

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



VLIV PŮDNÍCH ORGANISMŮ NA HYDROFYZIKÁLNÍ  
VLASTNOSTI PŮDY

THE EFFECT OF SOIL ORGANISMS ON SOIL HYDRO-PHYSICAL  
PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. MARTIN KOVÁŘ

BAKALANT: BARBORA SCHIMMEROVÁ

PRAHA, 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Barbora Schimmerová

Environmentální vědy  
Aplikovaná ekologie

Název práce

**Vliv půdních organismů na hydrofyzikální vlastnosti půdy**

Název anglicky

**The effect of soil organisms on soil hydro-physical properties**

---

### Cíle práce

Cílem práce je detailní popis vlivu půdních organismů na vybrané půdní vlastnosti.

### Metodika

Bakalářská práce bude zpracována formou literární rešerše. V práci budou popsány vybrané půdní vlastnosti, půdní typy, půdní druhy a půdní organismy. Dále bude popsán a vyhodnocen vliv půdních organismů na vybrané hydro-fyzikální vlastnosti půdy.

### Doporučený rozsah práce

30-40 stran

### Klíčová slova

půda, půdní typy, půdní organismy, hydro-fyzikální vlastnosti

---

### Doporučené zdroje informací

- BLOUIN M., HODSON M. E., DELGADO E. A., BAKER G., BRUSSAARD L., BUTT K. R., DAI J., DENDOOVEN L., PERES G., TONDOH J. E., CLUZEAU D., BRUN J. J., 2013: A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of soil science*, Volume 64, 2, 161 – 182.
- JÍLKOVÁ V., PECH P., MIHALJEVIČ M., FROUZ J., 2017: Effects of the ants *Formica sanguinea*, *Lasius niger*, and *Tetramorium cf. caespitum* on soil properties in an ore-washery sedimentation basin *Journal of Soils and Sediments* 17: 2127-2135.
- PRITCHARD S. G., 2011: Soil organisms and global climate change. *Plant Pathology*, 60.1: 82-99.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H. – KAŠTOVSKÁ, E. – BÁRTA, J. – MIKO, L. – TAJOVSKÝ, K. *Ekologie půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2018. ISBN 978-80-7394-695-1.
- ŠIMEK, M. *Živá půda*. Praha: Academia, 2019. ISBN 978-80-200-2976-8.
- TOMÁŠEK M., 2007: *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha, 68 s.

---

### Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

### Vedoucí práce

Ing. Martin Kovář

### Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 20. 3. 2020

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

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 20. 3. 2020

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2021

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: *Vliv půdních organismů na hydrofyzikální vlastnosti půdy* vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou/závěrečnou 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 vědom/a, že odevzdáním bakalářské/závěrečné 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.

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 31. 3. 2021

.....

## **Poděkování**

Mé vřelé poděkování patří především vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Kovářovi za odborné vedení, cenné rady a v neposlední řadě za pomoc, kterou mi poskytl k úspěšnému dokončení práce.

## **Abstrakt**

Vlivem degradace půd způsobené antropogenní činností, dochází k rapidnímu úbytku edafonu z půdního prostředí, který významně ovlivňuje řadu půdních vlastností od biochemických procesů po tvorbu půdní struktury. Půdní fauna, včetně rostlinného společenstva, tvoří nenahraditelnou část půdního ekosystému pracující pro Zemi a proto je důležité vědět, jak tento téměř neviditelný pracující tým ovlivňuje množství fyzikálních vlastností, jejichž změna působí na vodní režim. Tato bakalářská práce uvádí půdní funkce a jejich vlastnosti, které jsou do značné míry ovlivňovány především antropogenními vlivy. Nicméně v půdě žije nespočet organismů, jejichž aktivita působí na půdní vlastnosti příznivě a právě jejich spolupůsobení může vytvářet kvalitní půdu zahrnující ideální hydrofyzikální vlastnosti. Tento fakt je stěžejním tématem rešerše a nutno podotknout, že hydrofyzikální vlastnosti půd jsou podmíněny pedogenezí, která udává půdní typ i druh a utváří půdní profil. Část popisující vnitřní strukturu půdy tvoří většinu práce, neboť i samotné vývojové půdní procesy tvoří základ všeho. Další část je věnována samotným hydrofyzikálním vlastnostem a jejich funkcím v půdním ekosystému. Následně je práce zaměřena na půdní organismy, pro které jsou příznivé hydrofyzikální vlastnosti životně důležité. Půdní biota pracuje v půdním systému ve vzájemném vztahu a tím se vytváří kvalitní půda, která nezajišťuje jen produkční funkci, ale také mimoprodukční. Uzavírající kapitola obsahuje dané skupiny organismů, které svou činností vytvářejí organizovanou půdní hmotu s určitými fyzikálními vlastnostmi.

**Klíčová slova:** hydro-fyzikální vlastnosti, půda, půdní organismy, půdní typ, půdní druh

## **Abstract**

Due to the degradation of soils caused by anthropogenic activity, there is a rapid loss of edaphon from the soil environment, which significantly affects numerous soil properties from biochemical processes to the formation of soil structure. Soil fauna, including the plant community, forms an irreplaceable part of the soil ecosystem that works for the Earth, so it is important to know how this almost invisible working team affects several physical properties whose change affects the water regime. This bachelor thesis presents soil functions and their properties, which are largely influenced mainly by anthropogenic influences. However, countless organisms live in the soil, whose activity has a positive effect on soil properties, and it is their interaction that can create quality soil that includes ideal hydrophysical properties. This fact is the main topic of the thesis and it should be noted that the hydrophysical properties of soils are conditioned by pedogenesis, which indicates the soil type and structure and forms the soil profile. The first chapter describes the internal structure of the soil, composing the majority of this thesis due to the developmental soil processing itself which forms the basis of everything. The second chapter is devoted to the hydrophysical properties themselves and their functions in the soil ecosystem. Thereafter the work is focused on soil organisms for which favourable hydrophysical properties are vital. Soil biota works in the soil system in interrelation, thus creating a quality soil that does not only provide a productive function but also unyielding. The final chapter contains selected groups of organisms, which by their activity create organized soil mass with certain physical properties.

**Keywords:** hydro-physical properties, soil, soil organisms, soil type, soil structure

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce .....	2
3. Půda.....	3
3.1 Půdní struktura a její vlastnosti .....	4
3.1.1 Faktory ovlivňující půdní vlastnosti.....	5
3.2 Půdní profil .....	7
3.2.1 Barva půdy .....	8
3.2.2 Pedogeneze.....	9
3.3 Půdní typy .....	10
3.4 Půdní druhy .....	19
3.4.1 Textura .....	20
4. Hydrofyzikální vlastnosti půdy .....	23
4.1 Struktura půdy .....	24
4.2 Pórovitost .....	25
4.3 Infiltrace .....	26
4.3.1 Filtrace.....	28
4.4 Retence.....	28
5. Půdní organismy .....	30
5.1 Heterogenita edafonu a půdního prostředí .....	31
5.1.1 Prostorová heterogenita.....	32
5.1.2 Časová heterogenita .....	33
5.2 Vliv půdních organismů na vlastnosti půdy.....	33
5.3 Působení půdní bioty na hydrofyzikální vlastnosti .....	34



5.3.1 Půdní biota a její vliv na strukturu půdy .....	35
5.3.2 Ekosystémový inženýři .....	36
6. Struktura půdních organismů a jejich funkce.....	38
6.1 Mikroorganismy .....	40
6.1.1 Mikroflora .....	40
6.1.2 Mikrofauna.....	44
6.2 Makroorganismy .....	46
6.2.1 Mezofauna.....	47
6.2.2 Makrofauna .....	49
6.2.3 Megafauna.....	51
7. Diskuse.....	52
8. Závěr .....	54
9. Seznam použité literatury.....	56
10. Seznam obrázků a tabulek.....	65

# 1. ÚVOD

Půda je nejen hlavním prostředkem k produkci potravin, ale je i neobnovitelným přírodním zdrojem, který poskytuje řadu nepostradatelných funkcí, jako je koloběh živin, pohyb vody a energie, pro utváření životního prostředí. Člověk ke svému životu půdu potřebuje a využívá ji po tisíciletí, jenomže pokud má zůstat produktivní i pro další generace, je třeba brát zřetel i na mimoprodukční funkce půdy. Intenzivním obhospodařováním dochází k degradaci půdy erozí, která v důsledku narušuje veškeré hydrofyzikální vlastnosti a redukuje půdní biotu, jenž přispívá k půdní regeneraci. Důležitou složkou v půdě je organická hmota, která představuje nejen primární zdroj energie pro půdní organismy, ale je také důležitá pro fungování ekosystémových služeb na nichž jsme závislí. Rozklad organické hmoty má vliv nejen na produkci oxidu-uhličitého či jiných skleníkových plynů, ale také ovlivňuje řadu půdních vlastností, včetně těch jenž zajišťují regulaci vody. Hlavní zdroj organické hmoty tvoří rostliny, které svým vstupem, ať už v mrtvé či živé formě, mají vliv na funkčnost půdy. Půdní organismy, tvořící širokou interakční síť vztahů doprovázenou činnostmi na dekompoziční, produktivní a regulační úrovni, zaujímají nejdůležitější složku půdního prostředí. Svou činností udávají půdě charakter, který se vyznačuje schopností vést vodu do půdního profilu a okolí, zadržovat potřebné množství vody a v neposlední řadě schopností filtrace. Tato bakalářská práce rešeršního charakteru se zabývá podrobnějším popisem půdních vztahů mezi biotickou a abiotickou složkou na mikroskopické úrovni.

## **2. CÍLE PRÁCE**

Cílem této práce je popsat půdu jako celek, její vnitřní strukturu a vlivy, které se významně podílejí na její modifikaci i tvorbě. Dalším cílem je přiblížit složení půdy, její klasifikaci v České republice a dělení půd, jakožto výsledek půdotvorných procesů. Hlavním cílem práce je následný výčet hydrofyzikálních vlastností a jejich funkcí ve vzájemném vztahu s půdními organismy v rámci působení na půdní prostředí. Záměrem této práce je přiblížit roli půdních organismů v půdním systému, jejichž činnost významně ovlivňuje půdní stabilitu.

### 3. PŮDA

Půdu věda definuje jako samostatný přírodní útvar vzniklý přírodními procesy, které zahrnují zvětrávání zemské kůry a biologické rozkládání organických zbytků vlivem půdotvorných faktorů (MŽP, 2019). Interpretuje se jako složitý systém, vyvíjející se v dlouhém časovém intervalu za pomoci fyzikálních, chemických i biologických procesů a složitých interakcí v závislosti na topografii, podnebí, a především přítomnosti živých organismů (Madigan et al., 2011). Půda se definuje jako neobnovitelný přírodní zdroj. Je nedílnou součástí krajiny, neboť plní řadu důležitých funkcí, které napomáhají utvářet stabilní prostředí nejen pro flóru a faunu, ale i pro lidskou populaci (Hůla et al., 1997).

#### *Význam půdy*

Nabývá historického významu vzhledem k využívání její produkční schopnosti. Díky půdě mohla nabýt svého významu také fotosyntéza, která hýbe doslova touto planetou. Půda nejenže podporuje existenci veškerého života na Zemi, ale v neposlední řadě plní užitečnou funkci v oblastech hydrologie a vodohospodářství (Vašků, 2008). Důležitou roli hraje pro vodní režim krajiny, neboť z hlediska hydrologické stability je vhodným prostředím pro infiltraci, akumulaci a zadržení vody (Bičík et al., 2009). Faktem je, že právě půda představuje nejdůležitější vstupní bránu pro vznik podzemních vod pomocí srážek, závlahové vody či tajících sněhů, čímž se voda bezpečně rozvádí do okolního prostředí (Vašků, 2008).

#### *Vznik půdy*

Na vzniku většiny půd se podílejí dva důležité mechanismy. Nazývají se zvětrávání a sedimentace. Zvětráváním vznikají minerální půdy či další anorganický materiál a sedimentací se vytváří organické půdy (například bažiny, močály atp.). Nejvýznamnější roli hraje organická půda, která váže velké množství uhlíku. Právě množství uloženého uhlíku je významné pro zkoumání změn klimatu (Madigan et al., 2011).

### *Utváření živé půdy*

Procesy vzniklý půdní substrát tvoří kolébku pro růst rostlin, umožňuje jejich přichycení a dodává rostlinám vodu a živiny (Bičík et al., 2009). Fyzikální procesy probíhající v půdě způsobují degradaci hornin, ve kterých se vytváří trhliny. Ve štěrbinách degradovaných hornin se usazují anorganické částice, organické látky i surová půda a vzniká tak prostor pro zakořenění rostlin. Kořeny dále pronikají skrze horninu a podporují vznik dalších štěrbin, přičemž vylučování kořenů způsobuje vznik rhizosféry, která obsahuje vysoký obsah mikrobiálních buněk a hub. Rostliny za nějaký čas uhynou a jejich zbytky dodávají půdě správné živiny, které jsou využity pro růst dalších mikroorganismů (Madigan et al., 2011).

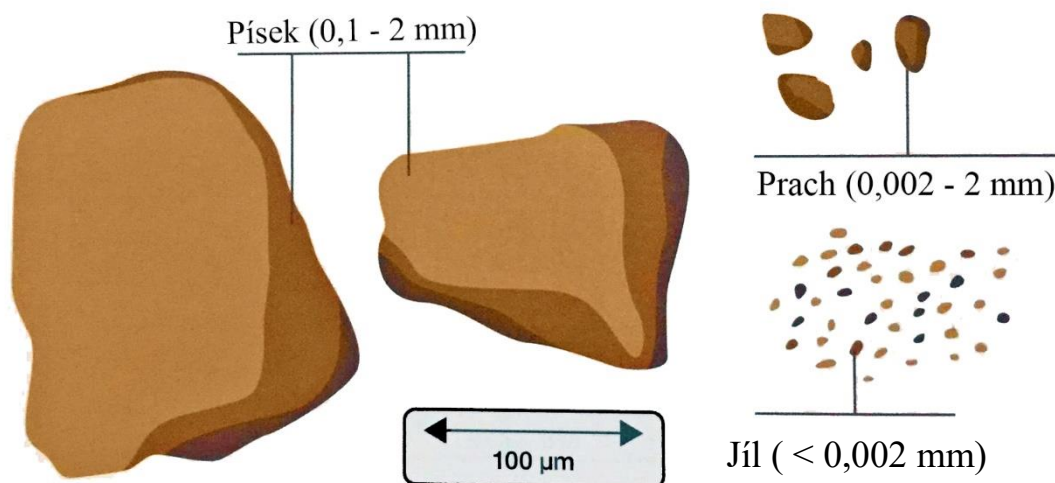
### **3.1 Půdní struktura a její vlastnosti**

Půda se skládá z minerálních složek, organické hmoty a pórů, které vyplňuje voda a vzduch (Kotrbová, 2011). Minerální složka je tvořena různými anorganickými částicemi o různé velikosti, které zahrnují kameny, úlomky hornin či koloidní částice. Podle uspořádání půdních částic stanovíme strukturu půdy (Brady, 1990).

Hlavní činitelé v půdě jsou mikroorganismy a makroorganismy, které jsou zastoupeni v přibližně pěti procentech, přičemž tato procentuální hmotnost zahrnuje také kořeny rostlin (Madigan et al., 2011). Tvoří tedy jedinou živou část. Zbytková je mrtvá a tvoří devadesát procent. Zahrnuje jak odumřelé zbytky rostlin, tak živočichů. Přestože živá složka tvoří pouze malou část, má velký vliv na vlastnosti půdy, které zahrnují strukturu, stabilitu půdních agregátů a kationtovou výměnnou kapacitu. Půda je hlavním zdrojem uhlíku, dusíku, fosforu a síry, bez kterých by život na Zemi nemohl existovat (Brady, 1990).

Nejen skladba půdy, ale také struktura má významný vliv na prostředí, a to svou protierozní funkcí (Bičík et al., 2009). Struktura se udává půdními částicemi, které se nevyskytují samostatně, nýbrž v menších shlucích a nazývají se agregáty. V závislosti na jejich velikosti je dělíme na mikroagregáty (<0,25 mm) a makroagregáty (>0,25 mm) (Čermák, 2012).

Půdní částice (viz obrázek č. 1) se podle pedologů klasifikují na základě velikostí. S největšími rozměry částic se udává **písek** (0,1-2 mm), dále s menšími částicemi se klasifikuje **prach** (0,002-0,1 mm) a nejjemnější strukturu má **jíl** (< 0,002 mm) (Madigan et al., 2011). Podle procentuálního zastoupení částic pak můžeme určit **půdní druhy** (viz 3.4).



Obrázek č. 1 – Schématické porovnání hlavních velikostních kategorií půdních částic (převzato a upraveno: Šimek., 2019a).

Souhrnné prostorové uspořádání agregátů udává půdní strukturu, která hraje významnou roli např. v propustnosti vody, živin a ovlivňuje stabilitu půd (Bartlová et al., 2009). Další vlastnost půdy, v souvislosti se stabilizační funkcí, je schopnost účastnit se samočisticích a pufovacích procesů (Kotrbová, 2011). Pufovační schopnost napomáhá odolávat změnám pH v půdě při okyselení či alkalizaci, a to např. při výskytu kyselých dešťů (Bičík et al., 2009).

### 3.1.1 Faktory ovlivňující půdní vlastnosti

Variabilitu půd rozlišujeme dle **půdních typů** (viz 3.3) a druhů, které ovlivňují významně úroveň a typ zvětrávání v závislosti na klimatických faktorech, jako je teplota a vlhkost (Sánka et al., 2004). Tyto faktory, stejně jako půdní variabilitu, ovlivňují také obsah organické hmoty v půdě. Podnebí tedy ovlivňuje půdu buď nepřímo, prostřednictvím vstupů organické hmoty nebo přímo, vlivem rozkladu organické hmoty pomocí aktivity půdních organismů (Brady, 1990). Zjednodušeně

můžeme říci, že obsah organické hmoty je výsledkem jejího dlouhodobého vývoje, působením půdotvorných faktorů a dále mimo jiné i antropogenních vlivů. Rovněž tak působením těchto dějů vzniká půdní typ a půdní druh. (Kubát et al., 2008). Nutno podotknout, že antropogenními vlivy je myšlen způsob obhospodařování či způsob využívání půd.

Během evolučního vývoje lidské populace se půda neustále přeměňuje, také jinak mění své vlastnosti i v důsledku působení lidské činnosti. Zejména hydrofyzikální vlastnosti. Obecně člověk chápe půdu jen jako základní článek potravního řetězce, avšak je primárně důležitá, jako zásobárna vody pro suchozemskou vegetaci, mikroorganismy a zastupuje funkci jako čistící filtr v prostředí, skrze který protéká voda. Bez interakce mezi mikroorganismy, fyzikálními vlastnostmi a chemickou složkou by nemohly funkčně existovat cykly již zmíněných prvků (vody, uhlíku, dusíku, fosforu a síry). Přístupnost těchto prvků ovlivňuje mikrobiální mineralizace (mikrobiální přeměna látek, která uvolňuje živiny a uvolněné živiny se pak vrací zpět do koloběhu látek v půdě) a imobilizace (opačný proces mikrobiální mineralizace, to jest uvolnění živin z půdního roztoku do prostředí). Půda hraje zcela primárně důležitou a nezastupitelnou roli ve stabilitě ekosystémů a v ovlivňování bilancí látek či toků energií (Sáňka et Materna, 2004). Nedílnou součástí půdy je samotná organická hmota, která má v poslední době velmi cenný význam pro životní prostředí. Zejména z hlediska akumulace organického uhlíku (jež se váže do půdy) a zachování ekologických funkcí (Kubát et al., 2008).

### ***Působení lidské činnosti***

Vlivem antropogenních činností dochází k dehumifikaci neboli ke ztrátě organické hmoty, která má vliv na hydrofyzikální vlastnosti. Důsledkem dehumifikace může být např. ztráta stability půdních agregátů. Tento jev významně ovlivňuje strukturu i **texturu** půd (viz. 3.4.1), a proto jsou půdy náchylnější k podléhání vodní a větrné erozi. Dále dochází ke snížení **filtrační schopnosti** (viz 4.3.1) a **retenční kapacity** (viz 4.4), což má za následek zvýšení rizika sucha. V neposlední řadě v důsledku dehumifikace dochází k úbytku biologické aktivity, ke snížení pufrací schopnosti půd a k nárůstu zranitelnosti acidifikací, či kontaminací (Huislová et Řeháček, 2016).

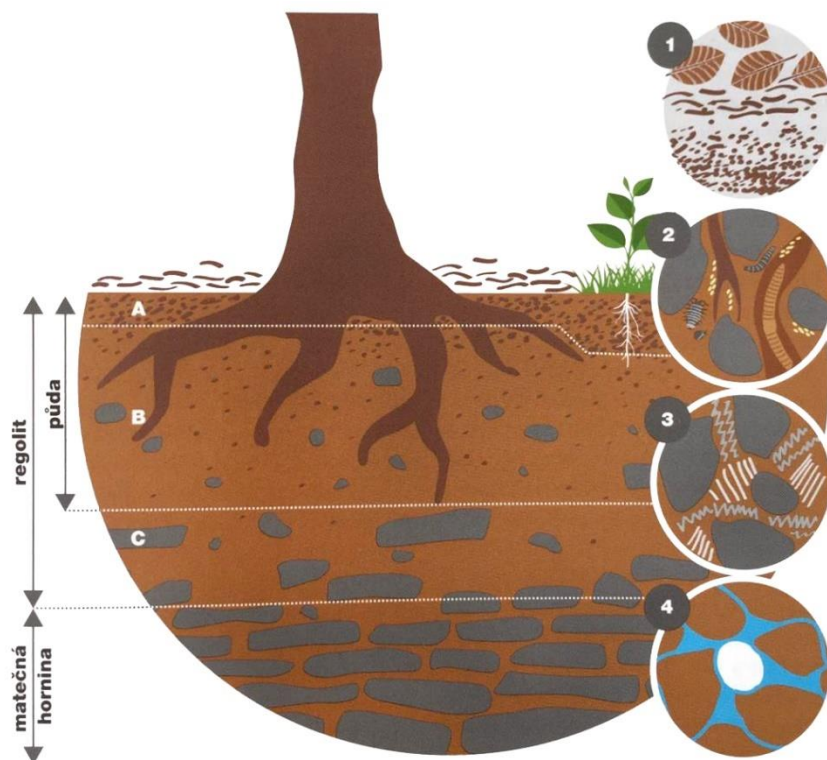
### ***Vliv půdních organismů***

Na druhou stranu, existují přirození činitelé, kteří dokáží vlastnosti půd pozitivně ovlivňovat a vytvářet postupem času zpětně zdravou půdu. Tito činitelé se zahrnují do jedné skupiny nesoucí název „edafon“. Půdní edafon zahrnuje veškeré živé organismy podílející se na biologických procesech, které vzájemně ovlivňují vlastnosti půd. Edafon tvoří deset procent z půdní organické hmoty, zbytek tvoří bakterie (20 %), houby (50 %) a půdní bakterie (*aktinomycety*), které zahrnují zbylých dvacet procent. Nejvýznamnějším činitelem v půdě jsou žížaly (*Lumbricidae*). Žížaly půdu promíchávají svou aktivitou, čímž pomáhají k zasakování vody, tráví organické zbytky, a tak se podílejí na tvorbě humusu (Kurková Nožičková, 2018). Při promíchávání a provzdušňování svrchních vrstev půdy půdními živočichy dochází k pohybu půdního materiálu směrem dolů, což v důsledku vede ke vzniku stratifikace půdy a tvoří se tak půdní profil. Rychlost vzniku typického půdního profilu je však závislá také na ostatních faktorech, jako je třeba klima, reliéf či zvětrávání, a to může trvat až v řádech tisíců let (Madigan et al., 2011).

### **3.2 Půdní profil**

Půdní profil charakterizují především půdotvorné faktory a podmínky, jež vtiskávají vlastnosti jednotlivým půdním složkám a každá složka zaujímá určitou část půdního profilu. Individuální půdní složky se řadí dle rozličných hledisek. Větší procento podílu z celkového půdního profilu tvoří živá a neživá složka, přičemž neživou tvoří organické a minerální fragmenty (Pavlu, 2019). Vzájemné působení sfér (hydrosféra, atmosféra, biosféra) utváří různé typy půd, subtypů, variet a tak dále. Elementární složky v půdě znázorňuje *obrázek č. 2*. V tomto schématu lze vidět svrchní biologicky a biochemicky pozměněnou a oživenou půdu, kterou představují půdní vrstvy A, B, C. Tyto horizonty dohromady tvoří tzv. *regolit*, což je jednoduše neuspořádaný vrstvený materiál nad matečnou horninou. První vrstva půdního profilu je tvořena půdní organickou hmotou v rozličných fázích rozkladu **(1)**. Spodnější vrstva zahrnuje živou složku tvořenou kořeny vyšších rostlin a edafonem velikostně i taxonomicky odlišným **(2)**. Pevná složka matrice obsahuje primární a sekundární minerály s organickou hmotou v různých podobách **(3)**. Nejspodnější část půdního profilu se skládá z matečné horniny, která obsahuje složky půdy dle různých skupenství (pevné, kapalné, plynné) **(4)** (Šimek et al., 2019a).





Obrázek č. 2 – Schématický půdní profil a základní složky půdy (Šimek et al., 2019a).

### 3.2.1 Barva půdy

Půda se vyskytuje v různobarevných formách v závislosti na jejím složení. Záleží na tom, jaké chemické prvky převažují. Jestliže najdeme půdu ve spektru červené a hnědé, můžeme vyhodnotit převahu železa. V případě, že se jedná o půdu s převahou humusu, její barva bude černá (Kurková Nožičková, 2018). Zejména obsah humusu v půdě má značný význam v souvislosti se zlepšováním fyzikálně-chemických vlastností půdy. Zvyšuje přístupnost některých živin, dále má vliv na vodní i vzdušný režim a také má přímý vztah k úrodnosti půd (Tomášek, 2000).

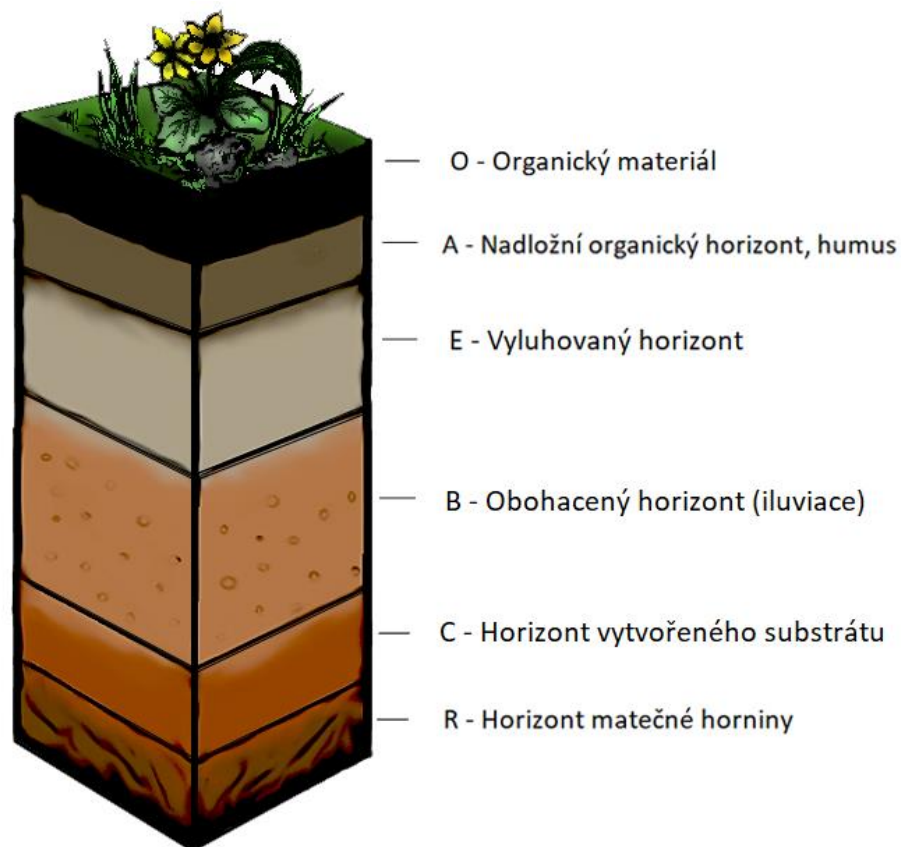
Půda se vyskytuje v opravdu širokém barevném spektru, a proto k určování půdního typu slouží „Munsellova tabulka“, která zahrnuje 395 odstínů barev (Kurková Nožičková, 2018). Barva je důležitou charakteristikou při popisu půdního profilu a vztahuje se k individuálním diagnostickým horizontům. Rozhodujícím ukazatelem barvy půd v povrchových humusových horizontech je obsah organické hmoty. Hlavním činitelem určující barvu v podpovrchových a substrátových horizontech jsou minerály a oxido-redukční podmínky (Sánka et Materna, 2004).

### 3.2.2 Pedogeneze

Vývoj půdního profilu je velmi pomalý a je především závislý na půdotvorných procesech i činitelích. V místech, kde je působení faktorů krátké, převládá vliv výchozího substrátu, a proto je logické, že půdní profil je lehce diferencovaný. Postupem času ztrácí substrát vliv a vlivným faktorem se stávají půdotvorní činitelé, kteří vtiskávají půdě typické vlastnosti potřebné pro stabilní funkci prostředí (Tomášek, 2000). V rámci půdního profilu rozlišujeme několik horizontů a jedná se o dvourozměrnou charakteristiku. Půdní profil si představme jako vertikální řez vrstvami půdy až po matečnou horninu (*viz obrázek č. 3*), kde je znatelně vidno stratifikaci vrstev půdy, a právě barva je výrazným aspektem v rozeznatelnosti typu půdy. Přítomnost určité barvy jednotlivých horizontů je závislá na její genezi (Mentlík, 2004).

#### *Půdní horizonty*

Na následujícím *obrázku č. 3* jsou uvedeny pouze základní a hlavní půdní horizonty. Nejsvrchnější část země (**O**) zahrnuje veškerou organickou hmotu, která obsahuje veškeré živé i mrtvé složky, včetně rozkládající se hmoty. Tento horizont lze pozorovat běžně u lesních půd, nikoli například na zemědělských, kde je povrch země většinou narušen. Horizont s akumulovanou rozkládající se organickou hmotou (**A**) je silně oživen biologickou složkou a půda bývá tmavě zbarvena v důsledku právě vysokého obsahu organické hmoty. Vyskytuje se zde velký podíl mikroedafonu (mikroorganismy) (Taufarová et al., 2014). Dochází zde k výraznému promíchávání a je zónou eluviace, neboť pomocí srážek dochází k vyplavování organického materiálu do nižších vrstev. Vyluhovaný horizont (**E**) je obohacený o sloučeniny jílu a živin. Nachází se stále v zóně eluviace, má světlou barvu a písčité charakter. Obohacený horizont (**B**) je zónou iluviace, kde dochází k obohacování horizontu různými koloidy a solemi, které se přenesly skrze filtrující vodu (Petránek et al., 2016). Obsahuje materiál vyluhovaný z horizontů A, E a obsah jílnatých částic a živin je vysoký. V předposlední vrstvě (**C**) se nachází nezměněný minerální materiál. Neprozkazuje se zde žádná biologická aktivita a ani zde nedochází k iluviaci. Jedná se o již zvětralou mateční horninu, tedy půdotvorní substrát. Nejspodnější vrstva (**R**) je samotná matečná hornina – vápenec, žula, pískovec atd. Jedná se o horninu, která udává základní charakter substrátu (Taufarová et al., 2014).



Obrázek č. 3 – Půdní profil s horizonty (převzato a upraveno online: <https://www.earthreminder.com/soil-profile-layers-formation/>).

### 3.3 Půdní typy

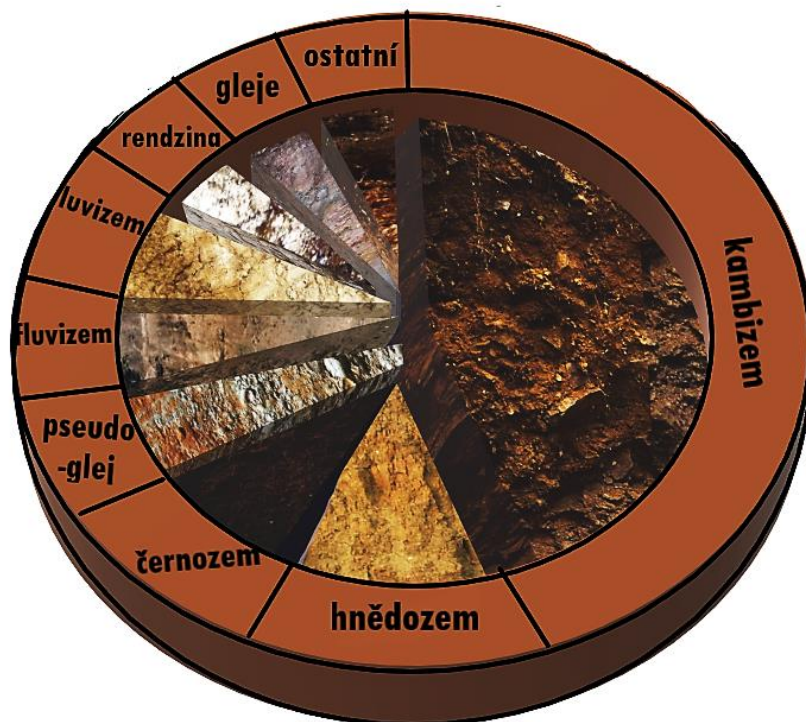
Taxonomický klasifikační systém půd ČR (TKSP) má sestavenou hierarchii, která zahrnuje na nejvyšším postavení referenční třídu půd. Referenční třídy vzhledem ke snaze sjednotit názvosloví s World Reference Base of soil resources (WRB) – tj. „Referenční báze pro půdní zdroje“, mají koncovku (-sol) a slučují skupiny půd podle hlavních atributů jejich geneze. Pod úrovní referenčních tříd navazují půdní typy, které ve většině případů nesou koncovku (-zem). Půdní typy se následovně mohou vyskytovat v řadě subtypů a dále klasifikace popisuje podrobnější dělení na variety, subvariety, fáze a formy (Pavlů, 2019). Co se týče nomenklatury půdních jednotek, uvádí se často ekvivalenty, neboť ani v rámci ČR doposud neexistuje naprostá shoda (Tomášek, 2007).

Půdní typ je klasifikační jednotka udávaná půdotvornými procesy, které jsou nepřetržité a nejsou ukončeny pouze vytvořeným půdním typem, nýbrž jsou jeho součástí. Dynamické a komplikované procesy, které mají signifikantní vliv na vývoj půd, se mění v závislosti na změně vývojových podmínek. Povaha procesů je závislá

na fyzikálních a chemických vlastnostech substrátu, klimatických faktorech a biotické složce (Smolová, 2019). Klíčovými faktory, které určují půdní typ, je délka vývoje substrátu a elementární matečná hornina. V podstatě rozlišujeme půdní typy na základě vývojového stádia půd (Petránek et al., 2016). Mezi základní půdotvorné procesy, které udávají charakter typu půdy patří humifikace, eluviace, iluviace, oglejení a samotný glejový proces, který probíhá v zamokřených půdách (Smolová, 2019). Na základě těchto půdotvorných procesů vznikají z vyvinuté a neporušené půdy právě již zmíněné horizonty, nacházející se v půdním profilu. Na základě charakteristických horizontů se definují půdní typy (Šimek, 2003a).

Obecně je definováno 26 půdních typů (Kurková Nožičková, 2018). Nejrozšířenějším na území České republiky je kambizem a z celkové plochy všech půd tvoří sedmdesát procent (Vopravil et al., 2010). Druhá nejvíce plošně zemědělsky zastoupena a hodnotná půda je hnědozem. Nejúrodnější je černozem, neboť je z větší části tvořena humusem a podstatnou složkou živých organismů. Bohužel její kvalita se snižuje, vyskytuje se v malé ploše a většinou i sporadicky. Dalším typem je luvizem. Plošným zastoupením se k luvizemi blíží rendziny. Dále je udávána pseudoglej, u které dochází ke kolísání mezi zamokřením a vysycháním. Následuje glej, která má sice nízkou zemědělskou hodnotu stejně jako pseudoglej, ale je nenahraditelná v krajině v rámci přirozené retence (Kurková Nožičková, 2018). Poslední nejrozšířenější jednotku představuje fluvizem neboli nivní půda, která se vytváří v nivách řek a potoků z povodňových sedimentů (Němeček et al., 2008).

Následující diagram (*viz obrázek č. 4*) zobrazuje nejrozšířenější půdní typy na území ČR. Níže uvedená procenta představují hrubý odhad zastoupených jednotek zemědělských půd. Důvodem, proč jsou takto rozšířené zejména tyto půdy je, že mírnější reliéf ČR poskytl většinou souvislý vývoj půd, které byly během příznivých podmínek neustále obhospodařovány a kultivovány člověkem. Výsledkem interakcí těchto vlivů v čase je široké spektrum půd, které se dnes klasifikují do rozličných půdních jednotek (Vopravil et al., 2010).



Obrázek č. 4 - Diagram znázorňující zastoupení základních půdních typů na území ČR (převzato a upraveno online: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=55088](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=55088)).

Nejvíce zastoupenou část tvoří **kambizem** se **45 %**. S velkým procentuálním poklesem pak následuje **hnědozem**, která tvoří **13 %**. O něco méně zaujímá **černozem** a navzdory k její signifikanci, tvoří pouze **11 %** z celkové půdní rozlohy. O čtyři procenta méně zabírá **pseudoglej** a tvoří pouze **7 %**. Na třetím místě s nejmenším procentuálním zastoupením je **fluvizem** s **6 %** a druhé místo zaujímá **luvizem** s **5 %**. Poslední malou procentuální část základních půd tvoří **rendzina** i **glej** a zabírají **4 %**. Ostatní půdy, které se dále dělí, zastupují sice nevýznamných **5 %**, ale v globálu představují velký význam (MENDELU, 2018).

Na území ČR se vyskytují ostatně i další půdní typy, které se klasifikují mezi hlavní, stejně jako předchozí uvedené. Černice, která patří do referenční třídy černosoly spolu s černozemí, dále smonice, šedozem, surová půda (*litozem*), ranker, terra fusca (*subtyp rendziny*), pararendzina, arenosol (*regozem*), pelosol (*pelozem*), hnědá půda (*kambizem*), rezivá půda (*kryptopodzol*), podzol, rašeliništní půda (*organozem*) a slanec. Půdní typy mají společný půdotvorný proces a vyznačují se tedy určitou kombinací půdních horizontů, které jsou pro příslušný typ neměnné (Tomášek, 2007). Existuje velmi široké spektrum půdních typů, které se dále dělí i na subtypy dle

modifikace půdního typu. Na modifikaci se podílí sekundární půdotvorný proces a představuje přechod mezi dvěma půdními typy. Avšak subtyp může představovat také tzv. „čistý“ charakteristický půdní typ. Jak uvádí v klasifikaci Němeček et. al (2008), mohou to být dále také přeměny půdních typů dané nápadnými rysy **zrnitosti** (viz dále). Ty jsou určeny výraznými znaky antropického ovlivnění, či modifikací vyznačující se rysy nasyceností sorpčního komplexu (vázáni prvků nezbytných pro půdotvorný proces i výživu rostlin).

Celý půdotvorný proces funguje na základě faktorů jako je podnebí, vegetace, půdní organismy, topografie, složení matečné horniny a čas. Tento celý funkční systém utváří půdu, přesněji půdní typy. Nejdůležitější složku představuje podnebí (teplota a vlhkost), které určuje rychlost zvětrávání horniny, rozvoj vegetace, hromadění půdní organické hmoty, rozvoj edafonu a následně půdy (Vopravil et al., 2010). Dané klimatické podmínky prostředí určují vznik určitých půdních typů. Rozšíření půdních typů na Zemi je velmi variabilní, proto se řídí geografickou pásmovitostí (zonálností). Půdní ráz mění svůj profil od rovníku k pólům (horizontální pásmovitost), stejně tak od nížin do hor (vertikální pásmovitost) v závislosti na tvorbě srážek, výparů, změně teplot a vegetačního krytu. V případě, kdy podmínky stanoviště (např. vysoká hladina podzemní vody, specifické podloží) jsou potlačeny vlivem podnebí, tak se vyvíjí azonální půdy, jako jsou např. nivní, či rašelinné (Šantrůčková et al., 2018)

Referenční třída **ČERNOSOLY** zahrnuje **černozemě**. Výskyt tohoto půdního typu se orientuje spíše na sušší a teplejší oblasti nižších poloh, kde vznikly zhruba v období holocénu, pod původní stepí a lesostepí (Tomášek, 2007). Dnes se nachází v oblastech Polabí od okolí Podbořany přes Litoměřice, až po sporadická místa okolo Chrudimi, dále na Moravě, zejména jižní a to v okolí Olomouce, přes Kroměříž směrem na Znojmo včetně jeho okolí (ČGS, 2019). V dnešní době se nacházejí ve své původní podobě a to převážně díky zemědělské kultivaci. Půdotvorným substrátem jsou většinou spraše, za procesu zvětrávání se místy uplatňují slíny, či vápenité terciální jily a písky. Roční úhrn srážek v černozemích se pohybuje okolo 450-650 mm a výskyt tohoto půdního typu se udává v nadmořské výšce okolo 300 m n.m., kterou zpravidla nepřesahuje (Tomášek, 2007). Důležitým ekologickým znakem černozemí je již zmíněná huminifikace a je pro ni charakteristický černický horizont se zásahem do hloubky až 80 cm. Dále se tento půdní typ vyznačuje odolnou vodostálou půdní strukturou a je silně obohacen půdní živěnou, tudíž obsahují velké množství kvalitního

humusu. Z hlediska hydrofyzikálních vlastností má tato půda velmi dobré sorpční vlastnosti (Vopravil et al., 2010). V současné době jsou černozemě využívány bez výjimky pouze jako orná půda, bohužel v důsledku převládajícího suchého klimatu, má půda tendence vysychat (Tomášek, 2007).

**Smonice** spadají do referenční třídy **VERTISOLY**. Vytvořily se ze slínů a obsah jílu nabývá více než 50 %. Na území ČR se rozkládají pouze na severočeské hnědouhelné pánvi (především Chomutovsko). V oblasti převládá poměrně teplé klima, ale především aridní. Nadmořská výška jejich výskytu nepřesahuje 300 m n. m., proto původní vegetací byly teplomilné doubravy. Dnes se vytváří v podmínkách nepromyvného režimu v nížinách (Šantrůčková et al., 2018). Významným dějem u této půdy je tzv. „*Vertisol efekt*“, který spočívá v samomulčovací schopnosti půdního povrchu s daným charakterem výskytu tzv. „skluzných ploch“ (Vopravil et al., 2010). Skluzné plochy vytváří bobtnající a smršťovací činnost jílu (Šantrůčková et al., 2018). V období sucha se v zemi utváří trhliny, do kterých se nakumuluje organický materiál, naopak po zamokření se trhliny opět uzavrou a vzniká tak mocný tirsový humusový horizont (Pavlů, 2019). Horizont má mocnost větší než 0,3 m (Šantrůčková et al., 2018). Smonice mají vysokou sorpční kapacitu a jsou tedy sorpčně nasycené. Obsah humusu bývá mezi 2-4 %. V zemědělství mohou být často upravovány chemickými zásahy, neboť u tohoto typu půdy převládá deficit fosforu, některých stopových prvků a dochází k pomalému uvolňování dusíku (Vopravil et al., 2010).

**Kambizemě** patřící do referenční třídy **KAMBISOLY**, jsou nejrozšířenějším půdním typem na našem území. Jedná se o skupinu bohatou na variabilitu půdního substrátu, který je ovlivňován chemickými procesy (Vopravil et al., 2010). Vytváří se v něm žuly, pískovce, bazalty, břidlice a značně ovlivňuje fyzikální vlastnosti těchto půd. Znakem této skupiny je přítomnost horizontu B, který vzniká intenzivním vnitropůdním zvětráváním (Pavlů, 2019). Kambický horizont vzniká tedy pod humusovým horizontem a je hnědý až rezavohnědý v důsledku uvolňování železa a hliníku (Vopravil et al., 2010). Jejich geneze sahá do oblastí členitého terénu na zalesněných svazích pahorkatin, vrchovin a hornatin. Takové půdy se vyskytují především v lesích. Původním areálem jsou listnaté, smíšené lesy až smrčiny. Vyznačuje se vysokým zastoupením skeletu a širokou škálou zrnitosti. Tvoří 59 % lesních půd (Šantrůčková et al., 2018). Nacházejí se v nadmořské výšce 450-800 m n. m. a podbněbí jejich výskytu je poměrně humidnější (vlhčí) a mírně teplé

(Vopravil et al., 2010). Obsah humusu silně kolísá v závislosti na topografii. Vyšší obsah mají kambizemě vyšších poloh a půdy na těžších či bazických substrátech (Tomášek, 2007).

Kambizemě neboli hnědé půdy se následovně dělí na 5 hlavních subtypů. **Eutrofní** obsahuje vysoký podíl humusu, značí se příznivou půdní kyselostí a sorpčními vlastnostmi. **Typická** se vyznačuje nižším obsahem humusu, nižší půdní reakcí a dochází k zhoršené výměně v sorpčním komplexu. Běžně se vyskytuje v nadmořské výšce do 400 m n. m. **Kyselá** je morfologicky shodná s typickou, ale u tohoto subtypu dochází k výraznému zvýšení acidifikace a snížení nasycení sorpčního komplexu. Rozšiřuje se v oblastech s nadmořskou výškou 400-600 m n. m. **Silně kyselá** je totožná s předchozí, avšak s charakterem silné acidifikace a sorpční komplex je extrémně nenasyčen. Tento subtyp se vyskytuje v částech vrchovin 600 m n.m. a výše. **Oglejená a glejová** se vyznačuje prosycením vodou. Nachází se v ní velké množství skeletu a vyskytuje se především v členitém reliéfu. Hnědé půdy jsou kvalitními lesními stanovišti (Tomášek, 2007). Do skupiny kambisoly spadá také půdní typ **pelozemě**, avšak jsou málo zastoupeny. Za půdotvorný substrát se označují slíny a břidlice. Obsahují vysoký podíl jílu, proto jsou náchylné k oglejení. Vyskytují se tedy v nižších a vlhčích polohách s původní vegetací se zastoupením dubů a habrů (Šantrůčková et al., 2018).

Referenční třída **LEPTOSOLY** nejsou moc vyvinuté. Jsou to příliš skeletovité půdy a vznikají rozpadem pevných či zpevněných hornin. Do této třídy spadají půdní typy, jako jsou **litozemě**. Jejich výskyt se orientuje převážně na pahorkatiny a horské oblasti. Pedogenetický proces probíhá v počátečním stádiu, je tlumený a narušují ho nepříznivé půdotvorné podmínky a faktory. Podléhá erozi a významným procesem je humifikace. Dále sem patří **rankery**. Ty jsou charakteristické pro oblasti suťových lesů, které jsou také původní vegetací. Rozšíření se tedy orientuje na pahorkatiny, hornaté svahy a úpatí. Podléhají vysychání, acidifikaci, erozi a transformaci organické hmoty. **Rendziny** vznikají na vápencích a dolomitech s původní vegetací doubrav a stepí. Jsou charakteristické svou jemnozrnnou strukturou s tendencí vysychat, avšak se vyznačují dobrou infiltrační schopností. Rendziny jsou obohaceny vápníkem a hořčíkem, ale zcela chybí fosfor a draslík. Hlavním půdotvorným procesem je humifikace. Do leptosolů dále spadají **pararendziny**. Tvoří se na vápenitých pískovcích, opukách a vápenitých břidlicích (Šimek et al. 2019a). Původně



zastoupenou vegetací představují teplomilné doubravy. Charakterem se podobají rendzinám, avšak s vyšším obohacením o živiny. Hlavními půdotvornými pochody jsou humifikace a vnitropůdní zvětrávání, přičemž zvětrává primární hornina a sekundárně vznikají minerály a jíly (Šantrůčková et al., 2018).

Další rozšířenou referenční třídou jsou **FLUVISOLY**, které se vyznačují nepravidelným rozložením organických látek v půdním profilu. Často je vidno vrstevnaté uložení, jako důsledek periodického usazování sedimentů (Šimek et al. 2019a). Objevuje se vysoké zastoupení organických látek v profilu do hloubky jeden metr (fluvické znaky). Charakter sedimentů určuje vlastnosti půdy a pedogeneze je narušena nánosy sedimentů (Šantrůčková et al., 2018). Do této skupiny zařazujeme **fluvizemě**, které jsou na území ČR rozšířeny na větších plochách zejména v nížinách a vyplňují dna říčních údolí. Původní vegetací jsou lužní lesy a sekundárně údolní louky. Půdotvorným substrátem jsou nivní uloženiny. Zahrnují sedimenty nanesené erozí a nakumulované v nivách řek (Šimek et al. 2019a). Vzhledem k charakteru tohoto půdního typu ho nazýváme také „nivní půda“. Obsah humusu je střední a jeho složení poměrně příznivé. Nepodléhá acidifikaci, jen mírně až neutrálně. Ve svrchní části profilu nivních půd, jsou fyzikální vlastnosti příznivé (Vopravil et al., 2010). Dále do této skupiny fluvizemí řadíme i **koluvizemě**, avšak z důvodů procesů zrychlené eroze půdy od doby odlesnění půdy až po dnešní dobu, se tento druh nově vyčlenil z českého klasifikačního systému půd (Tomášek, 2007).

Referenční třída **LUVISOLY** navazující na třídu černosoly se obdobně nacházejí v nížinách a mírných pahorkatinách. Patří mezi zonální půdy a vznikají na těžkých kvartérních sedimentech, především na spraších (Šantrůčková et al., 2018). Půdy tohoto typu, jsou typické pro oblasti mírného klimatu s dostatečným úhrnem srážek pro růst listnatých či smíšených lesů. Tato referenční třída se vyznačuje charakteristickým procesem zvaným „illimerizace“, který udává genezi určité stratigrafie půdního profilu a je podmíněna dostatkem srážek a potřebnou drenáží. Na základě intenzity illimerizace a následné barevné diferenciaci v půdním profilu se rozlišují půdní typy (Pavlů, 2019). Do této třídy patří **šedozemě**, které se lokálně usazují v oblastech původních lesostepí na okraji výskytu černozemí v prostředí s vlhčím klimatem. Název půdního typu odpovídá horizontu, který je šedivý v částech ochuzených jíly s výskytem tmavých koloidních povlaků v luvickém horizontu. Hlavním půdotvorným procesem je humifikace včetně illimerizace. Patří mezi

nejúrodnější půdy. Dalším půdním typem zastoupeným v této třídě je **hnědozem**. Nachází se v rovinném až mírně vlnitém reliéfu pahorkatin s původní vegetací doubrav a dubohabřin. Vytváří se nejen na spraších, ale i na sprašových hlínách v prostřední s proměnlivým perkolačním hydrickým režimem (Šantrůčková et al., 2018). Mezi nejdůležitější subtypy hnědozemě patří hnědozem typická, oglejená a illimerizovaná (Tomášek, 2007).

Poslední půdní typ patřící do této třídy je **luvizem**. Výrazným rysem je vybělený eluviální horizont s destičkovitou strukturou a přechází klínovitými zátekami do luvického horizontu (Šantrůčková et al., 2018). Rozšířené jsou zejména v oblastech středních výškových poloh, zejména v pahorkatinách a vrchovinách. Původní vegetace zahrnuje kyselé doubravy a bučiny. Nejčastějším matečným substrátem jsou jako u předchozích spraše, sprašové hlíny, ale také středně těžké ledovcové sedimenty, smíšené svahoviny, sporadicky zahliněné terasové sedimenty, či hluboké zvětraliny pevných hornin. Významným půdotvorným procesem je illimerizace (Tomášek, 2007).

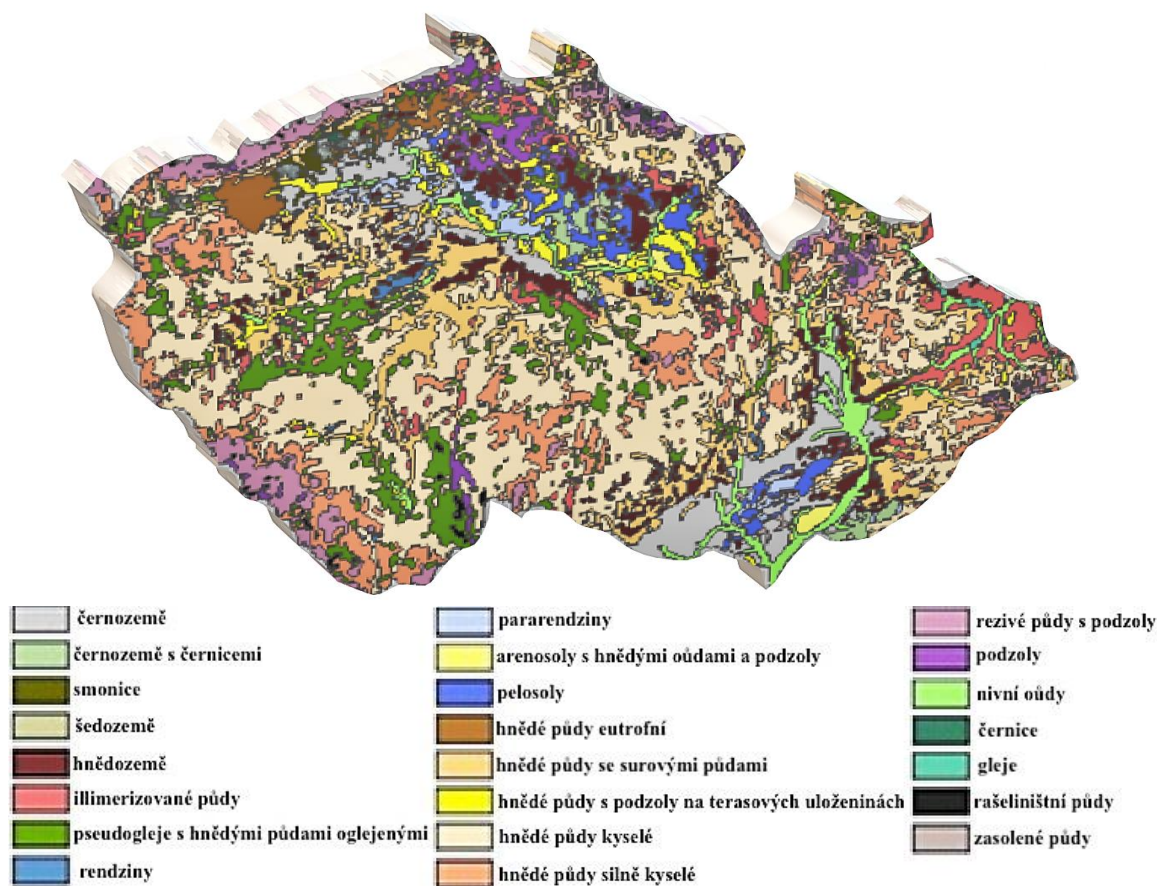
Další referenční třída jsou **PODZOSOLY** charakteristické pro oblasti s chladným a vlhkým klimatem horských smrčín s enklávami pastvin (Šefrna, 2011). Pod tuto třídu spadá půdní typ **podzol**, jehož matečným substrátem jsou zejména zvětraliny minerálně slabších hornin, žul, rul, svorů a pískovců (Vopravil et al., 2010). Podzoly jsou půdy se značně děleným a vyběleným eluviálním horizontem obsahující zrna křemene. Dále se také vyznačují iluviálním spodickým horizontem, který obsahuje hrubozrnné částice a amorfní černohnědé i rezivé koloidy. Sorpční půdní komplex není vysoce nasycen a kationtová výměnná část závisí na pH (Němeček et al. 2008).

Nejméně zastoupenými referenčními třídami na našem území jsou podmáčené, trvale vlhké či zaplavované půdy. Takové skupiny se nazývají **STAGNOSOLY**, **GLEJSOLY** a **ORGANOSOLY**. Stagnosoly zahrnují dva půdní typy, a to **pseudoglej a stagnoglej**. Pseudoglej patří mezi nejméně úrodné půdy ČR a původní vegetací jsou kyselé doubravy a bučiny. Vyskytují se ve středních výškových polohách, převážně na plošných místech, či v depresích (Vopravil et al., 2010). Vznikají v zaplavovaných oblastech okolo řek či na nepropustných půdotvorných substrátech v nadmořské výšce do 800 m n. m. (Šantrůčková et al., 2018). Jsou definovány jako semihydromorfni. U těchto půd tedy dochází k periodickému provlhčení půdního profilu. Půdotvorným substrátem pro tento typ jsou sprašové hlíny, hlinité a jílovité

glaciální uloženiny, smíšené svahoviny nebo odvápněné slínovce. Hlavním půdotvorným procesem je oglejení a sekundárně illimerizace (Vopravil et al., 2010).

**Stagnoglej** jsou podobné pseudoglejím, jen u nich dochází k převlhčení po delší časový interval. Proces oglejení je tedy intenzivnější (Šimek et al. 2019a). Po celém území ČR se ojediněle v okolí nivách řek a v zamokřených úpadech vyskytují **gleje** patřící pod referenční třídu glejosoly (Tomášek, 2007). Gleje řadíme do referenční třídy glejsoly, které dlouhodobě převlhčují povrchové i podzemní vody. Jsou pro ně charakteristické hydrogenní akumulace humusu, přičemž může docházet až k tvorbě rašelinišť (Šimek et al. 2019a). Z hlediska zemědělství jsou gleje málo hodnotné, ale významný vliv mají v krajině z hlediska ekologie, neboť plní řadu mimoprodukčních funkcí. Například vytváří hodnotná stanoviště pro druhovou skladbu fauny i flóry nebo zadržují přirozeně dostatečné množství vody a současně plní i mnoho dalších důležitých ekologických funkcí (Vopravil et al., 2010). Geneze půdy se nepřetržitě řídí anaerobními podmínkami prostředí (Šantrůčková et al., 2018). Tato hydromorfní půda je v souvislosti s vývojem závislá na topografických a klimatických podmínkách stanoviště, díky kterým dochází k trvalému zaplnění pórů vodou a ke sníženému vstupu vzduchu do půdy (Vopravil et al., 2010).

Ohledně zadržování vody v krajině, nabývají velkého významu také organosoly (Šimek et al. 2019a). Zastupují pouze rašeliništní půdní typ neboli **organozem**. Tento půdní typ v důsledku nízké teploty, zamokření, acidifikace a nízkého zastoupení živin, tlumí biologickou aktivitu. Tím pádem dochází k potlačení rozkladných a humifikačních procesů v profilu, ve kterém se pak hromadí téměř nerozložené organické látky. Rašeliniště se dělí na základě výskytu. Existují rašeliniště vrchovištní a slatinné, dále se vyskytují také přechodová. Vrchovištní rašeliniště vznikají ve vlhkém horském klimatu pod rostlinným společenstvem rašeliničku a je primárně zásobované srážkovou vodou. Slatinné rašeliniště je rozšířeno především v nížinách pod porosty slatinných luk, kde hraje významnou roli aluviální voda (Vopravil et al., 2010). Následující mapa s legendou (*viz obrázek č. 5*) zobrazuje rozdělení půdních typů dle barevného spektra.



Obrázek č. 5 – Mapa ČR s půdními typy  
 (převzato a upraveno – mapová služba WMS, Česká geologická služba online:  
<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>).

### 3.4 Půdní druhy

Půdní druh představuje zrnitostní složení půdy. Jde o hodnocení velikosti základních částic, tj. agregátů. Abychom byli schopni zjistit jejich složení, musíme je rozrušit a docílit tak stavu dispergace. Pomocí pedologických metod následně analyzujeme zastoupení určitých velikostních frakcí v dané půdě (Pavlů, 2019). Půdní druh můžeme také chápat jako texturu či mechanickou skladbu, která významně ovlivňuje fyzikální, chemické (sorpční) a biologické vlastnosti půdy (Vopravil et al., 2010). Tato půdní charakteristika patří mezi fyzikální vlastnosti, stejně jako **struktura** (viz 4.1), **pórovitost** (viz 4.2), tepelné poměry v půdě, či barva, a právě tyto fyzikální vlastnosti jsou silně ovlivňovány činností půdního edafonu (Šimek, 2003a).

### 3.4.1 Textura

Textura udává anorganický podíl půdy tvořící minerální částice rozdílné velikosti, tvaru a chemického složení. Významnou roli hraje matečná hornina, jejíž složení má vliv na rychlost zvětrávání a uvolňování živin. Vlivnými faktory na anorganický podíl má také klima a stupeň zvětrávání. Hrubé minerální částice tvoří v půdě šterk, písek a prach. Naopak nejjemnější frakce tvoří jílové minerály. Rozdílný podíl hrubých či jemných částic má vliv na řadu mechanických vlastností půdy, jako jsou pórovitost, schopnost vázat vodu, živiny a organickou hmotu, provzdušněnost, pronikání kořenů a osídlení půdní živěnou (Šantrůčková et al., 2018).

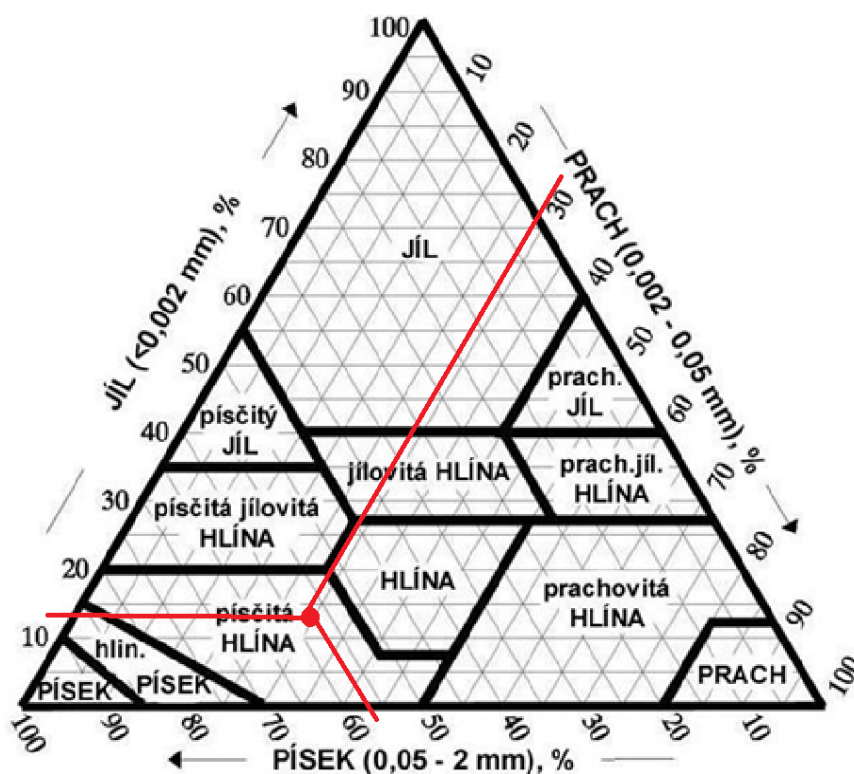
Zásadní částice pro určení půdního druhu jsou velikostně udávány do 2 mm, nazývají se souhrnně jemnozem a frakce větší než 2 mm se označují jako skelet (Pavlů, 2019). **Skelet** obsahuje hrubý písek (2-4 mm), šterk (4-30 mm), kameny (> 30 mm) a balvany (> 300 mm) (Vopravil et al., 2010). **Jemnozem** se dále dělí na frakce písku (2-0,05 mm), prachu (0,05-0,002) a jílu (< 0,002 mm) (Šantrůčková et al., 2018). Jemnozem je možno také dělit více specificky na střední písek (2-0,25 mm), jemný písek (0,25-0,05 mm), hrubý prach (0,05-0,01 mm), střední a jemný prach, tj. slit (0,01-0,001 mm) a jíl (< 0,001 mm). Pro mechanické třídění substrátu existuje starší stupnice, kterou sestavil Kopecký (1899), ale nyní se používá Novákova klasifikační stupnice (Novák, 1953). *Tabulka č. 1* zobrazuje rozdělení zrnitostních frakcí u určitých půdních druhů.

Půdní druh	zkratka	obsah I. kategorie	
Písčítá	p	< 10 %	Lehké půdy
Hlinito písčítá	hp	10 – 20 %	
Písčitohlinitá	ph	20 – 30 %	Středně těžké půdy
Hlinitá	h	30 – 45 %	
Jílovitohlinitá	jh	45 – 70 %	Těžké půdy
Jílovitá	jv	60 – 75 %	
Jíl	j	> 75 %	

*Tabulka č. 1 - Půdní druhy dle klasifikační stupnice (Novák, 1953).*

V praxi pro realistické stanovení textury, tj. půdního druhu, vycházející ze zastoupení individuálních velikostních kategorií, se dále využívá trojúhelníkový diagram (Šimek et al., 2019a). Charakter textury se určuje na bázi grafu v podobě trojúhelníka. V ČR se používá trojúhelníkový diagram zvaný USDA (US Department

of Agriculture – Americké ministerstvo zemědělství). Trojúhelník funguje na bázi určení průsečíku obsahů jednotlivých zrnitostních frakcí (viz obrázek č. 6). Jedná se o přesnější metodu oproti klasifikační stupnici, proto se v současné době v praxi stává populárnější (Vopravil et al., 2010)



Obrázek č. 6 – Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (NRSC USDA)  
(převzato a upraveno: Němeček et al., 2008).

V praxi při stanovení zrnitostního složení se pomocí síta oddělí skelet a popřípadě se stanoví skeletovitost. V jemnozemi se určí procentuální hmotnost písku, prachu a jílu. Pak se jen protnou přímky v diagramu. V tomto případě (viz obrázek č. 6) jsme definovali půdní druh jako písčité hlína, která obsahovala 14 % jílu, 58 % písku a 28 % prachu (Šatrůčková et al., 2019).

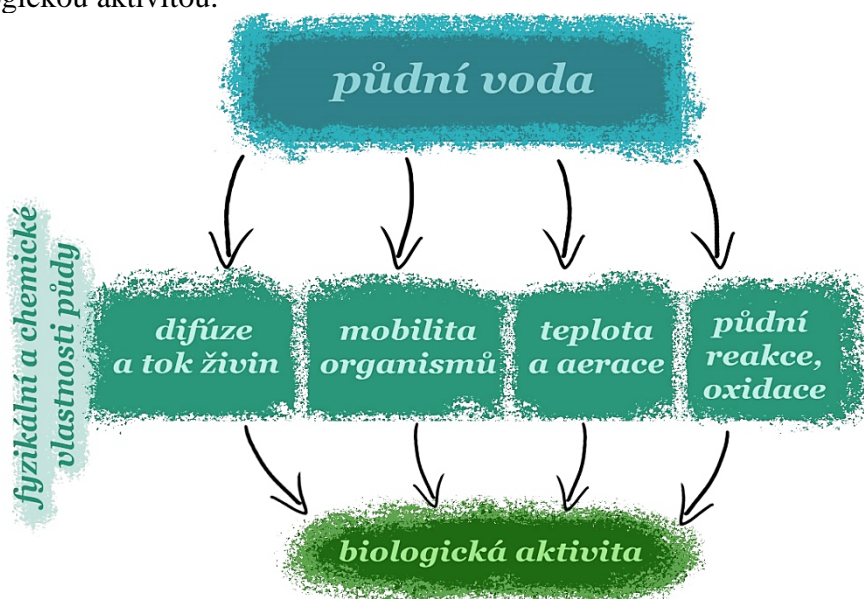
### Zrnitost

Zrnitost půdy je podmíněna především mineralogickou skladbou mateční horniny. Při pedogenezi působením procesu zvětrávání dochází k rozpadu úlomků hornin, avšak některé půdy obsahují těžce zvětratelné horniny, proto vznikají hrubozrné až písčité půdy. Naopak horniny lehce poddajné mechanickému rozrušování udávají půdám jemnozrný až jílovitý charakter (Šarapatka, 2014).

Jednotlivá zrnitostní frakce hraje v půdě individuální roli a udává specifické půdní vlastnosti. Zastoupení agregátů ovlivňuje obdělávanost půdy. Půdy, které obsahují vysoké množství skeletu, či jílovité půdy (těžké) se hůře zpracovávají, než půdy písčitého charakteru (lehké). Frakce mají také vliv na sorpční vlastnosti, tedy na dostatečně pevné poutání živin v závislosti na vodním transportu. Živiny musí být dostatečně volně transportovány, aby byly dostupné pro rostliny. Propustnost živin tedy souvisí se zrnitostním složením (Pavlů, 2019). Jemnozrnné půdy obsahují nízké zastoupení pórů s velkým průměrem, proto se hůře provzdušňují, více zadržují vodu a vážou lépe živiny. Kořeny hůře pronikají skrze půdu, tím je životní prostor pro půdní živočichy omezen. Naopak se daří mikroorganismům, neboť jsou chráněny vazbou na nejjemnější jílové fragmenty (Šantrůčková et al., 2018). Jíl má charakteristický povrch vhodný pro sorpci mnohonásobně vyšší než písek. Zrnitostní skladba má vliv na chování vody v substrátu (Pavlů, 2019). Půdy, které obsahují hrubá zrna písčitého charakteru, mají široké póry a voda jimi lépe proteče. Oproti jemnozrnným půdám rychleji vysychají a mají sníženou schopnost vázat živiny, neboť se jednoduše odplavují (Šantrůčková et al., 2018).

## 4. HYDROFYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY

Voda v půdě je důležitým faktorem pro rozvoj a existenci veškerého života na Zemi. Voda je součástí všech organismů, slouží jako prostředí pro funkci všech životních pochodů i jako rozpouštědlo většiny živin a vyznačuje se velkou tepelnou kapacitou (Šantrůčková et. al, 2018). Zahrnuje kapalně, plynné a pevné skupenství. Nejdůležitější je kapalná voda, která se objevuje v podobě srážek, podzemních vod či toků. Kontinuální podzemní voda se vyskytuje v půdním profilu, nebo do něj prosakuje vztlínáním. Zdroj vody se primárně dostává do půdy pomocí atmosférických srážek, dále **infiltrací** (viz 4.3) z vodních nádrží a toků, vztlínáním podzemních vod a v nepatrném množství kondenzací vodních par. Důležitou roli pro existenci živé složky v půdě hraje vlhkost půdy, která se vyjadřuje poměrem množství vody k pevné fázi substrátu (Vopravil et. al, 2010). Na množství vody v půdě je tedy závislý vegetační systém a s ním související biologická aktivita. Vodní prostředí funguje jako životní prostředí především pro mikroorganismy a mikrofaunu, i když mycelia hub a aktinobakterií (*aktynomyces*) jsou způsobilá přerůstát póry vyplněné vzduchem. Rostlinné vegetativní orgány a mikroorganismy přijímají nezbytné látky rozpuštěné ve vodě transportem přes membrány a množství i dostupnost vody ovlivňuje příjem živin a potravy (Šantrůčková et. al, 2018). Vysoký obsah vody má také vliv na fyzikálně-chemické a chemické změny v půdě (Tomášek, 2007). Na *obrázku č. 7* je schématicky znázorněný vztah mezi půdní vodou, fyzikálně-chemickými vlastnostmi a biologickou aktivitou.



Obrázek. č. 7 – Půdní voda ovlivňující fyzikální a chemické vlastnosti, které mají vliv na biologickou aktivitu (převzato a upraveno: Šimek et al., 2015).



Obsah vody dále také reguluje rozptyl koncentrace plynů, pH, naředění půdního roztoku a teplotu (Šantrůčková et. al, 2018). Množství vody v půdě se nehromadí pouze z atmosféry a vodních zdrojů, ale také díky sklonu terénu, vlastnostem substrátu, povrchovému reliéfu, množstvím a složením rostlinného společenstva i antropogenním vlivům (Smolíková, 1998).

#### **4.1 Struktura půdy**

V půdě dochází k vázání organických látek s anorganickými, čímž vznikají stálé organominerální komplexy, díky kterým se vytváří struktura půdy. Půdní struktura je tvořena půdními póry, které jsou vyplněny vzduchem či vodou a poměr všech složek se mění v závislosti na čase. Příčinou vzniku půdní struktury je prostorové uspořádání pevných částic a volného prostoru pórů (Smolíková, 1988).

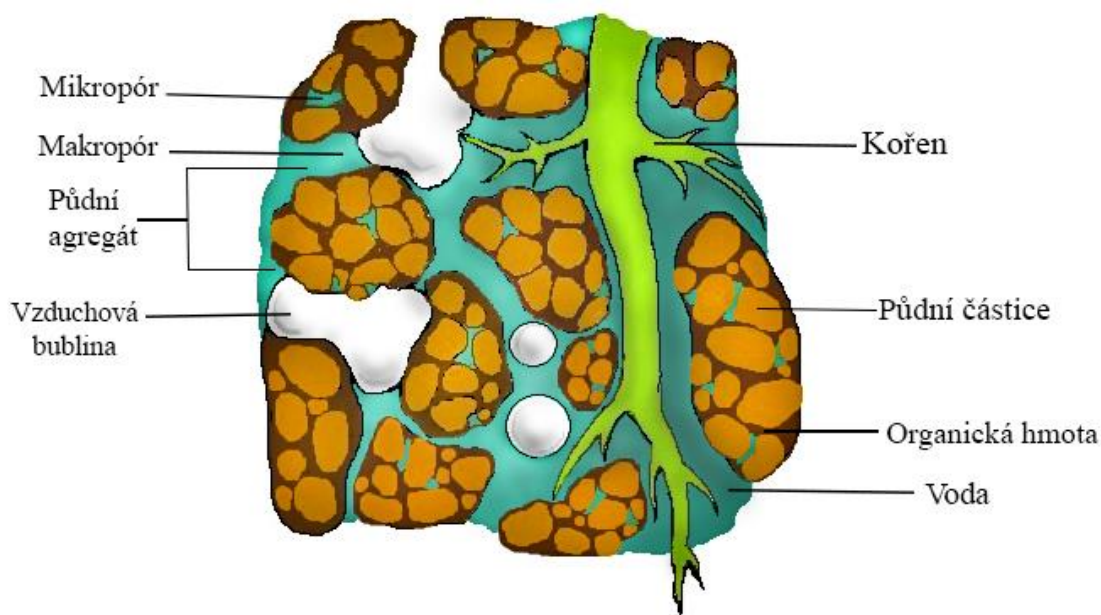
Jednotlivé půdní frakce jsou k sobě přirozeně vázány a vytvářejí agregáty (Vopravil et al., 2010). Agregáty vznikají obecně na základě interakce mezi minerálními frakcemi o různých velikostech a organickými frakcemi, které zahrnují bakterie, mycelia hub, kořeny rostlin a kterékoliv čerstvé organické zbytky (Six et al., 2004). Půdní struktura tedy hraje významnou roli v utváření životního prostoru pro půdní živěnu i vyšší rostliny. Ovlivňuje prostupnost vody a vzduchu v půdě, veškerá propojení jednotlivých složek půdy, zajišťuje stabilitu mezi mineralizací a humifikací, napomáhá rozvoji růstu kořenů a má vliv na intenzitu vodní i větrné eroze (Pavlů, 2019).

Minerální a organické frakce představují koloidní částice tvořené jíly a organickou hmotou. Jimi je podmíněna agregace za přítomnosti stmelujících látek, jako jsou uhličitany a sesquioxidy, které se vážou na pevné frakce a pojí je do větších komplexů. Díky různým procesům spojeným s utvářením fyzikálně chemických vazeb a stmelováním jemných koloidních částic do shluků větších rozměrů, vznikají mikroagregáty (< 250  $\mu\text{m}$ ). Při ustálení, ale i při utváření agregátů větších rozměrů nabývá význam organických látek a biologické aktivity v souvislosti s tvorbou biomasy a vylučováním polysacharidů. Mikroagregáty spolu s primárními frakcemi tvoří makroagregáty (> 250  $\mu\text{m}$ ). Na jejich vzniku se podílí právě dočasná interakce mezi hyfami a kořeny rostlin, nebo obal čerstvě odumřelé organické hmoty. Stálost makroagregátů je proměnlivá, neboť makroagregáty mohou nabývat svého objemu vlivem nových prorůstajících kořínků a mycelií hub, nebo v opačném případě

podléhají rozpadu vlivem měnící se vlhkosti a teploty. Pro tvorbu agregátu a následné půdní struktury hrají významnou roli rostliny, mikroorganismy, které tvoří vlákna a slizovité látky či půdní fauna (např. žížaly), která skrze zažívací trakt vylučuje velké množství slizových látek a tvoří tak příznivé prostředí pro transformaci organické hmoty. Větší část nejstabilnějších agregátů zahrnují exkrementy půdních živočichů v povrchových vrstvách. Čím stabilnější agregáty, tím více se zlepšuje kationtová výměnná kapacita, retenční kapacita, provzdušněnost a půdní pórovitost (Tisdall et Oades, 1982; Šantrůčková et al., 2018; Šimek et al., 2019a).

## 4.2 Pórovitost

Póry představují volný prostor v půdě, který je zaplněn vzduchem, vodou či půdními roztoky (Hillel, 1998). Půdní roztok určuje funkčnost koloběhu látek, jež je zásadním faktorem pro edafon a vegetaci (MENDELU, 2018). Půdní roztok i půdní vzduch dohromady tvoří přibližně 50 % objemu půdy a vyplňují mezery (póry) mezi minerálními frakcemi a organickou hmotou. S příchodem deště se póry zaplní vodou, vytlačí se vzduch a zvýší se podíl půdního roztoku. Proto se jejich reciproční procento mění v závislosti na vlhkosti půdy. Naopak při vysychání se zvyšuje procento nasycenosti půdním vzduchem. Interakce jednotlivých složek půdy způsobuje, že se navzájem ovlivňují, což vede k proměnlivosti půdního prostředí (Šantrůčková et al., 2018). Uspořádání agregátů vytváří póry, které ovlivňují procesy nezbytné ke správné činnosti ekosystému, jako je růst rostlin, přítomnost vody, proudění plynů, a především biologická aktivita. Důležitou roli sehrávají při tvorbě pórů tzv. „Ekosystémoví inženýři“, kteří svou činností shlukují agregáty (Piron et al., 2012). Pro takové funkční ekosystémové inženýrství je zapotřebí osídlení půdy druhy, které pozitivně přispívají svou aktivitou ke stmelování půdních částic a tvorbě pórů. Jejich práce je tedy udržovat půdní ekosystém v produktivním stavu (Shukla et al., 2013). V níže uvedeném *obrázku č. 8* lze vidět schématické zobrazení půdního prostředí v mikroskopickém měřítku.



Obrázek. č. 8 – Schéma půdního prostředí (převzato a upraveno online: [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)).

V případě, kdy kořeny rostlin prorůstají půdou a odebírají vodu z okolního prostředí, dochází ke spojení půdních částic v agregáty. Následně odumřelý kořen utváří prázdný prostor, tedy pór, jenž se zaplní vodou a vzduchem. Stejně jako vegetace ovlivňuje půdní póry svým růstem, tak půdní živočichové migrující půdou mají signifikantní vliv na pórovitost. Nejenže vytváří mezery mezi půdními agregáty pohybem, ale také díky vylučování exkrementů různého složení vytváří obohacené agregáty. Tudíž půdní frakce v agregátech pojí organická hmota, která zdárně odolává mineralizaci půdními organismy (Oades, 1993).

### 4.3 Infiltrace

Veškeré probíhající procesy spojené s půdním prostředím jsou vázané na vodu, s níž souvisí hydrologický cyklus, který představuje jeden ze základních aspektů pro existenci života na Zemi. V rámci vodního koloběhu se voda v podobě srážek dostává do kontaktu s půdou (Váchová, 2009). Půdní povrch představuje hranici, kde se odehrávají nepřetržité dynamické a komplikované procesy mezi atmosférou a půdou. Jedná se o rozhraní, kde se rozhoduje o způsobu odtoku. Zda voda odtече přímo do půdního profilu či odtече po povrchu přímo do toku (Dohnal, 2017). Jestliže se bavíme o vztahu mezi půdou a vodou, nelze opomenout další hydrofyzikální vlastnost půdy, která se nazývá infiltrace (Vopravil et al., 2017). Jedná se o proces, při kterém proniká voda z povrchu do půdy (Dohnal, 2017). Zjednodušeně řečeno se jedná o vsak, při kterém půda vodu absorbuje, část zadrží a zbytková voda se dostává skrze

póry do spodních vrstev profilu přes horninové prostředí do podzemních vod. Proces v souvislosti s půdou lze přirovnat k houbě, která vodu nasaje a postupně ji uvolňuje (Vopravil et al., 2017).

Půdní povrch, kde se primárně infiltrace odehrává, je zároveň biologicky nejaktivnější část půdního profilu. Vyznačuje se četným zastoupením kořenů a půdních mikroorganismů (Dohnal, 2017). Vašků (2003) uvádí, že jsou v souvislosti s infiltrací hydrologicky velmi významné tubulární pedohydatody (makropóry), které vznikají pomocí biogenních činitelů a utváří kanálkovité, či trubičkovité hrubé póry. Hlavní roli při tvorbě tubulárních pedohydatod v rámci hydrologie hrají anektické žížaly, které žijí v hlubších vrstvách půdy. Půdní migrací vytváří svislé a hluboké chodbičky, které poskytují vodě volnou infiltraci do půdního prostředí a zajišťují dobré provzdušnění půdy (SOILTEQ, 2020).

Vodní režim půd, jehož základním parametrem je infiltrační schopnost půdy, je závislý na textuře a struktuře půdy. Uspořádání agregátů v půdě ovlivňují jak expanzivní síť prorůstajících kořenů, ale také nepřetržitě pracující půdní organismy. Rozložení dutin (půdních pórů) vzniká nejen pedogenezí, kdy strukturu půdy určuje složení agregátů na základě půdního druhu, ale také odumřením kořenů rostlin či aktivitou půdních organismů. Aktivita půdní bioty ovlivňuje kvalitu a množství materiálu v organickém horizontu, jenž hraje důležitou roli v infiltrační schopnosti půdy (Sáňka et Materna, 2004; Šimek et al., 2015). *Tabulka č. 2 a 3* zahrnuje infiltrační schopnosti a propustnosti na základě půdního typu při nenasycení a nasycení vodou.

<i>Kategorie</i>	<i>Infiltrace [mm/min]</i>	<i>Půdní druh</i>	<i>Hydrologické vlastnosti a charakteristika půdy</i>
<b>A</b>	Velmi vysoká 2,5 – 5	Písčítá (převážně hluboké a nadměrně odvodněné pisky a štěrkopisky)	<b>Vysoká až nadměrná infiltrace, s časem se infiltrace nezpomaluje</b>
<b>B</b>	Vysoká 0,85 – 2,5	Písčitohlinitá - Hlinitopísčítá	<b>Půdy s velmi propustným podložím a středně těžkou ornici; např. spraše</b>
<b>C</b>	Střední 0,25 – 0,85	Hlinitá	<b>Dobře strukturální půdy, případně vyskytující se středně těžké půdy na povrchu a jíly ve spodu</b>
<b>D</b>	Nizká 0,08 – 0,25	Jilovitohlinitá	<b>Nestrukturální půdy s výrazným utužením</b> - půdy s lehčí povrchovou vrstvou a těžší (jilovitou) spodinou
<b>E</b>	Velmi nízká < 0,08	Jilovitá Jil	<b>Velmi nízká infiltrace od povrchu, v počátku může být infiltrace velmi rychlá skrze gravitační póry (trhliny) do nabobtnání jilu</b>

*Tabulka č. 2 - Infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nenasycení vodou (převzato a upraveno: Sáňka et Materna, 2004).*

<i>Kategorie</i>	<i>Infiltrace [mm/min]</i>	<i>Půdní druh</i>	<i>Hydrologické vlastnosti a charakteristika půdy</i>
<b>A</b>	Velmi vysoká <b>0,25</b>	Písčítá (převážně hluboké a nadměrně odvodněné písky a šterky)	<b>Vysoká propustnost i při úplném nasycení</b>
<b>B</b>	Vysoká <b>0,12 – 0,25</b>	Písčitohlinitá - Hlinitopísčítá (nebo např. spraš na písku; hluboké půdy)	<b>Dobrá propustnost i při úplném nasycení; střední rychlost infiltrace</b>
<b>C</b>	Střední <b>0,05 – 0,12</b>	Hlinitá	<b>Středně rychlá infiltrace i při úplném nasycení</b> -půdy hlinité v celém svém profilu, či středně těžké v povrchové vrstvě a s jílovitou spodní vrstvou
<b>D</b>	Nízká <b>0,025 – 0,05</b>	Jilovitohlinitá	<b>Nízká propustnost při úplném nasycení; silně utužené podorničí</b> - půdy v celém profilu jílovitohlinité nebo s vylehčenou ornici a málo propustnou (těžkou) spodní vrstvou
<b>E</b>	Velmi nízká <b>0,025</b>	Jilovitá Jily (s vysokou bobtnavostí)	<b>Velmi nízká propustnost při úplném nasycení; vysoká hladina podzemní vody při povrchu</b>

*Tabulka č. 3 - Infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení vodou (převzato a upraveno: Sánka et Materna, 2004).*

#### **4.3.1 Filtrace**

Další nepostradatelnou vlastností půdy je filtrace. Představuje aspekt, který úzce souvisí s infiltrační schopností. Půda funguje jako přírodní filtr v případě, kdy voda protéká skrze půdní prostředí. Díky vlastnostem a biologické rozmanitosti, které půda zahrnuje, dokáže znečištěnou vodu čistit. Efektivita a rychlost filtrace závisí na již zmíněných fyzikálních vlastnostech půdy zahrnující zrnitost, strukturu, texturu (půdní druh). Na základě těchto schopností zabraňuje půda vzniku povodní a sucha, či přispívá k retenci vody v krajině (Vopravil et al., 2017).

#### **4.4 Retence**

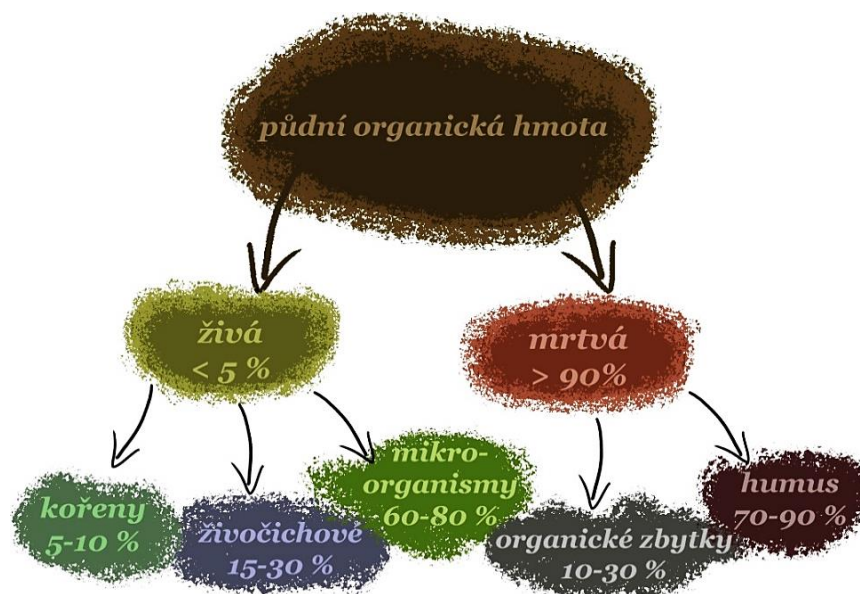
Pojem „retence“ v této souvislosti vyjadřuje přirozené zadržení vody v krajině. Dle normy ČSN 75 0101 z oblasti vodního hospodářství se definuje retence v rámci přirozené funkce půdy jako zadržení vody na povrchu terénu, v půdě či v korytě toku. Zahrnuje se také rozdíl přítoku do uvažovaného prostoru a odtoku z něho za časovou jednotku. Tento jev je ovlivňován mnoha faktory, které v důsledku činí retenci proměnlivou v prostoru i čase. Znalost proměnlivosti půdní vlhkosti v prostoru i čase je nezbytná nejen v souvislosti s vodním hospodářstvím, ale také v rámci ochrany půdy (Hřebejková, 2018).

Kapacita zadržení vody je u zdravé půdy vysoká, na každém metru čtverečním půdy je při obvyklé půdní vlhkosti kumulováno zhruba 100 až 200 litrů vody, avšak po vydatnějších deštích až dvojnásobek. Jestliže se schopnost retenční kapacity naruší, např. jejím zhutněním či zástavbou, voda z krajiny je odváděna, což může způsobit nežádoucí důsledky v rámci životního prostředí. Nejvyšší možné množství vody, které saturovaná půda může zadržet, se nazývá „*nasáklivost půdy*“ a závisí na komplexní pórovitosti. Maximum obsahu vody v pedonu se pohybuje okolo 40-60 % objemu půdy (Šimek et al., 2019a).

Při dosažení půdy stavu nasáklivosti v případě vydatných dešťů, se začínají primárně vyprazdňovat makropóry působením gravitačních sil. Obsah vody v půdě se tak sníží na kapacitu zvanou „*polní vodní kapacita*“. V tento moment ustává pohyb vody dolů v půdním profilu a snižuje se obsah vody, která zaujímá 10-55 % objemu půdy. Obsah vody v půdě a její dostupnost ovlivňuje textura (Glet, 1975). Retenční schopnost půdy je závislá na kvalitních fyzikálních vlastnostech (struktura, textura, pórovitost), které příznivě ovlivňuje obsah organické hmoty a aktivita půdních organismů. Badalíková et Novotná (2015) zjistily, že přidáním organické hmoty formou kompostu pozitivně ovlivňují fyzikální vlastnosti půdy (např. pórovitost), obsah humusu, a především retenční schopnost půdní vody. Dále Brown et Cotton (2011) zjistili, že přísun organické hmoty také zvyšuje aktivitu půdních mikroorganismů.

## 5. PŮDNÍ ORGANISMY

Dle laika by půda mohla představovat neživou složku, vždyť přeci nepředstavuje organismus a jednoduše řečeno, není živá. Ta, po níž se procházíme, na níž stavíme svá obydlí, průmyslová střediska, komunikace či obchodní domy, je pro laika jen „hlína“. Je to jen „hlína“, avšak která život dává a sama o sobě se také životem jen hemží. Zemina je plná živých organismů v nepřeberném množství, a proto se můžeme o půdě bavit jako o živé. V zemi žije enormní množství organismů, které z větší části ani nemůžeme zpozorovat pro jejich nepatrnou velikost (Šimek et al., 2019b). V půdě se vyskytuje obrovská síť živých organismů, která funguje jako infrastruktura. Je to doslova fascinující „neviditelný tým“, pracující pro lidstvo, jejichž schopnosti v mnoha směrech předčí naši bujarou fantazii. Souhrnně se veškeré organismy žijící v půdě nazývají edafon a to nezávisle na tom, zda žijí v zemi trvale, či dočasně (Šimek et al., 2015). V půdě žijí dvě třetiny všech živočišných druhů. V pouhé hrstce zeminy se nachází více organismů, než kolik žije lidí na celém světě (Chemnitz, Weigelt, 2015). Veškerá průměrně na kvalitu bohatá půda ukrývá nespočet organismů. Obsah takové hmoty ukrývá kromě kořenů také hojný výskyt mikroorganismů a půdních živočichů (viz obrázek č. 9). Pro představu 1 kg půdy, který obsahuje cca 3 % půdní organické hmoty (30 g), osidluje v průměru 4 % organismů (1,2 g). Podíl mikroorganismů na živé hmotě představuje 75 % (0,9 g), přičemž půdním živočichům připadá 20 % (0,24 g) a kořenům 5 % (cca 0,06 g) (Šimek et al., 2015).



Obrázek. č. 9 – Složení půdní organické hmoty v hmotnostních procentech (převzato a upraveno: Šimek et al., 2015).

## 5.1 Heterogenita edafonu a půdního prostředí

„Živěna půdní“, takto se definuje edafon ve Slovníku přírodních věd z roku 1940 a definuje edafon jako „soubor živých organismů drobně- i hrubohledných, půdu obývajících a na ní svým životem odkázaných.“ Zahrnuje tyto skupiny organismů: bakterie (*Bacteriophyta*), houby (*Phycomycety*, *Basidiomycety*, *Actinomycety*), řasy (*Algae*), prvoci (*Protozoa - Rhizopoda*, *Amoeba*, *Diffugia*, *Rotatoria*), červci (*Coccoidea*), roupice (*Enchytraeidae*), želvušky (*Tardigrada*), hmyz (*Insecta*), pavouci (*Araneae*), stonožky (*Chilopoda*), korýši (*Crustacea*), měkkýši (*Mollusca*), savci (*Mammalia*). Půdní organismy se popisují jako biocenóza, kde hlavní roli hraje vztahová interakce. Vzájemně si připravují substrát a poskytují výživu (např. mikroedafon je potravou žížal apod.). Edafon ovlivňuje chemické i fyzické vlastnosti půdy, činní rozklad a přeměnu ústrojných látek, napomáhá tvorbě struktury půdy, čímž se stává půda provzdušněnou a také napomáhá při biologickém čištění živěny. Ovšem postupem času došlo k podrobnějšímu rozdělení a ke změnám. Definice pojmu edafon, se tudíž stala komplikovanější (Kaviny, 1940; Motyčka et Motyčková, 2016).

Edafon se v současnosti jednoduše dělí na fytoedafon a zooedafon. Fytoedafon zahrnuje bakterie (včetně aktinomycet), archea, houby a řasy. Zooedafon představuje veškeré živočichy, tj. makroorganismy. Nutno podotknout, že se zmíněné termíny nepoužívají v mikrobiologii, nicméně v půdní zoologii se kategorie zooedafon běžně používá a větví se dále do skupin (Šimek et al., 2019b).

Půdní živočichy lze rozdělit do skupin na základě časové proměnlivosti výskytu v prostředí. První skupina zahrnuje živočichy, kteří v půdě žijí celý život, tj. celý životní cyklus. Souhrnně se charakterizují jako **permanentní**. Označují se za tzv. „pravé“ půdní organismy a přiřazují se k nim chvostoskoci (*Collembola*), roztoči (*Acari*), některé druhy brouků (*Coleoptera*), roupice, žížaly, z větších živočichů pak např. krtek (*Talpa europaea*). Druhá skupina zahrnuje tzv. **periodické** půdní živočichy, kteří zpočátku svého života žijí v půdě a jako dospělci ji opouštějí. Pak se vracejí zpět do půdního prostředí. Zástupci této skupiny jsou např. škvoři (*Dermaptera*), drabčíkovití (*Staphylinidae*) a také brouci (*Coleoptera*). Třetí skupina se nazývá **temporární** a jedná se o živočichy, kteří tráví počátek života pod zemí ve stádiu vajíček a kukel. V dospělosti žijí mimo půdní prostředí (např. larvy kovaříkovitých brouků, larvy dvoukřídlých, některé druhy chvostoskoků a roztočů). Poslední skupina živočichů půdu spíš jen využívá, a to buď k ukrytí neaktivních stádií (vajíčka, kukly)



či v zemi hibernují. K této skupině patří zejména motýli (*Lepidoptera*) i některé další druhy hmyzu, zástupci obratlovců či měkkýši. Tato skupina se nazývá **tranzitorní** (Wallwork, 1970; Rusek, 2000).

Diverzita půdních organismů je rozptýlena v konkrétních půdách se specifickými podmínkami. O zastoupení určitých druhů rozhoduje především vliv vnějšího prostředí a stav půdy, přičemž v důsledku proměnlivosti půdního prostředí dochází k heterogenitě půd (Šimek et al., 2019b). Jak je známo, půda je životním prostředím mikro i makroorganismů a právě díky interakci mezi všemi živými složkami se vytváří příznivé půdní prostředí. Fyzikální vlastnosti půdy jsou výsledkem činnosti živých složek, zejména právě organismů a tyto vlastnosti představují měřítko půdní kvality. Vysoká diverzita půdních organismů vykazuje kvalitu a intenzitu pedogeneze a kvalitu půdy (Kuráž, 2003). Edafon sice zahrnuje jen malé procento z půdní masy (viz obrázek č. 9), ale představuje nepostradatelný článek pro fungování půdy včetně jiných ekosystémů a ostatních zemských sfér, jež navazují na pedosféru (Šimek et al., 2019b).

### **5.1.1 Prostorová heterogenita**

Žádná půda není homogenní v celém svém objemu, což reflektuje to, jak moc se půda mění v čase v souvislosti s dynamickým charakterem půdních procesů. Důkazem je stratifikace půdního profilu, jehož vrstvy se liší barvou, strukturou, velikostí agregátů, vlhkostí a jinými ne snadno viditelnými vlastnostmi. Z hlediska kvality půdy je důležitý obsah organické hmoty a ten se stejně jako vlastnosti půdy mění s hloubkou (Rusek, 2000).

Společenstvo edafonu tvořené druhy a populacemi mikroorganismů a živočichů, pro něž je specifické prostředí s určitými fyzikálními vlastnostmi, se vyznačuje heterogenitou ve smyslu prostorovém a proměnlivém v čase. Prostorová heterogenita půdních organismů souvisí s heterogenním rozložením půdy do vrstev, tj. horizontů, jenž zahrnují četné množství mikro-, mezo- a makroprostředí s rozličnými kombinacemi faktorů. Fyzikálně-chemické faktory (vlhkost, teplota, pH, živiny, zdroje uhlíku, minerální složení a tak podobně) ovlivňují výskyt, početnost, biomasu a rozmanitost půdních organismů, avšak je důležité zmínit, že tyto faktory značně přispívají k přeměně látek a energií v živém organismu, což představuje důležitý článek pro průběh biologických procesů v půdě (Šimek et al., 2019b). Potřebné je

uvědomění si toho, že aktivita půdních organismů a půdní biologie tvoří základ optimálních fyzikálních vlastností půdy. Fyzikální degradace představuje závažný negativní proces ohrožující vitalitu půd, přičemž vlivem degradace textury a ztrátou pórovitosti zhutněním půda ztrácí aktivně pracující organismy a přestává být produktivní (Szűcs et al., 2014).

### **5.1.2 Časová heterogenita**

Heterogenita společenstev v čase je způsobena nejen přirozenou populační dynamikou, ale také proměnlivostí podmínek půdního prostředí. V rámci půdního prostředí je typická změna teploty, vlhkosti, a jiných signifikantních faktorů, přičemž se v této souvislosti mění také gradienty koncentrací živin a plynů. Výsledkem interakce působení mezi všemi faktory je určitá skladba půdního společenstva, jeho biomasa či půdní biologická aktivita ve specifické půdě v daném čase (Šimek et al., 2020). Časoprostorová interakce mezi půdním společenstvem a vlastnostmi půdy představuje „energetický článek“ pro celý ekosystém. Společné působení faktorů tvoří stabilní půdní prostředí, ale zmíněné faktory také musejí být udržitelné a tuto roli zpětné vazby v rámci půdního prostředí hraje právě edafon.

## **5.2 Vliv půdních organismů na vlastnosti půdy**

Edafon ovlivňuje spoustu půdních vlastností. Přetváří organickou hmotu na humus, zajišťuje přeměnu cizích látek (degradace pesticidů, ropné deriváty atd.) pomocí rozkladných, oxidačních, redukčních, či syntetických pochodů. Stejně tak zajišťuje podstatné transformace energie a tvoří reaktivní látky, čímž ovlivňuje chemismus půdy. Každá skupina půdní bioty se v čase podílí na pochodech v půdě odlišně. Mega- a makrofauna zajišťují mechanické pochody organického materiálu, jako je její transport či rozměňování zahrnující chemickou transformaci trávením (Pavlu, 2019). Mezofauna se živí půdní organickou hmotou, jejíž obsah zahrnuje vše živé, co lze v půdě najít, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 5. Živí se tedy živou složkou od kořenů rostlin po mikroorganismy, včetně mrtvé, tj. odumírajícími živočichy a rostlinami (Britannica, 1998). Tito půdní bezobratlí podporují rozklad organické hmoty, koloběh živin (zejména dusík, uhlík) a strukturu půdy, která usnadňuje vstup vody do půdního prostředí (George et al., 2017). Odstraněním kořenů

otevírají drenážní a provzdušňovací kanálky (póry), které zanáší svými exkrementy a ty dále rozkládají menší organismy (Britaninica, 1998).

Mikroedafon zahrnující mikroflóru (např. bakterie, houby, aktinomycety atd.) a mikrofaunu (např. prvoci, hlístice, roztoči atd.) obstarává přeměnu mrtvé a rozkládající se organické hmoty na živiny mineralizací, která štěpí složitější organické sloučeniny na jednodušší molekuly. Tento rozklad zajišťuje přísun živin především rostlinám a představuje jednu z nejdůležitějších ekosystémových služeb prováděných půdními organismy. Mikrobiální aktivita je indikátor zdravé půdy a zdravá půda snadno odolává negativním jevům jako je půdní eroze či degradace půdy (Barrios, 2007; Elbl, Záhora, 2014).

### **5.3 Působení půdní bioty na hydrofyzikální vlastnosti**

Jestliže je půda v dobrém stavu, dokáže účinně zadržet a regulovat určité množství vody dostupné pro rostliny. Schopnost půdy zadržet vodu, je dána infiltrací, která je ovlivnitelná půdními póry, tj. půdní strukturou. Struktura závisí na řadě faktorů ovlivňující její uspořádání, což je textura, obsah a kvalita organické hmoty, či její rozklad, jakožto půdotvorný proces a významně ji ovlivňují „strukturotvorní“ činitelé mezi něž patří půdní biota (Šantrůčková et al, 2015).

Mnoho biologických procesů má vliv na fyzikální vlastnosti půd, jenž zároveň signifikantně ovlivňují růst rostlin. V post-těžebních oblastech hrají fyzikální vlastnosti důležitou roli v rámci rekultivace. Post-těžební lokality jsou ideálním prostředím pro zkoumání vlivu půdních organismů na fyzikální vlastnosti půd, avšak jejich vliv je prokazatelný i v lokalitách s odlišným půdním druhem či typem. Důležitými činiteli jsou kořeny rostlin a makroorganismy a představují tak podstatnou část půdy, která významně mění fyzikální vlastnosti půdního prostředí. Zjevný efekt, jenž vytváří pórovitost v půdě, představuje bioturbace makroorganismů (Frouz, 2016). Jedná se o činnost, při které půdní živočich narušuje sediment svou aktivitou (např. hrabání, vytváření chodbiček, lezení, zavrtávání se) (Petránek et al., 2016). Půdní biota se skládá z mikroorganismů (bakterie, houby, archea a řasy), půdních živočichů (prvoci, hlístice, roztoči, chvostoskoci, pavouci, hmyz a žížaly) a samozřejmě rostlin. Jsou to organismy, které žijí trvale, či dočasně v půdě. Mikroorganismy sice jsou součástí půdní bioty, ale neřadí se mezi půdní faunu. Půdní fauna je definována jako

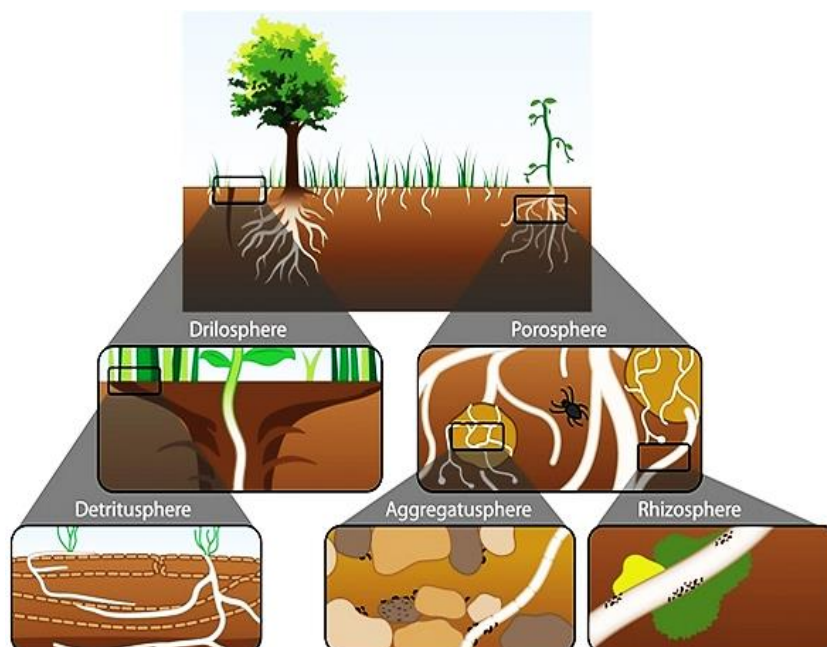
sbírka všech mikroskopických a makroskopických živočichů v určité půdě, respektive jak bylo zmíněno (viz 5.1.1), záleží na podmínkách půdního prostředí (Fortuna, 2012).

### **5.3.1 Půdní biota a její vliv na strukturu půdy**

Distribuci velikosti pórů určuje půdní struktura a také samozřejmě textura půdy, jenomže půdní textura je daná genezí a nemůžeme ji ovlivnit, přičemž půdní struktura je velmi variabilní a lehce ovlivnitelná (Šimek, 2003b). Je lehce ovlivnitelná jak člověkem, tak půdní biotou, avšak půdní organismy na ní mají pozitivní vliv. Jak bylo zmíněno v kapitole STRUKTURA PŮDY, půdní strukturu tvoří agregáty a volný prostor mezi nimi, který je vyplněný vodou, či vzduchem (viz 4.1.). Mimo jiné se půdní struktura, v souvislosti s rozložením velikosti půdních pórů, také vyznačuje schopností retence (viz 4.4) a tvořené mezery (póry) půdními agregáty slouží půdním organismům jako útočiště (Six et al., 2004).

Přiblížením pohledu do půdní struktury na její stavební jednotku lze zjistit, že půdní agregát přirozeně tvoří nahromaděný písek, bahno, jíl a organická hmota, jež tvoří fragment. Fragment je protkán půdními vlásečnicemi a obývá ho četné množství mikroorganismů, jejichž sekreční slizy slouží jako pojivo. Součástí agregátu jsou také hyfy hub, které svým růstem vytváří další póry (mikropóry) a rhizosféra (kořenový systém prorůstající půdou) agregáty sdružuje (Sylvia et al., 2005). Dočasná pojiva produkovaná půdními organismy pomáhají při tvorbě makroagregátů, které jsou tvořeny stabilnějšími mikroagregáty (viz obrázek č. 11).

Taková dispozice ochrany půdní organické hmoty organismy v rámci stability agregátů ve vodě, je důležitým bioticky regulovaným mechanismem pro udržení a akumulaci organické hmoty v půdě. Tyto makroagregáty představují „aktivní arénu“ (viz obrázek č. 10), kde se odehrávají interakce plynů, vody, organismů, organických a anorganických složek v mikroskopické škále (Beare et al., 1997; Fortuna, 2012).



Obrázek č. 10 – Aktivní arény zahrnující „hotspots“ aktivity půdní bioty (převzato online: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-soil-biota-84078125/>).

Aktivní arény zahrnující „hotspots“, tj. oblasti s vysokou diverzitou půdní bioty, jsou to zóny nebo ekosystémy, kde je půdní biota aktivní. Obrázek č. 10 znázorňuje schéma zahrnující „drilosféru“ (část objemu půdy ovlivněna sekrecí žížal), „pórosféru“ (celkový prostor rozložení pórů), „detritosféra“ (odumřelé rostliny a živočichové), „agregátová sféra“ (suma agregátů) a rhizosféru (Fortuna, 2012).

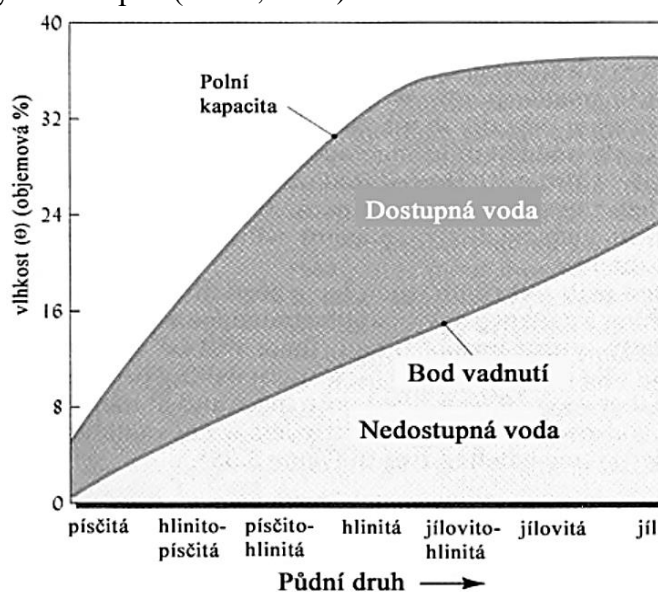


Obrázek č. 11 – Schéma interakce makroagregátu a půdní bioty v mikroskopickém měřítku (převzato online: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-soil-biota-84078125/>).

### 5.3.2 Ekosystémový inženýři

Půdní druhy, které takto pracují v půdním prostředí se nazývají *Ekosystémoví inženýři*, jež svou aktivitou modifikují, vytvářejí či udržují prostředí. Také přímo nebo

nepřímo ovlivňují dosažitelnost zdrojů pro jiné organismy změnou okolního prostředí (Jones et al, 1994). Jedni z mnoha efektivních ekosystémových inženýrů jsou červi a žížaly, kteří svou mobilitou tlačí půdu do strany a tvoří tak podél stěny zhutněnou půdu díky slizovému pokryvu. Vzniklé tzv. „biopóry“ zvyšují infiltrační schopnost půdy. Žížaly také především přispívají tvorbou půdních agregátů vylučováním, čímž se zvyšuje podíl organické hmoty a retenční kapacita půdy se stává stabilnější (Frouz, 2016). Žížaly ovlivňují fyzikální parametry nejen tvorbou chodeb, čímž zvyšují pórovitost a zlepšují transportní charakteristiky (hydraulická vodivost, infiltrace, vodní potenciál), ale také svými exkrementy, jejichž složení je stabilnější než okolní agregáty a pozitivně tak působí na retenci vody a velikost povrchů v půdě (Pižl, 2003). Zvýšení polní vodní kapacity, tj. množství vody, které je půda schopna zadržet vlastními silami, bylo vyšší, než bod vadnutí (množství vody, při kterém rostlina vadne, tj. vlhkost půdy, kdy rostliny nemají dostatek vody) a to právě díky ekosystémovým inženýrům. Aktivita půdní fauny tedy zlepšuje schopnost půdy zadržovat vodu, která je poté potenciálně dostupná pro rostliny a má vliv na tvorbu celého půdního profilu, který pak následně ovlivňuje vývoj celého ekosystému. Dá se říci, že za celý vývoj rostlinného společenstva vděčíme právě aktivitě půdní fauny, tj. bioturbaci půdních živočichů (Frouz, 2016). *Obrázek č. 12.* graficky znázorňuje, že hlinitá až jílovito-hlinitá půda má schopnost poutat nejvíce dostupné vody. Schopnost zadržení vody písčitou půdou je minimální a jílovité půdy vodu sice zadržují, ale schopnost infiltrace je u těchto půd velmi nízká, tudíž velké procento zadržené vody bývá pro rostliny nedostupné (Pavlů, 2019).



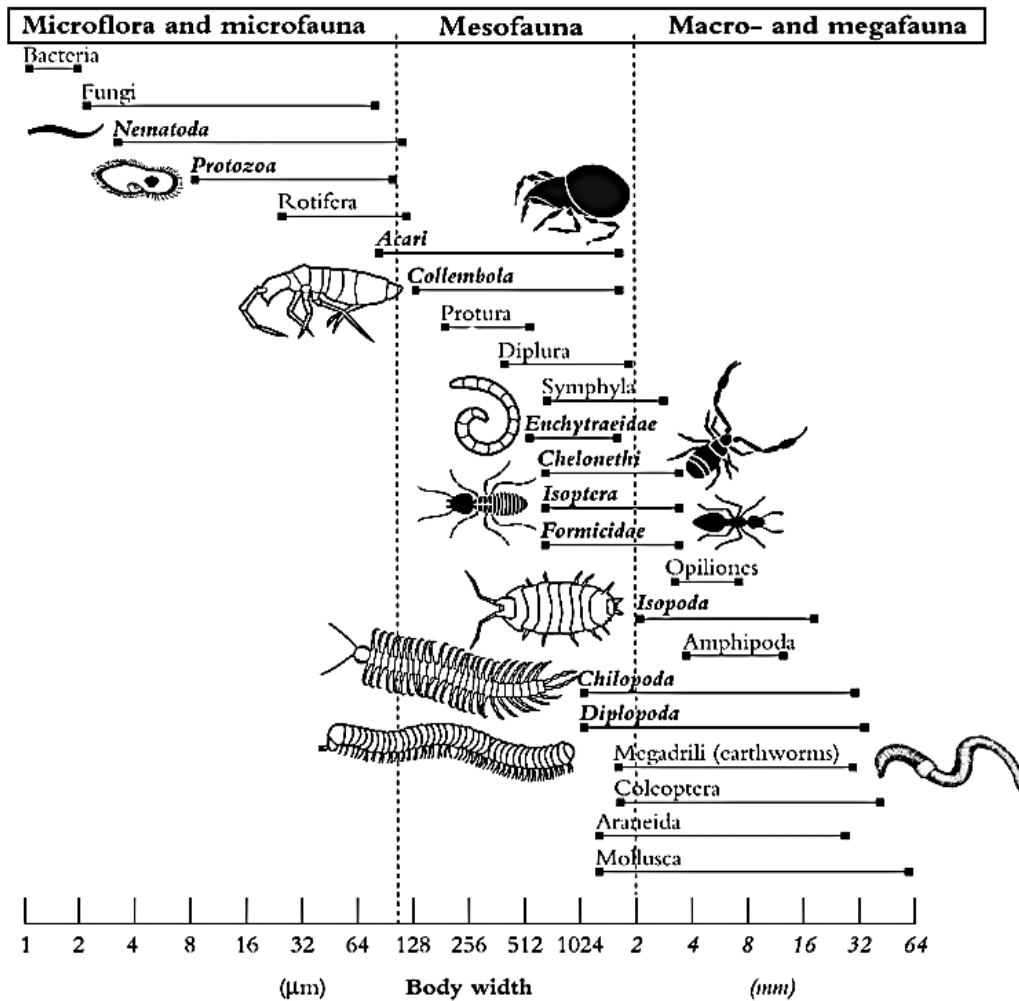
*Obrázek č. 12 – Polní vodní kapacita a bod vadnutí v závislosti na půdním druhu (Pavlů, 2019).*

## 6. STRUKTURA PŮDNÍCH ORGANISMŮ A JEJICH FUNKCE

V jedné čajové lžičce půdy, lze zpozorovat „biologický vesmír“. Půdní organismy v tomto malém „vesmíru“ transformují energii, vytváří a modifikují prostředí, činí půdu zdravou a v neposlední řadě napomáhají regulaci skleníkových plynů. Je to taková „*teorie všeho*“ živého v rámci heterogenního půdního prostředí, kde jsou zahrnuty interakce nikdy neustávajících procesů a aktivity půdních organismů na všech úrovních a škálách, jejíž výsledkem je organizovaná půdní hmota s danými fyzikálními vlastnostmi. Jediný gram půdy zahrnuje všechny domény (*Bacteria*, *Archaea*, *Eucarya*) a prvky života (H, C, N, P, O, S), které jsou transformovány a procházejí půdními organismy (Fortuna, 2012; Madsen, 2016). Půda, která nabízí bohaté heterogenní podmínky pro existenci, umožňuje vysokou různorodost života související s diverzitou půdních organismů, čímž zajišťuje stabilní funkci společenstev v rámci ekosystému (Radochová, 2013).

Edafon zahrnuje široké spektrum organismů velikostně menších než jeden mikrometr až po desítky centimetrů. Obsahuje tedy mikroorganismy i makroorganismy (bezobratlé, obratlovce). Obecně se půdní bezobratlí na základě velikosti klasifikují do skupin: MIKROFAUNA (viz 6.1.2), MEZOFAUNA (viz 6.2.1), MAKROFAUNA (viz 6.2.2), MEGAFANA (viz 6.2.3) (Menta, 2012). Mikroorganismy a bezobratlí se vzájemně podílejí na tvorbě organické hmoty či struktury, přičemž obratlovci primárně tvoří půdní profil promícháváním a převrácením půdních vrstev a vytvářejí složitý systém chodeb (Šantrůčková et al., 2015). Půdní biota, zahrnující četná společenstva organismů, tvoří velkou část světové biodiverzity a řídí procesy, které jsou pokládány za globálně důležité v rámci recyklace organické hmoty, transformace energie a živin. Především jsou klíčovými činiteli v několika podpůrných a regulačních ekosystémových službách (Menta, 2012). V rámci hydrofyzikálních vlastností se na tvorbě půdní struktury podílejí jak půdní mikroflóra, tak půdní fauna. Při tvorbě půdních agregátů hraje významnou roli mikroflóra, která půdní fragmenty stmeluje produkcí polysacharidových komponent (Chenu, 1993). Půdní fauna, jak už bylo zmíněno (viz 5.3.2), upravuje strukturu tvorbou agregátů exkrementy, jež stmelují drobnější fragmenty ve větší půdní komplexy, či naopak. Větší rozmělnují na menší struktury. Další, avšak již zmíněnou činností, kterou půdní fauna mění

prostorové uspořádání částic, je tvorba chodeb. „Bioturbátoři“ svou aktivitou, tj. pohybem, vytvářejí hustou síť pórů, která napomáhá zlepšovat retenční schopnost půdy. Stěny tvořené některými živočichy jsou potažené sekrečními slizy či jíly a tyto látky umožňují propustnost vody či plynů skrze stěny pórů. Tímto se modifikují póry, které mají vliv na aeraci a infiltraci. Jedním z mnoha významných bioturbátorů jsou mravenci, kteří tvorbou pórů snižují vodní erozi na disturbované ploše (např. post-těžební oblasti). Vytvořené póry následně zaplněné vodou, osidlují mikroorganismy, které umocňují mineralizační procesy (Lavelle et al., 1997; Nkem et al., 2000; Frouz, Jerhot, 2003). Následující rozdělení půdních organismů zahrnuje mikroorganismy a makroorganismy, jež jsou z hlediska ekologie v rámci půdního prostředí důležité (viz obrázek č. 13). Klasické fylogenetické dělení je tedy mírně potlačeno a upraveno pro lepší přehlednost. Níže je uvedený výčet organismů v jednotlivých skupinách, které hrají v půdě důležitou roli z hlediska ekosystémové funkce a mají vliv na půdní vlastnosti, zejména hydrofyzikální (půdní struktura, pórovitost, infiltrace, retence).



Obrázek č. 13 – Rozdělení půdní fauny v rámci velikosti (převzato a upraveno: Nielsen, 2019)



## 6.1 Mikroorganismy

Půda je důležitou součástí v rámci udržitelnosti biologické rozmanitosti nad i pod zemí, avšak toto bohaté a expanzivní společenství je nedoceněné. V několika gramech orné půdy setrvává a množí se milióny mikroorganismů a představují neustále pro naši Zemi pracující systém, bez něhož by život na Zemi nemohl fungovat (Johns, 2017). Mikroorganismy tvoří nepočtenější skupinu a zahrnují archea, bakterie, aktinomycety, houby. Mohou být přirovnány k oušku jehly, kterým musí projít veškerý odpad, jenž vstoupí do půdy (Šantrůčková, 2014). Mikroorganismy jsou přímo ovlivňovány základními půdními vlastnostmi (vlhkost, kyslík, chemie) a jejich vzájemnou interakcí. Vitalita půd s níž souvisí i zdraví rostlin, je závislá na třech vzájemně se ovlivňujících a na sobě závislých složkách: fyzikální vlastnosti půdy (struktura, textura, absorpce a retenční kapacita vody), biochemické procesy v půdě, jež zahrnují koloběh a transport živin, včetně přítomnosti chemických podmínek v půdním prostředí (salinita, zásaditost, kyselost) a především biologická aktivita půdních mikroorganismů, které v půdě žijí trvale a interagují s ostatními složkami v půdním prostředí. Mikroorganismy žijí buď přímo v půdě (v pórech), v organické hmotě nebo v samotných půdních organismech a vykonávají v půdě mnoho životně důležitých procesů. Většina z nich plní rozhodující funkce v cyklech prvků (např. uhlíku, dusíku) a živin (Johns, 2017).

### 6.1.1 Mikroflora

Nejpočetnějšími zástupci jsou archea a bakterie. V jednom gramu půdy jich je  $10^8$  až  $10^{12}$ , ovšem záleží na místě výskytu, který se analyzuje. Vyskytují se ve spodních horizontech chudých na organickou hmotu, v rhizosféře či nadložním humusu. Jsou menší než jeden mikrometr. Jejich výskyt je limitován vodou, resp. je omezen na vodu naplněné póry či na vodní film na povrchu půdních agregátů. Osídlují póry o velikosti deseti mikrometrů, které jim slouží spíše jako úkryt před predací prvky (Šantrůčková, 2014).

#### *Archea (Archaea)*

Jedná se o jednobuněčné prokaryotní organismy a jak bylo zmíněno výše, jsou menší než jeden mikrometr a původně byly řazeny k bakteriím, kterým jsou také velmi podobné (Pace, 2006). Signifikantně ovlivňují tok živin v půdách, jejich transformaci a koloběhy na celé Zemi. Lze je najít ve všech půdách každého

ekosystému, vyznačují se unikátními enzymy a proteiny vyskytující se u extrémofilních druhů (Šantrůčková, 2014). Tato skupina je adaptována na extrémní podmínky, neboť dokáží přežít i např. v horkých hlubomořských pramenech, či v ledu (DeLong, 1998). Vynikají širokým spektrem metabolických pochodů, kdy plní důležitou funkci ve většině procesů transformace živin a organické hmoty, neboť chemotrofní archea získávají energii z anorganických, či organických látek. Jsou důležitými hráči v procesech oxidace amoniaku, disimilativní redukce nitrátů, v denitrifikaci aj. V prostředí bez přístupu kyslíku produkují metan, či redukují síru (Šantrůčková, 2014).

### ***Bakterie (Bacteria)***

Bakterie jsou charakteristické stejně jako archea tím, že k získání energie a tvorbě buněk využívají metabolické pochody, tj přeměnu. Představují proto enormní funkční diverzitu a nepostradatelný článek v procesech transformace uhlíku a živin v půdě (Šantrůčková, 2014). Jejich výskyt se orientuje do svrchní vrstvy 15 cm hluboké, kde se nachází také archea. Na základě příjmu energie se dělí na čtyři skupiny:

- 1. fotolitotrofové** – energii přijímají ze slunečního záření;
- 2. foto-organotrofové** – vyznačují se schopností fotosyntézy;
- 3. chemo-litotrofové** – jako zdroj energie využívání oxidačně-redukční reakce;
- 4. chemo-organotrofové** – obdobné získávání energie využitím redukční reakce jako u třetí skupiny, ale pomocí organické sloučeniny.

Vyšší druhovou rozmanitost vykazují spíše heterotrofovní, nežli autotrofovní organismy, nicméně jejich ekologická funkce je významná hlavně díky jejich metabolismu, čímž mohou osidlovat snadno rozložitelný substrát (hnůj, bílkoviny atp.) a především podmačené půdy, kde není dostatek kyslíku (Weil, Brady, 2007). Bakterie jsou nepostradatelnou součástí finální mineralizace v rámci rozkladu organické hmoty. Představují nedílnou součást života rostlinných i živočišných organismů, se kterými tvoří širokou škálu interakcí, od symbiózy po negativní vlivy, jako je např. parazitismus (Šimek et al., 2019b). Přebírají zodpovědnost za mnoho biochemických procesů v půdě, čímž udržují existenci života na Zemi (Průchová, 2012). Bakterie jsou nejen klíčovou součástí metabolických funkcí, které ovlivňují zdraví rostlin a půdy, ale také vykonávají prospěšné funkce v rámci rozkladu a tvorbě organické hmoty, struktury půdy a v neposlední řadě podporují růst rostlin (Kennedy, 1999). Hrají

důležitou roli při tvorbě půdní struktury tím, že rozkládají komplexní sloučeniny organických zbytků na jednodušší. Tento metabolický proces poskytuje „živnou půdu“ pro další mikroby (Průchová, 2012). Na vnější straně buněčné stěny se nachází slizová vrstva chránící povrch buňky. Ta je tvořena polymerním materiálem obsahujícím polysacharidy. Je-li vrstva kondenzovaná, nazývá se pouzdro. Je-li utvořena vlákný sítovitý charakteru, nazývá se glykokalyx. Tyto ochranné struktury nejen zajišťují podstatné vlastnosti dané buňky, ale jsou také klíčové pro půdní procesy. Slizová vrstva zajišťuje adhezi k biotickým i abiotickým povrchům, tvorbu biofilmu, interakci s kořeny rostlin, záchyt živin a v neposlední řadě ochranu proti stresovým vlivům (např. vysychání, působení antibiotik a těžkých kovů). Avšak velmi důležitou funkci plní stmelovací efekt v půdním prostředí, který napomáhá vzniku půdních agregátů a tím podporuje biologickou aktivitu (Elhottová et al., 2020).

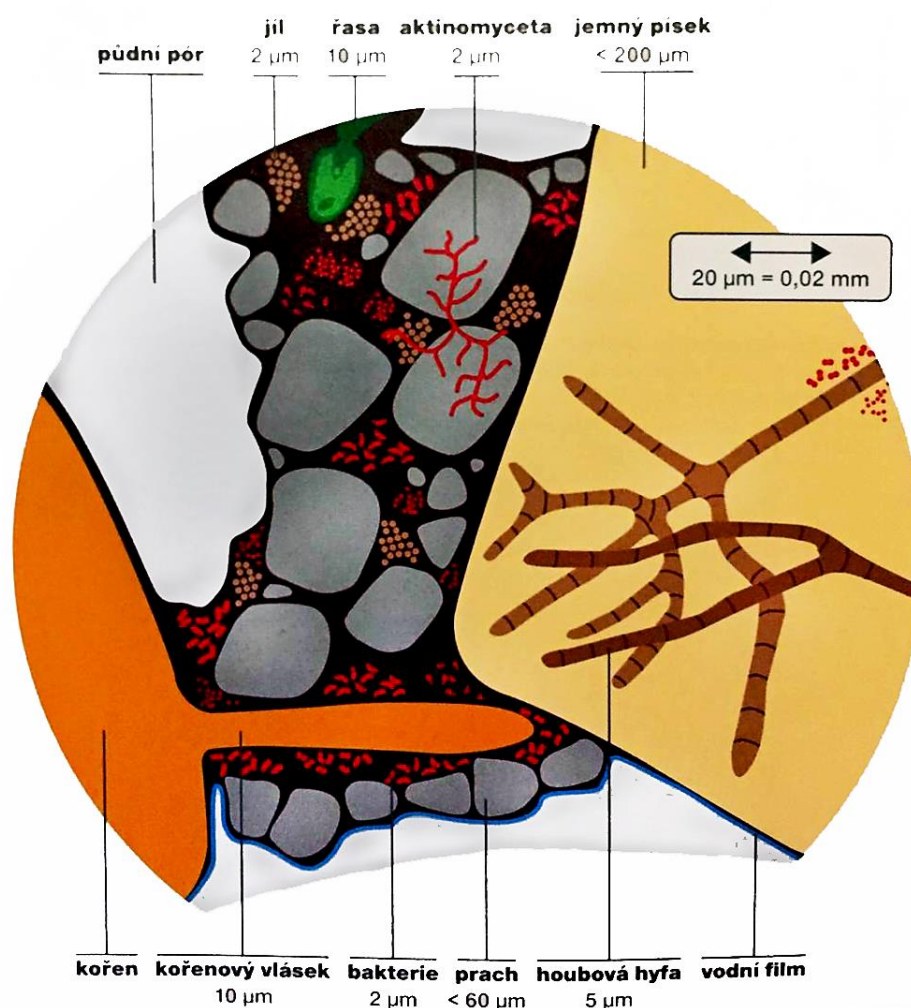
### ***Aktinomycety (Actinobacteria)***

Aktinomycety, v současnosti nazývané se *aktinobakterie*, mají rozmanitou morfologii. Buď jsou vláknité či jsou ve tvaru koků a tyčinek. Z větší části se jedná o aerobní heterotrofy, kteří se vyznačují schopností rozkládat i těžce rozložitelnou organickou hmotu. Jejich prosperujícím habitatem jsou vlhké, teplé a provzdušněné půdy (Lavelle, Spain, 2001). Tato skupiny je významná především z hlediska různorodého metabolismu. Lehce se adaptují vzhledem k jejich velkému genomu, který obsahuje velké množství genů, jež umožňují přizpůsobení se podmínkám prostředí. V půdním prostředí fungují jako aktivní rozkladači rostlinných, živočišných a houbových zbytků, díky jejich individuální schopnosti efektivně využívat organické polymery lignin, celulózu a chitin, jakožto zdroj uhlíku (Šimek et al., 2019b).

### ***Houby (Fungi)***

Jedná se o heterotrofní organismy, které k životu potřebují kyslík. Upřednostňují makropóry a prostory mezi půdními agregáty, avšak nevyskytují se v mikropórech. Stejně jako bakterie jsou osmotrofní, tj. přijímají živiny půdním roztokem, avšak mohou přežívat i v pórech zaplněných vzduchem, neboť pomocí hyf si vodu i živiny dokážou transportovat z větších vzdáleností (Šantrůčková, 2014). Jakožto heterotrofní organismy se živí organickými látkami, které jsou vytvořené jinými organismy (autotrofními) a dle jejich ekologické funkce se dělí na skupiny: saprotrofní – využívají mrtvou biomasu jako její dekompozitoři,

parazitické – osidlují živočichy, rostliny i jiné houby, *symbiotické* – získávají uhlíkaté látky z kořenů rostlin, zejména mykorhizní symbiotické houby či houby, které se podílejí na tvorbě lišejníků, kterým uhlíkaté látky dodávají řasy a sinice (Šimek et al., 2019b). Svou aktivitou se podílí na tvorbě humusu či agregátů (Radochová, 2013). Při tvorbě metabolických procesů jsou efektivnější než bakterie, neboť jsou odolnější vůči vysokému pH a vysychání. Naopak špatně snáší mechanickou disturbanci, kdy dochází v půdě k radikální změně fyzikálních vlastností. Dále jsou náchylné na zamokření, aplikaci pesticidů a minerálních hnojiv. Hrají roli dominantního druhu v mikrobiálním biofilmu v rámci lesních půd, či extenzivně obhospodařovaných lučních půdách. Jsou hlavními rozkladači komplexních látek. Významně interagují s rostlinami a živočichy, čímž tvoří agregáty a také pozitivně ovlivňují strukturu půdy (Šantrůčková, 2014). Následující *obrázek č. 14* zobrazuje rozložení mikrorganismů uvnitř agregátu v interakci s biotickou a abiotickou složkou.



Obrázek č. 14 – Schéma prostorových vztahů mezi organismy, póry, minerálními částicemi a vodním filmem (převzato a upraveno: Šimek et al., 2019a)

### 6.1.2 Mikrofauna

Do této skupiny se řadí organismy o velikosti zhruba 20-250  $\mu\text{m}$ . Typickými mikroskopickými živočichy, kteří patří do této skupiny jsou prvoci (*Protozoa*), hlístice (*Nematoda*), vířníci (*Rotifera*), želvušky (*Tardigrada*) či klanonožci (*Copepoda*) (Menta, 2012). V některých publikacích jsou pod kategorií mikrofauna uváděni také roztoči (*Acari*), ale dle jejich velikosti se spíše přikláním k zařazení mezi větší půdní faunu (mezofaunu). Tato část kapitoly je zaměřena pouze na ty z pravidla nejdůležitější živočichy, kteří jsou považovány za nejvýznamnější z hlediska fungování půd. Půdní mikrofauna zahrnuje velmi malé organismy, většinou o šířce dosahující 0,02 mm. Jejich existence je závislá na vodě. Žijí ve vodním filmu na povrchu půdních částic, v mikropórech zaplněných vodou či také obývají rostliny, např. mechy. Dají se považovat za převážně vodní organismy, přesto jsou schopny snášet vysychání nebo vymrzání. Nepovažují se za příliš aktivní živočichy, neboť vzhledem k jejich velikosti a „línému“ způsobu života, půdou aktivně nepronikají. Preferují půdu obohacenou organickými látkami a výhradně se vyskytují v separovaných prostorech půdního prostředí (Schlaghamerský et al., 2020).

#### *Prvoci (Protozoa)*

Prvoci jsou heterotrofní jednobuněčné eukaryotní organismy schopné pohybu, avšak neschopné fotosyntézy. Velikostně se pohybují okolo 4-250  $\mu\text{m}$ . Sestupem do půdy se jejich velikost mění a ty největší žijí ve svrchní části půdního profilu (v detritu). Tvoří velkou druhovou diverzitu a nejčastěji se vyskytují v půdních pórech zaplněných vodou (Weil, Brady, 2007). Jedná se o polyfyletické organismy, tj. nemají společného předka – nepřibuzné, nepřírozené. Nejvýznamnější skupiny jsou měňavky (*Amoeba*), krytenky (*Arcellinida*), bičíkovci (*Flagellata*) a nálevníci (*Ciliophora*). Všichni zástupci žijí ve vodní blance na povrchu půdních agregátů nebo ve vytvořeném prostoru mezi nimi. Označují se za hydrobionty, tj. živočichy vázané na vodu. Primární podmínkou pro jejich aktivní život je určitý minimální vodní potenciál půdy. Při vysychání půdy se zahušťují soli v půdním roztoku a to snižuje jejich aktivitu. Někteří prvoci jsou draví, živí se jinými mikroorganismy (např. bakteriemi), ale i mikroskopickými houbami, řasami a jinými prvoky. Většina prvoků se ale také živí odumřelou organickou hmotou (Šimek et al., 2019b). Jako predátoři bakterií podněcují hybnost bakteriálního pohybu i růstu a hrají důležitou roli v cyklech živin – ostatně jako jiné mikroorganismy – a podporují růst rostlin. Během predace

uvolňují snadno dostupné formy dusíku. Prvoci samy o sobě jsou potravou, neboť se vyskytují ve fragmentech půdy, které požírají např. žížaly, či roupice (Šimek et al., 2015).

### ***Hlístice (Nematoda)***

Tito půdní živočichové jsou charakterističtí svým oblým válcovitým tělem. Žijí volně či paraziticky. Hlístice žijící v půdě se velikostně pohybují v rozmezí 0,7-1 mm. Žijí v půdě i ve vodě (sladké, slané) (Šimek, 2019b). Působí paraziticky na kořenech i uvnitř rostlin a v tělech živočichů (Schlaghamerský et al., 2020). Vyskytují se v půdních pórech a právě pórovitost či voda představují pro tyto organismy limitující faktory. Zastávají ekosystémové služby, např. regulační, v rámci udržování ekologické stability populací bakterií a hub. Podílí se také na zpracování biogenního prvku – dusíku, jež je následně dostupný v dané formě pro rostliny (Weil, Brady, 2007). Půdní hlístice se obecně považují za hydrobionty, neboť ke svému pohybu vyžadují dostatečné množství vody, které tvoří vodní film na povrchu půdních agregátů. Některé druhy pronikají do podmáčených půd a některé naopak nacházejí ideální podmínky k životu v suchých půdách, přičemž v závislosti na prostředí mění svou velikost (Šimek et al., 2019). Dle potravní specializace se rozlišují do šesti ekologických skupin: fytofágní (fytoparazitické), bakteriofágní, mykofágní, fytomykofágní, dravé (zoofágní) a všežravé (omnivorní). Každý půdní typ a ekosystém zahrnuje abundanci určité trofické skupiny. Jejich celková početnost je obrovská (cca 600 popsáných druhů - sladkovodní i půdní). Většina hlístic se nachází ve svrchní vrstvě půdního profilu (5-10 cm), či v hloubce kam sahá rhizosféra. Vysoké zastoupení hlístic v půdním prostředí významně ovlivňuje koloběh látek a tok energie (Schlaghamerský et al., 2020).

### ***Vířníci (Rotifera)***

Vířníci patří také mezi hydrobionty, ale jejich způsob života může být i semiakvatický. Limitujícím faktorem ovlivňující jejich aktivitu je vlhkost prostředí, avšak paradoxně vyšší zastoupení společenstva se vyskytuje v habitatech, které pravidelně vysychají. To může být způsobeno tím, že vysychající půdní prostředí potlačuje výskyt hub, které jsou přirozenými nepřáteli vířníků. Nicméně v lesních půdách, tedy relativně stabilních, je jejich zastoupení druhově bohaté. V půdě převažují zástupci třídy *Bdelloidea*. Živí se bakteriemi, drobnými fragmenty opadanky

a jinými mikroorganismy (např. bičíkovci, mikroskopickými řasami). Svou přítomností mohou měnit složení společenstev mikroorganismů (Šimek et al., 2019b). Jejich funkce v půdním prostředí spočívá v tvorbě biomasy, čímž se podílí na koloběhu uhlíku a rozkladu detritu. Slouží především jako potrava pro větší půdní organismy (Šimek et al., 2015).

### ***Želvušky (Tardigrada)***

Jedná se opět o živočicha, který se řadí mezi hydrobionty. Želvušky jsou velmi široce spektrální skupina a jejich vztah k podmínkám v prostředí je velmi heterogenní. Najdou se druhy hydrofilní (vážou se trvale na zamokřená prostředí), existují druhy hygofilní (dávají přednost vlhkému prostředí), také jsou druhy xerofilní (vybírají si místa pravidelně vysychající). Dále jsou známy druhy euryhydričné a těm je vlastně jedno, kde pobývají – areál jejich výskytu má rozličné vlhkostní podmínky (Šimek et al., 2019b). Mají čtyři páry nožek a drápky (0,2-0,5 mm). K predaci využívají dva ústní bodce, kterými potravu napichují a savý hltan, kterým vysávají vnitřní (buněčný) obsah např. hub a bakterií. Někdy pozřou i drobnější faunu např. vířníky. Želvušky a vířníci jsou málo prozkoumaní živočichové, jejich význam v půdním prostředí není úplně znám (Schlaghamerský et al., 2020).

## **6.2 Makroorganismy**

Půda je plná nepřeberného množství větších živočichů. Půdní zoologové je třídí na základě efektivní šířky těla do tří skupin. Rozlišují je na mezofaunu, makrofaunu a megafaunu. Tento druh třídění představuje měřítko na základě jejich schopností aktivně pronikat skrze půdní strukturu (Šimek et al., 2015). Makroorganismy mohou být viditelné pouhým okem a jsou hlavními činiteli v modifikaci půdní struktury, a díky nim se voda může úspěšně šířit do půdního prostředí. Mezo- a makrofauna vytváří např. mikrohabitaty pro další půdní biotu modifikací půdy a vytváří prostory, které mohou být zaplněny vodou. Tvorbu půdní struktury podporují všechny složky cenózy v každém horizontu. Každý druh půdní bioty má vliv na strukturální uspořádání půdy trojím mechanismem. Vlastní přítomností, aktivitou a jeho vedlejšími produkty (Brussaard, 1998 et Rejšek, 2003).

### **6.2.1 Mezofauna**

Zástupci mezofauny se podílejí na zachování půdní struktury a to především roztoči (Acari) a chvostokoci (Collembola), kteří obývají póry naplněné vzduchem. Kompaktní fekální pelety, které zástupci mezofauny vylučují, jsou stabilnější a mají příznivý vliv na strukturu a pórovitost půdy (Šimek et al, 2019a). V důsledku pohybu mezofauny a růstu jemných kořenů vznikají např. nekapilární póry (0,01-0,05 mm), které mohou být zásobovány exténní vodou (Vavříček et Kučera, 2015). Zástupci mezofauny žijí v půdě trvale a nejvyšší diverzitu vykazují drobní členovci. Nejvýznamnější jsou již zmínění roztoči a chvostokoci. Stejně významné jsou roupice (Enchytraeidae), které se řadí mezi dominantní drobné kroužkovce. Mezofauna se nachází v půdě obohacené o organickou hmotu a ve svrchní minerální vrstvě do hloubky 20 cm, avšak většina zástupců se nachází v horní části půdy (5 – 10 cm). Mezofauna dominuje vertikální i horizontální migrací, čímž zajišťuje transportní funkci půdy. Někteří zástupci jsou draví a někteří zajišťují primární funkci rozkladných procesů a tím vytváří organicky obohacenou půdu (Schlaghamerský et al., 2020).

#### ***Roztoči (Acari)***

Jedná se o početně i funkčně dominantní skupinu půdní fauny, která dokáže žít v jakémkoli prostředí. Roztoči se vyznačují veškerými potravními strategiemi. Žijí prakticky v každém habitatu obohaceném organickou hmotou. Jsou dominantní především v lesních biotopech a představují 60 – 70 % mezofauny. Roztoči nejsou schopni migrovat půdou hrabáním, proto jsou odkázáni na chodby vytvořené jinými živočichy (Šimek et al, 2019b). Některé druhy roztočů mají dokonce přizpůsobené končetiny k transportu na povrchu těl jiných živočichů. Zkrátka se občas „svezou“ (Šimek et al., 2019a). Z hlediska rozkladných procesů hrají důležitou roli saprofágní půdní roztoči. Primární procesy probíhající v půdě ovlivňují buď přímo nebo nepřímo. Dokáží stimulovat a měnit rozložení mikroflóry v půdním prostředí. Stimulují např. sukcesí půdních hub a především ovlivňují koloběh živin. Mikrofytofágní a panfytofágní druhy šíří půdním profilem spory hub (Šimek et al., 2019b). Např. pancířníci, kteří se živí odumřelými zbytky rostlin, zvětšují povrch mrtvé organické hmoty fragmentací, což zvyšuje aktivitu mikroorganismů. Svou aktivitou příznivě ovlivňují půdní strukturu – tvorbu i udržitelnost (Schlaghamerský et al., 2020).



### *Chvostokoci (Collembola)*

Jedná se opět o dominantní skupinu mezofauny, kteří hrají významnou roli v dekompozičních procesech (Šimek et al., 2019b). Živí se mikroorganismy, mrtvou organickou hmotou a drobnými půdními bezobratlými, neboť někteří zástupci chvostokoků jsou draví (Schlaghamerský et al., 2020). Chvostokoci se na základě stratifikace půd evolučně vyvinuli v zřetelně odlišné životní formy. Tato morfologická adaptace odráží dokonale heterogenitu půdních vrstev v profilu související s odlišnými podmínkami v daném prostředí. Chvostokoci se tedy dělí na dvě skupiny, tj. životní formy: atmobionti a edafobionti, které se dále větví na podskupiny v závislosti na tom, kde se vyskytují, což ovlivňuje jejich potravní specifikaci (Šimek et al., 2019b). Životní forma chvostokoků je důležitým parametrem v rámci půdního společenstva, neboť dané životní formy ovlivňují půdní strukturu (Rusek, 1998). Chvostokoci zastávají klíčovou roli při modifikaci mikrostruktury svými exkrementy (pelety) a v neposlední řadě jsou využíváni k ekologickým studiím jako bioindikátoři, neboť citlivě reagují na fyzikální změny půdního prostředí. Voda i pórovitost jsou limitující faktory pro jejich existenci, proto nežádoucí antropogenní vlivy mohou snižovat stav populace chvostokoků. Pokud není v půdě dostatek vody, uplatňují chvostokoci orgán zvaný ventrální tubus, který používají pro transport vody a iontů z prostředí do hemolymfy (obdobu krve u bezobratlých) (Šimek et al., 2019b).

### *Roupice (Enchytraeidae)*

Jedná se o kroužkovce blízké příbuzné s žížalami. Mohou obývat různé ekosystémy, nicméně v půdě se nachází ve svrchní vrstvě (5-10 cm). Stejně jako ostatní zástupci půdní mezofauny slouží jako rozkladači. Živí se odumřelou organickou hmotou, mikroorganismy a rozkládají mrtvou organickou hmotu. Produkují trus, který je obohacený o organominerální komplexy, čímž utvářejí půdní strukturu a činí ji stabilní. Jejich abundanci ovlivňují půdní typ a klima. Místy svou aktivitou mohou nahradit žížaly, neboť klesající pH významně v negativním smyslu ovlivňuje druhovou i funkční diverzitu žížal a jejich populace mohou úplně vymizet. Vyskytují se v málo kyselých až bazických půdách s periodickým zamokřením (Schlaghamerský et al., 2020). Největší význam mají v jehličnatých lesích a rašelinných půdách, kde zastávají funkci žížal a rozkládají tak odumřelý rostlinný materiál a podílejí se také na tvorbě mikrostruktury (Šimek et al., 2015).

## 6.2.2 Makrofauna

Tato skupina edafonu se považuje za nejvýznamnější z hlediska modifikace půdní struktury a pórovitosti tvorbou agregátů. Svým pohybem razí chodby, čímž pórovitost také vytvářejí a půdu tím provzdušňují a promíchávají. Makrofauna je označována za ekosystémové inženýry a patří mezi nejdůležitější skupinu edafonu, která má významný vliv na vnitřní organizaci půdy. Funkční půdní domény (viz obrázek č. 10) jsou silně ovlivňovány právě ekosystémovými inženýry, kteří svou aktivitou mění abiotické a biotické podmínky prostředí (Šimek et al., 2019a). Důležitým procesem, který makrofauna zajišťuje, je bioturbace. Jak už bylo zmíněno výše jedná se o děj, při kterém dochází k promíchávání vrstev půdy a rozrušování půdních fragmentů činností ekosystémových inženýrů, což výsledně tvoří příznivě strukturovanou půdu obohacenou o organickou hmotu. Na bioturbaci se aktivně podílí kořeny rostlin, vliv mikrobiální sféry a především makrofauna (např. žížaly a mravenci) i megafauna (např. myši a krtci) (Frouz et Poklopová, 2011).

### *Žížaly (Lumbricidae)*

Jak už bylo zmíněno (viz 5.3.2), žížaly patří mezi ekosystémové inženýry, kteří svou aktivitou aktivně prorážejí půdu a tvoří chodby, čímž se mohou dostávat hlouběji do půdy. Svou migrací půdou napomáhají také infiltraci a svými exkrementy tvoří agregáty, které ovlivňují půdní strukturu a pórovitost. Exkrementy produkované žížalami (koprolity) ovlivňují vznik poměrně velkých agregátů, ale i menších a ty vznikají stmelováním půdních fragmentů s jejich sekrečními slizy a organickou hmotou (Šimek et al., 2019a). Žížaly se ekologicky dělí na 3 skupiny: epigeické, hypogeické a anektické. Toto dělení rozlišuje druhy žížal v závislosti na jejich výskytu v půdním profilu a jejich migrace hraje významnou roli ve vytváření tubulárních pedohydatod, které již byly definovány (viz 4.3). Dominantními činiteli žížalovitých jsou anektické druhy žížal, které se vyskytují ve spodních půdních horizontech (obohacené např. o jíly) a svou migrací k povrchu půdního profilu tvoří nejen biogenní makropóry, ale také svými exkrementy (tzv. žížalincemi) organicky obohacují půdu a tvoří stabilnější půdní fragmenty. Velice známe jsou tzv. dešťovky o kterých se povídá, že předvídají počasí. Nicméně pravdou je, že jsou hydrologicky významné z hlediska infiltrace. Jedná se o spontánní před dešťovou migraci do svrchní vrstvy půdního profilu, čímž otevírají chodbičky srážkové vodě a voda se tak bezprostředně transportuje do nižších vrstev půdního profilu (Vašků, 2003). Zvýšená schopnost

infiltrace skrze tyto biogenní póry může snížit erozi půdy až o 50 %. Svou aktivitou rozrušují ztuhlé makroagregáty a tvoří nové – stabilnější svými exkrementy, jež prochází trávicím traktem. Jsou kompaktnější, ale snadno opět rozrušitelné. Takové variabilní agregáty jsou významné v rámci půdní struktury a dynamiky půd (Blouin et al, 2013). *Tabulka č. 4* zahrnuje ekologické skupiny žížal s patričními zástupci.

<p><b><i>Epigeické druhy</i></b></p> <p>druhy žijící v horizontech nadložního humusu (horizonty opadanky, fermentační horizonty, horizonty měli), případně na svrchu oranominerálních povrchových epipedonů</p>	<p><i>Eisenia foetida, Eisenia lucens, Lumbricus castaneus, Lumbricus rubellus, Allolobophora chlorotica, Dendrobaena vejvodskyi, Dendrobaena octaedra, Dendrobaena mrazeki, Dendrobaena rubida rubida, Eiseniella tetraedra tetraedra, Eiseniella tetraedra hercynia, Eiseniella tetraedra intermedia, Octolasion croaticum argoviense</i></p>
<p><b><i>Hypogeické druhy</i></b></p> <p>druhy žijící v organominerálních povrchových horizontech a podpovrchových horizontech ležících pod horizonty biogenní akumulace organických látek a to do hloubky nejvýše několika dm pod povrchem</p>	<p><i>Allolobophora caliginosa, Allolobophora jassyensis, Allolobophora leoni, Allolobophora antipai antipai, Allolobophora antipai tuberculata, Allolobophora rosea, Eisenia parva, Octolasion lacteum, Dendrobaena alpina</i></p>
<p><b><i>Anektické druhy</i></b></p> <p>druhy žijící ve spodních půdních horizontech a v horizontech či vrstvách níže sola, odkud putují až na půdní povrch</p>	<p><i>Lumbricus terrestris, Lumbricus polyphemus, Octolasion transpadanum, Allolobophora hrabei, Octolasion gradinescui, Octolasion cyaneum, Fitzingeria platyura platyura, Fitzingeria platyura depressa,</i></p>

*Tabulka č. 4 – Ekologická klasifikace žížal (převzato a upraveno: Vašků, 2003).*

### ***Mravenci (Formicidae)***

Mravenci (*Formicidae*) patří nejen mezi ekosystémové inženýry, ale také mezi nejúspěšnější skupiny společenského hmyzu. Tvoří kolonie, které se nachází v každém suchozemském ekosystému a staví hnízda z různorodého materiálu. Vyskytují se v korunách stromů, v odumřelém či zdravém dřevě, nad zemí i v půdě. Během evoluce se „naučili“ spolupracovat s mnoha organismy a jsou si vzájemně prospěšní. Díky těmto vztahům se u nich vyvinulo široké spektrum potravní specializace. Mravenci jsou významní predátoři, mrchožrouti, konzumenti a dá se říci, že i býložravci. Signifikantně ovlivňují koloběh živin. Právem jsou označováni za ekosystémové inženýry, neboť mají podstatný vliv na fyzikální vlastnosti neustálým promícháváním půdy. Příznivě ovlivňují také rostliny či jiné organismy, kterým dodávají živiny zanášením potravy do hlubších vrstev a naopak – vynášením potravy z hlubších vrstev

půdy na povrch (Šimek et al., 2019b). Přispívají k bioturbaci a ve výsledku i k vývoji půd. Největší ekologický podíl na jejich významu mají samotná hnízda, která stavějí. Nejenže samotná struktura hnízda má příznivý vliv na strukturu půdy, ale obecně mravenci udržují uvnitř hnízda vlhkost a dostatek potravy, čímž vytváří ideální podmínky pro mikroorganismy, kteří mají navíc neustálý přísun živin. Stavba tunelů a komor tvořící hnízdo, zvyšuje pórovitost tvorbou makropórů. Také dochází ke snižování celkového objemu půdy, čímž může vzduch i voda lépe proudit do půdního prostředí (Frouz et Jílková, 2008).

### **6.2.3 Megafauna**

Za megafaunu se obecně považují obratlovci, kteří svou aktivitou nepochybně mají vliv na vlastnosti půdního prostředí. Živočichové jako jsou myši (*Muridae*), krčci (*Talpidae*), sysly (*Spermophilus*) atp., modifikují půdu bioturbací, neboť se půdou prohrabávají a tvoří nory (Britannica, 2007). Na základě adaptací na půdní prostředí se dělí na subteránní, fossorické a semi-fossorické. Subteránní druhy jsou přizpůsobené k trvalému životu v podzemí. Fossorické druhy jsou fyziologicky i morfologicky adaptovány k rytí a vyhrabávání nor, které jim slouží jako útočiště a potravu vyhledávají na povrchu. Semi-fossorické druhy jsou nejpočetnější a nejsou pevně vázány na půdní prostředí. Subteránní a fossorické druhy mají značný vliv na půdní vlastnosti. Kypří půdu rytím, čímž se půda stává provzdušněnou. Svou činností také zvyšují pórovitost, čímž se zvyšují sorpční vlastnosti půdy a voda se lépe infiltroje do prostředí (Šimek et al., 2019b).

## 7. DISKUSE

Většina půdních organismů potřebuje příznivé prostředí s optimálními fyzikálními vlastnostmi půdy a nejenže je vytváří, ale také je pro svou existenci potřebuje. Mikroorganismy jsou závislé na dostupnosti vody a makroorganismy jsou zase závislé na mikroorganismech. Je to prosté, neboť veškeré vztahy v každém ekosystému jsou závislé na vzájemné interakci a jakmile se jeden pojící článek naruší, kolabuje celý (eko)systém. V rámci půdního ekosystému shledávám jako hlavní problém jeho degradaci, při které dochází k narušení hydrofyzikálních vlastností půdy, které významně nejen ovlivňují vodní režim v půdním prostředí, ale také organismy žijící v pórech. Nejzávažnějším problémem je samotná eroze, která je podmíněna lidskou činností, neboť intenzivní konvenční obhospodařování za cílem dosáhnout nejvyšších výnosů nezná meze. Šimek et al. (2019b) zmiňují tzv. antropogenní erozi, která vzniká právě nevhodným obděláváním půdy a přičemž v České republice se v současnosti využívá zemědělský systém konvenčního intenzivního zemědělství, které v důsledku sice přináší maximalizaci produkce, ale na úkor setrvalosti i udržitelnosti půdy. Kapička et al. (2017) klade důraz na vodní erozi, která nejvíce ohrožuje zemědělské půdy a Kvítek et Tipll (2003) už tehdy zaznamenali, že vodní eroze ohrožuje více než 50 % orné půdy a Novotný et al. (2014) potvrzují fakt, že není dosud prováděna žádná systematická ochrana zabraňující dalším ztrátám. Vodní eroze je sice přírodní proces, ale nevhodné obhospodařování vzniku eroze jen dopomáhá. Šimek et al (2019b) v jejich knize potvrzují, že vlivem eroze se mění půdní vlastnosti (fyzické, chemické, biologické) a to kvůli odnosu organické hmoty a živin, což způsobuje primárně právě vodní eroze. Jestliže ale půda ztrácí organickou hmotu, ztrácí svou kvalitu a především stabilitu půdních agregátů. Organická půda je hnací silou činnosti půdních organismů, kteří ji také vrací zpět svou aktivitou a stejně tak biogenní prvky, které jsou nezbytné pro udržení kvalitního půdního prostředí. Cyklus biogenních prvků zajišťují primárně mikroorganismy, jenomže vlivem nesprávného obhospodařování o mikroorganismy přicházíme. Jak zmiňuje Tomášek (2000) vlivem kontaminujících látek např. pesticidů půda přichází o mikroorganismy, na kterých je úrodnost, resp. kvalita půdy závislá. Jeli půda nekvalitní, vypoví svou funkci a stává se degradovanou. Což potvrzují Šimek et al. (2020), kteří zmiňují, že pokud dojde k jakémukoli poškození živé složky, půda přestává plnit svou funkci. Nicméně tzv. fungující půda, která je oživena půdní biotou nese biodegradační potenciál, kdy dokáže

kontaminující látky eliminovat, jenomže jak opět uvádí Šimek et al. (2020), poškozená půda tento potenciál ztrácí. Je důležité chápat podstatu půdní bioty, neboť půda zkrátka nepředstavuje stroj produkující do nekonečna kvanty plodin. Jedná se o systematicky fungující médium, které plní řadu prospěšných funkcí a člověk půdu potřebuje. Nelze jen brát, ale musí se také dávat. Nicméně naštěstí nová doba nese nové inovace a „zlepšováky“, které by bylo dobré zmínit. V případě potenciální ztráty organické hmoty oslabením půdních organismů v půdě jsou využívány pomocné půdní látky zvané PPL. Salaš et al. (2017) zmiňují vliv těchto podpůrných látek na půdní prostředí v rámci fyzikálních, chemických i biologických vlastností za příznivý v případě, kdy dojde ke ztrátě půdního edafonu. Dále je uvedeno, že tyto látky musí být hygienicky nezávadné a nesmí zatěžovat životní prostředí. Pekař et Klučáková (2003) popisují například lignit, který má právě využití jako PPL, neboť je čistě přírodní a je schopen absorbovat velké množství vody (obsahuje až 50 % vlhkosti). Dále uvádějí, že v rámci zlepšení fyzikálních vlastností půdy je ideálním materiálem pro interakci s vodou, neboť se vyznačuje sorpční schopností. Z hlediska nárazových srážek, které jsou většinou příčinou přírodní vodní eroze jak zmiňuje Novotný et al (2014), mohou být nápomocné hydroabsorbenty, neboť u degradovaných ploch se s intenzitou srážek zvyšuje rychlost odtoku. Salaš et al. (2012) tento druh PPL popisují jako užitečný z hlediska schopnosti vázat vodu, která se postupně transportuje do kořenů rostlin. Dále uvádějí, že výsledkem působení hydroabsorbentů je drobtovitá struktura půdy, stabilní vodní režim a zvýšená činnost edafonu. Veškeré tyto „vylepšováky“ jsou velmi zajímavé a mohou být nápomocné především v degradovaných půdách, jenomže jak se zmiňuje Vašků (2008) půda má schopnost samoregulace a to je vlastnost, kterou disponují pouze půdní organismy. Ovšem, vždyť nic nenahradí tak dokonale interagující vztahy prosperující půdním vlastnostem, jako je právě půdní živěna.

## 8. ZÁVĚR

Pedosféra je výsledek neutuchajících půdotvorných procesů, které vzájemným působením utváří charakter půdy samotné. Půdotvorný substrát, který mění své vlastnosti v důsledku působení klimatu či chemických pochodů, představuje základní složku celého ekosystému. Charakter půdy je tvořen půdními fragmenty shlukujících se do struktury, jenž plní řadu nepostradatelných funkcí. Degradace půd tedy představuje rizikový faktor, který pomalu a jistě hubí život v půdě, neboť negativně působí na fyzikální vlastnosti. Uvnitř pór vzniklých prostorovým uspořádáním částic, žije nespočet mikroorganismů vyznačujících se schopností metabolické přeměny, která je důležitou součástí koloběhu látek. Avšak vlivem eroze dochází k vyplavování organické hmoty a k narušení porozity, která je primárně důležitá pro existenci mikroorganismů, čímž půda ztrácí svou funkčnost. Limitujícím faktorem v intenzivně obhospodařovaných půdách je přítomnost organické hmoty, která příznivě ovlivňuje hydrofyzikální vlastnosti půdy a tím i její stabilitu, která reguluje vodní režim.

Obecně se dá říct, že v půdě žije obrovské množství půdních organismů, které vstupují do enormního množství všelijakých interakcí. Nicméně pouze část z nich svou aktivitou přímo ovlivňuje samotné hydrofyzikální vlastnosti a to zejména makroorganismy. Ovšem mikroorganismy jsou podstatou interakčních vztahů, neboť plní nepostradatelnou složku v biochemických procesech a slouží primárně jako potrava větším organismům. Přítomnost půdní živěny, resp. živočichů v půdním prostředí, má významný vliv na látkovou výměnu, sorpční komplex, infiltraci vody, provzdušňenost, která činí půdu kyprou a v neposlední řadě přítomnost organické hmoty. Interakce mezi abiotickou a biotickou složkou je životně důležitá, aktivita půdních živočichů ovlivňuje půdní prostředí a způsobené změny v jejich přirozeném prostředí mohou mít zase vliv na jejich činnost i existenci.

Rotoči (*Acari*), zejména pancířníci (*Oribatida*), zvyšují přítomnost organické hmoty fragmentací a též ji svým pohybem transportují, čímž příznivě přispívají k tvorbě půdní struktury a činí ji udržitelnou. Na druhou stranu Chvostoskoci (*Collembola*) ovlivňují půdní strukturu pelety, jež tvoří důležitou součást organické hmoty. Roupice (*Enchytraeidae*) příznivě působí na hydrofyzikální vlastnosti půdy svou aktivitou tím, že se nejen podílí na rozkladných procesech, ale také na tvorbě mikrostruktury. V některých půdách, zejména kyselých, dokáží nahradit svou činností

žížaly (*Lumbricidae*) , neboť aktivita žížal se zvyšujícím se pH klesá. Významnou úlohu v půdotvorném procesu zastávají právě žížaly. Jsou významné z hlediska bioturbace, neboť půdu kypří, zvyšují její pórovitost a tím se voda lépe dostává do hlubších vrstev půdního profilu. Žížaly jsou důležitou součástí půdního prostředí především kvůli jejich migraci a tvorbě exkrementů, které obsahují stabilní agregáty obohacené o organické komplexy, jež jsou odolné vůči erozi a půdu tím činí stabilní a zdravou. Tím, že agregáty tvořené žížalami jsou nespodně rozpustitelné, mohou v některých půdách s vysokou pórovitostí (např. písky) vodu zadržovat, což je příznivé pro post-těžební oblasti. Nemálo významní jsou mravenci (*Formicidae*), kteří přispívají k bioturbaci a stejně jako žížaly, se řadí mezi ekosystémové inženýry. Velký význam představují jejich hnízda, která tvoří nespočet komor a tunelů, čímž se v půdě vytvářejí makropóry. Nejenže jejich hnízda stavěná pod zemí utváří půdní strukturu, ale také zajišťují příznivé podmínky pro existenci mikroorganismů, neboť mravenci uvnitř hnízd udržují vlhkost a optimální pH. Nejenže ovlivňují fyzikální vlastnosti půdního prostředí, ale také zanášením potravy do hnízda zajišťují neustálý přísun živin půdě i organismům.



## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 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, 2016: 26 – 33.
- [2] BARRIOS E., 2007: Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64: 269 - 285.
- [3] BARTLOVÁ J., BADALÍKOVÁ B., MIKUŠOVÁ Z., 2009: Vliv zpracování půdy na stabilitu půdních agregátů. *Úroda* 12: 297 - 300.
- [4] BEARE H. M., HU S., COLEMAN C. D., HENDRIX F. P., 1997: Influences of mycelial fungi on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils. *Applied Soil Ecology* 5: 211 - 219.
- [5] BIČÍK I., BUDŇÁKOVÁ M., ČERMÁK P., ČTYROKÁ J., DRESLEROVÁ D., FIALA P., JANDERKOVÁ J., JECH K., HAUPTMAN I., KUKAL Z., POŠMOURNÝ K., [eds.], 2009: Půda v České republice. Consult, Praha.
- [6] BLOUIN M., HODSON E. M., DELGADON A.E., BAKER G., BRUSSAARD L., BUTT R. K., DAI J., DENDOOVEN L., PERES G., TONDOH E. J., CLUZEAU D., BRUN J. J., 2013: A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science* 64: 161 - 182.
- [7] BRADY C. N., 1990: The nature and properties of soils. Macmillan publishing company, New York, 279 - 294.
- [8] BRUSSAARD L., 1998: Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9: 123 - 135.
- [9] ČERMÁK P., 2012: Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. "nepublikováno", "Dep.: VUT, Ústav vodního hospodářství krajiny", Brno.
- [10] DELONG F. E., 1998: Everything in moderation: Archaea as 'non-extremophiles'. *Current Opinion in Genetics & Development* 8: 649 - 654.
- [11] DOHNAL M., 2017: Vyhodnocení infiltračních vlastností půdního povrchu. České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta, Praha.
- [12] ELHOTTOVÁ D., CHROŇÁKOVÁ A., ŠIMEK M., 2020: Živá půda 2. Půdní prokaryota - v jednoduchosti je síla. *Živa* 2: 79 - 85.
- [13] FORTUNA A., 2012: The Soil Biota. *Nature Education Knowledge* 3: 1.

- [14] FROUZ J., JERHOT J., 2003: Využití půdní mikrostruktury při sledování vztahů mezi půdními organismy a půdním prostředím. 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, 59 - 62.
- [15] FROUZ J., JÍLKOVÁ V., 2008: The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol. News* 11: 191-199.
- [16] FROUZ J., POKLOPOVÁ L., 2011: Darwin a žížaly – Žížala jako krajínovorný prvek. *Vesmír* 90: 48 - 50.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] GLET O., 1975: Vodní režim půd a jeho rozložení na území ČSR. *Rostlinná výroba* 21: 579 - 593.
- [20] HILLEL D., 1998: *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Academic press, London.
- [21] HLUŠEK J., HORA P., CHALUPOVÁ P., JANDÁK J., JANKŮ L., KISLINGER J., KLUČÁKOVÁ M., KNOTOVÁ D., KOHUT M., LAŠTŮVKA Z., LITSCHMANN T., LOŠÁK M., LOŠÁK T., MOKRIČKOVÁ J., PEKAŘ M., PELIKÁN J., RAAB S., ROŽNOVSKÝ J., SALAŠ P., SALAŠOVÁ A., SASKOVÁ H., SEMANOVÁ I., STRAKA J., STRAKOVÁ M., ŠAFRÁNKOVÁ I., ŠEFROVÁ H., ŠEVČÍKOVÁ M., VYMYSLICKÝ T., 2012: Opatření vedoucí k zamezení biologické degradace půd a zvýšení biodiverzity v suchých oblastech ČR: uplatněná certifikovaná metodika. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- [22] HŘEBEJKOVÁ B., 2018: Retence půdní vody v krajině. "nepublikováno", "Dep.: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta", Praha.
- [23] HUISLOVÁ P., ŘEHÁČEK D., 2016: Organické látky v půdě a jejich bilancování pomocí online aplikace. In: *Organická hmota v půdě*, VÚMOP, Rapotín, 2016.
- [24] HŮLA J., ABRHAM Z., BAUER F., 1997: *Zpracování půd*. Brázda, s.r.o., Praha.

- [25] CHEMNITZ C., WEIGELT J. [Eds.], 2015: Bodenatlas. Daten und Fakten über Acker, Land und Erde. Heinrich-Böll Stiftung, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), Berlin.
- [26] 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.
- [27] JONES C. G., LAWTON J. H., SCHACHAK M., 1994. Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos* 69: 373 - 386.
- [28] KAPIČKA J., BRÁZDA J., ŽÍŽALA D., BEITLEROVÁ H., 2018: Monitoring eroze zemědělské půdy. In: STŘEDA T., ROŽNOVSKÝ J., [eds.]: Monitorování přírodních procesů. VÚMOP, Praha.
- [29] KAVINY K., 1940: Naučný slovník přírodních věd. Jos. Elstner, Praha.
- [30] KENNEDY C. A., 1999: Bacterial diversity in agroecosystems. *Ecosystems and Environment* 74: 65 - 76.
- [31] KOPECKÝ J., 1899: Klasifikace půd pro meliorační práce drenážní se zvláštním zřetelem ku mechanickým rozborům půdním a nové kombinaci třídícího přístroje plavením k témuž účelu. Zemědělská rada pro Království české. Praha.
- [32] KOTRBOVÁ G., 2011: Kvantifikace zásoby uhlíku v půdě pro účely inventarizace krajiny. "nepublikováno", "Dep.: Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta", České Budějovice.
- [33] KUBÁT J., CERHANOVÁ D., MIKANOVA O., ŠIMON T., 2008: Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- [34] 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.
- [35] KURKOVÁ NOŽIČKOVÁ M., 2018: Půda: obrázková statistika o tom, co se děje v půdě, a o tom, proč by měla půda být národním bohatstvím. Národní zemědělské muzeum, Praha.
- [36] KVÍTEK T., TIPPL M., 2003: Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. VÚMOP, Praha.
- [37] LAVELLE P., SPAIN V. A., 2001: Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- [38] LAVELLE P., BIGNELL D., LEPAGE M., VOLKMAR W., PIERRE R., INESON P., HEAL W. O., DHILLION S., 1997: Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Science* 33: 159 - 193.
- [39] MADIGAN T. M., MARTINKO M. J., STAHL A. D., CLARK P. C., DUNLAP V. P., 2011: *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson Education, Londýn.
- [40] MADSEN L. E., 2016: *Environmental Microbiology: From Genomes to Biogeochemistry*. Wiley-Blackwell, New York.
- [41] MENTLÍK P., 2004: *Stručný úvod do pedologie a pedografie pro geografy - Západočeská univerzita v Plzni, Katedra geologie, Plzeň*.
- [42] NĚMEČEK J., ROHOŠKOVÁ M., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P., 2008: *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- [43] NIELSEN N. U., 2019: *Soil and Its Fauna*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [44] 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.
- [45] NOVÁK V., 1953: *Základy rozboru a výzkumu půd*. Státní nakladatelství v Praze, Praha.
- [46] NOVOTNÝ I., MISTR M., PAPA J., KRISTENOVÁ H., VÁŇOVÁ V., KAPIČKA J., VLČEK V., VOPRAVIL J., KULÍŘOVÁ P., KADLEC V., KOBZOVÁ D., SRBEK J., POCHOP M., PODHRÁZSKÁ J., FIALA R., ŽÍŽALA D., DOSTÁL T., KRÁSA J., VAŇKOVÁ K., HALUZOVÁ J., JIRKŮ V., SMOLKOVÁ I., 2014: *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- [47] OADES J.M., 1993: The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377 - 400.
- [48] PACE, N. R., 2006: Time for a change. *Nature* 441: 289 - 289.
- [49] PAVLŮ L., 2019: *Základy pedologie a ochrany půdy*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- [50] PEKAŘ M., KLUČÁKOVÁ M., 2003: Alternativní, neenergetické aplikace lignitu. *CHEMagazín* 13: 8- 10.

- [51] PETRÁNEK J., BŘEZINA J., BŘÍZOVÁ E., CHÁB J., LOUN J., ZELENKA P., 2016: Encyklopedie geologie. Česká geologická služba, Praha.
- [52] 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.
- [53] PIŽL V., 2003: Vybrané aspekty interakcí žížal 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.
- [54] PRŮCHOVÁ P., 2012: Mikrobiální společenstva v půdě dlouhodobě kontaminované těžkými kovy. "nepublikováno", "Dep.: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta", Praha.
- [55] RADOCHOVÁ P., 2013: Biotické interakce v půdě a jejich význam pro tok organické hmoty v půdě. "nepublikováno", "Dep.: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta", Praha.
- [56] REJŠEK K., 2003: Půdní agregace a biota: interakce a zpětné vazby mezi organismem a jeho prostředím. 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, 27 - 32.
- [57] RUSEK J., 1998: Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 7: 1207 - 1219.
- [58] RUSEK J., 2000: Živá půda 1. Bohatost a rozmanitost života v půdě. *Živa* 1: 25 -27.
- [59] SALAŠ P., ROŽNOVSKÝ J., PEKAŘ M., VLK R., 2017: Přirozená infiltrace – pomocné půdní látky jako cesta k jejímu zlepšení. In: *Zadržování vody v krajině - cesta k vodnímu komfortu: sborník z konference, 2017, Evropský institut pro zadržování vody v krajině z.ú., Brno. VÚMOP*, 49 - 54.
- [60] SÁŇKA M., MATERNA J., 2004: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *PLANETA* 11: 6 - 54.
- [61] SÁŇKA M., KULHAVÝ J., KLÍMO M., 2004: Variabilita půd, půdotvorných procesů a faktorů. In: ROHOŠKOVÁ M. [ed]: *Pedodiverzita, Česká zemědělská univerzita, Praha, 2004*, 5 – 11.
- [62] 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.

- [63] 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.
- [64] SIX J., BOSSUYT H., DEGRYZE S., DENEK K., 2004: A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil and Tillage Research 79: 7 - 31.
- [65] SMOLÍKOVÁ L., 1988: Pedologie 1. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- [66] SMOLOVÁ I., 2019: Pedogeografické poměry ČR. Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Olomouc.
- [67] SYLVIA M. D., FUHRMANN J. J., HARTEL G. P., ZUBERER A. D. [eds.], 2005: Principles and Applications of Soil Microbiology. Prentice Hall, New Jersey.
- [68] 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.
- [69] ŠANTRŮČKOVÁ H., 2014: Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- [70] ŠANTRŮČKOVÁ H., MALÝ S., CIENCIALA E., 2015: Povodně a sucho – krajina jako základ řešení 2. Organická hmota a vodní retenční kapacita půd. Živa 2: 69 – 72.
- [71] ŠANTRŮČKOVÁ H., KAŠTOVSKÁ E., BÁRTA J., MIKO L., TAJOVSKÝ K., 2018: Ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Academia, České Budějovice.
- [72] ŠARAPATKA B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- [73] ŠEFRNA L., 2011: Soilscape Diversity. Životné prostredie 45: 203 - 205.
- [74] ŠIMEK M., 2003a: Základy nauky o půdě 3. Biologické procesy a cykly prvků. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, České Budějovice.
- [75] ŠIMEK M., 2003b: Základy nauky o půdě 1. Neživé složky půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, České Budějovice.
- [76] ŠIMEK M., ELHOTTOVÁ D., PIŽL V., 2015: Živá půda. Rozmanitost života a zdraví ekosystémů. Akademie věd ČR, Praha.

[77] 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.

[78] 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.

[79] ŠIMEK M., ELHOTTOVÁ D., SCHLAGHAMERSKÝ J., TAJOVSKÝ K., TUF H. I., 2020: Živá půda 1. Kdo v půdě žije? Živa 1: 27 – 32.

[80] ŠIMEK M., BARTUŠKA M., DEVETTER M., ELHOTTOVÁ D., FROUZ J., HAUEROVÁ R., KRIŠTŮFEK V., LUKEŠOVÁ A., PICEK A., TAJOVSKÝ K., URBANOVÁ Z., 2020: Bez půdy to nepůjde. Průvodce (nejen) výstavou velkoformátových informačních panelů. Biologické centrum Akademie věd České republiky, Ústav půdní biologie, České Budějovice.

[81] TAUFEROVÁ A., PETRÁŠOVÁ M., POKORNÁ J., TREMLOVÁ B., BARTL P., 2014: Rostlinná produkce. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, fakulta veterinární hygieny a ekologie, Brno.

[82] TISDALL J. M., OADES J. M., 1982: Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141 - 163.

[83] TOMÁŠEK M., 2000: Půdy České republiky. Český geologický ústav, Praha.

[84] TOMÁŠEK M., 2007: Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha.

[85] 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, 2003. VÚMOP, 19 - 32.

[86] VAVŘÍČEK D., KUČERA A., 2015: Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně. Ústav geologie a pedologie, Mendelova univerzita v Brně, lesnická a dřevařská fakulta, 181 s.

[87] VÁCHOVÁ L., 2009: Měření infiltrace půd a její využití při hodnocení krajiny a její ekologické stability. "nepublikováno", "Dep.: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav aplikované a krajinné ekologie", Brno.

[88] VOPRAVIL J., KHEL T., VRABCOVÁ T., NOVÁK P., NOVOTNÝ I., HLADÍK J., VAŠKŮ Z., JACKO K., ROŽNOVSKÝ J., JANEČEK M., VÁCHA R., PIVCOVÁ J., KVÍTEK T., NOVÁK P., FUČÍK P., ČERMÁK P., JANKŮ J., PAPA J. V., PÍRKOVÁ I., BANÝROVÁ J., 2010: Půda a její hodnocení v ČR. VÚMOP, Praha.

[89] VOPRAVIL J., HLADÍK J., HUISLOVÁ P., 2017: Charakter půd v ČR. In: Zadržování vody v krajině - cesta k vodnímu komfortu: sborník z konference, 2017, Evropský institut pro zadržování vody v krajině z.ú., Brno. VÚMOP, 13 - 16.

[90] WALLWORK J. A., 1970: Ecology of soil animals. McGraw-Hill, New York.

[91] WEIL C. R., BRADY C. N., 2007: The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall Publisher, New Jersey.

#### *Online zdroje:*

[92] BRITANNICA, 1998: Mesofauna. Encyclopedia Britannica, Chicago, online: <https://www.britannica.com/science/mesofauna>, cit. 2.3.2021.

[93] BRITANNICA, 2007: Megafauna, Encyclopedia Britannica, Chicago, online: <https://www.britannica.com/science/megafauna-soil-science>, cit. 15.3.2021.

[94] ČGS, 2019: Česká geologická služba. Mapy, půdní mapa, mapová služba WMS, online: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>, cit.: 1.1.2020.

[95] ELBL J., ZÁHORA J., 2014: The comparison of microbial activity in rhizosphere and nonrhizosphere soil stressed by drought. Mendelova univerzita, Brno. Nepublikováno, online: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1243.5921>, cit. 2.3.2021.

[96] JOHNS C., 2017: Living Soils: the Role of Microorganisms in Soil Health. Future Directions International, Independent Strategic Analysis of Australia's. Global interests, online: <https://www.futuredirections.org.au/wp-content/uploads/2017/06/Living-Soils-the-Role-of-Microorganisms-in-Soil-Health.pdf>, cit. 12.3.2021.

[97] MENDELU, 2018: Definice půdy. Mendelova univerzita v Brně, Brno. online: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=55088](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=55088), cit. 20.12.2019.



[98] MENDELU, 2018: Složení půdy. Mendelova univerzita v Brně, Brno, online: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=71346/](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71346/), cit. 20.8.2020.

[99] MENTA C., 2012: Soil Fauna Diversity – Function, Soil Degradation, Biological Indices, Soil Restoration. In: LAMEED A. G., [ed.]: Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World, online: <https://www.intechopen.com/books/biodiversity-conservation-and-utilization-in-a-diverse-world/soil-fauna-diversity-function-soil-degradation-biological-indices-soil-restoration>, cit. 10.3.2021.

[100] MOTYČKA V., MOTYČKOVÁ H., 2016: Víte co je edafon? Naše příroda 3, online: <http://www.nasepriroda.cz/artkey/npr-201603-0002.php>, cit. 15.2.2021.

[101] MZP, 2019: Definice půdy. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, online: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice\\_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice\\_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf), cit. 5.11. 2019.

[102] SOILTEQ, 2020: Žížaly vytváří úrodné a strukturní půdy. Souflett agro a.s, Prostějov, online: <http://www.soilteq.eu/cs/blog/zizaly-vytvari-uroodne-strukturni-pudy/>, cit. 20.10. 2020.

[103] VAŠKŮ Z., 2008: Půda je nenahraditelná. Ekolist 3, Praha, online: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/zdenek-vasku-puda-je-nenahraditelna>, cit. 7.11. 2019.

#### ***Legislativa:***

[104] ČSN 75 0101. Vodní hospodářství – základní terminologie. Praha, Český normalizační institut, 2003.

## 10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### *Seznam obrázků*

Obrázek 1: Schématické porovnání hlavních velikostních kategorií půdních částic...5	5
Obrázek 2: Schématický půdní profil a základní složky půdy..... 8	8
Obrázek 3: Půdní profil s horizonty ..... 10	10
Obrázek 4: Diagram znázorňující zastoupení základních půdních typů na území ČR... ..... 12	12
Obrázek 5: Mapa ČR s půdními typy..... 19	19
Obrázek 6: Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (NRSC USDA)..... 21	21
Obrázek 7: Půdní voda ovlivňující fyzikální a chemické vlastnosti, které mají vliv na biologickou aktivitu ..... 23	23
Obrázek 8: Schéma půdního prostředí ..... 26	26
Obrázek 9: Složení půdní organické hmoty v hmotnostních procentech..... 30	30
Obrázek 10: Aktivní arény zahrnující „hotspots“ aktivity půdní bioty..... 36	36
Obrázek 11: Schéma interakce makroagregátu a půdní bioty v mikroskopickém měřítku ..... 36	36
Obrázek 12: Polní vodní kapacita a bod vadnutí v závislosti na půdním druhu..... 37	37
Obrázek 13: Rozdělení půdní fauny v rámci velikosti..... 39	39
Obrázek 14: Schéma prostorových vztahů mezi organismy, póry, minerálními částicemi a vodním filmem ..... 43	43

### *Seznam tabulek*

Tabulka 1: Půdní druhy dle klasifikační stupnice (Novák, 1953)..... 20	20
Tabulka 2: Infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nenasycení vodou..... 27	27
Tabulka 3: Infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení vodou ..... 28	28