

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

Obor: Územní technická a správní služba



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního  
prostředí**

**Vliv způsobu hospodaření na  
vybrané indikátory kvality půdy  
na zemědělských půdách**

**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: Mgr. Alena Walmsley, Ph. D.

Bakalant: Jan Kožuškanič

2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Kožuškanič

Územní technická a správní služba

Název práce

**Vliv způsobu hospodaření na vybrané indikátory kvality půdy na zemědělských půdách**

Název anglicky

**The effect of management type on selected soil parameters in agricultural soils**

---

### Cíle práce

Cílem práce bude zjistit, jak způsob hospodaření na zemědělské půdě ovlivňuje vybrané indikátory kvality půdy. Součástí práce bude rešerše literatury na dané téma a praktická část, ve které bude student měřit vybrané parametry půdy a na základě toho se pokusí zhodnotit vliv hospodaření na kvalitu a biologickou aktivitu půdy.

### Metodika

V literární rešerši student shrne různé způsoby hospodaření na zemědělských půdách a to jak mohou ovlivnit kvalitu půdy a také shrne poznatky o nejvýznamnějších indikátorech kvality půdy. V praktické části potom bude zkoumat několik parametrů půdy – stabilitu půdních agregátů, celkový obsah uhlíku, aktivitu půdních enzymů a výskyt žíhal na vybraných polích se stejným typem půd a klimatem a zhodnotí jaký má způsob hospodaření vliv na tyto indikátory a jak spolu jednotlivé parametry souvisí.

**Doporučený rozsah práce**

30 – 50 stran

**Klíčová slova**

zemědělské půdy, způsob hospodaření, indikátory kvality půdy, půdní vlastnosti

---

**Doporučené zdroje informací**

Doran M.W. a Zeiss M.R., 2000: Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3–11

Gryndler M., 2003: Biologie půdních mikroorganismů. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem Přírodovědecká fakulta

Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U., 2002: Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.

Mikula J., 2012: Využití půdních bezobratlých jako indikátorů kvality půdy. Disertační práce, Univerzita Palackého v Olomouci

Šarapatka B., 2010: Agroekologie : východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Olomouc: Bioinstitut. ISBN 978-80-87371-10-7.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Mgr. Alena Walmsley, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2017

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2017

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2017

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv způsobu hospodaření na vybrané indikátory kvality půdy na zemědělských půdách“ zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Aleny Walmsley, Ph.D a že jsem uvedl všechny zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 30. 3. 2017

---

Jan Kožuškanič

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat především vedoucí mé bakalářské práce, paní Mgr. Aleně Walmsley, Ph. D., za ochotnou spolupráci a konzultace při řešení jednotlivých problematik této práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za pevné nervy a podporu v tomto náročném období, které se mnou museli vydržet.

## **Abstrakt:**

Tato práce se zabývá vlivem různých způsobů obhospodařování půdy na kvalitu půdy a biologickou aktivitu v dané oblasti. V rešerši jsou popsány vybrané způsoby hospodaření v České republice. Následují kategorie členění indikátorů půdní kvality a popis některých indikátorů. V této bakalářské práci je pozornost především zaměřena na aktivitu půdních enzymů, biologickou aktivitu žížal, stabilitu půdních organismů a stanovení obsahu dusíku a uhlíku v půdě. Všechny tyto indikátory jsou zkoumány v praktické části.

V praktické části bylo vybráno šest polí v Karlovarském kraji se stejným typem půd a klimatem. Dvě pole byla obhospodařována ekologicky a zbylá čtyři pole byla obhospodařována konvenčně.

Pro porovnání vlivu zemědělského hospodaření na kvalitu půdy byla využita CN analýza pro stanovení celkového uhlíku a dusíku, ISO norma pro stanovení stability půdních agregátů a aktivita vybraných půdních enzymů za použití specifických substrátů, sběr žížal a jejich zařazení do skupin. Všechny tyto výsledky byly zaneseny do grafů.

Výsledky částečně dokazují, že některé indikátory jsou přímo závislé na způsobu hospodaření, přesto se některé výsledky měření neshodují s výsledky již dříve vypracovaných prací, tudíž nelze potvrdit, že veškeré indikátory kvality půdy jsou ovlivňovány obhospodařováním půdy.

**Klíčová slova:** způsoby hospodaření, půdní enzymy, žížaly, indikátory kvality půdy, MWD.

**Abstract:**

This thesis is focused on effect of different types of agricultural management on soil quality and biological activity in a given area. In the literary review, selected types of agricultural management used in the Czech Republic are described. Next the indicators of soil quality are classified and described. I focused mainly on soil enzyme activity, earthworm activity, stability of soil aggregates and soil carbon and nitrogen content. All these indicators are also examined in the practical part.

In the experimental part, 6 fields in the region Karlovy Vary, with the same soil type and in the same climatic region were chosen. Two fields were under organic management and 4 fields under conventional.

For comparison of the effect of different management types on soil quality a CN-analysis was used to determine C and N content of soil, ISO norm for assessment of stability of soil aggregates, soil enzyme activity based on substrate decomposition and earthworm extraction with determination into ecological groups. All these results were put into graphs.

The results partially prove, that some indicators are dependent on management type, however some of my results differ from results of other studies, so we cannot say that all indicators are affected by management.

Key words: farming management, soil enzymes, earthworms, indicators of soil quality, MWD.

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	10
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b> .....	11
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b> .....	12
3.1	<i>Zemědělství a jeho negativní vliv na půdu</i> .....	12
3.2	<i>Způsoby obdělávání půdy v České republice</i> .....	13
3.2.1	Konvenční zemědělství .....	13
3.2.2	Ekologické zemědělství .....	13
3.2.3	Zemědělství s minimální orbou.....	15
3.3	<i>Indikátory charakterizující kvalitu půd</i> .....	16
3.4	<i>Fyzikální indikátory</i> .....	16
3.4.1	Stabilita půdních agregátů.....	16
3.4.2	Půdní pórovitost .....	17
3.4.3	Retenční vodní kapacita .....	17
3.5	<i>Chemické indikátory</i> .....	18
3.5.1	Půdní organická hmota.....	18
3.5.2	Organický uhlík.....	18
3.5.3	Dusík .....	19
3.6	<i>Biologické indikátory</i> .....	20
3.6.1	Aktivita půdních enzymů .....	20
3.6.2	Složení enzymů .....	20
3.6.3	Klasifikace enzymů.....	21
3.6.3.1	Kyselá fosfatáza .....	21
3.6.3.2	Beta-glukosidáza .....	22
3.6.3.3	Alfa-glukosidáza .....	22
3.6.3.4	Beta-xylosidáza .....	23
3.6.3.5	Glukuronidáza .....	23
3.6.3.6	Celobiohydroláza .....	23
3.6.3.7	Arylsulfatáza .....	23
3.6.3.8	Chitináza.....	24
3.6.4	Půdní organismy .....	24
3.6.4.1	Význam půdních organismů.....	25
3.6.5	Ekologie žížal.....	26
3.6.5.1	Epigeické druhy.....	26
3.6.5.2	Endogeické druhy.....	27
3.6.5.3	Anektické druhy .....	27
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	28
4.1	<i>Popis zkoumaných oblastí</i> .....	28



4.2	<i>Postup měření aktivity půdních enzymů</i> .....	29
4.3	<i>CN analýza</i> .....	30
4.4	<i>MWD – určení stability půdních agregátů</i> .....	31
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>32</b>
5.1	<i>Analýza uhlíku a dusíku</i> .....	32
5.2	<i>Analýza kyselých fosfatázy</i> .....	33
5.3	<i>Analýza beta-glukosidázy</i> .....	33
5.4	<i>Analýza alfa-glukosidázy</i> .....	34
5.5	<i>Analýza cellobiohydrolázy</i> .....	34
5.6	<i>Analýza beta-xylosidázy</i> .....	35
5.7	<i>Analýza exo-chitinázy</i> .....	35
5.8	<i>Analýza glukuronidázy</i> .....	36
5.9	<i>Analýza aryl-sulfatázy</i> .....	36
5.10	<i>MWD analýza – stabilita půdních agregátů</i> .....	37
5.11	<i>Zastoupení žižal na jednotlivých zkoumaných polích</i> .....	38
<b>6</b>	<b>Diskuze</b> .....	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury</b> .....	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy</b> .....	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>Datový nosič – CD/DVD</b> .....	<b>55</b>

# 1 Úvod

Půda je jednou z nejdůležitějších složek na zemi nutných k přežití, proto je potřeba ji chránit. Člověk svou činností půdu ovlivňuje a přetváří. Při nesprávném použití může dojít k úplné devastaci a to, co se zde tvořilo několik stovek i tisíců let, může nezodpovědným zásahem poměrně v krátkém horizontu let zcela zaniknout. V dnešní době ji využíváme především pro pěstování plodin, v průmyslu a své místo má také ve stavitelství.

Narušování půdní struktury vede k degradaci půdy, která se v důsledku špatného využívání nestačí v dostatečné míře obnovovat. V našich podmínkách je rychlost tvorby půdy přibližně 10 mm za 80 až 150 let. V současné době na značné části polí dochází k dlouhodobému úbytku půdy a zhoršování jejich vlastností z hlediska úrodnosti (Čermák, 2012).

Při zemědělské činnosti musíme vzít v potaz veškeré fyzikální, chemické a biologické aspekty půdy. Struktura půd se vyznačuje především velikostí, tvarem, spojitostí pórů, schopností zadržet a uvolňovat roztoky organických a anorganických látek a v neposlední řadě schopnost podpořit intenzivní růst a rozvoj kořenového systému. Vhodná půdní struktura a vysoká stabilita agregátů vede k lepší úrodnosti půdy, zvýšení zemědělské produkce, zvýšení poréznosti a neméně důležitá je klesající erodovatelnost (Bronick et al., 2005). Půdní struktura má vliv na proudění vody v půdě, její dostupnost a zadržování (Pachepsky a Rawls, 2003). Agregáty a propojené póry zvyšují průtok v půdě, v některých případech to může mít za následek zvýšenou infiltraci, snížení odtoku a voda se dostává hlouběji do půdního profilu (Franzluebbers, 2002; Nissen a Wander, 2003). Stabilní agregáty se tvoří v půdách s vysokým pH a silnou koncentrací uhličitánů (Boix-Fayos et al., 2001).

Velkou pozornost je třeba soustředit také na půdní faunu, která je nezbytná pro rozklad rostlinných a živočišných zbytků a pro utváření půdní struktury, což v sobě zahrnuje půdní agregáty a póry.

## **2 Cíle práce**

Cílem této bakalářské práce je zjistit, jak bude ekologický a konvenční způsob hospodaření na zemědělských půdách ovlivňovat vybrané indikátory kvality půdy. Rešerše literatury se bude zabývat na dané téma a v případě praktické části se budou jednotlivé indikátory měřit na vybrané parametry půdy, čímž se pokusím vyhodnotit, jaký vliv má hospodaření na kvalitu a biologickou aktivitu půdy.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Zemědělství a jeho negativní vliv na půdu

Obecně se dá říci, že negativní vlivy zemědělství se zvyšovaly s počtem obyvatelstva. Zásadní vliv má především na biodiverzitu, kdy se narušují funkce ekosystémů, protože zemědělstvím se tvoří časté monokultury. To způsobuje vyhynutí původních druhů, snížení druhové diversity společenstev a ekosystémů a změny v početnosti druhů. Většinou to souvisí s opatřeními proti škůdcům, kdy se používají nejrůznější látky – pesticidy. V monokulturách mají škůdci ideální podmínky pro svůj vývoj.

Intenzita využívání pesticidů kolísá podle prostorových a časových změn škůdců populace, což závisí na klimatických či jiných faktorech životního prostředí a osevních postupech, ve kterých je plodina zahrnuta (Karlen et al., 1994; Meynard et al., 2003; Deike et al., 2008; Nemecek et al., 2008 a Bürger et al., 2012).

Tradiční krajiny byly typicky produktem nízké intenzity využívání půdy (Plieninger et al., 2006). Intenzifikace využívání půdy má za následek hluboké změny v tradičním prostředí: neobdělané oblasti byly přeměněné do velkých „výrobních“ parcel, snadno přístupných pro strojní zařízení. (Kristensen, 2003). Extenzifikace je proces, kdy se přísun živin a vstupů práce sníží, což vede k marginalizaci zemědělství a opouštění půdy. Opouštění půdy se vyskytuje v oblastech, kde stávající využívání půdy není ekonomicky výhodné a často zemědělství pokračuje pomocí (levné) práce rodinných příslušníků (Duarte et al., 2008). Marginalizace v zemědělství je považována za proces kombinací sociálních, ekonomických, politických a environmentálních faktorů, přičemž některé zemědělské oblasti přestávají být životaschopné. (Baldock et al., 1996).

## 3.2 Způsoby obdělávání půdy v České republice

### 3.2.1 Konvenční zemědělství

Konvenční zemědělství a nadměrné používání agrochemikálií vedou k ochuzení fauny volně žijících zvířat v zemědělských krajinách, zejména na orné půdě. Zvýšení výnosů bylo dosaženo díky technickému pokroku, ke kterému došlo v druhé polovině 20. století. Došlo k prudkému nárůstu používání anorganických snadno rozpustných hnojiv, pesticidů, jednoduchých osevních postupů a zvýšení hustoty hospodářských zvířat. Nejvyšší prioritou intenzivního zemědělství je tedy maximalizace zisku, snížení nákladů a zefektivnění produkce zemědělské výroby. To mělo za následek nespočet environmentálních problémů, jako je vysoká spotřeba neobnovitelných zdrojů, ztráta biologické diversity, znečištění vodního prostředí zejména nadměrným přísunem dusíku a fosforu (Flury, 2005). Na půdu negativně působí vliv pojezdu těžké mechanizace, s tím souvisí změna půdní struktury, kdy dochází ke snížení retenční schopnosti půdy. Vlivem vodní eroze je v České republice ohroženo 42 procent zemědělského půdního fondu.

### 3.2.2 Ekologické zemědělství

Ekologické zemědělství lze chápat jako vyvážený agroekosystém, při kterém se uplatňují takové způsoby obhospodařování půdy, které vedou k udržení kvality půdy, posílení biodiverzity včetně půdního edafonu. (Šarapatka et al., 2006). Využívání EZ zajišťuje daleko vyšší rostlinnou a živočišnou biodiverzitu vzhledem k tomu, že jsou v tomto zemědělském systému zakázána dusíkatá hnojiva, pesticidy a další syntetické látky (de Ponti et al., 2012). Ekologické zemědělství nabízí daleko větší škálu životních podmínek pro veškeré volně žijící živočichy. Také díky využívání organických hnojiv, jakými je například zelené hnojení, kompost nebo hnůj z ekologických chovů. (Glab et al., 2016). Z dlouhodobého hlediska se očekává, že ekologické řízení vede ke zvýšení obsahu organické hmoty v půdě a zvýšení stability půdních agregátů, než je tomu v konvenčně obhospodařovaných půdách (Papadopoulos et al., 2006; Sacco et al., 2015; Stockdale et al., 2001). Záporným efektem EZ může být zvýšení rizika zhutnění půdy (Ball a Crawford, 2009;

Pulleman et al., 2003). Zhutnění půdy může být způsobeno intenzivním používáním traktoru spojené s mechanickou ochranou proti plevelu (Sandhu et al., 2010). Šíření vytrvalých plevelů v EZ je mnohem vyšší ve srovnání s konvenčními zemědělskými systémy (Boguzas et al., 2004; Raslavičius a Povilaitis, 2013). (Kirchmann et al. 2008) zjistili, že produkce u ekologických systémů je o 25 až 50% nižší než u konvenčních. Mezi hlavní faktory, které snižují výnosy, patří menší dostupnost živin, která souvisí s absencí minerálních hnojiv. Při změně systému, kdy se z konvenčního přechází na ekologický, jsou snižené výnosy zřejmé, protože přechod z jednoho systému na druhý vyžaduje čas pro regeneraci půdy a její biochemické funkce (Gopinath et al., 2009).

<b><u>Konvenční zemědělství</u></b>	<b><u>Ekologické zemědělství</u></b>
<b>Kvantita - kvalita</b>	<b>ekologická kvalita</b>
<b>ekonomická rentabilita je důležitější před ekologickou-biologickou rovnováhou</b>	<b>biologicko-ekologické rovnováhy jsou důležitější než ekonomické požadavky</b>
<b>značná specializace</b>	<b>mnohostranná produkce</b>
<b>jednoduchý osevní postup</b>	<b>pestrý osevní postup</b>
<b>používání minerálních hnojiv</b>	<b>používání organických hnojiv</b>
<b>Aplikace agrochemikálií, biocidů, regulátorů.</b>	<b>snaha, aby pěstební systém sám reguloval výskyt škodlivých činitelů.</b>

*Tab. 1. Charakteristika konvenčního a ekologického zemědělství*

### 3.2.3 Zemědělství s minimální orbou

Zemědělství s minimální orbou, která má za hlavní cíl ochranu půdy proti erozi, se v průběhu času vyvinul jako trvale udržitelný pro zemědělství (Carter, 1994). Mnoho studií se shoduje, že půdy obhospodařované minimální orbou mají vyšší rychlost infiltrace a zadržovací schopnost vody v půdě. Díky tomu jsou nižší odtokové ztráty než na obdělávaných půdách (Chang a Lindwall, 1992; Baumhardt a Lescano, 1996; Quiroga et al., 1998). Pomocí bezorebného zemědělství se zvyšuje stabilita půdních agregátů. Tento systém zlepšuje proudění vzduchu a růst kořenů, protože jsou spojitější, méně klikaté a stabilnější než makro póry vytvořené v průběhu orby. Je to vhodná alternativa pro konvenční způsob hospodaření, protože zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Snižuje riziko znečištění životního prostředí, protože se snižují ztráty živin a přímých či nepřímých skleníkových plynů. Kromě toho, ZT snižuje frekvenci používání strojů.

I přes tyto potenciální výhody, bezorebné systémy hospodaření mohou způsobit nepříznivé jevy. Vyrůstají obavy ze zvýšení odolnosti některých vytrvalých plevelů vůči herbicidům, ze škodlivého vlivu herbicidů na životní prostředí jak v místě aplikace, tak v okolí. Možného zvýšení výskytu nemocí, které mají původ v půdě, nebo v posklizňových zbytcích a také z akumulace organické hmoty a půdního uhlíku pouze na povrchu půdy (Thomas et al., 2007).

## 3.3 Indikátory charakterizující kvalitu půd

Indikátory kvality půdy mohou být rozčleněny do tří následujících bodů:

1. fyzikální vlastnosti (textura, hloubka půdy, hydraulická vodivost, pórovitost, retenční vodní kapacita, stabilita půdních agregátů)
2. chemické nebo fyzikálně chemické vlastnosti (obsah a kvalita humusu, obsah celkového dusíku, kationtová výměnná aktivita, reakce (pH), vodivost, obsah živin atd.)
3. biologické (obsah uhlíku a dusíku v biomase mikroorganismů, potenciale mineralizovaný dusík, respirace, aktivita půdních enzymů, množství a druhové složení žížal atd.)

## 3.4 Fyzikální indikátory

### 3.4.1 Stabilita půdních agregátů

Půdními agregáty rozumíme struktury vytvořené agregací organické a anorganické půdní hmoty, vzniklé často jako důsledek činnosti půdních organismů (zejména žížal, bakterií a hub). V agregátech je často obsaženo velké množství organické hmoty, která je v nich takřkajíc „zakonzervována“ ve složitých molekulách humusu, a tak je chráněna proti rozkladu.

Stabilitou půdních agregátů se rozumí jejich schopnost odolávat destruktivním účinkům deště, při kterém se vlivem dopadu kapek za současného zvlhčení agregáty mohou rozpadnout, pokud jsou nestabilní.

Stabilita půdních agregátů závisí na půdním typu a druhu, obsahu humusu, biologické aktivitě a způsobu zpracování půdy. Při intenzivním zemědělství jsou agregáty často narušovány – mechanicky i chemicky.



Mechanické narušování spočívá v intenzivní orbě, při které jsou agregáty mechanicky poškozeny a v utužování půdy vlivem pojezdu mechanizace, při kterém dochází ke slití půdy a jejímu stlačení.

Chemické narušování spočívá v narušení chemických vazeb uvnitř agregátů, k čemuž dochází například vlivem působení organických kyselin, když je pH půdy nízké, nebo tyto chemické vazby narušují mikroorganismy, když vyčerpají volně dostupné zdroje organické hmoty.

### 3.4.2 Půdní pórovitost

V půdě se nachází prostory, které jsou nezaplňené pevnou fází. Většinou mají rozdílné tvary, velikosti a jsou mezi sebou různě propojeny. Póry mají schopnost umožnit v půdě proudění vzduchu a vody, přičemž v nich probíhají látkové přeměny a výměnné reakce mezi mikrofaunou a kořínky rostlin. Lze je rozlišit na kapilární, semikapilární a nekapilární póry. Kapilární póry, jež mají průměr menší než 0,2 mm, zde voda může proudit proti působení gravitace. V nekapilárních pórech s průměrem větším než 0,2 mm se voda pohybuje působením přitažlivosti spodních vrstev půdy a na její místo se tlačí vzduch.

Pórovitost jednotlivých zemědělských půd se v ornici pohybuje většinou v rozmezí 40 až 50 %, v podorničí 30 až 40 %, poté lze vyhodnotit objektivně kyprost nebo ulehlost půdy. Při zpracování půdy může zemědělec výrazně změnit pórovitost půdy, například orbou, vláčením, kypřením apod. V našich podmínkách se půdní pórovitost průměrně pohybuje mezi 30 až 62 % (Špička, 1964), přičemž ideální stav pro růst kulturních rostlin se uvádí 55 až 65 % s obsahem vzduchu 20 až 25 % (Hraško, 1988).

### 3.4.3 Retenční vodní kapacita

Je to schopnost zadržovat vodu v půdním v profilu, kdy nejvyšší retenční vodní kapacitu mají půdy hlinité až jílovitohlinité. Vyjadřuje se jako maximální množství vody, které je půda schopna udržet vlastními silami během následujících 24 hodin téměř v rovnovážném stavu po nadměrném zavlažení.

## 3.5 Chemické indikátory

### 3.5.1 Půdní organická hmota

Je největší suchozemskou zásobárnou uhlíku, dusíku, fosforu a síry; přístupnost všech prvků je neustále ovlivňována mikrobiální mineralizací a imobilizací. Půda má nezastupitelnou úlohu v udržení stability ekosystému a ovlivňuje bilanci látek a energií. Půdní organická hmota je tedy soubor živých a neživých organických látek. Podle některých autorů jako jsou například Schaumann a Thiele-Bruhn (2011) lze chápat SOM (půdní organická hmota) jako organickou složku půdy, která není lehce oddělitelná od rostlinných či živočišných tkání a neobsahuje půdní biomasu. Vše jasně nasvědčuje tomu, že SOM nemá jednoznačně danou definici. Podle Šarapatky (2006) je hlavní složkou půdní organické hmoty uhlík.

### 3.5.2 Organický uhlík

Obsah půdního organického uhlíku (SOC – půdní organický uhlík) může významně ovlivnit kvalitu půdy utvářením a stabilizací půdní struktury. Mezi funkce patří například zadržování vody, objemová hustota, křehkost obdělávání půdy a tím přispívá k vytvoření stabilních agregátů (Dexter et al., 2008; Lefroy et al., 1995). Celkové množství půdního organického uhlíku je taktéž ovlivňováno půdním typem, klimatem, způsobem hospodaření, zrnitostí a celkovými interakcemi těchto faktorů.

Správné postupy při obhospodařování půdy, které zachovávají nebo zvyšují SOC, ovlivňují kvalitu půdy a mohou napomáhat ke zvýšené schopnosti půdy akumulovat další organický uhlík. Například posklizňové zbytky ponechané na povrchu půdy mohou zabránit erozi, obohatit půdu o organickou hmotu a zvýšit biologickou a biochemickou aktivitu půdy, která souvisí například i s fixací dusíku (Barthès et al., 2004; De Baets et al., 2011; Poeplau et al., 2015).

Nicméně účinnost těchto opatření závisí na vlastnostech půdy a aktuálním obsahu SOC. (Merante et al., 2017). Jeho množství je určeno bilancí mezi mírou vstupu organického uhlíku do půdy (rostlinné a živočišné zbytky, kořeny) a výstupy oxidu uhličitého, uvolňovaného mikrobiologickou dekompozicí a dýcháním půdních živočichů.

### 3.5.3 Dusík

Dusík se dostává do půdy nejdříve z atmosféry fixací mikroorganismů, srážkami a spadem, posklizňovými zbytky, průmyslovými a organickými hnojivy. Přibližně 30 procent dusíku je uloženo v kořenech a zbytek se nachází v biomase. Obsah celkového dusíku se v orniční vrstvě půdy pohybuje v rozmezí 0,03 až 0,5 %. Pro správný průběh rozkladu biomasy je důležitý poměr C/N, který je v různých organických materiálech jiný, tudíž rozklad jednotlivých mikroorganismů je různý. Čím větší je poměr C/N, tím méně dusíku prostupuje organickým materiálem a tím se zpomaluje rozklad organické hmoty.

V České republice je běžný poměr C/N 10-15:1:1. Díky tomu převládají procesy mineralizace nad procesy imobilizace, což vyžaduje pravidelný zvýšený přísun organické hmoty do půdy. V rostlinách se jeho obsah mění v závislosti na druhu, orgánu a stáří rostliny. V počátečních fázích bývá jeho obsah vysoký, poté se s tvorbou biomasy postupně snižuje. Podíl z celkového dusíku (97 až 99%) tvoří organická frakce, která je pro rostliny až na malé výjimky nepřístupná. Anorganické frakce jsou převážně tvořeny hlavně ionty  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_3$ , převážně rozpuštěné v půdním roztoku. V této formě se dostává do spodních vrstev půdy a jsou to složky, které se podílí na kontaminaci spodních a povrchových vod, kdy následně dochází k eutrofizaci (Lorencová, 2007).

## 3.6 Biologické indikátory

### 3.6.1 Aktivita půdních enzymů

Půdní mikroorganismy i živočichové produkují velké množství enzymů, které slouží k rozkladu organických i anorganických látek. Velká část enzymů je uvolňována do půdy, kde je potom vázána na půdní částice (humus, jíly) a lze je proto detekovat v půdním vzorku i po odumření organismů. Aktivita půdních enzymů vypovídá o množství rozkladu velkých organických molekul a o množství recyklace některých biogenních prvků, jako je dusík, fosfor či síra v určité půdě. Její měření je účinným nástrojem pro sledování vývoje biochemických pochodů v půdě (Baldrian, 2009). Působení půdních organismů závisí na typu plodiny či porostu a také na množství organické hmoty v půdě a půdní struktuře. Podpůrné průmyslové přípravky jako jsou hnojiva, pesticidy, herbicidy a způsob obhospodařování půdy mají taktéž svojí nezastupitelnou úlohu na aktivitu půdních enzymů (Bolton a Elliott et al., 1985, Bandick a Dick, 1999). Je proto důležité sledovat aktivitu více enzymů z důvodu věrohodného hodnocení celkového stavu mikrobiální populace v půdě (Baldrian, 2009).

### 3.6.2 Složení enzymů

Enzymy mohou být jednosložkové (čistá, katalyticky aktivní bílkovina) nebo dvousložkové (holoenzymy), tudíž jednosložkové enzymy jsou tvořeny pouze bílkovinou částí. Dvousložkové enzymy se skládají z holoenzymů, které jsou tvořeny apoenzymem (vlastní bílkovina) a koenzymem (nebílkovinná složka).

### 3.6.3 Klasifikace enzymů

V dřívějších dobách se používaly pouze jednoduché názvy, většinou s koncovkou in (např. trypsin). Po bližším poznání jednotlivých enzymů byla nucena společnost zavést třídění do jednotné nomenklatury. Nomenklatura a klasifikace enzymů dnes obsahuje přes 2500 enzymů. Kromě systematického názvu bylo enzymu přiděleno specifické kódové číslo, které enzym jednoznačně identifikuje. Například pro kyselou fosfatázu je kódové číslo E.C. 3. 1. 3.2.

Zkratka E.C. – vyznačuje enzymový kód,

1. číslo – hlavní enzymová třída (hydroláza)
2. číslo – podtřída
3. číslo – typ kofaktoru
4. číslo – označuje konkrétní enzym

Všechny níže uvedené enzymy patří do enzymové třídy E.C. 3, což jsou hydrolázy.

#### 3.6.3.1 Kyselá fosfatáza

Suchozemské rostliny se pomocí mnoha morfologických a enzymatických změn přizpůsobily nízké dostupnosti fosfátů v půdě. Například po přijetí signálu, který indikuje nedostatek fosforu v půdě, se zvýší sekrece kyselé fosfatázy z kořenů pro zvýšení solubilizace fosfátu a ten je pak pro rostliny snáze dostupný (Muchhal et al 1996; Daram et al. 1998). Množství kyselé fosfatázy vylučované kořeny rostlin se liší mezi druhy plodin a jednotlivých odrůd, stejně jako mezi různými způsoby obhospodařování různých plodin. Výzkum například ukázal, že luštěniny vylučují více fosfatázy než obiloviny (Yadav a Tarafdar, 2001). Aktivita tohoto enzymu je nejčastěji používána pro odhadování změn kvality půdy a to v závislosti na hospodaření nebo možné přítomnosti kontaminantů. Je to velmi dobrý index kvality a ukazatel množství organických látek v půdě (Jordan et al., 1995).

Různé studie ukázaly, že se aktivita tohoto enzymu zvyšuje v důsledku organického hnojení a klesá, pokud se používají fosfátová hnojiva (Clarholm 1993; Olander a Vitousek, 2000). Aktivita se značně snižuje za přítomnosti olova a dalších těžkých kovů (Marzadori et al., 1996; Kandeler et al., 1996). Pokud se vyskytují v půdě pesticidy, jejich aktivita klesá jenom dočasně (Schäfer, 1993).

### 3.6.3.2 Beta-glukosidáza

Tento enzym je mononenasyčená mastná kyselina, typická jako gram-negativní bakterie, která uvolňuje jednoduché cukry (Atlas a Bartha, 1993). Beta-glukosidáza je velmi citlivá na změny pH a hospodaření s půdou. Lze ji také využívat jako indikátor kvality půdy, protože zachycuje minulost biologické činnosti. Díky ní lze stabilizovat půdní organickou hmotu a ukazuje, jaké účinky má obhospodařování půdy (Bandick a Dick, 1999; Ndiaye et al. 2000).

Obecně platí, že aktivita beta-glukosidázy může poskytovat pokročilé důkazy o změnách organického uhlíku dlouho předtím, než jej lze přesně změřit běžnými metodami. S ohledem na ostatní zapojené enzymy do koloběhu uhlíku, beta-glukosidáza je nejrozšířenější ve vyhodnocování půdy kvality vystavené různými hospodářskými postupy. V mnoha studiích bylo zjištěno, že aktivita tohoto enzymu byla nižší u plodin na orné půdě, než v lesích a loukách, což by mohlo vést k závěru, že některé zemědělské postupy mohou negativně ovlivňovat aktivitu beta-glukosidázy. Navzdory tomu, organické hnojení může tuto aktivitu zvýšit (Bandick a Dick, 1999), čímž se jeho hodnota jako možného ukazatele snižuje.

### 3.6.3.3 Alfa-glukosidáza

Účastní se procesů odbourávání škrobů a disacharidů na glukózu, přičemž nejvyšší aktivita je po přidání čerstvých zbytků, poté rychle klesá.

#### 3.6.3.4 Beta-xylosidáza

Rozkládá xylany, které jsou stavebním materiálem rostlinných buněčných stěn. Xylany jsou téměř stejně všudypřítomné jako celulózy v buněčných stěnách rostlin a obsahují převážně jednotky beta-D-xylózy spojené stejně jako v celulóze, jsou taktéž nazývány hemicelulózy. Endo-xylanázy jsou mnohem častější než beta-xylosidázy, ale jsou také nezbytné pro výrobu xylózy.

#### 3.6.3.5 Glukuronidáza

Podílí se na rozkladu hemicelulóz izolovaných z hub. Tento enzym evidentně není jeden z prvních, který napadá polymer xylanu, protože je relativně velký. Zřejmě nemůže proniknout do mikroporézní struktury lignocelulózy. Alfa-glukuronidáza působí v synergii s xylanázami a beta-xylosidázami, které hydrolyzují glukuronoxylan. Jeho aktivita vypovídá zejména o biomase hub v půdě.

#### 3.6.3.6 Celobiohydroláza

Celobiohydroláza se stejně jako beta-glukosidázy podílí na rozkladu celulózy z rostlinných pletiv.

#### 3.6.3.7 Arylsulfatáza

Enzym arylsulfatáza se vyskytuje v různých půdách a často je spojen s mikrobiální biomasou a rychlostí S imobilizace (Klose a Tabatabai, 1999; Vong et al., 2003). Úlohou tohoto enzymu je hydrolýza aromatických sulfátových esterů (R-O-SO<sub>3</sub>):

1. na fenoly (R-OH) a sulfát, nebo sulfátu síry (SO<sub>4</sub>),
2. nebo SO<sub>4</sub>-S.

Studie ukázaly, že uvolňováním síranu rozpustných a nerozpustných sulfátových esterů jsou v půdě ovlivněny různými faktory životního prostředí (Burns, 1982), jako je znečištění těžkými kovy, změny v pH v půdním roztoku

(Acosta-Martinez a Tabatai, 2000), obsah organické hmoty a její typ a taktéž koncentrace organického sulfátu.

#### 3.6.3.8 Chitináza

Enzym chitináza (v našem případě exo-chitináza) se podílí na rozkladu chitinu, polysacharidu obsaženého v buněčných stěnách hub a členovců. V rostlinách aktivita tohoto enzymu indikuje reakci na mikrobiální infekci. To je zapříčiněno tím, že se zapojuje do obrany rostlin před nežádoucími patogeny infekce. (Lucas et al., 1985).

### 3.6.4 Půdní organismy

Svou neustálou činností ovlivňují půdní organismy organickou hmotu. Řadí se mezi ně jak mikroorganismy, tak i samotní živočichové, kteří jsou obsaženi v půdě. Jejich hlavní úlohou v půdě je rozklad půdní organické hmoty, ale také vytváří sloučeniny, které mohou půdní hmotu stabilizovat. Odumřelé půdní mikroorganismy, živočichové a rostliny se při dekompozici stávají součástí půdní organické hmoty. Její stabilitu a složení neovlivňuje jenom aktivita, ale i různorodost organismů.

Půdní organismy značnou část organické hmoty spotřebují na udržení své vlastní fyzické celistvosti. K tomu používají aktivní a pasivní způsoby stabilizace. Aktivní stabilizace je neustále zajišťována opravou organismu, zatímco pasivní stabilizace je zajištěna obsahem stabilizujících, repelentních a antibiotických sloučenin organismu, mezi které patří například: lignin, kutin, nebo tanin.



### 3.6.4.1 Význam půdních organismů

Podle některých odhadů tvoří více jak jednu třetinu celkové biomasy na světě právě půdní mikroorganismy (Whitman, 1998). Poměrně největší část biomasy se nachází v terestrických ekosystémech a to zejména v půdě (viz tabulka 2), jejíž základní prostředí zabezpečuje produkci naprosté většiny suchozemské organické hmoty a nepřímo také akvatické organické hmoty .

Organismy	Hodnoty		Biomasa	
	mm <sup>2</sup>	gramy	kg/ha	g/mm <sup>2</sup>
Mikroflóra				
Bakterie	10 <sup>13</sup> -10 <sup>14</sup>	10 <sup>8</sup> -10 <sup>9</sup>	400-5 000	40-500
Aktinomycety	10 <sup>12</sup> -10 <sup>13</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	400-5 000	40-500
Houby	10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	1 000-20 000	100-2 000
Řasy	10 <sup>9</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10-500	1-50
Fauna				
Prvoci	10 <sup>9</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	20-200	2-20
Hlístice	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10-10 <sup>2</sup>	10-150	1-15
Roztoči	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>	1-10	5-150	0,5-1,5
Chvostokoci	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>	1-10	5-150	0,5-1,5
Žížaly	10-10 <sup>3</sup>	-	100-1 700	10-170
Další fauna	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	-	10-100	1-10

Tab. 2 Relativní počty a biomasa mikrobiální a živočišné populace v povrchových vrstvách půdy do 15 cm hloubky půdy. Biomasa – čerstvá hmotnost biomasy. (Převzato z: Scow, 2002)

Půdní organismy mají klíčovou roli při tvorbě půdy, stejně jako další faktory: klima, zeměpisná poloha, matečná hornina a čas. Rozpadem matečné horniny na jemné částice dochází k uvolňování živin, které zahajují tvorbu půdy. Vzhledem k nedostatku C a N v brzkých stádiích tvorby půdy připadá rozhodující funkce mikrobům (zejména těm schopným fotosyntézy a poutání dusíku), protože ti jsou schopni vytvořit prvotní organickou hmotu na které se postupně vážou další mikrobi a toto společenstvo potom vytvoří biologickou krustu, jež je bohatá na živiny a poutá další organismy a napomáhá uchycení rostlin. Rostliny poté začnou produkovat větší

množství organické hmoty, která je rozkládána mikroorganismy a vrácena zpět do přirozeného koloběhu látek.

### 3.6.5 Ekologie žížal

Žížaly lze nalézt ve většině částí světa s výjimkou nejsušších a nejchladnějších oblastí. Nicméně žížaly jsou citlivé na celou řadu faktorů životního prostředí, jako jsou pH, teplota, provzdušnění, půdní voda a úroveň slanosti (Lee, 1985; Edwards a Bohlen, 1996). Zejména žížaly a termiti jsou dostatečně velcí k rozvíjení symbiotických vztahů s mikroflórou v jejich střevech. Jejich hlavními funkcemi v půdě jsou biochemický rozklad organické hmoty a mikroorganismů, rozklad a formování půdních agregátů, přemísťování půdní organické hmoty a tvorba chodbiček v půdě (Ekschmitt et al., 2005; Pižl 2002). Z čeledi Lumbricidae, která je jedinou čeledí vyskytující se v ČR, lze žížaly rozdělit na epigeické, endogeické, a anektické. Tyto funkční skupiny mají odlišné chování, a proto ovlivňují ekosystém každý jinak (Lavelle a Spain, 2001). V našich podmínkách dosahují počty žížal cca 30–400 jedinců/m<sup>2</sup> a biomasy 2-50 g/m<sup>2</sup>. Věková struktura populací či společenstev žížal se liší podle typu ekosystému a podle podmínek prostředí.

Přítomnost chodeb žížal je velmi důležitá pro vznik kořenových systémů, především v těžkých půdách. Mezi ně lze zařadit půdy jílovité, kde v chodbách žížal roste 40 až 60 procent všech kořínků. Čím jsou větší populace žížal, tím jsou bohatší kořenové systémy, což je nezbytné pro dostatečné zásobení rostlin vodou a živinami. Rostliny jsou potom více odolné proti škůdcům (Pižl, 2002).

#### 3.6.5.1 Epigeické druhy

Epigeické žížaly jsou oproti ostatním druhům poměrně malé. Žijí na povrchu půdy nebo v nejsvrchnější části minerální půdy, respektive v místech s nadbytkem organické hmoty a živí se zbytky rostlin. Jsou velmi ekonomicky zajímavé pro možnost rozkladu biomasy a „průmyslovou“ produkci, protože mají vyšší reprodukční potenciál a krátký životní cyklus (Tuf, 2013). Tyto druhy svou činností zpravidla zvyšují mikrobiální aktivitu v půdě. Na ekosystém nemají takový vliv jako

endogeické a anektické žížaly. Jsou to převážně malé druhy, které většinou dorůstají velikosti maximálně 10 cm a rychle se množí (r-stratégové) (Killham 1994, Pižl 2002).

### 3.6.5.2 Endogeické druhy

Endogeické žížaly jsou druhy střední velikosti. Jsou větší než epigeické druhy, na rozhraní r a K stratégů. Žijí a hrabou v horizontální poloze ve střední vrstvě minerální půdy, proto bývají označovány jako geofágní. Jejich systém chodeb není trvalý, protože nevyužívají opakovaně stejné chodby, ale vysloveně se „prokousávají“ půdou. Endogeické druhy snižují mikrobiální aktivitu v půdě, protože se živí substrátem, kde je mikrobiální aktivita půdy nejvyšší (Scheu et al., 2002, Tuf, 2013).

### 3.6.5.3 Anektické druhy

Anektické žížaly jsou velké druhy žížal s velmi pomalým rozmnožováním patřící mezi K-stratégy (Pižl, 2002). Žijí ve větších hloubkách a tvoří vertikální, trvalé chodby v minerální půdě, které ústí až na povrch půdy. Živí se hrabankou, kterou v noci zatahují z povrchu půdy do hlubších vrstev chodbiček, kde ji za pomoci symbiotické mikroflóry stráví (De Wandeler et al., 2016; Tuf, 2013). Anektické druhy mají velký vliv na půdní strukturu, provzdušnění a na vodní režim půdy. Mikrobiální aktivita je zvýšená především v okolí jejich chodeb (Tiunov et al., 2001). Systém chodeb si cementují vlastními výkaly vzniklé promícháváním organické a anorganické hmoty. Jejich činností tak vzniká živinově nejbohatší forma humusu, mul (Tuf, 2013).

## 4 Metodika

### 4.1 Popis zkoumaných oblastí

Všechny zkoumané zemědělské pozemky se nachází v Karlovarském kraji, tudíž lze je zařadit do tzv. LFA (Less Favoured Areas) oblasti, které jsou méně příznivé pro zemědělství. Jedná se o katastrální území: Hájek, Rosnice, Otovice, Dolní Žďár, Ostrov a Bor. Dva ze tří majitelů pozemků obhospodařují konvenčním způsobem a pouze jeden způsobem ekologickým.

Kastrální území	Půdní blok	Plodiny	Hnojiva	Způsob hospodaření
Rosnice	4504	kukuřice	močovina	EZ
Otovice	4704	obiloviny	kravský hnůj	EZ
Hájek	1805/6 R	obiloviny	kravský hnůj	KZ
Bor	9702/11 R	obiloviny s podsevem hrachu setého - rolního pelušky	kravský hnůj	KZ
Dolní Žďár	3101/7R	pšenice ozimá	průmyslová hnojiva	KZ
Ostrov	4205/4	pšenice ozimá	průmyslová hnojiva	KZ

Tab.3: Zkoumané zemědělské pozemky.

V katastrálním území Rosnice a Otovice jsou pole obhospodařována ekologicky, tudíž je zde důsledně dodržen osevňovací postup. V Dolním Žďáru a Ostrově jsou použita průmyslová hnojiva s obsahem ledku a vápence a zaorávání rostlinných zbytků.

Pro sledování početnosti žížal byly vykopány sondy o velikosti 25x25x25cm. K určení uhlíku a dusíku bylo z každé sondy odebráno 50 g půdy a 250 g půdy na agregáty. Kvůli přesnosti měření byly vykopány celkem 4 sondy ve vzdálenosti 5 metrů od sebe. Kvůli vnějším vlivům, které se zde vyskytovaly, jako jsou lidská

obydlí či pozemní komunikace bylo nezbytně nutné vykopat první sondu ve vzdálenosti 10 metrů od začátků odběrného místa (od kraje pole).

Žížaly byly ručně vybrány z každé sondy, následně byly dány na plachtu, spočítány a rozděleny do ekologických skupin (epigeické, endogeické, anektické). Klíčem pro rozpoznání těchto druhů byl použit Pižl a jeho kniha Žížaly.

## 4.2 Postup měření aktivity půdních enzymů

Celkem bylo stanoveno osm půdních enzymů, mezi které patří: kyselá fosfatáza, beta-glukosidáza, alfa-glukosidáza, cellobiohydroláza, beta-xylosidáza, N-acetyl-glukosaminidáza (chitináza), glukuronidáza, aryl-sulfatáza. Čím více je v jednom měření sledováno půdních enzymů, tím je možné lépe zhodnotit celkový stav mikrobiální populace v půdě.

Těchto osm specifických druhů substrátů na bázi p-nitro-fenol-4 methylumbelliferonu (MUF) v roztoku s dimethyl sulfoxidem (DMSO) bylo napipetováno do oddělených jamek na mikrodestičce. Poté bylo do každé jamky přidáno 200  $\mu$ l roztoku půdy v octanovém pufru a destička byla následně inkubována při 40 stupních celsia. Po 5 a 125 minutách byla měřena fluorescenční aktivita jednotlivých jamek a porovnána s kalibrační křivkou tvořenou různými koncentracemi čistého MUF ve směsi s daným půdním vzorkem. MUF bez ligandů má fluorescenční schopnost, proto je možné vymežit, jaké množství substrátu bylo rozštěpeno daným enzymem (viz tabulka 4).

DMSO plní jakousi funkci inhibitora buněčného růstu tak, aby byla co nejvíce eliminována reprodukce půdních mikroorganismů, která by mohla být schopna pozměnit současnou enzymatickou aktivitu půdy.

Enzym	Substrát
beta-glukosidáza	4-methylumbellyferyl-beta-D-glukopyranosid
alfa-glukosidáza	4-methylumbellyferyl-alfa-D-glukopyranosid
cellobiohydroláza	4-methylumbellyferyl-N-cellobiopyranosid
beta-xylosidáza	4-methylumbellyferyl-beta-D-xylopyranosid
chitináza	4-methylumbellyferyl-N-acetylglukosaminid
glukoronidáza	4-methylumbellyferyl-P-D-glukuronid
aryl-sulfatáza	4-methylumbellyferyl-síran draselný
kyselá fosfatáza	4-methylumbellyferyl-N-cellobiopyranosid

Tab.4: Dvojice enzym-substrát, které jsou využity při stanovení enzymatické aktivity půdy. Každý enzym štěpí pouze substrát MUF se specifickým ligandem.

### 4.3 CN analýza

Správná příprava vzorků je nezbytná pro analýzu obsahu uhlíku a dusíku. Nejdříve byly vzorky usušeny, nadrceny, poté přesety na 1 mm síta a nakonec bylo naváženo přibližně 2g (přesná váha byla zaznamenána do počítačového programu). Vzorek následně putoval do CN analyzátoru, kteří měří obsah dusíku a uhlíku. Zařízení, které bylo použito pro analýzu byl elementární analyzátor NA1500 (Carlo Erba – Thermo Fisher Scientific).

Pevné vzorky se zváží v cínových nádobkách. (cín je důležitý pro správné spalování v elementárním analyzátoru) a vloží se do automatického vzorkovače. Cínové nádobky poté klesnou v trubce, kdy dochází při teplotě 1800 °C ke spalování kyslíku. Plynné spaliny N<sub>2</sub>, Nox, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> se tvoří pomocí konstantního helia jako nosného plynu po sloupec naplněného chromem a oxidem kobaltu, odtud putuje do Cu sloupce, kde jsou oxidy dusíku redukovány na elementární dusík a O<sub>2</sub> na oxid měďnatý. Voda se absorbuje v jiném sloupci. Zbývající plyny vstupují do plynového chromatografu (pec), kde jsou N<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> odděleny na koloně (Poropak QS). Následně tyto plyny protékají tepelně vodivostním detektorem (TCD), který vytváří elektrický signál přiměřený koncentraci dusíku a uhlíku. Data jsou přenášena do počítače.

## 4.4 MWD – určení stability půdních agregátů

Bylo odebráno 500 gramů půdy z hloubky 0 až 10 cm z každého odběrného bodu, 5 opakování z každého pole. Půda byla poté vysušena při pokojové teplotě a přeseta přes síto s velikostí ok 5 mm a 2 mm (viz příloha 1). Z agregátů, které zbyly mezi síty se poté postupně odvážilo po 5 ti gramech (viz příloha 2) a jejich stabilita byla otestována ve 3 krocích, volně dle normy ISO 10930:2012:

### A, Rychlé namáčení

Vložení 5 g agregátů do kádinky s 50 ml destilované vody na 10 min (viz příloha 3).

### B, Pomalé namáčení

Rozprostření 5 g agregátů na filtrační papír položený na houbě (viz příloha 4), která je nasáklá vodou a ponechána 30 min – agregáty nasáknou vodu pomocí kapilárních sil.

### C, Mechanická disagregace po namočení v alkoholu

5 g agregátů bylo ponořeno do Erlenmayerovy baňky s 50 ml alkoholu na 10 min, poté se tyto baňky 10 x protřepou.

Po aplikaci každého testu se agregáty přesunuly na síto s velikostí ok 0,05 mm a 5krát se na tomto sítu ponořily do alkoholové lázně. Po působení alkoholu byly tyto agregáty ze síta opatrně spláchnuty do vysoušeček (hliníkových misek) (viz příloha 5), každý vzorek byl vysušen zvlášť v sušičce a potom přeset přes řadu sít s velikostí ok 2 mm; 1 mm; 0,63 mm; 0,32 mm; 0,2 mm; 0,1 mm; 0,063 mm. Každá frakce byla poté zvážena a následně z toho byl spočítán MWD (mean weight diameter) podle vzorce:

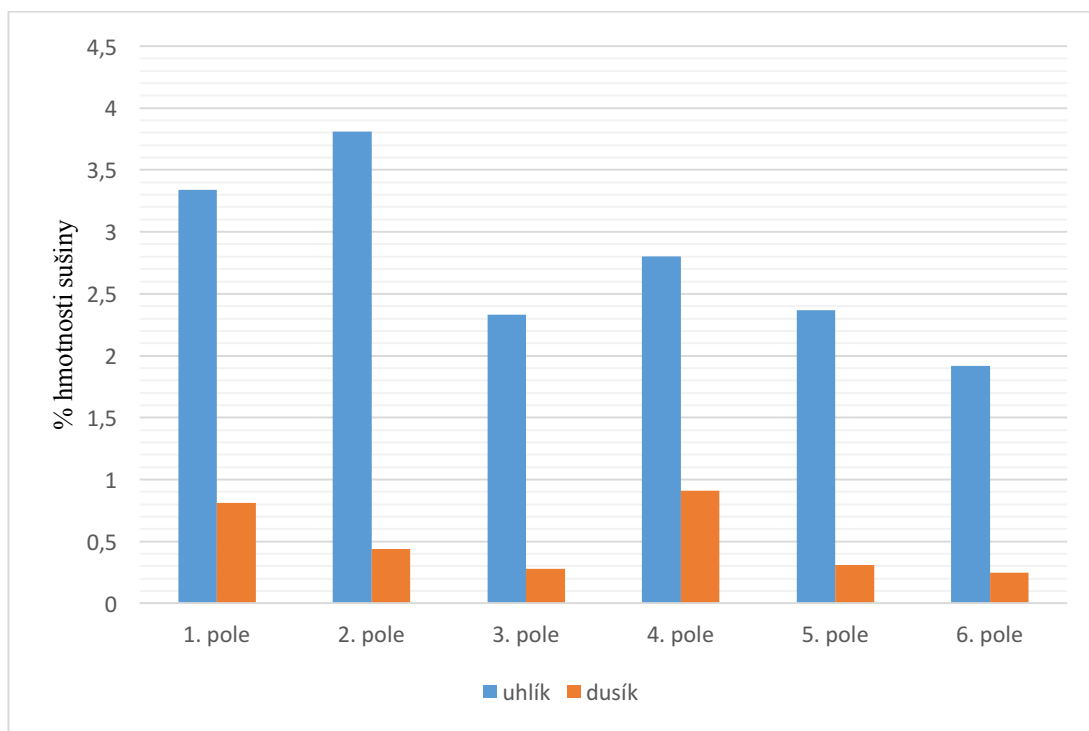
$$MWD = \sum(\bar{d}w) / 100$$

$\bar{d}$  – průměr velikosti ok dvou sít (průměrná velikost agregátů dané frakce)

$w$  – je hmotnostní podíl agregátů dané velikosti (mezi dvěma síty) z celkové hmotnosti agregátů

## 5 Výsledky

### 5.1 Analýza uhlíku a dusíku



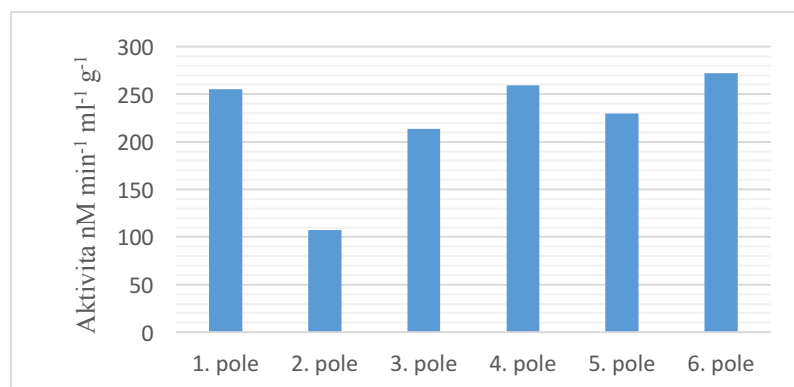
Obr. 1.: Obsah celkového uhlíku a dusíku v sušině půdy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017).

Obsah uhlíku v půdě se pohyboval mezi 1,9 a 3,8 %. Pole číslo jedna a dvě (ekologické zemědělství) má nejvíce, pole tři až pět (konvenční zemědělství) má velmi podobné výsledky. Nejnižší hodnota byla naměřena na poli číslo šest.

Dusík má v tomto případě naměřené hodnoty na polích číslo dvě, tři, pět a šest vcelku podobné. Výrazné rozdílné hodnoty byly naměřeny na polích číslo jedna a čtyři.



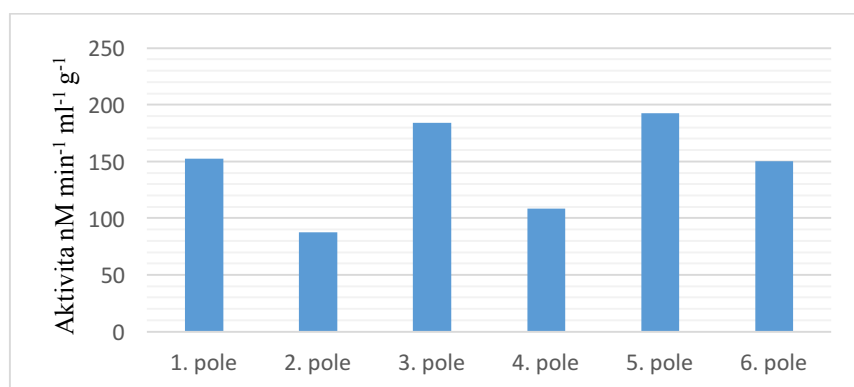
## 5.2 Analýza kyselé fosfatázy



Obr. 2.: Aktivita půdního enzymu kyselá fosfatázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017).

Enzymatická aktivita kyselá fosfatázy byla nejvyšší na poli číslo šest. Následovala pole číslo jedna a čtyři, kde jsou naměřené hodnoty značně podobné. Vcelku podobné naměřené hodnoty mají pole číslo tři a pět. Nejnižší enzymatická hodnota byla změřena na poli číslo dvě.

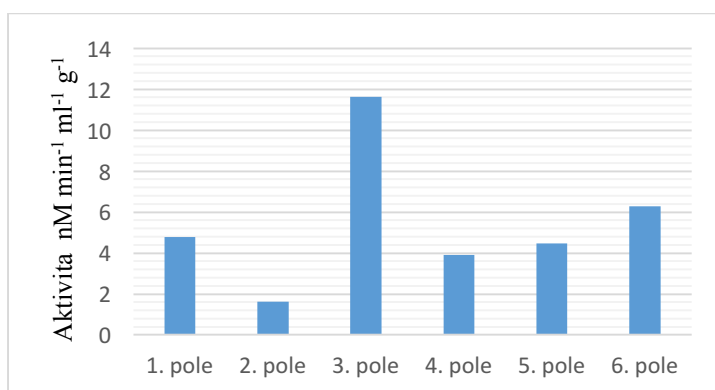
## 5.3 Analýza beta-glukosidázy



Obr. 3.: Aktivita půdního enzymu kyselá beta-glukosidázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017).

Enzymatická aktivita mezi jednotlivými poli byla v některých případech rozdílná. Nejvyšší aktivita byla naměřena na poli číslo šest. Velmi podobně naměřené hodnoty byly na polích číslo tři a pět. V podstatě identická enzymatická aktivita byla naměřena na polích číslo jedna a šest. Druhá nejnižší enzymatická aktivita vychází na pole číslo čtyři. Vůbec nejnižší aktivita tohoto enzymu byla naměřena na poli číslo dvě.

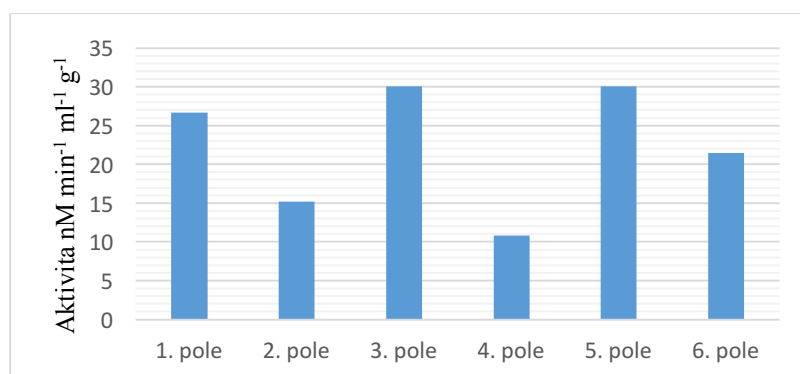
## 5.4 Analýza alfa-glukosidázy



Obr. 4: Aktivita půdního enzymu alfa-glukosidázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017).

Enzymatická aktivita alfa-glukosidázy je nejvyšší na poli číslo tři, na ostatních polích byly tyto naměřené hodnoty podstatně nižší. Z těchto polí, která měla výrazně nižší hodnoty, má nejvyšší aktivitu tohoto enzymu pole číslo šest. Následně podobné výsledky mají pole číslo jedna a pět, o trochu méně této aktivity mělo pole číslo čtyři. Absolutně nejmenší aktivita tohoto enzymu byla naměřena na poli číslo dvě.

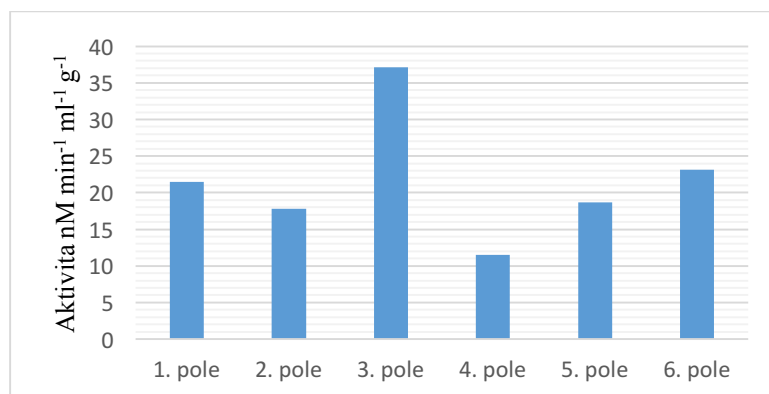
## 5.5 Analýza cellobiohydrolázy



Obr. 5: Aktivita půdního enzymu cellobiohydrolázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017).

Výsledky naměřených hodnot ukazují, že nejvyšší enzymatická aktivita byla naměřena na polích číslo tři a pět. Nepatrně méně vykazuje tuto aktivitu pole číslo jedna. Mezi vyšší hodnoty lze řadit i pole číslo šest, protože pole číslo dvě a čtyři mají tuto enzymatickou aktivitu jednoznačně nejnižší.

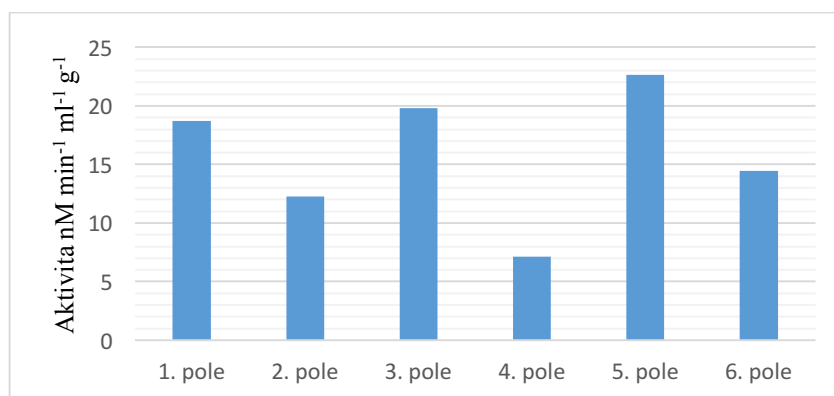
## 5.6 Analýza beta-xylosidázy



Obr. 6: Aktivita půdního enzymu cellobiohydrolázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017)

Aktivita beta-xylosidázy byla jednoznačně nejvyšší na poli číslo tři. Na polích číslo jedna a šest jsou tyto hodnoty téměř podobné. Lze vidět, že i na polích číslo dvě a pět je tato aktivita vcelku podobná. Nejnižší hodnota této aktivity půdního enzymu byla naměřena na poli číslo čtyři.

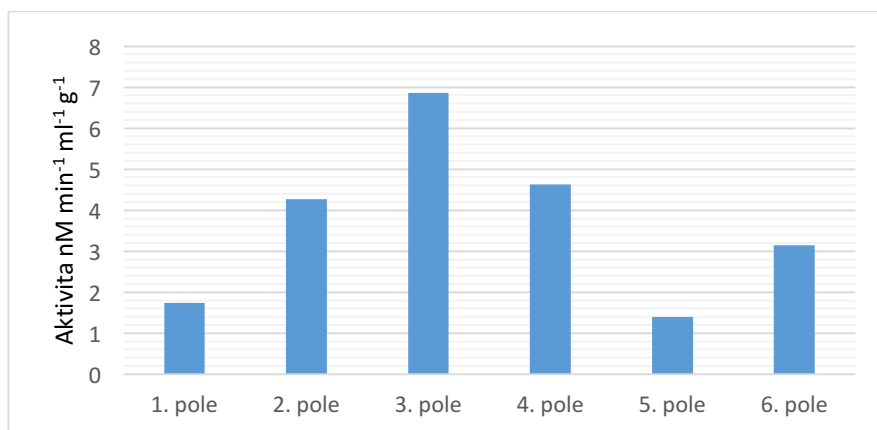
## 5.7 Analýza exo-chitinázy



Obr.7: Aktivita půdního enzymu exo-chitinázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017)

Nejvyšší enzymatická aktivita byla naměřena na poli číslo pět. Následovalo pole číslo tři a jen nepatrně menší hodnoty vykazuje pole číslo jedna. Pole číslo šest má středně vysokou aktivitu exo-chitinázy. Druhé nejvyšší hodnoty vykazuje pole číslo dvě. Nejmenší aktivitu projevuje pole číslo čtyři.

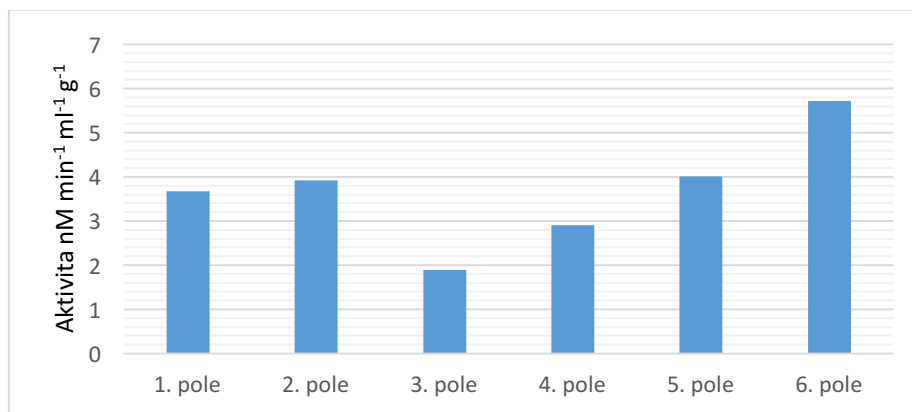
## 5.8 Analýza glukuronidázy



Obr. 8: Aktivita půdního enzymu glukuronidázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017)

Nejvyšší enzymatickou aktivitu tohoto půdního enzymu vykazuje pole číslo tři. Pole číslo čtyři a tři jsou si svými výsledky velmi podobné. Následuje pole číslo šest, které svou aktivitou zapadá mezi vyšší v porovnání s dalšími poli. Druhou nejnižší aktivitu vykazuje pole číslo jedna a trochu méně pole číslo pět.

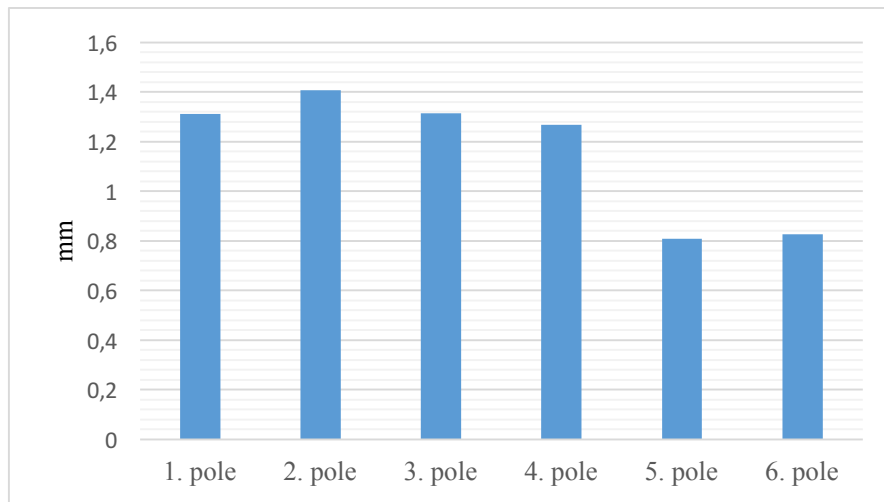
## 5.9 Analýza aryl-sulfatázy



Obr. 9: Aktivita půdního enzymu aryl-sulfatázy na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017).

Aktivita aryl-sulfatázy má nejvyšší hodnotu na poli číslo šest. Velmi podobnou enzymatickou aktivitu mají pole číslo dvě a pět. Těsně následuje svojí aktivitou pole číslo jedna. Mezi druhou nejnižší aktivitu je možno řadit pole číslo čtyři a vůbec nejnižší hodnota byla naměřena na poli číslo tři.

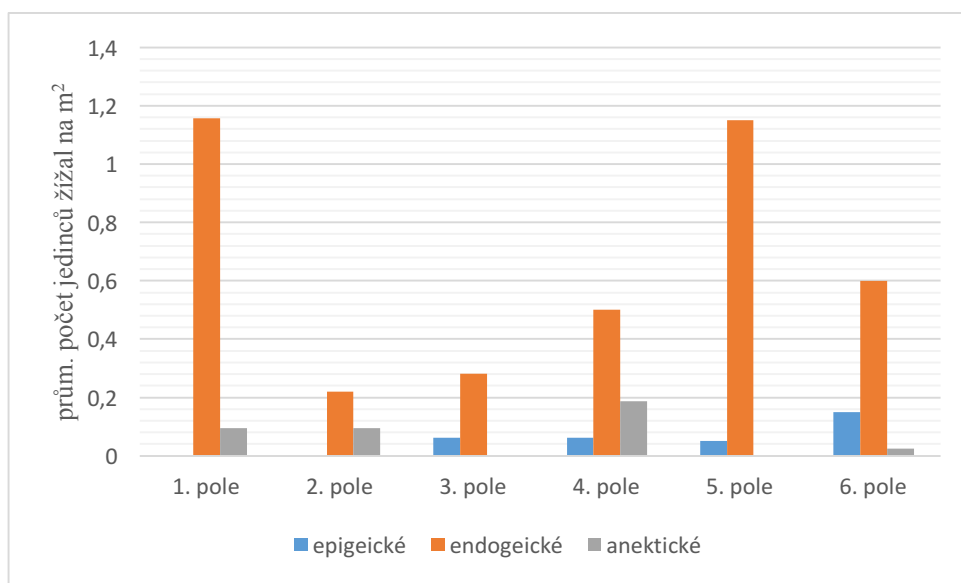
## 5.10 MWD analýza – stabilita půdních agregátů



Obr. 10: Průměr měření MWD stability půdních agregátů na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017)

Na tomto grafu je možné vidět, že stabilita půdních agregátů je na prvních čtyřech polích velmi podobná, přesto nejvyšší hodnoty byly naměřeny na poli číslo dvě, následuje pole číslo tři, dále pole číslo jedna a poslední z těchto vyšších hodnot vykazuje pole číslo čtyři. Nejnížší stabilita půdních agregátů byla naměřena na polích číslo pět a šest, přičemž na poli číslo pět je nejnižší.

## 5.11 Zastoupení žížal na jednotlivých zkoumaných polích



Obr. 11: Průměrný počet jedinců žížal na metr čtverečný v půdě na jednotlivých polích s různými typy hospodaření (Autor, 2017)

Hned na první pohled lze vidět, že největší zastoupení ze všech druhů mají na všech polích druhy endogeické. Tato ekologická skupina se nejvíce vyskytovala na poli číslo pět, o trochu nižší počty byly na poli číslo jedna. Ostatní pole už tak velké zastoupení tohoto druhu neměla, přičemž nejméně vykazuje pole číslo dvě. Druhé největší zastoupení měly druhy anektické, ale přesto se na poli číslo tři tento druh vůbec nevyskytoval. Největší zastoupení měly tyto druhy na poli číslo čtyři. Nejmenší zastoupení ze všech druhů měly druhy epigeické, které se nejvíce vyskytovaly na poli číslo šest a na poli číslo jedna se vůbec nevyskytovaly.

## 6 Diskuze

U prvních dvou polí se prokázal vyšší obsah uhlíku, protože pokud se hospodaří ekologicky, jsou používána hnojiva s vyšším obsahem uhlíku (Tuomisto et al., 2012). Na třetím a čtvrtém poli, kde jsou použita hnojiva organického původu, která by měla stabilizovat poměr dusíku a uhlíku a mít pozitivní vliv na organickou hmotu v půdě lze však vidět, že tomu tak není. Na posledních dvou polích, kde se hospodaří konvenčně a používají se průmyslová hnojiva s obsahem ledku a vápence, které mají zvyšovat obsah dusíku, není oproti ostatním polím toto číslo vysoké. Ukazuje se, že pokud se hospodaří konvenčně je obsah uhlíku nižší (Tuomisto et al., 2012). Obsah celkového dusíku je však i v rámci jednoho pole velmi proměnlivý a je ovlivněn mnoha faktory. V našem případě byly hodnoty relativně vysoké, pravděpodobně v důsledku jarního hnojení polí. V případě konvenčního zemědělství se před začátkem vegetační sezóny aplikují zejména dusíkatá hnojiva, v případě ekologického zemědělství byla příčinou vyššího obsahu dusíku na poli číslo jedna pravděpodobně aplikace kravského hnoje v předchozím roce. Tomu by odpovídaly i větší počty žížal na tomto poli.

I když se nejčastější poměr uhlíku a dusíku v půdě v České republice uvádí 10–15:1, je možné vidět, že naše výsledky tomuto poměru neodpovídají. Tyto příčiny lze vysvětlit několika způsoby, jako je doba sběru jednotlivých vzorků, aktuálním použitím či nepoužitím hnojiv a druh plodin.

Aktivita většiny enzymů byla nejnižší na poli číslo dvě (ekologické zemědělství) a byla zde i nízká početnost žížal a velmi nízký obsah dusíku. Z toho lze usuzovat, že na tomto poli je celkově nižší obsah živin, což je pravděpodobně způsobeno tím, že se zde hospodaří ekologicky - zdrojem živin jsou u ekologického zemědělství hlavně rostlinné zbytky a v našem případě i hnůj z ekologických chovů. Pokud však nedochází ke hnojení v každé sezóně, živiny (zde zejména dusík, fosfor a jednoduché uhlíkaté látky) se v obdobích bez hnojení vyčerpají (Kalinová et al., 2007).

Aktivita kyselá fosfatázy je v porovnání s různými jinými studiemi poměrně vysoká. To je pravděpodobně způsobeno mimo jiné tím, že zdejší půdy patří mezi kambizemě, které mají obecně nízké pH; při nízkých pH je aktivita tohoto enzymu vyšší než při vysokém pH (Olander a Vitousek, 2000). Kyselá fosfatáza by se měla značně lišit podle toho, jakým způsobem je pole obhospodařováno. V těchto výsledcích se to neprokázalo.

Aktivita beta-glukosidázy měla poměrně nepředvídatelné hodnoty, které nekorespondovaly se způsobem hospodaření. Přesto, že se na každých dvou polích hospodaří stejným způsobem, výsledky jsou poměrně odlišné. Jedním z možných důvodů je pěstování různých plodin, či použití jak organických, tak průmyslových hnojiv.

Enzymatická aktivita u alfa-glukosidázy jasně prokázala, že jednotlivé typy hospodaření mohou mít na tento půdní enzym vliv. Na prvních dvou polích, kde se hospodaří výhradně ekologicky, mají v průměru menší hodnoty. Jasný rozdíl vykazuje pole číslo dvě a číslo tři, kde se pěstují stejné plodiny, používají stejná hnojiva a aktivita je značně rozdílná.

Aktivita cellobiohydrolázy je velmi rozdílná u jednotlivých polí. Nelze posoudit z jaké příčiny tomu tak je. Jednotlivé typy hospodaření či použitá hnojiva nemají na tuto enzymatickou aktivitu žádný vliv.

Největší enzymatická aktivita aryl-sulfatázy byla v průměru zaznamenána na polích číslo pět a šest, kde se hospodaří konvenčně a jsou použita průmyslová hnojiva. Podle předchozí studie (Deng a Tabatai, 1997), která ukázala, že činnost aryl-sulfatázy byla vysoce spjatá s půdním organickým uhlíkem, což se v přímém poměru neukázalo, protože na některých polích jsou výsledky uhlíku větší a zároveň enzymatické aktivity aryl-sulfatázy menší.



Největší aktivita exo-chitinázy byla naměřena na pozemcích, kde se hospodaří konvenčně a používají se průmyslová hnojiva, nejspíše zemědělci podporují větší množství hub v půdě. Vyšší poměr hub vůči bakteriím je obecně příznačný pro půdy s nízkou disturbancí a nižším přísunem živin (Bardgett et al., 1996), protože houby jsou poměrně pomalu rostoucí organismy, které se specializují na rozklad velkých organických molekul. V půdách s vysokou mírou disturbance jsou tyto organismy snadno vytlačeny rychle rostoucími a přizpůsobivými bakteriemi a indikují nebezpečí v podobě mikrobiální infekce (Levelle a Spain, 2001; Lucas et al., 1985).

Stabilita půdních agregátů byla vyšší na polích hnojených organickými hnojivy, což je v souladu s výsledky z jiných studií. Téměř všechny druhy organických hnojiv mají pozitivní vliv na strukturu půdy, což zvyšuje půdní biologickou aktivitu (Kalinová et al., 2007). Vesměs pole číslo jedna to dokazuje vyšším výskytem žížal. Pokud se jedná o průměrně kvalitní hnůj (v České republice je nejpoužívanější kravský hnůj), tak si uchovává vysoký obsah živin nejméně po dobu dvou let, ale pokud jde o jeho pozitivní vliv na strukturu a biologickou aktivitu půdy, lze všeobecně říci, že působí ještě mnohem déle (Kalinová et al., 2007). U konvenčního obdělávání je velmi častý pojezd těžké techniky, používání průmyslových hnojiv, které rovněž narušují půdní strukturu. Takto obhospodařované půdy se ve většině případech vykazují omezenou biologickou aktivitou půdy.

## 7 Závěr

Aby bylo možno potvrdit s určitostí to, co výše zmínění autoři tvrdí, bylo by vhodné veškeré metodické měření provést vícekrát v horizontu několika let, případně opakovaně každým rokem. Pro přesnost měření by bylo příhodné odebírat vzorky půd i žížaly v různých ročních obdobích, aby se například vyloučily velké výkyvy obsahu živin, aktivity půdních enzymů, ale i stability půdních agregátů. Nejspolehlivějším ukazatelem se v našem případě ukázal celkový obsah uhlíku, který byl výrazně vyšší u půd v ekologickém zemědělství, což potvrzuje výsledky jiných studií.

Tato bakalářská práce prokazuje, že daný postup a jím zjištěné výsledky se přibližují výsledkům odborníků zkoumající tuto problematiku.

## 8 Seznam literatury

Acosta-Martinez V., Tabatabai M., 2000: Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biology and Fertility of soils* 31: 85-91.

Atlas R., Bartha R., 1993: Microbial communities and ecosystems. *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*. Benjamin Cummings, New York 140-145.

Baldock D. 1996: Farming at the Margins. IEEP and LEI-DLO.

Baldrian P., 2009: Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis. *Plant Soil Environ* 55: 370-378.

Ball B., Crawford C., 2009: Mechanical weeding effects on soil structure under field carrots (*Daucus carota* L.) and beans (*Vicia faba* L.). *Soil use and management* 25: 303-310.

Bandick A. K., Dick R. P., 1999: Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1471-1479.

Barthès B., Azontonde A., Blanchart E., Girardin C., Villenave C., Lesaint S., Oliver R., Feller C., 2004: Effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on soil carbon in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. *Soil use and management* 20: 231-239.

Baumhardt R., Lascano R., 1996: Rain infiltration as affected by wheat residue amount and distribution in ridged tillage. *Soil Science Society of America Journal* 60: 1908-1913.

Boguzas V., Marcinkeviciene A., Kairyte A., 2004: Quantitative and qualitative evaluation of weed seed bank in organic farming. *Agronomy Research* 2: 13-22.

Boix-Fayos C., Calvo-Cases A., Imeson A., Soriano-Soto M., 2001: Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.

Bolton H., Elliott L., Papendick R., Bezdicek D., 1985: Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 297-302.

Bronick C. J., Lal R., 2005: Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.

Bürger J., de Mol F., Gerowitt B., 2012: Influence of cropping system factors on pesticide use intensity—A multivariate analysis of on-farm data in North East Germany. *European Journal of Agronomy* 40: 54-63.

Burns R. G., 1982: Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 423-427.

Carter M. R., 1994: Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers.

Clarholm M., 1993: Microbial biomass P, labile P, and acid phosphatase activity in the humus layer of a spruce forest, after repeated additions of fertilizers. *Biology and Fertility of soils* 16: 287-292.

Čermák P., 2012: Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební.

Daram P., Brunner S., Persson B. L., Amrhein N., Bucher M., 1998: Functional analysis and cell-specific expression of a phosphate transporter from tomato. *Planta* 206: 225-233.

De Baets S., Poesen J., Meersmans J., Serlet L., 2011: Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena* 85: 237-244.

De Ponti T., Rijk B., Van Ittersum M. K., 2012: The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108: 1-9.

De Wandeler H., Sousa-Silva R., Ampoorter E., Bruelheide H., Carnol M., Dawud S. M., Dănilă G., Finer L., Hättenschwiler S., Hermy M., 2016: Drivers of earthworm incidence and abundance across European forests. *Soil Biology and Biochemistry* 99: 167-178.

Deike S., Pallutt B., Christen O., 2008: Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy* 28: 461-470.

Deng S., Tabatabai M., 1997: Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biological Fertility of Soils* 24: 141-146.

Dexter A., Richard G., Arrouays D., Czyż E., Jolivet C., Duval O., 2008: Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144: 620-627.

Duarte F., Jones N., Fleskens, L., 2008: Traditional olive orchards on sloping land: Sustainability or abandonment? *Journal of environmental management* 89: 86-98.

Edwards C. A., Bohlen P. J., 1996: *Biology and ecology of earthworms*. Springer Science & Business Media, London.

Ekschmitt K., Liu M., Vetter S., Fox O., Wolters V., 2005: Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability—why is dead organic matter left over in the soil? *Geoderma* 128: 167-176.

Flury C., 2005: Bericht Agrarökologie und Tierwohl 1994-2005. Report Swiss Federal Office for Agriculture (FOAG/BLW): 187.

Franzluebbers A., 2002: Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66: 197-205.

Głąb T., Pużyńska K., Pużyński S., Palmowska J., Kowalik K., 2016: Effect of organic farming on a Stagnic Luvisol soil physical quality. *Geoderma* 282: 16-25.

Gopinath K., Saha S., Mina B., Pande H., Srivastva A., Gupta H., 2009: Bell pepper yield and soil properties during conversion from conventional to organic production in Indian Himalayas. *Scientia horticultrae* 122: 339-345.

Hraško J., Bedrna Z., 1988: *Aplikované pôdznalectvo. Príroda*, Bratislava: 474.

Chang C., Lindwall C., 1992: Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil and Tillage Research* 22: 383-389.

Jordan D., Kremer R., Bergfield W., Kim K., Cacnio V., 1995: Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. *Biology and Fertility of soils* 19: 297-302.

Kalinová J., Moudrý J., Konvalina P., Moudrý J., 2007: *Půdní úrodnost, výživa a hnojení rostlin v ekologickém zemědělství. Odborná monografie, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.*

Kandeler F., Kampichler C., Horak O., 1996: Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. *Biology and Fertility of soils* 23: 299-306.

Karlen D., Varvel G., Bullock D., Cruse R., 1994: Crop rotations for the 21st century. *Advances in agronomy* 53: 1-45

Killham K., 1994: *Soil ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.

Kirchmann H., Bergström L., Kätterer T., Andrén O., Andersson, R., 2009: Can organic crop production feed the world? *Organic crop production—Ambitions and limitations*. Springer: 39-72.

Klose S., Tabatabai M., 1999: Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils. *Soil Science Society of America Journal* 63: 569-574.

Kristensen S. P., 2003: Multivariate analysis of landscape changes and farm characteristics in a study area in central Jutland, Denmark. *Ecological Modelling* 168: 303-318.

Lal R., 1991: Soil structure and sustainability. *Journal of Sustainable Agriculture* 1: 67-92.

Lavelle P., Spain A., 2001: *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.

Lee K. E., 1985: *Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press Inc, London

Lefroy R., Blair G., Conteh A., 1995: Chemical fractionation of soil organic matter and measurement of the breakdown rate of residues. *ACIAR proceedings*.

Lorencová H., 2007: Humusové poměry a biologická aktivita lužních lesů. In: Blaženec, M (ed.): *Bioclimatology and natural hazards*. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou.

Lucas J., Menschen A., Lottspeich F., Voegeli, U. Boiler T., 1985: Amino-terminal sequence of ethylene-induced bean leaf chitinase reveals similarities to sugar-binding domains of wheat germ agglutinin. *FEBS letters* 193: 208-210.

Marzadori C., Ciavatta C., Montecchio D., Gessa C., 1996: Effects of lead pollution on different soil enzyme activities. *Biology and Fertility of soils* 22: 53-58.

Merante P., Dibari C., Ferrise R., Sánchez B., Iglesias A., Lesschen J. P., Kuikman P., Yeluripati J., Smith P., Bindi M., 2017: Adopting soil organic carbon management practices in soils of varying quality: Implications and perspectives in Europe. *Soil and Tillage Research* 165: 95-106.

Meynard J.-M., Doré T., Lucas, P., 2003: Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies* 326: 37-46.

Muchhal U. S., Pardo J. M., Raghothama K., 1996: Phosphate transporters from the higher plant *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93: 10519-10523.

Ndiaye E., Sandeno J., McGrath, D., Dick, R., 2000: Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 15: 26-36.

Nemecek T., von Richthofen J.-S., Dubois G., Casta P., Charles R., Pahl H., 2008: Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy* 28: 380-393.

Nissen T. M., Wander M. M., 2003: Management and soil-quality effects on fertilizer-use efficiency and leaching. *Soil Science Society of America Journal* 67: 1524-1532.

Olander L. P., Vitousek P. M., 2000: Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry* 49: 175-191.

Pachepsky Y. A., Rawls W., 2003: Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science* 54: 443-452.

Papadopoulos A., Bird N., Whitmore A., Mooney S., 2006: The effects of organic farming on the soil physical environment. *Aspects of Applied Biology* 79: 263-267.

Pižl V., 2002: *Žízyaly České republiky*. Přírodovědný klub v Uherském Hradišti.

Plieninger T., Höchtl F., Spek, T., 2006: Traditional land-use and nature conservation in European rural landscapes. *Environmental science & policy* 9: 317-321.

Poeplau C., Aronsson H., Myrbeck Å., Kätterer T., 2015: Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional* 4: 126-133.



Pulleman M., Jongmans A., Marinissen J., Bouma J., 2003: Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands. *Soil use and management* 19: 157-165.

Quiroga A., Ormeño O., Peinemann N., 1998: Efectos de la siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos. *Siembra directa* 29-33.

Raslavičius L., Povilaitis V., 2013: Developing an efficient cover cropping system for organically grown barley. *Journal of Crop Improvement* 27: 153-169.

Sacco D., Moretti B., Monaco S., Grignani C., 2015: Six-year transition from conventional to organic farming: effects on crop production and soil quality. *European Journal of Agronomy* 69: 10-20.

Sandhu H. S., Wratten S. D., Cullen R., 2010: Organic agriculture and ecosystem services. *Environmental science & policy* 13: 1-7.

Scow K., 2000: Soil microbiology. In: Lederberg J. ed.: *Encyclopedia of Microbiology*. Academic Press, San Diego: 321-335.

Schäffer A., 1993: Pesticide effects on enzyme activities in the soil ecosystem. *Soil biochemistry* 8: 273-340.

Schaumann G. E., Thiele-Bruhn S., 2011: Molecular modeling of soil organic matter: squaring the circle? *Geoderma* 166: 1-14.

Scheu S., Schlitt N., Tiunov A. V., Newington J. E., Jones H. T., 2002: Effects of the presence and community composition of earthworms on microbial community functioning. *Oecologia* 133: 254-260.

Stockdale E., Lampkin N., Hovi M., Keatinge R., Lennartsson E., Macdonald D., Padel S., Tattersall F., Wolfe M., Watson C., 2001: Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Advances in Agronomy* 70: 261-327.

Šarapatka B., Urban J., 2006: Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO. Šumperk.

Špička A., 1964: Vlastnosti půdy a její zpracování. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Thomas G., Titmarsh G., Freebairn D., Radford B., 2007: No-tillage and conservation farming practices in grain growing areas of Queensland—a review of 40 years of development. *Animal Production Science* 47: 887-898.

Tiunov A. V., Bonkowski M., Tiunov J. A., Scheu S., 2001: Microflora, Protozoa and Nematoda in *Lumbricus terrestris* burrow walls: a laboratory experiment. *Pedobiologia* 45: 46-60.

Tuf I. H., 2013: Praktika z půdní zoologie. Univerzita Palackého v Olomouci Přírodověcká fakulta, Olomouc.

Tuomisto HL., Hodge ID., Riordan P, Macdonald DW., 2012. Does organic farming reduce environmental impacts? A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management* 112: 309-320.

Vong P.-C., Dedourge O., Lasserre-Joulin F., Guckert, A., 2003: Immobilized-S, microbial biomass-S and soil arylsulfatase activity in the rhizosphere soil of rape and barley as affected by labile substrate C and N additions. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 1651-1661.

Whitman W. B., Coleman D. C., Wiebe, W. J., 1998: Prokaryotes: the unseen majority. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95: 6578-6583.

Yadav R., Tarafdar J., 2001: Influence of organic and inorganic phosphorus supply on the maximum secretion of acid phosphatase by plants. *Biology and Fertility of soils* 34: 140-143.

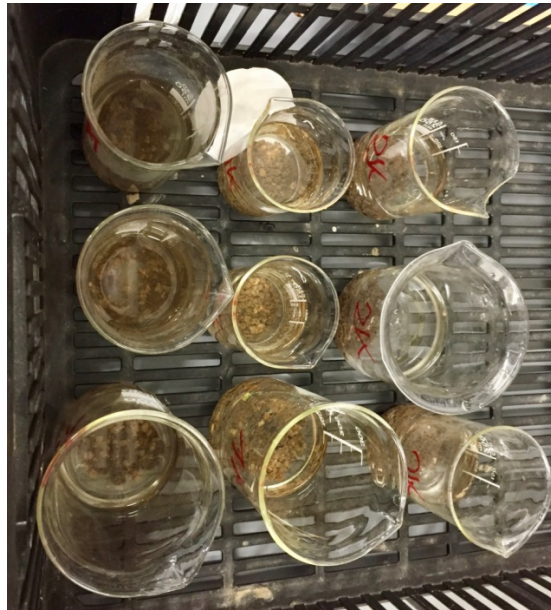
## 9 Přílohy



*Příloha 1: Přesetí přes síto (Autor, 2017).*



*Příloha 2: Vážení po 5 ti gramech půdních agregátů (Autor, 2017)*



*Příloha 3: Vložení agregátů do kádinky (Autor, 2017).*



*Příloha 4: Rozložení agregátů na filtrační papír (Autor, 2017).*



*Příloha 5: Čištění vysoušeček (Autor, 2017).*

Oblast	P	G	aG	C	X	N	U	S
1. pole	255,52	152,37	4,77	26,67	21,48	18,71	1,74	3,68
2. pole	107,44	87,80	1,61	15,19	17,84	12,26	4,27	3,91
3. pole	213,69	184,17	11,63	30,04	37,10	19,81	6,86	1,89
4. pole	259,30	108,62	3,92	10,79	11,54	7,14	4,62	2,91
5. pole	229,80	192,26	4,47	30,09	18,68	22,67	1,39	4,01
6. pole	272,03	150,17	6,28	21,47	23,16	14,43	3,15	5,72

kyselá fosfatáza	P
beta-glukosidáza	G
alfa-glukosidáza	aG
celobiohydroláza	C
beta-xylosidáza	X
exochitináza	N
glukoronidáza	U
aryl-sulfatáza	S

Příloha 6. Zkoumané enzymy a jejich průměrné hodnoty v  $\text{nM min}^{-1} \text{ml}^{-1} \text{g}^{-1}$  (Autor, 2017).



velikost ok	2	1	0,63	0,32	0,2	0,1	0,06	0,03	3,5	1,5	0,815	0,475	0,26	0,15	0,08	0,03	MWD	Přůměr
1a	1,317667	0,916667	1,080667	0,796666667	0,552	0,334	0,206667	0,13	0,222367	0,275	0,176149	0,075873	0,028704	0,00402	0,000427	0,000078	1,482617	1,311130556
1b	0,787	0,386667	0,667667	0,393333333	0,276667	0,271	0,047667	0,042	0,5509	0,101	0,10883	0,089237	0,034979	0,00813	0,000763	0,000252	0,89409	
1c	1,471667	0,901333	0,961	0,704333333	0,531667	0,126	0,065667	0,04333	1,030167	0,2704	0,156643	0,066912	0,027647	0,00378	0,001051	0,000086	1,556685	
2a	1,349	0,870667	1,058333	0,927	0,589	0,120667	0,016	0,02	0,9443	0,2612	0,172508	0,088065	0,030628	0,00362	0,000256	0,00012	1,500697	1,406839556
2b	1,012	0,397667	1,190333	1,079333333	0,84	0,183333	0,013333	0,015667	0,7084	0,1193	0,194024	0,102537	0,04368	0,0055	0,000213	0,000094	1,173748	
2c	1,444	0,976	0,960667	0,671333333	0,358167	0,082433	0,043	0,053667	1,0108	0,2928	0,156589	0,063777	0,018625	0,007473	0,000688	0,000322	1,546073	
3a	1,046333	0,453333	0,618333	1,028	0,889667	0,318667	0,049	0,059667	0,732433	0,1306	0,100788	0,09766	0,046263	0,00956	0,000784	0,000358	1,118446	1,313443667
3b	1,053667	0,536	1,260333	1,041333333	0,779333	0,163333	0,028	0,026333	0,737567	0,1608	0,205464	0,089927	0,040525	0,0049	0,000448	0,000158	1,248759	
3c	1,704333	0,520667	0,857667	0,596666667	0,408	0,179	0,028333	0,03	1,199033	0,1562	0,1398	0,056873	0,021216	0,00537	0,000453	0,00018	1,573126	
4a	1,145667	0,442	0,624333	1,125	0,842	0,348667	0,030333	0,071	0,801967	0,1326	0,101766	0,106875	0,043784	0,01046	0,000485	0,000426	1,198363	1,266931222
4b	0,993333	0,567333	1,186667	1,137	0,660333	0,182	0,024667	0,025333	0,653333	0,1702	0,193427	0,108015	0,034337	0,00546	0,000395	0,000152	1,165319	
4c	1,470667	0,688667	0,723	0,551	0,406333	0,299	0,026333	0,055	1,029467	0,2066	0,117849	0,052345	0,021129	0,00897	0,000421	0,00033	1,437111	
5a	0,520333	0,736	0,849367	1,379733333	0,36	0,175667	0,073667	0,0311	0,364233	0,2208	0,138447	0,131075	0,01872	0,00527	0,000179	0,000187	0,87991	0,807921856
5b	0,304	0,37	0,914	1,505	0,541	0,426667	0,061	0,0598	0,2128	0,111	0,148982	0,142975	0,028132	0,0128	0,000976	0,000359	0,658024	
5c	0,660333	0,461	0,898667	1,055333333	0,491667	0,389333	0,0724	0,025667	0,462233	0,1383	0,146483	0,100257	0,025567	0,01168	0,000158	0,000154	0,885832	
6a	0,571667	0,759667	0,849367	1,3464	0,436667	0,175667	0,072333	0,0311	0,400167	0,2279	0,138447	0,127908	0,022707	0,00527	0,000157	0,000187	0,923742	0,825929189
6b	0,304	0,386667	0,914	1,505	0,541	0,426667	0,064333	0,0598	0,2128	0,116	0,148982	0,142975	0,028132	0,0128	0,0001029	0,000359	0,663077	
6c	0,660333	0,467667	0,902	1,055333333	0,525	0,412667	0,0824	0,025667	0,462233	0,1403	0,147026	0,100257	0,0273	0,01238	0,0001318	0,000154	0,890968	

Příloha 7: Veškeré hodnoty pro výpočet MWD a následný výpočet průměru v mm (Autor, 2017).

## **10 Datový nosič – CD/DVD**