v celé Evropě. Zemědělská půdy v současnosti trpí, kvůli nedostatku zadržené vody. Dalším velkým problémem je eroze půdy a splachování ornice vlivem přívalových dešťů.

Oblastí protékají dva potoky, na severu území se jedná o Karlův Luh, v jižní části poté Brejlský potok. Oba potoky se vlévají do Klíčavy, která je levostranným přítokem Berounky. Ráz krajiny lokality se projevuje vlnicím se terénem se značnou členitostí na jihu. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí 346–475 m n.m. Jedná se o srážkově chudou oblast, jednu z nejsušších v celé republice, neboť západočeské pohoří brání příchodu oblačnosti, kterou přináší proudění ze západu od Atlantiku. Celé území je tak ve velkém srážkovém stínu a bojuje s narušením hydrologického režimu.

Klimatický region, ve kterém se území Amálie rozprostírá, je mírně teplý, suchý a s mírnou zimou. Čím dál častěji dochází v této oblasti ke klimatickým extrémům, zejména se jedná o vysoké teploty a ustavičné sucho. Průměrná roční teplota činí 8 °C. Úhrn srážek během vegetačního období nabývá hodnot 350 až 400 mm a roční srážkový úhrn 480 až 550 mm (Sklenička & kol., 2020).

4. Metodika

4.1 Plán měření

Terénní měření proběhlo ve dnech 12. 7. 2022 a 13. 7. 2022 na území Amálie, které je popsáno v kapitole 3.4. Pro měření infiltrace byla zvolena jednoválcová výtopová metoda. Touto metodou bylo provedeno 6 pokusů na třech lokalitách. Všechna měření proběhla na zalesněných plochách, jednotlivé lokality však odlišoval druh dřevin. První lokalitou byl bukový les, ve druhé lokalitě probíhalo měření pod modřiny a ve třetí lokalitě se měřila infiltrace pod smrky. Jednotlivá stanoviště od sebe byla vzdálená pár desítek metrů. V oblasti dochází k dlouhodobému monitoringu vlhkosti půdy.

4.2 Příprava měření

Pro měření byly zapotřebí válcové infiltrometry, zvolily se válce o průměru 30 cm a 32 cm. Na zatlučení válců do země byla použita palice, litinový kříž, libela. Dále se při měření využili stopky, kalibrované nádoby na dolévání vody, barely s vodou, kovový systém hrotů (viz. Obr. 6) sloužící pro určení přesného poklesu hladiny, skládací metr, desky, zápisník a psací potřeby.



Obr. 6: Kovový systém hrotů pro odečet výšky výtopy (foto autor)

Nejprve proběhlo určení pozice pro osazení válce. Následně se válec za pomoci litinového kříže a palice zatloukl do požadované hloubky, která se před začátkem pokusu

přeměřila stejně jako průměr válce. Libelou bylo ověřeno vodorovné zasazení infiltračního válce do půdy. Na osazený válec se umístil systém hrotů (Obr. 7). Do kalibrovaných nádob rozdílných objemů byla z barelů připravena voda pro zahájení měření.



Obr. 7: Válec připravený pro zahájení měření (foto autor)

4.3 Postup měření

První krok měření v sobě zahrnuje nalití počátečního množství vody z velké kalibrované nádoby do infiltračního válce na úroveň zhruba 3 až 5 cm, a současně spuštění měření času na stopkách. Do zápisníku je zaznamenáno množství (objem) prvního nalití vody. Voda se začne infiltrovat do půdy a hladina vody v infiltračním válci začne klesat a do zápisníku jsou zaznamenávány časy odtržení vody od hrotů společně s čísly hrotů. V momentě, kdy se vodní hladina odtrhne od požadovaného hrotu, který byl určen jako referenční pro dané měření, zaznamená se čas (Obr. 8) a dolije se voda z jedné připravené kalibrované nádoby o vyhovujícím objemu vzhledem k rychlosti zasakování vody ve válci. Následně je do válce dolévána voda o stálém objemu pomocí vyhovující kalibrované nádoby v intervalech určených odtržením hladiny vody od referenčního hrotu, tyto časové intervaly jsou zaznamenávány do zápisníku. Měření je ukončeno ve chvíli, kdy je infiltrační rychlost ustálena a časové intervaly jsou neměnné (Pavlásek & Jačka, 2014b).



Obr. 8: Měření času infiltrace stopkami (foto autor)

4.4 Výpočty

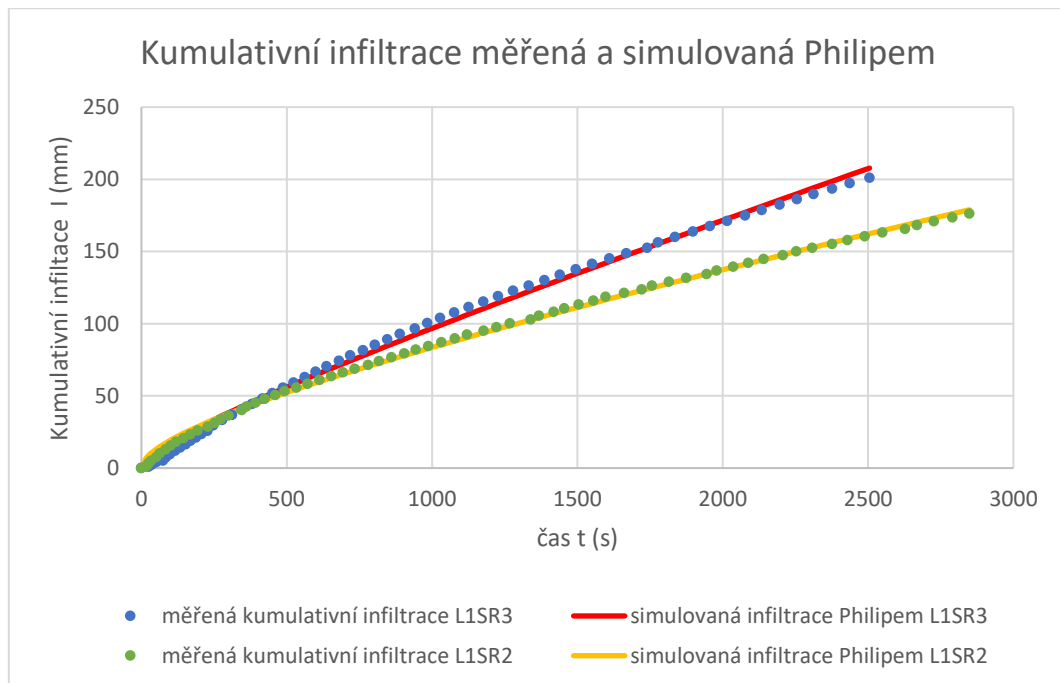
Naměřená data, která byla zaznamenána do zápisníků (kapitola 9. Přílohy), byla následně vyhodnocena v programu Excel. Nejprve byla dopočtena infiltrační plocha a pomocí dolévaného objemu, který byl znám, množství vody vsáklé za časový interval, podle vzorce (3) a dále infiltrační rychlost podle vzorce (2) uvedených v kapitole 3.2. Následně proběhla simulace hodnot podle Philipa, blíže popsána v kapitole 3.2.3. Data byla zanesena do grafů, které jsou k vidění v kapitole 5. Výsledky. Po zhodnocení rozptylu dat bylo propočteno škálování, aby bylo možno hodnoty lépe vzájemně porovnat.

5. Výsledky

5.1 Vyhodnocení měření – lokalita buk

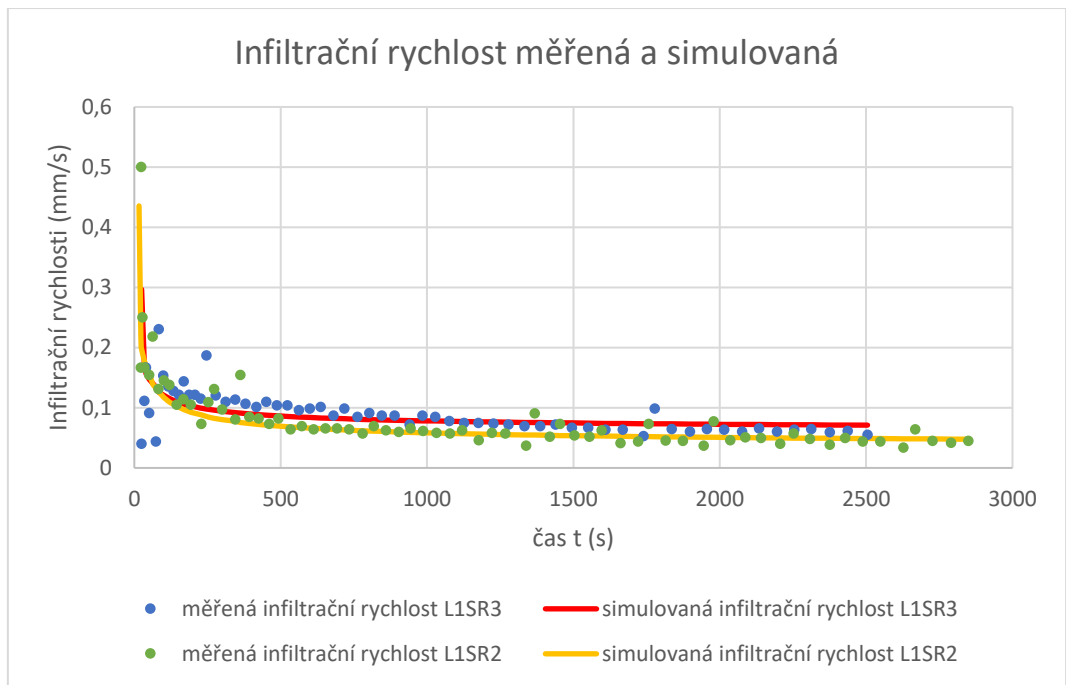
Jak je patrné z grafu na Obr. 9, průběh obou měření¹ byl velmi podobný. Nízká heterogenita půdního profilu (Obr. 11) přinesla nepříliš odlišné průběhy infiltrace. V kapitole 3.3.2 je popsán kořenový systém buku, ten propouští infiltrovanou vodu do hlubších vrstev půdního profilu.

Infiltrační rychlost (Obr. 10) se ustálila okolo hodnoty 0,05 mm/s při obou pokusech.



Obr. 9: Graf kumulativní infiltrace půdy, bukový porost

¹ Pro lokalitu 1 jsou uváděna měření SR2 a SR3. Měření SR1 bylo pouze názorné a nebylo do bakalářské práce zahrnuto. Číslování bylo zachováno z terénního měření.



Obr. 10: Graf infiltrační rychlosti, bukový porost



Obr. 11: Půdní profil, lokalita buk (foto autor)

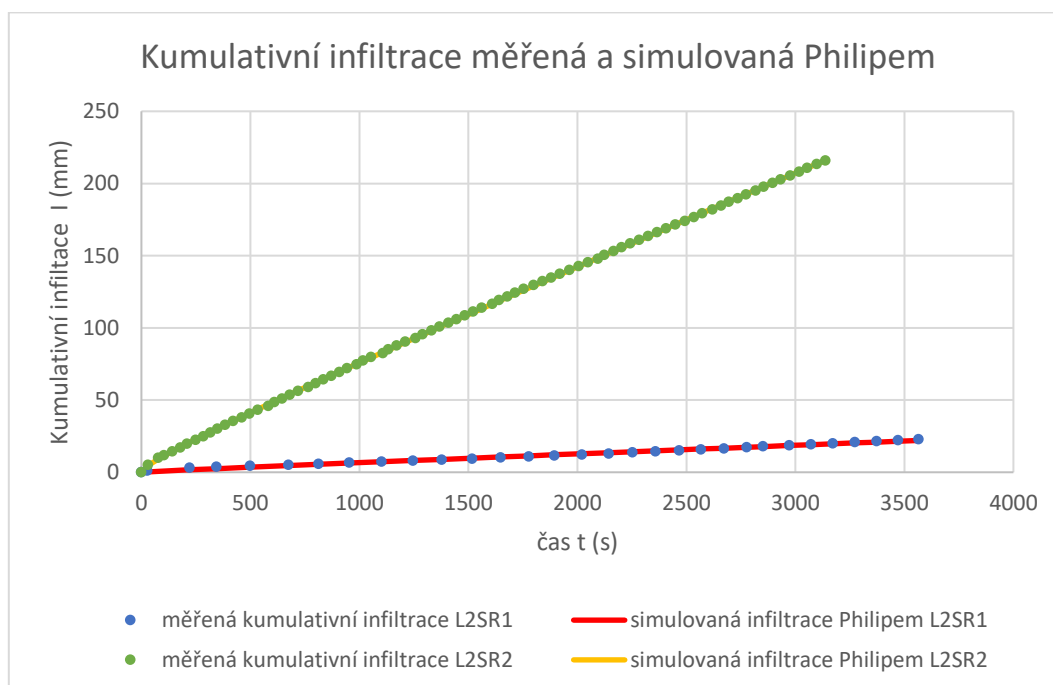
5.2 Vyhodnocení měření – lokalita modřín

Z grafu na Obr. 12 je patrné, že kumulativní infiltrace v lokalitě modřínu je pro první a druhý pokus velmi odlišná. Infiltrační rychlosti (Obr. 13) pak vyšly s rozdílem 0,06 mm/s.

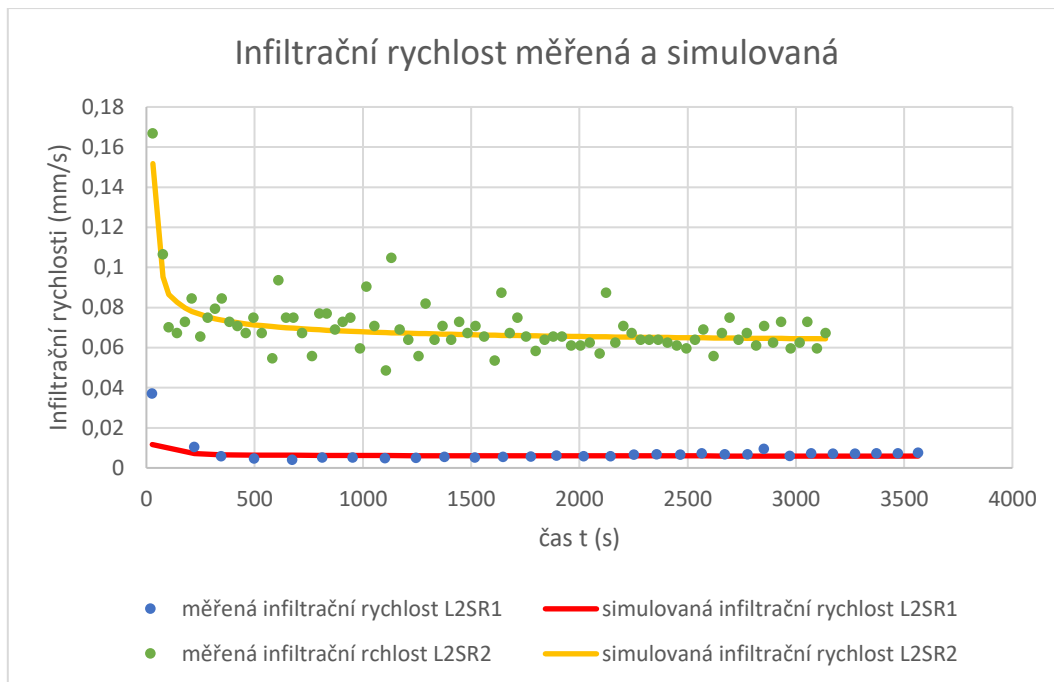
Na Obr. 14 je viditelná heterogenita půdního horizontu. V takovém prostředí nelze jednoznačně dvěma měřeními stanovit infiltrační parametry prostředí.

Drobné kořínky, vinoucí se nízko pod povrchem, utvořily preferenční cesty pro proudění vody. Tyto preferenční cesty měly vliv na měření infiltrace. Po odkrytí půdního profilu, pod infiltračním válcem, se naskytl pohled na provlhčenou půdu obzvláště v okolí kořínků, zbylá část zůstala naopak velmi suchá (Obr. 15).

Měření L2SR1 se pohybuje v opravdu nízkých hodnotách, jak pro kumulativní infiltraci, tak pro infiltrační rychlost.



Obr. 12: Graf kumulativní infiltrace, porost modřínů



Obr. 13: Graf infiltrační rychlosti, porost modřínů



Obr. 14: Půdní profil, lokalita modřín (foto autor)

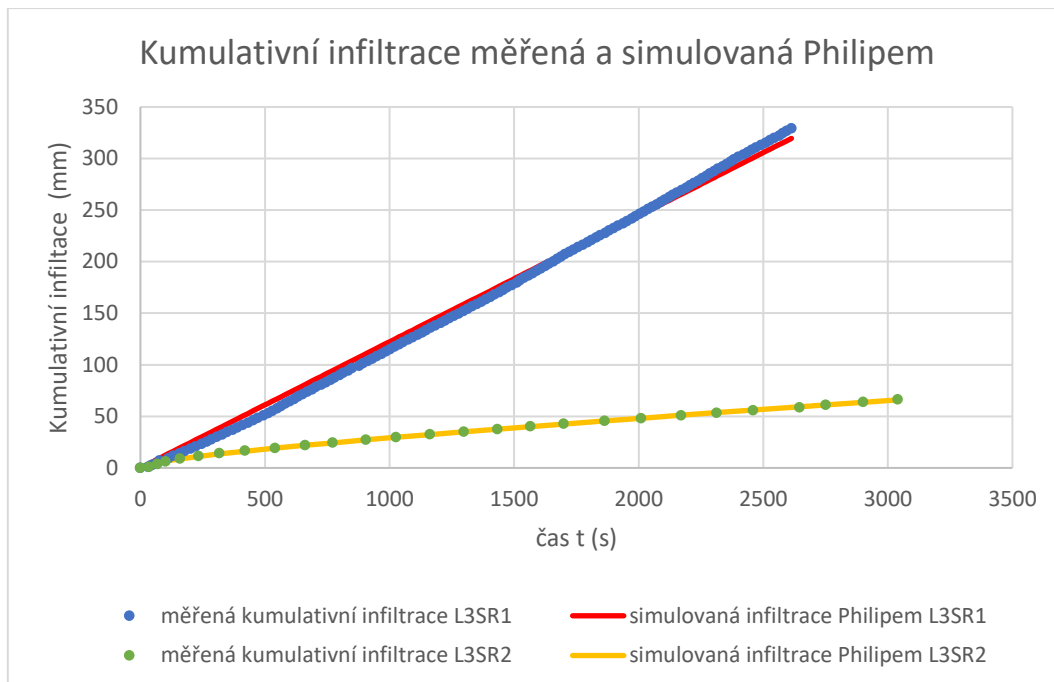


Obr. 15: Půdní profil po vyjmutí infiltračního válce, lokalita modřín (foto autor)

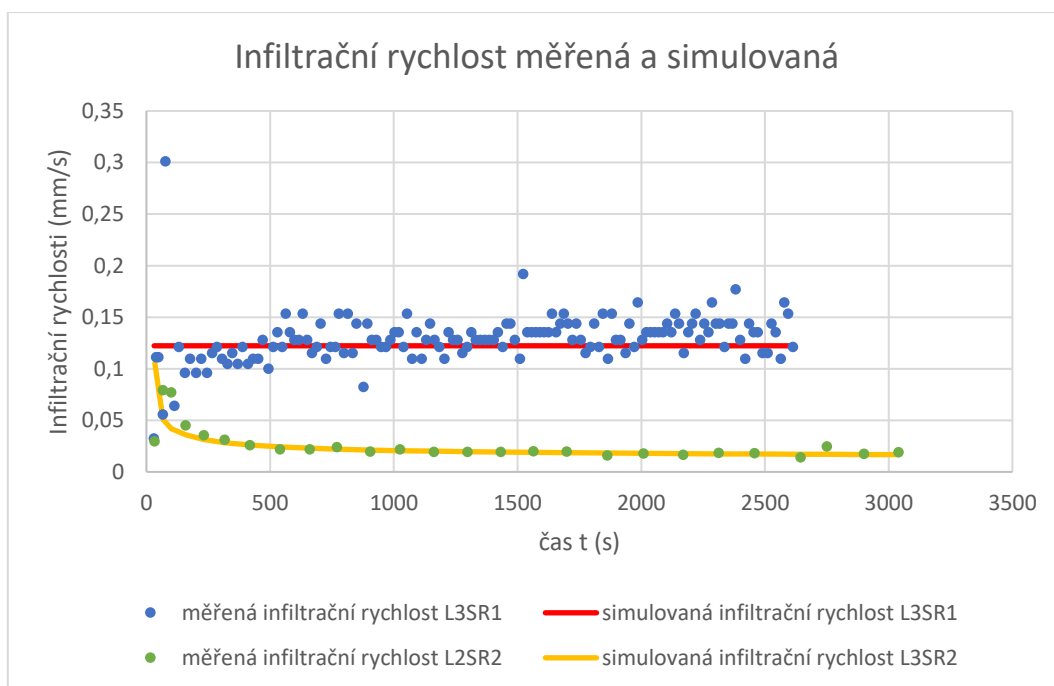
5.3 Vyhodnocení měření – lokalita smrk

Heterogenitou prostředí došlo, podobně jako u měřeních L2, k velkým rozdílů mezi prvním a druhým měřením. Rozdíl v měřeních ve 40 minutě, vyneseny v grafu kumulativní infiltrace (Obr. 16), činí 250 mm infiltrovaného vodního sloupce.

První měření ve smrkovém porostu se nepodařilo dovést k ustálené infiltrační rychlosti ani po 40 minutách, jak je vidět v grafu na Obr. 17 (měřená infiltrační rychlost L3SR1). U tohoto měření byl zachycen neobvyklý jev, infiltrační rychlost na počátku měření klesla, jak je běžné, ale později opět vzrostla a držela se v rozmezí hodnot 0,11 - 0,15 mm/s, ke konci měření pak v ještě vyšších hodnotách. Smrk koření do hloubky pár desítek centimetrů (popsáno v kapitole 3.3.1), v takovém prostředí je náročné vhodně zvolit místo a osazení válce pro infiltrační pokus, neboť i při zatlučení válce do 5 cm lze narazit na silný kořen, jako tomu bylo právě u měření L3SR1 (Obr. 18).



Obr. 16: Graf kumulativní infiltrace, smrkový porost



Obr. 17: Graf infiltrační rychlosti, smrkový porost



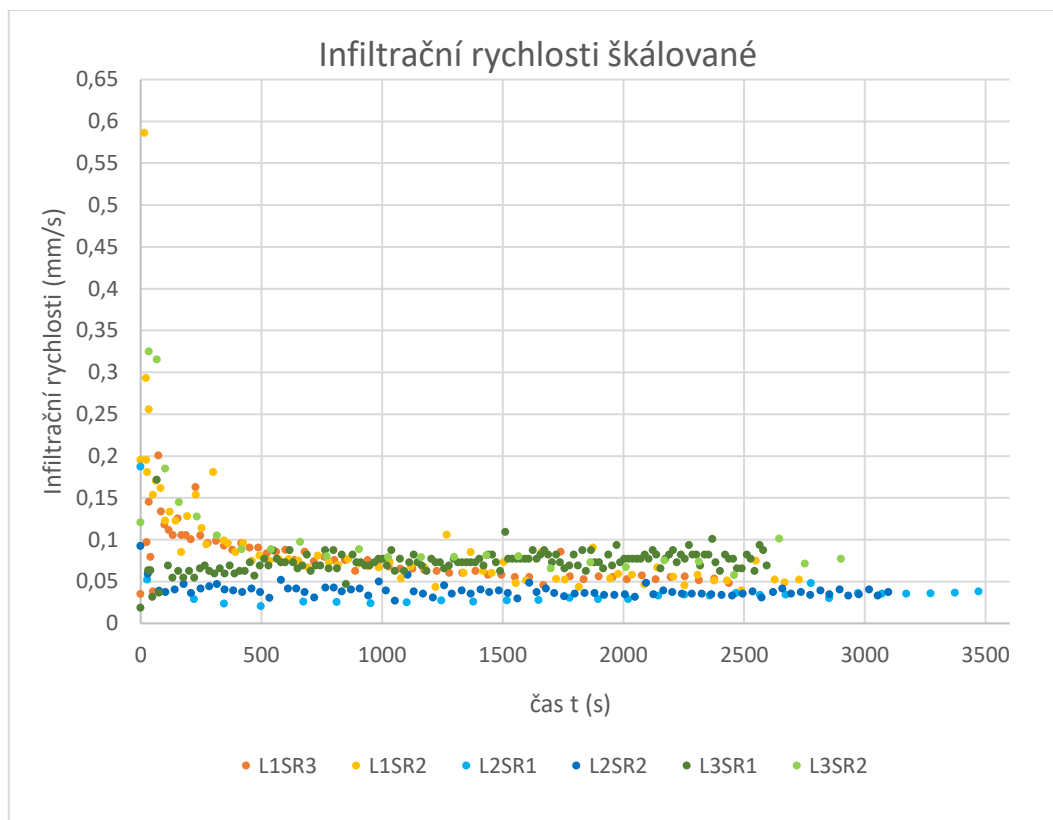
Obr. 18: Půdní profil, lokalita smrk (foto autor)

5.4 Srovnání lokalit

Nejvyšší ustálená infiltrační rychlost byla naměřena pro půdu pod smrkem, poté následovala hodnota pro buk a nejnižší byla pro modřín (Obr. 19). Pro buk byl naměřen vysoký infiltrovaný sloupec vody v prvních 5 minutách oproti ostatním měřením (přehled v Tabulka 2). Naopak smrk vykazoval na počátku měření nižší infiltraci, která později lehce stoupala. Okolo 10 min už měření L3SR1 převyšovalo infiltrační hodnoty buku a nadále stoupalo. Oproti tomu druhé měření L3SR2 vykazovalo od začátku nízký infiltrační sloupec, rozdíl po 30 minutách byl 173,15 mm. I měření kumulativní infiltrace u modřínu byla od sebe dost odlišná už od začátku, kdy rozdíl infiltrovaného sloupce měření L2SR1 a L2SR2 činil 21,2 mm a v průběhu narostl až na 118,1 mm.

kumulativní infiltrace (mm) v čase	5 minut	10 minut	20 minut	30 minut
buk L1SR2	36,41	60,96	97,60	129,01
buk L1SR3	36,89	66,73	115,23	156,26
modřín L2SR1	3,71	5,13	7,96	11,50
modřín L2SR2	24,91	48,46	90,06	129,60
smrk L3SR1	30,01	64,52	140,43	218,64
smrk L3SR2	14,09	21,94	32,41	45,49

Tabulka 2: Kumulativní infiltrace v průběžných časech pro všechna měření



Obr. 19: Graf srovnání škálovaných infiltračních rychlostí

Nejvyšší ustálená infiltrace (Tabulka 3) byla naměřena pro smrk L3SR1, jak už bylo zmiňováno, jednalo se o abnormální měření, silně ovlivněné preferenčním prouděním. Rozdíl vyšších hodnot ustálené infiltrační rychlosti půdy v bukovém lese a půdy v modřínovém lese ukazuje, že půda pod modřínem by mohla dosahovat vyšší infiltrační rychlosti než půda pod bukem, což vlivem škálování není v grafu na Obr. 19 viditelné.

	ustálená infiltrace (mm/s)	škálovací faktor
buk L1SR2	0,043	0,853
buk L1SR3	0,058	1,147
modřín L2SR1	0,007	0,198
modřín L2SR2	0,066	0,037
smrk L3SR1	0,146	1,756
smrk L3SR2	0,020	0,244

Tabulka 3: Srovnání rychlostí ustálené infiltrace a škálovacích faktorů

6. Diskuse

Výsledky měření ustálené infiltrační rychlosti a kumulativní infiltrace poukazují na skutečnost, že půda v bukovém lese infiltruje vodu velmi dobře. Ve smrkovém lese má měření širokou variabilitu a v některých případech může infiltrace dosahovat velmi vysokých hodnot, zatímco v jiných poměrně nízkých. Půda v modřínovém lese vykazuje srovnatelné hodnoty s bukem, ale taktéž širokou variabilitou zasahuje i do velmi nízkých hodnot. Při vzájemném srovnání dat se zdá ustálená infiltrační rychlost půdy pod smrkem nejvyšší, střední rychlost ustálené infiltrace probíhala pod bukem a nejpomalejší ustálené infiltrace dosáhla půda pod modřínem.

Je tedy na místě se zamyslet nad možnou příčinou rozdílných výsledků v rámci smrkového porostu a v rámci porostu modřínu. Zhodnotit možnosti a metodu měření.

Jak popisuje kořenový systém modřínu Válek (1977), dalo by se očekávat, že právě tato dřevina svým kulovitým kořenem prorůstajícím až do 2 m hloubky zajistí vysokou a rychlou infiltraci vody, naopak smrk s nízkým zapaštěním kořenů do hloubky okolo 0,3 m by ve větších hloubkách v porovnání s bukem a modřínem mohl vykazovat nejnižší infiltrační schopnosti.

Naopak z hlediska preferenčního proudění, o kterém píše National Research Council (2001), jsou pochopitelné vysoké výsledky infiltrace pro smrk, neboť při osazování infiltračního válce ve smrkovém lese se velmi jednoduše narazí na poměrně silné kořeny, podél kterých voda rychle odtéká. Buk, jehož kořeny rostou svisle dolů, neumožňuje tak vysoké preferenční proudění.

Neočekávaně nízké výsledky pro půdu pod modřínem mohou být důsledkem jílnatého podloží a hydrofobie půdy.

Zvolená metoda měření mohla mít také vliv na výsledek dat. Kutílek & Nielsen (1994) se zmiňují o metodě s kladnou výškou výtopy a uvádějí, že tato metoda má vliv na proudění v makropórech, a tím i vliv na vznik preferenčních cest. Dále zdůrazňují, že velikost infiltrační plochy, tedy průměr zvoleného válce pro měření, ovlivňuje variabilitu dat. Přičemž menší plocha přináší více nepřesný a odlišný výsledek i v rámci jedné lokality oproti větší infiltrační ploše. Tudíž zvolení jiné metody by na lesní půdě mohlo

zajistit přesnější měření, popřípadě zvolení větších infiltračních válců, jenže s tím se pojí v lesních půdách několik nepříjemných komplikací, jako například složitější zatlukání měrných válců mezi kořeny a současně daleko větší spotřeba vody, která by musela být pracně dopravována na lokalitu v barelech. Další způsob, kterým by se dalo dospět k přesnějším výsledkům, by bylo provedení většího množství měření.

Jiná, dle mého soudu ideální, možnost získání relevantních dat by byla využití automatického infiltrometru. Tím by se vyloučila chyba měření způsobena lidským faktorem. Měření válcovou metodou s kladnou výškou výtopy je vcelku náročné na obsluhu, obzvláště pokud není sledování poklesu hladiny, dolévání objemu vody a zaznamenávání stopovaného času rozděleno mezi dvě osoby. Avšak i dobré rozdělení funkcí při měření může vést k nepřesnému měření, pokud obě osoby provádějící měření nejsou správně zkoordinované.

7. Závěr

V rámci bakalářské práce proběhlo měření infiltrace v terénu jednoválcovou metodou s kladnou výškou výtopy na povrchu pod rozdílnými dřevinami na lokalitě Amálie. Naměřená data byla vyhodnocena a následně porovnána.

Ustálená infiltrace pro půdu pod bukem byla 0,043 mm/s a 0,058 mm/s, kumulativní infiltrace pro stejnou lokalitu dosáhla hodnot 129,01 mm a 156,26 mm po 30 minutách měření. Naměřené hodnoty ustálené infiltrace pro půdu pod modřínou byly rovny 0,007 mm/s a 0,066 mm/s, kumulativní infiltrace po 30 minutách měření pro stejnou lokalitu měla hodnoty 11,50 mm a 129,60 mm. Pro půdu pod smrkem byla naměřena ustálená infiltrace 0,146 mm/s a 0,020 mm/s, kumulativní infiltrace pro stejnou lokalitu dosáhla hodnot 218,64 mm a 45,49 mm.

Vzhledem k vysoké heterogenitě prostředí, bylo obtížně stanovit reprezentativní hodnotu pro jednotlivé lokality dřevin a provést následné porovnání. Škálované výsledky hodnotí smrkový les, jako prostředí s nevyšší infiltrační rychlostí, po něm bukový les a prostředím s nejnižší infiltrační rychlostí byl modřínový les. Z rešerše zaměřena na dřeviny vyplývá, že vzhledem ke kořenovým systémům je nejvyšší infiltrace ve větších hloubkách očekávaná pro modřínový a bukový les a nižší pro smrkový les. Naopak infiltrační schopnosti na povrchu vynikají pod smrkem, vlivem vysokého množství preferenčních cest ve svrchní vrstvě půdy.

Z výsledků je patrné, že měření infiltrace by bylo za potřebí provést ve větším rozsahu a mohlo by být doplněno o jinou metodu měření. I přes skutečnost, že se v bakalářské práci nedala jednoznačně stanovit infiltrace půdy pod konkrétními dřevinami, proběhla diskuse a porovnání výsledků, čímž byl naplněn cíl práce.

Infiltrace je závislá na mnoha půdních vlastnostech a její průběh ovlivňuje koloběh vody v přírodě. Vzhledem ke klimatickým změnám, a s nimi způsobenými výkyvy počasí, proměnami podnebí a čím dál častějšími přívalovými dešti, je zapotřebí se více zabývat infiltrací, hospodařením lesů s vodou a možností zvýšení infiltračních schopností půdy tak, aby zásoba vody v půdním prostředí byla dostatečná pro růst dřevin a aby docházelo k doplnění podzemních zásob vody.

8. Zdroje

Alagna V., Bagarello V., Di Prima S., Iovino M., 2015: Determining hydraulic properties of a loam soil by alternative infiltrometer techniques. John Wiley & Sons, Ltd., USA.

Bařková K., Matula S., Miháliková M., 2013: Multimediální učebnice hydroopedologických terénních měření (online) [cit. 2023.03.09], dostupné z <<http://hydroopedologie.agrobiologie.cz>>.

Bičik I., Budňáková M., Čermák P., Čtyrská J., Dreslerová D., Fiala P., Hauptman I., Janderoková J., Jech K., Kender J., Kopp J., Kubík L., Kukul Z., Matějů L., Němec J., Němec J., Novák P., Pořmourný K., Rejšek K., Penížek V., Petrů K., Sářka M., Sedláček J., Šefrna L., Vácha R., Vařků Z., Zimová M., 2009: Půda v České republice. Consult, Praha, 256 s.

Brandt G. H., 1969: Water movement in hydrophobic soils. In proceedings of symposium on water repellent soils, May 6-10. 91–115.

Císlarová M., 1989: Inženýrská hydroopedologie. ČVUT, Praha, 156 s.

Czachor H., 2006: Modelling the effect of pore structure and wetting angles on capillary rise in soils having different wettabilities. Journal of Hydrology, 328. 604–613.

David V., Dostál T., Dočkal M., Koudelka P., Krása J., Strouhal L., Vrána K., 2009: Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích. Závěrečná zpráva projektu výzkumu a vývoje OC189, Praha, 170 s.

Decagon devices, inc., 2012: Minidisk Infiltrimeter, User's manual. Pullman, Washington, 26 s.

Dlapa P., Doerr S., Lichner L., Šír M., Tesař M., 2004: Alleviation of soil water repellency: effect of kaolinite and Ca-montmorillonite. Plant, Soil Environment, 49. 358–363.

Eijkelkamp, © 2023: Hydraulic conductivity test kit (online) [cit. 2023.03.03], dostupné z <http://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/hydraulic-conductivity-test-kit-model-hooghoudt.html>.

Hallett P. D., 2007: An introduction to soil water repellency. In: RE Gaskin: Proc. 8th. International Symposium of Adjuvants for Agrochemicals, Hand Multimedia, Christchurch, New Zealand. 6–9.

Hlásny T., Sitková Z., Barka I., 2013: Regional assessment of forest effect on watershed hydrology, Slovakia as a case study. *Journal of forest science*, 59. 405–415.

Horton R. E., 1933: The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. Am. Geophys. Union* 14. 446-460.

Chmelař J., 1987: Dendrologie s ekologií lesních dřevin, Hospodářsky významné listnáče. Vysoká škola zemědělská v Brně, 133 s.

Janeček M., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-1842-7, 172 s.

Javůrek M., Vach M., 2008: Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění, metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha, ISBN 978-80-87011-57-7, 24 s.

Kamenčíková I., 2009: Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou v k. ú. Horní Meziříčko. In: Škramlík J.: XII. Mezinárodní vědecká konference. CERM, Brno. 85–89.

Kovář M., Pavlásek J., 2017: Měření infiltrací s využitím automatického infiltrometru. Česká zemědělská univerzita v Praze – Fakulta životního prostředí, Praha, 4 s.

Kovaříček P., Šindelář R., Hůla J., Honzík I., 2008: Measurement of water infiltration in soil using the rain simulation method. Research Institute of Agricultural Engineering, 123–129.

Kovaříček P., Šindelář R., Kroulík M., Hůla J., Vlášková M., 2007: Metoda měření infiltrace vody do půdy zadešťovacími zařízeními. In: Zpráva o činnosti 2006. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha. 39–43.

Krejča M., Veselá J., Alexandrová J., 1988: Poznámky k vyhodnocování infiltračních testů. Vodní hospodářství 9. 230-235.

Kremer B. P., 1995: Stromy: V Evropě zdomácnělé a zavedené druhy. Knižní klub, Praha, ISBN 80-7176-184-2, 287 s.

Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., Šimon, T., 2008: Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Výzkumný ústav rostlinné výroby, vvi, Praha, ISBN 978-80-87011-65-2, 34 s.

Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M., 2004: Hydropedologie 10. Skriptum, Fakulta stavební, ČVUT, Praha, ISBN 80-01-02237-4, 176 s.

Kutílek M., Nielsen D. R., 1994: Soil hydrology, Cremlingen-Destedt: Catena, ISBN 3-923381-26-3.

Kutílek M., 1978: Vodohospodářská pedologie. SNTL/ALFA, Praha, 296 s.

Lai, J., Ren, L., 2007: Assessing the Size Dependency of Measured Hydraulic Conductivity Using Double-Ring Infiltrimeters and Numerical Simulation. Soil Sci. Soc. Am. J. 71. 1667–1675.

Mašíček T., Toman F., Vičanová M., 2011: Infiltration ability of soil in fast-growing species plantation. In: Středová H., Rožnovský J., Litschmann T. eds.: Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Mendelova univerzita v Brně, Brno. 33–34.

Matula S., 1986: Zařízení pro automatické měření infiltrace v infiltrometru. Vodohospodářský časopis, 2. 219–223.

Matula S., Semotán J., Veselá J., 1989: *Hydropedologie – Praktikum*. České vysoké učení technické, Praha, 144 s.

Mendelu, 2023: Význam půdních mikroorganismů pro produkční a mimoprodukční funkce půdy. Infiltrace, akumulace a retenční vody (online) [cit. 2023.03.23], dostupné z http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=4008&typ=html.

Miller E. E., Miller R. D., 1956: Physical theory for capillary flow phenomena. *J. Appl. Phys.* 27. 324-332.

National Research Council, ©2001: *Conceptual Models of Flow and Transport in the Fractured Vadose Zone*. The National Academies Press, Washington, DC, ISBN 978-0-309-07302-8, 392 s.

Pavlásek J., Jačka L., 2014a: *Hydropedologie*. Fakulta životního prostředí, Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha, 103 s.

Pavlásek J., Jačka L., 2014b: *Válcový infiltrometr – manuál pro terénní cvičení*. Fakulta životního prostředí, Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha, 16 s.

Philip J.R., 1957: The theory of infiltration: 4 sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84. 257–264.

Reynolds W. D., 2008: Saturated hydraulic properties: Ring infiltrometr. In: CARTER, M.R. et GREGORICH, E. G. (eds): *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2nd Edition, CRC Press Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA. 1043-1056.

Sklenička P., 2003: *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, Praha, ISBN 80-903206-1-9, 321 s.

Sklenička P., Máca P., Hanel M., Vymazal J., Zdražil V., Kleindienst J., Černý Pixová K., Vopravil J., Kulhavý Z., Fučík P., 2020: *Chytrá zemědělská krajina proti suchu a povodním* (online) [cit. 2023.03.22.], dostupné z <https://cvpk.czu.cz/dl/101914?lang=cs>.

Svoboda P., 1953: Lesní dřeviny a jejich porosty, část I., Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 571 s.

Šarapatka B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, Olomouc, ISBN 978-80-244-3736-1, 232 s.

Šimek M., 2019: Živá půda. (2), Ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, 2019, Praha, ISBN: 978-80-200-2976-8, 261-789 s.

Šindelář R., Kovaříček P., Vlášková M., Hůla J., Kroulík M., 2009: Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru Mini Disk. Agritech Science, 2. 1–6.

Špongrová K., Kechavarzi C., Dresser M., Matula S., Godwin R. J., 2009: Development of an automated tension infiltrometer for field use. Vadose Zone Journal, 8, 810–817.

Thierfelder CH., Amézquita E., Stahr K., 2005: Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. Soil & Tillage Research, 82. 211–226.

Tomášek M., 2007: Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, ISBN 978-80-7075-688-1, 68 s.

Tomášek M., 1995: Atlas půd České republiky. Český geologický ústav, Praha, ISBN 80-7075-198-3, 36 s.

Válek Z., 1977: Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel. Praha: Stát. zeměd. Nakl., Praha, 202 s.

Vopravil J., Khel T., Vrabcová T., Havelková L., Procházková E., Novotný I., Novák P., Duffková R., Jacko K., Tylová J., Hodek T., 2010: Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 75 s.

Vráblíková J., Vráblík P., 2006: *Základy pedologie*. Fakulta životního prostředí UJEP v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 102 s.

Zahradník P., 2014: *Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty*. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, ISBN 978-7458-057-4, 374 s.

Zdralek M., 1999: Eroze půdy a její význam při hodnocení stability krajiny, Ekologická stabilita a její hodnocení. In: *Sborník referátů ze semináře, který se konal 24. 11. 1999 na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě v Ostravě*. VŠB – Technická univerzita, Ostrava. 62–64.

Zhang J., Lei T., Yin Z., Hu Y., Yang X., 2017: Effects of time step length and positioning location on ring-measured infiltration rate. *Catena*, 2017/157, 344–356.

Wang, XP, Cui, Y., Pan, YX, Li, XR, Yu, Z., & Young, MH, 2008: Effects of rainfall characteristics on infiltration and redistribution patterns in revegetation-stabilized desert ecosystems. *Journal of Hydrology*, 358. 134–143.

9. Přílohy

BOK
L1SR2

Druhá stránka nejlepšího formuláře pro záznamy měření infiltrace válcovou metodou

Údaje o průběhu měření infiltrace

Datum: 12.7.2022	čas počátku měření:	čas konce měření:
Metoda měření: jednoválcová <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	dvouválcová <input type="checkbox"/>
Průměr vnitřního válce: 30		vnějšího válce:
Hloubka zatlučení vnitřního válce: 5		vnějšího válce:
Počáteční množství dolité vody:		
Výška vody infiltrovaná během prvního časového úseku od počátku výtopy:		
Průměrná výška výtopy během měření: 4 4 3,5 4 2 3 3		
Dolévané množství: 185		

Časové záznamy:

30	1	26	7:05	51	25:04	76	101	126	151
25	2	27	7:41	52	25:55	77	102	127	152
20	3	28	8:13	53	26:37	78	103	128	153
19	4	29	8:54	54	27:41	79	104	129	154
18	5	30	9:32	55	28:41	80	105	130	155
17	6	31	10:13	56	29:17	81	106	131	156
16	7	32	10:53	57	30:15	82	107	132	157
15	8	33	11:33	58	31:14	83	108	133	158
14	9	34	12:14	59	32:25	84	109	134	159
13	10	35	13:00	60	32:59	85	110	135	160
	11	36	13:38	61	33:56	86	111	136	161
	12	37	14:20	62	34:38	87	112	137	162
	13	38	15:04	63	35:41	88	113	138	163
	14	39	15:44	64	36:47	89	114	139	164
	15	40	16:27	65	37:33	90	115	140	165
	16	41	17:12	66	38:28	91	116	141	166
	17	42	17:58	67	39:36	92	117	142	167
	18	43	18:40	68	40:29	93	118	143	168
	19	44	19:37	69	41:29	94	119	144	169
	20	45	20:22	70	42:29	95	120	145	170
	21	46	21:08	71	43:42	96	121	146	171
	22	47	22:19	72	44:28	97	122	147	172
12	23	48	22:48	73	45:27	98	123	148	173
13	24	49	23:39	74	46:30	99	124	149	174
	25	50	24:15	75	47:29	100	125	150	175

Poznámky k měření:

8,4 kg vody
5,6 kg
HROT 12 - 3cm výtopy

Vyrobena na Filipově Huti v červenci roku 2008

L1SR3
 BUK

Druhá stránka nejlepšího formuláře pro záznamy měření infiltrace válcovou metodou

Údaje o průběhu měření infiltrace

Datum: 13.7.2022	čas počátku měření: 15 15	čas konce měření:
Metoda měření: jednoválcová <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	dvouválcová <input type="checkbox"/>
Průměr vnitřního válce: 32		vnějšího válce:
Hloubka zatlučení vnitřního válce: 5		vnějšího válce:
Počáteční množství dolité vody:		
Výška vody infiltrovaná během prvního časového úseku od počátku výtopy:		
Průměrná výška výtopy během měření:	3,3 4,4 4,5 3,6 3,7 3,9	
Dolované množství:	125 OD PÁNEU DO TOLÉVÁNÍ 1300	

Časové záznamy:

30	1	26	7:31	51	20:50	76	101	126	151
25	2	27	8:07	52	27:49	77	102	127	152
20	3	28	8:43	53	29:00	78	103	128	153
19	4	29	9:22	54	29:38	79	104	129	154
18	5	30	10:00	55	30:36	80	105	130	155
17	6	31	10:37	56	31:38	81	106	131	156
16	7	32	11:20	57	32:36	82	107	132	157
15	8	33	11:58	58	33:35	83	108	133	158
14	9	34	12:42	59	34:37	84	109	134	159
13	10	35	13:23	60	35:34	85	110	135	160
12	11	36	14:06	61	36:36	86	111	136	161
11	12	37	14:49	62	37:35	87	112	137	162
10	13	38	15:41	63	38:33	88	113	138	163
9	14	39	16:24	64	39:30	89	114	139	164
8	15	40	17:08	65	40:37	90	115	140	165
7	16	41	17:56	66	41:35	91	116	141	166
6	17	42	18:46	67		92	117	142	167
5	18	43	19:32	68		93	118	143	168
4	19	44	20:27	69		94	119	144	169
3	20	45	21:19	70		95	120	145	170
2	21	46	22:13	71		96	121	146	171
1	22	47	23:07	72		97	122	147	172
	23	48	23:59	73		98	123	148	173
	24	49	24:55	74		99	124	149	174
	25	50	25:51	75		100	125	150	175

Poznámky k měření:

HRDT 2 3cm

UTĚSNĚNO - JÍČ S VODOU KOLEM HRAD VÁLCE

6,7 kg KÝBL | 3,3 kg KÝBL PO ZAHÁJENÍ

L2 SR1
MODĚLN

Druhá stránka nejlepšího formuláře pro záznamy měření infiltrace válcovou metodou

Údaje o průběhu měření infiltrace

Datum: 12.7.2022	čas počátku měření:	čas konce měření:
Metoda měření:	jednoválcová <input checked="" type="checkbox"/>	dvouválcová <input type="checkbox"/>
Průměr vnitřního válce: 32		vnějšího válce:
Hloubka zatlučení vnitřního válce: 5		vnějšího válce:
Počáteční množství dolité vody:		
Výška vody infiltrovaná během prvního časového úseku od počátku výtopy:		
Průměrná výška výtopy během měření: 3 5 2,5 5		
Dolévané množství: 57		

Časové záznamy:

30	1	26	46:17	51	76	101	126	151
25	2	27	47:54	52	77	102	127	152
20	3	28	49:32	53	78	103	128	153
19	4	0:27	51:11	54	79	104	129	154
18	5	30	52:52	55	80	105	130	155
17	6	3:41	54:33	56	81	106	131	156
	7	5:45	56:13	57	82	107	132	157
	8	8:18	57:51	58	83	108	133	158
	9	11:14	59:25	59	84	109	134	159
	10	13:32		60	85	110	135	160
	11	15:53		61	86	111	136	161
	12	18:22		62	87	112	137	162
	13	20:46		63	88	113	138	163
	14	22:58		64	89	114	139	164
	15	25:17		65	90	115	140	165
	16	27:28		66	91	116	141	166
	17	28:37		67	92	117	142	167
	18	31:35		68	93	118	143	168
	19	33:40		69	94	119	144	169
	20	35:44		70	95	120	145	170
	21	37:33		71	96	121	146	171
	22	38:18		72	97	122	147	172
	23	41:07		73	98	123	148	173
	24	42:46		74	99	124	149	174
	25	44:58		75	100	125	150	175

Poznámky k měření:

7,7 kg K45L
4,4 kg

Vyrobena na Filipově Huti v červenci roku 2008

L2SR2
 MODKIN

Druhá stránka nejlepšího formuláře pro záznamy měření infiltrace válcovou metodou

Údaje o průběhu měření infiltrace

Datum: 13.7.2022	čas počátku měření: 11.00	čas konce měření:
Metoda měření: jednoválcová <input checked="" type="checkbox"/>		dvouválcová <input type="checkbox"/>
Průměr vnitřního válce: 30		vnějšího válce:
Hloubka zatlučení vnitřního válce: 5		vnějšího válce:
Počáteční množství dolité vody:		
Výška vody infiltrovaná během prvního časového úseku od počátku výtopy:		
Průměrná výška výtopy během měření: 5 4,7 4,5 4 4,5		
Dolévané množství: 185 PŘETECITAT PRVNÍ DOLITI (53)		

Časové záznamy:

1	26	15:08	51	31:20	76	48:16	101	126	151
2	27	15:43	52	32:00	77	48:52	102	127	152
3	28	16:27	53	32:43	78	49:36	103	128	153
4	29	16:56	54	33:26	79	50:18	104	129	154
5	30	17:33	55	34:08	80	50:54	105	130	155
6	31	18:27	56	34:54	81	51:38	106	131	156
7	32	18:52	57	35:24	82	52:18	107	132	157
8	33	19:30	58	36:06	83		108	133	158
9	34	20:11	59	36:43	84		109	134	159
10	35	20:58	60	37:22	85		110	135	160
11	36	21:30	61	38:03	86		111	136	161
12	37	22:11	62	38:44	87		112	137	162
13	38	22:48	63	39:25	88		113	138	163
14	39	23:29	64	40:07	89		114	139	164
15	40	24:05	65	40:50	90		115	140	165
16	41	24:44	66	41:34	91		116	141	166
17	42	25:21	67	42:15	92		117	142	167
18	43	26:01	68	42:53	93		118	143	168
19	44	26:50	69	43:30	94		119	144	169
20	45	27:20	70	44:11	95		120	145	170
21	46	27:59	71	44:54	96		121	146	171
22	47	28:34	72	45:35	97		122	147	172
23	48	29:14	73	46:14	98		123	148	173
24	49	29:59	74	46:57	99		124	149	174
25	50	30:40	75	47:34	100		125	150	175

Poznámky k měření:

14 HROU 3cm
 5,9 kg
 3,4 kg

Vyrobena na Filipově Huti v červenci roku 2008

L3SR1
SMEL

Druhá stránka nejlepšího formuláře pro záznamy měření infiltrace válcovou metodou

Údaje o průběhu měření infiltrace

Datum: 13. 7. 2022	čas počátku měření: 12:30	čas konce měření:
Metoda měření:	jednoválcová <input checked="" type="checkbox"/>	dvouválcová <input type="checkbox"/>
Průměr vnitřního válce: 32	vnějšího válce:	
Hloubka zatlučení vnitřního válce: 5	vnějšího válce:	
Počáteční množství dolité vody:		
Výška vody infiltrovaná během prvního časového úseku od počátku výtopy:		
Průměrná výška výtopy během měření:	3,5 3 2,7 4 2,7 4,5	
Dolované množství:	PRVÍ: 57 + 115, OD PRVNÍHO 115	

Časové záznamy:

30	1	26	7:12	51	14:54	76	22:30	101	29:30	126	36:46	151
25	2	27	7:33	52	15:12	77	22:48	102	29:55	127	37:01	152
20	3	28	7:51	53	15:30	78	23:06	103	30:11	128	37:19	153
19	4	29	8:14	54	15:49	79	23:24	104	30:30	129	37:35	154
18	5	30	8:33	55	16:08	80	23:41	105	30:45	130	37:52	155
17	6	31	8:50	56	16:26	81	24:00	106	31:06	131	38:06	156
16	7	32	9:09	57	16:43	82	24:16	107	31:21	132	38:22	157
15	8	33	9:24	58	17:00	83	24:32	108	31:39	133	38:38	158
14	9	34	9:41	59	17:17	84	24:50	109	31:57	134	38:57	159
13	10	35	9:59	60	17:34	85	25:11	110	32:17	135	39:13	160
57 115	11	36	10:17	61	17:55	86	25:23	111	32:33	136	39:29	161
115	12	37	10:32	62	18:12	87	25:40	112	32:52	137	39:42	162
	13	38	10:50	63	18:33	88	25:57	113	33:06	138	40:00	163
	14	39	11:10	64	18:51	89	26:14	114	33:24	139	40:21	164
	15	40	11:29	65	19:07	90	26:31	115	33:41	140	40:37	165
	16	41	11:45	66	19:25	91	26:48	116	33:58	141	40:54	166
	17	42	12:06	67	19:44	92	27:05	117	34:15	142	41:11	167
	18	43	12:25	68	20:05	93	27:20	118	34:32	143	41:31	168
	19	44	12:44	69	20:22	94	27:37	119	34:49	144	41:51	169
	20	45	12:59	70	20:40	95	27:53	120	35:05	145	42:07	170
	21	46	13:19	71	20:58	96	28:08	121	35:22	146	42:24	171
	22	47	13:34	72	21:18	97	28:24	122	35:37	147	42:45	172
	23	48	13:54	73	21:37	98	28:42	123	35:53	148	42:59	173
	24	49	14:10	74	21:54	99	28:58	124	36:13	149	43:14	174
	25	50	14:32	75	22:12	100	29:16	125	36:30	150	43:33	175

Poznámky k měření:

7,8 kg k HROTU 15 3cm
4,3 kg
* NEPŘESLÝ ČAS

Vyrobena na Filipově Huti v červenci roku 2008

L3SR2
SHEK

Druhá stránka nejlepšího formuláře pro záznamy měření infiltrace válcovou metodou

Údaje o průběhu měření infiltrace

Datum: 13. 7. 2022	čas počátku měření: 14.00	čas konce měření:
Metoda měření: jednoválcová <input checked="" type="checkbox"/>		dvouválcová <input type="checkbox"/>
Průměr vnitřního válce: 30		vnějšího válce:
Hloubka zatlučení vnitřního válce: 6		vnějšího válce:
Počáteční množství dolité vody:		
Výška vody infiltrovaná během prvního časového úseku od počátku výtopy:		
Průměrná výška výtopy během měření: 4 2,5 1,5 2,7 3,5		
Dolované množství: 185		

Časové záznamy:

30	1	26	31:03	51	76	101	126	151
25	2	27	33:30	52	77	102	127	152
20	3	28	36:10	53	78	103	128	153
19	4	29	38:33	54	79	104	129	154
18	5	30	40:59	55	80	105	130	155
17	6	31	44:05	56	81	106	131	156
16	7	32	45:51	57	82	107	132	157
15	8	33	48:21	58	83	108	133	158
14	9	34	50:40	59	84	109	134	159
13	10	35		60	85	110	135	160
12	11	36		61	86	111	136	161
11	12	37		62	87	112	137	162
10	13	38		63	88	113	138	163
9	14	39		64	89	114	139	164
8	15	40		65	90	115	140	165
7	16	41		66	91	116	141	166
6	17	42		67	92	117	142	167
5	18	43		68	93	118	143	168
4	19	44		69	94	119	144	169
3	20	45		70	95	120	145	170
2	21	46		71	96	121	146	171
1	22	47		72	97	122	147	172
	23	48		73	98	123	148	173
	24	49		74	99	124	149	174
	25	50		75	100	125	150	175

Poznámky k měření:

130L před 7,78g 2cm k protu 12 UTOSAGNO

po 5,28g

Vyrobena na Filipově Huti v červenci roku 2008

Příloha 6: zázpisník L3SR2