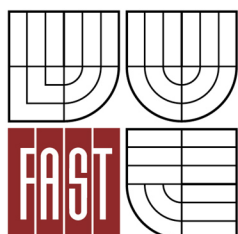




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

POUŽITÍ PROGRAMU ROSETTA K ODHADU RETENČNÍCH ČAR PŮDNÍ VLHKOSTI Z EXPERIMENTÁLNÍ PLOCHY BOHATÉ MÁLKOVICE

*USING PROGRAM ROSETTA TO ESTIMATE OF SOIL MOISTURE RETENTION CURVES FROM
EXPERIMENTAL SIZE BOHATÉ MÁLKOVICE*

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

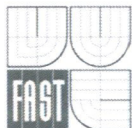
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Petr Čermák

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Petr Čermák
Název	Použití programu Rosetta k odhadu retenčních čar půdní vlhkosti z experimentální plochy Bohaté Málkovice
Vedoucí diplomové práce	Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	14. 10. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 14. 10. 2014

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

- CÍSLEROVÁ, M. (1989): Inženýrská hydroopedologie, ČVUT v Praze. ISBN 80-01-00052-4.
- KODEŠOVÁ, R. (2005): Modelování v pedologii. ČZU v Praze, vydání první. ISBN 80-213-1347-1
- KUTÍLEK, M. (1978): Vodohospodářská pedologie. ANTL/ALFA Praha, druhé vydání.
- KUTÍLEK, M. a D. R. NIELSEN (1994): Soil Hydrology. Catena: GeoEcology Publications, vydání druhé. ISBN 3-923381-26-3.
- SCHAAP, M. (2003): Rosetta, version 1,0, Predicting Soil Hydraulic Parameters from Basic Soil Data. US Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, USA.
- VAN GENUCHTEN M.TH. ET AL. (1991): RETC, version 6,0, Code for Quantifying the Hydraulic Function of Unsaturated Soils, US Salinity Laboratory, USDARS, Riverside, CA, USA.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci diplomové práce bude zohledněna problematika odhadu retenčních čar půdní vlhkosti pomocí mezinárodní databáze Rosetta. Měření retenčních čar v laboratorních podmínkách jsou časově a finančně nákladné, proto se jako alternativní řešení jeví použití pedotransferových funkcí. Základním předpokladem pro odvození pedotransferových funkcí jsou databáze, které obsahují informace o základních půdních datech a hydraulických charakteristikách pro široké spektrum půd (HYPRES, Rosetta).

Cílem diplomové práce je odhad vlhkostních retenčních čar půdy ve vybraném zájmovém území jižní Moravy pomocí programu Rosetta (Schaap, 2003), ve kterém se jako vstupy použijí fyzikální vlastnosti půdy (textura půdy, % zastoupení písku, prachu a jílu, redukovaná objemová hmotnost a hydrolimity polní vodní kapacita a bod vadnutí). Dosažené výsledky budou porovnány s retenčními čarami půdní vlhkosti určenými v laboratorních podmínkách.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Kameničková

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

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

K nejdůležitějším vlastnostem půdy patří její hydraulické charakteristiky, tj. retenční čára půdní vlhkosti a hydraulická vodivost. Hydraulická vodivost půdy charakterizuje schopnost půdy vést vodu. Retenční čára vyjadřuje vztah mezi vlhkostí a vlhkostním potenciálem půdy. Její průběh ovlivňuje řada faktorů, např. zrnitostní a mineralogické složení, obsah humusu, objemová hmotnost redukovaná a struktura půdy. Měření retenčních čar v laboratorních podmínkách jsou časově a finančně nákladné, proto se jako alternativní řešení jeví použití pedotransferových funkcí.

Cílem diplomové práce je odhad vlhkostních retenčních čar půdy ve vybraném zájmovém území jižní Moravy pomocí programu Rosetta (Schaap, 2003). Jako prediktory do jednotlivých modelů programu Rosetta se použily údaje o zrnitosti (% obsah jílu, písku a prachu), objemová hmotnost půdy, hydrolimity polní vodní kapacita a bod vadnutí. Údaje o zrnitosti byly sladěny podle FAO/USDA systému.

Retenční čáry půdní vlhkosti byly měřeny na pískovém tanku a přetlakových přístrojích. Změřené retenční čáry byly parametrizovány programem RETC.

Pro určení kvality odhadu byly odhadnuté retenční čáry graficky porovnány s měřeními. Přesnost odhadu byla hodnocena pomocí korelačního koeficientu R , determinačního koeficientu R^2 a směrodatné chyby $SMRE$.

Vzhledem k velikosti souboru vstupních dat se nedá konstatovat použitelnost vlastních odvozených pedotransferových funkcí. Doporučoval bych jejich další ověření na jiných lokalitách jižní Moravy.

Klíčová slova

retenční čára půdní vlhkosti, pedotransferové funkce, hydraulické charakteristiky půdy, objemová hmotnost redukovaná, program Rosetta

Abstract

Hydraulic characteristics are the most important properties of soil, i.e. retention curve of soil moisture and hydraulic conductivity. Hydraulic conductivity of soil characterizes the ability of the soil to conduct water. Retention curve expresses the relationship between moisture and moisture potential of soil. The running of retention curve is influenced by many factors, eg. grain size and mineralogical composition, content of humus, reduce bulk density and structure of soil. Measurement of retention curves takes a lot of time and money in laboratory conditions therefore pedotransfer functions seem to be an alternative solution.

The thesis aims to estimate moisture retention curves of soil in a selected area of interest in South Moravia using program Rosetta (Schaap, 2003). Data of granularity (% content of clay, sand and dust), bulk density of soil and hydrolimits field water capacity and wilting point were used as predictors in individual models of program Rosetta. Data of grain were matched by FAO / USDA system.

Retention curves of soil moisture were measured on a sand tank and overpressure devices. The measured retention curves were parameterized by RETC program.

Estimated retention curves were graphically compared with measured to determine the quality of the estimate. The accuracy of the estimate was assessed by correlation coefficient R of determination coefficient R^2 and standard error SMRE.

Usability own derivatives pedotransfer functions is hard to say due to the size of the input data file. I would recommend further verification of data at the other localities in south Moravia.

Keywords

retention curve of soil moisture, pedotransfer functions, hydraulic characteristics of soil, reduce bulk density, program Rosetta

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Petr Čermák *Použití programu Rosetta k odhadu retenčních čar půdní vlhkosti z experimentální plochy Bohaté Málkovice*. Brno, 2015. 97 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13.1.2015



.....
podpis autora

Bc. Petr Čermák

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce, Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph.D., za odborné vedení při zpracování daného tématu, cenné rady, připomínky a trpělivost. Dále děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu a optimismus.

OBSAH

ÚVOD	10
CÍL PRÁCE	11
1. FYZIKÁLNÍ A HYDROFYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY PŮDY	12
1.1 Textura.....	12
1.2 Objemová hmotnost.....	18
1.2.1 Objemová hmotnost neredukovaná.....	18
1.2.2 Objemová hmotnost redukována	19
1.3 Zdánlivá hustota půdních částic	19
1.4 Retenční čára půdní vlhkosti	21
1.4.1 Metody stanovení retenční čáry půdní vlhkosti	23
1.5 Analytické funkce pro vyjádření retenční čáry půdní vlhkosti.....	26
1.6 Půdní hydrolimity	29
1.7 Program RETC	32
1.8 Pedotransferové funkce	34
1.8.1 Rozdělení pedotransferových funkcí	34
1.9 Program Rosetta	39
1.10 Vztahy používané Rosettou	40
1.11 Funkční zhodnocení pedotransferových funkcí.....	41
2. PRAKTICKÁ ČÁST	44
2.1 Charakteristika území	44
2.1.1 Geologické poměry	45
2.1.2 Klimatické poměry	45
2.1.3 Hydrologické poměry	45
2.1.4 Způsob obdělávání půdy	46

2.2	Odběr vzorků v terénu a metodika zpracování dat	46
2.3	Vyhodnocení hydrofyzikálních vlastností půdy	49
2.4	Odhad retenčních čar půdní vlhkosti pomocí programu Rosetta.....	51
2.5	Srovnání odhadnutých a měřených RČPV	56
ZÁVĚR		65
POUŽITÁ LITERATURA		66
SEZNAM TABULEK		70
SEZNAM OBRÁZKŮ		71
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ		73
SEZNAM PŘÍLOH		76
PŘÍLOHY.....		78

ÚVOD

Půda patří mezi základní podmínky nutné k udržení života na Zemi, proto je velmi důležité ji chránit. Půda má velký význam pro člověka, kterému poskytuje mnoho surovin pro průmyslovou výrobu, prostor pro stavbu svých obydlí, pěstování mnoha rostlinných plodin, atd. Jednoduše řečeno, je na půdě přímo nebo nepřímo závislá jakákoliv činnost nejen člověka, ale všeho živého na zemi.

Velmi významnou roli hraje půda v hydrologickém cyklu krajiny. Podle kvality, typu struktury a dalších vlastností půdy se odvíjí její retenční a akumulární schopnost. Retenční schopnost půdy je dána gravitačními póry (nejhrubší póry), které se po zaplnění vodou opět odvodňují. Akumulace závisí na kapilárních pórech, ve kterých je voda vázána kapilárními silami. Půda zároveň funguje jako filtrační prostředí, přes které se voda přirozeně čistí. Tento proces může také probíhat obráceně, kdy se z půdy do vody uvolňují různé látky. Stav a množství vody mezi půdním povrchem a hladinou podzemní vody ovlivňuje řadu důležitých procesů, např. úrodnost půdy, odtok z povodí, zásobení zdrojů podzemních vod a další.

Hydraulické charakteristiky půdy, tj. retenční čára půdní vlhkosti a hydraulická vodivost, jsou klíčové charakteristiky popisující hydraulické vlastnosti půdního prostředí. Retenční čára půdní vlhkosti představuje množství vody, které zadržuje půda v rovnovážném stavu. Hydraulická vodivost charakterizuje proudění vody půdním prostředím. Rychlost pohybu vody v půdě je důležitá pro zemědělství, ochranu životního prostředí a vodní hospodářství. Měření nasycené a hlavně nenasyčené hydraulické vodivosti je náročné, proto se využívá výpočtů. Z retenčních křivek stanovených v laboratoři nebo v terénu se výpočtem podle zvolené metody vypočte nenasyčená hydraulická vodivost.

Hydraulické vlastnosti půdy zůstávají i přes zdokonalování měřících metod obtížně změřitelné, jelikož měření jsou časově náročná a nákladná. Jako alternativní řešení se jeví použití pedotransferových funkcí pro odhad těchto vlastností, místo přímých měření. Pedotransferové funkce využívají snáze stanovitelné půdní charakteristiky, např. půdní texturu, objemovou hmotnost a obsah humusu pro odhad hydraulických charakteristik půdy.

CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je odhad vlhkostních retenčních křivek ve vybraném zájmovém území jižní Moravy pomocí programu Rosetta (Schaap, 2003), ve kterém se jako prediktory použijí hydrofyzikální vlastnosti půdy (textura půdy, procentuální zastoupení písku, prachu a jílu, redukovaná objemová hmotnost, polní vodní kapacita a bod vadnutí). Dosažené výsledky budou porovnány s retenčními čarami určenými v laboratorních podmínkách na pískovém tanku a přetlakovém přístroji. Kvalita odhadu bude posouzena pomocí základních statistických charakteristik: Pearsonův korelační koeficient R , determinační koeficient R^2 a směrodatná chyba $RMSE$.

1. FYZIKÁLNÍ A HYDROFYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY PŮDY

K základním fyzikálním a hydrofyzikálních charakteristikám půdy patří textura, struktura, objemová hmotnost, zdánlivá hustota půdních částic, polní vodní kapacita, bod vadnutí, retenční čára půdní vlhkosti a hydraulická vodivost.

1.1 TEXTURA

Důležitým znakem, z hlediska praktického a vědeckého posuzování půdy, je její zrnitostní složení, které do značné míry ovlivňuje vznik a vývoj půdy a celou řadu půdních vlastností. Jedná se nejen o fyzikální a chemické vlastnosti půdy, ale i o vzdušnou, tepelnou a vodní kapacitu, propustnost pro vodu, vzduch a podobně.

K texturnímu rozboru půdy používáme pouze jemnozem, která neobsahuje agregáty větší než 2 mm. Půdní vzorek je potřeba si před samotným roztříděním do jednotlivých frakcí připravit, což obnáší rozmělnění hrudek a agregátů a následnou peptizaci (přeměna hrubé disperze na koloidní disperzi) půdních koloidů.

Nejsnazší způsob oddělení jednotlivých frakcí je prosévání přes sadu sít. Abychom byly schopni prosévat částice až do velikosti 0,063 mm, musíme celý proces prosívání provádět ve vodním prostředí. Ovšem problémy se vyskytují již při velikosti síta 0,1 mm, protože jemné částice, velmi důležité pro klasifikaci půdy, mají tendenci přichytávat se k sítu nebo větším částečkám. Z tohoto důvodu se pro separaci jemných částic používají nepřímé sedimentační metody založené na Stokesově zákoně.

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r^2 \cdot (\rho_z - \rho_o)}{\eta}$$

(1.1.1)

kde

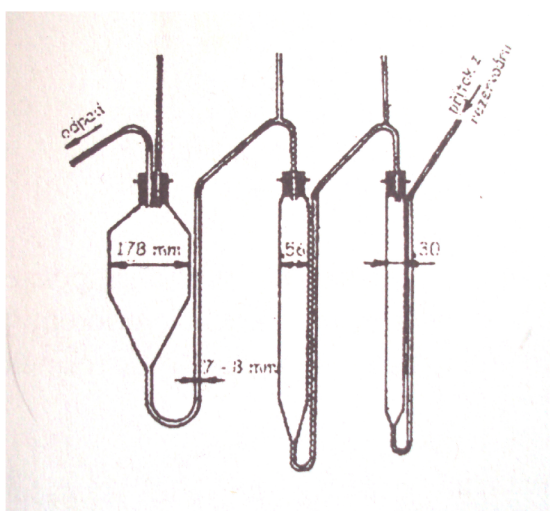
- g – tíhové zrychlení [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$]
- ρ_z – hustota částic [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
- ρ_o – hustota disperzního prostředí [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

η – viskozita disperzního prostředí [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]

r – poloměr částic [cm]

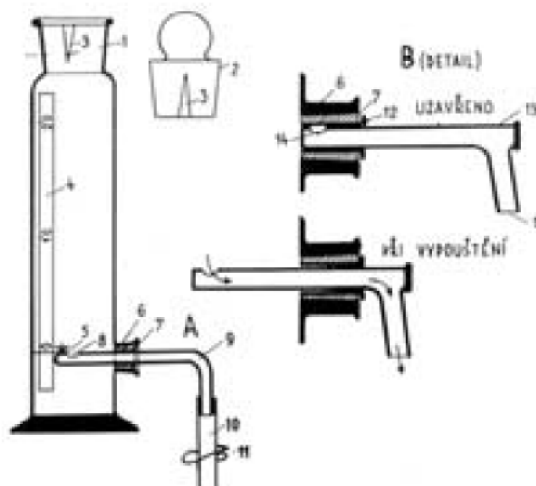
Je známo několik druhů sedimentačních metod, ke kterým patří vyplavovací metoda, dekantační metoda, pipetovací metoda a hustoměrná metoda.

U **vyplavovací metody** se používá Kopeckého plavící aparát. Ten je založen na působení vodního proudu proti usazovací rychlosti půdních částic. Skládá se ze tří navzájem propojených zvětšujících se válců. Mění se průměr válců postupně mění i usazovací rychlost. Tak se v každém ze tří válců usazuje jiná frakce částic a poslední nejmenší frakce je vyplavována ven z aparátu a dopočítá se do celkového počátečního objemu.



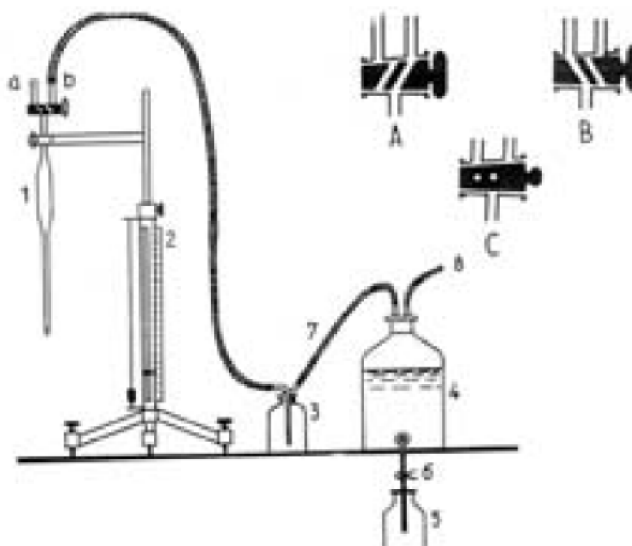
Obr.1.1.1 Kopeckého plavící aparát (převzato Kutílek, 2000)

Metoda dekantační je založena na opakované sedimentaci. Suspenzi promícháme a necháme určitou dobu „t“ sedimentovat. Poté odпустíme určitou část sloupce suspenze „h“, ve které zůstaly částice s usazovací rychlostí menší než „h/t“. Odebraná část se znovu doplní vodou a nechá se znovu sedimentovat. Tento proces se opakuje, až je odebíraná část čirá. Zbylá část se odpaří a odečte od počátečního objemu.



Obr.1.1.2 Dekantační přístroj (převzato Česká pedologická společnost)

Metoda pipetovací je založena na jediné sedimentaci, při které se pipetou odebírají v různých časových rozestupech z jedné hloubky vzorky. Tyto vzorky se následně vysuší a zváží. Ze sedimentační rychlosti určíme výpočtem procentuální zastoupení jednotlivých částic.



Obr.1.1.3 Pipetovací metoda (převzato Česká pedologická společnost)

Hustoměrná metoda je založena na měření hustoty v určitých časových intervalech. Při sedimentaci se v závislosti na čase mění hustota suspenze. Po preparaci se suspenze vpraví do sedimentačního válce a doplní se destilovanou vodou (objem 1000 cm³). Minutu před

začátkem sedimentace se suspenze promíchá, v okamžiku vyjmutí míchadla začíná počátek měření.

Ihned po začátku sedimentace se do suspenze opatrně vloží hustoměr, uchopí se na horním konci stopky dvěma prsty, drží se svisle a pomalu se vnořuje do suspenze (10 s). Hustoměr se uklidní, nesmí se houpat a otáčet. Hustota se čte na horním menisku.

Naměřené hodnoty hustoty se zapisují do formuláře. Doba sedimentace se měří v časových intervalech: 30'', 1', 2', 5', 15', 45', dále po 2, 5 a 24 hodinách. Po 3 a 4 měření se vyjme hustoměr z válce, opláchne se a znovu se opatrně vnoří do válce minutu před dalším měřením. Odstraní se tak částice, usazené na rozšířené části hustoměru. Tento postup se opakuje u všech dalších měření.

Během sedimentace se měří teplota, z počátku po 15' a později při každém čtení, přesnost $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

K určení velikostí částic pro jednotlivé doby sedimentace se použije jednoduchý počítačový program zpracovaný v programu Microsoft Office Excel, který zpracoval Ing. Rudolf Milerski, CSc., 1998.

Pomocí vzorce (1.1.2) lze následně vypočítat procentuální zastoupení jednotlivých částic.

$$W = \frac{100}{s} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} \cdot (R + c + m)$$

$$m = 0,0055 \cdot T^2 - 0,0373 \cdot T - 1,44$$

(1.1.2)

kde

- W – poměrný obsah částic v daném čase měření [% hm.]
- s – navážka zeminy k zrnitostní analýze přepočtená na sušinu [g]
- ρ_s – měrná hmotnost zeminy [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
- R – hustoměrné čtení
- c – menisková korekce hustoměru
- m – teplotní korekce

T – teplota suspenze v daném čase

Dle vzorce (1.1.3) vypočteme velikost zrna D

$$D = \sqrt[10]{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{g \cdot t \cdot (\rho_s - \rho_o)}}$$

(1.1.3)

kde

η – dynamická viskozita tekutin (vody) [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$]

ρ_o – měrná hmotnost vody [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

H – odpovídající hloubka hustoměru v suspenzi [cm]

g – gravitační zrychlení [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$]

t – čas měření [s]

v – usazovací rychlost

Výsledky zrnitostních rozborů vyjadřujeme číselně nebo graficky čarou zrnitosti, která je součtovou čarou. Z ní lze zjistit procentuální zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí a pomocí klasifikačních systémů půdu oklasifikovat. Existují různé klasifikační stupnice a diagramy.

Zrnitostní klasifikace podle Kopecského

Zrnitostní frakce – souhrn všech půdních částic spadajících velikostí do určitého rozmezí průměru. Někdy se terminologicky odlišují zrnitostní kategorie, což jsou zrnitostní frakce pro klasifikace. V současnosti jsou využívány tyto klasifikační systémy:

Kopecského klasifikace je založena na rozdělení podle velikosti agregátů do čtyř kategorií. Podle jejich procentuálního zastoupení následně určujeme základní rozdělení na jíl, prach, práškovitý písek a písek. Rozdělení zrnitostních frakcí podle Kopecského je uvedeno v tab. 1.1.1.

Velikost [mm]	Frakce	Kategorie
< 0,01	Jíl	I. Kategorie
0,01 – 0,05	Prach	II. Kategorie
0,05 – 0,1	Práškovitý písek	III. Kategorie
0,1 - 2	Písek	IV. Kategorie

Tab.1.1.1 Zrnitostní klasifikace podle Kopeckého (převzato Česká pedologická společnost)

Zrnitostní klasifikace podle Nováka

Novákova klasifikace je jednodušší. Zohledňuje obsah jílových částic, které jsou rozhodující pro dynamické děje v půdě. Tyto půdy dělí na 7 půdních druhů na základě procentuálního obsahu I. kategorie. K základnímu názvu se ještě přidává další označení podle ostatních vlastností zeminy, např. zastoupení šterku, obsahu uhličitánů, humusu apod. Obsahuje-li půda < 50% skeletu, hodnotí se zrnitost v 7 (8) stupních Novákovy stupnice, Tab. 1.1.2

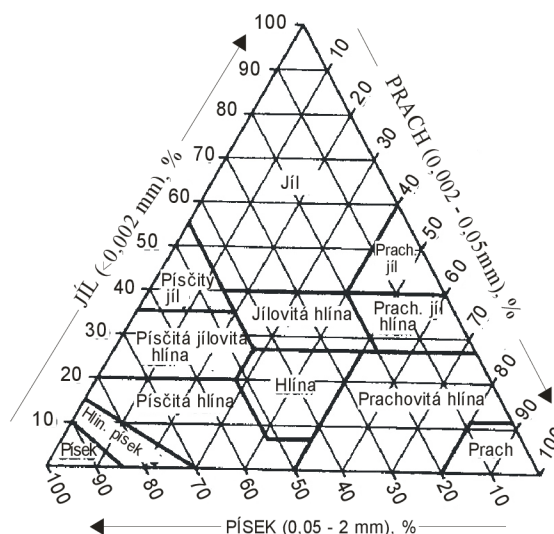
Obsah částic < 0,01mm [%]	Označení půdního druhu	Základní půdní druhy
0	Písek	Lehká půda
0 – 10	Písčítá	
10 – 20	Hlinitopísčítá	
20 – 30	Písčitohlinitá	Střední půda
30 – 45	Hlinitá	
45 – 60	Jílovitohlinitá	Těžká půda
60 – 75	Jílovitá	
> 75	Jíl	

Tab.1.1.2 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (převzato Kutílek, 2000)

Zrnitostní klasifikace pomocí trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd (NRSC USDA)

Zrnitostní klasifikace je založená na základním rozdělení: jíl (<0.002 mm), prach (0,002 – 0,05 mm) a písek (0,05 – 2 mm). Pomocí procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí z diagramu, viz. obr. 1.1.4, odečteme texturní třídění. Ta se dělí na písek, hlinitý písek,

písčité hlína, hlína, prachovitá hlína, prach, písčité jílovité hlína, jílovité hlína, prachovitá jílovité hlína, písčité jíly, prachovité jíly a jíly.



Obr.1.1.4 Klasifikace pomocí trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd (NRSC USDA) (převzato Kameníčková, 2013)

1.2 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Objemovou hmotností se rozumí hmotnost objemové jednotky zeminy v přirozené struktuře.

1.2.1 Objemová hmotnost neredukovaná

Objemová hmotnost neredukovaná se stanovuje v přirozeném stavu. Získáme ji jako podíl hmotnosti vzorku a jeho objemu ve chvíli odběru. To znamená, že póry obsažené ve vzorku jsou částečně nebo zcela zaplněny vodou v závislosti na momentální vlhkosti půdy. Z tohoto důvodu je objemová hmotnost neredukovaná nestálá hodnota měnící se v závislosti na klimatických podmínkách. Pro výpočet použijeme rovnici (1.2.1)

$$\rho_v = \frac{G_A}{V_S}$$

(1.2.1)

kde

- G_A - hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g],
 V_S - objem fyzikálního válečku [cm³].

1.2.2 Objemová hmotnost redukováná

Objemová hmotnost redukováná je hmotnost neporušeného vzorku vysušeného při 105°C. Vysušením získáme vzorek neobsahující vodu vázanou v pórech. Jedná se o stálejší hodnotu pohybující se v horních vrstvách půdy okolo 1,2 až 1,5 g.cm⁻³ podle celkového objemu pórů v daném vzorku. Vzorky odebrané z větších hloubek bývají více ulehlé a tím i méně pórovité. Hodnota objemové hmotnosti u těchto vzorků dosahuje na 1,6 až 1,8 g.cm⁻³. Pro výpočet použijeme rovnic (1.2.2)

$$\rho_d = \frac{G_H}{V_S}$$

(1.2.2)

kde

- G_F - hmotnost vysušené zeminy [g],
 V_S - objem fyzikálního válečku [cm³].
Výsledné hodnoty se udávají s přesností 0,01 g.cm⁻³.

Pro použití v pedologii se objemová hmotnost neredukovaná i objemová hmotnost redukováná zjišťuje gravimetricky z neporušených půdních vzorků odebraných do Kopeckého fyzikálního válečku o jednotném objemu 100cm³. Objemovou hmotnost významně ovlivňuje způsob obdělávání půdy. Zoraná a nakypřená půda dosahuje hodnot objemové hmotnosti 0,8 až 1,1 g.cm⁻³. Doba ulehání zeminy od nakypření se pohybuje v závislosti na složení okolo jednoho roku, kdy se dostane půda do své původní ulehlosti.

1.3 ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PŮDNÍCH ČÁSTIC

Zdánlivá hustota půdních částic je podíl pevných částic vztažený k celkovému objemu. Je to stav uměle vytvořený, bez pórů, který se u sypkých materiálů zjišťuje pomocí pyknometru.

Do malé porcelánové misky se vsype 10g vzorku jemnozeme, doplní se destilovanou vodou (vzorek se ponoří alespoň 5 mm pod hladinu) a povaří se po dobu 3 – 10 minut (při vaření nesmí suspenze prskat, aby nedocházelo k velkým ztrátám zeminy). Vařením se vypudí ze vzorku vzduch, suspenze se míchá skleněnou tyčinkou a odpařená voda se doplňuje.

Pyknometr se naplní až po hrdlo převařenou destilovanou vodou, temperuje se ve vodní lázni na teplotu 20°C. Po ustálení teploty se dolije do pyknometru převařená destilovaná voda (20°C) a zátka se nechá volně zapadnout. Pyknometr se vyjme, osuší a provede se kontrola (vzduchová bublina pod zátkou), pak se vzorek zváží.

Voda z pyknometru se vylije, zchlazená suspenze se přelije beze ztrát do pyknometru pomocí skleněné tyčinky a nálevky. Do nálevky se doporučuje vsunout drátek, kterým se snadno uvolní hrdlo nálevky v případě ucpání zeminou. Pyknometr se opět doplní až po hrdlo převařenou destilovanou vodou a vytemperuje se na 20°C, po dalším doplnění vodou se uzavře zátkou, osuší se a zváží se.

Výpočet se provádí podle níže uvedeného vztahu.

$$\rho_s = \frac{N_s}{V_v} = \frac{N_s}{P_v + N_s - P_s} [\text{g.cm}^{-3}]$$

(1.3.1)

kde

P_v - hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],

P_s - hmotnost pyknometru se suspenzí [g],

N_s - navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g].

V půdě se nejčastěji vyskytuje křemen, díky kterému se zdánlivá hustota půdních částic nejčastěji pohybuje okolo 2,65 g.cm⁻³. Pórovitost i zdánlivá hustota půdních částic nejsou konstantní veličiny. Jejich hodnoty se mění v závislosti na ročním a vegetačním období. Mezi hlavní činitele patří změna teploty a vlhkosti, díky kterým se mění objem půdy.

Křemen	2,65	Pyrit	4,90-5,20
Kalcit	2,60-2,80	Limonit	3,40-4,00
Ortoklas	2,53-2,58	Boehmit	3,30-3,50
Albit	2,62-2,65	Kaolinit	2,58-2,67

Anortit	2,74-2,76	Halloysit	2,00-2,20
Mikroklin	2,54-2,57	Montmorillonit	2,00-2,30
Biotit	2,70-3,10	Nontronit	2,27-2,30
Augit	3,30-3,60	Illit	2,50-2,70
Hydrargillit	2,30-2,40	Allofan	1,80-2,00
Hematit	4,90-5,30	Muskovit	2,76-3,00
Humus	1,00-1,60		

Tab.1.3.1 Zdánlivá hustota půdních částic u nejčastěji se vyskytujících hornin v půdě (převzato Kutílek, 1978)

Pro výpočet zdánlivé hustoty půdních částic použijeme poměr hmotnosti půdních částic zeminy a objem tuhé fáze půdy.

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

(1.3.2)

kde

m_s – celková hmotnost tuhé fáze [kg]

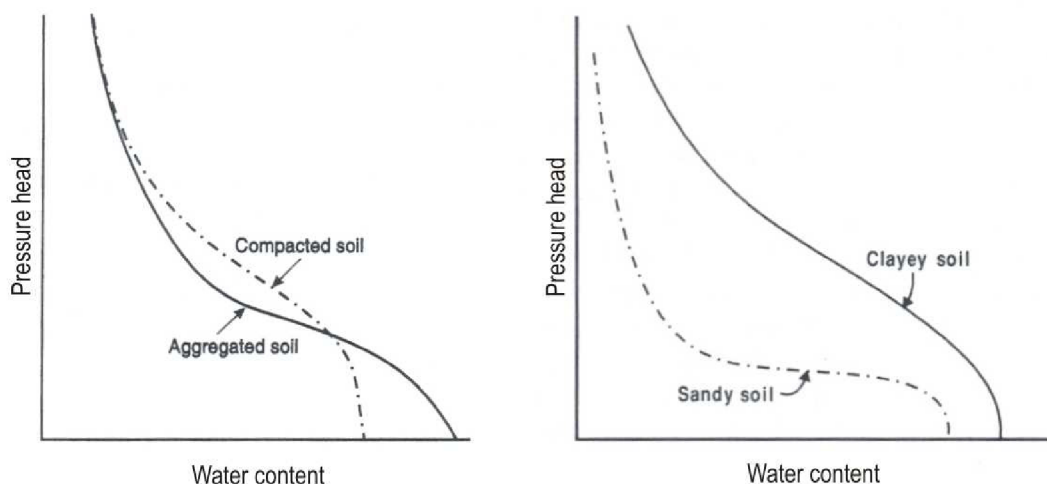
V_s – objem tuhé fáze [m³]

1.4 RETENČNÍ ČÁRA PŮDNÍ VLHKOSTI

Vlhkost půdy v libovolném bodě a její rozdělení v půdním profilu, je výsledkem nepřetržitého pohybu vody. Směr a rychlost pohybu závisí na silách, které působí mezi tuhou fází půdy a vodou, která je v ní obsažena. Existence těchto sil umožňuje retenci vody v zóně aerace, odkud je odebírána kořeny rostlin

Retenční čára půdní vlhkosti určuje tedy schopnost půdy zadržovat vodu. Tato schopnost je závislá na poměru jemných kapilárních pórů, hrubých kapilárních pórů,

struktury, vlhkosti, množství humusu, mineralogickém složení, objemové hmotnosti, zrnitostním složení a obsahu výměnných kationtů. Je unikátní pro každou půdu. Zpravidla se zobrazuje v semilogaritmickém měřítku jako tzv. pF-křivka. V obr. 1.4.1. je schematicky naznačeno, jak půdní vlastnosti ovlivňují tvar retenční čáry.

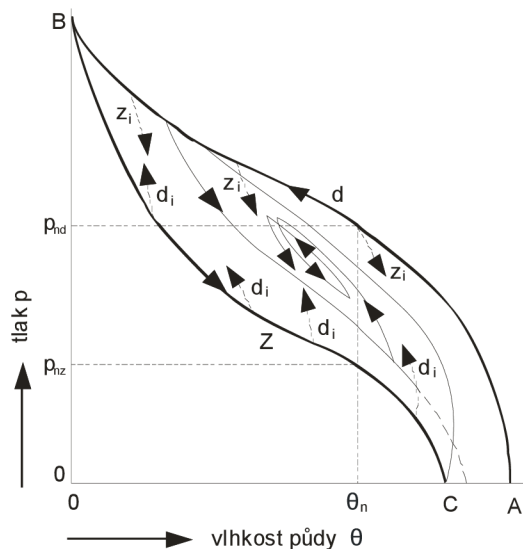


Obr.1.4.1 Závislost retenční čáry na struktuře půdy-vlevo a na textuře půdy – vpravo

(převzato Hillel, 1998)

Retenční čára půdní vlhkosti je silně hysterezní. Průběh odvodňovací větve se značně liší od průběhu zvlhčovací větve. Tyto dvě krajní křivky se nazývají hlavní odvodňovací větve a hlavní zvlhčovací větve retenční čáry. Mezi nimi mohou kdekoliv probíhat přechodové větve, jak je patrné z obr. 1.4.2, záleží na výchozí vlhkosti vzorku a směru procesu změny vlhkosti.

Při opětovném zvlhčení suchého vzorku může dojít k tomu, že se vzorek nenasytí až do původní nasycené vlhkosti θ_s , ale hodnota nasycené vlhkosti θ_s je nižší. Velikost hystereze závisí na zrnitostním složení, ovlivňuje rozdělení pórů a tím i velikost hysterezních efektů. U hrubozrnných materiálů se projevuje více než u jemnozrnných materiálů. Při měření bodů retenční čáry na pískovém tanku a přetlakovém přístroji se vyšetřuje pouze odvodňovací větve retenční čáry a vliv hystereze se zanedbává.



Obr.1.4.2 Schéma hysterezní smyčky retenční čáry (převzato Kameníčková, 2013)

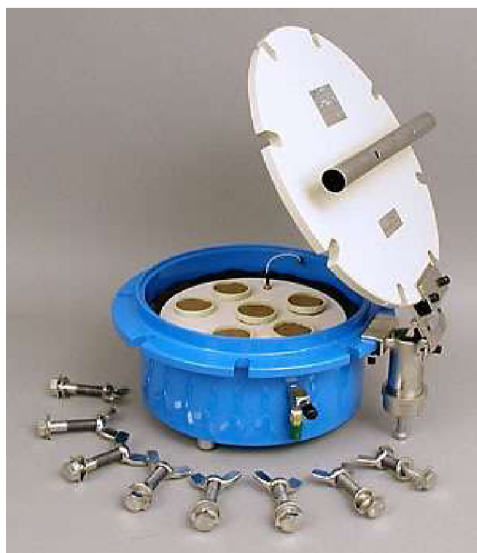
1.4.1 Metody stanovení retenční čáry půdní vlhkosti

K laboratorním metodám určení retenční čáry půdní vlhkosti používáme přetlakové a podtlakové přístroje.

Mezi přetlakové přístroje řadíme přetlakový aparát, který se skládá z tlakové nádoby, polopropustné keramické membrány, kompresoru, regulátoru tlaku a manometru. Kompresor vytváří přetlak vzduchu působící shora na vzorek. Požadovaný přetlak nastavíme regulátorem vzduchu.

Vodou nasycené půdní vzorky umístíme na membránu, na níž působíme konstantním tlakem vzduchu, vyšším než je tlak atmosférický. Vlivem nastaveného přetlaku začne ze vzorků odtékat ta část objemu vody, která je k pevné fázi poutána menší silou, než je působící tlak. Odtok vody ze vzorků se ukončí, když nastane rovnováha mezi vlhkostním potenciálem půdy a nastaveným přetlakem. Rovnovážnému stavu odpovídá určitá hodnota vlhkosti půdy, kterou vypočítáme na základě vážení vzorků. Postupným zvyšováním přetlaku a určením k němu odpovídajícím sníženým vlhkostem, se stanovují větve vlhkostní retenční křivky.

Pokud v přetlakovém přístroji nastavíme inverzní podmínky tak, že při postupném snižování nastaveného maximálního přetlaku půdní vzorky budou moci zvyšovat svoji vlhkost, obdržíme zvlhčovací větev retenční čáry.



Obr.1.4.3 Přetlakový aparát (převzato Kameníčková, 2013)

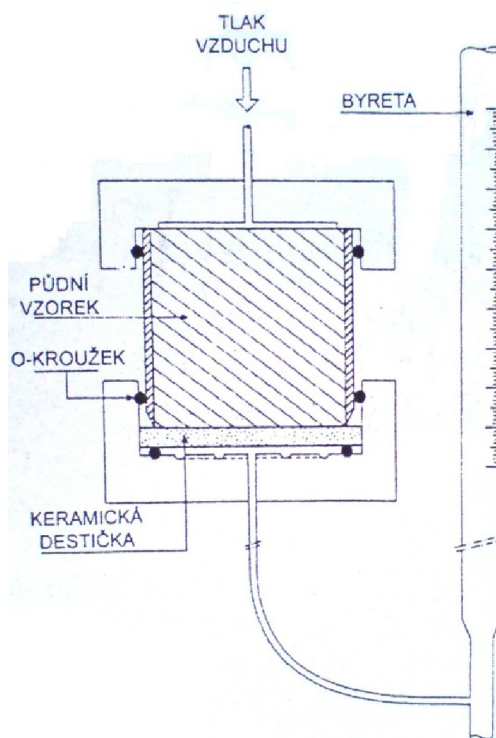
Mezi podtlakové přístroje řadíme pískový tank, kde funkci polopropustné membrány tvoří vrstva zvlhčeného velmi jemného umělého křemičitanového písku. Písek je umístěn v nádobě, jejíž dno je drénované perforovanou trubičkou. Snižováním volné hladiny v odtokové nádobě se zvyšuje podtlak. Po dosažení rovnováhy, která se kontroluje vážením vzorků, se na výpočet vlhkosti vzorků použije hodnota z posledního vážení a postup se opakuje pro další podtlaky.



Obr.1.4.4 Pískový tank (převzato Kameníčková, 2013)

Tempskou celu řadíme mezi přístroje pracující v obou režimech (podtlakový i přetlakový). Přístroj je výhodné použít v případech, kdy hrozí vyplavení nestabilních částic ze vzorku. Hlavní součástí je keramická destička. Po nasycení destičky a vzorku vodou se tlaková výška vody řídí polohou byrety připojené ke spodní části přístroje nebo přetlakem

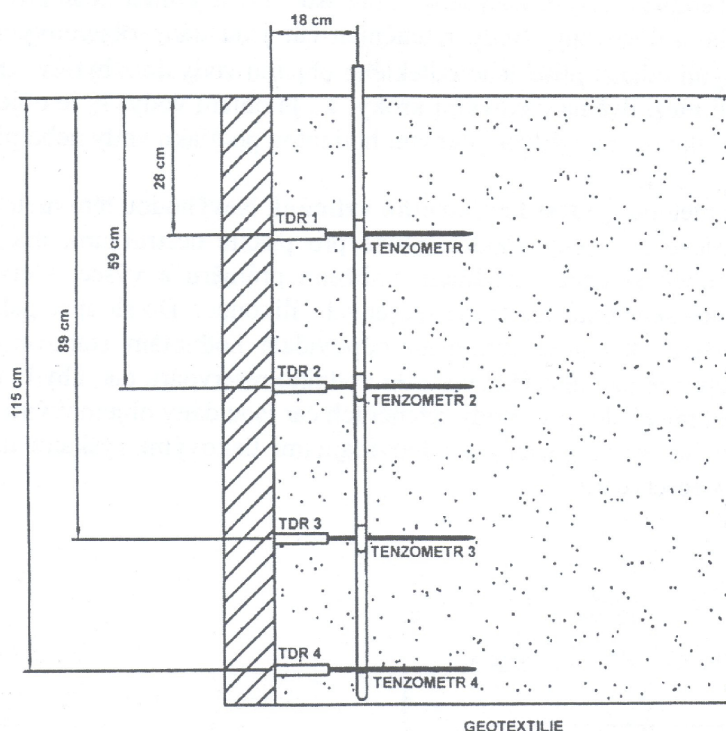
vzduchu. Pomocí několika tlakových změn, při kterých vzorek zvlhčujeme nebo drůujeme (přetlak, podtlak), určíme body retenční čáry z poměru přitekého a oteklého objemu vody v byretě a příslušné tlakové výšky.



Obr.1.4.5 Tempuská cela (převzato Kodešová, 2005)

Metoda vhodná pro nestruturní nebo písčité půdy je test kapilárního vztlínání. Do průhledného válce, o známém průměru a výšce, je uměle ztuhněna půda na stejnou objemovou hmotnost, jakou měl neporušený vzorek půdy. Vzorek ve válci je rozdělen na několik sekcí navzájem spojených silikonem. Válec je umístěn do zásobníku vody tak, aby těsně nad spodním okrajem sloupce byla hladina vody. Pro jednotlivé sekce vypočteme gravimetricky objemovou vlhkost. Pomocí příslušných hodnot tlaku a objemové vlhkosti vyneseme body retenční čáry.

K terénním metodám patří přímé měření půdní vlhkosti pomocí čidel. Do jednotlivých hloubek půdního profilu umístíme čidla na měření vlhkosti (TDR senzory) a tenzometry k měření tlakové výšky. Pomocí naměřených hodnot tlaku a příslušné objemové vlhkosti vyneseme body retenční čáry.



Obr.1.4.6 Schéma terénního měření retenční čáry (převzato Kodešová, 2005)

Z přehledu jednotlivých metod určení průběhu retenční čáry je patrné, že se jedná o metody náročné na měřicí techniku a na čas. Změření jednoho bodu retenční čáry může trvat několik dnů až týdnů v závislosti na zvoleném podtlaku/ přetlaku, ale i s ohledem na půdní druh.

1.5 ANALYTICKÉ FUNKCE PRO VYJÁDŘENÍ RETENČNÍ ČÁRY PŮDNÍ VLHKOSTI

Retenční čáru půdní vlhkosti je možné matematicky popsat pomocí rovnic, které jsou závislé na vlhkosti půdy a tlakové výšce. Do rovnic se obvykle dosazuje takzvaná efektivní vlhkost θ_e .

Efektivní vlhkost θ_e vyjadřuje efektivní stupeň nasycení a nejčastěji se používá ve tvaru

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

(1.5.1)

kde

θ_e – objemová vlhkost [-],

θ_s – nasycená vlhkost [-],

θ_r – reziduální vlhkost (neúčastní se proudění, ustává pohyb vody v půdě) [-].

Při praktickém použití se reziduální vlhkost zanedbává nebo se uvažuje $\theta_r=0$. Pak platí

$$\theta_e = \frac{\theta}{\theta_s} \quad (1.5.2)$$

Nejčastěji používané rovnice jsou rovnice van Genuchtena a rovnice Brookse a Coreyho.

Rovnice van Genuchtena (1980)

$$\theta_e = \frac{1}{(1 + (\alpha|h|^n))^m} \quad (1.5.3)$$

kde

θ_e – efektivní vlhkost [-]

α – koeficient v rozmezí 10^{-3} až 10^{-2} [-]

$|h|$ – absolutní hodnota výšky [m]

n – koeficient v rozmezí 1,5 až 6 [-]

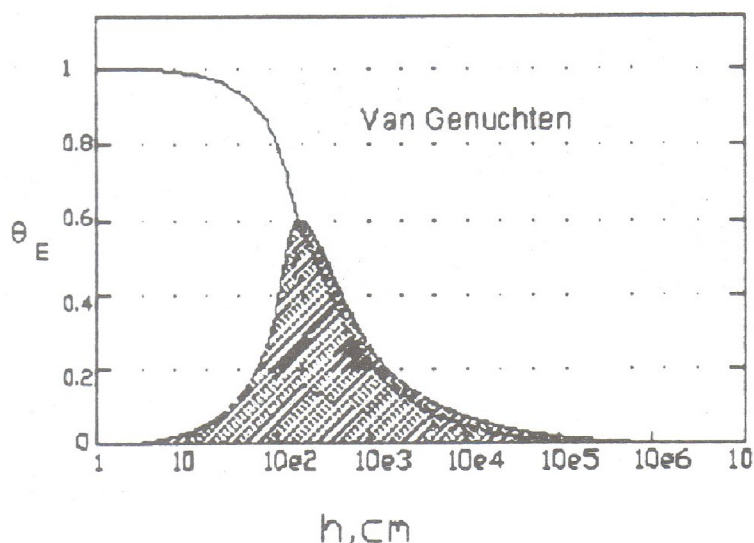
m – empirický koeficient

Typickým grafem funkce 1.5.3. je křivka esovitého tvaru. Nezávislé parametry θ_r , θ_s , α a n se získají proložením experimentálně získaných bodů závislosti vlhkosti na tlakové výšce $\theta(h)$. Z těchto parametrů je zpravidla k dispozici nasycená vlhkost θ_s , která se snadno

získá měřením a patří ke standardně zjišťovaným hodnotám v hydropedologických laboratořích.

Reziduální vlhkost lze z praktického hlediska definovat jako vlhkost při vysoké záporné hodnotě tlakové výšky, např. bodu vadnutí ($h = -15\ 000\text{cm}$). Ačkoliv je pokles tlakové výšky při další desorpci vody průkazný, nejsou tyto změny vlhkosti důležité pro většinu praktických polních aplikací. Ve skutečnosti by neodpovídaly obecnému tvaru křivky definovanému rovnicí 1.5.3 a zrušily by platnost samotného konceptu parametru reziduální vlhkosti.

Tvarový parametr α kvalitativně popisuje největší souvislé póry. Vyšší hodnoty odpovídají nižšímu pásmu vzlínání nad hladinou vody. Parametr n kvalitativně popisuje rozdělení velikosti pórů v půdě. Vyšší hodnoty odrážejí úzký rozsah rozdělení velikosti pórů, běžný v hrubších a nestrukturních půdách, zatímco nižší hodnoty odrážejí širší distribuci velikosti pórů běžnou v jemnozrnných a strukturních půdách (API, 2004). Vliv parametrů α a n je uveden v obrázku 1.5.1.



Obr.1.5.1 Retenční čára určená podle van Genuchten (převzato Kutílek, 1978)

Rovnice Brookse a Coreyho (1964)

$$\theta_s = \left(\frac{H_b}{|h|} \right)^\lambda, \quad h < -H_b$$

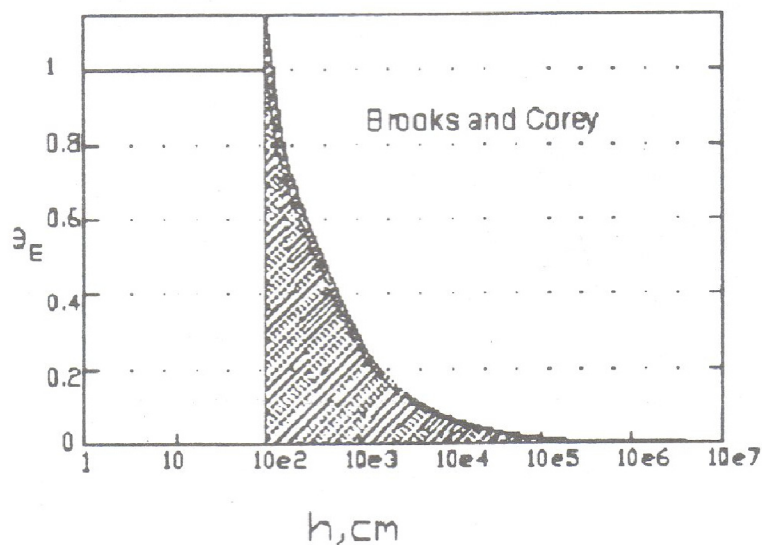
$$\theta_s = 1, \quad h \geq -H_b$$

(1.5.4)

kde

 H_b a λ – jsou parametry H_b – byl původně definován jako probublávající tlak, který je obvykle menší než vstupní hodnota vzduchu H_v .

Diskontinuální charakter rovnice 1.5.4 je obecně považován za nevýhodu při použití v modelech, nicméně je tento vztah historicky jeden z nejrozšířenějších (Cornelis et al., 2005).



Obr.1.5.2 Retenční čára určená podle Brooks a Corey (převzato Kutílek, 1978)

1.6 PŮDNÍ HYDROLIMITY

V přírodních podmínkách se vlhkost půdy může pohybovat ve velmi širokém rozsahu, a to od suché půdy v době horkých a suchých letních dní až po nasycenou půdu v době

dlouhotrvajícího deště s vysokou intenzitou. Vlhkost půdy mezi těmito dvěma mezními hodnotami se plynule mění, např. vlivem infiltrace a evapotranspirace, přičemž dosahuje určité charakteristické hodnoty, které se nazývají hydrolimity. Lze je stanovit přímým laboratorním měřením nebo v terénu. Při jejich nepřímém stanovení lze využít vlhkostní retenční křivku nebo zrnitostní složení půdy.

Hydrolimity charakterizují:

- hranice mezi jednotlivými kategoriemi půdní vody,
- hranice různé pohyblivosti půdní vody,
- hranice různé přístupnosti půdní vody pro rostliny.

Hranice mezi jednotlivými kategoriemi půdní vody představují tyto hydrolimity:

Adsorpční půdní voda charakterizuje vlhkost půdy na hranici mezi adsorbční a kapilární půdní vodou. Vyjadřuje maximální množství vody zadržené v půdě na povrchu půdních částic vlivem adsorpčních sil ($pF_A=4,8-5,2$).

Polní vodní kapacita charakterizuje vlhkost půdy na hranici mezi kapilární a gravitační vodou. Vyjadřuje maximální množství zavěšené vody ve skutečném půdním profilu, naměřené v polních podmínkách ($pF_{PK}= 2,0-2,9$).

Plná vodní kapacita charakterizuje vlhkost půdy při úplném nasycení půdních pórů vodou. Vyjadřuje maximální množství vody, které se může nacházet v půdě ($pF_s=0$).

Přístupnost půdní vody pro rostliny charakterizují tyto hydrolimity:

Bod snížené dostupnosti charakterizuje vlhkost půdy, při které se prakticky snižuje pohyblivost půdní vody a její přístupnost pro rostliny ($pF_{ZD} = 3,1-3,5$).

Bod vadnutí charakterizuje vlhkost půdy, při které jsou rostliny trvale nedostatečně zásobované půdní vodou, protože intenzita absorpce vody kořeny rostlin je podstatně nižší, než je intenzita transpirace. Rostliny vadnou a hynou ($pF_v = 4,18$).

V případě, že neznáme průběh retenční čáry půdní vlhkosti zkoumané půdy, orientačně lze stanovit hodnoty hydrolimitů polní vodní kapacity a bodu vadnutí z níže uvedených vztahů nebo podle půdního druhu z tabulky 1.6.1.

Vášův vztah pro výpočet polní vodní kapacity:

$$\theta_{pk} = \sqrt{[(\% I \text{ kategorie} + 18) \cdot 20]}$$

(1.6.1)

kde

 θ_{pk} – polní kapacita% *I kategorie* – I kategorie zrnitostního zatřídění dle Kopeckého**Solnářův vztah pro výpočet bodu vadnutí:**

$$\theta_v = \frac{\% I \text{ kategorie}}{2,4}$$

(1.6.2)

kde

 θ_v – bod vadnutí% *I kategorie* – I kategorie zrnitostního zatřídění dle Kopeckého**Vášův vztah pro výpočet bodu vadnutí:**

$$\theta_v = 0,3 \cdot \% I \text{ kategorie} + 4$$

(1.6.3)

kde

 θ_v – bod vadnutí% *I kategorie* – I. kategorie zrnitostního zatřídění dle Kopeckého

Půdní druh		Objem. hmotnost ρ_d [g.cm ⁻³]	Polní kapacita θ_{PK} [% obj.]	Bod vadnutí θ_v [% obj.]
Písčítá	Průměr	1,65	15	7
	Rozmezí	1,55 až 1,80	19 až 20	4 až 10
Hlinitopísčítá	Průměr	1,50	21	9
	Rozmezí	1,40 až 1,60	15 až 27	6 až 12
Písčitohlinitá	Průměr	1,40	31	14
	Rozmezí	1,35 až 1,50	25 až 36	11 až 17
Hlinitá	Průměr	1,35	36	17
	Rozmezí	1,30 až 1,40	31 až 41	15 až 20
Jílovitohlinitá	Průměr	1,30	40	19
	Rozmezí	1,25 až 1,35	35 až 46	17 až 23

Tab.1.6.1 Hydrofyzikální charakteristiky půdních druhů (převzato Skalová, 2001)

1.7 PROGRAM RETC

Program RETC umožňuje komplexní vyšetření parametrů aproximačních funkcí hydraulických charakteristik. Poskytuje možnost volby způsobů zpracování zadaných měřených hodnot v závislosti na jejich kvalitě a množství.

Program je zpracován pro obě aproximační funkce retenční čáry, Brooks-Coreye a van Genuchtena. Analytické funkce pro nenasycenou hydraulickou vodivost nebo difuzivitu se odvozují z výrazu pro retenční čáru pomocí kapilárního modelu Burdina nebo Mualema. Volbou odpovídajících vstupních údajů je možné pomocí programu:

- proložit křivku $h(\theta)$ souborem bodů retenční čáry,
- předpovědět průběhy $K(\theta)$ a $D(\theta)$,
- simultánně proložit $h(\theta)$, $K(\theta)$ nebo $D(\theta)$, tj. vyšetřit hledané parametry z měřených bodů obou zadaných charakteristik. Výsledky proložení se statisticky zpracovávají s ohledem na těsnost proložení aproximačních výrazů a na vzájemnou korelaci jednotlivých optimalizovaných parametrů.

Retenční čára se upraví do tvarů vhodných pro jednotné vyjádření v programu

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|h)^n\right]^m} \quad (1.7.1)$$

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(\alpha|h)^n} \quad (1.7.2)$$

kde

α, n, m – empirické koeficienty ($n = 1,5 - 6, \alpha = 10^{-3} - 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$)

θ_s – nasycená vlhkost

θ_r – reziduální vlhkost

Pro odhad hydraulické vodivosti využívá program Mualemův predikční model pracující s rovnicí (1.7.3),

$$K = K_s \theta_e^e \left[f(\theta_e) / f(1) \right]^2 \quad (1.7.3)$$

kde

θ_s – efektivní vlhkost

K_s – nasycená hydraulická vodivost

nebo Burdinův model pracující s rovnicí (1.7.4).

$$K = K_s \theta_e^e g((\theta_e) / g(1)) \quad (1.7.4)$$

kde

θ_s – efektivní vlhkost

K_s – nasycená hydraulická vodivost

1.8 PEDOTRANSFEROVÉ FUNKCE

Statistické regresní rovnice, empiricky vyjadřující vztahy mezi půdními vlastnostmi, nazval Bouma a van Lanen (1987 pedotransferové funkce (PTF). Prakticky se jedná o vztahy, které převádí dostupná data na data potřebná. Odhad hydraulických charakteristik půdy může být dobrou alternativou k problematickému získávání těchto vlastností přímým měřením, které jsou finančně nákladné a časově náročné.

1.8.1 Rozdělení pedotransferových funkcí

Pedotransferové funkce lze rozdělit do tří základních skupin:

- Pedotransferové funkce I. skupiny
- Pedotransferové funkce II. skupiny
- Pedotransferové funkce III. skupiny

Tyto skupiny jsou založeny na různých kombinacích nebo jednotlivých vlastnostech pedotransferových funkcí dělených na PTF:

- bodové
- parametrické
- kontinuální
- texturní

Pedotransferové funkce I. Skupiny (bodové)

Bodové pedotransferové funkce odhadují obsah vody v půdě při určitých vlhkostních tlakových výškách pomocí vícenásobné lineární regrese (Gupta a Larson, 1979; Rawls a Brakensiek, 1982) nebo umělou neuronovou sítí (Pachepsky et al., 1996). Rovnice vícenásobné lineární regrese spojuje hodnota vlhkosti za určitých vlhkostních tlakových výšek s obsahem jílu, prachu, písku, s obsahem organických látek a objemovou hmotností suché zeminy. Obecná rovnice pro výpočet vlhkosti v určitém potenciálu

$$\theta_p = a.písek + b.prach + c.jíl + d.organická hmota + e.objemová hmotnost + x.proměnná \quad (1.8.1)$$

kde

θ_p – obsah vody při potenciálu p

a, b, c, d, e, x – regresní koeficienty

$písek, prach, jíl, organická hmota, objemová hmotnost, proměnná$ – půdní vlastnosti jako nezávislé proměnné

Pedotransferové funkce II.skupiny (parametrické, kontinuální)

Parametrické PTF jsou založeny na předpokladu, že vztah $\theta(h)$ může být popsán hydraulickým modelem ve formě rovnic s určitým počtem parametrů, např. rovnicí Brookse a Coreyho (1964) nebo van Genuchtena (1985). Parametrický přístup převažuje ve studiích transportních procesů, produkuje spojité funkce hydraulických vlastností a není vázán na měření vlhkosti v určitých potenciálech. Při odvozování funkce lze kombinovat vstupy měřené v různých potenciálech (Minasny et al. 1999).

Obecná rovnice pro výpočet těchto parametrů má následující tvar.

$$P = a + b.C + c.OM + d.D + x.proměnná \quad (1.8.2)$$

kde

P – hledaný parametr analytické funkce

a, b, c, d, x – regresní koeficienty

C – jíl [%]

OM – organická hmota [%]

D – objemová hmotnost suché zeminy [g.cm^{-3}]

Kontinuální PTF představují sadu regresních rovnic, zkoumajících závislost modelového parametru či vlhkosti v určité tlakové výšce na hodnotách prediktorů. Spojitým výstupem z těchto PTF je odhad hydraulické vlastnosti pro konkrétní půdu se známými prediktory.

Kontinuální pedotransferové funkce lépe charakterizují hydrofyzikální vlastnosti konkrétního stanoviště, protože využívají proměnné, které byly změřeny přímo na daném stanovišti. Při charakterizování větších celků je jejich použití problematické kvůli vysoké variabilitě.

V tab. 1.8.1 jsou uvedeny kontinuální pedotransferové funkce odvozené Wösten et al. 1998 pro odhad Mualem – van Genuchtenových parametrů ($\theta_s, \alpha^*, n^*, l^*, K_s^*$). Jsou odvozeny z mezinárodní evropské databáze půd HYPRES (HYdraulic PROPERTIES of European Soil).

Parametr	Regresní rovnice	R ²
$\theta_s =$	$0,7919 + 0,001691 \cdot C - 0,29619 \cdot D - 0,000001491 \cdot S^2 + 0,0000821 \cdot OM^2 + 0,02427 \cdot C^{-1} + 0,01113 \cdot S^{-1} + 0,01472 \cdot \ln(S) - 0,0000733 \cdot OM \cdot C - 0,000619 \cdot D \cdot C - 0,001183 \cdot D \cdot OM - 0,0001664 \cdot \text{topsoil} \cdot S$	76%
$\alpha^* =$	$-14,96 + 0,03135 \cdot C + 0,0351 \cdot S + 0,646 \cdot OM + 15,29 \cdot D - 0,192 \cdot \text{topsoil} - 4,671 \cdot D^2 - 0,000781 \cdot C^2 - 0,00687 \cdot OM^2 + 0,0449 \cdot OM^{-1} + 0,0663 \cdot \ln(S) + 0,1482 \cdot \ln(OM) - 0,04546 \cdot D \cdot S - 0,4852 \cdot D \cdot OM + 0,00673 \cdot \text{topsoil} \cdot C$	20%
$n^* =$	$-25,23 - 0,02195 \cdot C + 0,0074 \cdot S - 0,1940 \cdot OM + 45,5 \cdot D - 7,24 \cdot D^2 + 0,0003658 \cdot C^2 + 0,002885 \cdot OM - 12,81 \cdot D^{-1} - 0,1524 \cdot S^{-1} - 0,01958 \cdot OM^{-1} - 0,2876 \cdot \ln(S) - 0,0709 \cdot \ln(OM) - 44,6 \cdot \ln(D) - 0,02264 \cdot D \cdot C + 0,0896 \cdot D \cdot OM + 0,00718 \cdot \text{topsoil} \cdot C$	54%
$l^* =$	$0,0202 + 0,0006193 \cdot C^2 - 0,001136 \cdot OM^2 - 0,2316 \cdot \ln(OM) - 0,03544 \cdot D \cdot C + 0,00283 \cdot D \cdot S + 0,0488 \cdot D \cdot OM$	12%
$K_s^* =$	$7,755 + 0,0352 \cdot S + 0,93 \cdot \text{topsoil} - 0,967 \cdot D^2 - 0,000484 \cdot C^2 - 0,000322 \cdot S^2 + 0,001 \cdot S^{-1} - 0,0748 \cdot OM^{-1} - 0,643 \cdot \ln(S) - 0,01398 \cdot D \cdot C - 0,1673 \cdot D \cdot OM + 0,02986 \cdot \text{topsoil} \cdot C - 0,03305 \cdot \text{topsoil} \cdot S$	19%

Tab.1.8.1 Kontinuální parametrické pedotransferové funkce (převzato Wösten et al., 1998)

kde

θ_s – modelový parametr

$\alpha^*, n^*, l^*, K_s^*$ – transformované modelové parametry

$$\alpha^* = \ln(\alpha) \quad n^* = \ln(n-1) \quad l^* = \ln\left(\frac{1+10}{10-1}\right) \quad K_s^* = \ln(K_s)$$

(1.8.3)

 C – jíl [%] S – prach [%] OM – organická hmota [%] D – objemová hmotnost suché zeminy [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]*topsoil**subsoil* – kvalitativní proměnné dosahující hodnot 1 nebo 0, v tomto pořadí R^2 – determinační koeficient

V tab. 1.8.2 jsou uvedeny kontinuální parametrické pedotransferové funkce pro odhad retenční čáry pro ČR, tyto PTF jsou odvozeny z databáze půd v ČR s označením HYPRESCZ (Matula, 2010).

Parametr	Regresní rovnice	R^2
$\theta_r =$	$0,195843 - 0,000722 \cdot C + 0,005066 \cdot D + 0,000030 \cdot S^2 + 0,002455 \cdot OM^2 +$ $0,000005 \cdot C^{-1} - 0,212134 \cdot S^{-1} - 0,062058 \cdot \ln(S) + 0,000302 \cdot OM \cdot C + 0,000814$ $\cdot D \cdot C - 0,005955 \cdot D \cdot OM + 0,000392 \cdot \text{topsoil} \cdot S$	14%
$\theta_s =$	$0,715461 + 0,000643 \cdot C - 0,225473 \cdot D + 0,000009 \cdot S^2 + 0,001927 \cdot OM^2 + 0,000029$ $\cdot C^{-1} - 0,032066 \cdot S^{-1} - 0,062058 \cdot \ln S - 0,000439 \cdot OM \cdot C + 0,000586 \cdot D \cdot$ $C + 0,006418 \cdot D \cdot OM - 0,000185 \cdot \text{topsoil} \cdot S$	49%
$\alpha^* =$	$7,18245 - 0,02057 \cdot C + 0,02391 \cdot S - 0,34244 \cdot OM - 13,0341 \cdot D - 0,51394 \cdot$ $\text{topsoil} + 4,329369 \cdot D^2 - 0,00015 \cdot C^2 + 0,016511 \cdot OM^2 + 0,002085 \cdot OM$ $^{-1} + 0,054612 \cdot \ln S + 0,337137 \cdot \ln OM - 0,04272 \cdot D \cdot S + 0,156857 \cdot D \cdot OM +$ $0,018578 \cdot \text{topsoil} \cdot C$	37%
$n^* =$	$-19,08553 - 0,013845 \cdot C + 0,0265979 \cdot S - 0,474625 \cdot OM + 516,84082 \cdot D -$ $52,49239 \cdot D^2 - 0,000629 \cdot C^2 + 0,029569 \cdot OM^2 - 447,8106 \cdot D^{-1} + 1,145905 \cdot S^{-1}$ $+ 0,0004004 \cdot OM^{-1} - 0,465839 \cdot \ln S - 0,020784 \cdot \ln OM - 839,1078 \cdot \ln D +$ $0,0175405 \cdot D \cdot C + 0,1631374 \cdot D \cdot OM + 0,0158582 \cdot \text{topsoil} \cdot C$	26%

Tab.1.8.2 Kontinuální parametrické pedotransferové funkce pro odhad retenční čáry pro ČR (převzato Matula, 2010)

Pedotransferové funkce III.skupiny (texturní)

Texturní pedotransferové funkce předpovídají průměrné hydraulické charakteristiky pro dané zrnitostní třídy (půdní druhy). Jsou předkládány ve formě tabulky. Nejdříve je třeba datový soubor rozřadit do vybraných zrnitostních tříd. V každé zrnitostní třídě se křivky fitují za účelem získání Mualem-van Genuchtenových parametrů. Z těchto parametrů se vypočte závislost objemové vlhkosti $\theta_{(h)}$ a tlakové výšky a vykreslí se tvar křivky. Z fitovaných hodnot dále vypočteme geometrické průměry a směrodatné odchylky, které nám určí průměrnou křivku pro každou třídu.

V Tab. 1.8.3 jsou uvedeny parametry van Genuchtenovy rovnice pro 11 zrnitostních tříd FAO dle Wösten et al. (1998) - 5 orníčních, 5 podorníčních a 1 organická. Humusový horizont a podorníčí se dále dělí na 5 tříd: hrubá, střední, středně jemná, jemná a velmi jemná půda.

		θ_s	θ_r	α	n
Humusový horizont	Hrubá půda	0,403	0,025	0,0383	1,3774
	Střední půda	0,439	0,010	0,0341	1,1804
	Středně jemná půda	0,430	0,010	0,0083	1,2539
	Jemná půda	0,520	0,010	0,0367	1,1012
	Velmi jemná půda	0,614	0,010	0,0265	1,1033
Podorníčí	Hrubá půda	0,366	0,025	0,0430	1,5206
	Střední půda	0,392	0,010	0,0249	1,1689
	Středně jemná půda	0,412	0,010	0,0082	1,2179
	Jemná půda	0,481	0,010	0,0198	1,0861
	Velmi jemná půda	0,538	0,010	0,0168	1,0730
organická		0,766	0,010	0,0130	1,2039

Tab.1.8.3 Parametry van Genuchtena pro 11 zrnitostních tříd FAO (převzato Wösten et al., 1998)

V Tab. 1.8.4 jsou uvedeny van Genuchtenovy parametry pro americké zrnitostní třídy USDA. V levé části jsou parametry, které používá parametrizační program RETC (van Genuchten, 1991) jako výchozí odhady parametrů před vlastní optimalizací. Jedná se o data z 5350 horizontů USA parametrizovaná Rawlsem et al (1982). V pravé části tabulky jsou parametry používané neuronovou sítí Rosetta (Schaap et al., 2001), které vychází z americké NRCS databáze.

Zrnitostní třída	RETC				Rosetta			
	θ_s	θ_r	α	n	θ_s	θ_r	α	n
Písek	0,430	0,045	0,145	2,680	0,375	0,053	0,035	3,180
Hlinitý písek	0,410	0,057	0,124	2,280	0,390	0,049	0,035	1,747
Písčítá hlína	0,410	0,065	0,075	1,890	0,387	0,039	0,027	1,448
Hlína	0,430	0,078	0,036	1,560	0,399	0,061	0,011	1,474
Prach	0,460	0,034	0,016	1,370	0,489	0,050	0,007	1,677
Prachovitá hlína	0,450	0,067	0,020	1,410	0,439	0,065	0,005	1,663
Písčitojílovitá hlína	0,390	0,100	0,059	1,480	0,384	0,063	0,021	1,330
Jílovitá hlína	0,410	0,095	0,019	1,310	0,442	0,079	0,016	1,415
Prachovitojílovitá	0,430	0,089	0,010	1,230	0,482	0,090	0,008	1,520
Písčitý jíl	0,380	0,100	0,027	1,230	0,385	0,117	0,033	1,207
Prachovitý jíl	0,360	0,070	0,005	1,090	0,481	0,111	0,016	1,321
Jíl	0,380	0,068	0,008	1,090	0,459	0,098	0,015	1,253

Tab.1.8.4 Van Genuchtenovy parametry pro zrnitostní třídy USDA (převzato Schaap et al., 2001; van Genuchten, 1991)

1.9 PROGRAM ROSETTA

Program Rosetta se používá k odhadu parametrů hydraulických charakteristik půd z nahrazených půdních dat, jako jsou data o půdní textuře a struktuře. Modely tohoto typu se nazývají pedotransferové funkce. Jejich funkce spočívá v převodu základních půdních dat na hydraulické vlastnosti.

Program Rosetta lze použít k odhadu:

- retence půdní vody podle van Genuchtena, 1980
- nenasycené hydraulické vodivosti
- nenasycené hydraulické vodivosti podle van Genuchtena, 1980 a Burdina, 1976

Program Rosetta nabízí pět pedotransferových funkcí k předpovědi hydraulických charakteristik půd z omezených nebo rozšířených množin vstupních dat. Přístup modelu je hierarchický. Jeho praktický přístup spočívá v optimálním využití dostupných vstupních dat.

Úrovně poskytnutých dat jsou následující:

- půdní texturní (zrnitostní) třídy,
- procento písku, prachu a jílu dle texturních poměrů (SSC),
- procento písku, prachu a jílu + objemová hmotnost (SSC + BD),
- procento písku, prachu a jílu + objemová hmotnost + polní vodní kapacita při 3,3 m v.s. (SSC + BD + TH 33),
- procento písku, prachu a jílu + objemová hmotnost + polní vodní kapacita při 3,3 m v.s. + bod vadnutí při 150 m v.s.(SSC + BD + TH 33 + TH1500).

První model je založen na bázi vyhledávací tabulky, která poskytuje průměrné hodnoty pro každou půdní třídu z klasifikačního systému USDA. Zbývající modely jsou založeny na analýze neuronových sítí a poskytují přesnější předpověď při použití více vstupních proměnných. Kromě těchto hierarchických postupů se nabízí model umožňující předpověď nenasycených vodivostních parametrů z fittovaných van Genuchtenových retenčních parametrů. Tento model se také používá v hierarchickém přístupu. Automaticky využívá odhadnutý retenční parametr jako vstup místo naměřených retenčních parametrů. Všechny odhadnuté hydraulické parametry jsou doprovázeny odhady neurčitosti, které dovolují odhad spolehlivosti pro předpověď pomocí programu Rosetta. Tyto odhady neurčitosti byly generovány pomocí neuronových sítí a pomocí samozaváděcí metody (Schaap, Leij, 1998, 1999, 2001).

Všechny modely byly kalibrovány na stejném souboru dat. Ten obsahuje 235 vzorků pro výpočet nenasycené hydraulické vodivosti, 1306 vzorků pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti, které tvoří celkem 4117 $K_{(h)}$ bodů. Pro výpočet retenční čáry půdní vlhkosti obsahuje program 2134 vzorků s celkovým počtem 20574 $\theta_{(h)}$ bodů. Převážná část vzorků pochází ze zemědělsky i nezemědělsky obdělávaných půd Jižní Ameriky a zbývající část z Evropy.

1.10 VZTAHY POUŽÍVANÉ ROSETTOU

Program Rosetta předpovídá průběh retenční křivky dle van Genuchtena, 1980 a jeho vztahu pro výpočet relativního nasycení S_e .

$$S_e = \frac{\theta_{(h)} - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = [1 + (\alpha h)^n]^m$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

(1.10.1)

kde

 $\theta_{(h)}$ – objemová vlhkost jako funkce tlakové výšky h θ_s, θ_r – nasycená a reziduální vlhkost α, m, n – empirické koeficienty

Pro odhad nasycené hydraulické vodivosti K_s používá program upravenou rovnici dle Mualema, 1976.

$$K(S_e) = K_o S_e^L \left\{ 1 - \left[1 - S_e^{n/(n-1)} \right]^{1-1/n} \right\}^2$$

(1.10.2)

kde

 K_o – bod nasycení L – parametr, program Rosetta předpovídá hodnotu L zpravidla zápornou

1.11 FUNKČNÍ ZHODNOCENÍ PEDOTRANSFEROVÝCH FUNKCÍ

K realistické simulaci půdních podmínek je nezbytný velký počet vzorků, z důvodu velké prostorové proměnlivosti půdních hydraulických vlastností. Za předpokladu určení spolehlivosti odhadu, je možné použít nepřímých metod odhadu hydraulických vlastností půd. Velká část řešených problému nemusí být vyhodnocena s nulovou chybou a je zde uvažováno s určitými malými chybami.

Wösten, ve své studii z roku 2001, vytvořil několik definicí vyživaných ke zhodnocení pedotransferových funkcí.

Přesnost pedotransferové funkce:

Definuje se jako míra shody mezi měřenými daty a daty předpovězenými ze stejného souboru, ze kterého byly PTF odvozeny (tzv. referenční soubor dat).

Spolehlivost pedotransferové funkce:

Definuje se jako míra shody mezi měřenými daty a daty předpovězenými z nezávislého souboru dat, tedy takového, který nebyl použit pro odvození PTF (tzv. evaluační soubor dat).

Použitelnost PTF

V modelování se definuje jako míra shody mezi daty měřenými a simulovaným funkčním chováním půdy.

Pearsonův korelační koeficient (R)

Tato rovnice patří mezi nejpoužívanější výpočet ke zhodnocení spolehlivosti i přesnosti, protože se zde využívá stejných statistických ukazatelů.

$$R = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \theta_i \theta_i^{\wedge} - \sum_{i=1}^n \theta_i \sum_{i=1}^n \theta_i^{\wedge}}{\sqrt{[n \cdot \sum_{i=1}^n \theta_i^2 - (\sum_{i=1}^n \theta_i)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n \theta_i^{\wedge 2} - (\sum_{i=1}^n \theta_i^{\wedge})^2]}}$$

(1.11.1)

kde

θ_i – naměřená hodnota objemové vlhkosti

θ_i^{\wedge} – odhadnutá hodnota objemové vlhkosti

n – počet hodnot

Vypočtená hodnota se pohybuje v rozmezí 0 až 1. Z toho vyplývá, že čím více se výsledek blíží hodnotě 1, tím jsou srovnávaná data přesnější.

Determinační koeficient (R²)

Determinační koeficient získáme pomocí druhé mocniny korelačního koeficientu. Výhodou determinačního koeficientu je, že měří velikost lineárního vztahu mezi proměnnými bez ohledu na to, která veličina je závislá a která nezávislá.

Střední chyba odhadu

Pomocí výpočtu střední chyby odhadu určíme systematickou chybu mezi odhadnutými a měřenými hodnotami. Výsledek zapisujeme v absolutní hodnotě a měl by být co nejbližší 0.

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \hat{\theta}_i)}{n}$$

(1.11.2)

kde

θ_i – naměřená hodnota objemové vlhkosti

$\hat{\theta}_i$ – odhadnutá hodnota objemové vlhkosti

n – počet hodnot

Směrodatná chyba

Směrodatná chyba je odmocnina střední kvadratické chyby a udává přesnost odhadu. Výsledek je vždy kladný, a čím je bližší nule, tím je odhad přesnější.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}{n}}$$

(1.11.3)

kde

θ_i – naměřená hodnota objemové vlhkosti

$\hat{\theta}_i$ – odhadnutá hodnota objemové vlhkosti

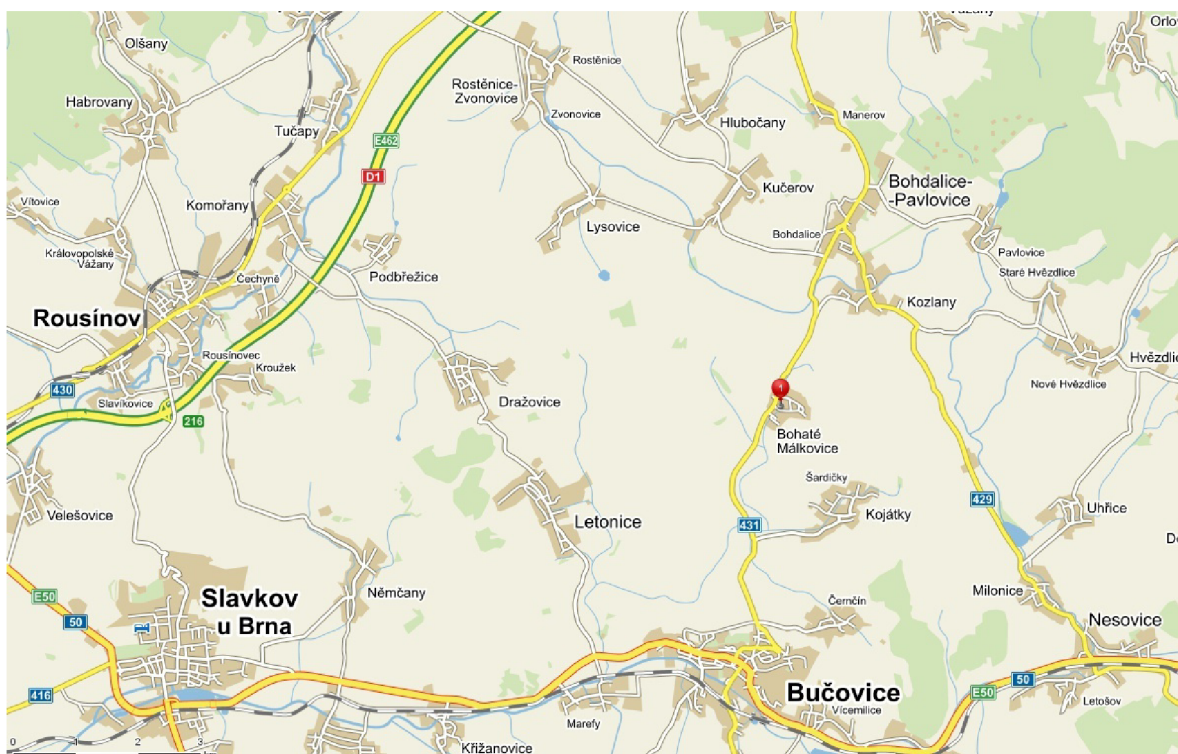
n – počet hodnot

2. PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část diplomové práce je zaměřena na odhad vlhkostních retenčních křivek středně těžkých půd jižní Moravy pomocí mezinárodní databáze Rosetta. Blíže se seznámíme s danou lokalitou a s metodikou řešení. V závěru práce je porovnání odhadnutých retenčních dat s měřenými pomocí základních statistických charakteristik, tj. korelační koeficient R , determinační koeficient R^2 a směrodatná chyba $RMSE$.

2.1 CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Odebrané vzorky pochází ze zemědělsky využívané oblasti nedaleko od obce Bohaté Málkovice, spadající do okresu Vyškov v Jihomoravském kraji. Geomorfologicky území patří k Vyškovskému úvalu. Nejvyšší nadmořská výška je v místě nazývaném Pověstník s hodnotou 316 m n.m. a nejnižší místo nacházející se v jižní části území má hodnotu 242 m n.m. Průměrná nadmořská výška se pohybuje okolo 279 m n.m..



Obr.2.1.1 Situace zájmového území

2.1.1 Geologické poměry

Převážnou část území tvoří černozem vzniklá ze spraše. Z tohoto důvodu vzorky obsahují velký podíl prachových částic. Půdy z této lokality obsahují i uhličitán vápenatý. Spraše v této lokalitě mají původ v pleistocénu z dob ledových. V menší míře je zde zastoupení těžkých jílovitých sedimentů z dob třetihor. Nejmladší půdy nacházející se v údolních polohách místních potoků jsou vápnité nivní uloženiny z dob mladších čtvrtohor.

2.1.2 Klimatické poměry

Nejnižší teploty se v této lokalitě vyskytují obvykle v lednu a nejvyšší v červenci jak vyplývá z vývojové teplotní řady. Největší teplotní výkyvy jsou patrné na jaře a na podzim. Průměrná teplota vzduchu je 8,4°C.

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Průměr
°C	-2,6	-1,0	3,6	8,6	13,9	16,7	18,6	17,8	14,2	8,7	3,3	-0,5	8,4

Tab.2.1.1 Průměrná měsíční teplota (převzato Stoklásková, 2011)

Oblast se nachází v mírně suché, teplé klimatické oblasti s mírnou zimou. Nejvyšší srážkové úhrny jsou v červenci a srpnu. Průměrné srážky činí 365 mm.

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Roční úhrn
mm	28	25	30	36	59	57	74	77	52	52	45	34	365

Tab.2.1.2 Průměrné měsíční srážkové úhrny (převzato Stoklásková, 2011)

2.1.3 Hydrologické poměry

Ve zkoumané lokalitě se nachází dvě vodní plochy. Jedna je uměle vytvořená vodní nádrž Bařisko a druhá je přírodní vodní nádrž západně od obce. Žlebovský potok je upraven pouze v obci Bohaté Málkovice. Mimo obec je přírodního charakteru se zatravněnou

příbřežní zónou. Dále se zde vyskytují jen menší potoky lokálního významu. Všechny tyto vodní plochy a toky spadají do dílčího povodí Svratky, které spadá pod povodí Moravy.

2.1.4 Způsob obdělávání půdy

Úkolem zpracování půdy je vytvořit vhodné podmínky pro založení porostů, pro růst, vývoj a tvorbu pěstovaných plodin a pro správný průběh půdních procesů.

K nejrozšířenějším způsobům obdělávání půdy patří kombinované zpracování půdy, frézování půdy, orba s obrácením půdní skývy a podobně. Minimalizační postupy zpracování půdy se vyznačují dvěma znaky, a to redukcí hloubky a ponecháním rostlinných zbytků na povrchu nebo ve vrchní vrstvě půdy. Jedná se o různé formy mělkého zpracování půdy, náhrady orby kypřením, výsevy plodin do povrchově zpracované a nezpracované půdy, výsevy plodin do vymrzajících meziplodin. Technologické postupy, při kterých zůstává více než 30% půdy zakryto posklizňovými zbytky, se považují za půdo-ochranné.

Na zkoumaném území byly použity dvě technologie zpracování půdy: klasický a minimalizační způsob. Klasický způsob zpracování představoval klasickou orbu do hloubky 22 cm. Tato technologie byla aplikována na ploše cca 50ha. Tento způsob upřednostňuje efektivní zpracování půdy, což má za následek narušování půdní struktury a degradaci půdy.

Při minimalizačním zpracování půdy bylo na podzim provedeno vertikální zpracování půdy do hloubky 20 cm. Minimalizační způsob obdělávání půdy byl aplikován na ploše přibližně 200ha. Tento způsob výrazně nezasahuje půdní strukturu. Podporuje její tvorbu, díky ponechání rostlinných zbytků zajišťuje dobrou ochranu proti větrné a vodní erozi.

2.2 ODBĚR VZORKŮ V TERÉNU A METODIKA ZPRACOVÁNÍ DAT

Experimentální výzkum byl prováděn na zemědělské půdě, kterou obhospodařuje firma ZEMO spol. s r. o. Na těchto pozemcích se odebralo 58 neporušených půdních vzorků z 6 polí z 15 kopaných sond. Vzorky se odebíraly z hloubky 20 cm. Neporušené půdní vzorky se odebíraly do Kopeckého válečků o objemu 100 cm³, z obou stran byly zajištěny plastovými víčky, aby při manipulaci nedošlo k jejich poškození. Všechny odběry byly označeny a zapsány do pracovních listů s ohledem na jejich další použití. K laboratornímu stanovení hydrofyzikálních vlastností půdy se nakonec z celkového množství použilo 15 neporušených půdních vzorků.

Situace zájmového území s experimentálními plochami je patrná z obr. 2.2.1.



Obr.2.2.1 Situace zájmového území

Legenda zkoumaných pozemků

1. Bohdanská Niva č.1
2. Bohdanská Niva č.2
3. Břák
4. Křídlo
5. Proitles
6. Hajžlůvka

Neporušené půdní vzorky se nejdříve použily pro stanovení bodů retenčních čar v 9 zvolených tlakových výškách ($h = 0, -20, -60, -100, -220, -570, -980, -2000$ a -15000cm). K měření se použil pískový tank a přetlakové přístroje (fy Soil Moisture Equipment, Santa Barbara, California, USA). Metodika měření je uvedena v kapitole 1.4.1. Každé změřené retenční čáře byly přiřazeny van Genuchtenovy parametry fitováním pomocí programu RETC (van Genuchten, 1991), pro výpočet se použil vztah 1.7.1. z kapitoly 1.7. Práce s programem RETC je popsána níže:

- Název a popis projektu
- Požadované řešení: pouze retenční čára

- Jednotky: cm, den
- Počet iterací: 50
- Typ modelu: van Genuchten, $m = 1 - 1/n$
- Počáteční odhad parametrů θ_r , θ_s , α , n – z vyhodnocených křivek zrnitosti se vyberou iniciální parametry příslušného půdního druhu podle půdního katalogu USDA
- Data retenční křivky, váhový faktor

Zadávají se párové hodnoty tlakové výšky h (cm) a příslušné objemové vlhkosti θ_i ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$). Každému páru se určuje váhový faktor, který se zpočátku nastaví roven jedné. Pokud by fitovaná křivka neodpovídala měřeným bodům, váhový faktor se změní.

- Vlastní výpočet

Kvalitu fitování lze posoudit z grafu v pravé části okna. Pokud nevyhovuje, změní se nastavení a výpočet se opakuje.

Stejně vzorky půdy, na kterých byly měřeny retenční čáry v laboratorních podmínkách, se použily pro stanovení hydrofyzikálních vlastností půdy. Redukovaná objemová hmotnost ρ_d se vypočítala podle vzorce 1.2.2 z kapitoly 1.2.2. Zdánlivá hustota půdních částic ρ_s se určovala pomocí pyknometrů, výpočet byl proveden podle vztahu 1.3.1. z kapitoly 1.3.

Křivky zrnitosti byly stanoveny kombinovanou metodou, tj. síťovým rozborem a hustoměrnou zkouškou podle Casagrandeho, která je popsána v kapitole 1.4. Po přepočtu zrnitosti do FAO/USDA zrnitostních kategorií bylo provedeno zařazení dle systému NRCS USDA do 12 tříd. Veškeré naměřené hodnoty byly zapsány do protokolů a následně byl proveden výpočet potřebných fyzikálních vlastností půdy pomocí programu Microsoft Office - Excel. Obdržená data jsou zohledněna v následující kapitole 2.3 Vyhodnocení hydrofyzikálních vlastností půdy.

Odhad retenčních čar byl proveden pomocí programu Rosetta (Schaap *et al.* 1998). Van Genuchtenovy parametry (θ_r , θ_s , α , n) byly předpovězeny na základě znalostí:

- zrnitostní třídy,
- procentuálního zastoupení písku, prachu a jílu dle texturních poměrů (SSC),

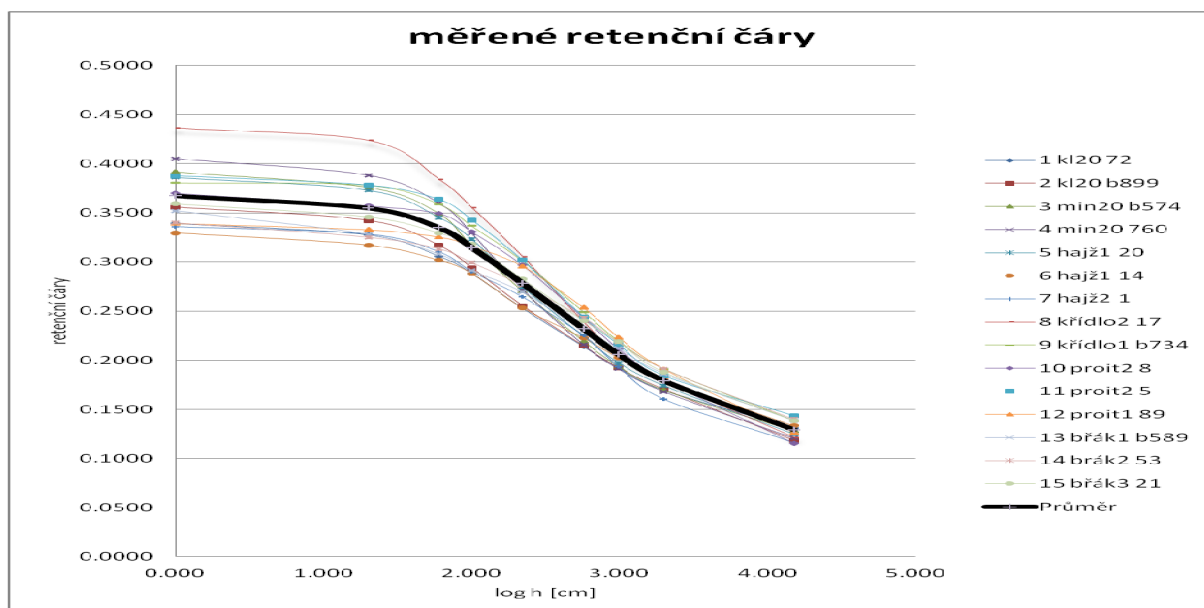
- procentuálního zastoupení písku, prachu a jílu + objemové hmotnosti (SSC + BD),
- procentuálního zastoupení písku, prachu a jílu + objemové hmotnosti + polní vodní kapacity při 3,3 m v.s. (SSC + BD + TH 33),
- procentuálního zastoupení písku, prachu a jílu + objemové hmotnosti + polní vodní kapacity při 3,3 m v.s. + bodu vadnutí při 150 m v.s.(SSC + BD + TH 33 + TH1500).

Potřebné hydrolimity polní vodní kapacita a bod vadnutí byly pro naše potřeby dopočítány podle vztahů (1.6.1.), (1.6.2) a (1.6.3) v kapitole 1.6. Pomocí rovnice (1.7.1) z kapitoly 1.7 byly vypočítané body retenční čáry v 9 tlakových výškách ($h = 0, -20, -60, -100, -220, -570, -980, -2000$ a -15000 cm).

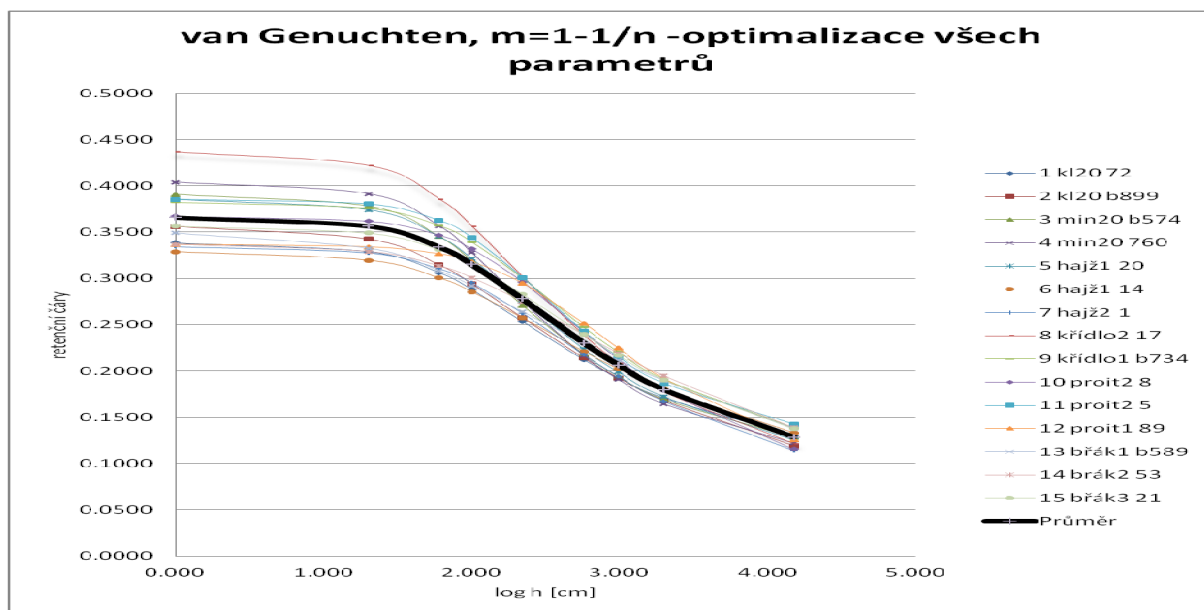
Ke zhodnocení přesnosti použitého modelu PTF se použily statistické charakteristiky korelační koeficient R , determinační koeficient R^2 a směrodatná chyba $RMSE$.

2.3 VYHODNOCENÍ HYDROFYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŮDY

Měřené retenční čáry z jednotlivých půdních vzorků jsou uvedeny v obrázku 2.3.1 a fitované retenční čáry pomocí programu RETC v obrázku 2.3.2. V obou obrázcích je uváděná i průměrná hodnota měřené retenční čáry půdní vlhkosti.



Obr.2.3.1 Měřené retenční čáry

**Obr.2.3.2 Optimalizované retenční čáry**

Z dosažených výsledků vyplývá, že mezi měřenými a fitovanými retenčními čarami nejsou výrazné rozdíly

Základní informace o fyzikálních vlastnostech půdy z jednotlivých půdních vzorků jsou shrnuty v tab. 2.3.1. Ve spodní části tabulky (zelená) jsou vyhodnoceny základní statistické charakteristiky: střední hodnota, chyba střední hodnoty, medián, směrodatná odchylka, rozptyl výběru, špičatost, šikmost, rozdíl maxima a minima, maximum, minimum a součet. Na konci horní části tabulky je uvedeno zatřídění dle FAO/USDA. Objemová hmotnost redukovaná ρ_d se vypočítala dle vztahu (1.2.2) v kapitole 1.2.2. Pohybuje se v rozsahu od 1,49 do 1,79 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Některé hodnoty ukazují na výrazné zhutnění půdy.

Zdánlivá hustota půdních částic ρ_s , určená pyknometricky, se pohybuje v rozsahu 2,54 až 2,65 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Vypočítané hodnoty se použily pro výpočet procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí půdy pomocí hustoměrné zkoušky. Klasifikace půdy se provedla dle trojúhelníkového diagramu FAO/USDA, který využívá rozdělení na jíl, prach a písek (viz. kap. 1.1) a stanovil se půdní typ. Z dosažených výsledků vyplývá, že převažuje prachová hlína a v menší míře prach, který je v tab. 2.3.1 označen žlutou barvou.

Pomocí procentuálního zastoupení bylo provedeno zatřídění pomocí Kopeckého klasifikace do zmitostních kategorií. Pro naše použití nás zajímá pouze I. kategorie, ve které

jsou zastoupeny pouze částice o velikosti menším než 0,01mm. Tato kategorie byla použita pro výpočet „polní vodní kapacity“ dle vztahu (1.6.2) a „bodu vadnutí“ dle vztahu (1.6.3 a 1.6.4). Bod vadnutí jsme stanovili dle obou vztahů, následně jsme vybrali vyšší ze stanovených hodnot.

Název pozemku	Koepckého	FAO/USDA			Hydrofyzikální vlastnosti				Půdní typ
	I. kategorie	jíl	prach	písek	pd	θ_{pk}	$\theta_{v\ soln\ a}$	$\theta_{v\ v\ a}$	
	d<0,01	d<0,0021	0.002-0.05	0,5-2	[g/cm3]	[cm ³ .cm ⁻³]	[cm ³ .cm ⁻³]	[cm ³ .cm ⁻³]	
kl20-72	32.91	10.57	80.40	9.03	1.70	31.91	13.71	13.87	prach
kl20-b899	30.62	8.69	78.42	12.88	1.59	31.18	12.76	13.19	prachová hlína
min20-b574	34.69	14.73	79.14	6.13	1.55	32.46	14.45	14.41	prachová hlína
min20-760	31.85	10.45	78.57	10.98	1.49	31.58	13.27	13.56	prachová hlína
hajž1-20	32.65	11.36	77.72	10.92	1.49	31.83	13.60	13.80	prachová hlína
hajž1-14	32.63	11.74	75.8	12.46	1.58	31.82	13.60	13.79	prachová hlína
hajž2-1	34.44	11.52	78.2	10.28	1.58	32.39	14.35	14.33	prachová hlína
kf2-17	32.44	10.79	81.18	8.03	1.50	31.76	13.52	13.73	prach
kř1-734	32.79	13.38	75.28	11.34	1.57	31.87	13.66	13.84	prachová hlína
pr2-8	30.02	12.34	79.02	8.64	1.61	30.99	12.51	13.01	prachová hlína
pr2-5	33.69	11.83	80.91	7.26	1.56	32.15	14.04	14.11	prach
pr1-89	30.91	10.26	80.98	8.76	1.65	31.28	12.88	13.27	prach
bř1-b589	33.7	13.87	80.11	6.02	1.70	32.16	14.04	14.11	prachová hlína
bř2-53	35.45	14.51	79.25	6.24	1.79	32.70	14.77	14.64	prachová hlína
bř3-21	33.96	11.53	75.56	12.91	1.66	32.24	14.15	14.19	prachová hlína
střední hodnota	32.85	11.84	78.70	9.46	1.60	31.89	13.69	13.86	prachová hlína
chyba střední hodnoty	2.22	2.65	3.53	5.52	0.01	0.22	0.39	0.20	
medián	32.79	11.53	79.02	9.03	1.58	31.87	13.66	13.84	
směr. odchylka	1.49	1.63	1.88	2.35	0.08	0.47	0.62	0.45	
rozptyl výběru	2.22	2.65	3.53	5.52	0.01	0.22	0.39	0.20	
špičatost	-0.47	-0.28	-0.64	-1.31	0.11	-0.46	-0.47	-0.47	
šikmost	-0.26	0.25	-0.57	-0.02	0.64	-0.29	-0.26	-0.26	
rozdíl max-min	5.43	6.04	5.90	6.89	0.30	1.71	2.26	1.63	
minimum	30.02	8.69	75.28	6.02	1.49	30.99	12.51	13.01	
maximum	35.45	14.73	81.18	12.91	1.79	32.70	14.77	14.64	
součet	492.75	177.57	1180.54	141.88	24.02	478.30	205.31	207.83	
počet	15	15	15	15	15	15	15	15	

Tab.2.3.1 Hydrofyzikální vlastnosti půdy a určení půdního typu

2.4 ODHAD RETENČNÍCH ČAR PŮDNÍ VLHKOSTI POMOCÍ PROGRAMU ROSETTA

K odhadu retenčních čar půdní vlhkosti se použil program Rosetta. Teoreticky byl tento program popsán v kapitole 1.9. Program užívá k předpovědi 5 modelů pedotransferových funkcí (neuronových sítí).

Každý model je založen na větším množství vstupních prediktorů (fyzikálních vlastnostech a hydrolimitech).

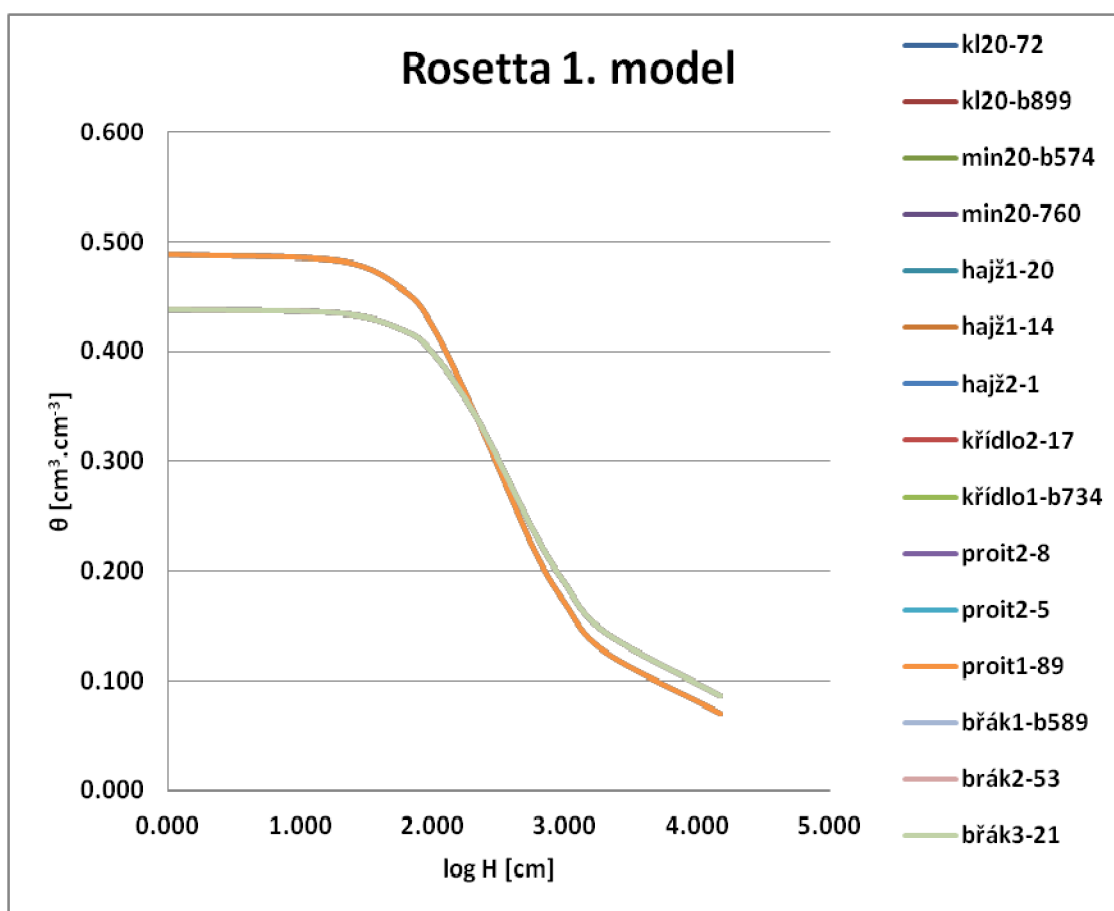
K práci s programem je zapotřebí určit tyto prediktory:

- půdní typ určený pomocí klasifikační stupnice USDA/FAO
- zrnitostní složení - procentuální zastoupení jílu prachu a písku
- redukováná objemová hmotnost

- bod vadnutí
- polní vodní kapacita

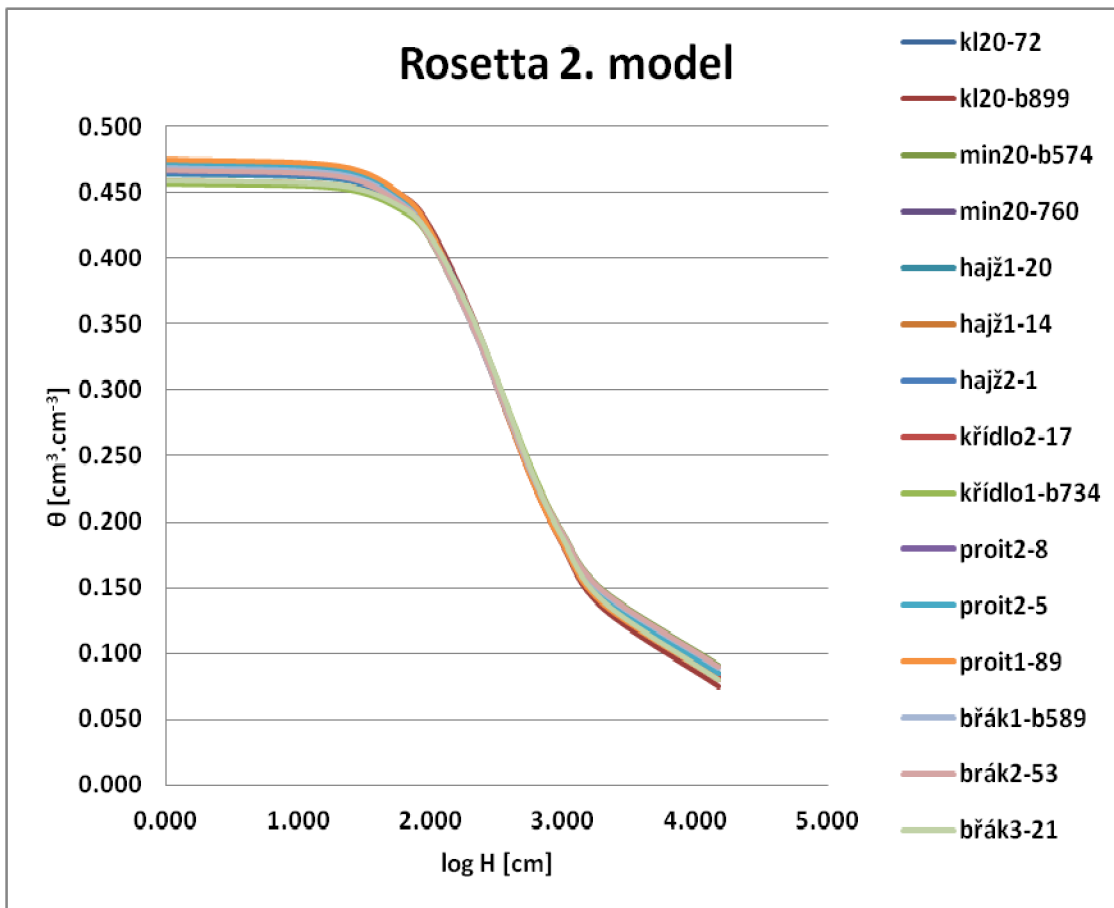
Program následně podle zadaných vstupních dat vyhodnotí z databáze půdních vzorků potřebné van Genuchtenovy parametry. Mezi tyto parametry patří: reziduální vlhkost θ_r , nasycená vlhkost θ_s a empirické parametry α a n . Z těchto parametrů se vypočítá pomocí vztahu 1.7.1 z kapitoly 1.7 odhad retenční čáry půdní vlhkosti pro jednotlivé půdní vzorky. V grafech jsou ještě vykresleny i retenční čáry měřené a fitované.

První model Rosetty je založen na znalosti půdního druhu. V našem případě to byl prach a prachovitá hlína. Výsledky průběhu odhadnutých retenčních čar půdních vlhkosti pomocí 1. modelu Rosetty jsou patrné z obr. 2.4.1. Protože odhad je prováděn na základě znalosti půdního druhu, výstupem jsou pouze dvě křivky. Jedna pro prachovitou hlínu, druhá pro prach.



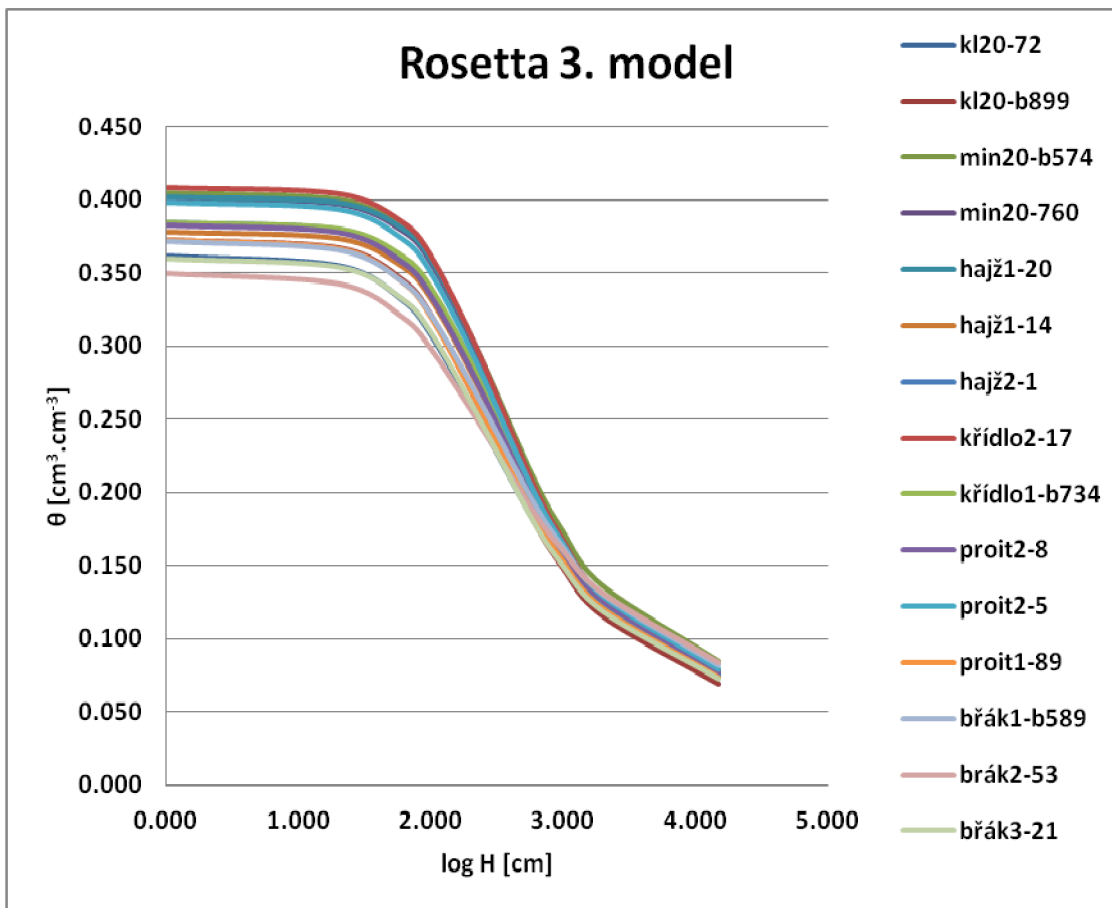
Obr.2.4.1 Odhad RČPV pro první model programu Rosetta pro 15 vzorků

Druhý model používá k odhadu retenční čáry půdní vlhkosti zatřídění pomocí USDA na procentuální zastoupení jílu, prachu a písku. V obr. 2.4.2 jsou zobrazeny retenční čáry půdní vlhkosti pro všech 15 vzorků, obdržené výpočtem pomocí rovnice (1.7.1) na základě předpovězených van Genuchtenových parametrů pro 2. model programu Rosetta.



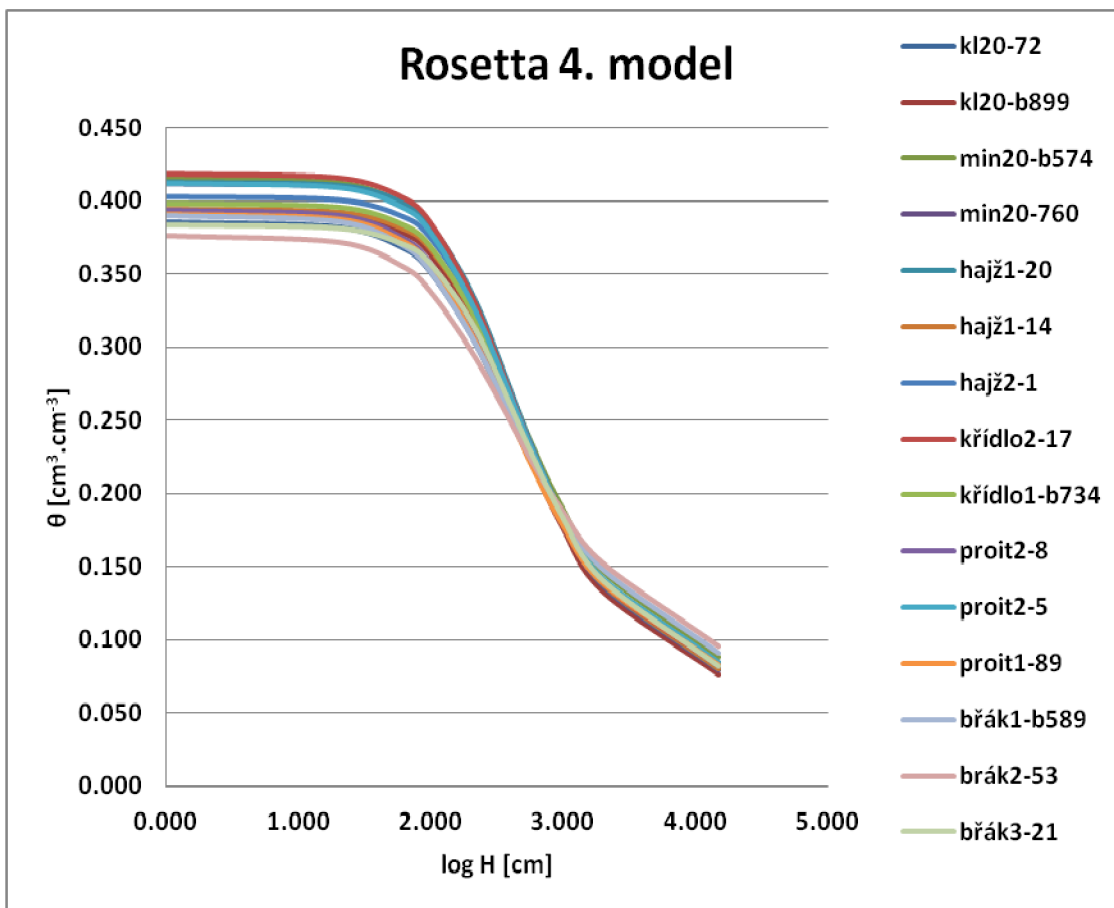
Obr.2.4.2 Odhad RČPV pro druhý model programu Rosetta pro 15 vzorků

Třetí model přidává k procentuálnímu zastoupení prachu písku a jílu ještě redukovanou objemovou hmotnost. V obr. 2.4.3. jsou zobrazeny odhadnuté průběhy retenční čáry půdní vlhkosti všech 15 vzorků, obdržené výpočtem pomocí rovnice (1.7.1) na základě předpovězených van Genuchtenových parametrů pro 3. model programu Rosetta.



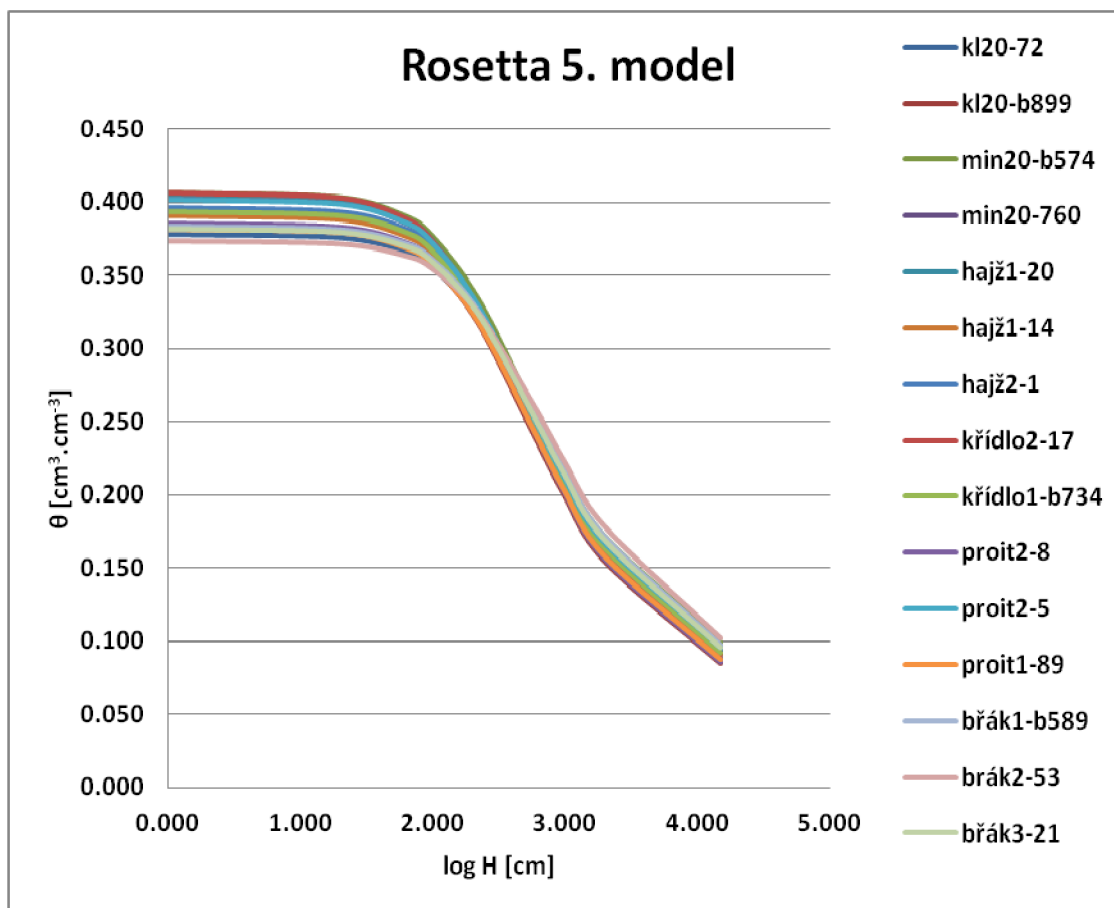
Obr.2.4.3 Odhad RČPV pro třetí model programu Rosetta pro 15 vzorků

Ve čtvrtém modelu se k výše zmiňovaným prediktorům přidává polní vodní kapacita, která je blíže popsána v kapitole 1.6. Výpočet byl proveden dle vzorce (1.6.1). V obr. 2.4.4 jsou zobrazeny odhadnuté průběhy retenční čáry půdní vlhkosti všech 15 vzorků, obdržené výpočtem pomocí rovnice (1.7.1) na základě předpovězených van Genuchtenových parametrů pro 4. model programu Rosetta.



Obr.2.4.4 Odhad RČPV pro čtvrtý model programu Rosetta pro 15 vzorků

V pátém modelu využíváme nejvíce prediktorů. K základním patří zrnitostní zatřídění a redukovaná objemová hmotnost. K polní vodní kapacitě se přidává ještě bod vadnutí, který je také popsán v kapitole 1.6. a jeho hodnota byla vypočtena pomocí vzorců (1.6.1) (1.6.2). Zvolena byla vyšší hodnota. V obr. 2.4.5 jsou zobrazeny průběhy odhadu retenční čáry půdní vlhkosti pro všech 15 vzorků, obdržené výpočtem pomocí rovnice (1.7.1) na základě předpovězených van Genuchtenových parametrů pro 5. model programu Rosetta.

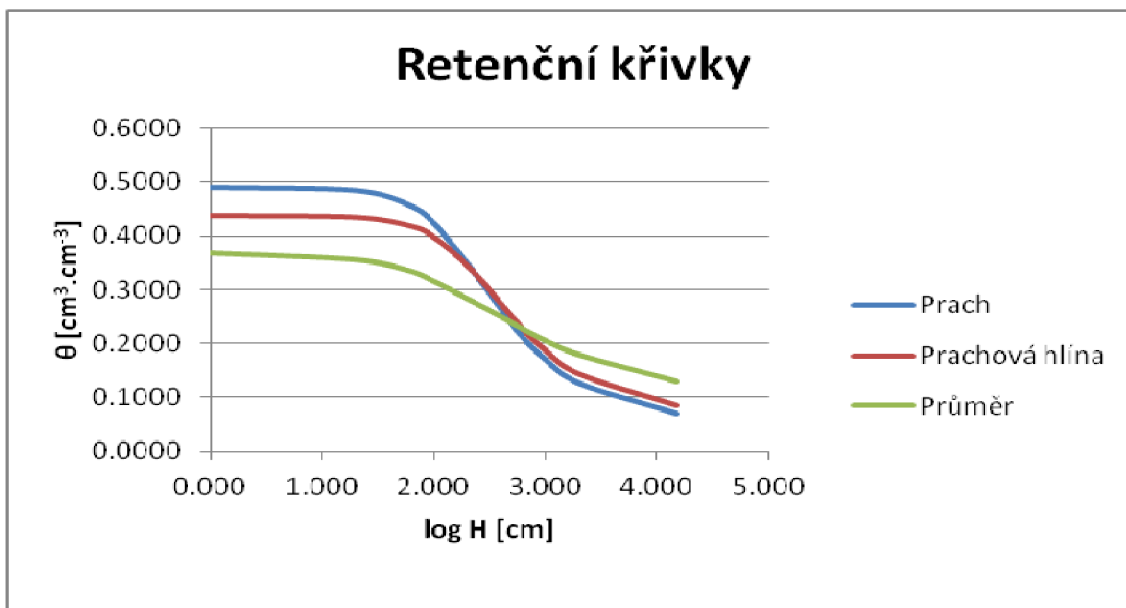


Obr.2.4.5 Odhad RČPV pro čtvrtý model programu Rosetta pro 15 vzorků

2.5 SROVNÁNÍ ODHADNUTÝCH A MĚŘENÝCH RČPV

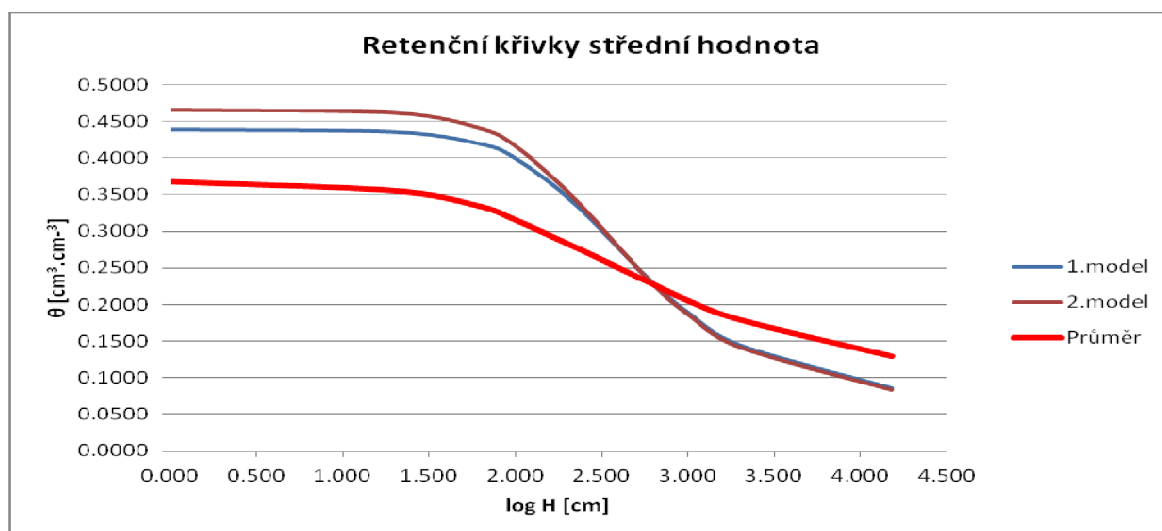
V této části práce jsme se zaměřili na srovnání odhadnutých retenčních čar půdní vlhkosti pomocí všech modelů z programu Rosetta s laboratorně naměřenými hodnotami. Srovnání je patrné z obr. 2.5.1 až 2.5.5. V grafech jsou zohledněny pouze průměrné hodnoty retenčních čar měřených a odhadnutých. Výsledky odhadu retenčních čar půdní vlhkosti pomocí všech modelů Rosetta jsou uvedené v přílohové části, viz. příloha č.5 až č.36. Z obr.

2.5.1 je patrné, že odhad průměrné retenční čáry pomocí 1. modelu vzhledem k měřené průměrné RČPV je pro menší tlakové výšky výrazně nadhodnocen a ve vyšších tlakových výškách naopak podhodnocen.



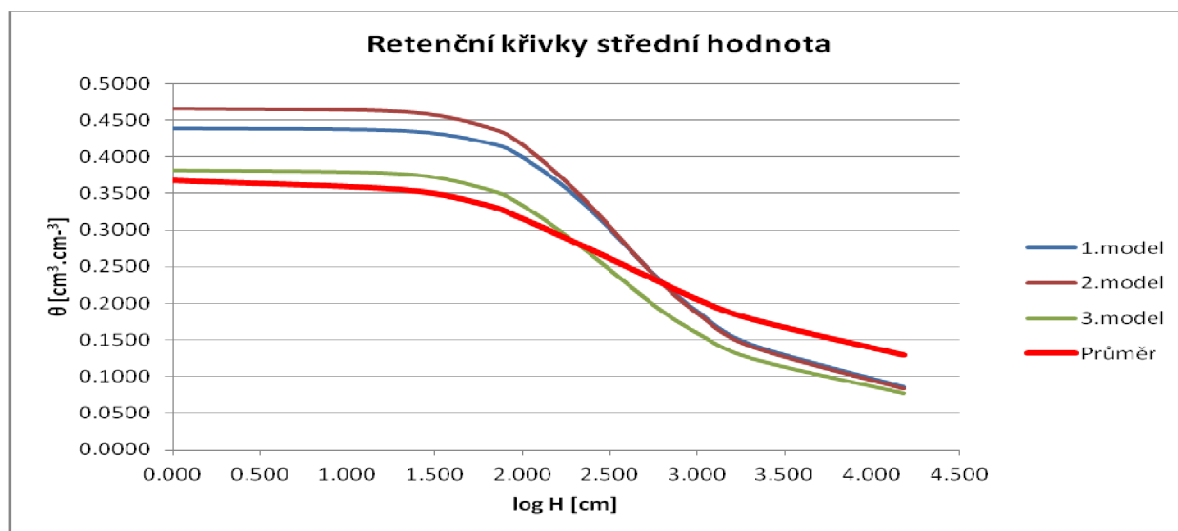
Obr.2.5.1 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 1. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV

Z obr. 2.5.2 je patrné, že porovnáním průměrné retenční čáry s odhadnutými pomocí 2. modelu jsou hodnoty vlhkosti při nižších tlakových výškách ještě více nadhodnoceny než u 1. modelu a při vyšších jsou podhodnoceny a jsou prakticky shodné s těmi, které byly obdrženy pro 1.model.



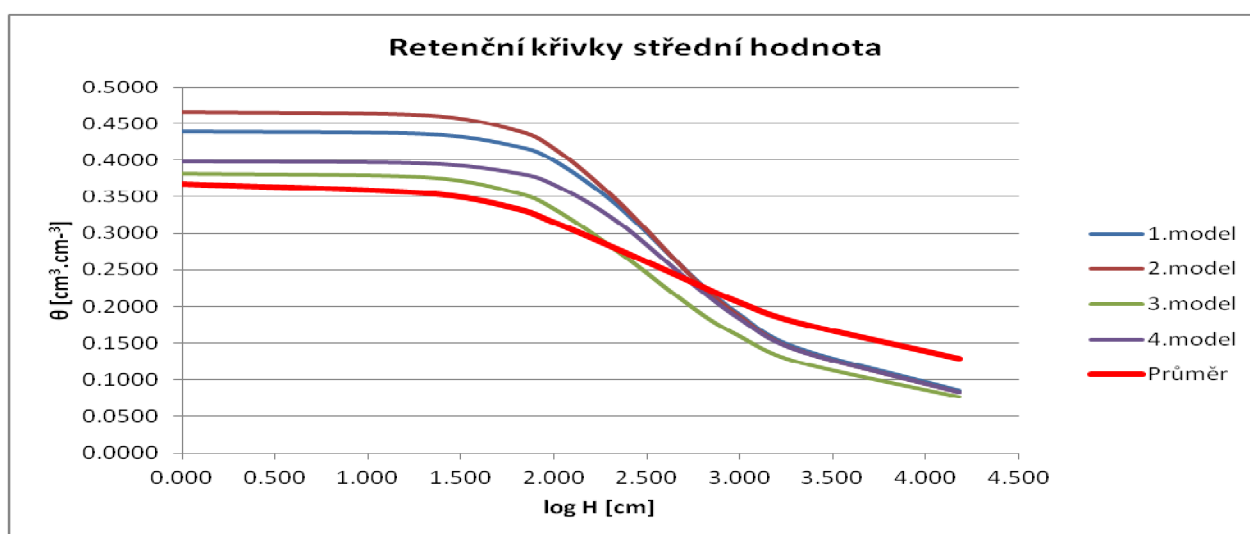
Obr.2.5.2 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 2. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV

Z obr. 2.5.3 je patrné, že porovnáním průměrné retenční čáry s odhadnutými pomocí 3. modelu vycházejí hodnoty pro menší tlakové výšky nadhodnoceny. V porovnání s 1. a 2. modelem jsou tyto hodnoty výrazně nižší. Pro větší tlakové výšky jsou opět podhodnoceny. V porovnání s 1. a 2. modelem jsou tyto hodnoty výrazně vyšší. Tento model se jeví pro menší tlakové výšky jako velmi spolehlivý.



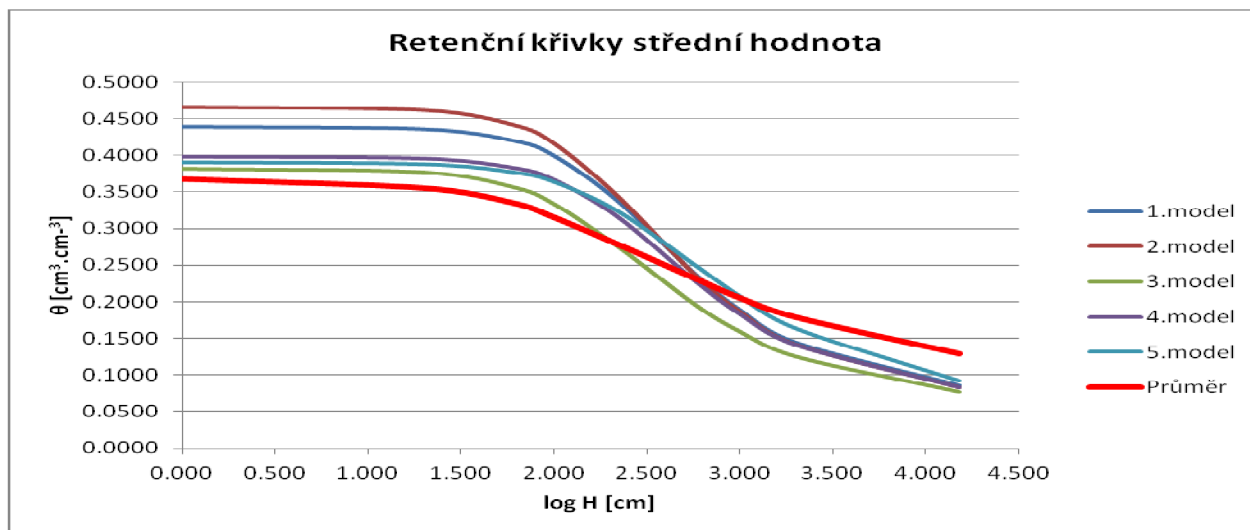
Obr.2.5.3 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 3. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV

Z obr. 2.5.4 je patrné, že porovnáním průměrné retenční čáry s odhadnutými pomocí 4. modelu vycházejí hodnoty pro menší tlakové výšky nadhodnoceny. Pro větší tlakové výšky zase podhodnoceny. 4. model se jeví pro větší tlakové výšky jako velmi spolehlivý.



Obr.2.5.4 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 4. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV

Z obr. 2.5.5 je patrné, že porovnáním průměrné retenční čáry s odhadnutými pomocí 5. modelu vycházejí hodnoty pro menší tlakové výšky nadhodnoceny. Pro větší tlakové výšky zase podhodnoceny. Tento model se jeví pro větší tlakové výšky jako velmi spolehlivý.



Obr.2.5.5 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 5. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV

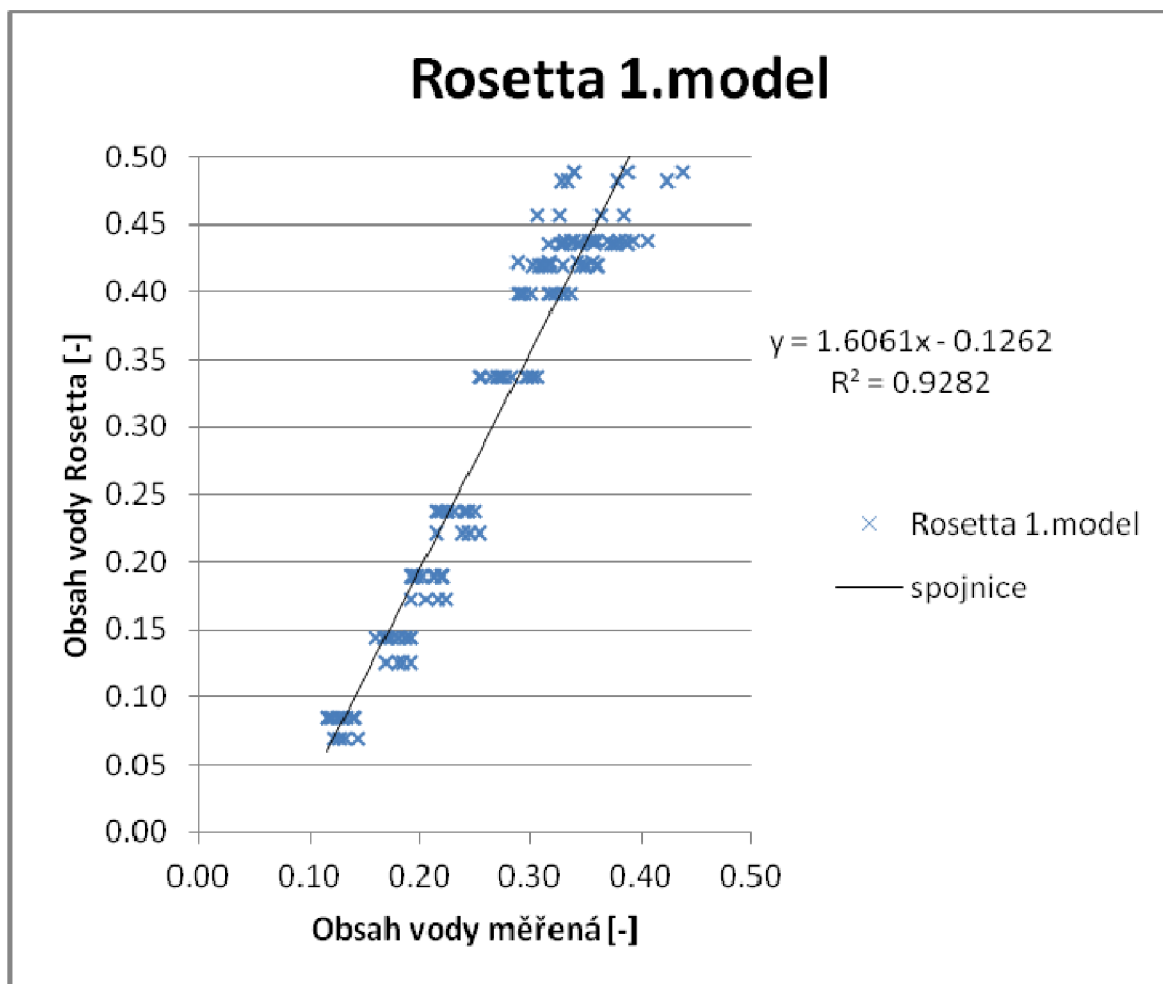
Po prostudování všech grafů je patrné, že křivky retenční čáry půdní vlhkosti se nejlépe shodují v tlakové výšce cca 350cm. Tato výška přibližně odpovídá výšce polní vodní kapacity. Dále je z grafů patrné, že pro menší tlakové výšky do hodnoty 350cm je nejpřesnější odhad retenční čáry půdní vlhkosti ve 3. modelu Rosetty. Ve větších tlakových výškách nejpřesnější odhad vlhkosti poskytuje 5. model Rosetty.

Výsledky 4. a 5. modelu Rosetty se výrazně neliší. Kvalitu odhadu mohla ovlivnit subjektivní chyba při výpočtu hodnot polní vodní kapacity a bodu vadnutí.

Míra spolehlivosti použité PTF (Schaap *et al.* 1998) byla posuzována pomocí korelačního koeficientu R , determinačního koeficientu R^2 a směrodatné chyby $RMSE$, viz kap. 1.11. Korelace měřených a odhadnutých hodnot vlhkostí pomocí zvoleného modelu PTF v charakteristických tlakových výškách je graficky vyjádřena v obr. 2.5.1 až 2.5.5. Výsledky výpočtu jsou uvedené v přílohové části viz. Příloha č. 37 až 38.

Korelace měřených a odhadnutých retenčních čar půdní vlhkosti z 1. modelu Rosetty je zobrazena v obrázku 2.5.6

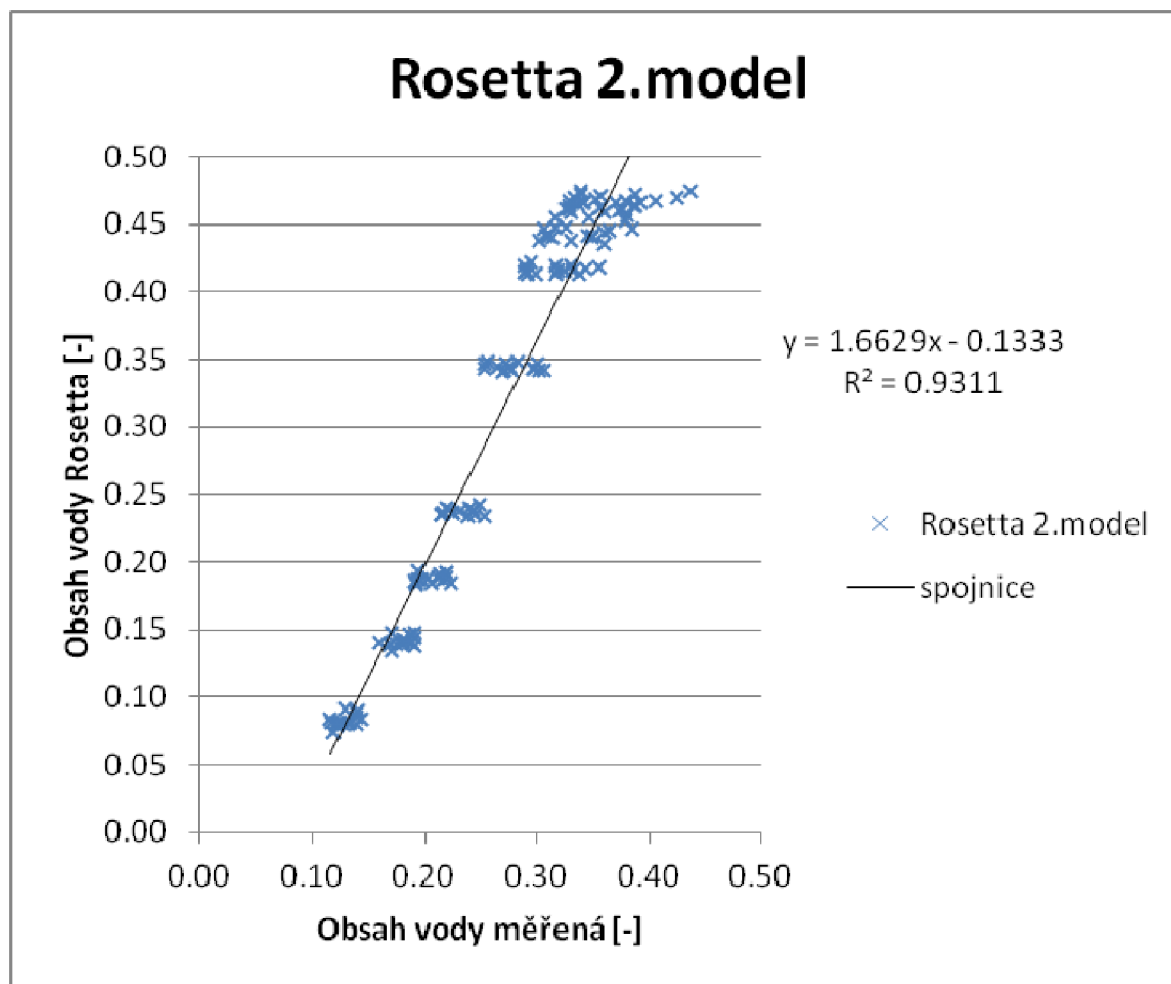
Pro první model Rosetty vychází korelační koeficient $R = 0,9635$, determinační koeficient $R^2 = 0,9282$ a směrodatná chyba $RMSE = 0,0220 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.



Obr.2.5.6 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (1.model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách

Korelace měřených a odhadnutých retenčních čar půdní vlhkosti z 2. modelu Rosetty je zobrazena v obrázku 2.5.7

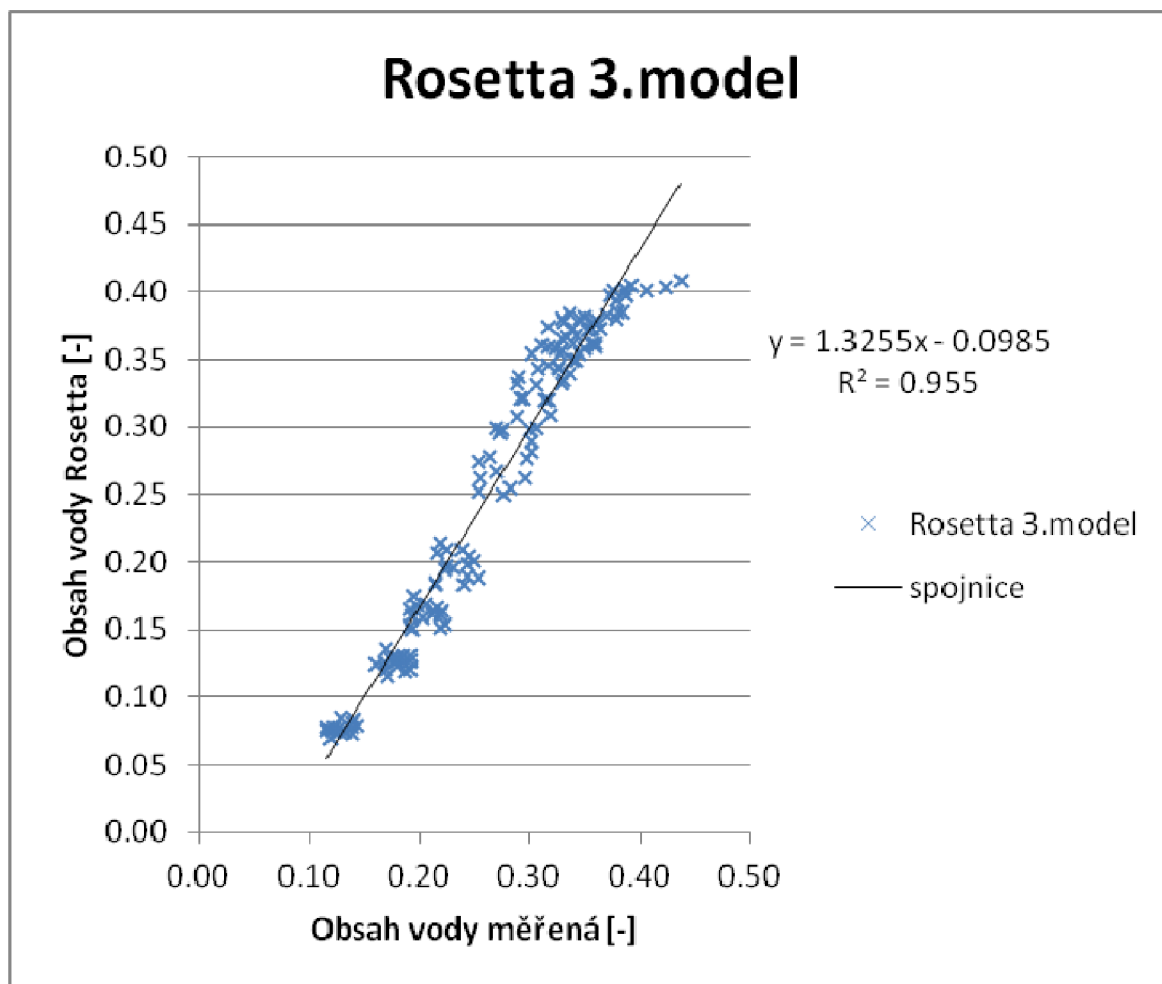
Pro druhý model Rosetty vychází korelační koeficient $R = 0,9649$, determinační koeficient $R^2 = 0,9311$ a směrodatná chyba $RMSE = 0,0216 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.



Obr.2.5.7 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (2.model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách

Korelace měřených a odhadnutých retenčních čar půdní vlhkosti z 3. modelu Rosetty je zobrazena v obrázku 2.5.8.

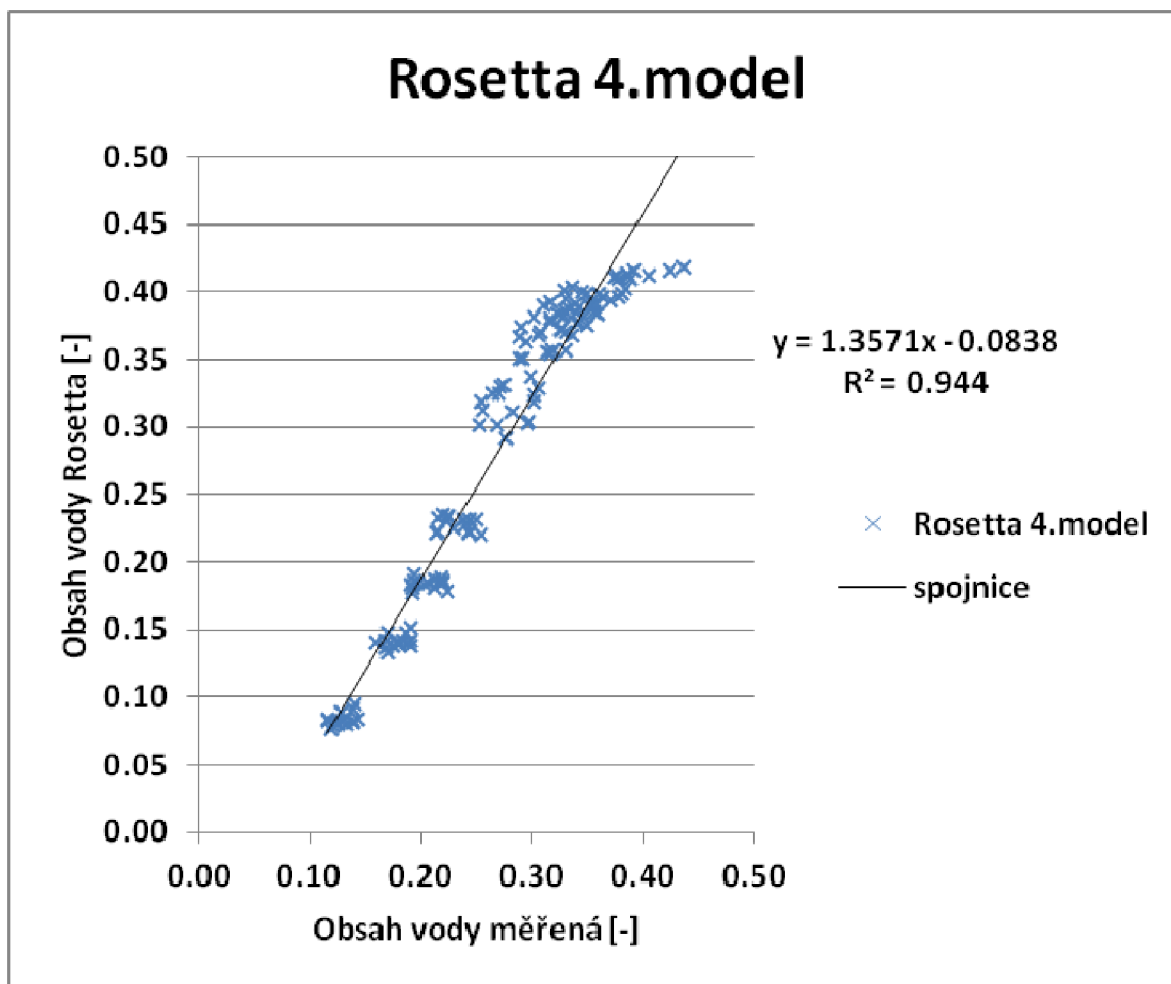
Pro třetí model Rosetty vychází korelační koeficient $R = 0,9772$, determinační koeficient $R^2 = 0,9549$ a směrodatná chyba $RMSE = 0,0175 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.



Obr.2.5.8 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (3.model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách

Korelace měřených a odhadnutých retenčních čar půdní vlhkosti pro 4. model Rosetty je zobrazena v obrázku 2.5.9.

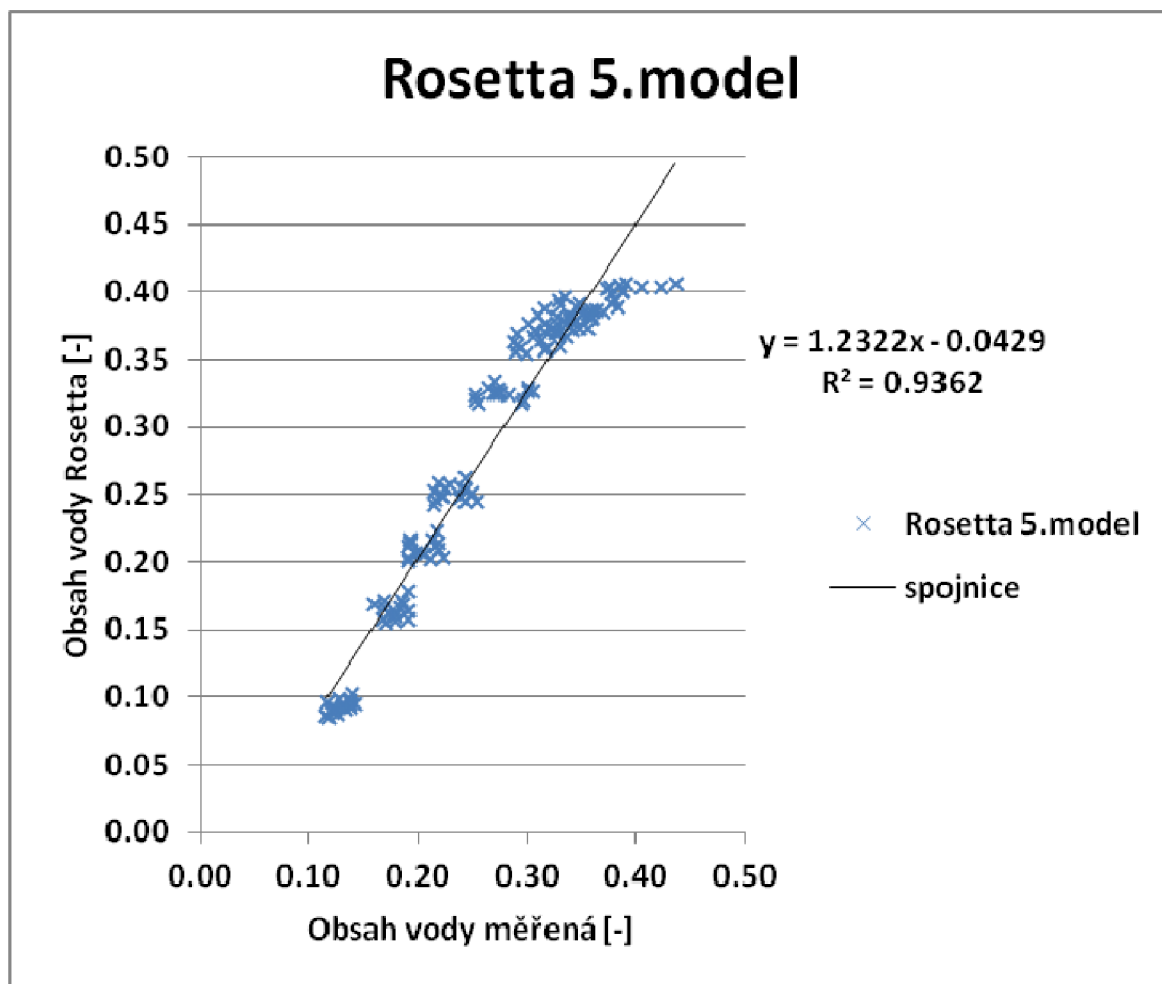
Pro čtvrtý model Rosetty vychází korelační koeficient $R = 0,9716$, determinační koeficient $R^2 = 0,9440$ a směrodatná chyba $RMSE = 0,0194 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.



Obr.2.5.9 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (4.model Rosetta) a změřených v charakteristických tlakových výškách

Korelace měřených a odhadnutých retenčních čar půdní vlhkosti pro 5. model Rosetty je zobrazena v obrázku 2.5.10.

Pro pátý model Rosetty vychází korelační koeficient $R = 0,9675$, determinační koeficient $R^2 = 0,9362$ a směrodatná chyba $RMSE = 0,0208 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.



Obr.2.5.10 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (5. model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách

Hodnoty korelačního koeficientu R se pohybují se v rozmezí od 96,35% do 97,16% a ukazují těsnou závislost mezi naměřenými a odhadnutými daty. Směrodatná chyba $RMSE$ se pohybuje v rozpětí od 0,0173 do 0,0216. Z dosažených výsledků vyplývá, že program Rosetta odhaduje retenční čáry půdní vlhkosti ve sledované lokalitě s dostatečnou přesností pro využití v praxi.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl odhad vlhkostních retenčních křivek pomocí programu Rosetta pro půdy ve vybrané zájmové lokalitě na jižní Moravě. K tomu bylo nezbytné porovnání výsledků zjištěných laboratorním měřením vlhkostních retenčních křivek, s odhadnutými pomocí programu Rosetta.

K měření retenčních čar v laboratorních podmínkách byl v této diplomové práci použit pískový tank a přetlakové přístroje. Každé změřené retenční čáře byly přiřazeny van Genuchtenovy parametry fitováním pomocí programu RETC. Stejně vzorky půdy, na kterých byly měřeny retenční čáry v laboratorních podmínkách, se použily pro stanovení hydrofyzikálních vlastností půdy. Mezi ně patří redukovaná objemová hmotnost ρ_d , zdánlivá hustota půdních částic ρ_s . Dle trojúhelníkového diagramu FAO/USDA, který využívá rozdělení na jíl, prach a písek, se stanovil půdní typ. Z dosažených výsledků vyplývá, že převažuje prachová hlína a v menší míře prach.

Odhad retenčních čar byl proveden pomocí programu Rosetta (Schaap et al. 1998). Van Genuchtenovy parametry (θ_r , θ_s , α , n) byly předpovězeny na základě znalostí

zrnitostní třídy,

procentuálního zastoupení písku, prachu a jílu dle texturních poměrů,

procentuálního zastoupení písku, prachu, jílu a objemové hmotnosti,

procentuálního zastoupení písku, prachu, jílu, objemové hmotnosti a polní vodní kapacity,

procentuálního zastoupení písku, prachu, jílu, objemové hmotnosti, polní vodní kapacity a bodu vadnutí.

Pomocí rovnice (1.7.1) z kapitoly 1.7 byly vypočítané body retenční čáry v 9 tlakových výškách ($h = 0, -20, -60, -100, -220, -570, -980, -2000$ a -15000cm).

Míra spolehlivosti byla určena pomocí korelačního koeficientu R a směrodatné chyby $RMSE$. Korelační koeficient se pohybuje v rozmezí 96,35% až 97,16% a směrodatná chyba se pohybuje v rozpětí 0,0173 až 0,0216 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Z dosažených výsledků vyplývá, že program Rosetta odhaduje retenční čáry půdní vlhkosti ve sledované lokalitě s dostatečnou přesností pro využití v praxi.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CÍSLEROVÁ, M. (1989): Inženýrská hydroopedologie, ČVUT v Praze. ISBN 80-01-00052-4.
- [2] KODEŠOVÁ, R. (2005): Modelování v pedologii. ČZU v Praze, vydání první. ISBN 80-213-1347-1
- [3] KUTÍLEK, M. (1978): Vodohospodářská pedologie. ANTL/ALFA Praha, druhé vydání.
- [4] KUTÍLEK, M. a D. R. NIELSEN (1994): Soil Hydrology. Catena: GeoEcology Publications, vydání druhé. ISBN 3-923381-26-3.
- [5] SCHAAP, M. (2003): Rosetta, version 1,0, Predicting Soil Hydraulic Parameters from Basic Soil Data. US Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, USA.
- [6] VAN GENUCHTEN M.TH. ET AL. (1991): RETC, version 6,0, Code for Quantifying the Hydraulic Function of Unsaturated Soils, US Salinity Laboratory, USDARS, Riverside, CA, USA.
- [7] ČERMÁK, P. (2012) *Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy*. Brno, 61 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
- [8] GUPTA, S.C., and W.E. Larson. 1979. Estimating soil water characteristic from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resources Research* 15:1633- 1635.
- [9] HILLER, D., (1998): *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego, USA
- [10] KAMENÍČKOVÁ, I., (2005): *Vodní hospodářství krajiny I: Pedologie*. 1. vyd. Brno: VUT FAST
- [11] KODEŠOVÁ, R. (2005) *Modelování v pedologii*. 1. vyd. V Praze, 150 s. ISBN 80-213-1347-1.
- [12] KAMENÍČKOVÁ, I. (2006) *Hydroopedologické praktikum*,

-
- [13] KAMENÍČKOVÁ, I., (2013) *Hydropedologie – návody do cvičení (VHK)*, elektronická verze studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia, 69 s VUT FAST v Brně, Brno
- [14] KUTÍLEK, M., (1978): *Vodohospodářská pedologie*. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL, 295 s. ISBN 80-213-1347-1.
- [15] KUTÍLEK, M., (1984): *Vlhkost pórovitých materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 211 s.
- [16] KUTÍLEK, M. a D. R. NIELSEN (1994): *Soil Hydrology*. Catena: GeoEcology Publications, vydání druhé. ISBN 3-923381-26-3.
- [17] KUTÍLEK, M., a kol., (2000): *Hydropedologie 10*. Vyd. 2., přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 67 s. ISBN 80-010-2237-4.
- [18] KUTÍLEK, M., a kol., (2004): *Hydropedologie*. 3. vydání ed. ČVUT, Praha.
- [19] MATULA, S., a kol., (1989): *Hydropedologie - praktikum*. první vydání ed. České vysoké učení technické, Praha.
- [20] MATULA, S., a kol., (1997): A simple pressure infiltrometer for determination of soil hydraulic properties by in situ infiltration measurements. *Rostlinná výroba/Plant Production* 43:405-413.
- [21] MATULA, S., M. Mojrová, and K. Špongrová. 2008. Application of PTFs for soil water retention curves estimation and soil water retention curves database 13.-18.4. 2008 EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria - oral presentation by the first author; abstract in *Geophysical Research Abstracts*, Vol. Vol. 10, EGU2008-A-11517.
- [22] MATULA, S., a kol., (2010): *Předpovědní půdně-agrohydrologické modely retence vody v půdě v ČR a jejich integrace do databází zemí EU*. Redakčně upravená závěrečná zpráva. Praha.
- [23] MATULA, S, (2010) *Rozvoj technologií úpravy a čištění vod a racionalizace hospodaření s vodou v krajině*. Praha, 90 s. Redakčně upravená závěrečná zpráva.
- [24] MINASNY, B., A. McBratney, and K.L. Bristow. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. *Geoderma* 93:225-253.

-
- [25] MUALEM, Y. 1976. A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media. *Water Resources Research* 12:513-522.
- [26] NĚMEČEK, J., (1981): Základní diagnostické znaky a klasifikace půd ČSR. 1. vyd. Praha: Academia, 106 s.
- [27] PACHEPSKY Y. A., Timlin D., Varallyay G., (1996). Artificial neural network to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 327-336
- [28] RAWLS, W.J., D.L. Brakensiek, and K.E. Saxton. 1982. Estimation of Soil Water Properties. *TRANSACTIONS of the ASAE* 25:1316-1320.
- [29] SCHAAP, M.G., F.L. Leij, and M.T. van Genuchten. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 62:847-855.
- [30] SCHAAP, M.G., F.J. Leij, and M.T. van Genuchten. (2001). ROSETTA: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251:163-176.
- [31] SCHAAP, M. (2003): Rosetta, version 1,0, Predicting Soil Hydraulic Parameters from Basic Soil Data. US Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, USA.
- [32] SKALOVÁ, J., ŠTEKAUEROVÁ, V., (2001) Pedotransferové funkcie a ich aplikacia při modelovaní vodného režimu pôdy, SvF STU Bratislava.
- [33] STOKLÁSKOVÁ, A. (2011) *Stanovení hydraulických charakteristik půdy ve vybrané lokalitě*. Brno, 134 s., 32 s. přílohy. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D..
- [34] TOMÁŠEK, M., (2003): Půdy České republiky. 3. vyd. Praha: Česká geologická služba, 67 s. ISBN 80-707-5607-1.
- [35] VAN GENUCHTEN, M.T. 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal* 44:892-898.

- [36] VAN GENUCHTEN, M.T., Leij, F. J., Yates, S. R. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. EPA Report 600/2-91/065, Riverside, California.
- [37] WÖSTEN, J.H.M., A. Lilly, A. Nemes, and C. Le Bas. (1998). Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Final Report on the European Union Funded project 156. DLO-Staring Centre, Wageningen NL.
- [38] WÖSTEN, J.H.M., Y.A. Pachepsky, and W.J. Rawls. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. Journal of Hydrology 251:123.
- [39] <http://pedologie.czu.cz/>
- [40] <http://leccos.com/index.php/clanky/bod-vadnuti>

SEZNAM TABULEK

Tab.1.1.1.1 Zrnitostní klasifikace podle Kopeckého (převzato Česká pedologická společnost) 17	
Tab.1.1.2 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (převzato Kutílek, 2000).....	17
Tab.1.3.1 Zdánlivá hustota půdních částic u nejčastěji se vyskytujících hornin v půdě (převzato Kutílek, 1978)	21
Tab.1.6.1 Hydrofyzikální charakteristiky půdních druhů (převzato Skalová, 2001).....	32
Tab.1.8.1 Kontinuální parametrické pedotransferové funkce (převzato Wösten et al., 1998). 36	
Tab.1.8.2 Kontinuální parametrické pedotransferové funkce pro odhad retenční čáry pro ČR (převzato Matula, 2010)	37
Tab.1.8.3 Parametry van Genuchtena pro 11 zrnitostních tříd FAO (převzato Wösten et al., 1998).....	38
Tab.1.8.4 Van Genuchtenovy parametry pro zrnitostní třídy USDA (převzato Schaap et al., 2001; van Genuchten, 1991)	39
Tab.2.1.1 Průměrná měsíční teplota (převzato Stoklásková, 2011).....	45
Tab.2.1.2 Průměrné měsíční srážkové úhrny (převzato Stoklásková, 2011).....	45
Tab.2.3.1 Hydrofyzikální vlastnosti půdy a určení půdního typu	51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1.1.1 Kopeckého plavící aparát (převzato Kutílek, 2000)	13
Obr.1.1.2 Dekantační přístroj (převzato Česká pedologická společnost)	14
Obr.1.1.3 Pipetovací metoda (převzato Česká pedologická společnost)	14
Obr.1.1.4 Klasifikace pomocí trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd (NRSC USDA) (převzato Kameníčková, 2013)	18
Obr.1.4.1 Závislost retenční čáry na struktuře půdy-vlevo a na textuře půdy – vpravo (převzato Hillel, 1998)	22
Obr.1.4.2 Schéma hysterezní smyčky retenční čáry (převzato Kameníčková, 2013).....	23
Obr.1.4.3 Přetlakový aparát (převzato Kameníčková, 2013).....	24
Obr.1.4.4 Pískový tank (převzato Kameníčková, 2013)	24
Obr.1.4.5 Tempská cela (převzato Kodešová, 2005).....	25
Obr.1.4.6 Schéma terénního měření retenční čáry (převzato Kodešová, 2005).....	26
Obr.1.5.1 Retenční čára určená podle van Genuchten (převzato Kutílek, 1978).....	28
Obr.1.5.2 Retenční čára určená podle Brooks a Corey (převzato Kutílek, 1978).....	29
Obr.2.1.1 Situace zájmového území.....	44
Obr.2.2.1 Situace zájmového území.....	47
Obr.2.3.1 Měřené retenční čáry	49
Obr.2.3.2 Optimalizované retenční čáry	50
Obr.2.4.1 Odhad RČPV pro první model programu Rosetta pro 15 vzorků.....	52

Obr.2.4.2 Odhad RČPV pro druhý model programu Rosetta pro 15 vzorků.....	53
Obr.2.4.3 Odhad RČPV pro třetí model programu Rosetta pro 15 vzorků.....	54
Obr.2.5.1 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 1. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV	57
Obr.2.5.2 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 2. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV	57
Obr.2.5.3 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 3. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV	58
Obr.2.5.4 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 4. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV	58
Obr.2.5.5 Srovnání odhadu průměrné RČPV z 5. modelu Rosetty s průměrnou měřenou RČPV	59
Obr.2.5.6 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (1.model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách.....	60
Obr.2.5.7 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (2.model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách.....	61
Obr.2.5.8 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (3.model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách.....	62
Obr.2.5.9 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (4.model Rosetta) a změřených v charakteristických tlakových výškách.....	63
Obr.2.5.10 Korelace objemových vlhkostí θ vypočítaných (5. model Rosetty) a změřených v charakteristických tlakových výškách.....	64

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

g	– tíhové zrychlení [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$]
ρ_z	– hustota částic [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
ρ_o	– hustota disperzního prostředí [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
η	– viskozita disperzního prostředí [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]
r	– poloměr částic [cm]
W	– poměrný obsah částic v daném čase měření [% hm.]
s	– navážka zeminy k zrnitostní analýze přepočtená na sušinu [g]
ρ_s	– měrná hmotnost zeminy [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
R	– hustoměrné čtení
c	– menisková korekce hustoměru
m	– teplotní korekce
T	– teplota suspenze v daném čase
ρ_o	– měrná hmotnost vody [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
H	– odpovídající hloubka hustoměru v suspenzi [cm]
t	– čas měření [s]
v	– usazovací rychlost
G_A	hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g],
V_S	objem fyzikálního válečku [cm^3].
G_F	- hmotnost vysušené zeminy [g],
P_V	- hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],
P_S	- hmotnost pyknometru se suspenzí [g],
N_S	- navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g].
m_s	– celková hmotnost tuhé fáze [kg]
V_s	– objem tuhé fáze [m^3]

θ_e - objemová vlhkost [-],

θ_S - nasycená vlhkost [-],

θ_r - reziduální vlhkost (neúčastní se proudění, ustává při ní pohyb vody v půdě) [-].

θ_e – efektivní vlhkost [-]

α – koeficient v rozmezí 10^{-3} až 10^{-2} [-]

$|h|$ - absolutní hodnota výšky [m]

n - koeficient v rozmezí 1,5 až 6 [-]

m – empirický koeficient

θ_{pk} – polní kapacita

% I *kategorie* – I kategorie zrnitostního zatřídění dle Kopeckého

θ_v – bod vadnutí

K_s – nasycená hydraulická vodivost

θ_p – obsah vody při potenciálu p

a, b, c, d, e, x – regresní koeficienty

P – hledaný parametr analytické funkce

C – jíl [%]

OM – organická hmota [%]

D – objemová hmotnost suché zeminy [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]

θ_s – modelový parametr

$\alpha^*, n^*, l^*, K_s^*$ – transformované modelové parametry

C – jíl [%]

S – prach [%]

OM – organická hmota [%]

D – objemová hmotnost suché zeminy [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]

topsoil, subsoil – kvalitativní proměnné dosahující hodnot 1 nebo 0, v tomto pořadí

R^2 – determinační koeficient

$RMSE$ – směrodatná chyba

R – Pearsonův korelační koeficient

$\theta_{(h)}$ – objemová vlhkost jako funkce tlakové výšky h

θ_s, θ_r – nasycená a reziduální vlhkost

K_o – bod nasycení

L – parametr, program ROSETTA předpovídá hodnotu L zpravidla zápornou

θ_i – naměřená hodnota objemové vlhkosti

$\hat{\theta}_i$ – odhadnutá hodnota objemové vlhkosti

$R\check{C}PV$ – retenční čára půdní vlhkosti

PTF – pedotransferová funkce

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Data měřených retenčních čar půdní vlhkosti.....	78
Příloha č. 2 Graf měřených retenčních čar půdní vlhkosti.....	78
Příloha č. 3 Optimalizovaná data měřených retenčních čar půdní vlhkosti pomocí programu RETC.....	79
Příloha č. 4 Graf optimalizovaných měřených retenčních čar půdní vlhkosti	79
Příloha č. 5 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-72.....	80
Příloha č. 6 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-72	80
Příloha č. 7 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-b899.....	81
Příloha č. 8 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-b899	81
Příloha č. 9 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-b574.....	82
Příloha č. 10 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-b574 ..	82
Příloha č. 11 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-760.....	83
Příloha č. 12 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-760	83
Příloha č. 13 Odhadnutá a měřená data – Hajžlůvka, vzorek hajž1-20	84
Příloha č. 14 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek hajž1-20	84
Příloha č. 15 Odhadnutá a měřená data – Hajžlůvka, vzorek hajž1-14	85
Příloha č. 16 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek hajž1-14.....	85
Příloha č. 17 Odhadnutá a měřená data – Hajžlůvka, vzorek hajž2-1	86
Příloha č. 18 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek hajž2-1	86
Příloha č. 19 Odhadnutá a měřená data – Křídlo, vzorek kř2-17.....	87
Příloha č. 20 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek kř2-17	87
Příloha č. 21 Odhadnutá a měřená data – Křídlo, vzorek kř1-734.....	88
Příloha č. 22 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek kř1-734.....	88
Příloha č. 23 Odhadnutá a měřená data – Proitles, vzorek pr2-8.....	89
Příloha č. 24 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek pr2-8	89

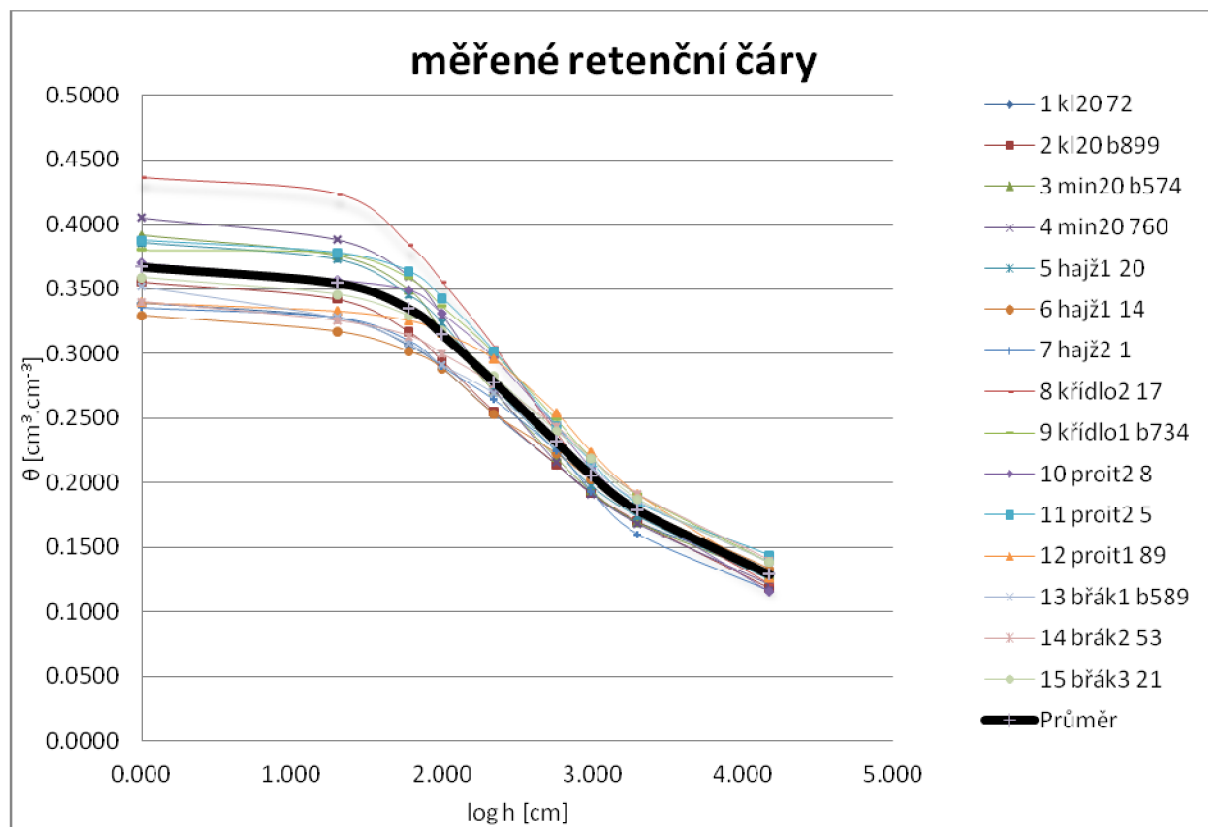
Příloha č. 25 Odhadnutá a měřená data – Proitles, vzorek pr2-5	90
Příloha č. 26 Graf odhadnutých a měřených dat – Proitles, vzorek pr2-5	90
Příloha č. 27 Odhadnutá a měřená data – Proitles, vzorek pr1-89	91
Příloha č. 28 Graf odhadnutých a měřených dat – Proitles, vzorek pr1-89	91
Příloha č. 29 Odhadnutá a měřená data – Břák, vzorek bř1-b589	92
Příloha č. 30 Graf odhadnutých a měřených dat – Břák, vzorek bř1-b589	92
Příloha č. 31 Odhadnutá a měřená data – Břák, vzorek bř2-53	93
Příloha č. 32 Graf odhadnutých a měřených dat – Břák, vzorek bř2-53	93
Příloha č. 33 Odhadnutá a měřená data – Břák, vzorek bř3-21	94
Příloha č. 34 Graf odhadnutých a měřených dat – Břák, vzorek bř3-21	94
Příloha č. 35 Odhadnutá a měřená data – střední hodnota	95
Příloha č. 36 Graf odhadnutých a měřených dat - střední hodnota	95
Příloha č. 37 Srovnání odhadnutých a měřených retenčních čar půdní vlhkosti – první část..	96
Příloha č. 38 Srovnání odhadnutých a měřených retenčních čar půdní vlhkosti – druhá část .	97

PŘÍLOHY

Žlutě označené sloupce znázorňují prachový půdní typ

měřené retenční čáry																	
h	log h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
[cm]	[cm]	kl20	kl20	min20	min20	hajž1	hajž1	hajž2	křídlo2	křídlo1	proit2	proit2	proit1	břák1	brák2	břák3	Průměr
0	0.000	0.3393	0.3558	0.3916	0.4051	0.3859	0.3297	0.3357	0.4367	0.3805	0.3699	0.3876	0.3394	0.3521	0.3398	0.3591	0.3672
20	1.301	0.3277	0.3422	0.3759	0.3881	0.3729	0.3172	0.3282	0.4241	0.3780	0.3572	0.3781	0.3329	0.3280	0.3253	0.3458	0.3548
60	1.778	0.3060	0.3168	0.3492	0.3597	0.3452	0.3017	0.3101	0.3843	0.3588	0.3493	0.3635	0.3256	0.3079	0.3135	0.3294	0.3347
100	2.000	0.2885	0.2940	0.3165	0.3293	0.3233	0.2883	0.2900	0.3556	0.3366	0.3308	0.3427	0.3162	0.2913	0.2994	0.3179	0.3147
220	2.342	0.2530	0.2553	0.2705	0.2722	0.2746	0.2534	0.2642	0.3057	0.3010	0.2967	0.3017	0.2958	0.2692	0.2762	0.2825	0.2781
570	2.756	0.2138	0.2143	0.2193	0.2156	0.2243	0.2226	0.2249	0.2389	0.2490	0.2431	0.2439	0.2536	0.2301	0.2432	0.2401	0.2318
980	2.991	0.1922	0.1923	0.1939	0.1912	0.1974	0.2026	0.1933	0.2053	0.2195	0.2115	0.2159	0.2235	0.2123	0.2183	0.2187	0.2059
2000	3.300	0.1691	0.1700	0.1694	0.1680	0.1740	0.1800	0.1601	0.1797	0.1911	0.1798	0.1840	0.1910	0.1861	0.1910	0.1875	0.1787
15000	4.176	0.1312	0.1185	0.1282	0.1209	0.1250	0.1333	0.1162	0.1218	0.1387	0.1156	0.1435	0.1265	0.1387	0.1401	0.1385	0.1291

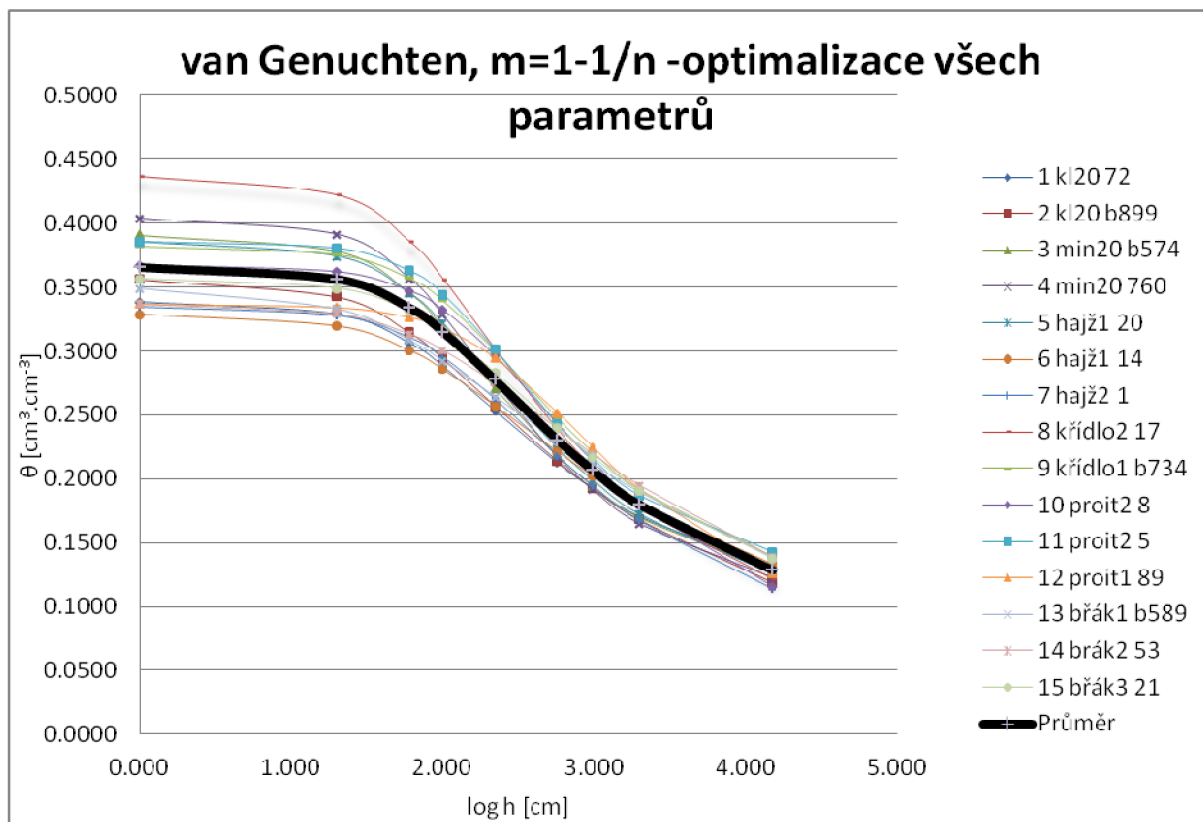
Příloha č. 1 Data měřených retenčních čar půdní vlhkosti



Příloha č. 2 Graf měřených retenčních čar půdní vlhkosti

van Genuchten, m=1-1/n - optimalizace všech parametrů																	
h	log h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
[cm]	[cm]	kl20	kl20	min20	min20	hajž1	hajž1	hajž2	křídlo2	křídlo1	proit2	proit2	proit1	břák1	brák2	břák3	Průměr
		opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s	opt. vše 0s
		0.0910	0.0548	0.0977	0.09	0.0852	0.0587	0.0506	0.0736	0.0927	0.0513	0.1164	0.0550		0.0168	0.0703	0.0716
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.3383	0.3562	0.3908	0.40	0.3854	0.3288	0.3344	0.4370	0.3823	0.3670	0.3855	0.3368	0.3490	0.3367	0.3564	0.3659
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0130	0.0163	0.0137	0.01	0.0126	0.0134	0.0092	0.0132	0.0084	0.0067	0.0075	0.0043	0.0234	0.0110	0.0099	0.0114
n	[-]	1.3475	1.2804	1.4241	1.45	1.3831	1.2420	1.3045	1.3821	1.3806	1.3451	1.4931	1.3312	1.1584	1.1886	1.2889	1.3194
0	0.000	0.3383	0.3562	0.3908	0.4039	0.3854	0.3288	0.3344	0.437	0.3823	0.367	0.3855	0.3368	0.349	0.3367	0.3564	0.3659
20	1.301	0.3289	0.3425	0.3782	0.3914	0.3741	0.3196	0.3276	0.4225	0.3758	0.3618	0.3804	0.3342	0.3328	0.329	0.349	0.3566
60	1.778	0.3063	0.3146	0.3454	0.3568	0.3452	0.3005	0.3104	0.3862	0.3572	0.3468	0.3627	0.3265	0.3083	0.3134	0.331	0.3341
100	2.000	0.2879	0.2942	0.3189	0.328	0.3214	0.2856	0.2951	0.3568	0.3395	0.3319	0.3442	0.318	0.2921	0.3007	0.3154	0.3152
220	2.342	0.2534	0.2575	0.271	0.2751	0.2764	0.2573	0.2624	0.3021	0.3005	0.2963	0.301	0.2948	0.2642	0.275	0.2831	0.2778
570	2.756	0.2124	0.2142	0.2182	0.217	0.2238	0.2212	0.2177	0.239	0.2475	0.2424	0.2429	0.2517	0.2301	0.2393	0.2397	0.2305
980	2.991	0.1924	0.1926	0.1943	0.1911	0.1988	0.2023	0.1941	0.2092	0.2206	0.213	0.2151	0.2247	0.2118	0.2192	0.2168	0.2066
2000	3.300	0.1706	0.168	0.1694	0.1646	0.1721	0.1801	0.167	0.1774	0.1911	0.1792	0.1866	0.1918	0.1895	0.1947	0.1904	0.1797
15000	4.176	0.1306	0.1193	0.1283	0.1224	0.1255	0.1334	0.1139	0.1218	0.1387	0.1156	0.1425	0.1261	0.138	0.1388	0.1377	0.1286

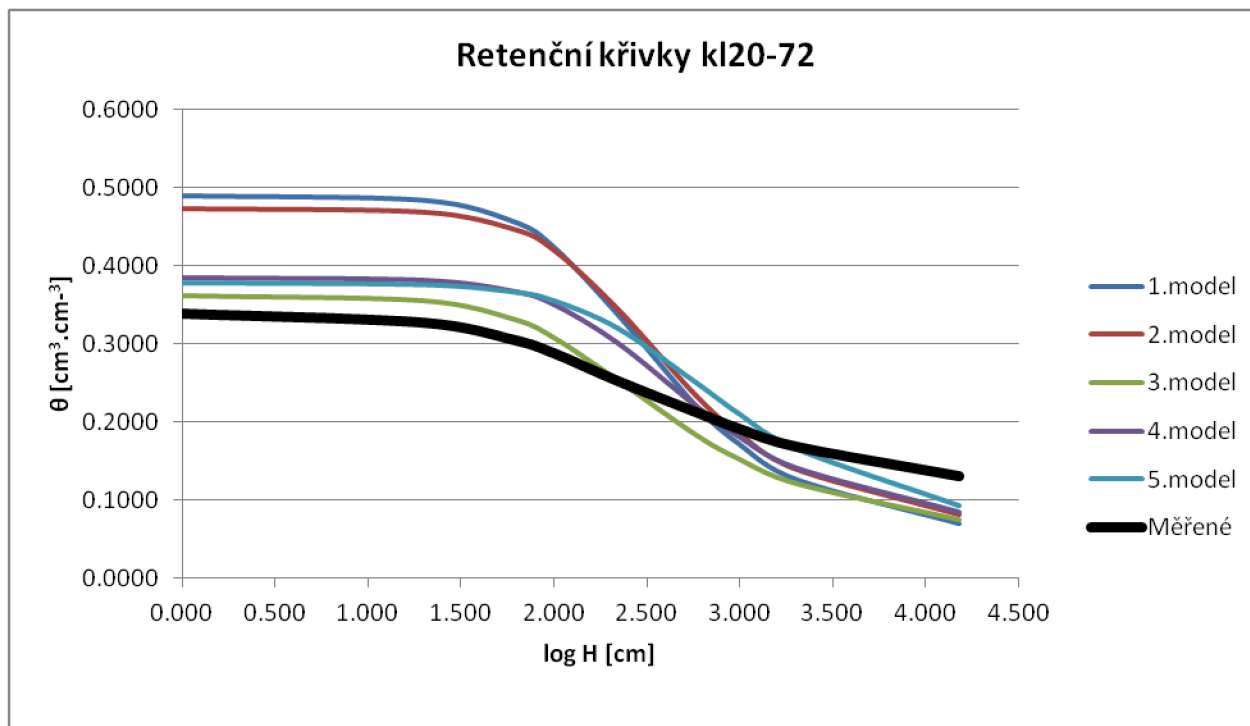
Příloha č. 3 Optimalizovaná data měřených retenčních čar půdní vlhkosti pomocí programu RETC



Příloha č. 4 Graf optimalizovaných měřených retenčních čar půdní vlhkosti

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$							
h	log h	kl20-72					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0501	0.0600	0.0494	0.0587	0.0506	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4887	0.4726	0.3615	0.3852	0.3785	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0066	0.0059	0.0082	0.0052	0.0039	
n	[-]	1.6769	1.6682	1.5253	1.5838	1.4998	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	43.7400	28.6800	9.5500	6.3600	4.8900	
0	0.000	0.4887	0.4726	0.3615	0.3852	0.3785	0.3393
20	1.301	0.4829	0.4680	0.3550	0.3819	0.3762	0.3277
60	1.778	0.4560	0.4465	0.3317	0.3680	0.3670	0.3060
100	2.000	0.4227	0.4191	0.3074	0.3506	0.3555	0.2885
220	2.342	0.3367	0.3438	0.2529	0.3013	0.3204	0.2530
570	2.756	0.2217	0.2346	0.1840	0.2216	0.2521	0.2138
980	2.991	0.1719	0.1851	0.1524	0.1815	0.2115	0.1922
2000	3.300	0.1262	0.1388	0.1209	0.1412	0.1663	0.1691
15000	4.176	0.0696	0.0806	0.0743	0.0844	0.0935	0.1312
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.9092					0.3191
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.7125					0.1371
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.8730					0.1387

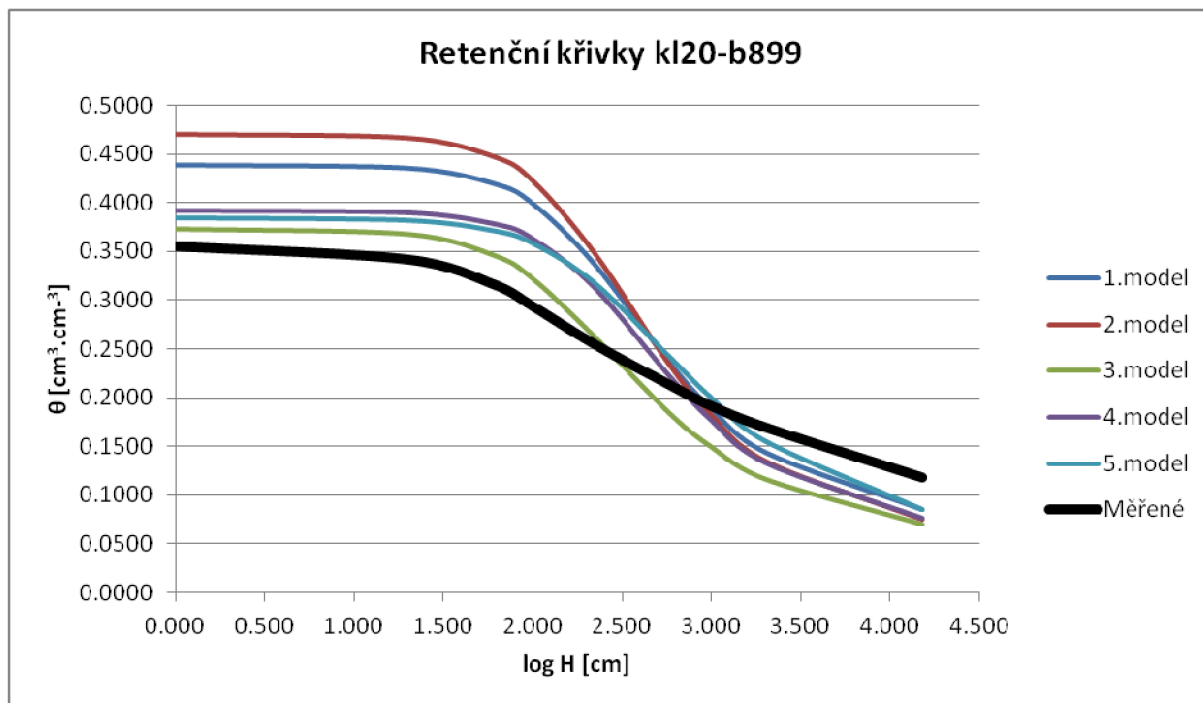
Příloha č. 5 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-72



Příloha č. 6 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-72

ROSETTA Van Genuchten, m=1-1/n								
h	log h	kl20-b899					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0546	0.0490	0.0567	0.0478		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4707	0.3730	0.3916	0.3839		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0054	0.0072	0.0044	0.0042		
n	[-]	1.6626	1.6911	1.5896	1.6736	1.5311		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	36.5800	18.1600	14.8500	14.1100		
0	0.000	0.4387	0.4707	0.3730	0.3916	0.3839		0.3558
20	1.301	0.4354	0.4668	0.3676	0.3893	0.3813		0.3422
60	1.778	0.4197	0.4478	0.3461	0.3781	0.3708		0.3168
100	2.000	0.3989	0.4224	0.3216	0.3625	0.3576	0.2940	
220	2.342	0.3373	0.3487	0.2625	0.3128	0.3175	0.2553	
570	2.756	0.2378	0.2353	0.1848	0.2234	0.2428	0.2143	
980	2.991	0.1900	0.1831	0.1497	0.1777	0.2005	0.1923	
2000	3.300	0.1442	0.1344	0.1159	0.1333	0.1549	0.1700	
15000	4.176	0.0856	0.0746	0.0695	0.0766	0.0850	0.1185	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.1833					0.3118	
$\theta_{V \text{ solnáf}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	12.7583					0.1276	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.1860					0.1319	

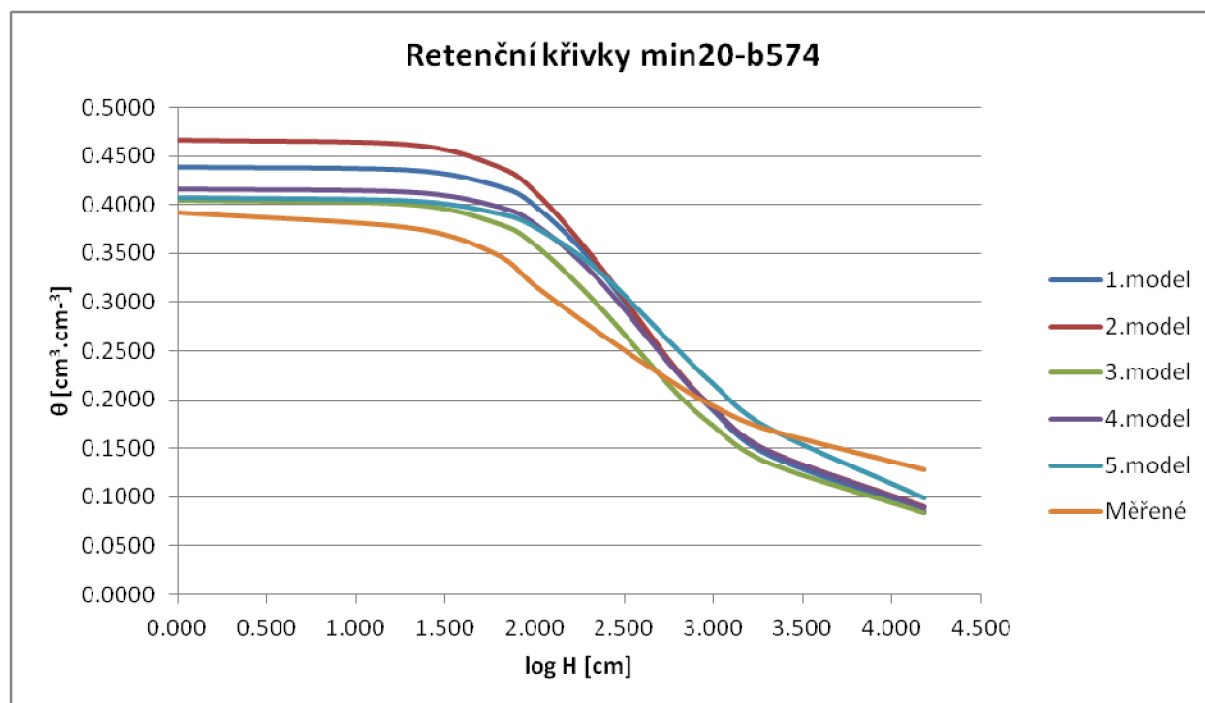
Příloha č. 7 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-b899



Příloha č. 8 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.1, vzorek kl20-b899

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$								
h	log h	min20-b574					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0687	0.0630	0.0653	0.0561		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4664	0.4052	0.4160	0.4066		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0061	0.0062	0.0050	0.0046		
n	[-]	1.6626	1.6403	1.6107	1.6275	1.4967		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	18.7700	12.3000	12.6900	13.0000		
0	0.000	0.4387	0.4664	0.4052	0.4160	0.4066		0.3916
20	1.301	0.4354	0.4616	0.4008	0.4129	0.4034		0.3759
60	1.778	0.4197	0.4400	0.3820	0.3986	0.3911		0.3492
100	2.000	0.3989	0.4132	0.3592	0.3801	0.3763	0.3165	
220	2.342	0.3373	0.3418	0.2995	0.3255	0.3337	0.2705	
570	2.756	0.2378	0.2395	0.2141	0.2357	0.2585	0.2193	
980	2.991	0.1900	0.1927	0.1744	0.1911	0.2166	0.1939	
2000	3.300	0.1442	0.1483	0.1361	0.1472	0.1711	0.1694	
15000	4.176	0.0856	0.0908	0.0845	0.0886	0.0989	0.1282	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	32.4623				0.3246		
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.4542				0.1445		
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.4070				0.1441		

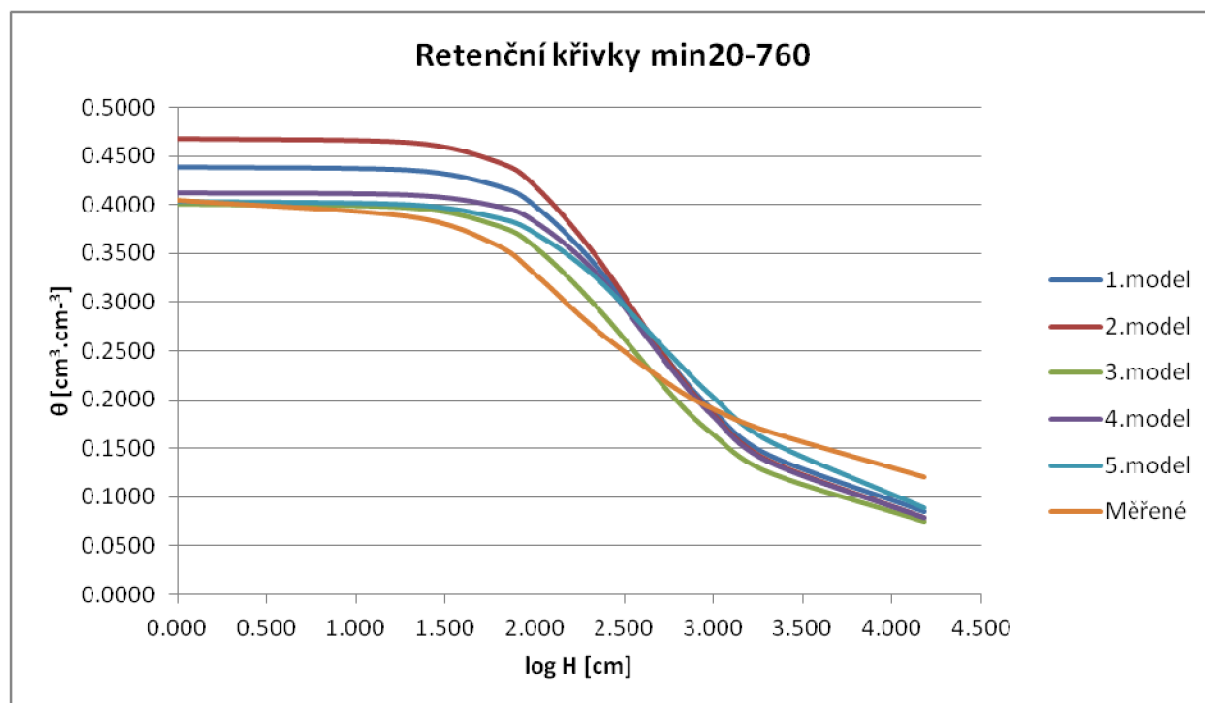
Příloha č. 9 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-b574



Příloha č. 10 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-b574

ROSETTA Van Genuchten, m=1-1/n								
h	log h	min20-760					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0589	0.0562	0.0604	0.0505		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4677	0.4010	0.4122	0.4032		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0055	0.0059	0.0043	0.0048		
n	[-]	1.6626	1.6788	1.6429	1.7040	1.5214		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	30.0800	23.5000	22.2400	24.0600		
0	0.000	0.4387	0.4677	0.4010	0.4122	0.4032	0.4051	
20	1.301	0.4354	0.4637	0.3971	0.4100	0.3998	0.3881	
60	1.778	0.4197	0.4445	0.3792	0.3987	0.3867	0.3597	
100	2.000	0.3989	0.4192	0.3568	0.3826	0.3706	0.3293	
220	2.342	0.3373	0.3469	0.2958	0.3297	0.3246	0.2722	
570	2.756	0.2378	0.2370	0.2066	0.2330	0.2456	0.2156	
980	2.991	0.1900	0.1862	0.1654	0.1839	0.2030	0.1912	
2000	3.300	0.1442	0.1386	0.1263	0.1369	0.1578	0.1680	
15000	4.176	0.0856	0.0793	0.0755	0.0791	0.0884	0.1209	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.5753					0.3158	
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.2708					0.1327	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.5550					0.1356	

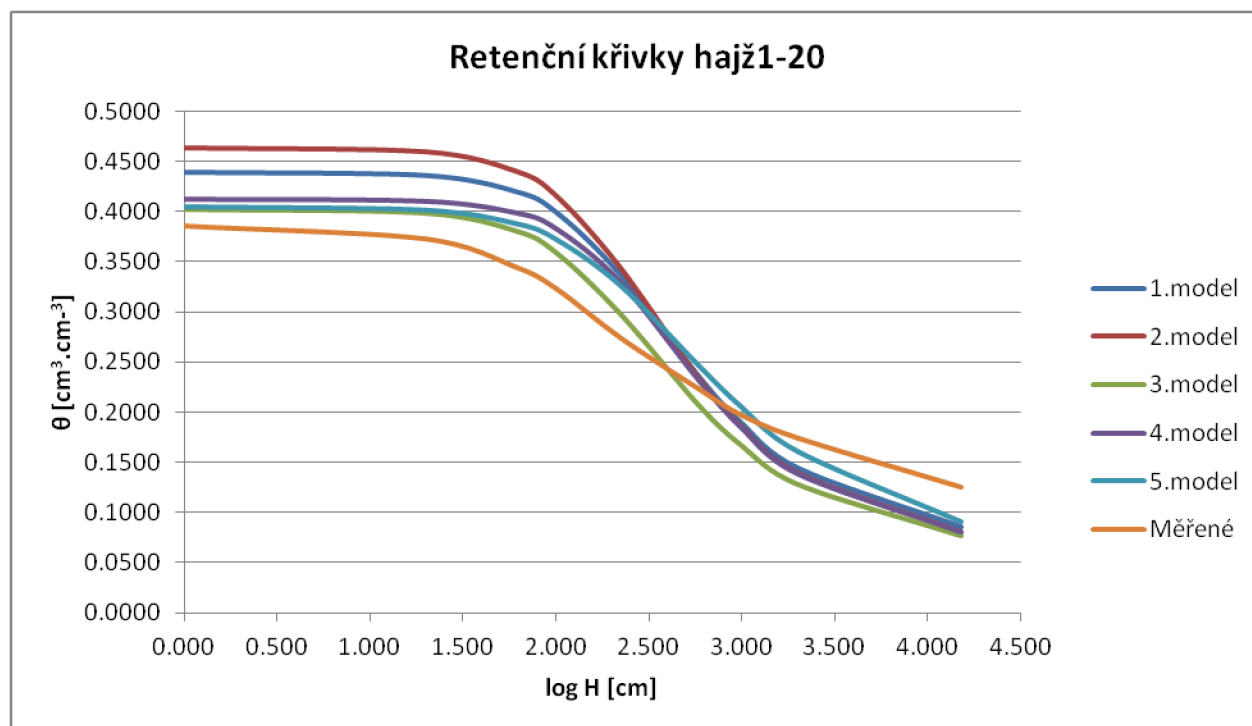
Příloha č. 11 Odhadnutá a měřená data - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-760



Příloha č. 12 Graf odhadnutých a měřených dat - Bohdanská Nivač.2, vzorek min20-760

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$								
h	log h	hajž1-20					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0606	0.0576	0.0613	0.0520		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4642	0.4019	0.4131	0.4053		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0055	0.0058	0.0043	0.0048		
n	[-]	1.6626	1.6764	1.6442	1.7019	1.5151		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	27.6600	21.9200	21.0600	22.8900		
0	0.000	0.4387	0.4642	0.4019	0.4131	0.4053		0.3859
20	1.301	0.4354	0.4602	0.3981	0.4109	0.4019		0.3729
60	1.778	0.4197	0.4413	0.3807	0.3996	0.3887		0.3452
100	2.000	0.3989	0.4164	0.3587	0.3835	0.3727	0.3233	
220	2.342	0.3373	0.3452	0.2983	0.3307	0.3272	0.2746	
570	2.756	0.2378	0.2369	0.2090	0.2342	0.2487	0.2243	
980	2.991	0.1900	0.1868	0.1676	0.1852	0.2063	0.1974	
2000	3.300	0.1442	0.1397	0.1281	0.1382	0.1610	0.1740	
15000	4.176	0.0856	0.0810	0.0770	0.0802	0.0910	0.1250	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.8277				0.3183		
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.6042				0.1360		
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.7950				0.1380		

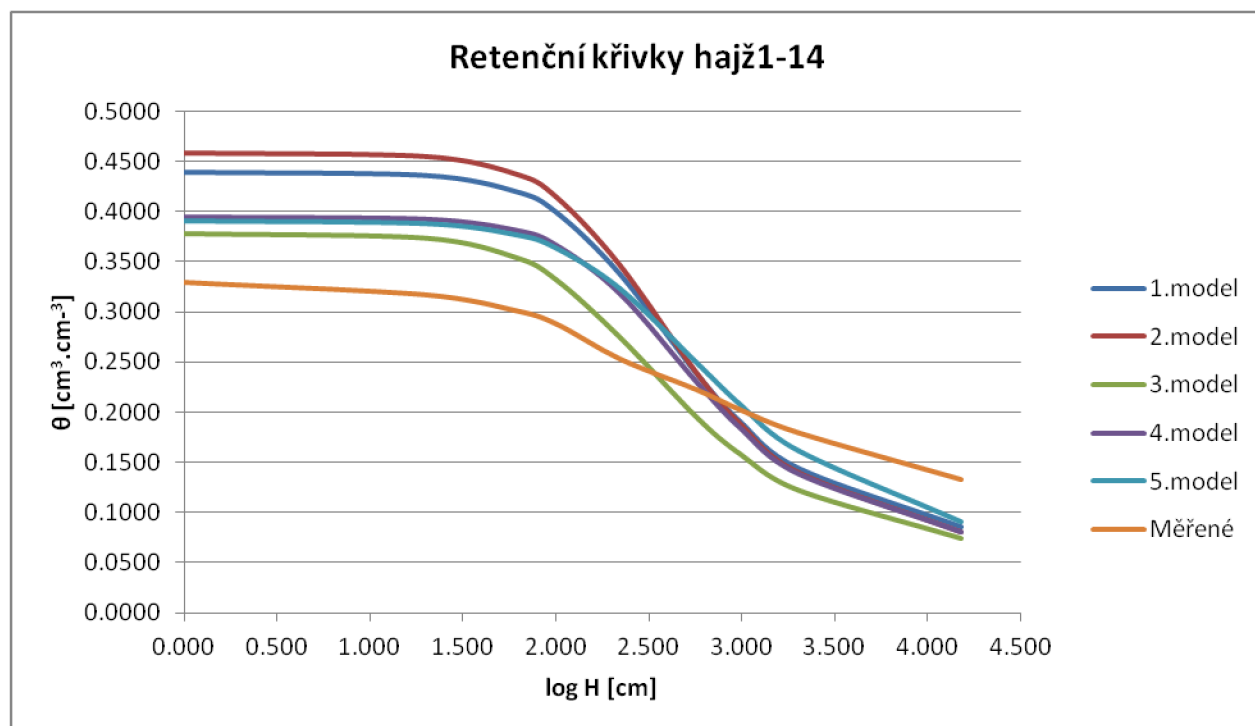
Příloha č. 13 Odhadnutá a měřená data – Hajžlůvka, vzorek hajž1-20



Příloha č. 14 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek hajž1-20

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$								
h	log h	hajž1-14					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0605	0.0541	0.0594	0.0514		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4588	0.3784	0.3950	0.3906		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0052	0.0065	0.0043	0.0043		
n	[-]	1.6626	1.6829	1.6027	1.6655	1.5150		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	27.2700	14.7500	12.9700	12.9000		
0	0.000	0.4387	0.4588	0.3784	0.3950	0.3906	0.3297	
20	1.301	0.4354	0.4553	0.3739	0.3928	0.3878	0.3172	
60	1.778	0.4197	0.4381	0.3549	0.3819	0.3770	0.3017	
100	2.000	0.3989	0.4150	0.3324	0.3668	0.3634	0.2883	
220	2.342	0.3373	0.3469	0.2751	0.3184	0.3232	0.2534	
570	2.756	0.2378	0.2390	0.1951	0.2298	0.2492	0.2226	
980	2.991	0.1900	0.1882	0.1584	0.1838	0.2073	0.2026	
2000	3.300	0.1442	0.1404	0.1228	0.1387	0.1620	0.1800	
15000	4.176	0.0856	0.0808	0.0746	0.0804	0.0911	0.1333	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.8214				0.3182		
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.5958				0.1360		
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.7890				0.1379		

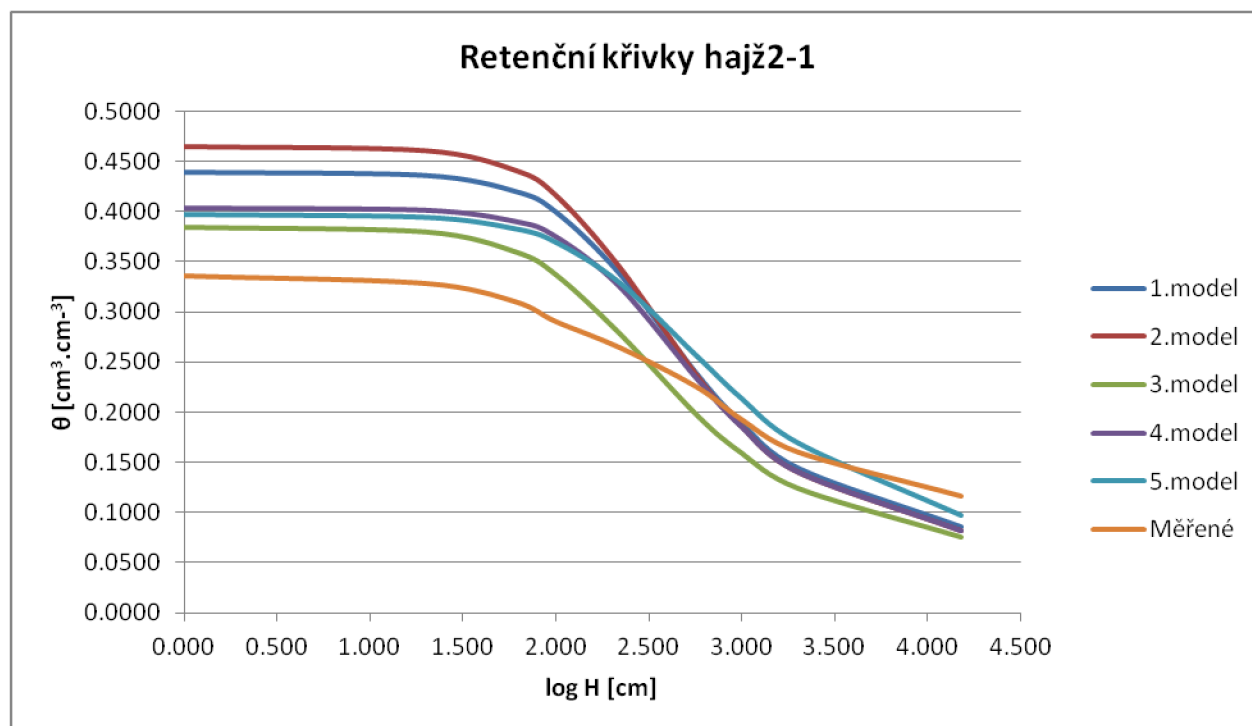
Příloha č. 15 Odhadnutá a měřená data – Hajžlůvka, vzorek hajž1-14



Příloha č. 16 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek hajž1-14

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$							
h	log h	hajž2-1					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0612	0.0550	0.0618	0.0537	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4654	0.3844	0.4032	0.3967	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0056	0.0066	0.0043	0.0044	
n	[-]	1.6626	1.6727	1.6017	1.6774	1.4965	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	27.0000	14.8300	12.2200	11.7200	
0	0.000	0.4387	0.4654	0.3844	0.4032	0.3967	0.3357
20	1.301	0.4354	0.4613	0.3797	0.4010	0.3938	0.3282
60	1.778	0.4197	0.4418	0.3601	0.3899	0.3825	0.3101
100	2.000	0.3989	0.4164	0.3369	0.3745	0.3687	0.2900
220	2.342	0.3373	0.3446	0.2782	0.3246	0.3284	0.2642
570	2.756	0.2378	0.2366	0.1972	0.2333	0.2553	0.2249
980	2.991	0.1900	0.1869	0.1602	0.1863	0.2140	0.1933
2000	3.300	0.1442	0.1402	0.1243	0.1404	0.1688	0.1601
15000	4.176	0.0856	0.0817	0.0757	0.0821	0.0965	0.1162
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	32.3852				0.3239	
$\theta_{V \text{ solnáf}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.3500				0.1435	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.3320				0.1433	

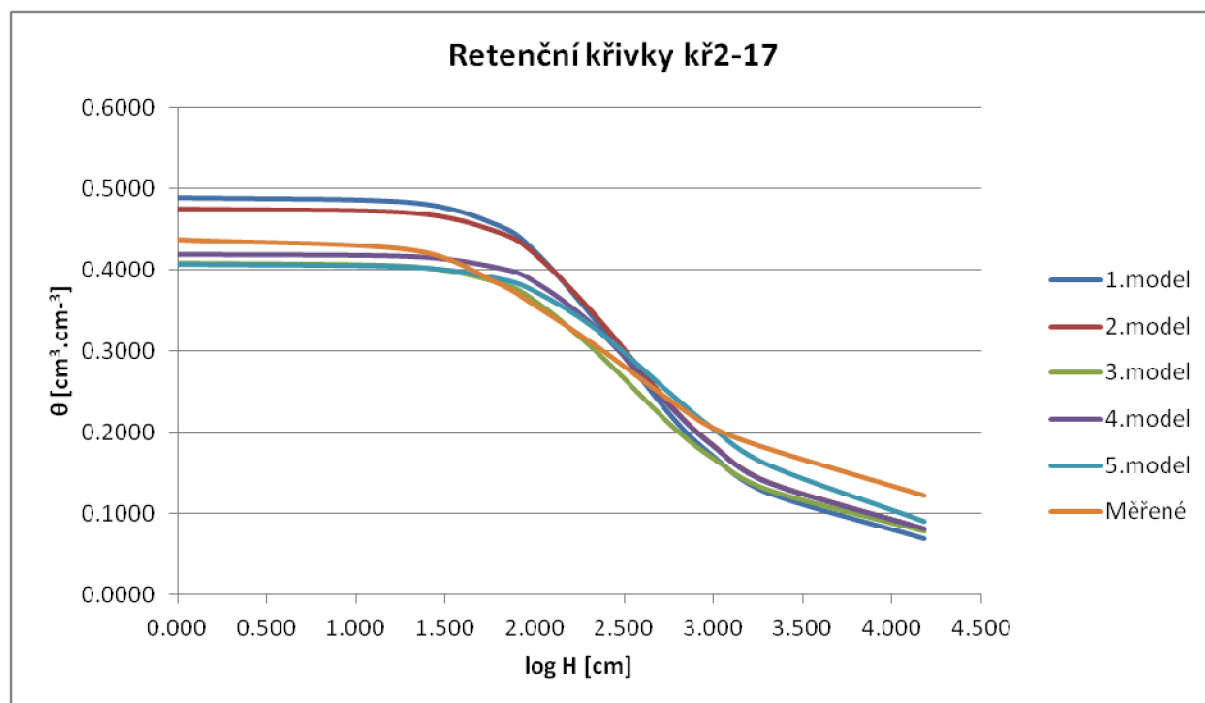
Příloha č. 17 Odhadnutá a měřená data – Hajžlůvka, vzorek hajž2-1



Příloha č. 18 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek hajž2-1

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$							
h	log h	kř2-17					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0501	0.0609	0.0581	0.0623	0.0518	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4887	0.4745	0.4082	0.4188	0.4066	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0066	0.0061	0.0061	0.0047	0.0049	
n	[-]	1.6769	1.6623	1.6339	1.6828	1.5144	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	43.7400	27.4900	21.0300	20.2600	21.5100	
0	0.000	0.4887	0.4745	0.4082	0.4188	0.4066	0.4367
20	1.301	0.4829	0.4696	0.4039	0.4161	0.4031	0.4241
60	1.778	0.4560	0.4471	0.3850	0.4029	0.3895	0.3843
100	2.000	0.4227	0.4186	0.3615	0.3848	0.3731	0.3556
220	2.342	0.3367	0.3422	0.2991	0.3283	0.3267	0.3057
570	2.756	0.2217	0.2337	0.2096	0.2318	0.2478	0.2389
980	2.991	0.1719	0.1850	0.1685	0.1842	0.2054	0.2053
2000	3.300	0.1262	0.1393	0.1293	0.1388	0.1603	0.1797
15000	4.176	0.0696	0.0817	0.0781	0.0818	0.0907	0.1218
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.7616					0.3176
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.5167					0.1352
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.7320					0.1373

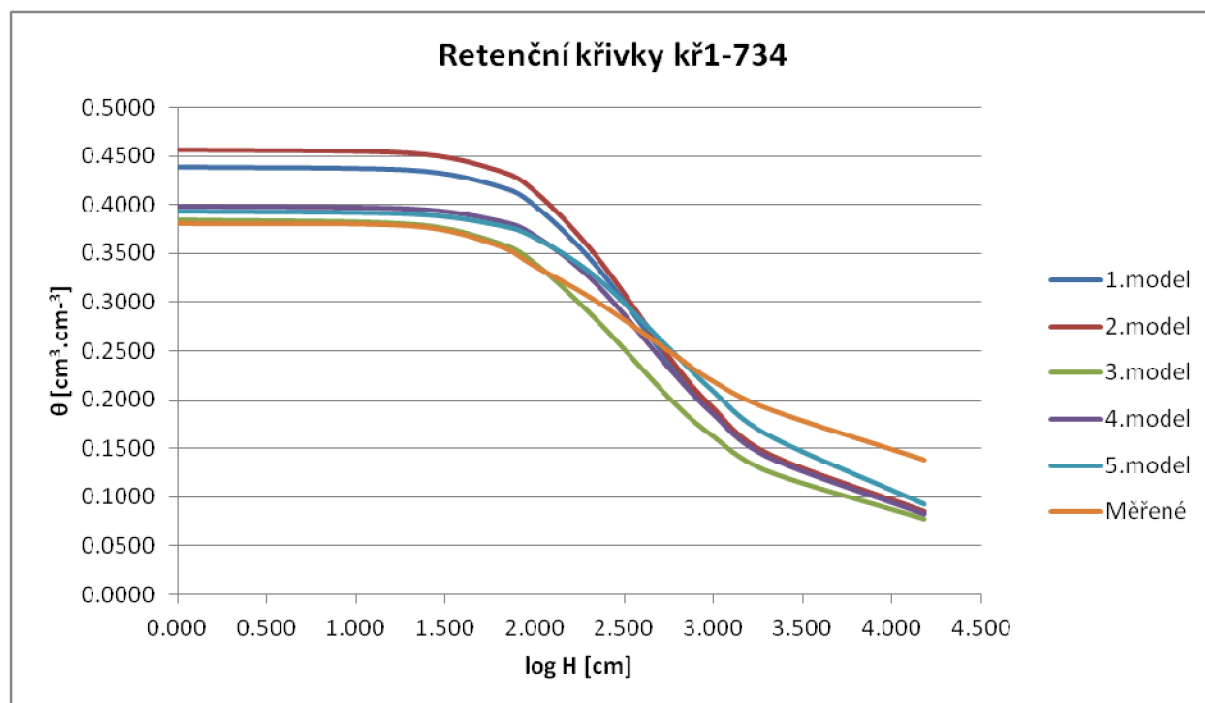
Příloha č. 19 Odhadnutá a měřená data – Křídlo, vzorek kř2-17



Příloha č. 20 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek kř2-17

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$								
h	log h	kř1-734					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0639	0.0575	0.0607	0.0524		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4567	0.3848	0.3982	0.3938		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0052	0.0063	0.0045	0.0043		
n	[-]	1.6626	1.6719	1.6097	1.6455	1.5149		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	23.2500	13.4100	12.8500	13.1500		
0	0.000	0.4387	0.4567	0.3848	0.3982	0.3938		0.3805
20	1.301	0.4354	0.4532	0.3805	0.3957	0.3910		0.3780
60	1.778	0.4197	0.4362	0.3621	0.3840	0.3801		0.3588
100	2.000	0.3989	0.4136	0.3400	0.3681	0.3665	0.3366	
220	2.342	0.3373	0.3473	0.2825	0.3187	0.3259	0.3010	
570	2.756	0.2378	0.2421	0.2009	0.2311	0.2515	0.2490	
980	2.991	0.1900	0.1921	0.1633	0.1860	0.2094	0.2195	
2000	3.300	0.1442	0.1447	0.1269	0.1416	0.1637	0.1911	
15000	4.176	0.0856	0.0849	0.0779	0.0829	0.0923	0.1387	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.8716				0.3187		
$\theta_{V \text{ solnáf}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.6625				0.1366		
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.8370				0.1384		

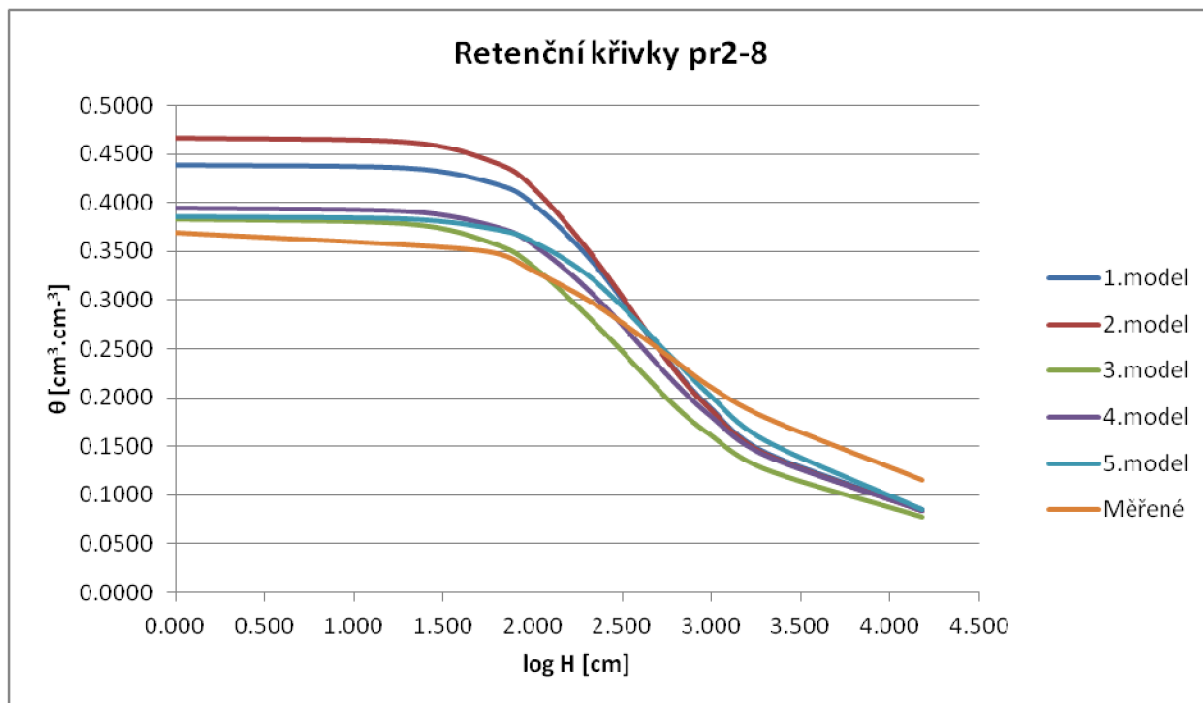
Příloha č. 21 Odhadnutá a měřená data – Křídlo, vzorek kř1-734



Příloha č. 22 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajzlůvka, vzorek kř1-734

ROSETTA Van Genuchten, m=1-1/n								
h	log h	pr2-8					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0634	0.0558	0.0585	0.0489		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4668	0.3831	0.3941	0.3852		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0058	0.0068	0.0054	0.0041		
n	[-]	1.6626	1.6618	1.5851	1.5894	1.5368		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	24.3900	12.0400	11.8500	11.5700		
0	0.000	0.4387	0.4668	0.3831	0.3941	0.3852		0.3699
20	1.301	0.4354	0.4624	0.3781	0.3906	0.3827		0.3572
60	1.778	0.4197	0.4420	0.3580	0.3754	0.3726		0.3493
100	2.000	0.3989	0.4158	0.3347	0.3567	0.3596	0.3308	
220	2.342	0.3373	0.3435	0.2769	0.3043	0.3200	0.2967	
570	2.756	0.2378	0.2371	0.1980	0.2218	0.2450	0.2431	
980	2.991	0.1900	0.1884	0.1618	0.1810	0.2022	0.2115	
2000	3.300	0.1442	0.1425	0.1265	0.1404	0.1561	0.1798	
15000	4.176	0.0856	0.0844	0.0777	0.0837	0.0857	0.1156	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	30.9903				0.3099		
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	12.5083				0.1251		
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.0060				0.1301		

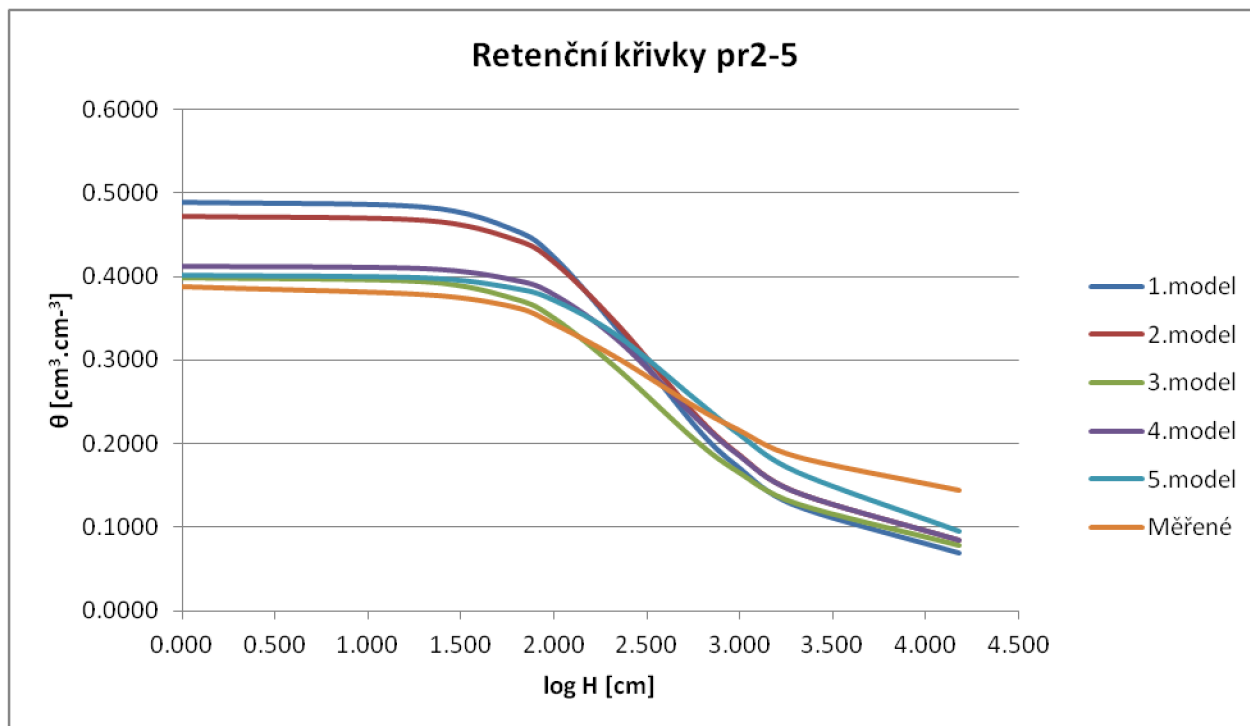
Příloha č. 23 Odhadnutá a měřená data – Proitles, vzorek pr2-8



Příloha č. 24 Graf odhadnutých a měřených dat – Hajžlůvka, vzorek pr2-8

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$								
h	log h	pr2-5					M ě ř e n é	
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0501	0.0632	0.0578	0.0631	0.0537		
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4887	0.4724	0.3980	0.4125	0.4017		
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0066	0.0061	0.0065	0.0048	0.0046		
n	[-]	1.6769	1.6557	1.6083	1.6541	1.5015		
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	43.7400	24.6400	15.0400	13.7500	13.5700		
0	0.000	0.4887	0.4724	0.3980	0.4125	0.4017		0.3876
20	1.301	0.4829	0.4675	0.3933	0.4097	0.3985		0.3781
60	1.778	0.4560	0.4452	0.3734	0.3963	0.3863		0.3635
100	2.000	0.4227	0.4173	0.3496	0.3784	0.3716	0.3427	
220	2.342	0.3367	0.3423	0.2890	0.3239	0.3290	0.3017	
570	2.756	0.2217	0.2356	0.2047	0.2320	0.2537	0.2439	
980	2.991	0.1719	0.1874	0.1660	0.1863	0.2119	0.2159	
2000	3.300	0.1262	0.1421	0.1288	0.1419	0.1667	0.1840	
15000	4.176	0.0696	0.0844	0.0788	0.0844	0.0953	0.1435	
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	32.1528					0.3215	
$\theta_{V \text{ solnáf}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.0375					0.1404	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.1070					0.1411	

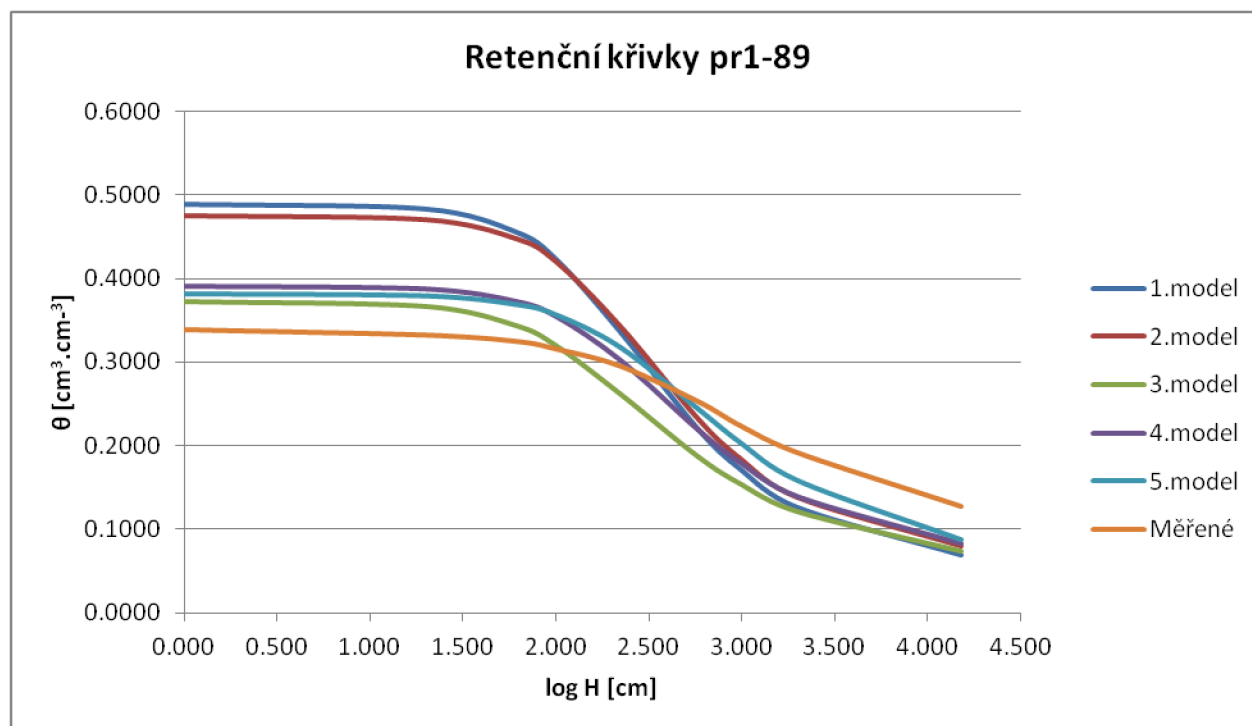
Příloha č. 25 Odhadnutá a měřená data – Proitles, vzorek pr2-5



Příloha č. 26 Graf odhadnutých a měřených dat – Proitles, vzorek pr2-5

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$							
h	log h	pr1-89					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0501	0.0595	0.0512	0.0581	0.0490	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4887	0.4748	0.3731	0.3910	0.3815	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0066	0.0060	0.0076	0.0053	0.0041	
n	[-]	1.6769	1.6673	1.5583	1.5982	1.5242	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	43.7400	29.3000	12.0300	9.7400	8.4700	
0	0.000	0.4887	0.4748	0.3731	0.3910	0.3815	0.3394
20	1.301	0.4829	0.4701	0.3672	0.3876	0.3790	0.3329
60	1.778	0.4560	0.4479	0.3447	0.3730	0.3690	0.3256
100	2.000	0.4227	0.4197	0.3201	0.3546	0.3564	0.3162
220	2.342	0.3367	0.3433	0.2627	0.3027	0.3179	0.2958
570	2.756	0.2217	0.2337	0.1883	0.2201	0.2450	0.2536
980	2.991	0.1719	0.1843	0.1545	0.1792	0.2033	0.2235
2000	3.300	0.1262	0.1381	0.1213	0.1385	0.1579	0.1910
15000	4.176	0.0696	0.0801	0.0741	0.0824	0.0874	0.1265
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.2762					0.3128
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	12.8792					0.1288
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.2730					0.1327

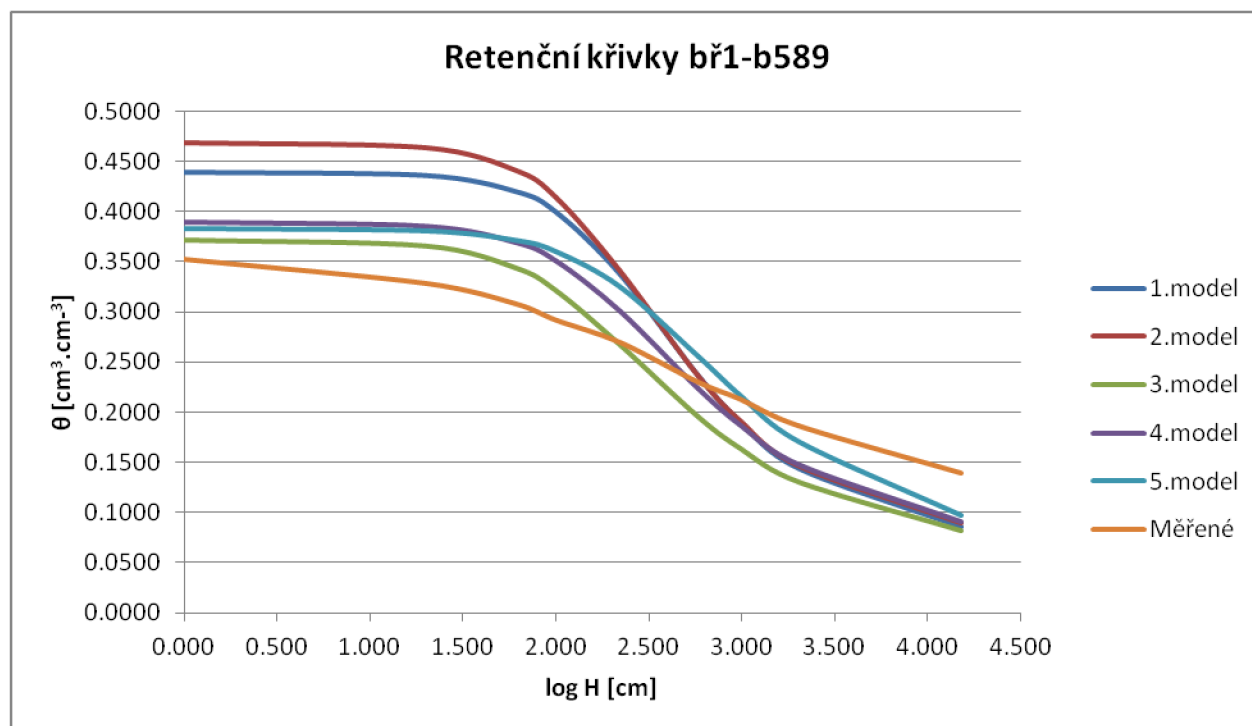
Příloha č. 27 Odhadnutá a měřená data – Proitles, vzorek pr1-89



Příloha č. 28 Graf odhadnutých a měřených dat – Proitles, vzorek pr1-89

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$							
h	log h	bř1-b589					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0674	0.0555	0.0614	0.0528	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4689	0.3713	0.3901	0.3836	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0062	0.0076	0.0058	0.0039	
n	[-]	1.6626	1.6428	1.5278	1.5396	1.4924	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	20.0400	6.9800	5.3800	4.3600	
0	0.000	0.4387	0.4689	0.3713	0.3901	0.3836	0.3521
20	1.301	0.4354	0.4639	0.3654	0.3860	0.3812	0.3280
60	1.778	0.4197	0.4416	0.3438	0.3700	0.3720	0.3079
100	2.000	0.3989	0.4140	0.3207	0.3512	0.3605	0.2913
220	2.342	0.3373	0.3410	0.2670	0.3013	0.3255	0.2692
570	2.756	0.2378	0.2377	0.1962	0.2251	0.2573	0.2301
980	2.991	0.1900	0.1908	0.1632	0.1871	0.2167	0.2123
2000	3.300	0.1442	0.1465	0.1302	0.1483	0.1713	0.1861
15000	4.176	0.0856	0.0892	0.0814	0.0909	0.0974	0.1387
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	32.1559				0.3216	
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.0417				0.1404	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.1100				0.1411	

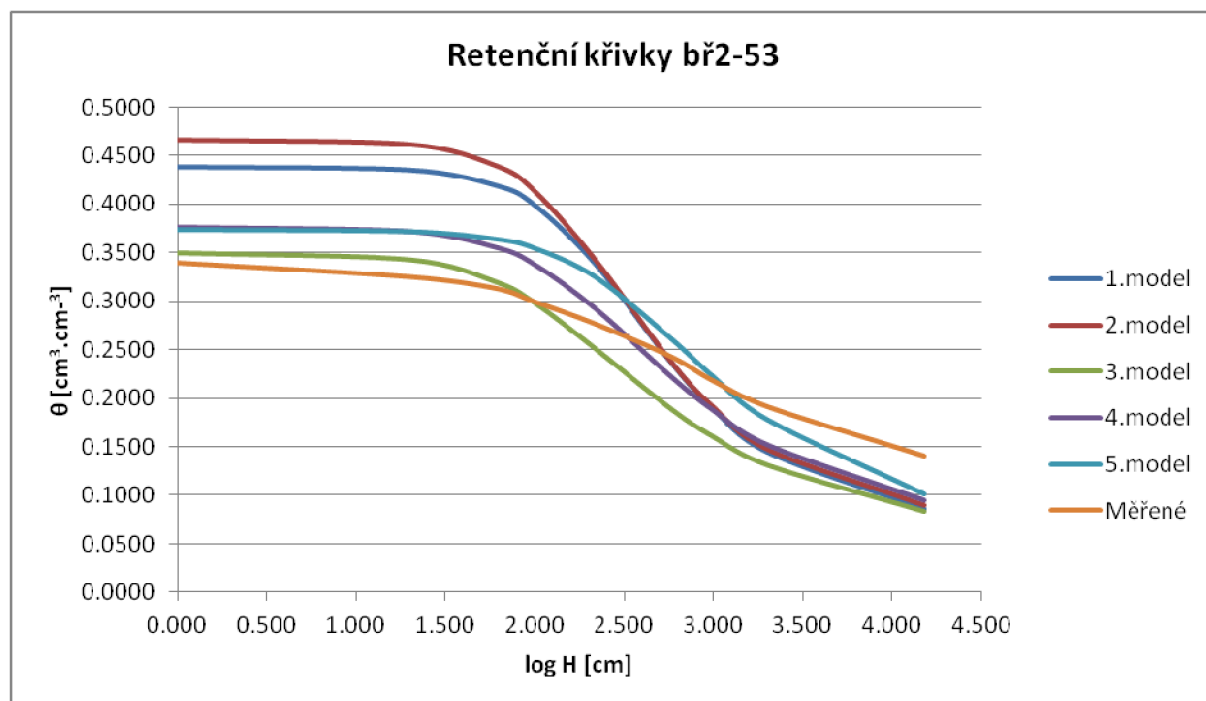
Příloha č. 29 Odhadnutá a měřená data – Břák, vzorek bř1-b589



Příloha č. 30 Graf odhadnutých a měřených dat – Břák, vzorek bř1-b589

ROSETTA Van Genuchten, m=1-1/n							
h	log h	bř2-53					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0683	0.0520	0.0610	0.0525	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4666	0.3500	0.3763	0.3738	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0061	0.0088	0.0062	0.0035	
n	[-]	1.6626	1.6417	1.4617	1.4901	1.4731	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	19.1600	4.5400	2.4500	1.7100	
0	0.000	0.4387	0.4666	0.3500	0.3763	0.3738	0.3398
20	1.301	0.4354	0.4618	0.3429	0.3718	0.3718	0.3253
60	1.778	0.4197	0.4402	0.3204	0.3556	0.3641	0.3135
100	2.000	0.3989	0.4133	0.2982	0.3375	0.3545	0.2994
220	2.342	0.3373	0.3416	0.2504	0.2916	0.3245	0.2762
570	2.756	0.2378	0.2390	0.1895	0.2231	0.2624	0.2432
980	2.991	0.1900	0.1922	0.1608	0.1884	0.2234	0.2183
2000	3.300	0.1442	0.1478	0.1309	0.1521	0.1782	0.1910
15000	4.176	0.0856	0.0903	0.0833	0.0952	0.1018	0.1401
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	32.6956				0.3270	
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.7708				0.1477	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.6350				0.1464	

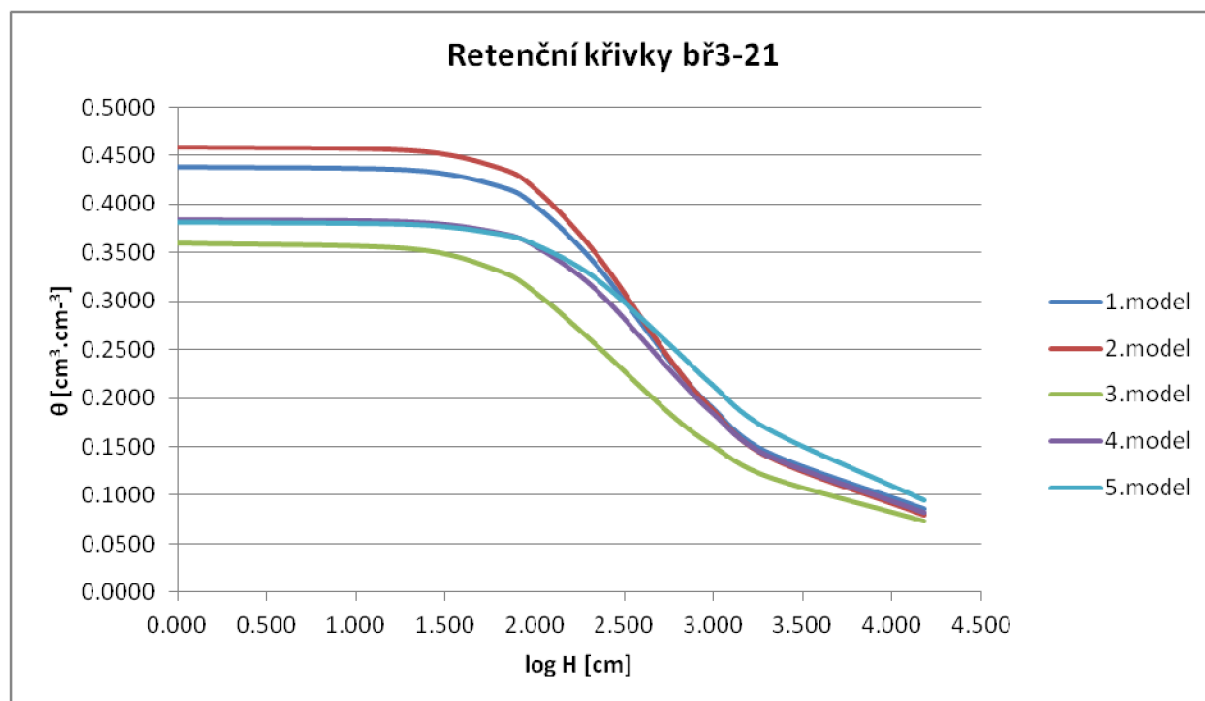
Příloha č. 31 Odhadnutá a měřená data – Břák, vzorek bř2-53



Příloha č. 32 Graf odhadnutých a měřených dat – Břák, vzorek bř2-53

ROSETTA Van Genuchten, $m=1-1/n$							
h	log h	bř3-21					M ě ř e n é
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model	
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0599	0.0503	0.0588	0.0517	
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4584	0.3598	0.3835	0.3814	
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0051	0.0076	0.0043	0.0039	
n	[-]	1.6626	1.6856	1.5510	1.6350	1.4970	
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	27.9600	10.6900	7.5800	6.4400	
0	0.000	0.4387	0.4584	0.3598	0.3835	0.3814	0.3591
20	1.301	0.4354	0.4550	0.3541	0.3812	0.3790	0.3458
60	1.778	0.4197	0.4383	0.3326	0.3707	0.3698	0.3294
100	2.000	0.3989	0.4157	0.3092	0.3564	0.3583	0.3179
220	2.342	0.3373	0.3483	0.2546	0.3112	0.3232	0.2825
570	2.756	0.2378	0.2401	0.1836	0.2283	0.2547	0.2401
980	2.991	0.1900	0.1887	0.1511	0.1845	0.2141	0.2187
2000	3.300	0.1442	0.1403	0.1190	0.1407	0.1687	0.1875
15000	4.176	0.0856	0.0803	0.0731	0.0818	0.0953	0.1385
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	32.2366				0.3224	
$\theta_{V \text{ solnáf}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.1500				0.1415	
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	14.1880				0.1419	

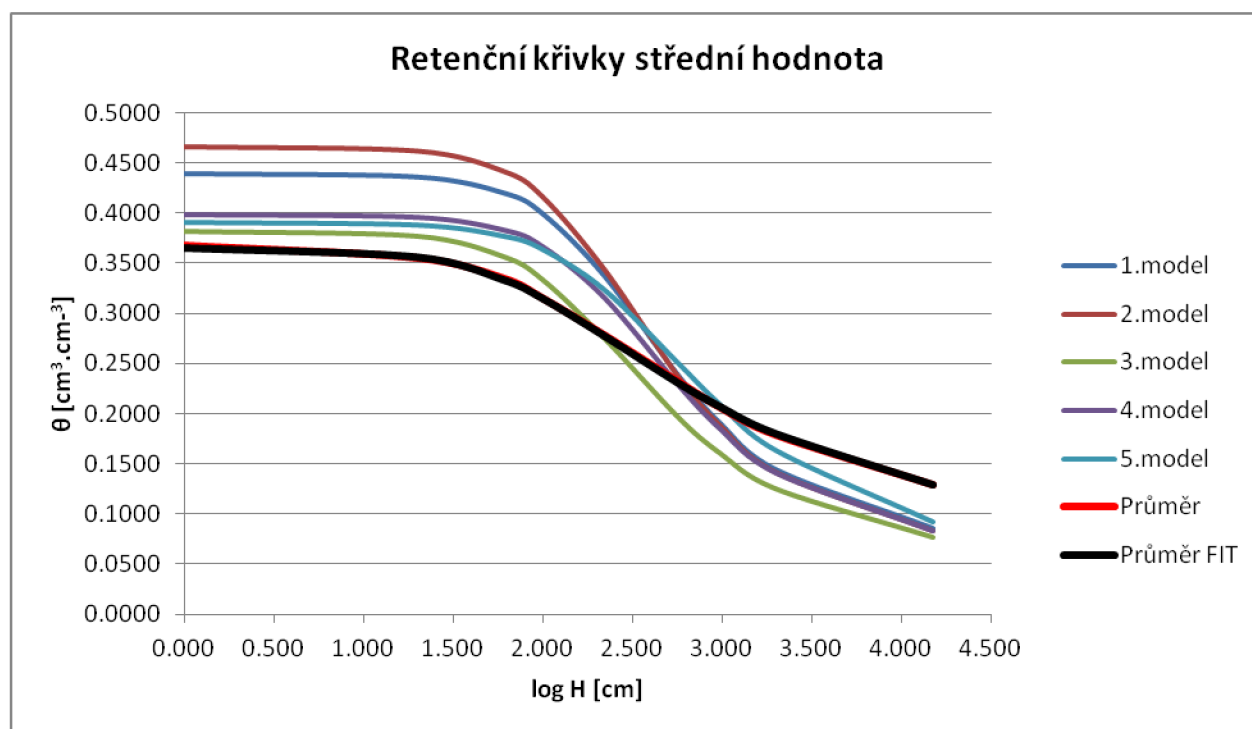
Příloha č. 33 Odhadnutá a měřená data – Břák, vzorek bř3-21



Příloha č. 34 Graf odhadnutých a měřených dat – Břák, vzorek bř3-21

ROSETTA Van Genuchten, m=1-1/n								
h	log h	střední hodnota					Průměr	Průměr FIT
[cm]	[cm]	1.model	2.model	3.model	4.model	5.model		
θ_r	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.0645	0.0621	0.0550	0.0606	0.0519		0.0716
θ_s	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	0.4387	0.4664	0.3822	0.3987	0.3913		0.3659
α	$[\text{l} \cdot \text{cm}^{-1}]$	0.0051	0.0057	0.0068	0.0047	0.0043		0.0114
n	[-]	1.6626	1.6675	1.5896	1.6368	1.5094		1.3194
K_s	$[\text{cm} \cdot \text{den}^{-1}]$	18.2600	25.8800	13.0900	11.3200	10.7400		
0	0.000	0.4387	0.4664	0.3822	0.3987	0.3913	0.3672	0.3659
20	1.301	0.4354	0.4622	0.3773	0.3960	0.3885	0.3548	0.3566
60	1.778	0.4197	0.4421	0.3571	0.3835	0.3776	0.3347	0.3341
100	2.000	0.3989	0.4163	0.3337	0.3668	0.3642	0.3147	0.3152
220	2.342	0.3373	0.3441	0.2755	0.3160	0.3243	0.2781	0.2778
570	2.756	0.2378	0.2368	0.1963	0.2288	0.2508	0.2318	0.2305
980	2.991	0.1900	0.1875	0.1601	0.1846	0.2092	0.2059	0.2066
2000	3.300	0.1442	0.1412	0.1248	0.1410	0.1639	0.1787	0.1797
15000	4.176	0.0856	0.0828	0.0764	0.0831	0.0925	0.1291	0.1286
θ_{PK}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	31.8904				0.3189		
$\theta_{V \text{ solnář}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.6875				0.1369		
$\theta_{V \text{ váša}}$	$[\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}]$	13.8550				0.1386		

Příloha č. 35 Odhadnutá a měřená data – střední hodnota



Příloha č. 36 Graf odhadnutých a měřených dat - střední hodnota

			RETc měřené	Rosetta 1.model	Rosetta 2.model	Rosetta 3.model	Rosetta 4.model	Rosetta 5.model
kl20-72	0	0.000	0.3393	0.489	0.473	0.362	0.385	0.379
	20	1.301	0.3277	0.483	0.468	0.355	0.382	0.376
	60	1.778	0.3060	0.456	0.447	0.332	0.368	0.367
	100	2.000	0.2885	0.423	0.419	0.307	0.351	0.356
	220	2.342	0.2530	0.337	0.344	0.253	0.301	0.320
	570	2.756	0.2138	0.222	0.235	0.184	0.222	0.252
	980	2.991	0.1922	0.172	0.185	0.152	0.182	0.211
	2000	3.300	0.1691	0.126	0.139	0.121	0.141	0.166
	15000	4.176	0.1312	0.070	0.081	0.074	0.084	0.093
kl20-b899	0	0.000	0.3558	0.439	0.471	0.373	0.392	0.384
	20	1.301	0.3422	0.435	0.467	0.368	0.389	0.381
	60	1.778	0.3168	0.420	0.448	0.346	0.378	0.371
	100	2.000	0.2940	0.399	0.422	0.322	0.363	0.358
	220	2.342	0.2553	0.337	0.349	0.263	0.313	0.318
	570	2.756	0.2143	0.238	0.235	0.185	0.223	0.243
	980	2.991	0.1923	0.190	0.183	0.150	0.178	0.200
	2000	3.300	0.1700	0.144	0.134	0.116	0.133	0.155
	15000	4.176	0.1185	0.086	0.075	0.069	0.077	0.085
min20-b574	0	0.000	0.3916	0.439	0.466	0.405	0.416	0.407
	20	1.301	0.3759	0.435	0.462	0.401	0.413	0.403
	60	1.778	0.3492	0.420	0.440	0.382	0.399	0.391
	100	2.000	0.3165	0.399	0.413	0.359	0.380	0.376
	220	2.342	0.2705	0.337	0.342	0.300	0.326	0.334
	570	2.756	0.2193	0.238	0.239	0.214	0.236	0.258
	980	2.991	0.1939	0.190	0.193	0.174	0.191	0.217
	2000	3.300	0.1694	0.144	0.148	0.136	0.147	0.171
	15000	4.176	0.1282	0.086	0.091	0.084	0.089	0.099
min20-760	0	0.000	0.4051	0.439	0.468	0.401	0.412	0.403
	20	1.301	0.3881	0.435	0.464	0.397	0.410	0.400
	60	1.778	0.3597	0.420	0.444	0.379	0.399	0.387
	100	2.000	0.3293	0.399	0.419	0.357	0.383	0.371
	220	2.342	0.2722	0.337	0.347	0.296	0.330	0.325
	570	2.756	0.2156	0.238	0.237	0.207	0.233	0.246
	980	2.991	0.1912	0.190	0.186	0.165	0.184	0.203
	2000	3.300	0.1680	0.144	0.139	0.126	0.137	0.158
	15000	4.176	0.1209	0.086	0.079	0.076	0.079	0.088
hajž1-20	0	0.000	0.3859	0.439	0.464	0.402	0.413	0.405
	20	1.301	0.3729	0.435	0.460	0.398	0.411	0.402
	60	1.778	0.3452	0.420	0.441	0.381	0.400	0.389
	100	2.000	0.3233	0.399	0.416	0.359	0.383	0.373
	220	2.342	0.2746	0.337	0.345	0.298	0.331	0.327
	570	2.756	0.2243	0.238	0.237	0.209	0.234	0.249
	980	2.991	0.1974	0.190	0.187	0.168	0.185	0.206
	2000	3.300	0.1740	0.144	0.140	0.128	0.138	0.161
	15000	4.176	0.1250	0.086	0.081	0.077	0.080	0.091
hajž1-14	0	0.000	0.3297	0.439	0.459	0.378	0.395	0.391
	20	1.301	0.3172	0.435	0.455	0.374	0.393	0.388
	60	1.778	0.3017	0.420	0.438	0.355	0.382	0.377
	100	2.000	0.2883	0.399	0.415	0.332	0.367	0.363
	220	2.342	0.2534	0.337	0.347	0.275	0.318	0.323
	570	2.756	0.2226	0.238	0.239	0.195	0.230	0.249
	980	2.991	0.2026	0.190	0.188	0.158	0.184	0.207
	2000	3.300	0.1800	0.144	0.140	0.123	0.139	0.162
	15000	4.176	0.1333	0.086	0.081	0.075	0.080	0.091
hajž2-1	0	0.000	0.3357	0.439	0.465	0.384	0.403	0.397
	20	1.301	0.3282	0.435	0.461	0.380	0.401	0.394
	60	1.778	0.3101	0.420	0.442	0.360	0.390	0.382
	100	2.000	0.2900	0.399	0.416	0.337	0.375	0.369
	220	2.342	0.2642	0.337	0.345	0.278	0.325	0.328
	570	2.756	0.2249	0.238	0.237	0.197	0.233	0.255
	980	2.991	0.1933	0.190	0.187	0.160	0.186	0.214
	2000	3.300	0.1601	0.144	0.140	0.124	0.140	0.169
	15000	4.176	0.1162	0.086	0.082	0.076	0.082	0.097
křídlo2-17	0	0.000	0.4367	0.489	0.475	0.408	0.419	0.407
	20	1.301	0.4241	0.483	0.470	0.404	0.416	0.403
	60	1.778	0.3843	0.456	0.447	0.385	0.403	0.389
	100	2.000	0.3556	0.423	0.419	0.362	0.385	0.373
	220	2.342	0.3057	0.337	0.342	0.299	0.328	0.327
	570	2.756	0.2389	0.222	0.234	0.210	0.232	0.248
	980	2.991	0.2053	0.172	0.185	0.169	0.184	0.205
	2000	3.300	0.1797	0.126	0.139	0.129	0.139	0.160
	15000	4.176	0.1218	0.070	0.082	0.078	0.082	0.091

Příloha č. 37 Srovnání odhadnutých a měřených retenčních čar půdní vlhkosti – první část

křídlo1- b734	0	0.000	0.3805	0.439	0.457	0.385	0.398	0.394
	20	1.301	0.3780	0.435	0.453	0.380	0.396	0.391
	60	1.778	0.3588	0.420	0.436	0.362	0.384	0.380
	100	2.000	0.3366	0.399	0.414	0.340	0.368	0.366
	220	2.342	0.3010	0.337	0.347	0.282	0.319	0.326
	570	2.756	0.2490	0.238	0.242	0.201	0.231	0.251
	980	2.991	0.2195	0.190	0.192	0.163	0.186	0.209
	2000	3.300	0.1911	0.144	0.145	0.127	0.142	0.164
	15000	4.176	0.1387	0.086	0.085	0.078	0.083	0.092
proit2-8	0	0.000	0.3699	0.439	0.467	0.383	0.394	0.385
	20	1.301	0.3572	0.435	0.462	0.378	0.391	0.383
	60	1.778	0.3493	0.420	0.442	0.358	0.375	0.373
	100	2.000	0.3308	0.399	0.416	0.335	0.357	0.360
	220	2.342	0.2967	0.337	0.343	0.277	0.304	0.320
	570	2.756	0.2431	0.238	0.237	0.198	0.222	0.245
	980	2.991	0.2115	0.190	0.188	0.162	0.181	0.202
	2000	3.300	0.1798	0.144	0.143	0.126	0.140	0.156
	15000	4.176	0.1156	0.086	0.084	0.078	0.084	0.086
proit2-5	0	0.000	0.3876	0.489	0.472	0.398	0.413	0.402
	20	1.301	0.3781	0.483	0.468	0.393	0.410	0.399
	60	1.778	0.3635	0.456	0.445	0.373	0.396	0.386
	100	2.000	0.3427	0.423	0.417	0.350	0.378	0.372
	220	2.342	0.3017	0.337	0.342	0.289	0.324	0.329
	570	2.756	0.2439	0.222	0.236	0.205	0.232	0.254
	980	2.991	0.2159	0.172	0.187	0.166	0.186	0.212
	2000	3.300	0.1840	0.126	0.142	0.129	0.142	0.167
	15000	4.176	0.1435	0.070	0.084	0.079	0.084	0.095
proit1-89	0	0.000	0.3394	0.489	0.475	0.373	0.391	0.382
	20	1.301	0.3329	0.483	0.470	0.367	0.388	0.379
	60	1.778	0.3256	0.456	0.448	0.345	0.373	0.369
	100	2.000	0.3162	0.423	0.420	0.320	0.355	0.356
	220	2.342	0.2958	0.337	0.343	0.263	0.303	0.318
	570	2.756	0.2536	0.222	0.234	0.188	0.220	0.245
	980	2.991	0.2235	0.172	0.184	0.155	0.179	0.203
	2000	3.300	0.1910	0.126	0.138	0.121	0.139	0.158
	15000	4.176	0.1265	0.070	0.080	0.074	0.082	0.087
břák1-b589	0	0.000	0.3521	0.439	0.469	0.371	0.390	0.384
	20	1.301	0.3280	0.435	0.464	0.365	0.386	0.381
	60	1.778	0.3079	0.420	0.442	0.344	0.370	0.372
	100	2.000	0.2913	0.399	0.414	0.321	0.351	0.361
	220	2.342	0.2692	0.337	0.341	0.267	0.301	0.326
	570	2.756	0.2301	0.238	0.238	0.196	0.225	0.257
	980	2.991	0.2123	0.190	0.191	0.163	0.187	0.217
	2000	3.300	0.1861	0.144	0.146	0.130	0.148	0.171
	15000	4.176	0.1387	0.086	0.089	0.081	0.091	0.097
břák2-53	0	0.000	0.3398	0.439	0.467	0.350	0.376	0.374
	20	1.301	0.3253	0.435	0.462	0.343	0.372	0.372
	60	1.778	0.3135	0.420	0.440	0.320	0.356	0.364
	100	2.000	0.2994	0.399	0.413	0.298	0.338	0.354
	220	2.342	0.2762	0.337	0.342	0.250	0.292	0.324
	570	2.756	0.2432	0.238	0.239	0.190	0.223	0.262
	980	2.991	0.2183	0.190	0.192	0.161	0.188	0.223
	2000	3.300	0.1910	0.144	0.148	0.131	0.152	0.178
	15000	4.176	0.1401	0.086	0.090	0.083	0.095	0.102
břák3-21	0	0.000	0.3591	0.439	0.458	0.360	0.384	0.381
	20	1.301	0.3458	0.435	0.455	0.354	0.381	0.379
	60	1.778	0.3294	0.420	0.438	0.333	0.371	0.370
	100	2.000	0.3179	0.399	0.416	0.309	0.356	0.358
	220	2.342	0.2825	0.337	0.348	0.255	0.311	0.323
	570	2.756	0.2401	0.238	0.240	0.184	0.228	0.255
	980	2.991	0.2187	0.190	0.189	0.151	0.185	0.214
	2000	3.300	0.1875	0.144	0.140	0.119	0.141	0.169
	15000	4.176	0.1385	0.086	0.080	0.073	0.082	0.095
Korelační koeficient			1	0.96345333	0.96494845	0.97723175	0.97160385	0.96756416
Směrodatná chyba			0	0.02204962	0.02160211	0.01746468	0.0194763	0.02079429
Determinační koeficient			1	0.92824232	0.93112551	0.95498188	0.94401404	0.9361804

Příloha č. 38 Srovnání odhadnutých a měřených retenčních čar půdní vlhkosti – druhá část