



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY  
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

## VLIV VODNÍ EROZE NA VYBRANÉ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY

EFFECTS OF WATER EROSION ON SELECTED PHYSICAL PROPERTIES  
OF SOIL

DISERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE  
DOCTORAL THESIS – SHORT VERSION

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Ing. Lucie Larišová

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.

BRNO 2018

**Klíčová slova**

Vodní eroze, objemová hmotnost, pórovitost, stabilita agregátů, infiltrace, půdní křusta.

**Keywords**

Water erosion, bulk density, porosity, aggregates stability, infiltration, soil crust.

## OBSAH

1 ÚVOD .....	4
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY..	4
2.1 Důsledky vodní eroze.....	4
2.2 Fyzikální vlastnosti půdy .....	5
2.2.1 Objemová hmotnost půdy, pórovitost.....	5
2.2.2 Zrnitost půdy.....	5
2.2.3 Struktura půdy, stabilita půdních agregátů .....	5
2.3 Půdní krusta.....	6
2.4 Infiltrace .....	7
3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE .....	7
4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ.....	8
4.1 Charakteristika vybraných lokalit .....	8
4.1.1 Větrkovice.....	8
4.1.2 Čejkovice .....	9
4.1.3 Hustopeče.....	10
4.2 Stanovení fyzikálních vlastností .....	11
4.2.1 Stanovení měrné hmotnosti, objemové hmotnosti, pórovitosti .....	11
4.2.2 Stanovení zrnitostního složení .....	11
4.2.3 Stabilita půdních agregátů.....	11
4.3 Infiltrace .....	12
4.3.1 Dvouválcová metoda .....	12
4.3.2 Minidiskový infiltrometr.....	12
4.3.3 Dešťový simulátor .....	13
5 VÝSLEDKY .....	14
5.1 Fyzikální vlastnosti .....	14
5.1.1 Objemová hmotnost, pórovitost.....	14
5.1.2 Stanovení zrnitostního složení .....	19
5.1.3 Stabilita půdních agregátů.....	19
5.2 Infiltrace .....	21
5.2.1 Dvouválcová metoda .....	24
5.2.2 Minidiskový infiltrometr.....	24
5.2.3 Dešťový simulátor .....	26
6 ZÁVĚR A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE .....	26
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	30
ŽIVOTOPIS AUTORA .....	34

# 1 ÚVOD

Eroze půdy během deště je komplexní jev vyplývající z rozrušení půdy během dopadu dešťových kapek na zeminu, následný povrchový odtok a transport částic (Ellison, 1944, 1945; Assouline a Ben-Hur, 2006). K nejdůležitějším formám eroze v podmínkách České republiky patří vodní eroze. Hlavním procesem vodní eroze je odloučení půdního materiálu vlivem dešťových kapek a jeho transport povrchovým odtokem (Watson a Laflen, 1986; Kinnel, 2000; Assouline a Ben-Hur, 2006).

Během deště vzniká strukturní zalepení půdy, když dešťové kapky přímo dopadnou na povrch půdy a vedou k destrukci agregátů. Odtržením půdních částic a smyvem půdy spolu s vodou dojde k uspořádání v hustší, relativně tenkou vrstvu na povrchu půdy (Fox et al., 2004, Assouline, 2004). Následující suché období posílí toto zalepení a vytvoří se pevná vrstva půdy. Termín „zalepení půdy“ je používán pro počáteční mokrou fázi povrchové vrstvy půdy a termín „půdní krusta“ pro následující suchou fázi (Romkens, 1979).

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 DŮSLEDKY VODNÍ EROZE

Eroze způsobuje odnos celých vrstev (horizontů) půdy nebo jen některých částic a jejich ukládání na jiných místech. Spolu s půdními částicemi jsou transportovány živiny a jiné, mnohdy škodlivé látky. Dochází tak ke znehodnocení míst erodovaných (zóny transportní) i míst, na nichž dochází k sedimentaci půdních částic (zóny akumulací). (Sklenička et al., 2003). Má významný vliv na pedogenetický proces, který je možné zvláště dobře pozorovat, takže půdy rozvodnicové, svahové a podsvahové se liší nejen v důsledku nerovnoměrného rozdělení vody a vzduchu, ale i v důsledku neustálého přemísťování půdy (Janeček et al., 2007).

Nepříznivé důsledky degradace půdního profilu vlivem vodní eroze se projevují negativně zejména ve vztahu ke komplexu půdních vlastností. Existují tři základní typy degradace půdního profilu vlivem vodní eroze: fyzikální, chemická a biologická (Lal, 2001).

Fyzikální degradace zahrnuje zhoršování fyzikálních vlastností půdy, jako jsou struktura, textura, objemová hmotnost, vodní kapacita, pórovitost, infiltrační schopnost, příznivá hloubka pro vývoj kořenů aj. Vlivem eroze dochází u fyzikálních vlastností jak ke kvantitativním změnám, tak i ke změnám vzájemných vztahů mezi jednotlivými půdními vlastnostmi (Dumbrovský, 1992).

## **2.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY**

### **2.2.1 Objemová hmotnost půdy, pórovitost**

Objemová hmotnost půdy je jednou z nejdůležitějších půdních vlastností. Ovlivňuje celý komplex fyzikálních podmínek v půdě. Její hodnota závisí na měrné hmotnosti, na podílu pórů a míře jejich zaplnění vodou, na hustotě tuhé fáze půdy, zrnitosti, struktuře a na způsobu vzájemného uložení mechanických elementů a agregátů.

Objemová hmotnost půdy do značné míry indikuje kyprost nebo ulehlost půdy, proto se používá jako jedno z kritérií zhutnění (utužení) půdy (Ledvina a Horáček, 1997; Kostelanský et al., 2001; Hůla, Procházková et al., 2002).

Pórovitost je také jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností půdy. Objem, tvar a velikost půdních pórů mají vliv na vlastnosti vody obsažené v půdě, na rychlost pohybu vody, a tím je kromě hydrologických vlastností půdy ovlivněna i intenzita migrace látek v půdě (Kutílek, 1978). Dle Němečka et al. (1990) je v půdním profilu pórovitost nejvyšší v humusovém horizontu a směrem do hloubky klesá. Obecně nižší hodnoty pórovitosti v hlubších horizontech jsou způsobeny nižším stupněm agregace a tlakem nadloží.

### **2.2.2 Zrnitost půdy**

Zrnitostní složení půdy neboli půdní druh výrazně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy (strukturu, pórovitost a velikostní zastoupení pórů v půdě) a tím voděvzdušné poměry půdy (Ledvina et al., 2000).

Význam zrnitosti jako analytické charakteristiky a morfologického znaku vyplývá z jejího vlivu na téměř všechny ostatní půdní vlastnosti. Ovlivňuje poměr vody a vzduchu v půdě, poměr kapilárních a nekapilárních pórů, obsah i složení edafonu, velikost povrchové plochy a energie, adhezi a kohezi, chemické, fyzikálně chemické i biochemické procesy v půdách (Jandák et al., 2007).

### **2.2.3 Struktura půdy, stabilita půdních agregátů**

Struktura vzniká společným působením fyzikálních, chemických a biologických procesů v půdě, můžeme ji definovat jako prostorové uspořádání agregátů v půdě. Takto vzniklý celek se rozpadá buď samovolně či vlivem vnějšího tlaku na agregáty. Podle různé velikosti agregátů rozeznáváme mikroagregáty (< 250  $\mu\text{m}$ ) a makroagregáty (> 250  $\mu\text{m}$ ) (Truman a Franzmeier, 2002). Půdní struktura má významnou roli ve schopnosti půdy infiltrovat srážky do půdního profilu, zajišťuje výměnu plynů a určuje míru pórovitosti půd (Pierzynski, Sims, Vance, 2000).

Stabilita půdních agregátů vyjadřuje odolnost agregátů k rozpadu při vystavení potenciálnímu rozkladnému působení. Nejčastější koncept stability agregátů bývá aplikován ve vztahu k destruktivním účinkům vody (Hillel, 1980). Stabilita agregátů ovlivňuje většinu fyzikálních vlastností půdy, zejména infiltraci vody do půdy a erozi (Legout, et al., 2005).

Podle Kutílka (1978) jsou u strukturních půd agregáty od sebe snadno oddělitelné, jsou velmi pevné a stabilní. Je zde lepší poměr mezi póry kapilárními a nekapilárními, také zde dochází k příznivější difúzi plynů. U půd nestrukturních může dojít k rozdrobení hmoty do větších či menších útvarů tzv. pseudoagregátů. Vzniklé pseudoagregáty nejsou ve vodě stabilní a tvoří kašovitou půdní hmotu. Po vyschnutí půdy dochází k vytvoření slitého povrchu - půdní krusty.

### **2.3 PŮDNÍ KRUSTA**

Půdní krusta je tenká, souvislá, nepropustná vrstva na povrchu půdy (Bresson et al., 2006). Je charakteristická a význačná svou nízkou pórovitostí, vysokou objemovou hmotností, nízkou schopností agregace a vyšším obsahem solí než další vrstvy půdy (Sharma nad Agrawal, 1974; Awad et al., 1992; Bradford and Huang, 1992; Hussien et al., 2010). Krusty často mívají tloušťku menší než 1 cm, mohou ale dosahovat tloušťku až několika cm (Belnap, 2003).

Půdní krusty lze rozdělit na několik typů podle jejich vzniku, a to na krusty biologické, fyzikální, chemické. Fyzikální půdní krusty mohou být strukturní nebo nánosové.

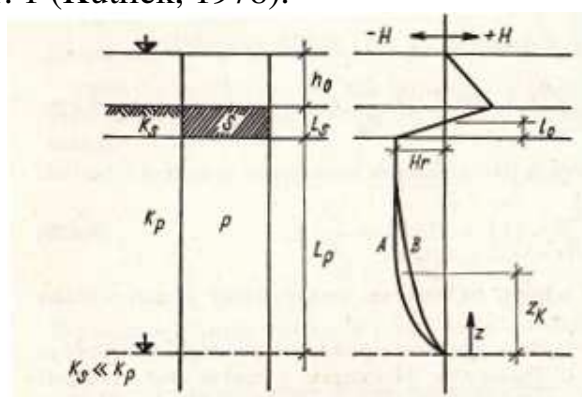
Tvorba fyzikálních krust je způsobena zejména rozpadem půdních agregátů vystavených přímému dopadu dešťových kapek, rozptylem jílovitých částic po povrchu půdy, zhutněním, ucpáním půdních pórů jemným smytým materiálem (Agassi et al., 1985; Assouline 2004; Hussien et al., 2010). Vznik půdních krust závisí na velikosti půdních agregátů na povrchu půdy (Farres, 1978; Freebairn et al., 1991; Bradford and Huang, 1992; Gallardo-Carrera et al., 2007) a jejich náchylnosti k rozpadu, která je propojena se zrnitostí půdy a vlhkostí půdy (Govers et al, 1990; Duval and Boiffin 1994; Gallardo-Carrera et al., 2007). Jak se ukazuje proces tvorby půdní krusty je dynamický a zahrnuje dvě hlavní vývojové linie (Boiffin 1986; Valentin, 1986; Bresson, 2006), a to proces zalepení povrchu půdy a následné vytvoření strukturní půdní krusty (Bresson, 2006).

Fyzikálně-chemické krusty jsou nejčastěji na prachovitojílovitých, jílovitých a hlinitých půdách. Lze je také nalézt na písčítých půdách, kde jsou velmi tenké (Fischer et al., 2012).

## 2.4 INFILTRACE

Infiltrace, je jedním z nejdůležitějších procesů v půdě. Snížená infiltrační schopnost půdy způsobuje větší povrchový odtok, tedy zvyšuje riziko vzniku vodní eroze půdy. V ochraně půdy před vodní erozí je infiltrační schopnost důležitým faktorem (Kutílek, 1978).

Infiltrace vody do půdy je přímo úměrná stabilitě půdní struktury (Tisdall a Adem, 1986), velikosti, objemu a struktuře pórů (Patel a Singh 1981; Ankeny et al., 1990). Častým průvodním jevem při infiltraci vody do půdy je rozrušení strukturních agregátů na povrchu půdy provázené podstatným snížením propustnosti povrchové vrstvičky. Při infiltraci se postupně zanáší povrchová vrstva jemnými suspenzemi a tak vzniká méně propustná vrstva na relativně homogenní, mocné, propustné půdě. Méně propustná vrstva bývá označována jako krusta. Schéma profilu je zobrazeno na obr. 1 (Kutílek, 1978).



Obr. 1 Stacionární infiltrace vody do půdy s krustou na povrchu  
(převzato Kutílek, 1978)

Pro zjištění infiltrační schopnosti půdy s půdní krustou na povrchu je možné provádět infiltrační testy. Mezi nejvíce používané infiltrační testy patří výtopová infiltrace a měření infiltrace pomocí dešťového simulátoru (Kutílek, Nielsen, 2004).

## 3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem předložené disertační práce je vliv vodní eroze na vybrané fyzikální vlastnosti půdy. Tento komplexní cíl v sobě zahrnuje šest uvedených dílčích cílů.

- Vyhodnotit účinky vodní eroze na vybrané fyzikální vlastnosti půdy, které poukazují na míru degradace půdního profilu. Mezi tyto vlastnosti patří zejména objemová hmotnost redukovaná a pórovitost, jako hlavní ukazatele míry ztuhnutí půdního profilu.
- Vyhodnotit a popsat temporální dynamiku vybraných fyzikálních vlastností půdy. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu s následnými dvouvýběrovými t-testy statisticky vyhodnotit vliv roku,

- termínu, hloubky a místa odběru na tyto vlastnosti, v lokalitě Větrkovice i vliv různého zpracování půdy.
- Vyhodnotit texturální změny orníční a podorníční vrstvy půdy a srovnat výsledky zrnitostního složení stanovených dvěma různými metodami: Casagrandeho hustoměrnou metodou a metodou laserové difrakce.
  - Vyhodnotit vodostálost půdních agregátů a pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu s následnými dvouvýběrovými t-testy statisticky vyhodnotit vliv roku, termínu, hloubky a místa odběru na tyto vlastnosti.
  - Popsat dynamické fáze procesu zalepení a tvorby půdní krusty. Popsat a vyhodnotit fyzikální vlastnosti půdní krusty, vodostálost půdních agregátů půdní krusty a její zrnitostní a chemické složení.
  - Měřit a vyhodnotit infiltrační schopnost půdy na pozemcích s půdní krustou na povrchu. V souladu s tímto vymezeným cílem bylo najít vhodné zařízení pro měření infiltrace. Na Ústavu vodního hospodářství krajiny byl modifikován mobilní simulátor deště, který je vhodný pro měření infiltrační schopnosti půdního profilu s půdní krustou na povrchu.

## **4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ**

Metodika disertační práce byla navržena tak, aby umožnila splnění stanovených cílů. Nejprve byly vybrány experimentální plochy na svažitéch pozemcích náchylných k vodní erozi. Na těchto pozemcích byly v letech 2012 – 2015, na začátku, ve středu a na konci vegetačního období zvolených plodin, ze tří krajinných poloh svahu (zóna eluvia, transportní, akumulace) a tří odběrných hloubek (krusta, ornice, podorníčí) odebírány porušené a neporušené půdní vzorky, ze kterých byly v pedologické laboratoři na Ústavu vodního hospodářství krajiny, Vysokém učení technickém v Brně stanoveny hodnoty měrné hmotnosti, objemové hmotnosti redukované, pórovitosti, zrnitosti a schopnost půdních agregátů odolávat rozplavení. V blízkosti odběrných míst byla měřena infiltrační schopnost půdy pomocí dvouválcové metody, minidiskového infiltrometru a mobilního simulátoru deště.

### **4.1 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH LOKALIT**

Byly vybrány tři lokality, jedna v Moravskoslezském kraji na kambizemích, dvě v Jihomoravském kraji na černozemích.

#### **4.1.1 Větrkovice**

Katastrální území Větrkovice u Vítkova se nachází v Moravskoslezském kraji v okrese Vítkov, poblíž města Vítkov. Území se vyznačuje zvlněným reliéfem rozkládajícím se na Vítkovské



vrchovině, která náleží do celku Nízkého Jeseníku. Podloží oblasti je tvořeno kulmskými drobami a břidlicemi. Zastoupení hlavních půdních jednotek (HPJ) v katastrálním území je HPJ 26 hnědé půdy, hnědé půdy kyselé a jejich slabě oglejené formy na různých břidlicích a jim podobných horninách; středně těžké, výjimečně těžší, obvykle šterkovité s dobrými vláhovými poměry až převlhčením. Klimaticky území patří do oblasti mírně teplé, okrsku chladného.

Zvolené experimentální plochy s místy odběru v lokalitě Větrkovice jsou vyznačeny na obrázku Obr. 2, v tabulce Tab. 1 je uveden popis experimentálních ploch včetně technologie zpracování půdy.



Obr. 2 Odběrná místa na jednotlivých experimentálních plochách (Zdroj: vlastní)

Tab. 1 Popis experimentálních ploch

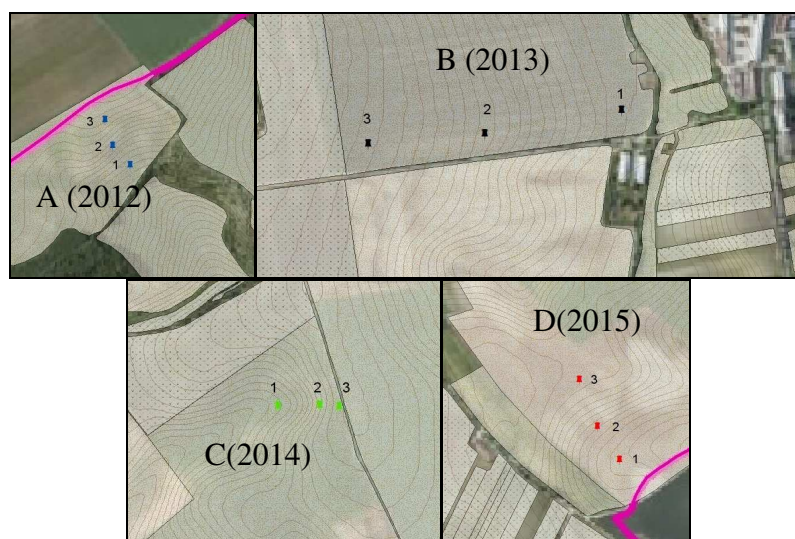
rok	exp. plocha	tech. zprac. půdy
2012	A	minimalizační
2013	B	klasická
2013	C	minimalizační
2014	D	klasická
2014	E	minimalizační
2014	F	klasická
2015	G	klasická
2015	H	klasická

#### 4.1.2 Čejkovice

Katastrální území Čejkovice se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Hodonín severozápadně od Hodonína. Zájmové území je součástí Kyjovské plošiny. Geologické podloží je tvořeno z kvartérních pokryvů spraší. Půdy zde se vyskytující jsou velmi hluboké, orniční vrstva většinou hluboká nebo středně hluboká, mírně či slabě humózní. Z hlediska zastoupení hlavních půdních jednotek (HPJ) se v zájmovém území nachází HPJ 01 - černozem modální, karbonátová (CEmc),

kde půdotvorný substrát tvoří spraše. Zrnitost středně těžká. Převážně bez skeletu. Vláhové poměry příznivé až vysušené. HPJ 08 - černozem modální (CEm), zrnitost lehčí středně těžká a středně těžká. Bezskeletovitá nebo slabě skeletovitá s příměsí terasových šterků. Vláhové poměry příznivé. Území spadá do klimatického regionu velmi teplého, suchého, s mírnou zimou (Dumbrovský, 2014).

Zvolené experimentální plochy s místy odběru v lokalitě Čejkovice jsou vyznačeny na obrázku Obr. 3.



Obr. 3 Odběrná místa na jednotlivých experimentálních plochách (Zdroj: vlastní)

### 4.1.3 Hustopeče

Katastrální území Starovice se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Břeclav a je součástí obce Hustopeče. Zájmové území patří do Hustopečské pahorkatiny. Z hlediska zastoupení hlavních půdních jednotek (HPJ) se v zájmovém území nachází HPJ 01 černozem modální, karbonátová (CEmc), kde půdotvorný substrát tvoří spraše. Zrnitost - středně těžká. Převážně bez skeletu. Vláhové poměry příznivé až vysušené. HPJ 04 - černozem arenická, půdotvorný substrát spraš a neogenní písky. Zrnitost - lehká. HPJ 08 - černozem modální, kde půdotvorný substrát tvoří spraše. Zrnitost - středně těžká, těžká. Vláhové podmínky příznivé. Hlavní znak smytost. HPJ 22 - kambizem modální. Půdotvorný substrát převážně písčité usazeniny mořského neogénu. Zrnitost - středně těžká. Geomorfologický celek patří do oblasti teplé, okrsku teplého a suchého s mírnou zimou a relativně kratším slunečním svitem (Dumbrovský, 2014).

V lokalitě Hustopeče - Starovice byla zvolena pouze jedna experimentální plocha, jednotlivá odběrná místa jsou vyobrazena na obrázku Obr. 4.



Obr. 4 Odběrná místa na experimentální ploše (Zdroj: vlastní)

## 4.2 STANOVENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ

### 4.2.1 Stanovení měrné hmotnosti, objemové hmotnosti, pórovitosti

Stanovení měrné hmotnosti bylo provedeno z porušených půdních vzorků pomocí pyknometrů typu „Gay-Luccas“ o objemu 100 cm<sup>3</sup>.

Stanovení objemové hmotnosti a pórovitosti bylo provedeno z neporušených půdních vzorků odebraných do Kopeckého válečků podle platných metodik.

### 4.2.2 Stanovení zrnitostního složení

V této práci byly pro stanovení zrnitostního složení odebraných vzorků půdy použity dvě metody - hustoměrná metoda a metoda laserové difrakce, která byla provedena dispergací za mokra pomocí přístroje Analysette 22 MicroTec plus od firmy Fritsch na Katedře biometeorologie a hydrológie slovenské Poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Zatřídění výsledků obou metod bylo provedeno použitím klasifikace podle Nováka vycházející ze zastoupení I. kategorie (zrna < 0,01 mm) ve vzorku jemnozeme a podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR využívajícího trojúhelníkového diagramu na stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Němeček et al., 2001 uvádí, že u nás by měl být používán trojúhelníkový diagram, neboť je uveden v nejnovějším klasifikačním taxonomickém systému půd. V praxi je nejvíce zažita Novákova klasifikace.

### 4.2.3 Stabilita půdních agregátů

Stabilita půdních agregátů je často používaným indikátorem půdní kvality, avšak neexistuje pro ni žádná standardní metodika hodnocení. Půdní struktura byla stanovena prosíváním suché zeminy na sítích. Každá strukturní frakce byla samostatně zvážena a přepočtena na procenta. Tímto bylo zjištěno procentuální zastoupení jednotlivých velikostí frakcí půdy, které jsou stabilní za sucha (Badalíková, Kňáhal, 2001). Z vypočítaných hodnot byl zjištěn koeficient strukturnosti, který



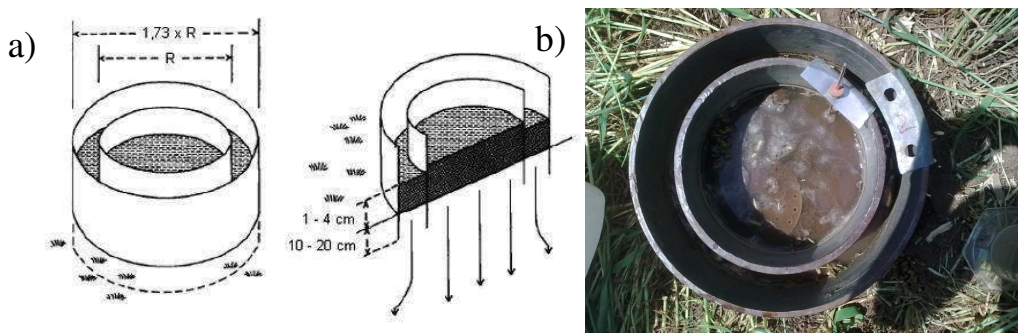
udává poměr mezi agronomicky cennými (tj. agregáty o průměru 0,25 - 10 mm) a méně cennými strukturními agregáty (Procházková et al., 2004).

Schopnost půdní struktury odolávat eroznímu vlivu vody neboli vodostálost půdních agregátů byla zjišťována metodou mokrého prosévání, která je používána v Německu a v Rakousku a je publikována jako německá norma DIN 19683-16. Metodika měření je založena na principu konstrukce dispergačního přístroje. Přístroj pro stanovení stability agregátů mokrou cestou od firmy Ejkelkamp byl zapůjčen z Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin z Agronomické fakulty Mendlovy univerzity v Brně.

### 4.3 INFILTRACE

#### 4.3.1 Dvouválcová metoda

Terénní infiltrační pokus výtopovou metodou spočíval v měření zasáklého množství mezi dvěma soustřednými válci Obr. 5. K vyhodnocení kumulativní infiltrace a infiltrační rychlosti byla použita tříparametrická rovnice Philipova typu. Toto řešení bylo zvoleno, protože poskytuje dobrý odhad nasycené hydraulické vodivosti.

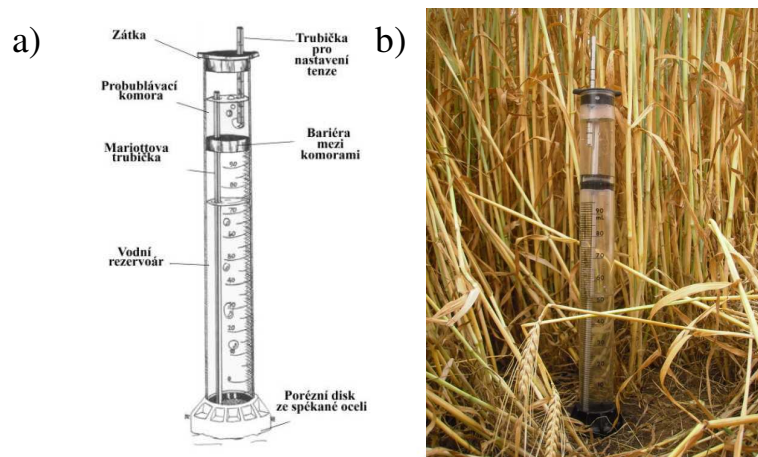


Obr. 5 Dvouválcová metoda

(Obr. 5 a) převzato z Kutílek, 1978, Obr. 5 b) Zdroj: vlastní)

#### 4.3.2 Minidiskový infiltrometr

Minidiskový infiltrometr (Obr. 6) je jednoduchý přístroj, skládající se ze dvou komor. Horní komora kontroluje sání, spodní komora je odměrný válec s objemem značeným v ml. Jakmile je infiltrometr umístěn na povrch půdy, začne voda vytékat ze spodní komory v míře, která je daná hydraulickými vlastnostmi půdy. Zaznamenává se pokleslý objem v daných časových intervalech (Decagon Devices, 2016). Přístroj má nastavitelné sání (0,5–6 cm), nastavením hodnoty sání jsou eliminovány makropóry s menší hodnotou vstupu vzduchu než je sání infiltrometru. K vyhodnocení minidiskových infiltrometrů byla použita Zhangova metoda, která poskytuje nenasyčenou hydraulickou vodivost.



Obr. 6 Minidiskový infiltrometr

(Obr. 6 a) převzato z manuálu Decagon Devices 2016, Obr. 6 b) Zdroj: vlastní

### 4.3.3 Dešťový simulátor

V letech 2012 – 2013 byl na Fakultě stavební VUT v Brně na Ústavu vodního hospodářství krajiny modifikován přenosný simulátor deště dle Kamphorsta. Jedná se o soupravu (Obr. 7) sestávající ze tří částí: postřikovače s regulátorem tlaku na principu Mariottovy lahve, stojanu a základového rámu o rozměrech 0,25 x 0,25 m. Postřikovač se skládá z kalibrovaného válcového rezervoáru o objemu 1 l spojeného s postřikovací hlavicí čtvercového tvaru, ve které je vyvrtáno 49 kapilár osazených krátkými výměnnými tryskami vymezující průtočný průřez. Pro měření byly použity trysky o průměru 0,66 mm, které simulují srážku o intenzitě  $6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  a hmotnosti kapky 0,106 g. Infiltrovaná voda do půdy byla vypočítána z objemu celkového množství vody na začátku pokusu (intenzita simulované srážky je konstantě nastavená po celou dobu měření) a z objemu kumulativního povrchového odtoku z měřicí plochy. Voda z povrchového odtoku byla zvážena a následně filtrována přes filtrační papír. Po vysušení byla zjišťována hmotnost splavené půdy a pro vzájemnou porovnatelnost přepočítána na jednotku plochy.



Obr. 7 Dešťový simulátor (Zdroj: vlastní)

## 5 VÝSLEDKY

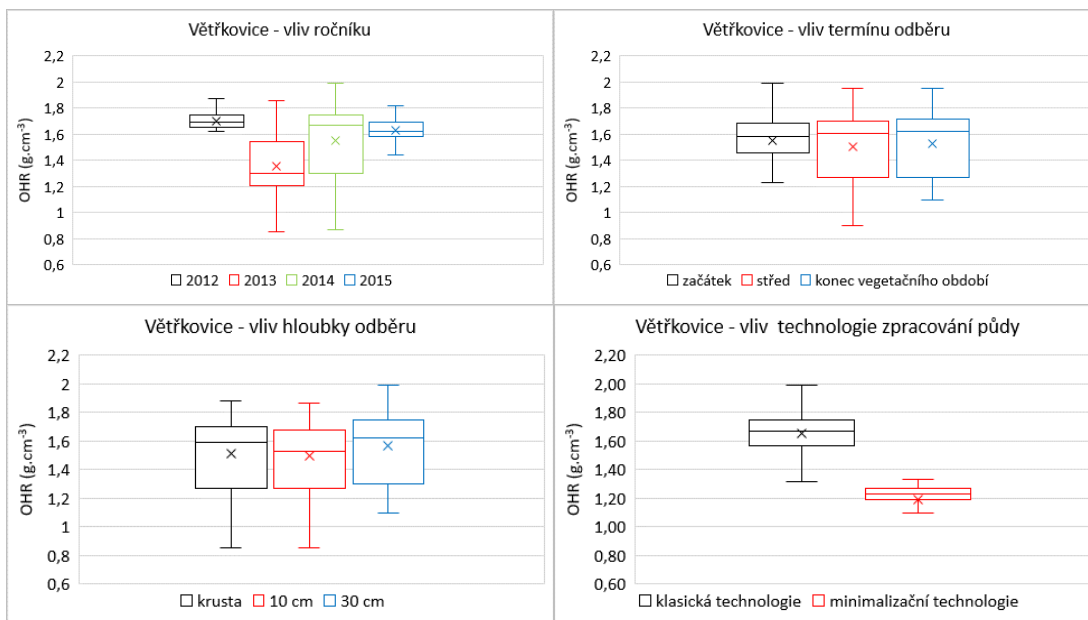
V kapitole je jednotné značení výsledků číslicí 1 pro zónu akumulace, 2 pro zónu transportní a 3 pro zónu eluvia, krusta pro vzorky s půdní krustou, 10 cm pro vzorky z orniční vrstvy a 30 cm pro vzorky z podorniční vrstvy.

### 5.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

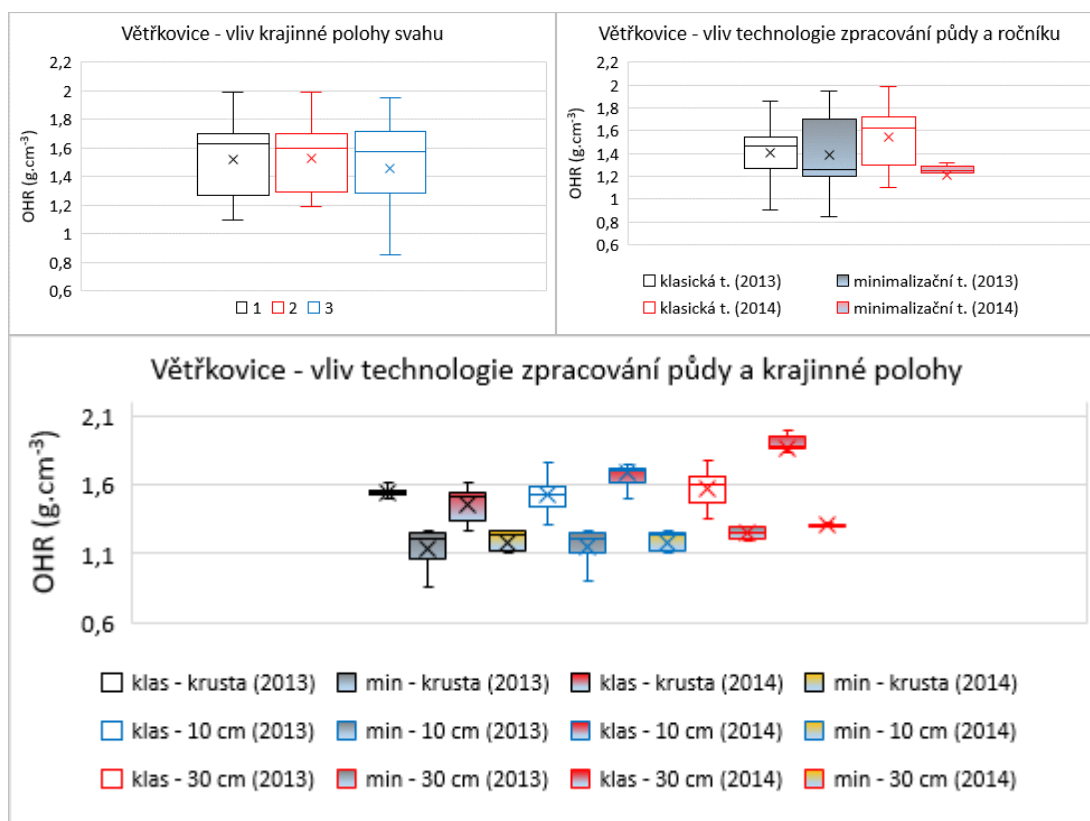
#### 5.1.1 Objemová hmotnost, pórovitost

Zjištěné hodnoty objemové hmotnosti redukované a pórovitosti jsou vyjádřeny graficky krabicovými grafy Graf. 1 - Graf. 8. Krabicové grafy jsou vztaženy k těmto kombinacím: vliv ročníku, vliv termínu odběru, vliv hloubky odběru, vliv krajinné polohy svahu a u lokality Větrkovice vliv technologie zpracování půdy, vliv technologie zpracování půdy a ročníku, vliv technologie zpracování půdy a krajinné polohy. Střední část diagramu je shora ohraničená 75% percentilem, zesponu 25% percentilem, mezi nimi se nachází linie vymezující medián a znak křížku reprezentující aritmetický průměr. Linie vycházející ze středního diagramu kolmo nahoru a dolů vyjadřuje variabilitu mezi maximem a minimem dat.

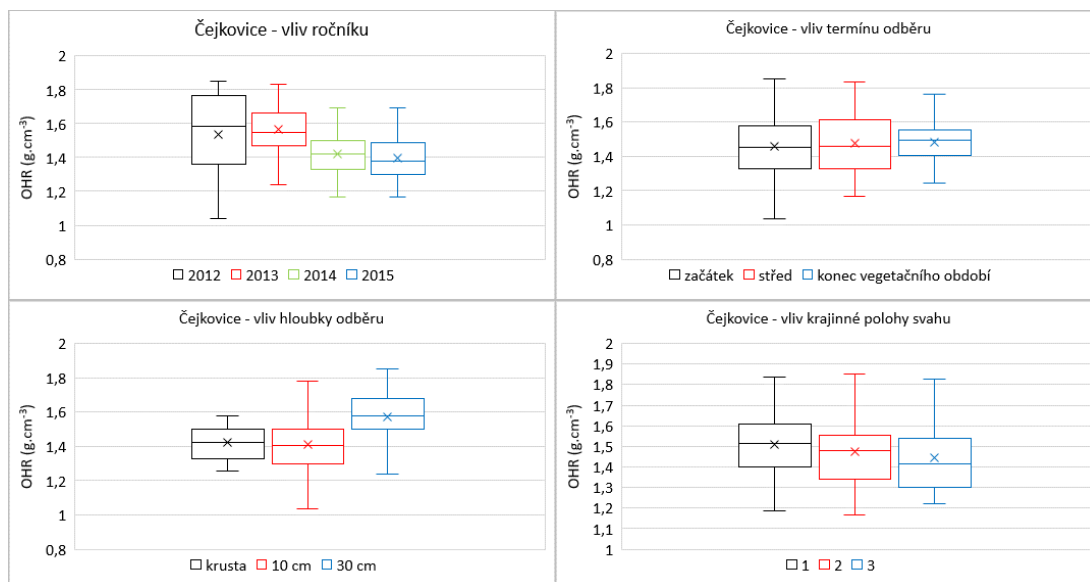
Graf. 1 Průměrné hodnoty obj. hmotnosti redukované v  $g \cdot cm^{-3}$  v lokalitě Větrkovice



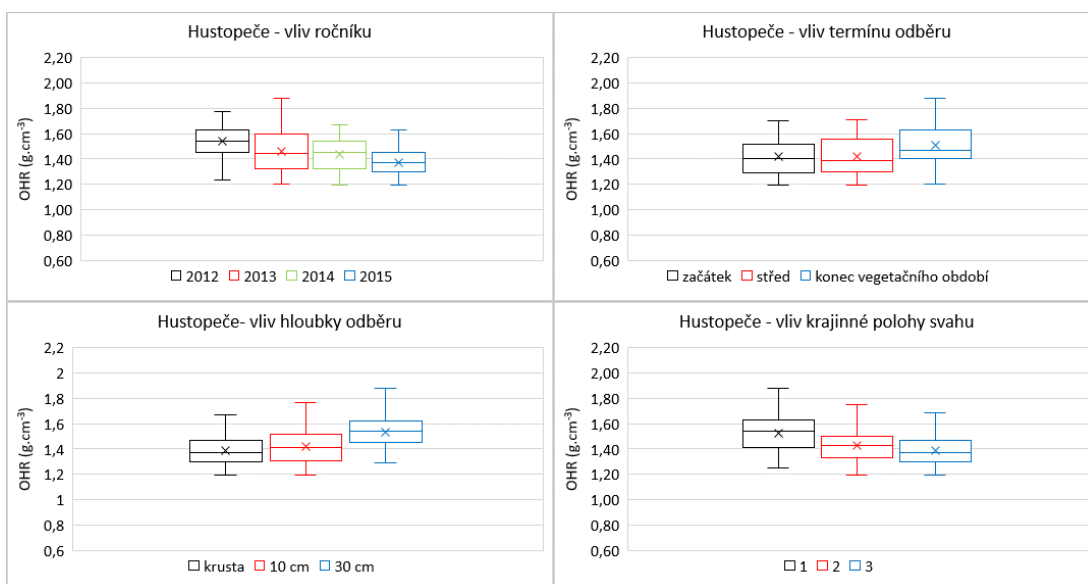
Graf. 2 Průměrné hodnoty obj. hmotnosti redukované v  $g \cdot cm^{-3}$  v lokalitě Větrkovice



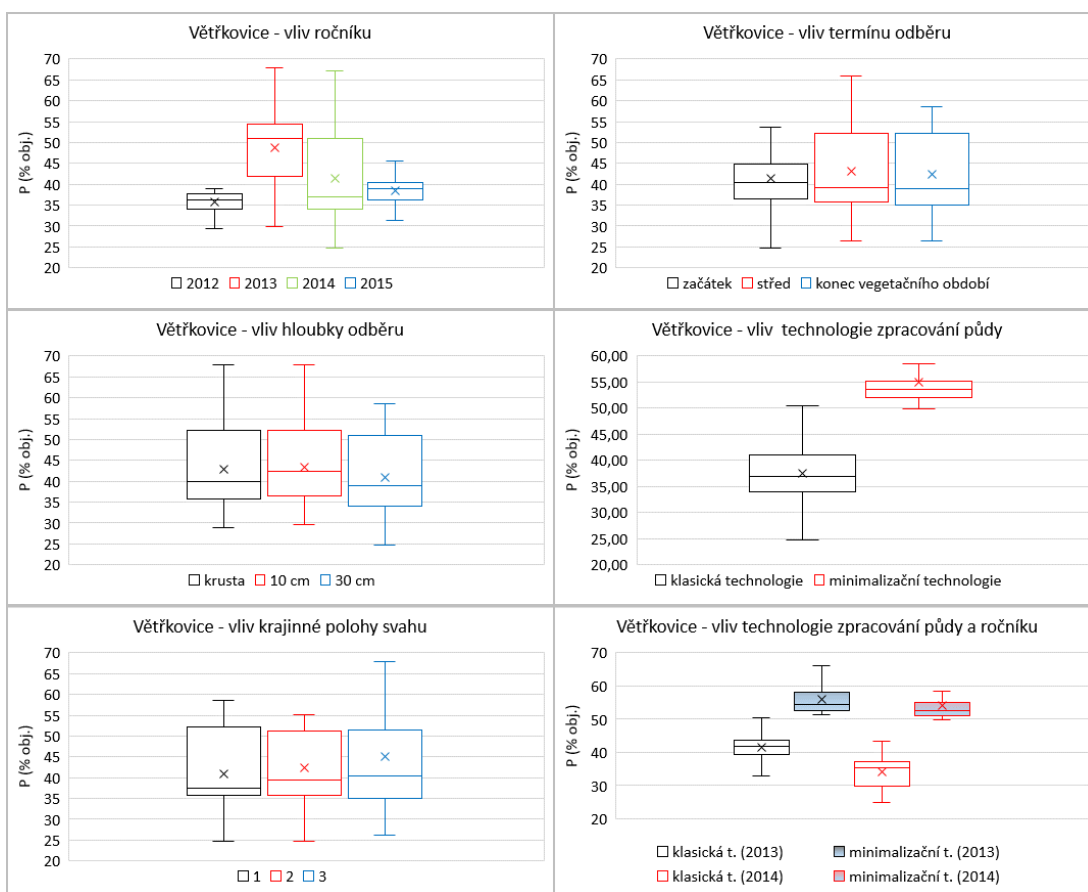
Graf. 3 Průměrné hodnoty obj. hmotnosti redukované v  $g \cdot cm^{-3}$  v lokalitě Čejkovice



Graf. 4 Průměrné hodnoty obj. hmotnosti redukované v  $g \cdot cm^{-3}$  v lokalitě Hustopeče

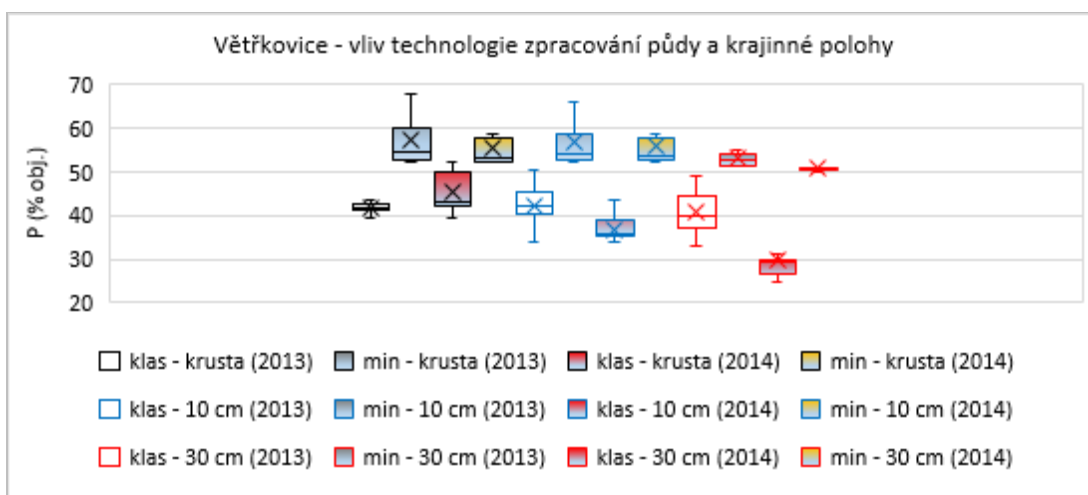


Graf. 5 Průměrné hodnoty pórovitosti v % obj. v lokalitě Větrřkovic

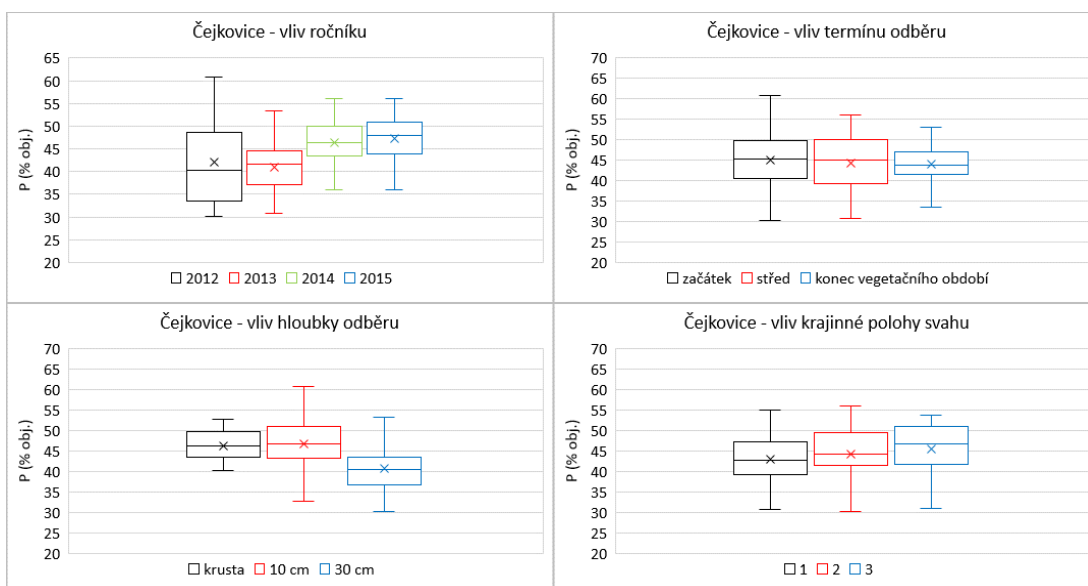




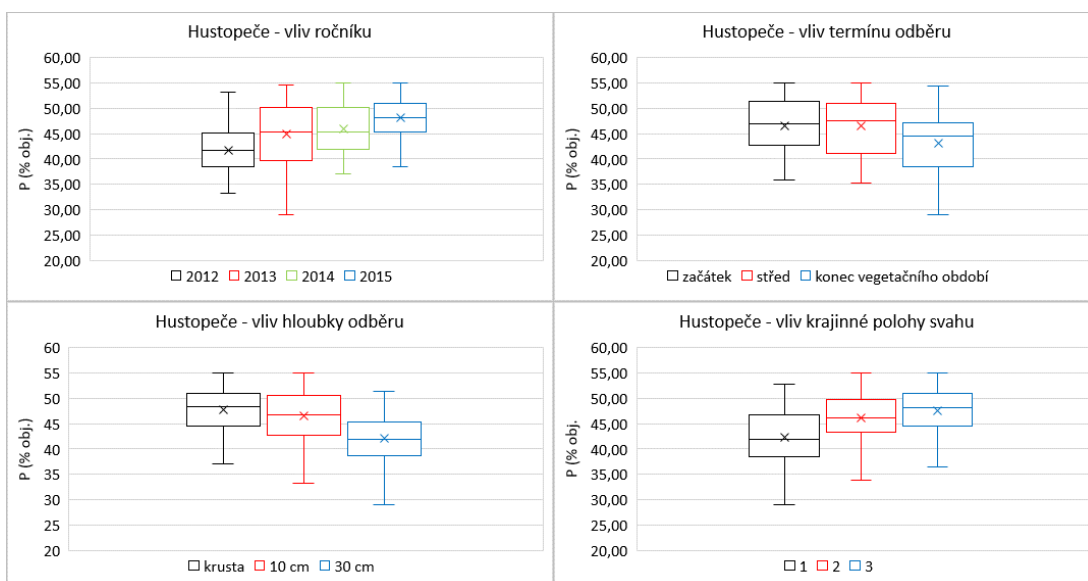
Graf. 6 Průměrné hodnoty pórovitosti v % obj. v lokalitě Větrkovice



Graf. 7 Průměrné hodnoty pórovitosti v % obj. v lokalitě Čejkovice



Graf. 8 Průměrné hodnoty pórovitosti v % obj. v lokalitě Hustopeče



Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu bylo ověřeno, na hladině významnosti 0,05, zda hodnoty objemové hmotnosti redukované nebo pórovitosti mají statisticky významný vliv na rok odběru, termín odběru, hloubku odběru a místo odběru. V Tab. 2 a Tab. 4 jsou uvedeny hodnoty chyby prvního druhu  $p$  a statistická významnost mezi testovanými veličinami. Pro hodnoty  $p \leq 0,05$  byla označena jako statisticky významný rozdíl a pro hodnoty  $p \leq 0,01$  jako velmi významný rozdíl.

Tab. 2 Analýza rozptylu ( $\alpha=0,05$ ) pro obj. hmotnost redukovanou

<b>Větrkovice</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	3,73E-22	vysoce významný rozdíl
termínu	0,251289	není rozdíl
hloubky	0,02642	významný rozdíl
krajinné polohy	0,003786	vysoce významný rozdíl
technologie	1,4E-38	vysoce významný rozdíl
<b>Čejkovice</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	3,18E-15	vysoce významný rozdíl
termínu	0,5007488	není rozdíl
hloubky	1,59E-16	vysoce významný rozdíl
krajinné polohy	0,004307	vysoce významný rozdíl
<b>Hustopeče</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	1,41E-12	vysoce významný rozdíl
termínu	3,91E-07	vysoce významný rozdíl
hloubky	4,74E-16	vysoce významný rozdíl
krajinné polohy	1,35E-13	vysoce významný rozdíl

Tab. 3 Analýza rozptylu ( $\alpha=0,05$ ) pro pórovitost

<b>Větrkovice</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	3,43E-22	vysoce významný rozdíl
termínu	0,270899	není rozdíl
hloubky	0,02642	významný rozdíl
krajinné polohy	0,003786	vysoce významný rozdíl
technologie	1,4E-138	vysoce významný rozdíl
<b>Čejkovice</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	3,18E-15	vysoce významný rozdíl
termínu	0,507488	významný rozdíl
hloubky	1,59E-16	vysoce významný rozdíl
krajinné polohy	0,004307	vysoce významný rozdíl

Tab. 4 Analýza rozptylu ( $\alpha=0,05$ ) pro pórovitost

<b>Hustopeče</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	1,41E-12	vysoce významný rozdíl
termínu	3,91E-07	vysoce významný rozdíl
hloubky	4,74E-16	vysoce významný rozdíl
krajinné polohy	1,35E-13	vysoce významný rozdíl

### 5.1.2 Stanovení zrnitostního složení

Na základě laboratorních rozborů odebraných půdních vzorků hustoměrnou metodou a metodou laserové difrakce byly zpracovány křivky zrnitosti.

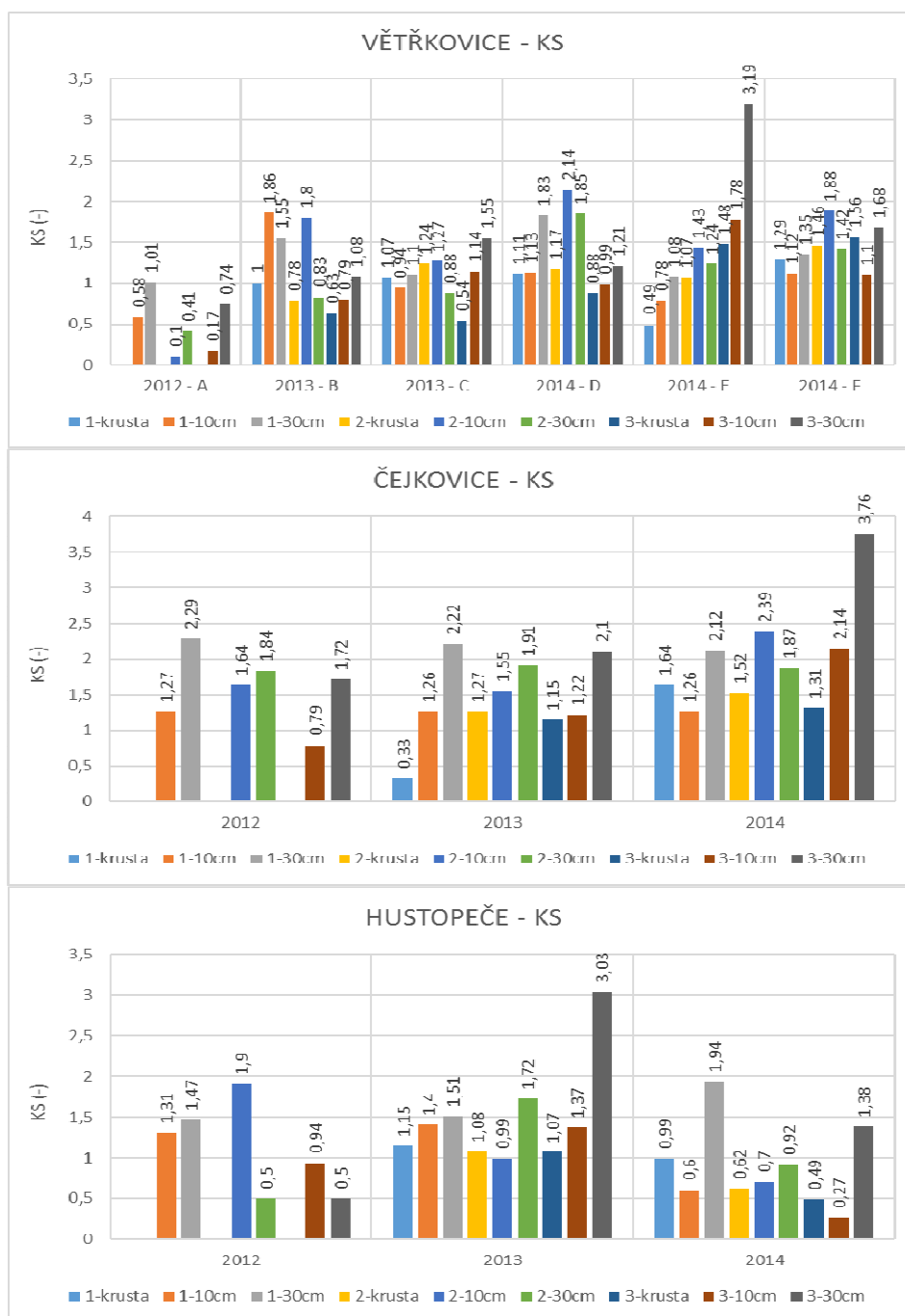
Křivky zrnitosti stanovené hustoměrnou metodou poskytly následující zařazení do kategorií. V lokalitě Větrkovice se podle Novákovy klasifikace vyskytovaly půdy písčitohlinité a hlinité, podle zatřídění dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR se v lokalitě vyskytoval prach a prachovitá hlína. V lokalitě Čejkovice se podle Novákovy klasifikace vyskytovaly půdy hlinitopísčité, písčitohlinité a hlinité, podle zatřídění dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR se v lokalitě vyskytovala písčitá hlína, hlína a prachovitá hlína. V lokalitě Hustopeče se podle Novákovy klasifikace vyskytovaly půdy písčité, hlinitopísčité, písčitohlinité a hlinité, podle zatřídění dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR se v lokalitě vyskytoval hlinitý písek, písčitá hlína, hlína a prachovitá hlína.

Podle křivek zrnitosti stanovených metodou laserové difrakce se podle Novákovy klasifikace v lokalitě Větrkovice vyskytovaly půdy hlinité a jílovitohlinité, v lokalitě Hustopeče se vyskytovaly půdy hlinité a jílovitohlinité, podle zatřídění dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR se na obou lokalitách vyskytoval prach.

### 5.1.3 Stabilita půdních agregátů

Struktura půdy byla hodnocena podle vypočítaného koeficientu strukturnosti, jehož hodnoty jsou zobrazeny v grafech Graf. 9.

Graf. 9 Koeficient strukturnosti pro experimentální lokality



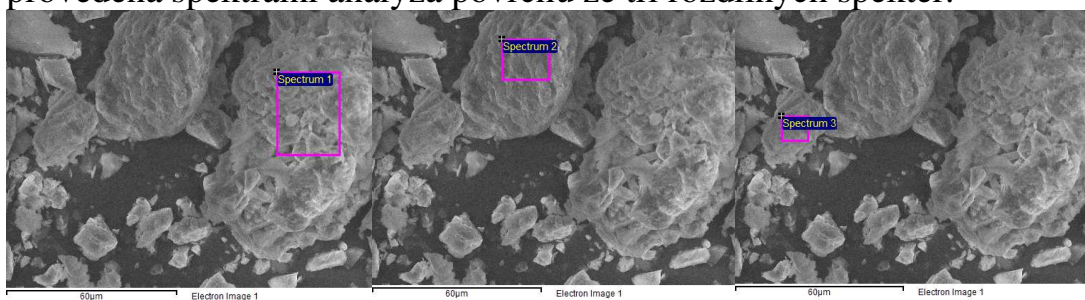
Pomocí analýzy rozptylu bylo ověřeno, na hladině významnosti 0,05, zda stanovené hodnoty vodostálosti půdních agregátů mají statisticky významný vliv na rok odběru, termín odběru, hloubku odběru a místo odběru. V tabulce Tab. 5 jsou uvedeny hodnoty chyby prvního druhu p a statistická významnost mezi testovanými veličinami.

Tab. 5 Analýza rozptylu ( $\alpha=0,05$ )

<b>Větrkovice</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	0,0479	významný rozdíl
termínu	0,000246	vysoce významný rozdíl
hloubky	0,863587	není rozdíl
krajinné polohy	0,170343	není rozdíl
technologie	0,0479	významný rozdíl
<b>Čejkovice</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	0,014114	významný rozdíl
termínu	0,0101342	vysoce významný rozdíl
hloubky	0,092294	významný rozdíl
krajinné polohy	0,014114	významný rozdíl
<b>Hustopeče</b>		
<b>Vliv</b>	<b>p</b>	<b>statistická významnost</b>
ročníku	0,014091	významný rozdíl
termínu	$4,07 \cdot 10^{-0,5}$	vysoce významný rozdíl
hloubky	0,983789	není rozdíl
krajinné polohy	0,014091	významný rozdíl

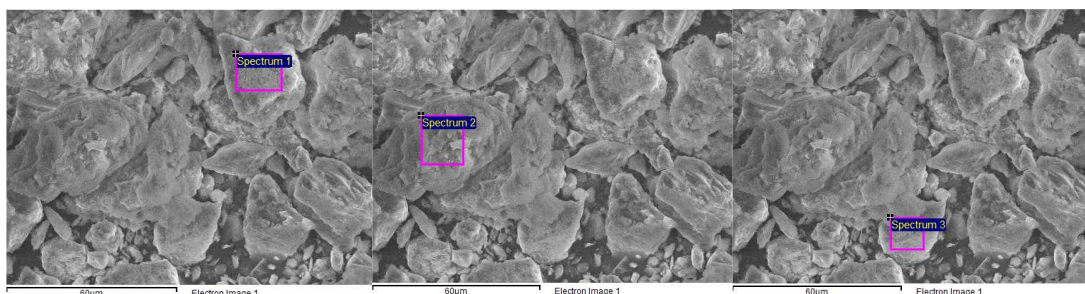
## 5.2 PŮDNÍ KRUSTA

V rámci studijní stáže, která proběhla ve Velké Británii na Wolverhamptonské univerzitě byla u části vzorků provedena skenovací analýza elektronovým mikroskopem a následně popsáno chemické spektrum jednotlivých prvků, které se nacházely v daném vzorku. Skenovací elektronový mikroskop (SEM) umožňuje zobrazení povrchu vzorku ve vysokém rozlišení. Výsledný černobílý obraz vypovídá o textuře povrchu a o jeho prvkovém složení. Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) byla použita u krust odebraných na lokalitě Větrkovice, ploše F dne 28.06.2014 a na lokalitě Čejkovice dne 07.06.2014 na ploše C. Ze stejného vzorku půdní krusty byla provedena spektrální analýza povrchu ze tří rozdílných spekter.



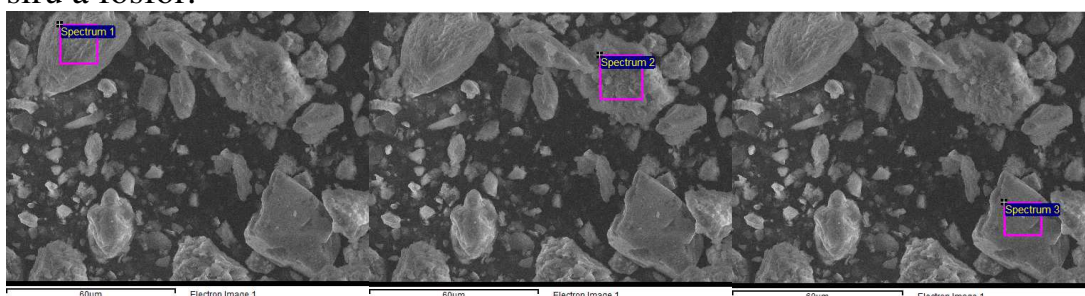
Obr. 8 Spektrální analýza metodou SEM půdní krusty odebrané z plochy F v lokalitě Větrkovice, akumulací zóna (Zdroj: vlastní)

Ve vzorku půdní krusty odebrané v akumulční zóně spektrum č. 1 obsahovalo nejvíce kyslíku 41,49 % hm, dále uhlíku 38,59 % hm; spektrum č. 2 obsahovalo nejvíce uhlíku 41,14 % hm, dále kyslíku 39,20 % hm. a oproti spektru č. 1 neobsahovalo vápník; spektrum č. 3 obsahovalo nejvíce kyslíku 42,56 % hm, dále uhlíku 33,95 % hm. a oproti spektru č. 1 neobsahovalo vápník, síru a fosfor.



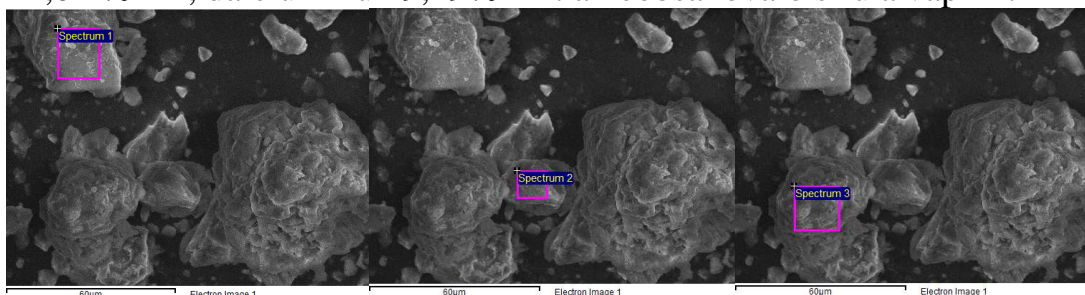
*Obr. 9 Spektrální analýza metodou SEM půdní krusty odebrané z plochy F v lokalitě Větrkovice, transportní zóna (Zdroj: vlastní)*

Ve vzorku půdní krusty odebrané v transportní zóně spektrum č. 1 obsahovalo nejvíce kyslíku 48,66 % hm, dále uhlíku 26,02 % hm a neobsahovalo fosfor, síru a vápník; spektrum č. 2 obsahovalo nejvíce kyslíku 48,69 % hm, dále uhlíku 26,81% hm. spektrum č. 3 obsahovalo nejvíce kyslíku 46,43 % hm, dále uhlíku 25,61% hm. a neobsahovalo síru a fosfor.



*Obr. 10 Spektrální analýza metodou SEM půdní krusty odebrané z plochy F v lokalitě Větrkovice, eluviální zóna (Zdroj: vlastní)*

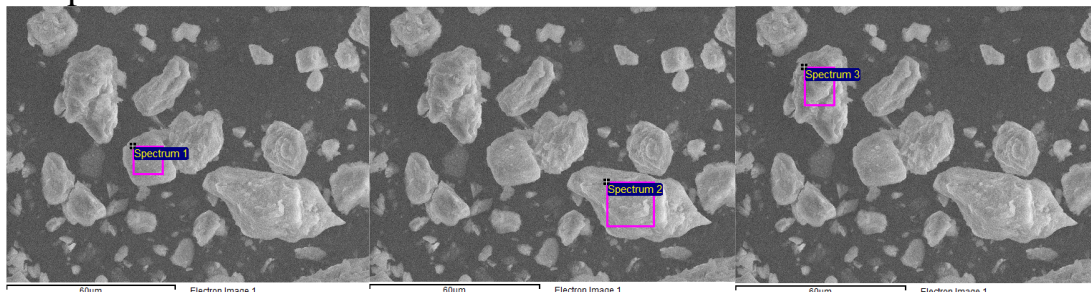
Ve vzorku půdní krusty odebrané v eluviální zóně spektrum č. 1 obsahovalo nejvíce kyslíku 42,67 % hm, dále uhlíku 38,18 % hm; spektrum č. 2 obsahovalo nejvíce kyslíku 44,62 % hm, dále uhlíku 33,20 % hm a neobsahovalo měď; spektrum č. 3 obsahovalo nejvíce kyslíku 44,62 % hm, dále uhlíku 29,19% hm. a neobsahovalo síru a vápník.



*Obr. 11 Spektrální analýza metodou SEM půdní krusty odebrané z plochy C v lokalitě Čejkovice, akumulční zóna (Zdroj: vlastní)*

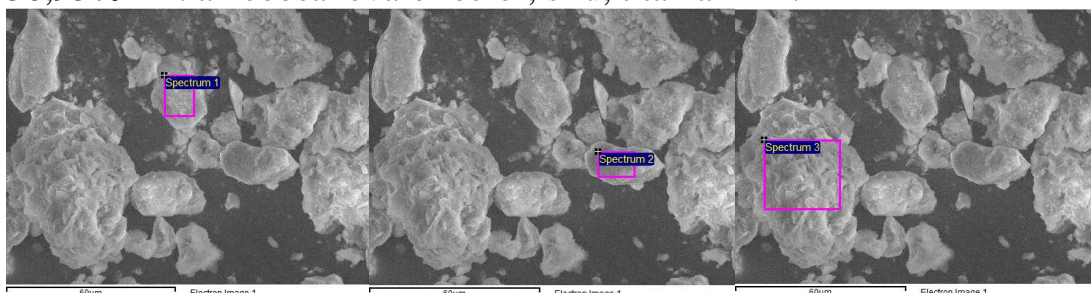


Ve vzorku půdní krusty odebrané v akumulární zóně spektrum č. 1 obsahovalo nejvíce uhlíku 46,89 % hm, dále kyslíku 39,05 % hm; spektrum č. 2 obsahovalo nejvíce kyslíku 48,79 % hm, dále uhlíku 28,26 % hm a neobsahovalo síru a měď; spektrum č. 3 obsahovalo nejvíce kyslíku 49,28 % hm, dále uhlíku 27,44% hm. a neobsahovalo síru, měď a vápník.



*Obr. 12 Spektrální analýza metodou SEM půdní krusty odebrané z plochy C v lokalitě Čejkovice, transportní zóna (Zdroj: vlastní)*

Ve vzorku půdní krusty odebrané v transportní zóně spektrum č. 1 obsahovalo nejvíce uhlíku 43,84 % hm, dále kyslíku 37,91 % hm a neobsahovalo fosfor, titan, měď, molybden; spektrum č. 2 obsahovalo nejvíce uhlíku 41,219 % hm, dále kyslíku 40,23 % hm a neobsahovalo síru; spektrum č. 3 obsahovalo nejvíce kyslíku 43,39 % hm, dále uhlíku 38,93% hm. a neobsahovalo fosfor, síru, titan a měď.



*Obr. 13 Spektrální analýza metodou SEM půdní krusty odebrané z plochy C v lokalitě Čejkovice, eluviální zóna (Zdroj: vlastní)*

Ve vzorku půdní krusty odebrané v transportní zóně spektrum č. 1 obsahovalo nejvíce kyslíku 41,84 % hm, dále uhlíku 38,49 % hm a neobsahovalo měď; spektrum č. 2 obsahovalo nejvíce uhlíku 53,61 % hm, dále kyslíku 31,74 % hm; spektrum č. 3 obsahovalo nejvíce kyslíku 42,36 % hm, dále uhlíku 40,82% hm. a neobsahovalo měď.

Skenovací analýza elektronovým mikroskopem ukázala, že půdní krusta v lokalitě Větrkovice obsahovala mnoho jemných částic s malým prostorem pro půdní póry, což značí vyšší objemovou hmotnost a nižší pórovitost, toto potvrzují i výsledky objemové hmotnosti a pórovitosti. V lokalitě Čejkovice obsahovala větší částice a větší prostor pro půdní vzduch. Klasifikace a zobrazení struktury půdy je velmi důležité ve studiu, které ilustruje dynamické procesy tvoření půdní krusty. Jedná se o jednu z možností k pochopení procesů zalepení půdních pórů vedoucích k tvorbě půdní krusty. (Zejun et al., 2002). Srovnání s jinými

autory bylo poměrně obtížné, protože nebyl proveden dostatečný počet měření. Zejun et al., 2002 ve své studii uvádí, že pokud metoda SEM ukáže, že na povrchu půdy dochází k nahromadění jemnějších částic nebo malých mezer mezi většími částicemi bude mít půda tendenci ke zhutnění, jako větší objemovou hmotnost a nižší pórovitost, což bylo v této práci potvrzeno.

### **5.3 INFILTRACE**

Na experimentálních plochách, na nichž byly infiltrační testy prováděny, se vyskytovala půdní krusta, která nebyla před započítím měření z povrchu odstraněna. Cílem měření bylo změřit a vyhodnotit infiltrační schopnost půdy, která má na svém povrchu půdní krustu v terénních podmínkách.

#### **5.3.1 Dvouválcová metoda**

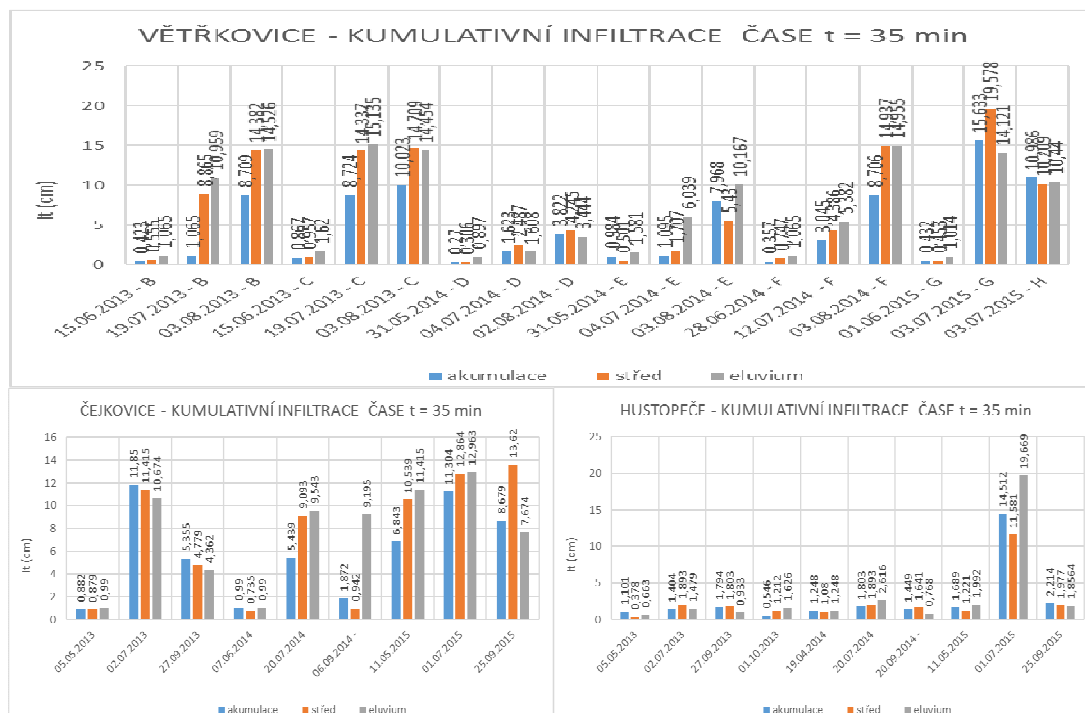
Měření touto metodou probíhalo pouze v roce 2013 v lokalitě Větrkovice. Hlavním půdním druhem na experimentálních plochách byla klasifikována písčitohlinitá a hlinitá půda. Rychlost infiltrace se pohybovala průměrně okolo  $5 \text{ mm.min}^{-1}$  na začátku pokusu až po hodnoty okolo  $1,2 \text{ mm.min}^{-1}$  na konci pokusu. Od měření kumulativní infiltrace touto metodou se v dalších letech měření ustoupilo. Zapuštění dvou válců do půdy bylo na pozemcích s půdní krustou velmi problematické. Docházelo k rozrušení půdní krusty na povrchu půdy a tím ke zkreslení výsledků vlivem vzniklých preferenčních cest. Při správném založení pokusu byla rychlost infiltrace zpočátku vysoká a poté se rychle snižovala, docházelo k utěsnění povrchu půdy a velmi zdlouhavému, několikahodinovému měření, proto bylo nemožné zajistit měření infiltrací tak, aby byly všechny body měření testovány ve stejném stavu. Na pozemcích hospodaří různé subjekty, s vlastními plány agrotechnických operací, mohlo se stát, že jeden pozemek by byl měřen před agrotechnickým zásahem, a další po určité agrotechnické operaci.

#### **5.3.2 Minidiskový infiltrometr**

Při měření infiltrace minidiskovým infiltrometrem se na půdě s půdní krustou infiltrované množství vody redukuje v čase a infiltrační křivky mají pomalejší průběh. Pro interpretaci výsledků a statistické posouzení byly použity hodnoty kumulativní infiltrace (přepočítaná ze zainfiltrovaného objemu pomocí infiltrační plochy) v čase zasakování  $t = 35 \text{ min}$ . Grafy Graf. 10 zobrazují kumulativní infiltraci v čase zasakování  $t = 35 \text{ min}$ .



Graf. 10 Kumulativní infiltrace (pře počítaná ze zainfiltrovaného objemu pomocí infiltrační plochy) v čase zasakování  $t = 35$  min



Pomocí analýzy rozptylu bylo ověřeno, na hladině významnosti 0,05, zda stanovené hodnoty vodotlačnosti půdních agregátů mají statisticky významný vliv na rok odběru, termín odběru, hloubku odběru a místo odběru. V tabulce Tab. 6 a Tab. 7 jsou uvedeny hodnoty chyby prvního druhu  $p$  a statistická významnost mezi testovanými veličinami.

Tab. 6 Analýza rozptylu ( $\alpha=0,05$ ) pro obj. hmotnost redukovanou

Větrkovice		
Vliv	p	statistická významnost
ročníku	0,016265	významný rozdíl
termínu	$9,28 \cdot 10^{-08}$	vysoce významný rozdíl
hloubky	0,01416418	významný rozdíl
krajinné polohy	0,79032	není rozdíl
technologie	0,016265	významný rozdíl
Čejkovice		
Vliv	p	statistická významnost
ročníku	0,003913	významný rozdíl
termínu	0,743283	není rozdíl
hloubky	0,002696	vysoce významný rozdíl
krajinné polohy	0,003913	významný rozdíl

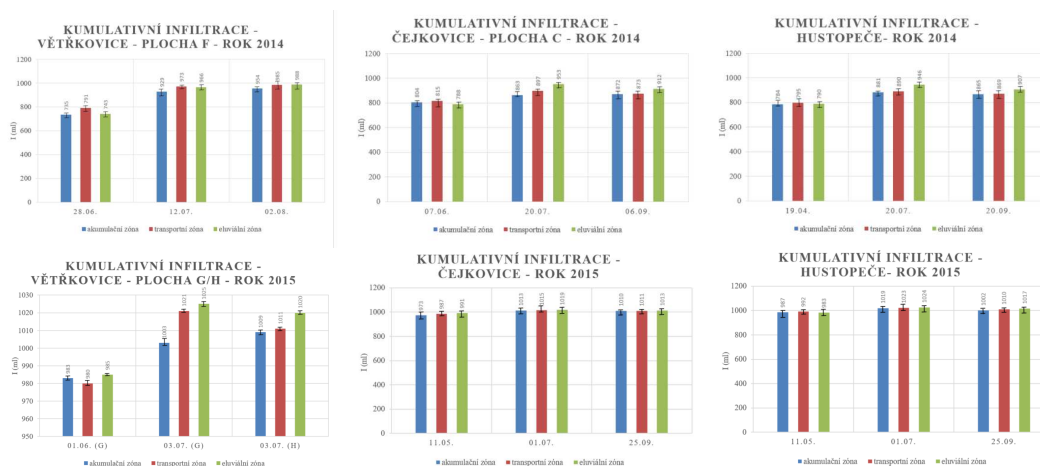
Tab. 7 Analýza rozptylu ( $\alpha=0,05$ )

Hustopeče		
Vliv	p	statistická významnost
ročníku	1,41E-12	vysoce významný rozdíl
termínu	3,91E-07	vysoce významný rozdíl
hloubky	4,74E-16	vysoce významný rozdíl
krajinné polohy	1,35E-13	vysoce významný rozdíl

### 5.3.3 Dešťový simulátor

Průměrné hodnoty kumulativní infiltrace měřené pomocí dešťového simulátoru byly vyjádřeny graficky sloupcovými grafy Graf. 11 se zobrazením intervalu maximálních a minimálních naměřených hodnot.

Graf. 11 Kumulativní infiltrace měřená pomocí dešťového simulátoru dle Kamhorsta



## 6 ZÁVĚR A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE

Půda patří k nenahraditelnému přírodnímu bohatství, tvoří charakteristickou složku krajiny. Má dominantní postavení v hydrologickém cyklu krajiny. Stav a množství vody mezi půdním povrchem a hladinou podzemní vody bezprostředně ovlivňuje řadu procesů (odtok vody z povodí, úrodnost půdy, zásobené zdroje podzemních vod). Půda má určité sklony, které jí předurčují hospodaření s vodou. Tyto vlastnosti jsou dominantně dány texturou půdy, která ovlivňuje pohyb vody v půdě, její infiltraci, propustnost, retenci. Degradaci půdního profilu, například utužením je omezen pohyb vody a snížená retenční a akumulční schopnost. Degradace může být velmi rychlá, přitom proces tvorby a regenerace je pomalý, tvorba 1 cm půdy trvá stovky let.

V disertační práci byl v letech 2012 – 2015 sledován vliv vodní eroze na vybrané fyzikální vlastnosti půdy. Byly odebrány porušené a neporušené půdní vzorky na lokalitách Větrkovice, Čejkovice a Hustopeče. Utužením půdy jsou náchylnější lokality s výskytem kambizemí, proto byla do práce zahrnuta i lokalita Větrkovice, na které se vyskytovaly kambizemě dystrické. Na lokalitách Čejkovice a Hustopeče se vyskytovaly černozemě. Celkem bylo odebráno 972 neporušených půdních vzorků do Kopeckého válečků o objemu 100 cm<sup>3</sup> pro stanovení fyzikálních vlastností půdy. Tyto vzorky byly vyhodnoceny podle platných metodik v pedologické laboratoři Ústavu vodního hospodářství krajiny, Vysokého učení technického v Brně.

Z fyzikálních vlastností půdy byly vyhodnoceny objemová hmotnost redukovaná  $\rho_d$  a celková pórovitost  $P$ . Tyto dvě fyzikální vlastnosti ukazují míru utužení půdního profilu. Celková pórovitost velmi úzce souvisí s objemovou hmotností. Toto tvrzení bylo v práci potvrzeno. Většina výsledků překračovala kritické hodnoty stanovené Lhotským (1984) a poukazovala na probíhající degradaci půdního profilu. Výsledky sledování obou veličin ukazovaly určitý vliv ročníku, což je způsobeno srážkovými a teplotními poměry v daném roce. Objemová hmotnost redukovaná  $\rho_d$  i celková pórovitost  $P$  se dynamicky vyvíjely v průběhu roku, na začátku vegetačního období byly hodnoty na všech lokalitách  $\rho_d$  nižší a  $P$  vyšší než na konci vegetačního období, což je dáno přirozeným sleháváním půdy. Dále lze z dosažených výsledků obou veličin konstatovat, že se hodnoty na všech lokalitách podle míst odběru významně nelišily a byly v celém svahu vyrovnané. Ve spodní části svahu (akumulační zóně) byly hodnoty  $\rho_d$  vyšší a  $P$  nižší než v horní části svahu. V půdní krustě a ornici bylo dosaženo  $\rho_d$  nižších a  $P$  vyšších hodnot než v podornici, které nebývá tak náchylné na zásahy při zpracování půdy. Výsledky neukazují významné rozdíly v půdní krustě a orniční vrstvě. Ve vzorcích s půdní krustou na povrchu byly hodnoty  $\rho_d$  nepatrně vyšší a  $P$  nižší než vzorky bez půdní krusty. Na lokalitě Větrkovice bylo možné sledovat vliv půdoochranných technologií na hodnoty  $\rho_d$ . Pozemky zpracované minimalizační technologií dosahovaly lepších hodnot  $\rho_d$  a  $P$ , které zřídka překračovaly kritické hodnoty stanovené Lhotským (1984).

Zrnitostní složení odebraných půdních vzorků bylo stanoveno Casagrandeho hustoměrnou metodou a metodou laserové difrakce. Vzorky z lokality Větrkovice byly klasifikovány jako prach a prachovitá hlína, z lokality Čejkovice jako písčitá hlína, hlína a prachovitá hlína, a z lokality Hustopeče jako hlinitý písek, písčitá hlína, hlína a prachovitá hlína. Na lokalitách Čejkovice a Hustopeče křivky zrnitosti ukazují, že došlo vlivem vodní eroze k transportu částic, ze zóny eluvia do zóny

akumulace, což potvrzovala i změna barvy půdy. Tato změna textury půdy má za následek nerovnoměrné rozdělení vody a vzduchu v půdním profilu.

V rámci práce bylo provedeno srovnání výsledků zrnitostního složení půdních vzorků stanovených Casagrandeho hustoměrnou metodou a metodou laserové difrakce. Výsledné hodnoty se od sebe nepatrně lišily, což může být způsobeno rozdílnou přípravou vzorku, nebo chybou způsobenou lidským faktorem při odečítání na hustoměru a okolním prostředím. Standartní metody stanovení zrnitostního složení půdy, mezi které patří i Casagrandeho hustoměrná metoda, jsou v zahraničí postupně nahrazovány laserovou difrakční metodou. Její výhodou je krátký čas analýzy, použití malého vzorku půdy, využití výsledků pro účely v různých klasifikačních systémech a široký rozsah měření a třídění frakcí. Laserová difrakční metoda, na rozdíl od standartních metod, je schopná vyhodnotit i procentuální zastoupení velmi malých jílovitých částic. Toto je důležité pro další studium půdní krusty, která je složená hlavně z jemných částic.

Struktura půdy byla hodnocena podle vypočítaného koeficientu strukturnosti, který čím je vyšší, tím je vyšší podíl agronomicky hodnotných agregátů a půdu můžeme považovat za strukturní. Stanovené hodnoty koeficientu strukturnosti byly nízké, nejnižší hodnoty koeficientu strukturnosti vykazovala půdní krusta. Vodostálost půdních agregátů byla posuzována podle schopnosti půdních agregátů odolávat rozplavení. Vodostálost agregátů půdní krusty byla výrazně nižší než orniční a podorniční vrstva, jednofaktorová analýza rozptylu ukázala, že hloubka odběru má vysoce významný vliv na vodostálost půdních agregátů. Na všech lokalitách hodnoty koeficientu strukturnosti a vodostálosti půdních agregátů neprokazovaly významné statistické rozdíly vztažené ke krajinné poloze svahu (akumulaci, transportní a eluviální zóně). Z dosažených výsledků na lokalitě Větrkovice vyplývá, že není statisticky významný rozdíl mezi vodostálostí půdních agregátů na pozemcích zpracovaných klasickou a minimalizační technologií.

Půdní krusta vzniká rozrušením půdních agregátů na povrchu půdy kapkami vody. Nestrukturní půda podléhá rychlému rozplavení a k přesunu jemnějších částic půdy. Jemné částice půdy, hlavně jílovité částice, se v rozplavené půdě rychle pohybují a ucpávají půdní póry. Dochází k procesu zalepování půdních pórů a vytváří se kašovitá hmota na povrchu půdy. Když půdní povrch vyschne, vytvoří se z ní tenká, nepropustná souvislá vrstva – půdní krusta. S opakujícími se dešti se opakuje proces zalepování pórů a tvorby půdní krusty a utváří se vrstevnatý, nepropustný půdní profil s půdní krustou na povrchu. Neinfiltrovaná voda rychle odteče po povrchu a soustředí se v drahách

soustředěného odtoku a bez užitku (způsobující silnou vodní erozi) odteče do vodních toků. Zobrazení půdní krusty pomocí elektronového mikroskopu potvrdilo obsah mnoha jemných částic s minimem prostoru pro půdní póry. Spektrální analýza zobrazila široké spektrum zastoupení různých prvků, což vypovídá o nehomogenitě. Dosažené výsledky prokazatelně potvrdily, že půdní krusta obsahuje agregáty, které podléhají snadnému rozplavení ve vodě a vyšší obsah jílovitých částic. Na formování půdní krusty má obsah jílovitých částic významný vliv. Těsnost vztahu mezi zjištěnou stabilitou půdních agregátů a zjištěným obsahem jílovitých částic byly testovány pomocí korelační a regresní analýzy. Testované veličiny byly na sobě statisticky nezávislé. Matematický popis pomocí lineární regresní analýzy by byl značně nepřesný. Na proces formování půdní krusty mají vliv i další faktory jako je momentální vlhkost, intenzita dešťových srážek, sklon a délka svahu.

Posledním dílčím cílem práce bylo najít vhodné zařízení pro měření infiltrační schopnosti půdy s půdní krustou na povrchu, která nebyla před započítáním měření z povrchu odstraněna. Byla snaha změřit a vyhodnotit infiltrační schopnost půdy, která má na svém povrchu půdní krustu v terénních podmínkách. Infiltrační testy probíhaly pomocí dvouválcové metody, minidiskových infiltrometrů a mobilního simulátoru deště. Od měření kumulativní infiltrace dvouválcovou metodou se ustoupilo. Zapuštění dvou válců do půdy bylo na pozemcích s půdní krustou velmi problematické. Docházelo k rozrušení půdní krusty na povrchu půdy a tím ke zkreslení výsledků vlivem vzniklých preferenčních cest. Při správném založení pokusu docházelo k utěsnění povrchu půdy a velmi zdlouhavému, několikahodinovému měření, proto bylo nemožné zajistit měření infiltrací tak, aby byly všechny body měření testovány ve stejném stavu. Vhodnějším zařízením ve výzkumu infiltrační schopnosti půdy s půdní krustou na povrchu byly minidiskové infiltrometry. Tyto malé přístroje je možné umístit přímo na povrch půdy, voda začne vytékat v míře, která je dána hydraulickými vlastnostmi půdy. Nejvhodnějším přístrojem pro měření infiltrační schopnosti půdy s půdní krustou na povrchu byl mobilní simulátor deště. Simulátory deště umožňují aplikaci deště podle potřeb výzkumu srážko - odtokových a erozních jevů. Pro potřeby této disertační práce byl na Ústavu vodního hospodářství, Vysokého učení technického v Brně modifikován mobilní simulátor deště dle Kamphorsta. Tento modifikovaný přístroj je možný využít i k dalším výzkumům.

Kumulativní infiltrace se v jednotlivých letech měření lišila, protože každý rok je jinak srážkově a teplotně průměrný. V půdě se vyskytuje rozdílné množství vody. Naměřené hodnoty kumulativní infiltrace byly v průběhu roku vyrovnané. Na začátku vegetačního období byly

na všech odběrných místech hodnoty o něco nižší než v průběhu a na konci vegetace. Jako statisticky velmi významné rozdíly se ukázaly hodnoty měření v různých krajinných polohách svahu. V zóně eluvia byly zjištěny vyšší hodnoty oproti zóně akumulace. Následkem plošné eroze dochází ke změně zrnitostního složení půdy směrem po svahu. V horní části svahu je materiál hrubozrnnější, v dolní části převažuje jemnozrnný materiál. Toto rozdělení způsobuje nerovnoměrné rozložení vlhkosti po svahu. Horní, hrubozrnnější část vysychá podstatně dříve a snadněji infiltruje vodu než jemné sedimenty v dolní části svahu.

Získané výsledné hodnoty a použité metody mohou být podnětem pro další vědecký výzkum v oblasti týkající se eroze půdy, zjišťování degradace půdního profilu a výzkumu půdní krusty.

Tato práce vznikla za podpory projektu QJ1230066 „Degradace půdy a její vliv na komplex půdních vlastností včetně návrhu nápravných opatření k obnově agroekologických funkcí půdy“; za podpory projektu QJ1320157 „Erozní procesy a jejich vliv na produkční schopnost půd a navrhování protierozních opatření v procesu pozemkových úprav“. Práce vznikla i za podpory specifického výzkumu na VUT v Brně reg. č. FAST-J-23-2005 „Vznik a vývoj půdní krusty u variantních agrotechnologií v kontextu vybraných hydropedologických charakteristik“; reg. č. FAST-J-14-2295 „Účinek intenzity deště na vodní erozi v rámci svahu na pozemcích s půdní krustou na povrchu“; reg. č. FAST-J-15-2792 „Stanovení půdní erodovatelnosti na experimentální ploše pomocí dešťového simulátoru“.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

AGASSI, M., MORIN, J., SHAINBERG, L. Effect of raindrop impact and water salinity on infiltration rate of sodic soils. In *Soil Science Society of America Journal*. 1985. vol. 46. p. 189-190. ISSN 0361-5995.

ANKENY M.D., KASPAR T.C., HORTON R., 1990: Charakterization of tillage and traffic effect on unconfined infiltration measurements. In *Soil Science Society of America Journal*. 1990. vol. 54. p. 837-840. ISSN 0361-5995.

ASSOULINE, S. Rainfall-induced soil surface sealing: A critical review of observation, conceptual models and solution. In *Vadose Zone J.* 2004. vol. 3. p. 570-591. ISSN 1539-1663.

ASSOULINE, S., BEN-HUR, M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interill erosion during soil surface sealing. In *Catena*. 2006. vol. 66. p. 211-220. ISSN 0341-8162.

AWAD, M. M., HUSSEIN, M. H., ABDUL-JABBAR, A. S. Crust development under natural rainfall on an Aridisol in northern Iraq. In *Mezopot Journal Agricultural*. 1992. vol. 24 (2). p. 31-36. ISSN 1303-2429.

BADALÍKOVÁ, B, KŇÁHAL, Z. Vliv zpracování půdy na půdní strukturu. In *Úroda*. 2001. Dostupné z: <http://uroda.cz/vliv-zpracovani-pudy-na-pudni-strukturu/>

BELNAP, J. The world at your feet: desert biological soil crusts. In *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2003. vol. 1. p. 181–189. ISSN1540-9309.

BOFFIN, J. Stages and time-dependancy of soil crusting in situ. In *Assesment of soil surface sealing and crusting*, University of Ghent, Ghent; 91-98. 1986.

BRADFORD, J. M., HUANG, C. Mechanism of crust formation: physical components. In *Soil crusting: Chemical and Physical Processes*. Advances in Soil Science, Lewis Publishers. p. 55-72. 1992.

BRESSON, L.M. , LE BISSONNAIS, Y., ANDRIEUX, P. Soil surface crusting and structure slumping in Europe, In *Soil Erosion in Europe*. Physical and Regional Geography Research Group. Katholieke Universiteit Leuven. GEO-Institute. Belgium. 2006. ISBN 9780470859209.

DECAGON DEVICES INC. *Mini disk infiltrometer user's manual*. 2016. Dostupné na: [http://manuals.decagon.com/Manuals/10564\\_Mini%20Disk%20Infiltrrometer\\_Web.pdf](http://manuals.decagon.com/Manuals/10564_Mini%20Disk%20Infiltrrometer_Web.pdf)

DUMBROVSKÝ, M. *Vliv eroze na produkční schopnost půd a půdní vlastnosti*. Praha, 1992. Disertační práce. VÚMOP.

DUMBROVSKÝ, M. Redakčně upravená zpráva projektu MZe NAZV QJ1230066 „*Degradace půdy a její vliv na komplex půdních vlastností včetně návrhu nápravných opatření k obnově agroekologických funkcí půdy*“. Brno: VUT v Brně, leden 2014, 195s.

DUVAL, Y., BOIFFIN, J. La dynamique de formation des croûtes de battance. In *Implantation de la betterave industrielle*. 1994. INRA. Paris. p. 67-86.

ELLISON, W.D. Studies of raindrop erosion. In *Agricultural Engineering*. 1944. vol. 25 (131-136). p. 181 -182. ISSN 1212-9151.

ELLISON, W.D. Some effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration. Trans. In Am. Geophys. Union. 1945. vol. 26. p. 415 – 429.

FARRES, P. The role of time aggregate stability size in the crusting proces. In *Earth Surface Processes and Landforms*. 1978. vol. 3 (3). p. 243 – 254. ISSN 1096-9837.

FOX D., M., BRYAN R. B.; FOX C.A. Changes in pore characteritics with depth for structural crust. In *Geoderma*. 2004. vol. 120. p. 109-120. ISSN 1972-6259.

FISCHER, T., VESTE M., EISELE A., BENS O., HÜTTL R. F.. Small scale spatial heterogeneity of Normalized Difference Vegetation Indices (NDVIs) and hot spots of photosynthesis in biological soil crusts. In *Flora*. 2012. vol. 3, issue 207, p. 159-167. ISSN 0367-2530.

FREEBAIRN, D. M., GUPTA, S. C., RAWLS, W. J. Influence of aggregate size and microrelief on development of surface soil crust. In *Soil Science Society of America Journal*. 1991. vol. 55. p. 188-195. ISSN 0361-5995.

GALLARDO-CARRERA, A, LÉONARD, J., DUVAL, Y., DÜRR, C. Effect of seedbed structure and water content at sowing on the development of soil surface crusting under rainfall. In *Soil and Tillage Rersearch*. 2007. vol. 95. p. 207 – 217. ISSN 0167-1987

GOVERS, G., EVERAERT, W., POESEN, J., RAUWS, G., DE PLOEY, J., LAUTRIDOU, J. P. A long flume study of the dynamic factors affecting the resistance of loamy soil to concentrated flow erosion. In *Earth Surface Process Landforms*. 1990. vol. 15. p. 313-328. ISSN 1096-9837.

HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. United States of America. 1980. Academic press, Inc., 413 str. ISBN 0-12-348560-6.

HUSSEIN, M. H., AWARD, M. M., ABDUL-JABBAR, A. S. Effect of Surface Crust on Rainfall Infiltration in an Aridisoil in Northern Iraq. In *European Water*. 2010. vol. 3. p. 25-34. ISSN 1105-7580.

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ B., A KOL. *Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku*. Zemědělské informace, č. 3/2002. Praha. ÚZPI. 2002. 103 s. ISBN 80-7271-106-7

JANDÁK, J., POKORNÁ, E., PRAX, A. *Půdoznalství. Skriptum*. 2 vydání. Brno. MZLU v Brně. 2007. 142 s. ISBN 978-80-7157-559-7.

JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Praha: VÚMOP, 2007, 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

KINNELL, P.I.A. The effect of slope leght on sediment concentration associated with side-slope erosion. . In *Soil Science Society of America Journal*. 2000. vol. 64. p. 1004-1008. ISSN 0361-5995.

KOSTELANSKÝ, F., a kol. *Obecná produkce rostlinná*. Brno: MZLU v Brně. 2001. 212 s. ISBN 80-213-0450-2.

KUTÍLEK, M. *Vodohospodářská pedologie*. Praha, Bratislava: SNTL/ALFA. 1978. 296 s.

KUTÍLEK M., NIELSEN D.R. *Soil Hydrology*. Catena: GeoEcology Publications. 1994. 364 p. ISBN 3-923381-26-3.

LAL, R. Soil degradation by erosion. In *Land Degradation & Development*. 2001. vol. 12(no. 6). p. 519–539. DOI: 10.1002/ldr.472.

LEDVINA, R. a kol. *Geologie a půdoznalství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice. 2000. 200 s.

LEDVINA, R., HORÁČEK, J. Negativní vliv antropologické činnosti na fyzikální režim půdy. In *Sborník z mezinárodní vědecké konference České půdoznalecké společnosti*. 1997. ČPS. p. 17-18.

LEGOUT. C., LEGUÉDOIS, S., LE BISSONNAIS, Y. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements. In *Europea Journal of Soil Science*. 2005. p. 225-237. ISSN 1365-2389.

NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. *Pedologie a Paleopedologie*. 1. vyd. Praha: Academia. 1990. 552 s. ISBN 80-200-0153-0

NĚMEČEK J. a kol. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Praha: ČZU, 2001, 78 s.

PATEL, M. S., SINGH, N. T. Changes in bulk density and water intake rate of a coarse textured soil in relation to different levels of compaction. In *J. Indian Soc. Soil Sci*. 1981. vol. 29. p. 110-112. ISSN 0974-0228.

PIERZYNSKI, G. M., J. SIMS a G.F.VANCE. *Soils and environmental quality*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. 2000. ISBN 0849300223.

PROCHÁZKOVÁ B., a kol. Impact of the different straw management upon yields of cereal crops and upon the modification of soil environment parameters. In *Proc. Of International Symposium Agro environ 2004*, Udine (Italy): University of Udine. October 2004.



ROMKENS, M. J. M. Soil crusting – when crusts form and quantifying their effects. In *Infiltration Research Planning Workshop, Part I. State of the art reports*, USDA-ARS. 1979.

SHARMA, D. P., AGRAWAL, R. P. Seedling emergence behavior of bajra, cotton and guar as affected by surface crust strength. In *Mysore Journal Agricultural Science*. 1974. vol. 13. p. 400-404. ISSN 0047-8539.

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

TISDALL, J.M., ADEM, H.H. Effect of water content of soil and tillage on sizedistribution of aggregatesand infiltration. In *Aust. J. Exp. Agric.* 1986. vol. 26. p. 193-195. ISSN 0307-692X.

TRUMAN, C., C., FRANZMEIER, D., P. *Structure, pedological concepts and water flow*. In *Encyclopedia of soil science*. United States of America, s. 1263-1269. 2002. ISBN 0-8247-0634-X.

VALENTIN, C., Surface crusting, runoff, and erosion on steeplands and coarse material. In *IBSRAM Tech. Notes*. 1989. vol. 3.

WATSON, D. A., LAFLEN, J. M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion. In *Trans. ASAE*. 1986. vol. 29. p. 98-102

## ŽIVOTOPIS AUTORA

### Osobní údaje:

Jméno, příjmení, titul: Lucie Larišová, Ing.  
Datum narození: 16.06.1987  
Adresa: Květná 996/11, Rýmařov, 795 01  
Kontaktní telefon: +420 736 42 92 36  
E-mail: larisova.l@fce.vutbr.cz

### Vzdělání:

2012 - dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny – doktorské studium, obor Vodní hospodářství a vodní stavby;  
2010 - 2012 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny – magisterské studium, obor Vodní hospodářství a vodní stavby;  
2010 - 2006 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny – bakalářské studium, obor Vodní hospodářství a vodní stavby;  
1998 - 2006 Gymnázium Rýmařov.

### Vědecká činnost:

2015 – 2016 EHP-CZ02-OV-1-039 Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině  
2015 Specifický výzkum – FAST-J-15-2792 - Stanovení půdní erodovatelnosti na experimentální ploše pomocí dešťového simulátoru  
2014 Specifický výzkum – FAST-J-14-2295 - Účinek intenzity deště na vodní erozi v rámci svahu na pozemcích s půdní krustou na povrchu  
2013 – 2017 NAZV MZe - QJ1320157- Erozní procesy a jejich vliv na produkční schopnost půd a navrhování protierozních opatření v procesu pozemkových úprav.

- 2013                    Specifický výzkum - FAST-J-13-2005 - Vznik a vývoj půdní krusty u variantních agrotechnologií v kontextu vybraných hydroopedologických charakteristik.
- 2012 – 2016        NAZV MZe - QJ1230066 - Degradace půdy a její vliv na komplex půdních vlastností včetně návrhu nápravných opatření k obnově agroekologických funkcí.
- 2011                    Specifický výzkum - Stanovení hydraulických charakteristik půdy ve vybraném zájmovém území.

**Zaměstnání:**

- leden – červen 2015                    AGPOL, s.r.o., Samostatný projektant inženýrských sítí;
- říjen 2015 – dosud                    Městský úřad Rýmařov, referent stavebního odboru;
- 2017 – dosud                    Mateřská a rodičovská dovolená.

## **ABSTRAKT:**

Disertační práce se zabývá vyhodnocením degradace vybraných půdních vlastností vlivem vodní eroze, včetně temporální dynamiky těchto vlastností a posouzením, jakým způsobem ovlivňuje tato změna infiltrační schopnost půdy v povodí. V letech 2012 - 2015 byly na třech experimentálních lokalitách odebírány porušené a neporušené půdní vzorky a měřena infiltrační schopnost půdy. Experimentální plochy byly zvoleny na svažitých pozemcích náchylných k vodní erozi, s viditelnými znaky probíhající erozní činnosti, ve třech katastrálních území České republiky, a to v katastrálním území Větrkovice, Čejkovice a Hustopeče. Infiltrační schopnost byla měřena ve třech krajinných polohách svahu, půdní vzorky byly odebírány ve třech krajinných plochách svahu z půdní krusty, ornice a podorničí. V pedologické laboratoři na Ústavu vodního hospodářství krajiny, Vysokém učení technickém v Brně byla z odebraných vzorků stanovena měrná hmotnost, objemová hmotnost redukováná, pórovitost, zrnitost a schopnost půdních agregátů odolávat rozplavení. Infiltrační schopnost půdy byla měřena pomocí dvouválcové metody, minidiskového infiltrometru a mobilního simulátoru deště. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu byly z dosažených výsledků zkoumány vzájemné vztahy mezi podmínkami odběru vzorků a měření infiltrace. Dále byla na pozemcích sledována závislost tvorby půdní krusty, její fyzikální vlastnosti a její vliv na infiltrační schopnost půdy.