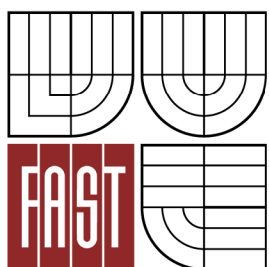


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# ANALÝZA VZÁJEMNÉHO VZTAHU DVOU METOD TERÉNNÍHO MĚŘENÍ INFILTRACE VODY DO PŮDY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. LUCIE LARIŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby  
**Pracoviště** Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Larišová Lucie, Bc.


**Název** Analýza vzájemného vztahu dvou metod terénního měření infiltrace vody do půdy

**Vedoucí diplomové práce** Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

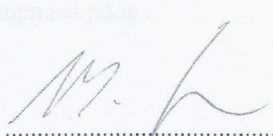
**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2011

**Datum odevzdání diplomové práce** 13.1.2012

V Brně dne 31. 3. 2011

  
.....  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
- Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

1. Elricks, D.E., Reynolds, W.D., 2002: Measuring Water Transmission Parameter in Vadose Zone Using Pondered Infiltration Techniques. Agricultural Sciens, 7(2):12-22 2002 sultan Quabos University
2. Kutílek, M., 1978: Vodohospodářská pedologie. SNTL Praha
3. Kutílek, M., Nielsen, D.R., 1994: Soil Hydrology. Catena Verlag GeoScience Publisher, ISBN 3-923381-26-3

### **Zásady pro vypracování**

V rámci DP bude hodnocena infiltrace vody po půdy v konkrétní lokalitě pomocí odlišných metod, tj. klasickou dvouválcovou metodou a pomocí kruhových infiltrometrů Mini Disk. Ty jsou určeny pro hodnocení vododržnosti půdy a nasycené hydraulické vodivosti. Materiální nenáročnost a vysoká operativnost umožňují provádět větší počet opakování v polních podmínkách. Dosažené výsledky budou vzájemně konfrontovány.

### **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
*Ivana Kameníčková*

Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## ABSTRAKT V ČESKÉM JAZYCE :

Diplomová práce se zabývá teoretickým popisem infiltračního procesu a terénním měřením infiltrace v katastrálním území Bohaté Málkovice. Výzkumné práce na experimentální ploše probíhaly v roce 2011 na Haplic Chernozem/FAO, černozemi na spraši, středně těžké hlinité půdě. Experimentální plocha byla rozdělena na dvě části, orníční vrstva na těchto plochách byla zpracována klasickou a minimalizační technologií. Pozemky byly osety ječmenem jarním. K terénnímu měření infiltrace vody do půdy se použila dvouválcová metoda a minidiskové infiltrometry. V blízkosti infiltračních experimentů byly odebrány neporušené půdní vzorky pro laboratorní stanovení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ . Z terénních měření a laboratorních pokusů byly stanoveny hodnoty hydraulické vodivosti (nasycené a nenasycené) a další infiltrační charakteristiky, tj. kumulativní infiltrace  $I(t)$  a infiltrační rychlost  $v(t)$ . K vyhodnocení infiltrace výtopou byla použita tříparametrická rovnice Philpova typu, která poskytuje dobrý odhad nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ . K vyhodnocení minidiskových infiltrometrů byla použita Zangova metoda, která poskytuje nenasycenou hydraulickou vodivost  $K(h)$ . Laboratorní vyhodnocení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  bylo porovnáno s odhadnutými hodnotami z terénních měření. Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  z laboratorních měření jsou prakticky srovnatelné s odhady získanými z ustálené infiltrační rychlosti z terénních pokusů.

Výsledky výzkumu prokázaly, že středně těžké hlinité půdy při minimalizačním zpracování s úpravou půdního povrchu podrýváním mají příznivý vliv na infiltraci vody do půdy. Tato skutečnost vede k vyššímu vláhovému zabezpečení rostlin v průběhu vegetace a ke zlepšení retenční a akumulární schopnosti půdy.

## **ABSTRAKT IN ENGLISH :**

This thesis deals with the theoretical description of the infiltration process and field measurements of infiltration in the cadastral territory of Bohaté Málkovice. The research work carried out in 2011 in an experimental area on Haplic Chernozem/FAO, medium-heavy loam soil. The experimental area was divided into two parts, the orniční layer on these surfaces was processed by both classic and minimization technologies. The plots were sown by spring barley. The applied measurements of water infiltration into the soil were two-cylinder method and MiniDisc. Within the vicinity of the infiltration experiments with intact soil were collected samples for laboratory determination of saturated hydraulic conductivity. From the field measurements and laboratory experiments were determined values of hydraulic conductivity (saturated and unsaturated), and other infiltration characteristics, the cumulative infiltration and infiltration rate. To evaluate the infiltration of the heats was used three-paramether Philp type equation that provides a good estimate of saturated hydraulic conductivity. For the evaluation of the MiniDisc there was used the Zangova method that provides the unsaturated hydraulic conductivity. The laboratory evaluation of the saturated hydraulic conductivity was compared with the estimated values obtained from the field measurements. The values of the saturated hydraulic conductivity from the laboratory measurements are closely comparable with estimates obtained from the steady infiltration rates from the field experiments.

The research results also showed that medium-heavy loam soil, when being processed by minimization including modification of the soil surface by digging, have a positive effect on the infiltration of water into the soil. This fact leads to a higher protection plants in the vegetative period and improvement of the retention and storage capacity of soil.

## KLÍČOVÁ SLOVA

nasycené a nenasycené proudění

Darcyho rovnice

infiltrace

dvouválcová metoda

minidiskový infiltrometr

způsoby zpracování

nasycená hydraulická vodivost  $K_s$

nenasycená hydraulická vodivost  $K(h)$

## KEY WORDS

saturated and unsaturated flow

Darcy's equation

infiltration

double ring infiltrometer

MiniDisc infiltrometer

tillage treatment

saturated hydraulic conductivity  $K_s$

unsaturated hydraulic conductivity  $K(h)$

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE :**

LARIŠOVÁ, Lucie. *Analýza vzájemného vztahu dvou metod terénního měření infiltrace vody do půdy*. Brno, 2011. 81 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis autora



**PODĚKOVÁNÍ :**

Ráda bych poděkovala Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph.D. za ochotu a rady při vedení mé diplomové práce.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	12
2	CÍL PRÁCE .....	13
3	LITERÁRNÍ REŠERŽE .....	14
3.1	Hydrodynamika půdní vody .....	14
3.1.1	Nasycené proudění .....	14
3.1.1.1	Darcyho vztah .....	14
3.1.1.2	Metody stanovení hydraulické vodivosti $K_s$ .....	17
3.1.2	Nenasycené proudění .....	22
3.1.2.1	Darcy – Buckinghamův vztah .....	23
3.1.2.2	Metody stanovení nenasycené hydraulické vodivosti .....	26
3.2	Infiltrace .....	27
3.2.1	Stacionární infiltrace .....	27
3.2.2	Nestacionární infiltrace .....	28
3.2.2.1	Nestacionární infiltrace při DOP .....	28
3.2.2.2	Nestacionární infiltrace při NOP .....	29
4	METODIKA .....	31
4.1	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ .....	31
4.1.1	Základní údaje o území .....	31
4.1.2	Klimatické podmínky .....	32
4.1.3	Reliéf terénu .....	33
4.1.4	Geologicko – litologické poměry .....	33
4.1.5	Hydrologické poměry .....	34
4.1.6	Způsob obdělání půdy, osevní postup .....	34
4.2	METODY MĚŘENÍ INFILTRACE .....	36
4.2.1	Měření infiltrace výtopou .....	36
4.2.2	Měření infiltrace pomocí minidiskového infiltrometru .....	38
4.3	Vyhodnocení terénního měření pomocí .....	41
4.3.1	Výtopová metoda .....	41
4.3.2	Minidiskový infiltrometr .....	42
4.4	Laboratorní stanovení $K_s$ .....	45
5	VÝSLEDKY .....	47

5.1	Výtopová metoda.....	47
5.2	Minidiskový inifltrometr.....	50
5.3	Nasyčená hydraulická vodivost.....	53
6	ZÁVĚR.....	54
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	56
8	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	57
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	59
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	61
	PŘÍLOHA A.....	61
	PŘÍLOHA B.....	68
	PŘÍLOHA C.....	80

# 1 ÚVOD

Půda patří k nenahraditelnému přírodnímu bohatství naší země tvořící charakteristickou složku krajiny. Má dominantní postavení v hydrologickém cyklu krajiny. Stav a množství vody mezi půdním povrchem a hladinou podzemní vody bezprostředně ovlivňuje řadu životně důležitých procesů (odtok vody z povodí, úrodnost půdy, zásobení zdrojů podzemních vod a další).

Úrodnost je ovlivňována mnoha faktory, kterými jsou například technologie zpracování půdy a zakládání porostů plodin. Postupy zpracování půdy ovlivňují odolnost půdy vůči větrné a vodní erozi. V České republice je vodní erozí ohrožena více než polovina výměry orné půdy. Mezi nejčastěji využívané technologie zpracování půdy patří klasická a minimalizační technologie.

Podstatou klasické technologie zpracování půdy je dobře a vhodně provedená orba půdy, při níž dochází k zásahu do půdního profilu v různých hloubkách podle druhu orby. Při této technologii dochází k úbytku půdního humusu, ten je odnášen a silně devastován. Při orbě dochází k zhutnění podorničí a na povrchu se vytváří půdní krusta, která brání infiltraci vody do půdy.

Minimalizační (bezorebné) technologie se vyznačují dvěma znaky, redukcí hloubky a intenzitou zpracování půdy a ponecháním rostlinných zbytků na povrchu nebo ve svrchní vrstvě půdy. Více jak 30 % povrchu půdy zůstává zakryto posklizňovými zbytky. Tento postup zpracování půdy se považuje za půdoochranný a očekává se od něj, že přispěje ke zlepšení strukturního stavu půdy a půdní organické hmoty.

V ochraně půdy před vodní erozí je infiltrační schopnost důležitým faktorem. Při nízké infiltrační schopnosti svrchní vrstvy půdy nedochází k požadovanému vsaku vody do půdy, vzniká povrchový odtok a s ním spojené negativní jevy. Infiltrační schopnost půdy ovlivňuje řadu půdních parametrů, hydro-fyzikální vlastnosti půdy, chemické a biologické vlastnosti půdy. Infiltrace vody do půdy je také důležitým faktorem z hlediska posilování zdrojů podzemních vod.

## 2 CÍL PRÁCE

Diplomová práce je zaměřena na experimentální výzkum týkající se problematiky měření infiltrace v terénu pomocí válcových infiltrometrů a minidiskových infiltrometrů. Měření probíhalo na experimentálních plochách v katastrálním území obce Bohaté Málkovice. V blízkosti infiltračních experimentů se odebíraly neporušené půdní vzorky pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ .

Cílem diplomové práce je analýza a srovnání obou použitých metod měření infiltrace a v závislosti na retenci vody v krajině stanovení hydraulické vodivosti.

V první části práce je uvedena literární rešerše týkající se problematiky infiltrace.

V druhé části práce je uvedena metodika a vyhodnocení měření pomocí dvouválcových infiltrometrů a minidiskových infiltrometrů. V rámci diplomové práce bylo provedeno srovnání odhadu nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ , získané z dvouválcových měření s hodnotou stanovenou v laboratoři pomocí permeometru. Dále byla stanovena z minidiskových infiltrometrů hodnota nenasyčené hydraulické vodivosti  $K(h)$ .

V závěru práce je provedeno srovnání obou metod měření infiltrace, vyhodnocení hydraulické vodivosti jak v terénu, tak i laboratorně a srovnání jednotlivých výsledků.

### 3 LITERÁRNÍ REŠERŽE

#### 3.1 Hydrodynamika půdní vody

Půda je porézním prostředím umožňujícím proudění vody. Prostor, v němž se voda může pohybovat je omezený. Tento prostor odpovídá objemu pórů.

V hydrodynamice půdní vody rozlišuje dva typy proudění, proudění nasycené a nenasycené.

O nasyceném proudění hovoříme tehdy, jestliže voda vyplňuje při proudění všechny póry a půda je vodou nasycená.

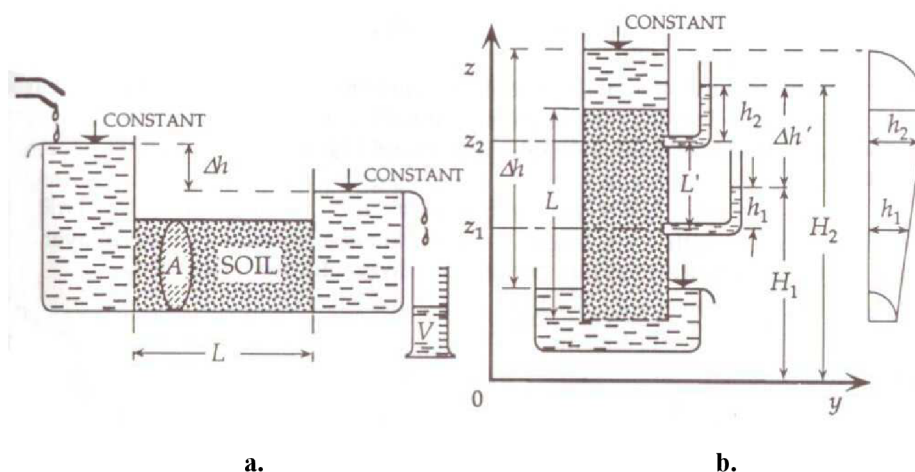
Za nenasycené proudění označujeme takové proudění vody, když je půda jen zčásti nasycena vodou a vlhkost je menší než pórovitost.

##### 3.1.1 Nasycené proudění

Základním předpoklad je, že se půda během proudění chová jako tuhá porézní látka a je k vodě inertní.

###### 3.1.1.1 Darcyho vztah

Pro odvození Darcyho vztahu provedeme následující pokus (obr. 3.1a.) a (obr. 3.1b.).



Obr. 3.1a. Stacionární nasycené proudění sloupcem půdy o průřezové ploše kolmé na směr proudění

Obr. 3.1b. Tlakové poměry při proudění vody sloupcem homogenní půdy (Převzato z : Kutilek et al., 2004)

Půda se umístí do horizontálního válce, který je spojený na obou stranách s nádobami obsahujícími vodu udržovanou v konstantní hladině. Úroveň hladin je kontrolována přepadem. Proudění sloupcem půdy je nasycené stacionární. Po průtoku vody půdou se měří objem vody pod spodním přepadem.

$$v = \frac{V}{A \cdot t} \quad , \quad (3.1)$$

kde

$V$ ..... objem vody pod spodním přepadem [ $m^3$ ],

$A$ ..... je průřezová plocha válce, ve kterém je umístěna půda [ $m^2$ ],

$t$ ..... je čas, za který protekl objem vody  $V$  [s].

Rychlost proudění vody půdou lze stanovit dle vztahu (3.1). Tato rychlost je nazývána makroskopickou nebo filtrační rychlostí a uvažuje se, že voda protéká celým profilem a zanedbává existenci půdních zrn.

Rychlost vody se zvyšuje při vzrůstu výšky  $\Delta h$  (*obr.3.1b.*) a snižuje se při zvětšení délky sloupce  $L$  ve směru proudění.

Darcy prokázal lineární závislost, a proto se jím odvozená rovnice nazývá Darcyho zákonem.

$$v = K_s \frac{\Delta h}{L} \quad , \quad (3.2)$$

kde

$K_s$ ..... nasycená hydraulická vodivost [ $cm \cdot s^{-1}$ ],

$\Delta h$  ..... rozdíl hladin před vtokem a výtokem z půdy [m],

$L$ ..... délka sloupce ve směru proudění [m].

Uvažujeme – li, že  $\frac{\Delta h}{L} = I_h$ , kde  $I_h$  je hydraulický sklon, může se Darcyho vztah zjednodušit

$$v = K_s \cdot I_h \quad , \quad (3.3)$$

Hydraulický sklon se obdrží ze čtení dvou piezometrů (*obr.3.1b*). Ztotožníme – li spodní hladinu vody s počátkem osy  $z$ , kdy kladný směr osy je vzhůru, proudí voda opačným směrem a rychlost má opačné znaménko.

$$v = -K_s \frac{H_2 - H_1}{z_2 - z_1}, \quad (3.4)$$

kde

$H_{1,2}$  ..... potenciální výška (celkový potenciál na jednotku tíhy).

Spád celkového potenciálu  $H$  je hnací silou proudění vody. Pro jednorozměrné proudění platí vztah

$$v = -K_s \frac{dH}{dz}. \quad (3.5)$$

Pro více rozměrné proudění

$$v = -K_s \cdot \text{grad}H. \quad (3.6)$$

Rozměr  $K_s$  závisí na rozměru potenciálu  $H$ , proto se v hydraulických aplikacích obvykle užívá  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Hydraulická vodivost není vždy stejná ve všech směrech. Tuto vlastnost označujeme jako anizotropii vodivosti nebo propustnosti.

Hodnota hydraulické vodivosti závisí na textuře, struktuře a na fyzikálně chemických poměrech v půdním roztoku. U písčitých půd je zpravidla  $K_s > 10 \text{cm} \cdot \text{den}^{-1}$ , u jílu  $K_s > 0,1 \text{cm} \cdot \text{den}^{-1}$ . Horní hranice závisí na struktuře a zhutnění půdy. U rašelin hodnota  $K_s$  klesá se vzrůstem stupně rozložení rašeliny, při vysokém stupni 40 – 50 % má hodnotu  $K_s$  jako u jílu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kutílek, M., Kuráž, V., Císlerová, M.: *Hydropedologie 10*. Skriptum. ČVUT PRAHA 1993



### 3.1.1.2 Metody stanovení hydraulické vodivosti $K_s$

Metody stanovení nasycené hydraulické vodivosti rozdělujeme na metody přímé a nepřímé.

Mezi přímé metody řadíme metody laboratorní a terénní, kdy  $K_s$  přímo určujeme, měříme. Nepřímé metody jsou takové, kdy na základě snáze stanovitelných půdních vlastností (textura, struktura, objemová hmotnost, obsah humusu atd.) odvozujeme hodnotu  $K_s$ . Tyto metody známe jako „predotrasferové funkce“ slouží jako přibližný odhad.<sup>2</sup> Lepší výsledky stanovení  $K_s$  jsou dosahovány u texturálně lehkých půd, u středně těžkých půd až těžkých půd nejsou tyto metody většinou použitelné.

Hodnoty stanovené nepřímými metodami mohou být použity jako první odhad pro numerické modely a dále zpřesněny inverzní metodou (optimalizace vstupních hodnot na základě výstupu z modelového řešení).

#### *Laboratorní metody stanovení $K_s$*

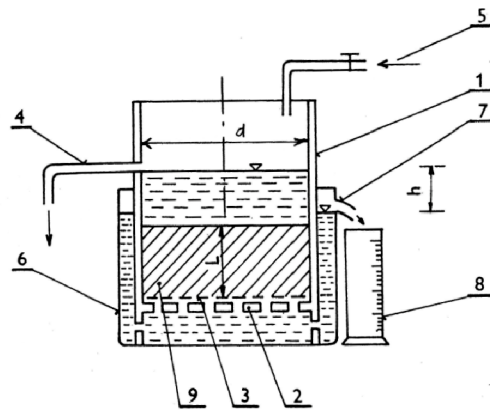
Nasycená hydraulická vodivost se laboratorně stanovuje na neporušených půdních vzorcích odebraných při terénním průzkumu do kovových válečků o objemu 100 cm<sup>3</sup>. Z důvodu heterogenity půdy se doporučuje provádět 3-5 stanovení z jednoho místa.

Po přinesení vzorků do laboratoře se nechají kapilárně nasytit na filtračním papíře a následně jsou umístěny do měřicího přístroje. V laboratoři se užívá filtračních aparátů různých konstrukcí. Přístroje pracují při konstantním nebo při proměnném hydraulickém sklonu.

Vzorky propustnějších půd je možno měřit na přístroji s konstantním spádem. Konstantního sklonu se docílí zachováním konstantní úrovně hladin nad vzorkem a pod vzorkem pomocí přepadu nebo Mariottovy lahve a výtokem vody z válečku. Zaznamenává se objem vody protékající ve zvoleném časovém intervalu. Průtok se měří pomocí kalibračních nádob (jsou umístěny pod vzorkem) nebo z pohybu bubliny (popřípadě menisku) na rozhraní vody a cizí, nemísící se kapaliny v kalibrované kapiláře.

---

<sup>2</sup> Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M.: *Hydropedologie 10. Skriptum*. ČVUT PRAHA 1993



Obr. 3.2. Schéma permeamtru s konstantním spádem

(Převzato z : <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz>)

Popis přístroje : 1 - propustoměrný válec, 2 - děrované dno, 3 - drátěné síto, 4 - přepad propustoměrného válce, 5 - přívod vody, 6 - vnější nádoba, 7 - přepad vnější nádoby, 8 - odměrný válec, 9 - zkušební vzorek

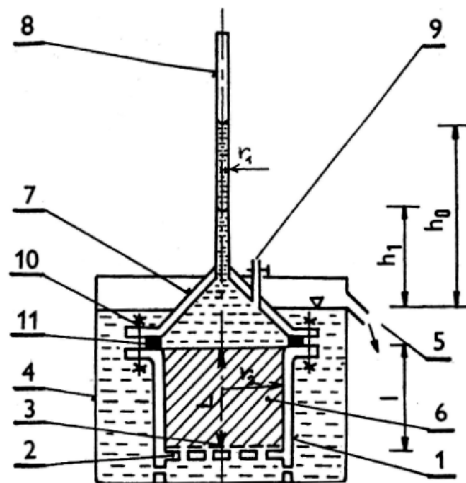
Hydraulická vodivost se při známém sklonu a průtoku vypočte pomocí Darcyho zákona.

$$K = \frac{V.L}{S.\Delta H.t} \quad (3.7)$$

kde

- V ..... objem vody proteklý půdním vzorkem [m<sup>3</sup>],  
 L ..... délka (výška) vzorku [m],  
 S ..... plocha vzorku [m<sup>2</sup>],  
 ΔH ..... rozdíl hladin [m],  
 t ..... čas [s].

Pro méně propustné půdy je výhodnější použít přístroj s proměnným spádem. Pokles hladiny je zaznamenáván v propustoměru, přičemž dolní hladina zůstává na konstantní úrovni. Plocha trubice s klesající horní hladinou je obvykle výrazně menší než plocha válečku s půdním vzorkem, pokles v trubici je výrazný i pro zainfiltrování relativně malého množství vody.



Obr. 3.3. Schéma permeamtru s proměnným spádem

(Převzato z : <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz>)

Popis přístroje : 1 - propustoměrný válec, 2 - děrované dno, 3 - drátěné síto, 4 - přepad propustoměrného válce, 5 - přívod vody, 6 - vnější nádoba, 7 - přepad vnější nádoby, 8 - odměrný válec, 9 - zkušební vzorek.

Pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  se použije vztah pro rychlost poklesu horní hladiny v kombinaci s Darcyho rovnicí

$$K_s = \frac{L \cdot S_1}{t \cdot S_2} \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (3.8)$$

kde

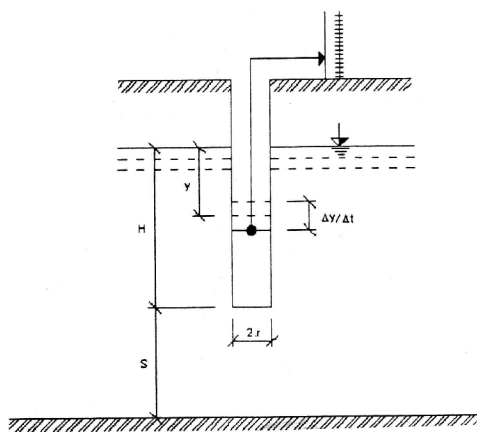
- $h_0$  ..... úroveň hladiny vody v čase  $t = 0$  [m],
- $h_1$  ..... úroveň hladiny vody v čase  $t$  [m],
- $L$  ..... délka (výška) vzorku [m],
- $S_1$  ..... plocha trubice s klesající horní hladinou [m<sup>2</sup>],
- $S_2$  ..... plocha válečku s půdním vzorkem [m<sup>2</sup>],
- $t$  ..... čas [s].

Výsledky laboratorního stanovení  $K_s$  nejsou dostatečně přesné, protože odebraný objem nedosahuje REV (reprezentativní elementární objem). Lepších výsledků není dosaženo ani při zvyšování objemu vzorků, při odběru a transportu může dojít k jejich zhutnění nebo naopak, podél stěn válečku, nebo podél kořinek se objeví preferenční cesty.

### Terénní metody stanovení $K_s$

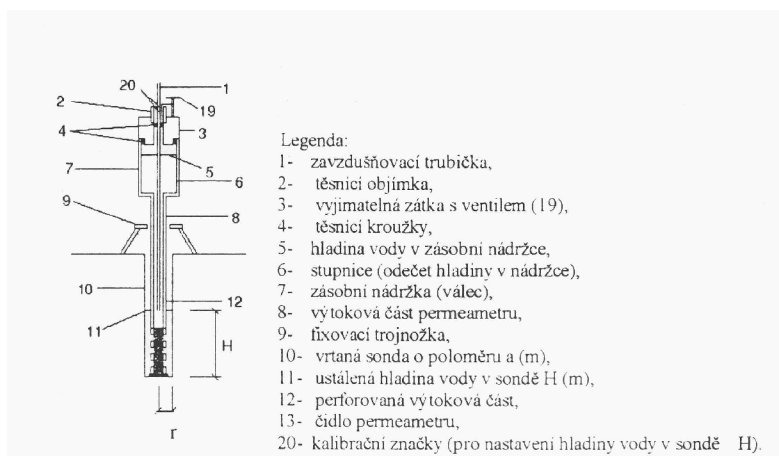
Mezi základní terénní metody stanovení  $K_s$  patří čerpací zkouška, jednosondová metoda a piezometrická metoda. Tyto metody se využívají při stanovení  $K_s$  v případech, kdy je dostupná hladina podzemní vody.

Čerpací zkouška spočívá ve sledování množství vody čerpané ze studny a zjišťuje se snížení hladiny v kontrolních sondách. U jednosondové metoda se sleduje rychlost zaplňování sondy stěnami a dnem sondy po předchozím odčerpání určitého objemu vody ze sondy. U nehomogenních půd lze stanovit nasycenou hydraulickou vodivost jednotlivých půdních vrstev piezometrickou metodou, která je obdobou jednosondové metody s tím rozdílem, že je sonda zapažena nepropustnou pažnicí a voda dovnitř proudí pouze dnem.



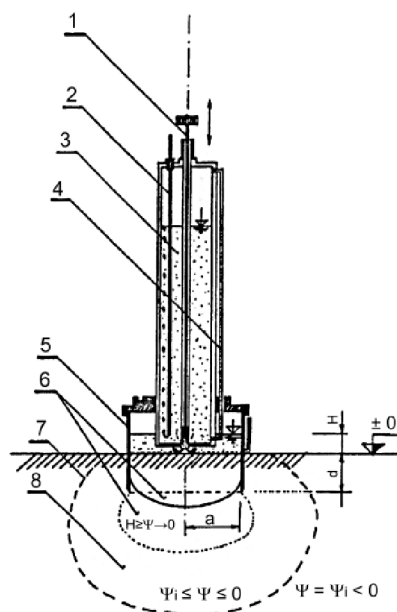
Obr. 3.4. Schéma jednosondové metody (Převzato Kutilek et. al, 1978)

Není – li dostupná hladina podzemní vody, využívá se ke stanovení  $K_s$  infiltrační pokusy využívající různé typy infiltrmetrů a simulátorů deště. Velmi často se používá dvouválcový infiltrmetr, kde se sleduje čas potřebný k poklesu hladiny ve vnitřním válci, vnější válec slouží k zachování svislosti proudnic pod vnitřním válcem během infiltrace. Dalším infiltrmetrem je Guelphský permeometr. Je určen pro měření ve vrtané sondě, měří se časový průběh hladiny vody v rezervoáru po dosažení ustálené hodnoty.



Obr. 3.5. Schéma Guephského parametru (Převzato Kutílek et. al, 1993)

Pro stanovení  $K_s$  je možné využít i tlakový infiltrometr (návrh přístroje Matula a Kozáková, 1997). Tlakový infiltrometr je použitelný pro měření  $K_s$  a pro měření povrchové vrstvy půdy. Je složen z kovového válce o průměru 15 cm zapuštěným 8 – 10 cm pod povrch půdy, na který se osadí tlakový infiltrometr fungující jako rezervoár vody Mariottova typu. Zaznamenává se pokles hladiny vody v infiltrometru v závislosti na čase. Údaje se vyhodnocují pomocí rovnic formulovaných Philpem, Reynolsem a Elrickem.



Obr. 3.6. Tlakový infiltrometr Matula a Kozáková(1997)  
 (Převzato z : <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz>)

Popis přístroje : 1 - ventil pro otevření/zavření výstupu vody, 2 – pohyblivá trubička pro nastavení požadované výšky hladiny vody na povrchu půdy, 3 – rezervoár s vodou Mariottova typu, 4 – hadička o malém průměru umožňující přesné odečítání výšky hladiny vody v rezervoáru, 5 – kovový válec, 6 – oblast půdy nasycená vodou, 7 – čelo zvlhčení, 8 – oblast půdy zvlhčené zainfiltrovanou vodou.

### 3.1.2 Nenasycené proudění

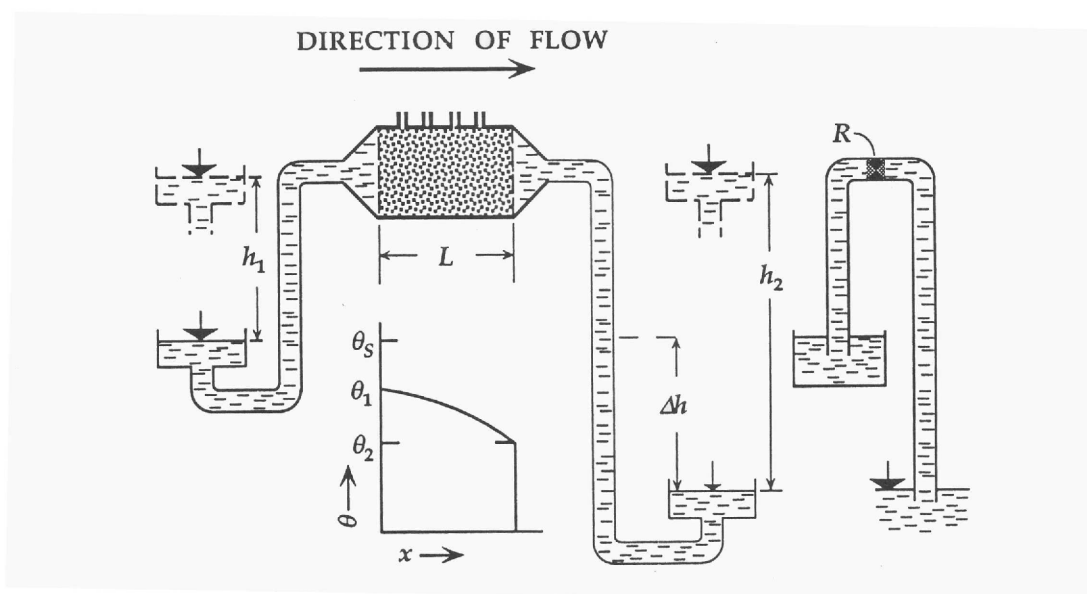
Nenasycené proudění v půdě se vyskytuje častěji než nasycené proudění. Nenasycená půdní zóna propojuje nasycenou zónu podzemní vody s povrchem půdy, která je ve styku s atmosférou. Má funkci akumulace vody, živin, přenosu vody a dalších látek. Zásoba vody a živin v nenasycené půdní zóně je nezbytná pro existenci biosféry. Řešení problematiky nenasyceného proudění vyžaduje komplexnější přístup než u nasyceného proudění.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Leij, F.: Modelling the dynamics of the soil pore size distribution. SOIL & TILLAGE RESEARCH 2002

Předpokládejme, že nenasycené proudění v půdě se řídí stejnými zákony jako nasycené proudění. Pro nenasycené proudění musíme vzít v úvahu skutečnost, že půda není vodou plně nasycena, část pórů je vyplněna vzduchem, při proudění se může půda dosycovat vodou nebo odvodňovat.

### 3.1.2.1 Darcy – Buckinghamův vztah

Pro odvození vztahu provedeme následující pokus (obr. 3.7.), který je obdobou Darcyho zákona.



Obr. 3.7. Schéma pokusu nenasyceným prouděním vody v půdě  
(Převzato Kutítek et. al, 2004)

Půda je ve válečku, jehož plášť je opatřen několika uzavřenými otvory a polopropustnou membránou, která odděluje na obou základnách půdu od volné vody v malých nádobách, připojených gumovou hadičkou. Na levé straně se sníží nádoba na úroveň  $H_1$ , na pravé straně na úroveň  $H_2$ . Otevřou-li se otvory na plášti válce, začne se půda odvodňovat. Na levé straně se odvodní méně, na pravé straně více. Rozložení vlhkosti ve válci bude mít tvar určité křivky a pouze přibližně se předpokládá, že se vlhkost mění lineárně s osou  $x$ .

Dochází k proudění vody podobně jako v násosce, pouze rychlost proudění je značně zpomalena přítomností půdy. Udrží-li se hladiny v nádobách na konstantní

úrovni, po určité době protéká stejné množství a půdní vlhkost se v čase nemění. Bylo dosaženo stacionární proudění. Pro jeho rychlost platí rovnice

$$v = \frac{V}{A \cdot t}, \quad (3.9)$$

kde

V..... objem proteklé vody za čas t [m<sup>3</sup>],

A ..... plocha válečku kolmá na směr proudění [m<sup>2</sup>],

t..... čas [min].

Rychlost se zvětšuje se vzrůstem  $\Delta H$  a snižuje při zvětšení délky sloupce půdy  $L$ .

$$v = K \frac{\Delta H}{L}, \quad (3.10)$$

kde

K..... nenasyčená hydraulická vodivost [cm.s<sup>-1</sup>].

Zavede-li se celkový potenciál vztažený k tíže, vyjádřený v jednotkách hydraulické výšky, obdrží se rovnice, která se nazývá Darcy-Buckinghamovou rovnicí.

$$v = -K \frac{dH}{dz}. \quad (3.11)$$

V dvojrozměrných a trojrozměrných úlohách

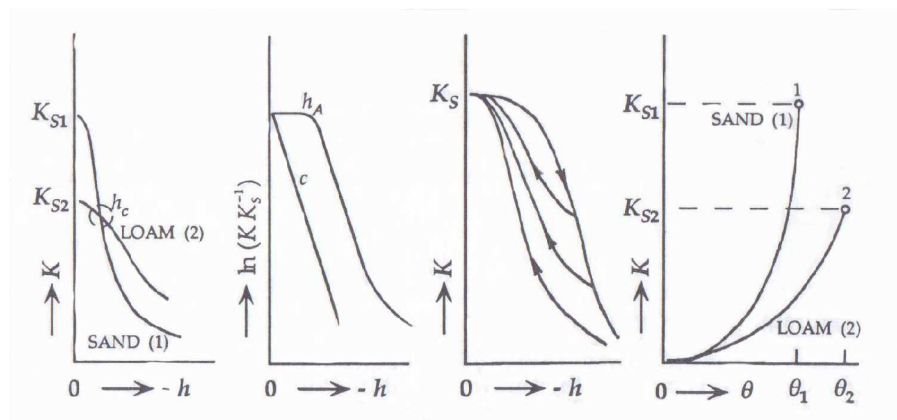
$$v = -K \cdot gradH. \quad (3.12)$$

Nenasycená hydraulická vodivost  $K(h)$  je součinitel, který charakterizuje, v jaké míře půda umožňuje proudění. V hydraulických aplikacích se obvykle užívá cm.s<sup>-1</sup>.

Nenasycená hydraulická vodivost závisí na vlhkosti  $\theta$  nebo na vlhkostním potenciálu (záporné tlakové výšce)  $h$ . Popisuje průběh hydraulické vodivosti půdy na



vlhkosti půdy  $K(\theta)$  nebo na vlhkosním potenciálu  $K(h)$ . Obecný průběh závislosti nenasycené hydraulické vodivosti na vlhkosti  $K(\theta)$  nebo na vlhkosním potenciálu  $K(h)$  je znázorněn na obr. 3.3. Protože vztah  $K(\theta)$  je odvozen ze vztahu  $h(\theta)$ , tedy z retenční čáry zatížené hysterezí, je také vztah  $K(h)$  silně hysterezní. Rozdílné hodnoty  $K(h)$  přísluší stejné hodnotě  $h$  v závislosti na tom, zda úroveň  $h$  bylo dosaženo vysušováním nebo zvlhčováním. Vztah  $K(\theta)$  není hysterezí zatížen tak silně.



Obr. 3.8. Závislost nenasycené vodivosti  $K$  na záporné tlakové výšce  $h$  a na vlhkosti  $\theta$  (Převzato Kutítek et. al, 2004)

Ve vztahu  $K(h)$  se křivky pro písčitou a hlinitou půdu při určitém  $h_c$  protínají. V oblasti blízké nasycení  $0 \geq h > h_c$  je písčité půdy propustnější než hlinitá. Při nenasyceném proudění, je-li  $h < h_c$ , se stává písčité půdy méně propustnější než hlinitá. Při  $h < h_c$  je v písčité půdě menší objem „středních pórů“ oproti půdě hlinité, proto je při nenasyceném proudění písčité půdy méně propustná než půda hlinitá.

### *3.1.2.2 Metody stanovení nenasycené hydraulické vodivosti*

Nenasycenou hydraulickou vodivost je možno stanovit laboratorně či v terénu, odvodit její průběh na základě znalosti nasyčené hydraulické vodivosti  $K_s$  a průběhu retenční čáry půdní vlhkosti nebo odhadnout její průběh na základě pedotransférových funkcí.

#### *Laboratorní stanovení nenasycené hydraulické vodivosti $K(h)$*

Při laboratorním měření se postupuje stacionární metodou nebo metodami nestacionárního proudění. Metoda stacionárního proudění je pomalejší oproti metodám nestacionárního proudění.

$K(h)$  se vyhodnocuje z měřeného objemu vyteklé vody jako funkce času při zvýšení přetlaku v přetlakovém nebo podtlakovém aparátu nebo z rozdělení vlhkosti při horizontální infiltraci.

#### *Terénní stanovení nenasycené hydraulické vodivosti $K(h)$*

Průběh nenasycené hydraulické vodivosti v závislosti na tlakové výšce  $K(h)$  se v terénu stanovuje pomocí infiltrometrů a infiltračních pokusů. Nejčastěji se využívají tenzní infiltrometry.

Tenzní infiltrometry se rozdělují do třech skupin, na infiltrometry využívající plochu jednoho infiltračního disku a nastavení jedné tenze, infiltrometry využívající dvou či více disků o různém průměru při nastavení jedné tenze a infiltrometry využívající jednoho disku při nastavení řady tenzí.

## 3.2 Infiltrace

Infiltrace vody do půdy je součástí koloběhu vody v přírodě. Je to průtok vody přes topografický povrch. Rychlost tohoto průtoku je nazývána infiltrační rychlostí  $v(t)$ . Celkové množství zasáklé vody je kumulativní infiltrace  $I(t)$ .

### 3.2.1 Stacionární infiltrace

Při stacionární infiltraci je infiltrační rychlost konstantní. Na spodním okraji je hladina podzemní vody na konstantní úrovni. Ztotožníme-li ji s počátkem souřadnice  $z$ , tedy  $z = 0, h = 0$ . Souřadnice  $z$  je kladně orientována směrem vzhůru, na topografickém povrchu  $z = Z, h = h_z$ , které pro zadanou rychlost  $v$  hledáme. Protože proudění má opačný směr než je kladná orientace souřadnice  $z$ , bude  $v$  záporné, tj.  $v < 0$ . Rovnici Darcyho-Buckinghamu napíšeme ve tvaru

$$v = -K(h) \frac{dH}{dz}, \quad (3.13)$$

přičemž musí platit  $dH/dz > 0$ . Obdržíme rovnovážný stav, kde  $v = 0$  a  $h = -z$ .

Vynášíme-li vlhkostní profil  $\theta(z)$  nad hladinou podzemní vody, obdržíme retenční čáru pro  $v = 0$ . Jestliže rychlost infiltrace  $v = K_s$ , jedná se o nasycení půdy vodou od  $z = 0$  až do  $z = Z$ , tedy  $\theta = \theta_s$ .<sup>4</sup>

Takto jsme obdrželi vymezení oblasti, ve které se mohou vyskytovat vlhkosti. Čím je rychlost infiltrace menší, tím blíže je křivka  $\theta(z)$  retenční čáře.

Stacionární infiltraci můžeme řešit analyticky, zvolíme-li analytický výraz pro  $K(h)$ .

Z řešení stanovíme buď profil tlakových výšek  $h(z)$  a z něho profil vlhkosti  $\theta(z)$ , nebo známe-li profil  $h(z)$ , lze určit rychlost infiltrace. Analytické řešení je prvním stupněm k řešení infiltrace do zvrstveného profilu.

---

<sup>4</sup> Kameníčková, I.: Vodní hospodářství krajiny I. Skriptum. BRNO 2005

### 3.2.2 Nestacionární infiltrace

Nestacionární infiltrace nastává, když se v čase  $t = 0$  změní na horním okraji (povrchu) okrajová podmínka. Rozeznáváme dva případy:

1. Infiltrace při *Dirichletově okrajové podmínce* (DOP). Na okraji  $z = 0$  (na povrchu) definujeme od času  $t = 0$  vlhkost, popř. tlakovou výšku. Jestliže je tlaková výška nulová nebo kladná, je vlhkost rovna vlhkosti nasycení. Tento typ infiltrace odpovídá vsakování vody do půdy při zatopeném povrchu a měří se nejjednodušší dvouválcovou metodou.
2. Infiltrace při *Neumanově okrajové podmínce* (NOP). Na okraji  $z = 0$  definujeme od času  $t = 0$  průtok. Tento typ infiltrace odpovídá vsakování vody ze srážky až do času výtopy  $t_p$ . Pro  $t > t_p$  přechází tato podmínka v Dirichletovu okrajovou podmínku. Tento typ infiltrace se měří dešťovým stimulatorem.

#### 3.2.2.1 Nestacionární infiltrace při DOP

Předpokládáme homogenní, polynekonečný sloupec půdy. Počáteční podmínka je

$$t = 0 \quad z > 0 \quad \theta = \theta_i \quad (3.14)$$

osa  $z$  je kladně orientován dolů DOP je

$$t > 0 \quad z = 0 \quad \theta = \theta_s \quad (3.15)$$

$$t > 0 \quad z = 0 \quad h = h_0 \quad (3.16)$$

Nejpřesněji bychom dodrželi pravidla pro jednodimenzionální infiltraci. Kdybychom do půdy zarazili dlouhý válec a horní část nechali přečnívat nad povrchem. V čase  $t = 0$  nalijeme do trubky vodu do úrovně  $h_0$ . V jednotlivých intervalech měříme pokles hladiny vody, což je kumulativní infiltrace.<sup>5</sup> I když nedoléváme vodu, musíme opravit DOP na:

$$t > 0 \quad z = 0 \quad h(t) = h_0 - I(t) \quad (3.17)$$

---

<sup>5</sup> Kameníčková, I.: Vodní hospodářství krajiny I. Skriptum. BRNO 2005

Primárně měříme kumulativní infiltraci jako funkci času. Kumulativní infiltrace je řešena analyticky, aproximativně a empiricky.

První analytické řešení Richardsovy rovnice předložil Philip. Postup je založen na představě, že řešení rozložíme na dva kroky, v prvním řešíme infiltraci bez vlivu gravitace, ve druhém opravujeme první řešení s ohledem na gravitaci. Tato oprava je závislá na čase a řeší se nekonečnou řadou.

Mezi aproximativní řešení patří rovnice Philipa, tříparametrická rovnice a postup podle Greena a Ampta. *Rovnice Philipa* vychází ze semianalytického řešení vertikální infiltrace pertubační metodou ve formě nekonečné časové řady. *Tříparametrická rovnice* je obdobou rovnice Philipova typu. *Rovnice Greena a Ampta* je integrální metodou, která předpokládá vytvoření nenasyčeného krabicového vlhkostního profilu, jenž se do půdy zasouvá jako píst.

Mezi empirické řešení patří rovnice Kostjarkova, Mezenceva a Hortona. *Rovnice Kostjarkova* vychází z hyperbolického tvaru křivky a je vhodná pouze pro počáteční fázi procesu. *Rovnice Mezenceva* vychází z hyperbolického tvaru křivky s posunem ve směru osy  $v(t)$  o hodnotu  $v(c)$ . *Rovnice Hortona* předpokládá analogii s přírodními procesy probíhajícími podle experimentálního vztahu s počáteční rychlostí  $v_i$  a ustálenou rychlostí infiltrace  $v_c$ .

### 3.2.2.2 Nestacionární infiltrace při NOP

Jedná se o infiltraci ze srážky a ze závlahy postřikem. Analogicky s Darcyho rovnicí uvažujeme déšť jako kontinuální tok, charakterizovaný rychlostí  $v_r$ .

Počáteční podmínka při NOP je

$$t > 0 \quad z = 0 \quad v_r = -K \frac{dH}{dz} \quad (3.18)$$

Infiltraci ze srážky dělíme do tří kategorií :

1.  $v_r$  je konstantní,  $v_r > K_s$ . Vlhkost na povrchu  $\theta_o$  stoupá strmě s časem, v čase výtopy  $t_p$  dosáhne  $\theta_s$ . Čím větší je  $v_r$ , tím je strmější  $\theta(t)$  a rychleji se dosáhne  $t_p$ . Pro  $t < t_p$  voda zasakuje rychlostí rovnou intenzitě srážky. V čase  $t > t_p$  se vytvářejí kaluže na povrchu, dochází k výtopové infiltraci. Až při  $t > t_p$  může docházet k povrchvému odtoku.

2.  $v_r$  je konstantní,  $v_r < K_s$ . Vlhkost půdy na povrchu  $\theta_o$  vzrůstá strmě s časem. Pro  $t \rightarrow \infty$  se asymptoticky blíží  $\theta_\infty$ , což je hodnota  $\theta$ , kdy  $K(\theta_\infty) = v_r$ .  $t_p$  není nikdy dosaženo, nemůže docházet k přímému povrchovému odtoku. V praxi může dojít k povrchovému odtoku vlivem zvrstvení půdy.
3. Musí být určen  $t_p$  a pro posun křivky  $v_D(t)$ . V průsečíku posunuté křivky infiltrační rychlosti s klesající větví  $v_r(t)$  nastanou v půdním profilu podmínky, kdy  $v_r < v_{pot}$ , potenciální infiltrační rychlost. V profilu začne probíhat redistribuce.

Pro analytické řešení infiltrace s NOP existuje několik aproximativních postupů, obvykle s odhadem, který se iterací upřesňuje.

## 4 METODIKA

### 4.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

#### 4.1.1 Základní údaje o území

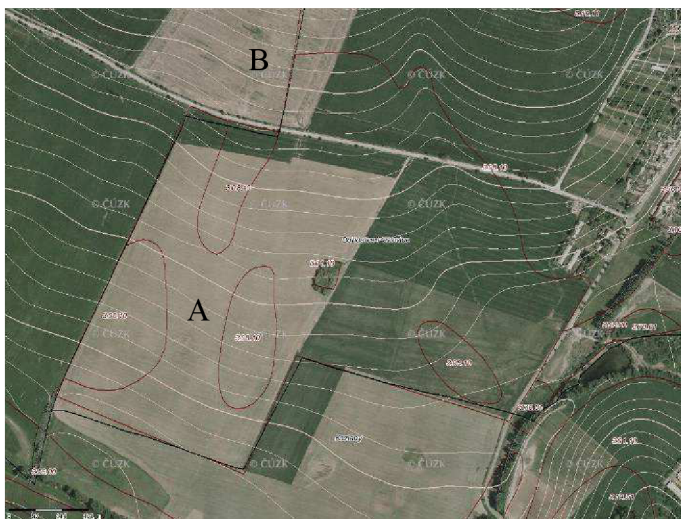
Experimentální plocha se nachází v katastrálním území obce Bohaté Málkovice. Obec Bohaté Málkovice leží v okrese Vyškov, kraji Jihomoravském. Obec leží v nadmořské výšce 279 m, 49°11'18" zeměpisné šířky, 17°0'30" zeměpisné délky.



*Obr. 4.1. Poloha obce Bohaté Málkovice (www.mapy.cz)*

Experimentální plocha se nachází v blízkosti silnice Bohdalice – Bohaté Málkovice. V severozápadní části území je nejvyšší bod terénu v nadmořské výšce 316 m a nejnižší bod v jižní části katastrální hranice a silnice směrem na Bučovice ve výšce 242 m n.m. Expozice je jihovýchodní, v mírném svahu.

Experimentální plocha byla rozdělena na dvě části, orniční vrstva na těchto plochách byla zpracována klasickou a minimalizační technologií. Plocha obdělávaná klasickou technologií je od plochy obdělávané minimalizační technologií vzdálena asi 300 m. Na *Obr. 4.2.* je písmenem A označena plocha obdělávaná minimalizační technologií a písmenem B plocha obdělávaná klasickou technologií.



Obr. 4.2. Experimentální plochy ([www.geoportal.cenia.cz](http://www.geoportal.cenia.cz))

#### 4.1.2 Klimatické podmínky

Hospodářský obvod leží v klimatické oblasti teplé, v klimatickém okrsku teplém, mírně suchém, s mírnou zimou. Oblast je ovlivněna oceánským a oceánsko – kontinentálním klimatem. Průběh atmosférických srážek a průměrných měsíčních teplot je uveden v *Tab. 4.1.* a *Tab. 4.2.* Hodnoty atmosférických srážek byly převzaty z vlastních měření družstva ZEMO, spol. s r.o., které je vlastníkem pozemku obdělávaného minimalizační technologií. Hodnoty průměrných měsíčních teplot byly převzaty z pozorování a měření meteorologické stanice Bučovice.

*Tab. 4.1. Průměrný měsíční úhrn srážek*

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Roční úhrn
mm	19	5	41	33	59	67	73	49,5	27	32	0	19	424,5

*Tab. 4.2. Průměrná měsíční teplota*

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	R. průměr
°C	-2,6	-1,0	3,6	8,6	13,9	16,7	18,6	17,8	14,2	8,7	3,3	-0,5	8,4

Maximum srážek je v měsíci červenci a minimum je v měsíci listopadu. Minimální denní teploty jsou v měsíci lednu, maximální teploty jsou v měsíci červnu. Mezi březnem a květnem je velký teplotní rozdíl, mezi zářím a listopadem rovněž. První mrazivý den se vyskytuje mezi 1. – 11. říjnem, na jaře se mrazíky projevují ještě v době mezi 1. – 11. květnem.



### 4.1.3 Reliéf terénu

Zájmové území Bohaté Málkovice leží v geomorfologické oblasti úvalu Vyškovského. Nejvyšší bod terénu – místní název Povětrník (316 m.n.m) – se nachází v severozápadní části území, nejnižší pak v jižní části území (242 m.n.m) poblíž katastrální hranice a silnice směrem Bučovice. V tomto převážně mírně svažitém území s převládající jižní expozicí se do určité míry uplatňuje plošná vodní eroze. Se svažitostí souvisí i možnost použití mechanizace. Převážná část území umožňuje plné využití těžké mechanizace, výjimku tvoří středně prudké a prudké svahy, které dovolují využití střední nebo potažní mechanizace.

### 4.1.4 Geologicko – litologické poměry

Zájmové území je tvořeno ve východní části sprašemi, na kterých se vytvořila černozemě. Spraše jsou větrem naváté hlíny, vyznačující se značným obsahem prachových částic (45 – 60 %). Na rozdíl od sprašových hlín obsahují uhličitán vápenatý. Spraše byly naváté ve starších čtvrtohorách (pleistocénu) v jednotlivých ledových obdobích. Dalším půdotvorným substrátem jsou zrnitostně těžké jílovité sedimenty mořského neogénu třetihorního stáří. Na tomto půdotvorném substrátu se vytvořily rendzimy a v menší míře černozemě.

Experimentální plocha se nacházela na černozemi na spraši (Haplic Chernozem/FAO), středně těžké hlinité půdě. Genetickým půdním představitelem je černozem, půdotvorným substrátem spraš. Jde o půdy velmi hluboké se slabě kyselou až alkalickou půdní reakcí. Struktura je jemně drobtová, obsah humusu 3,5%. Základním půdním druhem je středně těžká půda - hlinitá.

Uspořádání půdního profilu u experimentální plochy je uvedeno v *Tab. 4.3*.

*Tab. 4.3. Uspořádání půdního profilu*

Hloubka [cm]	Půdní horizont
0-50	Ac - černický horizont
50-70	Ac/CK - přechodný horizont
70 více	C/k - půdotvorný substrát

#### **4.1.5 Hydrologické poměry**

Zájmové území je součástí hlavního povodí Moravy a dílčího povodí Svratky. Hydrografická síť je tvořena několika menšími potoky místního významu, z nichž největší je Žlebový potok, jehož koryto je přirozené se zatravněnou příbřežní zónou, v intravilánu je koryto upravené. Žlebový potok je napájen soutoky ze dvou pramenů, ze severní části obce a ze západní strany obce (oblast Malý Povětrník). Odtok je zajištěn směrem na jih, do katastrálního území Kojatky.

Součástí zájmového území jsou dvě vodní plochy, umělá vodní nádrž (vybudovaná v roce 2006 – s názvem Bařisko) a přirozená nádrž nacházející se západním směrem od intravilánu obce.

Vlhkostní poměry jednotlivých půd jsou ovlivňovány hlavně konfigurací terénu, zrnitostním složením a vnitřní drenáží půd v závislosti na půdotvorných substrátech.

Černozemě vytvořené na spraších jsou dobře propustné pro vodu, s příznivým poměrem vzdušných a vodních pórů a s dobrou kapilární schopností. Černozemě vytvořené na převážně jílovitých sedimentech jsou méně vodopropustné, s velkou schopností kapilarity.

#### **4.1.6 Způsob obdělání půdy, osevní postup**

Orniční vrstva na experimentálních plochách byla zpracována klasickou a minimalizační technologií. Pozemky byly osety ječmenem jarním.

Klasický neboli orební způsob obdělávání půdy spočívá v přípravě půdy pro setí a sázení, zpracování půdy během vegetace a následná orba. Podstatou technologie je dobře a vhodně provedená orba půdy, při níž dochází k zásahu do půdního profilu v různých hloubkách podle druhu orby. Úprava povrchové vrstvy ornice je provedena smykováním, vláčením nebo válením s přihlédnutím k půdním podmínkám. Na experimentální ploše byl zaset ječmen jarní. Pod jařiny byla provedena podmítka s následnou orbou pluhem do hloubky maximálně 25 cm, po orbě následovalo 2x urovnání povrchu a na jaře byla zvolena předseťová příprava. Předseťová příprava je prováděna podle půdních podmínek (smykování, vláčení, hnojení průmyslovými hnojivy). Vlivem klasického způsobu obdělávání vznikají negativní dopady na půdu, neboť půda je stroji zhutněna, narušena. Dochází k úbytku půdního humusu, který je odnášen a devastován. Při tvorbě půdní hmoty nevznikají podmínky pro tvorbu

strukturních elementů, orbou a následnou přípravou půdy jsou ničeny, v ornici se často nachází porušená struktura a hrudkovitost. Dochází ke zvýšené erozní ohroženosti půdy.

Minimalizační způsob obdělávání půdy je považován za moderní způsob hospodaření na půdě. Jde o bezorebnou technologii, která se vyznačuje dvěma znaky, redukcí hloubky a intenzitou zpracování půdy a ponecháním rostlinných zbytků na povrchu nebo ve vrchní vrstvě půdy. Minimalizují se veškeré zásahy do půdy, na technologické stroje jsou kladeny vyšší požadavky, což vytváří ekonomickou zátěž. Více jak 30% povrchu půdy zůstává zakryto posklizňovými zbytky. Na experimentální ploše byl zaset ječmen jarní. Pod jařiny se provádí podmínka kompaktozem a podle půdních podmínek je možné na jaře zvolit opět úpravu půdy kompaktozem. Díky těmto zásahům dochází k pozitivnímu ovlivňování půdního profilu, ke zlepšení procesu probíhajících v půdě, tj. režim půdní vody a tepelný režim v půdě. Na experimentální ploše bylo na podzim provedeno hloubkové nakypření, následně byl 1x urovnán povrch a na jaře bylo provedeno setí.

Osevní postup experimentálních ploch v minulých letech je uveden v *Tab. 4.4*.

*Tab. 4.4. Osevní postup*

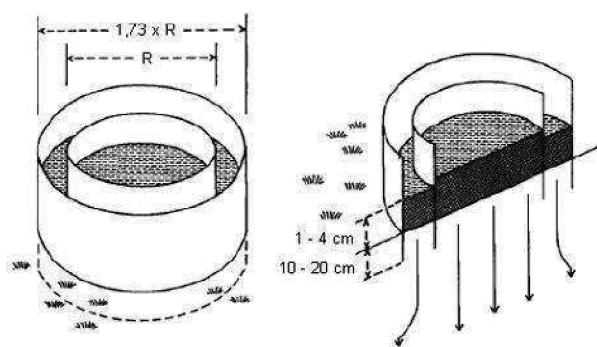
Rok	Klasický způsob	Minimalizační způsob
2008	Pšenice ozimá	Pšenice ozimá
2009	Ječmen jarní	Ječmen jarní
2010	Pšenice ozimá	Řepka olejka
2011	Ječmen jarní	Ječmen jarní

## 4.2 METODY MĚŘENÍ INFILTRACE

### 4.2.1 Měření infiltrace výtopou

Terénní infiltrační pokus výtopovou metodou spočívá v měření zasáklého množství mezi dvěma soustřednými válci.

Dva soustředné ocelové válce se zapustí na sledovaném místě do hloubky cca 10 cm. Měřit se může přímo na topografickém povrchu, nebo v různé hloubce po sejmutí nadložních vrstev. Vegetační povrch je doporučen sestříhat.



Obr. 4.3. Dvouválcová metoda

Na dně vnitřního infiltračního válce se osadí děrovaná kruhová deska, zabraňující rozplavení povrchu. Ve vnitřním válci se sleduje množství zasáklé vody  $I$  v závislosti na čase  $t$ . Vnější válec zabezpečuje vsak vody a svislost proudnic ve vnitřním válci. Tím je zajištěn jednorozměrný průběh v souladu s teoriemi infiltrace.

Je možno použít infiltrační válce různého průměru. S rostoucí propustností se zvyšuje význam vnějšího válce pro dodržení objektivních podmínek pokusu a je nutná větší infiltrační plocha vnitřního válce. U těžkých málo propustných půd lze při krátkodobějším měření omezit použití vnějšího válce. Při měření pod topografickým povrchem je možno též funkci vnějšího válce nahradit zaléváním prohlubně okolo vnitřního měrného válce.



*Obr. 4.4. Dvouválcová metoda (vlastní foto)*

Vlastní měření je možno realizovat dvěma způsoby. První způsob spočívá v tom, že nad zvolenou referenční úroveň, stabilizovanou měrným hrotem, se přilévá dávka známého objemu, zaznamenává se čas dolévání dávky vody. Takto je obdržen záznam  $I_1, t_1, I_2, t_2, \dots$ . Druhým způsobem je měření poklesu hladiny mikrometrem poté, co se do vnitřního válce nalije voda do určité výšky. Výhodou této metody je zvýšená přesnost a vyšší počet údajů v souboru určeném k vyrovnání. Nevýhodou je kolísání hladiny.

Před započítáním infiltrace se odeberou vzorky na stanovení momentální vlhkosti. Průběh infiltrace, hlavně v počáteční fázi, je funkcí momentální vlhkosti.



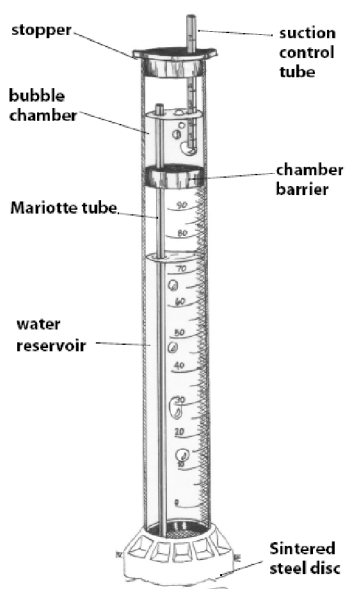
*Obr. 4.5. Detail hrotu (vlastní foto)*

Měření se provádí od zahájení infiltrace až do relativního ustálení intenzity vsaku. Žádná z infiltračních rovnic není jednoznačně vhodná pro extrapolaci experimentálních dat. Nehomogenita naměřených hodnot může být vedle subjektivních faktorů způsobena vzduchem uzavřeným v pórech (začátek pokusu), heterogenitou a preferenčními cestami půdního profilu, roztékáním infiltrující vody do stran nad méně propustnou vrstvou (konec pokusu). Všechny tyto výkyvy ztěžují následné vyhodnocení infiltračního měření a v případě krátké řady mají podstatný vliv na výsledky.

#### 4.2.2 Měření infiltrace pomocí minidiskového infiltrometru

Minidiskový infiltrometr je jednoduchý a malý přístroj. Výhodou tohoto přístroje je malá spotřeba vody a poměrně jednoduchá obsluha.

Infiltrometr se skládá ze dvou částí, ze dvou komor – horní a spodní. Obě komory infiltrometru jsou naplněny vodou. Horní (bublinová) komora kontroluje sání. Spodní komora je odměrný válec s objemem značeným v ml. Ve spodní komoře je obsažen určitý objem vody, který proniká do půdy v míře, jenž je určena sáním v bublinové komoře. Spodní část infiltrometru tvoří porézni spěkaný nerezový disk, který nedovoluje vodě prosakovat do prostoru. Malý průměr disku umožňuje nenarušená měření na relativně rovných půdních površích.



Obr. 4.6. minidiskový infiltrometr (Převzato z: [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

Celková délka minidiskového infiltrometru je 32,7cm. Průměr válce je 3,1cm. Spodní část infiltrometru tvoří porézní spěkaný nerezový disk o průměru 4,5cm a tloušťce 3mm. Délka sací regulační trubice je 10,2cm o rozsahu sání - 0,5 až - 6cm. Délka vodního zásobníku je 21,2cm, délka mariottovy trubice je 28cm. Objem vody potřebný pro práci je 135ml.



*Obr. 4.7. minidiskový infiltrometr (vlastní foto)*

Jakmile je infiltrometr umístěn na povrch půdy, začne voda vytékat ze spodní komory v míře, která je daná hydraulickými vlastnostmi půdy. Zaznamenává se pokleslý objem v daných časových intervalech.



*Obr. 4.8. Detail minidiskového infiltrometru (vlastní foto)*

Infiltrometr má nastavitelné sání (-0,5 až -6 cm), díky této vlastnosti je možno získat o půdě další informace. Nastavením hodnoty sání jsou eliminovány makropóry s menší hodnotou vstupu vzduchu než je sání infiltrometru. Toto je provedeno kontrolou pronikání pomocí malého negativního tlaku či sání. Pokud je voda pod tlakem či sáním, nebude pronikat do makropórů, jako jsou trhliny a chodbičky po živočiších, ale bude se pohybovat pouze do půdy a skrze ní, tak jak je určeno hydraulickými silami v půdě.

Saturovaná vodivost je získána tehdy, když jsou všechny póry naplněny vodou. Tok do makropórů je přesto velmi variabilní od místa k místu a je proto velmi obtížné ho určit. Pronikání vody pod tenzí zabraňuje vyplňování makropórů a ukazuje hydraulickou vodivost půdní matrice.



### 4.3 Vyhodnocení terénního měření pomocí

#### 4.3.1 Výtopová metoda

K vyhodnocení kumulativní infiltrace a infiltrační rychlosti byla použita tříparametrická rovnice Philipova typu, která vychází z rovnice ve formě nekonečné časové řady Philip, 1957. Toto řešení bylo zvoleno, protože poskytuje dobrý odhad nasycené hydraulické vodivosti.

*Tříparametrická rovnice* Philipova typu patří mezi aproximativní řešení infiltračních pokusů. Vychází ze semianalytického řešení vertikální infiltrace pertubační metodou ve formě nekonečné časové řady.

$$v(t) = \frac{1}{2}C_1t^{-1/2} + C_2 + \frac{3}{2}C_3t^{1/2}, \quad (4.1)$$

$$I(t) = C_1t^{1/2} + C_2t + C_3t^{3/2}. \quad (4.2)$$

Parametr  $C_1$  je obdobou parametru  $S$  (sorptivity). Pouze tomuto členu lze přisoudit fyzikální význam, ostatní členy jsou parametry vyrovnávacího procesu.

Rovnice se řeší jako lineární soustava tří rovnic o třech neznámých pomocí determinantů nebo Gaussovou eliminační metodou.

$$C_1 \sum_{j=1}^m t_j + C_2 \sum_{j=1}^m t_j^{3/2} + C_3 \sum_{j=1}^m t_j^2 = \sum_{j=1}^m I_j t_j^{1/2}, \quad (4.3)$$

$$C_1 \sum_{j=1}^m t_j^{3/2} + C_2 \sum_{j=1}^m t_j^2 + C_3 \sum_{j=1}^m t_j^{5/2} = \sum_{j=1}^m I_j t_j, \quad (4.4)$$

$$C_1 \sum_{j=1}^m t_j^2 + C_2 \sum_{j=1}^m t_j^{5/2} + C_3 \sum_{j=1}^m t_j^3 = \sum_{j=1}^m I_j t_j^{3/2}. \quad (4.5)$$

Z druhé derivace rovnice (4.2) se určí „limitní“ čas  $t_{lim}$  a rychlost infiltrace  $K$  v tomto čase, která představuje dobrý odhad nasycené hydraulické vodivosti

$$t_{lim} = \frac{C_1}{3C_3}, \quad (4.6)$$

$$K = (C_1 C_3)^{1/2} + C_2. \quad (4.7)$$

#### 4.3.2 Minidiskový infiltrometr

Minidiskové infiltrometry byly vyhodnoceny pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel, který je dodáván na CD-ROMu s přístrojem. Nenasycená hydraulická vodivost  $K(h)$  byla stanovena Zhangovou metodou.

Zhangova metoda vyžaduje měření kumulativní infiltrace  $I(t)$  ve vztahu k času  $t$ .

Zhang (1997) vycházel ze základní rovnice infiltrační křivky, která byla odvozena Philipem (1969). Parametry křivky jsou sorptivita půdy a druhá mocnina času infiltrace, která nezahrnuje účinky gravitace

$$I = S.t^{1/2}, \quad (4.8)$$

kde

I .....	kumulativní infiltrace vody na jednotku plochy [m <sup>2</sup> ],
S .....	sorptivita [m.s <sup>-1/2</sup> ].
t .....	čas [s].

V praxi je obtížné měřit kumulativní infiltraci  $I(t)$  u dostatečného počtu bodů během krátkého časového intervalu, pro které má vztah (4.8) platnost. Tento problém se je při polním měření zvětšuje, zejména pro získání věrohodných hodnot sorptivity půdy.

Proto Zhang (1997) použil dvoučlennou matematickou rovnici, která charakterizuje infiltrační proces pod kruhovým infiltrometrem.

$$I = C_1 t^{1/2} + C_2 t. \quad (4.9)$$

Kde  $C_1$  a  $C_2$  jsou parametry funkce. Tyto parametry se vztahují k sorptivitě půdy a hydraulické vodivosti.

$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}, \quad (4.10)$$

kde a  $A_2$  je bezrozměrný koeficient.

Koeficient  $A_2$  je proměnlivý s celkovou dobou infiltrace, avšak jeho proměnlivost se s narůstajícím časem měření infiltrace zmenšuje na hodnoty, které mohou být považovány za ustálené, je tedy považován za konstantu.

Pro koeficient  $A_2$  jako funkci parametrů retence půdy, infiltrace vody a počáteční vlhkosti půdy byly pevně stanoveny empirické vztahy. Zhang ve své studii popsal tři typy stanovení koeficientu  $A_2$  podle rozdílné retenční funkce půdy – Van Genuchtenův typ (VG – typ), Russeho typ (GR –typ), Zhang-Genuchtenův typ.

Výpočet koeficientu  $A_2$  byl v diplomové práci proveden podle VG – typu.

$$A_2 = \frac{11,65(n^{0,1} - 1) \exp[2,92(n - 1,9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad n \geq 19, \quad (4.11)$$

$$A_2 = \frac{11,65(n^{0,1} - 1) \exp[7,5(n - 1,9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad n < 19, \quad (4.12)$$

kde

n .....	retenční parametr [-]
$\alpha$ .....	retenční parametr [-]
$h_0$ .....	tlaková energie infiltrometru [m]
$r_0$ .....	poloměr kruhového infiltrometru [m]

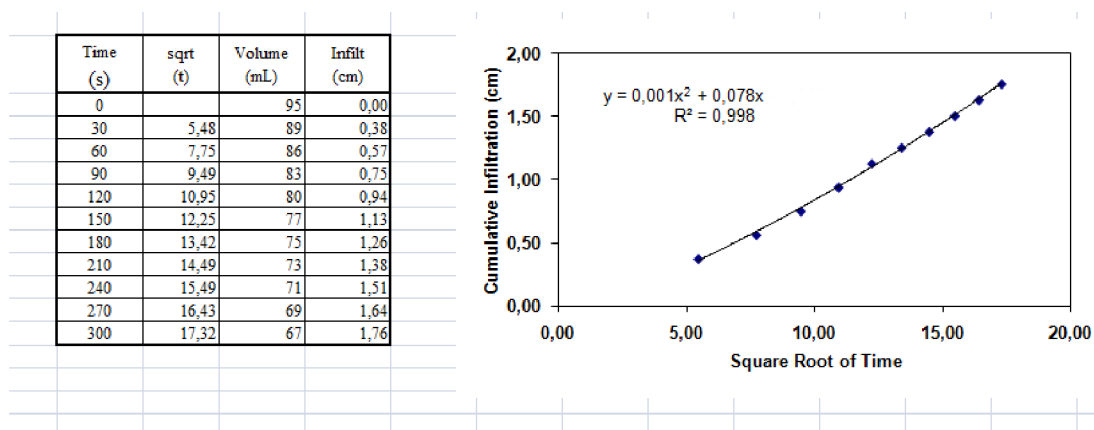
Podle Van Genuchtenových rovnic (4.11) a (4.12) byly pro kruhový minidiskový infiltrometr s poloměrem  $r_0 = 22$  mm stanoveny hodnoty parametru  $A_2$  pro 12 základních půdních druhů a pro rozdílnou nastavitelnou sací výšku infiltrometru  $h_0$ .

						$h_0$			
			-0.5	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0
Texture	$\square$	$n$				$A$			
sand	0.145	2.68	2.9	2.5	1.8	1.3	0.9	0.7	0.5
loamy sand	0.124	2.28	3.0	2.8	2.5	2.2	1.9	1.6	1.4
sandy loam	0.075	1.89	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1	4.1
loam	0.036	1.56	5.6	5.8	6.4	7.0	7.7	8.4	9.2
silt	0.016	1.37	8.1	8.3	8.9	9.5	10.1	10.8	11.5
silt loam	0.020	1.41	7.2	7.5	8.1	8.7	9.4	10.1	10.9
sandy clay loam	0.059	1.48	3.3	3.6	4.3	5.2	6.3	7.6	9.1
clay loam	0.019	1.31	6.0	6.2	6.8	7.4	8.0	8.7	9.5
silty clay loam	0.010	1.23	8.1	8.3	8.7	9.1	9.6	10.1	10.6
sandy clay	0.027	1.23	3.4	3.6	4.2	4.8	5.5	6.3	7.2
silty clay	0.005	1.09	6.2	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3
clay	0.008	1.09	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3

Obr. 4.9. Hodnoty parametru  $A_2$  pro rozdílnou výšku  $h_0$   
(Převzato z : [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

Tabulkový procesor Excel spočítá sklon křivky kumulativní infiltrace  $I(t)$  oproti druhé mocnině času podle dat získaných z měření. Křivka je odvozena z 2 a 4 sloupce tabulky. Kvadratická rovnice, jež je regresní rovnicí sklonu křivky kumulativní infiltrace, obsahuje parametr  $C_1$ . Hodnota parametru  $C_1$  je hodnotou ležící u  $x^2$  (v případě dle obrázku  $C_1 = 0,001$ ).  $R^2$  je součinitel spolehlivosti, ukazuje přesnost měření.

Dosažením do rovnice (4.10) získáme hodnotu nenasyčené hydraulické vodivosti.



Obr. 4.10. Ukázka tabulkového procesoru pro vyhodnocení minidiskových infiltrometrů

#### 4.4 Laboratorní stanovení $K_s$

V blízkosti infiltračních experimentů se odebíraly neporušené půdní vzorky z hloubky půdního profilu 10, 20 a 30 cm pro laboratorní stanovení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ . Neporušené půdní vzorky byly odebírány do Kopeckého válečku o objemu  $100 \text{ cm}^3$ .

V laboratoři byl neporušený půdní vzorek v Kopeckého válečku zvážen. Před vložením vzorků do permeamtru je třeba odebrané půdní vzorky nasytit tak, aby byly všechny póry nasyceny vodou. Strana Kopeckého válečku s břitem byla položena na 4 vrstvy filtračního papíru a nechala se nasytit se destilovanou vodou. Horní strana Kopeckého válečku byla zakryta víčkem, aby nedocházelo ke změně vlhkosti. Po dosažení maximální kapilární kapacity byly vzorky umístěny do permeamtru.

Permeametr s konstantním spádem je zařízení pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  (obr. 4.11). Jedná se o zařízení, které umožňuje měřit až deset vzorků současně s uzavřenou cirkulací vody. Rozdíl (spád) hladin je měřen pomocí mikrometru se světelnou signalizací dosažení úrovně hladiny.



Obr. 4.11 Permeametr s konstantním spádem

Vzorky se často nepodaří nasytit na vlhkost, která odpovídá úplné pórovitosti, ve vzorku zůstane uzavřen malý podíl vzduchu.



Obr. 4.12 Permeometr se vzorky (vlastní foto)

Hodnota koeficientu nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  se vypočítala z ustáleného průtoku  $q$  vzorkem za čas  $t$  dle vztahu

$$K_s = \left( \frac{q}{S} \right) \left( \frac{l}{H} \right), \quad (4.13)$$

kde

- $q$  ... ustálený průtok,  $q = V/t$ , kde  $V$  je objem vody proteklé za čas  $t$  [ $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $S$  ... plocha válečku [ $\text{cm}^2$ ],
- $l$  ... výška válečku [cm],
- $H$  ... konstantní rozdíl hladin před a za vzorkem [cm].

## 5 VÝSLEDKY

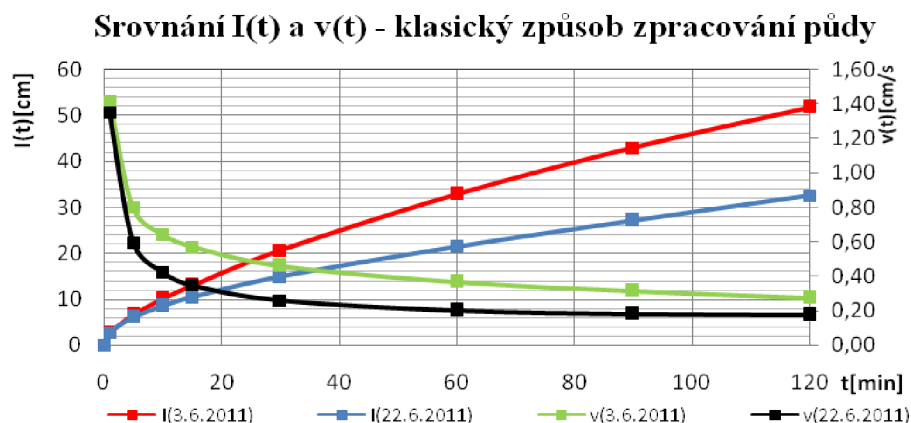
Na experimentálních plochách se opakovaně prováděly infiltrační měření pomocí dvouválcové metody a minidiskových infiltrometrů. Měření probíhala 3.6.2011, 22.6.2011 a 20.7.2011. Experimentální plochy jsou od sebe vzdáleny cca 300m, orniční vrstva byla zpracována klasickou a minimalizační technologií zpracování půdy. U minimalizační technologie se provádí při pěstování jařin na podzim vertikální prokypření do hloubky 20cm. Celkem bylo provedeno 8 infiltračních experimentů dvouválcovou metodou a 8 infiltračních experimentů minidiskovými infiltrometry. Na každé ploše současně probíhaly dva infiltrační experimenty. V blízkosti infiltračních experimentů se odebíraly neporušené půdní vzorky o objemu  $100 \text{ cm}^3$  z orničního horizontu (10, 20 a 30cm) k laboratornímu stanovení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  a momentální vlhkosti, která ovlivňuje průběh infiltrace. Z hlediska zásobování rostlin vodou, infiltrace vody do půdy a eroze půdy je rozhodující hloubka 10 cm.

Ke sledování infiltračních experimentů se použily infiltrační válce (čtyři soupravy s vnitřními průměry: 25,4; 26,29; 32cm) a 2 kusy minidiskových infiltrometrů, u kterých byl nastaven sací tlak -2 cm.

### 5.1 Výtopová metoda

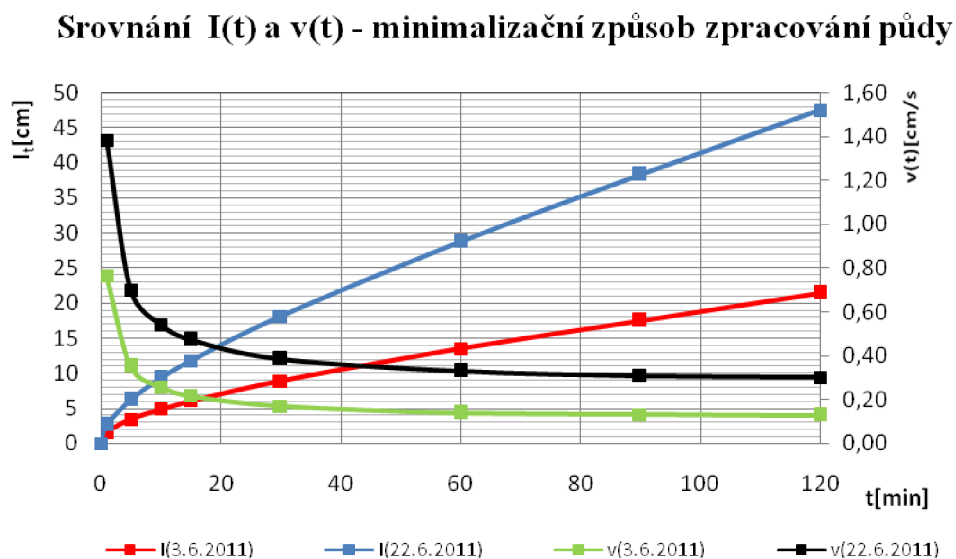
K vyhodnocení kumulativní infiltrace  $I(t)$  a infiltrační rychlosti  $v(t)$  byla použita tříparametrická rovnice Philipova typu (viz. kapitola 4.3.1). Výsledky infiltračních měření pomocí dvouválcové metody jsou shrnuty v grafu 5.1 až 5.3. Z naměřených dat byla vyhodnocena kumulativní infiltrace  $I(t)$  a infiltrační rychlost  $v(t)$  byla vypočítána pro každý experiment. Vyhodnocení jednotlivých měření je uvedeno v příloze A.

Graf 5.1 popisuje průběh kumulativní infiltrace  $I(t)$  a infiltrační rychlosti  $v(t)$  pro klasický způsob zpracování půdy, měřeno dne 3.6.2011 a 22.6.2011. Výsledky jsou prezentovány jako aritmetický průměr z jednotlivých měření.



*Graf 5.1 Srovnání kumulativních infiltrací  $I(t)$  a infiltračních rychlostí  $v(t)$  pro klasický způsob zpracování půdy*

Graf 5.2 popisuje průběh kumulativní infiltrace  $I(t)$  a infiltrační rychlosti  $v(t)$  pro minimalizační způsob zpracování půdy, měřeno dne 3.6.2011 a 22.6.2011. Výsledky jsou prezentovány jako aritmetický průměr z jednotlivých měření.

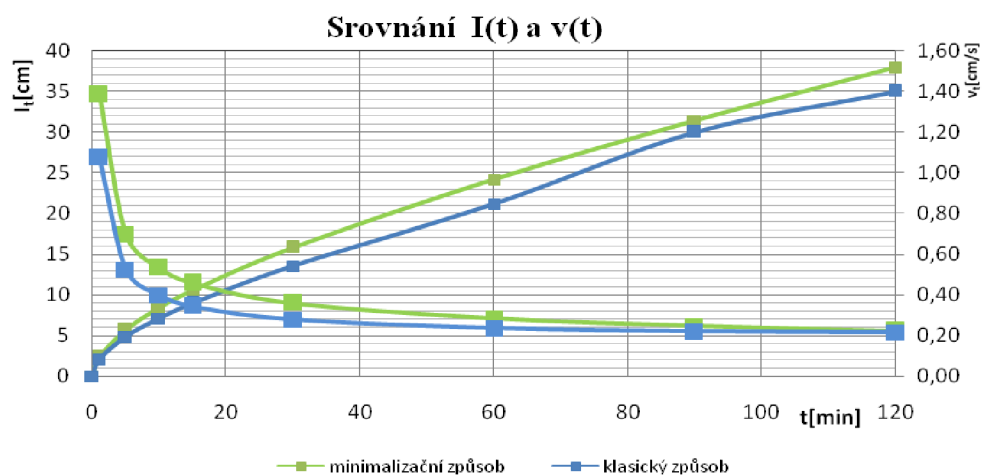


*Graf 5.2 Srovnání kumulativních infiltrací  $I(t)$  a infiltračních rychlostí  $v(t)$  pro klasický způsob zpracování půdy*

Z grafů 5.1 a 5.2 je patrné, že kumulativní infiltrace  $I(t)$  závisí na provlžení půdy a fyzikálních vlastnostech půdy.



Graf 5.3 srovnává průběh kumulativní infiltrace  $I(t)$  a infiltrační rychlosti  $v(t)$  v závislosti na technologii zpracování půdy. Výsledky jsou prezentovány jako aritmetický průměr pro experimentální plochy s klasickým a minimalizačním zpracováním v roce 2011. Při zpracování výsledků bylo vyloučeno jedno měření ze dne 3.6.2011 pro klasickou technologii zpracování půdy, které vykazovalo dvakrát vyšší kumulativní infiltrační rychlost oproti jiným měřením, což bylo způsobeno preferenčním prouděním nebo preferenčními cestami.



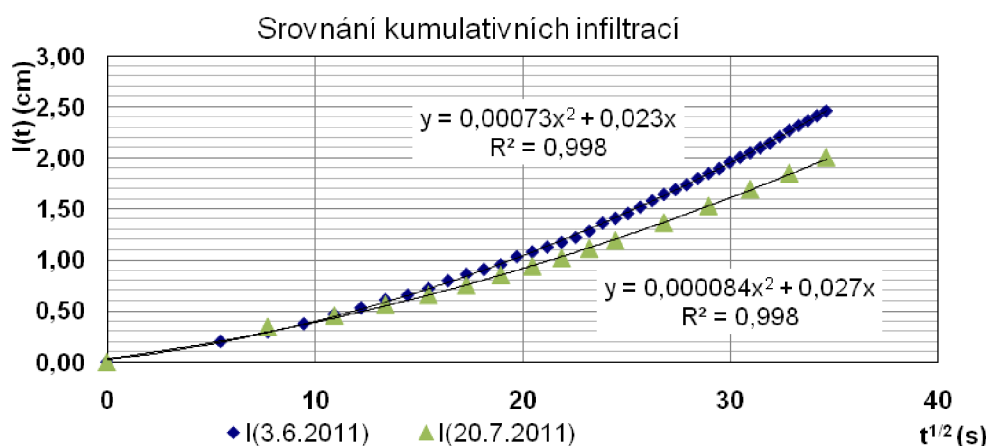
*Graf 5.3 Srovnání kumulativních infiltrací  $I(t)$  a infiltračních rychlostí  $v(t)$  v závislosti na technologii zpracování půdy*

Z dosažených výsledků vyplývá, že minimalizační technologie s úpravou půdního povrchu podrýváním je srovnatelná s klasickou technologií.

## 5.2 Minidiskový infiltrometr

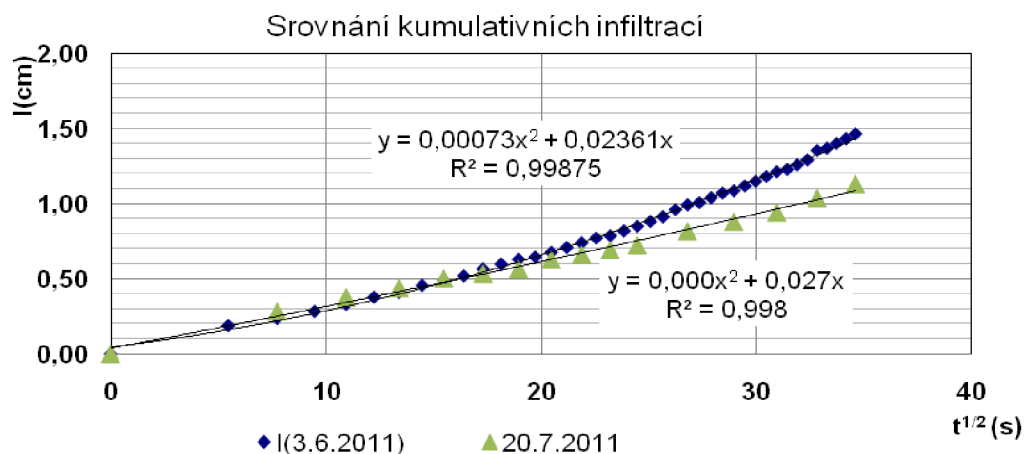
Hodnoty z měření metodou minidiskových infiltrometrů byly vyhodnoceny pomocí tabulkového procesoru Excel a nenasyčená hydraulická vodivost  $K(h)$  byla stanovena pomocí Zhangovy metody. Vypočtené hodnoty jsou součástí přílohy B.

Graf 5.4 popisuje průběh kumulativní infiltrace  $I(t)$  pro minimalizační způsob zpracování půdy, měřeno dne 3.6.2011 a 20.7.2011. Výsledky jsou prezentovány jako aritmetický průměr z jednotlivých měření.



*Graf 5.4 Srovnání kumulativních infiltrací  $I(t)$  v pro jednotlivá měření  
– minimalizační zpracování půdy*

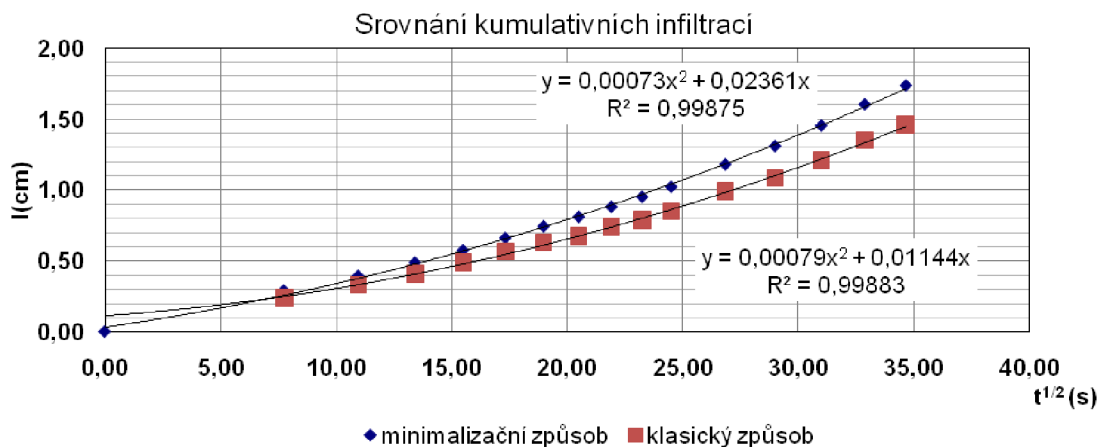
Graf 5.5 popisuje průběh kumulativní infiltrace  $I(t)$  pro klasický způsob zpracování půdy, měřeno dne 3.6.2011 a 20.7.2011. Výsledky jsou prezentovány jako aritmetický průměr z jednotlivých měření.



Graf 5.5 Srovnání kumulativních infiltrací  $I(t)$  v pro jednotlivá měření – klasické zpracování půdy

Z grafů 5.1 a 5.2 je patrné, že kumulativní infiltrace  $I(t)$  závisí na provlhčení půdy a fyzikálních vlastnostech půdy.

Graf 5.6 srovnává průběh kumulativní infiltrace  $I(t)$  v závislosti na druhé odmocnině času a technologii zpracování půdy. Výsledky jsou prezentovány jako aritmetický průměr pro experimentální plochy s klasickým a minimalizačním zpracováním v roce 2011.



Graf 5.6 Srovnání kumulativních infiltrací  $I(t)$  v závislosti na technologii zprac. půdy

V *Tab. 5.1* jsou uvedeny hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti  $K(h)$  vypočítané pomocí Zhangovy metody z jednotlivých měření minidiskových infiltrometrů.

*Tab. 5.1 Hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti  $K(h)$*

Datum	Způsob zpracování	K (-2cm) (cm.min <sup>-1</sup> )
3.6.2011	MT	$1,59 \cdot 10^{-2}$
3.6.2011	MT	$6,18 \cdot 10^{-3}$
3.6.2011	CT	$7,06 \cdot 10^{-3}$
3.6.2011	CT	$2,65 \cdot 10^{-3}$
20.7.2011	MT	$4,41 \cdot 10^{-3}$
20.7.2011	MT	$1,06 \cdot 10^{-2}$
20.7.2011	CT	$1,76 \cdot 10^{-4}$
20.7.2011	CT	$1,76 \cdot 10^{-4}$

Výsledné hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti  $K(h)$  pro jednotlivé technologie zpracování půdy byly stanoveny jako aritmetický průměr z hodnot  $K(h)$  z *Tab. 5.1* a jsou uvedeny v *Tab. 5.2*

*Tab. 5.2 Výsledné hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti  $K(h)$*

Způsob zpracování	K (-2cm) (cm.min <sup>-1</sup> )
CT	$2,52 \cdot 10^{-3}$
MT	$9,72 \cdot 10^{-3}$

Z výsledků je patrné, že hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti  $K(-2\text{cm})$  při klasickém zpracování jsou výrazně nižší, jejich pokles je přibližně 2/3.

### 5.3 Nasycená hydraulická vodivost

K vyhodnocení laboratorního měření nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  bylo použito 22 vzorků odebraných na experimentální ploše, která byla obdělána minimalizační technologií a 15 vzorků odebraných na ploše obdělanou klasickou technologií.

Výsledky laboratorních měření nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  jsou uvedeny v příloze C.

Vypočítané hodnoty nasycené hydraulické vodivosti z rovnice (4.7) a laboratorně stanovené hodnoty nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  jsou patrné z *Tab. 5.3*, kde  $K_{s-P}$  značí odhad  $K_s$  z tříparametrické rovnice Philipova typu a  $K_{s-L}$  značí hodnotu stanovenou z laboratorních měření.

*Tab. 5.3 Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$*

Způsob zpracování	$K_{s-P}$ (cm.min <sup>-1</sup> )	$K_{s-L}$ (cm.min <sup>-1</sup> )
CT	1,38.10 <sup>-1</sup>	1,38.10 <sup>-1</sup>
MT	2,03.10 <sup>-1</sup>	2,33.10 <sup>-1</sup>

## 6 ZÁVĚR

Diplomová práce se skládá ze dvou částí. V první části je literární rešerše zabývající se teoretickým popisem stacionárního a nestacionárního proudění a infiltrace.

V druhé části je uvedena metodika. Je zde popsána zájmová lokalita a experimentální plochy, popis a postup použitých metod měření, jejich vyhodnocení a na závěr jsou uvedeny výsledky jednotlivých metod měření.

Diplomová práce vznikla na základě specifického výzkumu FAST-S-11-53 „Stanovení hydraulických charakteristik půdy ve vybraném zájmovém území“.

Diplomová práce se zabývá teoretickým popisem infiltračního procesu a terénním měřením infiltrace v katastrálním území Bohaté Málkovice. Lokalita Bohaté Málkovice se nachází v řepařské výrobní oblasti. Půdním typem je černozem vzniklá na spraši, středně těžká hlinitá půda. Experimentální plocha byla rozdělena na dvě části, omiční vrstva těchto ploch byla zpracována klasickou a minimalizační technologií. Pozemky byly osety ječmenem jarním. Výzkumné práce probíhaly v roce 2011.

V rámci diplomové práce byla provedena analýza metod použitých k měření infiltrace, byly použity dvouválcové infiltrometry a minidiskové infiltrometry. V blízkosti infiltračních experimentů byly odebrány neporušené půdní vzorky z hloubky půdního horizontu 10, 20 a 30 cm pro laboratorní stanovení nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ . Bylo provedeno vyhodnocení  $K_s$  z terénních a laboratorních měření a její srovnání s ohledem na způsob zpracování půdy.

Měření infiltrace v terénu výtopou pomocí dvou soustředných válců zaražených do půdy zabírá větší měřený povrch. Jsou tedy zohledněny makropóry, trhliny a chodbičky od živočichů. Metoda se dá automatizovat pomocí čidel nebo Mariottovy láhve. Nevýhodou této metody je značná pracnost, časová náročnost, velká spotřeba vody a v počáteční fázi malý počet měření. Může dojít i ke zkreslení výsledků vlivem nehomogenity půdy vzniklé zatlučením válců do půdy. Vyhodnocení dvouválcové metody tříparametrickou rovnicí Philipova typu poskytuje dobrý odhad nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ .

Minidiskové infiltrometry jsou malé přístroje s jednoduchou obsluhou. Měření je jednoduché a časově nenáročné. Minidiskový infiltrometr zabírá menší měřenou plochu, má nízkou spotřebu vody a nedá se automatizovat. Má nastavitelné sání, čímž jsou eliminovány makropóry s menší hodnotou vstupu vzduchu než je sání infiltrometru.

Voda se pohybuje pouze do půdy a skrze ní tak, jak je určeno hydraulickými silami v půdě. Nevýhodou této metody je těžká interpolace. U málo propustných půd pomalu klesá objem vody vsáklé do půdy a velmi špatně se odečítá hodnota z odměrného válce infiltrometru, řešením je prodloužení časového intervalu měření z 30s na 60s a více. Minidiskové infiltrometry stanovují nenasycenou hydraulickou vodivost  $K(h)$ . V diplomové práci byly vyhodnoceny pomocí Zhangovy metody, která stanovuje hodnotu  $K(h)$ . Nenasycená hydraulická vodivosti  $K(h)$  závisí na propustnosti půdního prostředí a na objemové vlhkosti půdy. Výsledné hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti  $K(-2\text{cm})$ , stanovené z měření, jsou výrazně nižší při klasickém zpracování, jejich pokles je přibližně 2/3.

Nasycená hydraulická vodivost  $K_s$  byla stanovena z terénních a laboratorních měření a výsledné hodnoty byly porovnány. Pro měření v terénu se využila dvouválcová metoda, která byla vyhodnocena pomocí tříparametrické rovnice Philipova typu. Tato rovnice poskytuje dobrý odhad nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ . K laboratornímu stanovení  $K_s$  byly použity neporušené půdní vzorky odebírané v blízkosti infiltračních experimentů. Vzorky byly měřeny v permeamtru s konstantním spádem, který je vhodný pro stanovení  $K_s$  pro polopropustnější půdy.

Z dosažených výsledků je patrná vysoká variabilita hydraulických charakteristik půdy, která souvisí heterogenitou půdního prostředí. Vyšší hodnoty odhadu nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  byly dosaženy při minimalizačním zpracování, při klasickém zpracování dosahují přibližně  $\frac{3}{4}$  hodnot. Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  získané laboratorně jsou srovnatelné s odhadnutými hodnotami nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ , vykazují větší rozptyl naměřených hodnot. Výsledky laboratorních měření jsou zatíženy řadou chyb. Vzorek bývá narušen, zvláště u svrchních horizontů půdy. Výskyt i ojedinělých zrn skeletu a kořínků ve válečku neporušeného vzorku způsobuje podstatnou změnu hodnoty hydraulické vodivosti při laboratorním stanovení. Výsledné hodnoty dvou paralelně odebíraných vzorků ze stejné půdy a horizontu se často liší.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Kutílek, M.: Vodohospodářská pedologie. STNL Praha – ALFA Bratislava 1978,

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Kutílek, M.: *Vodohospodářská pedologie*. STNL Praha – ALFA Bratislava 1978, 295 p.
- [2] Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M.: *Hydropedologie 10*. Skriptum. ČVUT PRAHA 1993, 176 p.
- [3] Kutílek M., Nielsen D.R., 1994. *Soil Hydrology*. Catena: GeoEcology Publications, 1994, 364 p.
- [4] Kameníčková, I.: *Vodní hospodářství krajiny I*. Skriptum. BRNO 2005, 138 p.
- [5] Leij, F.: *Modelling the dynamic of the soil pore size distribution*. SOIL & TILLAGE RESEARCH 2002
- [6] Zhang R.: *Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer*. Soil Sci. Soc. Am. Journal, 1997, no.61, 1024-1030.
- [7] <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz>
- [8] <http://www.ekotechnika.cz>



## 8 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

$K_s$	nasyčená hydraulická vodivost
$K(h)$	nenasyčená hydraulická vodivost
$v$	rychlost
$V$	objem
$A$	plocha
$t$	čas
$\Delta h$	rozdíl hladin
$L$	délka
$I_h$	hydraulický sklon
$H_{1,2}$	potenciální výška (celkový potenciál na jednotku tíhy)
$S$	plocha
$\Delta H$	rozdíl hladin
$h_0$	úroveň hladin v čase $t_0$
$h_1$	úroveň hladin v čase $t$
$S_1$	plocha trubice s klesající horní hladinou
$S_2$	plocha válečku s půdním vzorkem
$I(t)$	kumulativní infiltrace
$v(t)$	rychlost infiltrace
$v_i$	počáteční rychlost
$v_c$	ustálená rychlost
$v_r$	rychlost kontinuálního toku
$z$	z-ová souřadnice
$h$	výška
$\theta$	vlhkost
$t_p$	čas výtopy
$I$	množství zasáklé vody
$C_1$	parametr vyrovnávacího procesu
$C_2$	parametr vyrovnávacího procesu
$S$	sorptivita
$t_{lim}$	limitní čas
$A_2$	bezrozměrný koeficient

n	retenční parametr
$\alpha$	retenční parametr
$h_0$	tlaková energie kruhového infiltrometru
$r_0$	poloměr kruhového infiltrometru
q	ustálený průtok
l	výška válečku
$K_{s-P}$	odhad nasycené hydraulické vodivosti z tříparamterické rovnice
$K_{s-L}$	nasycená hydraulická vodivost stanovená v laboratoři
CT	klasická technologie zpracování půdy
MT	minimalizační technologie zpracování půdy

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### SEZNMA OBRÁZKŮ :

Obr. 3.1a. Stacionární nasycené proudění sloupcem půdy o průřezové ploše kolmé na směr proudění	14
Obr. 3.1b. Tlakové poměry při proudění vody sloupcem homogenní půdy	14
Obr. 3.2. Schéma permeamtru s konstantním spádem	18
Obr. 3.3. Schéma permeamtru s proměnným spádem	19
Obr. 3.4. Schéma jednosondové metody	20
Obr. 3.5. Schéma Guephského parametru	21
Obr. 3.6. Tlakový infiltrometr Matula a Kozáková	22
Obr. 3.7. Schéma pokusu nenasyceným prouděním vody v půdě	23
Obr. 3.8. Závislost nenasycené vodivosti $K(h)$ na záporné tlakové výšce $h$ a na vlhkosti $\theta$	25
Obr. 4.1. Poloha obce Bohaté Málkovice	31
Obr. 4.2. Experimentální plochy	32
Obr. 4.3. Dvouválcová metoda	36
Obr. 4.4. Dvouválcová metoda	37
Obr. 4.5. Detail hrotu	37
Obr. 4.6. Minidiskový infiltrometr	38
Obr. 4.7. Minidiskový infiltrometr	39
Obr. 4.8. Detail minidiskového infiltrometru	40
Obr. 4.9. Hodnoty parametru $A_2$ pro rozdílnou výšku $h_0$	44
Obr. 4.10. Ukázka tabulkového procesoru pro vyhodnocení minidiskových infiltrometrů	44
Obr. 4.11 Permeametr s konstantním spádem	45
Obr. 4.12 Permeametr se vzorky	46

## SEZNAM TABULEK :

Tab. 4.1. Průměrný měsíční úhrn srážek	32
Tab. 4.2. Průměrná měsíční teplota	32
Tab. 4.3. Uspořádání půdního profilu	33
Tab. 4.4 Osevní postup	35
Tab. 5.1 Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti $K(h)$	52
Tab. 5.2 Výsledné hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti $K(h)$	52
Tab. 5.3 Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti $K_s$	53

## SEZNAM GRAFŮ :

Graf 5.1 Srovnání kumulativních infiltrací $I(t)$ a infiltračních rychlostí $v(t)$ pro klasický způsob zpracování půdy	48
Graf 5.2 Srovnání kumulativních infiltrací $I(t)$ a infiltračních rychlostí $v(t)$ pro minimalizační způsob zpracování půdy	48
Graf 5.3 Srovnání kumulativních infiltrací $I(t)$ a infiltračních rychlostí $v(t)$ v závislosti na technologii zpracování půdy	49
Graf 5.4 Srovnání kumulativních infiltrací $I(t)$ v pro jednotlivá měření – minimalizační zpracování půdy	50
Graf 5.5 Srovnání kumulativních infiltrací $I(t)$ v pro jednotlivá měření – klasické zpracování půdy	51
Graf 5.6 Srovnání kumulativních infiltrací $I(t)$ v závislosti na technologii zprac. půdy	51

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

- A VYHODNOCENÍ KUMULATIVNÍ INFILTRACE  $I(t)$  A INFILTRAČNÍ RYCHLOSTI  $v(t)$  DVOUVÁLCOVOU METODOU
- B VYHODNOCENÍ KUMULATIVNÍ INFILTRACE  $I(t)$  A NENASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI  $K(h)$  POMOCÍ INFILTRAČNÍCH MINIDISKŮ
- C LABORATORNÍ STANOVENÍ NASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI  $K_s$

# PŘÍLOHA A

## RYCHLOSTI $v(t)$ DVOUVÁLCOVOU METODOU

$$v(t) = \frac{1}{2} C_1 t^{-1/2} + C_2 + \frac{3}{2} C_3 t^{1/2}$$

$$I(t) = C_1 t^{1/2} + C_2 t + C_3 t^{3/2}$$

Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d=	26,29 cm				
Datum:	3.6.2011	plochar: P=	542,46 cm <sup>2</sup>				
Technologie zpracování	klasický způsob	Výška hrotu nad povrchem: h=	1,00 cm				
		Obj. válce pro úroveň h=	1,00 l				
č. válce	4, VUT	Vnější válec: průměr: d=	35,70 cm				
<i>změřeno</i>		<i>vypočteno</i>			<i>3P - RCE</i>		
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>I<sub>x</sub></i>	<i>v<sub>x</sub></i>	<i>I<sub>x</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:00:21	0,35	1,00	0,46	0,35	0,85	<b>1,84</b>	<b>1,21</b>
00:01:45	1,75	1,00	1,46	1,40	2,69	<b>0,95</b>	<b>2,93</b>
00:04:04	4,07	1,00	2,46	2,32	4,53	<b>0,69</b>	<b>4,77</b>
00:06:51	6,85	1,00	3,46	2,78	6,38	<b>0,58</b>	<b>6,52</b>
00:10:07	10,12	1,00	4,46	3,27	8,22	<b>0,51</b>	<b>8,30</b>
00:13:46	13,76	1,00	5,46	3,64	10,07	<b>0,47</b>	<b>10,07</b>
00:17:56	17,93	1,00	6,46	4,17	11,91	<b>0,43</b>	<b>11,94</b>
00:22:03	22,05	1,00	7,46	4,12	13,75	<b>0,41</b>	<b>13,67</b>
00:26:21	26,35	1,00	8,46	4,30	15,60	<b>0,39</b>	<b>15,37</b>
00:30:27	30,45	1,00	9,46	4,10	17,44	<b>0,37</b>	<b>16,93</b>
00:35:56	35,93	1,00	10,46	5,48	19,28	<b>0,36</b>	<b>18,92</b>
00:41:46	41,77	1,00	11,46	5,84	21,13	<b>0,34</b>	<b>20,95</b>
00:47:56	47,93	1,00	12,46	6,16	22,97	<b>0,33</b>	<b>23,00</b>
00:54:00	54,00	1,00	13,46	6,07	24,81	<b>0,32</b>	<b>24,96</b>
01:00:23	60,38	1,00	14,46	6,38	26,66	<b>0,31</b>	<b>26,96</b>
01:06:30	66,50	1,00	15,46	6,12	28,50	<b>0,30</b>	<b>28,82</b>
01:12:18	72,3	1,00	16,46	5,80	30,34	<b>0,29</b>	<b>30,54</b>
01:18:34	78,57	1,00	17,46	6,27	32,19	<b>0,29</b>	<b>32,35</b>
01:24:57	84,95	1,00	18,46	6,38	34,03	<b>0,28</b>	<b>34,16</b>
01:30:41	90,68	1,00	19,46	5,73	35,87	<b>0,27</b>	<b>35,75</b>
01:37:12	97,2	1,00	20,46	6,52	37,72	<b>0,27</b>	<b>37,52</b>
01:45:17	105,28	1,00	21,46	8,08	39,56	<b>0,26</b>	<b>39,67</b>
01:51:53	111,85	0,00	22,46	6,57	41,40	<b>0,26</b>	<b>41,39</b>
01:54:57	114,9	0,00	23,00	3,05	42,40	<b>0,26</b>	<b>42,17</b>

Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d= 25,4 cm					
Datum:	3.6.2011	plochar: P= 506,45 cm <sup>2</sup>					
Technologie zpracování	minimal. způsob	Výška hrotu nad povrchem: h= 1,00 cm					
		Obj. válce pro úroveň h= 1,00 l					
č. válce	3, VUT	Vnější válec: průměr: d= 35,20 cm					
<i>změřeno</i>		<i>vypočteno</i>			<i>3P - RCE</i>		
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>l<sub>x</sub></i>	<i>v<sub>x</sub></i>	<i>I<sub>x</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:06:22	6,37	1,00	1,49	6,37	2,94	<b>0,29</b>	<b>2,89</b>
00:14:13	14,27	1,00	2,49	7,90	4,92	<b>0,24</b>	<b>4,97</b>
00:22:55	22,92	1,00	3,49	8,65	6,89	<b>0,22</b>	<b>6,95</b>
00:31:45	31,75	1,00	4,49	8,83	8,87	<b>0,21</b>	<b>8,82</b>
00:41:25	41,42	1,00	5,49	9,67	10,84	<b>0,20</b>	<b>10,77</b>
00:52:12	52,2	1,00	6,49	10,78	12,81	<b>0,19</b>	<b>12,87</b>
01:02:05	62,08	1,00	7,49	9,88	14,79	<b>0,19</b>	<b>14,73</b>
01:14:16	74,27	0,00	8,49	12,19	16,76	<b>0,18</b>	<b>16,98</b>
01:17:39	77,65	0,00	9,00	3,38	17,77	<b>0,18</b>	<b>17,60</b>

Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d= 32,0 cm					
Datum:	3.6.2011	plochar: P= 806,45 cm <sup>2</sup>					
Technologie zpracování	minimal. způsob	Výška hrotu nad povrchem: h= 1,00 cm					
		Obj. válce pro úroveň h= 1,00 l					
č. válce	Nový, VUT	Vnější válec: průměr: d=					
<i>změřeno</i>		<i>vypočteno</i>			<i>3P - RCE</i>		
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>l<sub>x</sub></i>	<i>v<sub>x</sub></i>	<i>I<sub>x</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:00:40	0,67	1,00	1,19	0,67	1,48	<b>1,23</b>	<b>1,73</b>
00:01:49	1,82	1,00	2,19	1,15	2,72	<b>0,71</b>	<b>2,77</b>
00:03:41	3,68	1,00	3,19	1,86	3,96	<b>0,47</b>	<b>3,82</b>
00:07:08	7,68	1,00	4,19	4,00	5,20	<b>0,30</b>	<b>5,29</b>
00:12:06	12,10	1,00	5,19	4,42	6,44	<b>0,22</b>	<b>6,43</b>
00:18:08	18,13	1,00	6,19	6,03	7,68	<b>0,17</b>	<b>7,62</b>
00:25:39	25,65	1,00	7,19	7,52	8,92	<b>0,14</b>	<b>8,79</b>
00:35:40	35,67	1,00	8,19	10,02	10,16	<b>0,12</b>	<b>10,08</b>
00:49:14	49,14	1,00	9,19	13,47	11,40	<b>0,10</b>	<b>11,53</b>
01:01:00	61,00	1,00	10,19	11,86	12,64	<b>0,09</b>	<b>12,68</b>
01:17:00	77,00	0,00	11,19	16,00	13,88	<b>0,09</b>	<b>14,11</b>
01:23:00	83,00	0,00	12,00	6,00	14,88	<b>0,09</b>	<b>14,63</b>

Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d=		26,29 cm			
Datum:	22.6.2001	plochar: P=		542,46 cm <sup>2</sup>			
Technologie zpracování	klasický způsob	Výška hrotu nad povrchem: h=		1,50 cm			
		Obj. válce pro úroveň h=		0,81 l			
č. válce	Malý, VUT	Vnější válec: průměr: d=		35,70 cm			
<i>změřeno</i>			<i>vypočteno</i>			<b>3P - RCE</b>	
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>i<sub>T</sub></i>	<i>v<sub>T</sub></i>	<i>I<sub>T</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:00:32	0,53	1,00	1,19	0,53	2,19	<b>1,98</b>	<b>2,24</b>
00:01:50	1,83	1,00	2,19	1,30	4,04	<b>0,96</b>	<b>3,94</b>
00:03:57	3,95	1,00	3,19	2,12	5,88	<b>0,58</b>	<b>5,50</b>
00:08:34	8,57	1,00	4,19	4,62	7,72	<b>0,34</b>	<b>7,52</b>
00:17:47	17,78	1,00	5,19	9,21	9,57	<b>0,20</b>	<b>9,88</b>
00:28:29	28,78	1,00	6,19	11,00	11,41	<b>0,14</b>	<b>11,73</b>
00:41:52	41,87	1,00	7,19	13,09	13,25	<b>0,12</b>	<b>13,42</b>
00:56:26	56,43	1,00	8,19	14,56	15,10	<b>0,11</b>	<b>15,04</b>
01:11:46	71,77	1,00	9,19	15,34	16,94	<b>0,10</b>	<b>16,65</b>
01:28:40	88,77	0,00	10,19	17,00	18,78	<b>0,11</b>	<b>18,44</b>
01:48:30	108,5	0,00	11	19,73	20,28	<b>0,11</b>	<b>20,62</b>



Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d= 25,4 cm					
Datum:	22.6.2001	plochar: P= 506,45 cm <sup>2</sup>					
Technologie zpracování	klasický způsob	Výška hrotu nad povrchem: h= 2 cm					
		Obj. válce pro úroveň h= 1,01 l					
č. válce	starý, VUT 2	Vnější válec: průměr: d= 35,70 cm					
<i>změřeno</i>		<i>vypočteno</i>			<b>3P - RCE</b>		
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>i<sub>T</sub></i>	<i>v<sub>T</sub></i>	<i>I<sub>T</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:00:27	0,45	1,00	0,49	0,45	0,97	<b>1,88</b>	<b>1,61</b>
00:01:50	1,83	1,00	1,49	1,38	2,94	<b>1,03</b>	<b>3,42</b>
00:03:47	3,78	1,00	2,49	1,95	4,92	<b>0,77</b>	<b>5,14</b>
00:06:06	6,01	1,00	3,49	2,23	6,89	<b>0,65</b>	<b>6,71</b>
00:09:11	9,18	1,00	4,49	3,17	8,87	<b>0,56</b>	<b>8,60</b>
00:12:56	12,93	1,00	5,49	3,75	10,84	<b>0,49</b>	<b>10,56</b>
00:17:12	17,2	1,00	6,49	4,27	12,81	<b>0,45</b>	<b>12,57</b>
00:21:57	21,95	1,00	7,49	4,75	14,79	<b>0,41</b>	<b>14,61</b>
00:27:12	27,2	1,00	8,49	5,25	16,76	<b>0,38</b>	<b>16,69</b>
00:33:30	33,5	1,00	9,49	6,30	18,74	<b>0,36</b>	<b>19,03</b>
00:38:52	38,87	1,00	10,49	5,37	20,71	<b>0,34</b>	<b>20,91</b>
00:44:37	44,62	1,00	11,49	5,75	22,69	<b>0,33</b>	<b>22,82</b>
00:50:37	50,62	1,00	12,49	6,00	24,66	<b>0,31</b>	<b>24,74</b>
00:57:10	57,17	1,00	13,49	6,55	26,64	<b>0,30</b>	<b>26,74</b>
01:03:15	63,25	1,00	14,49	6,08	28,61	<b>0,29</b>	<b>28,53</b>
01:10:00	70	1,00	15,49	6,75	30,59	<b>0,28</b>	<b>30,44</b>
01:18:05	78,08	1,00	16,49	8,08	32,56	<b>0,27</b>	<b>32,65</b>
01:26:07	86,12	0,00	17,69	8,04	34,93	<b>0,26</b>	<b>34,77</b>
01:33:14	93,23	0,00	18,5	7,11	36,53	<b>0,25</b>	<b>36,58</b>

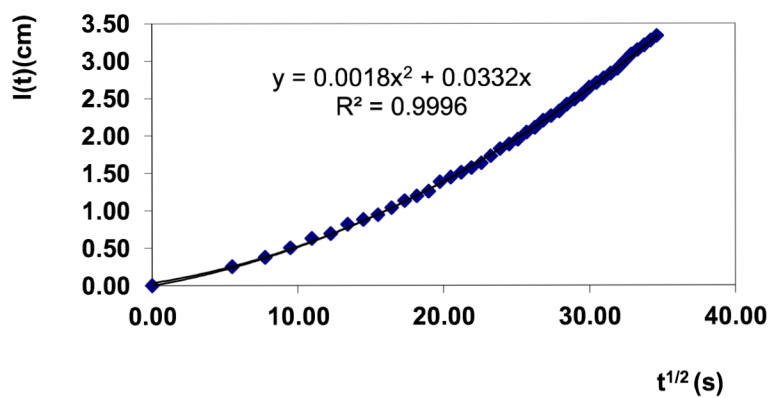
Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d=		25,4 cm			
Datum:	22.6.2001	plochar: P=		506,45 cm <sup>2</sup>			
Technologie zpracování	minimal. Způsob	Výška hrotu nad povrchem: h=		1,50 cm			
		Obj. válce pro úroveň h=		0,76 l			
č. válce	starý, VUT 2	Vnější válec: průměr: d=		35,70 cm			
<i>změřeno</i>			<i>vypočteno</i>		<b>3P - RCE</b>		
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>i<sub>T</sub></i>	<i>v<sub>T</sub></i>	<i>I<sub>T</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:02:25	2,42	1,00	1,19	2,42	2,35	<b>0,64</b>	<b>2,26</b>
00:06:10	6,17	1,00	2,19	3,75	4,32	<b>0,51</b>	<b>4,37</b>
00:10:18	10,30	1,00	3,19	4,13	6,30	<b>0,46</b>	<b>6,38</b>
00:14:41	14,68	1,00	4,19	4,38	8,27	<b>0,43</b>	<b>8,33</b>
00:19:15	19,25	1,00	5,19	4,57	10,25	<b>0,41</b>	<b>10,25</b>
00:24:17	24,28	1,00	6,19	5,03	12,22	<b>0,39</b>	<b>12,27</b>
00:28:57	28,95	1,00	7,19	4,67	14,20	<b>0,38</b>	<b>14,06</b>
00:34:31	34,52	1,00	8,19	5,57	16,17	<b>0,36</b>	<b>16,13</b>
00:39:50	39,83	1,00	9,19	5,32	18,15	<b>0,35</b>	<b>18,04</b>
00:45:43	45,72	1,00	10,19	5,88	20,12	<b>0,34</b>	<b>20,09</b>
00:51:46	51,77	1,00	11,19	6,05	22,09	<b>0,33</b>	<b>22,13</b>
00:57:48	57,8	1,00	12,19	6,03	24,07	<b>0,32</b>	<b>24,12</b>
01:03:51	63,85	1,00	13,19	6,05	26,04	<b>0,32</b>	<b>26,06</b>
01:10:30	70,50	1,00	14,19	6,65	28,02	<b>0,31</b>	<b>28,14</b>
01:16:43	76,72	1,00	15,19	6,22	29,99	<b>0,30</b>	<b>30,03</b>
01:23:04	83,07	1,00	16,19	6,35	31,97	<b>0,30</b>	<b>31,93</b>
01:30:01	90,02	0,00	17,19	6,95	33,94	<b>0,29</b>	<b>33,96</b>
01:35:19	95,32	0,00	18,00	5,30	35,54	<b>0,28</b>	<b>35,47</b>

Lokalita:	Bohaté Málkovice	Vnitřní válec: průměr d= 26,29 cm					
Datum:	22.6.2001	plochar: P= 542,46 cm <sup>2</sup>					
Technologie zpracování	minimal. Způsob	Výška hrotu nad povrchem: h= 2,00 cm					
		Obj. válce pro úroveň h= 1,88 l					
č. válce	starý, VUT 1	Vnější válec: průměr: d= 35,70 cm					
<i>změřeno</i>		<i>vypočteno</i>			<b>3P - RCE</b>		
<i>čas</i>		<i>dodáno</i>	<i>vsáklo</i>	<i>interval</i>	<i>kumul. infiltrace</i>	<i>rychlost infiltrace</i>	<i>kumul. infiltrace</i>
<i>h m s</i>	<i>min</i>	<i>l</i>	<i>V</i>	<i>t</i>	<i>i<sub>T</sub></i>	<i>v<sub>T</sub></i>	<i>I<sub>T</sub></i>
			<i>l</i>	<i>min</i>	<i>cm</i>	<i>cm.min<sup>-1</sup></i>	<i>cm</i>
00:00:00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
00:00:26	0,43	1,00	2,00	0,43	1,69	<b>3,02</b>	<b>2,64</b>
00:00:55	0,92	1,00	3,00	0,49	3,53	<b>2,05</b>	<b>3,83</b>
00:01:38	1,63	1,00	4,00	0,71	5,37	<b>1,53</b>	<b>5,08</b>
00:03:07	3,12	1,00	5,00	1,49	7,22	<b>1,09</b>	<b>6,97</b>
00:05:15	5,25	1,00	6,00	2,13	9,06	<b>0,84</b>	<b>9,00</b>
00:07:44	7,73	1,00	7,00	2,48	10,90	<b>0,70</b>	<b>10,89</b>
00:10:26	10,43	1,00	8,00	2,70	12,75	<b>0,60</b>	<b>12,63</b>
00:13:53	13,88	1,00	9,00	3,45	14,59	<b>0,53</b>	<b>14,59</b>
00:17:29	17,47	1,00	10,00	3,59	16,43	<b>0,48</b>	<b>16,40</b>
00:21:40	21,67	1,00	11,00	4,20	18,28	<b>0,44</b>	<b>18,34</b>
00:25:39	25,65	1,00	12,00	3,98	20,12	<b>0,42</b>	<b>20,05</b>
00:30:00	30,00	1,00	13,00	4,35	21,96	<b>0,40</b>	<b>21,82</b>
00:35:22	35,37	1,00	14,00	5,37	23,81	<b>0,38</b>	<b>23,90</b>
00:40:26	40,43	1,00	15,00	5,06	25,65	<b>0,37</b>	<b>25,78</b>
00:45:18	45,30	1,00	16,00	4,87	27,50	<b>0,36</b>	<b>27,54</b>
00:50:29	50,48	1,00	17,00	5,18	29,34	<b>0,35</b>	<b>29,37</b>
00:56:00	56,00	1,00	18,00	5,52	31,18	<b>0,34</b>	<b>31,28</b>
01:01:29	61,47	1,00	19,00	5,47	33,03	<b>0,34</b>	<b>33,15</b>
01:06:21	66,35	1,00	20,00	4,88	34,87	<b>0,34</b>	<b>34,80</b>
01:11:56	71,93	1,00	21,00	5,58	36,71	<b>0,33</b>	<b>36,67</b>
01:16:58	76,97	1,00	22,00	5,04	38,56	<b>0,33</b>	<b>38,35</b>
01:22:45	82,75	0,00	23,00	5,78	40,40	<b>0,33</b>	<b>40,27</b>
01:29:44	89,73	0,00	23	6,98	42,40	<b>0,33</b>	<b>42,59</b>

**PŘÍLOHA B.**  
**VYHODNOCENÍ KUMULATIVNÍ INFILTRACE  $I(t)$**   
**A NENASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI  $K(h)$**   
**POMOCÍ INFILTRAČNÍCH MINIDISKŮ**

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		3.6.2011	
Způsob zprac. půdy :		minimalizační	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0	0.00	95	0.00
30	5.48	91	0.25
60	7.75	89	0.38
90	9.49	87	0.50
120	10.95	85	0.63
150	12.25	84	0.69
180	13.42	82	0.82
210	14.49	81	0.88
240	15.49	80	0.94
270	16.43	78.5	1.04
300	17.32	77	1.13
330	18.17	76	1.19
360	18.97	75	1.26
390	19.75	73	1.38
420	20.49	72	1.45
450	21.21	71	1.51
480	21.91	70	1.57
510	22.58	69	1.64
540	23.24	67.5	1.73
570	23.87	66	1.82
600	24.49	65	1.89
630	25.10	64	1.95
660	25.69	62.5	2.04
690	26.27	61.5	2.11
720	26.83	60	2.20
750	27.39	59	2.26
780	27.93	58	2.33
810	28.46	56.6	2.42
840	28.98	55.5	2.48
870	29.50	54.5	2.55
900	30.00	53	2.64
930	30.50	52	2.70
960	30.98	51	2.77
990	31.46	50	2.83
1020	31.94	49	2.89
1050	32.40	47.5	2.99
1080	32.86	46	3.08
1110	33.32	45	3.14
1140	33.76	44	3.21
1170	34.21	43	3.27
1200	34.64	42	3.33

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

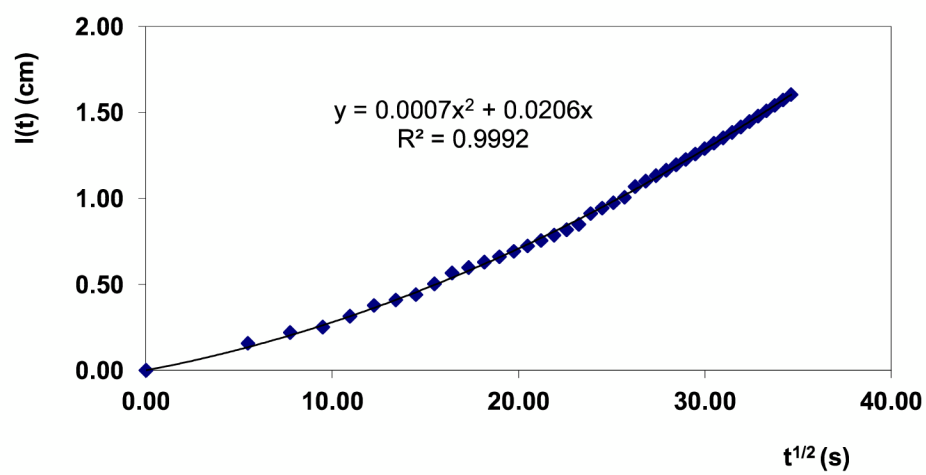
$$C_2 = 0.0018$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 0.000265 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1} = 1.59\text{E-}02 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		3.6.2011	
Způsob zprac. půdy :		minimalizační	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0	0.00	95	0.00
30	5.48	92.5	0.16
60	7.75	91.5	0.22
90	9.49	91	0.25
120	10.95	90	0.31
150	12.25	89	0.38
180	13.42	88.5	0.41
210	14.49	88	0.44
240	15.49	87	0.50
270	16.43	86	0.57
300	17.32	85.5	0.60
330	18.17	85	0.63
360	18.97	84.5	0.66
390	19.75	84	0.69
420	20.49	83.5	0.72
450	21.21	83	0.75
480	21.91	82.5	0.79
510	22.58	82	0.82
540	23.24	81.5	0.85
570	23.87	80.5	0.91
600	24.49	80	0.94
630	25.10	79.5	0.97
660	25.69	79	1.01
690	26.27	78	1.07
720	26.83	77.5	1.10
750	27.39	77	1.13
780	27.93	76.5	1.16
810	28.46	76	1.19
840	28.98	75.5	1.23
870	29.50	75	1.26
900	30.00	74.5	1.29
930	30.50	74	1.32
960	30.98	73.5	1.35
990	31.46	73	1.38
1020	31.94	72.5	1.42
1050	32.40	72	1.45
1080	32.86	71.5	1.48
1110	33.32	71	1.51
1140	33.76	70.5	1.54
1170	34.21	70	1.57
1200	34.64	69.5	1.60

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

$$C_2 = 0.0007$$

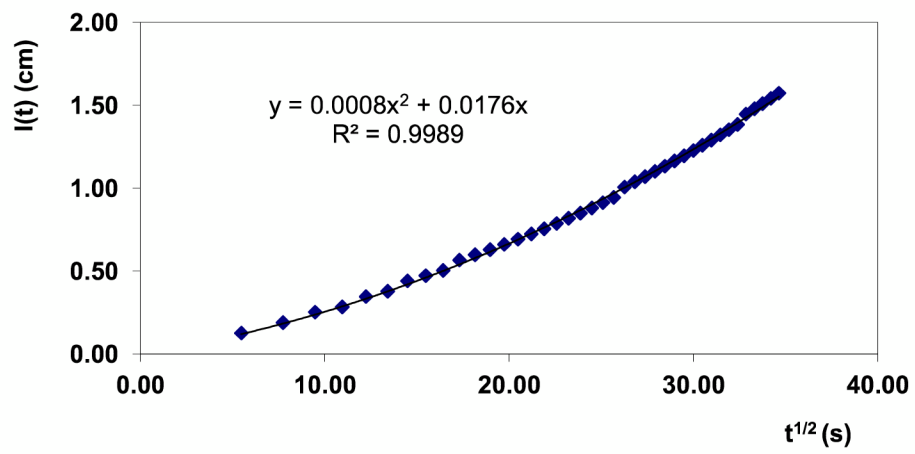
$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 0.000103 \text{ cm.s}^{-1} = 6.18\text{E-}03 \text{ cm.min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		3.6.2011	
Způsob zprac. půdy :		klasický	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0		93	0.00
30	5.48	91	0.13
60	7.75	90	0.19
90	9.49	89	0.25
120	10.95	88.5	0.28
150	12.25	87.5	0.35
180	13.42	87	0.38
210	14.49	86	0.44
240	15.49	85.5	0.47
270	16.43	85	0.50
300	17.32	84	0.57
330	18.17	83.5	0.60
360	18.97	83	0.63
390	19.75	82.5	0.66
420	20.49	82	0.69
450	21.21	81.5	0.72
480	21.91	81	0.75
510	22.58	80.5	0.79
540	23.24	80	0.82
570	23.87	79.5	0.85
600	24.49	79	0.88
630	25.10	78.5	0.91
660	25.69	78	0.94
690	26.27	77	1.01
720	26.83	76.5	1.04
750	27.39	76	1.07
780	27.93	75.5	1.10
810	28.46	75	1.13
840	28.98	74.5	1.16
870	29.50	74	1.19
900	30.00	73.5	1.23
930	30.50	73	1.26
960	30.98	72.5	1.29
990	31.46	72	1.32
1020	31.94	71.5	1.35
1050	32.40	71	1.38
1080	32.86	70	1.45
1110	33.32	69.5	1.48
1140	33.76	69	1.51
1170	34.21	68.5	1.54
1200	34.64	68	1.57



Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

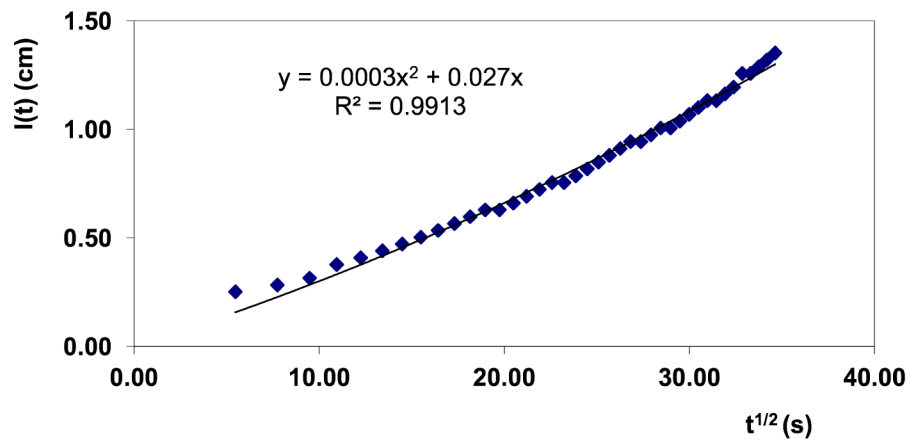
$$C_2 = 0.0008$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 0.000118 \text{ cm.s}^{-1} = 7.06\text{E-}03 \text{ cm.min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		3.6.2011	
Způsob zprac. půdy :		klasický	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0		95	0.00
30	5.48	91	0.25
60	7.75	90.5	0.28
90	9.49	90	0.31
120	10.95	89	0.38
150	12.25	88.5	0.41
180	13.42	88	0.44
210	14.49	87.5	0.47
240	15.49	87	0.50
270	16.43	86.5	0.53
300	17.32	86	0.57
330	18.17	85.5	0.60
360	18.97	85	0.63
390	19.75	85	0.63
420	20.49	84.5	0.66
450	21.21	84	0.69
480	21.91	83.5	0.72
510	22.58	83	0.75
540	23.24	83	0.75
570	23.87	82.5	0.79
600	24.49	82	0.82
630	25.10	81.5	0.85
660	25.69	81	0.88
690	26.27	80.5	0.91
720	26.83	80	0.94
750	27.39	80	0.94
780	27.93	79.5	0.97
810	28.46	79	1.01
840	28.98	79	1.01
870	29.50	78.5	1.04
900	30.00	78	1.07
930	30.50	77.5	1.10
960	30.98	77	1.13
990	31.46	77	1.13
1020	31.94	76.5	1.16
1050	32.40	76	1.19
1080	32.86	75	1.26
1110	33.32	75	1.26
1140	33.76	74.5	1.29
1170	34.21	74	1.32
1200	34.64	73.5	1.35

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

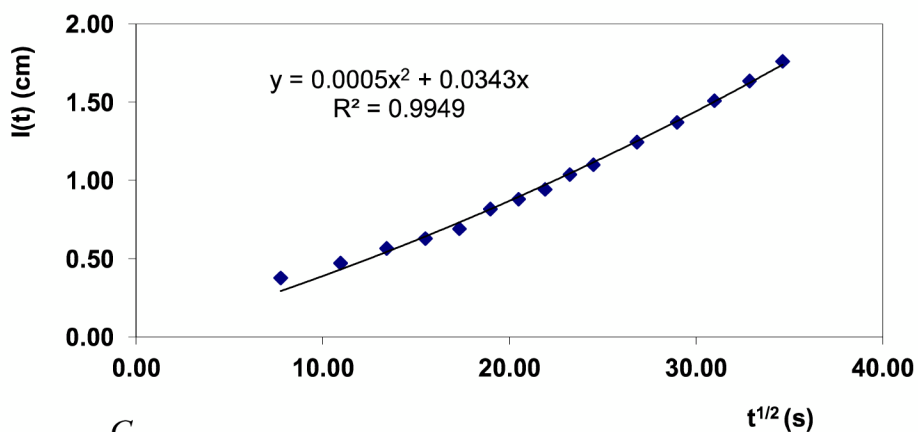
$$C_2 = 0.0003$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 4.41E-05 \text{ cm.s}^{-1} = 2.65E-03 \text{ cm.min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		20.7.2011	
Způsob zprac. půdy :		minimalizační	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0		95	0.00
60	7.75	89	0.38
120	10.95	87.5	0.47
180	13.42	86	0.57
240	15.49	85	0.63
300	17.32	84	0.69
360	18.97	82	0.82
420	20.49	81	0.88
480	21.91	80	0.94
540	23.24	78.5	1.04
600	24.49	77.5	1.10
720	26.83	75.2	1.25
840	28.98	73.2	1.37
960	30.98	71	1.51
1080	32.86	69	1.64
1200	34.64	67	1.76

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

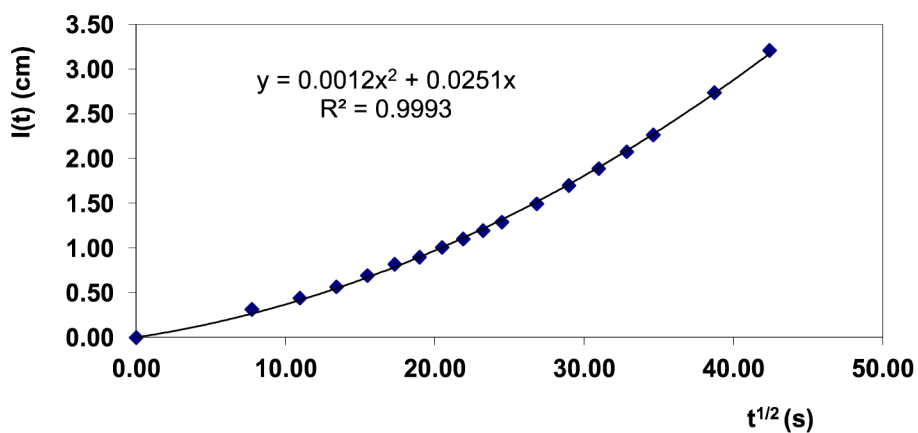
$$C_2 = 0.0005$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 7.35E-05 \text{ cm.s}^{-1} = 4.41E-03 \text{ cm.min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		20.7.2011	
Způsob zprac. půdy :		minimalizační	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0	0.00	95	0.00
60	7.75	90	0.31
120	10.95	88	0.44
180	13.42	86	0.57
240	15.49	84	0.69
300	17.32	82	0.82
360	18.97	80.75	0.90
420	20.49	79	1.01
480	21.91	77.5	1.10
540	23.24	76	1.19
600	24.49	74.5	1.29
720	26.83	71.25	1.49
840	28.98	68	1.70
960	30.98	65	1.89
1080	32.86	62	2.08
1200	34.64	59	2.26
1500	38.73	51.5	2.74
1800	42.43	44	3.21

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

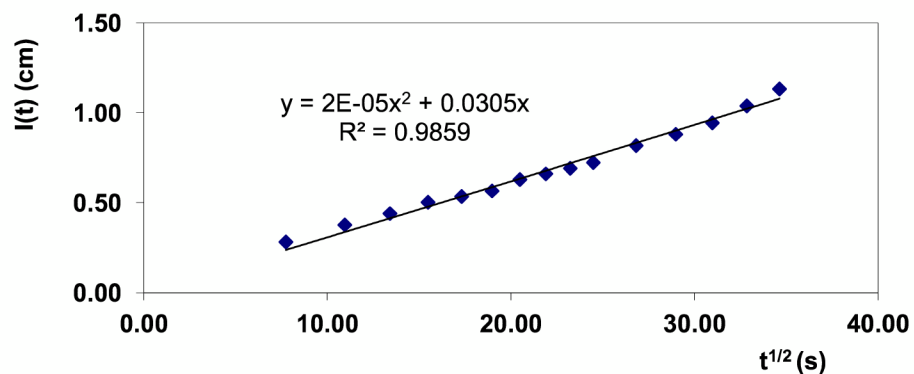
$$C_2 = 0.0012$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 0.000176 \text{ cm.s}^{-1} = 1.06\text{E-}02 \text{ cm.min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		20.7.2011	
Způsob zprac. půdy :		klasický	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0		95	0.00
60	7.75	90.5	0.28
120	10.95	89	0.38
180	13.42	88	0.44
240	15.49	87	0.50
300	17.32	86.5	0.53
360	18.97	86	0.57
420	20.49	85	0.63
480	21.91	84.5	0.66
540	23.24	84	0.69
600	24.49	83.5	0.72
720	26.83	82	0.82
840	28.98	81	0.88
960	30.98	80	0.94
1080	32.86	78.5	1.04
1200	34.64	77	1.13

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

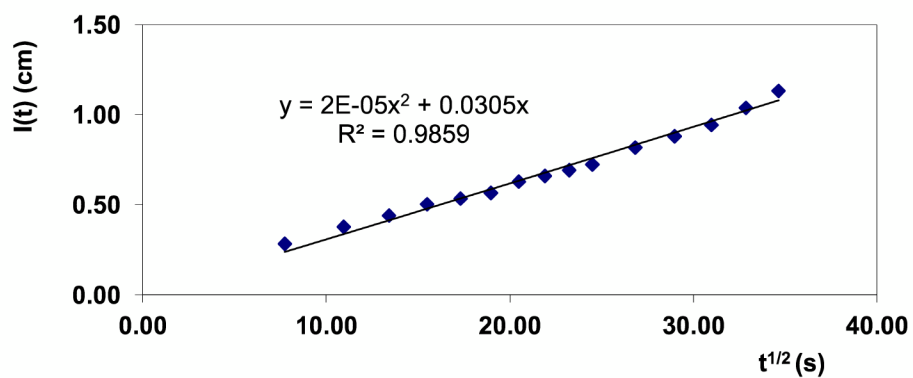
$$C_2 = 0.00002$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 2.94E-06 \text{ cm.s}^{-1} = 1.76E-04 \text{ cm.min}^{-1}$$

Lokalita :		Bohaté Málkovice	
Datum měření		20.7.2011	
Způsob zprac. půdy :		klasický	
Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0		95	0.00
60	7.75	90.5	0.28
120	10.95	89	0.38
180	13.42	88	0.44
240	15.49	87	0.50
300	17.32	86.5	0.53
360	18.97	86	0.57
420	20.49	85	0.63
480	21.91	84.5	0.66
540	23.24	84	0.69
600	24.49	83.5	0.72
720	26.83	82	0.82
840	28.98	81	0.88
960	30.98	80	0.94
1080	32.86	78.5	1.04
1200	34.64	77	1.13

Závislost kumulativní infiltrace  $I(t)$  na druhé mocnině času



$$K(h) = \frac{C_2}{A_2}$$

$$C_2 = 0.00002$$

$$A_2 = 6.8$$

$$K(h) = 2.9E-06 \text{ cm.s}^{-1} = 1.76E-04 \text{ cm.min}^{-1}$$

# PŘÍLOHA C

## LABORATORNÍ A TERÉNNÍ STANOVENÍ NASYCENÉ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI $K_s$

$$K_s = \left(\frac{q}{S}\right)\left(\frac{l}{H}\right)$$

LABORATORNÍ STANOVENÍ															
	odběr	h	V	t	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Δh	q=V/t	l/Δh	k <sub>s</sub>			průměr cm.min <sup>-1</sup>		
		cm	cm <sup>3</sup>	s	cm	cm	cm			cm*s	cm.min <sup>-1</sup>	m.den <sup>-1</sup>			
minimalizační způsob zpracování	3.6.2011	10	4,1	90	3,2	6,2	3	0,05	1,33	0,0024	0,146	2,10	0,23		
		10	0,4	120	2,9	6,1	3,2	0,003	1,25	0,0002	0,010	0,14			
		20	0,1	120	3,4	6,5	3,1	0,001	1,29	0,0000	0,003	0,04			
		20	1	540	2,9	6,1	3,2	0,002	1,25	0,0001	0,006	0,08			
		30	8,5	60	3,4	6,4	3	0,142	1,33	0,0076	0,453	6,53			
		30	4,4	60	3,1	6	2,9	0,073	1,38	0,0040	0,243	3,50			
	22.6.2011	10	11,3	60	3,2	7,2	4	0,19	1,00	0,0075	0,452	6,51			
		10	2,2	60	2,9	6,2	3,2	0,04	1,25	0,0018	0,110	1,58			
		10	5,2	30	3,1	6	2,9	0,17	1,38	0,0096	0,574	8,26			
		10	1,3	60	3,1	6,5	3,4	0,02	1,18	0,0010	0,061	0,88			
		20	1,1	60	3,2	6,5	3,3	0,02	1,21	0,0009	0,053	0,77			
		20	0,8	60	3,4	6,5	3,2	0,01	1,25	0,0007	0,006	0,08			
		20	0,8	60	3,4	6,4	3	0,01	1,33	0,0007	0,043	0,61			
		20	1,1	60	3,2	6,5	3,3	0,02	1,21	0,0009	0,053	0,77			
		30	2,8	30	3,2	6,4	3,2	0,09	1,25	0,0047	0,280	1,72			
		30	15,8	30	2,9	5,9	3	0,53	1,33	0,0281	1,685	3,13			
		30	3,2	60	3,2	6,4	3,2	0,05	1,25	0,0027	0,160	2,30			
		30	3,2	60	3,2	6,4	3,2	0,05	1,25	0,0027	0,160	2,30			
		10	5	60	3,2	6,1	2,9	0,08	1,38	0,0046	0,276	3,97			
		20	2,6	90	3,1	6,4	3,3	0,03	1,21	0,0014	0,084	1,21			
		30	3	60	3,5	6,5	3	0,05	1,33	0,0027	0,160	2,30			
		30	2	60	3,1	6	2,9	0,03	1,38	0,0018	0,110	1,59			
		klasický způsob zpracování	3.6.2011	10	5,8	120	3,1	6,4	3,3	0,048	1,21	0,0023		0,141	2,02
				10	1,5	60	3	5,8	2,8	0,025	1,43	0,0014		0,086	1,23
	20			1	60	3,5	6,5	3	0,017	1,33	0,0009	0,053		0,77	
	20			1	240	3,5	6,8	3,3	0,004	1,21	0,0002	0,012		0,17	
	30			0,8	60	3,4	6,5	3,1	0,013	1,29	0,0007	0,041		0,59	
	30			1,6	60	2,9	5,7	2,8	0,027	1,43	0,0015	0,091		1,32	
22.6.2011	10		3,2	30	3,3	6,5	3	0,11	1,33	0,0057	0,341	4,92			
	20		3,2	60	2,7	5,8	3,1	0,05	1,29	0,0028	0,165	2,38			
	30		2,2	60	2,9	6,4	3,5	0,04	1,14	0,0017	0,101	1,45			
	10		3	30	3,2	6,4	3,2	0,10	1,25	0,0050	0,300	4,32			
	30		3,2	60	3	6,4	3,4	0,05	1,18	0,0025	0,151	1,45			
	10		5	60	3,2	6,1	2,9	0,08	1,38	0,0046	0,276	3,97			
	20		2,6	90	3,1	6,4	3,3	0,03	1,21	0,0014	0,084	1,21			
	30		3	60	3,5	6,5	3	0,05	1,33	0,0027	0,160	2,30			
30	2		60	3,1	6	2,9	0,03	1,38	0,0018	0,110	1,59				



$$K_s = (C_1 C_3)^{1/2} + C_2$$

TERENNÍ STANOVENÍ - ODHAD $K_s$ Z TŘÍPARAMETRICKÉ ROVNICE						
	Datum měření	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$K_s$ cm.min <sup>-1</sup>	průměr cm.min <sup>-1</sup>
MT	3.6.2011	0,81	0,133	2,20E-04	0,16	<b>0,20</b>
		2,21	-0,13	0,007	0,08	
	22.6.2011	1,35	0,24	0	0,24	
		4,08	-0,1	0,15	0,33	
CT	3.6.2011	2,119	0,171	0	0,17	<b>0,14</b>
	22.6.2011	3,27	-0,29	0,05	0,104	
		2,49	0,13	0	0,14	