



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**MĚŘENÍ INFILTRACE V TERÉNU POMOCÍ
MINIDISKOVÉHO INFILTROMETRU**

MEASUREMENT OF INFILTRATION IN THE FIELD USING MINIDISK INFILTROMETER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

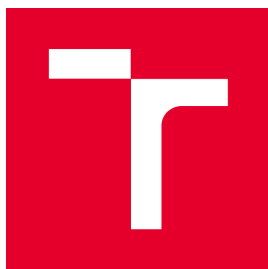
Bc. Michaela Vláčilíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2020



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

Student	Bc. Michaela Vláčilíková
Název	Měření infiltrace v terénu pomocí MiniDiskového infiltrometru
Vedoucí práce	Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020
V Brně dne 31. 3. 2019	

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Elricks, D.E., Reynolds,W.D., 2002: Measuring Water Transmission Parameter in Vadose Zone Using Poned Infiltration Techniques. Agricultural Sciens, 7(2):12-22

Kutílek, M., 1978: Vodohospodářská pedologie. SNTL Praha

Kutílek, M., Nielsen, D.R., 1994: Soil Hydrology. Catena Verlag GeoScience Publisher, ISBN 3-923381-26-3.

Články publikované v odborném tisku se zaměřením na problematiku infiltrace vody do půdy

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci DP bude hodnocena infiltrace vody po půdy v konkrétní lokalitě pomocí kruhových infiltrometrů Mini Disk. Ty jsou určeny pro hodnocení vododržnosti půdy a nenasycené hydraulické vodivosti. Materiální nenáročnost a vysoká operativnost umožňují provádět větší počet opakování v polních podmínkách.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Michaela Vláčilíková *Měření infiltrace v terénu pomocí MiniDiskového infiltrometru*. Brno, 2019. 62 s., 50 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá měřením infiltrace MiniDiskovou metodou a jejím vyhodnocením, ale i rozborem neporušeného půdního vzorku, pomocí kterého se dá posoudit kvalita půdy. Měření probíhalo ve dnech 30.4.2019, 4.5.2019, 12.5.2019, 2.6.2019, 30.6.2019, 2.7.2019, 31.8.2019 a 21.9.2019 na zatravněné půdě nedaleko města Luhačovic. Ze svrchní vrstvy půdy se odebíraly porušené a neporušené půdní vzorky, které se zpracovaly v pedologické laboratoři. K vyhodnocení výsledků infiltrace se použila Zhangova metoda. Výsledky rozborů půdy i infiltrace byly zpracované početně, vyneseny do grafů a analyzovány a porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Infiltrace, Zhangova metoda, pórovitost, objemová hmotnost, nasáklivost, kapilární póry, semikapilární póry, nekapilární póry, provzdušenost, momentální vlhkost, MiniDiskový infiiltrometr

ABSTRACT

The diploma thesis deals with measuring of infiltration by MiniDisk method and its evaluation, but also with analysis of intact and grab soil sample, by means of which it is possible to assess the soil quality. The measurements took place on 30.4.2019, 4.5.2019, 12.5.2019, 2.6.2019, 30.6.2019, 2.7.2019, 31.8.2019 and 21.9.2019 on grassland near the town of Luhačovice. Grab and intact soil samples were taken from the upper soil layer and processed in a pedological laboratory. The Zhang method was used to evaluate the infiltration results. The results of soil analyzes and infiltration were processed numerically, plotted and subsequently described and compared.

KEYWORDS

Infiltration, Zhang method, porosity, bulk density, water absorption, capillary pores, semi-capillary pores, non-capillary pores, aeration, momentary volumetric water content, MiniDisk infiltrometer

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat paní Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph. D. za rady, pomoc a její vedení, které mi při zpracování této práce poskytla.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Měření infiltrace v terénu pomocí MiniDiskového infiltrometru* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 6. 1. 2020

Bc. Michaela Vláčilíková

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Měření infiltrace v terénu pomocí MiniDiskového infiltrometru* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 1. 2020

Bc. Michaela Vláčilíková

autor práce

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	2
3	INFILTRACE	3
3.1	METODY MĚŘENÍ INFILTRACE	3
3.1.1	<i>DVOUVÁLCOVÝ INFILTROMETR</i>	3
3.1.2	<i>MINIDISKOVÝ INFILTROMETR</i>	10
3.1.3	<i>DEŠŤOVÝ SIMULÁTOR</i>	15
4	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮD	17
4.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ K ROZBORŮM	17
4.2	ZRNITOST PŮDY	19
4.2.1	<i>METODY ZRNITOSTNÍCH ROZBORŮ</i>	20
4.2.2	<i>KLASIFIKACE PŮD</i>	27
4.3	ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTIC	29
4.4	ROZBOR NEPORUŠENÉHO PŮDNÍHO VZORKU	30
4.4.1	<i>OBJEMOVÁ HMOTNOST</i>	33
4.4.2	<i>MOMENTÁLNÍ VLHKOST</i>	35
4.4.3	<i>NASÁKLIVOST</i>	36
4.4.4	<i>PÓROVITOST</i>	37
4.4.5	<i>ROZDĚLENÍ PÓRŮ V PŮDNÍM VZORKU</i>	38
4.4.6	<i>PROVZDUŠENOST</i>	39
5	PRAKTICKÁ ČÁST	40
5.1	CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ	40
5.1.1	<i>HYDROLOGICKÉ POMĚRY</i>	42
5.1.2	<i>KLIMATICKÉ POMĚRY</i>	42
5.2	ODBĚR VZORKŮ A MĚŘENÍ POMOCÍ MINIDISKŮ	43
5.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	44
5.3.1	<i>ZRNITOSTNÍ ROZBOR</i>	44
5.3.2	<i>ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTIC</i>	45
5.3.3	<i>ROZBOR NEPORUŠENÉHO PŮDNÍHO VZORKU</i>	45
5.3.4	<i>OBJEMOVÁ HMOTNOST REDUKOVANÁ</i>	46
5.3.5	<i>MOMENTÁLNÍ VLHKOST</i>	47
5.3.6	<i>PÓROVITOST</i>	48
5.3.7	<i>NASÁKLIVOST</i>	50

5.3.8	PROVZDUŠENOST.....	50
5.3.9	NENASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST	51
6	ZÁVĚR A DISKUZE.....	53
7	PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	55
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
9	SEZNAM TABULEK	58
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	59
11	SEZNAM PŘÍLOH	
12	PŘÍLOHY	

1 ÚVOD

Půda patří k nenahraditelnému přírodnímu bohatství naší země. Kvalita půdy se posuzuje na základě znalosti fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických vlastností půdy. Významnou vlastností půdy je její úrodnost, která je ovlivňována mnohými faktory (technologie zpracování půdy, zakládání porostů plodin). Postupy zpracování půdy ovlivňují odolnost půdy vůči vodní a větrné erozi. V ČR je v současnosti vodní erozí ohrožena více než polovina výměry orné půdy a větrnou erozí téměř 10 % orné půdy. [10]

Eroze půdy je globální problém, který má ekonomický dopad. Infiltrační schopnost důležitým faktorem v ochraně půdy před vodní erozí. Při nízké infiltraci ve svrchní vrstvě půdy nedojde k požadovanému vsaku vody do půdy, tím vznikne povrchový odtok a s ním spojené negativní jevy. Infiltrační schopnost půdy ovlivňuje celou řadu půdních parametrů, jako jsou chemické, biologické vlastnosti půdy a hydro-fyzikální vlastnosti půdy.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je vyhodnotit odebrané vzorky půdy a infiltraci vody do půdy pomocí MiniDisků. Teoretická část se zaměřuje na infiltraci vody do půdy, z které lze odhadnout nenasycenou hydraulickou vodivost půdního prostředí. Dále jsou zde uvedeny fyzikální vlastnosti půdy, popis použitých metod a vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy. Vzorky půdy byly odebírány v roce 2019 v jedné části poblíž obce Luhačovice ve Zlínském kraji, kde je půda trvale zatravněna a po celý rok udržována mulčovací sekačkou. Lokalita patří k mírně teplému až teplému regionu s mírně vlhkým prostředím. Posouzení půdy bude provedeno na základě vybraných fyzikálních vlastností půdy, které budou vyhodnoceny v pedologické laboratoři na ÚVHK VUT FAST v Brně standartními metodickými postupy. Na základě výsledků měření infiltrace MiniDisky bude také vyhodnocena nenasycená hydraulická vodivost půdy.

3 INFILTRACE

Rychlost se měří v terénu z povrchu výtopy nebo z přirozeného, či umělého deště. Tato rychlost se nazývá infiltrační schopnost nebo infiltrační kapacita a je určitou charakteristikou půdního profilu za určitých specifických podmínek. Z rychlosti infiltrace lze stanovit odhad hydraulické vodivosti půdního prostředí. [3]

Vertikální infiltrace může probíhat za dvou odlišných okrajových podmínek:

1. Podmínka vlhkosti (Dirichletova podmínka) – charakterizuje výtopu. Na povrchu profilu (hloubka $z = 0$) od času $t = 0$ je vlhkost rovná vlhkosti nasycené θ_s . [3]
2. Podmínka průtoku (Neumannova podmínka) – infiltrace z deště. Na povrchu ($z = 0$) od času $t = 0$ až do času výtopy povrchu t_p je definován průtok, který je roven intenzitě deště a od času $t > t_p$ platí první okrajová podmínka, tj. okrajová podmínka vlhkosti. [3]

3.1 METODY MĚŘENÍ INFILTRACE

Pro stanovení uváděných vlastností půdy z výtopy se používají různé infiltrometry, mezi nejběžnější patří dvouválcový kruhový infiltrometr nebo tlakový infiltrometr. Přesnější, ale časově náročnější a pracnější je stanovení infiltrace půdy pomocí dešťového simulátoru ze simulovaného deště. [3]

3.1.1 DVOUVÁLCOVÝ INFILTROMETR

Vsakovací schopnost měříme na povrchu půdy, tj. v počátečním profilu, který je v rovině povrchu půdy. V časových intervalech se vsakovací schopnost půdy rychle zmenšuje a postupem času se přibližuje určité mezní hodnotě. Někteří autoři tuto vyrovnanou rychlost, kdy je příjem vody půdou téměř konstantní,

označují za mezní rychlost, úměrnou hydraulické vodivosti. Vyjadřuje se Darcyho filtračním vztahem, po určité době prakticky přechází v průsak. Tato otázka však není zcela jednoznačná, celý průběh infiltrace závisí na uspořádání měření, kterým se zjišťuje vsakovací schopnost. [3]

Pomůcky:

Dvouválcový infiltometr, nůžky, nůž, dřevěný trámek, palice, hrot na kontrolu hladiny, válce o objemu 1 a 2 litry, nádoba na vodu, stopky, děrovaná deska.

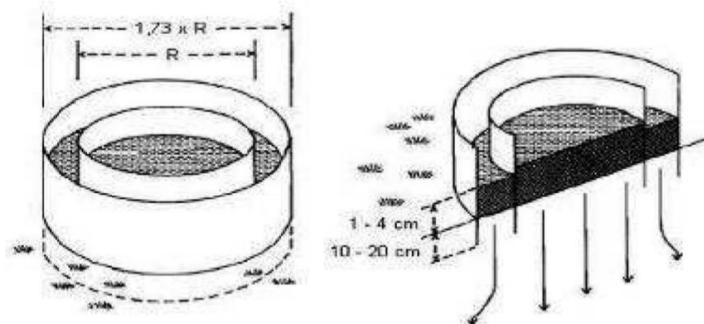
Postup:

Kontaktním měřítkem se změří průměr vnitřního a vnějšího válce v 8 polohách, vypočte se průměrná hodnota a plocha válce. Obvykle se používá válec o průměru 35,7 cm a vnější o průměru 1,73x větší než vnitřní. Před každým pokusem se odebere v blízkosti válce vzorek půdy pro určení momentální vlhkosti. [3]

Na povrchu půdy se vyhledá vodorovná plocha a očistí se, aniž by se narušil přirozený stav povrchové vrstvy. Zatravněný povrch se sestřihne nůžkami. [3]

Vnitřní válec se posadí na terén a ořízne se nožem (snadné zapaštění do zeminy). Pomocí dřevěného trámku a palice se stejným tlakem zatlačí nejprve vnitřní, potom vnější válec do hloubky 10 cm. Povrchové hladiny a osadí se ochranná děrovaná deska, která zabraňuje rozplavení povrchu v místě nalévané dávkované vody. [3]

Měření se provádí ve vnitřním válci, vnější válec se používá k zajištění vertikálního pohybu vsakované vody uvnitř měřícího zařízení. [3]



Obrázek 1 a) dvouválcový infiltrometr, b) směr pohybu vsakované vody v měřícím zařízení (Kameníčková, 2013)

V obou válcích se během pokusu udržuje výška hladiny (1 – 3 cm), aby se minimalizoval přetlak. Vliv přetlaku, způsobený výškou hladiny na povrchu půdy, se zanedbává u středních a těžkých půd, u lehkých půd se na začátku experimentu zvyšuje hodnota kumulativní infiltrace a tím i rychlost infiltrace (viz. obrázek 1). [3]

Naměřené hodnoty se zapisují do formuláře, měřením se získá závislost vsáklého množství vody na čase. Výsledky se zpracují numericko-grafickými metodami. [3]

Vyhodnocení terénního měření infiltrace:

1. Vypočte se součtová čára množství vsáklé vody. Stanoví se délky jednotlivých časových intervalů mezi přiléváním vody a jím odpovídající okamžité hodnoty vsakovací rychlosti v_t podle vztahu: [3]

$$v_t = \frac{V}{P \cdot t} \quad [cm \cdot min^{-1}], \quad (3.1)$$

kde V množství nasáklé vody v příslušném intervalu [cm³],
P průřezová plocha vnitřního válce [cm²],
t časový interval [min].

2. Kumulativní infiltrace i_t se získá podle vztahu:

$$i_t = \frac{V}{P} \quad [cm], \quad (3.2)$$

kde V množství nasáklé vody v příslušném intervalu [cm^3],
 P průřezová plocha vnitřního válce [cm^2].

Pro vyhodnocení infiltrace se používají fyzikální a empirické vztahy:

- Kostjakov, Mezencev. Philip a tříparametrická rovnice Philipova typu (TRPT).

Kostjakova rovnice

Vychází z hyperbolického tvaru křivky, přičemž je vhodná při počáteční fázi procesu. Pro čas $t \rightarrow 0$ je rychlost $v \rightarrow \infty$ a pro čas $t \rightarrow \infty$ je rychlost $v \rightarrow 0$. [9]

$$v_t = v_1 \cdot t^{-\alpha} \quad [cm.min^{-1}], \quad (3.3)$$

kde v_1 koeficient, numericky se rovnající rychlosti infiltrace na konci první časové jednotky (obvykle 1 minuty) [$cm.min^{-1}$],
 t čas od počátku vsakování [min],
 α empirický součinitel vlhkosti (0,2 až 0,8), závislý na půdních vlastnostech.

Výpočet pro kulminativní infiltrace získáme z integrací vztahu (viz výše),

$$i_t = \frac{v_1}{1-\alpha} \cdot t^{1-\alpha} \quad [cm], \quad (3.4)$$

Kostjarkova rovnice velmi dobře vystihuje počáteční fázi vsakování, vyznačující se velkým poklesem vsakovací rychlosti v_t . Délka této fáze se různí podle typu půdy – u písčitých půd je velmi krátká (10-20 minut), u hlinitých půd v rozmezí 30 až 60 minut a u jílovitých i několik hodin. Hodnota koeficientu v_1 není charakteristická pro určitý druh půdy a její velikost se odvíjí od stavu půdy a vlhkosti (proto se při měření v terénu odebírají vzorky pro určení počáteční vlhkosti).

Empirický součinitel α nabývá hodnot v rozmezí 0,2 až 0,8 a je více závislý na stálých vlastnostech půdy, jako jsou například zrnitost, agregace, trvanlivost agregátů, ulehlost a částečně, stejně jako u koeficientu v_1 , také počáteční vlhkost θ_i . Díky součiniteli α lze ohodnotit půdu z hlediska její vsakovací schopnosti (viz. tabulka 1). [6]

Mezencevova rovnice

Mezencev posunul souřadnice hyperboly v ose v_t o hodnotu v_c , aby rovnice vyhovovala pro $t \rightarrow 0$ je $v \rightarrow \infty$ a pro čas $t \rightarrow \infty$ je rychlost $v \rightarrow v_c$.

$$v_t = v_c + (v_1 - v_c) \cdot t^{-\beta} \quad [cm.min^{-1}], \quad (3.5)$$

- kde v_c vyrovnaná hodnota vsakovací rychlosti [$cm.min^{-1}$],
 v_1 koeficient, numericky se rovnající rychlosti infiltrace na konci první časové jednotky [min],
 t čas od počátku vsakování [min],
 β empirický koeficient, závislý na vlastnostech půdy a počáteční vlhkosti.

Tabulka 1 Charakteristika půd z hlediska jejich vsakovacích schopností (Vališ, Šálek, 1971)

Kategorie půdy podle vsakovací schopnosti	Charakteristika půdy podle jejích stálých vlastností a podle vlhkosti	α
I. Vsakovací schopnost je zpočátku velká až střední a v průběhu času se rychle zmenšuje	Půda hlinitá nebo jílovitá s velkým množstvím snadno rozplavitelných agregátů (pseudoagregáty) Půda suchá až vyprahlá, s obsahem vody odpovídajícím bodu snížené dostupnosti a méně	0,40 až 0,60 i více
II. Vsakovací schopnost na počátku velká i střední, v průběhu času se zmenšuje pozvolna	Půda s vyvinutou agregovanou strukturou o pevných a vodovzdorných agregátech. Obvykle hlinitá až jílovitohlinitá s větším obsahem humusu a nasyceným sorpčním komplexem. Půda s obsahem vody v rozmezí mezi maximální kapilární kapacitou a bodem snížené dostupnosti	0,20 až 0,40
III. Vsakovací schopnost na počátku malá až střední, v průběhu času je téměř konstantní	Půda bez agregace, ulehlá, o malé kapilární pórovitosti, nenakypřená. Z hlediska zrnitostního složení může být písčitá, ale i jílovitá nebo hlinitá (spraš).	Menší než 0,20

Tříparametrická rovnice Philipova typu

Stejně jako Philipovy zjednodušené rovnice vychází z řešení infiltrace pomocí nekonečných řad. Uvažuje se pouze s prvními třemi členy nekonečné řady:

$$i_t = C_1 \cdot t^{\frac{1}{2}} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2} \quad [cm], \quad (3.6)$$

$$v_t = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^{-\frac{1}{2}} + C_2 + \frac{3}{2} \cdot C_3 \cdot t^{1/2} \quad [cm/min], \quad (3.7)$$

- kde C_1 odhad sorptivity [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1/2}$],
 C_2 parametry vyrovnávacího procesu [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$],
 C_3 parametry vyrovnávacího procesu [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-3/2}$].

Philipova rovnice

Vychází ze semianalytického řešení vertikální infiltrace pertubační metodou ve formě nekonečné časové řady, přičemž algebraická rovnice uvažuje pouze její první dva členy. [9]

Philipovova zjednodušená rovnice kumulativní infiltrace:

$$i_t = S \cdot t^{\frac{1}{2}} + A \cdot t \quad [\text{cm}], \quad (3.8)$$

- kde S aproximace sorptivity [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1/2}$],
 t čas [min],
 A parametr [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$],

a filtrační rychlost:

$$v_t = \frac{1}{2} \cdot S \cdot t^{-\frac{1}{2}} + A \quad [\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}], \quad (3.9)$$

- kde S aproximace sorptivity [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1/2}$],
 t čas [min],
 A parametr [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$].

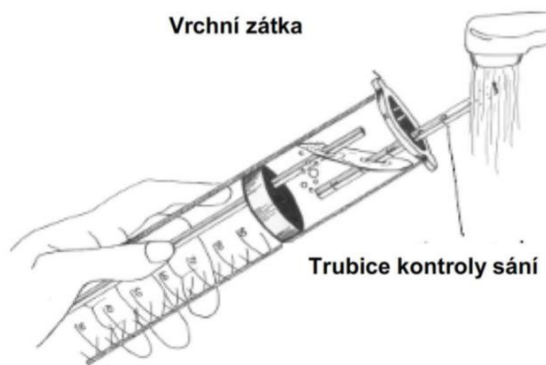
3.1.2 MINIDISKOVÝ INFILTROMETR

Infiltrometr MiniDisk měří hydraulickou vodivost média, na kterém je umístěn. Hydraulická vodivost se definuje jako „množství vody za den, které vsákne do půdy působením gravitační síly či jednotky hydraulického gradientu“, Kirkham, M., B.: Principles of Soil and Plant Water Relations (2005). Liší se od míry pronikání, která představuje „množství vody proniknuvší do půdy za jednotku času nezávisle na typech či hodnotách sil či gradientu“. Hydraulická vodivost určuje rychlost proniku vody do půdy v závislosti na kontaktu s danou půdou. [3] Protože MiniDiskový infiltrometr má nastavitelné sání (0,5 až 6 cm), další informace o půdě se získávají tak, že se eliminují makropóry s menší vstupní hodnotou vzduchu než je sání MiniDiskového infiltrometru. Toho se docílí pomocí malého negativního tlaku či sání. Pokud je voda pod tlakem či sáním, nebude pronikat do makropórů (trhliny a chodbičky po živočiších), ale bude se pohybovat v půdě vlivem hydraulických sil. [3] Satureovaná vodivost se získá, pokud jsou všechny póry včetně velkých (trhlin či chodbičky po živočiších) zaplněny vodou. Tok do makropórů je přesto velmi variabilní a obtížně se určuje. [3]

Příprava:

Po odstranění vrchní zátky se sací trubice naplní vodou (viz. obrázek 2).

Poznámka: Nepoužívá se destilovaná voda. Půdní voda obsahuje rozpuštěné látky a jíly obsahují na výměnných místech soli. Použití destilované vody mění vyváženost iontů a může vysrážené či rozptýlit jíl v půdě. [3]



Obrázek 2 Plnění vrchní komory (Kameníčková, 2013)

Jakmile se naplní vrchní komora, sací trubice se zasune dolů. MiniDiskový infiltrometr se obrátí, odstraní se spodní elastometr s porézním diskem a zásobník se naplní vodou (viz. obrázek 3). [3]



Obrázek 3 Odejmutí spodního elastomeru (převzato Kameníčková, Návod do cvičení (Kameníčková, 2013)

Výběr úrovně sání:

Do různých typů půdy proniká voda odlišnou rychlostí, proto měření objemu a času někdy může být obtížné. Do písčitých půd voda proniká velmi rychle, úroveň sání se nastaví na 6 cm. Pro více kompaktní půdy, kde je pronikání mnohem pomalejší, se nastaví úroveň sání 0,5 cm. [3]

V případě odlišného nastavení sání než 2 cm by měl být uživatel dobře seznámen s přístrojem a teorií jeho použití. [3]

Pro nastavení úrovně sání se pohybuje sací trubicí nahoru či dolů, aby byla vodní hladina vyrovnaná s požadovanou mírou sání, která je zobrazena na boku trubice. Malé sání umožňuje vyplnění velkých pórů, velké sání dovoluje vyplnění pouze malých pórů. [3]

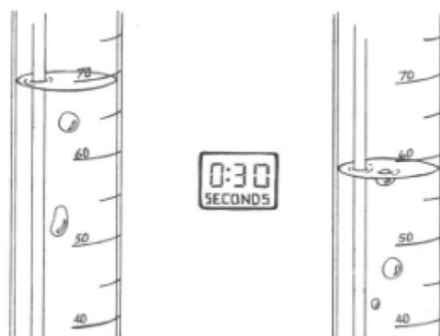
Sběr dat:

1. Do připravené tabulky, tab. 2 se zaznamená se počáteční objem vody.

Tabulka 2 Vzorová data z MiniDiskového infiltrometru (Kameníčková, 2013)

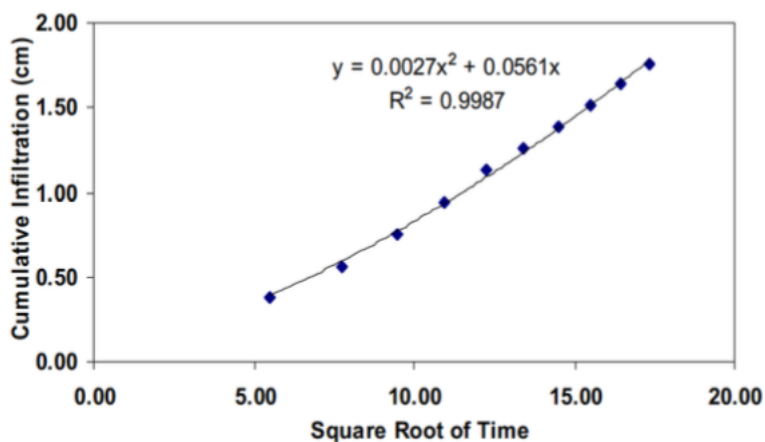
Čas (S)	Sqrt (t)	Objem (ml)	Pronikání (cm)
0	0,00	95	0,00
30	5,48	89	0,39
60	7,75	86	0,58
90	9,49	83	0,77
120	10,95	80	0,97
150	12,25	77	1,16
180	13,42	75	1,29
210	14,49	73	1,42
240	15,49	71	1,55
270	16,43	69	1,68
300	17,32	67	1,81

2. V čase $t = 0$ se umístí MiniDiskový infiltrometr na povrch půdy a ověří se pevný kontakt mezi MiniDiskovým infiltrometrem a půdou.
3. V pravidelných časových intervalech se zapíše objem proniku vody do půdy. Délka intervalu závisí na zvolené míře sání a typu (např. písek 2-5 sekund mezi měřeními, bahnitý jíl 30 sekund a tuhý jíl 30–60 minut). Data se zapisují do prvního a třetího sloupce tabulky (viz. tabulka 2).



Obrázek 4 Měření pronikání (Kameníčková, 2013)

MiniDiskový infiltrometr se dodává s CD-ROM, který obsahuje základní tabulkový procesor Microsoft Excel. Tento program spočítá sklon křivky kumulativního pronikání (viz. obrázek 5) oproti druhé mocnině času podle sesbíraných dat. Po otevření souboru se objeví tabulka podobná výše zobrazené. [3]



Obrázek 5 Grafický průběh kumulativní infiltrace v závislosti na odmocnině z času t (Kameníčková, 2013)

1. Hodnoty objemu se vloží do třetího sloupce, který souvisí s časovým sloupcem (1). Sloupce druhé mocniny času (2) a sloupce pronikání (4) se změny automaticky v závislosti na vložených datech a graf se aktualizuje podle provedených změn. [3]
2. Data se uloží do nového souboru na pevný disk. [3]

Výpočet proniku vody do půdy:

Pro výpočet nenasyčené hydraulické vodivosti půdy ze získaných dat lze použít řadu metod.

Zhangova metoda (1997) je poměrně jednoduchá a je vhodná pro měření proniku vody do suchých půd. Metoda vyjadřuje měření kumulativního pronikání ve vztahu k času a dosazení výsledků do funkce [3]

$$I = C_{1t} + C_2\sqrt{t}, \quad (3.10)$$

kde C_1 parametr vztažený k hydraulické vodivosti [ms^{-1}],

C_2 parametr vztažený k půdní sorpci [$\text{ms}^{-1/2}$].

Nenasycená hydraulická vodivost půdy K se vypočítá ze vztahu:

$$K = \frac{C_1}{A}, \quad (3.11)$$

kde C_1 sklon křivky kumulativního pronikání ve vztahu k druhé mocnině času,

A hodnota vztahující van Genuchtenovy parametry pro daný typ půdy k míře sání a poloměru disku Infiltrimetru.

Hodnota A se vypočítá ze vztahu:

$$A = \frac{11,65(n^{0,1}-1)\exp[2,92(n-1,9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad n \geq 1,9 \quad (3.12)$$

$$A = \frac{11,65(n^{0,1}-1)\exp[7,5(n-1,9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad n \leq 1,9, \quad (3.13)$$

kde n, α van Genuchtenovy parametry pro půdu,

r_0 poloměr disku (2,2 cm),

h_0 sání na povrchu disku.

Van Genuchtenovy parametry pro 12 texturních půd jsou převzaty z Garsel a Perrish (1988), hodnoty A spočítané pro MiniDiskový infiltrometr jsou zobrazeny v tabulce 3.

Tabulka 3 van Genuchtenovy parametry pro 12 tříd texturních půd, hodnoty A pro poloměr disku 2,2 cm a hodnoty sání do -0,5 cm do -6 cm. (Kameníčková, 2013)

Texture	α	n	h_0						
			-0.5	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0
			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

3.1.3 DEŠŤOVÝ SIMULÁTOR

Používá se zejména k experimentálnímu zjišťování erozních vlastností půd a vztahů mezi intenzitou srážky a odtokem. Účelem zkoumání eroze pomocí dešťového simulátoru je zjištění vlivů různých faktorů na vznik a průběh povrchového odtoku, infiltraci a smyv půdních částic. Získáme vstupní data pro simulační srážkoodtokové modely. Používají se k výzkumu půdní eroze, infiltrační schopnosti půd, množství povrchového odtoku v závislosti na počátečních podmínkách nebo vyplavování škodlivin jak povrchovým, tak podpovrchovým odtokem. [8]

Na vzniku a průběhu eroze půdy se podílí faktory meteorologické, pedologické, morfologické, biologické i antropogenní. Při výzkumu v terénu jsou mnohé

hodnoty obtížně měřitelné a je nemožné ovlivnit přirozené srážkové děje. U dešťového simulátoru se mohou do určité míry nastavit potřebné podmínky pro zjištění všech parametrů určujících význam eroze půdy na daném území. [8]

Výhodou dešťového simulátoru je velké množství měření, aniž by se čekalo na přírodní déšť.

4 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮD

Pevná minerální složka, jež je charakterizovaná velikostí částic zrn, která tvoří různou velikosti frakcí – zrnitostní kategorie. Zastoupení frakcí půd z hlediska půdní zrnitosti předurčuje klasifikaci půdního druhu. Frakce mají různou velikost a ovlivňují pevnou minerální složku půdy. Mají různou barvu v návaznosti na sloučeniny manganu, železa, křemene, jílu a uhličitanu vápenatého. Fyzikální vlastnosti půdy jsou určovány strukturou, barvou, zrnitostí pórovitostí, obsahem vzduchu a vody.

4.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ K ROZBORŮM

Celý vzorek půdy se nazývá hrubozem, rozděluje se na skelet (částice > 2 mm) a jemnozem (částice < 2 mm). Jemnozem se dále dělí na jemnozem I (částice a agregáty < 2 mm) a jemnozem II (částice a agregáty < 0,25 mm). Hranice mezi jemnozemí a skeletem byla zvolena proto, že se začínají za přítomnosti vody uplatňovat kohezní síly. Dalším důležitým rozmezím je hranice 0,001 mm – začínají se uplatňovat koloidní vlastnosti. [3]

Příprava jemnozemě I:

Pomůcky:

Porcelánová třecí miska s tloučkem, síto o průměru ok 2 mm s poklopem, sběrná nádoba. [3]

Postup:

Ze vzorku vyschlého na vzduchu se odstraní hrubší skelet, novotvary a rostlinné zbytky, vzorek se po částech rozmělnuje třením v třecí misce, aby nebyly drceny

částice, a proseje se na sítu o průměru 2 mm (osazené na sběrnou nádobu). Síto se uzavře víkem (zamezení prašnosti). [3]

Preparační metody přípravy vzorku:

V ČSSR bylo v roce 1948 dohodnuto, že k běžným technickým rozborům se může používat k desagregaci zeminných částic strojová třepačka (místo vaření a roztírání vzorku). [3]

Pomůcky:

Láhev o objemu 500 ml, nálevka, horizontální třepačka, porcelánové misky s plochým dnem, stříčka s destilovanou vodou, olověné kuličky potažené gumou, váhy s přesností 0,05 g a hodinové sklo. [3]

Postup:

Navážka jemnozemě I (50 g) se máčí v destilované vodě 24 hodin, přemístí se do širokohrdlé láhve a zároveň se ke vzorku přidá 5 olověných kuliček potažených gumovým povlakem (průměr olověného jádra je 14 mm, celkový průměr včetně gumového obalu je 17 mm). Láhev se uzavře, protřepává se na horizontální třepačce po dobu 60 minut (440 rázu/minutu), suspenze se přelije do misky pomocí nálevky a skleněné tyčinky (zachycení kuliček a zamezení ucpání otvoru), opět se nechá rozmáčet 24 hodin. Následně se provede zrnitostní rozbor. [3]

Přepočet navážky vzorku půdy na sušinu

Vzorek vyschlý na vzduchu obsahuje malé množství hygroskopické vody, která způsobuje nepřesnosti v kvantitativním určení navážky a v přepočtu výsledků na navážku. Proto se vždy používá přepočet na vysušený vzorek. [3]

Pomůcky:

Hliníkové vysoušečky s víčky, laboratorní lžíce, horkovzdušná sušárna, exsikátor se sikativem, laboratorní váhy. [3]

Postup:

Vzorek pro stanovení sušiny (10 g) se navažuje současně s navážkou pro rozbor. Sušení minerálních vzorků se provádí při 105 °C do konstantní hmotnosti, vzorky s vysokým obsahem organické hmoty (zrašeliněné horizonty, zahradnické zeminy) při 60 °C. [3]

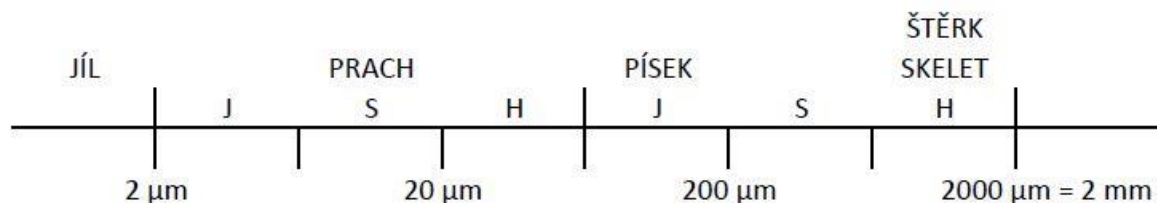
4.2 ZRNITOST PŮDY

Výsledkem zrnitostního rozboru půdy je procentuální zastoupení různých velikostí skupin frakcí. Cílem je stanovit půdní druh, k jehož určení slouží zrnitostní kategorie. Rozborem dojde k zjednodušení na kulový tvar jednotlivých zrn.

Půdní zrnitost ovlivňuje texturu a mechanické vlastnosti půdy. Určuje se pomocí sedimentace, síty, vyplavováním nebo jinými způsoby.

Členíme je podle disperzního podílu na tři různé velikosti: hrubé, koloidní a analytické. Půdní částičky proto dělíme dle velikostí na více podílů, kategorií či frakcí.

Zrna o průměru nad 2 mm se souhrnně označují jako skelet. Zemina zbavená skeletu se nazývá jemnozem. Částice pod 2 μm byly pojmenovány jako fyzikální jíl, pod 0,1 μm jako koloidní jíl. Podobnější mezinárodní roztřídění zrnitostních frakcí vyplývá z tohoto schématu, (viz. obrázek 6). [1]



Obrázek 6 Mezinárodní rozdělení zrnitostí frakcí (KUTÍLEK, KURÁŽ a ČÍSLEROVÁ, 2000)

4.2.1 METODY ZRNITOSTNÍCH ROZBORŮ

Nejjednodušším způsobem stanovení jednotlivých zrnitostních frakcí je prosévání na sítích o určitém průměru oka. Pro důkladné oddělení částecek je třeba prosévat zeminu ve vodě. Nejmenší rozměr stanovený proséváním ve vodě je 0,05 mm, obtíže se však objevují již při prosévání na sítu o průměru oka 0,1 mm. Místo síta se někdy používá různých filtrů, například papírový, u nichž je velikost pórů udána, a tím lze oddělit určitou frakci. Tato metoda je vhodná do rozmezí velikosti zrna 5 až 1 μm .

Ve větším rozsahu lze užít keramické filtry, a to pro zrna v rozmezí 100 až 0,2 μm .
[1]

Metoda vyplavovací (elutriační) – Kopeckého vyplavovací přístroj

Pomůcky:

Váhy, porcelánové misky, vodovod a navazující nádržka na 10 litrů s plovákovou regulací doplňování vody, gumová hadice, hliníkové misky s víčky, písková lázeň, sušárna a Kopeckého plavící přístroj.

Postup:

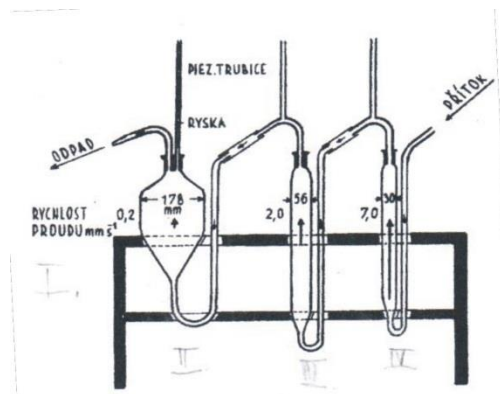
Využívá se různé rychlosti vzestupného proudu vody ve válcích Kopeckého přístroje. Vzestupný proud vody působí proti směru usazování částic, unášené

jsou částice, jejichž sedimentační rychlost je menší než rychlost proti proudu, a tak dochází k jejich roztřídění, (viz. obrázek 7). [4]

Podkladem k vyplavování je empirický vzorec podle Schöneho:

$$d = 0,0314 * \sqrt[11]{v^7} \quad [mm], \quad (4.1)$$

Kde v rychlost [mm/s],
 D průměr částic [mm].



Obrázek 7 Kopeckého lavicí přístroj (Půdoznalství - laboratorní cvičení)

Metoda usazovací (sedimentační)

- s přerušovanou sedimentací - dekantační metoda
- s nepřerušovanou sedimentací - pipetová a areometrická metoda

Postup:

Zeminu před zrnitostním rozbohem zbavíme hrudek a agregáty musíme rozmělnit a půdní koloidy peptizujeme. Zeminu namočíme před rozbohem do destilované vody, povaříme a poté přidáme peptizační činidlo.

Například čpavek nebo sodná sůl v malé koncentraci, aby se trvale zvýšil potenciál koloidů. [1]

Pro stanovení jednotlivých zrnitostních frakcí můžeme použít nejjednodušší způsob, který je prosévání v sítích o určitém průměru oka. Pro důkladné oddělení částec je potřeba prosévat zeminu ve vodě. Nejmenší rozměr pro prosévání ve vodě je 0,063 mm. Jemné částice, které jsou důležité pro charakteristiku půdních vlastností, zůstávají na síťovině. Zde se používá metoda nepřímé sedimentace.

Jsou založeny na sedimentačních zákonech závislosti sedimentačních rychlosti v na velikosti částice [1]

Sedimentační zákon je vyjádřen pomocí Stokesova vztahu:

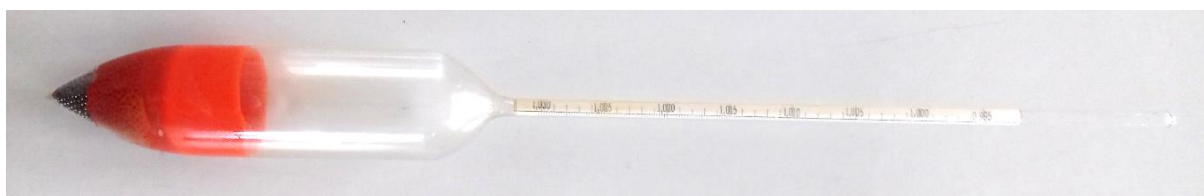
$$v = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho_z - \rho_0)}{\eta} = ar^2 \quad [cm.s^{-1}], \quad (4.2)$$

- kde v sedimentační rychlost [$cm.s^{-1}$],
 g tíhové zrychlení [$cm.s^{-2}$],
 ρ_s zdánlivá hustota pevných částic [$g.cm^{-3}$],
 η viskozita disperzního prostředí [$g.cm^{-3}$],
 a konstanta pro sedimentaci zemitéch částí při teplotě 20°C [$cm.s^{-1}$],
 r poloměr částice [cm].

Výpočet sedimentační rychlosti platí pouze v laminární oblasti určené Reynoldsovým číslem. V jílové frakci se velmi liší částice od koule, většinou mají tvar deskovitého nebo šupinového. Zpravidla se mluví o ekvivalentním poloměru částic (mají stejnou sedimentační rychlost, jakou by měly kulové částice) Předpoklady nejsou při odvozování rychlosti dodrženy.

Hustoměrná metoda s nepřerušovanou sedimentací (A. Casagrande)

Slouží ke stanovení zrnitosti půdních částic $< 0,06$ mm. V sedimentačním válci během usazování měříme hustotu suspenze, která je základ pro stanovení jednotlivých frakcí a následně pro konstrukci kumulativní zrnitostní křivky.



Obrázek 8 Hustoměr (vlastní foto)

Pomůcky:

hustoměr o obsahu 0,995 – 1,030 cejchovaný při 20°C s přesností 0,0002, vysoušečky, stopky, síto o průměru ok 2 mm, porcelánové misky, písková lázeň nebo topná deska, sušárna, skleněná tyčinka, stříčka, odměrný válec, sedimentační válec o objemu 1000 ml,

Postup:

Po přípravě suspenze vpravíme do sedimentačního válce o objemu 1000 cm³ a doplníme destilovanou vodou. Minutu před začátkem sedimentace suspenzi promícháme, v okamžiku vyjmutí míchadla začíná počátek měření.

Po začátku sedimentace se do suspenze vloží hustoměr tak, aby hruška neulpívala na stěně válce. Hustota se čte na horní straně hustoměru, tisíce se zapisují jako celky. Naměřené hodnoty se zapisují do formuláře. Doba sedimentace se měří v časových intervalech 30 sekund, 1, 2, 5, 15, 45 minut, 2, 5, 24 hodin. Po 3-4 měřeních se vyjme hustoměr z válce, opláchně se a znovu se opatrně vnoří do válce minutu před dalším měřením. Opláchnutím se odstraní částice usazené na horní části hustoměru.

Během sedimentace se měří teplota s přesností $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Podle horizontální stupnice nomogramu se vyhledá příslušná teplotní korekce. [3]

Kombinovaná metoda

Metoda, která při zrnitostním rozboru zahrnuje síťový rozbor a hustoměrnou metodu. Nejprve se provede síťový rozbor, který lze klasifikovat pouze na zrna o velikosti větší než 0,06 mm. Pro menší částice používáme hustoměrnou zkoušku. Pro určení velikostí částic na základě dob sedimentace a k vykreslení křivky zrnitosti (z dat sedimentační zkoušky i síťového rozboru) lze použít soubor MSO Excel, který vytvořil Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998.

Pipetovací metoda

patří do skupiny neopakované sedimentace. Pipetou odebíráme vzorek určitého objemu ze suspenze určité koncentrace. Vzorek odebíráme z určité hloubky a po určitém časovém intervalu od konce míchání suspenze, který se rovná době nezbytné k sedimentaci stanovované frakce do hloubky, z níž vzorek odebíráme. [2]

Pomůcky:

sušárna, exsikátor se sikativem, porcelánové vysoušečky, váhy, síto s velikostí ok 2 mm, písková lázeň, stopky, míchadlo, sedimentační válec o objemu 1000 ml, pipetovací přístroj.

Postup:

Navážka jemnozemě činí 10,00 g (u těžkých a středně těžkých půd) nebo 20,00 g (u lehkých půd). Po ukončení preparace zředíme obsah kádinky destilovanou vodou, promícháme a sléváme do sedimentačního válce přes síto s průměrem ok 0,25 mm, které je vloženo do nálevky. Zbytky v kádince důkladně promyjeme

a spláchneme do válce. Částice $> 0,25$ mm, jež byly zachyceny na síti, sestříkneme do předem zvážené vysoušečky, vodu odpaříme na pískové lázni a pak sušíme 1 hodinu v sušárně při 105°C . Po vychladnutí v exsikátoru se sikativem přesně zvážíme na analytických vahách. Hmotnost frakce zapíšeme. [3]
Suspenzi v sedimentačním válci doplníme po značku 1 litru vodou vytemperovanou na 20°C a změříme její teplotu. [3]

Na základě hodnot měrné hmotnosti a naměřené teploty vypočítáme podle Stokesova vzorce (viz vzorec 4.3) sedimentační časy pro pipetování frakcí částic o průměru $< 0,05$ mm (hloubka 25 cm); $< 0,01$ mm (hloubka 10 cm); $< 0,001$ mm (hloubka 7 cm) nebo $< 0,002$ mm (hloubka 5 cm). Potom válec umístíme na sedimentační stůl a jeho obsah v celé výšce vodního sloupce dokonale promícháme míchadlem po dobu 1 minuty. Od okamžiku ukončení míchání začneme měřit stopkami dobu sedimentace. [3]

Po uplynutí sedimentační doby pro příslušnou frakci pipetujeme z předepsané hloubky automatickou pipetou (25 ml suspenze). S pipetováním v hloubce 25 cm začneme v 10 sekundách, v hloubce 10 cm v čase 12,5 sekund a v hloubkách 7 a 5 cm v 15 sekundách před uplynutím lhůty sedimentace. Rychlost nasávání pipety regulujeme tak, aby v čase sedimentace byla odebraná polovina objemu pipety. Po nasátí celého objemu pipety její obsah vypustíme do zvážené porcelánové vysoušečky o objemu minimálně 30 ml a pipetou do ní vypláchneme malým množstvím vody. Obsah vysoušečky opatrně odpaříme na pískové lázni, dosušíme v sušárně při 105°C , necháme vychladnout v exsikátoru se sikativem, zvážíme hmotnost frakce a hmotnosti zapíšeme k příslušné velikosti zrn. [3]

Výpočty provádíme na hodnotu sušiny.

Obsah frakce $> 0,25$ mm v % vypočítáme podle vzorce:

$$\text{střední písek} = \frac{D \cdot 100}{g} \quad [\%], \quad (4.3)$$

kde D hmotnost odparku frakce > 0,25 mm [g],
g hmotnost navážky sušiny vzorku [g].

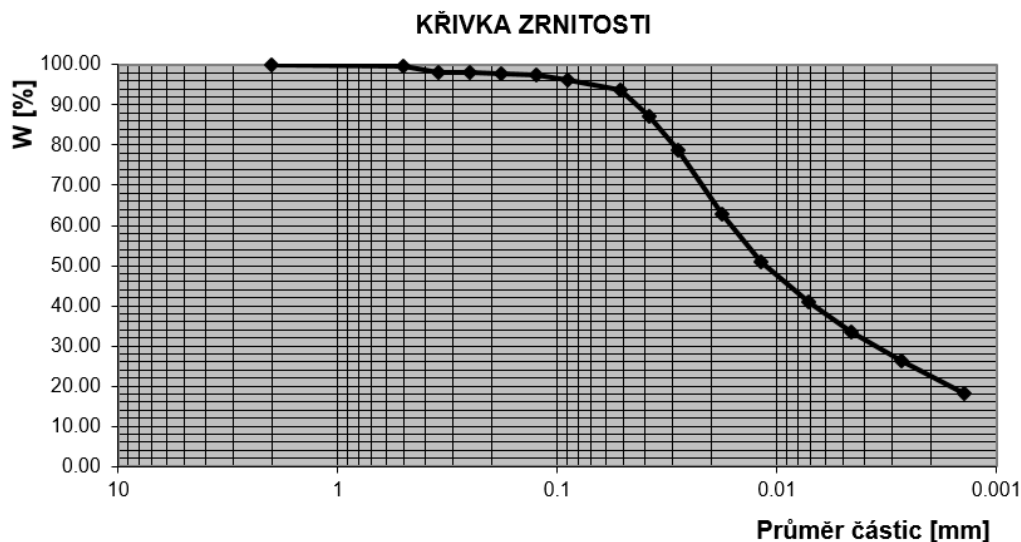
Frakce menší než 0,05 mm, 0,01 mm a 0,001 mm vypočítáme podle vzorce:

$$frakce = \frac{(A-C) \cdot 40 \cdot 100}{g} \quad [\%], \quad (4.4)$$

kde A hmotnost odparku 25 ml suspenze stanovené frakce [g],
C hmotnost odparku 25 ml dispergačního činidla [g],
g hmotnost navážky sušiny vzorku [g].

Výsledky se udávají v procentech jednotlivých frakcí.

Výsledkem zrnitostního rozboru je křivka zrnitosti, která vyjadřuje hmotností podíl jednotlivých zrnitostních frakcí na celkovou hmotnost zeminy. Na vodorovné ose grafu se znázorňuje velikost částecek v mm, na svislé ose hmotností procenta, viz. obrázek 9 Zrnitostní křivka (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc. 1998). Na základě znalosti křivky zrnitosti lze klasifikovat půdu, k čemuž se používají různé klasifikační systémy (Nováková klasifikace, Spirhanzlův klasifikátor, Kopeckého a trojúhelníkový diagram ministerstva zemědělství USA).



Obrázek 9 Zrnitostní křivka (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998)

4.2.2 KLASIFIKACE PŮD

Klasifikace půd podle Nováka

Podle Nováka se základní název zeminy určí podle zastoupení částic I. kategorie (částice o průměru < 0,01 mm) ve vzorku jemnozemi I. Upřesňující označení se stanoví dle ostatních vlastností zeminy, např. zastoupení šterku, obsahu uhličitánů, humusu apod. Do zrnitostní kategorie dle Nováka (uvedené v následující tabulce 4) můžeme zařítovat pouze půdy, které obsahují méně než 50 % skeletu. [3]

Tabulka 4 Klasifikace zrnitosti půd podle Nováka (Kameníčková, 2013)

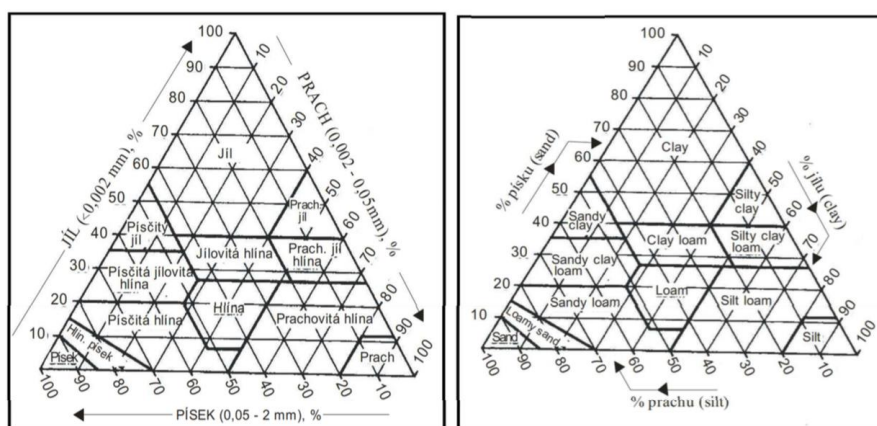
obsah částic < 0,01 mm [% hm.]	označení půdního druhu	základní půdní druhy
0	písek	Lehká půda
0-10	písčítá	
10-20	hlinitopísčítá	
20-30	písčitohlinitá	Střední půda
30-45	hlinitá	Těžká půda
45-60	jílovitohlinitá	
60-75	jílovitá	

Zrnitostní klasifikace podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR

Za účelem určení zrnitostních tříd podle Taxonomické klasifikačního systému půd ČR byly převzaty zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (USDA), tabulka 5 a trojúhelníkový diagram obrázek 10.

Tabulka 5 Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (Kameníčková, 2013)

Název frakce	Průměr částic (mm)
Jíl	<0,002
Prach	0,002-0,05
Písek	0,05-2,0
Velmi jemný písek	0,05-0,1
Jemný písek	0,1-0,25
Střední písek	0,25-0,5
Hrubý písek	0,5-1,0
Velmi hrubý písek	1,0-2,0



Obrázek 10 Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Systém ministerstva USA, z něho odvozený systém, který používá Taxonomický klasifikační systém půd ČR. (Kameníčková, 2013)

4.3 ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTIC

Udává poměr hmotnosti pevných částíček půdy k jejich objemu. Je to stav uměle vytvořený, bez pórů, který se u sypkých materiálů zjišťuje pomocí pyknometru. Hmotnost částíček, které tvoří zeminu, se určuje vážením po vysušení při 105°C. Objem se určí jako objem vytlačené kapaliny. K stanovení měrné hmotnosti zemin se používají různé metody, k nejpoužívanějším patří stanovení ve vodních pyknometrech. [3]

Pomůcky:

Destilovaná voda, plynový kahan, porcelánové misky, pyknometry „Gay-Lussac“ se širokým hrdlem a zátkou o obsahu 100 cm³, sušárna, skleněná sklenička, váha, vodní lázeň 20°C, nálevka z umělé hmoty, teploměr.

Postup:

Do porcelánové misky navážíme 10 g jemnozeme I, doplníme destilovanou vodou, vaříme po dobu 3-10 minut. Vařením se vypudí vzduch, odpařenou vodu doplňujeme. Pyknometr naplníme až po hrdlo převařenou destilovanou vodou, zátku necháme volně zapadnout, temperujeme ve vodní lázni na teplotu 20 °C. Pyknometr osušíme, provedeme kontrolu (pod zátkou nesmí zůstat bublina) a pak jej zvážíme. Vylijeme vodu z pyknometru, zchlazenou suspenzi přelijeme beze ztrát do pyknometru a doplníme až po hrdlo destilovanou převařenou vodou, temperujeme na 20°C, osušíme a zvážíme. [3]

Následně provedeme výpočet objemu naváženého vzorku:

$$V_v = P_V + N_S - P_S \quad [cm^3], \quad (4.5)$$

kde V_v objem naváženého vzorku [cm³],

- P_V hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],
 N_S navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g].

Zdánlivou hustotu pevných částic vypočítáme pomocí vzorce:

$$\rho_S = \frac{N_S}{V_V} = \frac{N_S}{P_V + N_S - P_S} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}], \quad (4.6)$$

- kde ρ_S zdánlivá hustota pevných částic [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
 V_V objem naváženého vzorku [cm^3],
 P_V hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],
 N_S navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g].

4.4 ROZBOR NEPORUŠENÉHO PŮDNÍHO VZORKU

Neporušený půdní vzorek obsahuje půdu v jejím původním uložení. Určuje tedy skutečný stav horizontu a z rozboru vzorku můžeme určit vzdušné a vodní charakteristiky půdy, ale i objemově – hmotnostní veličiny.

Pomůcky:

Kopeckého válečky o objemu 100 cm^3 , váha s přesností na 0,01g, destilovaná voda, kruhový filtrační papírek, hodinové sklo o průměru 7 – 8 cm, sušička, zařízení pro kapilární nasávání válečků, rovná lopatka.

Postup:

V laboratoři z Kopeckého válečku sejmeme ochranná víčka a vzorek zvážíme (momentální vlhkost). Nejprve vzorek necháme kapilárně nasytit destilovanou vodou pomocí 4 vrstev filtračního papíru. Vzorek položíme na filtrační papíry (částečně ponořené do destilované vody) stranou s břitem a horní stranu

zakryjeme hodinovým sklem, abychom zabránili výparu. Takto necháme vzorek nasycovat po dobu 24 hodin (bobtnavé vzorky s obsahem jílových minerálů až 72 hodin). Poté vzorek sesunutím do strany sejmeme z filtračních papírů a opět zvážíme (nasáklivost). [3]

Váleček znovu postavíme na vrstvu 4 filtračních papírů a zakryjeme hodinovým sklem. V tuto chvíli začíná odsávání vody ze vzorku. Zvážením vzorku po 30 minutách dostáváme hodnotu pro výpočet vlhkosti 30' [3]

Vzorek opět umístíme na filtrační papíry a zvážíme po 2 hodinách odsávání od doby plného kapilárního nasycení, což znamená 90 minut od předchozího měření. Tuto hodnotu hmotnosti použijeme pro výpočet maximální kapilární vodní kapacity podle Nováka. [3]

Vodu ze vzorku odsáváme dalších 22 hodin (24 hodin od plného kapilárního nasycení) a naměřenou hodnotu hmotnosti použijeme ke stanovení přibližné retenční vodní kapacity. [3]

Vzorek vysušíme do konstantní hmotnosti při 105 °C a opět zvážíme, tuto hodnotu použijeme pro určení hmotnosti sušiny. [3]

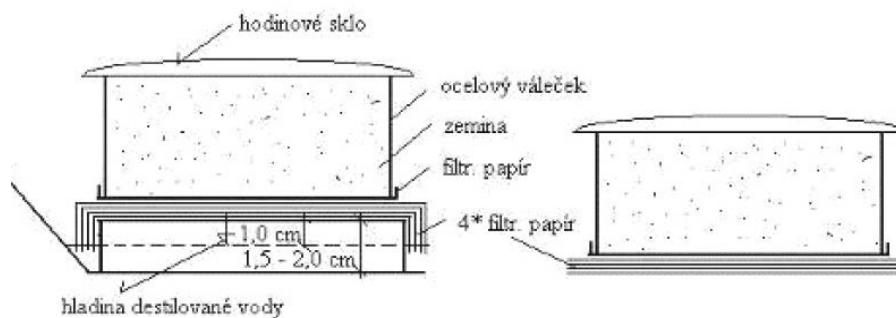
Vzorek se váží v různých vlhkostních stavech, poté se naměřené hodnoty zapisují do formuláře, (viz. tabulka 6).

Tabulka 6 Formulář pro záznam stanovených hodnot (Kameníčková, 2013)

Stanovení	symbol	výpočet	jednotka
Momentální vlhkost	θ	$(G_A - G_F)$	% obj.
Nasáklivost	θ_{ns}	$(G_B - G_F)$	% obj.
Vlhkost 30'	θ_{30}	$(G_C - G_F)$	% obj.
Max. kap. vodní kapacita	θ_{MKK}	$(G_D - G_F)$	% obj.
Retenční vodní kapacita	θ_{RVK}	$(G_E - G_F)$	% obj.
Zdánlivá hustota pevných částic	ρ_s	$N_s / (N_s + P_v - P_s)$	$g \cdot cm^{-3}$
Sušina	G_H	$G_F - (G_v + G_s)$	g
Objemová hmotnost	ρ_d	G_H / V_s	$g \cdot cm^{-3}$
Celková pórovitost	P	$(\rho_s - \rho_d) \cdot 100 / \rho_s$	% obj.
Kapilární pórovitost	P_K	θ_{RVK}	% obj.
Nekapilární pórovitost	P_N	$P - \theta_{30}$	% obj.

provzdušenost	Vz	$P - \theta_{\text{mom}}$	% obj.
Max. kap. vzdušná kapacita	K_{MKKvz}	$P - \theta_{\text{MKK}}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	K_{RVKvz}	$P - \theta_{\text{RVK}}$	% obj.

- kde G_A vzorek s přirozenou vlhkostí [g],
 G_B vzorek kapilárně nasycený [g],
 G_C vzorek po 30' odsávání [g],
 G_D vzorek po 2 hodinách odsávání [g],
 G_E vzorek po 24 hodinách odsávání [g],
 G_F vzorek při vysušení při 105 °C [g],
 G_H čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g],
 G_V hmotnost fyzikálního válečku [g],
 G_S hmotnost hodinového skla [g],
 N_S navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic [g],
 P_V hmotnost pyknometru s vodou [g],
 P_S hmotnost pyknometru se zeminou [g],
 V_S objem fyzikálního válečku [cm³].



Obrázek 11 Rozbor neporušeného půdního vzorku (Kameníčková, 2013)

4.4.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Objemovou hmotností rozumíme hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu s póry, které jsou vyplněny obsahem vody a vzduchu. Hodnota je závislá na měrné hmotnosti a pórech, které jsou zaplněny v nějaké míře vodou. Mění se během roku a tím je hodnota nestálá. Hodnota objemové hmotnosti kolísá v rozmezí od 0,2 g.cm⁻³ u rašelin, do 1,8 g.cm⁻³ u zhutněných zemin. Nejčastěji se však pohybuje v rozmezí od 1,2 g.cm⁻³ do 1,6 g.cm⁻³. [1]

Neredukovaná objemová hmotnost

Neredukovaná objemová hmotnost je závislá na okamžité vlhkosti půdy, která nemá konstantní hodnotu. V průběhu roku se pórovitost mění v důsledku smršťování a bobtnání půdy při změně vlhkosti.

Pro výpočet neredukované objemové hmotnosti použijeme vztah:

$$\rho_v = \frac{G_a}{V_s} \quad [g \cdot cm^{-3}], \quad (4.7)$$

kde V_s objem Kopeckého válečku [cm³],
 G_a vzorek s přirozenou vlhkostí [g],
 ρ_v objemová hmotnost neredukovaná [g.cm⁻³].

Pomůcky:

Kopeckého váleček, souprava pro odběry vzorků, sušárna, váha s přesností 0,001g.

Postup:

Vzorek půdy v neporušeném stavu odebraný do Kopeckého válečků se v laboratoři zváží (obrázek 13) a vysuší se při 105 °C do konstantní hmotnosti (obrázek 12). Nechá se vychladnout a zváží se.



Obrázek 12 Váženky v sušící komoře (vlastní foto)



Obrázek 13 Vážení vzorků půdy na váze s přesností 0,001g (vlastní foto)

Redukovaná objemová hmotnost

Redukovaná objemová hmotnost se měří až po vysušení vzorku při 105°C. Ve spodní vrstvě půdy se objemová hmotnost zvyšuje, ve svrchní vrstvě půdy se pohybuje 1,2 – 1,5 g.cm⁻³ a je stálější.

Pro výpočet redukované objemové hmotnosti použijeme vztah:

$$\rho_d = \frac{G_F}{V_s} \quad [g \cdot cm^{-3}], \quad (4.8)$$

- kde ρ_d objemová hmotnost redukovaná [g.cm⁻³],
 G_F hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g],
 V_s objem Kopeckého válečku [cm³].

Na základě znalosti objemové hmotnosti můžeme posoudit strukturní stav humusového horizontu podle tabulky 7.

Tabulka 7 Strukturní stav humusového horizontu u středně těžkých a těžkých půd (Kutílek, 1978)

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost půdy (g.cm ⁻³)
Výborný	< 1,2
Dobrý	1,2 – 1,4
Nevyhovující	1,4 – 1,6
Nestrukturní	1,6 – 1,8

Kritické hodnoty objemové hmotnosti podle Lhotského na základě znalosti půdního druhu jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Kritické objemové hmotnosti po vysušení podle Lhotského (Kameníčková, 2013)

Půdní druh	J	JV _d JH	H	PH	HP	P
ρ_d kritické (g/cm ³)	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70

4.4.2 MOMENTÁLNÍ VLHKOST

Momentální vlhkost vyjadřuje okamžité zastoupení vody v půdě v době odběru neporušeného vzorku. Tato hodnota je velmi proměnlivá, je závislá na srážkovém úhrnu, teplotách, výparu, spotřebě rostlinami a dalších vlivech. Je také ovlivněna hladinou podzemní vody. [1]

Vlhkost vyjadřuje zastoupení kapalné fáze v půdě, nejjednodušeji ji můžeme stanovit vážením vzorku před a po vysušení při 105 °C do konstantní hmotnosti.

Objemová vlhkost:

$$\theta = \frac{V_W}{V_S} \cdot 100 \quad [\% \text{ obj.}], \quad (4.9)$$

kde θ objemová vlhkost [% obj.],
 V_S objem vzorku [cm^3],
 V_W objem vody ve vzorku [cm^3].

Hmotnostní vlhkost:

$$w = \frac{M_W}{M_Z} \cdot 100 \quad [\% \text{ hm.}], \quad (4.10)$$

kde w hmotnostní vlhkost [% hm],
 M_Z hmotnost vzorku [g],
 M_W hmotnost vody ve vzorku [g].

4.4.3 NASÁKLIVOST

Nasáklivost vyjadřuje maximální možné zaplnění pórů při kapilárním nasycení půdy, počítá se pomocí vzorce:

$$\theta_{ns} = G_B - G_F \quad [\% \text{ obj.}], \quad (4.11)$$

kde θ_{ns} nasáklivost [% obj.],
 G_B hmotnost vzorku kapilárně nasyceného [g],
 G_F hmotnost vzorku vysušeného při 105 °C [g].

V laboratoři se stanovuje jako kontrola správnosti určení pórovitosti. U některých nebobtnavých půd by měla být poněkud nižší než pórovitost. U bobtnavých půd pak nasáklivost zastupuje pórovitost. [3]

4.4.4 PÓROVITOST

V objemu půdy je část prostorů nezaplňených tuhými fázemi – půdní hmotou. Tyto prostory, které mají různý tvar a velikost, jsou nazvány půdní póry. Póry většinou nejsou od sebe odděleny, jsou spojitě, i když od místa k místu mají rozdílný tvar a velikost. Někdy se tvar pórů idealizuje a předpokládá se pro zjednodušení, že jsou válcové. Charakterizuje se potom rozměrem – průměrem. Protože jde o zjednodušení, uvádí se ekvivalentní průměr pórů a procentuální množství pórů o určitém ekvivalentním průměru. [1]

Pórovitost vypočítáme z hodnoty objemové hmotnosti a měrné hmotnosti půdy pomocí vztahu:

$$P = \frac{\rho_z - \rho_d}{\rho_z} \quad [\%], \quad (4.12)$$

$$\rho_d = \frac{m_z}{V_s}, \quad \rho_z = \frac{m_z}{V_z} \quad [g.cm^{-3}], \quad (4.13)$$

kde ρ_d objemová hmotnost [$g.cm^{-3}$],
 ρ_z měrná hmotnost [$g.cm^{-3}$],
 V_s celkový objem půdy [%],
 V_z objem tuhé fáze [%].

Pórovitost dělíme na základní druhy:

Celková pórovitost – poměr objemu pórů k celkovému objemu zeminy

Retenční pórovitost – poměr maximálního objemu k celkovému objemu prostředí

Pórovitost můžeme také rozdělit podle původu na primární a sekundární, dle rozměrů na nekapilární, kapilární a semikapilární. Podle tvaru pórů se rozlišuje mezizrnová, puklinová, krasová a různé druhy kombinované pórovitosti. [1]

Na základě znalosti pórovitosti lze klasifikovat ulehlost ornice a podorničí podle Bretfelda, (viz. tabulka 9).

Tabulka 9 Klasifikace půdy podle Bretfelda (Kutílek, 1978)

Pórovitost půd lehkých (%)	Označení ulehlosti	Pórovitost půd středně těžkých a těžkých (%)
ornice		
>65	Kyprá	>65
65-50	Mírně ulehlá	65-55
50-40	Ulehlá	55-45
<40	Velmi ulehlá	<45
Spodina		
>50	Kyprá	>57
50-43	Mírně ulehlá	57-46
43-35	Ulehlá	46-35
<35	Velmi ulehlá	<35

Stanovení kritických hodnot pórovitosti podle Lhotského je patrné z tabulky 10.

Tabulka 10 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (Kameníčková, 2013)

Půdní druh	J	JV,JH	H	PH	HP	P
Kritická P	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

4.4.5 ROZDĚLENÍ PÓRŮ V PŮDNÍM VZORKU

Kapilárními póry je voda schopna vzlínat, tedy pohybovat se směrem proti gravitaci. Velké zastoupení kapilárních pórů znesnadňuje infiltraci a zvyšuje povrchový odtok, naopak při nedostatku těchto pórů půda nedokáže zadržet potřebné množství vody pro rostliny. [3]

Semikapilární póry jsou přechodem mezi kapilárními a nekapilárními póry. Dochází v nich k ustalování hladiny, voda díky nim lépe proniká do půdy a dokáže nasytit kapilární póry do větší hloubky. [3]

Nekapilární póry jsou prostory, ze kterých voda odtéká gravitačně. Při nadbytku těchto pórů voda rychle proudí vrstvou půdy bez možnosti nasycení kapilárních pórů a odteče z dosahu kořenů. [3]

Kapilární póry by měly optimálně tvořit 2/3 pórovitosti, zbytek by měl být rovnoměrně rozdělen mezi póry semikapilární a nekapilární. Nadbytek neumožní vsak vody do půdy, a naopak nedostatečné zastoupení ukazuje na nízkou zásobu vody v půdním profilu. [3]

4.4.6 PROVZDUŠENOST

Provzdušenost vyjadřuje okamžitý obsah vzduchu v půdě, rozdíl mezi pórovitostí a vlhkostí půdy. Obsah vzduchu v půdě ovlivňuje chemické reakce v půdě a také důležitý pro růst rostlin.

Provzdušenost počítáme dle následujících vztahů:

$$V_Z = \frac{V_A}{V_S} \cdot 100 = P - \theta \quad [\% \text{ obj.}], \quad (4.14)$$

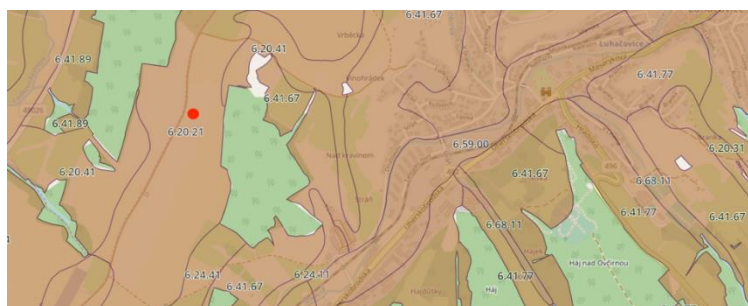
kde V_Z provzdušenost [% obj.],
 V_S objem vzorku [cm^3],
 V_A objem vzduchu ve vzorku [% obj.],
 P pórovitost [% obj.],
 θ okamžitá vlhkost [% obj.].

Optimální hodnota provzdušenosti pro louky se pohybuje od 9 % do 12 % obj. V případě poklesu provzdušenosti pod hodnotu 6 % obj. je nutné provést vhodné agrotechnické opatření. [2]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

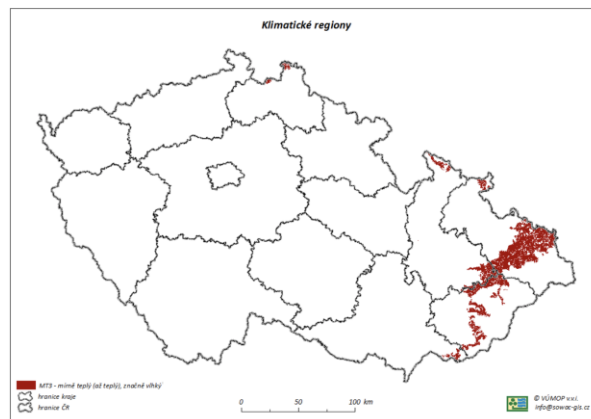
Experimentální plocha (LV 1576/9) se nachází v blízkosti města Luhačovice ve Zlínském kraji (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E). Výměra plochy činí 13,15 ha. Jedná se o zatravněný pozemek, který je celoročně sečen bez dalších úprav. V lokalitě, viz. obrázek 14, se nachází bonitovaná půdní ekologická jednotka 6.20.21.



Obrázek 14 Mapa BPEJ v zájmovém území (www.bpej.vumop.cz)

Experimentální plocha se nachází v šestém klimatickém regionu, viz. obrázek 15, který zahrnuje Moravskou bránu, Ostravskou pánev, část Podbeskydské pahorkatiny a malou část frýdlantského výběžku.

Lokalita se nachází na mírných svazích se sklonem 3–7 ° s jižní expozicí nebo se západní či východní a celkový obsah skeletu do 25 %, kde se převážně vyskytují renzidy a pararenzidy. Jsou zde hluboké až středně hluboké půdy, které jsou velmi málo produkční.



Obrázek 15 Mapa šestého klimatického regionu (<https://bpej.vumop.cz/62021>)

Tyto půdy mají velmi nízkou rychlost infiltrace i při úplném nasycení, zahrnují především jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy s téměř nepropustným podložím (viz. obrázek 16). [5]



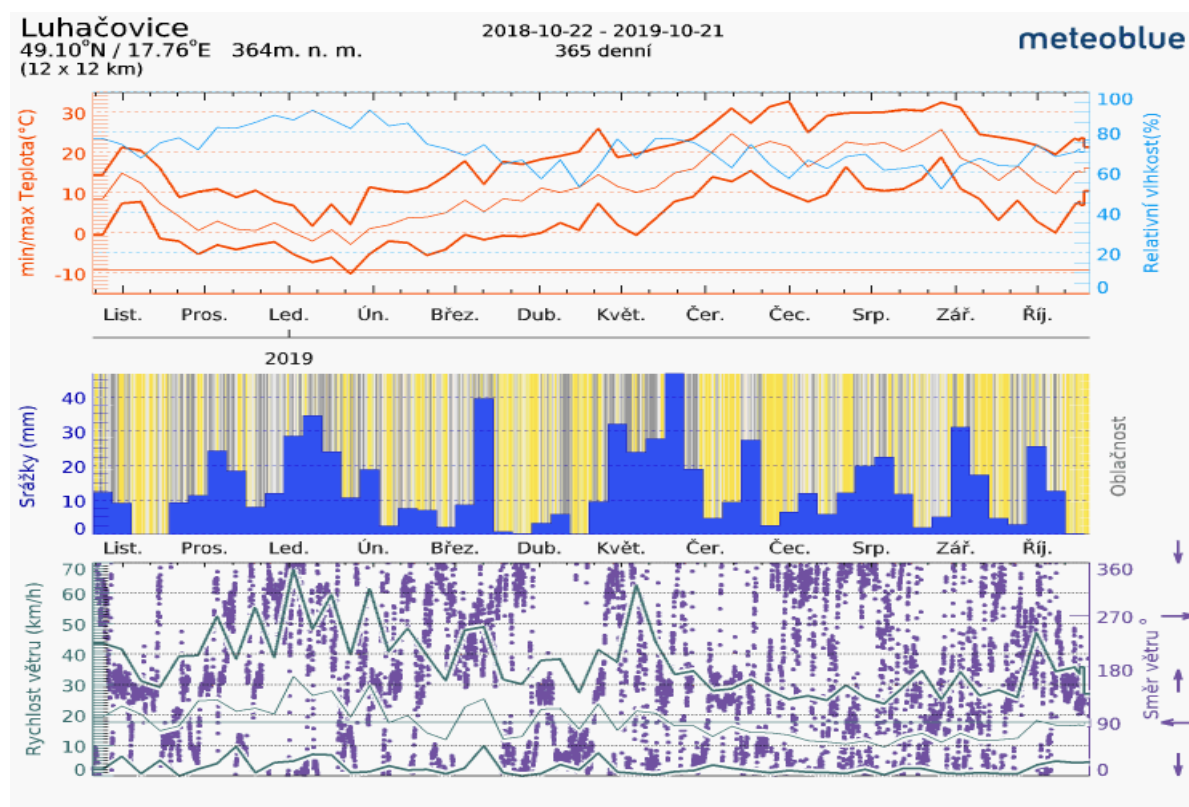
Obrázek 16 Půdní profil typu 6.20.21 (<https://bpej.vumop.cz/62021>)

5.1.1 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Experimentální lokalita patří do povodí Moravy, kde se nachází VD Luhačovice na Luhačovickém potoce. Potok leží na povodí řeky Olšavy od pramene až do lázeňského města, ke které se připojují další drobné toky bystřinného charakteru.

5.1.2 KLIMATICKÉ POMĚRY

Město Luhačovice se nachází v mírně teplém až teplém regionu s mírně vlhkým prostředím. Údaje o srážkách a teplotách jsou patrné z obrázku 17. Průměrný úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 700–900 mm, průměrná roční teplota 7,5 – 8,5 °C. [5]



Obrázek 17 Úhrn srážek, max/min teplota a rychlost větru Luhačovice (www.meteoblue.com)

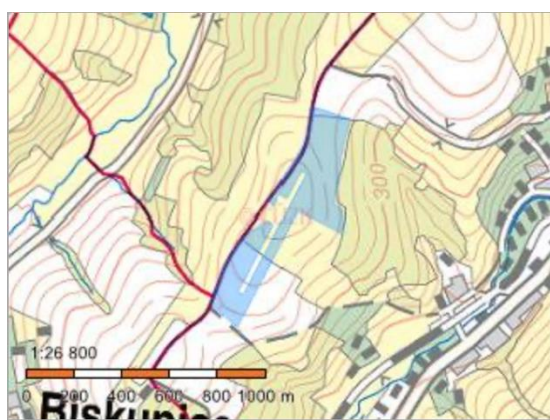
5.2 ODBĚR VZORKŮ A MĚŘENÍ POMOCÍ MINIDISKŮ

Z experimentální plochy se odebíraly neporušené a porušené půdní vzorky, které byly zpracovány v pedologické laboratoři ÚVHK na Vysokém učení technickém v Brně. Výsledky laboratorních rozborů jsou prezentovány ve formě grafů a tabulek, které jsou uvedené v textové a přílohové části.

Vzorky z experimentální plochy byly odebírány na pozemku číslo 1576/9 (viz. obrázek 18) přibližně po měsíci, během osmi výjezdů, (viz. tabulka 11).

Tabulka 11 Tabulka výjezdů na experimentální plochu

Výjezd číslo	Datum
1. Výjezd	30.4.2019
2. Výjezd	4.5.2019
3. Výjezd	12.5.2019
4. Výjezd	2.6.2019
5. Výjezd	30.6.2019
6. Výjezd	2.7.2019
7. Výjezd	31.8.2019
8. Výjezd	21.9.2019



Obrázek 18 Pozemek č.1576/9 (<https://nahlizenidokn.cuzk.cz>)

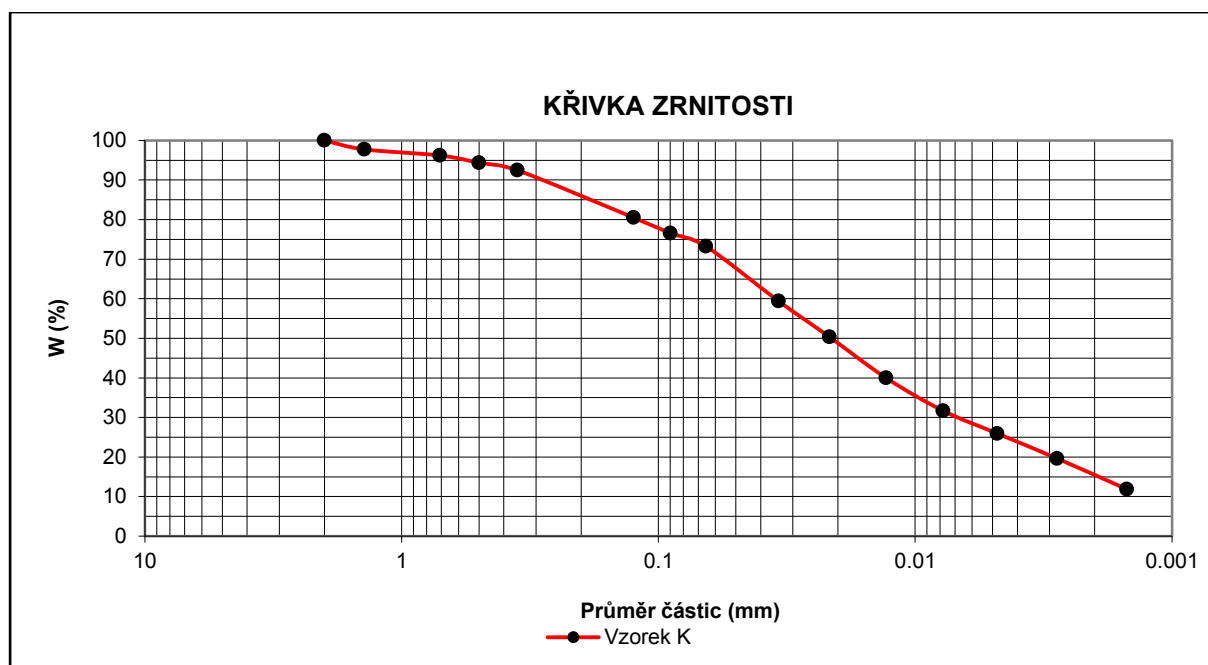
5.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky laboratorních rozborů jsou zpracované ve formě grafů a tabulek v přílohové části 1 až 3. Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností jsou uvedené v textové části v tabulce 12 a nenasycená hydraulická vodivost v tabulce 13 a v obrázku 27.

5.3.1 ZRNITOSTNÍ ROZBOR

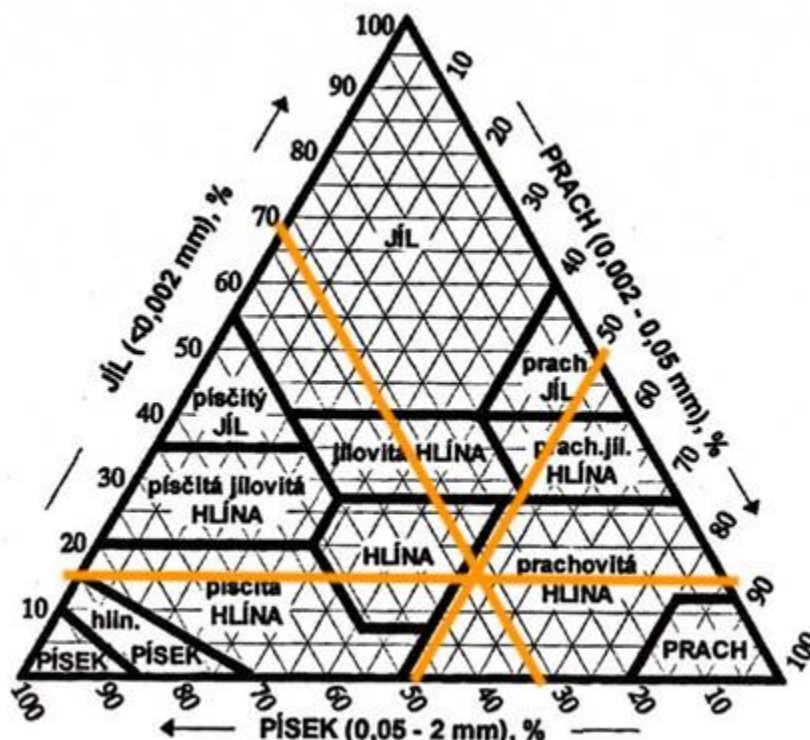
Rozbor byl proveden kombinovanou metodou, tzn. prosévání na sítích a hustoměrnou zkouškou podle A. Gassagrandeho. Metody jsou podrobně popsány v kapitole 4.2 a podkapitole 4.2.2 jsou uvedené použité klasifikace půdy podle zrnitosti.

Zápisy měření a vyhodnocení zrnitostního rozboru půdy jsou uvedeny v přílohové části v tabulkách 1.1, grafické průběhy jsou patrné z obrázku 1.1.



Obrázek 19 Průběh grafu zrnitostního rozboru

Ze zrnitostního rozboru je patrné (obrázek 19), že zastoupení částic 0,01 mm je 35%, dle Nováka byla půda klasifikována jako středně těžká hlinitá půda a dle USDA jako prachovitá hlína (zastoupení: jílu 14,84 %, prachu 51,63 % a písku 33,53%), viz. obrázek 20.



Obrázek 20 Klasifikace dle USDA

5.3.2 ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PEVNÝCH ČÁSTÍ

Zdánlivá hustota pevných částic nebyla měřena a byla použita průměrná hodnota pro půdy v ČR, tj. $2,65\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

5.3.3 ROZBOR NEPORUŠENÉHO PŮDNÍHO VZORKU

K rozboru neporušeného půdního vzorku byly použity 3 vzorky z každého výjezdu (8). Výsledky laboratorních rozborů jsou uvedené v přílohové části číslo 2,

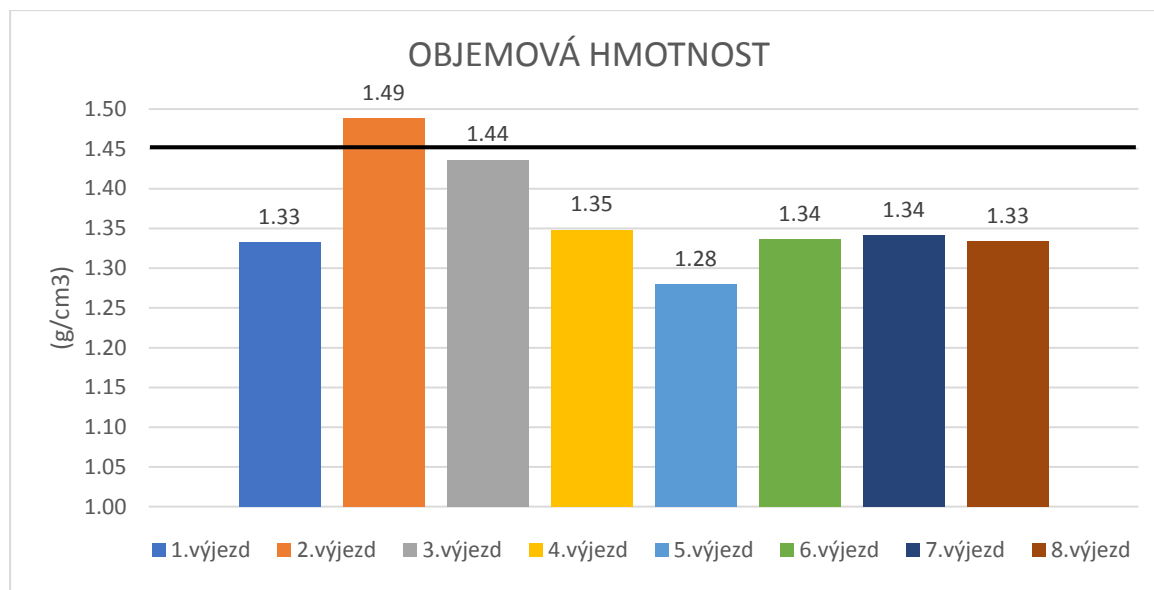
v textové části jsou uvedeny průměrné hodnoty posuzovaných prediktorů, tabulka 12 a grafické výstupy v obrázcích podkapitol 5.3.4, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.9. Posuzované prediktory (pórovitost, objemová hmotnost, nasáklivost, provzdušenost a momentální vlhkost) jsou popsány níže.

		1. výjezd 30.04.	2. výjezd 04.05.	3. výjezd 12.05.	4. výjezd 02.06.	5. výjezd 30.06.	6. výjezd 02.07.	7. výjezd 31.08.	8. výjezd 21.09.	jednotky
hloubka odběru	h	10	10	10	10	10	10	10	10	cm
objemová hmotnost redukována	ρ_d	1,33	1,49	1,44	1,35	1,28	1,34	1,34	1,33	g.cm^{-3}
momentální vlhkost	Θ	31,24	29,18	27,83	21,50	18,85	22,75	25,90	29,09	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	31,72	30,68	30,81	29,93	44,26	41,25	41,92	41,95	% obj.
pórovitost	P	49,72	43,82	45,81	49,13	51,71	49,57	49,38	49,67	% obj.
kapilární póry	P_K	28,85	27,77	29,23	23,45	31,22	34,77	30,27	30,53	% obj.
semikapilární póry	P_S	2,08	2,24	0,50	3,83	10,17	4,67	9,97	10,98	% obj.
nekapilární póry	P_N	18,78	13,81	16,08	21,85	10,32	10,13	9,14	8,16	% obj.
provzdušenost	V_Z	18,48	14,65	17,99	27,63	32,85	26,82	23,49	20,58	% obj.

Tabulka 12 Průměrné hodnoty neporušeného půdního vzorku z 8. výjezdů

5.3.4 OBJEMOVÁ HMOTNOST REDUKOVANÁ

Průměrné hodnoty objemové hmotnosti lze vidět v obrázku 21. Ve sledovaném období se hodnoty pohybují od 1,28 do 1,49 g.cm^{-3} . Kritická hodnota pro hlinitou půdu je $\rho_{krit} = 1,45 \text{ g.cm}^{-3}$. Tato hodnota byla překročena ve výjezdu č. 2. Na základě znalosti objemové hmotnosti byl klasifikován strukturní stav humusového horizontu jako dobrý, pouze ve výjezdu č. 2 byl nevyhovující (hodnoty byly ovlivněny vytrvalými srážkami). Průměrná hodnota objemové hmotnosti ve sledovaném období byla 1,36 g.cm^{-3} .

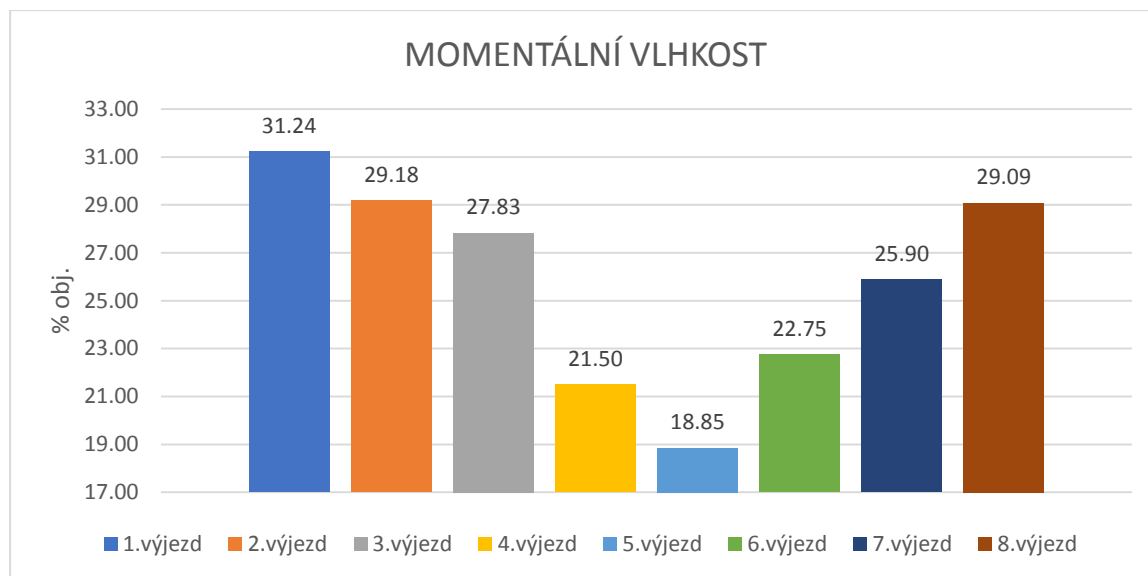


Obrázek 21 Graf průběhu průměrných hodnot objemové hmotnosti redukované

5.3.5 MOMENTÁLNÍ VLHKOST

Vlhkost půdy není konstantní hodnota, závisí na výparu, teplotě, srážkovém úhrnu a dalších vlivech. Momentální vlhkost a její výpočet je popsán v kapitole 4.4.2.

V průběhu vegetačního období se hodnoty momentální vlhkosti (obrázek 22) pohybovaly od 18,85 % obj. do 31,24 % obj.. Nejnižší hodnota byla naměřena v červnu, kdy nedocházelo téměř ke srážkám a nejvyšší hodnota 31,24 % obj. v dubnu. Průměrná hodnota momentální vlhkosti byla ve sledovaném období 25,79 % obj.. Výsledky ve 2. výjezdu byly ovlivněny předchozími vytrvalými dešti.



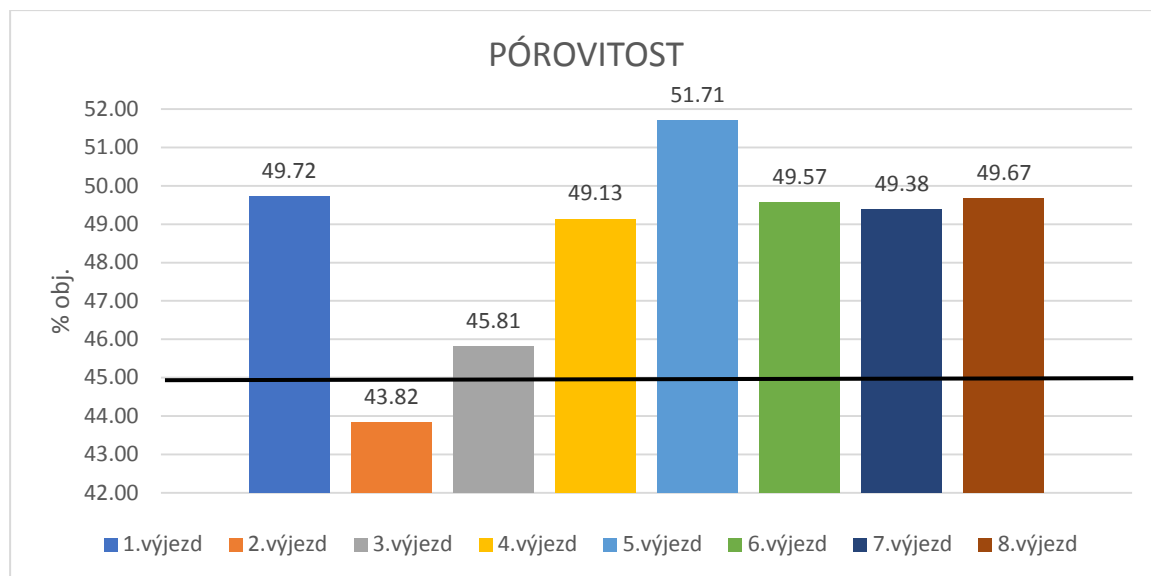
Obrázek 22 Graf průběhu průměrných hodnot momentální vlhkosti

5.3.6 PÓROVITOST

Pórovitost vyjadřuje zastoupení všech druhů póru v půdním horizontu podle procentuálního zastoupení.

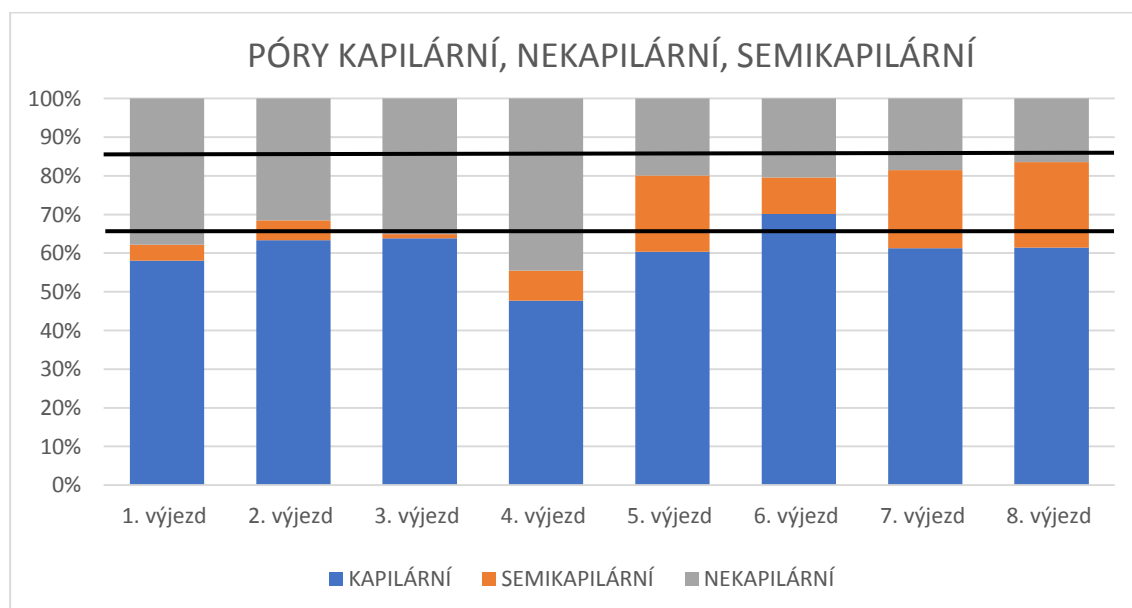
Pro zajištění optimální kapacity vody v půdě je důležitá i pórovitost, ale také i zastoupení jednotlivých druhů pórů. Kapilární póry by měly tvořit 2/3 z pórovitost, zbytek by měl být rozdělen mezi semikapilární a nekapilární póry.

Ve sledovaném období se pórovitost pohybuje v rozmezí 43,52 – 51,71 % (obrázek 23). Průměrná hodnota pórovitosti ve sledovaném období byla 48,60 %. Stav svrchní vrstvy půdy (ornice) lze převážně klasifikovat jako ulehlý a výjimečně velmi ulehlý (2. výjezd), kdy byla překročena i kritická hodnota podle Lhotského $P < 45\%$ obj. (tabulka 8). To bylo způsobeno a ovlivněno předcházejícím vytrvalými srážkami.



Obrázek 23 Graf průběhu průměrných hodnot pórovitosti

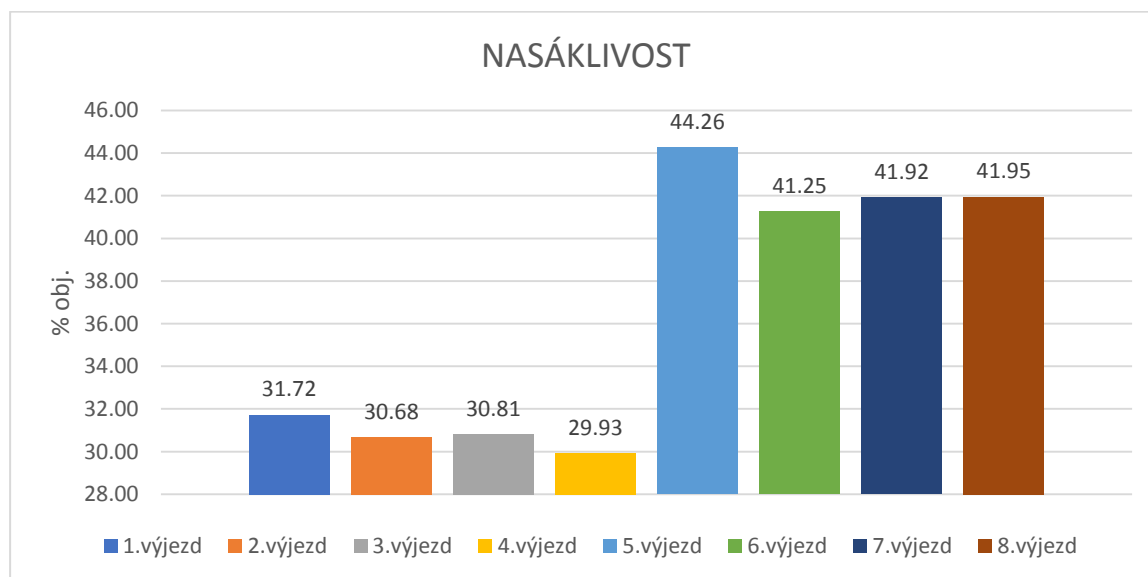
Zastoupení jednotlivých druhů pórů je patrné z obrázku 24. Optimální zastoupení kapilárních pórů bylo dosaženo prakticky ve všech výjezdech mimo 2. a 4., póry semikapilární a nekapilární jsou zastoupeny nerovnoměrně, optima jsou prakticky dosažena v 5., 7. a 8. výjezdu. Ve sledovaném období se předpokládá dostatečná zásoba vody ve svrchní vrstvě půdy (kromě 4. výjezdu).



Obrázek 24 Graf průběhu průměrných hodnot pórů kapilárních, nekapilárních a semikapilárních

5.3.7 NASÁKLIVOST

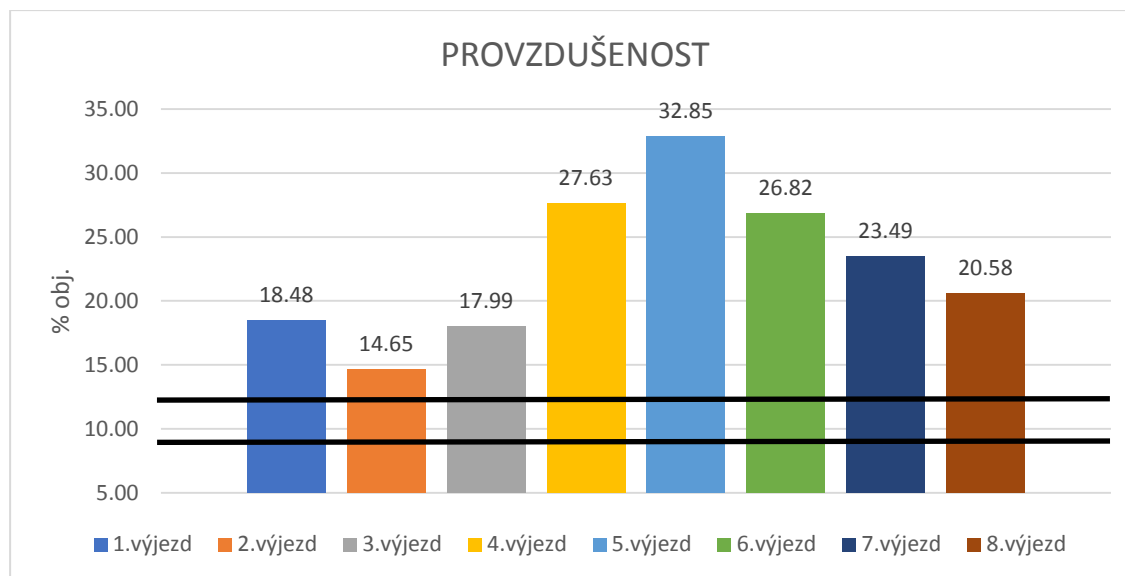
Ve sledovaném období se nasáklivost pohybovala od 29,93 % do 44,26 % obj. První čtyři výjezdy se nasáklivost neměnila, pak výrazně vzrostla a pohybovala se konstantně. Průměrná hodnota nasáklivosti ve sledovaném období byla 36,57 % obj.. Ve 2. výjezdu byly výsledky ovlivněny vytrvalým deštěm.



Obrázek 25 Graf průběhu průměrných hodnot nasáklivosti

5.3.8 PROVZDUŠENOST

Vyjadřuje momentální obsah vzduchu, který je vyjádřený poměrem objemu vzduchu ve vzorku a objem vzorku. Naměřené hodnoty na experimentální ploše se nepohybovaly v optimálním rozmezí provzdušenosti (louky: 9 až 12 % obj.), viz. obrázek 26. Ve sledovaném období byly překročeny, přičemž v 5. výjezdu byla hodnota nejvyšší z důvodu nízkých srážkových úhrnů, čímž došlo ke snížení momentální vlhkosti a voda byla nahrazena vzduchem v pórech. Průměrná hodnota provzdušenosti byla ve sledovaném období 22,81 % obj.. Minimální hodnota byla dosažena ve 2. výjezdu, kdy výsledky byly ovlivněny předcházejícím vytrvalým deštěm.



Obrázek 26 Graf průběhu průměrných hodnot provzdušenosti

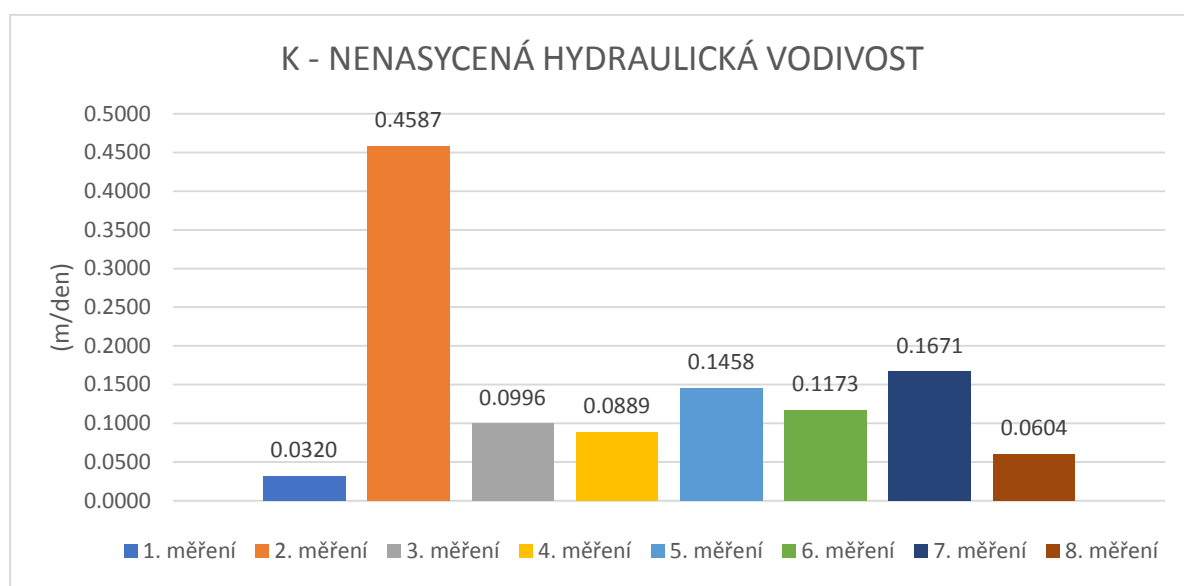
5.3.9 NENASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST

Nenasycená hydraulická vodivost charakterizuje rychlost proudění vody půdou. Měření probíhalo v terénu pomocí MiniDisků, k vyhodnocení se použily výpočty z kapitoly 3.1.2. Výsledné hodnoty byly určeny jako průměrné hodnoty z 3 měření a jsou uvedeny v tabulce 14 a v obrázku 27. V přílohouvé části číslo 3 je uvedeno měření a průběžné výpočty.

Tabulka 13 Průměrné hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti K

měření	datum	průměr K (m/den)
1. měření	30. duben 2019	0,0320
2. měření	4. květen 2019	0,4587
3. měření	12. květen 2019	0,0996
4. měření	2. červen 2019	0,0889
5. měření	30. červen 2019	0,1458
6. měření	2. červenec 2019	0,1173
7. měření	31. srpen 2019	0,1671
8. měření	21. září 2019	0,0604

Z obrázku 27 je patrné, že průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti jsou odrazem objemové hmotnosti a pórovitosti. Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti se pohybovaly od 0,032 do 0,4587 m/den. Výsledky 2. výjezdu měření infiltrace byly ovlivněny předcházejícím vytrvalým deštěm. Porovnáme – li dosažené výsledky, nejsou velké rozdíly v dosažených hodnotách mezi 3. a 7. měřením.



Obrázek 27 Graf průměr K-nenasycená hydraulická vodivosti

6 ZÁVĚR A DISKUZE

V diplomové práci bylo vyhodnoceno celkem 9 parametrů – objemová hmotnost redukovaná, momentální vlhkost, nasáklivost, pórovitost, kapilární póry, semikapilární póry, nekapilární póry, provzdušenost, nenasycená hydraulická vodivost. Tyto parametry se používají jako indikátory kvality půdy. Experimentální výzkum probíhal v blízkosti obce Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E) v roce 2019 na zatravněné ploše, která byla upravována mulčovací sekačkou.

Dle křivky zrnitosti bylo stanoveno složení půdy v dané lokalitě. Půda byla klasifikována dle Nováka jako středně těžká hlinitá půda (obrázek 19) a podle klasifikace USDA jako prachovitá hlína (obrázek 20). Objemová hmotnost se pohybovala od 1,28 do 1,49 g.cm⁻³ a průměrná hodnota byla 1,36 g.cm⁻³. Na základě objemové hmotnosti byl klasifikován strukturní stav humusového horizontu převážně jako dobrý, pouze ve výjezdu č. 2 byl nevyhovující (obrázek 21). Momentální vlhkost má vliv na však vody do půdy, ve sledovaném období se pohybovala od 18,85 % obj. do 31,24 % obj., průměrná hodnota byla 25,79 % obj.. Hodnoty nasáklivosti se pohybovaly od 29,93 % do 44,26 % obj. a průměrná hodnota byla 36,57% obj.. Hodnoty ukazují zaplnění pórů vodou, v prvních čtyřech výjezdech se výrazně neměnila, v pátém výjezdu se výrazně zvýšila a pohybovala se konstantně do konce měření. Hodnoty pórovitosti se pohybovaly od 43,52 do 51,71 %, průměrná hodnota ve sledovaném období byla 48,60%, ornice byla klasifikována podle Bretfelda (tabulka 9) jako ulehlý a výjimečně velmi ulehlá (2. výjezd), kdy byla překročena i kritická hodnota podle Lhotského $P < 45\%$ obj. (tabulka 9). Zastoupení pórů kapilárních, nekapilárních a semikapilárních bylo prakticky optimální ve všech výjezdech mimo 2. a 4. výjezdu, zastoupení pórů semikalipárních a nekapilárních bylo nerovnoměrné (obrázek 24), optima jsou prakticky dosažena v 5., 7. a 8. výjezdu. Ve sledovaném období se předpokládá dostatečná zásoba vody ve svrchní vrstvě půdy (kromě 2. výjezdu).

Hodnoty provzdušenosti pro louky se pohybují v rozmezí 9 až 12 % obj., ve sledovaném období se pohybovaly od 14,65 do 32,85 % obj. (obrázek 26) a překročily optimální hodnoty, průměrná hodnota ve sledovaném období byla 22,81 % obj.. Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti se pohybovaly od 0,032 do 0,4587 m/den a jsou odrazem objemové hmotnosti a pórovitosti.

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že sledovaná půda je poměrně dobré kvality. Hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti překročily kritickou hodnotu podle Lhotského, která uvádí zhutnění půdy, pouze ve 2. výjezdu. To bylo způsobeno intenzivním dlouhodobým deštěm. Hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti se pohybují v rozsahu jednoho řádu, kromě 1. a 2. měření nevykazovaly výrazně změny. Dosažené výsledky jsou pouze orientační, pro správné posouzení kvality půdy v dané oblasti by bylo třeba dlouhodobé měření.

7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KUTÍLEK, Miroslav, Václav KURÁŽ a Milena CÍSLEROVÁ. *Hydropedologie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2237-4.
- [2] JANDÁK, Jiří. *Cvičení z půdoznalectví*, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. ISBN 80-7157-733-2
- [3] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Návody do cvičení (VHK) Hydropedologie*, Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. VUTFAST v Brně, 2013.
- [4] Půdoznanství-laboratorní cvičení. *Men* [online]. Mendelu, 2018. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5493&typ=html
- [5] *Bonitované ekologické půdní jednotky* [online]. [cit. 2019-08-30]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/62021>
- [6] Vališ, S., Šálek, J.: *Hydropedologické praktikum*. VUT Brno 1971.
- [7] Kutílek, M.: *Vodohospodářská pedologie*. SNTL Praha/ALFA Bratislava 1978.
- [8] *SROVNÁNÍ ÚČINKŮ DEŠŤE NA STARÉM A NOVÉM SIMULÁTORU DEŠŤŮ* [online]. Brno, 2015 [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=96546. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. RUDOLF MILERSKI, CSc.
- [9] Vodní hospodářství, a.s.: *Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvojjálcová metoda)*. Praha: Prof. Ing. Miroslav Kutílek, Ing. Miroslav Krejča, 1988, 1988 (05). ISSN 6319 ISSN 1211-0760.
- [10] JANEČEK M. ET AL. *The Soil protection from the Erosion*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 1999. ISBN 3-923381-26-3.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 a) dvouválcový infiltrometr, b) směr pohybu vsakované vody v měřícím zařízení (Kameníčková, 2013).....	5
Obrázek 2 Plnění vrchní komory (Kameníčková, 2013)	11
Obrázek 3 Odejmutí spodního elastomeru (převzato Kameníčková, Návod do cvičení (Kameníčková, 2013).....	11
Obrázek 4 Měření pronikání (Kameníčková, 2013).....	13
Obrázek 5 Grafický průběh kumulativní infiltrace v závislosti na odmocnině z času t (Kameníčková, 2013)	13
Obrázek 6 Mezinárodní roztřídění zrnitostí frakcí (KUTÍLEK, KURÁŽ a CÍSLEROVÁ, 2000)	20
Obrázek 7 Kopecského lavicí přístroj (Půdoznalství - laboratorní cvičení)	21
Obrázek 8 Hustoměr (vlastní foto)	23
Obrázek 9 Zrnitostní křivka (MSO Excel Ing. Rudolf Milerski, CSc, 1998).....	27
Obrázek 10 Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Systém ministerstva USA, z něho odvozený systém, který používá Taxonomický klasifikační systém půd ČR. (Kameníčková, 2013).....	28
Obrázek 11 Rozbor neporušeného půdního vzorku (Kameníčková, 2013).....	32
Obrázek 12 Váženka v sušící komoře (vlastní foto).....	34
Obrázek 13 váha s přesností 0,001g (vlastní foto)	34
Obrázek 14 Mapa BPEJ v zájmovém území (www.bpej.vumop.cz).....	40
Obrázek 15 Mapa šestého klimatického regionu (https://bpej.vumop.cz/62021)	41
Obrázek 16 Půdní profil typu 6.20.21 (https://bpej.vumop.cz/62021).....	41
Obrázek 17 Úhrn srážek, max/min teplota a rychlost větru Luhačovice (www.meteoblue.com).....	42
Obrázek 18 Pozemek č.1576/9 (https://nahliznidokn.cuzk.cz)	43
Obrázek 19 Průběh grafu zrnitostního rozboru.....	44

Obrázek 20 Klasifikace dle USDA	45
Obrázek 21 Graf průběhu průměrných hodnot objemové hmotnosti redukované	47
Obrázek 22 Graf průběhu průměrných hodnot momentální vlhkosti.....	48
Obrázek 23 Graf průběhu průměrných hodnot pórovitosti	49
Obrázek 24 Graf průběhu průměrných hodnot pórů kapilárních, nekapilárních a semikapilárních	49
Obrázek 25 Graf průběhu průměrných hodnot nasáklivosti.....	50
Obrázek 26 Graf průběhu průměrných hodnot provzdušenosti	51
Obrázek 27 Graf průměr K-nenasycená hydraulická vodivosti	52

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Charakteristika půd z hlediska jejich vsakovacích schopností (Vališ, Šálek, 1971)	8
Tabulka 2 Vzorová data z MiniDiskového infiltrometru (Kameníčková, 2013).....	12
Tabulka 3 van Genuchtenovy parametry pro 12 tříd texturních půd, hodnoty A pro poloměr disku 2,2 cm a hodnoty sání do -0,5 cm do -6 cm. (Kameníčková, 2013)	15
Tabulka 4 Klasifikace zrnitosti půd podle Nováka (Kameníčková, 2013)	27
Tabulka 5 Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (Kameníčková, 2013)	28
Tabulka 6 Formulář pro záznam stanovených hodnot (Kameníčková, 2013)	31
Tabulka 7 Strukturní stav humusového horizontu u středně těžkých a těžkých půd (Kutílek, 1978).....	35
Tabulka 8 Kritické objemové hmotnosti po vysušení podle Lhotského (Kameníčková, 2013)	35
Tabulka 9 Klasifikace půdy podle Bretfelda (Kutílek, 1978)	38
Tabulka 10 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (Kameníčková, 2013) .	38
Tabulka 11 Tabulka výjezdů na experimentální plochu	43
Tabulka 12 Průměrné hodnoty neporušeného půdního vzorku z 8. výjezdů	46
Tabulka 13 Průměrné hodnoty nenasycené hydraulické vodivosti K	51

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- V množství nasáklé vody v příslušném intervalu [cm^3],
- P průřezová plocha vnitřního válce [cm^2],
- t časový interval [min],
- V množství nasáklé vody v příslušném intervalu [cm^3],
- P průřezová plocha vnitřního válce [cm^2],
- v_1 koeficient, numericky se rovnající rychlosti infiltrace na konci první časové jednotky (obvykle 1 minuty),
- t čas od počátku vsakování,
- α empirický součinitel vlhkosti, závislý na půdních vlastnostech,
- v_c vyrovnaná hodnota vsakovací rychlosti,
- v_1 koeficient, numericky se rovnající rychlosti infiltrace na konci první časové jednotky,
- t čas od počátku vsakování,
- β empirický koeficient, závislý na vlastnostech půdy a počáteční vlhkosti,
- C_1 odhad sorptivity [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1/2}$],
- C_2 parametry vyrovnávacího procesu [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$],
- C_3 parametry vyrovnávacího procesu [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-3/2}$],
- S aproximace sorptivity [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1/2}$],
- t čas [min],
- A parametr [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$].
- C_1 parametr vztažený k hydraulické vodivosti [ms^{-1}],
- C_2 parametr vztažený k půdní sorpci [$\text{ms}^{-1/2}$],
- C_1 sklon křivky kumulativního pronikání ve vztahu k druhé mocnině času,
- A hodnota vztahující van Genuchtenovy parametry pro daný typ půdy k míře sání a poloměru disku Infiltrimetru,
- n, α van Genuchtenovy parametry pro půdu,
- r_0 poloměr disku (2,2 cm),

h_0	sání na povrchu disku,
v	rychlost [mm/s],
D	průměr částic [mm],
v	sedimentační rychlost [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$],
g	tíhové zrychlení [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$],
ρ_s	zdánlivá hustota pevných částic [g/cm^3],
η	viskozita disperzního prostředí [g/cm^3],
a	konstanta pro sedimentaci zemitých částí při teplotě 20°C [cm/s],
r	poloměr částice [cm],
D	hmotnost odparku frakce > 0,25 mm [g],
g	hmotnost navážky sušiny vzorku [g],
A	hmotnost odparku 25 ml suspenze stanovené frakce [g],
C	hmotnost odparku 25 ml dispergačního činidla [g],
g	hmotnost navážky sušiny vzorku [g],
V_V	objem naváženého vzorku [cm^3],
P_V	hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],
N_S	navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g],
ρ_s	zdánlivá hustota pevných částic [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$],
V_V	objem naváženého vzorku [cm^3],
P_V	hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],
N_S	navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g],
G_A	vzorek s přirozenou vlhkostí [g],
G_B	vzorek kapilárně nasycený [g],
G_C	vzorek po 30' odsávání [g],
G_D	vzorek po 2 hodinách odsávání [g],
G_E	vzorek po 24 hodinách odsávání [g],
G_F	vzorek při vysušení při 105 °C [g],
G_H	čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g],

G_V	hmotnost fyzikálního válečku [g],
G_S	hmotnost hodinového skla [g],
N_S	navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic [g],
P_V	hmotnost pyknometru s vodou [g],
P_S	hmotnost pyknometru se zeminou [g],
V_S	objem fyzikálního válečku [cm ³],
V_S	objem Kopeckého válečku [cm ³],
G_a	vzorek s přirozenou vlhkostí [g],
ρ_V	objemová hmotnost neredukovaná [g/cm ³],
ρ_d	objemová hmotnost redukována [g.cm ⁻³],
G_F	hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C [g],
v_S	objem Kopeckého válečku [cm ³],
θ	objemová vlhkost [% obj.],
V_S	objem vzorku [cm ³],
V_W	objem vody ve vzorku [cm ³],
w	hmotnostní vlhkost [% hm],
M_Z	hmotnost vzorku [g],
M_W	hmotnost vody ve vzorku [g],
θ_{ns}	nasákivost [% obj.],
G_B	hmotnost vzorku kapilárně nasyceného [g],
G_F	hmotnost vzorku vysušeného při 105 °C [g],
ρ_d	objemová hmotnost [g.cm ⁻³],
ρ_z	měrná hmotnost [g.cm ⁻³],
V_S	celkový objem půdy [%],
V_z	objem tuhé fáze [%],
V_z	provzdušenost [% obj.],
V_S	objem vzorku [cm ³],
V_A	objem vzduchu ve vzorku [% obj.],

- P pórovitost [% obj.],
- Θ okamžitá vlhkost [% obj.].

11 SEZNAM PŘÍLOH

1. Zrnitostní rozbor – křivka zrnitosti

Tabulka č. 1.1.: Výpočet křivky zrnitosti hustoměrnou metodou: lokalita Luhačovice, datum odběru 25.11.2019.	1
Obrázek č. 1.1.: Graf křivky zrnitosti: Lokalita Luhačovice.....	2

2. Rozbor neporušeného půdního vzorku

Tabulka č. 2.1.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	3
Tabulka č. 2.2.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	4
Tabulka č. 2.3.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	5
Tabulka č. 2.4.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	6
Tabulka č. 2.5.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	7
Tabulka č. 2.6.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	8
Tabulka č. 2.7.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	9
Tabulka č. 2.8.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	10

3. Nasycená hydraulická vodivost

Tabulka č. 3.1.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 1. výjezd – lokalita Luhačovice.....	11
---	----

Obrázek č. 3.1.: Průběh infiltrace - 1. výjezd - lokalita Luhačovice.....	12
Tabulka č. 3.2.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 2. výjezd - lokalita Luhačovice.....	13
Obrázek č. 3.2.: Průběh infiltrace - 2. výjezd - lokalita Luhačovice.....	14
Tabulka č. 3.3.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 3. výjezd - 1. měření - lokalita Luhačovice.....	15
Obrázek č. 3.3.: Průběh infiltrace - 3. výjezd - 1. měření - lokalita Luhačovice.....	16
Tabulka č. 3.4.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 3. výjezd - 2. měření - lokalita Luhačovice.....	17
Obrázek č. 3.4.: Průběh infiltrace - 3. výjezd - 2. měření - lokalita Luhačovice.....	18
Tabulka č. 3.5.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 3. výjezd - 3. měření - lokalita Luhačovice.....	19
Obrázek č. 3.5.: Průběh infiltrace - 3. výjezd - 3. měření - lokalita Luhačovice.....	20
Tabulka č. 3.6.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 4. výjezd - 1. měření - lokalita Luhačovice.....	21
Obrázek č. 3.6.: Průběh infiltrace - 4. výjezd - 1. měření - lokalita Luhačovice.....	22
Tabulka č. 3.7.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 4. výjezd - 2. měření - lokalita Luhačovice.....	23
Obrázek č. 3.7.: Průběh infiltrace - 4. výjezd - 2. měření - lokalita Luhačovice.....	24
Tabulka č. 3.8.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou - 4. výjezd - 3. měření - lokalita Luhačovice.....	25

Obrázek č. 3.8.: Průběh infiltrace – 4. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	26
Tabulka č. 3.9.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 5. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	27
Obrázek č. 3.9.: Průběh infiltrace – 5. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	28
Tabulka č. 3.10.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 5. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	29
Obrázek č. 3.10.: Průběh infiltrace – 5. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	30
Tabulka č. 3.11.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 5. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	31
Obrázek č. 3.11.: Průběh infiltrace – 5. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	32
Tabulka č. 3.12.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 6. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	33
Obrázek č. 3.12.: Průběh infiltrace – 6. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	34
Tabulka č. 3.13.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 6. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	35
Obrázek č. 3.13.: Průběh infiltrace – 6. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	36
Tabulka č. 3.14.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 6. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	37
Obrázek č. 3.14.: Průběh infiltrace – 6. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	38
Tabulka č. 3.15.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 7. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	39

Obrázek č. 3.15.: Průběh infiltrace – 7. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	40
Tabulka č. 3.16.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 7. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	41
Obrázek č. 3.16.: Průběh infiltrace – 7. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	42
Tabulka č. 3.17.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 7. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	43
Obrázek č. 3.17.: Průběh infiltrace – 7. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	44
Tabulka č. 3.18.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 8. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	45
Obrázek č. 3.18.: Průběh infiltrace – 8. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice.....	46
Tabulka č. 3.19.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 8. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	47
Obrázek č. 3.19.: Průběh infiltrace – 8. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice.....	48
Tabulka č. 3.20.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 8. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	49
Obrázek č. 3.20.: Průběh infiltrace – 8. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice.....	50

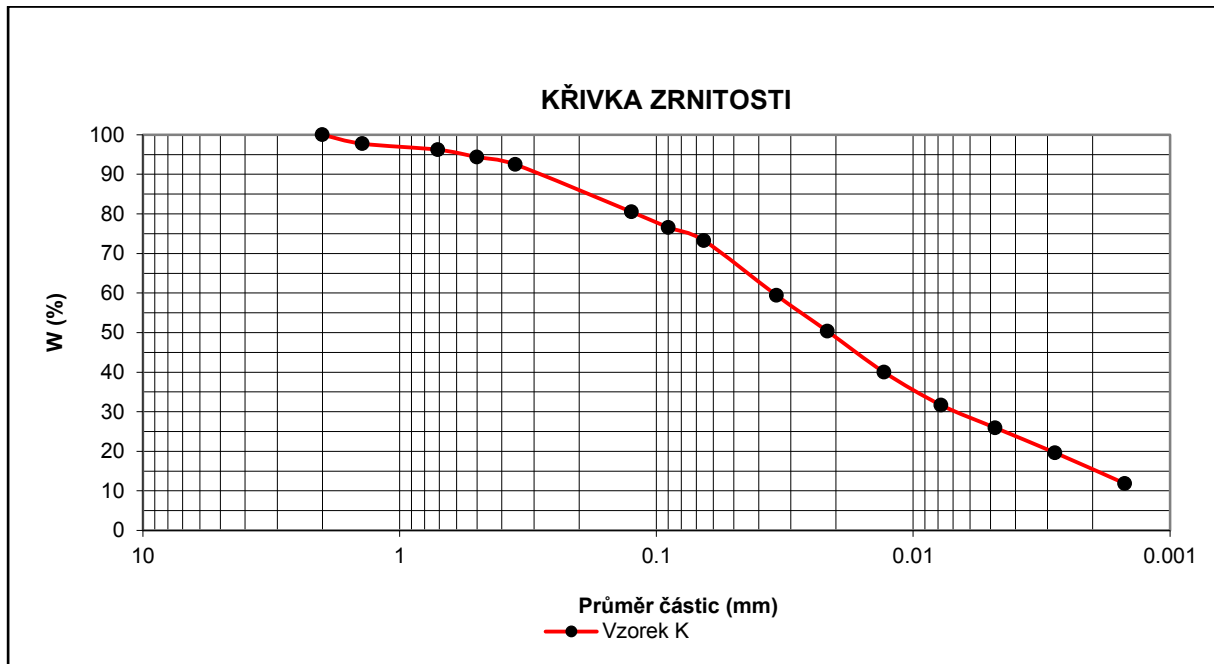
12 PŘÍLOHY

1. Zrnitostní rozbor – křivka zrnitosti

Tabulka č. 1.1.: Výpočet křivky zrnitosti hustoměrnou metodou: lokalita Luhačovice, datum odběru 25.11.2019.

ZÁPIS MĚŘENÍ A VÝPOČET KŘIVKY ZRNITOSTI HUSTOMĚRNOU METODOU								
Lokalita: Luhačovice			Vzorek: K			Rozbor provedl: Bc. Michaela Vláčilíková		
Datum: 11.12.2019			Hustoměr: 384			Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.		
						Antikoagulans: vod. sklo		
Stanovení W_o				Měrná hmotnost : 2,654 g/cm ³				
Navážka pro rozbor na vzduchu vyschlé zeminy :				50 g				
Navážka pro rozbor vlhkosti :		10 g		Sušina :		9,62 g		
Navážka pro rozbor vysušené zeminy W_o :				48,1 g				
Čas [s]	R_o	T_s	T_p	m	R	R + m	d [mm]	W %
Rozbor zrnitosti na sítích							2	100
							1,4	97,755
							0,71	96,216
							0,5	94,366
							0,355	92,495
							0,125	80,499
							0,09	76,590
30	20,6	21,8	21,8	0,3551	20,6	20,9551	0,0653	73,24
120	18	21,8	21,8	0,3551	18	18,3551	0,0341	59,44
300	15,2	21,8	21,8	0,3551	15,2	15,5551	0,0216	50,37
900	12	21,8	21,8	0,3551	12	12,3551	0,013	40,01
2700	9,4	22	22	0,391	9,4	9,791	0,0078	31,70
7200	7,5	22,4	22,4	0,51665	7,5	8,01665	0,0048	25,96
21600	5,6	22,7	22,7	0,4628	5,6	6,0628	0,0028	19,63
86400	3,2	22,4	22,4	0,4628	3,2	3,6628	0,0015	11,86

Obrázek č. 1.1.: Graf křivky zrnitosti: Lokalita Luhačovice



2. Rozbor neporušeného půdního vzorku

Tabulka č. 2.1.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 1. výjezd – lokalita Luhačovice

1. MĚŘENÍ - 30.4.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	93,87	95,85	95,92	g
bezpr. po odběru	A	253,04	268,2	257,85	g
nasycený vzlín. vodou	B	255,7	266,79	258,04	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	254,98	265,88	257,31	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	254,73	265,61	256,99	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	253,44	263,58	254,9	g
vysušený při 105°C	C	225,02	234,86	225,48	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,59	1,72	1,62	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,31	1,39	1,30	g.cm ⁻³
momentální vlhkost	Θ	28,02	33,34	32,37	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	30,68	31,93	32,56	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	29,96	31,02	31,83	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	29,71	30,75	31,51	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	28,42	28,72	29,42	% obj.
pórovitost	P	50,51	47,54	51,11	% obj.
kapilární póry	P _K	28,42	28,72	29,42	% obj.
semikapilární póry	P _S	1,54	2,3	2,41	% obj.
nekapilární póry	P _N	20,55	16,52	19,28	% obj.
provzdušenost	V _Z	22,49	14,20	18,74	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	20,80	16,79	19,60	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	22,09	18,82	21,69	% obj.

Tabulka č. 2.2.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 2. výjezd – lokalita Luhačovice

2. MĚŘENÍ - 4.5.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	95,44	95,57	96,68	g
bezpr. po odběru	A	268,16	274,23	279,43	g
nasycený vzlín. vodou	B	270,31	275,74	280,29	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	269,39	275	279,95	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	269,04	274,71	279,63	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	267,03	273,32	277,26	g
vysušený při 105°C	C	240,06	243,51	250,72	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,73	1,79	1,83	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,4462	1,4794	1,5404	g.cm ⁻³

momentální vlhkost	Θ	28,1	30,72	28,71	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	30,25	32,23	29,57	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	29,33	31,49	29,23	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	28,98	31,2	28,91	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	26,97	29,81	26,54	% obj.
pórovitost	P	45,43	44,17	41,87	% obj.
kapilární póry	P _K	26,97	29,81	26,54	% obj.
semikapilární póry	P _S	2,36	1,68	2,69	% obj.
nekapilární póry	P _N	16,10	12,68	12,64	% obj.
provzdušenost	V _Z	17,33	13,45	13,16	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	16,45	12,97	12,96	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	18,46	14,36	15,33	% obj.

Tabulka č. 2.3.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 3. výjezd – lokalita Luhačovice

3. MĚŘENÍ - 12.5.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	95,9	97,58	95,72	g
bezpr. po odběru	A	275,44	256,6	271,42	g
nasycený vzlín. vodou	B	277,95	261,26	273,21	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	277,39	259,46	272,34	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	277,01	259,07	272,01	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	276,88	258,94	271,86	g
vysušený při 105°C	C	248,75	229,6	241,63	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,80	1,59	1,76	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,5285	1,3202	1,4591	g.cm ⁻³

momentální vlhkost	Θ	26,69	27	29,79	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	29,2	31,66	31,58	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	28,64	29,86	30,71	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	28,26	29,47	30,38	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	28,13	29,34	30,23	% obj.
pórovitost	P	42,32	50,18	44,94	% obj.
kapilární póry	P _K	28,13	29,34	30,23	% obj.
semikapilární póry	P _S	0,51	0,52	0,48	% obj.
nekapilární póry	P _N	13,68	20,32	14,23	% obj.
provzdušenost	V _Z	15,63	23,18	15,15	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	14,06	20,71	14,56	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	14,19	20,84	14,71	% obj.

Tabulka č. 2.4.: Výpočet neporušeného půdního vzorku - 4. výjezd - lokalita Luhačovice

4. MĚŘENÍ - 2.6.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	96,47	93,89	96,29	g
bezpr. po odběru	A	249,8	237,7	268,04	g
nasycený vzlín. vodou	B	259,98	248,34	272,51	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	256,24	245,38	271,26	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	255,54	244,01	271,26	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	252,75	239,61	269,02	g
vysušený při 105°C	C	227,35	220,55	243,14	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,53	1,44	1,72	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,3088	1,2666	1,4685	g.cm ⁻³

momentální vlhkost	Θ	22,45	17,15	24,9	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	32,63	27,79	29,37	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	28,89	24,83	28,12	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	28,19	23,46	28,12	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	25,4	19,06	25,88	% obj.
pórovitost	P	50,61	52,20	44,58	% obj.
kapilární póry	P _K	25,4	19,06	25,88	% obj.
semikapilární póry	P _S	3,49	5,77	2,24	% obj.
nekapilární póry	P _N	21,72	27,37	16,46	% obj.
provzdušenost	V _Z	28,16	35,05	19,68	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	22,42	28,74	16,46	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	25,21	33,14	18,70	% obj.

Tabulka č. 2.5.: Výpočet neporušeného půdního vzorku - 5. výjezd - lokalita Luhačovice

5. MĚŘENÍ - 30.6.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	97,67	95,12	97,33	g
bezpr. po odběru	A	242,67	238,98	248,97	g
nasyčený vzlín. vodou	B	269,02	265,47	272,36	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	266,4	262,08	269,75	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	265,6	260,8	268,79	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	256,57	251,26	259,9	g
vysušený při 105°C	C	225,98	223,21	224,87	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,45	1,44	1,52	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,2831	1,2809	1,2754	g.cm ⁻³

momentální vlhkost	Θ	16,69	15,77	24,1	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	43,04	42,26	47,49	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	40,42	38,87	44,88	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	39,62	37,59	43,92	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	30,59	28,05	35,03	% obj.
pórovitost	P	51,58	51,66	51,87	% obj.
kapilární póry	P _K	30,59	28,05	35,03	% obj.
semikapilární póry	P _S	9,83	10,82	9,85	% obj.
nekapilární póry	P _N	11,16	12,79	6,99	% obj.
provzdušenost	V _Z	34,89	35,89	27,77	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	11,96	14,07	7,95	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	20,99	23,61	16,84	% obj.

Tabulka č. 2.6.: Výpočet neporušeného půdního vzorku - 6. výjezd - lokalita Luhačovice

6. MĚŘENÍ - 2.7.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	99,97	94,78	95,45	g
bezpr. po odběru	A	260,12	248,15	251,13	g
nasycený vzlín. vodou	B	278,27	261,26	275,37	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	276,06	260,29	273,12	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	274,34	258,87	271,66	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	272,12	255,87	267,47	g
vysušený při 105°C	C	232,77	228,73	229,65	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,60	1,53	1,56	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,328	1,3395	1,342	g.cm ⁻³

momentální vlhkost	Θ	27,35	19,42	21,48	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	45,5	32,53	45,72	% obj.
30' vlhkost	Θ_{30}	43,29	31,56	43,47	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	41,57	30,14	42,01	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	39,35	27,14	37,82	% obj.
pórovitost	P	49,89	49,45	49,36	% obj.
kapilární póry	P _K	39,35	27,14	37,82	% obj.
semikapilární póry	P _S	3,94	4,42	5,65	% obj.
nekapilární póry	P _N	6,60	17,89	5,89	% obj.
provzdušenost	V _Z	22,54	30,03	27,88	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	8,32	19,31	7,35	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	10,54	22,31	11,54	% obj.

Tabulka č. 2.7.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 7. výjezd – lokalita Luhačovice

7. MĚŘENÍ 31.8.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	98,87	94,58	95,3	g
bezpr. po odběru	A	258,12	256,83	253,89	g
nasycený vzlín. vodou	B	276,27	268,26	272,37	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	275,99	263,76	272,12	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	273,88	258,87	262,98	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	270,32	251,53	260,11	g
vysušený při 105°C	C	232,77	228,73	229,65	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,59	1,62	1,59	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,339	1,3415	1,3435	g.cm ⁻³
momentální vlhkost	Θ	25,35	28,1	24,24	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	43,5	39,53	42,72	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	43,22	35,03	42,47	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	41,11	30,14	33,33	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	37,55	22,8	30,46	% obj.
pórovitost	P	49,47	49,38	49,30	% obj.
kapilární póry	P _K	37,55	22,8	30,46	% obj.
semikapilární póry	P _S	5,67	12,23	12,01	% obj.
nekapilární póry	P _N	6,25	14,35	6,83	% obj.
provzdušenost	V _Z	24,12	21,28	25,06	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	8,36	19,24	15,97	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	11,92	26,58	18,84	% obj.

Tabulka č. 2.8.: Výpočet neporušeného půdního vzorku – 8. výjezd – lokalita Luhačovice

8. MĚŘENÍ 21.9.2019					
Luhačovice (GPS souřadnice 49.0942639N, 17.7251892E).					
hloubka odběru	h	30 cm			jednotky
tara	T	98,6	94,49	97,8	g
bezpr. po odběru	A	259,99	259,32	258,99	g
nasycený vzlín. vodou	B	277,27	266,26	273,37	g
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	276,99	265,76	272,82	g
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	273,77	258,11	262,2	g
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	270,76	251,86	260,01	g
vysušený při 105°C	C	232,67	228,71	229,66	g
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,65	2,65	2,65	g.cm ⁻³
objemová hmotn. nereduk.	ρ	1,61	1,65	1,61	g.cm ⁻³
objemová hmotnodst reduk.	ρ_d	1,3407	1,3422	1,3186	g.cm ⁻³
momentální vlhkost	Θ	27,32	30,61	29,33	% obj.
nasáklivost	$\Theta_{NS} = \Theta_S$	44,6	37,55	43,71	% obj.
30´ vlhkost	Θ_{30}	44,32	37,05	43,16	% obj.
max. vodní kapacita	Θ_{KMK}	41,1	29,4	32,54	% obj.
retenční vodní kapacita	Θ_{RK}	38,09	23,15	30,35	% obj.
pórovitost	P	49,41	49,35	50,24	% obj.
kapilární póry	P _K	38,09	23,15	30,35	% obj.
semikapilární póry	P _S	6,23	13,9	12,81	% obj.
nekapilární póry	P _N	5,09	12,30	7,08	% obj.
provzdušenost	V _Z	22,09	18,74	20,91	% obj.
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	8,31	19,95	17,70	% obj.
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	11,32	26,20	19,89	% obj.

3. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST

Tabulka č. 3.1.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 1. výjezd –
lokalita Luhačovice

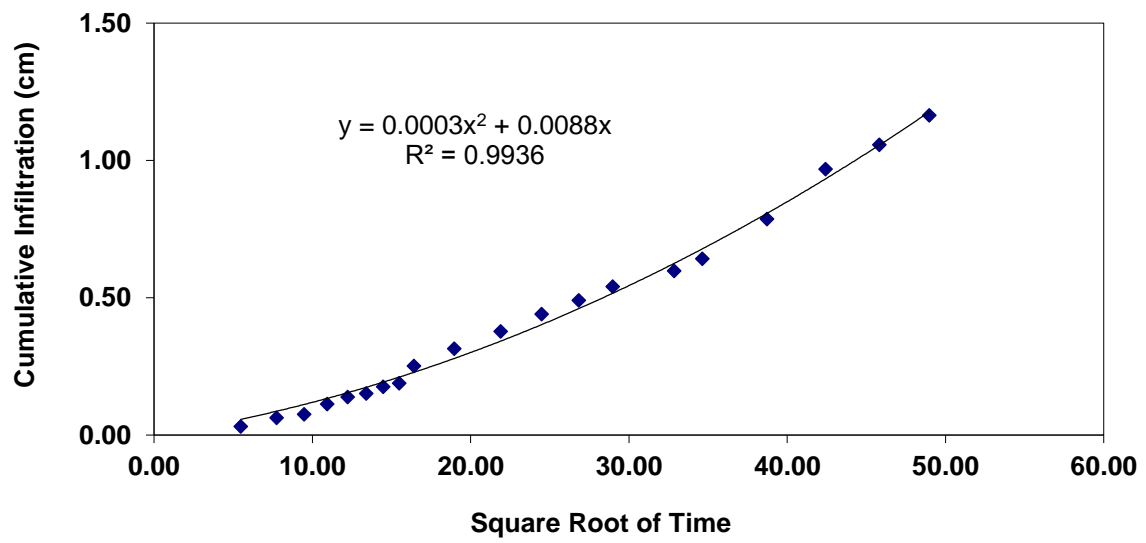
$$C_1 = 0,0003 \text{ cm/s}$$

$$A = 8,1$$

K =	0,000037	cm/s
K =	0,032	m/den

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}(t)}$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		81	0,00
30	5,48	80,5	0,03
60	7,75	80	0,06
90	9,49	79,8	0,08
120	10,95	79,2	0,11
150	12,25	78,8	0,14
180	13,42	78,6	0,15
210	14,49	78,2	0,18
240	15,49	78	0,19
270	16,43	77	0,25
360	18,97	76	0,31
480	21,91	75	0,38
600	24,49	74	0,44
720	26,83	73,2	0,49
840	28,98	72,4	0,54
1080	32,86	71,5	0,60
1200	34,64	70,8	0,64
1500	38,73	68,5	0,79
1800	42,43	65,6	0,97
2100	45,83	64,2	1,06
2400	48,99	62,5	1,16

Obrázek č. 3.1.: Průběh infiltrace – 1. výjezd – lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.2.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 2. výjezd –
lokalita Luhačovice

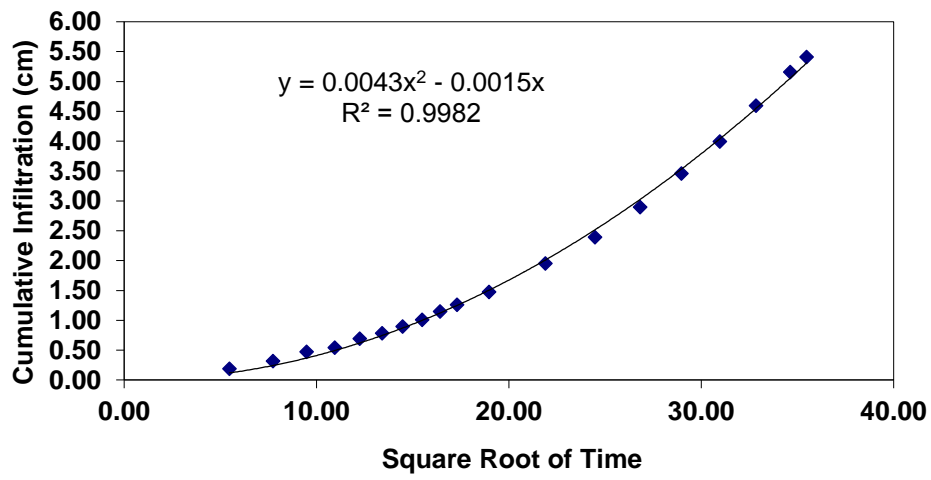
$$C_1 = 0,0043 \text{ cm/s}$$

$$A = 8,1$$

K =	0,000531	cm/s
K =	0,458667	m/den

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}(t)$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		86	0,00
30	5,48	83	0,19
60	7,75	81	0,31
90	9,49	78,5	0,47
120	10,95	77,4	0,54
150	12,25	75	0,69
180	13,42	73,6	0,78
210	14,49	71,8	0,89
240	15,49	70	1,01
270	16,43	67,8	1,14
300	17,32	66	1,26
360	18,97	62,6	1,47
480	21,91	55	1,95
600	24,49	48	2,39
720	26,83	40	2,89
840	28,98	31	3,46
960	30,98	22,5	3,99
1080	32,86	13	4,59
1200	34,64	4	5,16
1260	35,50	0	5,41

Obrázek č. 3.2.: Průběh infiltrace – 2. výjezd – lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.3.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 3. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

Průměrná hydraulická vodivost z výjezdu č. 3, kde probíhaly tři měření infiltrace.

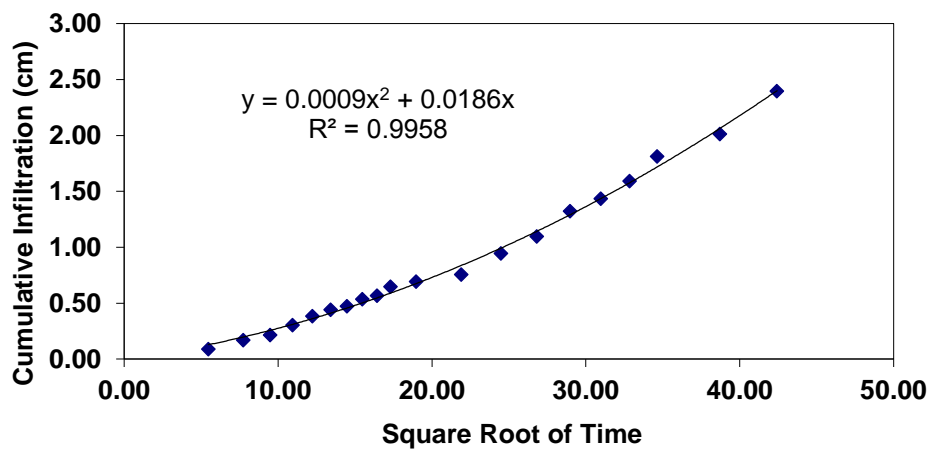
průměr K =	0,000115	cm/s
průměr K =	0,099556	m/den

1. měření

K =	0,000111	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}} (t)$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		87	0,00
30	5,48	85,6	0,09
60	7,75	84,3	0,17
90	9,49	83,6	0,21
120	10,95	82,2	0,30
150	12,25	80,9	0,38
180	13,42	80	0,44
210	14,49	79,5	0,47
240	15,49	78,5	0,53
270	16,43	78	0,57
300	17,32	76,7	0,65
360	18,97	76	0,69
480	21,91	75	0,75
600	24,49	72	0,94
720	26,83	69,6	1,09
840	28,98	66	1,32
960	30,98	64,2	1,43
1080	32,86	61,7	1,59
1200	34,64	58,2	1,81
1500	38,73	55	2,01
1800	42,43	48,9	2,40

Obrázek č. 3.3.: Průběh infiltrace – 3. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice



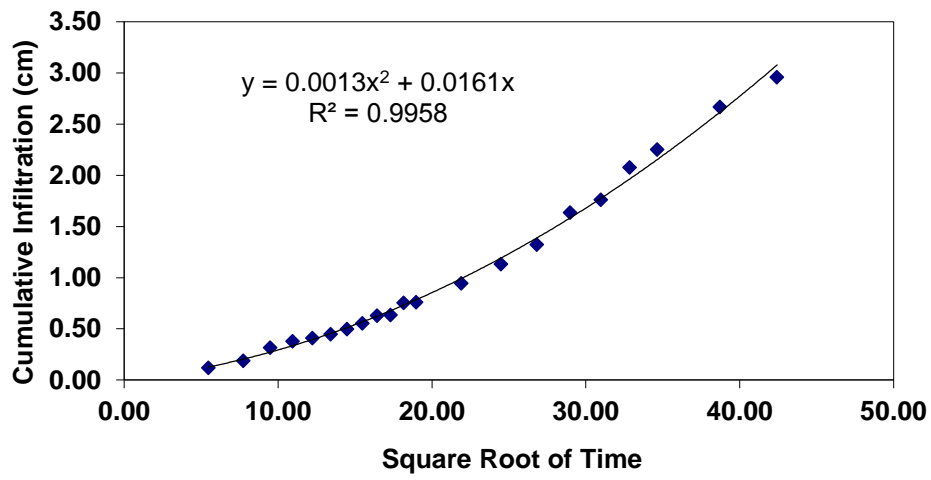
Tabulka č. 3.4.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 3. výjezd – 2.
měření - lokalita Luhačovice

2. měření

K =	0,000160	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		90	0,00
30	5,48	88,1	0,12
60	7,75	87	0,19
90	9,49	85	0,31
120	10,95	84	0,38
150	12,25	83,5	0,41
180	13,42	82,9	0,45
210	14,49	82,1	0,50
240	15,49	81,2	0,55
270	16,43	80	0,63
300	17,32	79,9	0,64
330	18,17	78	0,75
360	18,97	77,9	0,76
480	21,91	75	0,94
600	24,49	72	1,13
720	26,83	69	1,32
840	28,98	64	1,64
960	30,98	62	1,76
1080	32,86	57	2,08
1200	34,64	54,2	2,25
1500	38,73	47,6	2,67
1800	42,43	43	2,96

Obrázek č. 3.4.: Průběh infiltrace – 3. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice



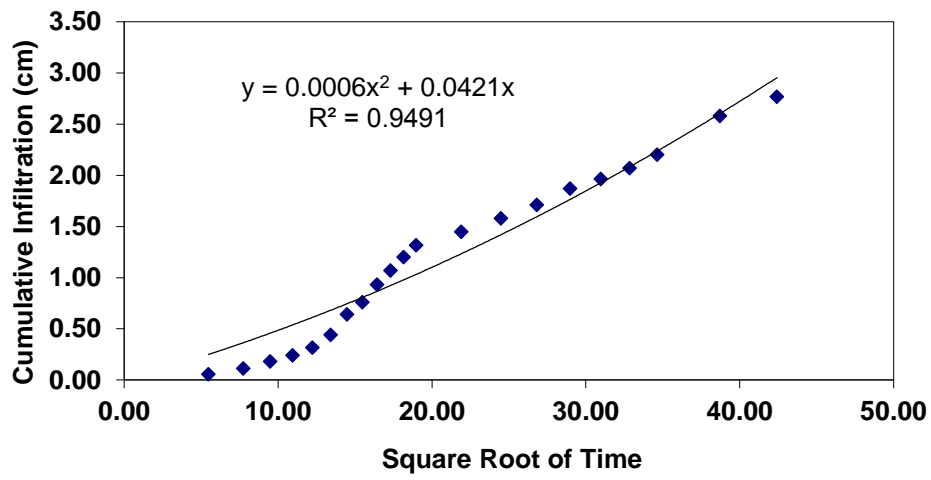
Tabulka č. 3.5.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 3. výjezd – 3.
měření - lokalita Luhačovice

3. měření

K =	0,000074	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}} (t)$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		88	0,00
30	5,48	87,1	0,06
60	7,75	86,2	0,11
90	9,49	85,1	0,18
120	10,95	84,2	0,24
150	12,25	83	0,31
180	13,42	81	0,44
210	14,49	77,8	0,64
240	15,49	75,9	0,76
270	16,43	73,2	0,93
300	17,32	71	1,07
330	18,17	68,9	1,20
360	18,97	67,1	1,31
480	21,91	65	1,45
600	24,49	62,9	1,58
720	26,83	60,8	1,71
840	28,98	58,3	1,87
960	30,98	56,8	1,96
1080	32,86	55,1	2,07
1200	34,64	53	2,20
1500	38,73	47	2,58
1800	42,43	44	2,77

Obrázek č. 3.5.: Průběh infiltrace – 3. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.6.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 4. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

Průměrná hydraulická vodivost z výjezdu č. 4, kde probíhaly tři měření infiltrace.

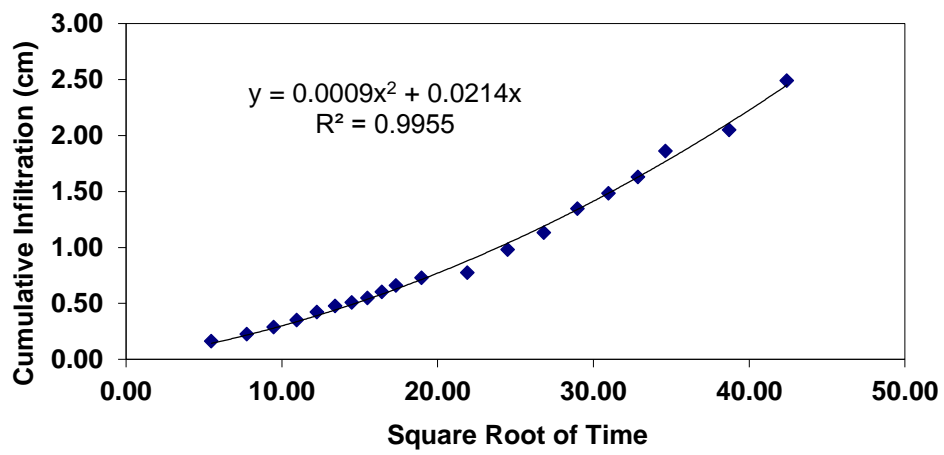
průměr K =	0,000103	cm/s
průměr K =	0,088889	m/den

1. měření

K =	0,000111	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}(t)$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		87,6	0,00
30	5,48	85	0,16
60	7,75	84	0,23
90	9,49	83	0,29
120	10,95	82	0,35
150	12,25	80,9	0,42
180	13,42	80	0,48
210	14,49	79,5	0,51
240	15,49	78,9	0,55
270	16,43	78	0,60
300	17,32	77,1	0,66
360	18,97	76	0,73
480	21,91	75,3	0,77
600	24,49	72	0,98
720	26,83	69,6	1,13
840	28,98	66,2	1,35
960	30,98	64	1,48
1080	32,86	61,7	1,63
1200	34,64	58	1,86
1500	38,73	55	2,05
1800	42,43	48	2,49

Obrázek č. 3.6.: Průběh infiltrace – 4. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice



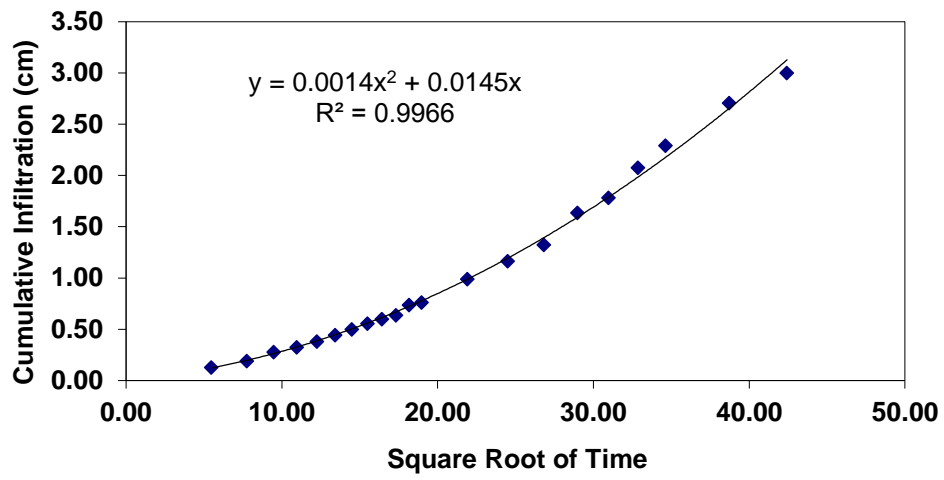
Tabulka č. 3.7.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 4. výjezd – 2.
měření - lokalita Luhačovice

2. měření

K =	0,000173	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}(t)}$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		90	0,00
30	5,48	88	0,13
60	7,75	87	0,19
90	9,49	85,6	0,28
120	10,95	84,9	0,32
150	12,25	84	0,38
180	13,42	83	0,44
210	14,49	82,1	0,50
240	15,49	81,2	0,55
270	16,43	80,5	0,60
300	17,32	79,9	0,64
330	18,17	78,3	0,74
360	18,97	77,9	0,76
480	21,91	74,3	0,99
600	24,49	71,5	1,16
720	26,83	69	1,32
840	28,98	64	1,64
960	30,98	61,7	1,78
1080	32,86	57	2,08
1200	34,64	53,6	2,29
1500	38,73	47	2,70
1800	42,43	42,3	3,00

Obrázek č. 3.7.: Průběh infiltrace – 4. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice



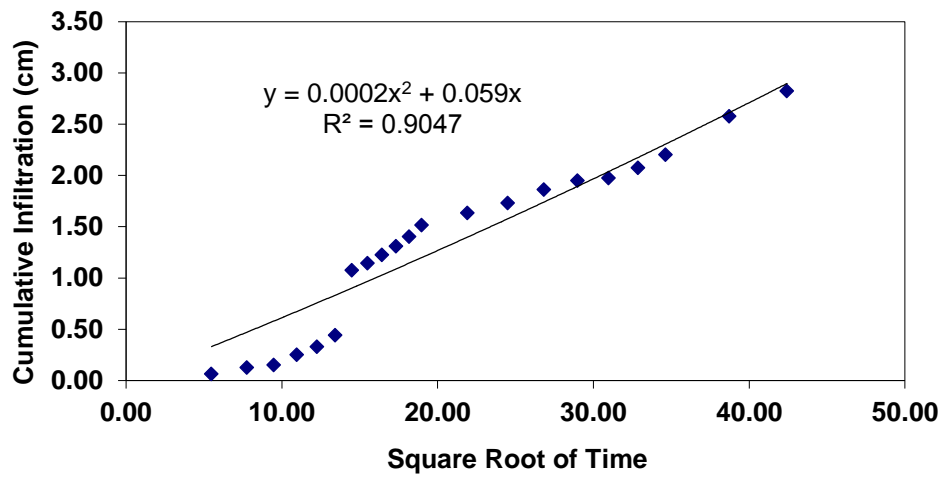
Tabulka č. 3.8.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 4. výjezd – 3.
měření - lokalita Luhačovice

3. měření

K =	0,000025	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}(t)}$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		88	0,00
30	5,48	87	0,06
60	7,75	86	0,13
90	9,49	85,6	0,15
120	10,95	84	0,25
150	12,25	82,8	0,33
180	13,42	81	0,44
210	14,49	70,9	1,08
240	15,49	69,8	1,14
270	16,43	68,5	1,23
300	17,32	67,2	1,31
330	18,17	65,7	1,40
360	18,97	63,9	1,52
480	21,91	62	1,64
600	24,49	60,5	1,73
720	26,83	58,4	1,86
840	28,98	57	1,95
960	30,98	56,6	1,97
1080	32,86	55	2,08
1200	34,64	53	2,20
1500	38,73	47	2,58
1800	42,43	43,1	2,82

Obrázek č. 3.8.: Průběh infiltrace – 4. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.9.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 5. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

Průměrná hydraulická vodivost z výjezdu č. 5, kde probíhaly tři měření infiltrace.

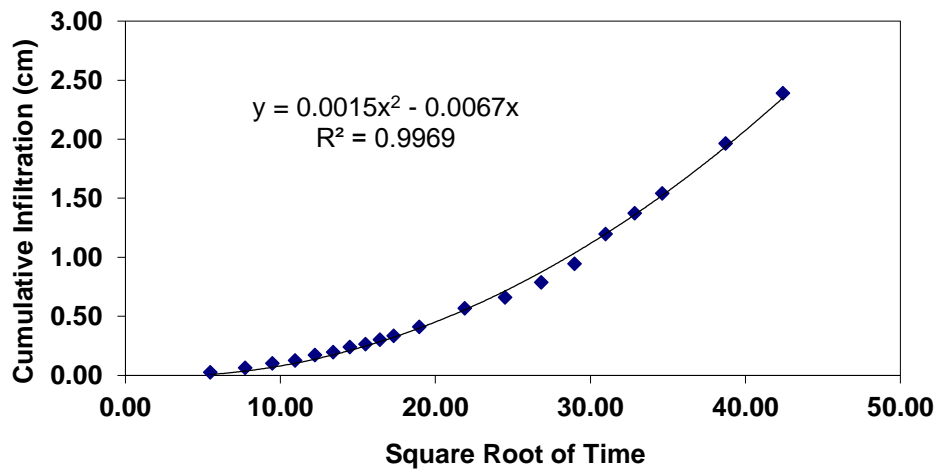
průměr K =	0,000169	cm/s
průměr K =	0,145778	m/den

1. měření

K =	0,000185	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		88	0,00
30	5,48	87,6	0,03
60	7,75	87	0,06
90	9,49	86,4	0,10
120	10,95	86	0,13
150	12,25	85,3	0,17
180	13,42	84,9	0,19
210	14,49	84,2	0,24
240	15,49	83,8	0,26
270	16,43	83,2	0,30
300	17,32	82,7	0,33
360	18,97	81,5	0,41
480	21,91	79	0,57
600	24,49	77,5	0,66
720	26,83	75,5	0,79
840	28,98	73	0,94
960	30,98	69	1,19
1080	32,86	66,2	1,37
1200	34,64	63,5	1,54
1500	38,73	56,8	1,96
1800	42,43	50	2,39

Obrázek č. 3.9.: Průběh infiltrace – 5. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice



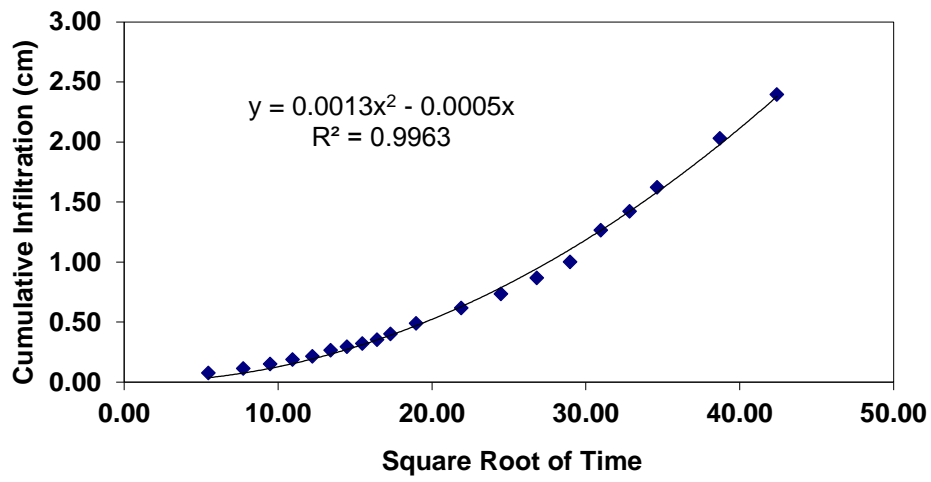
Tabulka č. 3.10.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 5. výjezd – 2.
měření - lokalita Luhačovice

2. měření

K =	0,000160	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}} (t)$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		89	0,00
30	5,48	87,8	0,08
60	7,75	87,2	0,11
90	9,49	86,6	0,15
120	10,95	86	0,19
150	12,25	85,6	0,21
180	13,42	84,8	0,26
210	14,49	84,3	0,30
240	15,49	83,9	0,32
270	16,43	83,4	0,35
300	17,32	82,6	0,40
360	18,97	81,2	0,49
480	21,91	79,2	0,62
600	24,49	77,3	0,74
720	26,83	75,2	0,87
840	28,98	73,1	1,00
960	30,98	68,9	1,26
1080	32,86	66,4	1,42
1200	34,64	63,2	1,62
1500	38,73	56,7	2,03
1800	42,43	50,9	2,40

Obrázek č. 3.10.: Průběh infiltrace – 5. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice



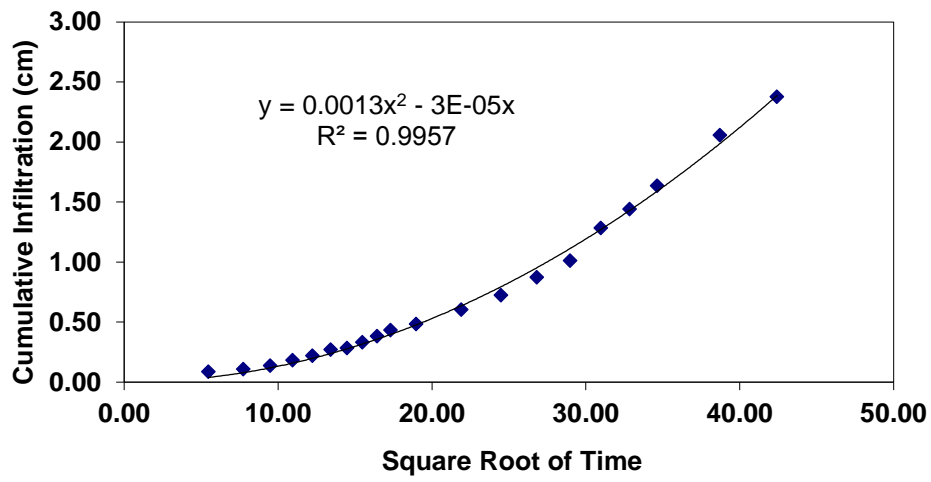
Tabulka č. 3.11.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 5. výjezd – 3.
měření - lokalita Luhačovice

3. měření

K =	0,000160	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}(t)}$	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		89	0,00
30	5,48	87,6	0,09
60	7,75	87,3	0,11
90	9,49	86,8	0,14
120	10,95	86,1	0,18
150	12,25	85,5	0,22
180	13,42	84,7	0,27
210	14,49	84,5	0,28
240	15,49	83,7	0,33
270	16,43	82,9	0,38
300	17,32	82,1	0,43
360	18,97	81,3	0,48
480	21,91	79,4	0,60
600	24,49	77,5	0,72
720	26,83	75,1	0,87
840	28,98	72,9	1,01
960	30,98	68,6	1,28
1080	32,86	66,1	1,44
1200	34,64	63	1,64
1500	38,73	56,3	2,06
1800	42,43	51,2	2,38

Obrázek č. 3.11.: Průběh infiltrace – 5. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.12.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 6. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

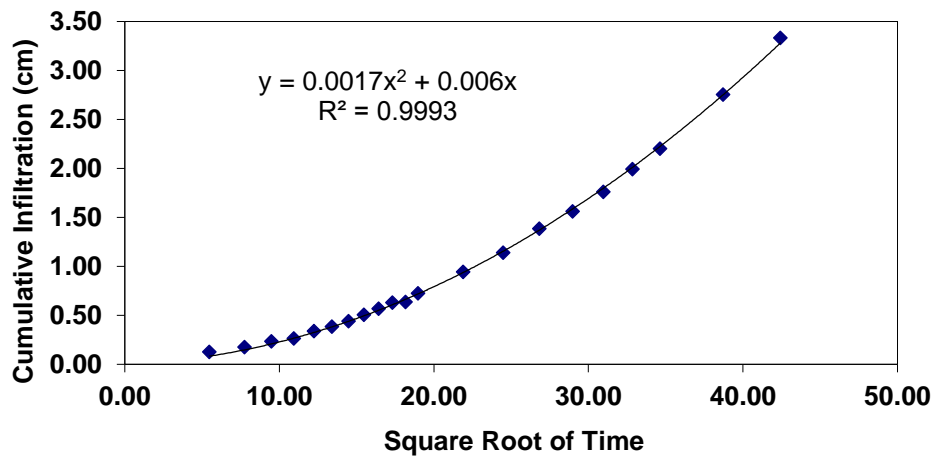
Průměrná hydraulická vodivost z výjezdu č. 6, kde probíhaly tři měření infiltrace.

průměr K =	0,000136	cm/s
průměr K =	0,117333	m/den

1. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		89	0,00
30	5,48	87	0,13
60	7,75	86,2	0,18
90	9,49	85,3	0,23
120	10,95	84,8	0,26
150	12,25	83,6	0,34
180	13,42	82,9	0,38
210	14,49	82	0,44
240	15,49	81	0,50
270	16,43	80	0,57
300	17,32	79	0,63
330	18,17	78,9	0,64
360	18,97	77,5	0,72
480	21,91	74	0,94
600	24,49	70,9	1,14
720	26,83	67	1,38
840	28,98	64,2	1,56
960	30,98	61	1,76
1080	32,86	57,3	1,99
1200	34,64	54	2,20
1500	38,73	45,2	2,75
1800	42,43	36	3,33

Obrázek č. 3.12.: Průběh infiltrace – 6. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice



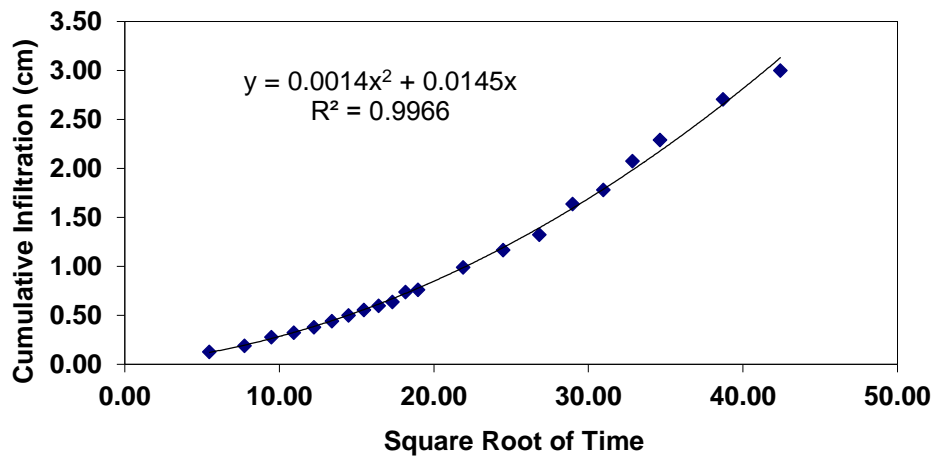
Tabulka č. 3.13.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 6. výjezd – 2.
měření - lokalita Luhačovice

2. měření

K =	0,000173	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		90	0,00
30	5,48	88	0,13
60	7,75	87	0,19
90	9,49	85,6	0,28
120	10,95	84,9	0,32
150	12,25	84	0,38
180	13,42	83	0,44
210	14,49	82,1	0,50
240	15,49	81,2	0,55
270	16,43	80,5	0,60
300	17,32	79,9	0,64
330	18,17	78,3	0,74
360	18,97	77,9	0,76
480	21,91	74,3	0,99
600	24,49	71,5	1,16
720	26,83	69	1,32
840	28,98	64	1,64
960	30,98	61,7	1,78
1080	32,86	57	2,08
1200	34,64	53,6	2,29
1500	38,73	47	2,70
1800	42,43	42,3	3,00

Obrázek č. 3.13.: Průběh infiltrace – 6. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice



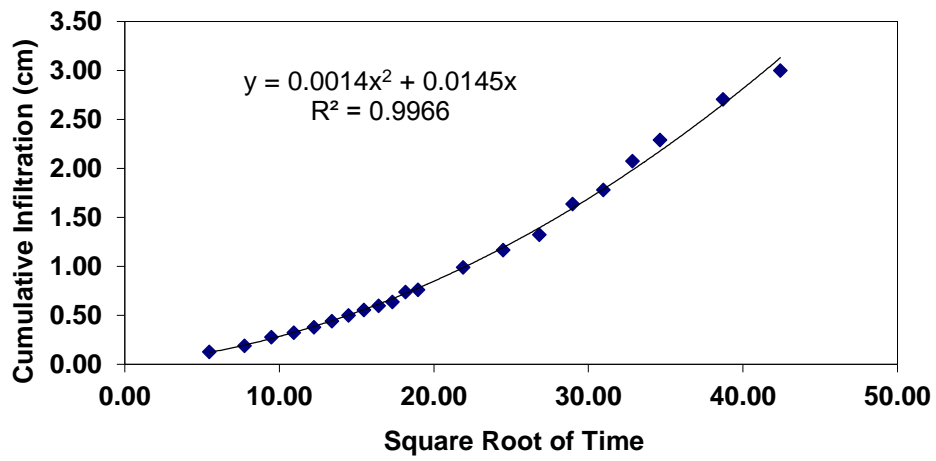
Tabulka č. 3.14.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 6. výjezd – 3.
měření - lokalita Luhačovice

3. měření

K =	0,000025	cm/s
-----	----------	------

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		88	0,00
30	5,48	87	0,06
60	7,75	86	0,13
90	9,49	85,6	0,15
120	10,95	84	0,25
150	12,25	82,8	0,33
180	13,42	81	0,44
210	14,49	70,9	1,08
240	15,49	69,8	1,14
270	16,43	68,5	1,23
300	17,32	67,2	1,31
330	18,17	65,7	1,40
360	18,97	63,9	1,52
480	21,91	62	1,64
600	24,49	60,5	1,73
720	26,83	58,4	1,86
840	28,98	57	1,95
960	30,98	56,6	1,97
1080	32,86	55	2,08
1200	34,64	53	2,20
1500	38,73	47	2,58
1800	42,43	43,1	2,82

Obrázek č. 3.14.: Průběh infiltrace – 6. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.15.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 7. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

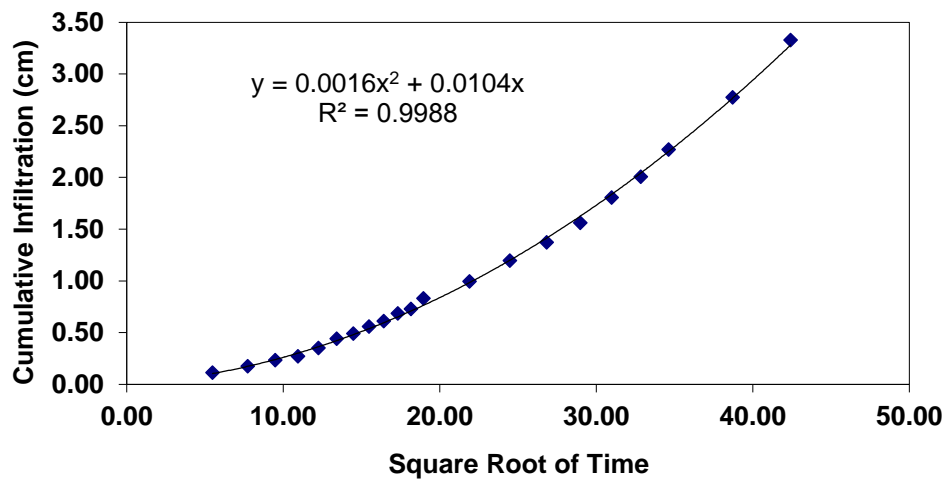
Průměrná hydraulická vodivost z výjezdu č. 7, kde probíhaly tři měření infiltrace.

průměr K =	0,000193	cm/s
průměr K =	0,167111	m/den

1. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		90	0,00
30	5,48	88,2	0,11
60	7,75	87,2	0,18
90	9,49	86,3	0,23
120	10,95	85,7	0,27
150	12,25	84,4	0,35
180	13,42	83	0,44
210	14,49	82,2	0,49
240	15,49	81,1	0,56
270	16,43	80,3	0,61
300	17,32	79,1	0,69
330	18,17	78,4	0,73
360	18,97	76,8	0,83
480	21,91	74,2	0,99
600	24,49	71	1,19
720	26,83	68,2	1,37
840	28,98	65,2	1,56
960	30,98	61,3	1,81
1080	32,86	58,1	2,01
1200	34,64	53,9	2,27
1500	38,73	45,9	2,77
1800	42,43	37,1	3,33

Obrázek č. 3.15.: Průběh infiltrace – 7. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

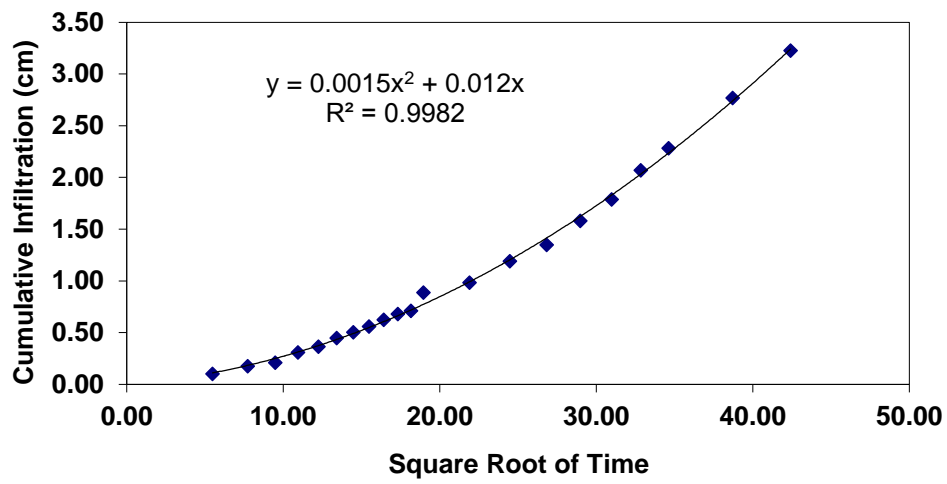


Tabulka č. 3.16.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 7. výjezd – 2.
měření - lokalita Luhačovice

2. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		90	0,00
30	5,48	88,4	0,10
60	7,75	87,2	0,18
90	9,49	86,7	0,21
120	10,95	85,1	0,31
150	12,25	84,2	0,36
180	13,42	82,9	0,45
210	14,49	82	0,50
240	15,49	81,1	0,56
270	16,43	80,1	0,62
300	17,32	79,2	0,68
330	18,17	78,7	0,71
360	18,97	75,9	0,89
480	21,91	74,4	0,98
600	24,49	71,1	1,19
720	26,83	68,6	1,35
840	28,98	64,9	1,58
960	30,98	61,6	1,79
1080	32,86	57,1	2,07
1200	34,64	53,7	2,28
1500	38,73	46	2,77
1800	42,43	38,7	3,23

Obrázek č. 3.16.: Průběh infiltrace – 7. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice

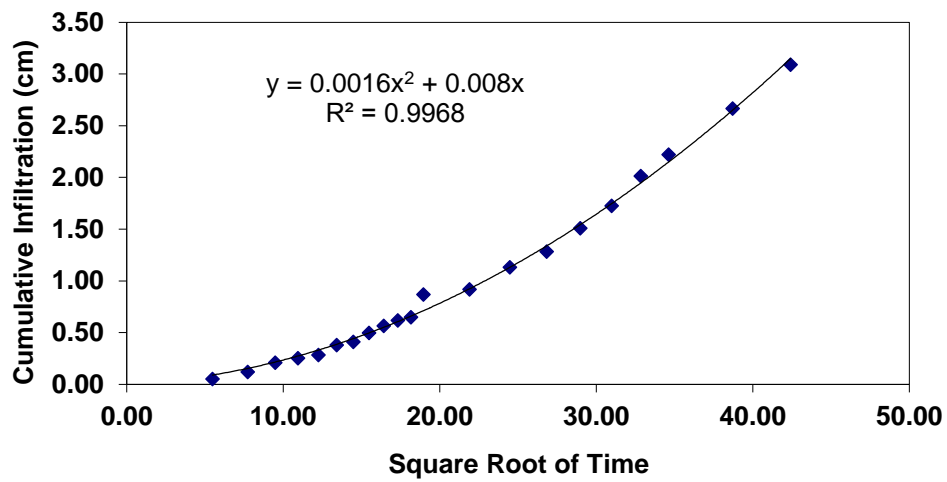


Tabulka č. 3.17.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 7. výjezd – 3.
měření - lokalita Luhačovice

3. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		89	0,00
30	5,48	88,2	0,05
60	7,75	87,1	0,12
90	9,49	85,7	0,21
120	10,95	85	0,25
150	12,25	84,5	0,28
180	13,42	83	0,38
210	14,49	82,5	0,41
240	15,49	81,1	0,50
270	16,43	80	0,57
300	17,32	79,2	0,62
330	18,17	78,7	0,65
360	18,97	75,2	0,87
480	21,91	74,4	0,92
600	24,49	71	1,13
720	26,83	68,6	1,28
840	28,98	65	1,51
960	30,98	61,6	1,72
1080	32,86	57	2,01
1200	34,64	53,7	2,22
1500	38,73	46,6	2,67
1800	42,43	39,9	3,09

Obrázek č. 3.17.: Průběh infiltrace – 7. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.18.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 8. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

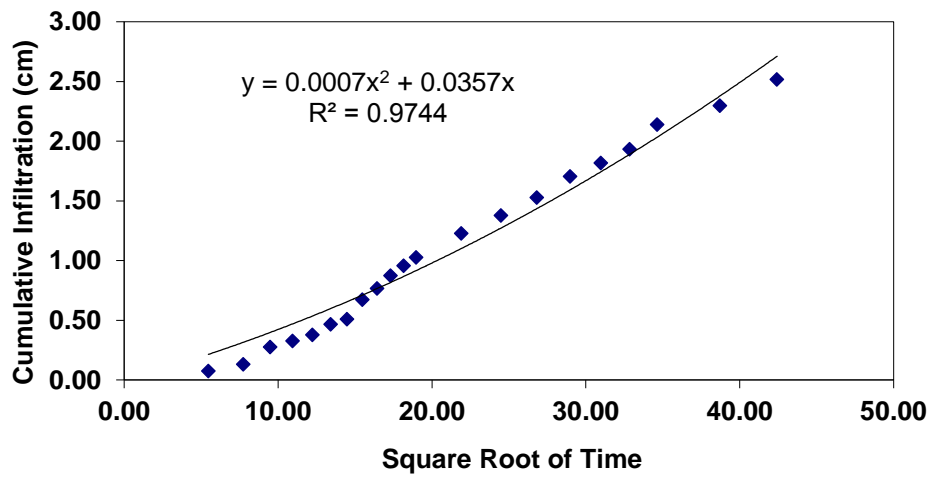
Průměrná hydraulická vodivost z výjezdu č. 8, kde probíhaly tři měření infiltrace.

průměr K =	0,00007	cm/s
průměr K =	0,06044	m/den

1. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		86	0,00
30	5,48	84,8	0,08
60	7,75	83,9	0,13
90	9,49	81,6	0,28
120	10,95	80,8	0,33
150	12,25	80	0,38
180	13,42	78,6	0,47
210	14,49	77,9	0,51
240	15,49	75,3	0,67
270	16,43	73,8	0,77
300	17,32	72,1	0,87
330	18,17	70,8	0,96
360	18,97	69,7	1,03
480	21,91	66,5	1,23
600	24,49	64,1	1,38
720	26,83	61,7	1,53
840	28,98	58,9	1,70
960	30,98	57,1	1,82
1080	32,86	55,3	1,93
1200	34,64	52	2,14
1500	38,73	49,5	2,30
1800	42,43	46	2,52

Obrázek č. 3.18.: Průběh infiltrace – 8. výjezd – 1. měření - lokalita Luhačovice

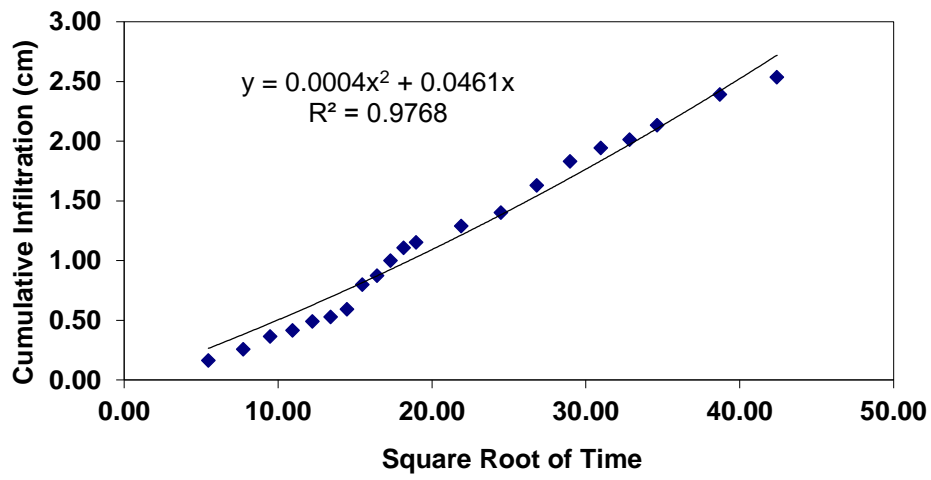


Tabulka č. 3.19.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 8. výjezd – 2.
měření - lokalita Luhačovice

2. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		87	0,00
30	5,48	84,4	0,16
60	7,75	82,9	0,26
90	9,49	81,2	0,36
120	10,95	80,4	0,42
150	12,25	79,2	0,49
180	13,42	78,6	0,53
210	14,49	77,6	0,59
240	15,49	74,3	0,80
270	16,43	73,1	0,87
300	17,32	71,1	1,00
330	18,17	69,4	1,11
360	18,97	68,7	1,15
480	21,91	66,5	1,29
600	24,49	64,7	1,40
720	26,83	61,1	1,63
840	28,98	57,9	1,83
960	30,98	56,1	1,94
1080	32,86	55	2,01
1200	34,64	53,1	2,13
1500	38,73	49	2,39
1800	42,43	46,7	2,53

Obrázek č. 3.19.: Průběh infiltrace – 8. výjezd – 2. měření - lokalita Luhačovice



Tabulka č. 3.20.: Měření infiltrace pomocí MiniDiskovou metodou – 8. výjezd – 3.
měření - lokalita Luhačovice

3. měření

čas (s)	$\sqrt{\text{čas}}$ (t)	Objem (ml)	Infiltrace (cm)
0		86	0,00
30	5,48	84,1	0,12
60	7,75	82,9	0,19
90	9,49	81,6	0,28
120	10,95	80,6	0,34
150	12,25	79,9	0,38
180	13,42	78,2	0,49
210	14,49	77,1	0,56
240	15,49	75,3	0,67
270	16,43	74	0,75
300	17,32	72,1	0,87
330	18,17	71	0,94
360	18,97	69,7	1,03
480	21,91	66,1	1,25
600	24,49	64,1	1,38
720	26,83	62	1,51
840	28,98	59	1,70
960	30,98	57,1	1,82
1080	32,86	55,4	1,92
1200	34,64	52,1	2,13
1500	38,73	49	2,33
1800	42,43	47,3	2,43

Obrázek č. 3.20.: Průběh infiltrace – 8. výjezd – 3. měření - lokalita Luhačovice

