

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Vliv vegetačního pokryvu na infiltraci a retenci povodí

**Bakalářská práce**

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Lukáš Jačka

**Bakalant:**

Alena Fedurcová

2011

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Lukáše Jačky. Další informace mi poskytl Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D. Uvedla jsem všechnu literaturu a další prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne: 22. 4. 2011

.....  
Alena Fedurcová

### **Poděkování:**

Děkuji Ing. Lukáši Jačkovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracovávání bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Jiřímu Pavláskovi, Ph.D. za odborné konzultace. Děkuji také svým rodičům a blízkým, jejichž podpora přispěla ke zdárnému vytvoření této práce.

**Thesis:**

Influence of the vegetation cover on infiltration and retention ability of the catchment.

**Abstract:**

This work brings the review of available methods of measuring infiltration and retention capacity of soils on different vegetation cover. It summarizes the basic methods of field and laboratory measurements of infiltration. The work is focused largely on experimental measurements which were made in the Czech Republic, especially in mountainous areas. It also brings new information about methods for measuring infiltration and summary results of infiltration and retention experiments published in world scientific literature. Furthermore, review compares results of the measurements on different vegetation covers.

Work also describes the influence of vegetation and its changes on hydro-physical properties of soils and on rainfall-runoff process in selected watersheds. The benefit of this work is the comparison of available methods which can help with selection of a suitable method for measuring infiltration and retention characteristics of the vegetation cover and soil types. Summary results measurements of infiltration and retention in different catchments can be used in hydrological modelling as input and control parameters of physically based models.

**Key words:** infiltration, retention, measurement, influence of vegetation, alteration of vegetation, deforestation

## **Abstrakt:**

Tato práce přináší literární rešerši dostupných metod měření infiltračních a retenčních schopností půd na různých vegetačních pokryvech. Shrnuje základní metody terénních a laboratorních měření infiltrace. Práce je zaměřena velkou měrou na experimentální měření uskutečněná na území České republiky, především v horských oblastech. Přináší také nové poznatky o metodách měření infiltrace a souhrn výsledků infiltračních a retenčních experimentů z vědecké zahraniční literatury. Dále porovnává výsledky měření na různých vegetačních pokryvech.

V práci je popsán vliv vegetačního pokryvu a jeho změn na hydro-fyzikální vlastnosti půd a srážko-odtokový proces na vybraných povodích. Přínosem této rešerše je porovnání dostupných metod, které poslouží pro výběr vhodného způsobu měření pro dané vegetační pokryvy a půdní typy. Souhrn výsledků měření infiltrace a retence na různých povodích lze použít při hydrologickém modelování jako vstupní a kontrolní parametry fyzikálně založených modelů.

**Klíčová slova:** infiltrace, retence, měření, vliv vegetace, změna vegetace, odlesnění

## OBSAH:

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1 Metody měření infiltrace vzhledem k vegetačnímu pokryvu.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1 Výtopové metody – s kladnou výškou na povrchu.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2 Tenzní (podtlakový) infiltrometr .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3 Zadešťovací zařízení.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.4 Guelphský permeametr .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Metody měření retence .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Využití stopovačů.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Souhrn výsledků měření infiltrace a retence .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1 Infiltrace.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2 Retence .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Vliv změny vegetačního pokryvu.....</b>	<b>27</b>
<b>3. DISKUZE .....</b>	<b>29</b>
<b>4. ZÁVĚR.....</b>	<b>34</b>
<b>5. LITERATURA A PRAMENY.....</b>	<b>35</b>
<b>6. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>41</b>

# 1. ÚVOD

Horské oblasti mají velký vliv na odtok vody v celém našem území. Jejich infiltrační a retenční schopnosti jsou klíčové při extrémních srážko-odtokových událostech a ovlivňují povodňovou aktivitu i v níže položených oblastech. Tato práce se zabývá vlivem změn různých vegetačních pokryvů na odtokové procesy, retenci a infiltraci zejména v horkých oblastech České republiky. Rešerše porovnává dostupné zahraniční prameny s českými experimenty. Porovnává infiltrační a retenční schopnosti různých půd, metodiku měření a publikované výsledky. Práce shrnuje základní metody měření infiltrace: jednoválcovým a douválcovým výtopovým infiltrometrem, jednorámovým a dvourámovým zařízením, podtlakovým infiltrometrem, simulátorem deště a guelphským permeametrem. Popisuje infiltrační experimenty, provedené na různých vegetačních pokryvech a půdních typech a problematiku využití stopovačů. Práce dále porovnává různé metodické postupy. Další část rešerše se zabývá měřením retence a shrnutím dostupných metod odhadu retenčních čar. V souhrnu výsledků měření infiltrace a retence jsou vyjmenovány některé zajímavé experimenty s prezentací naměřených dat. Poslední kapitola této práce je věnována změnám vegetačního pokryvu a jejich vlivu na infiltrační a retenční schopnosti pozorovaných lokalit. Očekávaným přínosem práce je najít v dostupné literatuře odpověď na otázku, zda mají změny vegetačního pokryvu skutečně prokazatelný vliv na infiltrační a retenční schopnosti povodí, a shrnout nejvhodnější metodické postupy pro měření infiltračních a retenčních schopností půd s ohledem na vegetační pokryv.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je provést rešerši dostupných metod měření infiltrace a retence uvedených v dostupné domácí a zahraniční literatuře. Dalším cílem je shrnout výsledky měření infiltrace a retence na různých vegetačních pokryvech a posoudit možnosti vlivu vegetace a jejích změn na infiltrační a retenční schopnosti povodí.

## 2.1 Metody měření infiltrace vzhledem k vegetačnímu pokryvu

Infiltrace je proces pronikání vody do půdního profilu přes topografický povrch (*Kutílek et al, 2004*). Nebo Miyazaki (2006) definuje infiltraci jako vstup vody do půdních pórů přes půdní povrch. Infiltraci lze charakterizovat její rychlostí (intenzitou) a velikostí (množství zasáklé vody). Množství zasáklé vody do půdy se nazývá kumulativní infiltrace. Infiltrační charakteristiky jsou ovlivněny zrnitostním složením a strukturou půdního profil. Při měření infiltrace se určuje zejména počáteční rychlost infiltrace (maximální hodnota) tato rychlost je dosažená na začátku pokusu, průběh infiltrační rychlosti v čase a ustálená rychlost infiltrace. Celkové množství zasáklé vody do půdy od začátku infiltrace po celou dobu pokusu se nazývá celková kumulativní infiltrace (*Kutílek M., 1978*).

Průběh infiltrace závisí na množství vody a způsobu jeho přivedení na půdní povrch (intenzita deště, druh srážek – sněhové nebo dešťové, zavlažování s výtopou povrchu půdy...atd.) a charakteristice půdního profilu. Z ustálené rychlosti infiltrace lze odhadnout nasycenou hydraulickou vodivost půdního prostředí (*Hillel, 1998*).

K měření infiltračních rychlostí se používají různé typy infiltrometrů. V zásadě se měření rozděluje na terénní a laboratorní podle místa uskutečnění experimentu. A podle způsobu měření a konstrukce měřícího zařízení na infiltrometry jednoválcové, infiltrometry dvouválcové, rámové infiltrometry, simulátory deště, podtlakové (tenzní) infiltrometry, guelphský permeametr, a ostatní metody měření infiltrace (*Kutílek M., 1978*).

V terénu se často provádějí na mírném svahu nebo na rovině infiltrační pokusy se simulátory deště. Na rovině lze také využít měření infiltrace s výtopou za použití válcových infiltrometrů nebo infiltrometrů různých půdorysných tvarů (*Kutílek et Nielsen, 1994*). Je důležité pro měření vybrat vhodné místo a vhodnou metodu. Ta je vybírána na základě účelu měření. Infiltračními pokusy se zjišťuje vsakovací schopnost půdy (*Vičanivá, 2008a*).

Při měření výtopovými metodami se voda vsakuje směrem dolů, do půdního profilu a zároveň se rozlévá do stran. Ve chvíli, kdy narazí na méně propustnou vrstvu podloží, se voda začne šířit lépe propustnou vrstvou všemi směry. Zároveň se šíří směrem dolů, do méně propustné vrstvy, ale v menší míře a s menší rychlostí.



Dále může být pod povrchem zlom či deprese a voda se tak bude rychleji rozlévat po směru narušení. Může dojít i ke zpomalení infiltrace, pokud voda narazí na překážku. Proto, aby pokusy vypovídaly co nejobjektivněji o vlastnostech půdy v určité lokalitě, je třeba provést více měření, která se porovnávají (Hudečková, 2008).

## **2.1.1 Výtopové metody – s kladnou výškou na povrchu**

### **Jednoválcová výtopová metoda**

Provádí se za pomoci ocelového válce. Pro měření se používají různé průměry válců. Na ocelový válec se položí kovový kříž, který se pomocí palice zarazí zhruba 15 cm hluboko do půdního profilu. Vodováhou se zkontroluje, zda je válec v zemi ukotven vodorovně. Do válce se nalije voda a její hladina se pravidelným doléváním udržuje na úrovni stabilizované hroty. Kolísání hladiny uvnitř válce by mělo být co nejnižší a výška výtopy udržována nízká přibližně 2 až 3 cm nad povrchem půdy (Valla *et al.*, 2002).

Císlerová (1988) měřila na Šumavě s výškou výtopy 10 cm. Zaznamenávaly se časové intervaly, za které se do půdního profilu vsákl určitý objem vody. Po ustálení časových intervalů, za které se zasákl stanovený objem vody, lze určit hodnotu ustálené infiltrační rychlosti (Štibinger, 1998).

Infiltraci s výtopou na povrchu praktikoval např. Tachecí (2002) v Jizerských horách v povodí Uhlířská. Část pokusů byla provedena na experimentálním svahu Tomšovka, část měření byla provedena pod svahem v rašeliništi. Bylo provedeno 100 infiltračních pokusů na smýcených a lesních svazích. Osm pokusů proběhlo v relativně sušší rašelině o mocnosti až 3m, zbylé pokusy probíhaly ve svahu. Infiltrační výtopové experimenty se uskutečnily v ocelových válcích o průměru 36 cm, zatlučených do hloubky cca 15 cm. V čase vynoření hrotu byla doléváním konstantního objemu vody udržována stále stejná hladina výtopy přibližně 10 cm nad povrchem půdy. Měření bylo ukončeno po zainfilrování 50 l vody (u pokusů s vyšší rychlostí infiltrace) nebo při ustálení infiltračních rychlostí. Což bylo zhruba 1-2 hodiny od počátku měření.

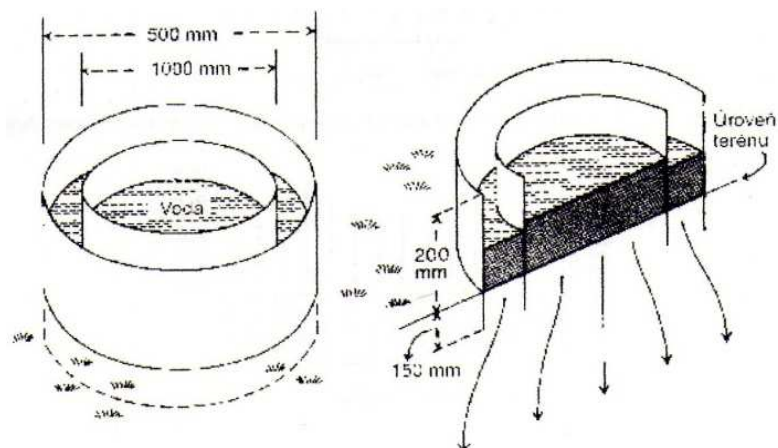
Měření v Národním parku Šumava na povodí Modrava 2, severovýchodní svah Malé Mokrůvky, proběhlo za pomoci jednoválcové výtopové metody.

Vzhledem k náročnosti terénu bylo od dvouválcové metody upuštěno. Ocelové válce o průměrech 28 cm nebo 30 cm byly zatlučeny do hloubky 10 až 15 cm. Vegetační pokryv byl upravován sestřiháním v minimálním rozsahu a to pouze pro usnadnění odečítání poklesu hladiny. Ustálená infiltrační rychlost byla vypočtena jako aritmetický průměr z posledních tří naměřených hodnot (*Jačka et al., 2011*).

### **Dvouválcová výtopová metoda**

Při této metodě se do půdního profilu zatlučkají dva válce. Nejprve se zatluče menší válec. Vně se zatluče válec o větším průměru. Ve vnitřním válci je umístěna odečítací pomůcka a měří se čas, za který se do půdy zasákne určený objem vody. Při dvouválcové metodě je důležité udržovat stejnou výšku hladiny ve vnitřním a vnějším válci. Vnější válec nám umožňuje zpřesnit měření. Částečně omezuje vsakování do stran. Tato metoda má zajistit vertikální proudnice (*Štibinger, 1998*). Avšak ne vždy ji lze použít. Příliš kamenitý terén nenabízí tolik možností pro ukotvení obou válců, proto je často preferovaná jednoválcová metoda. Použití vnějšího válce může vést ke stlačení proudnic ke středu vnitřního válce a tím nepříznivě ovlivnit průběh pokusu (*Krejča et Kutílek, 1988*).

Reynolds (2008) použil jako metodický standard dva soustředné válce o průměru vnitřního válce 30 cm a průměru vnějšího válce 60 cm. Vnější akumulací zásobník zlepšuje přesnost měření. Nicméně laboratorní studie písčiny nádrží a numerické simulace ukázaly, že dvojitý kruhový systém systematicky nadhodnocuje výsledky po celou dobu měření. Míra nadhodnocení klesá při použití jednoválcové infiltrační metody. K přeceňování i tak nadále dochází, protože fyzické bariéry poskytnuté vnějším zásobníkem nejsou účinné pro odstranění toku divergence. Není proto žádná skutečná výhoda, kterou by bylo možné získat při měření pomocí dvojitého válcového infiltrometru.



Obr. č. 1: Schéma dvouválcového výtopového infiltrometru

(Převzato z: Sedláčková, 2007)

V Jižních Čechách na polích za obcí Studená se uskutečnilo měření pomocí dvou infiltračních válců o průměru 50 cm a 100 cm. Válce byly zatlučeny do hloubky 15 cm. Pomocí měřících hrotů byla na povrchu půdy udržována konstantní výtopa asi 1 cm. Po poklesu hladiny na úroveň kontrolního hrotu byl zaznamenán čas dolítí vody. Ve vnějším válci byla během měření udržována stále stejná hladina jako ve vnitřním válci (z důvodu redukce chyby způsobené postranním roztékáním vody z vnitřního válce). Pokus viz obrázek č. 1 (Sedláčková, 2007).

Na území jihovýchodního okraje Českomoravské vrchoviny v obci Bystřice nad Pernštejnem v lokalitě Domanínek – U Javora, byly provedeny infiltrační pokusy dvouválcovou výtopovou metodou. Pozemky se nacházejí v mírně svažitém terénu v bramborářské oblasti položené 530 – 544 m. n. m. V místě měření, kde se dříve pěstovaly brambory a obiloviny je nyní půda pokryta rychle rostoucími dřevinami – topoly. Půdní typ byl stanoven jako hluboká luvická kambizem s glejovými procesy – varieta kyselá. Měřeno bylo s průměry vnitřního válce 30 cm a vnějšího válce 55 cm. Data byla následně zpracována graficko - empirickou metodou s užitím Kostjakových rovnic. Byl proveden odběr půdních vzorků do Kopeckého válečku v hloubkách 10, 20 a 30 cm (Mašíček et al., 2011).

Vičanová et al. (2008b) popisuje infiltrační pokusy s úpravou vegetačního pokryvu před měřením (vegetace byla upravena sestříháním nůžkami). A to takovým způsobem, aby bylo odstraněno co nejvíce vegetace, ale aby nebyl narušen půdní povrch. Dbá na to, aby bylo měření provedeno na rovném místě terénu. Vybraná plocha byla vymezena dvěma soustřednými do země zatlučenými kovovými válci. Vnitřní válec o průměru 30 cm a vnější válec o průměru 55 cm. Válce byly zatlučeny

10 cm hluboko. Poté byla plocha zatopena vodou a na stopkách byl měřen čas, za který se do půdy vsáкло dané množství vody. Pro odečítání výšky výtopy byl použit hřeben se zahnutým koncem, jehož hrot byl 2 cm nad povrchem půdy. Během měření byla ve vnějším válci udržována stejná výška výtopy, jako ve válci vnitřním a to z důvodu zamezení vsakování vody do stran, což by mohlo zkreslit výsledky pokusu.

Lipiec et al. (2006) provedl měření dvouválcovou metodou v Polsku blízko Pulavy. Na fluvizolovém podloží neobdělávané půdy, kde se dříve pěstovala kukuřice, řepka a pšenice. Byl proveden experiment, při němž byly použity válce o rozměrech 21,5 cm (vnitřní válec) a 30 cm (vnější válec). Válce byly zatlačeny do hloubky 14 cm. Vodní sloupec v obou válcích byl udržován ve výšce 1,5 cm nad povrchem půdy. Po ustálení infiltrační rychlosti byl pokus ukončen.

### **Ostatní způsoby měření infiltrace s kladnou tlakovou výškou**

Není podmínkou měřit válcovými infiltrometry, použít lze i infiltrometry jiných tvarů. Ty mohou usnadnit měření v lesním porostu s hustým zakmeněním (Kutílek, 1978).

V dřevino-bylinných porostech, pod porostem vojtěšky, v zasakovacích pásech v okolí zemědělských ploch, na travnatých pásech a pod trvalým travním porostem uskutečnil Vašků (2003) ekohydrologické šetření pro zjištění výskytu dešťovek v půdě. Pro měření influkčně infiltračních experimentů doporučuje dvourámové měřicí zařízení, které lze lépe přizpůsobit terénním podmínkám. Ve vhodných podmínkách lze použít pouze vnitřní rám a místo vnějšího rámu provést zahrázkování. Jako nejvhodnější konstrukci doporučuje sestavení měřicího rámu z několika dílů. Ty se potom lépe přizpůsobí tvaru terénu (např. na protierozní mezi, uvnitř dřevinno - bylinného vsakovacího pásu, ve vsakovacím průlehu, na záchytném drénu, uvnitř vsakovacího remízu či pro zjištění influkční schopnosti prasklinovitých planárních pedohydatod I. řádu).

Vašků (2008) pro experimentální měření hydrologicky stabilních krajinných útvarů (aleje, remízky, meze, extenzivně využívané plochy atd.) nedoporučuje měření válcovými výtopovými metodami. V těchto případech se přiklání k měření rámovými zařízeními. Nelépe dvourámového zařízení, které se skládá ze sestavitelných dílů. Jeho konstrukce umožňuje lepší přizpůsobení se tvaru terénu. Reprezentativní minimální měrná plocha daného půdního prostředí je v takovýchto

případech poměrně větší než měrná plocha určená kruhovým válcem o standardní velikosti. Minimální měrná plocha se může pro každý biotop měnit. Velikost této plochy lze stanovit s ohledem na zastoupení pedohydatod tedy makropórů.

Vašků (2008) uskutečnil experiment, při kterém během měření infiltrace zvětšoval měrnou plochu. Ta byla zvětšována až do takové hodnoty, která zajišťovala vyrovnané infiltrační schopnosti půdy. Doporučuje měrnou plochu 4 m<sup>2</sup> a neupravovat před měřením povrch terénu, aby nedocházelo ke změně hydrofyzikálních prvků.

Dvojitý infiltrometr nebo také zdvojený infiltrometr a multi infiltrometr pracuje na principu válcového infiltrometru s kladnou výtopou. Součástí měřící aparatury je jednoválcový infiltrometr a dále válce různých průměrů. Pro metodu dvojitého infiltrometru se používají dva válce a pro multiválcovou metodu se používají tři a více válců. Válce mají standardně 5 – 50 cm průměr a výška válce je 5 – 20 cm. Každý z válců je instalována samostatně a nesoustředně. Tato metoda není často využívána, protože instalace válců je o něco pracnější než ostatní metody. Reynolds (2008).

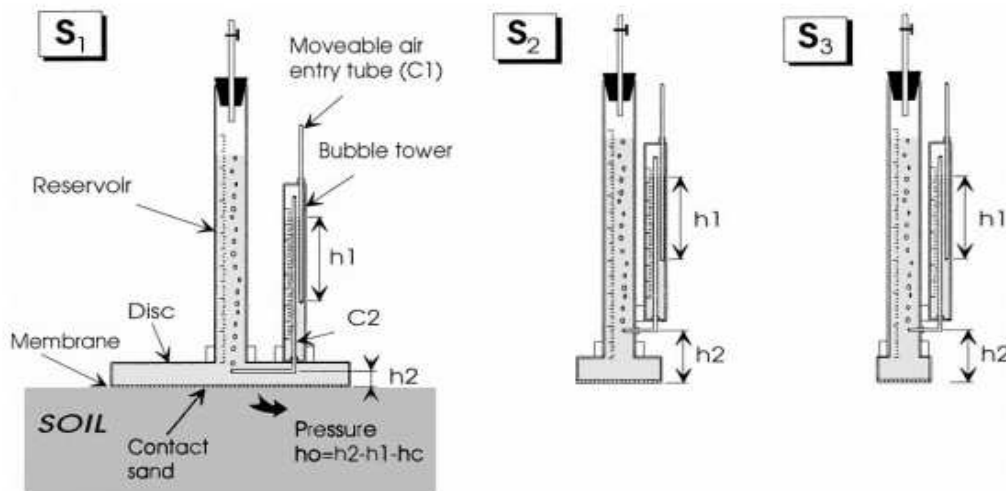
Jednoválcový infiltrometr s přístupem vzduchu je typ přístroje, kde se měří s kladnou výtopou. V principu se jedná o jednoválcový infiltrometr propojený s rezervoárem, ve kterém je zásoba vody pro udržování stálé hladiny výtopy. Tato konstrukce je sestavena tak, aby se voda sama doplňovala do nastavené výšky. Metoda není příliš využívána pro svou náročnost a citlivost zařízení. Sestavit v terénu konstrukci je oproti ostatním metodám časově náročnější. Reynolds (2008). Standardně se používá průměr válcové jednotky 25 cm. Nenarušený povrch půdy je odizolován během infiltrace válcem zatlučeným do půdy (Topp et Binns, 1976).

### **2.1.2 Tenzní (podtlakový) infiltrometr**

Základní tenzní infiltrometry jsou zpravidla diskové o průměru disku 250 mm (S1), 80 mm (S2) nebo 48,5 mm (S3). Jejich schematický náčrt je vyobrazen na obr. č. 2. Tenzní infiltrometry jsou odizolovány tkaninou o velikosti oka 20 µm.

Součástí infiltrometrů je rezervoár, který je opatřen stupnicí pro odečítání poklesu

hladiny. Dále nádrž, která poskytuje dodávku potřebného množství vody. Bublinová věž zajišťuje podtlak a je opatřena hadicí, kde je možné regulovat vstup vzduchu (tedy podtlak). Pro podtlakové měření je velmi důležitý hydraulický kontakt mezi povrchem půdního prostředí a zdrojem vody. To zajišťují pískové porézní destičky (Angulo-Jaramillo et al., 2000).

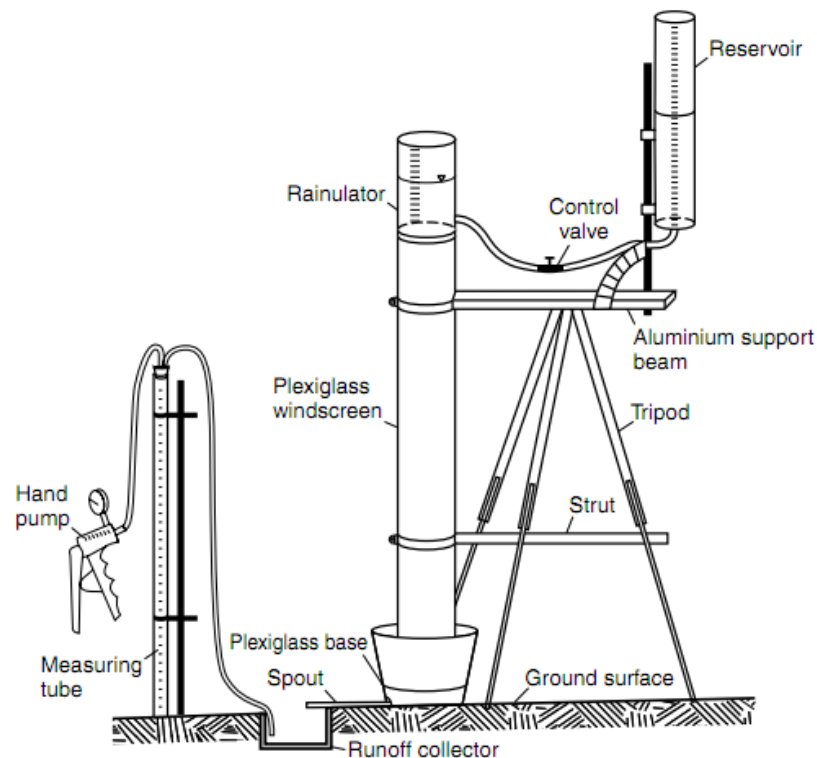


Obr. č. 2: Schéma tenzních infiltrometrů s různou konstrukcí (Převzato z: Angulo-Jaramillo et al., 2000)

Císlerová (2003) použila laboratorní podtlakový infiltrometr na vzorek písčité hlíny z experimentální plochy Kokusova Huť ze svahu Tomšovka. Odebraný vzorek byl těchto rozměrů: 12 cm průměr, 20 cm výška. K měření infiltračně výtokového experimentu byla sestavena měřící aparatura. Schéma sestavy viz obr. č. 2. Diskový infiltrometr umožňuje nastavení konstantní záporné tlakové výšky na povrchu válce. Princip přístroje je založen na propojení dvou Mariottových lahví zajišťujících podtlak na porézní membráně, která je v těsném kontaktu s půdním povrchem. Během měření se sleduje hmotnost, hodnoty na tenzometrech, změny vtoku a výtoku. Pokusy byly prováděny při sací tlakové síle, působící na povrch válce rovnající se postupně -10, -7, -5, -3, -1 cm.

### 2.1.3 Zadešťovací zařízení

Zadešťovací zařízení umožňuje zkrápět povrch půdy regulovatelnou intenzitou srážek. Během experimentu je povrch půdy uměle zadešťován regulovatelnými srážkami. Sleduje se pokles hladiny vody v měřícím válci, za určitý časový interval. Tato metoda je za vhodně zvolených podmínek velmi blízká přirozenému dešti. Zadešťovací zařízení zkrápí tryskou vymezenou plochu o zvolené intenzitě dešťových kapek. Tu je možné regulovat změnou postřikového tlaku. Hrany zadešťované plochy svádějí pomocí kovových pásů přebytečnou vodu do sběrače. Ze sběrače odtéká voda do odměrné nádoby, kde je na vahách rovnou proměřován její objem. Metoda je vhodná pro stanoviště se sklonem terénu  $2^\circ$  až  $7^\circ$ . Podle konstrukce se dělí dešťové simulátory na malé (zkrápí plochu  $0,5 - 1 \text{ m}^2$ ) a velké (zkrápí plochu  $10 - 100 \text{ m}^2$ ). Přičemž přístroje s malou konstrukcí jsou mobilnější. Vhodnější do méně přístupného terénu a jejich stavební náročnost není tak velká. (Hůla, 2010)



Obr. č. 3: Schéma dešťového simulátoru McQueen  
(Převzato z: Deborah, 2001)

Metodu využil Kovaříček et al. (2010), pro měření infiltrace v zemědělském podniku (HNG-CZECH, s.r.o.) na těžkých jílovitých půdách v kukuřičném poli, aby stanovil úbytek zeminy, který způsobila eroze půdy. Experiment byl proveden dvakrát. Poprvé bylo měřeno v kukuřičném porostu zasetém na jaře do hrůbků, které byly vytvořeny na podzim při prohlubovacím kypření v první polovině října, kterému předcházela podmítka po sklizni pšenice ozimé talířovým kypřičem. Podruhé byl pokus proveden na stejném pozemku se shodným podzimním zpracováním půdy, ale na jaře. Zaseto bylo secí kombinací s vířivým kypřičem, řádek byl zaset v ose hrůbku, povrch půdy byl prokypřen vířivým kypřičem a brázda mezi hrůbky byla zahrnuta. Pro experiment byl použit simulátor deště s měřicí plochou 0,5 m<sup>2</sup> a volitelnou intenzitou zadešťování od 40 do 150 mm.h<sup>-1</sup>. Data byla zaznamenána v pravidelných časových intervalech, měření bylo ukončeno po ustálení infiltrační rychlosti. Voda, která během pokusu odtékala z povrchu měřené plochy byla odváděna do nádoby, umístěné na digitální váze. Hmotnost kumulativního odtoku povrchové vody byla po pěti sekundách zaznamenávána do PC. Zachycená voda byla přefiltrována. Z hmotnosti sušiny odplavené zeminy byl stanoven úbytek zeminy, který byl odplaven vodní erozí.

Další měření uskutečnil v lokalitě Lešná u Zubří počátkem června na hlinitých půdách. Vegetační kryt byl tvořen trvale travnatým porostem po první seči. Opakované měření díky nepříznivým povětrnostním podmínkám nebylo uskutečněno. Na podzim proběhlo měření na louce s obnovou porostu přisevem v lokalitě Lešná. Noční srážka s úhrnem 32 mm změnila vlhkost půdy na stanovišti na úroveň 25 – 27% hm. Povětrnostní situace připravila shodné podmínky i pro stanoviště Vidče – Střítež, s vegetačním pokryvem trvalého travního porostu zatravněného před 20 lety. Zadešťování bylo simulováno z výšky 1 m. Měření povrchového odtoku vody s plochou 0,5 m<sup>2</sup>. Pro zadešťování byla použita tryska LECHLER 460.868 při postřikovém tlaku 100 kPa (což odpovídá intenzitě dešťové srážky 87,78 mm.h<sup>-1</sup>) (Kovaříček et al., 2008).

Hůla et al. (2010) použil na hlinitopísčitém terénu v řepařské výrobní oblasti pro měření infiltrace simulátor deště. Dané území se nacházelo v nadmořské výšce 230m se sklonitostí od 7,6° do 7,8°. Stanoviště pokusu I. byly s mulčem (po podmítce byla na povrch půdy rozprášena suchá rostlinná hmota ze druhé seče trvalého travního porostu) a bez mulče. Pokryvnost povrchu půdy rostlinnými zbytky v době měření byla 3,1% pro oblast bez mulče a 15,1% pro oblast pokrytou mulčem. Stanoviště



pokusu II. byly provedeny na hlinitopísčité půdě a to ve třech variantách:

1. kukuřice vyseta po umrtvení porostu meziplodinami (hořčice bílá), bez jarní předosevní přípravy
2. kukuřice vyseta po umrtvení porostu meziplodinami (hořčice bílá) s jarní předosevní přípravou talířovým kypřičem
3. přes zimu byl pozemek ponechán v hrubé brázdě, na jaře byl použit smyk s bránami pro předseťovou přípravu půdy

Pro všechny experimenty byl použit simulátor s měřicí plochou 0,7 x 0,7 m. Zařízení bylo vybaveno tryskou s kuželovitým rozptylem, která byla umístěna nad středem měřicí plochy. Tryska byla napájena hadicí spojenou s čerpadlem, které bylo vybaveno regulačním ventilem. Změnou postřikového tlaku bylo možné regulovat kinetickou energii dešťových kapek a intenzitu zadešťování. Byla použita intenzita zadešťování 100 mm.h<sup>-1</sup> při postřikovém tlaku 100 kPa. Měřicí plocha o rozměru 0,5 m<sup>2</sup> byla umístěna na mírně svažité místo. Plocha byla ohraničena plechovými pásy, které soustřeďovaly vodu do sběrače, z něhož byla voda odváděna do odměrné nádoby. Ta byla umístěna na automatických vahách.

Šach (2011) provedl experimentální měření pro zjištění vlivu obnovních sečí v lesních porostech na odtok srážkové vody ze svahu. Měření se uskutečnilo v České Čermné v podhůří Orlických hor. Na písčitohlinité, silně kamenité podzolové kambizemi, districké na žule. V přírodní lesní oblasti s označením PLO 26. Typologie lesního porostu je značena 5N1. To znamená, že se v této lokalitě vyskytuje kyselá jedlová bučina s kapradí osténkatou ve svazích. Vegetačním pokryvem experimentálních ploch byl lesní kontrolní porost, lesní oblast na které byla provedena clonná seč a oblast s holou sečí. Měření se uskutečnilo v příkrém svahu 21°, s jižní orientací, položenou ve výšce 460 – 500 m. n. m. S průměrnou roční srážkou 769 mm a průměrnými ročními teplotami vzduch 6,2°C. Pokusy byly provedeny na 16 mikroplochách o rozměrech 1 x 2 m. Doba trvání každého z pokusů byla jedna hodina. Pohyb vody na lesních půdách lze rozdělit do dvou složek. A to do složky laterální, kterou ovlivňují především laterálně orientované makropóry a do složky vertikální, ovlivňovanou především vertikálně orientovanými makropóry. Nadložní humusová vrstva se zde vyskytuje o mocnosti 9 cm s hrabankou na povrchu půdy. Lesní porost byl v místě experimentu vykácen a odvětven motorovou pilou. Vyklízení proběhlo za pomoci traktorového lanového systému, proti svahu. Během experimentu byla půda zkrápěna zadešťovacím

zařazením vlastní konstrukce. Experimentální plocha byla zkrápěna intenzitou 2 mm.min<sup>-1</sup> po dobu 60 minut.

V horské oblasti Nového Mexika a Colorada, USA bylo provedeno měření na žulovém a sopečném podloží po ničivých požárech v červnu 2000. V oblasti Nového Mexika (the Cerro Grande požár v blízkosti Los Alamos) byl vegetační pokryv tvořen převážně borovicí těžkou (*Pinus ponderosa*). V další oblasti měření byl smíšený les složený ze čtyř typů dřevin: borovice těžké (*Pinus Ponderosa*), jedle ojíněné (*Abies condolor*), douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*) a topolu (*Populus tremuloides*). Na třetím stanovišti byl zaznamenán výskyt jalovce jednosemenného (*Juniperus monosperma*) a borovice sladké (*Pinus edulis*). V oblasti Colorada (Hi Meadow požáru) byl vegetační pokryv tvořen borovicí těžkou (*Pinus ponderosa*). Plochy, kde bylo provedeno měření, se nacházely ve výšce 2100 – 2700 m n. m. Bylo měřeno v mírném svahu o sklonu 6° až 16°. K měření byl použit simulátor deště podle McQueen (1936) viz obr. č. 3. Intenzita zkrápění odpovídala přirozenému dešti o síle 48 mm.h<sup>-1</sup>. Průměr dešťové kapky byl 5,6 mm. Skrápěná plocha byla kruhového tvaru o rozměrech 0,017 m<sup>2</sup>. Průměr plastové trubky, která plochu zkrápěla, byl 0,05 m. Byla kalibrována pro měření v mililitrech. Energetická hodnota kapek odpovídala 0,137 J.cm<sup>-2</sup>.cm<sup>-1</sup>. Experiment trval přibližně 15 – 20 minut. V každé zkoumané oblasti bylo vybráno 3 až 8 lokalit, na kterých bylo prováděno měření (*Deborah et al., 2001*).

V Idaho, USA 5 km severně od Boise bylo provedeno měření na půdě, která byla zasažena ničivým požárem (zasáhl nejméně 6070 ha). Místo měření je položeno ve výšce 1400 m. Průměrný roční srážkový úhrn této oblasti činí 350 – 750 mm. Průměrné roční teploty 8° až 10°C. Půdní podloží tvoří granity a písčité hlíny. Typický vegetační kryt tvoří americký prérijní pelyněk (*Artemisia tridentata ssp.*), Idaho kostřava (*Festuca idahoensis*) občas se objevují traviny z řádu lipnicovitých (*Poa secunda Vasey*), (*Aristida l. ssp.*) dále (*Bromus tectorum L.*), (*Chrysothammus Nutt. spp.*). Další experimentální plocha je přibližně 24 km jihozápadně od Denio, Nevada v USA v borovicovém lese. Místo průzkumu se nachází ve výšce 2050 m. S průměrnými ročními srážkami 350 – 400 mm. Průměrné roční teploty se pohybují od 5° do 7°C. Podloží tvoří granity, na kterých se zvětráváním vytvořily středně hluboké písčité hlíny. Vegetaci dominují velké horské pelyňky (*A. tridentata ssp.*), Idaho kostřava a travina (*Pseudoroegneria spicata*). Jako subdominantní se vyskytují různé druhy trav, např: (*Elymus elymoides*, *Bromus carinatus*, *Leymus cinereus*, *Bromus*

*carinatus*, *Achnatherum nelsonii*) a keřů (*Chrysothamnus viscidiflorus*, *Symphoricarpos albus*, *Lupinus spp.*, *Crepis acuminata Nutt.*, *Phacelia humilis*, *Castilleja spp.*, *Antennaria rosea*). Posledním stanovištěm, kde bylo provedeno experimentální měření, byl Breaks Prescribed Fire. Tato oblast se nachází na Reynolds Creek experimentálním povodí u Owyhee hory v jihozápadním Idaho, USA. V této sledované oblasti bylo centrum požáru. Průměrná nadmořská výška oblasti je 1750 m. Průměrné roční srážky jsou přibližně 600 mm a průměrná roční teplota vzduchu je přibližně 8 °C. V této lokalitě se vyskytují hlinité půdy na žulovém podloží. Půdní textury tvoří hrubě písčité hlíny do hloubky 30 cm a písčité hlíny, do hloubky 100 cm. Studované lokality se nachází na jemných hlinitých půdách. Svahy jsou orientovány na východ se sklonem 35 % až 50 %. Vegetační pokryv je tvořen převážně horskými druhy pelyňků (*Chrysothamnus viscidiflorus*) a dalších dřevin (*Purshia tridentata*), (*Chrysothamnus viscidiflorus*), (*Juniperus occidentalis*). Objevují se i Idaho kostřavy. Na Lokalitě The Eighth Street bylo odebráno 10 vzorků pro simulaci srážek. Experimentální plochy měly rozlohu 0,5 m<sup>2</sup>. Měření proběhlo jeden rok po požáru. Další vzorky byly odebrány 2 roky po požáru, pouze na plochách závažně zasažených požárem. Všechny studované lokality byly umístěny na strmých svazích (přibližně 40% sjezdovek). Sledované lokality byly položeny ve výšce 1220 m. Srovnatelné byly lokality na severní straně svahu. Byla vybrána místa zasažená požárem a místa, které požár nezasáhl. Na lokalitě Denio se neposuzovala data z jižního svahu, který byl celý zasažený požárem. Byla posuzována pouze severní strana svahu, kde bylo vybráno 10 vzorků zasažených požárem a 10 nezasazených lokalit. Tato lokalita byla posuzována jeden rok po požáru. Další deset vzorků bylo odebraných ještě 2 roky po zasažení požárem. Rámy pro odebrání vzorků byly umístěny v roce 1999, bezprostředně po požáru. Byly ponechány na místě až do doby odběru v následujících letech. Větší počet vzorků byl umístěn v oblasti Hillslopes a to z toho důvodu, že spálené a nespálené plochy v Hillslopes od sebe byly vzdáleny 7 – 8 km. Sledované plochy byly umístěny ve svahu se sklonem 35 % - 40%. V každém roce byly z lokalit odebrány vzorky během deseti dnů, za téměř shodných podmínek (horko a sucho). Každá z lokalit byla zkoumána podle místně specifických kritérií. Lokalita Eighth Street byla skrápěna intenzitou deště  $1,86 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , po dobu 60 minut. Odtékající voda byla sbírána do zásobníku. Smytá půda byla dále analyzována při teplotě 105°C. Lokalita Denio a Breaks sites byla zkrápěna intenzitou  $2,36 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Naměřená

data byla dále statisticky zpracována (Pierson, 2008).

### 2.1.4 Guelphský permeametr

Přístroj pracuje na principu Mariottovy láhve. Během měření se udržuje konstantní výška výtopy v sondě. Měří se pokles vody v zásobníku permeamtru a časové intervaly do ustálení rychlosti poklesu vody v zásobníku, po přenásobení konstantami vycházejícími s geometrického stavu přístroje se výpočty použijí pro určení hodnoty nasycené hydraulické vodivosti (Kutílek et al., 2004). Výhodou této metody je, že během měření se spotřebuje menší množství vody než při měření infiltrace válcovými výtopovými metodami (McKenzie, 2008).

Jačka et al. (2011) na podzolových půdách v NP Šumava v nadmořské výšce 1300 m n. m. použil guelphský permeametr. Před měřením byl vytvořen vrt o průměru 6 cm. Pomocí přístroje byla ve vrtu udržována stále stejná hladina vody. Byla měřena ustálená hodnota průtoku dnem a stěnami vrtu. Měření proběhlo v hloubkách od 18 cm do 116 cm. Hloubka výtopy ve vrtu byla 16 cm. V půdním horizontu O, popř. O/Ah v hloubkách od 15 cm do 22 cm. Pokusy byly provedeny na vegetačním krytu biky (*Luzula sylvatica*), borůvky (*Vaccinium myrtillus*), metličky (*Avenella flexuosa*), papratky (*Athyrium distentifolium*), rašeliníku (*Sphagnum*) a třtiny (*Calamagrostis villosa*) pro odhad vlivu vegetace na vrchní půdní horizonty. Hodnota nasycené hydraulické vodivosti (Ks) byla vypočtena vzhledem k mírnému kolísání z aritmetického průměru posledních tří naměřených hodnot.

Jirků et Kodešová (2011) provedly měření nasycené a nenasycené hydraulické vodivosti půdy. A to za pomoci guelphského permeamtru v hloubce 10 cm pod povrchem půdy. Pomocí mini-diskových infiltrometrů provedly měření v hloubce 2 cm. Pokusy byly provedeny na třech půdních typech kambizem modální - v Humpolci, šedozem modální - Čáslav a hnědozem modální - Hněvčeves.

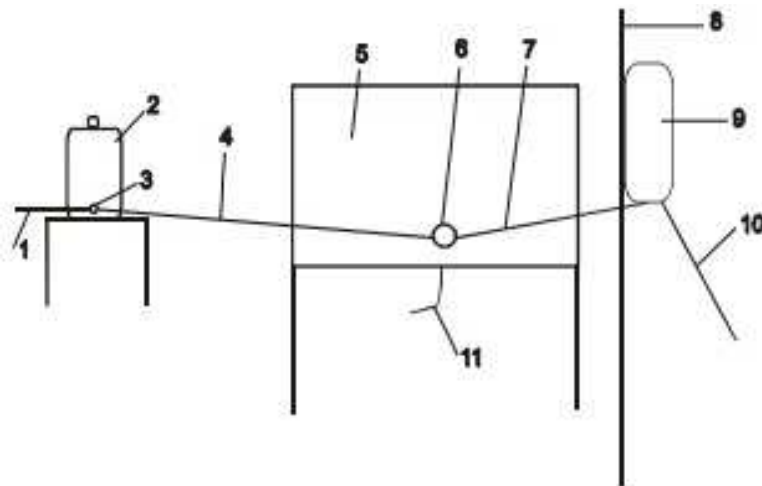
## 2.2 Metody měření retence

Retenční vlastnosti půd se graficky zobrazují jako retenční čáry neboli vztah vlhkosti půdy a vlhkostního půdního potenciálu. Průběh těchto čar je závislý na zrnitosti, struktuře, objemové hmotnosti a složení půdy. Pro každou půdu má tato čára jiný

průběh. Ke stanovení těchto čar se používají tyto metody: pískový tank, podtlakový přístroj s vývěvou, exsikátorová metoda, přetlakový přístroj deskový a membránový. Vhodné je použití dvou a více metod (Kutílek, 1978).

Lichner et al. (2004) definuje retenci jako rozdíl dvou hodnot. První hodnota tvoří pomyslnou horní mez. Tu si lze představit asi takto: Během dešťových srážek se voda, která dopadne na povrch půdy infiltruje do půdního profilu. Voda se pod půdním povrchem akumuluje a je čerpána kořeny rostlin pro transpiraci. Ve chvíli, kdy jsou půdní póry zcela zaplněny vodou, nastává perkolační neboli promyvná fáze (horní mez). V této fázi dojde k rychlému odtoku velkého množství vody. Srážková voda začne půdou protékat, aniž by se zdržela. Perkolační fáze je závislá na množství spadlé srážky, době jejího trvání a na půdním prostředí. Může trvat několik dní, týdnů či měsíců. Druhá hodnota tvoří pomyslnou dolní mez. Ta nastane ve chvíli, kdy odběr vody pro transpiraci rostlin převyšuje srážkový přítok. Když je voda vyčerpána až na dolní hraniční mez, zastaví se proces transpirace. Retenční kapacitu půdy pak lze popsat, jako rozdíl horní a dolní meze objemu vody v půdě.

Bortlová (2006) danou problematiku popisuje tak výstižně, že si dovolím citovat to nejpodstatnější: „Do srážkoodtokových modelů umožňujících operativní předpovídání a operativní řízení odtoku vody z povodí je nutno zavést hydrologické ztráty. Jednou z nejvýznamnějších ztrát, která významně ovlivňuje celý proces, je infiltrace vody do půdy. V modelech se často řeší zjednodušujícími způsoby, např.: Horton, Philip, Kostjakov. Pro její přesnější kvantifikaci v čase je však nutno modelovat proudění vody v celém půdním profilu (nasyceně-nenasycená zóna). Pro tento účel je nejčastěji využívána rovnice Richardsova, nebo její zjednodušení, rovnice Green-Ampt. Aby bylo možno rovnici Richardsovu řešit, je nutno ji doplnit závislostí mezi vlhkostí půdy a tlakem vody v půdě, tj. retenční křivkou půdy.“ Sestrojila pískový tank pro odhad retenční křivky. Testovala vzorek písku, její výsledky se shodovaly s naměřenými hodnotami, které vyšly na ČVUT v Praze doc. Kurážovi.



Obr. č. 4: Schéma pískového tanku (Převzato z: Bortlová, 2006)

Schéma pískového tanku zobrazuje: 1 – vypouštěcí hadici na které je umístěn kohout, 2 – láhev se zásobou destilované vody, 3 – přepouštěcí ventil, 4 – hadici, která spojuje zásobní láhev s pískovým tankem, 5 – pískový tank, 6 – trojcestný ventil, 7 – hadici, která spojuje pískový tank s pohyblivým jezdcem, 8 – odečítací stupnici, 9 – pohyblivý jezdec se zásobní lahví, 10 – hadici, kterou je odváděna odsátá voda, 11 - manipulační hadici. Podobné pískové tanky jsou vyráběny firmou Eijelkamp.

Retenční potenciál lze posuzovat pomocí kopeckého válečků. Pro nejsvrchnější vrstvu půdy byl použit železný rámeček o rozměrech 25 x 25 cm. Experiment proběhl na lesních půdách s minimálním vegetačním krytem v nadmořské výšce 350 m. Hmotnost sušiny odebraných vzorků byla stanovena při teplotě 105°C. Ze svrchních 10 cm vrchní vrstvy půdy byly odebrány pomocí 5 kopeckého válečků vzorky půdy. Dále je v laboratoři proveden rozbor vzorků a jsou určeny pedo-fyzikální charakteristiky půdy. Rozdíl retenčního potenciálu byl stanoven z rozdílů obsahů vlhkosti horizontů. Výsledky byly kontolovány na zálkadě předchozích šetření (Podrázský et Remeš, 2005).

### 2.3 Využití stopovačů

Původně měly stopovače sloužit pro experimenty k nalezení cest podzemních vod. V dnešní době jsou hojně využívány i v ostatních vědních oborech (stavební inženýrství, fyzika, chemie, vodní hospodářství, ochrana přírody, atd.). Tracery jsou

definovány těmito vlastnostmi:

- vlastnosti traceru jsou velmi podobné vlastnostem půdy, stopovač se šíří půdním prostředím, aniž by sorboval na půdních zrnech
- jsou netoxické a neohrožují lidi, zvířata ani rostliny
- přirozeně se nevyskytují ve vodním prostředí nebo jen ve velmi zanedbatelném množství
- vlastnosti stopovače jsou po celou dobu pokusu stejné a nemá na jejich vlastnosti vliv okolního prostředí (např.: změna chemismu půdního prostředí)
- tyto látky lze detekovat na základě chemického rozboru nebo vizualizací
- ekonomický po stránce pořizovací, užité i analyzační
- má dobré disperzní vlastnosti a rozpustnost ve vodě

Tracery se v zásadě dělí do tří skupin na vodou rozpustitelné, částeczkové tracery a složky přírodně se vyskytující. Přičemž nejvíce jsou využívány stopovače vodou rozpustitelné ve formě nejrůznějších barevných či solných roztoků. Lijí se na povrch půdy a po odkrytí půdního profilu se v různých hloubkách fotografují. Dále se velmi často využívají fluorescenční tracery, které musí být vyhodnocovány v laboratoři pomocí zářiče emitujícího UV paprsky (*Käss et al., 1998*).

V počátečním čase měření se na povrch půdy nalije roztok radioaktivního indikátoru např.  $^{131}\text{I}$  a to v chemické formě  $\text{Na } ^{131}\text{I}$ . Následně se změří ve všech pažnicích a hloubkách četnost impulsů. Povrch půdy se nakropí malým množstvím vody, která umožní transport radioaktivních indikátorů do půdy. Opakuje se měření ve všech pažnicích a hloubkách. Opět se povrch půdy nakropí vodou a tímto způsobem je radioaktivní látka vpravována do větší hloubky půdního profilu. Opakuje se měření a kropení vodou do té doby, dokud není zaznamenána destabilizace půdní vody (*Lichner et al., 2004*).

Barevné tracery lze rozdělit na fluorescenční a nefluorescenční. U fluorescenčních lze detekovat jejich přítomnost i ve velmi malých koncentracích a to i v půdách, kde jsou běžná barviva obtížně viditelná. Pro jejich vizualizaci je zapotřebí UV záření, což neumožňuje terénní podmínky (*Zumr, 2008*).

Často se při infiltračních experimentech využívá jako traceru modré barvy, pro vizualizaci preferenčních cest proudění vody v půdě. Pokus provedl Kovaříček et al. (2010), na těžkých jílovitých půdách, pomocí roztoku potravinářského barviva „E 330 – brilantní modř“ a to v roztoku 0,3%, v množství  $40 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ . Na povrchu půdy

byl při obou experimentech zcela zanedbatelný vegetační pokryv (na jaře, před setím kukuřice a na podzim, s plošným podzimním kypřením po sklizni kukuřice do hloubky 15 – 20 cm). Vsakování roztoku probíhalo 24 hodin. Pro experiment byl vybrán rovný terén, aby nedocházelo k nerovnoměrnému vsakování a tvoření barevných kaluží na povrchu půdy. Po ukončení pokusu byly odkrývány profily (60 cm vysoký a 40 cm hluboký), které byly fotografovány pro další vizuální zpracování. V programu „BMPtool“ byl snímek převeden do dvou barev modrá a červená (půda). Nevýhodou modré infiltrace je fakt, že měření nemůže být opakováno na stejném místě za stejných podmínek, neboť tato metoda vede k destrukci půdního profilu. Na obrázku č. 5 je výsledek modré infiltrace po odkrytí půdního profilu. Modře jsou zvýrazněny štěrbininy v půdě, které vytvořilo kypřící dláto do hloubky 35 cm. Ty během zimního období usnadňují vsak srážkové vody do půdy (Kovaříček *et al.*, 2010).



*Obr. č. 5: Znárodnění preferenčních cest s využitím traceru „E 330 – brilantní modř“ (Převzato z: Kovaříček *et al.*, 2010)*

K analýze průtokově aktivních porů použil Lipiec *et al.* (2006) roztok modré barvy. Experiment provedl s methylenovou modří v roztoku o koncentraci 0,1 % na



experimentální ploše o rozloze 1 x 1 m. Eckert et al. (1998) použil při svých experimentech pro vizualizaci pyranin. Sobotková et al. (2007) při experimentu použila bromid, jako stopovač v kombinaci s laboratorním měřením výtopové infiltrace na odebraném vzorku půdy. Za pomoci chlortoluronu sledovala Kodešová et al. (2008) transport látky půdou.

## 2.4 Souhrn výsledků měření infiltrace a retence

### 2.4.1 Infiltrace

Tachecí (2002) naměřil na experimentálním povodí Uhlířská. Měření provedl na svahu Tomšovka a na svahu údolí severozápadní části povodí infiltrační rychlost ve svahu  $1 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ . Nejvyšší pozorované srážkové intenzity za období 1990 – 1999 dosahovaly v průměru hodnoty  $7,27 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ , maximální dešťové intenzity dosahovaly  $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ . Vrchních 30 cm půdního profilu je dobře propustných, netvoří infiltrující se vodě překážku. Hortonův koncept tvorby odtoku v tomto případě není platný. Rašelinné plochy zaujímají asi 15 % plochy povodí. Během několika prvních minut srážky se chovají jako nepropustné plochy. Dešťová voda je vedena rašeliništěm za pomoci drenážních příkopů dále až do toku. V bezodtokých oblastech rašeliniště se voda drží na povrchu půdy a tvoří kaluže. Průměrné naměřené hodnoty infiltračních rychlostí činí  $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ , pro svah pokrytý trvalým travním porostem (lokalita A). Na svahu pokrytém lesním porostem (lokalita B) činí  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$  a  $4,3 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$  a v rašelinných oblastech (lokalita C). Koeficient variace nabývá hodnoty 126 %, tedy 92 % pro lokalitu A a B, 66 % pro lokalitu C. Pro lokalitu A byla zjištěna vyšší hodnota. Pro vyhodnocení naměřených výsledků byla provedena statistická analýza měřených dat. Byla provedena pro porovnání svahů mezi sebou s svahů a rašelinnou oblastí. Dále byla data vyhodnocována pomocí geostatické analýzy. Ta byla provedena za účelem zjištění prostorových závislostí mezi oběma svahy. Bylo zjištěno, že ze statistického hlediska jde o významný rozdíl, ovšem z hlediska hydrologického lze rozdíl menší než půl řádu považovat za zanedbatelný. V rašelině a na svahu činí rozdíl infiltračních rychlostí přibližně dva řády. Tato informace je zajímavá z hlediska procesu tvorby odtoku v povodí a dlouhodobé vodní bilance rašeliny.

Bubeníčková (1990) provedla experimentální měření na povodí Černá Desná. Měřeno bylo na holině, na pasece a v lesním porostu. Půdním typem této oblasti jsou hnědé půdy. Čtyři dny před započítáním pokusu činil úhrn srážek 11,6 mm, z toho první den činil 26 mm. V následujících experimentálních měřeních byl zaznamenán srážkový úhrn 5,9 mm. Objemová vlhkost půdy se pohybovala okolo  $0,53 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  byla zjišťována odebráním vzorků do Kopeckého válečků. Proběhly tři skupiny měření a bylo provedeno celkem 13 pokusů. Průměrné infiltrační rychlosti činily  $7,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (na holině), na staré pasece činily  $9,9 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a v lese  $6,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Koeficienty variace mají hodnotu 133 % na nové holině, 108 % na staré pasece a 47 % v lese.

Jačka et al. (2011) měření proběhlo v horském povodí Modrava 2. V Národním parku Šumava na svahu se severovýchodní expozicí Malé Mokrůvky, asi 5 km od Filipovy huti. Měřeno bylo na podzolových půdách. Geologické podloží je tvořeno horninami kvartérního stáří. Povodí je položeno ve výšce 1188 až 1330 m n. m. V letech 1994 – 1995 byla velká část území odtěžena v důsledku kůrovcové kalamity. Vegetační pokryv tvoří uměle zalesněné plochy i plochy přirozeně zmlazené. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce č.: 1.

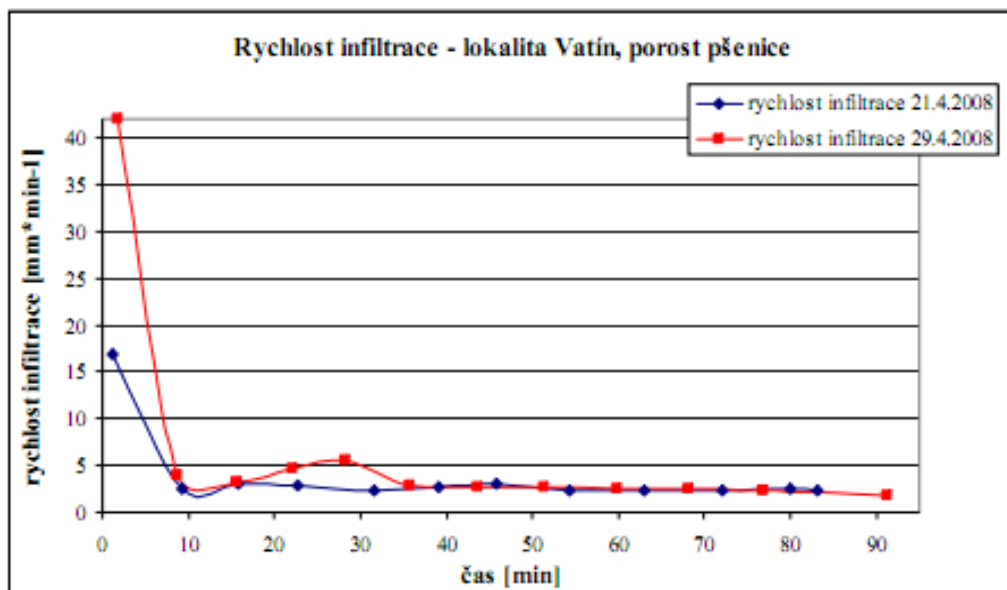
Tab. č. 1: Výsledky měření (Jačka, 2011)

Metoda měření	měření nasycené hydraulické vodivosti [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]		měření ustálené rychlosti infiltrace [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
	Guelphský permeametr	Laboratorní permeametr	Infiltrační válec
Průměr z pokusů	0,02505	0,01432	0,04211
Směr. odchylka	0,07081	0,02819	0,07422
Rozptyl výběru	0,00501	0,00079	0,00551
Špičatost	12,68532	10,86736	5,67996
Šikmost	3,66181	3,31199	2,51288
Rozdíl max - min	0,34116	0,14299	0,32501
Minimum (min)	0,00008	0,00001	0,00050
Maximum (max)	0,34124	0,14300	0,32551
Počet pokusů	53	86	49
Percentil 0,25	0,00123	0,00089	0,00379
Percentil 0,75	0,00858	0,01474	0,03535

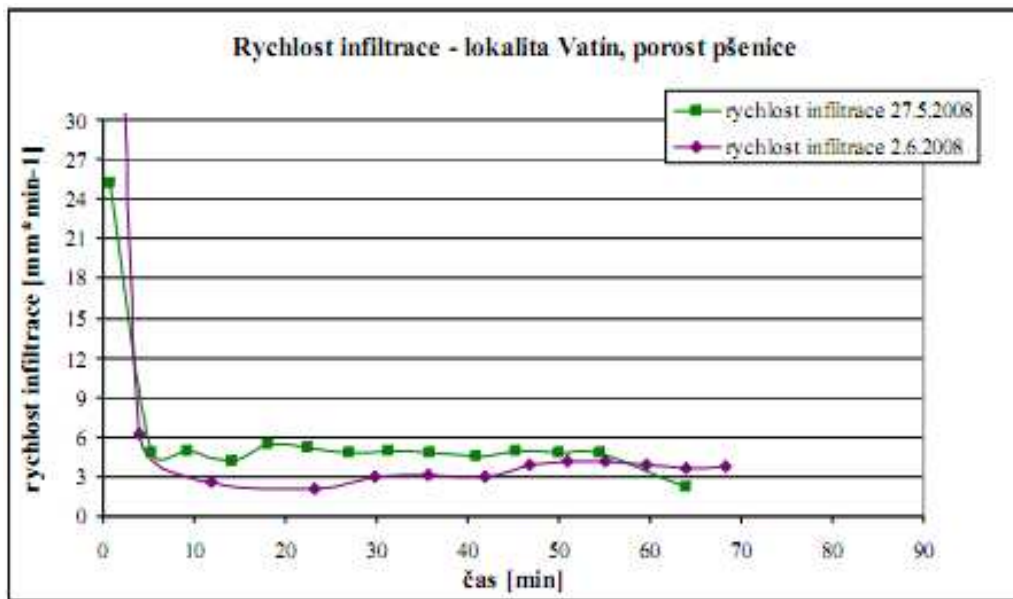
Celkem bylo provedeno 49 terénních výtopových experimentů. Ustálená infiltrační rychlost nabývala hodnot od  $4,99 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  do  $3,26 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Průměrná

ustálená hodnota infiltrační rychlost získaná z průměrů měření činí  $4,21 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ . V dolní části povodí v blízkosti uzávěrového profilu tato veličina nabývala hodnoty  $7,49 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$  a v blízkosti sedla byla o téměř jeden řád nižší, konkrétně nabyla hodnoty  $8,73 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ . V místech infiltračních pokusů byly odebrány vzorky o objemu  $100 \text{ cm}^3$  v celkovém počtu 86 vzorků pro zjištění objemové a specifické hmotnosti, zrnitosti a pórovitosti. V tabulce č. 1 jsou dále uvedeny nasycené hydraulické vodivosti, které byly měřeny pomocí Guelphského permeometru a laboratorního permeometru. Z výsledků je patrné, že měření infiltrace výtopovou metodou je systematicky nadhodnocené.

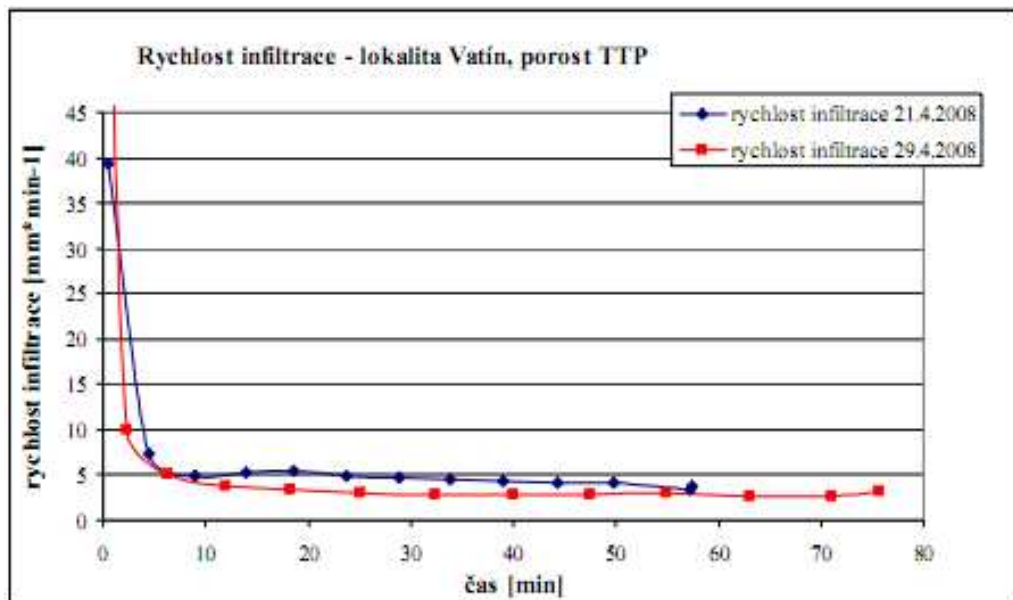
Vičanová et al. (2008b) uskutečnila experiment na lokalitě Vatín, která se nachází v Českomoravské vrchovině. Na jižní hranici Chráněné krajinné oblasti Žďárské vrchy. V kraji Vysočina a okrese Žďár nad Sázavou. Lokalita Vatín je vzdálena asi 7 km jižně od Žďáru nad Sázavou. Leží v nadmořské výšce kolem 550 m n. m. Území je vytvořeno starohorními krystalickými břidlicemi, pestré skupiny moldanubika. Převažují zde zejména ruly a migmatity. Zde bylo provedeno experimentální měření dvouválcovou výtopovou metodou. Měření proběhlo na vegetačním pokryvu orná půda, na které byla pěstována pšenice a na trvalém travním porostu. Výsledky jsou prezentovány graficky. Z grafů lze pozorovat různý průběh rychlostí infiltrací.



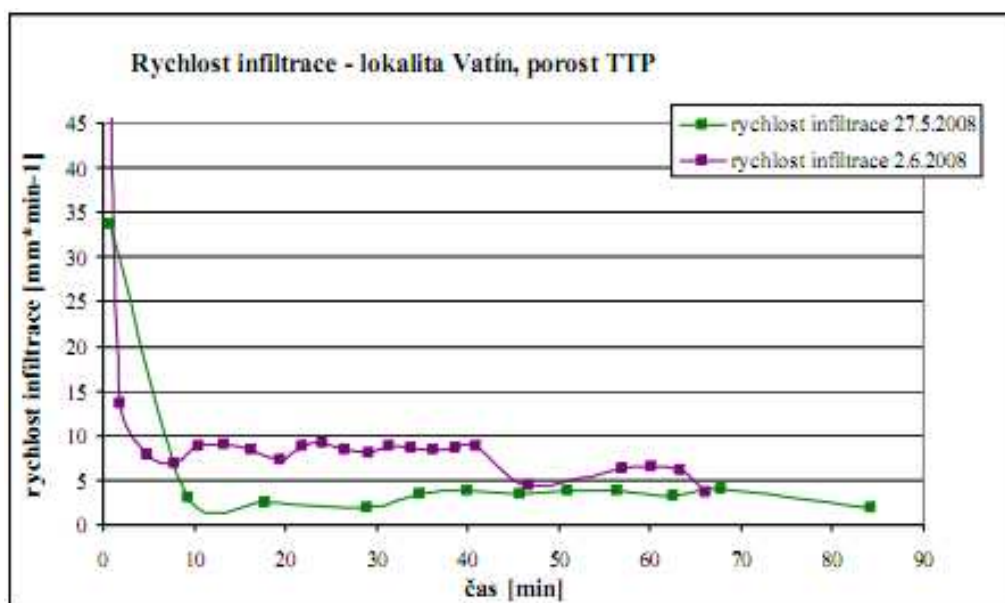
Obr. č. 6: Grafické znázornění rychlostí infiltrace na lokalitě Vatín v porostu pšenice (Převzato z: Vičanová et al., 2008b)



Obr. č. 7: Grafické znázornění rychlostí infiltrace na lokalitě Vatin v porostu pšenice (Převzato z: Vičanová et al., 2008b)



Obr. č. 8: Grafické znázornění infiltračních rychlostí na lokalitě Vatin na trvalém travním porostu (Převzato z: Vičanová et al., 2008b)



Obr. č. 9: Grafické znázornění infiltračních rychlostí na lokalitě Vatín na trvalém travním porostu. (Převzato z: Vičanová et al., 2008b)

Kovaříček (2010) použil k experimentálnímu měření zadešťovací zařízení. Měření uskutečnil na zemědělských půdách a porovnával, jaký vliv mají různé druhy kypření na infiltrační schopnosti půdy. Pokusy proběhly na půdách se sklonem 2,8° až 4,3°. Výsledky jsou shrnuty v tabulkách č. 2 a 3.

Tab. č. 2: Charakteristiky stanovišť před měřením povrchového odtoku (Převzato z: Kovaříček, 2010)

lokality	svažitost [°]	drsnot povrchu půdy [mm]	pokryvnost povrchu půdy [%]	vlhkost půdy [%], hloubka [mm]			
				povrch	0 - 100	100 - 200	200 - 300
hrůbek 1	4,3	15,23	4,35	2,51	12,82	11,27	13,20
hrůbek 2	3,2	15,26	2,17	3,77	13,48	11,65	12,72
hrůbek + kypření 1	2,8	30,32	1,42	2,76	18,93	19,88	20,06
hrůbek + kypření 2	3,4	27,93	1,67	2,91	19,87	19,07	19,27

Tab. č. 3: Povrchový odtok hodnocený vzhledem ke zpracování půdy  
(Převzato z: Kovaříček, 2010)

lokality	počátek povrchového odtoku [min]	kumulativní povrchový odtok vody [l/min]			odplavená zemina [g.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> ]
		10	30	60	
hrůbek 1	8,9	0,125	8,657	43,542	5,225
hrůbek 2	10,9	0	14,065	48,217	10,608
hrůbek + kypření 1	31,9	0	0	11,565	0,694
hrůbek + kypření 2	40,6	0	0	1,168	0,093

Kovaříček (2010) ve svých experimentech, které uskutečnil došel k závěru, že v mírném svahu do 5° prokypření půdy v hrůbkách nesnižuje vodní erozi v porovnání se standardní metodou kypření.

## 2.4.2 Retence

Pavlásek (2010) posuzoval retenční schopnosti na povodí Modrava 2, které má rozlohu 0,17 m<sup>2</sup>. Povodí se nachází v centrální oblasti NP Šumava asi 5 km jižně od Filipovy Hutě, ve výšce 1188 – 1330 m n. m. Převažujícím půdním typem je v této oblasti podzol modální na zvětralinách kyselých žul a migmatitů. Vegetační kryt zde tvoří zarůstající holina, která vznikla v letech 1994 – 1995 v důsledku kůrovcové kalamity. Částečně se v této lokalitě uměle obnovily smrky, jeřáby a javory. Z části probíhá přirozená obnova. Nyní převažuje mladý smrkový porost s řídkým zápojem. V podrostu se vyskytuje borůvka, třtina, metlička, bika, ploník a rašeliník. Od roku 1998 je v tomto povodí monitorován průtok, srážky, teploty vzduchu a konduktivita vody. Pro měření bylo vybráno devět významných srážkoodtokových událostí. Kritériem pro výběr byl kulminační průtok větší než 51 l.s<sup>-1</sup> (0,3 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>). Byly posuzovány retenční schopnosti povodí. Hlavním ukazatelem retence povodí v průběhu vybrané srážkoodtokové události byl vybrán rozdíl mezi výškou srážky a výškou odtoku. Při posuzování celkové retence povodí byla k sumě srážek připočtena hodnota srážkového úhrnu z předcházejících pěti dnů

příčinné srážky. U všech vybraných událostí bylo dosaženo hodnot vyšších než 50 mm. Pokud se zaměříme na období, kdy není povodí ovlivňováno nízkými teplotami retence překračuje výšku 80 mm s průměrnou výškou 106 mm. Hodnoty objemového součinitele odtoku ani při extrémních událostech nepřekročily hodnotu 50 %. Z dlouhodobého pohledu na pozorovanou oblast je patrná významná funkce horských oblastí na retenci vody v krajině.

Tesař (2004) zkoumal vliv vegetačního pokryvu na vodní a teplotní režim tří povodí v NP Šumava. V každém povodí byla měřena teplota vzduchu ve výšce 5 cm a 200 cm nad povrchem půdy. Teplota půdy byla měřena v hloubkách 15 a 60 cm. Dále byly měřeny tenzometrické tlaky půdní vody a její zásoba. V uzávěrovém profilu každého z pozorovaných povodí byly měřeny průtoky. Srážkové a odtokové údaje byly vyhodnocovány za období v letech 1999 – 2000. Odtoková výška udává množství proteklé vody uzávěrovým profilem v daném období. Odtokový koeficient je poměrem srážkového úhrnu a odtokové výšky.

Tab. č. 4 : Charakteristiky experimentálních povodí v NP Šumava (Tesař, 2004)

povodí	Kout	Doupě	Stolec
vegetační kryt	mrtvý les	holina s podrostem	zdravý les
stáří původního lesa (let)	150	150	130
stáří nových porostů (let)	0–5	0–5	není
plocha povodí (km <sup>2</sup> )	0,1	0,17	0,07
nadmořská výška (m n.m.)	1210–1275	1180–1330	1105–1251
expozice	severní	severní	severní
srážkový úhrn za červen až září (mm)	361,1	342,4	322,4
odtoková výška za červen až září (mm)	25,6	40,9	28,1
odtokový koeficient (%)	7,1	11,9	8,7

Retenční vlastnosti půd zkoumal Gomboš (2000) ve východoslovenské nížině v Milhostově. Vlastnosti půd stanovil na základně retenčních čar, které vyjadřují vztah mezi objemovou vlhkostí půdy a jejím energetickým stavem. Retenční křivku matematicky vyjádřil podle rovnice Van Genuchtena (retenční čáry byly vypočteny ze závislosti zrnitostního složení na objemové hmotnosti půdy). Měření provedl na těžkých hlinitých půdách, glejových fluvizemích. Charakteristiky půdy byly měřeny do hloubky 1 m. Zkoumané retenční charakteristiky půdního profilu byly posuzovány po vrstvách 0,1 m. Z výsledků vyplývá, že půdní profil je homogenní, retenční kapacita půdy se snižuje s hloubkou a snižuje se i využitelná vodní kapacita.

Výzkum prokázal, že maximální retenční kapacita do jednoho metru je 296,3 mm a z toho je využitelná vodní kapacita 167,2 mm. Tedy 44 % vody není pro rostliny využitelných, nachází se pod hranicí bodu vadnutí.

Kuráž (2008) sledoval vliv výsypek na místech zasažených těžbou uhlí a skládek na retenční vlastnosti půd. Velké podkrušnohorské výsypky se nacházejí severozápadně od města Chodov. Pro výzkum bylo vybráno 28 lesnický rekultivovaných a spontánně obnovených zarostlých ploch. Substrát zre kultivovaných ploch byl tvořen jílovými horninami třetihorního stáří. Retenční vlastnosti půd byly zkoumány na základě průběhu retenčních čar. Ty byly stanoveny na odebraných neporušených vzorcích na různých vegetačních pokryvech. Odebrány byly z každé zkoumané plochy 4 vzorky. Výsledky viz tabulka č.: 4

Tab. č. 5 : Průměrné retenční čáry pro zkoumané vegetační pokryvy (Kuráž, 2008)

typ dřeviny	Půdní potenciál [cm]								objemová hmotnost půdy [g.cm <sup>-3</sup> ]
	0	10	30	60	90	500	3000	12000	
modřín	48,55	44,21	43,32	41,98	41,10	31,90	26,92	22,96	0,52
borovice	52,44	49,07	45,41	44,11	43,51	38,05	34,50	30,42	0,76
dub	59,54	56,92	54,20	53,11	53,11	48,22	44,34	39,95	0,84
lípa	66,96	63,70	61,83	60,70	60,28	53,32	49,22	43,73	0,85
smrk	58,67	55,02	50,25	48,90	48,36	41,85	37,95	34,45	0,71
olše	69,44	64,52	60,92	59,89	59,33	52,35	46,48	41,10	0,68
spontánní sukcese	61,71	57,91	56,62	54,49	52,73	42,55	36,67	29,81	0,87

Výše uvedené výsledky naznačují, že vlastnosti různých vegetačních pokryvů se výrazně neliší. Z tabulky č. 4 je patrný vztah objemové hmotnosti půdy na půdní potenciál. S ohledem na organické složky je poměrně nízká objemová hmotnost povrchového horizontu. Odebrané vzorky mají vysoký výskyt makropórů. Retenční kapacita se pohybuje mezi 15 % - 20 %. Bod vadnutí odpovídá těžkému jílovému materiálu pohybují se v rozmezí 23 % - 43 %.



## 2.5 Vliv změny vegetačního pokryvu

Tesař (2004) provedl experiment ve vrcholném pásmu Šumavy. Při výběru lokalit byla snaha vybrat co nejshodnější podmínky. Navzájem se podmínky výrazně liší pouze vegetačním pokryvem. Oblasti se nacházejí ve studených klimatických podmínkách. Půdní pokryv je tvořen kyselou hnědou půdou vytvořenou na pararule. První zkoumanou lokalitou byl mrtvý les s bylinným podrostem v povodí Kout. Porost tvořila horská třtinová smrčina. Ve stromovém patře převažuje smrk (*Picea abies*) a jeřáb (*Sorbus aucuparia*). Po zasažení porostu kůrovcovou kalamitou jsou smrky suché a v současnosti značně prolámané. Porost je přirozeně zmlazený, místy proběhla dosadba smrku a jeřábu. V bylinném patře převládá třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), bika lesní (*Luzula sylvatica*) a borůvka (*Vaccinium myrtillus*). Stromy v mrtvém lese mění svojí výšku v důsledku polomů. Lze odhadnout výšku 6 - 8 m. Bylinné patro dosahuje v průměru do výšky 40 cm. Plocha toho povodí je zhruba 0,1 km<sup>2</sup>. Nadmořská výška této lokality je 1210 – 1275 m. n. m. Odtokový koeficient 7,1%. Další zkoumanou oblastí bylo povodí Doupě, s vegetačním pokryvem holina. Na stejném povodí provedl měření Pavlásek (2010), na experimentální ploše Modrava 2. Původně na tomto místě byla horské třtinová smrčina. Z části se v této lokalitě projevu přirozené zmlazení. Stromové patro však prakticky chybí. Je zde patrná dosadba smrku a jeřábu. V bylinném patře se vyskytují tyto druhy: třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), bika lesní (*Luzula sylvatica*), metlička křivolaká (*Avenella montana*), a maliník (*Rubus idaeus*). Bylinné patro dosahuje výšky zhruba 30 cm. Nadmořská výška této lokality je 1180 – 1330 m. n. m. Plocha povodí Doupě je 0,17 km<sup>2</sup>. Odtokový koeficient 8,7 %. Poslední zvolenou lokalitou je povodí Stolec, vegetační pokryv v této oblasti tvoří zdravý les. Stáří porostu je odhadnuto na 130 let. Porost je tvořen smrkovým lesem – acidofilní bučinou. Asi dvacet procent porostu tvoří stromy do 40 let. Významné zastoupení má smrk (*Picea abies*), buk (*Fagus sylvatica*) místy se vyskytuje i jedle (*Abies alba*). Bylinné patro je tvořeno třtinou chloupkatou (*Calamagrostis villosa*), bikou lesní (*Luzula sylvatica*), borůvkou (*Vaccinium myrtillus*), ojediněle se vyskytuje věsenka nachová (*Prenanthes purpurea*) a kaprad' rozložená (*Dryopteris dilatata*). Bylinné patro dosahuje výšky asi 10 cm, výjimečně do výšky 20 cm. Dospělý stromový porost dosahuje výšky 29 m, mlazina do 40 let zhruba do výšky 6 – 10 m. Plocha

povodí Stolec činí 0,07 km<sup>2</sup>. Oblast se nachází v nadmořské výšce 1105 – 1251 m. n. m. Odtokový koeficient této oblasti je 8,7 % Tesař (2004).

Tachecí (2002) ve své práci posuzoval třicetiletý vzrostlý lesní porost a lesní porost po těžebním zásahu. Podle uskutečněných pokusů byla infiltrační rychlost na travním porostu  $1,7 \cdot 10^{-4}$  m.s<sup>-1</sup>. Je větší než na svahu, který byl pokryt lesním porostem, kde činila infiltrační rychlost  $5,0 \cdot 10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>. Při mýcení porostu je půda zatěžována těžkou těžební technikou a v důsledku zatížení dochází k zrychlení infiltrační kapacity půdy. Na zkoumaném povodí Uhlířská docházelo v důsledku těžebních procesů a obnovy příkopů ke změnám průměrné měsíční bilance. Je ovšem diskutabilní zda spolu tyto jevy přímo souvisí. Připouští se i varianta, že ke změnám průměrné měsíční bilance může docházet v souvislosti s přirozenými přírodními jevy, které se cyklicky opakují. Ze sledování měsíčních průměrů úhrnů odtokové výšky v období před a po vytěžení porostu je patrné, že jarní odtoky začínají o něco dříve. To může být způsobeno změnou vegetačního porostu nebo zvyšováním průměrných ročních teplot. K podrobnému posouzení a jednoznačnému závěru by bylo třeba uskutečnit mnohem více měření a sledovat oblast z dlouhodobějšího pohledu.

Pavlásek et al. (2010) zkoumal hydrologický režim tří povodí v centrální části NP Šumava. Povodí Modrava 1 se rozkládá na 0,1 m<sup>2</sup>. Půdy zde tvoří podzoly. Vegetační pokryv se skládá převážně ze smrku (*Picea abies*), dále třtiny (*Calamagrostis villosa*), skřípiny (*Scirpus sylvaticus*) a rašeliníku (*Sphagnum girgenhohnii*). Dlouhodobý odtokový koeficient v tomto povodí nabývá hodnoty 0,22 a průměrný denní odtok činí 1,21 mm. Modrava 2 je dalším sledovaným povodím, vegetační pokryv popisuje Pavlásek (2010) viz kapitola 2.4.2 Retence. Jeho rozloha je 0,17 m<sup>2</sup> a plocha povodí je pokryta mladým porostem. Půdním typem této oblasti jsou podzoly. V průběhu pozorování byl naměřen průměrný denní odtok 1,20 mm a odtokový koeficient 0,20. Poslední zkoumané povodí Modrava 3 o rozloze 0,07 m<sup>2</sup> postihla v roce 2006 větrná kalamita. Porost je v této oblasti tvořen převážně bukem (*Fagus sylvatica*). Půdním typem oblasti je kambizem, subtyp kyselá. Pozorování těchto povodí probíhá od roku 1998. Na Thomsonově přelivu je pomocí tlakových čidel každé dvě minuty snímán tlak vodního sloupce, ze kterého je vypočítáván průtok (v letech 1999 až 2003 každé 4 min). Srážky se měří ve výšce 1 m nad zemí pomocí překlopného srážkoměru o měrné ploše 200 cm<sup>2</sup>. Teplota vzduchu je proměřována ve výšce 2 m a zaznamenávána každou hodinu. Vodivost vody je

proměřována každé 3 hodiny od roku 1999 a od roku 2005 je interval měření zkrácen na každou hodinu. Na povodí Modrava 1 byla pozorována nejvyšší odtoková variabilita (mrtvý les, přirozeně regenerovaný). Maximální denní odtok činil 68 mm, po 32 dnech sledovaného období. Na povodí Modrava 2 byl maximální denní odtok 35 mm, suchá období bez odtoku trvala 79 dnů. Na povodí Modrava 3 byla pozorována nejmenší variabilita. Minimální hodnota zaznamenaná v průběhu pozorovaného období byla 0.008 mm a maximální hodnota 15 mm. Analýzy byly provedeny u více než 40 srážko-odtokových událostí. V povodích Modrava 1 a Modrava 2 nebyly pozorovány významné rozdíly. Na povodí Modrava 3 došlo během sledovaného období vlivem lesního porostu k prodloužení doby tání sněhu. Průměrné teploty byly na povodí Modrava 2 a Modrava 3 stejné 10,5°C. Na povodí Modrava 1 byla teplota chladnější. Průměrná teplota vzduchu dosahovala 9,6°C. Nejvyšší teploty vzduchu byly zaznamenány v roce 2003. Maximální denní průměrné teploty byly velmi podobné 21,2°C, 22,2°C a 21,8°C. V průběhu deseti let byla pozorována uvedená povodí s různým lesním porostem. Ukázalo se, že nejvyšší kolísání teplot vzduchu během dne a nejvyšší kolísání denních hodnot vodivosti vody bylo pozorováno u povodí s mrtvým lesním porostem. Hlavní rozdíly byly pozorovány během období tání sněhu. Změny lesního porostu způsobily vyšší kolísání teplot vzduchu. Sníh v povodí rychleji tál. Rychlejší odtok vody z povodí v průběhu tání a srážko-odtokových událostí, může způsobit pokles zadržování vody. Zejména v oblastech, kde byl lesní porost přeměněn na lesní paseky.

### **3. Diskuze**

Je v podstatě nemožné provést několik měření infiltrace a retence za zcela stejných podmínek prostředí. A to hned z několika důvodů. V první řadě tomu brání povětrnostní podmínky, kdy každá nepatrná změna počasí ovlivňuje teplotu, vlhkost a vlastnosti půdního prostředí. Další překážkou se jeví to, že měření nemůže být provedeno dvakrát na stejném místě a za zcela shodných podmínek. Parametry prostředí jsou prostorově, ale i časově variabilní. Retenční a infiltrační parametry závisí také na vegetační aktivitě a jsou značně sezónně proměnné. I při měření nejšetrnějšími metodami dochází k porušení půdního profilu. Vědci se však snaží provádět experimenty takovým způsobem, aby jejich výsledky co nejpravdivěji

odrážely přirozené charakteristiky půdního prostředí. Vzhledem k výše uvedenému je ale reprezentativní stanovení hydro-fyzikálních parametrů a vhodných metodických postupů značně obtížné. Před měřením by měl být vždy proveden hydro-pedologický průzkum dané lokality. Je podstatné popsat vegetační kryt dané lokality, zrnitost půdy, půdní strukturu, pórovitost a další půdní charakteristiky. Dále by měli být zohledněny předchozí srážkové poměry, které v nedávné době lokalitu ovlivnily. Tyto faktory zásadně ovlivňují měření.

Při infiltračních výtopových experimentech doporučuje Štibinger et al. (1998) a Valla et al. (2002) udržovat hladinu vody asi ve výšce 2 – 3 cm nad půdním povrchem a zapaštění válce do země 10 – 20 cm. Autoři experimentů se shodují v tom, že výtopa ve válci by se měla udržovat co nejnižší. Důvodem je to, že tlak vodního sloupce, který je ve válci působí na povrch půdy. To způsobuje, že se během experimentu nezaplňují půdní póry jako během přirozeného deště, ale rychleji se zaplňují makropóry. Cílem experimentů je popsat přirozený proces infiltrace, proto je snaha se tomuto vyhnout. Jednou z možností jak zajistit přirozený proces infiltrace je použít tenzní infiltrometr.

Výšku výtopy 1 cm udržovala během experimentu Sedláčková (2007), tato výška se zdá být pro některé půdy nedostačující, protože těsně po začátku experimentu je infiltrační rychlost největší a vsak vody je nejrychlejší. Může být tedy obtížné např. u lehkých písčitých půd takto nízkou výtopu udržet. Pokud je výška výtopy velmi nízká, musí být pro experiment vybrán velmi rovný terén. Důsledkem nerovného terénu by se mohlo stát, že při výtopě 1 cm nad půdním povrchem nebyla vytopena celá plocha uvnitř válce. S výškou výtopy 2 cm měřila Vičanová et al. (2008b). Lipiec et al. (2006) udržoval ve válci hladinu ve výšce 1,5 cm. Císlerová et al. (1988), Tachecí (2002) udržovali během experimentů výtopu ve výšce 10 cm, což se zdá být optimální. V kombinaci se správným způsobem odečítání výšky hladiny ve válci lze dojít ke kvalitním výsledkům naměřených dat. Pro sledování poklesu hladiny se nejčastěji využívá hřeb, který je umístěn shora válce. Ve chvíli, kdy se hladina vody odtrhne od jeho hrotu, se zapisuje čas poklesu vody ve válci a dolévá se známé množství vody. Jiným způsobem jak sledovat pokles hladiny je hřeb umístěný ze zdola válce. Tento způsob není tak přesný, protože vynoření hrotu nemusí být tak zřetelné jako v případě, kdy se hladina odtrhne od hrotu hřebu. Dalším způsobem je možnost sledovat pokles hladiny pomocí metru, který se přiloží na stěnu válce. Hladina však není z důvodu kapilarity vody uvnitř válce všude stejná, ale i přesto se

tato metoda zdá být vhodnější než hřeb umístěný zespodu. Pro odečítání hladiny lze použít systém více (např. 10) měřících hrotů odstupňovaných po určité výšce (např. 1 mm). Tato metoda je oproti odečítání pomocí hřebů výhodná v tom, že pokud nebyl zapsán čas vynoření hrotu, zapíše se další vynořený hrot např. v případě příliš rychlého vsaku během počátku experimentu.

Vašků (2008) doporučuje měření rámovými zařízeními. Tato metoda se zdá být velmi flexibilní pro různé nepříznivé podmínky. Rámová zařízení zkonstruovaná svépomocí však mohou mít mnoho nedostatků a neznámé množství vody pak může prosakovat stěnami měřícího zařízení. Výhodou rámových zařízení je jejich flexibilita a s jejich pomocí je možné měřit vsak například v okolí malých stromků nebo pařezů, které se mohou uzavřít vně rámu. Během výtopových experimentů by měla být voda nalévána do válce opatrně, aby nedošlo k porušení povrchové struktury půdy (Hillel, 1998).

Úpravu vegetačního pokryvu a povrchu terénu před měřením nedoporučuje Vašků (2008) z důvodu zachování přirozeného stavu půdního prostředí. S čímž lze souhlasit, protože pokud je cílem měření posuzování přírodních procesů, pak by se nemělo do přirozených podmínek zasahovat nebo se je snažit nějakým způsobem měnit. Jačka et al. (2011) upravil vegetační kryt minimálně. Pouze tak, aby se dala odečítat hladina vody a bylo zřetelně vidět odečítací hroty. Radikální sestřihání jaké popisuje Vičanová et al. (2008b) se zdá být nevhodné v případě posuzování vegetačního pokryvu. Takovým zásahem se změní přirozené podmínky, které jsou v terénu měřeny. Pokud je vegetační kryt sestřihán až na minimum, měření je ochuzeno o část vody, která je zachycována na listech rostlin a odpařována. Takové úpravy jsou podle mého názoru přípustné pro laboratorní měření.

Před měřením Guelphským permeametrem se provádí vrt. Ten by se měl po vyvrtání vyčistit štětkou tak, aby na stěnách uvnitř vrtu nezůstaly nečistoty a utemovaná vrstvička půdy. Tato fáze je často během provádění experimentů opomíjena. Nevýhodou této metody je fakt, že naměřené výsledky nezohledňují chování vegetačního pokryvu, který je před měřením odstraněn. Samotné měření ovlivňují pouze zbytky kořenového systému. Výhodou této metody je, že výsledkem měření je hodnota nasycené hydraulické vodivosti. Je třeba posoudit, zda je cílem měření posoudit infiltrační a retenční vlastnosti vzhledem k vegetačnímu pokryvu nebo zda je dostačující posoudit tyto charakteristiky pro hlubší půdní horizonty (v takovém případě je použití Guelphského permeamtru dostačující). Tuto lze použít

jako kontrolní měření pro ověření správnosti infiltračních výtopových experimentů. Pokud se výsledná data obou metod vynesou do jednoho grafu čáry překročeníje názorně vidět systematické nadhodnocení výsledků výtopových infiltračních experimentů oproti použití Guelphského permeamtru.

Tenzní infiltrometry také nezohledňují vegetační pokryv. Před začátkem experimentu je nejprve svrchní část půdního profilu odkopána a s ní i vegetační kryt dané lokality. Do experimentu je tede promítnuta pouze nezasazená kořenová část vegetace. Proto tato metoda není vhodná pro posuzování infiltračních a retenčních vlastností půd vzhledem k vegetačnímu krytu.

Dešťové simulátory jsou velmi oblíbenou a zároveň přirozenou metodou měření. Pomocí postřikového tlaku lze regulovat intenzitu srážek a tím pádem se nejlépe přiblížit přirozeným podmínkám. Lze zkonstruovat i velká zadešťovací zařízení a zkrápět tak větší plochu. Touto metodou lze odhadnout smyv zeminy a erozi půdy. Hůla (2010) doporučuje měřit na plochách s mírným sklonem  $2^{\circ}$  -  $7^{\circ}$ . Šach (2011) prováděl experiment na lesních plochách s extrémní sklonem  $21^{\circ}$  pomocí zadešťovacího zařízení. V takových podmínkách by nebylo vhodné použití výtopové metody a zatlučení válců by bylo obtížné. Proto je podstatné zvolit správnou metodu měření s ohledem na to, co je v daných podmínkách zkoumáno.

Tracery jsou vhodným doplňkem výše uvedených metod. Vizualizují preferenční cesty, které je u podpovrchové vody těžké odhadnout. Není dostatek ověřených standardních metod měření pro posuzování infiltračních a retenčních schopností půd. Nechají se však nalézt vhodné trendy.

Tachecí (2002) a Bubeníčková (1990) provedly měření na povodí Uhlířská. Jejich výsledky měření (uvedeny v kapitole 2.4.1 s názvem Infiktrace) , které uskutečnily se příliš neliší. Oproti tomu z grafů, které prezentuje Vičanová (2008b) je patrné, jak se mohou měření na stejné lokalitě během krátké doby pozorování lišit.

Tesař (2004) pozoroval oblast v NP Šumava. Tři povodí Kout, Doupě a Stolec byla pozorována po dobu jednoho roku v letech 1999 -2000. Odtokové koeficienty vyjádřené v procentech nebývaly hodnot 7,1 % povodí Kout, povodí Doupě 11,9 % a povodí Stolec 8,7 %. Tato povodí zkoumal také Pavlásek (2010) během let 1998 – 2008 přičemž povodí Kout je totožné s povodím Modrava 1 výsledkem dlouhodobého pozorování je odtokový koeficient 22 %, povodí Doupě odpovídá povodí Modrava 2 s odtokovým koeficientem 20 %. Na povodí Stolec tedy Modrava 3 odtokový koeficient činil 36 %. Z těchto výsledků je patrné, že v důsledku

dlouhodobého pozorování se hodnoty zpřesňují. Není proto vhodné provádět krátkodobá pozorování, protože až v průběhu několika let lze odhadovat, jaké jsou odtokové charakteristiky sledovaného povodí

Pro posouzení vlivu vegetačního pokryvu a jeho změn na vodní režim je třeba provést dlouhodobé pozorování a znát původní stav povodí před tím, než byla provedena změna. Tachecí (2002) ve své práci popisuje, že v důsledku smýcení velké části lesního porostu vzhledem k naměřeným hodnotám nelze vyvodit závěr, že odlesnění má významný vliv na odtokový režim povodí. Ovšem dále ve své práci zmiňuje, že v průběhu prvních pěti let po těžbě dochází v dané oblasti ke zvýšené povodňové aktivitě, která postupem času mizí. Je tedy patrné, že po odlesnění je půda narušena, dochází k rychlejšímu odtoku a následně k povodním. V průběhu času se obnovuje bylinné patro a následně dřevinné patro porostu, které kořeny čerpá vodu a zpomaluje tak odtok. Tím pádem je s odstupem času vodní režim oblasti vyrovnaný. Šach (2011) zkoumá vliv obnovných sečných způsobů na infiltrační schopnosti půd. Popisuje užití traktorového lanového systému k vyklízení kmenů proti svahu, kdy se při přepravě kmenů tvoří v půdě rýhy. Ty potom svádí vodu ze svahu mnohem rychleji. Pavlásek et al. (2010) po desetiletém průzkumu došel k závěru, že v oblasti mrtvého lesa dochází ke kolísání teplot vzduchu a vodivosti vody, což je následkem změny porostu v důsledku kůrovcové kalamity. V této oblasti oproti dalším zkoumaným povodím dochází k rychlejšímu tání sněhové pokrývky a poklesu schopnosti porostu zadržovat vodu.

V oblasti Colorada a nového Mexika provedl Deborah et al. (2001) měření v lokalitě, které byla postižena mohutným požárem. Výsledky měření ukázaly, že k největšímu snížení infiltračních schopností půdy došlo v oblasti Nového Mexika. Infiltrační schopnosti zde dosahovaly hodnoty o 15 % nižší, vegetační pokryv je tvořen převážně borovicí těžkou (*Pinus ponderosa*). V oblasti Colorada je vegetační pokryv tvořen smýšenými jehličnatými lesy. Přesto, že požár zde dosahoval stejné síly jako v Novém Mexiku infiltrační schopnosti půdy dosahují hodnoty o 38 % nižší oproti obvyklému stavu. Vědci se domnívají, že tyto skutečnosti jsou ovlivněny druhovou skladbou porostů.

## 4. Závěr

Pro posouzení vlivu změn vegetačního pokryvu na vlastnosti půdního prostředí je třeba dlouhodobějších pozorování. V mnoha případech chybí porovnání před zásahem ohně nebo před výskytem kůrovcové kalamity. Máme jen informace, které byly získány po požáru nebo odtěžení napadeného porostu. Měření navíc často započali až po několika letech a bezprostřední vliv vegetace nemusí být tudíž zachycen.

Vhodnými metodami pro posuzování vlivu vegetačního pokryvu na infiltrační schopnosti půd jsou válcové výtopové metody s minimální nebo žádnou úpravou vegetačního krytu. Dalším důvodem pro použití této metody je její jednoduchost a ekonomická nenáročnost.

Pro odečítání výšky vodní hladiny ve válci lze použít přesnější odečítací pomůcku než zatlučený hřeb. Je možné použít metr umístěný na vnitřní straně válce nebo shora umístěné odečítací hroty (o známých rozměrech). Pro měření v nestandardních podmínkách je možné provést experiment za pomoci rámového zařízení, které umožňuje přizpůsobit vytápěnou plochu dle možností polních podmínek. V tomto případě je nutné pro výpočet znát parametry orámované plochy.

Dále je vhodné použití zadržovacích zařízení o intenzitě zkrápění blízké přirozenému dešti. Tyto metody lze doplnit kombinací ostatních způsobů měření infiltrace, pro kontrolu výsledků.

Retenční vlastnosti půd lze odhadovat z retenčních čar na neporušených vzorcích odebraných do Kopeckého válečků. Při hodnocení výsledků je ale nutné brát v úvahu malý objem odebraných vzorků, který může zejména u heterogenních půd způsobit výraznou nepřesnost. Pro odhad retenčních čar lze použít vhodnou kombinaci metod měření v pískovém tanku, podtlakovým přístrojem s vývěvou, exsikátorovou metodou, přetlakovým přístrojem deskovým a membránovým. Pro měření infiltračních a retenčních vlastností půd neexistuje žádná závazná standardní metodika.

Je důležité zvážit účel měření a vybrat vhodnou metodu měření v lepším případě kombinaci více metod. Na základě této práce by měl být usnadněn výběr vhodných metodických postupů.



## 5. Literatura a prameny

ANGULO - JARAMILLO R., VANDERVAERE J. - P., ROULIER S., THONY J. - L., GAUDET J. - P., VAUCLIN M., 2000: Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers. *Soil & Tillage Research* 55: 1 – 29.

BORTLOVÁ H., 2006: Využití pískového tanku pro stanovení retenční křivky půdy. In: *Venkovská krajina, Brno ZO ČSOP Veronica*, s. 7 - 10, ISBN 80-239-7166-2.

BUBENÍČKOVÁ L., STRNADOVÁ M., LIPNICKÁ K., HÁJEK A., 1990: Infiltrační pokusy na Černé Desné, dílčí zpráva úkolu Sledování antropogenních vlivů na odtokový režim. DÚ 02 Jizerské hory. ČHMÚ Praha.

CÍSLEROVÁ M., ŠIMŮNEK J., VOGEL t., 1988: Changes of steady –state infiltration rates in recurrent ponding infiltration experiments. *Journal of Hydrology* 104: 1 – 16.

CÍSLEROVÁ M., 2003: Preferenční proudění ve vadózní zóně a formování hydrogramu odtoku. In: Šír M., Lichner L., Tesař M. [eds]: *Hydrologie půdy v malém povodí. Ústav pro hydrodynamiku, Praha*, s. 103-110, ISBN 80-02-01586-X.

DEBORAH A., Martin and John A. MOODY, 2001: Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds. *Hydrological processes, Special Issue: Wildfire and Surficial Processes Volume 15*: 2893–2903.

DEKKER S.C., BOUTEN W. et VERSTRATEN J. M., 2000: Modelling forest transpiration from different perspectives. *Hydrological Processes*, 14: 251 – 260.

ECKERT P., ROHNS H. –P., SCHUBERT J., 1998: Field investigation for in situ remediation of BTEX contaminated groundwater by addition of nitrate

GOMBOŠ M., IVANČO, J., PAVELKOVÁ, D., 2000: Retenčné vlastnosti hlinitých pôd na Východoslovenskej nížine In: Bioklimatológia a Životné Prostredie, XIII. bioklimatologická konferencia SBkS a ČBkS, Košice.

HILLEL D., 1998: Environmental Soil Physics. Academic Press, San Diego, California, USA.

HUDEČKOVÁ K., 2008: Vyhodnocení hydroopedologického průzkumu experimentálního povodí Modrava 2. Diplomová práce. Nепublikováno, Dep.: KVHEM FŽP ČZU, Praha.

HŮLA J., KOVAŘÍČEK P., KROULÍK M., 2010: Vsakování vody do půdy a povrchový odtok vody u širokořádkových plodin. listy cukrovarnické a řepařské 126, č. 1: 22 - 26

JÁČKA L., PAVLÁSEK J., PECH P., 2011: Vyhodnocení výsledků měření infiltrace v malém horském povodí v centrální části NP Šumava. In: ŠÍR M. et TESAŘ M. [eds]: Hydrologie malého povodí 2011. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i., Praha, s. 175 – 182, ISBN 978-80-02-02290-9.

JIRKŮ V. et KODEŠOVÁ R., 2011: Sezónní a meziroční srovnání hydrofyzikálních vlastností zemědělsky obhospodařovaných půd. In: Hydrologie malého povodí 2011, Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR.

KÄSS W., 1998: Tracing technique in Geohydrology, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, s. 581.

KODEŠOVÁ R., KOČÁREK M., KODEŠ V., ŽIGOVÁ A., ŠIMŮNEK J., KOZÁK J., 2008: Vliv půdní mikromorfologie na půdní vlastnosti charakterizující transport kontaminantů v zemědělských půdách. In: SOBOCKÁ J., KULHAVÝ J., Půda v moderní informační společnosti, Bratislava, ISBN: 978-80-89128-44-0.

KOVAŘÍČEK P., MAREŠOVÁ K., HŮLA J., KROULÍK M., 2010: Využití hrůbkování při pěstování širokořádkových plodin. Listy cukrovarnické a řepařské

126: č. 3, 91 – 96.

KREJČA M. et KUTÍLEK M., 1988: Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvouválcová metoda). Vodní hospodářství 5: 123 – 129.

KURÁŽ V., 2008: Současný stav v ochraně půdy v České republice In: SOBOCKÁ J., KULHAVÝ J. [eds]: Půda v moderní informační společnosti, Bratislava, ISBN: 978-80-89128-44-0.

KUTÍLEK M. , 1978: Vodohospodářská pedologie, SNTL-ALFA, Praha.

KUTÍLEK M. et NIELSEN D. R., 1994: Soil hydrology, Catena Verlag, Cremlingen - Destedt, Germany.

LICHNER L., ŠÍR M., TESAŘ M., 2004: Testování retenčních schopnosti půdy. Aktuality Šumavského výzkumu, Srní, s. 63 – 67.

LIPIEC J., KÚS J., SLOWIŃSKA – JURKIEWICZ A., NOSALEWICZ A., 2006: Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. Soil & tillage research, s. 210 - 220 ISSN 0167-1987.

MAŠÍČEK T., TOMAN F., VIČANOVÁ M., 2011: Infiltrační schopnost půdy v porostech rychle rostoucích dřevin. In: STŘEDOVÁ H., ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T. [eds]: Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Skalní mlýn, ISBN 978-80-86690-87-2.

MCKENZIE N., COUGHLAN K., CRESSWELL H., 2008: Soil physical measurement and interpretation for land evaluation, SBS PUBLISHERS & DISTRIBUTORS PVT. LTD, India.

MIYAZAKI T., 2006: Water flow in soils. Taylor & Francis group, Boca Raton, U.S.A.

PAVLÁSEK J., TESARŤ M., MÁCA P., HANKOVÁ R., HUDEČKOVÁ K., JAČKA L., KLOSE Z., ŘEDINOVÁ J., 2010: Ten years of hydrological monitoring in upland micro catchments in the Bohemian Forest, Czech Republic. In: Status and perspectives of Hydrology in Small Basins., Germany, s. 336

PAVLÁSEK J., 2010: Retenční schopnosti malého horského povodí při extrémních srážkoodtokových událostech. Vodní hospodářství 10: 12 - 14

PIERSON F. B., ROBICHAUD P. R., MOFFET C. A., SPAETH K. E., WILLIAMS C. J., HARDEGREE S. P., CLARK P.E., 2008: Soil water repellency and infiltration in coarse-textured soils of burned and unburned sagebrush ecosystems. Catena 74: 98–108.

PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., 2005: Retenční schopnost svrchní vrstvy půd lesních porostů s různým druhovým složením. Zprávy lesnického výzkumu, 50: 46–48

REYNOLDS W. D., 2008: Saturated hydraulic properties: Ring infiltrometr. In: CARTE 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.

SEDLÁČKOVÁ R., 2007: Změna fyzikálních vlastností a infiltrační schopnosti půdy v závislosti na použitém systému zpracování. In: Juniorstav, 9. Odborná konference doktorského studia, s. 1-6, ISBN 978-80-214-3337-3.

SOBOTKOVÁ M., SNĚHOTA M., CÍSLEROVÁ M., 2007: Vliv počáteční půdní vlhkosti na transport chemických látek v půdě. In: STŘELCOVÁ K., ŠKVARENINA, J. & BLAŽENEC M. [eds], “Bioclimatology and natural hazards”, International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, ISBN 978-80-228-17-60-8.

ŠACH F., ČERNOHOUS V., KANTRO P., 2011: Hydrogramy odtoku ze zadeš'ování za komplexu podmínek modifikovaných různými postupy obnovy. In: ŠÍR M. et TESAŘ M. [eds]: Hydrologie malého povodí 2011. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha, s. 175 – 182, ISBN 978-80-02-02290-9.

ŠTIBINGER J, JIČÍNSKÝ K., HORÁČEK V., 1998: Metodické pokyny pro terénní stanovení koeficientu filtrace dvouválcovou metodou. Aquafond Praha, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

TACHECÍ P., 2002: Hydrologický režim malého horského povodí a odhad účinků změny porostu. Doktorská disertační práce, Dep.: Národní technická knihovna ČVUT Praha, 133 s.

TESAŘ M., ŠÍR M., ZELENKOVÁ E., 2004: Vliv vegetace na vodní a teplotní režim tří povodí ve vrcholném pásu Šumavy. In: Aktuality šumavského výzkumu II, Sborník z konference, Srní 4.-7. října 2004, 84 – 88.

TOPP G. C. et BINNS M. R., 1976: Soil properties, Classification, and Hydraulic Conductivity testing.

VALLA M., KOZÁK J., NĚMEČEK J., MATULA S., BORŮVKA L., Drábek O., 2002: Pedologické praktikum. ČZU, Praha.

VAŠKŮ Z., 2003: Sozologické interakce niv s okolní krajinou. In: SÁŇKA M., KULHAVÝ J.[eds], Ochrana a využití půdy v nivních oblastech, Seminární hotel Akademie Velké Bílovice, ISBN: 80-7157-735-9.

VAŠKŮ Z., 2008: Hydrologicky a funkčně stabilizované infilukčně infiltrační útvary v zemědělské krajině. In: VRÁNA K., JAKUBÍKOVÁ A. [eds]: Krajinné inženýrství 2008. Sborník z konference, Powerprint, Praha, s. 154 – 164, ISBN: 978-80-903258-7-6.

VIČANOVÁ M., MAŠÍČEK T., BRETTSCHEIDEROVÁ K., TOMAN F., 2008a:  
Srovnání infiltrační schopnosti půd v různých porostních typech. In: VRÁNA K.,  
JAKUBÍKOVÁ A. [eds]: Krajinné inženýrství 2008. Powerprint, Praha, s. 165 – 172,  
ISBN: 978-80-903258-7-6.

VIČANOVÁ M., MAŠÍČEK T., TOMAN F., STEJSKAL B., POKORNÁ J., 2008b:  
Průběžné výsledky měření infiltrace vody do půdy na lokalitě Vatín In:  
ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T. [eds], Bioklimatologické aspekty hodnocení  
procesů v krajině, Mikulov, ISBN: 978-80-86690-55-1.

ZUMR D.,2008: Využití barevných stopovačů pro popis preferenčního proudění  
v půdě. In: Juniorstav 2008, 10. Odborná konference doktorského studia, , Brno:  
VUT v Brně, Fakulta stavební, s. 259-266, ISBN 978-80-86433-45-5.

## 6. Seznam obrázků a tabulek

*Obr. č. 1: Schéma dvouválcového výtopového infiltrometru*

*(Převzato z: Sedláčková, 2007)*

*Obr. č. 2: Schéma tenzních infiltrometrů s různou konstrukcí*

*(Převzato z: Jaramillo et al., 2000)*

*Obr. č. 3: Schéma dešťového simulátoru McQueen (Převzato z: Deborah, 2001)*

*Obr. č. 4: Schéma pískového tanku (Převzato z: Bortlová, 2006)*

*Obr. č. 5: Znázornění preferenčních cest s využitím traceru*

*„E 330 – brilantní modř“ (Převzato z: Kovaříček et al., 2010)*

*Obr. č. 6: Grafické znázornění rychlostí infiltrace na lokalitě Vatín v porostu pšenice*

*(Převzato z: Vičanová et al., 2008b)*

*Obr. č. 7: Grafické znázornění rychlostí infiltrace na lokalitě Vatín v porostu pšenice*

*(Převzato z: Vičanová et al., 2008b)*

*Obr. č. 8: Grafické znázornění infiltračních rychlostí na lokalitě Vatín na trvalém*

*travním porostu (Převzato z: Vičanová et al., 2008b)*

*Obr. č. 9: Grafické znázornění infiltračních rychlostí na lokalitě Vatín na trvalém*

*travním porostu. (Převzato z: Vičanová et al., 2008b)*

*Tab. č. 1: Výsledky měření (Jačka, 2011)*

*Tab. č. 2: Charakteristiky stanovišť před měřením povrchového odtoku (Převzato z:*

*Kovaříček, 2010)*

*Tab. č. 3: Povrchový odtok hodnocený vzhledem ke zpracování půdy*

*(Převzato z: Kovaříček, 2010)*

*Tab. č. 4 : Charakteristiky experimentálních povodí v NP Šumava (Tesař, 2004)*

*Tab. č. 5 : Průměrné retenční čáry pro zkoumané vegetační pokryvy (Kuráž, 2008)*