

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Agropodnikání

Katedra: Katedra aplikovaných biotechnologií

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Půdní organická hmota, její složky a důvody, proč je nutno tyto složky  
rozlišovat

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.

Autor: Petra Krátká

České Budějovice, duben 2014



### **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. V platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 10. 4. 2014

podpis studenta

**Poděkování:**

Děkuji za účinnou a všestrannou pomoc a za cenné rady vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Ladislavu Kolářovi, DrSc, za metodické a odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Krátká P., 2014: Půdní organická hmota, její složky a důvody, proč je nutno tyto složky rozlišovat. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií.

## **Anotace**

Z různých médií, ale i z laické a odborné literatury se často dozvídáme o půdní organické hmotě jako celku, který se ve svých vlastnostech nijak zvlášť neodlišuje, nebo o názvoslovných nepřesnostech, ze kterých se dedukují často chybné závěry o půdní úrodnosti, poklesu obsahu humusu a tím i špatném hospodaření.

Toto je důvod, proč jsem se v této práci zabývala literární rešerší o půdní organické hmotě a jejích složkách, které je nezbytné od sebe odlišovat, jelikož mají zcela různé vlastnosti a vznikají i za rozdílných transformačních procesů.

Zabývám se vysvětlením pojmů z hlediska členění organické půdní hmoty, kterou lze rozdělit na dvě velké skupiny podle odlišného chování v mineralizaci a iontové výměně-primární půdní organickou hmotu a stabilní humus.

Primární půdní organická hmota je spalována za rozkladného exotermního procesu mineralizace a je zdrojem živin a energie pro půdní edafon a rostliny.

Humus je stálá organická hmota a humusové látky v půdě významně ovlivňují půdní úrodnost, obsah živin v půdě a drobtovitou strukturu půdy, kdy je nastolen optimální vzdušný, vodní a tepelný režim půd. Navíc mají vysokomolekulární HK schopnost vázat škodlivé těžké kovy.

## **Klíčová slova:**

primární půdní organická hmota, humus, půda, půdní edafon

**Abstract:**

Krátká P., 2014: Soil organic material, its components and reasons, why it is essential to differentiate them. University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Agriculture, Departments of applied plant biotechnologies.

**Anotation:**

We are learning about a soil organic material as a unit from diverse media or lay and specialist literature. This information is not differing the parts and characteristic of the soil complex. There are also terminological discrepancies which lead to incorrect deduction about soil fertility, decrease of topsoil content and poor management.

This is a reason, why I do a literary summary in my thesis about a soil organic material and an individual soil component. It is essential to distinguish the soil components for their different quality and the different origin after transformation process.

My task was a term clarification in soil organic material segmentation. We can divide it in two major groups: primary soil organic material and stable topsoil.

The primary soil organic material is decomposed in exothermic mineralization process and is a origin of a nutrients and an energy for the soil edaphon and plants.

The topsoil is a stable organic material and its matters significantly affect fertility, nutrient content, structure, aerial, aquatic and thermic regime of the soil. Moreover the topsoil matters has a highmolecular HK ability to the heavy metals absorption.

**Key words:**

primary soil organic material, topsoil, soil, soil edaphon

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>LITERÁRNÍ PŘEHLED .....</b>	<b>8</b>
2.1	PŮDA .....	8
2.2	ROZDĚLENÍ PŮDY A ZEMINY Z PEDOLOGICKÉHO HLEDISKA .....	8
2.3	SLOŽENÍ PŮDY .....	9
2.3.1	<i>Tuhá fáze .....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Kapalná fáze .....</i>	<i>11</i>
2.3.3	<i>Plynná fáze.....</i>	<i>11</i>
2.4	PŮDNÍ ÚRODNOST .....	12
2.5	ŽIVINNÝ REŽIM PŮD .....	13
2.6	SORPCE A IONTOVÁ VÝMĚNA HUMUSU A PRIMÁRNÍ ORGANICKÉ HMOTY.....	13
2.6.1	<i>Sorpce.....</i>	<i>13</i>
2.6.2	<i>Rozdíl mezi sorpcí a iontovou výměnou.....</i>	<i>15</i>
2.6.3	<i>Výměnné a přístupné ionty a živiny.....</i>	<i>15</i>
2.7	ORGANICKÁ HMOTA.....	16
2.8	PRIMÁRNÍ PŮDNÍ ORGANICKÁ HMOTA .....	18
2.9	HUMUS .....	19
2.9.1	<i>Teorie vzniku půdního humusu .....</i>	<i>20</i>
2.9.2	<i>Humusové kyseliny .....</i>	<i>20</i>
2.9.3	<i>Hodnocení kvality humusu.....</i>	<i>21</i>
2.10	ROZKLAD ORGANICKÉ PŮDNÍ HMOTY .....	25
2.11	MINERALIZACE .....	25
2.11.1	<i>Humifikace.....</i>	<i>27</i>
2.12	ROZDÍL MEZI HUMUSEM A PRIMÁRNÍ PŮDNÍ ORGANICKOU HMOTOU .....	28
<b>3</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>33</b>

# 1 Úvod

V mé bakalářské práci jsem nastínila problematiku názvoslovné nepřesnosti pojmů půdní organická hmota a humus, která vede často k nesmyslným dedukcím.

Z různých médií se můžeme dozvědět, že kvůli klesajícímu obsahu uhlíku v půdě, který byl v průběhu posledních let sledován, klesá i rapidně obsah humusu v půdách České republiky v důsledku špatného hospodaření zemědělců.

Je skutečně tvrzení, že pokles uhlíku znamená automaticky i pokles obsahu humusu v půdě, pravdivé? Skutečně je pokles obsahu uhlíku zapříčiněn špatným obhospodařováním?

Toto vyvracím a objasňuji v mé bakalářské práci.



## **2 Literární přehled**

### **2.1 Půda**

Již od počátku lidské společnosti je půda a její úrodnost těsně spjata s existencí a kvalitou lidského společenství života vůbec. Půda plní v přeneseném slova smyslu funkci výživy lidstva, a je proto zásadní složkou, kterou nelze nahradit žádným jiným prvkem v přírodě. Tvoří ji relativně tenká vrstva zemské kůry (od několika cm do několika m), která se vyznačuje největší hustotou organismů a největší intenzitou geochemických procesů a vzniká procesem nazývaným pedogeneze, již ovlivňují též vnější faktory a čas.

Definice půdy vyplývající z podstaty jejího vzniku, je dle V. V. Dokučajeva následující: „Půda je povrchová vrstva hornin, které jsou proměněné působením vody, vzduchu a organismů. Je to samostatný přírodně-historický útvar se stále se měnícími vlastnostmi působením hornin, klimatu, rostlinných a živočišných organismů, reliéfu, nadmořské výšky a doby“ (Vráblíková, Vráblík, 2006).

Úrodnou půdu je snadné degradovat, ale velmi složité a obtížné ji obnovit. Bylo zjištěno, že jeden centimetr půdní vrstvy se tvoří zhruba 80-150 let. (Jandák, Pokorný, Prax, 2010)

V dnešní době je bohužel poměrně častým jevem, právě nešetrné zacházení s půdou ve smyslu nesprávného hnojení a obhospodařování a tím rychlého znehodnocení tohoto cenného přírodního zdroje.

### **2.2 Rozdělení půdy a zeminy z pedologického hlediska**

V pedologii se setkáváme s pojmy půda a zemina. Rozdíly mezi těmito dvěma termíny spočívají v přístupu k jejich třídění.

Základní jednotkou klasifikace zemin je půdní druh. Půdní druh se určuje pomocí stupnice půdních druhů (dle Nováka), viz tabulka č. 1.

Klasifikační systém půd České Republiky rozeznává celkem 15 referenčních tříd a následně několik desítek půdních typů, které jsou základní jednotkou při klasifikaci půd a to dle jejich geneze. Jako příklad mohu uvést např. černosoly s významným typem černozem (CE) a černice (CC), luvisol, které zahrnují typy: šedoze (SE), hnědoze (HN) a luvize (LU). Z hlediska půdní úrodnosti je asi nejvýznamnější černozem, která má vyšší přirozenou úrodnost než například hnědoze.

Tab. č. 1 - Stupnice půdních druhů (dle Nováka), (Kozák, Němeček, Matula, Valla, Borůvka, 2008).

% I. kategorie	Půdní druh	Označení půdy
0-10	písčítá	lehká
10-20	hlinitopísčítá	
20-30	písčitohlinitá	střední
35-45	hlinitá	
45-60	jílovitohlinitá	těžká
65-75	jílovitá	
>75	jíl	

## 2.3 Složení půdy

Půda tvoří heterogenní polydisperzní systém skládající se z fáze tuhé, plynné i kapalné.

### 2.3.1 Tuhá fáze

#### a) minerální podíl

- jílové minerály - u hlinitokřemičitanů, které mají vrstevnatou mřížku s vysokým stupněm disperzity, jde o hlavní složku jílové frakce půd, kdy jsou částice <0,001mm. Jde o významné částice, které udávají základní vlastnosti půd. Vznikají rozpadem primárních křemičitanů nebo naopak syntézou produktů, které se uvolňují při zvětrávání minerálů, biochemickými procesy i pomocí půdních mikroorganismů. Krystalové mřížky, tvořící základní stavební

jednotku jílových minerálů, jsou křemíkové tetraedry a hliníkové oktaedry. Dále se jílové minerály dělí dle vzájemného postavení vrstev do několika skupin (allofánová-intenzivně váže humusové kyseliny, kaolínová, montmorillonitická, allitická, allitická, chloritická).

- oxidy a hydroxidy
- primární minerály – jsou v půdě zastoupeny až z 92-95 %. U primárních křemičitanů jde o křemitokyslíkové tetraedry, kde jsou základem vnitřní krystalové struktury anionty  $(\text{SiO}_4)^{4-}$ . Někdy bývá křemík nahrazen hliníkem (alumosilikát), který tvoří pak tetraedrické  $(\text{AlO})^{5-}$  nebo oktaedrické  $(\text{AlO})^{9-}$  anionty. Hliník může též vytvářet anionty, kde je kyslík nahrazen aniontem  $\text{OH}^-$ , nebo  $\text{F}^-$  (Jandák, Pokorný, Prax, 2010).

b) **Organický podíl** - ten tvoří jednak složku živou, zastoupenou půdním edafonem a rostlinami a neživou, rozdělenou na primární půdní organickou hmotu a humusové látky. Setkáváme se též s členěním na organické látky nehumifikované, přechodné a humifikované.

- Živou část významně ovlivňují rostliny jak biologicky, tak chemicky a to při tvorbě kořenů, mohutností kořenového systému, kdy jeho následným odumřením zanechávají kvalitní organický materiál v půdě.
- Půdní edafon je tvořen makro-, meso- a mikroedafonem. Nejvíce produktivní je mikroedafon, především bakterie, aktinomycety, houby, sinice apod. (Vaněk, Kolář, Pavlíková 2006). Mikroorganismy v půdě jsou velmi důležitou složkou půdy. Zejména v zemědělství hrají svou velkou roli například tím, že zprostředkovávají výživu rostlin mineralizačními procesy dodávající uhlík a dusík, zvyšují půdní úrodnost díky syntetické schopnosti, která je příznivá z hlediska hromadění „čistého humusu v půdě“ a udržují též její optimální drobtovitou strukturu.
- V jednom hektaru ornice můžeme nalézt 2,5-10 tun mikroorganismů, které představují aktinomycety, plísňe, bakterie a další. Je ohromující, že jeden gram ornice obsahuje 1-10miliard bakterií. Půdní mikroorganismy jsou součástí dynamického procesu utváření

půdy. Jejich neustále množení, růst i odumírání způsobují různé pochody syntetické i rozkladné za výsledku kumulace živin v půdě. Buňka bakterie se skládá z 50% uhlíku a 10% dusíku. Při stavbě svého těla a k udržení životních pochodů, musí zužitkovat při dýchání velké množství organických látek za účelem získání energie.(Fjodorov, 1958).

Koloběh živin v půdě je převážně umožněn díky půdním mikroorganismům, kteří rozkladem a přeměnou organických látek získávají energii a stavební látky pro růst svého těla a přitom umožňují návrat látek do půdy a to v anorganické formě (Haslmayr 2011).

### 2.3.2 Kapalná fáze

Kapalnou fází půdy tvoří voda s rozpuštěnými látkami rozdílného skupenství – CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, minerální a organické sloučeniny.

- a) **minerální sloučeniny** – dusitany, dusičnany, sírany, chloridy, hydrofosforečnany a dihydrofosforečnany vápenaté, hořečnaté, hlinité (v kyselých půdách), atd.
- b) **organické sloučeniny** – fulvokyseliny a jejich soli, cheláty, bílkoviny, aminokyseliny, sacharidy, atd.

Zde se odehrávají biochemické, zvětrávací a pedologické procesy, které se následně podílí na koloběhu organických látek v půdě a tím i na jejich příjmu rostlinami.

Pohyb půdního roztoku je ovlivněn gravitací (elektrokapilaritou), difuzí a osmozou (osmotický tlak je běžně kolem 10atm, u halofytů i 25atm), (Kolář, 1975).

### 2.3.3 Plynná fáze

Plynnou fází půdy představuje půdní vzduch, který vyplňuje současně s půdním roztokem veškeré volné póry. Nejvíce je zde obsažen oxid uhličitý (zhruba 0,3%) čpavek vzniklý mineralizací a kyslík. Dostatečná provzdušněnost půdy se odráží i na biologické činnosti půdy, kdy se mineralizací organických látek lépe uvolňují živiny (Richter, 1996).

## 2.4 Půdní úrodnost

Jako „půdní úrodnost“ můžeme označit souhrnné vlastnosti půdy, které poskytují rostlinám a pěstovaným plodinám vhodné prostředí s dostatkem živin a vody, zajišťující jejich optimální růst a vývin (Richter, 1996).

Mezi dynamické prvky půdní úrodnosti se zahrnuje obsah  $N_{min}$ ,  $N_{miner}$ , přijatelných makro- a mikroživin, výměnných kationtů, sorpční kapacitu, obsah  $C_{ox}$ , pH, pórovitost a zastoupení velikostních skupin půdních pórů, stav utužení, zastoupení makro- a mikroedafonu, množství škůdců v závislosti na pěstovaných plodinách.

Na půdní úrodnost a rovnováhu výnosu pěstovaných plodin, působí obzvláště příznivě použití statkových hnojiv v kombinaci s hnojivy minerálními. Z hlediska hromadění a obsahu stabilních organických látek v půdě, je hnůj a kvalitní kompost nejlepší variantou. Oproti tomu například kejda a močůvka se vyznačují rychlým účinkem a mineralizací, která však může mít za následek i snížení obsahu celkového uhlíku v půdě. Kejda a močůvka poskytují rostlinám pohotový zdroj živin, ale obsah organických látek v půdě nezvyšují (Kužel, Kolář, Ledvina, Klufová, 2002).

Kvalita zemědělské půdy je základním předpokladem zemědělské výroby. Vysoký výnos a kvalita pěstovaných plodin, stejně jako dobrá stabilní zásobenost půdy živinami, by měla korespondovat s racionálním využíváním hnojiv. Dle dlouhodobého polního pokusu se ukazuje stupňované hnojení jako účinné. Půdní úrodnost je z agrochemického hlediska ovlivněna obsahem živin, organických látek a půdní reakcí. Pěstovaným rostlinám musíme zajistit optimální hladinu živin. Jejich nadměrný či nedostatečný příjem způsobuje pokles množství i jakosti produkce (Klement, Smatanová, Trávník, 2012).

Někdy bývá organická hmota označována jako organické hnojivo. Toto však musí splňovat důležitý fakt: mikrobiální rozložitelnost musí být snadná, z důvodu uvolnění energie pro půdní mikroorganismy (Kolář Ladislav, 2009). Zpracováním organických a minerálních hnojiv, zpracováním půdy působí i člověk na úrodnost půdy. Půdní úrodnost je potencionální (přirozená, nacházející se jen u půd panenských) a efektivní (určujeme objemem a kvalitou sklizně), (Vrba, Huleš, 2006)

## 2.5 Živinný režim půd

Jak už bylo zmíněno, živiny jsou obsaženy jednak v půdním roztoku, tak i v tuhé fázi půdy. Jsou vázané na sorpční komplex, organickou hmotu a v krystalové mřížce silikátů.

- Proces, kdy se živiny stávají využitelnými pro rostliny a to z podoby nerozpustné do rozpustné se nazývá mobilizace.
- Imobilizace je děj protichůdný – ionty přecházejí z vodorozpustné do nerozpustné formy.
- Mineralizací nazýváme pak uvolnění živin při rozkladu mikrobiálním, kdy nastává koloběh látek, jelikož se zde prvky nejprve uvolňují a následně vracejí do půdy.

Všechny tyto složité děje nastávají současně a jsou výsledkem živinného režimu půd. Přístupné výměnné a rozpustné živiny tvoří jen kolem 1% z celkového obsahu živin v půdě. Přijatelné živiny jsou živiny přístupné, rozpustné v půdním roztoku a přímo ovlivňují výživu rostlin. Rezervou živin pro rostliny se stává část živin vázaných na podíl minerální, organominerální a organický.

Při kontrole úrodnosti půdy (KÚP) se stanovuje obsah přístupných živin. Dle výsledků pak aplikujeme potřebné množství hnojiv fosforečných, draselných a hořečnatých (Richter, 1996).

## 2.6 Sorpce a iontová výměna humusu a primární organické hmoty

### 2.6.1 Sorpce

Sorpce je děj neustále probíhající a dynamický. Je to proces pohlcování jedné látky látkou druhou. Dle povahy se sorpce dělí na adsorpci (kumulace rozpuštěné látky na povrchu látky přidané do roztoku), absorpci (vstřebávání, nasávání do sebe) a chemisorpci (vznik chemické a iontové vazby), (Brdička 1952).

Schopnosti zadržování a následného uvolňování iontů prvků do půdního roztoku se označuje jako sorpční komplex půdy. Takto uvolněné živiny jsou následně rostlinami snadno a ochotně přijímány a to v přímé závislosti na obsahu humusových a jílnatých částic půdy, který hraje jak kvalitativní, tak kvantitativní roli. Sorpci ovlivňuje jak půdní druh, typ nebo pedogenetické procesy. Jinak řečeno zrnitost na stejném

půdním typu má odlišné sorpční vlastnosti. Ionty jsou v půdě fixovány na dvě rozličné složky: na organickou a anorganickou část.

Sorpce se dělí na:

- a) mechanickou – částice jsou, většinou v pórech, zadržovány mechanicky
- b) fyzikální – povrchové síly půdních částic v mřížkách jílových minerálů poutají živiny
- c) fyzikálně- chemickou – nastává výměna iontů mezi povrchem a půdním roztokem
- d) chemickou – tvoří se zde sraženiny a sloučeniny, které jsou následně mechanicky zadržovány v půdě
- e) biologickou – látky jsou sorbovány především těly rostlin a půdních mikroorganismů

Největší význam má sorpce fyzikálně-chemická, kdy se na fázovém rozhraní pevné části půdy a půdního roztoku nepřetržitě vyměňují ionty a ustaluje se tak i rovnováha mezi náboji v půdním sorpčním komplexu. Rovnováha půdního prostředí je neustále narušována např. odběry prvků rostlinami, mineralizací a humifikací, hnojením atd.

K vyjádření hodnoty sorpčního půdního komplexu se používá kationová výměnná kapacita (KVK). Jednotkami jsou milimoly na kg půdy, což označuje moly pozitivního náboje na jednotku hmotnosti půdy. Tato hodnota vyjadřuje množství kationtů, které je půda schopna poutat při neutrální hodnotě pH.

V tabulce č. 2 je zobrazeno hodnocení KVK dle Mehlicha. Princip této metody spočívá v nahrazení všech sorbovaných iontů v komplexu jiným iontem (tzv. metoda indexového iontu). Iont je posléze vytěsněn znovu do roztoku a jeho množství následně odpovídá sorpční kapacitě daného vzorku.

Tab. č. 2 - hodnocení KVK stanovené metodou dle Mehlicha (Vopravil a kol., 2009).

<b>Hodnocení KVK stanovené metodou dle Mehlicha</b>	
<b>KVK (mmol/100g)</b>	<b>Hodnocení</b>
<12	Nízká až velmi nízká
13 -24	Střední
25 – 30	Vysoká
>30	Velmi vysoká

Nejvýznamnější roli hraje v živinném režimu půdy efektivní kationová výměna ( $KAK_{eff}$ ). Ta je dána obsahem půdních minerálů a humusu a souvisí též úzce s hodnotou pH. Nejvyšší hodnoty KVK vykazují pseudogleje a pseudooglejené hnědozemě. Nejnížší můžeme pozorovat u půd s lehkou a písčitou texturou (Haslmayr 2011).

### 2.6.2 Rozdíl mezi sorpcí a iontovou výměnou

Schopnost sorpce živin, která má rozhodující vliv na výživu rostlin, je u primární organické hmoty celkem velká, ale iontová výměna je zanedbatelná, většinou žádná. Diference mezi sorpcí a iontovou výměnou je, že sorpční děj probíhá se změnou náboje a iontová výměna nikoliv. Primární organická hmota, na rozdíl od humusu, rychle mineralizuje a tím se stává zároveň zdrojem živin pro půdní mikroedafon a rostliny, což o humusu tvrdit nelze.

### 2.6.3 Výměnné a přístupné ionty a živiny

Složení matečního substrátu, pedogenetické procesy, obsah uhličitánů, hodnota pH a úroveň organického a minerálního hnojení má vliv na sorpční komplex půdy. Chemickými ukazateli jsou stanovení sumy bazických kationtů, kromě kationtů vodíkových (S), nasycenost sorpčního komplexu bazickými kationty (V), která se udává v procentech lze vypočítat ze vztahu  $V=(S/KVK)*100$  a zastoupení jednotlivých výměnných iontů ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ), vázaných na sorpční komplex a mohou být uvolněny z vazebných míst do půdního roztoku a jsou zdrojem výživy pro rostliny.



Budeme-li kupříkladu hnojit kysele působícím hnojivem, které uvolní vodíkové ionty, jsou vícemocné kationty sorpčního komplexu uvolněny a následně nahrazeny vodíkem, což vyrovná náboj mezi fázovými rozhraními a dochází k acidifikaci. Proto platí, že čím více je sorpční komplex nasycen vícemocnými bazickými ionty, tím více odolává výkyvům pH např. při kyselých deštích, nebo kyselých produktech při rozkladu organické hmoty. Tato schopnost se označuje jako pufrční schopnost půdy.

Všechny kationty musí být ale též v optimálním zastoupení, jelikož i poměr obsahu  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  spolu koreluje. Při vysokém obsahu draslíku se pro rostliny stává hořčík hůře přijatelný. Pro představu uvádím tabulku č. 3, která ukazuje dle ÚKZÚZ optimální zastoupení kationtů v sorpčním komplexu (Vopravil a kol., 2009).

Tab. č. 3 - optimální zastoupení kationtů v sorpčním komplexu, (Vopravil a kol., 2009).

<b>Optimální zastoupení kationtů v sorpčním komplexu půdy (ÚKZÚZ, 2005)</b>			
<b>Hodnota KVK (mmol/kg půdy)</b>	<b>% kationtů v sorpčním komplexu</b>		
	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$
Do 120	65	15	3 – 5
120 -180	75	10	3 – 4
>180	85	5	2 – 3

## 2.7 Organická hmota

Půdní organickou hmotu tvoří primární půdní organická hmota a humus. Někdy bývají tyto dvě složky zaměňovány nebo dokonce ztotožňovány. Jde o velmi hrubou a zásadní chybu, jelikož zde vznikají různé látky při specifických transformačních procesech, které svými vlastnostmi následně ovlivňují, popř. neovlivňují další pochody v půdě, včetně půdní úrodnosti. Půdní organická hmota je zastoupena odumřelými organismy a produkty přeměny organických zbytků. Je též velmi významným zdrojem živin pro rostliny a to především dusíku v půdě. Podíl na půdní úrodnosti je tedy významný.

V globálu můžeme též charakterizovat tyto dvě složky dle chování při procesu mineralizace a iontové výměně.

Půdní organická hmota se skládá tedy z humusu a primární organické hmoty, která je rozdělena do četných frakcí, např. dle lability, což je stupeň odolnosti buď k chemické, nebo enzymatické hydrolýze.

Existuje mnoho definic právě pro půdní organickou hmotu. Baldo a Nelson (2000) definují půdní organickou hmotu jako „sumu všech přírodních a termálně změněných látek biologického původu, které se nacházejí v půdě nebo na půdním povrchu, jakéhokoliv původu, živých nebo odumřelých organismů v jakékoliv fázi rozkladu, s výjimkou nadzemních částí živých rostlin“. (Kubát, Cerhanová, Mikanová, Šimon, 2008)

Přímý vliv na množství a kvalitu půdní organické hmoty má i změna hospodaření v posledních letech. Příčiny jsou různé:

- tržní plodiny zaujímají větší podíl na orné půdě, než např. víceleté pícniny, které jsou pro reprodukci půdní organické hmoty příznivé a s tím souvisí i změna osevních postupů, které se řídí spíše dle ekonomických než dle agrotechnických potřeb
- pokles základní produkce pěstovaných rostlin a tím i následný objem posklizňových zbytků
- významný je i pokles stavů hospodářských zvířat a tím pokles produkce statkových hnojiv
- nepoměr mezi velkými plochami orné půdy a dostatečnou chybějící výrobou živočišnou

Z provedených analýz v metodice hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách (Kubát, 2008) vyplývá, že obsah POH (organického C v půdě) neovlivňuje nijak výrazně ani druh půdy, ani nadmořská výška. Svou funkci mají však tyto podmínky při transformaci organických látek v půdě. Byly zaznamenány velké místní rozdíly mezi dlouhodobě nehnojenými parcelami (obsah org. C od 0,95%-1,80%) a při kombinovaném organicko-minerálním hnojení, kde je odchylka výrazně nižší (0,06%-0,32%). Zásadní vliv má tedy lokalita a naopak hnojením se nijak výrazně obsah POH nezvyšuje. Je důležité znát při kategorizaci

půd tedy nejen úroveň zásoby POH (optimální, nízká, vysoká), ale hlavně také její kvalitativní znaky. (Kubát a kol, 2008)

## 2.8 Primární půdní organická hmota

Primární organická hmota v půdě se v půdě nachází jak nerozložená, tak i v různém stupni rozkladu. Reaktivita rozkladu rostlinných i živočišných zbytků a produktů jejich látkové přeměny je odlišná podle látkového složení a souvisí do jisté míry i s půdními podmínkami. Primární půdní organická hmota více či méně mineralizuje a ovlivňuje důležité pochody v půdě. Je příznivá pro vývin mikroorganismů a makroedafonu, kdy produkcí CO<sub>2</sub> a minerálních látek se stává zdrojem živin a energie. Bez primární organické hmoty by nebyl umožněn ani vznik látek humusových a v neposlední řadě působí jako novátor fyzikálních vlastností půd.

Organická hmota vzniká z různých zdrojů:

- Rostliny působí díky svému kořenovému systému na rhizosféru a to kořenovou exudací. Do kořenové části je pro zajištění fyziologických procesů přiváděna převážně sacharóza. Významná část uhlíku (až 40%) je sekretována v podobě jednodušších organických sloučenin do přímého okolí kořenů. V kořenových sekretech se nacházejí tedy cukry a organické kyseliny (jablečná, citrónová, vinná, fumarová, atd.), vitaminy, fytohormony, i enzymy, které slouží mikroorganismům jako lehce dostupné zdroje organického uhlíku a ovlivňují též množství živin v celé rhizosféře.
- Další kvalitní zdroj primární organické hmoty tvoří odumřelé mikroorganismy a makroedafon. Kromě zdroje látek organických, představují po proběhlé mineralizaci i zdroj živin minerálních.
- Lehce rozložitelným a hlavním materiálem, který po sklizni zůstává v půdě, jsou vlasové kořínky a buňky, které z povrchu kořenů odpadávají, obzvláště pak kořenové parenchymové čepičky chránící meristém. Značné množství posklizňových zbytků zanechávají v půdě jeteloviny a jetelotrávy (3-5t OL/ha), na druhém místě pak obilniny (1-2tOL/ha) a nejméně okopaniny (0,5-1,0t OL/ha). Rychle mineralizující chrást po sklizni cukrové řepy nebo posklizňové zbytky košťálovin (40-55t čerstvé hmoty/ha) a statková hnojiva, která jsou však zastoupena v limitním

množství kvůli stále více klesajícímu stavu hospodářských zvířat, jsou důležitým zdrojem živin (Vaněk, Kolář, Pavlíková, 2006).

Labilní frakce půdní organické hmoty, která snadno mineralizuje, je velmi dobře rozložitelná. Je tudíž v dnešní době považována jako důležitý ukazatel půdní kvality (Haynes 2005, Ghani et al. 2003). Za tuto frakci jsou považovány uhlíkaté látky rozpustné v horké i studené vodě, v roztocích různých solí, hodnoty proteinů, hemicelulóz a cukrů a mineralizovatelné organické látky vůbec. Stupeň lability organických látek se posuzuje z uhlíku particulate organic matter, z frakcí postupné oxidace  $K_2Cr_2O_7$  v 6 M, 9 M a 12 M  $H_2SO_4$ , z obsahu uhlíku oxidovatelného  $15,6 + 33 + 333$  mM  $KMnO_4$  (Blair et al. 1995, Chan et al. 2001, Rovira, Vallejo 2002, 2007, Zhang et al. 2006, Soon et al. 2007, Marriot et al. 2006, Jiang et al. 2006).

Stupeň stability organických látek i pro účely organického hnojení se hodnotí dle kyselé hydrolyzy a dělí se do tří frakcí: 1M a 2,5M  $H_2SO_4$  při  $105^\circ C$  a 0,5-12 hodin reakční doby (Shirato, Yokozawa 2006).

## 2.9 Humus

Definice pojmu „humus“ se opět neseťkává se stejnými názory. V lesním hospodářství nazývá Wittich (1952) humusem všeobecně veškerou organickou hmotu s výjimkou loňské opadanky. Laatsch (1957) definuje humus jen jako podíl organické hmoty, která nevykazuje žádnou makro- a mimobuněčnou strukturu. Kubiena (1953) vykládá pojem humus ekologicky: jsou to jen takové organické látky, které se nahromadily v jednotlivých typech půd za specifických podmínek a jsou velmi těžko nahraditelné. Jiní zas tvrdí, že humus tvoří odumřelé části rostlin a živočichů nacházející se v půdě a na jejím povrchu, které podléhají neustálé degradaci, přeměně a následné syntéze (Müller a kol., 1985).

Humus tvoří huminové kyseliny, fulvokyseliny a humíny, což jsou adsorpční komplexy huminových kyselin s jíly (minerální koloidní frakce) a soli huminových kyselin.

Humus je v podstatě stabilní organická hmota, kdy právě humusové látky v půdě významně ovlivňují půdní úrodnost i obsah živin, zároveň mají také příznivý vliv na drobtovitou strukturu půdy a je nastolen optimální vzdušný, vodní a tepelný režim

půd. Navíc má schopnost vázat škodlivé sloučeniny, těžké kovy a zabraňuje vysrážení fosforečných sloučenin z půdního roztoku.

### 2.9.1 Teorie vzniku půdního humusu

Humusové látky jsou molekulárně mnohem složitější než látky organické, které vytvářejí zelené rostliny. O tom, jak vlastně vznikají, se vedou dodnes mnohé diskuze.

Základem vzniku huminových kyselin se dle M. Kononové (Fjodorov, 1958), podílí aromatické sloučeniny typu fenolů např. trísloviny, které nejsou vázané svým původem na lignin. Kononová vyslovila též domněnku, že procesu humifikace se zúčastňují rozličné rozpustné polyfenoly. Ty vytvářejí pak první složku huminových kyselin, a sice cyklickou uhlíkatou skupinu. Následuje kondenzační proces, připojující druhou uhlíkatou část, kterými jsou produkty rozkladu těl celulosových myxobakterií a to za katalysační účasti oxidačních enzymů. Tyto označuje pak Kononová jako „prohumusové látky“.

Jiný názor zastává K. I. Rudakov (Fjodorov, 1958). Humus se může dle něho vytvářet i vzájemným působením kořenového systému rostlin a půdních bakterií, vytvářejících protopektinasy. Rudakov tvrdí, že humusové látky jsou tvořeny opět dvěma složkami. Jednak z polyuronidů a proteinů, které syntetizují půdní bakterie. Takto vzniklé látky, které spolu vstupují do reakce, nazval Rudakov „uronoproteiny“. Cementizující charakter získávají tyto látky díky své tmelící schopnosti, kdy na ně působí soli vápníku anebo promrznutí. Rudakov je proto počítá k „humusu aktivnímu“. Význam těchto látek spočívá v tvorbě nerozmokaných strukturních půdních agregátů (Fjodorov, 1958).

### 2.9.2 Humusové kyseliny

Pod pojmem humusové kyseliny se rozumí kyseliny humínové (HK, HA) a fulvokyseliny (FK, FA). Základní složení v molekule humusových kyselin tvoří uhlík, dusík, a kyslík. Jsou to v podstatě velké množství, lišící se v prostorovém uspořádání jejich postranních řetězců, substituentů, ale především stupněm polymerace, kdy z malých molekul vznikají látky vysokomolekulární a stupněm polykondenzace, kdy postupnou kondenzací vznikají látky makromolekulární. Z uvedeného tedy logicky vyplývá, že se jedná o rozdíly v relativní molekulové hmotnosti udávající tudíž i jejich vlastnosti. Doposud se však nepodařilo izolovat

jednotlivé chemické sloučeniny, kvůli podobnosti a velkému množství těchto látek. V dnešní době jsou již vědci schopni rozdělit HK a FK do tří podskupin:

- dle relativní molekulové hmotnosti
- dle nenasycenosti vazeb
- dle převažujících substituentů

Rozdíl mezi vlastním pravým humusem, který tvoří již zmíněné humínové kyseliny, fulvokyseliny, humíny a primární půdní organickou hmotou je značný a diametrálně zcela odlišný.

Udává se, že mineralizace humusu na polovinu, probíhá velmi pomalu. U stabilizovaných fulvokyselin za několik desetiletí, u volných humínových kyselin a humátů řádově 600 – 3000 let, a humíny jsou dokonce mnohem stabilnější než kyseliny humínové. Například dusík vázaný v molekulách humínových kyselin, je z tohoto důvodu pro rostliny nedosažitelný (Vaněk, Kolář, Pavlíková, 2006).

### 2.9.3 Hodnocení kvality humusu

Hodnocení kvality humusu se dostalo mnohem větších nepřesností a to i v literatuře odborné. Kvalita humusu byla dle Soussura (1804) a dodnes je (Sotáková 1982) posuzována na základě poměru C, H, O, což odráží jen hrubě obraz struktury základní molekuly HK.

V odborné literatuře se například dočítá o třídění organických látek např. podle Vally, který se zmiňuje o humusu vlastním – HK, FK, humíny - a humusu veškerém - humusotvorný materiál – zahrnující primární organickou hmotu s jejími meziprodukty rozkladu a syntézy. Takto definovaný „veškerý humus“ nedisponuje iontovýmennou schopností. Primární organická hmota je schopna pouze sorpčního fyzikálního děje se změnou náboje proti sorpčnímu ději fyzikálně-chemickému, který náboj mění a to působením elektrostatických sil na povrchu koloidních částic.

Pro ujasnění předchozího tvrzení je možno uvést následující příklad:

Vezměme třeba pozemek, na kterém byl v průběhu 10 let zaznamenán značný pokles  $C_{ox}$ . Laická veřejnost by jistě tvrdila, že tato půda byla degradována, jelikož klesl obsah uhlíku v půdě. Já bych však oponovala s tím, že věc není takto jednoznačná, ba je přímo opačná: vlivem vhodného hnojení a vápnění, agrotechniky, průběžného a dostatečného dodávání organické hmoty do půdy a tím i nastavení rovnovážného

vzdušně-vodního režimu půdy se půda zúrodnila, což je patrné na vysokých výnosech i biologické aktivitě. Jak je tedy možné, že množství uhlíku v půdě kleslo? Transformace půdního uhlíku nastává mineralizací, ale také syntetickými pochody humifikace, což dává za vznik „humusu vlastního“. Z pouhé hodnoty  $C_{ox}$  nelze usuzovat o špatném či dobrém hospodaření. Abychom mohli objektivně posoudit, co se na pozemku za uplynulých 10 let událo, musí se nutně stanovit stupeň humifikace (SH).

$$SH = \frac{Chk + Cfk}{C_{tot}} * 100$$

Právě hodnocení kvality humusu bývá často opomíjeno (Horáček 1995). Z uvedené rovnice je patrné, že kvalita humusu se hodnotí dle poměru HK:FK. Pracné a obtížné je stanovení  $C_{ox}$  v izolovaných HK a FK, proto se přistupuje ke stanovení tzv. „barevného kvocientu“, což je extinkce alkalického výluhu nekalcinovaných HK v poměru dvou vlnových délek, běžně 465 s 619  $\mu\text{m}$  a platí tedy:  $Q = E_{465} / E_{619}$

Tento ukazatel udává u kvalitních půd výsledek 2,5 – 3, u humusu horší kvality asi 4 a u fulvokyselin až 8. (Hraško 1962). Tato metoda má ale své velké nedostatky. Výsledky stanovují kvalitu humusu v závislosti na stupni kondenzace a snížení stupně disperze HK v roztoku. Stanoví se z extrakce humusu z půdy, což ale změní jeho typické kvalitativní i kvantitativní vlastnosti. Nesmí se přitom opomenout, že i fulvokyselina s  $Q=8$  má v půdotvorných procesech své zastoupení, když díky své snadné hydrolyzaci pomáhají fosforu v pohybu půdním profilem a tím dodávají fosfor i hlouběji zakořeněným rostlinám.

Tudíž se tedy ani v těchto případech se nelze spoléhat na exaktnost tvrzení o kvalitě dle hodnot S nebo Q, jelikož množina HK a FK je obrovská a relativní molekulová hmotnost jednotlivých HK se velmi liší (50 000 – 400 000). Vlastnosti HK jsou svojí relativní molekulovou hmotností výrazně ovlivněny. Podobnost k fulvokyselinám, můžeme nalézt u nízkomolekulárních HK, které navíc tvoří pohyblivé komplexy s těžkými kovy. U vysokomolekulárních HK nastává pak imobilizace těžkých kovů, díky ve vodě málo rozpustným komplexům. Další velký význam mají pak organominerální komplexy, které determinují mechanické, fyzikální, fyzikálně-chemické i biologické vlastnosti půd.

Co lze tedy označit za kvalitní humus a jak správně určit jeho hodnotu? Téma, které klade na odborníky z řad pedologů a agrochemiků nelehký úkol.

Je nutno si uvědomit, že základní vlastností humusu je iontovýměnná kapacita bez ohledu na kapacitu sorpční. Hodnocení obsahu živin (N, P, K, S, Ca, Mg) dle  $C_{ox}$  je zavádějící z důvodu délky velmi dlouhé mineralizace humusu. Vždyť mnohé se uvolní až za 5000 – 8000 let.

Hodnotit humus, je nutno vždy v přirozeném půdním prostředí, jelikož oddělování, vyluhování nebo jiná manipulace, mění iontovýměnné vlastnosti.

Při použití moderních spektrálních analýz (DRIFT, CNMR spektroskopii, atd.) se sice vzorky nepoškozuje, ale bohužel nevypovídají nic o velikosti a povaze iontové výměny (Baldock et al. 1992).

Právě metoda DRIFT (stanovení ploch alifatických pásem infračervených spekter) spolu s indexem hydrofobnosti jsou metodami více citlivými než např. poměr HK:FK nebo barevný koeficient  $Q_{4:6}$ , kde je velkou výhodou menší pracovní náročnost a rychlé určení v řádu minut (Kubát, Cerhanová, Mikanová, Šimon, 2008).

Jednou z možností jak stanovit kvalitu iontové výměny humusu, navrhnul už v roce 1962 Hraško (Hraško 1962), při které použil metodu Mehlistorre. Principem této metody je stanovení iontovýměnné kapacity půdního vzorku, který zahrnuje jak humusový tak nehumusový materiál (minerální koloidní půdní frakci). Následuje šetrný rozklad organické části peroxidem vodíku ( $H_2O_2$ ) a z rozdílu obou hodnot se získá iontovýměnná kapacita organického podílu. Metoda je správná a přesná. Jedinou nevýhodou je nebezpečnost rozboru kvůli možné explozi. Ta se může ovlivnit snížením obsahu  $H_2O_2$  (ne méně než na 15%), ale je nutné postup vícenásobně opakovat. Lepší je pohotovému ochlazování ledem. Bohužel se ale stanovení kvality iontové výměny v půdě zatím neprovádí. Místo toho se udává, že dle stoupající kvality humusu stoupá i kvalita iontovýměnné kapacity, což je přinejmenším zavádějící.

Ionex, nebo-li měnič iontů, který má charakter vysokomolekulární pórovité látky nesoucí na povrchu náboj, váže ionty s nejvyšším mocenstvím. Snadno sorbuje všemocné ionty a snadno desorbuje jednovalentní. V ionexové technice je analytika ionexů v oblasti průmyslu zcela běžná. V zemědělství při hodnocení kvality humusu není tato metoda bohužel využívána, přestože byla právě pro tyto účely upravena



mým školitelem, detailněji ve Sborníku mateřské fakulty (Kolář 1966, 1967, 1974a, 1974b, 1975). Pro rostliny není však moderní syntetický ionex přínosný. Půdní humus má výhodu v tom, že možnost sorpce mají i jednomocné kationty oproti dvojmocným, a že Al a Fe se v kyselých půdách neobsadí do výměnných míst humusu. Kvalita iontové výměny je dána její selektivitou dle selektivního koeficientu (poměr sorbovatelnosti jednomocného a dvojmocného kationtu).

Dalšími používanými metodami určení kvality humusu jsou:

- a) Sledování kationtové výměnné kapacity jako nejvýznamnější znak kvality. Způsobem určení je stanovení KVK před a po destrukci organické hmoty oxidací  $H_2O_2$ . Zde se řadí např. metoda oxidace organických látek dle Hraška (1982). Nedokonalá oxidace POH, dehydratace jílových minerálů a zničení iontovýměnných míst na povrchu jílovo-humusových komplexů je problémem této metody.
- b) Sledování KVK při destrukci tentokrát minerální složky humusu a to odkouřením s humusovou frakcí, což je horší než metoda první.
- c) Měření a analýza celkové KVK u různých půdních vzorků s rozdílným obsahem jílové a humusové frakce. Výsledkem jsou pak regresní koeficienty pro složku minerální a humus zvlášť. Nevýhoda této metody spočívá v použití u půd stejného půdního druhu, genetického typu a ze stejné geografické a klimatické oblasti.

Humusové kyseliny nejsou jedním chemickým individuem, ale jsou pestrá směs. Proto se mnozí vědci snaží o utřídění a stanovení modelů pro funkční skupiny huminových kyselin. KVK humusu je velmi závislá na pH prostředí a jiných faktorech, které ovlivňují výsledky do takové míry, že správná interpretace výsledků měření nemůže být považována za jednoznačnou a správnou. Proto ani tato metoda není nejvhodnější. Toto neuniklo pozornosti Zadmarda v roce 1939, který se pokoušel kvalitu humusu zkoumat na základě stability iontové výměny.

Další metodou je metoda stanovení stupně rozkladu půdní organické hmoty rozpouštěním v acetyl bromidu při  $40^\circ C$  po dobu 40 dní, který rozpouští nehumifikovanou organickou hmotu (Němec, 1928).

Vzorec zní takto:

$$S = \frac{\% C \text{ v nerozpuštěném zbytku}}{\% C \text{ celkový}} * 100$$

V podstatě je nutno konstatovat, že vyhovující a plně použitelná metoda k objektivnímu zjištění kvality humusu, vlastně neexistuje.

Pro vyjádření celkového množství humusu se uplatňuje vzorec pro stupeň humifikace  $S_H$  v %. To znamená podílem oxidovatelného uhlíku humusových kyselin (FK + HK) z celkového množství oxidovatelného uhlíku:

$$SH = \frac{Cox \text{ FK} + Cox \text{ HK}}{Cox \text{ totální}} * 100$$

## 2.10 Rozklad organické půdní hmoty

V půdě probíhají dvě základní formy přeměn neživých organických zbytků. Jsou to:

- mineralizace
- humifikace

## 2.11 Mineralizace

Mineralizací rozumíme transformaci organických látek na jednodušší minerální sloučeniny, jako jsou např. voda, oxid uhličitý, siřičitý, čpavek, kdy se současně uvolní látky minerální (Ca, K, Na), které jsou vázané na organické sloučeniny. Jde o proces exotermní, tedy teplo vydávající, kdy se energie uvolňuje. Je nutné zdůraznit, že mineralizace, je proces rozkladný. Svou úlohu hraje samozřejmě i provzdušnění a nastolení příznivých podmínek pro mikroorganismy. Mineralizace bohužel nedává vzniku humusu (Vrba, Huleš, 2007).

Při rozkladu organických látek, na které působí mj. i mikroorganismy svými enzymy typu hydroláz, vzniká oxidací díky enzymům z třídy oxidoreduktáz, kysličník uhličitý, který pak rostliny ochotně přijímají. Bylo zjištěno, že každý kilogram i nehnojené půdy vyloučí během období vegetace ca. 2,5 litru kysličníku uhličitého, což ve výsledku znamená, že ho rostliny získají z 1 ha půdy asi 15 tun a jeho asimilací (přeměna slunečního světla a chlorofylu v organické látky vlastního těla) mohou teoreticky vytvořit až 50 tun zelené biomasy. V případě přihnojení

organickými hnojivy se výnos ještě zvyšuje. Rychlost rozkladu je závislá na chemickém složení rozkládané látky a na podmínkách rozkladu.

Důležitý pro mineralizaci je i poměr uhlíku a dusíku v dodané organické hmotě. Zaorané kořenové zbytky jetele obsahují poměr C:N 25:1. Mobilní dusík se v tomto případě v půdě zpočátku nehromadí, jelikož je všechn spotřebováván na stavbu bakteriálního těla. Až v druhé fázi, kdy je organická látka rozložena a nastává odumírání mikroorganismů a následuje rozklad mrtvých těl dalšími mikroorganismy, se již do koloběhu mobilní dusík uvolňuje a to v poměru 5:1. Vezměme například zaorání rostlinných zbytků o poměru 75:1 (kořeny kukuřice, ovsa). Takto vysoká hodnota způsobuje čerpání snadno přístupných dusíkatých látek z půdního roztoku bakteriemi a snižování výnosu z důvodu nedostatečné dusíkaté výživy rostlin. Z tohoto důvodu je proto dobré použít slámu a slamnatý hnůj k motýlokvetým rostlinám, které jsou schopny symbiotické fixace vzdušného dusíku s hlízkovými bakteriemi a nejsou přímo závislé na půdní dusíkaté výživě. Další formou poměru C:N může být např. i půdní humus, který má hodnoty v průměru 10:1. Bakterie, jak již bylo řečeno, potřebují poměr 25:1 a to znamená, že všechn dusík v této formě není spotřebováván a nastává doplňování a kumulace mobilního dusíku v půdě.

Při mineralizaci hraje svou detoxikační úlohu i humin, který se stává živným substrátem pro mnoho půdních aerobních bakterií a to tím, že kyselina huminová vyluhující se ze solí se neutralizuje a stává se denaturací nerozpustným huminem. Tím také přestává být toxická pro mikroorganismy (Fjodorov, 1958).

Mineralizace je proces exotermický, kdy většina energie je vyzářena a část je spotřebována na humifikaci. V půdách je zastoupena větším procentem mineralizace nad humifikaci. S jistotou můžeme říci, že každá organická hmota mineralizuje, ale pouze některá dále humifikuje. Na rychlost rozkladu má vliv i řada dalších činitelů: biologická aktivita půdy, pH, zrnitostní složení a vláhově-vzdušné režimy lokality.

Tab. č. 4 - stabilita nejvýznamnějších složek primární organické hmoty v půdě (Vaněk, Kolář, Pavlíková, 2006).

<b>Složka</b>	<b>Poločas rozkladu</b>
Kořenové exudáty (sekrety)	několik dní
Mikrobiální biomasa, kořenové vlášení	několik týdnů
Hrubší kořeny a části rostlin	až několik let

### 2.11.1 Humifikace

Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který zahrnuje různé způsoby přeměny organických zbytků, vedoucí ke vzniku a hromadění humusu.

O tom, jak intenzivně humifikační proces proběhne a jak bude kvalitní a produktivní, se odvíjí od poměru volné energie, která vzniká za aerobních podmínek při přeměny půdní organické hmoty, k produkci nízkomolekulárních organických sloučenin, které jsou zároveň tzv. prekursory humusu a vznikají především v podmínkách anaerobních (Novák 1966).

Definici humifikace podává vcelku výstižně Valla (1984): „Humifikace je pochod, při němž se postupnými transformacemi humusotvorného materiálu (biodegradace, biosyntéza, rozklad, resyntéza, kondenzace, polymerace) vytváří v půdě specifické, dusík obsahující látky, tmavě zbarvené, převážně koloidního charakteru, s více či méně vyjádřeným aromatickým jádrem, s vysokou molekulovou hmotností, s charakterem polyelektrolytu, s převahou kyselých funkčních skupin, které nazýváme humusem.“

Formou přeměn se rozumí např. resyntéza pomocí mikroorganismů, oxidace ligninu či bílkovin, biodegradace, rozklad, polymerace a kondenzace aromatických a dusíkatých sloučenin, která je katalyzována fermenty a hovoří se zde tedy o biosyntéze.

Humusové látky způsobují svojí sorpční a hlavně iontovýměnnou kapacitou nejen výluh živin z půdy, ale jsou především významné při samočisticí funkci půdy, při kontaminaci xenobiotickými polutanty, sloučeninami antropogenního původu přírodě cizí, majícími široké nežádoucí vlivy na prostředí. Neméně důležitá pro potenciální půdní úrodnost je i tvorba organo-minerálních komplexů půdních agregátů. To, do

jaké míry bude primární organická hmota následně humifikovat, závisí na rychlosti a též množství volné energie při aerobní mineralizaci, jejímž výsledkem je produkce prekursorů humusu (nízkomolekulárních organických sloučenin) v anaerobních procesech přeměn (Kolář, 2009).

Při anaerobním procesu rozkladu vzniká činností anaerobních mikroorganismů kyselina ulminová, která inhibuje další rozklad a přetváření organické hmoty. Proces ustává do doby, kdy je potlačen toxický vliv kyseliny ulminové. Může se tak stát promyvem, vypařením po orbě, neutralizací, denaturací, v tomto případě snížením teploty (mráz), anebo modifikací na neškodné nerozpustné látky. Kyselina ulminová se vylučuje ze solí ve formě ulminu a dále reaguje s iontem vápníku. To má za následek koagulaci a stmelení půdních částic.

Zejména motýlokvěté rostliny mají nepřímo podíl na drobtovitou strukturu půdy. Obsahují totiž mnoho vápníku a po jejich odumření a aerobním rozkladu jsou právě zdrojem vápníku ve formě uhličitanů, síranů a dusičnanů ve svrchních půdních vrstvách. Tam probíhá výměnná reakce s adsorbovanými ionty půdního humusu a udržuje se přítomnost pohlcených iontů dvoumocného kovu. Právě přítomnost uhličitanu vápenatého má pozitivní vliv na tvorbu půdních agregátů. Tento amorfní koloidní humus s pohlceným kationtem vápníku upevňuje půdní agregáty ve vodě nerozpustným tmelem a tím přispívá ke stálosti agregátů (Fjodorov, 1958).

## **2.12 Rozdíl mezi Humusem a primární půdní organickou hmotou**

Nejen v laické, ale i v pedologické a odborné literatuře přetrvává zaměňování pojmů humus s organickou půdní hmotou a to již od dob prvních zmínek HK. V zahrádkářských laických publikacích můžeme narazit nejen na popis „kyselý humus“, který je skutečným termínem z dob 1786 – 1900, ale i dokonce na „sladký humus“ nebo „humus lahodný“. Ještě na sklonku 80 let min. stol se v časopise „Zahrádkář“ tyto výrazy běžně objevovali. Právě ve zmíněném periodiku jsem narazila na článek „Mizí humus z půdy?“, kde jsou uvedeny částečné informace a z mého pohledu i polopravdy. Hovoří se zde o zapravování organických zbytků do půdy a tím také následné tvorbě humusu, což může, ale také nemusí být pravda. Pro tvorbu humusových látek musí být nastoleny též vhodné podmínky, jelikož jak je známo, téměř veškerá organická hmota mineralizuje, ale pouze jen některá humifikuje. Zpravidla můžeme očekávat nižší obsah humusu v lehčích půdách, kde

je mineralizace rychlejším procesem než na půdách těžších. V půdách lehčího typu má však humus též pozitivní roli a to v podobě udržení vláhových režimů a v půdách typu těžšího pak schopnosti ovlivňování struktury půdy. Dále se zde uvádí, že obsah humusu se dá hodnotit dle barvy půdy, kdy tmavší barva údajně značí kvalitní humus a lze též vycházet i z vysokého celkového počtu žížal, které jsou v přímé závislosti na množství humusu v půdě. Ve své podstatě se z článku dovídáme jen o hodnocení obsahu humusu např. metodou  $C_{ox}$ , ale to podstatné, tedy hodnocení kvality humusových látek, zde nenacházím (Kalina, 2009).

V minulosti byly veškeré neživé složky organické půdní hmoty označovány za humus. Humus se dělil pak na humus živný a trvalý. Primární organická hmota a fulvokyseliny byly zahrnuty pod pojem „humus živný“. Stabilní huminové kyseliny byly zařazeny pod pojem „humus trvalý“. Dnes se setkáváme s názory, že humus z půdy ubývá, proto je nutné sledovat jeho změny. S tímto tvrzením nelze zcela souhlasit, jelikož si musíme uvědomit, že humus tvoří vysokomolekulární látky, které jak již bylo zmíněno, vynikají velkou stabilitou a odolávají i mikrobiálnímu rozkladu. Zároveň je zde ukládána i část organických látek, které se v půdě rozkládají transformačním procesem humifikace. Obsah humusových látek je v humusu značně stabilní a poločas rozkladu je zde v řádu století až tisíciletí. Změny lze tudíž zaznamenat jen dlouhodobě (Vaněk, Kolář, Pavlíková, 2006).

Neživou část organické hmoty, tedy primární půdní organickou hmotu a humus, je nutné od sebe odlišovat především při uvádění charakteristik půd. Uvedené údaje mohou pak být zkreslující a obecné.

Například celkový obsah HK a KVK v závislosti na nadmořské výšce dokumentuje, že s rostoucí nadmořskou výškou se celkový obsah C zvýšil až na 5%, ale podíl C v HK klesl zhruba na polovinu a s ním taky hodnota KVK. Proč se tak stalo, lze zdůvodnit jako závislost na půdních podmínkách. S extrémnějšími podmínkami se snižuje hodnota pH a vytváří se prostředí pro život mikroorganismů nevhodné. To má za následek i sníženou mineralizaci a následnou přeměnu na humus. Místo toho, aby se kořínky, opad listů a posklizňové zbytky transformovaly, tak se v půdě pouze hromadí. Navíc díky dlouhému období, po které jsou tyto organické látky v půdě nahromaděny, jsou prosyceny koloidním roztokem sloučenin železa a hliníku a pozbývají navždy schopnosti být energetickým zdrojem. O této hmotě mluvíme jako o mumifikované půdní organické hmotě. Rychle rozložená zelená hmota, stejně tak

jako kejda nebo sláma, je dobrým zdrojem organických látek v půdě a živin pro půdní mikroorganismy. Může ale snížit v důsledku rychlé transformace obsah C v půdě. Stabilnější organické sloučeniny pak poskytuje hnůj a kvalitní kompost. Při pravidelném používání těchto dvou hnojiv dochází k nárůstu obsahu C v půdách (Vaněk, Kolář, Pavlíková 2006).

### 3 Závěr

Půdní organická hmota zahrnuje rostlinné, živočišné i mikrobiální zbytky obsahující např. lignin, proteiny, polysacharidy, lipidy, vosky a produkty humifikace (HK, FK a huminy). Je deponována posklizňovými zbytky, opadem, kořenovou hmotou a exudáty, odumřelými mikroorganismy a organickými hnojivy.

Takto velmi pestrá směs půdní organické hmoty lze rozdělit na dvě velké skupiny podle rozdílného chování v mineralizaci a iontové výměně-primární půdní organickou hmotu a humus.

Půdní organická hmota je neustále, díky půdním organismům, transformována buď mineralizací, nebo humifikací.

Primární organická hmota více či méně mineralizuje. Může se nacházet ve stavu rozloženém, polorozloženém nebo původním. Může mít i tmavou barvu, což poukazuje na počátky humifikace. Může tedy být jak produktem rozkladu, tak syntézy, tedy mezistupněm přeměn humusotvorného materiálu, humus to ve skutečnosti však není. Hodnocení se provádí dle její lability k hydrolýze určující zároveň její biodegradabilitu.

Při mineralizaci primární půdní organické hmoty se za činnosti mikroorganismů uvolňuje teplo (spaluje se organický materiál).

Snadno mineralizující materiál označujeme jako labilní složku a pomalu mineralizující pak jako stabilní. Mineralizace dodává energii a živiny půdním mikroorganismům a tím ovlivňuje biologickou aktivitu půdy. Ty následně dodávají živiny rostlinám. Je proto důležitou komponentou půdní úrodnosti. Současně se při mineralizaci vytváří velké množství  $\text{CO}_2$ , který působí na mobilitu kationtů převážně vápníku. Toto mnohdy způsobuje i vyšší eluci vápníku z půdy.

Humus je plně transformovaná půdní organická hmota, která má zcela vyhraněnou iontovýměnnou kapacitu. Můžeme říci, že humus mineralizuje též, ale v řádu stovek až tisíců let. Humus tvoří obrovské množství humusových kyselin, které jsou si chemicky velmi podobné, ale velmi se odlišují v relativní molekulové hmotnosti. Vysokomolekulární HK vytvářejí s těžkými kovy ve vodě nerozpustné komplexy a tím je zároveň i imobilizují, což je příznivé pro rostliny, které je následně nepřijímají a jsou tak od těžkých kovů uchráněny. Naopak nízkomolekulární HK s kovy



komplexy tvoří a to vysoce mobilní. To má za následek dokonce usnadnění jejich vstupu do rostlin.

Na živinný režim půdy stálé humusové látky vliv nemají. Dobře zadržují právě převážně kationty, anebo s kationty málo rozpustné sloučeniny tvoří.

Určení množství a kvality humusu je velmi složité. K dispozici slouží mnoho metod, které však nejsou přesným obrazem skutečnosti. Vlastnosti huminových kyselin ovlivňuje více stupeň disperzity než jejich složení a struktura, proto každá extrakce HK z půdy i jejich čištění způsobí destrukci a změnu.

Rozhodně nelze hodnotě  $C_{ox}$  přiřkládat význam ve smyslu ztráty humusu nebo dokonce vyvozovat závěry o špatném obhospodařování půdy. Samotné výsledky  $C_{ox}$  nemůžeme brát jako ukazatel obsahu humusu, tak jak to často činní média. Pokles hodnoty  $C_{ox}$  může být právě důsledkem dobré péče zemědělce, způsobenou zvýšenou činností půdního edafonu a tím zintenzivnění mineralizace popř. humifikace. Naopak, obsah humusu se mohl zvýšit. Proto je nutné provádět i jiné rozbory a hodnocení, jako např. stupeň humifikace a po stránce stanovení kvality humusu pak např. sledovat kationtovou výměnnou kapacitu nebo použít metodu Mehlistorre, kdy principem této metody je stanovení iontovýmenné kapacity půdního vzorku, který zahrnuje jak humusový tak nehumusový materiál.

## 4 SEZNAM LITERATURY

1. BALDOCK J. A., OADES J. M., WATERS A. G., PENG X., VASSALLO A. M., WILSON M. A., 1992: Aspects of chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy, *Biochemistry*, 16: 1-42
2. BLAIR J. G., LEFROY R. D. B., LISLE L., 1995: Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of carbon management index for agricultural systems, *Aust. J. Agric. res.*, 46: 1459-1466
3. BRDIČKA R., 1952: *Základy fyzikální chemie*, Přírodovědecké vydavatelství Praha, 703s.
4. CHAN K. Y., BOWMAN A., OATES A., 2001: Oxidizable organic carbon fractions and soil quality indices in an oxic Paleustalf under different pasture layers, *Soil sci.*, 166, 1: 61-67
5. FJODOROV M.V., 1958: *Půdní mikrobiologie*, SZN č. 798
6. GHANI A., DEXTER M., PERROTT K. W., 2003: Hot-water extractable carbon in soils; a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation, *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (9): 1231-1243
7. HASLMAYR H.-P., 2011: „Rote Liste“ schützenswerter Böden Österreichs, ISBN 978-3-900782-67-2
8. HAYNES R. J., 2005: Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils, *Advances in Agronomy*, 85, 86: 221-228
9. HORÁČEK J., 1995: *Studie vlastností a přeměn organické hmoty v půdě*, Docentská, habilitační práce, Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích, katedra obecné produkce rostlinné
10. HRAŠKO J. a kol., 1962: *Rozbory pod*, SVPL Bratislava
11. JANDÁK, POKORNÝ, PRAX, 2010: *Půdoznalství*, ISBN 978-80-7375-445-7
12. JIANG P.K., XU Q. F., 2006: Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different type of forest vegetation, *Pedosphere*, 16 (4): 505-511
13. KALINA M., 11/2009, *Zahradkář*, „Mizí humus z půdy?“, ISSN 0139-7761

14. KLEMENT V., SMATANOVÁ M., TRÁVNÍK K., 2012: Padesát let agrochemického zkoušení půd v České republice, ISBN 978-80-7401-062-0
15. KOLÁŘ L., 1975: Agrochemie a pedologie. Vysoká škola zemědělská v Praze, Fakulta provozně ekonomická v Českých Budějovicích, ISBN17-121-75
16. KOLÁŘ L., 1966: Sorpční vlastnosti elektrárenského popílku, Rostlinná výroba, 11, 10: 1055 - 1070
17. KOLÁŘ L., 1967, Příspěvek k studiu iontové výměny na popílčích z elektráren a tepláren, Sborník PEF VŠZ Praha, PEF v Č. Budějovicích V, 12, 43-55
18. KOLÁŘ L., 1974 a: Termodynamika půdní iontové výměny, Sborník VŠZ Praha, PEF v Č. Budějovicích, 1, č. 671, 15-33
19. KOLÁŘ L. 1974 b: Termodynamika iontovýměnných dějů k vyjádření schopnosti půd zásobit rostliny živinami, Rostlinná výroba 20 (XLVII), 6: 559-567
20. KOLÁŘ L., LEDVINA R., HANUŠ F., HORÁČEK J., PRŮŠOVÁ L., 1975: Termodynamika adsorpčních jevů v systému půda-mikroelementy jako kritérium pro hnojení půdy stopovými hnojivy, Sborník VŠZ Praha, PEF v Č. Budějovicích, 1-2, č. 692, 1-10
21. KOLÁŘ L., 2009: Agrochemická hodnota organické hmoty odpadů z fermentorů při výrobě bioplynu, <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/agrochemicka-hodnota-organicke-hmoty-odpadu-z-fermentoru-pri-vybere-bioplynu>>ISSN: 1801-2655
22. KUBÁT, CERHANOVÁ, MIKANOVA, ŠIMON, 2008: Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách, ISBN 978-80-87011-65-2
23. KUŽEL S., KOLÁŘ L., LEDVINA R., KLUFOVÁ R., 2002: Organominerální hnojivo z odpadů anaerobní digesce travní hmoty. *Biom.cz* [online]. 2002-04-16 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/organomineralni-hnojivo-z-odpadu-anaerobni-digesce-travni-hmoty>>. ISSN: 1801-2655
24. MARRIOT E. E., WANDER M. M., 2006: Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems, *Soil Science of America Joournal*, 70 (3): 950-959

25. MÜLLER G. a kol., 1985: Bodenkunde, LSV4114
26. NĚMEC A., 1928: Rozbory rašelin, hnojiv a půd, nakl. ČAZ, Praha
27. NOVÁK B., 1966: Vztah látkové a energetické přeměny organických látek při humifikaci. Rostlinná výroba 12 (6): 709-711
28. RICHTER R., 1996: Půdní úrodnost, ISBN 80-7105-110-1
29. ROVIRA P., VALLEJO V. R., 2002: Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing in different depth in soil: an acid hydrolysis approach, *Geoderma*, 107 (1-2): 109-141
30. ROVIRA P., VALLEJO V. R., 2007: Labile, recalcitrant and inert organic matter in Mediterranean forest soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 39 (1): 202-215
31. SHIRATO Y., YOKOZAWA M., 2006: Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rothamsted carbon model, *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (4): 812-816
32. SOON Y. K., ARSHAD M. A., HAQ A., LUPWAYI N., 2007: The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in a sandy loam soils, *Soil and Tillage Research*, 95 (1-2): 38-46
33. SOTÁKOVÁ S., 1982: Organická hmota a úrodnost' pody, SUPL Bratislava
34. VANĚK V., KOLÁŘ L., PAVLÍKOVÁ D., 2006: Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2
35. VOPRAVIL J. a kol., 2009: Půda a její hodnocení v ČR, díl I., ISBN 978-80-87361-02-3
36. VRÁBLÍKOVÁ, VRÁBLÍK, 2006: Základy Pedologie, ISBN 80-7044-805-9
37. VRBA V., HULEŠ L., 2006: VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík: Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655
38. ZHANG J. B., SONG C. C., YANG W. Y., 2006: Land use effects on the distribution of labile organic carbon fractions through soil profiles, *Soil Science Society of America Journal*, 70 (2): 660-667