

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A  
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Česká  
zemědělská  
univerzita  
v Praze**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Porovnání množství organické hmoty a  
zrnitostního složení lesních půd na lokalitě Amálie**

**Vedoucí práce: Ing. Martin Kovář  
Diplomant: Bc. Jana Novotná**

**© 2024 ČZU v Praze**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jana Novotná

Regionální environmentální správa

Název práce

**Porovnání množství organické hmoty a zrnitostního složení lesních půd na lokalitě Amálie**

Název anglicky

**Comparison of the amount of organic matter and particle size analysis of forest soils at the Amálie site**

---

### Cíle práce

Cílem této diplomové práce je stanovení a porovnání celkového množství organické hmoty a zrnitostního složení na lesních půdách pod smrkem, bukem a modřínem z porušených půdních vzorků odebraných v lokalitě Chytré krajiny na Amálie.

### Metodika

V diplomové práci bude stručně charakterizována půda a její základní hydrofyzikální vlastnosti, definována půdní organická hmota a popsány metody měření zrnitosti a organické hmoty.

Na vybraných lokalitách budou odebrány porušené půdní vzorky. Po následné homogenizaci vzorků půdy bude stanoveno zrnitostní složení s využitím sedimentační (hustoměrné) metody. Dále bude stanoveno a porovnáno celkové množství organické hmoty vybraných lesních půd metodou žíhání. Výsledky budou přehledně zpracovány v tabulkách a grafech, dále budou statisticky vyhodnoceny.

## Doporučený rozsah práce

55 stran

## Klíčová slova

lesní půda, organická hmota, žíhání, zrnitostní složení, Chytrá krajina Amálie

---

## Doporučené zdroje informací

BARRIOS E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 2007, 64: 269–285.

KOTRBOVÁ G. Kvantifikace zásoby uhlíku v půdě pro účely inventarizace krajiny. Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta, České Budějovice, 2011.

SIMPSON M. J., SIMPSON A. J. The chemical ecology of soil organic matter molecular constituents. *Journal of chemical ecology*, Toronto, 2012, 38(6), 768–84.

ŠANTRŮČKOVÁ, Hana; KAŠTOVSKÁ, Eva; BÁRTA, Jiří; MIKO, Ladislav; TAJOVSKÝ, Karel. *Ekologie půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2018. ISBN 978-80-7394-695-1.

TOMÁŠEK, Milan. *Půdy České republiky*. Praha: Česká geologická služba, 2007. ISBN 978-80-7075-688-1.

---

## Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Martin Kovář

## Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

## Konzultant

Mgr. Nikol Zelíková

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2024

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2024

**prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2024

---

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci na téma "Analýza množství organické hmoty na vybraných lokalitách" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Martina Kováře a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla v seznamu použitých informačních zdrojů na konci práce.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si plně vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jako autorka svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 13. 3. 2024

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Martinovi Kovářovi za skvělé vedení při tvorbě diplomové práce, odborný dohled, cenné rady, připomínky a za trpělivost. Také bych chtěla poděkovat své rodině a blízkým za neustálou psychickou podporu a lásku. Moc vám všem děkuji.

# **Abstrakt**

## **Abstrakt**

Zrnitostní složení půdy a celkové množství organické hmoty jsou jedny ze základních vlastností půdního prostředí, které výrazně ovlivňují další hydrofyzikální vlastnosti půdy. Pro stanovení zrnitosti je možné použít několik metod, mezi které se řadí metody sedimentační. Pro základní stanovení celkové organické hmoty lze využít metodu žihání. Diplomová práce je zaměřena na stanovení zrnitostního složení sedimentační metodou, konkrétně hustoměrnou, a dále na stanovení celkové organické hmoty žiháním pod rozdílnými dřevinami v lokalitě Amálie. Výsledky zrnitostního rozboru ukazují, že zrnitostní složení vzorků je u všech zkoumaných lesních půd velmi podobné. Pro všechny vzorky byl stanoven půdní druh jako prachovitá hlína. Zjištění celkového obsahu organické hmoty proběhlo metodou žihání. Největší rozdíl byl naměřen mezi půdou pod smrkem a bukem a to o 34 %. Nejmenší rozdíl byl naměřen mezi půdami pod modřínem a bukem a to o 15 %. V práci jsou výsledky znázorněny v grafech a tabulkách, ve kterých je patrné, že organická hmota z odebraných vzorků z půdy pod smrkem činí 47,9 %, pod modřínem 28,7 % a pod bukem 13,91 %.

## **Klíčová slova:**

Lesní půda, organická hmota, žihání, zrnitostní složení, Chytrá krajina Amálie, textura.

# **Abstract**

## **Abstract:**

Soil grain composition and total organic matter are some of the basic soil properties that significantly influence other soil hydrophysical properties. Several methods can be used to determine grain size, including sedimentation methods. For the basic determination of total organic matter, the annealing method can be used. This thesis focuses on the determination of grain size composition by sedimentation method, specifically the densitometric method, and also on the determination of total organic matter by annealing under different tree species at the Amalia site. The results of the grain-size analysis show that the grain composition of the samples is very similar for all the forest soils studied. For all samples, the soil type was determined as dusty loam. The total organic matter content was determined by the annealing method. The largest difference was measured between the soil under spruce and beech, by 34 %. The smallest difference was measured between the soils under larch and beech and it was 15%. In the paper, the results are shown in graphs and tables, in which it can be seen that the organic matter of the sampled soil under spruce is 47.9%, under larch 28.7% and under beech 13.91%.

## **Keywords:**

Forest soil, organic matter, annealing, grain composition, Smart Landscape Amalia, texture.

## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Literární rešerše .....</b>	<b>11</b>
3.1 Půda.....	11
3.1.1 Půdní složení.....	11
3.2 Základní hydrofyzikální vlastnosti půdy.....	13
3.2.1 Půdní pórovitost.....	14
3.2.2 Půdní struktura.....	16
3.2.3 Půdní textura neboli zrnitost.....	17
3.2.4 Půdní infiltrace.....	19
3.2.5 Půdní filtrace.....	19
3.2.6 Půdní retence.....	19
3.3 Půdní edafon.....	20
3.4 Půdní organická hmota.....	21
3.5 Rozdělení rozložitelnosti a přeměny organické hmoty v půdě .....	22
3.5.1 Nerozložená organická hmota .....	22
3.5.2 Přeměněná organická hmota .....	23
3.5.3 Rozložitelnost organické hmoty .....	24
3.6 Elementární složení organické hmoty .....	25
3.7 Molekulární složení organické hmoty.....	25
3.8 Přijímání látek z půdy .....	29
3.9 Živá složka v půdě .....	30
3.10 Mrtvá složka v půdě .....	31
3.11 Půdní organismy.....	31
3.11.1 Mikroorganismy.....	35
3.11.2 Působení kořenů rostlin na mikroorganismy .....	35
3.11.3 Archea a bakterie .....	36
3.11.4 Řasy a sinice .....	37
3.11.5 Houby.....	38
3.11.6 Půdní živočichové.....	40
3.11.6.1 Živočichové ovlivňující distribuci a strukturu organické hmoty .....	41
3.11.6.2 Živočichové přeměňující mrtvou organickou hmotu na povrchu .....	43
3.12 Měření organické hmoty v půdě .....	43
3.12.1 Kvantitativní metody měření .....	44
3.12.1.1 Metoda žihání .....	45
3.12.2 Kvalitativní metody měření .....	46
3.13 Způsoby měření půdní zrnitosti .....	47



3.13.1	Casagrandeho hustoměrná metoda .....	48
3.14	Vybrané lesní dřeviny .....	49
3.14.1	Smrk ztepilý .....	50
3.14.2	Modřín opadavý .....	50
3.14.3	Buk lesní .....	51
3.15	Vyhodnocování naměřených dat .....	51
<b>4.</b>	<b>Charakteristika studijního území.....</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>54</b>
5.1	Zrnitostní rozbor.....	55
<b>6.</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>62</b>
6.1	Zrnitostní rozbor.....	62
6.2	Výsledky ze žihání .....	64
6.3	Statistika.....	66
<b>7.</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>68</b>
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>70</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>72</b>
9.1	Knižní publikace .....	72
9.2	Legislativa .....	79
9.3	Internetové zdroje.....	80
<b>10.</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek a grafů.....</b>	<b>82</b>
10.1	Seznam obrázků .....	82
10.2	Seznam tabulek .....	83
10.3	Seznam grafů.....	83
<b>11.</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>84</b>

# 1. Úvod

Půda je neobnovitelný zdroj a patří mezi základní složky pro veškeré formy života na planetě Zemi. Kvalita půdy je důležitá jak pro kvalitní ekosystém, flóru, faunu, ale také pro lidskou populaci (Hůla a kol., 1997). Produkce potravin je závislá na kvalitě půdy. Pokud má půda zůstat do budoucna produktivní a bez degradace, musí se s ní dobře zacházet a pečovat o ni.

Půdní prostředí zastává jednotlivé funkce pro rostliny, zásobuje je vodou a vyživuje. Skládá se z živé a neživé organické a anorganické složky. Právě organická složka v půdě je hlavním zdrojem energie pro organismy, které v půdě žijí, ovlivňuje půdní vlastnosti, rozkládá se, vede vodu a uvolňuje oxid uhličitý. Neživá organická hmota je půdní humus, tedy těla vyšších rostlin, která zůstávají v půdě, rozkládají se a ovlivňují půdní prostředí. Živou organickou složkou půdy jsou půdní organismy, mezi které patří bakterie, houby, zooedafon a další. Půdní organismy rozkládají organické látky, podílejí se na biologických procesech podstatných pro růst rostlin a existenci živočichů v půdě.

Organická hmota v půdě tedy obsahuje rozkládající se zbytky rostlin, živočichů, mikroorganismů, humusu a elementární uhlík. Měřením organické hmoty se zjišťuje původ, struktura a kvalita půdy (Schumacher, 2002). Metod zjišťování organické hmoty je hned několik. Jednou z nich je metoda žihání, která byla použita ke zjištění celkového množství organické hmoty (SOM) ze vzorků z lesní oblasti pilotního projektu Amálie – Chytrá krajina.

Tato diplomová práce se v první části zabývá literární rešerší, kde je půda popsána jako celek, řeší se její složení, hydrofyzikální vlastnosti, rozložitelnost, organická hmota, živé a mrtvé složky v půdě a také organismy a živočichové, kteří v půdě žijí. Dále popisuje metody měření organické hmoty a zrnitostní rozborů.

Další část práce obsahuje seznámení se zájmovou lokalitou Amálie a podrobnější informace o místech odběrů vzorků, které proběhly při terénních výjezdech. Následující část práce popisuje odběr vzorků, sběr dat, zjišťování podílu organické hmoty metodou žihání a zrnitostní rozborů hustoměrnou metodou. Ve finální části práce jsou uvedené výsledky z měření zpracovány a vyhodnoceny v tabulkách a grafech. V závěrečné části se práce soustředí na diskuzi a shrnuje veškeré zjištěné výsledky.

## **2. Cíle práce**

Cílem této diplomové práce je vysvětlení pojmů z oblasti půdní organické hmoty, skladby půdy hydrofyzikální vlastnosti půdy, působení půdních organismů na půdní prostředí, živá a mrtvá půdní složka. Práce se také zabývá, jak se podíl půdní organické hmoty stanovuje a jaké jsou metody měření organické hmoty v půdě. Charakterizuje území pilotního projektu Chytré krajiny Amálie.

Hlavním cílem této diplomové práce je měření pomocí metody žíhání a poté zjištění zrnitostního složení a celkového objemu organické hmoty na lesních půdách pod smrkem, bukem a modřínem z odebraných vzorků půdy v lokalitě Chytrá krajina Amálie z několika stanovišť.

## 3. Literární rešerše

### 3.1 Půda

Kutílek (2004) definuje půdu jako trojrozměrné kontinuum v čase a prostoru, která formuje vrchní část zemské kůry. Půda je základní složkou pro život na Zemi. Patří mezi jednu z přírodních složek a pokrývá nejsvrchnější vrstvu zemské kůry. Má svou geosféru, jejíž název je pedosféra, která vzniká prolínáním atmosféry, hydrosféry, litosféry a biosféry. Pedosféra je „kůže“, která pokrývá naši planetu a podporuje všechny formy života na Zemi a poskytuje živiny pro život pod vodní hladinou (Summer a kol., 2011). Je nedílnou součástí naší krajiny a plní mnoho podstatných funkcí, které vytvářejí stabilní prostředí pro faunu, flóru a lidskou populaci (Hůla a kol., 1997). Díky půdě je možný život na Zemi, má produkční schopnosti, vodohospodářské a hydrologické funkce. Vlivem půdy může probíhat také fotosyntéza (Vašků, 2003).

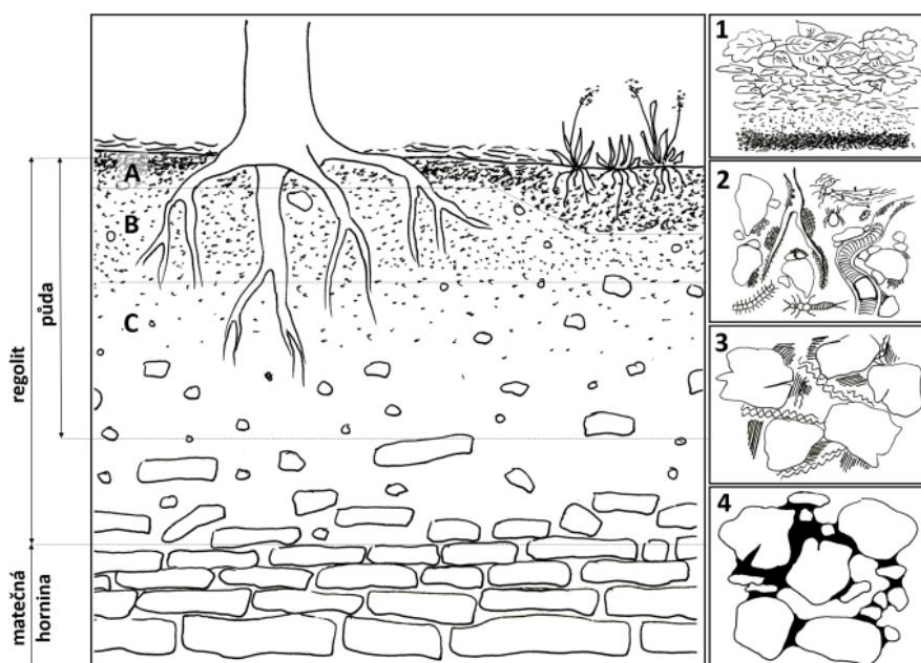
Půda je neobnovitelný přírodní zdroj, jehož utváření trvá velmi dlouhou dobu. Např. vytvoření 1 cm půdního profilu může trvat i více než 100 let. Kdežto k degradaci půdy dochází během krátké doby. Půda má pro vodu kumulační a filtrační vlastnosti, opatřuje výměnu energie a plynů a je hlavním pilířem pro stabilní ekosystém. Vypouští, zadržuje a degraduje různé prvky (Vopravil a kol., 2010a).

Zastupuje významnou funkci pro rostliny, které v ní rostou, vyživuje je a zásobuje vodou. Kvalita půdy je proto pro lidskou populaci velmi důležitá (Mentlík, 2003). V každém oboru se půda vnímá jiným způsobem. Pro zemědělství je kvalita půdy důležitá pro produkci potravin. Půda obsahuje organickou hmotu, minerály, půdní vodu a vzduch a půdní organismy (Brevik, 2005).

#### 3.1.1 Půdní složení

Půda se skládá ze složky kapalné, plynné a pevné, do které patří organická živá, organická neživá a anorganická. Na Obrázku 1 je vyobrazen půdní profil a základní složky půdy. Vrchní vrstvou je půdní profil, který je biologicky změněn a oživen rostlinami. Číslo 1 zobrazuje stádium rozkladu odumřelé organické hmoty. Číslo 2 ukazuje edafon v jednotlivých velikostech a taxonomických třídách, tedy živou složku půdy. Číslo 3

znázorňuje pevnou složku půdy, ve které jsou primární a sekundární minerály spolu s organickými složkami, a to v několika podobách. Na posledním čísle 4 jsou vidět skupenství jednotlivých půdních složek, jakož jsou plynné, kapalné a pevné (Pavlů, 2018). Půdní profil se dále dělí na jednotlivé horizonty. Horizont A je organická vrstva obsahující humus a rozpadlý organický materiál. Pod touto první vrstvou je tmavě zbarvená vrstva půdy bohatá na organickou hmotu a minerály, která se nazývá ornice. Další horizont B znázorňuje místo pro efektivní hloubky půdy, kde probíhá akumulace. V této vrstvě jsou obsaženy kořeny, minerály a biologická činnost. V horizontu C je nejmenší obsah zvětralého materiálu v půdním profilu. Závěrečný horizont se skládá z podloží horninové masy, např. z čediče, vápence, žuly nebo křemenu (Srivastava, 2020).



*Obrázek 1 – Složení půdy (Pavlů, 2018).*

Vznik půdní anorganické složky je způsoben zvětráváním hornin nejvrchnější vrstvou zemské kůry (litosféry). Litosféru tvoří prach, písek, šterk nebo kameny, které se nazývají zvětralé úlomky matečných hornin. Úlomky jsou chemicky neaktivní, za to však vytváří jílové minerály a minerální ionty, ze kterých je rezerva pro další zvětrávání částic aktivních. Největší částí půdní hmoty jsou křemenná zrna, která jsou dobře odolná vůči zvětrávání (Mentlík, 2003). Na půdní substrát se rostliny přichycují a využívají ho k získávání živin a vody (Bičík a kol., 2009).

Ke vzniku půdy slouží dva procesy - zvětrávání a sedimentace. Zvětrávání je taková reakce, při níž se tvoří minerální půda a anorganická hmota. Procesem sedimentace vzniká organická půda (močály, bažiny). Organická půda má schopnost získávat velké množství uhlíku a má proto nejdůležitější funkci. Uložený uhlík je klíčový pro zjišťování změn klimatu (Madigan a kol., 2011).

Půdní humus vytváří pevná neživá organická hmota, která je z těl vyšších rostlin, opadanky (nadzemní část) a podzemní části, která zůstává v půdě. Je to organická hmota, která se stále rozkládá a mění dle svého prostředí. Humifikace je proces, kdy živá složka půdy (edafon) podléhá rozkladu. Při humifikaci vznikají humusové látky, které se dále dělí na huminy, humáty, humusové kyseliny a humusové uhlí (Mentlík, 2003).

Organickou živou složkou půdy je edafon a jedná se o rozkladače. Tvoří ho bakterie, houby, zooedafon (mikro, mezo a makro), aktinomycety a fytoedafon (lišejníky, sinice a řasy). Kapalná složka půdy je součet všech vod v půdě, které jsou v plynném, kapalném i pevném skupenství. Absence vody v půdě způsobuje zvětrávání a minimální nebo žádné množství humusu. Voda v půdě je velmi významná pro vegetaci a edafon, má v půdě základní ekologický stanovištní a pedogenetický faktor. Ovlivňuje pedogenezi a veškeré půdní pochody, jimiž je přemísťování látek, humifikace a chemické a fyzikální zvětrávání. Plynné půdní složky jsou dalším ekologickým stanovištním faktorem (dýchání kořenů rostlin a zooedafonu) a pedologickým faktorem, který reguluje vývoj půdy. Plynné složky zaplňují volné půdní prostory, které nejsou vyplněny vodou. V půdě je větší množství  $\text{CO}_2$  a menší podíl  $\text{O}_2$  než v atmosféře, proto nepřetržitě probíhá výměna mezi pedosférou a atmosférou pomocí difúze - půdní dýchání (Mentlík, 2003).

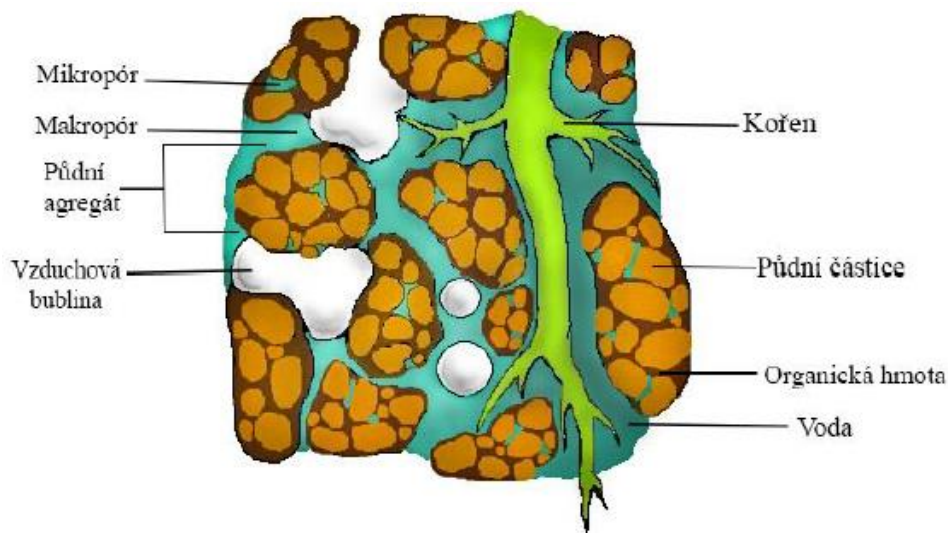
### **3.2 Základní hydrofyzikální vlastnosti půdy**

Půdní vlastnosti se člení na fyzikální, biologické a chemické. Fyzikální vlastnosti jsou pórovitost, zrnitost, struktura, barva, obsah vody a vzduchu v půdě (Hillel, 1998). Mezi chemické vlastnosti se zařazuje pH půdy (zásadité, neutrální, kyselé), obsah humusu, sorpční vlastnosti, obsah karbonátů, výměnná půdní reakce a minerální síla půdotvorného substrátu (Šarapatka, 1996).

Voda je v půdě velmi podstatná pro správné fungování života na Zemi a je nedílnou součástí veškerých organismů. Rozpouští živiny, má velkou tepelnou kapacitu a je to místo všech životních pochodů. Její skupenství může být plynné, kapalné a pevné. Největší důležitost má kapalná voda, která se vyskytuje v podobě srážek, toků nebo podzemních vod. V půdním prostředí se nachází podzemní voda kontinuální nebo prosakuje vzlínáním. Hlavním zdrojem vody v půdě jsou atmosférické srážky, vzlínání podzemních vod, infiltrací z vodních toků a nádrží nebo kondenzací vodní páry. Podstatnou rolí pro správné fungování půdního prostředí je vlhkost půdy, která znázorňuje poměr množství vody v pevném substrátu (Vopravil a kol., 2010b). Obsah vody v půdě je důležitý pro správné fungování vegetačního systému a biologické aktivity. Obsah vody v půdě má také vliv na její chemické a fyzikálně-chemické procesy (Tomášek, 2007). Půdní prostředí dále získává vodu pomocí vlastností substrátu, sklonu terénu, povrchu reliéfu, antropogennímu vlivu nebo skladbou rostlinného společenstva (Smolíková, 1998).

### **3.2.1 Půdní pórovitost**

Póry v půdě slouží jako volný prostor, jehož obsahem je voda, vzduch nebo půdní roztoky (Hillel, 1998). Půdní roztok stanovuje například efektivnost koloběhu látek. Půdní vzduch a roztok zabírají přibližně 50 % objemu půdy. Dále svojí organickou hmotou a minerálními částicemi vyplňují půdní póry. Při srážkách se půdní póry zalejí vodou, vzduch se vytlačí a tím dojde ke zvýšení objemu půdního roztoku. Při vysychání tento proces funguje naopak, v mezerách se zvýší obsah půdního vzduchu. Půdní složky na sebe vzájemně působí a ovlivňují se, to zapříčiňuje proměnlivost půdního profilu (Šantrůčková a kol. 2018). Obrázek 2 zobrazuje strukturu půdního prostředí, a to v mikroskopickém měřítku.



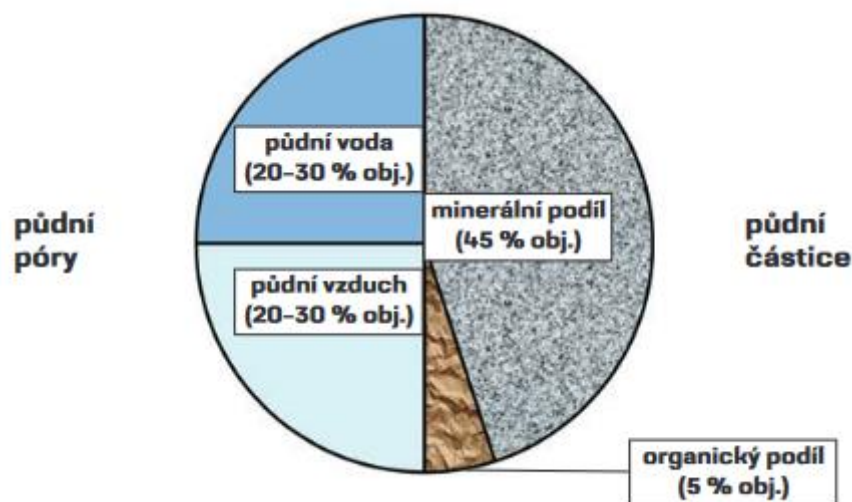
**Obrázek 2** – Mikroskopické zobrazení půdního prostředí (YUNGA, 2014).

Prorůstající kořeny rostlin půdou způsobují půdní agregáty, přičemž vznikají za pomoci těchto kořenů, které odebírají vodu v daném prostředí a tím dochází ke spojení půdních částic. Odumřelý kořen poté vytvoří prázdný prostor (pór), který se zaplní vzduchem či vodou. Půdní póry neovlivňuje pouze růst vegetace, ale také migrování půdních živočichů, kteří svým pohybem v půdě vytvářejí mezery a chodbičky. Vylučují exkrementy, které mají různá složení a tím obohacují půdní agregáty novými přínosnými složkami (Oades, 1993).

Samotné rozložení půdních agregátů je důležité pro správné fungování ekosystému. Rozložení způsobuje póry, které ovlivňují proudění plynů, výskyt vody, růst rostlin a biologickou aktivitu. Podstatní jsou také ekosystémoví inženýři, kteří dokážou pracovat s agregáty, například shlukovat je (Piron a kol., 2012). Je proto zapotřebí osídlit půdu vhodnými druhy inženýrů, kteří budou schopni svojí činností pozitivně přispívat k tvorbě pórů a slučování půdních částic. Jejich hlavní funkce je tedy pomáhat půdnímu ekosystému a udržovat ho v produktivním stavu (Shukla a kol., 2013).

Obrázek 3 znázorňuje průměrné množství jednotlivých složek v objemových procentech, které jsou důležité pro kvalitní vývoj a růst rostlin. V klasické minerální půdě tvoří 2/3 objemu pevné částice a 1/3 jsou póry (50 % zaplněné vzduchem a 50 % zaplněné vodou). Zastoupení jednotlivých složek je však individuální a proměnlivé. Záleží, jaké množství vody a vzduchu je v půdě přítomno (Šimek a kol., 2015).





Obrázek 3 – Zastoupení jednotlivých složek v půdě (Šimek a kol., 2015).

### 3.2.2 Půdní struktura

Struktura půdy je prostorové rozložení minerálních složek, organické hmoty a volných prostorů neboli pórů, které vyplňuje voda a vzduch (Kotrbová, 2011). Minerální složky v půdě se skládají z několika anorganických částic, které mají různé velikosti (popsané v kapitole 3.2.3 Půdní textura). Struktura půdy se stanoví pomocí uspořádání půdních částic (Brady, 1990).

Uspořádaným spojením jemných částic půdy vznikají jednotlivá seskupení částicek půdy, tedy půdní agregáty (Dexter, 1998). Tato aktivita určuje způsoby, jak se jednotlivé částice spojují do větších pedů, které mají určitou velikost a tvar. Díky pedům se dají zjistit jednotlivé typy půdních struktur. Půdní struktury jsou destičkové, sloupcové, hrudkovité nebo prizmatické. Sjednocují se organickou složkou, sloučeninami železa, jílem a dalšími látkami. V zemědělství se půdy s hrudkovitou nebo s kostkovou strukturou obdělávají nejlépe. Obtížně se hospodaří s půdami, kde je větší podíl jílu. Když jsou tyto půdy mokré, bývají těžké a mazlavé, pokud vysychají, následně ztvrdnou. Pro obdělávání se proto nedoporučují (Mentlík, 2003).

Půdní agregáty se rozdělují podle velikostí na mikroagregáty, které mají velikost menší než 0,25 mm, a na makroagregáty, které jsou větší více než 0,25 mm (Čermák, 2012). V půdě probíhají procesy, které ovlivňují velikost těchto mikro a makroagregátů. Makroagregáty vznikají z několika důvodů, např. vývojem kořenového systému,

mechanickým obhospodařováním půdy, působením půdních organismů nebo vývojem kořenového systému rostlin (Pavlásek, Jačka, 2014). Prostorové uspořádání půdních agregátů vytváří půdní strukturu, která je významná pro půdní stabilitu nebo propustnosti vody a živin (Bartlová a kol., 2009).

### 3.2.3 Půdní textura neboli zrnitost

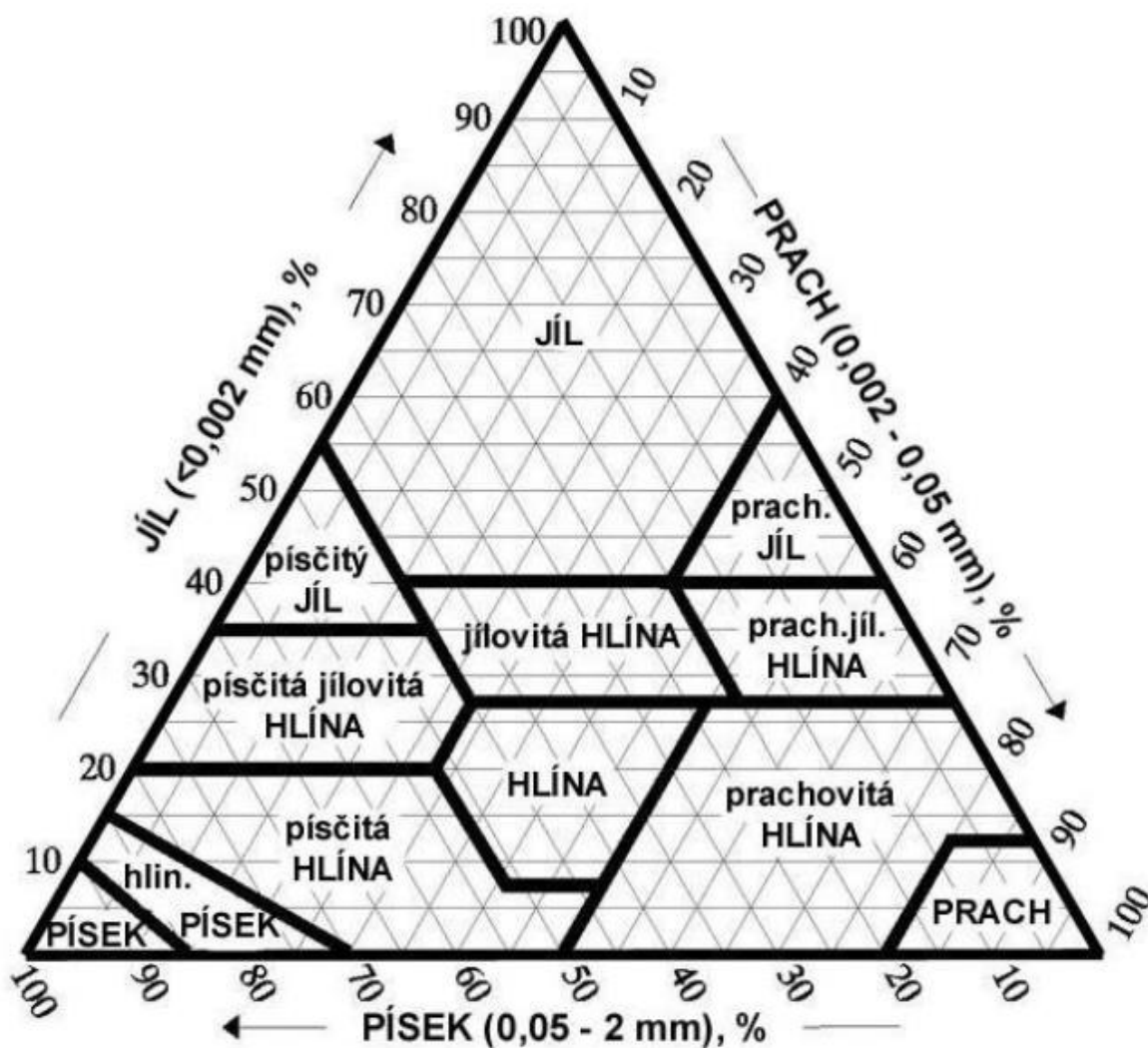
Půdní textura se nejvíce využívá k rozboru půdy a má schopnost ovlivňovat půdní hydraulické vlastnosti (Odeh, 2005). Texturou půdy se rozumí poměry hlíny, jílu, prachu, šterku a písku v půdě. Schopnost půdní textury spočívá v tom, že má vlastnost přijímat vodu a vzduch. Voda se nejsnadněji vsakuje do šterkovitých nebo písčitých půd, kde se dostává hluboko do země, avšak obtížněji se v půdní hmotě zadržuje. Vsakování vody u jílovitých půd probíhá pomalu, proto se snadno a často zamokřují. Pro hospodaření se nejhojněji využívá hlinitá půda, a to díky svým nejlepším vsakovacím vlastnostem (Mentlík, 2003).

Půdní textura má tři základní půdní druhy, jimiž je půda písčitá (lehká půda), hlinitá (středně těžká), jílovitá (těžká půda) a přechody mezi nimi (Šimek, 2003).

K rozdělení minerálních složek půdy dle tříd velikosti částic se v České republice využívá Taxonomický klasifikační systém půd. Půda se dle tohoto systému rozděluje na jemnozem (menší než 2 mm) a skelet (větší než 2 mm). Jemnozem se dále rozlišuje podle velikostí částic, jimiž je:

- jíl – menší než 0,002 mm,
- prach – 0,001 mm až 0,05 mm,
- písek – 0,05 mm až 2 mm (Němeček a kol., 2008).

Ke zjištění půdního druhu dále slouží Trojúhelníkový diagram (Obrázek 4). Z diagramu je možné zjistit procentuální zastoupení určitých druhů minerálního materiálu (Němeček a kol., 2008).



Obrázek 4 – Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (Němeček a kol., 2008).

Dále se půda rozděluje podle skeletosti, která se hodnotí podle objemového zastoupení jednotlivých částic:

- hrubý písek – 2 až 4 mm,
- štěrk – 4 až 30 mm,
- kameny – větší než 30 mm,
- balvany – větší než 300 mm (Němeček a kol., 2008).

### **3.2.4 Půdní infiltrace**

Infiltrace je proces, který zapříčiňuje hydrofyzikální vlastnost půdy, kdy voda pronikne z povrchu do půdy (Vopravil a kol., 2017). Na půdním povrchu nepřetržitě probíhají procesy mezi půdou a atmosférou. Podstatný je způsob odtoku, zda voda odteče do vodního toku nebo se vsákne do půdního profilu. Ten je biologicky nejaktivnější a je v něm největší zastoupení kořenů rostlin a půdních mikroorganismů (Dohnal, 2017). Při vsaku půda vodu absorbuje, určitý objem zadrží a další část (zbytková voda) se dostane do pórů, do hlubších vrstev půdního profilu (Vopravil a kol., 2017). Aby infiltrační schopnost vodního režimu v půdě správně fungovala, je důležité správné rozložení půdních agregátů, tedy textura a struktura půdy (Sánka a kol., 2004).

Makropóry (tubulární pedohydatody) jsou hydrologicky pro infiltraci velmi podstatné. Vznikají díky biogenním činitelům a jejich póry jsou trubičkově hrubé či kanálkovité (Vašků, 2003). Anektické žížaly žijící hluboko ve vrstvách půdy zastávají velmi důležitou roli pro vytváření makropórů v oblasti hydrologie. V půdě tvoří hluboké a vertikální chodbičky, které provzdušňují půdu a umožňují vodní infiltraci (SOILTEQ, 2020).

### **3.2.5 Půdní filtrace**

Půdní filtrace je spjata s infiltrační schopností v půdě. Když voda protéká do půdního profilu, funguje jako filtr a znečištěnou vodu dokáže vyčistit. Rychlost a efektivita filtrace závisí na textuře, struktuře a zrnitosti půdy. Půda díky těmto svým schopnostem může zabránit suchu nebo povodním. Také pomáhá k retenci vody v krajině (Vopravil a kol., 2017).

### **3.2.6 Půdní retence**

Retence znamená přirozené zadržování vody v krajině, tedy v půdě, na terénu povrchu nebo ve vodním korytu (ČSN 75 0101). Dle Hřebejkové (2018) je tento jev ovlivněn několika faktory, díky nim se retence během času a prostoru mění. Pro ochranu půdy a hospodaření s vodou je důležité tyto faktory znát. Zdravá půda má vysokou kapacitu zadržování vody. Na jednom m<sup>2</sup> půdy, která má běžnou vlhkost, se hromadí cca 100 až 200

litřů vody. Po intenzivnějších srážkách toto množství může být až dvojnásobné. Vážné následky na životní prostředí může mít narušení schopnosti retenční kapacity půdy. Tento problém vzniká odváděním vody z krajiny způsobeným zástavbou nebo zhutněním půdy. Nasáklivost půdy je největší množství vody, kterou dokáže půdní profil zadržet. Pro tento proces je klíčová komplexní pórovitost půdy. Nejvyšší obsah vody v pedonu může být 40 až 60 % objemu půdy (Šimek a kol., 2019a).

Textura ovlivňuje dostupnost a obsah vody v půdě. Při vydatných srážkách se makropóry působením gravitace vyprazdňují, množství vody v půdě klesne na tzv. polní vodní kapacitu. V tu chvíli se zmírňuje pohyb vody do hloubky půdy a její obsah vody se zmenší (Glet, 1975). Aby byla retenční půdy efektivní, záleží na kvalitě textury, struktury a pórovitosti. Tyto fyzikální vlastnosti ovlivňuje činnost půdních organismů a množství organické hmoty. Přidání kompostu do půdy má pozitivní vliv na fyzikální vlastnosti půdy (Badalíková a kol., 2015). Díky přidání organické hmoty do půdy se také zvyšuje činnost a produktivita půdních mikroorganismů (Brown a kol., 2011).

### **3.3 Půdní edafon**

Zemina se označuje jako živá, protože obsahuje miliony organismů. Některé mají mikroskopickou velikost (Šimek a kol., 2019). Tyto organismy umí rozkládat organické látky. Veškeré půdní organismy se podílejí na půdních biologických procesech, které jsou důležité pro růst rostlin i pro existenci živočichů. Velký vliv na půdní vlastnosti mají obratlovci (Šarapatka, 1996). Je to obrovská infrastruktura půdních organismů, která je pro celý ekosystém a lidstvo zásadní. Obecný název pro půdní organismy žijící v zemi trvale nebo dočasně se nazývá edafon (Šimek a kol., 2015). Chemnitz (2015) uvádí, že v půdě žijí celé 2/3 živočišných druhů. V jedné hrsti půdy je více organismů, než je lidí na celé planetě.

Půdní organismy se člení na zooedafon a fytoedafon. Zooedafon jsou půdní živočichové, tedy žížaly, stonožky, mravenci a další zástupci. Kdežto fytoedafon jsou rostlinní zástupci, mezi které patří řasy, houby, bakterie nebo aktinomycety (Šimek a kol., 2019).

Edafon se rozděluje na mikroedafon, mezoedafon, makroedafon a megaedafon (Barrios, 2007). Mikroedafon jsou bakterie, prvoci, řasy a sinice. Do mezoedafonu patří

drobný hmyz, chvostoskoky a roztoči. Zástupcem makroedafonu je hmyz, přesněji pavouci, stonožky, mnohonožky, roupice a měkkýši. Megafon jsou žížaly a krčci. Edafon se také dělí na organismy, které mají podíl na potravním řetězci, tedy na producenty (rostliny a řasy), konzumenty (býložravé a masožravé organismy) a na rozkladače (chrobáci) (Šarapatka, 1996).

### 3.4 Půdní organická hmota

Půda je domovem pro makro a mikroorganismy, které svým vzájemným působením vytvářejí příznivé půdní prostředí. Za kvalitu půdních fyzikálních vlastností mohou živé složky, tedy půdní organismy. Velká různorodost půdních organismů a jejich vlastnosti ukazují půdní kvalitu a intenzitu a kvalitu pedogeneze (Kuráž, 2023).

Rostlinná biomasa je hlavním zdrojem půdní organické hmoty. Vzniká fotosyntetickou činností primárních producentů, mezi které se řadí vyšší rostliny, sinice a řasy. Vyšší rostliny bývají ve většině ekosystémů převažujícími primárními producenty. Složení těchto vyšších rostlin je příslušné daným stanovištním podmínkám. Specifická struktura vzniká v místech, kde je z nějakého důvodu nadměrně omezen růst vyšších rostlin. K omezení růstu dochází v místech, kde je dlouhodobě přetrvává chladnost, nadměrné sucho nebo prostředí, které je kvůli vlhku chudé na živiny. Tímto vznikají půdní krusty, jejichž složení je ze směsi nižších autotrofů (řas a sinic) a jiných organismů, mezi které patří bakterie, houby, mechy nebo lišejníky (Šantrůčková a kol., 2018). Tyto organismy, oproti vyšším rostlinám, produkují menší množství organické hmoty a na půdním povrchu vytváří specifické biofilmy, které měří jen několik milimetrů (Menta, 2012). Biologické půdní krusty jsou schopny porosty vyšších rostlin zcela nahradit (např. rušné plochy ve vysokých horách, pouštích nebo polopouštích) nebo mozaikovitě doplnit (např. arktická tundra) (Šantrůčková a kol., 2018).

Způsob pronikání organického materiálu do půdy je zásadní pro rozkládání organického materiálu a pro vytváření půdní organické hmoty. Jestliže vstupuje do půdy v nadzemním opadu, látky se shromažďují a poté rozkládají na půdním povrchu a jsou s půdou nepřímo v kontaktu (Šimek a kol., 2019b). Hojně produkují organické horizonty na půdním povrchu. V povrchových minerálních horizontech obsah organické hmoty působí pomocí vymývání rozpustných látek nebo přemístování nerozpustných látek živočichy žijícími v půdě. Další

možností je proniknutí přímo do půdy. To je způsobeno podzemním rostlinným opadem, aktivním nebo pasivním transportem organiky z povrchu přímo do půdního profilu. Tím je organická hmota ve spojení s půdní maticí, má důležitou roli při tvorbě struktury a má značný podíl na vzniku půdních agregátů a stabilních organických hmot v půdě (Šantrůčková a kol., 2018).

Půda se kvůli půdním procesům mění, což je očividné na stratifikaci půdy. Půdní vrstvy mají odlišné struktury, barvy, vlhkost, velikost půdních agregátů a další vlastnosti. Pro kvalitní půdní profil je podstatný obsah organické hmoty, který se mění s hloubkou půdy (Rusek, 2000). Činnost půdních organismů a půdní biologie je podstatná pro fyzikální půdní vlastnosti. Degradace má negativní vliv na vitalitu, texturu a ztrátu půdy, protože je v půdě absence produktivních organismů (Szűcs a kol., 2014).

### **3.5 Rozdělení rozložitelnosti a přeměny organické hmoty v půdě**

Přeměna organické hmoty v půdě se člení na nerozloženou, částečně rozloženou a přeměněnou organickou hmotu. Pomocí kyslíku, vody, mikroorganismů, živočichů a ostatních faktorů u organických zbytků probíhají biochemické přeměny. Rozkladem se organické sloučeniny mění a vytrácí se jejich původní anatomická stavba. Při procesu rozkladu vznikají meziprodukty, které jsou mineralizovány mikroorganismy. Finální produkty mineralizace jsou hlavním zdrojem pro autotrofní mikroorganismy a vyšší rostliny. Další část rozkládaného produktu využijí heterotrofní mikroorganismy pro syntézu sekundárních bílkovin, cukrů a tuků. Nejdrobnější meziproductová část rozpadu živočišných a rostlinných látek se promění na humusové látky (složité vysokomolekulární látky). Půdní organické látky mají dva způsoby přeměny, jimiž je humifikace a mineralizace (Růžek a kol., 2004).

#### **3.5.1 Nerozložená organická hmota**

Nerozložená nebo neúplně rozložená organická hmota do půdy nově proniká nebo je součástí starších zbytků rostlin, které se hůře rozkládají (Růžek a kol., 2004). Součástí směsi rostlinného materiálu, který nelze rozložit, je čerstvý nadzemní opad, zbytky a kořeny starých rostlin, kořenové exudáty, jimiž jsou organické kyseliny, aminokyseliny,

polysacharidy, biologicky aktivní látky a cukry. Kořenové exudáty nepřetržitě vstupují do půdního profilu v průběhu celé vegetační sezóny. Pro půdní mikroorganismy jsou lehce dostupné jako zdroj uhlíku a v původní půdě existují velmi krátkou dobu, protože se rychle stanou součástí přeměněné organické hmoty. Rychle rozloženy jsou také cytoplazmatické látky z kořenů a nadzemního opadu, do kterých patří proteiny, cukry, lipidy, aminokyseliny a nukleové kyseliny. Avšak strukturální látky v půdě přetrvávají individuálně dlouhou dobu v závislosti na jejich složení. Strukturální látky jsou primární a sekundární látky buněčné stěny, které tvoří lignin, celulóza, pektin, lignocelulózové komplexy a fenolické látky. Když mají větší obsah ligninu, o to delší je doba rozkladu. Kořeny rostlin, oproti nadzemní části rostliny, v sobě mají větší množství ligninu, suberinu a vosků, proto jejich rozklad trvá déle. Kdežto mladé listy z nadzemní biomasy obsahují vysoké procento cytoplazmatických látek a menší podíl strukturálních látek v buněčné stěně, proto jejich rozklad trvá kratší dobu (Šantrůčková a kol., 2018).

Půdní organickou hmotu tvoří 5–15 % rostlinných zbytků, které jsou v různém stupni rozkladu. Jsou proto měřitelné jako lehká skupina organické hmoty. Jejich rozložitelnost a doba trvání v půdě je způsobena vysokým stupněm polymerace, obtížnou přístupností krystalických součástí celulózových a chitinových vláken, stupněm hydratace polymerů, spojením dvou a většího množství polymerů, bakteriostatickými rysy rostlinných látek a fyzikální bariérou produkovanou vosky (Šantrůčková a kol., 2018).

### **3.5.2 Přeměněná organická hmota**

Přeměněná organická hmota se skládá z živých a mrtvých mikroorganismů, mikrofauny, ostatků odumřelých těl půdních živočichů, chemických a biochemických přeměn v půdě a produktů metabolismu organismů vyskytujících se v půdě. Živá hmota tvoří aktivní složku, která má průměr 2–4 % půdní organické hmoty. Základem této organické hmoty jsou mikroorganismy, jejichž generační doba je krátká, tudíž po odumření mikrobiálních buněk má cytoplazmatická membrána a cytoplazma snadnější rozklad a obsažené látky se dají znovu recyklovat mikrobiálním společenstvem nebo zpřístupnit pro ostatní rostliny. Buněčné stěny jsou utvořeny z 15 % u bakterií, a ještě více u hub, kde rozklad probíhá pomaleji. Rozkládání měkkých částí těl půdních živočichů probíhá velice rychle, což je způsobeno vysokým obsahem bílkovin. Kdežto jejich části, které jsou tvořeny



chitinem, jsou zásadním prekurzorem půdní organické hmoty a v půdě se akumulují (Šantrůčková a kol., 2018).

Brady a Weil (1999) rozdělili rychlost rozkladu do tří skupin:

- Rychlá přeměna látek (kratší než 1,5 roku, kvalitní uhlíková frakce),
- Pomalá přeměna látek (do 25 let, větší obsah ligninu),
- Těžce rozložitelné látky (až 1000 let).

### 3.5.3 Rozložitelnost organické hmoty

Rozložitelnost způsobují abiotické faktory, jimiž je vlhkost, teplota a prostorová separace. Dále sem patří také funkční diverzita společenstev půdních organismů, jejíž molekulární struktura ji výrazně ovlivňuje (Radochová, 2013). Látky živočišné, rostlinné a mikrobiální, které vstupují do půdy, se rozdělují na rozložitelné, pomalu rozložitelné a nesnadno rozložitelné. Do snadno rozložitelných látek se řadí cukry, proteiny, organické kyseliny, aminokyseliny, škroby a další. Tyto látky se rozloží během několika hodin, dnů nebo týdnů. Pomalu rozložitelné jsou celulózy a hemicelulózy. Jejich rozložení trvá několik měsíců až let. Nesnadno rozložitelné látky jsou např. fenolické látky, lignin, chitin a ostatní, přičemž k jejich rozložitelnosti dochází v průběhu let až desetiletí. Rozložitelnost půdy je proto individuální a řádově trvá několik měsíců, desítek let nebo staletí. Je utvořena řadou komplexů aromatických a alifatických řetězců, které mohou stabilizovat hydroxidy Fe a Al, ale také látky jednoduché. Jednoduché látky jsou prostorově odděleny od dekompozitorů (uzavřené uvnitř agregátů) nebo stabilizovány fyzikálními a chemickými vazbami (Šantrůčková a kol., 2018). Organickou hmotu zpracovávají půdní organismy. Každá skupina půdních organismů má svoji jedinečnou funkci (Šarapatka a kol., 2021).

Dále má na rozložitelnost organických látek podstatný vliv, zda se jedná o látky hydrofobní nebo hydrofilní. U hydrofobních látek nenese molekula náboj, nepřitahují molekuly vody a obtížně se smáčí. Kdežto látky hydrofilní molekuly vody přitahují, a tak se snadněji smáčí. Hydrofobicita je podstatná u mikrobiálního rozkladu a při chemické nebo enzymatické transformaci, která má schopnost návaznosti na vodní prostředí, což bývá hlavním důvodem dlouhodobého trvání rostlinného materiálu či houbových vláken v půdním prostředí (Šantrůčková a kol., 2018).

### 3.6 Elementární složení organické hmoty

Rozmanitá molekulární struktura látek, která vstupuje do půdy, se skládá z různého prvkového elementárního složení. Součástí organických látek je kyslík, vodík, uhlík, dusík, síra a fosfor. Složení je v různých poměrech, mohou tedy vyhovovat heterotrofním organismům jako zdroj uhlíku, energie a živin. Díky elementárnímu složení lze zjistit, zda je dané složení vhodné jako potrava pro organismy a zda bude zajištěn jejich vývoj a růst. Pro lepší porovnávání obsahu živin a energie odlišných organických látek je složení jednotlivých prvků relativně vyjádřeno k množství uhlíku v molech prvku a na jeden mol uhlíku (Toman, 2014).

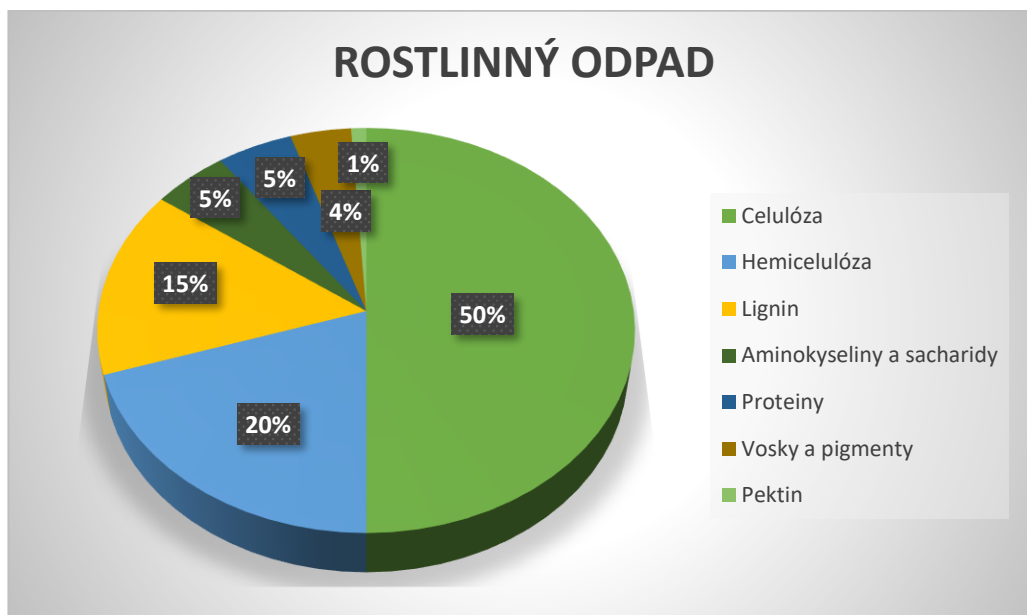
Množství vodíku a kyslíku v poměru k obsahu uhlíku znázorňuje, jak je energie dostupná a jaký stupeň oxidace organické látky. Zvýšením oxidace se sníží obsah energie v organické látce. Látka, která má více vodíkových iontů než kyslíkových, obsahuje větší množství energie a je redukovanejší. Nejvyšší stupeň oxidace u uhlíkatých látek má oxid uhličitý, proto neobsahuje využitelnou energii pro půdní organismy. Půdní organická hmota a organické kyseliny mají nejmenší obsah energie, kdežto cukry a tuky obsahují energie dostatek, a jsou proto nejvhodnější pro rozvíjení organismů. Energetická hodnota půdní organické hmoty je nízká, a to z toho důvodu, že obsah vodíkových iontů je nízký (Šantrůčková a kol., 2018). Půdní částice jsou stmeleny v půdní agregáty (Valla, 2002).

Organické látky jsou základem živin a energie pro heterotrofní organismy, které nejsou schopny samy produkovat organické látky a jsou proto závislé na autotrofních organismech (Říhová Ambrožová, 2023). Tuky a cukry jsou sice nejlepším zdrojem pro získávání energie, ale neobsahují živiny, které jsou pro organismy důležité, např. pro stavbu těla, proto organismy potřebují i ostatní látky obsahující živiny, byť by z nich těžily menší množství energie (Šantrůčková a kol., 2018).

### 3.7 Molekulární složení organické hmoty

Obsah a vztah organických látek a molekulární struktura organické hmoty je u živočichů, rostlin a hub rozdílná. Základním zdrojem organické hmoty je rostlinný odpad, který prostupuje do půdy. Ten se skládá z 50 % celulózy, 20 % hemicelulózy, z 15 % ligninu, 5 % proteinů, 5 % sacharidů a aminokyselin. Několik málo procent jsou pigmenty, vosky,

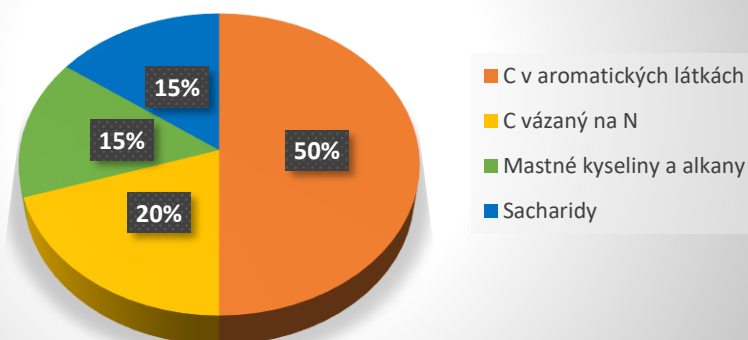
pektin a sekundární metabolity, viz Graf 1. U rostlinného odpadu jsou však velké odlišnosti, které se týkají vývojového stádia, druhu nebo orgánu, zda se jedná například o listy či dřevo, nebo podzemní či nadzemní orgány (Šantrůčková a kol., 2018).



**Graf 1** – Rostlinný odpad (Šantrůčková a kol., 2018).

Půdní organická hmota sekundárních producentů, jimiž jsou živočišné a mikrobiální buňky, oproti rostlinnému materiálu neobsahuje lignin, proto má větší podíl lipidů a bílkovin. Součástí přeměnné půdní organické hmoty v půdě jsou aromatické látky a alifatické uhlovodíky, které mají dlouhé řetězce. Nejvíce je uhlíku v aromatických látkách, celých 50 %, dále 20 % uhlíku vázaný na dusík, 15 % mastných kyselin a alkanů a 15 % sacharidů, viz Graf 2. Vzniklé komplexní sloučeniny se vytvořily rozštěpením alifatických uhlovodíků rostlinného původu a aromatických jader.

## ORGANICKÁ HMOTA SEKUNDÁRNÍCH PRODUCENTŮ



*Graf 2 – Organická hmota sekundárních producentů (Šantrůčková a kol., 2018).*

Do půdy nejvíce vstupují organické látky, jimiž jsou sacharidy (monosacharidy, disacharidy a polysacharidy), lignin, lipidy, bílkoviny, aminokyseliny a aminocukry (Šantrůčková a kol., 2018).

Sacharidy jsou snadno rozložitelné jak v půdě, tak i ve vodě (Černý a kol., 2019). V rostlinném materiálu je největší podíl sacharidů, utváří kolem 15 % celkového uhlíku v půdě. Hlavním důvodem jejich přetrvávání v půdě je vazba na železo, měď a hliník, produkce ligninocelulózových komplexů, zadržování na jílové materiály a uzavěr uvnitř mikroagregátů (Šantrůčková a kol., 2018).

Monosacharidy a disacharidy jsou jednoduché cukry, které se rozpouští a vytváří 0,01 – 0,1 % uhlíku v organické hmotě. Patří mezi ně sacharóza, hexóza a pentóza. Mikroorganismy je zpracují během několika hodin nebo dnů (Šantrůčková a kol., 2018).

Polysacharidy jsou nejčastějším prvkem rostlinné biomasy. Nejdůležitějším asimilačním produktem rostlin je škrob, který je základní rezervní látkou. Hlavní zásobní látkou živočichů je glykogen. U mnohých mikroorganismů je zásobní látkou glykogen nebo dextran. Hemicelulóza je významná součást primárních a sekundárních buněčných stěn rostlin, patří k nim např. pektin. V původním stavu je jejich rozklad snadný, avšak v rostlinném materiálu je jejich rozklad zpomalený, to je způsobeno jinými polymery. Rozkládání je pomocí enzymů, které se nazývají pektinázy. Polysacharidem vyšších rostlin

a stavební látkou jejich buněčných stěn je celulóza. Rozkládání celulózy je způsobeno souhrnem enzymů celulóz, které vylučují bakterie a houby do prostředí (Chenu, 1993).

Lipidy jsou nehumínové látky (Nam a kol., 2008). Obsahují přes 500 různorodých nasycených i nenasycených mastných kyselin. Řadí se do esterů vyšších karboxylových kyselin. Základní vlastností je vysoký obsah energie a nerozpustnost ve vodě. Výskyt lipidů je jak v živočišných, tak v rostlinných i mikrobiálních buňkách. Jsou významnou zásobní látkou, mezi něž patří oleje a tuky. Také jsou nepostradatelnou složkou buněčných membrán jako glykolipidy, fosfolipidy a lipoproteiny. Vytváří základní vrstvu, která chrání rostlinné a živočišné tkáně. Dobře se rozkládají a v půdě se nehromadí, kromě výjimky kyselých půd (Šantrůčková a kol., 2018).

Základní součástí vyšších rostlin je lignin, který je také komplexním aromatickým polymerem. Jeho schopnost je vázat polysacharidy, celulózové a hemicelulózové složky v buněčných stěnách a slouží jako zpevňující hmota. Je odolný vůči chemickému i biologickému rozkladu (Tobiašová, 2009). Jeho rozklad je pomalý pomocí nespecifických oxidačních enzymů a také lignáz, k jejichž tvorbě přispívají bakterie a houby (Šantrůčková a kol., 2018). Lignin je také součástí dřevní hmoty. Mikroorganismy ho rozkládají obtížněji než ostatní rostlinné složky. Reaguje s dusíkatými látkami (Sedláček, 2009). Typ rozkladu dřeva lze zjistit podle barvy – pokud má rozkládané dřevo světlou barvu, pak aromatické jádro degraduje a postranní řetězce ligninu se separují, kdežto hnědá barva rozkladu dřeva značí rozklad polysacharidů, které jsou ve vztahu s ligninem. Fenolické složky, které ve dřevě zůstanou, zoxidují a poté zhnědnou (Šantrůčková a kol., 2018).

Bílkoviny neboli proteiny jsou hlavní složkou všech organismů. Obsahují dusík (15 až 19 %) a síru (0,5 až 1 %). Při jejich rozkladu pomocí heterotrofních mikroorganismů se uvolňuje dusík, který se přetvoří na minerální podobu (Šarapatka, 1996). Dále obsahují 20 základních aminokyselin, které jsou navzájem propojené peptidickými vazbami a považují se za vysokomolekulární látky. Člení se podle molekulové hmotnosti na kratší peptidy a větší vlastní bílkoviny. Jejich rozklad je snadný, díky peptidáze a proteáze (Šantrůčková a kol., 2018). Vytváří až 20 % organického uhlíku v půdě. Rozklad volných aminokyselin v půdě je rychlejší než rozklad aminocukrů (Černý a kol., 2019). Jejich odolnost se určuje vazbou v humusu, v mikrobiální biomase jako složka buněčného komponentu a na jílové materiály (Šantrůčková a kol., 2018).

Aminocukry se v půdě nejčastěji vyskytují v podobě chitinu. Mezi další aminocukry patří kyselina muramová, glukosamin a galaktosamin, jež jsou základními komponenty buněčných stěn bakterií. Aminocukry mají jen několikaprocentní podíl v půdě a rozkládají se obtížněji než cukry a aminokyseliny (Šantrůčková a kol., 2018).

### 3.8 Přijímání látek z půdy

Z půdy získávají půdní organismy a rostliny uhlík a potřebné živiny, ať už v pevném stavu nebo z půdního roztoku. Podle přijímání látek se rostliny a půdní organismy dělí na fagotrofní, osmotrofní a mixotrofní organismy.

Mezi fagotrofy se řadí převážná většina půdní fauny, jimiž jsou prvoci, bakterie, houby a další živočichové. Fagotrofové mají schopnost zpracovat pevné částice, které poté rozloží ve svém trávicím ústrojí. Tímto způsobem vstřebají nezbytné živiny a přebytek vyloučí zpět do půdy, společně se zbytky, které nešly strávit (Šantrůčková a kol., 2018).

Rostliny, mikroflóra, která zahrnuje houby, řasy, archea a bakterie, a jednobuněčné organismy mikrofauny patří do skupiny osmotrofů. Tyto organismy jsou schopny získávat živiny přímo z půdního roztoku, které pocházejí z rozkladu organické hmoty, zvětrávání minerálů a z procesu výměny iontů, které jsou navázané na půdním sorpčním komplexu (Pokorný, 1992).

Fagocytóza je schopnost jednobuněčných eukaryotických osmotrofních organismů pohlcovat pevné částice. Organismy odloupnou vnější membránu a obalí ji do vakuoly, ve které se rozloží. Tyto buňky jsou mixotrofní a patří do nich prvoci a řasy. Díky fagocytóze si dopomáhají doplnit nedostatek živin (Šantrůčková a kol., 2018).

Vodní prostředí půdy není spojitě, proto rozkládání organických látek a živin v půdním roztoku je prostorově různorodé. Osmotrofní organismy (potravu přijímají celým povrchem těla) získávají potřebné látky prostou difúzí a pasivním transportem při pohybování vody po srážkách. Rostliny získávají živiny transpirací, což je způsob dopravování živin transpiračním tokem až ke kořenům. Kořeny rostlin a vláknité organismy, jako například houby, úmyslně rostou směrem k místům, která jsou vyplněná vodou. Osmotrofové si se svým okolím vyměňují látky pomocí transportu rozpuštěných látek přes membránu, kterou projdou pouze ionty a jednoduché organické molekuly. Aby se složité organické látky mohly

rozložit, musí být nejprve rozloženy na látky jednodušší. To způsobují rostlinné a mikrobiální extracelulární enzymy. Do buněk se poté dostávají aktivním či pasivním transportem, ještě společně s živinami. Aktivní transport je častější než pasivní (Šantrůčková a kol., 2018).

Rostliny získávají živiny z roztoku půdy v podobě minerální, a to buď ve formě kationtů či aniontů. K získávání fosforu slouží fosforové anionty, u dusíku to jsou např. amonné a dusičnanové ionty a aminokyseliny. Rostliny nemají schopnost zachycovat molekulární dusík z atmosféry, proto na svých kořenech podporují rozvoj bakterií, který slouží jako fixátor dusíku. Osmotrofní půdní mikroorganismy získávají fosfor a dusík v minerální a organické formě z půdního roztoku. U dusíku se jedná o aminokyseliny, aminocukry, nízkomolekulární peptidy a další látky. U fosforu to mohou být nukleotidy, fosforylované cukry nebo kyselina fytová. Větší množství půdních organismů se řadí do skupiny heterotrofů, jejichž zdroj energie a uhlíku je jednou z jednoduchých organických látek, zejména aminokyselin, cukrů a organické kyseliny. Půdní mikroorganismy a rostliny čerpají z půdního roztoku živiny, ale také zrychlují jejich uvolňování. Na přebytek, nedostatek nebo nepravidelnost živin v půdním roztoku rostliny reagují tak, že udávají směr a rychlost růstu kořenů, mění jejich uspořádání ve větvení, tloušťku kořenů a uzpůsobují biomasu v poměru nadzemních částí ke kořenům. Dále vytvářejí symbiotické působení s mikroorganismy a u kořenů ovlivňují složení a aktivitu mikrobiálního společenstva díky látkám, které vylučují kořeny. Půdní mikroorganismy mají malou velikost, proto je jejich pohyb omezený. To způsobuje omezenou možnost reakce na přebytek nebo nedostatek živin. Mají velkou metabolickou diverzitu, tím může půdní mikrobiální společenstvo využívat přítomné živiny a chemické formy uhlíku (Šantrůčková a kol., 2018).

### **3.9 Živá složka v půdě**

Ve Slovníku přírodních věd, který byl vytvořen roku 1940 se edafon přezdívá „Živěnou půdní“, a píše se o něm jako o souboru živých organismů, které jsou hrubo- i drobnohledné, obývající půdu na které jsou závislé (Kaviny, 1940). Součástí půdní organické hmoty jsou mikroorganismy, živočichové a kořeny rostlin, ti tvoří živou složku půdy. Vztahy mezi nimi jsou vzájemně provázané, kořeny mají funkci zajišťování vody a živin a slouží jako kotva pro rostliny v půdě. Rostliny pomocí kořenů komunikují s půdními organismy, komunikace

probíhá díky chemickým signálům. Kořeny a nadzemní část rostlinné biomasy jsou základním zdrojem organické hmoty pro edafon. Hlavní potravou pro edafon je právě rostlinný materiál (Šantrůčková a kol., 2018). Energie rostlin je ukládána ve škrobech. Pro klíčící rostliny jsou škroby a proteiny zásadní, z důvodu obstarávání živin (Skřička, 2017).

### **3.10 Mrtvá složka v půdě**

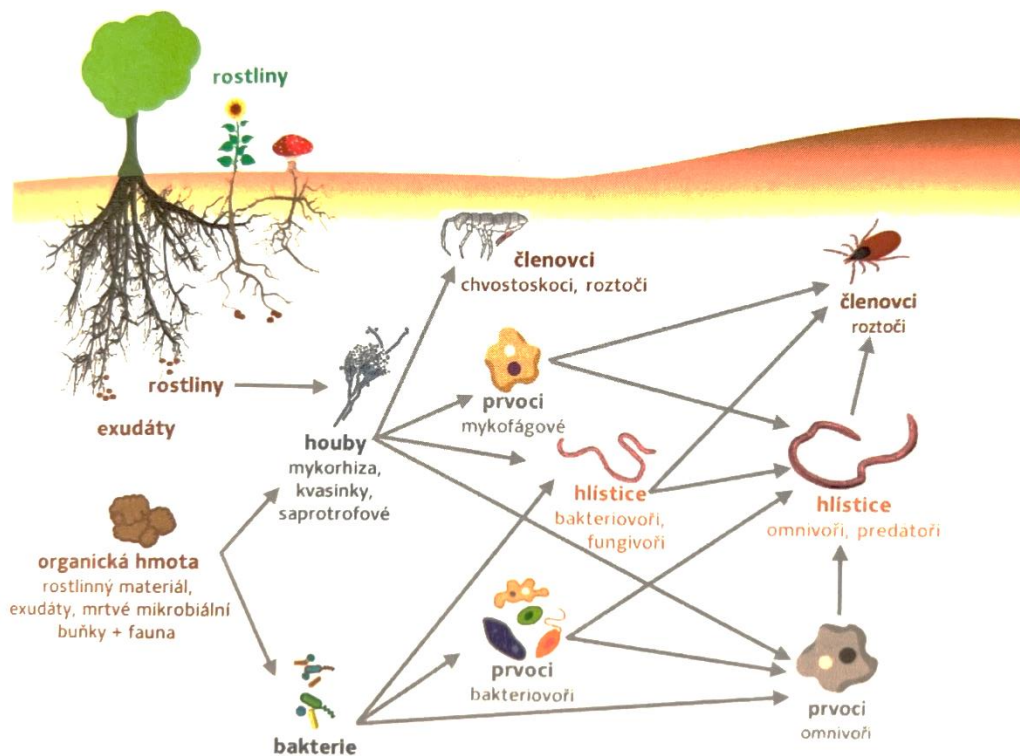
Mrtvá hmota vytváří pasivní složku. Její součástí jsou odumřelé buňky a odumřelá těla živých organismů, bakterií, hub a jiné mikroflóry (Frouz, 2020). Jsou to komplexní i jednoduché látky, u kterých probíhají chemické přeměny, a mají schopnost vázat se na organominerální komplexy. Jsou proto prioritní pro stabilitu a kvalitu půdního prostředí. Také humusové látky jsou základem pasivní složky, které mají nejednotné složení a jsou složité. Vznikají díky biologickému rozkladu a následně také abiotickou kondenzací. Mají schopnost vytvářet komplexy s jílovými kationty a minerály, proto jsou pro půdu podstatné, jsou totiž složkou půdního sorpčního komplexu. Rozdělují se podle své rozpustnosti v kyselinách a zásadách na fulvokyseliny, huminy a huminové kyseliny, které vznikají reakcí při vlastní extrakci. Jejich schopnost reaktivity se zásadou nebo kyselinou je určena na základě jejich přirozených vlastností. Hlavním ukazatelem kvality půdní organické hmoty je stanovení podílu fulvokyselin a huminových kyselin. V případě, že je množství huminových kyselin a huminů větší, je půdní organická hmota více stabilnější (Šantrůčková a kol., 2018).

### **3.11 Půdní organismy**

Součástí půdní organické hmoty jsou mikroorganismy, živočichové a kořeny rostlin, ti tvoří živou složku půdy. Vztahy mezi nimi jsou vzájemně provázané. Činnost živočichů a půdních mikroorganismů se navzájem propojuje v potravních sítích. Potravní síť je velmi složitá a rozvětvená (Šimek a kol., 2019b). Primární producent (sinice či rostlina) má první trofickou úroveň. Druhou skupinou jsou primární konzumenti, tedy herbivoři, kteří konzumují živou rostlinnou složku. Mrtvou organickou složkou se živí dekompozitoři. Na sekundární a terciální úrovni jsou konzumenti. Jsou to dravci a predátoři, kteří se živí jinými mikroorganismy a živočichy. Jsou to dekompozitoři, kteří dominují v půdních potravních



sítích. Na Obrázku 5 jsou znázorněny vztahy organismů, tedy živá složka půdy (Šantrůčková a kol., 2018).



Obrázek 5 – Živá složka půdy (Šantrůčková a kol., 2018).

Preference určitého prostředí a potravy se různě překrývají, a proto jsou pro jednotlivé organismy individuální, což způsobuje významné překryvy rolí, které živočichové v půdě zastávají. K překryvu jejich ekologických nik dochází velmi zřídka, a to z důvodu velkého prostoru půdního prostředí a velkým přísunem potravy, tedy energie pro organismy, která je důležitá k zajištění hlavních procesů. Když za určitých okolností dojde k odstranění některého druhu organismu, jejich funkci nahradí ostatní skupiny organismů. K eliminaci organismů dochází převážně při nepříznivých podmínkách, druhové nemoci nebo při vyšší citlivosti na cizorodou látku. Z tohoto důvodu se u degradovaných půd ekologické funkce stále obnovují a oživují. Pokud je však v půdě zasažena kompletní funkční edafonová skupina a její funkce nebyly nahrazeny jinou skupinou, změní se dostupnost živin, potravní síť se naruší a rozkládání organické hmoty se změní. Tento proces může způsobit změnu funkcí ve vegetačním krytu i v celém ekosystému. Nejstabilnější funkce mají půdy s nejvíce komplexními potravními sítěmi. Půdní systém může fungovat i u půd, které jsou druhově

chudé a mají pokryté všechny potřebné funkce jednou skupinou nebo druhem, pokud nedojde k zásadním změnám podmínek. Mezi takové stabilní půdní systémy, které se nacházejí v extrémních podmínkách, kde přežije jen několik málo druhů, patří polopouště nebo arktické tundry. Podobným způsobem dlouhodobě fungují také některé zjednodušené systémy půd degradované zemědělstvím. Tyto degradované zemědělské půdy jsou labilní, postrádají rezervní funkce a pohybují se blízko bodu zvratu (Šantrůčková a kol., 2018).

Půdní edafon má velkou druhovou rozmanitost, bylo popsáno pouhých 100 000 druhů mikroorganismů v půdě, což je jen malé procento ze všech předpokládaných druhů. U půdní fauny je známo přes 350 000 druhů brouků, což je 4–70 % odhadovaných druhů (Šantrůčková a kol., 2018). Právě tato druhová rozmanitost je velmi podstatná pro správné fungování potravních sítí. Aby bylo fungování potravních sítí stabilní, je velmi důležitá kvalita a množství vstupujících látek, funkční rozmanitost a vyrovnanost edafonu. Půdní organismus má výhodu v tom, že může fungovat hned na několika trofických úrovních (Pavlů, 2018).

Mezi základní ekologické funkce půdní fauny patří vylepšování půdní struktury, transport, rozpad a promíchávání organických zbytků v profilu půdy, zlepšování půdní aerace a následné vytváření biopórů, tvorba vhodného půdního prostředí pro rozvoj mikroflóry, trávení složitějších organických látek střevními symbionty a stimulací aktivity a růstu pomocí požíráání mikroorganismů. Půdní mikroflóra má základní ekologické funkce jako recyklování živin a následné zpřístupnění rostlinám, mineralizace a transformace půdního organického materiálu, fixace vzdušného dusíku, vazba živin v půdě a vylepšování půdní struktury (Šantrůčková a kol., 2018).

Existuje několik skupin půdních organismů. Megafauna a makrofauna mají na starost organický materiál, jeho pochody, transport a rozměňování (Pavlů, 2018). Kdežto mezofauna se organickou složkou živí (od kořenů po mikroorganismy, včetně mrtvých zbytků). Mezofauna je veškerý obsah živých organismů v půdě (Britannica, 1998). Umožňují koloběh živin, rozklad organické hmoty a snadnější přístup vody do půdního profilu (George a kol., 2017). Poslední skupinou je mikroedafon, který zahrnuje mikroflóru (tedy houby, aktinomycety, bakterie a další) a mikrofaunu (např. roztoči, hlístice nebo prvoci) (Barrios, 2007). Tyto organismy mají takové vlastnosti, že pomocí mineralizace umí

štěpit rozkládající se organickou hmotu na živiny a jednodušší molekuly. Tato činnost dodává rostlinám živiny a je důležitá pro kvalitní ekosystém (Elbl a Záhora, 2014).

Dekompozitory jsou převážně půdní živočichové. Jejich potravou jsou odumřelé organické zbytky a mikroflóra. Větší živočichové půdní fauny se živí většími organickými zbytky. Mají schopnost přežít i v nižších trofických úrovních, a to díky tomu, že se zaměří na jinou potravu (preferují houby a bakterie, ale mohou přežít i na mrtvé organické hmotě, na čerstvé rostlinné biomase nebo jsou schopni využít dravý způsob výživy) (Šantrůčková a kol., 2018).

Nejrozsáhlejší biomasou, která se podílí na živé složce půdy, jsou kořeny rostlin, následuje biomasa mikroorganismů a až poté je biomasa půdních živočichů, viz Tabulka 1, kde je znázorněná biomasa jednotlivých součástí organické hmoty jakožto živé složky na gramy na m<sup>2</sup> (Šantrůčková a kol., 2018). V jednom gramu půdy jsou obsaženy všechny složky a prvky života (O, C, H, S, P, N) (Madsen, 2016). Základním přímým a nepřímým zdrojem potravy pro edafon je rostlinný materiál. 80 % půdních organismů proto nejvíce obývá 20 cm vrchní části půdního profilu, kde je výskyt organického materiálu nejhojnější (Šantrůčková a kol., 2018).

Druhy organismů	Průměrná biomasa (g/m <sup>2</sup> )
Kořeny rostlin	2 000
Bakterie, archea, houby, řasy (mikroorganismy)	400
Žížaly	6
Prvoci	5
Hlístice	5
Roupice	3
Stonožky a mnohonožky	1,1
Roztoči	0,6
Stejnonožci	0,3
Chvostoscoci	0,1

*Tabulka 1 – Biomasa živé složky v organické hmotě (Šantrůčková a kol., 2018).*

Prostorové uspořádání, funkční diverzita a smysl půdních organismů při tvorbě a zachování kvality půdy závisí na zdroji potravy, velikosti těla, vnějších podmínkách prostředí, metabolické diverzitě, společných interakcích a možnosti přežít i za nepříznivých podmínek v prostředí (Radochová, 2013).

### **3.11.1 Mikroorganismy**

Půdní mikroorganismy jsou archea, bakterie, řasy a prvoci. Mají však odlišné metabolismy, proto se rozdělují na prokaryota, do nichž spadají archea a bakterie. Jejich stavba buňky je jednoduchá, jsou fototrofní (k životu potřebují světlo). Další skupina je eukaryotní, do kterých patří řasy a houby (Šantrůčková a kol., 2018). Ovlivňují je základní půdní vlastnosti, jako je kyslík, chemie či vlhkost půdy (Johns, 2017).

Pro dekompozici jsou mikroorganismy nedůležitější, protože jimi projde velké množství energie v půdním ekosystému. Půdní živočichové mají schopnost ovlivnit některé koloběhy limitujících prvků a jsou podstatné pro udržování a utlumení růstu mikroorganismů např. jejich požíváním nebo distribucí (Šantrůčková a kol., 2018). Mají proto pro fungování ekosystému důležitý význam, protože ovlivňují rychlost dekompozičních procesů. Pro planetu Zemi je to proto neustále pracující systém, bez kterého by nemohla fungovat (Johns, 2017).

### **3.11.2 Působení kořenů rostlin na mikroorganismy**

Kořeny jsou nejrozsáhlejší živou složkou organického materiálu v půdě a výrazně ovlivňují své okolí. Kořeny mají funkci zajišťování vody a živin a slouží jako kotva pro rostliny v půdě. Rostliny pomocí kořenů komunikují s půdními organismy, komunikace probíhá za pomoci chemických signálů. Kořeny a nadzemní část rostlinné biomasy jsou základním zdrojem organické hmoty pro edafon. Hlavní potravou pro edafon je právě rostlinný materiál (Šimek a kol., 2019b).

Kořeny aktivně spotřebovávají kyslík a přetváří ho na oxid uhličitý. Čerpají minerální živiny a vodu. Odvádějí velké množství organických a anorganických látek, také nazvaných jako rhizodepozice. Rhizodepozice zahrnuje několik druhů sloučenin, ať už

jednoduchých nebo nerozpustných látek. Mezi jednoduché sloučeniny se řadí organické cukry, vitamíny, kyseliny, aminokyseliny, hormony, fenolické látky a siderofory. Nerozpustné látky jsou polysacharidy nebo buňky, které jsou rozvolňované z kořenové špičky. Pomocí jednoduchých a rozpustných látek kořeny zpřístupňují živiny, ovlivňují fyzikálně chemické vlastnosti ve svém okolí, brání se proti patogenům a ovlivňují mikrobiální růst. Rostlina má schopnost vylučovat pozměněné složení látek a tím aktivně měnit ve svém okolí jednak 1–5 mm pozměněných látek a jednak složení mikroorganismů. Tím se vytváří speciální prostředí, tedy rhizosféra, která vytváří 5–25 % objemu půdy. Díky uvolňování rhizodepozic tvoří kvalitní prostředí, kde se organické látky dobře rozkládají. Z tohoto důvodu v tomto prostředí žije o jednu až dvě skupiny více mikroorganismů, na kterých jsou závislé další organismy z vyšších trofických úrovní. Kořeny uvolňují organické látky, které jsou zdrojem energie a uhlíku pro mikroorganismy a pro snadnější rozklad složitějších organických látek. Tím dostávají půdní mikroorganismy živiny, jako je dusík a fosfor, které jsou prioritní pro růst a jsou pak přístupné i rostlinám. Rhizosféra je tedy prospěšná pro všechny organismy a rostliny (Šantrůčková a kol., 2018).

### **3.11.3 Archea a bakterie**

Mezi fylogeneticky nejstarší a neúspěšnější složky života na naší planetě patří archea a bakterie, které se nachází v každém prostředí. Bakterie a archea se řadí do skupiny prokariotických chemotrofů, houby do eukariotických chemotrofů, do primárních producentů patří sinice a řasy a prvoci jsou půdní fauna. Do této skupiny organismů se zařazují i viry, jež jsou nebuněčné organismy obsahující nukleovou kyselinu DNA či RNA, v živých buňkách se rozmnožují a využívají hostitelskou buňku bakteriální, houbovou, živočišnou či rostlinnou. Mají schopnost dlouhodobě přežít i mimo hostitele a jejich výskyt je rozšířen ve všech půdách. U hostitelských buněk přenášejí geny z jedné do druhé. To způsobuje mortalitu napadených hostitelských buněk (Šantrůčková a kol., 2018).

Jsou buď jednobuněčné, nebo se vyskytují v koloniích. Někteří představitelé této formy života tu existují kolem 3,5 miliardy let. Jejich specifickým znakem je velká druhová diverzita a také metabolická diverzita (Pace, 2006). V 1 gramu půdní složky je výskyt od desítek milionů až po biliony buněk. Jsou to buňky různých druhů a kmenů, z nichž lze zpracovat v laboratořích pouze 0,1–10 %. V půdním prostředí mají prokaryotní buňky

velikost ještě drobnější než 1 mikrometr ( $\mu\text{m}$ ) a 30 % buněk díky své velikosti nelze rozpoznat ani mikroskopem (Šantrůčková a kol., 2018). Takové buňky se nazývají trpasličí buňky. Velikost těchto malých buněk je způsobena nepříznivými podmínkami půdy, jelikož mají málo živin a substrátu, a jejich dostupnost kyslíku, vody a teploty se často mění (Weil, 2007). V půdách bohatých na živiny je hojný výskyt velkých kulovitých tyčinek a buněk, kdežto v chudší půdní hmotě jsou malé kokovité buňky, které mají velký povrch s pomalým, ale efektivním metabolismem. Mezi další schopnosti organismů za nepříznivých podmínek půdního prostředí je tvorba spor, vyloučení slizů nebo osmoticky aktivních látek nebo uspořádání klidových stádií (Šantrůčková a kol., 2018).

Bakterie a archea v půdním prostředí rostou pomalu, jejich generační doba v řádu několika hodin nebo dní. Mnoho z nich přežívá určitou dobu v roce v nečinných stádiích a jejich rozmnožování záleží na tom, zda je v půdním prostředí dostatek substrátu a na dalších abiotických podmínkách, které jsou důležité pro růst. Obměna půdní mikrobiální biomasy se za rok provede jen jednou až čtyřikrát. Vyskytují se buď na povrchu půdních částic ve vodním filmu, nebo ve vodě v pórech (menší než  $10 \mu\text{m}$ ), kde jsou chráněny před prvky a velkým kolísáním množství vody. Vodní tok v půdě dokáže přemístit pouhých 5 % prokaryotních buněk. Některé druhy se pohybují pomocí bičků (Šantrůčková a kol., 2018).

Archea a bakterie se dříve řadily do stejné skupiny, avšak mají mezi sebou značný rozdíl. Archea má jedinečné složení cytoplazmatické membrány a buněčné stěny, kterou tvoří polymery. Bakterie však mají cytoplazmatickou membránu, které tvoří fosfolipidy, a buněčná stěna má v sobě peptidoglykan murein (Elhottová a kol., 2020).

#### **3.11.4 Řasy a sinice**

Řasy a sinice patří do primárních producentů fotoautotrofních organismů. Řasy se řadí do eukaryot a sinice do prokaryot. Sluneční paprsky jim dodávají energii a uhlík z oxidu uhličitého získávají pomocí fotosyntézy. Některé organismy využívají organickou hmotu jako zdroj energie a uhlíku. Půda jim dodává minerální látky a vodu. Řasy a sinice jsou v půdě pouze na povrchovém horizontu, kde je možný dopad slunečního záření. U nových substrátů jsou hlavními organismy, které je osidlují (Šantrůčková a kol., 2018). Jsou klíčové při vytváření nové půdní hmoty na čerstvých lávových proudech, pouštích, v jeskynních půdách, na holých substrátech po ustupování ledovce, na půdách po požárech a na výsypkách

(Šimek a kol., 2019b). Konečný produkt respirace, tedy oxid uhličitý, v půdním roztoku tvoří kyselinu uhličitou. Tato kyselina podporuje rychlejší uvolňování živin a zvětrávání osídleného substrátu. Půdní sinice mají takovou vlastnost, že mohou zachycovat vzdušný  $N_2$  a dodávat ho do chudého prostředí primárních půd. Mrtvá těla řas a sinic jsou hlavním prvkem organické hmoty primárních půd (Šantrůčková a kol., 2018). Extracelulární polysacharidy, které vylučují, podporují tvorbu půdních agregátů a krust. V tomto prostředí sinice a řasy žijí v symbióze s houbami v lišejnících. Jejich organická kyselina napomáhá k rychlejšímu zvětrávání substrátové hmoty a ke snadnějšímu uvolňování živin. V půdách, které jsou vyvinuté díky rostlinnému krytu, je sinic a řas výrazně méně (Chenu, 1993).

Nejvíce rozšířenými zástupci sinic v půdě jsou *Anabaena* a *Nostoc*. Ti mají takovou vlastnost, že dokážou fixovat vzdušný dusík. U řas jsou nejvíce rozšířené řasy zelené, jejichž zástupci jsou např. *Chlorella* či *Chlamydomonas*. Další zástupci jsou hnědé řasy a rozsivky, jejichž složení buněčné stěny se podobá složení vyšších rostlin. Rozsivky mají křemičitou schránku, což je chrání a zlepšuje jejich odolnost při extrémních podmínkách v prostředí. Řasy v půdě mají schopnost indikátorů a jednotlivé druhy jsou velmi podstatné a charakteristické pro jednotlivé ekosystémy. Pro lesní půdy hraje důležitou roli rod *Ettlia*, pro destruované půdy je klíčový rod *Bractaeococcus*. Ve vysokohorských chladných půdách se typicky vyskytuje rod *Prasiola* a *Macrochloris*, kdežto v arktických oblastech je typický druh *Monodus* (Šantrůčková a kol., 2018).

### 3.11.5 Houby

Houby se řadí do jednobuněčných (kvasinky) nebo vícebuněčných vláknitých eukaryotních organismů a tvoří velké procento mikroorganismů, které se v půdě vyskytují. Hlavní stavební složkou vytvářející rozsáhlou síť jsou hyfy. Rozsáhlou sítí se rozumí plodnice a půdní či nadzemní makroskopické struktury. Hyfy mají velikost šířky 2 – 10  $\mu\text{m}$ , ale vyskytují se i širší, tak tvoří rhizomorfy a makroskopické spletnice, které připomínají kořeny rostlin. Jimi jsou schopny doručovat látky i ve větších vzdálenostech v řádech od několika cm až do stovek metrů. Jeho struktura záleží na distribuci substrátu. Hyfy se rozdělují pomocí septy a vnitřních membrán na jednotlivé buňky. Díky porézním septům je možný pohyb látek a také organel, jimiž jsou jádro, ribozomy a mitochondrie, z buňky do další buňky. Mycelium pro svůj růst potřebuje místo, kde se nachází hojnost živin a

substrátu. Systém hyf transportuje potřebné látky do míst, kde jich je nedostatek, proto slouží jako doprava pro živiny a vodu. Chrání je rigidní buněčná stěna, která má jiné složení než bakteriální a rostlinné buňky a obsahuje chitin. Základem buněčné stěny je ergosterol, jež má funkci biomarkeru a je měřítkem biomasy hub (Šantrůčková a kol., 2018).

Aby se mohly houby v půdě vyskytovat, ke svému životu potřebují kyslík. Také jsou heterotrofní, mají účinný metabolismus a nevdají jim nízké pH a vysychání. Oproti tomu jsou ale náchylnější k zamokření, mechanické disturbanci, používání minerálních hnojiv a pesticidů. Největší výskyt je v lesních půdách a na velkých loukách (Šimek a kol., 2019b).

Mají schopnost rozkládat komplexní látky, rostlinám pomáhají zpřístupňovat živiny a kladně ovlivňují stabilitu agregátů a strukturu půdy. Svoji činností přispívají k tvorbě humusu (Radochová, 2013). Houby se rozdělují na symbionty a saprotrofy. Symbionti jsou závislí na zdroji uhlíku od hostitelských rostlin (to se nazývá mykorhiza) či od sinic a řas (lichenismus). Kdežto saprotrofy mají schopnost získávat uhlík jen z rozkládající se organické látky. Mezi houbami se také vyskytují draví predátoři, paraziti a patogeny, kteří mají schopnost chytat kořist, která se chytí do pasti (např. hlístice). Nejdůležitější a také nejvíce rozšířeným společenstvem hub je mykorhiza, která umožňuje přesun rostlin z vody na souš, tedy symbiózu mezi kořeny hub a cévnatých rostlin. 80 % rostlinných druhů má schopnost rozšiřovat svůj kořenový systém pomocí vláken z mykorhizních hub. Houby jsou pro rostlinu přínosem, zásobují ji vodou, fosforem a dusíkem, odebírají z nich jednoduché organické látky a ochraňují ji před patogenními látky. Proto rostlina pro houbu vybuduje prostředí, kde je malá konkurence pro substrát. Houba přináší rostlině důležité živiny, které pomocí enzymatického aparátu uvolňuje z organických látek. V chudých půdách je mykorhiza velmi důležitá, její houbová vlákna rozšiřují kořenový prostor a tím narůstá jejich dosah. Houby zajišťují živiny účinněji než kořeny rostlin, protože se díky svojí velikostí dostanou do míst, kam kořeny rostlin ne. Houbová vlákna mají také propojovací funkci, rostliny mezi sebou propojí a ty si poté mohou vyměňovat informace a látky. Mykorhizní houbová vlákna a spóry v půdě přežívají, jakmile najdou hostitelskou rostlinu, v tu chvíli začnou vydatně růst a osídlovat povrchové části kořenů (Šantrůčková a kol., 2018).

Houby mají účinnou enzymovou výbavu, díky které napomáhají k obnovení znečištěných půd. Houbové enzymy mohou rozkládat přirozené látky, ale také i



antropogenní organické polutanty (ropné deriváty, polychlorované bifenylly a další), snižují toxicitu těžkých kovů (Šantrůčková a kol., 2018).

### 3.11.6 Půdní živočichové

Půdní živočichové se rozlišují dle taxonomické příslušnosti na hlístice, nálevníky, mnohonožky, roztoče a další (Šantrůčková a kol., 2018).

Půdní prostředí je jedno z nejbohatších na Zemi, co se týká půdních živočichů. Je v ní nesmírně velké množství druhů i počtů jedinců. Na 1 m<sup>2</sup> se vyskytují miliony jedinců. Půdní živočichové hrají v půdě velkou roli, slouží jako zdroj živin a energie pro metabolismus, dostupnost živin, typ a rozmístění. Mechanické znaky půdního prostředí jsou textura, výskyt vhodných habitatů a fyzická prostupnost. Pro další vlastnosti, které vychází z klimatu a geologie, jimiž jsou chemické a fyzikální, je podstatná vlhkost, pH prostředí, teplotní režim a přítomnost a dodání základních živin. Tyto faktory fungují kombinovaně a proto se nedají posuzovat jednotlivě. Ovlivňují skladbu půdní fauny, a to kolik půda obsahuje množství organického uhlíku. Ostatní faktory jsou individuální dle konkrétního biotopu (Šantrůčková a kol., 2018).

Půdní živočichové se řadí dle velikosti na mikrofaunu, mezofaunu a makrofaunu (Pavlu, 2018). Do mikrofauny patří živočichové, kteří mají průměr svého těla do 0,02 mm. Jsou to prvoci (Protozoa), hlístice (Nematoda), želvušky (Tardigrada) a vířníci (Rotatoria). V mezofauně mají půdní živočichové průměr těla do 2 mm a jejichmi zástupci jsou roztoči (Acarina), chvostoskoky (Collembola), hmyzenky (Protura), vidličnatky (Diplura), roupice (Enchytraeidae), stonožky (Symphyla), štírci (Pseudoscorpionida) a termiti (Isoptera), kteří bývají na pomezí mezi mezofaunou a makrofaunou. K makrofauně se řadí živočichové větších rozměrů. Jsou to korýši (Crustacea), jejichž zástupcem jsou stejnonožci (Isopoda), dále pavoukovci, mezi které lze zařadit sekáče (Opilionida) a pavouci (Araneida). Také do této skupiny patří stonožky (Chilopoda), mnohonožky (Diplopoda), larvy i dospělí jedinci brouků, motýli, škvoři (Dermaptera), plošnice (Heteroptera), mravenci (Formicidae), žížaly (Lumbriciade) a měkkýši (Mollusca). Do megafauny patří živočichové, kteří dosahují rozměrů větších než 2 cm. Jsou to například velké druhy žížal, měkkýšů, obratlovců, hmyzožravci a hlodavci (Motýčka a Motýčková, 2016).

Půdní živočichové se člení do několika skupin dle výskytu v půdě za určitý čas. První skupina se nazývá permanentní a jsou to živočichové, kteří v půdě žijí celý svůj život. Zástupci permanentních živočichů jsou žížaly, roupice, roztoči (Acari), chvostoskoci (Collembola, vybrané druhy brouků (Coleoptera) a z větších živočichů sem lze zařadit krtka (*Talpa europaea*). Druhá skupina je periodická, živočichové žijí v půdě na počátku svého života, v dospělosti půdní prostředí opouštějí a následně se vracejí, např. drabčíkovití (Staphylinidae), škvoři (Dermaptera) a brouci (Coleoptera) (Wallwork, 1970). V další skupině lze najít živočichy, kteří se v půdě vyskytují na začátku svého života ve fázi kukel nebo vajíček a v dospělosti žijí mimo půdu. Tato třetí skupina se proto nazývá temporární a zástupci jsou např. larvy brouků, dvoukřídých, kovářkovitých nebo roztoči či chvostoskoci. Čtvrtá skupina nazývaná se tranzitorní používá půdu pro úkryt v neaktivním stádiu (kukly nebo vajíčka) či hibernaci. Zástupci jsou hlavně motýli (Lepidoptera) (Rusek, 2000).

Půdní živočichové, kteří se vyskytují na půdním povrchu, se nazývají atmobionty a jsou to například pavouci, roztoči, létavý hmyz a chvostoskoci. Edafobionti či edafon, jsou druhy půdních živočichů, kteří se vyskytují od povrchu až do hloubky půdního profilu. V epiegonu jsou živočichové žijící na povrchu půdy v mikroprostředí. V hemiedafonu žijí živočichové přímo pod zemským povrchem v opadavých a volných humusových vrstvách. Euedafon představuje euedafickou faunu pravých půdních živočichů.

Půdní živočichové své okolí ovlivňují a podílejí se na procesech, které se dějí v půdě. Jsou to heterotrofní živočichové, kteří jsou v aerobním prostředí. Základním zdrojem energie je rostlinná biomasa, kterou získávají z čerstvých živých rostlin, pylu nebo z mrtvé organické hmoty v podobě odumřelých těl, odpadu či starého odumřelého dřeva. Sekundárním zdrojem energie jsou mrtvá těla nebo exkrementy jiných živočichů z nadzemních trofických řetězců. Jako další zdroj využívají samotné půdní organismy, mikroorganismy a požívání živočichů navzájem (Šantrůčková a kol., 2018).

### **3.11.6.1 Živočichové ovlivňující distribuci a strukturu organické hmoty**

Živočichové, ovlivňující strukturu a distribuci organické hmoty, se nazývají ekosystémoví inženýři. Jsou to vyšší rostliny, které pomocí svého kořenového systému v půdě obstarávají distribuci organické hmoty (Jones a kol., 1994). Živočichové na této aktivitě mají také velký význam, jsou to především zástupci makro a megafauny. Díky své

pohyblivosti jsou schopni dodat organickou hmotu do většího objemu půdy v prostoru, kam se kořeny rostlin nedostanou (Šantrůčková a kol., 2018). Půdní živočichové tam dělají chodby tím, že je proráží, vytlačují nebo se jí projíždají, a dostávají tak mrtvou organickou hmotu hlouběji. Půdní živočichové také půdu mechanicky a fyzikálně mění, pomáhají jiným organismům v půdě migrovat (Lavelle a kol., 1997).

Nejdůležitějšími půdními ekologickými inženýry jsou žížaly a červi, kteří osidlují skoro všechny typy půd (Šimek a kol., 2019b). V hojném množství se nacházejí ve vlhkých půdách v lužních lesích, lučních půdách a v eutrofních prameništích. Naopak nejméně jich žije v kyselých rašelinných půdách, v jehličnatých lesech, kde je nízké pH, a v orných půdách (Frouz, 2016). Jejich tělo je válcové a protáhlé a délka se pohybuje od 1 až do několika cm, přitom jejich šířka dosahuje pouze několik mm (Šantrůčková a kol., 2018). Pro půdu zastávají důležité funkce, jako je tvoření chodeb, provzdušňování, prosakování vody hlouběji do půdního profilu, promíchávání půdy s minerálními látkami, přemísťování organických zbytků z povrchu hlouběji do půdy. Svoji funkcí také ovlivňují rostliny a činnost dalších půdních organismů. Jsou to saprofágové, kteří se živí odumřelou organickou hmotou rostlinného původu (Pižl, 2003).

Dalšími ekosystémovými inženýry jsou mravenci, kteří svojí činností dokážou přeměnit okolní prostředí a ovlivňovat tak dostupnost potravních zdrojů. V České republice je více než 100 druhů mravenců (Lavelle a kol., 1997). Vytvářejí kolonie, kde může být od desítek po miliony jedinců. Budují si nadzemní i podzemní mraveniště, tím zajišťují transport minerálních částic i organických zbytků, jako jsou větvičky a jehličí (Šimek a kol., 2019b). Produkují velkou kvantitu organického odpadu (z potravních zásob nebo trusu), který podporuje produkci půdní struktury, promíchávání a provzdušňování půdy. Díky četnému přemísťování organické hmoty výrazně ovlivňují tok energie a živin. To má výrazný vliv na mnoho funkcí chemických a fyzikálních vlastností půdního prostředí (Šantrůčková a kol., 2018).

Mezi ekosystémové inženýry také patří termiti, kteří půdě přispívají svojí činností, jako např. konzumováním a přemísťováním rostlinných zbytků nebo tvorbou hnízd. Mezi další zástupce patří druhy nekrofágní (hrobaříkovití) a koprofágní (listorozí, chrobákovití). Ti mrtvou povrchovou organickou hmotu dostávají hlouběji do dalších vrstev půd nebo aktivním rytím chodeb způsobují průchodnost půdy. Ekosystémoví inženýři jsou také cvrčci,

krtonožky, obojživelníci, plazi, menší půdní savci (Šantrůčková a kol., 2018). Hlodavci a hmyzožravci tvoří nory nebo půdní chodby, kde hromadí zemní rostlinný materiál (zásoba potravy, výstelka nor), líná jim srst a vylučují exkrementy. Půdní savci, kteří mají srst, šíří malé půdní organismy do dalších vzdálenějších míst (Nkem a kol., 2000).

### **3.11.6.2 Živočichové přeměňující mrtvou organickou hmotu na povrchu**

Půdní živočichové, kteří přeměňují mrtvou organickou hmotu na zemském povrchu, se vyskytují v povrchové vrstvě půdy. Živí se odumřelou organickou hmotou rostlinného původu (detrit, opad). Pozřením potravu rozdělí na menší části a po strávení ji přemění do hrudkové exkrementy, které poté slouží jako potrava pro další organismy a jsou snáze osidlovány půdní mikroflórou. Také z části tvoří strukturu půd a vytváří koprogenní humus. Na detritu roste mikroflóra (mikroorganismy, houby, řasy), která ho také požívá a tím se zvyšuje nutriční hodnota potravy. Po osídlení mikroflóry opětovně dochází k dalšímu požívání exkrementů, pro uvolnění živin ze substrátu, který byl těžce stravitelný. Požírači opadu se živí i dalšími zdroji potravy, avšak pro fungování půdního ekosystému je klíčový rozklad, rozpad a transport mrtvé organické hmoty (Šantrůčková a kol., 2018).

Hlavními představiteli jsou mnohonožky a suchozemští stejnonožci. Měkkýši a roupice (úzce příbuzné s žížalami, vyskytující se ve vrchní vrstvě 5–10 cm) přispívají k transformaci organické hmoty (Schlaghamerský a kol., 2020). Drobní půdní členovci se řadí mezi transformátory opadu, jimiž jsou chvostoskoci, pancířníci a další mezofauna, která přispívá k produkci koprogenního humusu (Šantrůčková a kol., 2018). Dále dokážou rozložit odumřelý rostlinný materiál a spolupracovat na produkci mikrostruktury (Šimek a kol., 2015).

## **3.12 Měření organické hmoty v půdě**

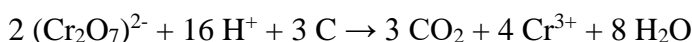
Součástí organické hmoty jsou rozkládající se zbytky živočichů, rostlin a mikroorganismů, humus a přítomný elementární uhlík, jímž může být dřevěné uhlí nebo grafit. V půdě se organický uhlík zjišťuje metodami, zakládající se na oxidaci (spalování) organické hmoty (Škarpa, 2020).

Půdní organická hmota se měří několika způsoby. Jedním z nich je metoda kvantitativní analýzy, kterou se zkoumá kompletní obsah půdní organické hmoty či půdního organického uhlíku. Další metodou je kvalitativní analýza půdní organické hmoty, kterou se zjišťuje kvalita, původ a struktura organické hmoty v půdě (Schumacher, 2002).

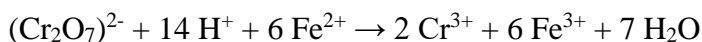
### 3.12.1 Kvantitativní metody měření

Kvantitativních metod měření je rovnou několik. Velmi rozšířená je metoda žihání, která je podrobně rozebrána v kapitole [3.12.1.1 Metoda žihání](#). Další metodou je stanovení oxidovatelného uhlíku (Cox) pomocí titrace chromsírovou po oxidaci. Základem této metody je oxidace uhlíku, který je vázaný v organické hmotě za pomoci kyseliny chromové v prostředí, kde je větší přebytek kyseliny sírové za určitých podmínek. Kyselina chromová, která není spotřebovaná, se zjistí roztokem Mohrovy soli za pomoci titrace (Zbiral, 2002).

Při oxidaci se využívá rovnice:



Při titraci se využívá rovnice:



Na podobném principu funguje metoda Walkley-Black, kde se chromsírová směs nezahřívá. Tato metoda se hojně využívá v anglosaských zemích (Schumacher, 2002). Dalším způsobem je Tjurinova metoda, kdy zahřívání na bod varu trvá přibližně 5 minut a hodně se využívá ve východních zemích (Jankauskas a kol., 2006).

Další kvantitativní metodou je stanovení celkového obsahu uhlíku elementární analýzou, kdy se celý vzorek spálí v proudu čistého kyslíku při teplotě 1000 °C. Vytvořený CO<sub>2</sub> je vyznačen infračervenou spektrometrií či tepelnou konduktometrií. Hlavní nevýhodou této metody jsou spálené uhličitany na CO<sub>2</sub> s kompletním vzorkem (Schumacher, 2002).

### 3.12.1.1 Metoda žihání

Pro určení organické hmoty v půdě se provádí vyžihání navážky za teploty 400–500 °C. Stanoví se tak ztráta žiháním a poté se odečte hydroskopická voda. Výsledkem je spalitelný podíl, který se považuje za informativní, a to z toho důvodu, že udává obsah humifikovaných a nehumifikovaných organických látek, které se žiháním spálily. Dále zjišťuje obsah krystalické vody, která je chemicky vázaná, uvolněná a uniká procesem žihání. Její obsah určuje druh půdy. Také se musí počítat s množstvím oxidu uhlíku (CO<sub>2</sub>), který se v průběhu žihání uvolňuje z uhličitánů v půdě a uniká tak do ovzduší (Škarpa, 2020).

Postup žihání probíhá tak, že se porcelánová nebo platinová miska předem vyžihá a odváží. Poté se do ní vloží 5 g jemnozeme vyschlé na vzduchu, která se zváží s důslednou přesností a žihá ve spalovací peci při teplotě 500 °C. Při žihání zeminu jemně promícháme platinovým drátkem. Následně po pečlivém spálení organických látek se miska zeminou vloží do exikátoru, kde se ochladí. Poté misku se zeminou zvážíme. Ztráta organické hmoty žiháním se vyjadřuje v procentech dle rovnice:

$$\% = (a \cdot 100) / b$$

a = hmotnost zeminou po vyžihání (g)

b = navážka vyschlé zeminou na vzduchu před žiháním (g)

Celková hodnota spalitelného podílu se určí výpočtem, kdy se hydroskopická voda odečte od ztráty žiháním (Škarpa, 2020).

Poměr organické hmoty se zjišťuje obsahem uhlíku v půdní hmotě. Jednou z kvantitativních metod zjišťování organické hmoty v půdě je stanovení ztráty žiháním (LOI – loss on ignition). Touto metodou se přímo určí, kolik množství organické hmoty půda obsahuje. Půdní hmota se vysuší, poté se při dané teplotě žihá. Zjišťuje se rozdíl hmotnosti půdy před a po žihání. Zjištěný rozdíl se považuje za organickou hmotu. Při této metodě se využívá vzorec:

$$\text{LOI} [\%] = [(m_1 - m_2) / m_1] * 100$$

V tomto vzorci  $m_1$  znázorňuje hmotnost suchého vzorku před žiháním a  $m_2$  ukazuje hmotnost vzorku po procesu žihání. Množství organické hmoty se poté převádí na obsah organického uhlíku. Pokud se předpokládá obsah 58 % uhlíku v organické hmotě, vzorec bude vypadat takto:

$$C_{\text{org}}(\text{LOI}) [\%] = \text{LOI} [\%] * 0,58$$

Dle normy pro zemědělské půdy (EN 15935) je teplota žihání určena na 550 °C. Při těchto stupních se předpokládá, že bude vyžihán maximální obsah organické hmoty a půda utrpí minimální ztrátu minerálního podílu. Dle Schumachera (2002) lze metodu aplikovat i při jiných teplotách, a to 350 °C až 900 °C.

Ačkoliv se metoda žihání považuje za cenově výhodnou, může způsobovat komplikace. Není doporučována pro půdy s obsahem jílu. Jíly mají totiž schopnost zadržovat strukturní vodu i po vysušení, voda se tak uvolní až při procesu žihání, a to může způsobit narušení stanovení. Vyšší teplota také může zničit organickou hmotu skupiny minerálů v jílové struktuře. Při překročení teploty vyšší jak 440 °C se uhličitany začínají rozkládat, tudíž se nedoporučuje tuto teplotu překračovat. Při procesu žihání se oxiduje uhlí a kerogen, což také může narušit stanovení (Schumacher, 2002).

### 3.12.2 Kvalitativní metody měření

Kvalitativní metody měření se využívají pro zjištění chemického složení organické hmoty, struktur a jednotlivých složek. Jednou z těchto metod je  $^{13}\text{C}$  CPMAS NMR spektroskopie (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy), která se často používá pro identifikování půdní organické hmoty, aniž by byl půdní vzorek upraven. Je velice nákladná a časově náročná (Rumpel a kol., 1998). Touto metodou se získávají údaje o množství alkylových, O-alkylových, fenolických, aromatických, karbonylových a karboxylových strukturách (Simpson a Simpson, 2012). Dalším způsobem zjišťování organické hmoty v půdě je využití biomarkerů, což jsou látky, které jsou jedinečné pro určité druhy organismů (součást biomasy nebo produkt rozkladu). Tyto látky jsou chemicky odolné, tudíž zůstávají v sedimentech i po několika geologických obdobích (Ostrom a kol., 1998).

Radiokarbonovou metodou ( $^{14}\text{C}$ -AMS) se měří množství stabilních izotopů uhlíku a také radioaktivní izotopy  $^{14}\text{C}$ . Podstatou této metody je, že starší organická hmota nezahrnuje žádné množství izotopu  $^{14}\text{C}$ , kdežto nová podíl  $^{14}\text{C}$  obsahuje (Stuiver a Polach, 1977). Mezi další kvalitativní metody patří poměr stabilních izotopů uhlíku ( $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ). Izotopy v atmosféře jsou ve stabilním poměru ( $^{12}\text{C}$  – 98,9 %,  $^{13}\text{C}$  – 1,1 %), ale při fotosyntéze nastává frakcionace, tedy výhradní využití  $^{12}\text{C}$  o 1 – 2 %. Kvůli tomuto procesu mají živé organismy lehčí izotop (Bouška, 1977). Metodou infračervené spektroskopie neboli infračervené spektrometrie se zjišťují odlišné chemické struktury ve vzorku, které je možné kvantifikovat. Aplikuje se u půd, kde je jeden zdroj fosilní organiky, tedy uhlí. Tato metoda se zatím ještě nikdy nevyužila k určení recentního uhlíku v půdách, které obsahují fosilní uhlí ze dvou odlišných zdrojů (Rumpel a kol., 2001).

### 3.13 Způsoby měření půdní zrnitosti

Zjišťování půdní zrnitosti se provádí několika metodami. Do těchto metod se zařazují metody prosévání, vyplavovací (elutriační) nebo sedimentační (dekantační, pipetovací, ISP, ISP+ a Casagrandeho hustoměrná metoda) (Valla a kol., 2002).

Metoda prosévání se provádí suchou nebo mokrou cestou. Za její pomoci se půdní částice separují na jednotlivé velikostní skupiny pomocí děrovaného plechu nebo sítě s kovovou tkaninou (Day, 1965).

Vyplavovací metoda neboli elutriační závisí na různorodé odolnosti půdních částic vzhledem k síle unášejícího proudu kapaliny s nestabilní rychlostí. Tato unášecí síla způsobuje protisměr sedimentačních částic a zapříčiňuje oddělení podle velikosti (Valla a kol., 2002).

Dekantační metoda se kategorizuje do metod opakované přerušované sedimentace. Je časově náročná a používá se v situacích, kdy je zapotřebí získat jednotlivé oddělené skupiny pro následující fyzikálně chemické a mineralogické rozbory (Kutílek a kol., 2004).

Metoda pipetovací se na rozdíl od dekantálních metod řadí mezi neopakované nepřerušované sedimentační metody (Kutílek a kol., 2004). Je založena na časové rozmanitosti hustoty suspenze v určité hloubce či bodě. V porovnání s metodou hustoměrnou poskytuje vyšší přesnost při určování jílové frakce (Gee a Or, 2002).



ISP – Integral suspension pressure method je určena podle časového průběhu pokleslého tlaku v suspenzi v dané konstantní hloubce (Durner a kol., 2017). Pokles je zapříčiněn klesající koncentrací částic, které sedimentují v suspenzovém sloupci nad místem, kde je tlak snímán (Durner a Iden, 2021).

ISP+ – The improved integral suspension pressure method navazuje na metodu ISP, která je nedostatečná pro zcela úplné zjištění procentuálního zastoupení prachovité a jílové frakce. Účelové funkce této novější metody jsou stejné jako u ISP, ale nově obsahuje hmotnost částic ve vzorku, který je odebrán po ukončení měření a obsahuje jílnaté částice. Také tato metoda zahrnuje odběr, sušení a vážení vzorku z odebrané suspenze (Durner a Iden, 2021).

### 3.13.1 Casagrandeho hustoměrná metoda

Tato metoda se řadí do metod neopakované sedimentace. Je nedestruktivní, a tudíž je možné měření opakovat na stejném vzorku (Zoubková, 2014). Stejně jako pipetovací metoda je založena na časové variabilitě hustoty suspenze v určité hloubce či bodě (Gee a Or, 2002). Po homogenizaci suspenze v předem vybraných časových intervalech dochází k měření hustoty suspenze. Dle ČSN EN ISO 17892-4 je náhradní průměr zrna  $d_i$  vymezen dle vzorce:

$$d_i = 0,005\ 531 \sqrt{\frac{\eta \cdot H_r}{(\rho_s - \rho_w) \cdot t}}$$

$\eta$  = dynamická viskozita vody [mPa.s],

$H_r$  = efektivní hloubka hustoměru [mm],

$\rho_s$  = zdánlivá hustota pevných částic [Mg/m<sup>3</sup>],

$\rho_w$  = hustota referenčního roztoku [Mg/m<sup>3</sup>],

$t$  = čas od začátku sedimentace částic [min].

Dle ČSN EN ISO 17892-4 je důležité, aby byla vybrána minimálně 3 čtení hustoty v průběhu prvních 5 minut sedimentace a mimo ně alespoň další 3 čtení. Při měření hustoty

suspenze je také měřena její hustota a teplota referenčního roztoku, která obsahuje totožné množství dispergačního činidla jako se vzorkem půdy suspenze.

Skupina procentuálně menší, než náhradní průměr zrna pro určité měření je daná vzorcem:

$$N(\%) = \frac{100 \cdot \rho_s}{m \cdot (\rho_s - 1)} \cdot R_d$$

$m$  = hmotnost vysušeného vzorku půdy [g],

$\rho_s$  = hustota pevných částic [Mg/m<sup>3</sup>],

$R_d$  = opravené čtení hustoměru.

Správné čtení hustoměru ovlivňuje přesné zjištění procentuálního podílu částic, hlavně u jílové frakce. Největším zdrojem chyb bývá odečet hodnoty hustoty (Gee a Bauder, 1979). Chybné čtení hustoty je v rozmezí  $\pm 1 \text{ g/cm}^3$ , které způsobuje  $\pm 2 \%$  chyb ve stanovení procentuálním zastoupení jílové frakce. Tato metoda proto vyžaduje opakované vzorkování, tedy odečítání hodnoty hustoty suspenze. Opakované vkládání pipety nebo hustoměru do suspenze zapříčiňuje narušování sedimentačního procesu, přičemž mohou vznikat další chyby v měření (Durner a kol., 2017).

### 3.14 Vybrané lesní dřeviny

Lesní porost má vodohospodářské a protierozní schopnosti. Pozitivně ovlivňuje hydrologickou bilanci a ochraňuje půdu před větrnou a vodní erozí. Lesní dřeviny mají takovou funkci, že dokážou infiltrovat dešťové srážky skrze půdní profil. Kořenový systém dřevin váže půdní profil a tím ho chrání před erozí půdy a vyvrácením nebo také reguluje v půdních vrstvách množství srážkové vody. Lesní dřeviny také silně působí na vodní režim. Mají vliv na srážky, které spadly na půdní povrch, ale také na srážky ve vzdušném prostoru (Válek, 1977).

### 3.14.1 Smrk ztepilý

Smrk ztepilý se řadí mezi jehličnaté stromy a jeho latinský název je *Picea excelsa*. Nevadí mu zastíněný prostor a je hojně rozšířený v horských lesích (Válek, 1977). Také se mu daří v oblastech nižších nadmořských výšek u mokřadů nebo v oblastech časté klimatické inverze (Chmelař, 1987).

Kořeny smrku prorůstají do hloubky od 5 až 30 cm a samotný strom může dorůst výšky až 30 metrů. Kořeny, které rostou v horní části půdního profilu, vedou vodu jen v mělké půdní vrstvě. Mělká vrstva půdy při zvýšených srážkách se rozmělnuje, což může být příčinou sesouvání půdy nebo vyvrácení dřeviny. V porovnání s ostatními dřevinami nemá smrk tak kvalitní upevňovací schopnosti (Válek, 1977). V důsledku kořenového uspořádání trpí smrk nedostatkem vláhy (Chmelař, 1987). Smrkové monokultury způsobují kysnutí půdy, což později znesnadňuje ujmoutí nových listnatých stromů (Kremer, 1995). Na druhou stranu je smrk nenáročný na chemické složení půdy, což je velkou výhodou (Chmelař, 1987).

### 3.14.2 Modřín opadavý

Modřín opadavý neboli evropský, latinsky nazýván *Larix decidua*, roste v horských oblastech a za dostatečného světla může růst velmi rychle (Válek, 1977). Na podzim se jehličí modřínu zbarví do žluté barvy a poté opadá (Kremer, 1995). Modřín se může dožít až 500 let a v ideálním prostředí se dorůstá až 50 metrů. Nedostatek slunečního světla může být příčinou zakrslého vzrůstu. Pyšní se velkou odolností při změnách teploty, proto přežije i tuhé zimy. Přirozené prostředí modřínu jsou vyšší hranice lesa ve vysokohorských oblastech. V České republice se modřín rozšiřuje umělou výsadbou (Chmelař, 1987).

Kořeny modřínu mají kulový tvar a prorůstají svisle dolů do hloubky 2 metrů, rozšiřují se do strany. Délka kořenů může mít více než 6 metrů, oproti smrku ztepilému má dobré zakotvení v půdě a dobře upevňuje půdní vrstvu (Válek, 1977). Kdežto v půdě, která je suchá a písčitá, se kořeny drží těsně pod povrchem půdy (Svoboda, 1953).

### 3.14.3 Buk lesní

Buku se latinsky přezdívá *Fagus sylvatica*, je to pomalu rostoucí dřevina a není náchylný na zastínění. Je ovšem velmi citlivý na poranění a má nízkou výmladnost (Válek, 1977). Roste v provlhčených půdách, kde je hojný obsah živin (Kremer, 1995). Může se dožít dokonce 400 let a roste do výšky 35–45 metrů (Zahradník, 2014). Buk má hladkou strukturu kůry a kořeny rostou svisle až šikmo do půdy do hloubky 1 metru, proto je buk prospěšný v místech pramenišť. Nevyhovuje mu zaplavení a nevysazuje se na úbočí, kde může dojít k sesuvům půdy (Válek, 1977).

## 3.15 Vyhodnocování naměřených dat

Data byla zpracována v programu Excel a graficky znázorněna pomocí box-plotu. Dále byla provedena statistická analýza v prostředí programu RStudio, kde byl proveden test normality, analýza ANOVA a Tukey test.

Box-plot neboli Krabicový graf se využívá ve statistice jako grafická metoda. Posuzuje data pomocí kvartilů. Kvartily jsou hodnoty, které rozdělují soubor na čtyři části. Každá část obsahuje 25 % jednotek, tedy dolní kvantil, Medián (druhý kvantil) a horní kvantil. Hodnoty se řadí podle velikosti. Medián znázorňuje prostřední hodnotu seřazeného souboru hodnot. Box-plot se zobrazuje ve svislé i vodorovné poloze (Dudek, 2017).

R má jednoduchý programovací jazyk, proto se v RStudiosu tento programovací jazyk používá pro statistické výpočty, analýzu dat a grafiku. Vyhodnotí zadané výrazy a následně vypíše výsledky. Je to program, který lze opakovaně spouštět na stejných nebo různých datech. Pro analýzu vyhodnocování dat je to nejvíce používaný program. R pracuje jako program na příkazovém řádku (Kvasnička, 2016).

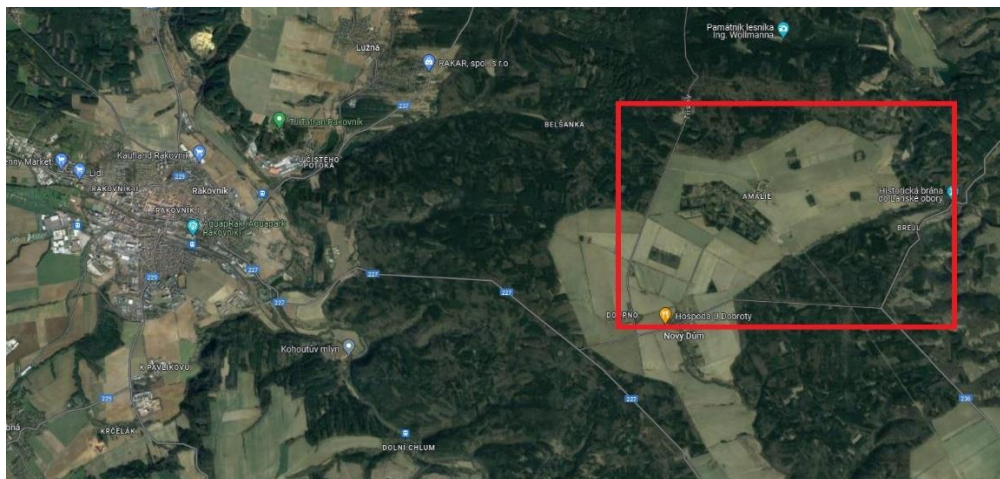
Analýza ANOVA neboli analýza rozptylu funguje na principu zjištění, zda střední hodnoty, které se nachází v různých skupinách, se liší nebo ne. ANOVA zobecňuje dvouvýběrový t-test se shodou středních hodnot na více výběrů než dva (VŠCHT, 2015).

Test normality disponuje s nulovou hypotézou, že se nenachází rozdíl mezi zpracovávaným a normálním rozložením (Jarkovský, 2013).

## 4. Charakteristika studijního území

Česká zemědělská univerzita má tři pilotní projekty chytré krajiny. Jedním z nich je právě pilotní projekt Chytrá krajina Amálie. Všechny pozemky, na kterých se projekty realizují, vlastní Česká zemědělská univerzita. To umožňuje bezproblémové řešení vztahů mezi jednotlivými pilotními projekty. Tyto projekty mají za cíl podporovat celkovou biodiverzitu a estetickou hodnotu krajiny, optimalizaci hospodaření s vodou, minimalizovat půdní erozi a zmírňovat dopady hydrologických extrémů, mezi něž patří povodně a sucho. Dalším cílem je udělat krajinu komfortnější pro obývání a zlepšení mikroklimatu. Chytrá krajina je promyšlený krajinný systém, který vzájemně propojuje půdoochranné, vodohospodářské a ekostabilizační prvky, které jsou doplněny o účelný management krajiny. Tyto pilotní projekty v současnosti řeší absenci podstatných kroků, které chybí k tvorbě nových principů pro aktivní tvorbu krajiny a adaptaci. Po následném otestování budou nové metody uplatněny celoplošně (CVPK, 2022).

Dotčené zájmové území Amálie, které je vidět na **Obrázek 6** – Celá lokalita Amáliea **Obrázek 7** – Podrobnější pohled na lokalitu Amálii které se nachází u Lán v okrese Rakovník ve Středočeském kraji. Je zahrnuto do CHKO Křivoklátsko. Hranice území tvoří povodí Karlova luhu, jehož rozloha je 3,28 km<sup>2</sup>, a Brejlského potoka, který má rozlohu 4,4 km<sup>2</sup> (Zdražil a kol., 2021). Na zmíněném území má zemědělská půda rozlohu cca 500 ha, má průměrnou bonitu a menší výskyt srážek. Na tomto území se uskutečňují jednotlivá opatření pro snadnější přizpůsobení krajiny na klimatickou změnu. Mezi tato opatření patří zadržování povrchové vody, obnova přirozeného mokřadu, výsadba nových alejí, zajištění svahu ohroženého erozí, monitorování hydrologického a meteorologického režimu a úprava na vhodné osevní postupy (CVPK, 2022). Na ploše se monitoruje drenážní voda a jsou zde zavedeny vrty, které zjišťují hladinu podzemní vody, dále měřidla půdní vlhkosti a měření evapotranspirace. Na potocích se měří průtok. Je k dispozici i Eddy-kovariance, kde je možnost měřit meteorologické veličiny, obsah vodní páry, metanu a CO<sub>2</sub> ve vzduchu (Klimšová, 2022).



*Obrázek 6 – Celá lokalita Amálie (Google maps 2024).*



*Obrázek 7 – Podrobnější pohled na lokalitu Amálii (Google maps, 2024).*

## 5. Metodika

Dne 26. 9. 2023 byly v Chytré krajině Amálie ze tří lokalit odebrány porušené půdní vzorky z lesní půdy, a to z půd pod dřevinami smrku, modřínu a buku. Z půdy byl odebrán vrchní horizont hloubky 10 cm.

Na odebraných vzorcích byl proveden zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou a dále bylo provedeno žihání pro stanovení celkové organické hmoty.

V **Obrázek 8** je vyznačené místo, kde se odebírala zemina. Tmavě zelená dřevina je smrk, světlá dřevina je modřín a vedle se nachází buk bez listí (snímky lokality byly pořízeny v zimním období).



*Obrázek 8 – Místo odběru z lokality Amálie (Google maps, 2024).*

## 5.1 Zrnitostní rozbor

### Příprava vzorků – 1. 11. 2023

Do připravených formulářů byly zaznamenány základní informace k jednotlivým půdám pod smrkem, modřínem a bukem. Formuláře jsou v **Příloze 2** a **Příloze 3**. Následně byly formuláře používány k zaznamenávání průběhu veškerých měření.

Na začátku laboratorního měření byla připravena síta s průměrem ok 2 mm k oddělení skeletu (půdní částice větší než 2 mm) a jemnozemě. Zemina se na sítěch prosela a skrz síto propadly půdní částice menší než 2 mm. Zemina propadlá sítím, která je označována jako jemnozemě, byla následně homogenizována. Pro zrnitostní rozbor byly připraveny 2 vzorky o hmotnosti 30 g z každé lokality lesní půdy, celkově se tedy jednalo o 6 vzorků (2x zemina pod smrkem, 2x zemina pod modřínem a 2x pod bukem) viz **Obrázek 9**.



*Obrázek 9 – Příprava vzorků pro korekci hmotnosti.*





*Obrázek 10 – Vzorky umístěné v sušárně.*

Dále byly z jemnozeme připraveny vzorky pro korekci hmotnosti viz **Obrázek 11**. Pro korekci hmotnosti bylo nutné připravit do váženky vzorky o hmotnosti 15 g, která se po dobu 24 hodin sušila v sušárně při teplotě 60 °C viz **Obrázek 10**. Pro přesnější výsledky se od každého vzorku odebraly dvě váženky. Po zjištění množství vody ve vzorku byla provedena korekce hmotnosti pro zrnitost.

Následně byly připraveny tři kádinky. Do každé z nich bylo umístěno 30 g vzorků z každé jemnozeme a 30 ml dispergačního činidla, tedy v poměru 1:1. Dispergační činidlo se do vzorků umístilo z důvodu rozrušení půdních vazeb. Poté se do směsi doplnilo 200 ml demineralizované vody. Dispergační činidlo se vzorkem a s vodou se řádně promíchalo a nechalo 24 hodin odstát.



*Obrázek 11 – Kádinky s jednotlivými jemnozemi.*

## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – 2. 11. 2023

Po 24 hodinách, co se vzorek nechal odstát, se 20 minut povařil v automatickém míchadle s ohřevem s magnetickou tyčinkou viz **Obrázek 12**, přičemž došlo k rozrušení vazeb mezi půdními částicemi.



*Obrázek 12 – Automatické míchadlo s ohřevem a magnetickou tyčinkou.*

Vzorek se po vaření nechal 5–10 minut vychladnout ve vodní lázni. Síto bylo před úkonem řádně zváženo a jeho váha se zapsala do formuláře. Vzorek se po vychladnutí proséval přes síto 0,25 mm, jež je vidět na **Obrázek 13**. Síto bylo před úkonem řádně zváženo a jeho hmotnost se zapsala do formuláře. Vzorek byl proséván pomocí destilované vody a skleněné tyčinky. Vzniklá suspenze pod sítem (tedy prosevek s destilovanou vodou) (**Obrázek 14**) byla následně použita pro hustoměrnou metodu. Síto s půdními částicemi většími než 0,25 mm bylo přemístěno do sušárny, kde se při teplotě 60 °C sušilo po dobu 24 hodin. Následně bylo zváženo a z rozdílu hmotnosti síta bez vzorku a síta se suchým vzorkem byla stanovena hmotnost částic o velikosti 0,25 až 2 mm.

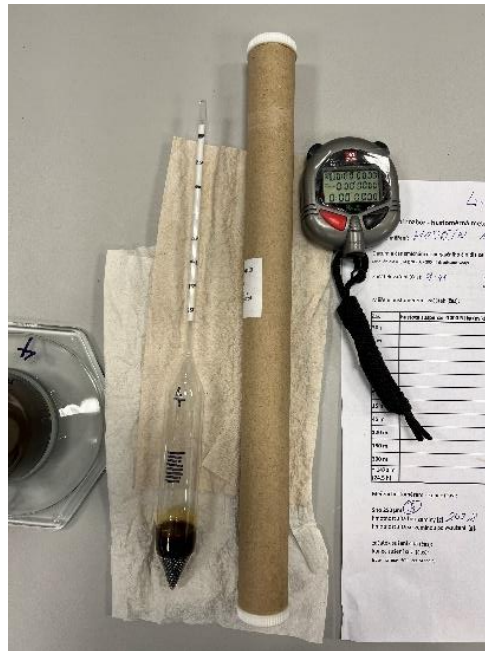


*Obrázek 13 – Prosévání jemnozeme.*



*Obrázek 14 – Prosevek s destilovanou vodou.*

Suspenze se přelila do odměrného válce a doplnila se do objemu 1 litru pomocí destilované vody viz **Obrázek 16**, dále byly po měření připravené stopky, hustoměr a teploměr (**Obrázek 15**).



*Obrázek 15 – Připravené stopky, hustoměr a teploměr.*



*Obrázek 16 – Připravený vzorek v odměrném válci.*

U všech vzorků, které byly připraveny k měření, se změřila počáteční teplota suspenze, jak je vidět na **Obrázek 17**. Vzorek se následně v odměrném válci po dobu 1 minuty promíchával. Poté začalo samotné měření hustotěnou metodou, kdy se do válce potopil hustoměr a v předem daných časových intervalech (od 30 sekund do 24,5 hodin) se měřila hustota a teplota suspenze.



*Obrázek 17 – Měření hustoty a teploty suspenze.*

### **Žihání organického materiálu v žihací peci – 29. 11. 2023**

Vzorky proseté půdy, tedy jemnozeme, se naváží do žihacích misek po přibližně 5 g. Pro porovnání množství organické hmoty bylo připraveno celkem 30 vzorků lesní půdy (10 pro každou dřevinu). Navážené vzorky se suší v laboratorní sušárně po dobu 24 hodin na 60 °C. Tímto se vzorek kompletně vysuší. Poté se vzorky přemístí do žihací pece (**Obrázek 18**) a při teplotě 530 °C, po dobu 3–4 hodin, se nechá vzorek vyžít. Tímto krokem se vypálí, tedy odstraní veškerá organická hmota. Po uplynutí určené doby se vzorky ze žihací pece vyjmou a ihned přemístí do exsikátoru, kde vychladnou (**Obrázek 19**). Exsikátor obsahuje sušící perly, které do sebe absorbují vlhkost ze vzduchu a nedochází tím k zvlhčení vzorku. Potom, co vzorek vychladne, se zváží a tím se zjistí hmotnostní rozdíl, tedy rozdíl hmotnosti vzorku před a po žihání, který odpovídá hmotnosti celkové organické hmoty.



*Obrázek 18 – Vzorek v žhací peci.*



*Obrázek 19 – Exsikátor.*

## 6. Výsledky

### 6.1 Zrnitostní rozbor

Byl udělán zrnitostní rozbor ze 6 vzorků lesní půdy pod vybranými dřevinami. Pro lepší přehled jsou vzorky zeminy označovány jako Buk 1, Buk 2, Smrk 1, Smrk 2, Modřín 1 a Modřín 2. Ve všech vzorcích se zjišťovalo, kolik % jílu, prachu a písku vzorek obsahuje.

Získané výsledky v **Tabulka 2** ukazují, jak se hodnoty jednotlivých vzorků liší. Oba odebrané vzorky z každé půdy pod dřevinami byly zprůměrovány, a tak lze vidět průměrné hodnoty zrnitostního rozboru v dané oblasti. Hodnoty jsou také znázorněny v **Graf 3** – Znáznornění zrnitost a zrnitostní křivky, resp. celkové průběhy zrnitostního rozboru jsou zobrazeny v **Graf 4**.

Výsledky jílu jsou víceméně u všech vzorků podobné. Průměrné zastoupení jílových částic v buku je 17 %, u smrku 12,5 % a u modřínu 14 %. Hodnoty jílu ze smrku a modřínu jsou oproti hodnotám buku blíže.

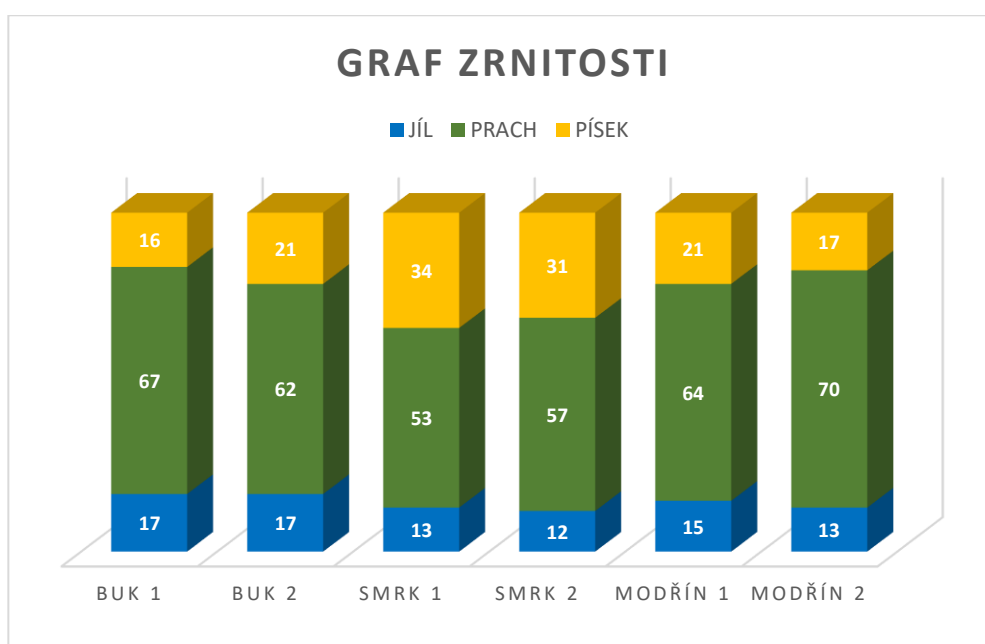
Odlišné jsou hodnoty prachu. Podíl prachu u buku je 64,5 %, u smrku 55 % a u modřínu 67 %. Buk a modřín vycházejí velmi podobně s průměrnou hodnotou prachu, zato smrk se od nich liší téměř o 10 %.

Hodnoty písku u odebraných vzorků jsou u buku 18,5 %, u smrku 32,5 % a u modřínu 19 %. Výrazně jinak vychází procentuální množství písku u smrku, s porovnáním s bukem a modřínem, kde se liší téměř o 14 %.

Samotný půdní druh mají všechny vzorky stejný, tedy prachovitou hlínu.

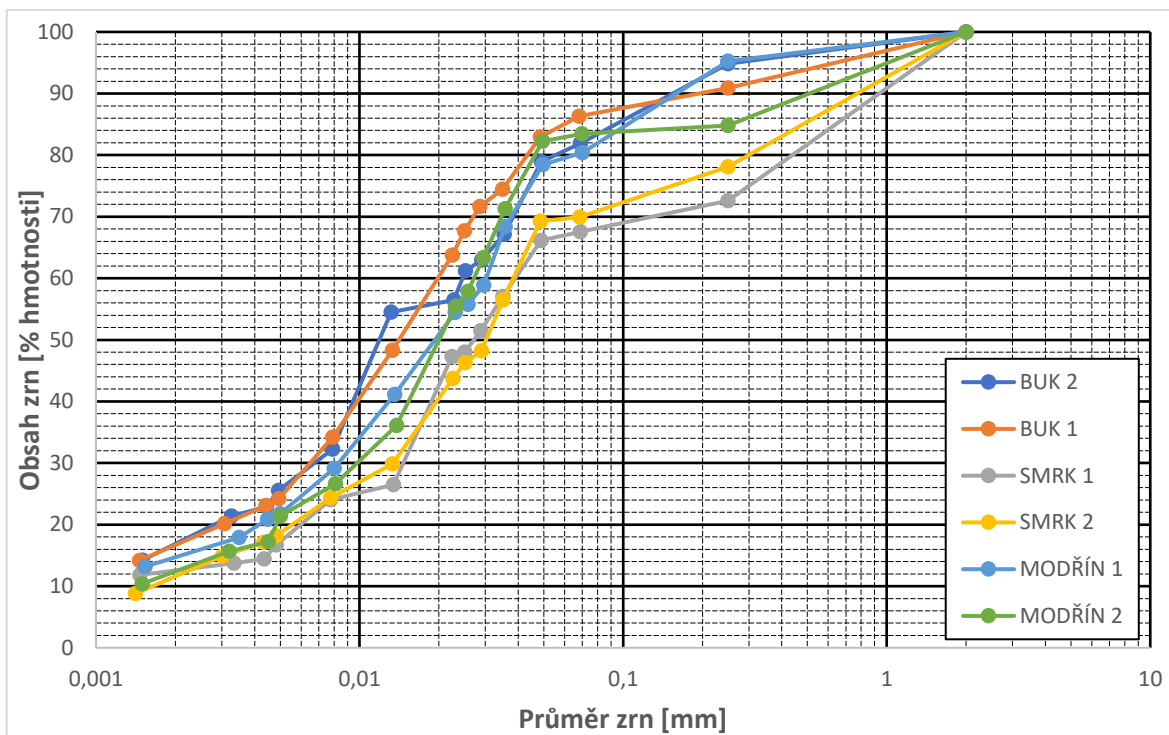
Vzorek	Jíl [%]	Prach [%]	Písek [%]	Půdní druh
BUK 1	17	67	16	silt loam (prachovitá hlína)
BUK 2	17	62	21	silt loam (prachovitá hlína)
<b>Průměr</b>	<b>17</b>	<b>64,5</b>	<b>18,5</b>	<b>silt loam</b>
SMRK 1	13	53	34	silt loam (prachovitá hlína)
SMRK 2	12	57	31	silt loam (prachovitá hlína)
<b>Průměr</b>	<b>12,5</b>	<b>55</b>	<b>32,5</b>	<b>silt loam</b>
Modřín 1	15	64	21	silt loam (prachovitá hlína)
Modřín 2	13	70	17	silt loam (prachovitá hlína)
<b>Průměr</b>	<b>14</b>	<b>67</b>	<b>19</b>	<b>silt loam</b>

Tabulka 2 – Zrnitost odebraných vzorků.



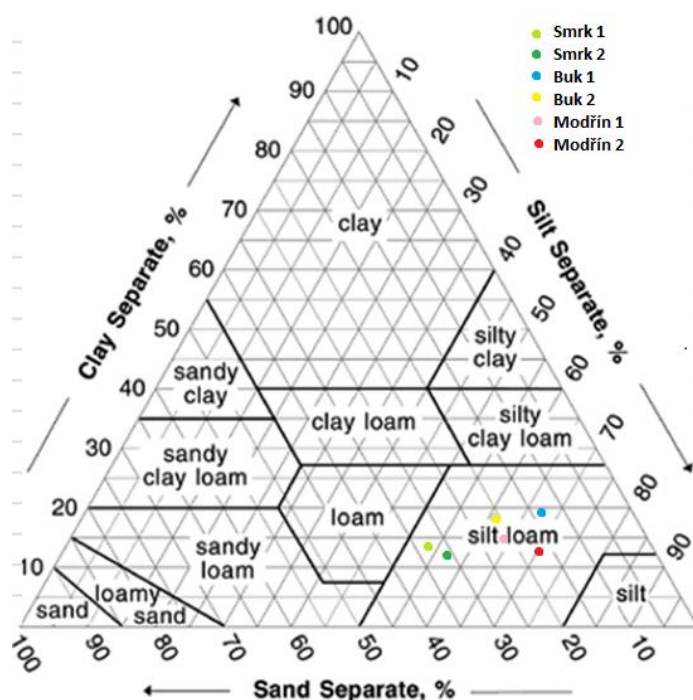
Graf 3 – Znáznornění zrnitosti.





**Graf 4** – Graf zrnitostní křivky.

Jednotlivé hodnoty vzorků jsou znázorněny také v **Obrázek 20** v trojúhelníkovém klasifikátoru, kde je zřetelné, kde se dané hodnoty vzorků pohybují podle obsahu jílu, prachu a písku.



Obrázek 20 – Trojúhelníkový klasifikátor odebraných vzorků (Němeček a kol., 2008).

Na trojúhelníkovém klasifikátoru je patrné, že posun vzorků Smrku 1 a Smrku 2 je blíže k půdnímu druhu loam, tedy hlíny, než vzorky ostatní.

Naopak další zmíněné vzorky jsou uprostřed frakce. Blízko k sobě mají vzorky Buk 2 a Modřín 1. Hodnoty Buku 1 a Modřínu 2 se také pohybují u sebe. Všechny naměřené hodnoty se nachází v půdním druhu silt loam, tedy prachovité hlíny.

## 6.2 Výsledky ze žíhání

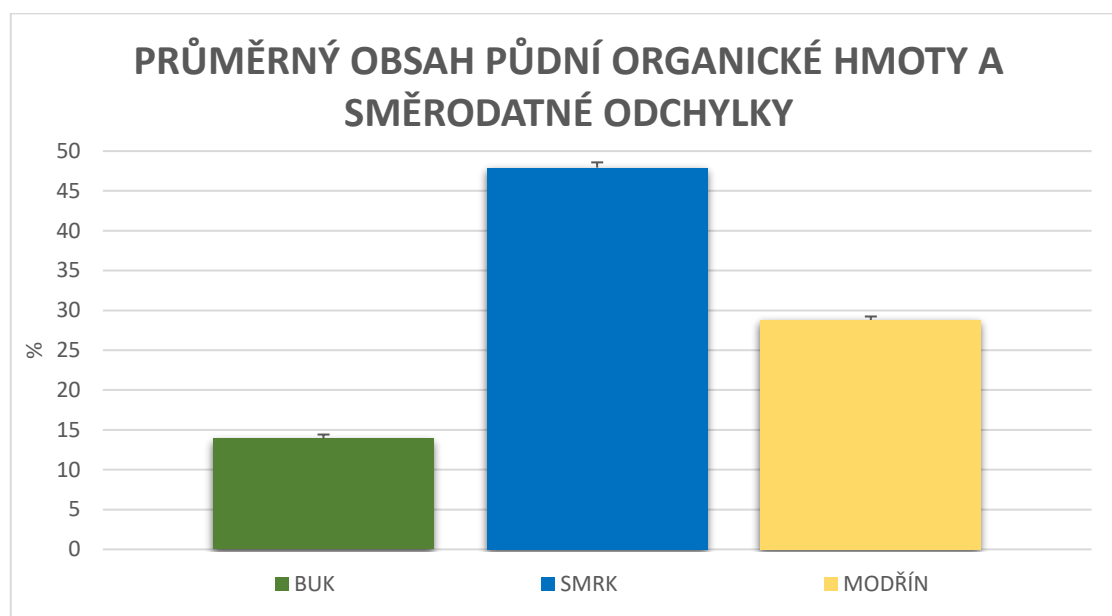
K měření bylo použito 30 vzorků lesní půdy – 10 vzorků ze smrku, 10 vzorků z buku a 10 vzorků z modřínu. Na vzorcích jemnozemě bylo dále provedeno stanovení veškeré organické hmoty metodou žíhání. Závěrečné výsledky jsou zobrazeny v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, všechny výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedené v **Příloze 1**.

Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Graf 5 je znázorněn procentuální podíl celkové organické hmoty a směrodatná odchylka vzorku lesní

půdy buku, smrku a modřínu. Organická hmota tvoří v zemině u buku 13,91 %, u smrku 47,9 % a u modřínu 28,7 %. Blíže k sobě mají obsahem organické hmoty buk a modřín, rozdíl je přibližně 15 %. Naopak nejvzdáleněji jsou od sebe buk a smrk, a to skoro o 34 %.

Dřevina	Průměr organické hmoty	Směrodatná odchylka
Buk	13,91	0,51
Smrk	47,93	0,66
Modřín	28,79	0,44

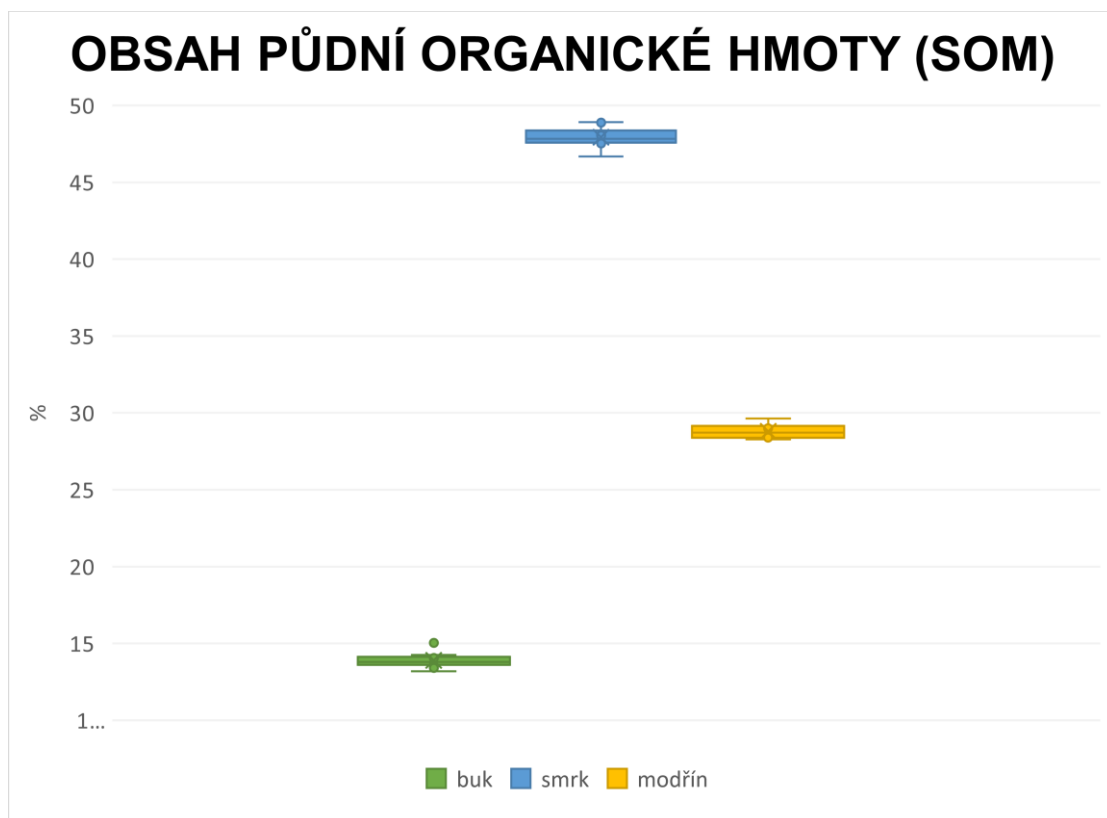
*Tabulka 3 – Výpočty žhání.*



*Graf 5 – Průměrný obsah půdní organické hmoty a směrodatné odchylky.*

Na **Graf 5** lze vidět hodnotu organické hmoty a rozdíl mezi vzorky. Rozdíl vzorků mezi bukem a modřínem vychází 14,9 %. Mezi bukem a smrkem je rozdíl 34 %. A rozdíl mezi smrkem a modřínem vychází 19,14 %.

V box-plotech na **Graf 6** jsou zobrazeny všechny naměřené hodnoty. Z grafu je patrný nízký rozptyl hodnot (žádná hodnota není odlehlá) pro vzorky jednotlivých dřevin, což je způsobeno kvalitní homogenizací a přípravou zeminy pro žhání. Z grafu je patrný statisticky významný rozdíl objemu organické hmoty ve svrchním půdním horizontu mezi jednotlivými dřevinami.



**Graf 6** – Obsah půdní organické hmoty.

### 6.3 Statistika

Pro analýzu dat celkového obsahu organické hmoty byla provedena celková popisná statistika v programu R Studio, zobrazena v **Tabulka 4**.

Dále byla data statisticky vyhodnocena testem ANOVA (**Tabulka 5**) na hladině významnosti 5 %. Z výsledků je patrné, že rozdíly mezi lesními půdami pod vybranými dřevinami jsou statisticky významné.

Tukey test, znázorněn v **Tabulka 6**, porovnává odchylky mezi jednotlivými lesními půdami pod vybranými dřevinami. Z výsledků je patrné, že jsou zde významné statistické rozdíly v obsahu organické hmoty mezi lesními půdami.

	buk	smrk	modřin
nbr.val	10	10	10
nbr.null	0	0	0
nbr.na	0	0	0
min	13,189	46,682	28,27
max	15,048	48,91	29,641
range	1,859	2,228	1,371
sum	139,081	479,283	287,944
median	13,799	47,839	28,718
mean	13,908	47,928	28,794
SE.mean	0,161	0,207	0,14
CI.mean.0.95	0,365	0,469	0,318
var	0,26	0,43	0,197
std.dev	0,51	0,656	0,444
coef.var	0,037	0,014	0,015
skewness	0,773	-0,067	0,459
skew.2SE	0,562	-0,049	0,334
kurtosis	0,015	-0,696	-1,22
kurt.2SE	0,006	-0,261	-0,457
normtest.w	0,924	0,934	0,924
normtest.p	0,39	0,489	0,395

Tabulka 4 – Celková popisná statistika, včetně testu normality.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
ind	2	5817	2908.5	9838	<2e-16 ***
Residuals	27	8	0.3		
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabulka 5 – ANOVA výsledky.

Tukey multiple comparisons of means				
95% family-wise confidence level				
Fit: aov(formula = values ~ ind, data = d)				
\$`ind`				
	diff	lwr	upr	p adj
smrk-buk	34.02021	33.41732	34.62309	0
modřin-buk	14.88627	14.28338	15.48916	0
modřin-smrk	-19.13393	-19.73682	-18.53104	0

Tabulka 6 – Tukey test výsledky.

## 7. Diskuse

Ke vzniku půdy, jak zmiňuje Madigan (2011) ve své práci, slouží proces zvětrávání a sedimentace. Při zvětrávání se tvoří minerální půda a anorganická hmota, kdežto při sedimentaci vzniká organická půda. Zásadní vliv pro správné fungování půdního prostředí má voda, která je v půdě velmi podstatná. Je součástí veškerých organismů, rozpouští živiny a je to místo všech životních pochodů. Vopravil (2010) uvádí, že pro fungování půdního prostředí je podstatná vlhkost půdy, která znázorňuje poměr množství vody v pevném substrátu.

Půdní textura neboli zrnitost je jeden ze základních parametrů v půdě, ovlivňuje dostupnost a obsah vody v půdě, jak uvádí Glet (1975). Dle Badalíkové (2015) pro efektivní retenci půdy je důležitá kvalita textury, struktury a pórovitosti. Tyto fyzikální vlastnosti ovlivňují množství organické hmoty a činnost půdních organismů, které lze také zlepšit přidáním kompostu do půdy. Brown (2011) dodává, že přidáním organické hmoty do půdy se také zefektivňuje produktivita a činnost půdních organismů.

Půdní organismy vzájemným působením vytvářejí příznivé půdní prostředí a kvalitu půdních fyzikálních vlastností, jak zmiňuje Kuráž (2023). Ten také tvrdí, že velká různorodost půdních organismů a jejich vlastnosti znázorňují půdní kvalitu a intenzitu. Dle Šantrůčkové (2018) je rostlinná biomasa hlavním zdrojem půdní organické hmoty, která vzniká fotosyntetickou činností primárních producentů, tedy vyšších rostlin, řas a sinic. Jak popisuje Šimek (2019), způsob pronikání organického materiálu do půdy je zásadní pro rozklad organického materiálu a pro vytvoření půdní organické hmoty. Pokud organický materiál vstupuje do půdy v nadzemním opadu, látky se shromažďují a rozkládají na půdním povrchu a jsou nepřímo v kontaktu s půdou. Kdežto Šantrůčková (2018) zmiňuje pronikání organické hmoty z povrchu rovnou do půdy, což je způsobeno podzemním rostlinným opadem, aktivním nebo pasivním transportem organiky. To má velký podíl na vznik půdních agregátů a stabilních organických hmot v půdě. Také Szűcs (2014) se shoduje s názorem, že činnost půdních organismů a půdní biologie je podstatná pro fyzikální vlastnosti půdy. Absence půdních organismů způsobuje degradaci půdního profilu a má negativní vliv na texturu, vitalitu a ztrátu půdy.

Zjišťování množství organické hmoty v půdě je hned několik. Zbíral (2002) uvádí, že mezi hlavní metody zjišťování patří metoda žíhání nebo metoda stanovení oxidovatelného

uhlíku. Stuiver (1977) ale zmiňuje radiokarbonovou metodu nebo metodu infračervené spektroskopie. Pro tuto diplomovou práci však byla zvolena metoda žihání.

Měření půdní zrnitosti se provádí metodou prosévací, vyplavovací nebo sedimentační, jak zmiňuje Valla (2002). Ostatní autoři ale hovoří také o dalších metodách. Např. Kutílek (2004) se zabývá metodou dekantační nebo pipetovací a Durner (2021) popsal metody ISP a ISP+. Pro tuto diplomovou práci byla zvolena sedimentační metoda, konkrétně metoda hustoměrná. Ze zrnitostních rozborů byl stanoven půdní druh prachovitá hlína.

Z pohledu půdního druhu by se tedy všechny 3 lokality ve svrchní vrstvě téměř shodovaly, i když se půda pod smrkem zrnitostním složením blíží jinému půdnímu druhu (hlíně). Výsledky zrnitostního rozboru (tedy procentuální zastoupení jílu, prachu a písku) lze použít pro modelování retenčních křivek a dalších hydrofyzikálních parametrů, jako je např. nasycená hydraulická vodivost. Vzhledem k tomu, že výsledky zrnitostního rozboru jsou si velice blízko, lze tedy předpokládat, že modelované retenční křivky (následně i hydrolimity) či hodnoty nasycené hydraulické vodivosti by vycházely také velmi podobně. Z tohoto důvodu bylo v diplomové práci provedeno měření obsahu organické hmoty v lesní půdě pod jednotlivými dřevinami, neboť organická hmota má zásadní vliv na půdní prostředí a tedy i na retenci, infiltraci a ostatní hydrofyzikální vlastnosti, jak je uvedeno výše.

Nestačí tedy vycházet pouze z jednoho parametru půdní textury neboli zrnitostního složení, ale je důležité zohledňovat samotné vlivy prostředí, tzn. porovnávat i vliv organické hmoty, u které je vidět výrazný rozdíl mezi zkoumanými lokalitami.

Autorka Lišková (2023) ve své práci uvádí, že rozdíl půdního prostředí pod dřevinami smrku, modřínu a buku z pohledu infiltračních schopností je zásadní, ale pouze z pohledu zrnitosti by to vypadalo, že půdní prostředí je téměř stejné. Do budoucna by bylo zajímavé porovnat také retenční čáry a hydrolimity modelované z parametrů vycházejících ze zrnitostních rozborů s přímým měřením retenčních bodů z neporušených půdních vzorků pod zkoumanými dřevinami na lokalitě Chytré krajiny Amálie.

## 8. Závěr

Cílem této práce bylo zjistit poměr celkové organické hmoty v lesní půdě a stanovení půdního druhu z oblasti Amálie. Zjišťovaly se rozdíly mezi dřevinami z pohledu půdní textury a celkového obsahu organické hmoty v území. Odebrány byly vzorky ze smrku, modřínu a buku, které byly vyhodnoceny a následně porovnány.

Smrk je nenáročný na chemické složení půdy, trpí nedostatkem vláhy a způsobuje překyselení půdy, což následně znesnadňuje újmu nových rostlin či stromů. Modřín má v půdě dobré zakotvení, upevňuje půdní vrstvu a je odolný vůči změnám teploty, proto přežívá i tuhé zimy. Buku se daří v provlhčených půdách, kde je vysoký obsah živin, je náchylný na zaplavení a nevysazuje se na úbočí, kde hrozí sesuvy půdy.

Půda obsahuje makro a mikroorganismy, které na ni působí. Svoji činností vytvářejí příznivé půdní prostředí a kvalitu půdních fyzikálních vlastností. Obsah organické hmoty se mění s hloubkou půdního profilu. Hlavním zdrojem půdní organické hmoty je rostlinná biomasa, která vzniká fotosyntetickou činností primárních producentů, mezi které patří vyšší rostliny, řasy a sinice. Pronikání organického materiálu do půdy je zásadní pro rozklad organického materiálu a pro vytváření půdní organické hmoty. Půda se díky půdním procesům stále mění. Půdní vrstvy se liší svojí strukturou, barvou, vlhkostí, velikostí půdních agregátů a dalšími vlastnostmi. Absence produktivních organismů má za následek degradaci půdy, která má negativní vliv na texturu, vitalitu a ztrátu půdy. Organická hmota v půdě se dělí na živou a mrtvou složku. Živou půdní složkou jsou mikroorganismy, živočichové a kořeny rostlin, které mají provázané vztahy. Kořeny mají funkci komunikační, slouží jako kotva pro rostliny a zajišťují živiny a vodu pro rostliny. Pasivní složka je tvořena z mrtvé hmoty, která se skládá z odumřelých buněk, mrtvých těl organismů, hub, bakterií a další mikroflóry. Jsou to komplexní i jednoduché látky, u kterých probíhají chemické přeměny.

Stanovení zrnitosti neboli textury je důležité, neboť půdní textura výrazně ovlivňuje vstup vody do půdního prostředí a zásadní vliv má také na vázání vody v půdě. Nejsnadněji se voda vsakuje do písčitéch nebo šterkovitých půd, ale v půdní hmotě se těžko zadržuje, protože se dostává hluboko do země. Avšak u jílovitých půd probíhá vsakování vody pomalu, proto se snadno zamokřují. K rozdělení minerálních složek půdy podle velikosti části se používá Taxonomický klasifikační systém půd. V tomto systému se půda rozděluje na skelet a jemnozem. Jemnozem se dále dělí na jíl, prach a písek. Ke zjištění půdního druhu



se používá trojúhelníkový diagram, ze kterého je možné zjistit procentuální zastoupení určitých druhů minerálních materiálů. To bylo důležité pro zjištění výsledků měření ze vzorků půdy.

Ze vzorků odebraných z několika stanovišť z území Amálie bylo zjištěno, že zrnitostní složení vzorků je relativně podobné, až na půdu pod smrky. Prachovitá a jílovitá frakce půdy pod smrky vyšla nižší a písčité frakce vyšší. Podle všech provedených měření v kapitole Výsledky lze pozorovat, že smrk má skoro o 35 % více organické hmoty než buk. Výsledky půdy pod buky a modřiny vyšly z pohledu zrnitostního rozboru podobně, na rozdíl od smrku. Buk vyšel v zastoupení jílových částí 17 %, prachu 64,5 % a písku 18,5 %. Smrk má zastoupení jílu 12,5 %, prachu 55 % a písku 32,5 %. Zrnitostní rozbor modřinu obsahuje 14 % jílu, 67 % prachu a 19 % písku. Díky Trojúhelníkovému klasifikátoru bylo zjištěno, že všechny vzorky mají půdní druh prachovité hlíny. Největší odchylku měly vzorky smrku, které lehce směřovaly do půdního druhu hlíny. Ostatní vzorky se pohybovaly uprostřed frakce.

K dalšímu měření, které se uskutečnilo za účelem zjištění poměru organické hmoty, bylo dohromady použito 30 vzorků – 10 ze smrku, 10 z modřinu a 10 z buku. Zjištění proběhlo metodou žíhání, pomocí níž byla získána data, která ukazují rozdíly mezi jednotlivými vzorky, resp. lokalitami. Největší odchylka byla mezi bukem a smrkem, a to o celých 34 %. Kdežto nejmenší odchylka byla u buku a modřinu, necelých 15 %. Výsledky ze žíhání jsou vyneseny do grafu, který znázorňuje procentuální zastoupení celkové půdní organické hmoty. Organická hmota z odebraných vzorků ze smrku je 47,9 %, z modřinu 28,7 % a z buku 13,91 %.

Z výsledků je patrné, že půdní druh je ve všech lokalitách stejný, ale obsah organické hmoty ve svrchní vrstvě půdy pod smrkem, bukem a modřínem je výrazně rozdílný. Z toho lze usuzovat, že i ostatní hydrofyzikální vlastnosti, jako je např. retenční schopnost půdy, infiltrační rychlost, objemová hmotnost či pórovitost, budou výrazně ovlivněny množstvím organické hmoty. Z tohoto důvodu není vhodné popisovat půdní prostředí jen z pohledu textury, ale je nutné brát ohled i na ostatní faktory, které jsou pro vstup a pohyb vody v půdním prostředí zásadní a jako jeden ze zásadních faktorů ovlivňující půdní prostředí lze označit právě množství organické hmoty.

## 9. Seznam použitých zdrojů a literatury

### 9.1 Knižní publikace

Badalíková B., Novotná J., 2015: Vliv organické hmoty v půdě na její retenční schopnost. In: Rožnovský J., Vopravil J. (eds.): Půdní a zemědělské sucho: sborník příspěvků z mezinárodní konference. VÚMOP, Kutná Hora: 26–33.

Barrios E., 2007: Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64: 269–285.

Bartlová J., Badalíková B., Mikušová Z., 2009: Vliv zpracování půdy na stabilitu půdních agregátů. *Úroda* 12: 297–300.

Bičík I., Budňáková M., Čermák P., Čtyrská J., Dreslerová D., Fiala P., Janderková J., Jech K., Hauptman I., Kukul Z., Pošmourný K., 2009: Půda v České republice. Consult, Praha.

Bouška V., 1977: Geochemie uhlí. Academia, Praha.

Brady C. N., 1990: The nature and properties of soils. Macmillan publishing company, New York: 279–294.

Brady, N.C., Weil, R.R., 1999: The Nature and Properties of Soils. 12th Edition, Prentice Hall Publishers, London: 1–9, 453–536, 727, 739–740.

Brevik E. C., 2005: A brief history of soil science. Dickinson State University, Dickinson.

Brown S., Cotton M., 2011: Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-farm Sampling. *Compost Science & Utilization*, 19: 87–96.

Čermák P., 2012: Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. VUT, Ústav vodního hospodářství krajiny, Brno.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., 2019: Využití čistírenských kalů jako zdroje organických látek. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Day P. R., 1965: Particle Fractionation and Particle-Size Analysis. In: Black C. A. (eds): *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. Soil Science Society of America, Madison. P. 545–566.

- Dexter A. R., 1988: Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research* 11: 199–238.
- Dohnal M., 2017: Vyhodnocení infiltračních vlastností půdního povrchu. České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta, Praha.
- Durner W., Iden S. C., 2021: The improved integral suspension pressure method (ISP+) for precise particle size analysis of soil and sedimentary materials. *Soil and Tillage Research* 213, 105086. P. 1–10.
- Durner W., Iden S. C., Unold G., 2017: The integral suspension pressure method (ISP) for precise particle-size analysis by gravitational sedimentation. *Water Resources Research* 53. P. 33–48.
- Elhottová D., Chroňáková A., Šimek M., 2020: Živá půda 2. Půdní prokaryota – v jednoduchosti je síla. *Živa* 2: 79–85.
- Frouz J., 2016: The effect of soil macrofauna on soil physical properties in post mining soils. In: Conference by Connecting European connectivity research, European cooperation in science and technology, Praha.
- Gee G. W., Or D., 2002: Particle Size Analysis. In: Dane J. H., Topp G. C. (eds): *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*. Soil Science Society of America, Madison. P. 255–293.
- George B. L. P., Keith M. A., Creer S., Barrett L. G., Lebron I., Emmett A. B., Robinson A. D., Jones L. D., 2017: Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry* 115: 537–546.
- Glet O., 1975: Vodní režim půd a jeho rozložení na území ČSR. *Rostlinná výroba* 21: 579–593.
- Hillel D., 1998: *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Academic press, London.
- Hřebejková B., 2018: Retence půdní vody v krajině. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Hůla J., Abrham Z., Bauer F., 1997: *Zpracování půd*. Brázda, s.r.o., Praha.

- Chemnitz C., Weigelt J., 2015: Bodenatlas. Daten und Fakten über Acker, Land und Erde. Heinrich-Böll Stiftung. Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), Berlin.
- Chenu C., 1993: Clay – or sand-polysaccharide associations as models for the interface between micro-organisms and soil: water related properties and microstructure. *Geoderma* 56: 143–156.
- Chmelař J., 1987: Dendrologie s ekologií lesních dřevin, Hospodářsky významné listnáče. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno, 133 s.
- Jankauskas B., Slepeliene A., Jankauskiene G., Fullen M. A., Booth C. A., 2006: A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma, Lithuania*, 136(3–4), 763–773.
- Jones C. G., Lawton J. H., Schachak M., 1994: Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos* 69: 373–386.
- Kaviny K., 1940: Naučný slovník přírodních věd. Jos. Elstner, Praha.
- Kotrbová G., 2011: Kvantifikace zásoby uhlíku v půdě pro účely inventarizace krajiny. Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta, České Budějovice.
- Kremer B. P., 1995: Stromy: V Evropě zdomácnělé a zavedené druhy. Knižní klub, Praha, ISBN 80-7176-184-2, 287 s.
- Kuráž V., 2003: Fyzikální vlastnosti půdy – definice, metody stanovení a interpretace výsledků. In: Šourková M., Frouzová J., Frouz J., 2003: Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin. Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice: 9–18.
- Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M., 2004: *Hydropedologie 10*. Skriptum, ČVUT, Praha, 176 s.
- Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M., 2004: *Hydropedologie*. ČVUT, Praha.
- Lavelle P., Bignell D., Lepage M., Volkmar W., Pierre R., Ineson P., Heal W. O., Dhillon S., 1997: Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Science* 33: 159–193.
- Lišková T., 2023: Měření infiltrace na lesních půdách vznikajících pod rozdílnými dřevinami na lokalitě Amálie. ČZU, Praha, 55 s.

- Madigan T. M., Martinko M. J., Stahl A. D., Clark P. C., Dunlap V. P., 2011: Brock Biology of Microorganisms. Pearson Education, Londýn.
- Madsen L. E., 2016: Environmental Microbiology: From Genomes to Biogeochemistry. Wiley-Blackwell, New York.
- Nam, J.J., O. Gustafsson, P. Kurt-Karakus, K. Breivik, E. Steinnes, and K.C. Jones, 2008: Relationships between organic matter, black carbon and persistent organic pollutants in European background soils: Implications for sources and environmental fate. *Environmental Pollution*. 156: 809–817.
- Němeček J., Rohoušková M., Macků J., Vokoun J., Vavříček D., Novák P., 2008: Taxonomický klasifikační systém půdy České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Nkem N. J., Lobry De Bruyn A. L., Grant D. C., Hulugalle R. N., 2000: The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiologia* 44: 609–621.
- Oades J.M., 1993: The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377–400.
- Odeh I. O. A., McBratney A. B., 2005: Pedometrics. In: Hillel D., Hatfield J. H., Powlson D. S., Rosenzweig C., Scow K. M., Singer M. J., Sparks D. L. (eds): *Encyclopedia of soils in the environment*. Elsevier Academic Press, Amsterdam: 166–175.
- Ostrom P. H., Ostrom N. E., Henry J., Eadie B. J., Meyers P. A., Robbins J. A., 1998: Changes in the trophic state of Lake Erie: discordance between molecular  $\delta^{13}\text{C}$  and bulk  $\delta^{13}\text{C}$  sedimentary records. *Chemical Geology, Michigan*, 152(1–2), 163–179.
- Pace, N. R., 2006: Time for a change. *Nature* 441: 289–289.
- Pavlásek J., Jačka L., 2014: *Hydropedologie*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Pavlu L., 2018: *Základy pedologie a ochrany půdy*. Česká zemědělská univerzita, Praha. 78 s.
- Piron D., Pérés G., Hallaire V., Cluzeau D., 2012: Morphological description of soil structure patterns produced by earthworm bioturbation at the profile scale. *European Journal of Soil Biology* 50: 83–90.

- Pižl V., 2003: Vybrané aspekty interakcí žízáň s fyzikálními parametry prostředí. In: Frouz J., Šourková M., Frouzová J. (eds), Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin. Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice, 33–39.
- Pokorný V., 1992: Všeobecná paleontologie. Univerzita Karlova, Praha. ISBN 80-7066-585-8
- Radochová P., 2013: Biotické interakce v půdě a jejich význam pro tok organické hmoty v půdě. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Rumpel C., Janik L. J., Skjemstad J. O., Kögel-Knabner I., 2001: Quantification of carbon derived from lignite in soils using midinfrared spectroscopy and partial least squares. *Organic Geochemistry*, München, 32(6), 831–839.
- Rumpel C., Knicker H., Kögel-Knabner I., Skjemstad J. O., Hüttl R. F., 1998: Types and chemical composition of organic matter in reforested lignite-rich mine soils. *Geoderma*, München, 86(1–2), 123–142.
- Rusek J., 2000: Živá půda 1. Bohatost a rozmanitost života v půdě. *Živa* 1: 25–27.
- Růtek L., Voříšek K., 2004: Vybrané kapitoly z pedobiologie a mikrobiologie. 1. vydání, Česká zemědělská univerzita, Praha. 151 s. ISBN 80-2131-064-2.
- Sánka M., Materna J., 2004: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Planeta* 11: 6–54.
- Sedláček, P., 2009: Hydrogely huminových kyselin – experimentální model i aplikační forma. VUT v Brně, Fakulta chemická, Brno, 139 s.
- Shukla R.K., Singh H., Rastogi N., Agarwal V. M., 2013: Impact of mundant Pheidole ant species on soil nutrients in relation to the food biology of the species. *Applied Soil Ecology* 71: 15–23.
- Schlaghamerský J., Bryndová M., Devetter M., Háněl L., Kováč L., Starý J., Tajovský K., Šimek M., 2020: Živá půda 4. Půdní mikrofauna a mezofauna. *Živa* 4: 181–185.
- Schumacher B.A., 2002: Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. United States Environmental Protection Agency, Exposure Research Laboratory, Las Vegas. NV 89193-3478.

- Simpson M. J., Simpson A. J., 2012: The chemical ecology of soil organic matter molecular constituents. *Journal of chemical ecology*, Toronto, 38(6), 768–84.
- Skřička, S., 2017: *Opravme se*: Nakladatelství Stanislav Skřička, Karlovy Vary.
- Smolíková L., 1988: *Pedologie 1*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Srivastava P., Balhara M., Giri B., 2020: Soil Health in India: Past History and Future Perspective. In: Giri B., Varma A., (eds.): *Soil Health*. Springer International Publishing, Delhi: 1–20.
- Stuiver M., Polach H., 1977: Reporting of C-14 data. *Radiocarbon*, University of Wahington, Washington, 19(3), 355–363.
- Summer M. E., Li Y., Wilding L. P., 2011: What Is Soil. In: Huang P., M., Li Y., Summer M. E. (eds.): *Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes*, Second Edition. Taylor & Francis Group, Boca Raton: 25–27.
- Svoboda P., 1953: *Lesní dřeviny a jejich porosty. Část I.*, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 571 s.
- Szűcs L., Tuba G., Juhász C., Zsembeli J., Lilla S., Géza T., Csaba J., József Z., 2014: Effect of prp-sol soil conditioner on a heavy textured soil. Institute of Water and Environmental Management, University of Debrecen, Karcag.
- Šantrůčková H., Kaštovská E., Bárta J., Miko L., Tajovský K., 2018: *Ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice*. ISBN 978-80-7394-695-1.
- Šarapatka B., 1996: *Pedologie*. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, 232 s. ISBN 80-7067-590-X.
- Šimek M., 2003: *Základy nauky o půdě 3, Biologické procesy a cykly prvků*. Biologická fakulta v Jihočeské univerzitě, České Budějovice. ISBN 80-7040-630-5.
- Šimek M., Borůvka L., Baldrian P., Bryndová M., Devetter M., Drábek O., Elhottová D., Háněl L., Houška J., Hynšt J., Chroňáková A., Jílková V., Konvalina P., Kopecký J., Kopecký M., Koubová A., Kováč L., Kyselková M., Lukešová A., Macková J., Malý S., Marečková M., Moudrý J., Pavlů L., Penížek V., Pižl V., Semančíková E., Schlaghamerský

J., Starý J., Šimek P., Šustr V., Tajovský K., Tejnecký V., Tkadlec E., Tuf H. I., Tůma J., Uhlík O., Vosátka M., Zádorová T., 2019b: Živá půda (1) – Biologie půdy. Academia, Praha.

Šimek M., Borůvka L., Baldrian P., Bryndová M., Devetter M., Drábek O., Elhottová D., Háněl L., Houška J., Hynšt J., Chroňáková A., Jílková V., Konvalina P., Kopecký J., Kopecký M., Koubová A., Kováč L., Kyselková M., Lukešová A., Macková J., Malý S., Marečková M., Moudrý J., Pavlů L., Penížek V., Pižl V., Semančíková E., Schlaghamerský J., Starý J., Šimek P., Šustr V., Tajovský K., Tejnecký V., Tkadlec E., Tuf H. I., Tůma J., Uhlík O., Vosátka M., Zádorová T., 2019a: Živá půda (2) – Ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, Praha.

Šimek M., Elhottová D., Pižl V., 2015: Živá půda. Rozmanitost života a zdraví ekosystémů. Akademie věd ČR, Praha.

Tobiašová, E. (2009): Biologie půdy. SPU, Nitra, 125 s.

Tomášek M., 2007: Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha.

Válek Z., 1977: Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel. Státní zemědělské Nakladatelství, Praha, 202 s.

Valla M., 2002: Pedologické praktikum. 2. vydání, Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN 978-80-213-0914-2.

Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O., 2002: Pedologické praktikum. Česká zemědělská univerzita, Praha, 151 s.

Vašků Z., 2003: Sozologické interakce niv s okolní krajinou. In: Sáňka M., Kulhavý J. (eds): Pedologické dny: Ochrana a využití půdy v nivních oblastech: sborník příspěvků z konference, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Česká pedologická společnost, Ministerstvo životního prostředí ČR, Velké Bílovice, VÚMOP: 19–32.

Vopravil J., Hladík J., Huislová P., 2017: Charakter půd v ČR. Zadržování vody v krajině – cesta k vodnímu komfortu. Sborník z konference. Evropský institut pro zadržování vody v krajině z. ú., VÚMOP, Brno: 13–16.

Vopravil J., Khel T., Vrabcová T., Čermák P., Janků J., Novák P., Vašků Z., Jacko K., Rožnovský J., Janeček M., Vácha R., Pivcová J., Kvítek T., Novák P., Fučík P., Novotný I.,



Hladík J., Papaj V., Pírková I., Banýrová J., 2010a: Půda a její hodnocení v ČR. VÚMOP, Praha.

Vopravil J., Vrabcová T., Khel T., Novotný I., Banýrová J., 2010b: Vývoj a degradace půd v podmínkách očekávaných změn klimatu. In: Rožnovský J., Litschman T., (eds.): Voda v krajině. Lednice. S. 23–30. ISBN 978-80-86690-79-7.

Wallwork J. A., 1970: Ecology of soil animals. McGraw-Hill, New York.

Weil C. R., Brady C. N., 2007: The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall Publisher, New Jersey.

Zahradník P., 2014: Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, ISBN 978-7458-057-4, 374 s.

Zbírál J., 2002: Analýza půd III: jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Laboratorní odbor, Brno.

Zdražil V., Máca P., Hanel M., Jačka L., Hradilek V., Moravec V., Matula R., Strnad F., Vokoun M., Martínková M., Kovář M., Dvořák P., Sklenička P., 2021: Chytrá krajina II: Lesní krajina v lokalitě Amálie – I. etapa. Grantová služba Lesy ČR, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 123 s.

Zoubková L., 2014: Návod k laboratorním cvičením z pedologie. Fakulta životního prostředí, UJEP, Ústí nad Labem, 81 s.

## **9.2 Legislativa**

ČSN 75 0101: Vodní hospodářství – základní terminologie. Český normalizační institut, Praha, 2003. 24 s.

ČSN EN 15935 (838126): Půdy, odpady, upravený bioodpad a kaly – Stanovení ztráty žíháním. Český normalizační institut, Praha, 2022. 16 s.

### 9.3 Internetové zdroje

Britannica, ©1998: Mesofauna. Encyclopedia Britannica, (online) [cit. 2023.08.25], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/mesofauna>>.

CVPK, ©2022: Chytrá krajina (online) [cit. 2023.07.20], dostupné z <<https://cvpk.czu.cz/cs/r-13920-chytra-krajina>>.

CVPK, ©2022: Naučná stezka Amálie (online) [cit. 2023.07.20], dostupné z <<https://cvpk.czu.cz/cs/r-13920-chytra-krajina/r-17373-naucna-stezka-amalie/r-17374-naucna-stezka-amalie>>.

Dudek Martin, ©2017: Box-plot neboli krabicový graf (online) [cit. 2024.01.4], dostupné z <<https://kvalita-jednoduse.cz/box-plot/>>.

Elbl J., Záhora J., ©2014: The comparison of microbial activity in rhizosphere and nonrhizosphere soil stressed by drought. (online) [cit. 2023.08.13], dostupné z <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1243.5921>>.

Frouz J., Vindušková O., ©2020: Půda – důležitá, i když opomíjená součást přírody (online) [cit. 2023.08.24], dostupné z <<https://www.casopis.forumochranyprirody.cz/uploaded/magazine/pdf/24-puda-dulezita-i-kdyz-opomijena-soucast-prirody.pdf>>.

Jarkovský J., ©2013: Test normality (online) [cit. 2024.01.09], dostupné z <[https://is.muni.cz/el/1411/podzim2013/BLKBS051p/um/43318793/Testy\\_normality.pdf](https://is.muni.cz/el/1411/podzim2013/BLKBS051p/um/43318793/Testy_normality.pdf)>

Johns C., ©2017: Living Soils: the Role of Microorganisms in Soil Health. Future Directions International (online) [cit. 2023.08.13], dostupné z <<https://www.futuredirections.org.au/wp-content/uploads/2017/06/Living-Soils-the-Role-of-Microorganisms-in-Soil-Health.pdf>>.

Klimšová Věra, ©2022: Chytrá krajina Amálie u Lán je čím dál chytřejší a původem i urozená (online) [cit. 2023.07.20], dostupné z <<https://zivauni.cz/chytra-krajina-amalie-u-lan-je-cim-dal-chytrejssi-a-puvodem-i-urozena/>>.

- Kvasnička M., ©2016: Úvod do R (online) [cit. 2024.01.9], dostupné z <[https://is.muni.cz/el/econ/podzim2016/BPE\\_AVED/um/64916157/uvod\\_do\\_R.html#rstudio](https://is.muni.cz/el/econ/podzim2016/BPE_AVED/um/64916157/uvod_do_R.html#rstudio)>.
- Menta C., ©2012: Soil Fauna Diversity – Function, Soil Degradation, Biological Indices, Soil Restoration (online) [cit. 2023.08.13], dostupné z <<https://www.intechopen.com/books/biodiversity-conservation-and-utilization-in-adiverse-world/soil-fauna-diversity-function-soil-degradation-biological-indices-soil-restoration>>.
- Mentlík P., ©2003: Stručný úvod do pedologie a pedografie pro geografy (online) [cit. 2023.07.27.], dostupné z <[https://kge.zcu.cz/vyuka2/pudy\\_uvod.pdf](https://kge.zcu.cz/vyuka2/pudy_uvod.pdf)>.
- Motyčka V., Motyčková H., ©2016: Víte co je edafon? (online) [cit. 2023.08.20], dostupné z <<http://www.nasepriroda.cz/artkey/npr-201603-0002.php>>.
- Říhová Ambrožová J., ©2007: Organotrofní (heterotrofní) organismy (online) [cit. 2023.08.14], dostupné z <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.html?p=0009](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=0009)>.
- Soilteq, ©2020: Žížaly vytváří úrodné a strukturní půdy. Souflett agro a.s, Prostějov, (online) [cit. 2023.08.11], dostupné z <<http://www.soilteq.eu/cs/blog/zizaly-vytvari-urodne-strukturni-pudy/>>.
- Šarapatka B., Borůvka L., Konečná J., Podhrázská J., Pospíšilová L., Sáňka M., Šantrůčková H., Vácha R., Žigová A., ©2021: Půda – přehlížené bohatství (online) [cit. 2023.08.24], dostupné z <[https://pedologie.czu.cz/puda\\_2021/4/index.html](https://pedologie.czu.cz/puda_2021/4/index.html)>.
- Škarpa Petr, ©2020: Laboratorní výuka z výživy rostlin. (online) [cit. 2023.09.7], dostupné z <[https://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=3&K=0](https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=3&K=0)>.
- Toman O., ©2014: Glukohumáty TM – nová generace nízkomolekulárních hnojiv (online) [cit. 2023.07.16], dostupné z <[http://www.provit.cz/Uroda\\_cl\\_2-2014.pdf](http://www.provit.cz/Uroda_cl_2-2014.pdf)>.
- VŠCHT, ©2015: Analýza rozptylu (online) [cit. 2024.01.09], dostupné z <[https://web.vscht.cz/~snuparkj/poznamky\\_k\\_AS\\_ANOVA.pdf](https://web.vscht.cz/~snuparkj/poznamky_k_AS_ANOVA.pdf)>.
- YUNGA, ©2014: Schéma půdního prostředí (online) [cit. 2023.07.19], dostupné z <[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=3416&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3416&typ=html)>.

## **10. Seznam obrázků, tabulek a grafů**

### **10.1 Seznam obrázků**

**Obrázek 1** – Složení půdy (Pavlů, 2018).

**Obrázek 2** – Mikroskopické zobrazení půdního prostředí (YUNGA, 2014).

**Obrázek 3** – Zastoupení jednotlivých složek v půdě (Šimek a kol., 2015).

**Obrázek 4** – Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (Němeček a kol., 2008).

**Obrázek 5** – Živá složka půdy (Šantrůčková a kol., 2018).

**Obrázek 6** – Celá lokalita Amálie (Google maps, 2024).

**Obrázek 7** – Podrobnější pohled na lokalitu Amálii (Google maps, 2024).

**Obrázek 8** – Místo odběru z lokality Amálie (Google maps, 2024).

**Obrázek 9** – Příprava vzorků pro korekci hmotnosti.

**Obrázek 10** – Vzorky umístěné v sušárně.

**Obrázek 11** – Kádinky s jednotlivými jemnozemi.

**Obrázek 12** – Automatické míchadlo s ohřevem a magnetickou tyčinkou.

**Obrázek 13** – Prosévání jemnozeme.

**Obrázek 14** – Prosevek s destilovanou vodou.

**Obrázek 15** – Připravené stopky, hustoměr a teploměr.

**Obrázek 16** – Připravený vzorek v odměrném válci.

**Obrázek 17** – Měření hustoty a teploty suspence.

**Obrázek 18** – Vzorek v žíhací peci.

**Obrázek 19** – Exsikátor.

**Obrázek 20** – Trojúhelníkový klasifikátor odebraných vzorků (Němeček a kol., 2008).

## **10.2 Seznam tabulek**

**Tabulka 1** – Biomasa živé složky v organické hmotě (Šantrůčková a kol., 2018).

**Tabulka 2** – Zrnitost odebraných vzorků.

**Tabulka 3** – Výpočty žihání.

**Tabulka 4** – Celková popisná statistika, včetně testu normality.

**Tabulka 5** – ANOVA výsledky.

**Tabulka 6** – Tukey test výsledky.

## **10.3 Seznam grafů**

**Graf 1** – Rostlinný odpad (Šantrůčková a kol., 2018).

**Graf 2** – Organická hmota sekundárních producentů (Šantrůčková a kol., 2018).

**Graf 3** – Znázornění zrnitosti.

**Graf 4** – Graf zrnitostní křivky.

**Graf 5** – Průměrný obsah půdní organické hmoty a směrodatné odchylky.

**Graf 6** – Obsah půdní organické hmoty.

## 11. Přílohy

### Příloha 1 – Výpočty žihání

Vzorek č.	Hmotnost váženky se zeminou [g]	Hmotnost váženky se zeminou po sušení na vzduchu nebo při 60 °C v sušárně [g]	Hmotnost váženky se zeminou po žihání [g]	Poznámka	Hmotnost váženky [g] (viz seznam)	Zemina [g]	Zemina po sušení [g]	Zemina po žihání [g]	% SOM		
4	38,327	38,247	37,508	buk, 500 °C, 22.11.2023	32,644	5,683	5,603	4,864	13,19		
2	39,406	39,329	38,605	buk, 500 °C, 22.11.2023	34,06	5,346	5,269	4,545	13,74		
9	37,804	37,539	36,837	buk	32,874	4,93	4,665	3,963	15,05		
8	38,069	37,779	37,025	buk	32,321	5,748	5,458	4,704	13,81		
3	37,334	37,072	36,384	buk	32,187	5,147	4,885	4,197	14,08		
13	38,686	38,362	37,53	buk	32,284	6,402	6,078	5,246	13,69		
7	39,487	39,187	38,397	buk	33,647	5,84	5,54	4,75	14,26		
6	39,667	39,345	38,515	buk	33,157	6,51	6,188	5,358	13,41		
17	38,367	38,126	37,516	buk	33,787	4,58	4,339	3,729	14,06		
18	38,705	38,402	37,597	buk	32,562	6,143	5,84	5,035	13,78		
								<b>průměr</b>	<b>13,91</b>	<b>smodch</b>	<b>0,51</b>
19	37,39	36,415	34,306	smrk	32,103	5,287	4,312	2,203	48,91		
5	38,293	37,314	35,219	smrk	32,954	5,339	4,36	2,265	48,05		
1	38,251	37,332	35,369	smrk	33,222	5,029	4,11	2,147	47,76		
14	37,223	36,299	34,29	smrk	32,19	5,033	4,109	2,1	48,89		
12	38,192	37,268	35,286	smrk	33,12	5,072	4,148	2,166	47,78		
15	37,601	36,699	34,771	smrk	32,699	4,902	4	2,072	48,20		
10	38,001	37,101	35,165	smrk	33,027	4,974	4,074	2,138	47,52		
16	37,962	36,969	34,828	smrk	32,47	5,492	4,499	2,358	47,59		
11	38,589	37,861	35,772	smrk	33,386	5,203	4,475	2,386	46,68		
17	38,811	38,088	36,028	smrk	33,787	5,024	4,301	2,241	47,90		
								<b>průměr</b>	<b>47,93</b>	<b>smodch</b>	<b>0,66</b>
8	37,913	37,311	35,885	modřín	32,321	5,592	4,99	3,564	28,58		
6	38,538	37,962	36,598	modřín	33,157	5,381	4,805	3,441	28,39		
14	37,845	37,229	35,768	modřín	32,19	5,655	5,039	3,578	28,99		
15	37,705	37,167	35,864	modřín	32,699	5,006	4,468	3,165	29,16		
5	38,061	37,527	36,224	modřín	32,954	5,107	4,573	3,27	28,49		
16	37,536	36,992	35,687	modřín	32,47	5,066	4,522	3,217	28,86		
18	37,769	37,218	35,86	modřín	32,562	5,207	4,656	3,298	29,17		
19	37,497	36,921	35,553	modřín	32,103	5,394	4,818	3,45	28,39		
3	37,317	36,782	35,483	modřín	32,187	5,13	4,595	3,296	28,27		
13	37,907	37,294	35,809	modřín	32,284	5,623	5,01	3,525	29,64		
								<b>průměr</b>	<b>28,79</b>	<b>smodch</b>	<b>0,44</b>

Příloha 2 – Výpočty ze žihání

AmaLie - BUK, SMRK, MODŘÍN, 10 cm, JEMNO ZEM

Žihání - půdní oragnická hmota (SOM)

Datum: 4.12.23

Teplota: 530 °C
Čas: 3 hodiny

Vzorek č.	Hmotnost váženky se zeminou [g]	Hmotnost váženky se zeminou po sušení na vzduchu nebo při 60 °C v sušárně [g]	Hmotnost váženky se zeminou po žihání [g]	Poznámka
4	38,327	38,247	37,508	500°C, 22.11.23
2	39,406	39,329	38,605	500°C, 22.11.23
9	37,804	37,539	36,837	
8	38,065	37,779	36,384(3)	
3	37,384	37,072	37,025 (18)	
13	38,686	38,362	37,530	
7	39,487	39,187	38,397	
6	39,667	39,345	38,515	
17	38,367	38,126	37,516	
18	38,705	38,402	37,592	
				6.12.23
19	37,390	36,415	34,306	
5	38,293	37,314	35,219	
1	38,251	37,332	35,369	
14	37,223	36,299	34,290	
12	38,192	37,268	35,286	
15	37,601	36,699	34,771	
10	38,001	37,101	35,165	
16	37,962	36,969	34,828	
11	38,589	37,861	35,772	
17	38,811	38,088	36,228	
8	37,913	37,311	35,885	
6	38,538	37,962	36,598	
14	37,845	37,229	35,768	
15	37,305	37,167	36,864	
5	38,061	37,527	36,284	
16	37,536	36,992	35,687	
18	37,769	37,218	36,860	
19	37,497	36,921	35,553	
3	37,317	36,782	36,483	
13	37,907	37,294	36,809	

# Příloha 3 – Formuláře pro zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou

## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – BUK: 1. 11. 2023

2-2

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**

Název měření: BUK 10cm

Datum a čas smíchání dispergačního činidla se zeminou: 1.11.23  
(řep. činidlo = 8,74 g NaPO<sub>3</sub> + 200 ml destilované vody)

Začátek vaření (čas): 9:20 Konec vaření (čas): 9:40  
(doba vaření ideálně 2 h.)

Měření hustoměrem - začátek (čas): 10:47

čas	hustota suspenze -1000 R [kg/m <sup>3</sup> -1000]	Teplota suspenze [°C]	Poznámka
30 s	12,5	23,54	
1 m	1,2		
2 m	1,0		
3 m	0,8		
4 m	0,9		
5 m	0,2		
15 m	7,8	23,79	typ 23,8
45 m	4,1	23,49	
120 m	3,1	22,93	
150 m	2,7	22,72	
300 m	2,5	22,50	
~ 1470 m (24,5 h)	1,4	21,93	

Měření hustoměrem - konec (čas):

Síto 250 µm (1)  
hmotnost síta bez zeminy [g]: 271,3  
hmotnost síta se zeminou po vysušení [g]: 272,7 } hmotnost zeminy [g]:

začátek sušení síta (čas): 2.11.  
konec sušení síta (čas): 9:30 3.11.  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

2-2

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**

Název měření: BUK Datum: 1.11. Měřil: JARA, MARTIN

Vzorky pro korekci hmotnosti sušárna

vzorek	váženka [g]	váženka + zemina [g]	po vysušení [g]	voda [g]
	1	46,13	44,81	
	16	46,32	44,88	

začátek sušení (čas): 1.11.  
konec sušení (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

Vzorek pro zrnitostní rozbor

váženka [g]:  
váženka + zemina [g]: X } hmotnost zeminy [g]: 30,32

Oddělení skeletu a jemnozeme

	hmotnost [g]	hmotnost se zeminou [g]	zemina [g]
mísa pod sítem			
síto 2 mm			
			celkem [g]:

## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – SMRK: 1. 11. 2023

3-3

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**

Název měření: SMRK 10cm

Datum a čas smíchání dispergačního činidla se zeminou: 1.11.23  
(řep. činidlo = 8,74 g NaPO<sub>3</sub> + 200 ml destilované vody)

Začátek vaření (čas): 9:00 Konec vaření (čas): 9:20  
(doba vaření ideálně 2 h.)

Měření hustoměrem - začátek (čas): 11:12

čas	hustota suspenze -1000 R [kg/m <sup>3</sup> -1000]	Teplota suspenze [°C]	Poznámka
30 s	8	23,99	
1 m	7,8		
2 m	6,5		
3 m	5,7		
4 m	5,2		
5 m	5,1		
15 m	2,3	23,26	
45 m	1,9	23,45	
120 m	1	22,83	
150 m	0,7	22,73	
300 m	0,65	22,52	
~ 1470 m (24,5 h)	0,5	21,93	

Měření hustoměrem - konec (čas):

Síto 250 µm 2  
hmotnost síta bez zeminy [g]: 274,5  
hmotnost síta se zeminou po vysušení [g]: 280,8 } hmotnost zeminy [g]:

začátek sušení síta (čas):  
konec sušení síta (čas): 3.11. 9:30  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

3-3

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**

Název měření: SMRK Datum: 1.11. Měřil: JARA, MARTIN

Vzorky pro korekci hmotnosti sušárna

vzorek	váženka [g]	váženka + zemina [g]	po vysušení [g]	voda [g]
	15	41,858	39,62	
	10	43,96	41,32	

začátek sušení (čas): 1.11.  
konec sušení (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

Vzorek pro zrnitostní rozbor

váženka [g]:  
váženka + zemina [g]: X } hmotnost zeminy [g]: 30,33

Oddělení skeletu a jemnozeme

	hmotnost [g]	hmotnost se zeminou [g]	zemina [g]
mísa pod sítem			
síto 2 mm			
			celkem [g]:



## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – MODŘÍN: 1. 11. 2023

4-4

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**  
 Název měření: MODŘÍN 10cm  
 Datum a čas smíchání dispergačního činidla se zemínou: 1.11.23  
(štip. činidlo = 8,74 g NaPO<sub>3</sub> + 200 ml destilované vody)  
 Začátek vaření (čas): 9:45 Konec vaření (čas): 10:05  
(doba vaření ideálně 1 h.)

Měření hustoměrem - začátek (čas): 11:20

Čas	hustota suspenze -1000 R [kg/m <sup>3</sup> -1000]	Teplota suspenze [°C]	Poznámka
30 s	11,1	24,20	
1 m	10,8		
2 m	9,2		
3 m	7,7		
4 m	7,2		
5 m	7		
15 m	4,9	24,17	
45 m	3,1	23,76	
120 m	2,1	23,08	
150 m	2	22,91	
300 m	1,6	22,62	
1470 m (24,5 h)	1,0	21,92	

4:10  
9:30

Měření hustoměrem - konec (čas):  
 Síto 250 μm (3)  
 hmotnost síta bez zeminy [g]: 247,8 } hmotnost zeminy [g]:  
 hmotnost síta se zemínou po vysušení [g]: 249,0  
 začátek sušení síta (čas):  
 konec sušení síta (čas): 3.11. 9:30  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

4-4

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**  
 Název měření: MODŘÍN Datum: 1.11. Měří: JANA, MARTIN

Vzorky pro korekci hmotnosti sušárna

vzorek	váženka [g]	váženka + zemina [g]	po vysušení [g]	voda [g]
11		45,49	43,43	
12		45,27	43,18	

začátek sušení (čas): 1.11.  
 konec sušení (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

Vzorek pro zrnitostní rozbor  
 váženka [g]:  
 váženka + zemina [g]: X } hmotnost zeminy [g]: 30,62 C

Oddělení skeletu a jemnozeme

	hmotnost [g]	hmotnost se zemínou [g]	zemina [g]
mísa pod sítem			
síto 2 mm			
celkem [g]:			

## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – BUK: 7. 11. 2023

2-2

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**  
 Název měření: BUK  
 Datum a čas smíchání dispergačního činidla se zemínou: 7.11.23  
(štip. činidlo = 8,74 g NaPO<sub>3</sub> + 200 ml destilované vody)  
 Začátek vaření (čas): 8:55 Konec vaření (čas): 9:00  
(doba vaření ideálně 1 h.)

Měření hustoměrem - začátek (čas): 11:03

Čas	hustota suspenze -1000 R [kg/m <sup>3</sup> -1000]	Teplota suspenze [°C]	Poznámka
30 s	14,2	22,73	
1 m	13,6		
2 m	12,1		
3 m	11,6		
4 m	10,9		
5 m	10,2		
15 m	7,4	22,96	
45 m	4,9	22,90	
120 m	3,2	22,67	
150 m	3	22,63	
300 m	2,5	22,52	
1470 m (24,5 h)	1,7	21,37	

3:15

Měření hustoměrem - konec (čas): 11:07  
 Síto 250 μm (3)  
 hmotnost síta bez zeminy [g]: 424,7 } hmotnost zeminy [g]:  
 hmotnost síta se zemínou po vysušení [g]: 427,3  
 začátek sušení síta (čas): 8.11.23  
 konec sušení síta (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

2-2

**Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda**  
 Název měření: BUK Datum: 7.11.23 Měří:  
 Vzorky pro korekci hmotnosti sušárna

vzorek	váženka [g]	váženka + zemina [g]	po vysušení [g]	voda [g]
4		46,287	45,56	

začátek sušení (čas): 7.11.23  
 konec sušení (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

Vzorek pro zrnitostní rozbor  
 váženka [g]:  
 váženka + zemina [g]: X } hmotnost zeminy [g]: 30,125

Oddělení skeletu a jemnozeme

	hmotnost [g]	hmotnost se zemínou [g]	zemina [g]
mísa pod sítem			
síto 2 mm			
celkem [g]:			

## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – SMRK: 7. 11. 2023

### Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda

Název měření: **SMRK**

Datum a čas smíchání dispergačního činidla se zeminou: **7.11.23**  
(řep: řinido = 8,74 g NaPO<sub>3</sub> + 200 ml destilované vody)

Začátek vaření (čas): **9:02**

Konec vaření (čas): **9:22**  
(doba vaření ideálně 2 h.)

Měření hustoměrem - začátek (čas): **11:10**

Čas	hustota suspenze -1000 R [kg/m <sup>3</sup> -1000]	Teplota suspenze [°C]	Poznámka
30 s	9,6	23,02	↓
1 m	9,5		
2 m	7,5		
3 m	6,2		
4 m	5,9		
5 m	5,5		
15 m	3,3	23,14	
45 m	2,5	22,88	
120 m	1,6	22,60	
150 m	1,5	22,34	
300 m	1,1	22,56	
~1470 m (24,5 h)	0,4	21,43	

Měření hustoměrem - konec (čas): **11:08**

Síto 250 µm (A)

hmotnost síta bez zeminy [g]: **274,4**

hmotnost síta se zeminou po vysušení [g]: **279,9**

hmotnost zeminy [g]:

začátek sušení síta (čas): **8.11.23**

konec sušení síta (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

### Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda

Název měření: **SMRK**

Datum: **7.11.23** Měřil:

Vzorky pro korekci hmotnosti sušárna

vzorek	váženka [g]	váženka + zemina [g]	po vysušení [g]	voda [g]
2		45,586	43,65	

začátek sušení (čas):

konec sušení (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

Vzorek pro zrnitostní rozbor

váženka [g]:

váženka + zemina [g]:

hmotnost zeminy [g]: **30,178**

Oddělení skeletu a jemnozeme

	hmotnost [g]	hmotnost se zeminou [g]	zemina [g]
mísa pod sítem			
síto 2 mm			
			celkem [g]:

## Zrnitostní rozbor hustoměrnou metodou – MODŘÍN: 7. 11. 2023

### Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda

Název měření: **MODŘÍN**

Datum a čas smíchání dispergačního činidla se zeminou: **7.11.23**  
(řep: řinido = 8,74 g NaPO<sub>3</sub> + 200 ml destilované vody)

Začátek vaření (čas): **9:25**

Konec vaření (čas): **9:45**  
(doba vaření ideálně 2 h.)

Měření hustoměrem - začátek (čas): **11:21**

Čas	hustota suspenze -1000 R [kg/m <sup>3</sup> -1000]	Teplota suspenze [°C]	Poznámka
30 s	12,3	23,42	↓
1 m	12,1		
2 m	10,3		
3 m	9		
4 m	8,1		
5 m	7,7		
15 m	4,6	23,14	
45 m	3,1	22,91	
120 m	2,3	22,66	
150 m	1,6	22,75	
300 m	1,4	22,50	
~1470 m (24,5 h)	0,8	21,33	

Měření hustoměrem - konec (čas): **11:08**

Síto 250 µm (A)

hmotnost síta bez zeminy [g]: **274,4**

hmotnost síta se zeminou po vysušení [g]: **275,19**

hmotnost zeminy [g]:

začátek sušení síta (čas): **8.11.23**

konec sušení síta (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

### Zrnitostní rozbor - hustoměrná metoda

Název měření: **MODŘÍN**

Datum: **7.11.23** Měřil:

Vzorky pro korekci hmotnosti sušárna

vzorek	váženka [g]	váženka + zemina [g]	po vysušení [g]	voda [g]
3		45,827	44,19	

začátek sušení (čas):

konec sušení (čas):  
(sušení při max. 60°C, cca 24 hodin)

Vzorek pro zrnitostní rozbor

váženka [g]:

váženka + zemina [g]:

hmotnost zeminy [g]: **29,892**

Oddělení skeletu a jemnozeme

	hmotnost [g]	hmotnost se zeminou [g]	zemina [g]
mísa pod sítem			
síto 2 mm			
			celkem [g]: