

# MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

AGRONOMICKÁ FAKULTA

ÚSTAV AGROCHEMIE, PŮDOZNALSTVÍ, MIKROBIOLOGIE A  
VÝŽIVY ROSTLIN



## VAZBA ÚRODNOSTI PŮDY NA STABILITU PŮDNÍCH AGREGÁTŮ A NA MIKROBIÁLNÍ AKTIVITY PŮDY

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Jaroslav Záhora, CSc.

Vypracoval:

Karel Bureš

## **Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma **Vazba úrodnosti půdy na stabilitu půdních agregátů a na mikrobiální aktivity půdy** vypracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny.

Souhlasím, aby moje diplomová práce byla zveřejněna v souladu s § 47b *Zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách* a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s vyhláškou rektora Mendelovy univerzity o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autor závěrečné práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně dne 19. dubna 2017

.....

## **Poděkování:**

Děkuji svému školiteli Ing. Jaroslavu Záhorovy, CSc. za výběr tématu a za cenné rady při tvorbě této diplomové práce.

Dále děkuji Ing. Janě Vavříkové a celému výzkumnému kolektivu pracujícím na pokusných plochách a všem, kteří mi pomáhali.

# ABSTRAKT

Název diplomové práce je vazba úrodnosti půdy na stabilitu půdních agregátů a na mikrobiální aktivity půdy. Práce se zabývá studiem vlivu umělého navyšování dusíkatých vstupů do půdního prostoru a jeho vlivu na mikrobiální činnost organismů v tomto prostředí. Předpokládá se, že na vstupech do půdního prostředí závisí půdní aktivita jakožto prvek, který oživuje minerální složku tohoto jinak neživého prostoru.

V polních podmínkách v lokalitě Březová nad Svitavou byl sledován vliv různých dávek dodávaného dusíku a jeho interakce s půdními mikroorganismy. Projekt byl pokračováním již čtvrtého roku na tomto pozemku při pěstování jediné plodiny – ozimé pšenice.

Aktuální množství nevyužitého dusíku byl ve vrcholu sezóny na lokalitě „Babička“ a to 11,6 kg/ha při plné dávce dusíkatého hnojiva. Nejméně ve variantě bez dodávaného dusíku a to méně než 1 kg/ha. Na lokalitě „Čarodějnice“ byl při plném hnojení nevyužitý dusík v množství 1,9 kg/ha. Zvyšující množství dodávaného dusíkatého hnojení nezpůsobilo zvyšování půdní respirace. Největší půdní respirace byla při dávce 69 kg/ha a při dalším navyšování klesala.

Klíčová slova: dusík, Březová nad Svitavou, půdní respirace, mikrobiální aktivity

# ABSTRAKT

The name of this Thesis is Relationship between soil fertility and soil aggregates stability and soil microbial activity. This Thesis studies the influence of artificial increases of nitrogenous inputs into the soil environment and their impacts on the microbial activity within this environment. It is assumed that soil activity, as an element that brings to life the mineral component of this otherwise inanimate environment, depends on the inputs into the soil environment.

Impacts of variable nitrogen doses and their interactions with soil microorganisms were monitored under the field conditions in Březová nad Svitavou. This project has been going on at this site for four years and a single crop has been grown there - winter wheat.

The current amount of unused nitrogen at the top of the season was found at the "Babička" location and its value was 11.6 kg/ha at the full dose of the nitrogenous fertilizer. The smallest amount was detected in the version without any supplied nitrogen, less than 1 kg/ha. Unused nitrogen at the amount of 1.9 kg/ha was found at the "Čarodějnice" location at full fertilization. Increased amount of the supplied nitrogenous fertilizer did not increase soil respiration. The highest soil respiration was detected at the dose of 69 kg/ha and the respiration declined under further increases.

Keywords: nitrogen, Březová nad Svitavou, soil respiration, microbial activities

# OBSAH

<b>ÚVOD</b>	<b>11</b>
<b>1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE</b>	<b>16</b>
<b>2 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b>	<b>17</b>
<b>3 POPIS LOKALITY</b>	<b>41</b>
<b>4 METODIKA PRÁCE</b>	<b>44</b>
4. 1. Aktuální množství minerálního dusíku v půdě	44
4. 2. Stanovení čisté amonizace a čisté nitrifikace <i>in situ</i>	44
4. 3. Rychlost infiltrace	45
4. 4. Stanovení půdní respirace	46
<b>5 VÝSLEDKY PRÁCE</b>	<b>48</b>
5. 1. Aktuální úroveň dusíku	48
5. 2. Stanovení čisté amonizace a čisté nitrifikace <i>in situ</i>	50
5. 3. Rychlost infiltrace	52
5. 4. Stanovení půdní respirace	54
5. 5. Stabilita půdních agregátů	55
<b>6 DISKUSE</b>	<b>57</b>
<b>ZÁVĚR</b>	<b>60</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>62</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>63</b>
<b>PRAMENY</b>	<b>67</b>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Koncentrace plynných složek troposférického vzduchu

Tab. 2. Vyhodnocení půdy podle celkového obsahu humusu

Tab. 3. Klasifikační stupnice kvality struktury podle procentického zastoupení vodostálosti půdních agregátů

Tab. 4. Klimatická charakteristiky

## SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1. Souhrnné aktuální množství amonného (šedě) a nitrátového dusíku (modře) na lokalitě „Babička“ a „Čarodějnice“ v přepočtu kg N/ha s odhadovanou hloubkou ornice 25 cm stanovenou 17. 5. 2016

Graf. 2. Množství amonného a nitrátového dusíku v okolních polích

Graf. 3. Znázornění průběhu čisté mineralizace během období terénní inkubace neporušených půdních vzorků od 17. 5. do 10. 6. 2016

Graf. 4. Rychlost infiltrace na travním porostu

Graf. 5. Kumulativní infiltrace na travním porostu

Graf. 6. Rychlost infiltrace na orné půdě s rozdílnými vstupy dusíkatých hnojiv

Graf. 7. Kumulativní infiltrace na orné půdě s různými vstupy dusíkatých hnojiv

Graf. 8. Vliv zvyšování dávek dusíkatého hnojiva na půdní respiraci na obou pokusných plochách

Graf. 9. Průměrné hodnoty stability půdních agregátů

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Zásobníky uhlíku na Zemi (v Gt C - gigatunách uhlíku) a výměna mezi nimi (v Gt C za rok). GPP = Hrubá primární produkce, tedy množství pohlceného uhlíku bez započítání ztrát v důsledku respirace

Obr. 2. Mechanismy vzniku huminových látek

Obr. 3. Struktura huminových kyselin Stevenson, 1982

Obr. 4. Nejdůležitější vlastnosti a rozdělení humusových látek dle Veselá et al. 2005

Obr. 5. Schéma extrakce huminových látek z půdy Tan K. H. 2003

Obr. 6. Půdní agregační složky

Obr. 7. Průměrné hodnoty vodostálosti v letech 2008 - 2009

Obr. 8. Průměrné hodnoty vodostálosti půdních agregátů ve dvou hloubkách

Obr. 9. Zpracování půdy technologií strip-till

Obr. 10. Půdní sondýrka pro odběr neporušených vzorků

Obr. 11. Půdní injektor k zjišťování infiltrace

Obr. 12. Měření půdní respirace v terénu. Detail umístění PE nádoby s vysušeným natrokcitem na nosnou konstrukci z nerezových pásků a dvojitý lem okraje prstence, do kterého se pro vzduchotěsné uzavření nalévá voda (systém vlastní konstrukce).

Obr. 13. Mapka odběru půdních vzorků z okolí

Obr. 14. Následky vodní eroze



**„JSME PŮDA“**

**Vandana Shiva**

# ÚVOD

Mezi ovzduším a horninou se nachází nejsvrchnější část zemské kůry námi nazývanou půda. V dřívějších dobách se místo pojmu půda používalo slovo prst (např. Bible kralická) a tento název se používal i některými autory později, zejména v literatuře.

Půda jakožto součást terestrického ekosystému je ale snad jeho nejvíce se měnící složkou, pokud uvážíme, že v každé sekundě na celém povrchu planety na něj působí vnější činitelé jak shora (troposféra, sluneční energie), tak i zespoda (podloží, hydrosféra) a neuvěřitelný svět života přímo uvnitř tohoto jedinečného organismu, kterému říkáme čtyřmi slovy půda. Pro přirovnání k člověku se o půdě vžil všeobecný průměr pokožka země nebo kůže planety, což s nadsázkou lze připodobnit, ale co do síly a mocnosti je toto připodobnění přinejmenším nesrovnatelné. Vezmeme-li v úvahu mocnost zemské kůry, která je v průměru 50 km a její povrch – půda (pokožka) je jen řekněme 1 m, pak je tento poměr jistě zanedbatelnější než u pokožky lidí (0,03 mm pokožky z 2 mm celkové kůže).

Všechna materiálová směs z rozpadajících se hornin je v prvopočátku neživá, avšak organismy – rostliny i živočichové – se svou neuvěřitelnou schopností ovlivňovat a využívat fyzikální a chemické procesy, které předcházejí vzniku půdy, z ní vytvářejí oživenou složku prostředí s bezprostředním zpětným působením na samu půdu a sebe sama (POLENO et al., 2011).

Kdysi byla půda pro lidi posvátná, byla to matka dávající potravu svým dětem a tak ji i uctívali v různých kultech a obřadech. S nástupem novověku se ale lidé začali více o půdu zajímat a analyzovat ji. Byla za tím snaha zjistit o zemi více a tím zvýšit její výnosy plodin i její úrodnost. Do poloviny 18. Století panoval Aristotelův názor, že: *„Rostliny nemají látkovou přeměnu a potřebné látky již dostávají hotové z půdy.“*

V novověku se již setkáváme s vědci zkoumající humus jako např. J. G. Wallerius (1709 – 1785) a stejně jako on i někteří další jsou přívrženci transmutace (rostlina si minerální látky vytváří sama z vody přeměnou prvků). Asi nejznámějším

propagátorem humusové teorie byl A.D.Thauer (1752 – 1828) označovaný za zakladatele zemědělské vědy publikující v letech 1809 – 1812 ve čtyřech svazcích *Grundsätze der rationellen Landwirtschaft* a ověřovatelem v praxi. Cituji: „*A protože získávají rostliny výživnou materii z humusu nebo ze zbytků živočišného a rostlinného rozkladu, množství této materie se růstem rostlin v půdě nutně snižuje, až se nakonec vyčerpá a to v poměru, v jakém ji rostliny odebírají...totiž za předpokladu, že jsou z pole odklizeny...*“ a dále dle stavu a síle humusu „...se výživná materie nalézá v půdě, se řídí síla rostlinstva a množství každého jednotlivého produktu...nazýváme to úrodností, hojností či silou půdy, která se mění a která se s každým odebraným produktem snižuje, nedostane-li za něj náhradu“. Ještě dále píše: „*Stejně jako je humus produktem života, je i jeho podmínkou. Dává organismu výživu*“. Dalším významným vědcem rozšiřujícím dílo A.D.Thauera byl také němec J. von Liebig, který publikoval napřed v tisku a poté vydal celé dílo knižně. Ten je přesvědčen, že úrodnost je závislá na obsahu živin a ty jsou se sklizní odčerpávány. Nabádá tedy zemědělce, aby při prodeji svých výrobků ve městě na zpáteční cestu naložili stejné množství rostlinného či živočišného odpadu. Na závěr svých listů říká, že si zemědělci mají maximálně pomoci ze svých zdrojů a pak, teprve pak jim může pomoci chemie od které nemohou očekávat žádná kouzla a dále pokračuje: „*tam, kde chybí úspěch v dobrých věcech, nedostává se pouze pevné vůle, prostředky jsou všude*“. Asi nejznámější z jeho díla je asi Sprengelův – Liebigův zákon minima v němž se praví: *...že žádná z uvedených rostlinných živin nemá přednostní hodnotu vůči ostatním, všechny jsou pro život rostlin rovnocenné. Pro zemědělce, jenž se k dosažení svého účelu musí postarat o to, aby jeho pole obsahovala všechny tyto látky v potřebném množství, jsou naproti tomu nerovnoměrné, neboť v případě, že jedna z nich v půdě chybí, může se sklizní počítat jen tehdy, jestliže tuto chybějící součást polí dodá, chybějící nebo nedostatečná látka pak získá přednostní hodnotu, to znamená ve vztahu k ostatním*. K chemickému složení půd přidal v roce 1840 první příspěvek o biologickém životu v ní i Ch. Darwin (1809 – 1882) a roku 1881 vydává po několikaletém studiu a pozorování i obsáhlejší knihu *Tvorba ornice činností žížal* (Hradil R., 2015).

Jednotlivé částice z prvotního půdotvorného materiálu se za působení interakcí shlukují do různě velkých částic, jež nazýváme půdními agregáty. Tyto půdní agregáty jsou tedy organizačně navazujícím uspořádáním původních minerálních

částic (prachu, jílu a písku) a organických látek sloužících jako pojivo (voda, oxidy, humusotvorné látky, hyfy půdních hub, kořeny rostlin s jejich výměšky apod.). Různé poměry v uspořádání půdních částic v určitém objemu a jejich spojování do větších agregáčních celků nám tedy dává obraz o stavu půdy a její struktuře. Struktura a uspořádání agregátů určují základní fyzikální vlastnosti půdy, které se ale stále mění s časem, neboť půda se projevuje jako živý organismus s jedinou výjimkou a to je množení se.

V důsledku toho, že se půda chová jako živý organismus, je třeba o něj i pečovat. V posledních letech je u nás jakožto postkomunistickým státu kladen důraz na udržitelný růst a zachování půdní úrodnosti. Dříve se v naší zemi určovala cena půdy dle její možné produkční možnosti (např. výnos ječmene v Kč na plochu) a pro různé oblasti se vztahovala různá plodina. V dnešním pojetí se cena půdy odvíjí od BPEJ jako produkčního ukazatele, přičemž tuto cenu čím dál výrazněji navyšuje cena tržní pro danou oblast. Ani tento ekonomický ukazatel na trhu s půdou nám však nic nenapovídá o její podstatě a to je půdní úrodnost, neboť se nejedná o hmotnou veličinu, ale biologickou funkci živého procesu. Půdní úrodnost lze vyjádřit jako schopnost v optimálním rozsahu a po neomezeně dlouhou dobu vytvářet z původního půdotvorného substrátu za pomoci makromolekulárních organizujících struktur podmínky k růstu a produkci rostlin v minimálně stávající úrovni. V posledních letech je u nás v důsledku klimatických výkyvů evidentní nárůst škod způsobených erozními činiteli. Proto se na různých místech zkoumá za podpory různých grantů možnost jejich eliminace. Toho lze částečně dosáhnout přetvořením krajiny pozemkovými úpravami, které mohou být více prospěšné u erozi větrné. Proti vnitropůdní a povrchové erozi bude zapotřebí změna v přístupu k obhospodařované půdě. Toho lze dosáhnout změnou v agrotechnice a agromechanizaci.

Pokud chceme zachovat půdu v dobré kvalitě a kvantitě, musíme ji udržovat stále „živou“. V přirozeném prostředí se v takovém stavu nalézají, jako např. klimaxové stádia travních a lesních společenstev, která se řídí svými koloběhy vstupů a výstupů živin a energie. Pokud by člověk ponechal přírodu samu sebou, jistě by se resiliencí během několika let až desetiletí navrátila do předešlého stavu. Člověk ale tyto koloběhy látek přerušil a nastavil umělé cykly, čímž začal půdu ochuzovat a držet ji v nestabilním stavu. Půda v naší krajině se vyvíjela po tisíce let a za tu dobu si vytvořila jistý stupeň rezistence. V současnosti u nás je pod vlivem změny klimatu

stále častěji k vidění markantnější úbytek schopnosti zadržovat vodu v krajině po přísušcích či déletrvajícím suchu a následném dešti. Tento déšť nemusí být ani intenzivní a již jsou vidět známky povrchové vodní eroze. Tato by nemusela nastat při zlepšeném strukturním stavu půdy, kde hraje největší úlohu oživená složka půdy. Ta tvoří jen kolem 1% půdy (Záhora J., et al, 2015), ale rozhodující měrou se podílí na pohybu vzduchu a vody v půdním tělese. S půdní organickou hmotou souvisí množství, jakost a velikost půdního edafonu, který vytváří strukturní jednotky půdy. Tak jako je snaha o zachování co největší biodiverzity na povrchu půdy, měla by být snaha i o zachování co nejrůznějšího života pod jejím povrchem. Právě tato součást agreguje spolu s molekulami vody nejjemnější částičky půdy k sobě a brání jejímu odplavení z místa či vyluhování do hlubších vrstev horizontu. Tím zabraňuje rozplavení a odnosu půdní substance a živin až do vodních nádrží, čímž je eutrofizuje a zanáší nejrůdnějšími částmi z pole a naopak polím při dalším obhospodařování narůstá skeletovitost. Tedy musí být snaha o udržení a podporu příznivého edafonu, který stmeluje půdu od jejích nejjemnějších částic až po makroagregáty. Tím zajistíme infiltraci vody do půdního tělesa, bez kterého by nemohl půdní život probíhat a také filtraci dešťové vody do podpovrchových či podzemních vod půdními póry.

Tak jako je voda nepostradatelná pro člověka k životu, je stejně nepostradatelná pro život v půdě. Díky ní život v půdě probíhá zatím tak, jak jsme zvyklí. Ona sama započala svými chemickými vazbami s ionty jiných prvků první agregování v jednodušší sloučeniny až po život, jaký známe dnes. Stále je to rozpouštědlo i agregační činidlo, které spolu s oxidy a minerální složkou dává předpoklad pro živou složku půdy k složitějším formám života. V jednom gramu ornice se odhaduje na 100 milionů, případně miliard bakterií a jen o jeden řád méně aktinomycet. Jde o nejmenší zástupce edafonu, ale počet je ilustrující. Dále jsou zde žrouti organického materiálu se svými predátory na různých úrovních. Tito dávají makromolekulám a větším agregačním jednotkám, které se slučují dále např. s hyfy půdních hub a kořínky rostlin po odumření jako dalším tmelím agensem. Zejména v rhizosféře, která je určující pro množství dostupného uhlíku a dusíku, probíhá vznik i zánik půdní organické hmoty. Při sklizni rostlin z pole klesá podíl organické hmoty a tím je ochuzována i půdní biota. Proto je třeba dodávat zpět organickou hmotu, čímž spolu se zavedením správných osevních postupů můžeme zastavit tuto činnost

a omezit degradaci a rozplavování agregátů, které nám zpětně omezují infiltraci a retenci.

Úrodnost půdy, její garé, je podmíněna jejím složením a optimální strukturou, kterou charakterizují půdní agregáty a meziagregátové prostory. Strukturu půdy tvoří vzájemné působení půdních organismů s kořeny rostlin a půdní organickou hmotou, které ji svými životními cykly neustále obnovují a udržují. Jestliže tedy dochází ke změnám v zastoupení a množství půdních mikroorganismů koreluje s ním i stabilita půdních agregátů tedy může docházet k jejich rozpadu až na prachové a jílové částice. Při zvyšování vstupů dusíkatých látek tedy hrozí, že za dočasně zvýšené ekonomické výstupy po různém čase zaplatíme znehodnocením samotné půdy. Je tedy třeba hledat mez únosnosti mezi produkcí s trvalou úrodností a produkcí, kdy již je trvalá úrodnost narušována.

# 1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bude popsán vznik půdních agregátů a interakcí půdních činitelů při jejich tvorbě se zřetelem na roli mikroorganismů a toku uhlíkatých a dusíkatých látek. Bude definován termín půdní úrodnost a jeho vazba na půdní agregáty včetně hrozby na jejich stabilitu a degradaci. Bude navrženo schéma experimentu a tento bude realizován. Výsledky budou zpracovány a vyhodnoceny s potvrzením či vyvrácením pracovní hypotézy vlivu zvýšeného vstupu dusíkatých látek do půdního prostředí na mikrobiální společenstva a na stabilitu půdních agregátů.

Ze subjektivních důvodů byla realizace nádobového experimentu zaměněna za parcelkové polní výzkumy.

## 2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### DUSÍK N<sub>2</sub>

Ačkoli je hlavní složkou atmosféry je v litosféře pouze ve stopových koncentracích (okolo 20 ppm). Jde o chemicky velmi stálý atmosférický plyn díky kovalentní trojně vazbě, který se obdobně jako málo reaktivní oxid dusný N<sub>2</sub>O dostává do atmosféry denitrifikačními procesy probíhajícími v půdě, antropogenní činností (vysokoteplotní spalovací procesy), oxidací atmosférického amoniaku, elektrickými výboji a vulkanickou činností. Mnohem kratší setrvání v atmosféře má amoniak NH<sub>3</sub> (zcela redukována forma dusíku), který je do ovzduší uvolňován rozkladem bílkovin a jiných organických látek obsahujících dusík. Propadem vzdušného dusíku je proces tzv. minerální fixace, při kterém je velmi stabilní dvouatomová molekula dusíku rozštěpena a postupně redukována mikroorganismy na amoniak a následně fixována do organických molekul. Podmínkou chemických reakcí a tedy vstupu do biologických pochodů je rozbití silné negativní třívalentní (amoniak), až po pozitivně pětivalentní (oxidy a dusičnany) vazby, jejíž vazebná energie je 950kJ.mol<sup>-1</sup>. Navdory tomu to některé bakterie dokáží a umožní tím jeho fixaci do biosférických cyklů. Tento proces probíhá jak v půdním horizontu působením specializovaných heterotrofních bakterií, tak i ve vodě pomocí silic. Působení některých půdních mikroorganismů je amoniak a oxid dusný fixován i přímo z atmosféry. Stabilita přirozené koncentrace dusíku a jeho sloučenin je dlouhodobě zajištěna vyvážeností protichůdných denitrifikačních a fixačních reakcí, zřejmě při zpětnovazebných biochemických mechanismech. Dalším propadem je oxidace v atmosféře a následné okyselené srážky (Braniš M., Hůnová I. A kol., 2009).

Neschopnost rostlin a živočichů asimilovat atmosférický dusík přímo z jeho bohatého všudypřítomného zdroje je jednou ze záhad evolučního procesu, neboť dusík se tak stává v mnoha habitatech limitujícím prvkem. Převládající forma dusíku v systému je tedy téměř netečná forma N<sub>2</sub> se zdržením v atmosféře až 20 milionů let. V globálním cyklu uhlíku je nejvýznamnější atmosférická fáze, ve které probíhají pro organismy nejdůležitější procesy, tj. fixace dusíku a denitrifikace prováděné mikroby



(Townsend C. R. et al., 2010). Lokálně může k primární produktivitě přispívat i dusík z některých geologických zdrojů (Holloway et al., 1998, Thompson et al., 2001, in Townsend C. R. et al., 2010).

Fixací molekulárního dusíku do organických vazeb se dusík stává součástí živých buněk. Depolymerizace, jakožto klíčový proces v koloběhu dusíkatých látek, vede k jeho opětovnému navrácení (až mineralizaci). Depolymerizaci pojmenováváme odštěpení monomerů z biologicky nedostupných polymerů mikrobiálními extracelulárními enzymy. Rychlost a míra depolymerizace je závislá zejména na poměru uhlíkatých a dusíkatých sloučenin. Pro ideální rozklad organického materiálu mikroorganismy je třeba poměr C:N kolem 25:1. Při relativním nadbytku dusíku je rozklad rychlý a nevyužitý dusík je uvolňován pro jiné mikroorganismy a rostliny – jde o čistou mineralizaci dusíku. Při nedostatku dusíku spotřebovávají mikroorganismy i dusík z půdy – jde o čistou imobilizaci dusíku. Amonizace je po depolymerizaci navazujícím procesem a jeho vznikající amonný dusík ( $\text{NH}_4^+$ ) je již přijatelný pro rostliny, váže se na půdní částice a nevyluhuje se. V teplé, dobře aerované půdě přeměňují bakterie amoniakální dusík rychle na dusitany ( $\text{NO}_2^-$ ) a poté nitrifikací na dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ), který se ale neváže na půdní částice a je vysoce rozpustný ve vodě. Denitrifikace je proces, kdy dusičnany transformací mikroorganismy přechází na molekulární dusík. Anammox je anaerobní oxidace amoniaku využívající dusitan jako akceptor elektronů a uvolňující plynný dusík katalyzující prokaryotické bakterie. Volatizace amoniaku je jeho plynné těkání ( $\text{NH}_3$ ) z půdy do vody a do atmosféry, ke kterému dochází po hnojení např. hnojem, močůvkou bez zapravení. Podporují ji vyšší teploty a nedostatek jílových minerálů a humusových látek (Záhora J., Urbánková O., et al., 2015).

## **MYKORHIZA**

Většina vyšších rostlin nemá jen kořeny, ale má mykorhizu, což je těsný mutualistický vztah mezi houbami a tkáněmi kořenů. Jsou známy tři formy této spolupráce. V případě ektomykorhizy vytvářejí houby kolem kořene myceliovou pochvu. Tyto houby dokáží efektivně získávat vzácné zdroje fosforu a zejména dusíku, přičemž od rostlin k houbám proudí uhlík (většinou hexózované cukry). Růst ektomykorhizních hub je na toku cukrů z rostliny přímo závislý. Pokud ale mají

rostliny snadný přístup k dusíku, jejich metabolismus je od tvorby hexóзовých cukrů odkloněn směrem k metabolismu aminokyselin a následkem toho houby degradují. Zdá se tedy, že rostliny využívají jen tolik ektomykorhizních hub, kolik potřebují. Arbuskulární mykorhiza proniká dovnitř kořenů hostitele. Dosud byla tendence zdůrazňovat jako hlavní výhodu získávání fosforu, ale bylo popsáno i získávání dusíku, ochrana před patogeny a herbivory i rezistence proti toxickým kovům (Townsend C. R., 2010).

Schopnost vázat dusík je široce rozšířená mezi eubakteriemi a archebakteriemi, mnoho z nich se účastní mutualistických vztahů s eukaryoty. Nejznámější jsou hlízkové bakterie, které fixují dusík v kořenových hlízkách většiny bobovitých rostlin. Vázání dusíku je často energeticky nevýhodné, ale energie může být pro zelené rostliny mnohem snadněji dostupná než dusík. Bylo zjištěno, že rostliny dodávají houbě až 30% čisté fotosyntetické produkce (Townsend C. R., et al, 2010).

## **UHLÍK C**

Uhlík je jeden z klíčových prvků veškeré hmoty na naší planetě. Vyskytuje se jako součást vody v hydrosféře, jako součást oxidů v atmosféře, jako stavební prvek tkání v biosféře i jako prvek v pedosféře.

Je zastoupen v relativně malém množství jak v atmosféře, tak v zemské kůře a to především jako oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . Dále jako metan  $\text{CH}_4$  a v menším množství jako oxid uhelnatý  $\text{CO}$  nebo ve stopovém množství vyšších uhlovodíků z biotických pochodů. Všechny přirozené plynné sloučeniny uhlíku se v atmosféře oxidují a uhlík je transformován na oxid uhličitý. Ten se ochotně rozpouští ve vodách či přechází do srážkové vody, čímž ji okyseluje na hodnotu 5,6 (v nepřítomnosti dalších látek). Biologický cyklus je řízen fotosyntézou a respirací a trvá asi 20 let, kdežto geochemický cyklus je dán tvorbou karbonátových sedimentů  $\text{CaCO}_3$  na dně vodstva a jeho časová perioda je v desítkách až stovkách milionů let. Geochemickými zdroji uhlíku je diagenese a metamorfóza hornin, vulkanické procesy a degezáce zemské kůry a pláště (Braniš M., Hůnová I. a kol., 2009).

Globální cyklus uhlíku řídí dva protichůdné procesy, jimiž je fotosyntéza a respirace. Cyklus je převážně plynný a prostředníkem jeho toku je oxid uhličitý.

Tab. 1. Koncentrace plynných složek troposférického vzduchu (Braniš M., Hůnová I. a kol., 2009)

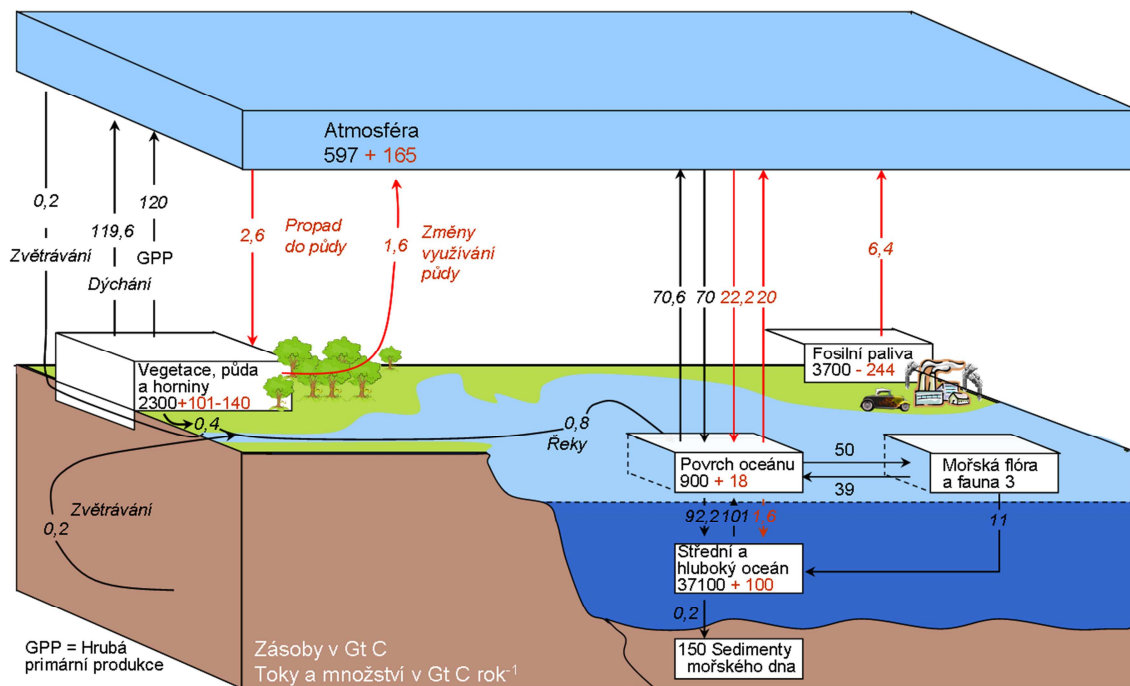
Složky	Koncentrace ppm obj.	Koncentrace $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Celková hmotnost v atmosféře (g)	Průměrná doba setrvání v atmosféře
Dusík N	$7,808\cdot 10^5$	$9,2\cdot 10^8$	$3,9\cdot 10^{21}$	$2\cdot 10^7$ roků
Kyslík O	$2,095\cdot 10^5$	$2,84\cdot 10^8$	$1,25\cdot 10^{21}$	$10^4$ roků
Voda H <sub>2</sub> O	$4-40\cdot 10^3$	$3,5\cdot 10^6$	$1,5\cdot 10^{19}$	9 dnů
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	360	$6,9\cdot 10^5$	$2,65\cdot 10^{12}$	102 roků
Oxid uhelnatý CO	0,1	120	$5,3\cdot 10^{14}$	0,3 roku
Metan NH <sub>4</sub>	1,7	1250	$5,7\cdot 10^{15}$	5 roků
Vyšší uhlovodíky	0,001	0,001	$4\cdot 10^{15}$	Dny
Oxid dusný N <sub>2</sub> O	0,3	600	$4,8\cdot 10^{15}$	4 roky
Oxid dusnatý NO	0,0002	0,3	$1,2\cdot 10^{12}$	9 dnů
Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	0,0005	1	$5\cdot 10^{12}$	10 dnů
Amoniak HN <sub>3</sub>	0,003	2,5	$1,5\cdot 10^{13}$	6 dnů
Ozon O <sub>3</sub>	0,025	50	$3\cdot 10^{15}$	0,3 roku

Lovelock (1979) upozorňuje, že to, co udržuje složení naší atmosféry během půl miliardy let stabilní, může být obyčejná přítomnost organické hmoty. Je-li kyslíku

méně než 15 % tak již téměř nedochází k hoření, je-li ho víc než 25 % hoří i vlhká organická hmota.

Pro koloběh uhlíku hrají klíčovou roli mikroorganismy a autotrofní rostliny. Rostliny zabudovávají uhlík do svých těl, takže tvoří ohromnou zásobárnu tohoto plynu. Mikroorganismy se podílejí na zpětném uvolňování tohoto prvku tím, že jej zpřístupňují pro další ekosystémy (pro novou biomasu, atmosféru, pedosféru, hydrosféru).

I když se uhlík vyskytuje v několika formách izotopů, tak 99 % se jej vyskytuje v prostředí ve formě  $^{12}\text{C}$ .



Obr. 1. Zásobníky uhlíku na Zemi (v Gt C – gigatunách uhlíku) a výměna mezi nimi (v Gt C za rok). GPP = Hrubá primární produkce, tedy množství pohlceného uhlíku bez započítání ztrát v důsledku respirace (Denman a kol., 2007)

Spalováním fosilních paliv, při kterém během jednoho roku spotřebujeme asi tolik paliv, kolik se tvořilo zhruba půl milionu let, jsme ovlivnili uhlíkový cyklus způsobem, jaký nemá v nedávné historii období.

Uhlík v atmosféře má přes sezónní kolísání v důsledku fotosyntézy stále vzrůstající úroveň. Ovlivňování globálního cyklu uhlíku člověkem probíhá již tisíce let. Člověk jej ovlivňuje svojí zemědělskou činností, lesnictvím, průmyslovou

a energetickou výrobou a dopravou. Ovšem až za poslední dvě uplynulá století jsou antropogenní emise vzdušného uhlíku pozorovatelné v objemech srovnatelných s přirozenými toky uhlíku (GCP 2003). Do industrializace se hodnoty v ovzduší držely na úrovni 280 ppm (part per milion), což nám udává počet sledovaných dílů k milionu objemových. V současnosti se tato hodnota blíží k 390 ppm a jeho roční nárůst činí 1,5 ppm (v půdě asi 10x více, což podporuje jeho difuzi do atmosféry a s hloubkou ještě roste). Zdaleka nejvíce uhlíku je však obsaženo v zemské kůře, kde se jeho depozice odhadují na cca 20 milionů Pg (Pg =  $10^{15}$  gramů). Toto množství je několikanásobně větší než ve zbylých rezervoárech dohromady (Marek a kol., 2011).

Dle Pospíšilová a Tesařová (2009) se uhlík v půdě dělí na tři formy:

- **volný uhlík:** bez vazby na minerály a jejich agregáty (dosud není přesně stanoveno, jak a kde se volný uhlík v přírodě hromadí) a protože není nijak poután, uplatňuje se nejvíce v globálním koloběhu uhlíku;
- **stabilní uhlík:** ta část půdní organické hmoty, která vstupuje do reakcí při standardních metodách užívaných k určení jeho obsahu. Je zastoupen specifickými humusovými látkami a koreluje s obsahem jílu v půdě;
- **aktivní uhlík:** bývá označován i jako uhlík labilní ( $C_{labile}$ ), lehce rozložitelný či lehce metabolizovatelný. Jde o organický uhlík v půdě lehce podléhající oxidaci, což vede k úbytku celkového obsahu humusu v půdě. Protože lehce podléhá mikrobiálnímu rozkladu, má přímý vliv na uvolňování živin do půdy. Je známa jeho vysoká afinita k těžkým kovům. Jeho vazby nejsou ještě přesně zjištěny, ale je zjištěno, že jde o organické látky komplexní povahy, tzv. kovové komplexy (chiráty), na které se vážou uhlovodíky, proteiny, amidy, hydroxylové a karboxylové skupiny. Obsah lehce rozložitelného uhlíku v půdě závisí na antropogenní činnosti, klimatických podmínkách, půdní činnosti, půdní organické hmotě, půdním sorpčním komplexu, celkovém obsahu dusíku (poměr C/N), biologických vlastnostech půdy, obsahu oxidovaných a redukovaných forem železa.

## HUMUS

Duvigneaud (1988) píše: „*Jen málo jevů na naší planetě se vyrovná složitostí a trvalou vyrovnaností dramatu, jež probíhá na půdě a v půdě v důsledku činnosti nesčetných armád brouků, stonožek, mravenců, chvoskostoků, hlístic, roztočů, viřníků, prvoků, různých larev a organismů tak malých, že je není vidět. Všechny se účastní boje na život a na smrt o organické zbytky, které mají tendenci hromadit se, čímž by mohli vyvolat takové zdržení uhlíku, že by život na planetě nebyl možný.*“

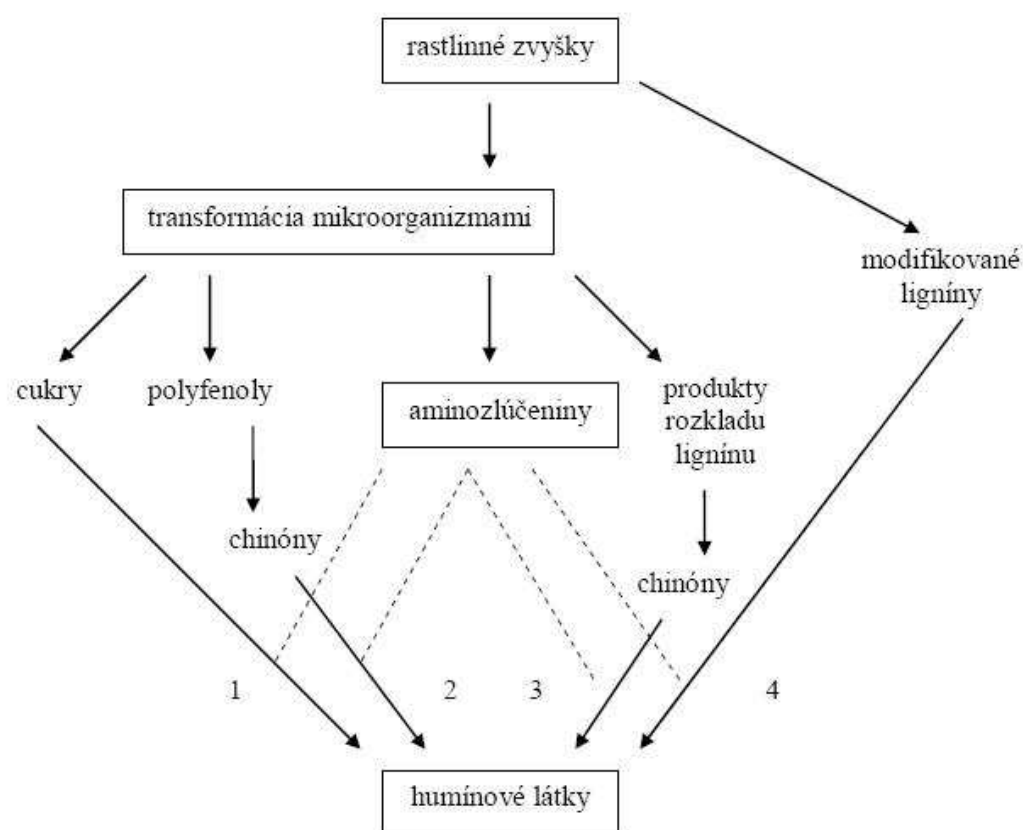
Podle odolnosti vůči rozkladu můžeme sestavit organické zbytky do přibližného pořadí hlavních skupin: cukr + škrob + proteiny, proteidy, pektiny + hemicelulóza, celulóza, lignin, vosky + živice + třísloviny. Pro rychlost a intenzitu přeměn je rozhodující také obsah látek brzdících přeměny. Jednoduchým souhrnným ukazatelem je obsah dusíku vyjádřený např. poměrem C/N a obsah popelovin. Čím je opad bohatší na vápník a dusík, tím lehčeji se rozkládá.

Z toho vyplývají tři hlavní přeměny:

- **úplný rozklad** (mineralizace) organická hmota se rozkládá na jednoduché minerály vlivem dobrého provzdušnění vhodnou teplotou, vlhkostí a živinami. Humus se nevytváří.
- **rašelinění** se uskutečňuje za omezeného přístupu vzduchu na zamokřených lokalitách nebo nedostatečné teploty nebo těžce se rozkládajícího materiálu. Organické látky se hromadí jako surový humus ve vrstvách jako rašelina.
- **humifikace** je přeměna převážně mikrobiální, z menší části také chemická a biochemická, při níž se část organických zbytků mineralizuje (mikroorganismy získávají energii pro život) a zbylá část se oxidací a kondenzací přetváří na vysokomolekulární látky tmavé barvy bohaté na uhlík. Nové sloučeniny mají obsah C nad 45 %. Je to tzv. vlastní humus v půdě poměrně stálý odolávající mikrobiálnímu rozkladu (Šály, 1978).

Samotná humifikace je proces převážně anaerobní, soubor převážně enzymatických a biochemických pochodů, při kterých se z meziproductů rozkladu tvoří tzv. huminové látky. Poměr obsahu uhlíku k dusíku je 1:10, mají hnědou až

černohnědou barvu a vlastnosti koloidů. Kondenzací strukturních jednotek, ke kterým dochází oxidací fenolů přes fermenty typu fenoloxidáz, vede k tvorbě chinonu a jeho reakcí s aminokyselinami a peptidy. Závěrečnou fází je polymerace (polykondenzace) jako zpětný produkt a proto je nutné výsledný produkt odvézt, jinak může dojít k rozpadu již vytvořených kondenzátů (např. při nadbytku vody). Optimální podmínky jsou při periodickém zvlhčení a vysušení, tedy střídání anaerobních a aerobních procesů (Chem. Listy 102, 2008).



Obr. 2. Mechanizmy vzniku huminových látek (Chem. Listy 102, 2008)

Mineralizaci je možné rozdělit na dva typy. V průběhu primární mineralizace (M1) jsou rozkládány cukry, polysacharidy, proteiny, aminokyseliny a tuky za uvolňování plynů ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) nebo slouží jako zdroj výživy rostlin a mikroorganismů ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_3^{2-}$ ) nebo jsou navázány na půdní sorpční komplex ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Primární mineralizace je poměrně rychlá, v závislosti na jejím chemickém složení trvá týdny až několik let. Jako sekundární mineralizace

(M2) se označují procesy rozkladu humifikovaných organických zbytků. Jejich mineralizace je velmi pomalá (1 až 3 % z celkového množství humusových látek v půdě ročně). Předpokládá se, že humusové látky mohou vznikat dvěma způsoby. První způsob zahrnuje transformace a rozklady existujících složek organických materiálů (lignin, vosky, fenolové kyseliny). Druhý způsob je, že humusové látky vznikají syntézou a polykondenzací molekul odštěpených z rostlinných prekurzorů (kys. ferulové, syringové, kávové, alkoholu, katecholu aj.). Prvním způsobem je postupná oxidace a degradace existujících rostlinných polymerů, zatímco druhá zahrnuje tvorbu nových makromolekul, které jsou samy po čase degradovány. Je pravděpodobné, že oba procesy probíhají v půdě současně. Současné poznatky obohacují předchozí dva typy humifikace o mikrobiální (především bakteriální) syntézu. Půdní mikroorganismy absorbují organické molekuly organických zbytků nebo z kořenových výměšků, transformují je a vylučují do půdního prostředí ve formě extrémně stabilních polysacharidů (Pospíšilová, Tesařová, 2009).

Syntetická povaha humifikace vyplývá z faktu, že humusové látky mají podstatně komplikovanější stavbu a vyšší molekulovou hmotnost, než výchozí humusotvorný materiál (Sotáková, 1982).

### **Podmínky vzniku humusu**

Pod přirozeným rostlinným, ať travním či lesním krytem, se povrch půdy neustále obohacuje o odumřelé listy a různý rostlinný opad, savci spolu s ptáky, plazi a hmyzem všeho druhu tam dodávají odpady metabolismu a své mrtvolky. V hloubi půdy činí totéž kořeny. Tento organický odpad je zdrojem výživy pro malé organismy s krátkým životem, ale ohromným výkonem (Duvigneaud, 1988).

Kvalita a množství půdního humusu jak uvádí Sparks (2003) závisí na pěti půdotvorných faktorech, kterými jsou čas, klima, vegetace, mateřská hornina a topografie.

Z hlediska času dochází v počátečních stádiích k rychlé akumulaci organické hmoty v půdě, postupem času se tempo akumulace zpomaluje a dosahuje rovnováhy po 110 (u mateřských hornin s jemnou texturou) až 1500letech (u písčitých hornin).



Klima je extrémně důležitým faktorem ovlivňujícím obsah humusu v půdě, protože ovlivňuje typ rostlinného společenstva, množství produkovaného rostlinného materiálu i stupeň mikrobiální aktivity. V podmínkách humidního klimatu se tvoří lesní společenstva, zatímco semiaridní klima má za následek travinná společenstva. Půdy vytvořené pod travinnými společenstvy mají obvykle nejvyšší obsah humusu, zatímco pouště, polopouště a tropy mají obsah humusu nejnižší.

Vegetace má také klíčový význam pro tvorbu humusu. Půdy s travinnými společenstvy jsou humusem bohatší než lesní půdy. Je to způsobeno vyšší produkcí rostlin v travnatém společenstvu, vyšší syntézi humusu, která probíhá v rizosféře u trav i díky vysokému sycení bázemi, které napomáhá fixaci  $\text{NH}_3$  ligninem.

Vliv mateřské horniny se projevuje zejména texturou půdy vytvořené na dané mateřské hornině. Jílovité půdy mají obecně vyšší obsah humusu než půdy písčité.

Topografie ovlivňuje obsah humusu přes klima (severní x jižní svahy), odtok (svah x rovina), evaporaci a transpiraci (návětrná x závětrná strana). Vlhké a špatně drenážované půdy mívají vyšší obsah humusu, jelikož degradace je zpomalená kvůli vzniklým anaerobním podmínkám vlhké půdy. Půdy na severních svazích, které jsou vlhčí a chladnější, jsou humusem bohatší než půdy na jižních svazích, které jsou sušší a teplejší (Sparks, 2003).

Mikroorganismy tvoří dominantní část živých organismů v půdě. V jednom gramu půdy nacházíme  $10^8$ – $10^9$  bakterií,  $10^5$ – $10^6$  hub,  $10^4$ – $10^5$  prvoků,  $10^4$ – $10^5$  eukaryotických řas. Počty mikroorganismů klesají s hloubkou, což souvisí s dostupností potravy a jejich výskyt je ponejvíce u rostlinných kořínků v tzv. rhizosféře. Většina mikroorganismů je mezofilních, případně mírně psychofilních, termofilních je málo (na rozdíl od kompostu). Bakterie jsou obvykle vázány na pevné částice, jako je prach či zbytky původní horniny. Mycelia půdních druhů hub bývají dlouhá, což houbě umožňuje získávání živin na velkou vzdálenost (www. 8Ekologie).

## **Imobilizace**

Když je anorganická látka zabudována do organické formy dochází k ději zvaném imobilizace. Příkladem může být zabudování oxidu uhličitého do autotrofních organismů za přispění sluneční energie, biologicky imobilizovaný minerální dusík enzymatickou konverzí nebo nebiologická imobilizace na jílové minerály, organickou hmotu apod.

## **Rozkladný proces**

Rozklad je opačným dějem imobilizace při němž se uvolňuje energie a mineralizují živiny, tedy organické prvky se mění na anorganické živiny, oxid uhličitý a vodu. Rozkladným procesům (dekompozici) podléhá mrtvá organická hmota (těla, jejich části, exkrementy) a tyto jsou rozkládány biologickými, fyzikálními či chemickými ději. Větší části těl živočichů mohou pozřít přilákaní mrchožrouti.

Opadem se myslí odumřelé části zejména rostlinné (např. uhynulé rostliny, větroví, spadané listí atd.), které již nelze označit za živé. Rozklad opadu stojí na začátku potravního řetězce nazývaného detritový. Organismy rozkládající opad se nazývají saprofytické, též saprotrofní, a mají zástupce mezi houbami, mikroorganismy, prvky i vyššími živočichy. U mikroorganismů probíhá rozklad opadu opět pomocí extracelulárních enzymů, přičemž enzymová výbava různých saprotrofních mikroorganismů bývá značně variabilní. Protože součástí opadu bývají i dřevu podobné struktury, uplatňují se také lipolytické a celulólytické enzymy, které produkují téměř jedině bakterie a houby jako rozkladači. Živočichy živící se mrtvou organickou hmotou a na ní přichycenými rozkladači označujeme jako detritovory a těmi se živí masožravci (Bureš K., 2013).

Pod pojmem půdní organická hmota (Soil Organic Matter) se obecně rozumí souhrn všech neživých organických součástí půdy (Stevenson, 1994). Půdní organická hmota je tvořena různorodou směsí odumřelých zbytků rostlin a živočichů v různém stupni rozkladu, humusem vzniklým mikrobiálními a biosyntetickými procesy z meziproductů rozkladu organických zbytků a dále živými i odumřelými buňkami půdních mikroorganismů a živočichů (Pospíšilová a Tesařová, 2009). Ačkoliv je jí jen 1–12 % hmotnosti (Fisher a Binkley, 2000), tak zásadním způsobem určuje půdní produktivitu a vlastnosti půd. Význam půdní organické hmoty pro

koloběh živin v půdě, dynamiku půdní vody, udržování vhodné půdní struktury a tepelný režim v půdě byl znám již dříve, ale význam pro vazbu a urychlení rozkladu škodlivých látek (např. pesticidů) se zkoumá až později, a proto bylo v nedávné minulosti věnováno značné úsilí vývoji laboratorních analytických postupů, které by umožnily půdní organickou hmotu podrobně popsat a charakterizovat. Humusové látky stabilizují agregáty půdních částic, zvyšují sorpci organických sloučenin do půdy a spolu s jíly dokáží vázat velké množství vody.

V půdní organické hmotě jsou obsaženy všechny organické sloučeniny, které jsou přirozenou součástí rostlinných a živočišných organismů. Tyto látky podléhají celé řadě přeměn, při nichž mohou vznikat ze složitých makromolekulárních látek a polymerů chemicky jednodušší organické i anorganické látky nebo naopak mohou v procesu humifikace vznikat těžce rozložitelné látky o vysoké molekulové hmotnosti. Rychlost a druh těchto přeměn nezávisí nejen na složení organické hmoty, ale i na fyzikálně chemických a biologických vlastnostech prostředí. Látky tvořící půdní organickou hmotu lze klasifikovat podle několika hledisek. Vzhledem k velké složitosti a k dynamice změn, kterými půdní organická hmota neustále prochází, nemůže však být žádné z těchto rozdělení zcela přesné (Stevenson, 1994).

Vlastní humus má velký specifický povrch (800–900 m<sup>2</sup>/g) a vysokou kationovou výměnnou kapacitu, až 150–300 mmol.100g<sup>-1</sup> (Sotáková, 1982).

Díky těmto vlastnostem zprostředkovává sorpci rostlinných živin, potencionálních rizikových prvků a organických látek (např. pesticidů). Příjem a dostupnost těchto látek je významně ovlivněna humusovými látkami (Sparks, 2003).

Organická hmota v půdě představuje významnou část organického uhlíku v biosféře, a protože neustále podléhá vlivům okolí, tak může v závislosti na podmínkách prostředí uvolňovat či sekvestrovat skleníkové plyny z půdy do atmosféry. Duvigneaud (1988) uvádí: „*Za posledních 50 let na intenzivně obhospodařovaných půdách v Kanadě poklesl obsah uhlíku na polovinu.*“

Tab. 2. Vyhodnocení půdy podle celkového obsahu humusu (Šarman J., 1981)

Obsah celkového humusu v %	Označení zemin (půd)	
	Jednotlivé	Skupinové
pod 1	Slabě humózní	Humózní
1–3	Mírně humózní	
3–5	Středně humózní	
5–10	Silně humózní	
10–20	Velmi silně humózní	
20–50	Rašelinné	Humusové
nad 50	Rašeliny	

### Rozbory látkových skupin humusu

Pod látkovými skupinami humusu rozumíme humínové a nehumínové látky rozdělené do skupin, podle různých hledisek a kritérií, jako je barva, rozpustnost, vlastnosti, chemické složení a vazba s minerálním podílem půdy. Stanovení látkových skupin a frakcí provádíme za účelem posouzení kvality humusu, která je v úzkém vztahu s genesí a produkčními vlastnostmi půd. V současnosti potřebám genetického půdoznalství nejvíc vyhovuje třídění dle Tjurina; humus se rozdělí podle rozpustnosti v různých činidlech na více frakcí fulvokyselin a humínových kyselin (Šarman, 1981).

### Frakční složení humusu

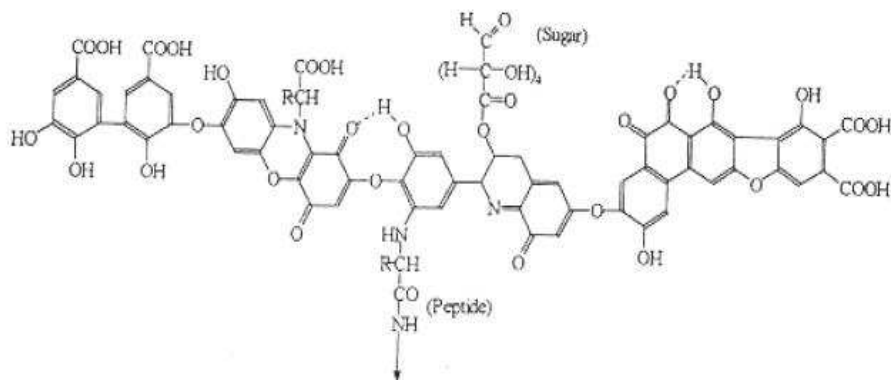
Humusové látky jsou amorfní, částečně aromatické vysokomolekulární látky žluté až černé barvy, odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu, které nemají již přesně definovatelnou chemickou stavbu a fyzikální vlastnosti. Jsou hydrofilní a skládají se

z globulárních částic, které ve vodním roztoku obsahují hydratační vodu. Tvoří dlouhé spirálové molekuly nebo dvoj- až trojrozměrné síťové makromolekuly s negativním nábojem, který vzniká ionizací kyselých funkčních skupin, například karboxylů. Humusové látky je možné na základě jejich rozpustnosti v kyselinách nebo zásadách rozdělit na tři hlavní skupiny: fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy (Stevenson, 1994).

Frakčním složením rozumíme dle Orlov (1985) rozdělení humusových látek na specifické, nespecifické a meziprodukty rozkladu. Mezi specifické humusové látky řadíme fulvokyseliny, huminové kyseliny, hymatomelanové kyseliny a huminy a humusové uhlí.

- **fulvokyseliny (FK)** jsou žluté až hnědé barvy, velmi pohyblivé a lehce přemístitelné v půdním profilu. Jsou charakteristické dobrou rozpustností ve vodě, minerálních kyselinách, loužích i roztocích hydrolyticky zásaditých solí. S hydroxidem hlinitým a železitým vytvářejí rozpustné komplexní sloučeniny, tato jejich vlastnost je významná pro pohyb minerálních látek v půdě a působí při podzolidačních procesech. Zvýšený výskyt fulvokyselin zpřístupňuje minerální látky pro rostliny. Od huminových kyselin se liší jednodušší stavbou. Obsahují 40–52 % uhlíku, 4–6 % vodíku, 40–48 % kyslíku a 2–6 % dusíku. Obsahují 2–8 % popelovin. Vodné roztoky fulvokyselin jsou velmi silně kyselé (pH 2,6–2,8) ve vodě dobře rozpustné a velmi agresivní. Molekulová hmotnost kolísá mezi 200 až 50000. Dle Kužel et al. (2001) se fulvokyseliny tvoří v prvých stádiích humifikace organické hmoty.
- **huminové kyseliny (HK)** jsou tmavě zbarvené látky, dobře rozpustné v loužích a roztocích hydrolyticky zásaditých solí a většinou se hromadí na místě vzniku. Základní složkou huminových kyselin je aromatické jádro fenolického nebo chinoidního typu s účastí alifatických a cyklických dusíkatých sloučenin. Elementární složení kolísá dle místa vzniku (půdní typ, složení rostlinných zbytků, podmínky humifikace) v rozmezí 52–62 % uhlíku, 31–39 % kyslíku, 2,8–5,8 % vodíku, 1,7–4,9 % dusíku. Ve vodě jsou jen částečně nebo velmi slabě rozpustné. Kyselinový charakter je dán přítomností kyselých funkčních skupin karboxylové (COOH) a fenol hydroxylové (OH). Huminové kyseliny mají porézní stavbu s vysokou sorpční schopností a jejich molekulová hmotnost se pohybuje v rozmezí 5000 až 600000. Dle Šály (1977) jsou

nejkvalitnější složkou humusových látek (“vrcholným stadiem přeměny organické hmoty v půdě”) a koloidně neaktivnější složkou půdy.



Obr. 3. Struktura huminových kyselin Stevenson, 1982 (in Skokanová M., Dercová K., 2008)

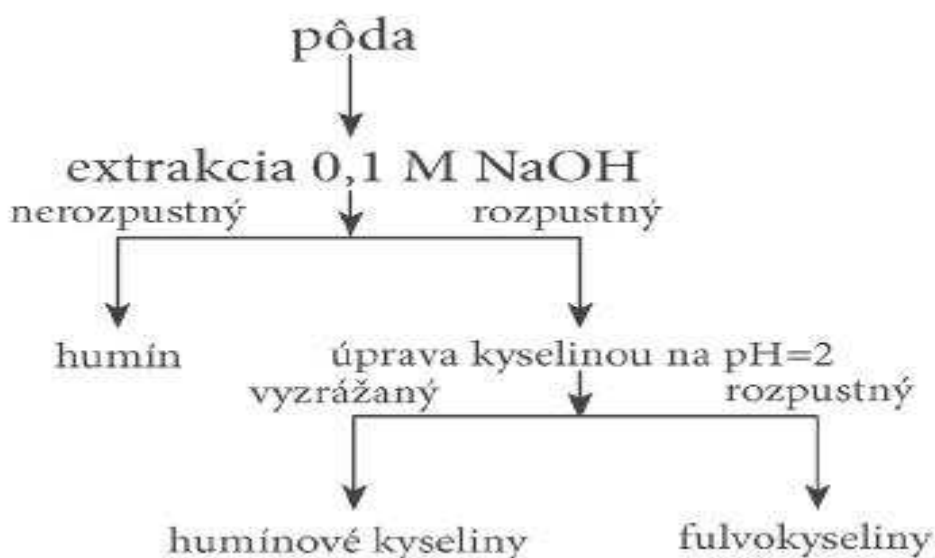
- **huminy** představují silně karbonizovanou organickou hmotu pevně vázanou minerální podíl půdy, a proto se nedají získat ani mnohonásobnou extrakcí alkáliemi z dekalcinované půdy (zbavené vápníku). Huminy jsou charakterizovány jako nerozpustné formy huminových kyselin. Jak uvádí Rejšek (1996), jsou to převážně sorpčně nenasycené huminové kyseliny, pevně vázané s jílovými minerály. Přesto zůstávají sorpčně aktivní a v komplexech s humáty tvoří nesmírně významnou složku orných půd.

Hymatomelanové kyseliny jsou sloučeniny extrahovatelné alkoholy z čerstvě sražených huminových kyselin. Většina současných autorů je však pokládá jen za frakci huminových kyselin.

## Humínové látky (pigmentové polyméry)



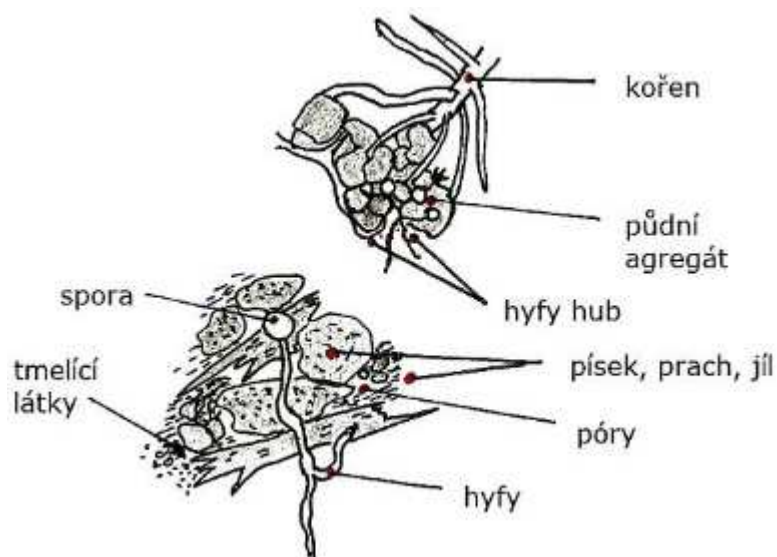
Obr. 4. Najdôležitejšie vlastnosti a rozdelenie humusových látok dle Veselá et al. 2005 (in Skokanová, Dercová, 2008)



Obr. 5. Schéma extrakce huminových látok z pôdy Tan K. H. 2003 (in Skokanová, Dercová, 2008)

## PŮDNÍ STRUKTURA

Strukturu půdy lze charakterizovat jako uspořádání různých půdních částic na objemovou jednotku. Za přispění různých půdních interakcí dochází v půdě z jejich spojování do větších strukturních jednotek nazývaných půdní agregáty. Půdní agregáty jsou tedy komplexy půdních částic jak původu minerálního, tak i z menší části původu organického a tyto půdní částice (jde o záporně nabitě jemné prachové částice a hlavně jílovité částice) jsou spojovány pomocí kladně nabitých iontů v půdním roztoku (sloučeniny hliníku, železa, hořčíku, vápníku), humusových látek, živými i odumřelými hyfy půdních hub a rostlinných kořenů, které ještě neprošli rozkladným procesem, jílovými koloidy, slizy apod. Rozkládající se organická hmota se váže na jílové koloidy, gely, viskózní produkty a spolu s mikrobiální aktivitou podporují tvorbu půdní struktury. Tyto jsou dále spojovány huminovými látkami a jílovými částicemi se zbytky mikroorganismů a inkrustovanými anorganickými látkami a polysacharidy v mikroagregáty. Toto je dále dočasně spojováno v makroagregáty kořeny rostlin, hyfy půdních hub a půdní faunou (Záhora J., Urbánková O., et al., 2015).



Obr. 6. Půdní agregační složky ([www.obrazky.cz](http://www.obrazky.cz))

Mezi půdními částicemi a agregáty se nacházejí volné prostory – půdní póry. Jde o prostory, kde se nachází půdní vzduch a půdní voda. Vyjadřuje se v procentech z celkového objemu půdy a tvoří dle půdního druhu a stavu půdy



většinou 45 až 60% z objemu. Dělíme ji na pórovitost meziagregátovou z hrubých pórů dosahující u strukturních půd 5-15% a agregátovou (matriční) tvořící zbylou větší část. Čím méně je vyvinuta struktura, tím je menší procento meziagregátových pórů, až u nestrukturních slitých půd je její hodnota nulová. (Kutílek M., 2012).

Jemnými (kapilární) póry proudí voda vzhůru proti působení gravitaci. Hrubými (nekapilárními) póry prochází neomezeně gravitační voda do dolních vrstev a na její místo se dostává vzduch, čímž se zásadní měrou podílí na výměně plynné fáze mezi atmosférou a půdou. Střední (semikapilární) póry jsou z hlediska významu jejich přechodem. Optimální poměr mezi kapilárními a nekapilárními póry je podle Kopeckého 2-3 : 1 (<http://uroda.cz/vliv-zpracovani-pudy-na-pudni-strukturu/>).

Na výměnu vzduchu mezi atmosférou a půdou póry závisí jejich zaplnění vodou. Výhodné podmínky pro difuzi jsou tehdy, když je alespoň 30% půdních pórů zaplněno vzduchem. Když je přibližně 10% pórů zaplněných vzduchem a zbytek vodou, dochází k přerušení volného propojení pórů a vzduch je uvězněn v malinkatých bublinkách a začíná se zvyšovat koncentrace oxidu uhličitého na úkor kyslíku, což může při dlouhotrvajícím zamokření podporovat redukční procesy na úkor oxidačních (Kutílek M., 2012).

Stabilita půdních agregátů je klíčovou půdní vlastností ovlivňující její udržitelnost a rostlinnou produkci, je obtížné ji kvantitativně určit a interpretovat. Je také jedním z faktorů ovlivňující odolnost půdy vůči vodní erozi (Hammad et al, 2005).

Tab.3. Klasifikační stupnice kvality struktury podle procentického zastoupení vodostálosti půdních agregátů dle Bartlová J. (2013)

VODOSTÁLOST %	KVALITA STRUKTURY
pod 20	velmi nízká
20,1 - 36	nízká
36,1 - 50	střední
50,1 - 66	vysoká
nad 66	velmi vysoká

### Abiotičtí činitelé

Z těchto vlivů má v období vegetace asi nejmarkantnější vliv srážková voda, která působí na zvětšování objemů půdních částic během příjmu vody (hydrataci)

a jejich následnému smršťování (dehydrataci). Na velikost těchto změn má zásadní vliv obsah jílnatých částic a jejich složení. Jílnaté částice mají velký měrný povrch a dokáží absorbovat velké množství vody. Za další významnou složku lze považovat obsah organických látek, jako např. humusovou složku, které mohou v případech větší přítomnosti také ovlivňovat vodní režim. Opakem by se dal nazvat písčité půdní typ s malým obsahem organického materiálu. Další efekt má voda při zmrzáni a rozmrzání, kdy dochází vlivem rozpínajících se ledových krystalků k rozrušování struktury a drobení, které může pomístně mít ráz významné větrné eroze. Hůla J., et al (2008) uvádí, že: *nejvyšší strukturotvorný efekt má půda promrzající při vlhkosti 25 – 30 hmotnostních procent*. Po promrznutí se půda nachází v optimálním strukturním stavu a jarní práce mají probíhat až po jejím oschnutí (Němeček J., 1981, in Hůla J., et al., 2008).

Struktura vzniklá za působení chemických vlivů bývá označována jako chemogenní. Na její vznik působí hlavně dvojmocné kationty vápníku a hořčíku, které v tmelivé složce humátů vápenatých a hořečnatých umožňují tvorbu strukturních agregátů. Tmelivý vliv mají biochemické procesy při rozkladu organické hmoty v půdě. Humózní půdy se vyznačují relativně nejstabilnější strukturou a velmi dobrou zpracovatelností. Nositelem fyzikálně-chemických vlivů je sorpční komplex a stav jeho nasycení. Komplex sorpčně nenasycený s převahou vodíkových iontů, nebo sorpčně nasycený jednomocnými kationty podmiňuje vznik nestabilní struktury. Sorpční komplex nasycený dvojmocnými kationty se vyznačuje dobrou agregační schopností a vodostálou strukturou (Hůla j., et al., 2008)

### **Biotičtí činitelé**

Jsou to účinky kořenového systému, který působí na své okolí tlakem při prorůstání půdním tělesem a tloustnutím, čímž tlačí na okolí fyzikální silou. Dále při vlastním fyziologickém procesu interakcí exudátů s okolím v rhizosféře a nakonec po odumření jako organická hmota sloužící k potravě mikroorganismům a obohacující půdu o živiny. Rostliny tedy nejen ovlivňují půdní horizont rozsahem a hloubkou kořenového systému, ale také podle druhu plodiny také množství a druhovou pestrost půdních organismů a množství ponechané půdní hmoty po sklizni. Již po desetiletí je znám blahodárný vliv jetelotravních společenstev, luskovin a bobovitých rostlin na obohacování půdní organické hmoty, nitrifikačními

bakteriemi o dusík a mohutnými kořeny o vylepšování půdní struktury (Najmr S., et al., 1956) a vodostálost půdních agregátů (Košík J., 1987). Nejhorší vliv na strukturu půdy a vodostálost půdních agregátů mají okopaniny. K tomu je třeba zohlednit i druh, dobu a množství hnojení a podmínky při ošetřování a sklizni.

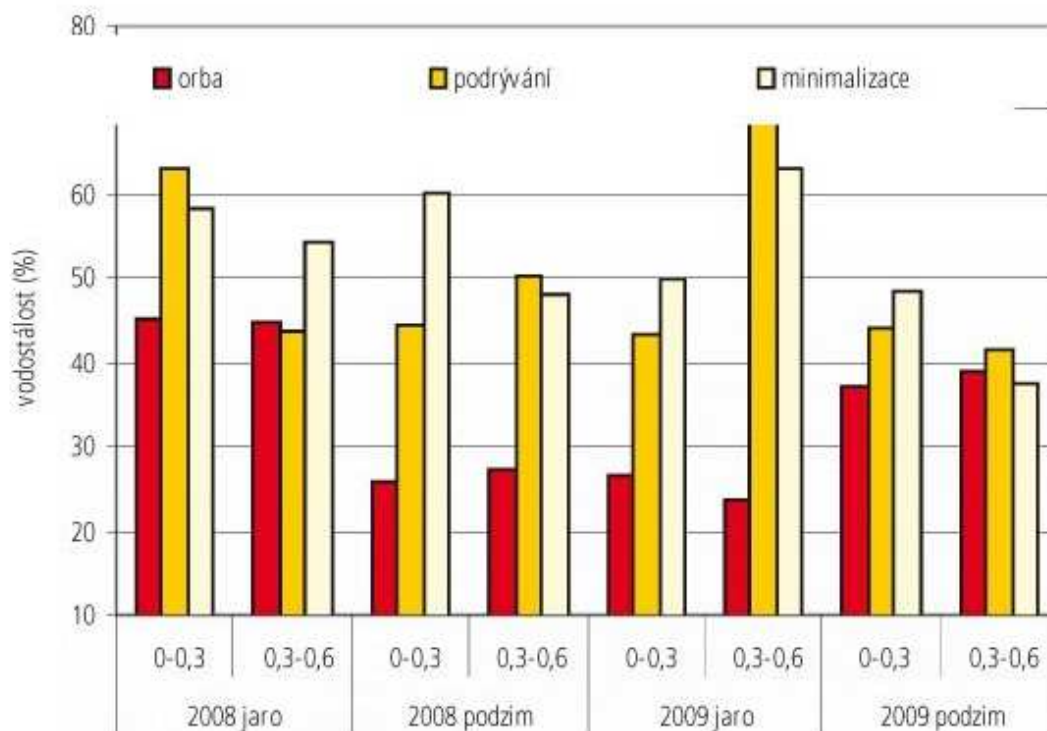
V sušších oblastech bylo zjištěno při hnojení dusíkem snížení stability půdních agregátů a zároveň vzrostla hmotnost jílové a prachové frakce a došlo ke snížení počtu půdních mikroorganismů (Fonte et al, 1999).

### **Půdní úrodnost**

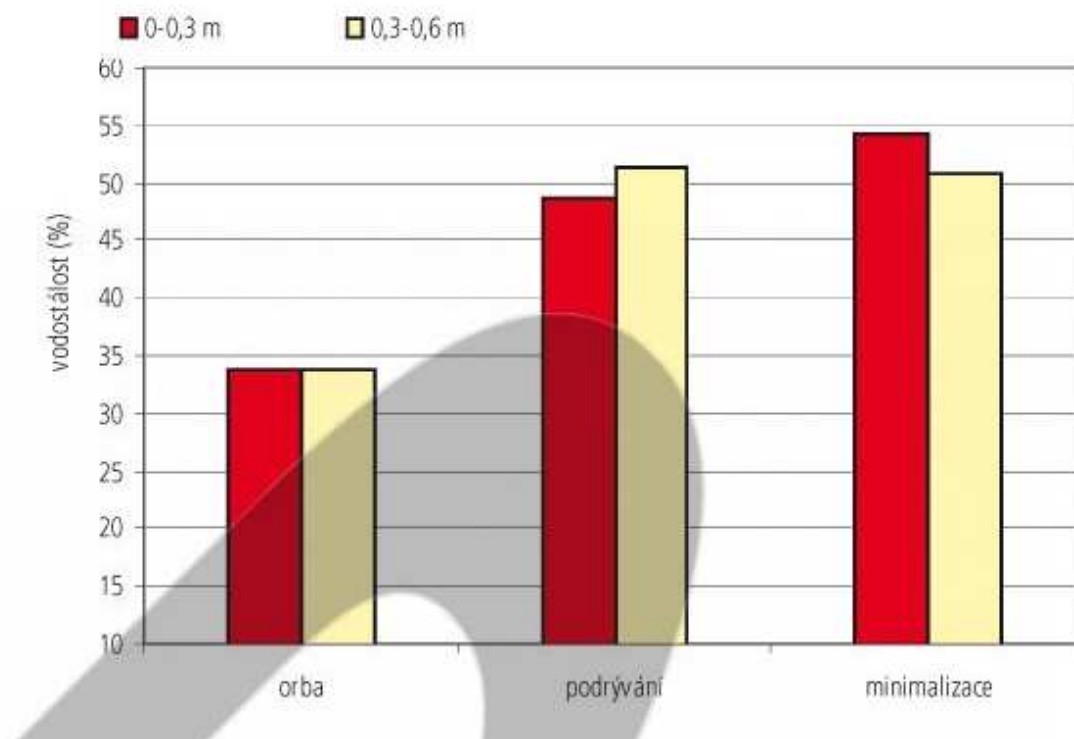
Půdní úrodností se rozumí poskytovat rostlinám vodu, živiny a ostatní nezbytné podmínky života po celou vegetační dobu. Rozeznáváme přirozenou úrodnost jako výslednici výhradně přírodních činitelů a pochodů při tvorbě a vývoji půd (panenská půda). Kulturní (umělá) úrodnost je ovlivněna činností člověka a stále více pozbývá své původní znaky, může docházet k její zlepšování i zhoršování. Efektivní úrodností se rozumí úrodnost kulturní ovlivněná klimatickými, povětrnostními a vegetačními činiteli. Ekonomická úrodnost je ekonomické vyjádření efektivní úrodnosti vyjádřená výnosem (zisk). Půdní úrodnost je dynamickou vlastností ([web2.mendelu.cz](http://web2.mendelu.cz)).

### **Antropický činitel**

Vliv člověka na půdu tkví v jeho hospodaření jako zdroje kapitálu. K těmto činnostem náleží veškeré jeho kultivování půdy (zpracování, setí, kultivace, hnojení). Při zpracování je nutno vytvořit příznivý strukturní stav, který podmiňuje prokypření orniční vrstvy i s podorničím, zajistit dobrou drobivost k seťovému lůžku. Dlouhodobými odnosy produktů sklizně a podporou mineralizace organické půdní hmoty dochází k prohlubující se degradaci půdní struktury a to i na úrodných půdách. Naproti tomu je možno pěstitelskými zásahy zejména snížením intenzity zpracování tento stav zlepšovat, jak uvádí např. Bartlová J., et al., (2009), Dufková K. J., (2010), Hybler V., (2010). Bartlová J., Badalíková B.,(2010), (2011), poukazují, že během tříletého pokusu, byl nejen prokázán statistický rozdíl mezi zpracováním půdy orbou a bez orby na vodostálost půdních agregátů, ale byl zjištěn i pozitivní vliv na výnosy pěstovaných rostlin ve prospěch minimalizačních zpracování půdy; říkají: *celková analýza ukázala pozitivní efekt minimálního zpracování na vodostálost půdních agregátů.*



Obr. 7. Průměrné hodnoty vodstálosti v letech 2008 – 2009 (www. Úroda 09/2010)



Obr. 8. Průměrné hodnoty vodstálosti půdních agregátů ve dvou hloubkách (www. Úroda 09/2010)

Dalším nepříznivým vlivem člověka je mechanická degradace půdní struktury zhutňováním podorniční vrstvy, čímž zhoršuje pronikání kořenového systému do této vrstvy a snižuje přechodu půdní vody a půdního vzduchu oběma směry. Je způsobována pojezdy strojů a může na ni mít vliv i souběh více faktorů (zejména kultivace při vysoké vlhkosti půdy, zbytečnými přejezdy, či nepoužitím dvojmontážních kol). Jandák J., et al, (2010) poukazuje i na peptizační účinky průmyslových hnojiv.

Předpokládalo se, že pro drobtovitou strukturu mají zásadní význam humusové látky. Zjistilo se ale, že v půdě je několikanásobně větší množství jiné látky, než těchto humusových látek. Dle nových zkoumání byla objevena molekula skládající se z proteinového jádra, karbohydrátu a některých iontů. Protože je produkována houbou řádu Glomales byla nazvána glomalin. Houby Glomales vstupují do mykorhizního soužití přibližně u 80 % všech suchozemských cévnatých rostlin některých mechorostů. Jejich soužití je spojováno s přechodem rostlin z vody na souš před 400 miliony lety. Tyto houby pronikají bez porušení do primárních vlasových kořínků rostlin, jde o arbuskulární soužití. Houba zásobuje rostlinu vodou a živinami (fosfor a stopové prvky) z mnohem většího prostoru, který by rostlina svým kořenovým systémem mohla obsáhnout. Na oplátku dodává rostlina houbě zejména glukózu, jako protihodnotu za přísun vody a fosforu, který by jinak zůstal pro rostlinu v půdě v nepřijatelné formě. Povrch houbových vláken je zpevňován molekulami glomalinu vytvářeného z uhlíku dodaného rostlinou. Po několika týdnech ukončí tato vnější vlákna funkci. Glomalin s poločasem rozpadu až přes 40 let má na svém povrchu různé reakční skupiny a začíná vázat prachové a jílové minerály a ostatní organické látky. Tím se stává nejúčinnějším tmelivým materiálem půdních částic, mikroagregátů a tyto stmeluje až do makroagregátů (Kutílek M., 2012).

Kostelanský et al. (in J. Hůla, B. Procházková, 2008) uvádí: strukturotvorný proces je neoddělitelnou součástí půdotvorných procesů, a je proto ovlivňován faktory abiotickými (povětrnostní vlivy, minerální látky, voda), biotickými (kořeny rostlin, kořenové extrakty, půdní fauna) a antropickými (zpracování půdy, způsob hospodaření na půdě).

Agregáty jsou díky těmto faktorům a s vývojem různých typů půd shlukovány do různých tvarů jako kulovitý (hrudovitý, drobtovitý), hranolovitý (polyedrická, prismatická, sloupcová), vrstevnaté (lístkovité, deskovité, voštinové). Jejich velikost se dle různých autorů liší. Zhruba bychom mohli tyto agregáty rozdělit do tří skupin (upraveno dle Jandák J., et al, 2010):

- prachové a jílovité částice do velikosti zhruba 10  $\mu\text{m}$
- mikroagregáty velikosti od 10 do 250  $\mu\text{m}$
- makroagregáty velikosti 0,25 mm až 50 mm
- megastruktura hroudy větší než 50 mm

Jak dále Jandák et al (2010) uvádí: dobrá struktura se stabilními drobtovými agregáty (o průměru 1 až 10 mm) je podstatným znakem tzv. zralosti půdy, představující optimální stav fyzikálních a biologických vlastností.



Obr. 9. Zpracování půdy technologií strip-till ([uroda.cz/pokusy-s-variantami-zpracovani-pudy](http://uroda.cz/pokusy-s-variantami-zpracovani-pudy))

## Mikroorganismy

Aby mohli mikroorganismy růst a množit se, musí být v prostředí, ve kterém se vyskytují zajištěn zdroj energie a všech biogenních prvků a vody. Největší nároky jsou kladeny na makrobiogenní prvky C, H, O, N, P, K a S.

Uhlík je složkou všech organických látek v buňce a výchozím prvkem pro syntézu aminokyselin, nukleotidů, cukrů, lipidů apod. a tvoří kostru proteinů a nukleových kyselin. Zdrojem heterotrofních mikroorganismů jsou sloučeniny využívané současně jako zdroj energie tedy cukry, alkoholy, organické kyseliny. Pro autotrofní mikroorganismy je nejdůležitějším zdrojem uhlíku  $\text{CO}_2$ . Heterotrofní mikroorganismy ho mohou využít je omezeně pro karboxylační reakce na začátku růstu (web2.mendelu.cz).

Dusík potřebují mikroorganismy pro tvorbu aminokyselin, nukleových kyselin apod. Pro heterotrofní mikroorganismy jsou nevhodnějším zdrojem dusíku amonné soli (web2.mendelu.cz).

Autotrofní mikroorganismy využívající anorganické látky využívají jako zdroj uhlíku  $\text{CO}_2$ , jako zdroj dusíku amonné soli, dusičnany a některé i  $\text{N}_2$ . Energií získávají oxidací anorganických sloučenin nebo využívají světelné energie. Heterotrofní mikroorganismy využívají jako zdroje uhlíku, vodíku a energie organické sloučeniny v prostředí. Chemoheterotrofní mikroorganismy získávají energii oxidací organických sloučenin, jichž využívají také jako zdrojů uhlíku, vodíku a většinou i kyslíku. Sem patří většina bakterií a mikroskopické houby. Tyto mikroorganismy mají velký význam v koloběhu látek v přírodě, při produkci organických kyselin a dalších významných látek. Rychlost reprodukce bakterií je za optimálních podmínek kolem 20 minut (web2.mendelu.cz).

Mikroorganismy dokáží přijímat živiny celým povrchem těla, kdy příjem reguluje cytoplasmatická membrána. Složité a velké molekuly ale musí být nejprve enzymaticky rozloženy na jednodušší sloučeniny. Zde se uplatňují tzv. permeasy. Přenos látek se však nejčastěji uskutečňuje pasivní difúzí (využití gradientu koncentrace), usnadněnou difúzí nebo aktivním transportem (proti gradientu koncentrace). (web2.mendelu.cz)

## **3 POPIS LOKALITY**

### **Charakteristika širšího zájmového území**

#### **Geomorfologické poměry**

Území náleží dle geomorfologického členění a geneze reliéfu k provincii České vrchoviny, soustavě Česká tabule, podsoustavě Svitavská pahorkatina a podcelku Česko-třebovské vrchoviny, který je z hlediska orografického zařídění plochou rovinou s výškovou členitostí 100-300 m, s průměrnými výškami 474 m.n.m. (Czudek T., 1972).

V rámci podcelku Českomoravské vrchoviny je vyčleněn geomorfologický útvar tzv. Ústecká brázda. Jižní část Ústecké brázdy je 4-6 km široká sníženina severo-jížního směru ohraničená na západě Kozlovským hřbetem, tvořícím výraznou kuestu, stejně jako Hřebečovský hřbet na východě. Typickým znakem je zde asymetrie v příčném profilu, která je zvýrazněna příkrým západním svahem (Demek J., et al, 1965).

Údolí Banínského potoka v západním svahu Ústecké brázdy je částečně suché, což je zapříčiněno silně rozpukanými souvrstvími středního turonu a mají celkem silný ráz. Pokud jsou zahlobena do křídových vrstev, zejména pískovců, mají poměrně příkré svahy a ploché údolní dno s dobře patrným suchým korytem. Vyskytují se zde i částečně suchá údolí, mezi něž patří i Banínský potok jehož vody se před úpravou koryta ztrácely v silně rozpukaných pískovcích (Krčmář A., Kříž H., 1987).

#### **Klimatické poměry**

Quitt E.,(1975) uvádí: území Západomoravská křída náleží dle klimatické klasifikace ke klimatickým oblastem MT3 a MT5 mírně teplá, která jsou charakterizována normálním až krátkým létem, mírným až mírně chladným, suchým až mírně suchým, přechodnými obdobími normálními až dlouhými, s mírným jarem



až mírným podzimem, zimou normálně dlouhou, mírně chladnou, suchou až mírně suchou, s normálním až krátkým trváním sněhové pokrývky. Roční úhrn srážek na sledovaném území se pohybuje v rozmezí 600-750 mm a roční teplotní průměr mají hodnoty 7-8°C. Počet letních dní je zde 20-40 a počet mrazových v rozmezí 130-160 a ledových 40-50 v roce.

Tab. 4. Klimatická charakteristiky dle Quitta E. (1971)

	Klimatický okrsek MT3
Letních dnů	20 až 30
Dnů s průměrnou teplotou 10°a více	120 až 140
Mrazových dnů	130 až 160
Ledových dnů	40 až 50
Průměrná lednová teplota	-3 až -4 °C
Průměrná červencová teplota	16 až 17 °C
Průměrná dubnová teplota	6 až 7 °C
Průměrná říjnová teplota	6 až 7 °C
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	110 až 120
Srážkový úhrn ve vegetačním období v mm	350 až 450
Srážkový úhrn v zimním období v mm	250 až 300
Dnů se sněhovou pokrývkou	60 až 100
Zamračených dnů	120 až 150
Jasných dnů	40 až 50

Velké vegetační období trvá od konce první dubnové dekády v průměru 195-205 dní (Mackovčín P., et al, 2007).

## **Půdní poměry**

Jsou zde zastoupeny půdy citlivě reagující na petrografickou povahu sedimentárních křídových hornin, jímž je toto území tvořeno. V největší míře jsou zde zastoupeny podzoly a podzolové půdy, ostrůvkovitě pak rendziny a pararendziny. V údolí řeky Svitavy jsou to pak půdy nivní a glejové. Z uvedených druhů lze konstatovat, že jsou převážně povahy písčité, písčito-hlinité, až písčito-jílovité. Rozšíření všech těchto půd je pomístně přerušeno spraší a sprašovými hlínami (Pelíšek J., 1966).

## 4 METODIKA PRÁCE

### 4. 1. Aktuální množství minerálního dusíku v půdě

Na dvou pokusných plochách s parcelkami (cca 10 x 4.5 m) s vysetou ozimou pšenicí byl sledován vliv různých vstupů dusíku a organického hnojení. Odběr půdních vzorků byl prováděn půdní sondýrkou a analyzován v laboratoři. Amonný a nitrátový dusík byl z půdních vzorků extrahován 2M roztokem KCL. Amonné ionty byly stanoveny destilačně titrační metodou (Peoples M. B. et al, 1989). Nitrátové ionty byly stanovovány stejnou metodou po předcházející redukci Devardovou slitinou. Půdní vlhkost byla stanovena gravimetricky (vážková metoda) pro přepočítání aktuálního množství minerálního dusíku na sušinu půdy. Odběr vzorků byl proveden dne 17. 5. 2016 v hloubce 25 cm.

### 4. 2. Stanovení čisté amonizace a čisté nitrifikace *in situ*

Pro terénní vyhodnocení čisté amonizace a čisté nitrifikace byla použita metoda párového odběru neporušených půdních vzorků dle Raison et al (1987). Neporušené půdní vzorky byly odebírány speciální půdní sondýrkou, jejíž konstrukce umožňuje odebírání i malých zdřevnatělých částí kořenové soustavy. Velikost čisté amonizace se stanovuje po cca třítydenním procesu inkubace v ponechaném půdním vzorku, který byl vložen zpět v ochranném a stabilizujícím pouzdře do půdního horizontu do vytvořených děr. Provádí se tak, že se porovná množství amoniaku na počátku a na konci inkubace a porovná se jeho zásoby. Totéž provedeme i s dusičnany a zjišťujeme čistou nitrifikaci. V případě, že na počátku byla velikost vyšší než na konci, hovoříme o čisté imobilizaci.



Obr. 10. Půdní sondýrka pro odběr neporušených vzorků

#### 4. 3. Rychlost infiltrace

Byla prováděna rychlost vsaku vody do půdy pomocí přístroje měřící jeho množství v čase na různých porostech obohacovaných o dusík. Pokus byl proveden na orné půdě po sklizeném porostu pšenice a hnojeném různými dávkami dusíkatého hnojiva, přičemž v jednom případě byl v předešlém roce do půdy zapraven kompost a v jednom případě byl porost bez přidaného dusíkatého hnojiva.

Pojmem infiltrace rozumíme průtok vody přes topografický povrch do půdy. Celkové množství zasáklé vody se nazývá kumulativní infiltrace, udává se podobně jako celková srážka v délkové míře (Kutílek M., et al, 2000).





Obr. 11. Půdní injektor k zjišťování infiltrace

#### 4. 4. Stanovení půdní respirace

Stanovení kumulativní produkce  $\text{CO}_2\text{-C}$  probíhalo v průběhu vegetační sezóny přímo na jednotlivých experimentálních parcelkách. Pro měření byla použita upravená metoda s využitím sorpce  $\text{CO}_2$  na natrokalcit (Keith & Wong, 2006). Natrokalcit obsahuje  $\text{NaOH}$  a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a přibližně 13 - 18 % absorbované vody, která je nezbytná pro chemickou sorpci  $\text{CO}_2$  na uhličitany ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a  $\text{CaCO}_3$ ). Tvorba uhličitánů se odráží v nárůstu hmotnosti granulí. Přírůstek hmotnosti natrokalciitu se měří ve vysušeném stavu mezi počátečním a konečným stavem.

Pro měření byl použit natrokalcit o velikosti zrn 2-5 mm. Natroklacit ( $12 \pm 1$  g) byl umístěn do uzavíratelných PE nádobek, které byly před aplikací 14 hod. vysušeny při  $105\text{ }^\circ\text{C}$ . Následně byly lahvičky s vysušeným natrokalciitem umístěny dovnitř PVC prstence zapraveného s dostatečným časovým předstihem (min. 2 týdny

pro stabilizaci poměrů v půdě) do půdy jednotlivých experimentálních parcel, který vymezoval povrch půdy, ze kterého byla produkce CO<sub>2</sub> měřena, a hermeticky uzavřeny plechovou nádobou (viz obr. 2.30). Uzavírací nádoba přesně zapadla do dvojitého lemu na okraji popisovaného prstence naplněného vodou, což umožnilo vzduchotěsné uzavření jímacího systému s minimální manipulací. Po 24 hodinách inkubace byly lahvičky vyjmuty, uzavřeny a po převozu do laboratoře opět vysoušeny při stejné teplotě 105 °C po dobu 14 hod. Výsledky byly vyhodnoceny jako kumulativní produkce CO<sub>2</sub>-C v gramech na 1 m<sup>2</sup>půdy za 1 den (g CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> den<sup>-1</sup>). Přepoččet byl proveden podle upraveného výpočtu, dle metodiky Keith & Wong (2006):

$$\text{Produkce CO}_2\text{-C} = \left[ \frac{(m_1 - m_2) \cdot 1,69}{S} \right] \cdot \left[ \frac{24}{t} \right] \cdot \left[ \frac{12}{44} \right] \text{ [g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ den}^{-1}]$$

m<sub>1</sub>... hmotnostní přírůstek vzorku (g)

m<sub>2</sub>... hmotnostní přírůstek slepého vzorku (g)

1,69... koeficient účinnosti poutání CO<sub>2</sub> na natrokalcitu

S... plocha půdy, ze které je produkován CO<sub>2</sub>-C

t... čas měření respirace (hod)

12/44... poměr molární hmotnosti uhlíku k celé molekule CO<sub>2</sub>

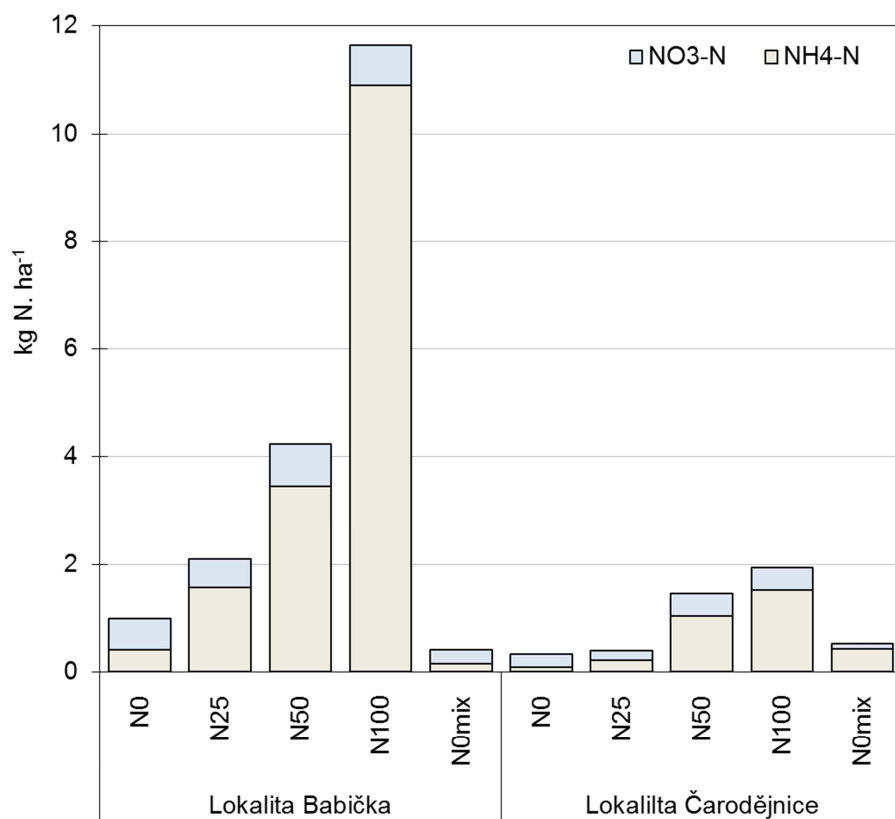


Obr. 12. Měření půdní respirace v terénu. Detail umístění PE nádoby s vysušeným natrokalcitem na nosnou konstrukci z nerezových pásků a dvojitý lem okraje prstence, do kterého se pro vzduchotěsné uzavření nalévá voda (systém vlastní konstrukce).

## 5 VÝSLEDKY PRÁCE

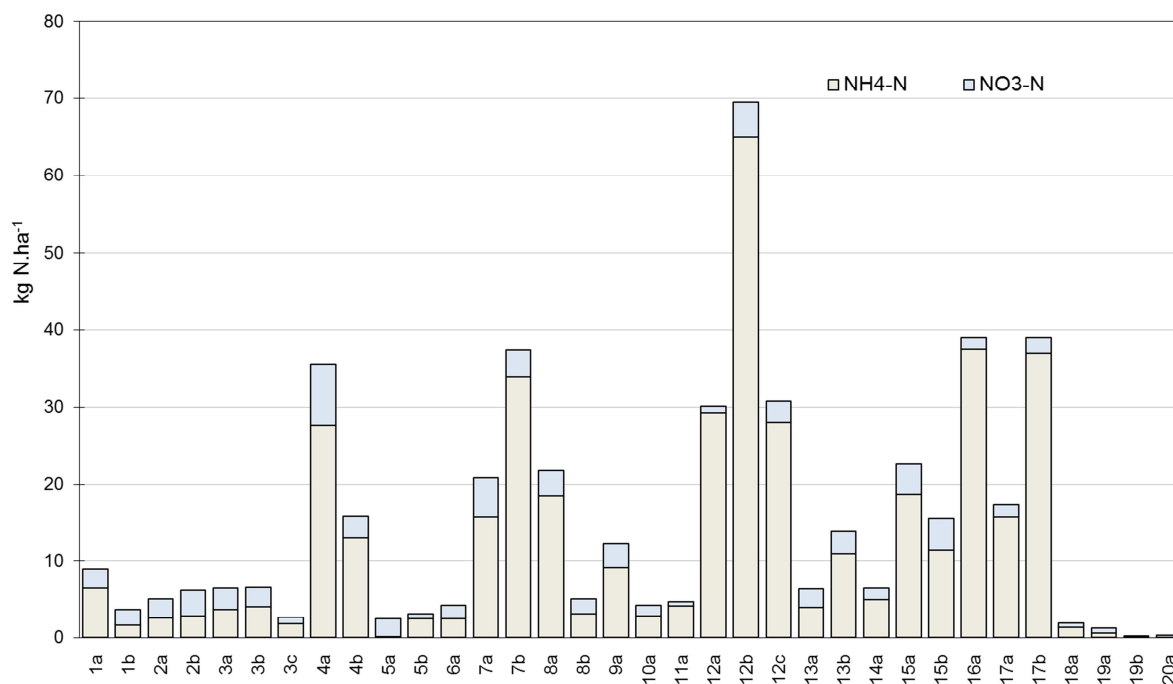
### 5. 1. Aktuální úroveň dusíku

O aktuálním množství a formách dusíku nám dává přehled následující graf. Úroveň vstupů minerálního dusíkatého hnojiva (DAM 390) je součástí jednotlivých variant NO, N 25, N 50, N 100 N100 (25%, 50%, 100%  $\pm$  138 N kg/ha). NO MIX je směska ozimé pšenice s peluškou. Znázorněn je průměr a směrodatná odchylka ( $x + S_x$ ).



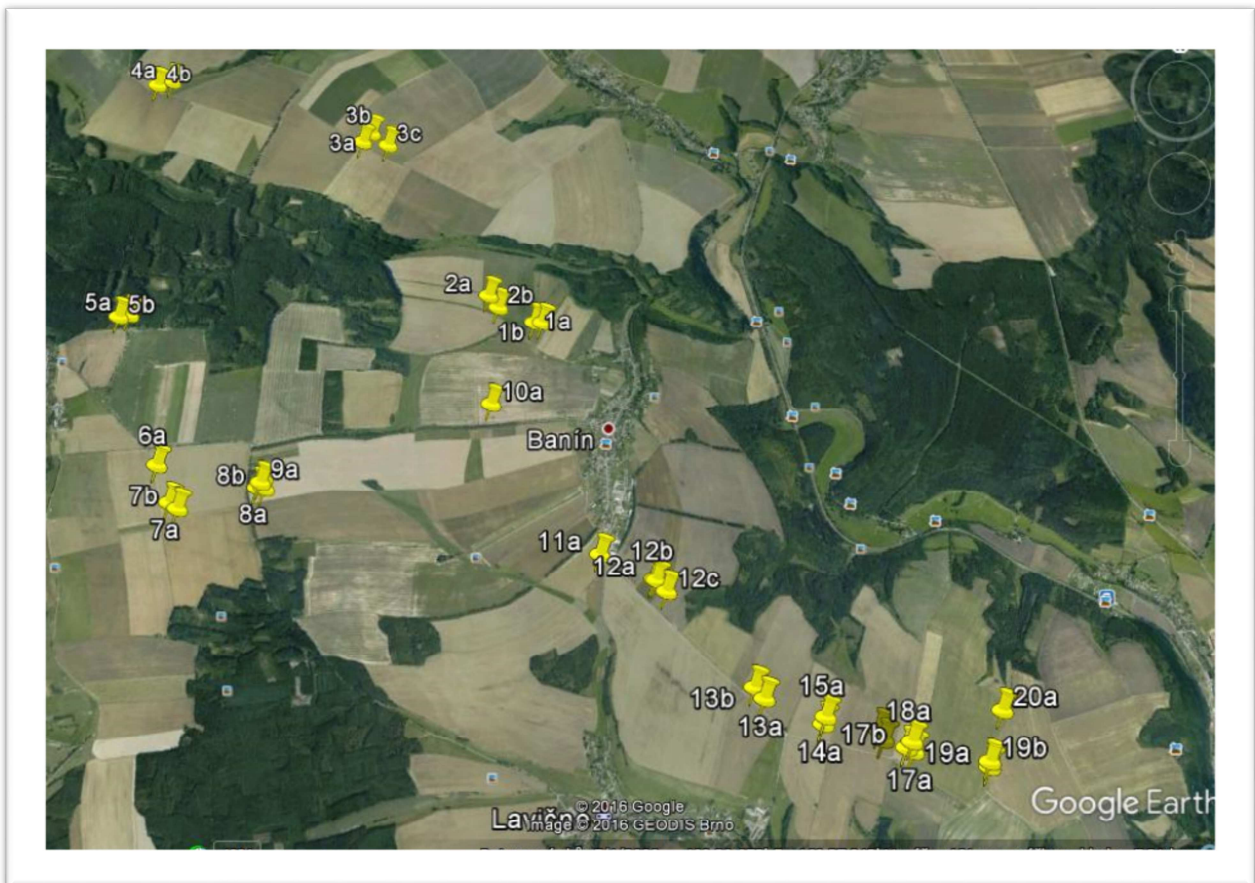
Graf. 1. Souhrnné aktuální množství amonného (šedě) a nitrátového dusíku (modře) na lokalitě „Babička“ a „Čarodějnice“ v přepočtu kg N/ha s odhadovanou hloubkou ornice 25 cm stanovenou 17. 5. 2016

Následující graf nás informuje o aktuálním stavu amonné a nitrátové formy v okolních konvenčně obhospodařovaných polích na katastrech obcí Banín a Radslavice. Na těchto plochách byla pěstována stejná plodina jako v našem případě a odběr byl prováděn ve stejný čas jako na pokusných lokalitách, tedy 18. 5. 2016. Číselné označení odpovídá označení na přiložené mapce.



Graf. 2. Množství amonného a nitrátového dusíku v okolních polích

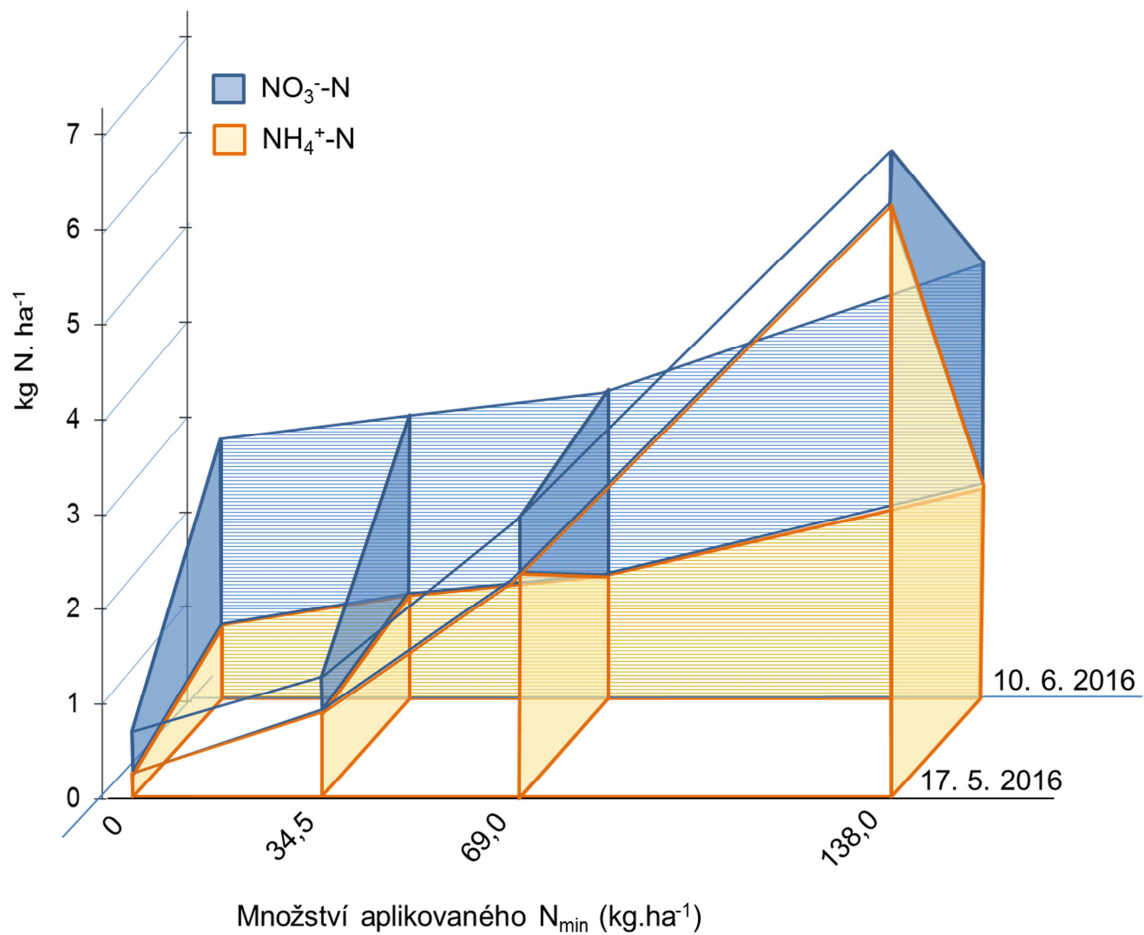




Obr. 13. Mapa odběru půdních vzorků z okolí

## 5. 2. Stanovení čisté amonizace a čisté nitrifikace *in situ*

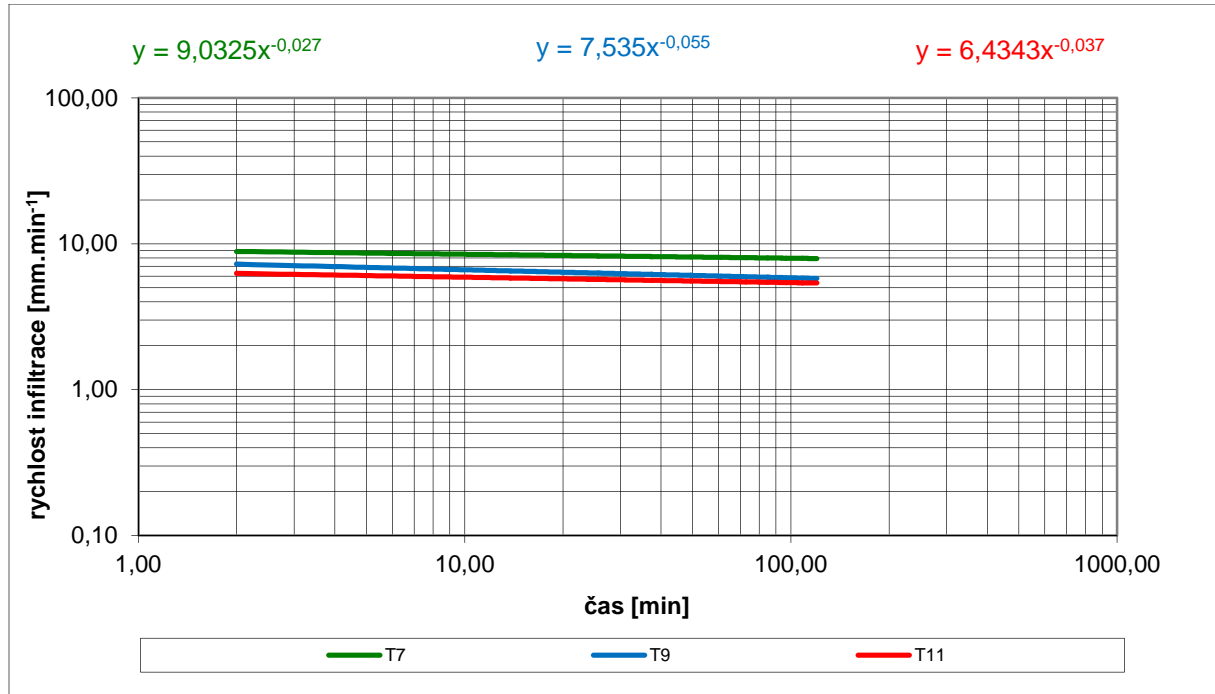
Následující graf nám přehledně vypovídá o nárůstu čisté mineralizace a čisté imobilizace na pokusných půdách po různých vstupech dodávaného dusíku a po terénní inkubaci, kdy pomyslná přední stěna nám podává informaci o aktuálním stavu dvou forem dusíku a pomyslná zadní stěna grafu aktivitu mikroorganismů na třítydenní terénní inkubaci.



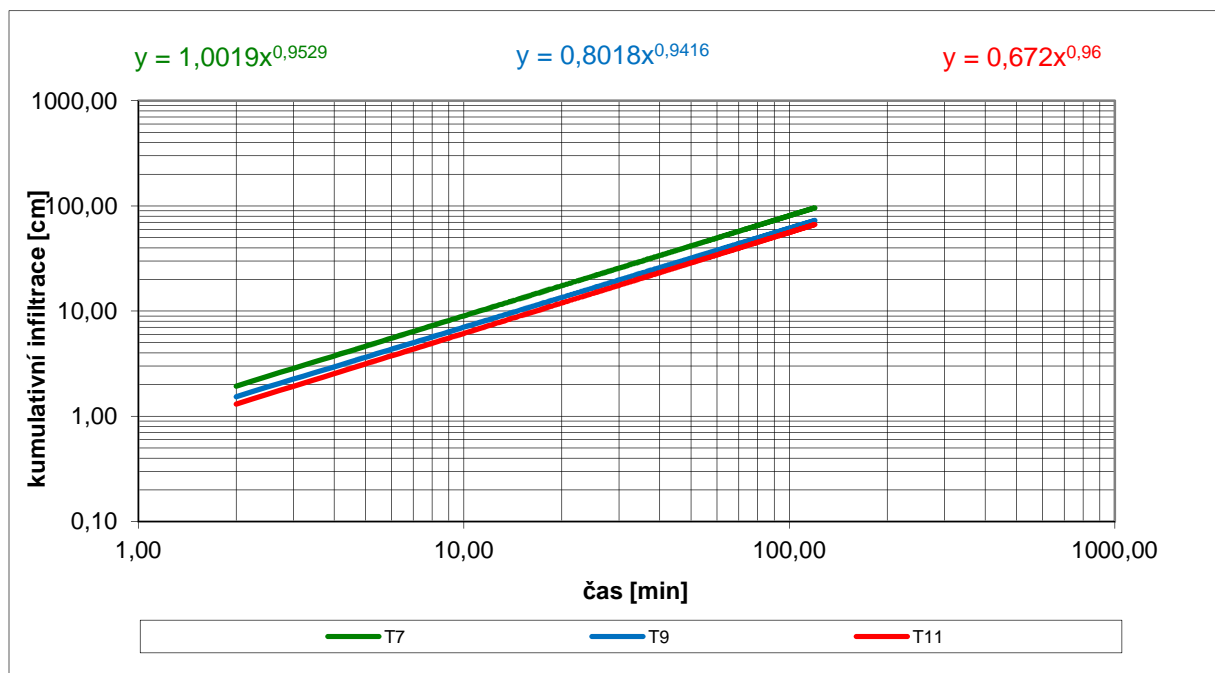
Graf. 3. Znáornění průběhu čisté mineralizace během období terénní inkubace neporušených půdních vzorků od 17. 5. do 10. 6. 2016

### 5. 3. Rychlost infiltrace

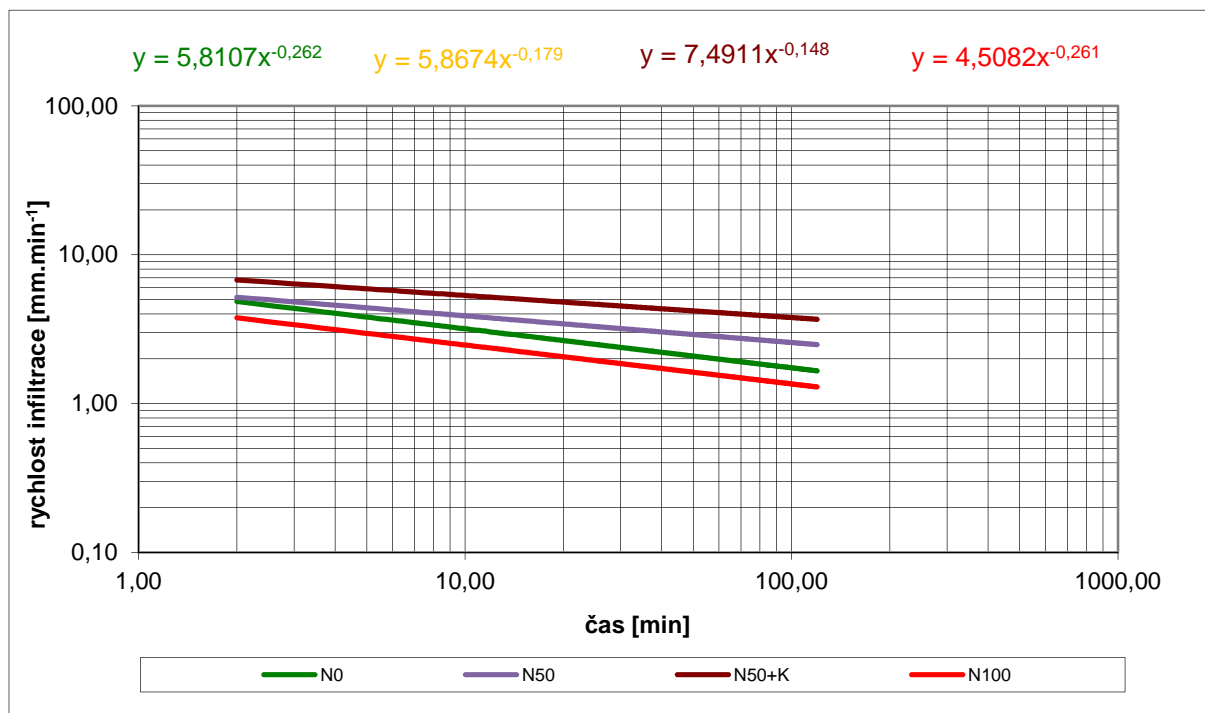
Následující grafy informují o rychlosti a velikosti infiltrace na zkoumané lokalitě v travním porostu a orné půdě po sklizené ozimé pšenici.



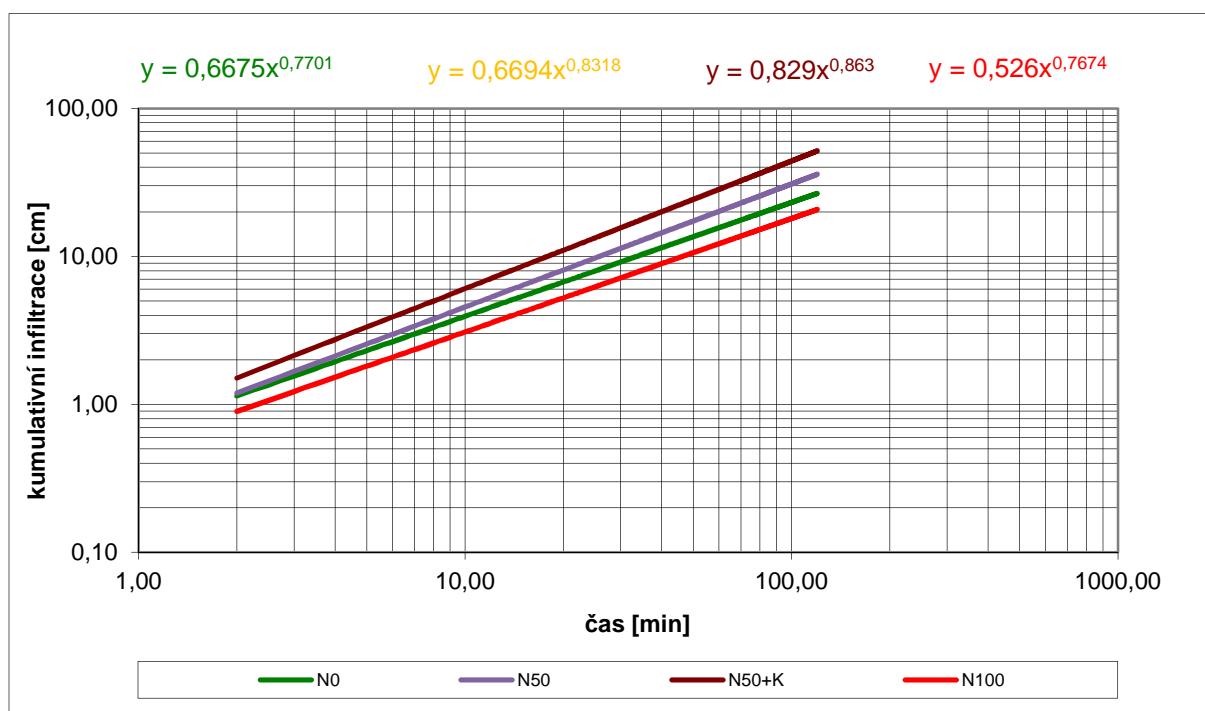
Graf. 4. Rychlost infiltrace na travním porostu (vzorek ze tří různých plošek)



Graf. 5. Kumulativní infiltrace na travním porostu (vzorek ze tří různých plošek)



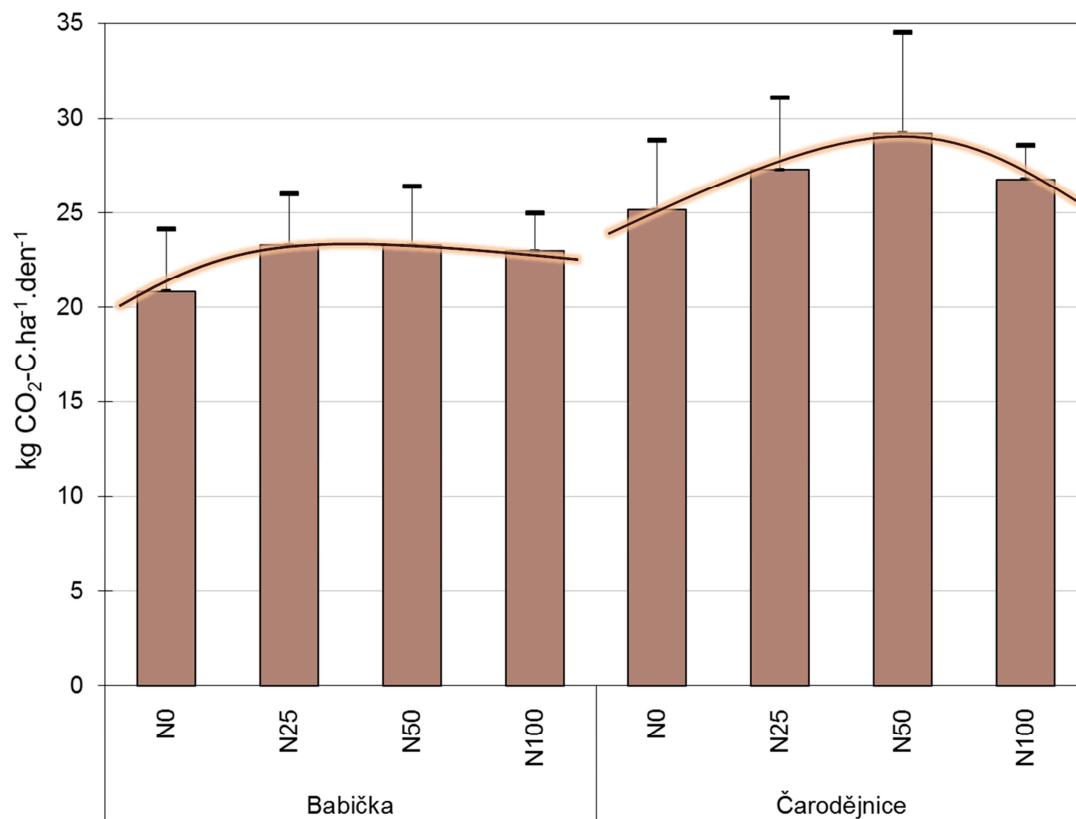
Graf. 6. Rychlost infiltrace na orné půdě s rozdílnými vstupy dusíkatých hnojiv (K=zapravený kompost v dávce 50 t/ha)



Graf. 7. Kumulativní infiltrace na orné půdě s různými vstupy dusíkatých hnojiv (K= zapravený kompost v dávce 50t/ha)

## 5. 4. Stanovení půdní respirace

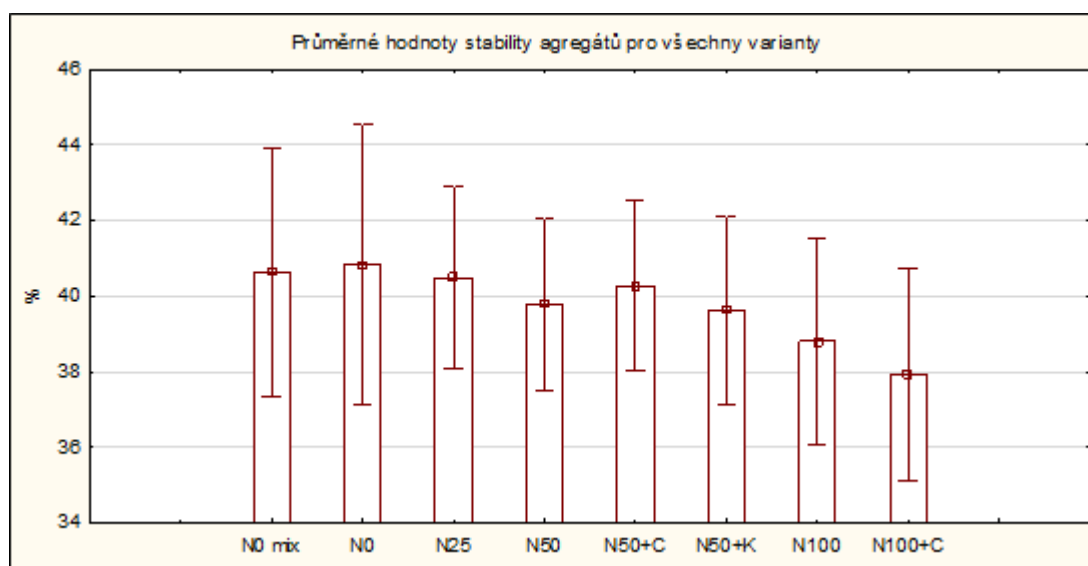
Následující graf nám podává informaci o vlivu vnosu různého množství dusíku na půdní respiraci na obou pokusných plochách. Statisticky významně se liší pouze půdní respirace na lokalitě „Čarodějnice“ a to jen mezi variantami N 50 a N 100.



Graf. 8. Vliv zvyšování dávek dusíkatého hnojiva na půdní respiraci na obou pokusných plochách

## 5. 5. Stabilita půdních agregátů

Následující graf nám ukazuje stabilitu půdních agregátů při různém vstupu hnojení dusíkem, variantu bez vstupu dusíku a hnojení s přidáváním lignohumátu a kompostu při vyšších dávkách dusíku.



Graf. 9. Průměrné hodnoty stability půdních agregátů (dle Brtnický M., Hladký J., v tisku). Varianta NO ozimá pšenice bez hnojení s mezipločinou peluškou jako mezipločinou, N25 ozimá pšenice s 25% dávkou N, N50 ozimá pšenice s 50% dávkou N, N50+C ozimá pšenice s 50% N a doporučenou dávkou lignohumátu, N50+K ozimá pšenice s 50% dávkou N a doporučenou dávkou kompostu, N100 ozimá pšenice se 100% dávkou N (100% = 138 kg N/ha) a N100+C ozimá pšenice se 100% dávkou N a doporučenou dávkou lignohumátu.

Výsledky této práce jsou součástí několikaletého výzkumu kolektivu kolem Ing. Jaroslava Záhory., CSc, a Ing. Jany Vavříkové.

## **Statistické vyhodnocení**

Statistické vyhodnocení výsledků bylo provedeno ve statistickém programu STATISTICA.

## 6 DISKUSE

Dusík unikající z jednoho systému do druhého, tedy jeden ochuzuje a druhý může ohrožovat, není jistě žádoucí. Vypovídá o narušených vztazích uvnitř ekosystému a dle jeho intenzity má i varovný potenciál. Souvisí to se složením a stabilitou půdních mikroorganismů a na jejich interakcích. Ve své práci se zabývám vlivem odstupňovaného navyšování dávek dusíku a jeho dopad na aktivitu půdních mikroorganismů. Zjištěné výsledky by měly ukázat vliv různých dávek dusíkatého hnojiva na aktivitu půdních mikroorganismů.

Amoniak vzniká při rozkladu bílkovin, močoviny, kyseliny močové a hippurové a chitinu při procesu amonizace. Jde o dominantní a stálý proces v každé půdě. Je závislý na množství aktuálního organického dusíku v půdě. Ve většině ekosystémů je rovnováha v množství organického dusíku určena rychlostí přísunu nového (např. z nadzemní nebo přizemní rostlinné biomasy, z živočišné či mikrobiální biomasy, hnojiv aj). Osud produkovaného amoniakálního dusíku může být různý. Jednou z možností může být imobilizace do biotických složek ekosystému, jako jsou rostliny, živočichové či mikroorganismy (Úlehlová B. 1989).

K produkci a imobilizaci  $\text{NO}_3^-$  je potřeba amoniakální dusík, který je v procesu nitrifikace nejprve oxidován v prvním stupni na nitrity a dále pak na nitráty. Nitrifikační bakterie tím získávají potřebnou energii pro syntézu organických látek a současně je pro ně zdrojem dusíku. Z toho je patrné, že množství nitrátového dusíku v půdě by měl být přímo úměrný množství dusíku amonného. Množství nitrátového dusíku se s hloubkou zvyšuje, zatímco amonného klesá, což má souvislost s vazbou na půdní částice. Zatímco se amonný váže na sorpční komplex či je přímo poután na kořeny, mikroorganismy a jiné, tak nitrátový se snadno vyplavuje do nižších horizontů mimo dosah bioty. Pokud se nitrátový dusík dostane mimo kořenovou zónu, je denitrifikace jediný způsob jak zabránit jeho škodám ve vodách. Denitrifikace může být biologická nebo chemická (web2.mendelu.cz).

Konvenční zpracování půdy má ve srovnání s minimalizačním zpracováním rovnoměrnější rozložení organické hmoty v orničním profilu díky rovnoměrnému promíchání při orbě. Avšak organická hmota je zde rychleji mineralizována díky



zvýšenému přístupu vzduchu. Vhodnější podmínky pro rozvoj mikroorganismů a produkci enzymů jsou u minimalizačních technologií (Hůla J., et al, 2010).

V našem výzkumu vykazovaly půdní rozborů aktuálního amoniakálního dusíku zvýšených hodnot (82%) na úkor nitrátového (18%). Biochemický proces nitrifikace je podmíněn provzdušněním, teplotou a reakcí půdy (vodíkovým exponentem). (web2.mendelu.cz)

Z pokusu mimo jiné vyplývá fakt, že zvyšování dávek nemusí být ke prospěchu, neboť vysoké dávky nemusí být využity, jak ukazuje rozbor N 100, kdy na jedné lokalitě byla nevyužita cca desetina dusíku, konkrétně 11,6 kg/ha a na druhé také s dávkou N 100 to bylo „jen“ 1,9kg/ha.

Zadržování nitrátů proti ztrátám lze bránit držením stálého rostlinného pokryvu, aplikací hnojiv při jeho maximálním využitím (na list při intenzivním růstu) či zaoráním organické hmoty (kompost, sláma, posklizňové zbytky, hnůj, biouhel apod.) s širším poměrem C : N.



Obr. 14. Následky vodní eroze (foto autor)

Půdní úrodnost lze vyjádřit jako schopnost půdy v optimálním rozsahu a po neomezeně dlouhou dobu vytvářet z původního půdotvorného substrátu za pomoci makromolekulárních organizujících struktur podmínky k růstu a produkci rostlin v minimálně stávající úrovni.

Výsledky této práce potvrzují zjištění jiných autorů (Oades J. M., 2005, Bartlová J., 2009, 2013), že meziprodukty rozkladu mikroorganismů a jejich výměšky mají pozitivní vliv na vodostálost půdní struktury.

## ZÁVĚR

Cílem této práce je potvrzení hypotézy, jak koreluje úrodnost půdy se stabilitou půdních agregátů a její mikrobiální činností.

Z výsledků stanovení aktuálního množství amonného a nitrátového dusíku v orné půdě v hloubce 25 cm ze dne 17. 5. 2016, po čtyřech letech pěstování ozimé pšenice, v režimu hnojení minerálním dusíkem vyplývá činnost půdních mikroorganismů a pěstované plodiny k různým dávkám aplikovaného dusíkatého hnojiva. Na lokalitě „Babička“ byla efektivita využití dusíku horší, o čemž svědčí jeho zásoba v půdě. Největší deponie nevyužitého dusíku bylo ve variantě N 100 a to 11, 6 kg/ha. Nejméně dusíku bylo ve variantě bez dodávání dusíku a to na obou lokalitách (NO, N MIX < 1 kg/ha). Na lokalitě „Čarodějnice“ byl vliv výrazně menší (N 100- 1,9 kg/ha). Podíl amonného dusíku k nitrátovému byl lineárně úměrný k dodávanému množství a tvořil 82% v amonné a zbylých 18% v nitrátové formě.

Převyšující amonizace nad nitrifikací jasně ukazuje na slabou mikrobiální činnost, při které se tento prvek oxiduje nitrifikací na nitráty (působením bakterií rodu Nitrobacter) a tato malá aktivita jen slabě podporuje obnovování půdní struktury.

Z rozborů půdy z okolních ploch vyplývá, že zhruba na třetině odběrných míst bylo naměřeno nadměrné množství minerálního dusíku.

Ze stanovení čisté amonizace a čisté nitrifikace lze posuzovat rozdíl ve struktuře mikroorganismů adaptovaných na množství dodávaného dusíku. Při střední dávce dusíku již převládá biologická imobilizace nad čistou amonizací. Čistá nitrifikace není závislá na dodávaném dusíku, ale závisí na klimatických vlivech a na aktivitě nitrifikačních půdních organismů a byla zjištěna víceméně ve stejných hodnotách.

Mikrobiální aktivity mají tendenci tlumit výkyvy způsobené dodávaným hnojivem. Ve variantě N O bez dodávaného dusíku se projevovala čistá mineralizace dusíku nejvíce a naopak při maximálních dávkách docházelo k čisté imobilizaci. Při imobilizaci mikroorganismy prochází dusík tzv. malým cyklem od bakterie přes jejich predátory a je tedy po určitém čase opět dostupný.

Zvyšování dávek dusíkatého hnojení nezpůsobilo lineární zvyšování půdní respirace. Nejmenší a statisticky neprůkaznou půdní respiraci měla varianta N O (bez vstupu dusíku) a to v rozmezí 12-16%. Nejvyšší byla při dávce N 50 (69 kg/ha), přičemž při dalším navyšování docházelo k poklesu půdní respirace; na lokalitě „Babička“ statisticky významně. Nejvýznamněji i statisticky se projevil půdní vzorek směsky oziminy s luštěninou (při provedení jednorázové aplikaci herbicidu proti plevelům) a to o téměř 30%.

Respirační aktivita půdy je ukazatelem mineralizační kapacity mikrobiálního společenstva, vyjadřuje mineralizaci organické hmoty a je indikátorem půdní úrodnosti. V našem pokusu byla při zvýšeném přísunu dusíku půdní respirace ustupující, což vypovídá o neuspokojivém spektru půdních mikroorganismů což může vést ke snížení dostupnosti ostatních živin, které mikroorganismy uvolňují.

Půdní mikroorganismy nám výrazným vlivem pomáhají vytvářet půdní strukturu, a proto byl zkoumán i vliv půdní struktury na infiltrační a retenční funkci v různých porostech. V našem případě jsme zkoumali infiltraci pod porostem trvalého travního porostu a obhospodařované orné půdě. Z výsledků vyplývá, že při vysokých dávkách dusíkatých vstupů klesá rychlost infiltrace, což lze brát v souvislosti menšího rozvoje kořenového systému, kdy do něj nemusí rostlina tolik investovat při snadném přístupu k dusíku.

Pokud posuzujeme celkovou procentuelní stabilitu půdních agregátů, dojdeme ke zjištění, že všechny vykázané hodnoty spadají dle Bartlové J. (2013) při vykázané procentuelní vodostálosti do kategorie nízké kvality půdní struktury. Z jednotlivých výsledků dle rozdílných přísunů dusíku s případně dodávanými organickými hnojivými prostředky bylo zjištěno, že zvyšováním dusíkatých vstupů dochází ke snižování kvality půdní struktury a to tím více, čím více je dusíku dodáváno.

Zhoršená půdní struktura dále ovlivňuje pórovitost s difúzí a tím ovlivňuje i půdní sorpční komplex. Se snižujícím se množstvím obsahu půdní organické hmoty dochází ke zhoršující se infiltraci a retenci a také ke změnám všech propojených dějů. Narušená půdní aktivita ohrožuje stabilitu agregátů, které mohou prohlubovat protierozní odolnost půdy a její úrodnost. Úrodná půda může být jen ta, která je zdravá a živá.

## **SUMMARY**

Exceeding ammonification over nitrification clearly indicates a small microbial activity. From the determination of pure ammonification and nitrification can be assessed the structure of microorganisms adapted to the nitrogen supplied. It has also been found that respiratory activity decreased with increased nitrogen intake. It was also found the connection between the fertilized and nonfertilized on water infiltration area. The low activity of soil microorganisms and their reduced diversity results from the above, influencing as well as the structuring process of the soil as one of the basic conditions.

## LITERATURA

BARTLOVÁ J. BADALÍKOVÁ B.,(2011): Water stability of soil aggregates in different systems of Chernozem tillage. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Sv LIX.s 25-30

BARTLOVÁ J., et al.(2009): Vliv zpracování půdy na stabilitu půdních agregátů. Úroda 2009. Č. 12. S 297-300

BARTLOVÁ J., (2013): Disertační práce. Makrostrukturální změny antropogenně zhutněných půd. Mendelova univerzita Brno

BRANIŠ M., HŮNOVÁ I. a kol., (2009): Atmosféra a klima - Aktuální otázky ochrany ovzduší. Univerzita Karlova v Praze. Tiskárna Nakladatelství Karolinum, Praha 2009. ISBN 978-80-246-1598-1

BRTNICKÝ M., HLADKÝ J.: V tisku pro: Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis

BUREŠ K. (2013): Diplomová práce - Půdní organická hmota ve smrkových a bukových porostech. Mendelova univerzita Brno

CZUDEK T. (1972): Geomorfologické členění ČSR. Studia geografica 23. Brno

DEMEK J., et al. (1965): Geomorfologie Českých zemí. NČSAV. Praha

DENMAN K. L., BRASSEUR, G., et al. (2007): Historical Overview of Climate Change. In IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (Eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

DUVIGNEAUD P. (1988): Ekologická syntéza. Praha: Academia. 416.

FISHER R. F., BINKLEY D. (2000): Ecology and management of forest soils. John Eley and sons, 3rd edition, USA, 490 s.

FONTE S. J., et al (1999): Fertilizer and residue quality effects on organic matter stabilization in soil aggregates. Soil Science Society of America journal, 73 (3), 961-966

HAMMAD A., et al, (2005): Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean. Soil and Tillage Research

HRADIL R. (2015): Půda zdravá živá úrodná. Bioinstitut a Fabula. Olomouc a Hranice

HŮLA J., et al, (2008): Minimalizace zpracování půdy. Profi press, Praha 5. ISBN 978-80-86726-28-1

HŮLA J., et al, (2010): Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. Uplatněná certifikovaná metodika. VÚRV Praha. ISBN 978-80-86884-53-0

HYBLER V. (2010): Stanovení mikroagregátové struktury při využití rozdílných technologií zpracování půdy. Úroda. (CD ROM).In Úroda

JANDÁK J., et al (2010): Půdoznalství. Mendelova univerzita. Brno

KEITH H., WONG S. C. (2006): Weasurement of soil CO<sub>2</sub> efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable. Soil Biology and Biochemistry. 38: 1121-1131.

KOŠÍK J. (1987): Fyzikálny stav pody a obilnin. In Nové poznatky v pestovateľskej technológii obilnín. VÚRV Piešťany. Piešťany

KOZLOVSKY DUFKOVÁ J. (2010): Vliv nízkých teplot na rozpad půdních částic těžkých kovů. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeliannae Brunensis. LVIII s. 161-168.

KRČMÁŘ A., KŘÍŽ H. (1987): Vliv geografických podmínek na využívání podzemních vod v jímacím území u Březové nad Svitavou. Geografický ústav NČSAV, Brno

KUTÍLEK M., et al (2000): Hydropedologie. ČVUT. Praha

KUTÍLEK M. (2012): Půda planety Země. Dokořán, Praha 5. ISBN 978-80-7363-212-0

KUŽEL S., KOLÁŘ L., LEDVINA J., POVILAITIS A. (2001): Soil Organic Matter and Humic Substances - Why to Differentiate These Terms in University Education. In: Zaujec, A., Bielek, P., Gonet, S. S. (eds), Sborník příspěvků ze 4. mezinárodní konference Humic Substances in Ecosystems, Račková dolina 10.– 14. 6. 2001, Slovensko, 75–78.

LOVELOCK J. E., (1979): Gaia. A new look at Life on Earth. Oxford, UK, Oxford University Press, 157 s.

MACKOVČIN P., et al (2007): Chráněná území ČR, Brněnsko, svazek IX. AOPK ČR a Ekocentrum Brno, Praha. ISBN 978-80-86064-66-6, ISBN 978-80-86305-02-8

MAREK V. MICHAL et al. (2011): Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia, Praha, 253 s.

NAJMR S., et al., (1956): Poznáváme půdu. Státní zemědělské nakladatelství. Praha

OADES J. M. (2005b): Soil organic matter and structural stability: mechanism and implications for management. Plant and Soil, 76 (1-3), 319-337

ORLOV D. S. (1985): Chimija počv (Soil Chemistry). Moskva: Izd. MGU, 376 s.

PELÍŠEK J. (1966): Výšková půdní pásmovitost střední Evropy. ACADEMIA, NČSAV. Praha

PEOPLES M, B., FAIZAH A. W., RERKASEN B., HERRIDGE D. F., (1989): Methods for evaluation nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. Australian centre for international Agricultural Research. Canberra.

POSPÍŠILOVÁ L., TESAŘOVÁ M. (2009): Organický uhlík obhospodařovaných půd. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis : Folia Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně: edice původních vědeckých prací a monografií = edition of original papers and monographs. 2009. sv. II, č. 1, s. 1 - 41.

QUITT E. (1975): Mapa klimatických oblastí ČSR. Geografický ústav ČSAV. BRNO



QUITT E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia geographica 16. Brno: ČSAV-GU, 80.

RAISON R. J. et al (1987): Methodology for studying fluxes of soil mineral N-in situ. Soil Biology and Biochemistry

REJŠEK K. (1996): Studium humusových látek - tradiční a současné přístupy. In: Kalousková N. a Novák F. (Ed.) Metody studia půdní organické hmoty, ÚPB AV ČR České Budějovice, 21. – 22. 2. 1996, s. 80–86 s.

SCHLESINGER W. H., (1991): Biogeochemistry, an analysis of global change. San Diego, USA. Academic Press, 443s.

SOTÁKOVÁ S. (1982): Organická hmota a úrodnost půdy. Příroda Bratislava. 234 s.

SPARKS D. J. (2003): Environmental Soil Chemistry. London: Academic Press, Second Edition, 352 s.

STEVENSON, F. J. (1994): Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons, Inc., New York. 496 s.

ŠÁLY R. (1977): Lesnícke pôdoznanectvo. Zvolen: VŠLD, 2. vyd., 380 s

ŠÁLY R. (1978): Pôda - základ lesnej produkcie, Bratislava, Příroda, 235 s.

ŠARMAN J. (1981): Lesnické půdoznanství s mikrobiologií. Praha, Státní pedagogické nakladatelství. 225 s.

TOWNSEND C. R., et al, (2010): Základy ekologie. Univerzita Palackého. Olomouc. ISBN 978-80-244-2478-1

Úlehlová B. (1989): Koloběh dusíku v travních ekosystémech. Academia, Praha. ISBN 80-200-0191-1

Záhora J., Urbánková O., et al,(2015): Půda, místo pro život. Mendelova univerzita v Brně. Astron, Praha. ISBN 978 80 7509 367 7

## PRAMENY

<http://fzp.ujep.cz/~trogl/8Ekologie.pdf> (staženo 22. 8. 2016)

[http://chemicke-listy.cz/docs/full/2008\\_04\\_262-268.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2008_04_262-268.pdf) (staženo 12. 10. 2016)

<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=2635> staženo 12.4.2017

<http://uroda.cz/pokusy-s-variantami-zpracovani-pudy/> staženo 23.3.2017

<http://uroda.cz/vliv-zpracovani-pudy-na-pudni-strukturu/> staženo 2.3.2017

<http://profipress.cz/archiv/uroda-092010/?text=vliv%20zpracov%C3%A1n%C3%AD%20p%C5%AFdy%20na%20p%C5%AFdn%C3%AD%20strukturu#page/57> staženo 23.3.2017

[https://www.obrazky.cz/?q=p%C5%AFdn%C3%AD+agreg%C3%A1ty#utm\\_source=search.seznam.cz&utm\\_medium=link&utm\\_term=p%C5%AFdn%C3%AD%20agreg%C3%A1ty&utm\\_content=lista](https://www.obrazky.cz/?q=p%C5%AFdn%C3%AD+agreg%C3%A1ty#utm_source=search.seznam.cz&utm_medium=link&utm_term=p%C5%AFdn%C3%AD%20agreg%C3%A1ty&utm_content=lista) staženo 7.4.2017

[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/puda\\_n.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_n.htm) staženo 4. 4. 2007

[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/23/23-obecna\\_produkce\\_rostlinna\\_\\_1.\\_cast\\_-\\_kren.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-obecna_produkce_rostlinna__1._cast_-_kren.pdf) staženo 11. 5. 2017

[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/23/23-potravinarska\\_mikrobiologie\\_pro\\_zahradnickou\\_fakultu\\_dil\\_1.\\_obecna\\_cast\\_kalhotka.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-potravinarska_mikrobiologie_pro_zahradnickou_fakultu_dil_1._obecna_cast_kalhotka.pdf) staženo 8. 5. 2017