

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

**Vliv přípravku NeoSol na nasycenou hydraulickou
vodivost**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

Diplomant: Bc. Barbora Kalinová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Barbora Kalinová

Environmentální modelování

Název práce

Vliv přípravku NeoSol na nasycenou hydraulickou vodivost

Název anglicky

Influence of NeoSol on saturated hydraulic conductivity

Cíle práce

Posouzení vlivu přidaných látek, které ovlivňují půdní strukturu, na nasycenou hydraulickou vodivost půd.

Metodika

- 1) teoretická příprava
- 2) odebrání vorků půdy
- 3) vytvoření směsí vzorků půdy a přípravku NeoSol a jejich stabilizace
- 4) odebrání stabilizovaných vzorků a příprava na měření
- 5) laboratorní stanovení nasycené hydraulické vodivosti na laboratorním permeamtru
- 6) vyhodnocení vzorků a posouzení vlivu přidané látky

Doporučený rozsah práce

cca 50 stran

Klíčová slova

půdní struktura, agregace, hydrofyzikální vlastnosti půd

Doporučené zdroje informací

CÍSLEROVÁ, M. – KUTÍLEK, M. – KURÁŽ, V. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA. *Hydropedologie 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02237-4.

KUTÍLEK, M. – NIELSEN, D R. *Soil hydrology*. Cremlingen-Destedt: Catena, 1994. ISBN 3-923381-26-3.

KUTÍLEK, M. *Vodohospodářská pedologie : Vysokošk. učebnice*. Praha: SNTL, 1978.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 11. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 11. 04. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv přípravku NeoSol na nasycenou hydraulickou vodivost" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Jiřímu Pavláskovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Lukáši Jačkovi, Ing. Ivanu Millerovi, Ing. Martinu Kovářovi a Ing. Filipovi Strnadovi za užitečné a odborné rady při psaní diplomové práce. Velký dík patří i rodině, díky které mi bylo studium umožněno.

Vliv přípravku NeoSol na nasycenou hydraulickou vodivost

Souhrn

Diplomová práce se zabývá problematikou hydrofyzikálních vlastností půdy. Specifikuje se zde půdní struktura a hydraulická vodivost. Nasycená hydraulická vodivost (K_s) je jednou z nejdůležitějších hydrofyzikálních charakteristik, která ovlivňuje infiltraci, přepravní procesy v půdě, a tak i nepřímo i dostupnost živin pro rostliny. Práce je zaměřena na stanovení nasycené hydraulické vodivosti pomocí laboratorního permeometru.

Výzkumná část práce je zaměřena na způsoby ovlivňování hodnot nasycené hydraulické vodivosti, konkrétně možnost změny díky různým typům hnojiv. Zkoumány jsou hnojiva organického charakteru – kravský hnůj, chemického charakteru – NPK a poslední typ je přípravek NeoSol, který by měl zlepšovat strukturu půdy a nepřímo tak i hydraulické vlastnosti půdy. Nejnižší hodnoty K_s byly naměřeny v oblasti, kde byl aplikován kravský hnůj. Hodnoty K_s v oblastech, kde byly aplikovány NeoSol a NPK, byly podobné.

Klíčová slova: půdní struktura, agregace, laboratorní permeometr, kravský hnůj, NPK

Influence of NeoSol on saturated hydraulic conductivity

Summary

The diploma thesis deals with the hydrophysical properties of the soil. The thesis specifies the soil structure and the hydraulic conductivity. The Saturated Hydraulic Conductivity (K_s) is one of the most important hydrophysical characteristics that influences infiltration, transport processes in the soil, and indirectly also nutrients availability for plants. The thesis is focused on the determination of the saturated hydraulic conductivity by means of the laboratory permeameter.

The research part of this thesis is focused on methods of influencing of hydraulic conductivity figures, namely the change possibility due to different types of fertilizers. For the research were chosen organic fertilizers – the cow manure, chemical fertilizers – NPK, and the NeoSol, the product which should improve the soil structure and also the hydraulic soil characteristics indirectly. The lowest K_s values were measured in areas, where cow manure was used. K_s values were similar in areas, where the NeoSol and the NPK were used.

Keywords: soil texture, aggregation, laboratory permeameter, cows dung, NPK

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle	2
3. Literární rešerše	3
3.1. Fyzikální vlastnosti půdy.....	3
3.1.1. Měrná a objemová hmotnost.....	3
3.1.2. Pórovitost půdy	4
3.1.3. Vlhkost	5
3.1.4. Potenciál půdní vody.....	7
3.1.5. Bobtnání	7
3.1.6. Zrnitost	8
3.1.7. Půdní koloidy	10
3.1.8. Půdní struktura	11
3.1.9. Možnosti ovlivnění půdní struktury	13
3.2. Cykly vybraných prvků v půdě	16
3.2.1. Uhlík.....	16
3.2.2. Dusík	17
3.2.3. Fosfor	19
3.2.4. Draslík.....	21
3.3. Pohyb půdní vody.....	21
3.3.1. Darcyho zákon	21
3.3.2. Nasycená hydraulická vodivost	22
4. Charakteristika místa odběru vzorků	26
4.1. Klima	26
4.2. Reliéf a geomorfologie	27
4.2.1. Středolabská tabule	28
4.2.2. Královéměstecská tabule	28
4.3. Geologie	28
4.4. Pedologie	29
4.4.1. Černozemě.....	29
4.4.2. Pelozem.....	30
5. Metodika	31
5.1. Odběr vzorků.....	31
5.1.1. Uchování vzorků	34
5.2. Zrnitostní rozbor.....	34
5.2.1. Příprava vzorků	34

5.2.2.	Průběh měření	34
5.3.	Nasycená hydraulická vodivost.....	37
5.3.1.	Příprava vzorků K_s	37
5.3.2.	Průběh měření	37
5.3.3.	Vyhodnocení	40
5.4.	Množství organické a anorganické hmoty.....	41
5.4.1.	Příprava vzorků	41
5.4.2.	Měření	41
6.	Výsledky	42
6.1.	Zrnitostní rozbor.....	42
6.2.	Měření K_s	44
6.2.1.	Základní statistická analýza	47
6.2.2.	ANOVA	48
6.2.3.	Dvouvýběrový studentův test.....	50
6.3.	Množství organické a anorganické hmoty.....	52
7.	Diskuze	53
7.1.	Možnost ovlivnění výsledků	55
7.2.	Návrh experimentu	56
8.	Závěr.....	57
9.	Seznam použitých zdrojů.....	58
10.	Seznam obrázků	62
11.	Seznam tabulek	63
12.	Přílohy	64

Seznam zkratek a symbolů

a – poloměr vrtu [cm]

A – průřezová plocha zásobníku vody [cm²]

A_d – průřezová plocha trubice držáků vzorků [cm²]

A_v – průtočná plocha válečku [cm²]

ATP – adenosintrifosfát

C – tvarový koeficient závislý na H/r

C_t – tvarový součinitel

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$ – fosforečnan vápenatý

CaHPO_4 – hydrogenfosforečnan vápenatý

d – rozdíl, změna, derivace

e – číslo pórovitosti

GTP – guanintrifosfát

H – hladina vody

H_1 – hladina na počátku měření v čase t_1 [cm]

H_2 – hladina měření v čase t_2 [cm]

H_h – hloubka hustoměru v suspenzi [cm]

L_v – délka válečku [cm]

K_p – propustnost

K_s – nasycená hydraulická vodivost [m.s⁻¹]

KH – kravský hnůj

m – teplotní korekce

m_M – hmotnost zeminy ve vysušeném vzorku [g]

m_w – hmotnost vody v půdě [g]

NATP – nikotiamitriofostát

O – poměrný obsah částic v daném čase měření [%]

P – pórovitost

r – poloměr sondy

q – objemový tok [m.s⁻¹]

R – ustálený pokles hladiny v zásobníku vody [cm]

R_h – čtení na hustoměru

s – navážka zeminy přepočtená na sušinu [g]
 S – vzdálenost od nepropustné vrstvy
USDA – United States Department of Agriculture
 V_M – objem minerální fáze [cm^3]
 V_p – objem pórů [cm^3]
 V_t – celkový objem vzorku [cm^3]
 V_v – objem pevné fáze
 V_w – objem vody v půdě [cm^3]
 w – hmotnostní vlhkost [g.cm^{-3}]
 x – osa x
 Y – výsledná nasycená hydraulická vodivost půdy
 Y_a – vliv místa odběru
 Y_b – potenciální vliv použitého přípravku
 Y_c – vliv orby či zpracování půdy
 α – parametr charakterizující strukturu půdy
 Δ – rozdíl
 $\frac{\Delta y}{\Delta t}$ – rychlost vzestupu hladiny
 ε – proměnlivost
 θ – objemová vlhkost [g.cm^{-3}]
 μ – dynamická viskozita [g.s.cm^{-1}]
 ρ – hustota kapaliny [g.cm^{-3}]
 ρ_d – objemová hmotnost redukována [g.cm^{-3}]
 ρ_v – objemová hmotnost neredukovaná [g.cm^{-3}]
 ρ_z – měrná hmotnost [g.cm^{-3}]
 Φ – celkový půdní potenciál [J.kg^{-1}]
 φ_w – vlhkostní potenciál [J.kg^{-1}]
 φ_g – gravitační potenciál [J.kg^{-1}]
 φ_e – zátěžový potenciál [J.kg^{-1}]
 φ_o – osmotický potenciál [J.kg^{-1}]
 φ_a – pneumatický potenciál [J.kg^{-1}]
 ω – číslo vlhkosti

1. Úvod

Půda je jedna z hlavních složek životního prostředí a řadí se mezi neobnovitelné zdroje energie. Půda je velmi jedinečný přírodní útvar, který vznikl povrchovým zvětráváním horní vrstvy litosféry a její složení je ovlivněno klimatickými poměry, činnostmi veškerých živých organismů a přítomností podzemní vody (Šarapatka, 2014). Zemědělský průmysl obhospodařuje většinou pevninskou část Země, a proto je velice důležité, aby byla půda zachovávána jako podstatný přírodní zdroj. Velmi důležitým tématem v tomto kontextu je tedy aktuální problém degradace půd, která je způsobována právě zemědělským obhospodařováním (ES, 2009). Hlavním úkolem této diplomové práce je, zjistit jakými způsoby je možné ovlivnit hydrofyzikální vlastnosti půdy, konkrétně nasycenou hydraulickou vodivost.

V literární rešerši bude popsána charakteristika půd, kde je věnována pozornost fyzikálním vlastnostem půdy, do kterých spadá např. pórovitost půdy, struktura půdy. Půdní struktura bude rozebírána detailněji, jelikož zde budou zvažovány faktory, které mohou ovlivnit její vlastnosti. V dalším bodě kapitoly budou popsány cykly vybraných prvků v přírodě, konkrétně vliv dusíku, fosforu a draslíku na půdní prostředí. Poslední kapitola literární rešerše bude věnována půdní vodě. Voda, která se vyskytuje v půdním prostředí je dána do pohybu pomocí hnacích sil, které zde budou popsány a vysvětleny.

Následující kapitolou diplomové práce bude charakteristika území, kde probíhaly odběry vzorků pro měření. Do charakteristiky bude zahrnuto klima, geomorfologie, geologie a pedologie prostředí.

V kapitole metodika budou představeny odběrové oblasti vybrané pro výzkum v rámci diplomové práce. Také zde budou vysvětleny postupy, podle kterých probíhal odběr vzorků, navazující uchování, příprava a poté samotné měření nasycené hydraulické vodivosti a zrnitosti půdy.

Na metodiku bude navazovat kapitola výsledků, kde budou interpretovány hodnoty měření.

Poslední kapitolou diplomové práce bude diskuze, kde budou zvažovány všechny faktory, které mohly ovlivnit samotné výsledky.

2. Cíle

Cílem této diplomové práce je posoudit, jakým způsobem mohou různé přípravky aplikované pro zlepšení půdní struktury ovlivnit hydrofyzikální vlastnosti půdy. Konkrétně z hydrofyzikálních vlastností se zkoumá nasycená hydraulická vodivost, která patří mezi základní charakteristiky pohybu vody v půdním prostředí. Kutílek (1978) píše, že struktura půdy ovlivňuje hydrofyzikální vlastnosti, jako je infiltrace. Z tohoto důvodu se předpokládá, že po aplikaci látek, které zlepšují půdní strukturu, se změní hodnota hydraulické vodivosti.

Diplomová práce se bude zabývat následujícími hypotézami:

Zvyšuje přípravek NeoSol hodnoty nasycené hydraulické vodivosti?

Zvyšuje kravský hnůj hodnoty nasycené hydraulické vodivosti?

3. Literární rešerše

3.1. Fyzikální vlastnosti půdy

Mezi fyzikální vlastnosti půd řadíme např. pórovitost, vlhkost a hustotu půdy. Pro přesné stanovení všech veličin je nutné zavést pojem tzv. **reprezentativní elementární objem** (dále pouze REO). Velikost vzorku se musí stanovit tak, aby v něm byly zastoupeny všechny fáze, které se v půdě vyskytují, rovnoměrně. Další kritérium pro vybrání správné velikosti je taková, aby odebraný vzorek nereprezentoval pouze vzorek, ale i blízké okolí, ve kterém byl odebrán. (Pavlásek, Jačka 2014).

3.1.1. Měrná a objemová hmotnost

Měrná hmotnost se značí ρ_z a udává se v jednotkách: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Jedná se o podíl hmotnosti pevné složky půdy k objemu pevné fáze vzorku:

$$\rho_z = \frac{m_M}{V_V} \quad (1)$$

kde:

m_M – hmotnost vysušeného vzorku [g]

V_v – objem pevné fáze [cm^3]

Tato veličina je závislá na organické i minerální frakci půd, ale není závislá na pórovitosti (Šarapatka, 2014).

Objemová hmotnost je vztah mezi hmotností vzorku a celkovému objemu vzorku. Objemová hmotnost je závislá na pórovitost půdy. Půdy, které obsahují vyšší počet pórů, mají nižší hodnoty objemové hmotnosti a u půd s nižším počtem pórů je to naopak – objemová hmotnost je vyšší. Objemová hmotnost je veličina, která se dá vyjádřit dvěma způsoby, a to objemovou vlhkostí redukovanou a neredukovanou.

$$\rho_v = \frac{m_t}{V_t} \quad (2)$$

kde:

ρ_v – objemová hmotnost neredukovaná

m_t – celková hmotnost půdy [g]

V_t – celkový objem půdy [cm³]

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_t} \quad (3)$$

kde:

ρ_d – objemová hmotnost redukována [g.cm⁻³]

m_s – hmotnost pevné fáze půdy po vysušení vzorku [g]

3.1.2. Pórovitost půdy

Půda je složená z pevných půdních částic a mezi nimi se vyskytují volné prostory, které se nazývají póry. Tyto volné prostory jsou ve většině případů spojitě, mají rozdílnou velikost i tvar, a právě těmito póry se dostává do půdy voda společně se vzduchem. Celkový objem pórů lze vyjádřit jako podíl objemu pórů vztažený k celkovému objemu vzorku:

$$P = \frac{V_p}{V_t} \quad (4)$$

kde:

P – pórovitost

V_p – objem pórů [cm³]

V_t – celkový objem vzorku [cm³]

Pórovitost se dá vypočítat na základě objemové a měrné hmotnosti.

$$P = \frac{\rho_z - \rho_d}{\rho_z} * 100 \quad (5)$$

Pro výpočet pórovitosti v bobtnavých půdách, se zavádí tzv. číslo pórovitosti – e (Šarapatka, 2014)

Póry jsou charakterizované svým tvarem a velikostí. Rozdělení pórů podle velikosti je charakterizováno 3 kategoriemi:

- submikroskopické póry – neobsahují kapaliny
- kapilární póry – obsahují kapaliny a je zde laminární proudění. Kapilární póry se dělí na další 2 podkategorie:
 - o jemné kapilární póry – dlouhodobě po nasycení zadržují vodu a celkový objem těchto pórů charakterizuje půdní kapacitu
 - o hrubé kapilární póry – nejsou schopny zadržet vodu na delší časový interval
- makropóry – póry, ve kterých se již neuskutečňuje kapilární vztlínání a výjimečně se zde i může vyskytnout proudění turbulentní (Kodešová, 2015).

3.1.3. Vlhkost

Vlhkost půdy udává, jaké množství vody se v půdním kontinuu vyskytuje. Díky přítomnosti vody v půdě je umožněn růst rostlin a existence života v půdě (edafon)(Šarapatka, 2014).

Existují 2 druhy interpretace půdní vlhkosti:

- **hmotnostní** – je dána poměrem hmotnosti půdní vody vztaženým k hmotnosti pevné fáze půdy

$$w = \frac{m_w}{m_M} \quad (6)$$

kde:

m_w – hmotnost vody v půdě [g]

m_M – hmotnost vysušeného vzorku [g]

Hodnota m_M se získá sušením vzorku za konstantní teploty v sušicím boxu. Při vysušování se musí dát pozor, aby společně s vodou nebyla odstraněna jiná část vzorku jako např. organická hmota (Pavlásek a Jačka 2014).

- **objemová** – je vyjádřena poměrem objemu vody ku objemu celého půdního vzorku.

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} \quad (7)$$

kde:

V_w – objem vody v půdě [cm^3]

V_t – celkový objem půdního vzorku [cm^3]

Hmotnostní vlhkost je stabilnější z fyzikálního pohledu, protože není ovlivněna objemovými změnami půd jako je bobtnání (Pavlásek a Jačka, 2014).

Co se objemové vlhkosti týče, je ovlivněna objemovou nestálostí zemin – bobtnání (viz níže). V tomto případě se obsah půdní vody vzorku vyjadřuje číslem **vlhkosti** (Pavlásek a Jačka, 2014):

$$\omega = \frac{V_w}{V_M} \quad (8)$$

kde:

ω – číslo vlhkosti

V_w – objem kapalné fáze [cm^3]

V_M – objem pevné fáze [cm^3]

Objemová a hmotnostní vlhkost se dají převést:

$$\theta = w \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (9)$$

kde:

Objemová vlhkost lze převést na číslo vlhkosti (Pavlásek a Jačka, 2014):

$$\omega = (1 + e)\theta \quad (10)$$

kde

e – číslo pórovitosti

ω – číslo vlhkosti

3.1.4. Potenciál půdní vody

Potenciál půdní vody je hnací silou pohybu vody. Voda proudí díky rozdílu celkového potenciálu v různých místech půdy, a to konkrétně z míst s vyšším potenciálem do míst s nižším potenciálem za účelem dosažení rovnovážného stavu (Kutílek, 1994). Definice potenciálu dle Šarapatky (2014) je, že se jedná o *množství práce na jednotku půdní vody, která musí být vykonána vnějšími silami reverzibilně a izotermě, aby se množství vody přeneslo z referenční hladiny k danému bodu v systému půda – voda*. Půdní potenciál se měří tenzometrem.

Půdní potenciál má několik složek – vlhkostní (φ_w), gravitační (φ_g), pneumatický (φ_a), osmotický (φ_o) a zátěžový (φ_e)

Celkový potenciál půdní vody (Φ [J.kg^{-1}]) je vypočítán jako součet všech složek potenciálu:

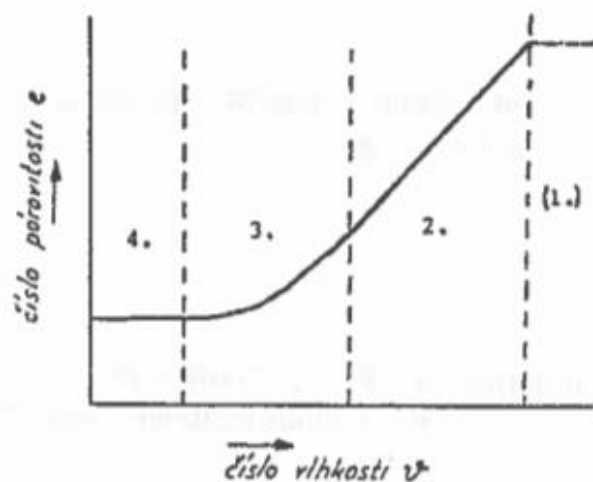
$$\Phi = \varphi_g + \varphi_w + \varphi_a + \varphi_o + \varphi_e \quad (11)$$

3.1.5. Bobtnání

Půdy s vysokým obsahem jílovitých částic při zvyšování vlhkosti, nasávají vodu z okolí a zvětšují svůj objem do té doby, než půda dosáhne rovnovážného stavu. Naopak při ztrátě vlhkosti svůj objem zmenšují. Zmenšování objemu vede ke vzniku trhlin a prasklin, které se při zvyšování vlhkosti a objemu zacelují.

ČSN CEN ISO/TS 17892-5 definuje proces bobtnání jako expanzi vlivem efektivních napětí s tím, že zahrnuje i zpětnou konsolidaci a zpětnou stlačitelnost.

Rozeznávají se 4 oblasti objemových změn vztažených k objemovým vlhkostem (obr. 1):



Obr. 1: Vymezení vlastnosti objemových změn půdy při změně vlhkosti půdy, převzato: Kutílek 2004

1. strukturální oblast – Jedná se o objemovou změnu, při níž je z makroskopických pórů uvolňována voda. V této oblasti při odvodňování nevznikají v půdě trhliny.
2. normální oblast – Dochází zde k situaci, kdy se změna objemu vody rovná objemu vody drenované, tzn. že ztráta vody je způsobena poklesem pórovitosti. Tvoří se v půdě trhliny, které při zvlhčení půdy mizí.
3. reziduální oblast – Reziduální oblast je typická tím, že do půdy vniká vzduch, který je částečnou náhradou drenované vody. Je to způsobeno, že změna objemu vody je menší než objem drenované vody. Což znamená, že bobtnání /či smršťování půdy) způsobuje pouze část vody, která se v půdě vyskytuje.
4. nulová oblast – oblast, ve které se nemění objem půdy se změnou vlhkosti (Šarapatka, 2014, Kutílek, 2004).

3.1.6. Zrnitost

Minerální částičky, které vznikají zvětráváním matečného horniny, se kategorizují do několika skupin pomocí zrnitostního složení půdy (Pavlásek a Jačka, 2014, Kutílek 2004). Půdní zrnitost je definována jako relativní podíly půdních částic, které se vyskytují odděleně v půdním prostředí (Buol, 2011). Pevný podíl půdy se skládá z minerálních částíček, které mají jistý tvar a velikost.

Pro zjištění zrnitostního složení zeminy je primární od sebe oddělit jednotlivé částice, aby mohla být zjištěna přítomnost všech zrnitostních frakcí. Po narušení přírodních tmelů a odstranění organických hmot z půdy je získána zemina pro zjištění zrnitosti (Pavlásek a Jačka, 2014).

V České republice se zrnitostní frakce vymezují na základě Taxonomického klasifikačního systému půd ČR. Samotný Taxonomický systém ČR vychází z metodiky USDA (Němeček, 2001).

Půdní částice se dělí na skelet a jemnozem a hlavním dělicím rozměrem je 2 mm. Částice s rozměry větší než 2 mm se řadí mezi **skelet** a částice menší než 2 mm se nazývají **jemnozem**. Dělicím rozměrem byly zvoleny dva mm, jelikož při tomto rozměru přestávají existovat mezi póry kapilární síly (Pavlásek a Jačka, 2014).

Jemnozem se dělí na:

- jíl – minerální částice menší než 0,002 mm
- prach – minerální částice v intervalu 0,002 – 0,05 mm
- písek – částice v rozměrech od 0,05 mm do 2 mm (Němeček, 2001)

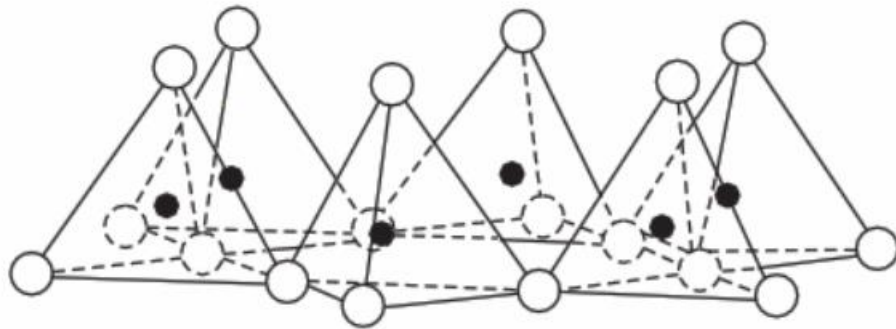
Skelet se rozděluje také na několik frakcí:

- hrubý písek – částice 2 mm – 4 mm
- štěrk – částice 4 mm – 30 mm
- kamení – částice 30 mm – 300 mm
- balvany – částice jsou větší než 300 mm (Němeček, 2001)

Sekundární jílové minerály

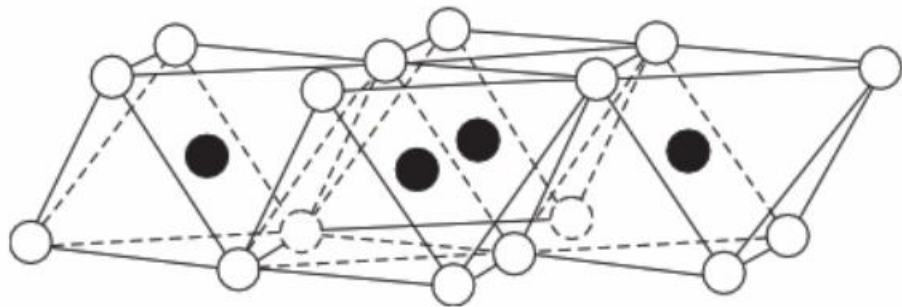
Sekundární jílové minerály jsou jedny z částic, které mají koloidní charakteristiky (Šarapatka, 2014). Jílové minerály vznikají chemickým zvětráváním, při kterém dochází k změnám v krystalových mřížkách částic (Pavlásek a Jačka, 2014). Hlavními strukturními kameny jsou křemíkové tetraedry a hliníkové nebo hořčíkové oktaedry (Šarapatka, 2017). Tyto prvky se vyskytují v jednotlivých částicích v různém poměru – nejčastěji 1:1 (Si tetraedr: Al oktaedr) - kaolinit, 2:1 (2 Si tetraedry: Al oktaedr) - montmorillonite (Hillel, 2004).

- Si tetraedry – pravidelný čtyřstěn, ve středu je umístěn Si a na vrcholech čtyřstěnu se nachází 4 kyslíkové atomy, přes které dochází k utváření tetraedrových vrstev (obr. 2).



Obr. 2: Struktura tetraedrů, převzato: Hillel, 2004

- Al/Mg oktaedry – pravidelný osmistěn (obr. 3), ve středu je Al/Mg a na vrcholech osmistěny jsou atomy kyslíky nebo OH skupiny, přes které se, jako u tetraedru, tvoří vrstvy (Šarapatka, 2014).



Obr. 3: Struktura oktaedrů, převzato: Hillel, 2004

Relativně běžným jevem je u výše zmíněných prvků záměna iontů, které se nachází ve středu za ionty, které mají podobnou velikost. Tento jev nazýváme **izomorfní substituce**. U tetraedrů se mění Si za Al, u oktaedrů Al za Mg nebo za Fe (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.1.7. Půdní koloidy

Pojem půdní koloid poprvé definoval v roce 1915 Cameron, ale koloid samotný byl objeven v roce 1890 van Bemmelenem. Jedná se o půdní částici, která není větší než 2 μm (Molina, 2014). Hlavní součástí půdních koloidů jsou jílové minerály, oxidy a organická hmota (humusové látky) a už podle diferencí v částech je jasné, že koloidy mají odlišný tvar i velikost (Pavlásek a Jačka, 2014). Tyto částice se objevují v půdě

buď dispergované nebo ve formě shluků (koagulace – shlukování), pokud se koloidy sjednocují ve větší útvary, vznikají mikroagregáty (viz kapitola 3.1.8). Na půdních koloidech je jedinečný jejich povrch, který je vzhledem k objemu částic poměrně velký a nese určitý náboj – kladný nebo záporný, ale u většiny dominují elektronegativní náboje. Díky nábojům dochází k poutání kationtů z půdního roztoku, poutání půdní vody a půdního vzduchu na povrchu pevné půdní složky, bobtnání atd. (Šarapatka, 2014, Pavlásek a Jačka, 2014)

Koloidy se rozdělují:

- dle tvaru a rozměrů:
 - izomerické – huminové kyseliny
 - anizometrické – jílové minerály
- dle prostředí na koloidy
 - hydrofilní – hydratace molekulami vody
 - hydrofobní – nerozpustné
- dle disociace a chování při adsorpci:
 - acidoidy – uvolňování a absorbování kationtů (jílové minerály, huminové kyseliny)
 - bazoidy – uvolňování a absorbování aniontů (hydratované seskvioxydy)
 - amfolytoidy – reagují na základě změn pH – v přítomnosti kyselin se chovají jako bazoidy a v zásaditém prostředí jako acidoidy (Kutílek, 2004, Šarapatka, 2014)

Soubor půdních koloidů tvoří sorpční komplex, kde na rozhraní fází pevná fáze – kapalina, plynná fáze – kapalina probíhá značná sorpce plyných, organických a kapalných látek (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.1.8. Půdní struktura

Pevná fáze půdy je složená z půdních částic. Půdní částice se v půdě odděleně nenacházejí, tvoří půdní shluky, které se jmenují agregáty. Pod pojmem půdní struktury se rozumí prostorové uspořádání půdních shluků. Dle velikosti tyto celky dělíme na makroagregáty (> 0,25 mm) a mikroagregáty (<0,25 mm). Půdní agregáty jsou ve vodním prostředí neměnné, což je způsobeno přítomností tmelících látek

a koagulací půdních částic. Agregáty nemají stejnou velikost ani tvar, a právě dle tvaru a velikosti půdních shluků lze kategorizovat různé typy půdních struktur, např. hrudovitá, zrnitá, polyedrická, kostečková (Tomášek, 2007).

Podle obsahu agregátů v půdním prostředí jsou kategorizovány 3 skupiny půd:

- půdy strukturní – jsou zde především snadno oddělitelné makroagregáty,
- půdy se slabou strukturou – místy se objevují makroagregáty, ale dominují zde nestrukturní půdní částice,
- půdy nestrukturní – půdní shluky zde nejsou patrné, mohou se zde tvořit tzv. pseudoagregáty, které ve vodě stabilní nejsou a vytvářejí homogenní půdní hmotu. Při půdní orbě nestrukturních půd lze pozorovat vznik mohutných hrud (Kutílek, 2004).

Vznik půdní struktury

Základním stavebním kamenem půdní struktury jsou mikroagregáty, které vznikají během sedimentace nebo shlukováním půdních koloidů. Jedním z důvodů, proč se mikroagregáty shlukují jsou organické látky, které mají svůj původ v procesech humifikace. Huminové kyseliny obsahují molekuly, které jsou vázané na minerální látky a zprostředkovávají stmelení minerálních částic v jeden pevný celek a později se tyto celky spojí v mikroagregát. Mikroagregáty se shlukují do makroagregátů. Makroagregáty vznikají také díky objemovým změnám půdy (vysychání) (Pavlásek a Jačka, 2014).

Organická hmota a půdní struktura

Organická půdní hmota dle Sotákové (1982) je složitý polydispersní soubor organických látek, které mají rozlišný původ a její celkové složení je proměnlivé.

Dělí se do několika skupin (Valla, 1980):

- humusotvorný materiál – odumřelé zbytky rostlin a organismů,
- meziprodukty rozkladu a syntézy,
- humus – organická hmota, která prošla humifikačními procesy.

Golchin a kol. (1995) rozdělují organickou hmotu do dvou kategorií:

- lehká frakce – zbytky odumřelých rostlin, živočichů,
- těžká frakce – humusové látky.

Organické látky podléhají procesům, které mění jejich původní charakter. Jedná se o procesy mineralizace, humifikace, ulmifikace a karbonizace (Horáček a kol., 1999).

Mineralizace je proces, který je charakterizován jako rozklad organických látek za vzniku látek anorganických. Při mineralizaci dochází k rozkladu humusotvorného materiálu až na základní složky. Proces probíhá za aerobních i anaerobních (pomalejší průběh) podmínek (Šimek, 2003).

Humifikace je proces, při kterém vznikají z organických látek nové a složitější humusové látky. Proces probíhá za přítomnosti dusíku (Svobodová, 2011).

Přítomnost organické hmoty v půdě vede k určitým změnám v půdním prostředí přes úrodnost půdy až po zlepšení fyzikálních vlastností půdního prostředí (Prax a kol., 1995):

- organická hmota uvolňuje během procesu mineralizace látky, které slouží jako zásobárny živin pro rostliny, které jsou pro ně postupně uvolňovány,
- humus obsažený v půdě podporuje tvorbu tzv. sorpčního komplexu, díky kterému nedochází ke ztrátě živin,
- huminové kyseliny mají pozitivní vliv na agregaci půdních částic – lepší provzdušněnost u těžkých půd, podporuje tvorbu drobtovité půdní struktury, což vede k omezení výparu,
- při rozkladu organické hmoty se uvolňují do půdy CO_2 a jiné organické látky, které přispívají k intenzivnímu zvětrávání minerální složky, takže půda je obohacována o minerální látky, čímž se přispívá k větší úrodnosti půdy.

3.1.9. Možnosti ovlivnění půdní struktury

Půdní struktura je ovlivnitelná hned několika faktory – antropogenní, chemické, fyzikální a biologické. Přítomností různých prvků je možné ovlivňovat vlastnosti, ale i strukturu půdy. Působení člověka na životní prostředí má negativní, ale i pozitivní vlivy. Samotné zemědělské zpracování půdy ovlivňuje strukturu zásahem těžkých technologií do půdního profilu a mění charakter krajiny. Je prokázáno, že přidávání statkových hnojiv do půdy ovlivňuje pozitivně její úrodnost, tzn. že se zlepšují i hydrofyzikální vlastnosti půdy (Prabakaran, 2010).

Agrotechnologie

Zpracování půdy pomocí agrotechnologií může ovlivňovat pohyb půdní vody, a tudíž lze ovlivnit celkové hospodaření s půdní vodou v krajině. Jedním z cílů obdělávání půdy je zlepšení fyzikálních vlastností půdy (Kameníčková a kol., 2012). Je dokázáno, že intenzivní používání zemědělských strojů a příslušenství negativně narušuje půdní strukturu, jelikož se narušují půdní agregáty, a to vede ke vzniku agregátů nestrukturních neboli pseudoagregátů (Ledvina a kol, 2000). Pokud se ale zmírní intenzita obhospodařování půdy těžkou technikou, vede to ke zlepšení strukturních vlastností. Pro zmíněné zlepšení půdní struktury se předpokládá minimalizovat pojezdy v období vyšší půdní vlhkosti, aby půda nebyla vystavována extrémním tlakům.

Pro šetření půdy a zachování půdní struktury se používají bezorebné technologie, tzv. minimalizační technologie, které nejsou pouze ekologické ale i ekonomické (Kováč a Kubinec, 1998).

Minimalizační technologie

Úprava půdy minimalizačními technologiemi se vyznačuje zásahem do půdy maximálně do hloubky 20 cm. Jedná se pouze o kypření svrchní vrstvy půdy a tím se zamezí vysychání spodních vrstev, kde se vyskytuje humusový horizont. Pokud zůstane více jak 30 % povrchu půdy zakryto posklizňovými zbytky, vytvoří se půdoochranná vrstva.

Kypřením pouze jedné hloubky vzniká v půdním profilu tzv. plužní pánve. Přítomností plužní pánve se díky pojezdům utužuje půdní profil, což negativně ovlivňuje strukturu i hydro-fyzikální vlastnosti půdy. Tato skutečnost ovlivňuje i vývoj kořenového systému rostlin. Po dlouhodobém zavlhčení se stává půda trvale zamokřenou a vzniká zde utužená vrstva. Pro zajištění lepších vlastností je nutné tuto vrstvu zkypřit – obnovit půdní strukturu a celkový vodní režim (Bažantová, 2017).

Použití minimalizačních technologií má pozitivní vliv na půdní strukturu, z čehož vyplývá, že se zlepšuje i vodostálost půdní vody v půdním prostředí a omezení větrné eroze (Hůla, 2004).

Biochar

Biochar je zuhelnatělá biomasa, která je bohatá na podíl organické hmoty. Biochar vzniká metodou zvanou pyrolýza. Pyrolýza je proces, který se řadí do termických dějů, tj. chemické děje způsobené změnou teploty. Celý děj probíhá při nedostatku kyslíku, při kterém je zkoumaná látka rozložena na nízkomolekulární materiál a pevný zbytkový odpad. Při teplotách 300-500 °C se z látky odpařují CO₂, dehtové a vodní páry (Jílková et al., 2012).

Díky přidání biocharu lze docílit pozitivní změny půdní struktury. Důvod, jakým biochar dokáže zlepšit půdní strukturu je, že dokáže zvýšit pórovitost půdy a zintenzivní aktivitu edafonu v půdě, což zvyšuje např. obsah N₂ v půdě nebo zvýší celkovou prokypřenost půdního prostředí. Tyto faktory zřetelně mění povahu hydraulických vlastností prostředí (Lei a Zhang, 2013; Barnes a kol., 2014; Yazdanpanah a kol., 2016). Další pozitivní vlastnosti aplikování biocharu do půdy je zvyšování sorpční kapacity půdy, snižování toxicity kovů, které se v půdním prostředí vyskytují, a snižování přítomnosti CO₂ v atmosféře (Trakal a kol., 2014, Mohamed et al., 2016, Uchimyia a kol., 2011).

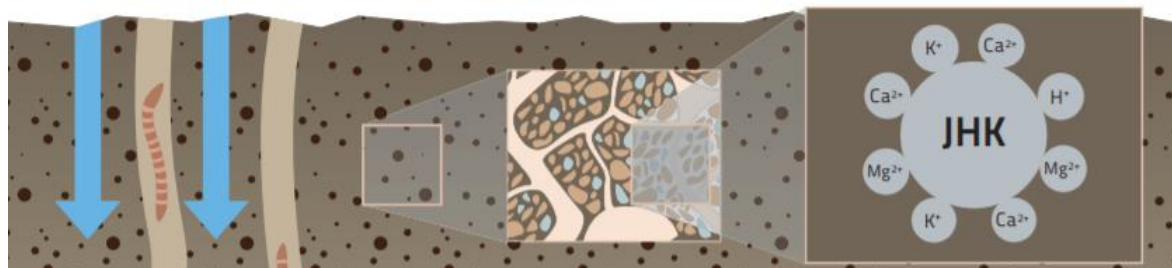
Jak bylo zmíněno výše, biochar neboli biouhel, může mít pozitivní vliv na hydraulické parametry půdy. Jak přidání tohoto přípravků může ovlivnit K_s, nebylo zkoumáno ve větší míře, ale Lim a kol (2016) ve své publikaci zmínil, že biouhel zvyšuje hodnoty K_s v půdách bohatých na jílové částice.

NeoSol

Přípravek NeoSol (dříve PRP Sol) je vytvořen na bázi dolomitového vápence. Jedná se o granulový koncentrát, který upravuje charakter půdních procesů – proudění vody tím, že podporuje biologickou aktivitu v půdě a díky tomuto faktoru se zlepšuje úrodnost půdy, protože zde bude probíhat lepší přeměna organické hmoty (Podhrázská et al., 2012). NeoSol má aktivační účinek díky technologii MIP soil. MIP soil účinkuje díky výskytu jedinečných minerálních látek a podněcuje produkci enzymů (PRP Technologies, 2017).

Daný přípravek v půdě mění strukturu a velikost makro a mikropórů, díky čemuž se zlepší provzdušněnost půdy a cirkulace vody v půdním prostředí. Podporuje tvorbu

sorpčního komplexu, díky tomu se v půdě tvoří stabilnější agregáty a živiny, které se v půdním prostředí vyskytují jsou lépe využívány (obr. 4).



Obr. 4: Vizualizace pozitivních účinků přípravku NeoSol

NeoSol se skládá z výše uvedeného MIP soil aktivátoru, biopolymerů rostlinného původu, polysacharidům pocházejících z mořských řas a z karbonátů, CaO – oxid vápenatý a MgO – oxid hořečnatý (PRP Technologies, 2017).

3.2. Cykly vybraných prvků v půdě

Půda je kontinuum, kde probíhají chemické výměny látek – iontů a kationtů. Půdní složky dle chemismu dělíme na látky minerální, organické a organominerální látky. Minerální látky jsou důležité pro vývoj rostlin. Minerální látky mají litosférický původ a do oběhu se dostávají díky zvětrávání.

3.2.1. Uhlík

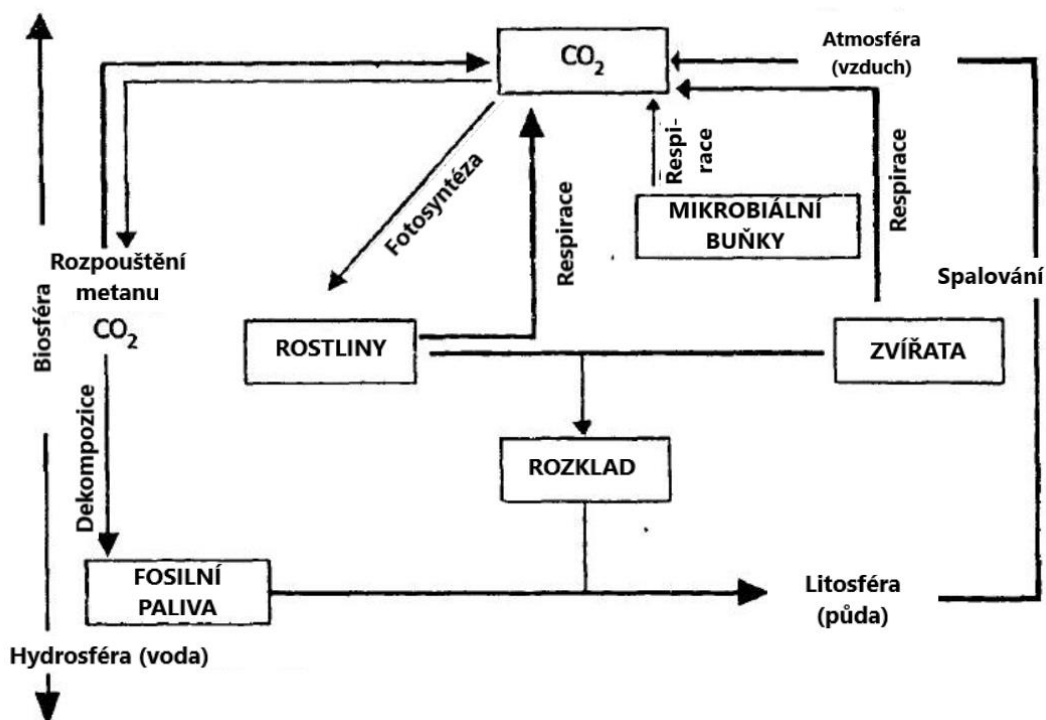
Uhlík (C) se v půdě vyskytuje ve dvou formách – organické a anorganické. Na cyklu uhlíku se podílejí všechny živé organismy (Prabakaran, 2010). Cyklus uhlíku zahrnuje přenos oxidu uhličitýho – CO₂ a organického uhlíku do atmosféry, kde uhlík figuruje v anorganické formě.

Uhlík se vyskytuje i hydrosféře a litosféře v rozličných koncentracích a v různých formách. V redukované formě se uhlík vyskytuje jako metan – CH₄ a v oxidované jako CO (oxid uhelnatý) a CO₂ (Prabakaran, 2010).

CO₂ je do atmosféry uvolňován jako produkt rostlinné respirace a je využíván jako vstupní látka fotosyntézy. Do uhlíkového cyklu se vrací při rozkladu rostlinné hmoty.

Uhlíkové sloučeniny, které byly ztraceny během přeměny rostlinných produktů, např. metan, jsou oxidovány pomocí anorganických reakcí na CO_2 .

Díky mikrobiální dekompozici celulózy, ligninu a hemicelulózy vznikají sloučeniny uhlíku, které jsou běžnou součástí rostlinných a živočišných organismů, jako je např. inulin (polysacharid sloužící jako zásobní látka rostlin) (Prabakaran, 2010).



Obr. 5: Cyklus uhlíku, převzato: Prabakaran, 2010, přeloženo autorem

Na obr. 5 jsou v uhlíkovém cyklu zobrazeny i fosilní paliva, které vznikly za působení vysokého tlaku z odumřelých těl rostlin a živočichů. Fosilní paliva nejsou přímo aktivována činností mikroorganismů. Spalováním těchto paliv dochází ke zvyšování CO_2 v atmosféře, což má za důsledek zvyšování teplot v globálním měřítku. Tento jev je označován jako skleníkový efekt (Prabakaran, 2010).

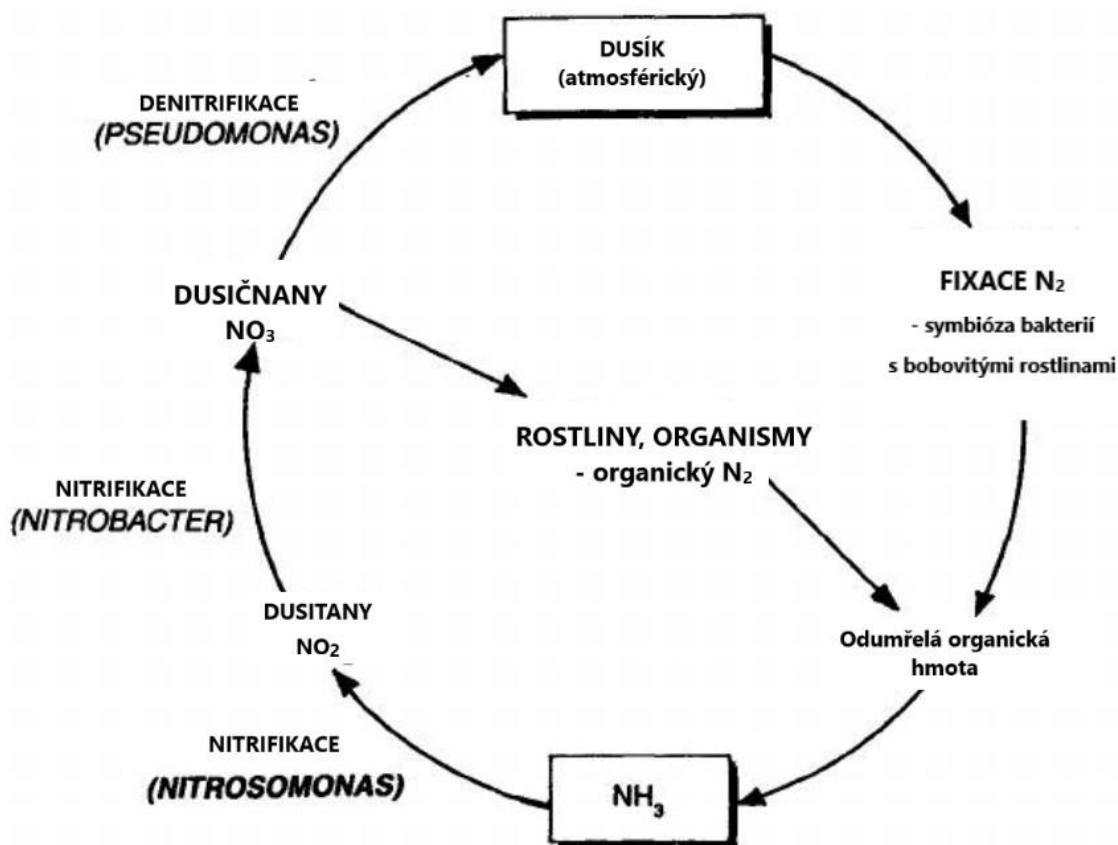
3.2.2. Dusík

Rostliny dokážou pojmout dusík v jakékoli formě – organické, anorganické, minerální. Dusík je spojen s tvorbou organické půdní hmoty – humusu. Dusík patří mezi biogenní prvek, tudíž je k nalezení všude v přírodě – zelené rostlinné barvivo chlorofyl, nukleové kyseliny apod.

Dusík se vyskytuje v půdě ve formě organické nebo jako amonný ion NH_4^+ , který vznikl jako produkt rozkladu rostlinných a živočišných organismů. Může se vyskytovat i v atmosférických srážkách jako výsledek znečištění ovzduší – dochází zde k přeměně na dusitany či dusičnany díky nitrifikaci.

Množství dusíku, které mohou rostlinu využívat je závislé na půdním typu, klimatických poměrech i na ročním období. Důvod proč obsah dusíku během ročních období osciluje je ten, že na jaře dochází k procesům mineralizace a nitrifikace. V letních obdobích, během vegetačních sezón, je velké množství dusíku spotřebováváno rostlinami. Na podzim dochází k rozkladu organických zbytků.

Obsah dusíku se v půdě zvyšuje dusíkatými hnojivy. Dusíkatá hnojiva prosakují do půdy dále a mohou i do podzemních vod, čemuž zabraňuje proces denitrifikace (Kutílek, 2004).



Obr. 6: Cyklus dusíku, převzato: Prabakaran, 2010, přeloženo autorem

V půdě dochází ke čtyřem fázím, ve kterých dochází k metamorfóze přeměny dusíku (obr. 6), tyto fáze popisuje Prabakaran (2010):

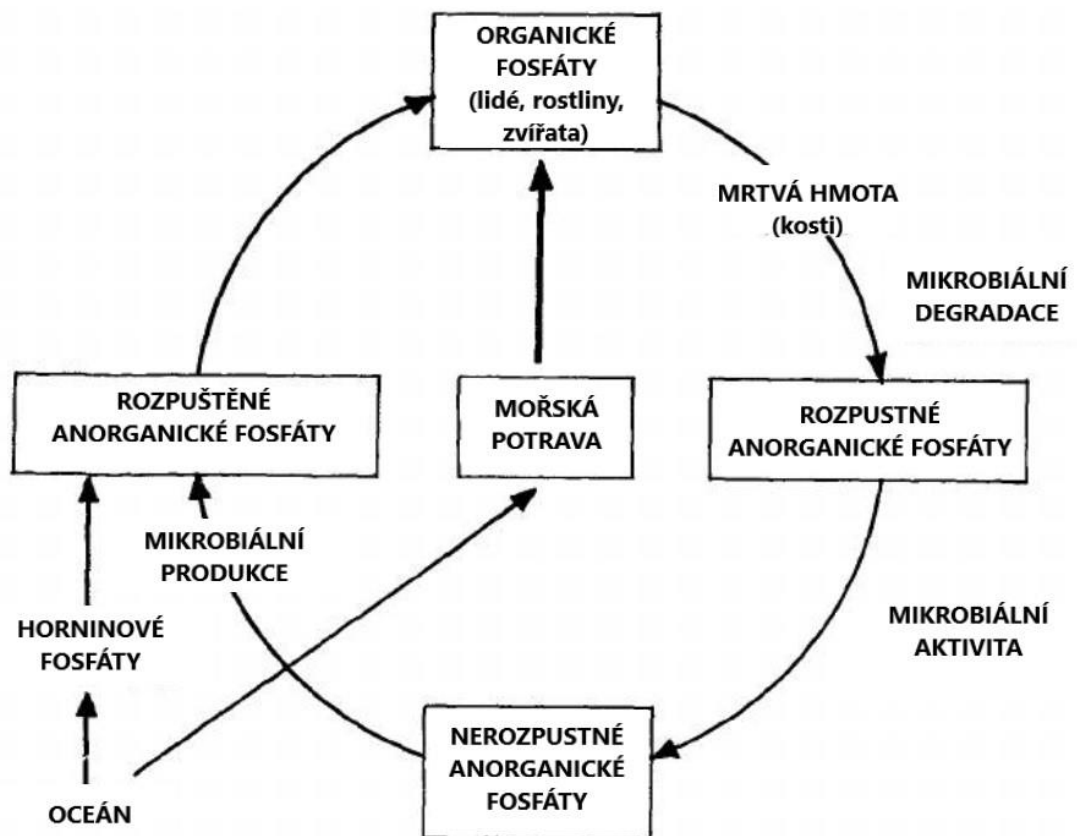
- **fixace dusíku** – mikroorganismy převádí plynnou formu dusíku na NH_3 – meziproduktem této reakce je diamid a hydrazin. Dusík se fixuje díky symbióze mezi bakteriemi a vybranými vyššími rostlinami.
- **amonifikace** – jedná se o proces, kde dochází k přeměně organického aminového dusíku na amoniak NH_3 . Z odumřelé organické hmoty se v půdě tvoří aminokyseliny, které se poté přetváří na amoniak a pomocí enzymu deaminázy se stává z organického dusíku anorganický dusík.
- **nitrifikace** – jedná se o oxidaci amonných iontů na dusičnany, které se poté přeměňují na dusitany. Tato reakce je součástí aerobního dýchání a způsobují ho především autotrofní bakterie. I některé rody heterotrofních bakterií jsou schopny nitrifikace.
- **denitrifikace** – proces, při kterém z dusičnanů vznikají dusitany, následně vzniká i molekulární dusík (N_2) společně s oxidem dusným (N_2O). Tuto reakci zapříčiňují opět mikroorganismy, konkrétně bakterie rodu *Chromobacterium* atd.

3.2.3. Fosfor

Obsah fosforu v půdních typech, které jsou pro naše území typické nepřesahuje 0,07 %. Fosfor se ve velké míře vyskytuje v přírodě jako fosforečnan vápenatý (CaPO_4^+) a je součástí mnoha minerálů. Fosfor je biogenní prvek a v organické formě se v přírodě vyskytuje jako součást nukleotidů (ATP, NADP, GTP), fosfolipidů, fosfoproteinů atd. Tento prvek lze velmi vzácně objevit i v atmosféře.

Sloučeniny fosforu, které v půdě najdeme jsou především ve formě PO_4^{3-} - fosforečných iontů, HPO_4^{2-} - hydrogenfosforečných iontů a $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ - dihydrogenfosforečných iontů.

Fosfor tvoří nejčastěji sloučeniny s vápníkem (Ca), které jsou typické pro slabě zásadité půdy. Dalším prvek, který tvoří sloučeniny společně s P je hliník (Al) a železo (Fe) (Prabakaran, 2010). Na Obr. 7. je zobrazen cyklus fosforu k přírodě.



Obr. 7: Cyklus fosforu, převzato: Prabakaran, 2010, přeloženo autorem

Mikroorganismy, které se v půdě vyskytují, mohou fosfor transformovat 4 způsoby (Prabakaran, 2010):

- změna rozpustnosti anorganického fosforu – mikroorganismy (mykobakterie, štetičkovci atd.) produkují kyselinu dusičnou a kyselinu sírovou, které s fosfátovými sloučeninami reagují na rozpustné sloučeniny: z fosforečnanu vápenatého vzniká hydrogenfosforečnan vápenatý ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow \text{CaHPO}_4$),
- přeměna anorganického fosforu na organický – přeměnit anorganický fosfor na organický dokáží rostliny v Krebsově cyklu či při syntéze glukózy,
- mineralizace organických fosfátů – v půdním kontinuu nemůže být organická forma fosforu vstřebána a využita rostlinami, bakterie přeměňují organický P na anorganický a během tohoto procesu se uvolňují minerální látky,
- oxidačně redukční reakce.

Fosfor se stává pro rostliny přístupným na základě pH půdy, zda dané území obsahuje minerální látky – Fe, Al.

3.2.4. Draslík

Draslík se řadí mezi makrobiogenní prvky, a jeho přítomnost v půdě je jeden z faktorů pro udržení dobré úrodnosti půdy. Je velmi důležitý pro veškeré fyziologické funkce organismů.

Draslík je element jílových minerálů. K se dle Šarapatky (2014) objevuje v přírodě ve třech formách:

- minerální – živce, slídy – 90-98 %
- dostupný K – vyskytuje se v půdní vodě nebo jako součást koloidních povrchů
- pomalu dostupný K – tato forma je velmi silně poutána půdními koloidy

3.3. Pohyb půdní vody

Voda se vyskytuje v půdě ve 3 skupenstvích – pevné, kapalné i plynné. Hlavním zdrojem vody v půdě jsou atmosférické srážky, infiltrace z toků a vztlínáním z hladiny podzemní vody. Na půdní vodu působí síly, které zapříčiňují její pohyb (viz potenciál půdní vody atd.).

3.3.1. Darcyho zákon

Darcyho zákon byl formulován Henrym Darcym v roce 1865 (Kuráž, 2014). Darcyho zákon matematicky interpretuje, jak rychle protéká kapalina porézním prostředím v závislosti na hydraulickém gradientu a platí v plně nasyceném prostředí (Vomočil, 2013).

Dle Kuráže (2014) je q objemový tok (neboli Darcyovská rychlost) v porézním prostředí a ten se vypočítává:

$$q = -K_s \frac{dH}{dx} \quad (12)$$

kde:

q – objemový tok [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

K_s – nasycená hydraulická vodivost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

dH – rozdíl hydraulických výšek [m]

dx – změna v ose x [m]

3.3.2. Nasycená hydraulická vodivost

Nasycená hydraulická vodivost (K_s) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] vyjadřuje, jak proudí kapalina v porézním prostředí. Je to veličina, která závisí na dynamické viskozitě (μ), propustnosti (K_p) a hustotě proudící kapaliny (ρ). Parametr **propustnosti** zahrnuje charakteristiky půdního prostředí, které umožňují propouštět vodu, jako např. tortuozita (= zakřivení pórů), pórovitost, zrnitostní složení aj.

$$K_s = \frac{K_p \rho g}{\mu} \quad (13)$$

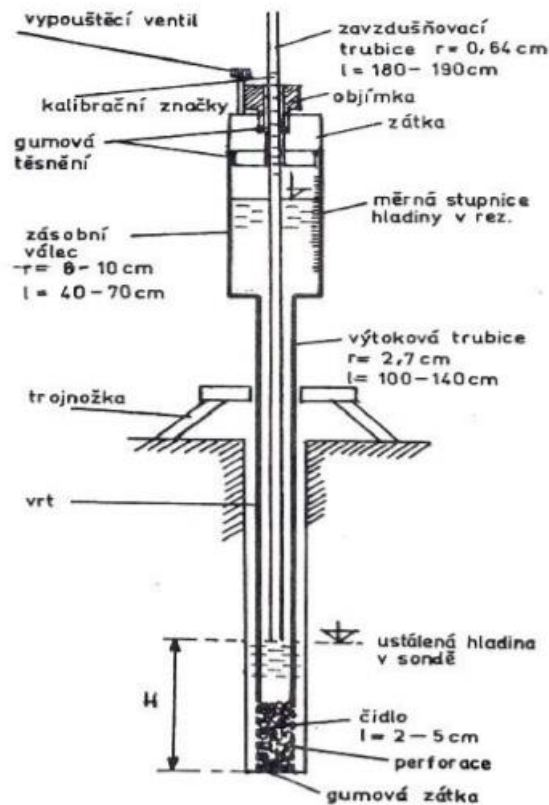
Metody stanovení nasycené hydraulické vodivosti

Metody, jimiž lze stanovit nasycená hydraulická vodivost jsou proveditelné v laboratoři nebo v terénu. Další způsob stanovení K_s je **odhad hodnot na základě pedotransferových funkcí**. Postup je takový, že se změří lépe zjištělné parametry – body retenčních čar, zrnitosti apod. Na základě těchto znalostí se hledají odpovídající hodnoty K_s . Nepřímé stanovení K_s lze provést pomocí modelu ROSETTA (Kodešová, 2005).

K laboratorním metodám řadíme několik postupů. Jedna z laboratorních metod je měření K_s na laboratorním permeamtru, která bude popsána v kapitole 5.2.2., kde bude objasněno měření K_s s proměnným i konstantním spádem.

Terénní metody

V terénu lze nasycenou hydraulickou vodivost měřit např. **Guelphským permeametrem** (obr. 8). Výhoda přístroje je, že v dobře soudržných půdách dokáže K_s měřit i ve větších hloubkách. Pokud se bude jednat o nesoudržnou půdu, bude se hloubka měření odvíjet od stability vyvrtané sondy.



Obr. 8: Schéma Guelphského permeamtru, převzato: Matula, 1989

Přístroj se umístí do vyvrtané sondy o známém průměru. V prvním kroku měření se nastaví konstantní tlaková výška (hladina vody v sondě) pomocí trubice, která obstarává přístup vzduchu. Díky přístroji se zjistí ustálená hodnota infiltrační rychlosti a tlak, kterým voda působí na stěny a dno sondy. Dalším krokem je samotný výpočet K_s (Kodešová, 2005):

$$K_s = \frac{CAR}{2\pi H^2 + \pi r^2 C + \frac{2\pi H}{\alpha}} \quad (14)$$

kde:

C – tvarový koeficient závislý na H/r

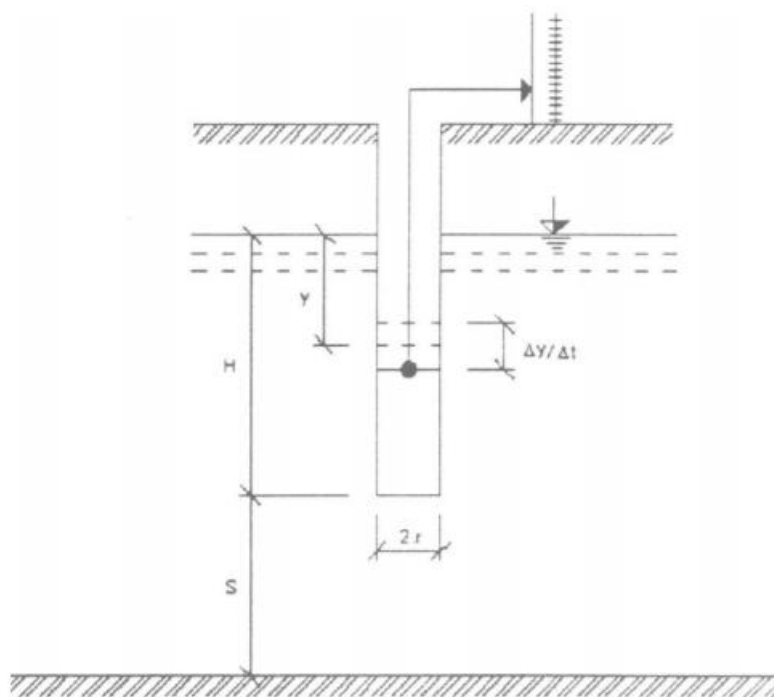
A – průřezová plocha zásobníku vody [m^2]

R – ustálený pokles hladiny v zásobníku vody

a – poloměr vrtu

α – parametr charakterizující strukturu půdy

Mezi další terénní metody se řadí měření **jednosondovou metodou**. Principem této metody je měření vtoku podzemní vody do předem vyhloubené sondy (obr. 9). Jednosondová metoda má několik omezení, které se během měření musí respektovat, tj. – homogenita půdního profilu, stejná propustnost v půdním profilu a konstantní hladina podzemní vody. Metoda je vhodná pro měření v menších hloubkách.



S – vzdálenost od nepropustné vrstvy
H – hloubka vrtu
r – poloměr sondy
 $\frac{\Delta y}{\Delta t}$ – změna hladiny ve vrtu

Obr. 9: Schéma jednosondové metody, převzato: Kutílek, 2004

Na začátku měření se musí připravit sonda o známém průměru. Nejdříve se nechá ustálit hladina a hodnota, na které se hladina ustálila se zapíše. Dále se odčerpá cca $\frac{1}{4}$ výšky vody a opět se hodnota zaznamená. Měří se rychlost vzestupu vody v sondě na kratším úseku.

Ve vzorci č. 15 se objevuje tzv. tvarový součinitel, jehož výpočet je popsán podrobněji v publikaci od Miroslava Kutílka – Vodohospodářská pedologie (1978). Díky rychlosti vzestupu vody v sondě, se může vypočítat K_s na základě vzorce (Kutílek, 1978):

$$K_s = C_t \frac{dy}{dt} \quad (15)$$

kde:

C_t – tvarový součinitel

dy – derivace rychlosti vzestupu vody v sondě

dt – derivace času

4. Charakteristika místa odběru vzorků

Místo, na kterém došlo k odběru vzorků leží v katastrálním území obce Sloveč, které má rozlohu 1249 ha a 537 obyvatel. Do území spadají i další dvě přilehlé obce – Kamilov a Stříhov. Obec leží na pomezí Středočeského a Královehradeckého kraje v blízkosti města Městec Králové, ale spadá do kraje Středočeského, konkrétně leží v okrese Nymburk (obr. 10).



Obr. 10: Lokalizace odběrového místa, zdroj: <https://www.arcgis.com>, podkladová mapa National Geographic

4.1. Klima

Strahler (2013) ve své publikaci zmiňuje, že celé ČR spadá do vlhké kontinentální oblasti, která lží v tzv. před-polární zóně, na styku polárních a tropických větrů. Pro tuto oblast jsou typické sezónní výkyvy teplot a každodenní počasí je lehce proměnlivé. Jsou zde typická horká léta a chladné zimy, což způsobují tropické větry (tj. mT-přímořské tropické) a polární (cP kontinentální polární a cA – kontinentální arktické) vzduchové masy. Jako vegetační pokryv zde původně dominovali lesní porosty.

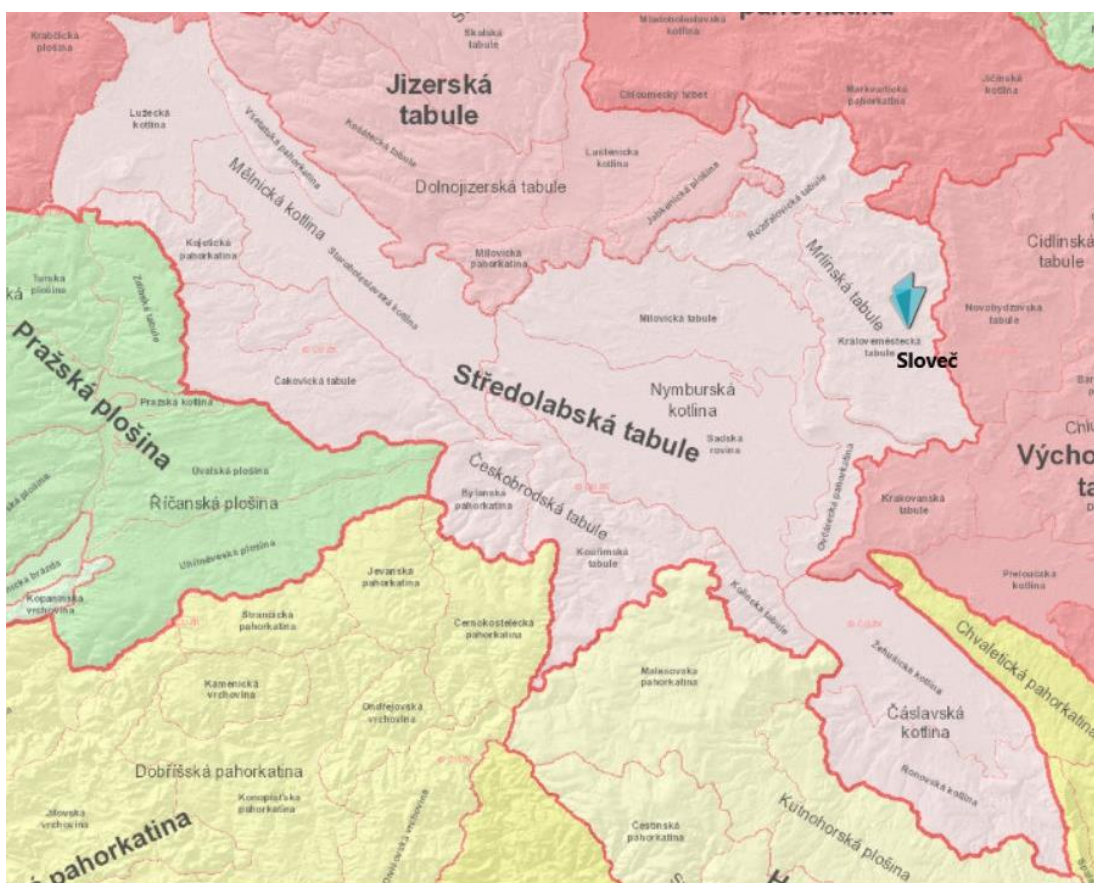
Dle Quitta (1971) patří konkrétní zkoumaná oblast do teplé, mírně suché oblasti T2. Tato oblast je charakterizována průměrnými ročními teplotami okolo 8-9 °C. Roční

úhrn srážek je od 500 do 600 mm a pravděpodobnost suchých vegetačních období se pohybuje v intervalu 20-30 %.

4.2. Reliéf a geomorfologie

Reliéf území, na kterém leží obec Sloveč, je mírně zvlněný. Obec se nachází v nadmořské výšce 218 m. Celé území je součástí hercynského systému. J. Juda (2016) píše, že v prvohorách bylo celé území hercynského systému zdviženo hercynským vrásněním. V druhohorách byla krajina zaplavena mořem, což bylo způsobeno poklesem celé České vysočiny. Díky přítomnosti moře je na území značná vrstva sedimentů s minerální povahou. Skutečnost, že se zde vyskytovalo moře, může být důvodem většího obsahu CaCO_3 – uhličitanu vápenatého.

Obec Sloveč spadá do dominující geomorfologické provincie Česká vysočina, která se dělí na několik dalších subprovincií. Sloveč spadá konkrétně do České tabule, konkrétně do Středolabské tabule a je součástí Královéměstské tabule (obr. 11).



Obr. 11: Geomorfologické členění Středolabské tabule, zdroj: <http://geoportal.cuzk.cz/Geoprohlizec>

4.2.1. Středolabská tabule

Středolabská tabule se nachází ve středních a jižních částech České tabule. Celková rozloha je 4354 km² a střední nadmořská výška je cca 243 m. Středolabská tabule je složena ze subhorizontálně uložených slínovcových hornin, které jsou součástí české křídové pánve. Georeliéf tohoto geomorfologického celku je charakteristický výskytem několika strukturních plošin, které se vyskytují ve více výškových stupních, tento jev se nazývá jako **stupňovina**. Veškeré tvary, které se ve Středočeské tabuli vyskytují, jsou ovlivněny tokem řeky Labe (Demek, 1987).

4.2.2. Královéměstecká tabule

Královéměstecká tabule se vyskytuje na východě a jihovýchodě Mrlínské tabule. Jedná se o plochou pahorkatinu, která se vyskytuje v levostranných přítocích řeky Mrliny. Reliéf Královéměstecké tabule má tzv. denudační charakter, což znamená, že se jedná o území, na kterém probíhalo několik procesů, které vedly k zarovnávaní zemské kůry, tudíž ke zmenšování nadmořské výšky. Jedna z nejvýznamnějších denudačních oblastí je Nymburská kotlina, kde se nachází významné body jako jsou Kostelíček – 241 m a Vinný vrch, který sahá do výše 251 m (Demek, 1987).

4.3. Geologie

Území České republiky se skládá z několika geologických jednotek. Obec Sloveč patří do jednotky zvané Mezozoikum Českého Masívu, pro který jsou typická 3 období – křída, jura, trias. Sloveč se nachází ve křídě, konkrétně ve druhém nejstarším stupni – spodním turonu. Spodní turon je charakteristický přítomností vápenitých jílovců, slínovců a méně jílovitých vápenců (Cháb a kol., 2007).

Vápence jsou primárně složeny z uhličitanu vápenatého = kalcit. Pro vápence je typická reakce s HCl – nastává bouřlivé šumění za vzniku CO₂. Vápencovité horniny obsahují částice v rozmezí 0,005 – 2 mm. Kalcit se vyskytuje v přírodě v několika formách, a to jako vápenitý kal, detritická zrna, kalcitové krystaly, fosílie (schránky živočichů – lilijice, trilobiti) (Price a Walsh, 2006, Symes, 1995).

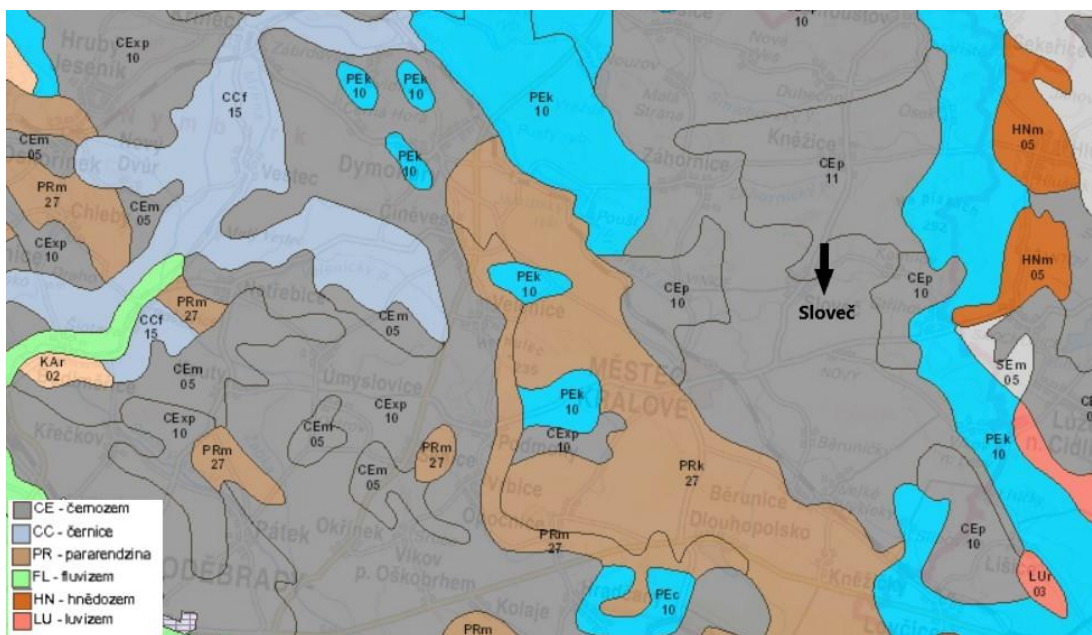
Jílovec je hornina, která se skládá z jílových minerálů, např. kaolinit. Hornina je produkt chemického zvětrávání. Ve vlhkých podmínkách se jedná o velmi tvárnou

horninu. V případě, že se hornina nachází ve větším množství vody, dochází k jejímu rozpouštění (Price a Walsh, 2006, Symes, 1995).

Slín neboli **slínovec** je odrůda jílovce, která obsahuje velké množství CaCO_3 . Díky přítomnosti této látky, může lehce reagovat s kyselinou. Slín má vedlejší složky sádrovce a železitých minerálů (Price a Walsh, 2006, Symes, 1995).

4.4. Pedologie

Na Obr. 12 je vidět, že na zkoumané oblasti se vyskytují především černozemě a pelozemě. Na území se z větší části rozmáhají černozemě, konkrétně černozemě pelická.



Obr. 12: Půdní typy ve vybraném území, zdroj: Půdní mapa ČZU

4.4.1. Černozemě

Půdní subtyp černozemně, která se vyskytuje ve zkoumané oblasti, je černozem pelická, která je typická vyšším obsahem jílu. Tento půdní typ je nejtypičtější skupina referenční třídy černosolů. Černozemě se vyvinuly pod původní stepí a lesostepí, jedná se o velmi úrodné půdy, tzn. že všechny černozemě jsou téměř bez výjimky používány jako orná půda. Na černozemích lze pěstovat náročné plodiny typické pro české zemědělství, jako jsou pšenice, kukuřice (Tomášek, 2007).

Původním matečným substrátem jsou v zájmové oblasti slínovce, vápenité jíly a vápenité písky (Tomášek, 2007). Černoze se nevyskytují v nadmořské výšce vyšší než 300 m (Tomášek, 2007). Jedná se o půdní typ, který se vyskytuje zejména v oblastech, kde se střídají značně teplá a studená období (Strahler, 2013).

Charakteristickým znakem černoze je obohacení jílovitými částicemi, což je důsledkem přeměn a obohacování (= iluviace) a následnou akumulací karbonátů (Němeček a kol., 1990). Horizont, kde se nachází akumulované karbonáty jsou způsobené přítomností jemnozrnných karbonátových frakcí – mikrokrystalický kalcit. Dalším typickým znakem černoze je přítomnost humózního horizontu (Němeček a kol., 1990). Šarapatka (2014) píše, že organické látky se v půdě akumulují vznikem jílovito-humusového komplexu, kdy se huminové kyseliny spojují s vápníkovými můstky společně s jílovitou složkou půdy.

4.4.2. Pelozem

Na necelé jedné čtvrtině katastrálního území Sloveč se objevuje pelozem, která patří do referenční třídy Kambisol. Nejedná se o typický půdní typ pro Českou republiku. Ve Středních Čechách je rozšířena v malém množství a centrum rozšíření je především v severovýchodních Čechách (Tomášek, 2007). Pelozemě vznikly na slabě zpevněných jílech. Jíly jsou pro pelozemě typické, a proto se řadí mezi **velmi těžké půdy** (Šarapatka, 2014). I pro tento půdní druh platí, že se nevyskytují v oblastech ve velkých nadmořských výškách. Pelozemě se vyskytují v nadmořských výškách do 400 m (Tomášek, 2007).

U celé skupiny pelosolů se vytváří tzv. metamorfický horizont, který vzniká zvětváním zpevněných jílu (Němeček a kol, 1990).

Půdní profil pelozemě je tvořen především hlubokým humusovým horizontem, který je vysoký cca 30 cm a pod ním je umístěný horizont obsahující vnitro-půdní zvětralinu, což způsobuje proces braunifikace. Při braunifikaci dochází k uvolňování a zvýšené aktivitě Fe, která vytváří spodnímu horizontu hnědou barvu (Strahler, 2013)

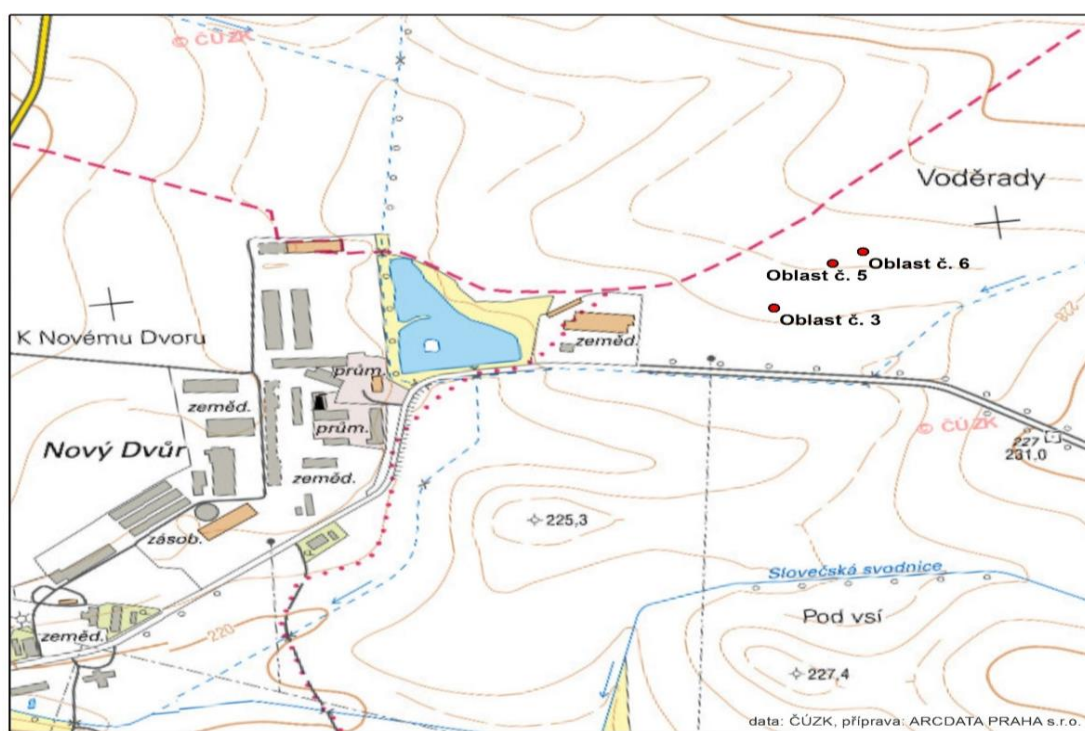
5. Metodika

V následující kapitole jsou popsány postupy jednotlivých kroků, které vedly k samotnému měření. Během odběru a přípravy vzorků bylo postupováno dle publikace Pedologické praktikum – Valla (2002).

5.1. Odběr vzorků

Odběr vzorků probíhal 15.9.2017 na poli Zemědělské společnosti Sloveč a.s. Pole je rozděleno celkově na 9 oblastí a v každé z nich se zkoumá kombinace jiných podpůrných prostředků a hnojiv. Pro vlastní měření se zvolily 3 následující oblasti, které jsou zobrazeny na Obr. 13:

- oblast č. 3 – kombinace kravského hnoje a NPK,
- oblast č. 5 – NeoSol s NPK,
- oblast č. 6 – pouze NPK – vzorky z této oblasti sloužili jako kontrolní.



Vytvořil: Bc. Barbora Kalinová
Obr. 13: Mapa odběrových oblastí

1:10 000

↑ **Legenda**
● Oblasti

Na místě odběru se odebíraly 2 typy vzorků – porušené a neporušené:

Neporušené vzorky se odebíraly do Kopeckého válečků a objemu 100 cm³. Ve vybrané oblasti se vyhloubila cca 10 cm hluboká jáma, poté následovalo zarovnání půdy, čímž mohly započít odběry neporušených vzorků. Nejprve se na tupou stranu Kopeckého válečku nasadil násadec a začal se vtlačovat plynule, bez viklání, směrem dolů do půdy. V případě půdního typu v odebíraných oblastech nebylo zatlačování válečku jednoduché. Nejdříve se zvolil postup takový, že se násadec zatloukal do půdy palicí. Tento postup nebyl úspěšný, jelikož docházelo k narušení vzorku uvnitř Kopeckého válečku – odlamování zeminy apod. Pro snazší a spolehlivější odběr se po vtlačení válečku uvolnila půda okolo násadce do takové míry, aby zbylá zemina měla o něco málo větší průměr než váleček kvůli snížení odporu půdy. Na násadec se tlačilo do té doby, než půdní sloupec nepřesahoval hranu válečku.



Obr. 14: Odběr vzorků ve zkoumané oblasti, foto autora

V dalším kroku se násadec společně s neporušeným vzorkem oddělil od půdy, aby nedošlo k vylomení kusu zeminy z neporušeného vzorku. Ze vzorku se opatrně odkrajovala půda od středu válečku k jeho hraně do tvaru kužele, jehož vrchol se

zmenšoval až do srovnání základny. Po zarovnání základny v Kopeckém válečku se vzorek z obou stran zavíčkoval, zvážil a uložil do boxu.



Obr. 15: Odběr vzorků ve zkoumané oblasti-zarovnání vzorku, foto autora

V případě, že se v odebraném neporušeném vzorku objevila významná preferenční cesta (např. díra po kameni či důkaz přítomnosti makroedafonu), musel být odběr zopakován, dokud se nepodařilo odebrat vhodný neporušený vzorek.

V jednotlivých oblastech bylo odebráno 8 vzorků s tím, že v oblasti č. 5 bylo odebráno vzorků 9, kde jeden sloužil jako rezervní. Během odběru se zaznamenávaly parametry jako hloubka odběru, váha vzorku s víčky a váha válečku do předem připraveného formuláře (viz přílohy I, II, III).

Odběr porušených vzorků se prováděl zároveň s odběrem neporušených vzorků. Odběry probíhaly tak, že v místě vyhloubení jámy se vzala vykopaná zemina a umístila se do odběrových pytlů a pytle se označily dle odběrové lokality.

5.1.1. Uchování vzorků

Porušené i neporušené půdní **vzorky** se uchovávaly v chladu a suchu. Skladovaly se při konstantní teplotě v lednici, aby nedocházelo k přemrznutí či naopak zahřátí půdy. Tato skutečnost by mohla vést k narušení poměrů v půdě.

5.2. Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor slouží k určení zrnitostního typu půdy. Tento rozbor byl prováděn v laboratoři FŽP ČZU v Praze.

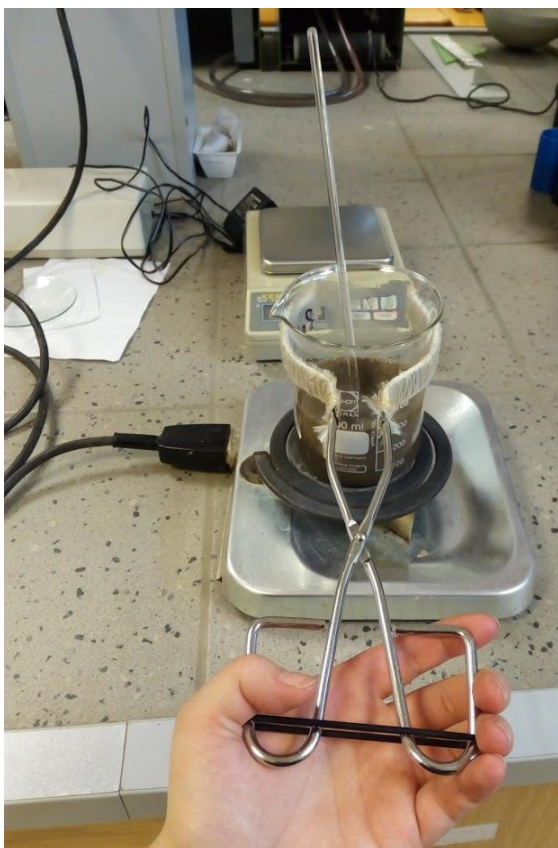
5.2.1. Příprava vzorků

Pro zrnitostní rozbor byly použity porušené půdní vzorky. Příprava vzorků pro zrnitostní rozbor obnášela přípravu jemnozeme. Prvním krokem bylo manuální rozmělnění půdních agregátů kvůli jejich vyschnutí, aby se při získávání jemnozeme nelepily půdní částičky na porcelánovou paličku. Půda se nechala prosychat 24 hodin. Po proschnutí zeminy následovalo získání jemnozeme. Půdní částice se oddělovaly tak dlouho, až bylo patrné rozdrobení půdní struktury. Půda se přesypala do síta 2 mm, které bylo nasazeno na záchytnou misku. Po prosetí částic došlo ke smíchání jemnozeme s dispergačním činidlem. Dispergační činidlo se připravovalo v závislosti hmotnosti jemnozeme. Na každých 10 g vzorku bylo zapotřebí 10 cm³ dispergačního činidla. Po smíchání vzorku a dispergačního činidla se nechala směs 24 hodin odstát, aby došlo k oddělení všech jednotlivých půdních částic.

5.2.2. Průběh měření

Z počátku byly do sušicího boxu umístěny misky s navážkou jemnozeme, které sloužily k určení množství vody ve vzorku.

Směs jemnozeme a dispergačního činidla se dolila do objemu 200 cm³ destilovanou vodou. Následovalo vaření suspenze na jednoplotýnkovém vařiči, které trvalo 60 minut (obr. 16). Při vaření bylo nutné dát pozor na připečení či přichycení půdních částic na stěny či dno kádinky.



Obr. 16: Vaření suspenze s dispergačním čínidlem, foto autora

Po uvaření se suspenze nechala odstát, aby došlo k ochlazení a nebylo porušeno síto. Po vychladnutí se suspenze přelila na síto 0,25 mm. Důležitým krokem bylo dostat veškeré částičky z kádinky, jelikož na stěnách se uchytily ty nejmenější částice, které jsou pro zrnitostní rozbor významné. Po vyčištění kádinky se suspenze začala roztírat po sítu tak, aby všechny částičky menší než 0,25 mm propadly do záchytné misky.

Po kompletním prosetí se suspenze nalila do odměrného válce a do objemu 1000 cm³ se opět dolila destilovaná voda. Síto, na kterém zůstaly zachyceny půdní částičky větší než 0,25 mm, bylo umístěno do sušícího boxu, kde se sušilo 240 minut teplotou 60 °C.

Suspenze o objemu 1000 cm³ se intenzivně míchala cca 1 minutu před sedimentací. V momentě, kdy se vyjmuló míchadlo, začal čas samotného měření. Měření probíhalo tak, že se opatrně uchopil hustoměr (kalibrovaný na daný odměrný válec), umístil se do středu odměrného válce a potopil se na hodnotu +0015. V jednotlivých

časech (30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, 15 min, 45 min, 120 min, 150 min, 300 min, 1470 min) byly odečítány hodnoty z hustoměru v úrovni horního menisku. Při prvních pěti hodnotách zůstal hustoměr ve válci ponořený neustále, ale po měření hodnoty v páté minutě byl hustoměr opatrně vyjmut, opláchnut stříčkou, která byla naplněna destilovanou vodou. Paralelním krokem zrnitostního rozboru bylo měření teploty, které probíhalo ve stejných časových intervalech.

Po uplynutí 240 minut byly vyndány misky s navážkou a po jedné byly zváženy a hodnoty zaznamenány. Po zvážení misek bylo vyjmuta síto, kde směs půdních částic byla dále proseta přes soustavu sít o rozměrech 1 mm, 0,7 mm, 0,5 mm, kvůli pozvolnému průběhu zrnitostní křivky.

Na základě získaných hodnot proběhl výpočet zrnitosti. Nejdříve se vypočítalo procentuální zastoupení hmotnostního podílu částic vody. Dále se naměřené hodnoty přepočítaly dle vzorce:

$$O = \frac{100}{s} \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} (R + m) \quad (16)$$

kde:

O – poměrný obsah částic v daném čase měření

s – navážka zeminy přepočtená na sušinu

R_h – čtení na hustoměru

m – teplotní korekce

Velikost zrn (D), které odpovídají vypočítanému hmotnostnímu podílu byly vypočteny dle Stokesova vzorce:

$$D = 10 \sqrt{\frac{18\eta H_h}{(\rho_s - \rho_o)}} \quad (17)$$

kde:

η – dynamická viskozita

H_h – hloubka hustoměru v suspenzi

5.3. Nasycená hydraulická vodivost

Nasycená hydraulická vodivost lze měřit několika způsoby (viz kapitola 3.3.2.).

V následující kapitole bude popsáno, jak probíhalo měření na konkrétním přístroji – laboratorním permeamtru.

5.3.1. Příprava vzorků K_s

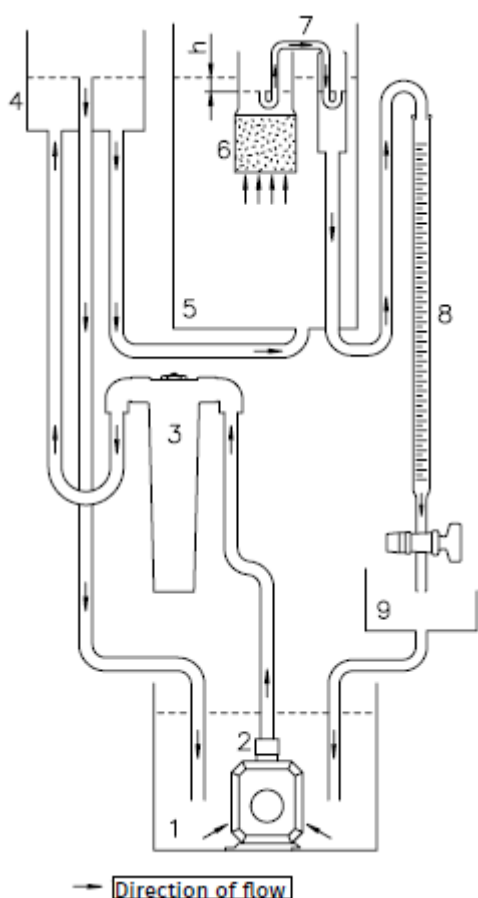
Před umístěním vzorků do laboratorního permeamtru byla důležitá příprava. Vzorky se umísťovaly do plastických držáků, které zajišťují pevné umístění a dobrou izolaci vzorků. Tyto dvě skutečnosti jsou důležité, aby se voda do vzorku vsákla pouze požadovanou cestou, tzn. zespoda postupným nasycením.

Nejdříve se musel pečlivě očistit Kopecského váleček se vzorkem, aby se v místě, kde se připevňoval do držáku, nenacházely žádné nečistoty či zbytky, které by mohly způsobit nedokonalé přilnutí k plastickému držáku. V případě, že byl váleček Kopecského poškozen (např. zde vznikla rýha při odběrech v terénu), nanasla se tenká vrstva silikonu na poškozené místo, kvůli zajištění dobré izolace.

Dalším krokem bylo připevnění hydrofilní gázy gumovým kroužkem na tupou stranu vzorku a umístění připraveného vzorku do sítka. Sítko bránilo jakékoliv deformaci vzorku a zároveň umožňoval volný pohyb vody celým vzorkem. Dále se váleček vsadil ostrou hranou proti gumovému kroužku do držáku. Poté se uzavřel most, utáhl kroužek z tvrzeného plastu tak, aby váleček se vzorkem z držáku nevypadl. Po dokončení přípravy všech válečků, se vzorky umístily do permeamtru, kde byla nastavená minimální hladina a začalo jejich sycení. Vzorky, které byly použity ve druhé a třetí sérii, byly syceny v nádobě s vodou.

5.3.2. Průběh měření

Uchované vzorky se rozdělily na 3 série, ve kterých měření probíhalo. Měření probíhalo na laboratorním permeamtru, jehož schéma je zobrazeno na obr. 17, který umožňuje zjistit průtočnost jednotlivých vzorků a nasycenou hydraulickou vodivost K_s .



Laboratorní permeametr se skládá z následujících částí:

- 1 – zásobní nádrž
- 2 – vodní pumpa (musí být po dobu celého měření potopena ve vodě, která slouží zároveň jako chladicí médium)
- 3 – filtr
- 4 – výškový regulátor (slouží k nastavování vodní hladiny uvnitř nádrže permeamtru)
- 5 – nádrž permeamtru
- 6 – půdní vzorek
- 7 – plastová násoska (používá se v případě měření s konstantním spádem)
- 8 – byreta
- 9 – vypouštěcí nádrž

Obr. 17: Schéma laboratorního permeamtru, převzato: <https://en.eijkelkamp.com/products/soil-water-permeameters.html>

Po 48 hodinách sycení vzorků v 1. sérii nastala v několika případech situace, že vzorky nebyly plně nasyceny, tzn., že v plastových držácích se neobjevila vodní hladina v zúžené části držáku. Sycení zbylých dvou sérií probíhalo v nádobě s vodou. Dle této skutečnosti se měření nasycené hydraulické vodivosti rozdělilo na měření s konstantním spádem a měření s proměnným spádem. Ve 3 případech byl vzorek neměřitelný, jelikož nebyla ani po 3 dnech viděna hladina vody v držáku vzorku. Těmto půdním vzorkům byla přiřazena hodnota K_s $1 \cdot 10^{-8} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Měření s konstantním spádem

Při měření s konstantním spádem se připravily plastové násosky, které se naplnily vodou, důležité bylo, aby se v násoskách nevyskytovaly žádné vzduchové bubliny. Po umístění plastových násosek a po dosycení vzorků v držácích následovalo samotné měření.



Obr. 18: Vložení násosky do držáků - měření s konstantním spádem, foto autora

Měření probíhalo v byretách permeamtru. U byret náležících jednotlivým držákům byl uzavřen kohout a v momentě kdy zde vodní hladina dosáhla 0 mm, započalo měření. Měřil se čas, za který se naplní daný objem v byretě, objem ve většině případů byl 10 cm³. V méně průtočných vzorcích byl objem snížen dle časové náročnosti. Po každém měření bylo důležité změřit hladinu vody uvnitř plastického držáku a uvnitř nádrže permeamtru. Kvůli výpočtu spádu hladin pro určení samotné hydraulické vodivosti. Pro případ korekce byla měřena i teplota vody v nádrži permeamtru. Měření u jednotlivých vzorků bylo opakováno ve třech sériích. Průměr výsledků ze třech sérií byl brán jako odhad nasycené hydraulické vodivosti pro daný vzorek. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do archu (příloha II., III. a IV.). Výpočet K_s [cm.s⁻¹] s konstantním spádem byl vypočítáván dle vzorce:

$$K_s = \frac{V_p L_v}{t A_v \Delta H} \quad (18)$$

kde:

V_p – objem vody v byretě [cm³]

A_v – průtočná plocha válečku [cm^2]

L_v – délka válečku [mm]

ΔH – rozdíl hladin uvnitř a vně držáku [mm]

t – čas za který natekl požadovaný objem [s]

Měření s proměnným spádem

Měření s proměnným spádem probíhalo na principu měření vodní hladiny v jednotlivých plastických držácích. Důležitým krokem bylo zaznamenat začátek měření. V určitých časových intervalech se měřil rozdíl vodní hladiny uvnitř držáků. Na základě rozdílu výšky se vypočítala hodnota K_s [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]. Měření s proměnným spádem má vyšší časovou náročnost, proto zde nebylo provedeno opakované měření a výsledky dle vzorce 19 byly bez úpravy dále považovány za odhad nasycené hydraulické vodivosti pro daný vzorek.

$$K_s = \frac{A_d L_v}{A_v (t_2 - t_1)} \ln \frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} \quad (19)$$

kde:

A_d – průřezová plocha trubice držáků vzorků [cm^2]

ΔH_1 – rozdíl hladin na počátku měření v čase t_1 [s]

ΔH_2 – rozdíl hladin měření v čase t_2 [s]

5.3.3. Vyhodnocení

Celková sumarizace naměřených hodnot je interpretována v příloze V. Na soubor hodnot bylo pohlíženo tak, že pokud se vyskytoval tzv. outlier, byla provedena revize výsledků, tzn. zda hodnota, která se výrazně lišila od ostatních nebyla špatně změřená nebo na ni byl použit špatný způsob výpočtu. Pro další analýzy byly vyřazeny hodnoty, které se výrazně lišily od ostatních. Do výpočtu se vyřadila jedna hodnota ze skupiny NPK, konkrétně hodnota u vzorku č.71.

Vyhodnocování a vizualizování hodnot naměřených během pokusů bylo prováděno statistickým programem Minitab a programem RStudio. Pro potvrzení či vyvrácení hypotéz byla použita metoda ANOVA, konkrétně jednorůchodová metoda rozptylu.

Pro porovnání jednotlivých skupin vzorků byl zvolen dvouvýběrový studentův test, který je založen na porovnávání rozptylu hodnot vůči průměru u dvou rozlišných skupin. Pro potvrzení hypotézy je klíčová hodnota **p-value**, která udává, jak je pravděpodobné, že rozdíl průměrů u různých skupin vznikl působením náhody (Procházka, 2015).

5.4. **Množství organické a anorganické hmoty**

Množství organické a anorganické hmoty slouží k určení počtu organického a anorganického uhlíku ve zkoumaných vzorcích.

5.4.1. **Příprava vzorků**

Z porušených vzorků se získala známým postupem jemnozeme. Po získání jemnozeme a řádném promíchání, byla provedena tzv. kvartace. Kvartace znamená, že se jemnozeme rozdělí na 4 díly, kde se dva protilehlé díly ze vzorku odstraní a postup se opakuje znovu. Po provedení kvartace se odváží z každé odběrové oblasti 2 navážky.

5.4.2. **Měření**

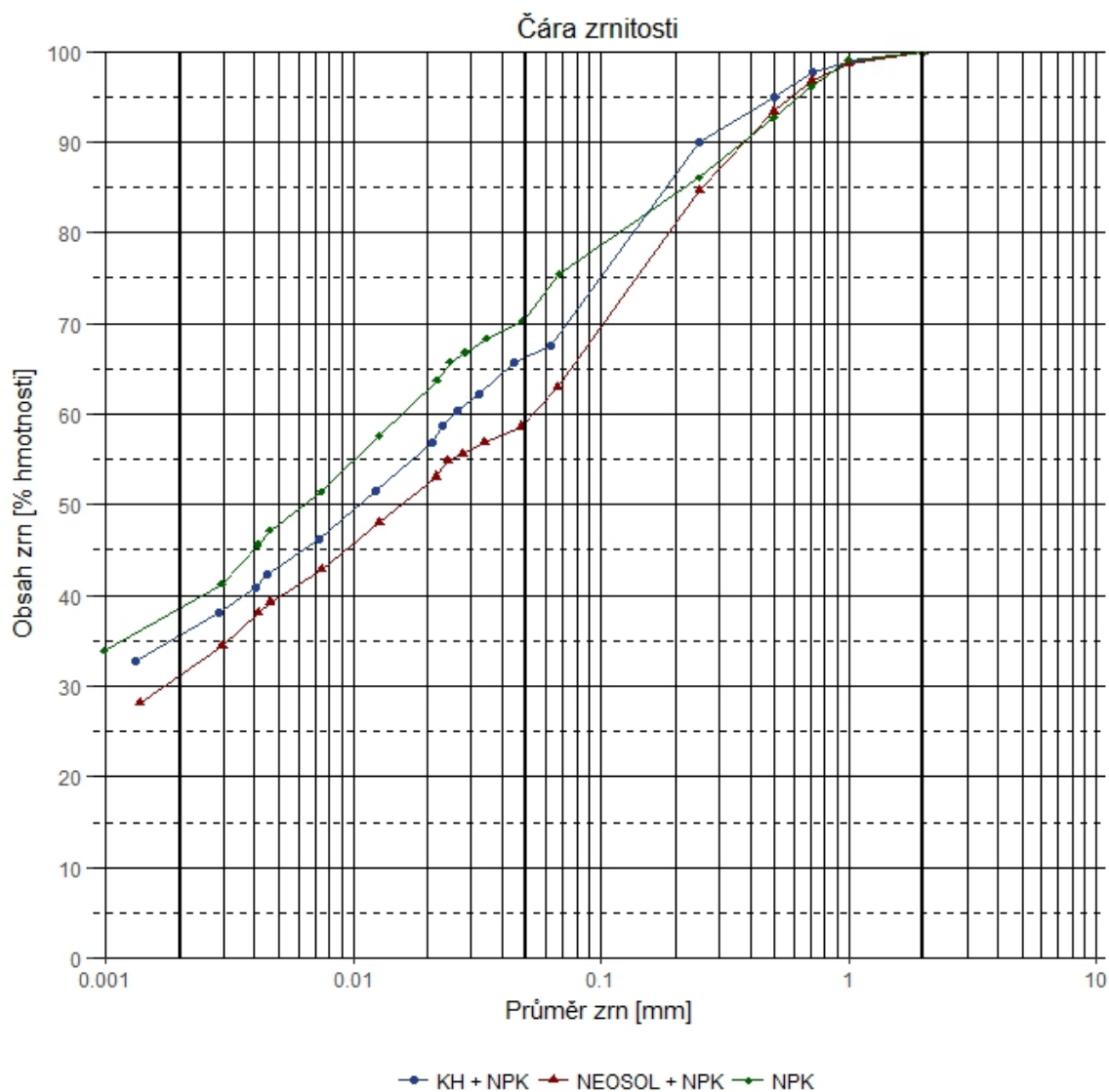
Zjištění množství organické a anorganické hmoty ve vzorcích bylo prováděno metodou katalytické oxidace uhlíku. Analýza byla prováděna na stroji Shimadzu SSM-5000A. Množství organické a anorganické hmoty bylo prováděno v laboratoři KGEV na FŽP ČZU v Praze.

6. Výsledky

V této kapitole budou uvedeny výsledky zrnitostního rozboru, měření nasycené hydraulické vodivosti a výsledky rozboru organické a anorganické hmoty ve vzorcích.

6.1. Zrnitostní rozbor

Výsledkem zrnitostního rozboru jsou čáry zrnitosti, které jsou pro všechny odběrové oblasti zobrazeny na obr. 19.



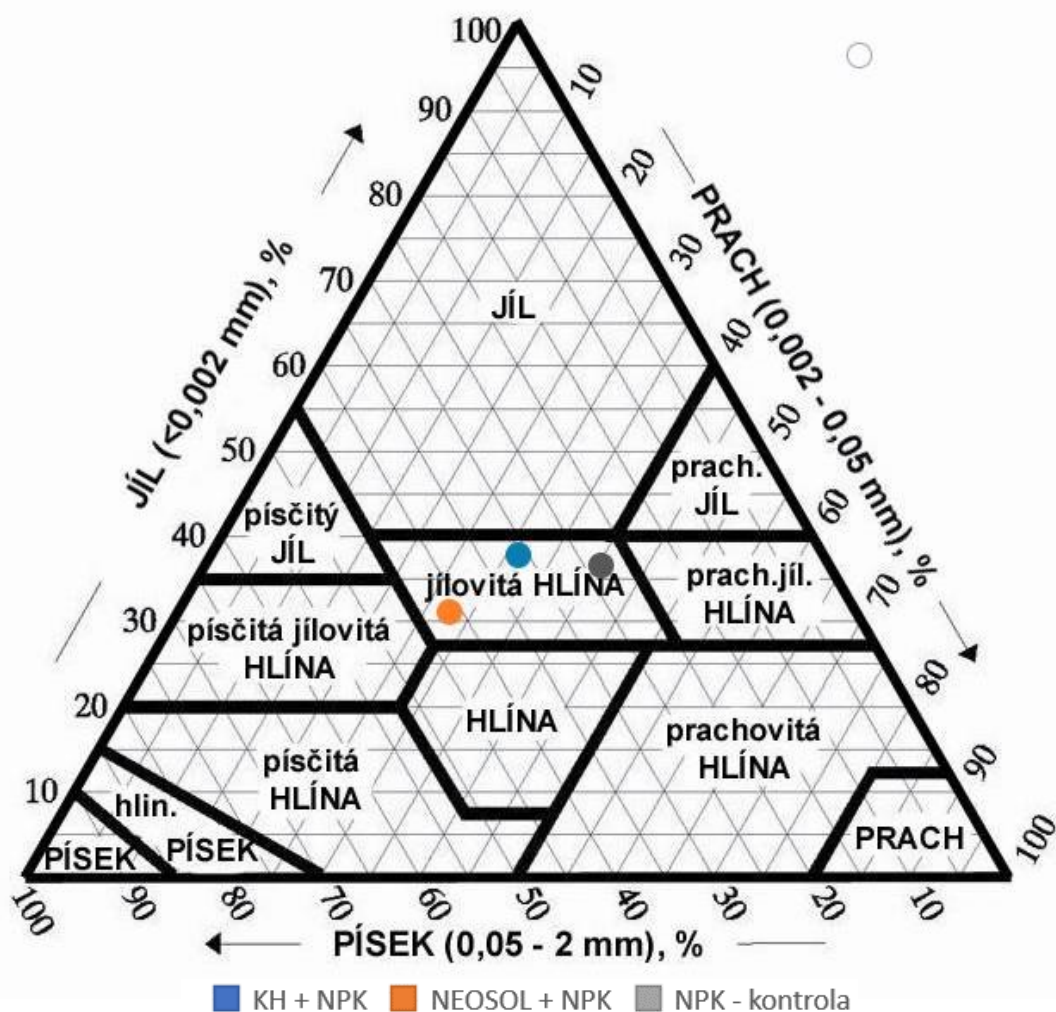
Obr. 19: Čáry zrnitosti pro zkoumané odběrové oblasti

Dle průběhů čáry zrnitosti je patrné, že vzorky ze všech tří oblastí se řadí do stejné zrnitostní kategorie, což je vidět i na obr. 20. Lze tedy říci, že rozličné typy hnojení neovlivňují zrnitost půd.

Tab. 1: Podíl jednotlivých částic (%) ve zkoumaných vzorcích

Podíl (%)	KH + NPK	NeoSol + NPK	NPK – kontrola
Jílové částice	38,5	31,9	36
Prachové částice	32	27,1	40
Písčité částice	29,5	41	24

Jak je vidět v tab. 1, všechny 3 zkoumané oblasti jsou bohaté na podíl jílových částic, který není menší než 31 %. Všechny 3 zkoumané oblasti řadíme dle taxonomie USDA do třídy clay loam. Dle Taxonomie půd ČR vzorky náleží do jílovité hlíny, což je zobrazeno na obr. 20.



Obr. 20: Klasifikace zrnitostního typu

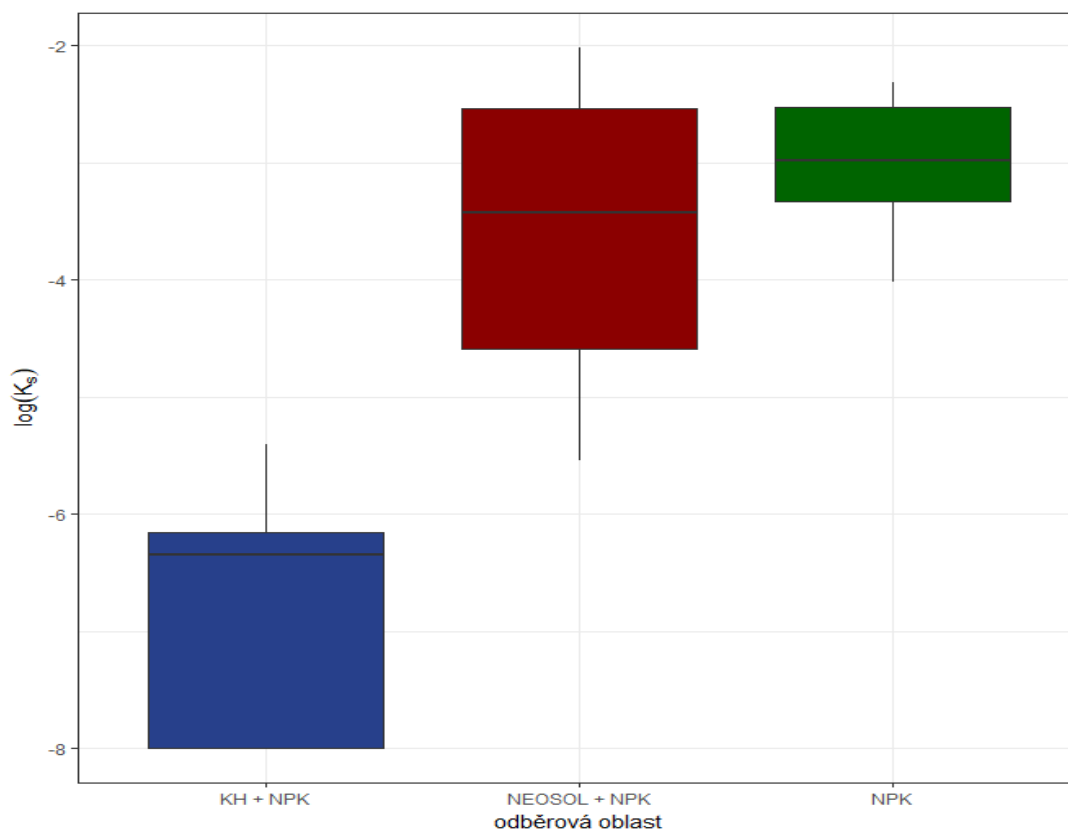
6.2. Měření K_s

V této kapitole budou interpretovány výsledky měření K_s , které probíhalo na laboratorním permeamtru. Základní shrnutí statistických hodnot naměřených hodnot K_s je uvedeno v tab. 2.

Tab. 2: Souhrn naměřených hodnot K_s [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

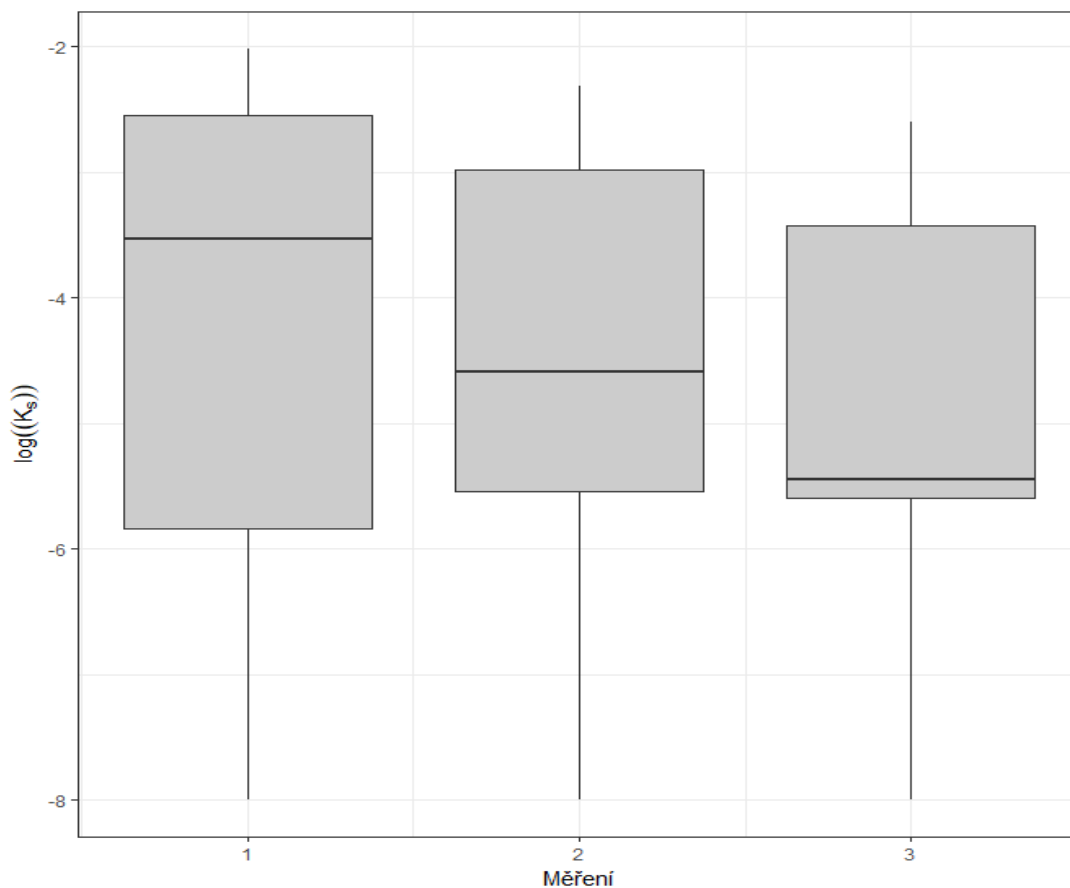
	Průměr	Minimum	Maximum
KH + NPK	$9,84\cdot 10^{-7}$	$1\cdot 10^{-8}$	$3,96\cdot 10^{-6}$
NeoSol + NPK	$2,09\cdot 10^{-3}$	$3,54\cdot 10^{-6}$	$9,51\cdot 10^{-3}$
NPK-kontrola	$2,02\cdot 10^{-3}$	$9,02\cdot 10^{-4}$	$4,78\cdot 10^{-3}$

Z tab. 2 je patrné, že nejvyšší hodnotu nasycené hydraulické vodivosti má vzorek z kategorie kontrolní, kde se do půdy přidává pouze hnojící směs NPK. Skupina s nejnižšími hodnotami je oblast, kde se do půdy přidává kravský hnůj v kombinaci s NPK. Ve skupině NeoSol + NPK se pohybují hodnoty s variabilitou cca $9,5\cdot 10^{-3}$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$.



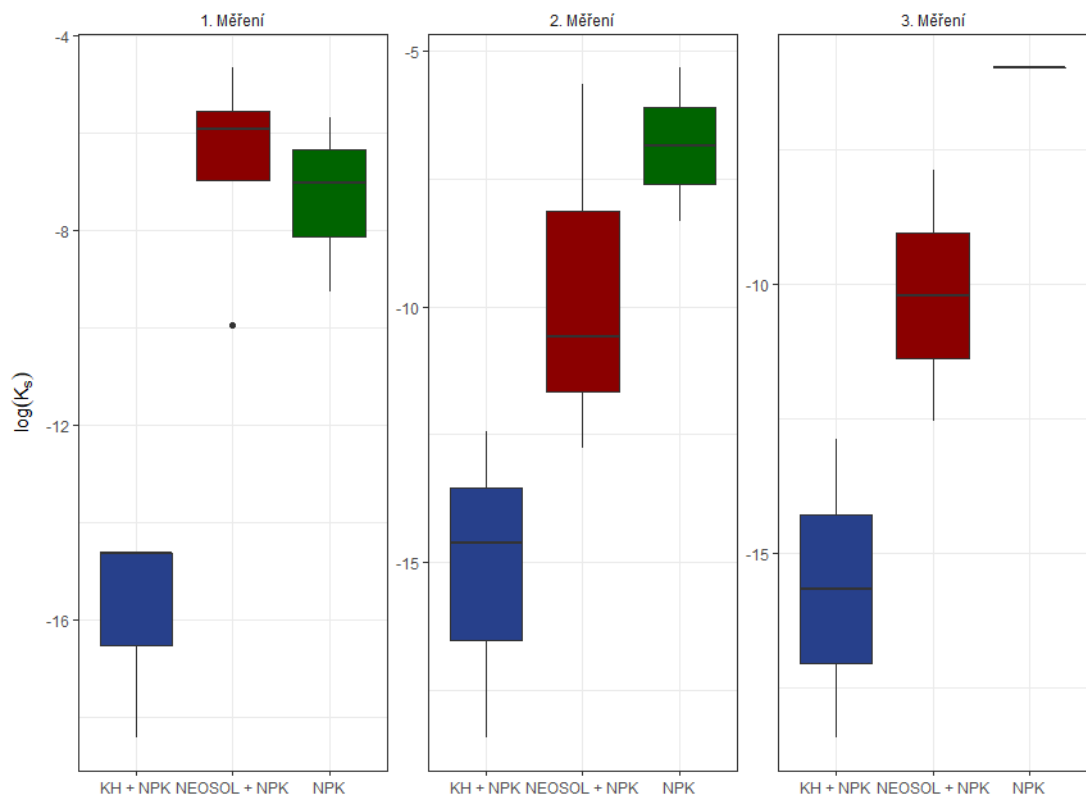
Obr. 21: Přehled logaritmů naměřených hodnot [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] jednotlivých odběrových oblastí

Na obr. 21 je vizualizace všech hodnot z jednotlivých odběrových oblastí. V grafech se pracuje s hodnotami logaritmů nasycené hydraulické vodivosti. Nejnížší hodnoty byly naměřeny u vzorků, které pocházely z odběrové oblasti KH + NPK.



Obr. 22: Porovnání sérií měření $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

Na obr. 22 lze vidět porovnání všech tří sérií měření. Z porovnání všech třech sérií je patrné, že průměr K_s je nejvyšší u první série, kde bylo měřeno 10 vzorků. Průměry všech sérií jsou ovlivněny hodnotou $1\cdot 10^{-8} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 23: Sumarizace měření $\log(K_s)$ všech sérií [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

V první sérii měření bylo do laboratorního permeamtru umístěno 10 půdních vzorků – 3 vzorky KH + NPK, 4 vzorky NeoSol + NPK, 3 vzorky NPK – kontrola. Po nasycení vzorků se jeden vzorek KH + NPK ukázal jako neměřitelný, což znamená, jak se popisuje v metodice 4.2.2, že zde nebude hodnota K_s vyšší než $1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Ze zbylých vzorků byly 3 měřeny metodou s proměnným spádem a 6 bylo měřeno se spádem konstantním. Průměrná hodnota všech naměřených hodnot K_s je pro tuto sérii měření $1,93 \cdot 10^{-3} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejvyšší hodnota K_s byla naměřena u zkoumaného přípravku NeoSol, tj. $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Ve druhé sérii bylo do laboratorního permeamtru umístěno celkem 9 vzorků – tři zástupci od každé zkoumané skupiny. Při měření druhé série se opět jeden vzorek KH + NPK nedal měřit – viz 5.5. Ve skupině KH + NPK se zbylé dva vzorky měřily metodou s proměnným spádem. Ze skupiny NeoSol + NPK byly 2 vzorky měřeny pomocí proměnného spádu a třetí se měřil s konstantním spádem. Celá skupina

vzorků NPK – kontrola byla měřena se s pádem konstantním. Střední hodnota ve druhé sérii měření je $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$, nejnižší hodnota byla opět změřena u KH + NPK, u neměřitelného vzorku stejně jako v 1. sérii měření. Maximální hodnota byla změřena tentokrát u kontrolní skupiny vzorků, tj $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$.

V poslední sérii měření bylo v permeamtru bylo zkoumáno pouze 6 vzorků – dva vzorky z každé kategorie. Při této sérii byl opět jeden vzorek z kategorie KH + NPK označen jako neměřitelný. S proměnným spádem byl měřen jedn zástupce z každé skupiny, takže spádem konstantním byly měřeny pouze dva vzorky z celé série. Jak bylo zmíněno v metodice, hodnota výpočtu vzorku č. 71 ze skupiny NPK byla odstraněna, tudíž byl graf sestaven pouze z jedné naměřené hodnoty.

V poslední sérii měření je průměrná hodnota K_s ze všech sérií nejnižší – $4,83 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$. Minimální hodnota je stejná jako u prvních dvou sérií měření a nejvyšší naměřená hodnota je stejně jako u druhé série měření v kontrolní skupině, tj. $2,51 \cdot 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$.

6.2.1. Základní statistická analýza

Základní popisná statistika byla počítána z hodnot nasycených hydraulických vodivostí jednotlivých vzorků. Popisná statistika je zobrazena v tab. 3.

Tab. 3 Popisná statistika vzorků z jednotlivých odběrových oblastí [cm.s^{-1}]

	KH+NPK	NeoSol+NPK	NPK
Střední hodnota	$9,84 \cdot 10^{-7}$	$2,09 \cdot 10^{-3}$	$2,02 \cdot 10^{-3}$
Chyba střední hodnoty	$5,18 \cdot 10^{-7}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$7,71 \cdot 10^{-4}$
Medián	$4,45 \cdot 10^{-7}$	$3,75 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-3}$
Směrodatná odchylka	$1,46 \cdot 10^{-6}$	$3,12 \cdot 10^{-3}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$
Rozptyl výběru	$2,14 \cdot 10^{-12}$	$9,73 \cdot 10^{-6}$	$3,56 \cdot 10^{-6}$
Špičatost	1,62	4,23	-1,44
Šikmost	1,63	1,96	0,46
Amplituda	$3,95 \cdot 10^{-6}$	$9,61 \cdot 10^{-3}$	$4,68 \cdot 10^{-3}$

Z hodnot v tab. 3 lze vyčíst, že hodnoty K_s v odběrové oblasti KH + NPK jsou nejnižší.

Špičatost je statistická veličina udávající hustotu rozložení sledované veličiny. Pokud má tato veličina kladné hodnoty, značí to rozmístění většiny hodnot blízko střední hodnoty (Procházka, 2015). Čím vyšší hodnota této veličiny je, tím větší je rozptyl hodnot od její střední hodnoty. Nejnižší hustotu rozložení hodnot u průměru má odběrová oblast NeoSol + NPK, což znamená, že hodnoty budou rozptýleny po celém naměřeném intervalu.

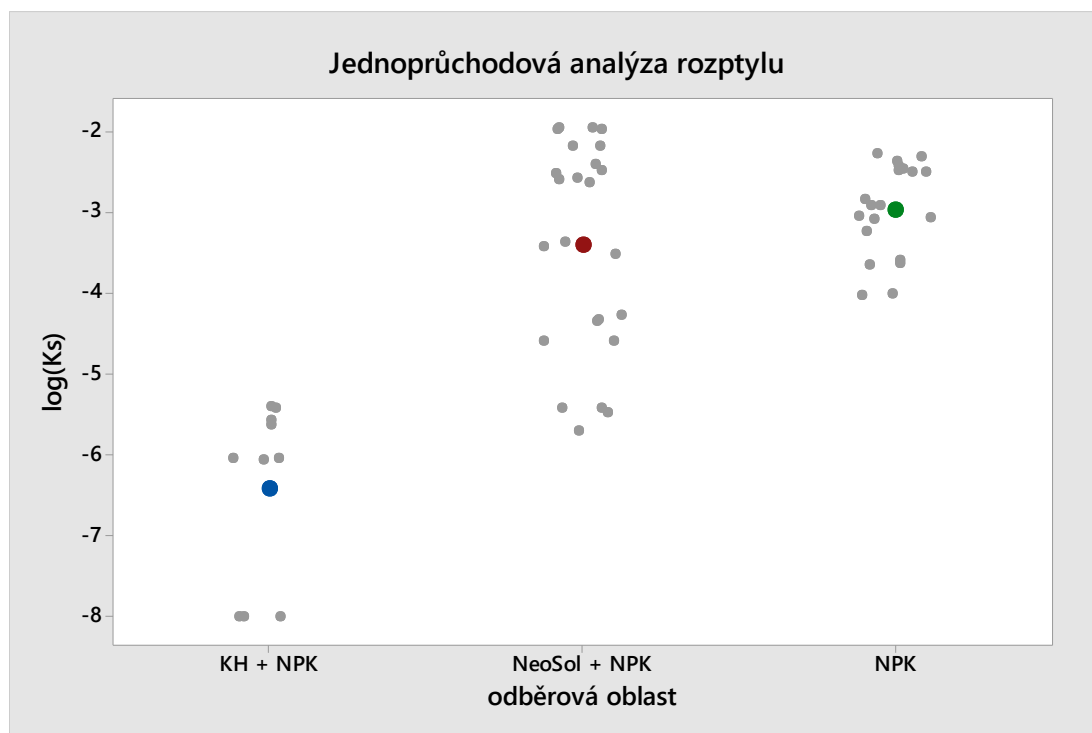
Šikmost značí, na jakou stranu jsou hodnoty odkloněny od průměru (Procházka, 2015). Nejvyšší odkloněnost má opět skupina NeoSol + NPK.

Amplituda je rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou – nejmenší rozdíl mezi těmito hodnotami má odběrová oblast KH + NPK.

Dle popisné statistiky lze predikovat, že nejmenší rozptyl hodnot bude mít oblast KH + NPK. Nejvyšší počet hodnot, které se blíží k průměru bude mít skupina NPK.

6.2.2. ANOVA

Základní představu o výsledcích experimentu ukazuje puntíkový diagram hodnot logaritmů všech měření, což je zobrazeno na obr. 24. Z něj je patrné, jaký byl celkový počet měření, jejich proměnlivost i poloha průměrů.



Obr. 24: Jednoprůchodová analýza rozptylu $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

Teprve po uskutečnění základní grafické analýzy jsme mohli přikročit k analýze rozptylu. Cílem analýzy rozptylu (ANOVA) je zjistit, nakolik mohou být rozdíly v pozorovaných průměrech skupin (KH+NPK; NeoSol + NPK; NPK) způsobeny skutečnými rozdíly v propustnosti půdy a nakolik jsou způsobeny pouhou náhodou. Souhrnné výsledky této analýzy jsou uvedeny v tab. 4.

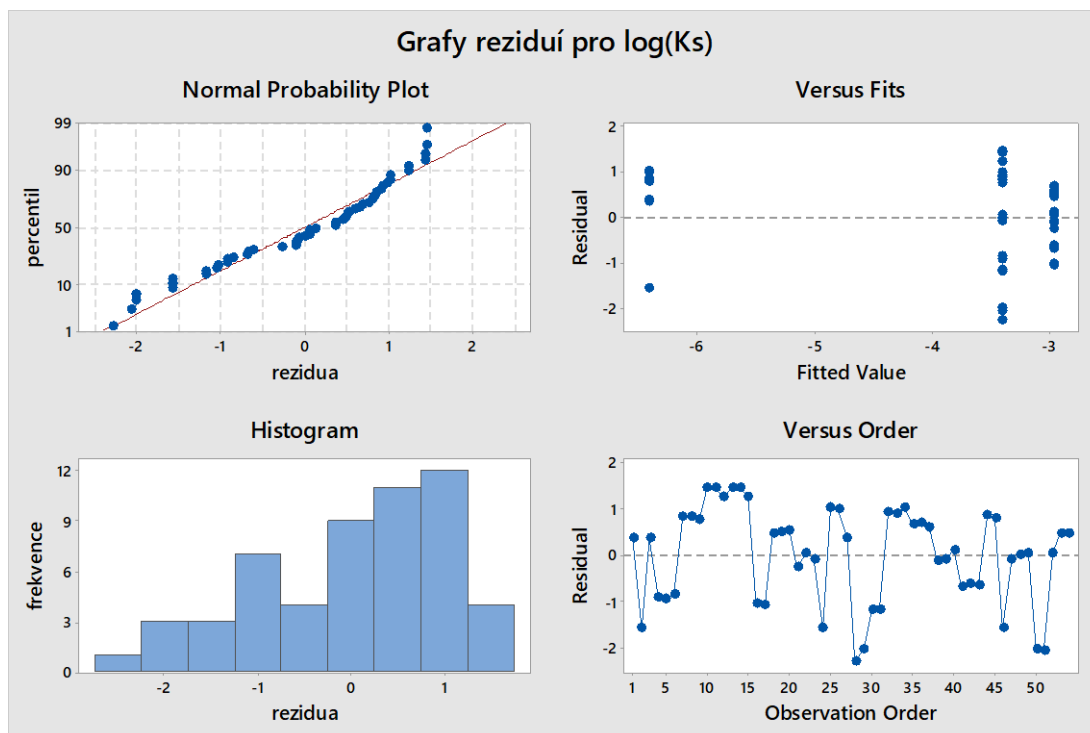
Tab. 4 Souhrnné výsledky ANOVA, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

	Počet hodnot	Průměry	Směrodatná odchylka
KH + NPK	10	-6,417	1,119
NeoSol + NPK	24	-3,411	1,303
NPK	20	-2,967	0,878

Vypočtená hodnota **p-value 0,004** ukazuje, že mezi průměry, které jsou zobrazeny v tab. 4, třech posuzovaných skupin existuje rozdíl, který zřejmě nelze vysvětlit náhodou. Z grafu je patrné, že se jedná o rozdíl skupiny KH od zbylých dvou skupin. Laicky bychom řekli, že mezi třemi skupinami je „statisticky významný rozdíl“.

Jak bylo zmíněno v kap. 6.2.1. na Obr. 24 je vidět, že největší rozptyl po celém intervalu mají vzorky ze skupiny NeoSol + NPK. Nejvyšší počet hodnot blízcích se k průměru mají vzorky z kontrolní skupiny NPK, jak se předpokládalo v kap. 6.2.1. Popisná statistika. Dále lze vyvodit, že jsou zde sledovány různé vlivy u odběrových oblastí, nejvyšší je však pozorován u skupiny KH + NPK.

K ověření hodnověrnosti matematického modelu, který jsme pro porovnání použili, je třeba posoudit rezidua pomocí čtyř grafů, které jsou zobrazeny na obr. 25.



Obr. 25: Posouzení reziduí $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

V prvním a třetím grafu posuzujeme normalitu rozdělení reziduí, ve druhém grafu porovnáváme velikost rezidua s vypočtenou modelovou hodnotou a ve čtvrtém grafu pak velikost rezidua v závislosti na čísle vzorku. Grafy svým tvarem nevybočují z mezí očekávání.

6.2.3. Dvouvýběrový studentův test

Dvouvýběrový studentův test byl prováděn porovnáním průměrů všech skupin navzájem. Pro vyhodnocení dvouvýběrového studentova testu je důležitá hodnota p-value. Tento test byl počítán z logaritmických hodnot nasycené hydraulické vodivosti v $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Jednotlivé grafy jsou uvedeny v Příloze VI.

KH + NPK vs. NPK

V následující tab. 5 jsou uvedeny statistické veličiny, které vyšly během dvouvýběrového testu. Hypotéza pro tento test byla, zda jsou vlastnosti (průměr nebo rozptyl) těchto dvou skupin shodné. Neboli, jak je pravděpodobné, že vykazují stejné charakteristiky.

Tab. 5 Veličiny Dvouvýběrového studentova testu pro skupinu KH+NPK a NPK, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

	Průměr	Směrodatná odchylka	Standartní chyba
KH + NPK	-6,24	1,03	0,34
NPK	-2,97	0,566	0,13

Rozdíl mezi průměry pro tuto dvojici je -3,540 a rozmezí konfidenčního intervalu se pohybuje od -4,277 do -2,623. Pro posouzení těchto dvou odběrových oblastí vyšla p-value 0. Tyto hodnoty se mohou interpretovat tak, že je mimořádně nepravděpodobné, aby rozdíl průměrů vznikl náhodou. Jedná se tedy o rozdílné soubory dat. U odběrové oblasti, kde byl použit kravský hnůj v kombinaci s hnojivem NPK, lze konstatovat, že je u této skupiny viditelný vliv na nasycenou hydraulickou vodivost.

NeoSol + NPK vs. NPK

Pro tuto dvojici je podstatné, aby se prokázal vliv přípravku NeoSol na K_s . V tab. 6 jsou zobrazeny výsledné hodnoty statistických veličin, které vyšly u statistické hypotézy.

Tab. 6 Veličiny Dvouvýběrového studentova testu pro skupinu NeoSol+NPK a NPK, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

	Průměr	Směrodatná odchylka	Standartní chyba
NeoSol + NPK	-3,41	1,30	0,27
NPK	-2,97	0,566	0,13

Vypočtená hodnota **P-value** odpovídá pozorování – je to 37,5 %. Pokud by bylo pouze jedno odběrové místo se stejnými (nikoli však homogenními) vlastnostmi a pokud by se tento pozemek zcela nahodilým způsobem rozdělil na dvě části, které by se nazývaly „NeoSol“ a „NPK“, pak by se z každé z těchto částí mohla odebrat řada vzorků, změřit je a z měření vypočíst průměry. Ve 37,5 % případů by se vypočtené průměry lišily o více než 0,294, což je rozdíl, zjištěný v tomto experimentu. Lze tedy konstatovat, že rozdíl průměrů se v této odběrové oblasti vyskytuje běžně – tato skutečnost může být způsobena náhodným faktorem. Je

pravděpodobné, že tyto dva soubory se chovají podobně, tzn. vykazují podobné vlastnosti.

Na základě toho lze tedy konstatovat, že se nepodařilo prokázat vliv NeoSolu na hydrofyzikální vlastnosti půdního prostředí.

NeoSol + NPK vs. KH + NPK

V následující tab. 7 jsou zobrazeny hodnoty statistických veličin, které figurují během dvouvýběrového testu. V tomto případě se testuje hypotéza, zda má kravský hnůj oproti NeoSolu patrný vliv na hodnoty nasycené hydraulické vodivosti.

Tab. 7 Veličiny Dvouvýběrového studentova testu pro skupinu NeoSol+NPK a KH+NPK, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]

	Průměr	Směrodatná odchylka	Standartní chyba
NeoSol + NPK	-3,41	1,3	0,27
KH + NPK	-6.24	1,03	0,34

I v tomto případě vyšla hodnota p-value – 0. Jako v prvním případě dvouvýběrového studentova testu je tedy zřejmé, že rozdíl průměrů, který je -2,831, není způsoben náhodným faktorem. Lze tedy konstatovat že oproti přípravku NeoSol má kravský hnůj vliv na nasycenou hydraulickou vodivost.

6.3. Množství organické a anorganické hmoty

Množství organické a anorganické hmoty bylo zjištěno dle metodiky popsané v kapitole 5.4. a výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Množství uhlíku v porušených vzorcích [%]

VZOREK	Celkový uhlík	Anorganický uhlík
	střední hodnoty	
KH + NPK	2,69	0,1
NeoSol + NPK	2,01	menší než 0,1
NPK	2,46	menší než 0,1

V tab. 8 je patrné, že žádný vzorek neobsahuje více jak 3 % celkového uhlíku a množství anorganického uhlíku není větší než 0,1 %.

7. Diskuze

Skupina vzorků kravského hnoje prokázala, že má vliv na nasycenou hydraulickou vodivost oproti kontrolní skupině vzorků NPK. V každé sérii měření byl vzorek u kterého, se neukázala hladina v držáku permeamtru a žádný ze vzorků nebyl měřen metodou s konstantním spádem, ale u všech vzorků, byla aplikována metoda proměnného spádu. Tato skutečnost může být způsobena tím, že daná zkoumaná oblast obsahuje nejvyšší podíl celkového uhlíku v půdě. V oblasti KH + NPK se předpokládá výskyt čerstvé organické hmoty, která nejvíce podléhá bobtnání (Barnes a kol., 2014). V kombinaci s jílovými půdami, které také podléhají bobtnání což potvrzuje ve své práci i Kutílek a kol. (2004), mohlo být bobtnání v Kopeckého válečcích tak výrazné, že to mohlo být důvodem nízkých hodnot K_s . To, že KH+NPK má dle naměřených hodnot nejnižší hodnoty K_s neznamená, že nepříznivě působí na úrodnost půdy.

Vliv přípravku NeoSol na K_s se dle výsledků neprokázal, jako důkaz dlouží porovnání výsledků s kontrolní skupinou NPK. Tato skutečnost nevyvrací, že přípravek NeoSol nemá vliv na úrodnost půdy.

Pohrázská a kol. (2012) uvádí, že po dvouletém výzkumu nebyl prokázán pozitivní vliv přípravku na hydrofyzikální vlastnosti půdy a pozitivní vliv se nepotvrdil ani u infiltrace půdního prostředí. Pozitivní vliv měl přípravek na provzdušněnost půdy, což mělo za následek snížení obsahu vody v půdě.

Jak je vidět na obr. 22, průměry hodnot jednotlivých sérií se liší. Nejvyšší průměr má první série měření a nejnižší střední hodnota je u 3. série měření K_s . Tento fakt může být způsoben rozlišnou dobou sycení vzorků. Vzorky v první sérii byly syceny přímo v laboratorním permeamtru, ale vzorky z druhé a třetí série byly syceny už v nádobě s vodou. U třetí série může být nízká střední hodnota způsobena nejnižším počtem vzorků při měření.

Na obr. 19 jsou zobrazeny čáry zrnitosti pro všechny odběrové oblasti. Při zaměření se na čáru zrnitosti pro oblast NeoSol + NPK je vidět, že je zde nejnižší počet

jílových částic, ale podíl pískových částic je zde vysoký. Pokud se vezme v úvahu fakt, že přípravek NeoSol je založen na bázi dolomitického vápence, tudíž obsahuje velké množství Ca, mohly v místě odběru vzniknout tzv. vápenné tmely. Vápenné tmely lze narušit reakcí s kyselinou chlorovodíkovou, což se před samotnou dispergací neudálo. V případě zachování vápenných tmelů, by se jednalo o možnou indicii, že přípravek NeoSol má vliv na agregaci částic. Vzhledem k tomu, že přípravek NeoSol byl aplikován na zkoumanou oblast v roce 2014, mohlo dojít k rekrystalizaci přípravku v půdě a k pevnému zapracování NeoSolu do krystalové mřížky (Kutílek, 1994).

Při porovnání hodnot v tab. 8 je patrné, že oblast NeoSol + NPK disponuje nejmenším podílem celkového uhlíku – organické hmoty. Přípravek NeoSol, jak se píše v Kap. 3.1.9. by měl podporovat biologickou aktivitu. Pokud budeme tuto skutečnost uvažovat jako relevantní, vysvětlovalo by se menší množství organické hmoty přechodným zvýšením biologické aktivity.

Při pohledu na Přílohu I. je vidět, že vzorek 71 měl nejvyšší hmotnost. Vzorek byl odebrán z nejnižší hloubky a má nejvyšší hmotnost vzorku z odebírané oblasti. Vyšší hmotnost může být způsobena tím, že se vyskytuje v oblasti, kde je vyšší hustota kořenové sítě.

V Příloze I. jsou vidět údaje o odběru vzorků. U několika případů je poznámka o preferenční cestě. Při porovnání hodnot, které byly naměřeny u vzorků s pozorovanou tzv. preferenční cestou, nejsou patrné vyšší hodnoty K_s . Nemusí se tedy jednat o preferenční cestu, ale pouze o pór větších rozměrů prostoupený pouze částí vzorku. V případě, že v odběrovém válečku je pozorován větší pór, nemusí to znamenat, že bude ovlivněna hodnota K_s .

V porovnání hmotností vzorků a hodnot nasycené hydraulické vodivosti zde nebyla nalezena žádná souvislost. V případě, že by byly k dispozici vysušené vzorky a byl by umožněn rozbor obsahu Kopeckého válečku, byl by vztah mezi hmotností a hodnotou nasycené hydraulické vodivosti jasnější.

Velkou nevýhodou je, že před ukončením diplomové práce nebyly k dispozici vysušené neporušené vzorky. V případě, že by vzorky k dispozici byly, mohla se dopočítat pórovitost, a především prozkoumat obsahy všech vzorků, což by mohlo objasnit některé výkyvy v hodnotách nasycené hydraulické vodivosti.

7.1. Možnost ovlivnění výsledků

I přes dodržení metodiky odběru, přípravy a měření vzorků se nenaměřily obdobné hodnoty. V následujících bodech budou uvedeny možnosti, při kterých mohlo dojít k ovlivnění výsledků měření.

Odběr vzorků

Den, kdy byly vzorky odebírány, byl poslední den před úpravou půdy. Na odběr vzorků byl omezený čas, při kterém se stihl odebrat minimální počet vzorků. V případě, že by byl na odběr vzorků delší časový interval, odebral by se větší počet vzorků a výsledky zkoumání by byly přesnější a směrodatnější.

Příprava vzorků

Během přípravy vzorků se opět postupovalo dle dané metodiky (kap. 5.3.1.). Mohlo dojít v přehlédnutí vady válečku, a tudíž by došlo k naměření neobjektivních hodnot. V tomto případě by byly hodnoty vyšší než skutečné. V případě, že by se tato chyba stala, projevila by se extrémními hodnotami.

Měření nasycené hydraulické vodivosti

U vzorků ze skupiny KH + NPK byl vždy alespoň jeden z každé série klasifikován jako neměřitelný, tudíž mu byla přidělena hodnota $1 \cdot 10^{-8} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Neprůtočnost vzorků mohla ovlivnit přítomnost čerstvé organické hmoty, která je náchylnější k bobtnání. V případě, že by se nechaly vzorky z této skupiny v laboratorním permeamtru déle, mohla by se hladina vody v držáku objevit.

Časová variabilita u všech tří sérií nebyla prokázána. Při všech sériích byly hodnoty velice podobné.

7.2. Návrh experimentu

V průběhu tohoto experimentu se zjišťoval vliv přípravku NeoSol na nasycenou hydraulickou vodivost v půdním prostředí. Problém se může znázornit následujícím matematickým modelem:

$$Y = Y_a + Y_b + Y_c \dots + \varepsilon$$

kde:

Y – výsledná permeabilita půdy

Y_a – vliv místa odběru

Y_b – potenciální vliv použitého přípravku

Y_c – vliv orby či zpracování půdy

ε – proměnlivost

Dobře navržený experiment je v tomto případě takový, který umožní při existující (a značné) proměnlivosti ε zřetelně oddělit potenciální vliv přípravku Y_b od vlivů ostatních. Toho lze při stejném množství měřených vzorků dosáhnout například uspořádáním do šachovnice (princip „latinských čtverců“). Dalším faktorem návrhu experimentu je větší objem odebraných půdních vzorků. V našem případě byla ale odběrová místa geograficky uspořádána v jediné linii. Oddělení vlivu potenciálního vlivu přípravku Neosol od místních vlastností půdy nebo od hloubky orby tedy není vůbec možné. Z toho pohledu lze i relativizovat pozorovaný vliv KH na permeabilitu. „Číselný“ rozdíl, který se v průběhu práce zjistil, se dá vysvětlit i alternativními způsoby (viz. výše).

8. Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda přípravek NeoSol a kravský hnůj ovlivňují hydrofyzikální vlastnosti půdy. Dle výsledků je patrné, že přípravek NeoSol se výrazně neodlišuje od kontrolní skupiny, tudíž lze konstatovat že vliv u tohoto přípravku se neprokázal. Naopak u skupiny vzorků KH + NPK se vliv přípravku prokázal a tuto skutečnost potvrdily i statistické hypotézy v kapitole 6.2.3.

Pro stanovení přesnějších a konkrétnějších výsledků navrhuji, aby se experiment zopakoval s jinou metodikou, aby se zapříčinilo vlivům jako je např. bobtnání. Navrhuji, aby se experiment znovu zrealizoval při větším souboru vzorků a byly použity např. infiltrační pokusy nebo Guelphským permeametr, kvůli posouzení vlivu bobtnání organické hmoty na výsledky experimentu.

9. Seznam použitých zdrojů

BARNES, R.T., GALLAGHER, M.E., MASIELLO, C.A., LIU, Z., DUGAN, B., 2014: Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *PloS One* 9: e108340.

BAŽANTOVÁ, A., 2017. Vliv různých agrotechnologií na fyzikální kvalitu půdy ve vybraných lokalitách v Jihomoravském kraji. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

BUOL, S. W. a kol., 2011. 6th ed. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell [cit. 2018-03-03]. ISBN 9780470960622.

DEMEK, J., 1987. Zeměpisný lexikon ČSR: Hory a nížiny. Praha: Academia.

Geotechnický průzkum a zkoušení-Laboratorní zkoušky zemin-Část 5: Stanovení stlačitelnosti zemin v edometru: ČSN CEN ISO/TS 17892-5. 1. Praha: Český normalizační institut, 2005.

GOLCHIN, A., CLARKE, P., OADES, J. M., SKJEMSTAD, J. O., 1995: The effect of cultivation on the composition of organic-matter and structural stability of soils. *Australian Journal of Soil Research*, 33(6): 957-993. ISSN 0004-9573.

HILLEL, D., 2004. Introduction to environmental soil physics. Boston: Elsevier Academic Press. ISBN 01-234-8655-6.

HORÁČEK J., LEDVINA R., STACH J., et al. (1999): Posouzení fyzikálních vlastností půd při klasické a bezorebné technologii pěstování brambor.

Zemědělská technika, 45 (3): 81-87

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B., KOVAŘÍČEK P. et. al, 2004. Minimalizační a půdoochranné technologie. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. ISBN 80-86884-01-5.

CHÁB, J., STRÁNÍK Z., ELIÁŠ, M., 2007. Geologická mapa České republiky 1:500 000. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-666-9.

JÍLKOVÁ, L., CIAHOTNÝ K., ČERNÝ, R., 2012. Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů. *Paliva: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.*,4(3), 1-7.

JUDA, J. 2006. Problematika simulace a předpovědi teplot s ohledem na její další využití. Praha. Bakalářská práce.

KAMENÍČKOVÁ, I., LARIŠOVÁ, L., STOKLÁSKOVÁ, A., 2015. Vliv různých

- agrotechnologií na nasycenou hydraulickou vodivost Ks hlinité půdy v lokalitě Bohaté Málkovice. *Littera Scripta*.5(2), 233–242. ISSN 1802-503X.
- KODEŠOVÁ, R., 2005. Modelování v pedologii. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1347-1.
- KOVÁČ, K., KUBINEC, K., 1998. Pestovanie ozimnej pšenice a podochranárske technológie pestovania obilnín. VÚRV a SPPK, Piešťany, 66 s.
- KURÁŽ, Michal, 2014. Hydrodynamika porézního prostředí. 1. Praha: ČZU v Praze.
- KUTÍLEK, M., NIELSEN, N.R., 1994. Soil hydrology. Cremlingen-Destedt: Catena, c1994. GeoEcology textbook. ISBN 39-233-8126-3
- KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M., 2004. Hydropedologie 10. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02237-4.
- LEDVINA, R., HORÁČEK, J., ŠINDELÁŘOVÁ, M. ,2000: Geologie a půdoznalství. JU ZF České Budějovice.
- LEI O., ZHANG R., 2013: Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Journal of Soils and Sediments* 13: 1561–1572
- LIM T. J., SPOKAS K. A., FEYEREISEN G., NOVAK J. M., 2016: Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere* 142: 136–144.
- MATULA, S., a kol., 1989: Hydropedologie-praktikum. první vydání. České vysoké učení technické, Praha.
- MOHAMED B. A., ELLIS N., KIM C. S., BI X., EMAM A. E., 2016: Engineered biochar from microwave-assisted catalytic pyrolysis of switchgrass for increasing water-holding capacity and fertility of sandy soil. *Science of The Total Environment* 566–567: 387–397.
- MOLINA F. V., 2014, Fernando. Soil Colloids: Properties and ion binding. 1. Buenos Aires: CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4398-5115-9.
- NĚMEČEK, J. a kol, 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-238-8061-6.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L. KUTÍLEK, M., 1990. Pedologie a paleopedologie. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-0153-0.
- VAN BREEMEN, N. BUURMAN, P., 2003. Soil formation. Second edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers ISBN 03-064-8163-4.

- PAVLÁSEK, J., JAČKA, L, 2014. *Hydropedologie*. 1. ČZU v Praze. Praha.
- PODHRÁZSKÁ, J., J. KONEČNÁ, I. KAMENÍČKOVÁ a M. DUMBROVSKÝ. Sledování vlivu podpůrné látky PRP SOL na hydrofyzikální vlastnosti půdy při pěstování cukrové řepy. *LISTY CUKROVARNICKÉ a ŘEPAŘSKÉ*. 2012, 128(4), 1-6.
- PRABAKARAN, G., 2010. *Introduction to soil and agricultural microbiology*. Mumbai India: Himalaya Pub. House. ISBN 978-935-0243-107.
- PRAX, A., JANDÁK, J., POKORNÝ, E. 1995: *Půdoznalství*. MZLU Brno.
- PRICE, M., WALSH K., 2006. *Horniny a minerály: nový kapesní atlas*. V Praze: Slovart. ISBN 80-7209-848-9.
- PROCHÁZKA, B., 2015. *Biostatistika pro lékaře: principy základních metod a jejich interpretace s využitím statistického systému R*. V Praze: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-2782-3.
- QUITT, E., 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia.
- SOTÁKOVÁ S., 1982: *Organická hmota a úrodnost půdy*. Bratislava, Příroda, 1982.
- STRAHLER, A. H., 2013 *Introducing physical geography*. Sixth edition. Hoboken, N.J.: Wiley. ISBN 978-1-118-39620-9.
- SVOBODOVÁ, O., 2011. *Posouzení obsahu a kvality humusu u rozdílných technologií zpracování půdy*. České Budějovice. Disertace. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- SYMES, R. F., 1995, *Horniny a minerály*. Přeložil Jiří ADAMEC. Praha: Fortuna Print, 1995. Vidět-poznat-vědět. ISBN 80-85873-30-3.
- ŠARAPATKA, B., 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Odborná publikace. ISBN 978-80-244-3736-1.
- ŠIMEK, M., 2003. *Základy nauky o půdě*. Vyd. 1. České Budějovice: Jihočeská univerzita. ISBN 80-7040-630-5
- TOMÁŠEK, M., 2007. *Půdy České republiky*. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-688-1.
- TRAKAL L., BINGÖL D., POHORELÝ M., HRUŠKA M., KOMÁREK M., 2014: *Geochemical and spectroscopic investigations of Cd and Pb sorption mechanisms on contrasting biochars: Engineering implications*. *Bioresource Technology* 171: 442–451.0

UCHIMIYA M., KLASSON, K. T., WARTELLE L. H., LIMA I. M., 2011: Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. *Chemosphere* 82: 1431–1437.

VALLA M., KOZÁK J., DRBAL J., 1980. Cvičení z půdoznalectví - II. Praha, Vysoká škola zemědělská.

VALLA, M., 2002. Pedologické praktikum. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta. ISBN 80-213-0914-8.

VOMOČIL, O., 2013. Modelování podpovrchového odtoku pomocí GIS. Olomouc. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

VOPRAVIL, J., 2010. Půda a její hodnocení v ČR. 2. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, -. ISBN 978-80-87361-05-4.

YAZDANPANA N., MAHMOODABADI M., CERDÀ A., 2016: The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma* 266: 58–65.

Internetové zdroje:

ES 2009. Souvislost mezi procesy degradace půdy, zemědělskými postupy šetrnými k půdě a politickými opatřeními s významem pro půdu. In: Udržitelné zemědělství a ochrana půdy [online]. 1. Evropská společenství [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://soco.jrc.ec.europa.eu>.

PRP technologies, 2017. [online]. In: Informační leták NeoSol. s. 1-4 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.elita.cz/file/6519/informacni-letak-neosol.pdf>

10. Seznam obrázků

Obr. 1: Vymezení vlastností objemových změn půdy při změně vlhkosti půdy, převzato: Kutílek 2004.....	8
Obr. 2: Struktura tetraedrů, převzato: Hillel, 2004	10
Obr. 3: Struktura oktaedrů, převzato: Hillel, 2004.....	10
Obr. 4: Vizualizace pozitivních účinků přípravku NeoSol	16
Obr. 5: Cyklus uhlíku, převzato: Prabakaran, 2010, přeloženo autorem	17
Obr. 6: Cyklus dusíku, převzato: Prabakaran, 2010, přeloženo autorem.....	18
Obr. 7: Cyklus fosforu, převzato: Prabakaran, 2010, přeloženo autorem.....	20
Obr. 8: Schéma Guelphského permeamtru, převzato:Matula, 1989	23
Obr. 9: Schéma jednosondové metody, převzato: Kutílek, 2004.....	24
Obr. 10: Lokalizace odběrového místa, zdroj: https://www.arcgis.com , podkladová mapa National Geographic.....	26
Obr. 11: Geomorfologické členění Středolabské tabule, zdroj: http://geoportal.cuzk.cz/Geoprohlizec	27
Obr. 12: Půdní typy ve vybraném území, zdroj: Půdní mapa ČZU	29
Obr. 13: Mapa odběrových oblastí.....	31
Obr. 14: Odběr vzorků ve zkoumané oblasti, foto autora	32
Obr. 15: Odběr vzorků ve zkoumané oblasti-zarovnání vzorku, foto autora.....	33
Obr. 16: Vaření suspenze s dispergačním činidlem, foto autora.....	35
Obr. 17: Schéma laboratorního permeamtru, převzato: https://en.eijkelkamp.com/products/soil-water-permeameters.html	38
Obr. 18: Vložení násosky do držáků - měření s konstantním spádem, foto autora....	39
Obr. 19: Čáry zrnitosti pro zkoumané odběrové oblasti	42
Obr. 20: Klasifikace zrnitostního typu	43
Obr. 21: Přehled logaritmů naměřených hodnot [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] jednotlivých odběrových oblastí.....	44
Obr. 22: Porovnání sérií měření $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	45
Obr. 23: Sumarizace měření $\log(K_s)$ všech sérií [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$].....	46
Obr. 24: Jednoprůchodová analýza rozptylu $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$].....	48
Obr. 25: Posouzení reziduí $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$].....	50

11. Seznam tabulek

Tab. 1: Podíl jednotlivých částic (%) ve zkoumaných vzorcích	43
Tab. 2: Souhrn naměřených hodnot K_s [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	44
Tab. 3 Popisná statistika vzorků z jednotlivých odběrových oblastí [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	47
Tab. 4 Souhrnné výsledky ANOVA, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	49
Tab. 5 Veličiny Dvouvýběrového studentova testu pro skupinu KH+NPK a NPK, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	51
Tab. 6 Veličiny Dvouvýběrového studentova testu pro skupinu NeoSol+NPK a NPK, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	51
Tab. 7 Veličiny Dvouvýběrového studentova testu pro skupinu NeoSol+NPK a KH+NPK, $\log(K_s)$ [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	52
Tab. 8 Množství uhlíku v porušených vzorcích [%]	52

12. Přílohy

Příloha I. – Odběr neporušených a porušených vzorků

Lokalita: Sloveč (3) – NPK + kravský hnůj

Datum: 15.8.2017

Souřadnice: 50,23787 15,34540

Číslo válečku	Hloubka odběru (k horní hraně válečku)	Hmotnost vzorku [g]	Poznámka
6	12 cm	171,5	
8	13 cm	176,5	
20	13 cm	211,5	
24	12 cm	188	
23	14 cm	185,5	
11	11 cm	180,5	preferenční cesta
17	11 cm	181,5	díra po kamínku
1	10 cm	184,5	

Lokalita: Sloveč (5) – NPK + NEOSOL

Datum: 15.8.2017

Souřadnice: 50,23848 15,34632

Číslo válečku	Hloubka odběru (k horní hraně válečku)	Hmotnost vzorku [g]	Poznámka
12	13 cm	182	
2	13 cm	173,5	
22 - rezerva	13 cm	172	
13	13 cm	176	
5	13 cm	170,5	
3	11 cm	178	
16	9 cm	185,5	
4	11 cm	190	preferenční cesta
10	10 cm	171,5	

Lokalita: Sloveč (6) – NPK – kontrolní vzorky

Datum: 15.8.2017

Souřadnice: 50,23864 15,34678

Číslo válečku	Hloubka odběru (k horní hraně válečku)	Hmotnost vzorku [g]	Poznámka
18	12 cm	172	
19	11 cm	169	
14	12 cm	173,5	
21	11 cm	172	
7	11 cm	177,5	
15	12 cm	176	
9	11 cm	175,5	
71	10 cm	180	

Příloha II. - Měření K_s - 1. série

v.č. (č.d)	h ₁ [cm]	h ₂ [cm]	h ₂ - h ₁ [cm]	t [h:m:s]				T [°C]	V [cm ³]	K _s [cm/s]	K _s - průměr	Poznámka	cas [s]	Čas od počátku do konce měření
				h	m	s	t [s]							
				t [h:m:s]										
1	4,15	7,7	3,55				19,5			4,49E-07	Proměnný spád	04.10.2017 10:58	84600,00	
	4,1	7,65	3,55				20	1,65E-19				04.10.2017 13:00	84600,00	
	4,1	7,7	3,6				19,5	8,99E-07				05.10.2017 10:28	84600,00	
2			0								Po třech dnech neměřitelný vzorek			
			0											
			0											
3	4,15	7,8	3,65							-4,41E-07	Proměnný spád	04.10.2017 10:58		
	4,1	7,75	3,65					1,65E-19				04.10.2017 13:00	84240,00	
	4,1	7,7	3,6					-8,82E-07				05.10.2017 10:34	84240,00	
4	4,15	6,2	2,1	28	16	1696	19,5	1	4,63E-05	4,86E-05	0:31:42	04.10.2017 11:58		
	4,15	6	1,85	1	4	3894	19,5	2	4,58E-05			05.10.2017 10:30		
	4,15	6	1,85	27	42	1662	19,6	1	5,36E-05			05.10.2017 13:30		
5	4,20	6,5	2,3	4	29	269	19,5	10	2,66E-03	2,50E-03		04.10.2017 11:09		
	4,20	6,6	2,4	4	29	269	20	10	2,55E-03		04.10.2017 12:10			
	4,15	6,3	2,15	5	35	335	19,5	10	2,29E-03		05.10.2017 11:33			
6	4,2	6	1,8	1	23	83	19,5	10	1,10E-02	9,51E-03		04.10.2017 11:02		
	4,2	6	1,8	1	25	85	20	10	1,08E-02		04.10.2017 12:06			
	4,2	5,9	1,7	2	24	144	19,5	10	6,73E-03		05.10.2017 11:27			
7	4,25	6,3	2,05	4	2	242	19,5	10	3,32E-03	2,92E-03		04.10.2017 11:40		
	4,25	6,3	2,05	4	20	260	20	10	3,09E-03		04.10.2017 12:18			
	4,2	6,25	2,05	5	45	345	19,5	10	2,33E-03		05.10.2017 11:17			
8	4,25	6,45	2,2			0	20			-9,64E-05	Proměnný spád	04.10.2017 12:56		
	4,2	4,7	0,5			0	19,5					05.10.2017 10:26	77400,00	
	4,2	4,65	0,45			0	19,6					05.10.2017 13:21	87900,00	
9	4,25	6,3	2,05	4	5	245	19,5	10	3,28E-03	3,47E-03		04.10.2017 11:33		
	4,25	6,3	2,05	3	55	235	20	10	3,42E-03		04.10.2017 12:27			
	4,3	6,3	2	3	43	223	19,5	10	3,70E-03		05.10.2017 11:09			
10	4,2	6,2	2	11	44	704	19,5	5	5,85E-04	9,02E-04		04.10.2017 11:01		
	4,3	6,25	1,95	11	38	698	20	10	1,21E-03		04.10.2017 12:38			
	4,3	6,2	1,9	15	55	955	19,5	10	9,08E-04		05.10.2017 10:41			

Příloha III. - Měření Ks – 2. série

v.č. (č.d)	h1[cm]	h2 [cm]	h2 - h1 [cm]	t [h.m.s]				T [°C]	V [cm3]	Ks [cm/s]	Ks - průměr	Poznámka	cas [s]	Čas od začátku a do konce měření
				h	m	s	t[s]							
1														
2	4,1	7,8	3,7				0					12.10.2017 12:03		
	4	7,5	3,5				0		3,96E-06		Proměnný spád	13.10.2017 9:15	76320	
	4	7,5	3,5				0		3,72E-06			13.10.2017 10:38	81300	
3	4,15	7,9	3,75				0	19,8			Proměnný spád	12.10.2017 12:03		
	4,05	7,8	3,75				0	18,6	0,00E+00			13.10.2017 9:20	76620,00	
	4,1	7,8	3,7				0	18,6	8,96E-07		Proměnný spád	13.10.2017 10:40	81420,00	
4	4,15	7,8	3,65				0	19,8				12.10.2017 12:05		
	4,05	7,6	3,55				0	18,6	1,97E-06		Proměnný spád	13.10.2017 9:20	76500,00	
	4,05	7,5	3,45				0	18,6	3,76E-06			13.10.2017 10:42	81420,00	
5	4,20	7,05	2,85				0	19,8			Proměnný spád	12.10.2017 12:10		
	4,10	6,1	2				0	18,6	2,52E-05			13.10.2017 9:22	76320,00	
	4,1	6,05	1,95				0	18,6	2,54E-05			13.10.2017 10:42	81120,00	
6	4,15	6,05	1,9				4	21	3,32E-03			12.10.2017 10:33		
	4,1	6,1	2				4	27	3,09E-03	10		12.10.2017 11:39		
	4,15	5,95	1,8				3	51	3,96E-03	10		13.10.2017 9:30		
7	4,2	6,25	2,05				2	46	4,84E-03			12.10.2017 10:25		
	4,2	6,2	2				2	36	5,28E-03			12.10.2017 12:50		
	4,15	6	1,85				3	31	4,22E-03			13.10.2017 9:40		
8	4,25	6,25	2				16	30	8,33E-04			12.10.2017 11:20		
	4,2	6,3	2,1				14	56	8,76E-04			12.10.2017 11:39		
	4,2	6,2	2				9	39	1,42E-03			13.10.2017 9:45		
9	4,25	6,4	2,15				28	47	2,22E-04			12.10.2017 11:19		
	4,2	6,3	2,1				25	28	2,57E-04			13.10.2017 9:29		
	4,2	6,3	2,1				28	3	2,33E-04			13.10.2017 10:08		
10														

Příloha IV. – Měření Ks - 3. série

v.č. (č. d)	h1 [cm]	h2 [cm]	h2 - h1 [cm]	t [h:m:s]			t [s]	T [°C]	V [cm ³]	Ks [cm/s]	Ks - průměr	Poznámka	cas [s]	Cas od začátku do konce měření
				h	m	s								
1	4,15	8,4	4,25				0	19,6					18.10.2017 14:40	
	4,1	8,2	4,1				0	19	-2,72E-06	-2,54E-06	Proměnný spád		19.10.2017 10:35	71700,00
	4,1	8,2	4,1				0	19,1	-2,36E-06				19.10.2017 13:38	82680,00
2							0					Neměřitelný vzorek		
							0							
							0							
3	4,5	6,6	2,1	21	14	1274	0	19,4	3,08E-04	3,75E-04			18.10.2017 10:35	
	4,2	6,3	2,1	17	5	1025	0	19	3,83E-04				19.10.2017 10:40	
	4,2	6,25	2,05	30	50	1850	0	19,1	4,35E-04				19.10.2017 13:05	
4	4,2	8,3	4,1				0	19,6		-3,54E-06	Proměnný spád		18.10.2017 14:40	
	4,2	8,1	3,9				0	19	-3,79E-06				19.10.2017 10:35	71700,00
	4,2	8,1	3,9				0	19,1	-3,29E-06				19.10.2017 13:39	82740,00
5	4,25	8,4	4,15				0	19,6		0,00E+00	Poměnný spád		18.10.2017 14:40	
	4,25	8,4	4,15				0	19	-7,96E-07	-7,96E-07			19.10.2017 10:35	71700,00
	4,3	8,4	4,1				0	19,1					19.10.2017 13:40	82800,00
6	4,25	6,1	1,85	12	9	729	0	19,6	1,22E-03	2,51E-03			12.10.2017 10:33	
	4,25	5,95	1,7	5	1	301	0	19	3,22E-03				12.10.2017 11:39	
	4,25	5,95	1,7	5	13	313	0	19,1	3,10E-03				13.10.2017 9:30	
7														
8														
9														
10														

Příloha V. – Sumarizace měřených hodnot K_s

Číslo vzorku	Odběrová oblast	Série měření	K_s – průměr [cm.s ⁻¹]
6	kravský hnůj + NPK	1.	$4,49 \cdot 10^{-07}$
8	kravský hnůj + NPK	1.	$1 \cdot 10^{-08}$
20	kravský hnůj + NPK	1.	$4,41 \cdot 10^{-07}$
1	kravský hnůj + NPK	2.	$1 \cdot 10^{-08}$
23	kravský hnůj + NPK	2.	$3,96 \cdot 10^{-06}$
11	kravský hnůj + NPK	2.	$4,48 \cdot 10^{-07}$
17	kravský hnůj + NPK	3.	$2,54 \cdot 10^{-06}$
24	kravský hnůj + NPK	3.	$1 \cdot 10^{-08}$
12	NEOSOL + NPK	1.	$4,86 \cdot 10^{-05}$
2	NEOSOL + NPK	1.	$2,50 \cdot 10^{-03}$
13	NEOSOL + NPK	1.	$9,51 \cdot 10^{-03}$
22	NEOSOL + NPK	1.	$2,92 \cdot 10^{-03}$
3	NEOSOL + NPK	2.	$2,87 \cdot 10^{-06}$
16	NEOSOL + NPK	2.	$2,53 \cdot 10^{-05}$
5	NEOSOL + NPK	2.	$3,46 \cdot 10^{-03}$
10	NEOSOL + NPK	3.	$3,75 \cdot 10^{-04}$
4	NEOSOL + NPK	3.	$3,54 \cdot 10^{-06}$
18	NPK	1.	$9,64 \cdot 10^{-05}$
19	NPK	1.	$3,47 \cdot 10^{-03}$
14	NPK	1.	$9,02 \cdot 10^{-04}$
7	NPK	2.	$4,78 \cdot 10^{-03}$
21	NPK	2.	$1,04 \cdot 10^{-03}$
9	NPK	2.	$2,37 \cdot 10^{-04}$
71 -vyřazená hodnota	NPK	3.	$7,96 \cdot 10^{-07}$
15	NPK	3.	$2,51 \cdot 10^{-03}$

Příloha VI. - Výstupy Dvouvýběrového studentova testu

