

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah mikrobiální
biomasy v půdě**

Diplomová práce

Autor práce: Alena Tichá

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jakub Kovářik

©2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah mikrobiální biomasy v půdě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jindřichu Černému, Ph.D vedoucímu mé diplomové práce za pomoc při vedení mé diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala mému konzultantovi Ing. Jakubu Kováříkovi za pomoc při práci v laboratoři

Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah mikrobiální biomasy v půdě

Souhrn

Mikrobiální biomasa hraje v koloběžích prvků nezastupitelnou roli. Účastní se přeměn biogenních prvků v půdě, je citlivým indikátorem změn v půdě. Je ovlivňována podmínkami prostředí. Aplikace hnojiv může zlepšit půdní vlastnosti. Kaly aplikované na půdu mohou poskytnout nejen organickou hmotu, ale i zlepšit úrodnost a poskytnout živiny, které jsou pro rostliny důležité.

V této práci byl sledován efekt dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na obsah mikrobiální biomasy uhlíku a dusíku v půdě. Změny obsahu dusíku a uhlíku mikrobiální biomasy byl sledovány na dvou stanovištích Suchdol a Červený Újezd na dlouhodobě nehnojené variantě, při hnojení kalem, hnojem a NPK. Odběry vzorků proběhly v roce 2014 v dubnu, květnu, červnu a červenci. V roce 2015 v březnu, dubnu, na začátku a na konci června. Obsah mikrobiální biomasy uhlíku a dusíku byl stanoven fumigačně extrakční metodou.

Na Stanovišti Suchdol byl v roce 2014 maximální obsah uhlíku mikrobiální biomasy v dubnu u kalem hnojené varianty 237,52 mg C/kg. V roce 2015 byl nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl zjištěn na hnojení hnojem 338,90 mg C/kg. Na stanovišti Červený Újezd byl v roce 2014 zjištěn nejvyšší obsah při hnojení kalem 280,13 mg C/kg. Obsah dusíku mikrobiální biomasy byl na stanovišti Suchdol v roce 2014 nejvyšší v dubnu při hnojení NPK 23,19 mg N/kg. V roce 2015 byl obsah dusíku mikrobiální biomasy na Suchdole nejvyšší na kalem hnojené variantě 24,07 mg N/kg. Na stanovišti Červený Újezd v roce 2014 byl obsah mikrobiální biomasy nejvyšší v červnu při hnojení hnojem 21,52 mg N/kg. O rok později byl obsah mikrobiální biomasy nejvyšší při hnojení hnojem 23,24 mg N/kg. Vztah mezi uhlíkem a dusíkem mikrobiální biomasy je dána dobou a rokem odběru a půdně klimatickými podmínkami stanovišť.

Klíčová slova: dlouhodobý pokus, čistírenské kaly, mikrobiální biomasa,

Effect of sewage sludge application on content of soil microbial biomass

Summary

Microbial biomass plays a main role in transformations of elements. It participates in transformation biogenic elements and it is a sensitive indicator changes in soil. The content of soil microbial biomass is not the same, during the year. Application of fertilizers can improve soil properties. Sewage sludge application on soil can provide not only organic matter, but they can increase soil productivity and provide nutrients, which is important for plants.

In this thesis was watched effect of long-term application of sewage sludge on soil microbial biomass of carbon and nitrogen. Changes microbial biomass of carbon and nitrogen was watched on two sites Suchdol and Červený Újezd. Changes were watched under different system of fertilization. The long-term fertilization was manure, sewage sludge, NPK and unfertilized control. The samples were collected during the April, May, June and July 2014 and 2015 in March, April and June. The content of microbial biomass carbon and nitrogen was estimated by fumigation-extraction method.

On station Suchdol was in the year 2014 highest in April with sewage sludge treatment 237,52 mg C/kg. In the year 2015 was content soil microbial biomass carbon highest on manure treatment 338,90 mg C/kg. On station Červený Újezd was in the year 2014 highest content microbial biomass carbon on sewage sludge treatment 280,13 mg C/kg. The highest content microbial biomass nitrogen on Suchdol in the year 2014 was in the April with NPK treatment 23,19 mg N/kg. The maximum content of soil microbial biomass nitrogen in the year 2015 was with sewage sludge treatment 24,07 mg N/kg. On the station Červený Újezd was highest content of soil microbial biomass nitrogen in the year 2014. It was on June with manure treatment 21,52 mg N/kg. One year later there was the highest with manure treatment 23,24 mg N/kg.

Keywords: long-term experiment, sewage sludge, microbial biomass,

Obsah

1 Úvod	2
2 Cíl práce.....	3
2.1 Hypotézy.....	3
3 Literární rešerše.....	4
3.1 Půda.....	4
3.1.1 Chemické složení půdy.....	4
3.1.2 Anorganická složka půdy	4
3.1.3. Organická složka půdy	5
3.2 Mikrobiální biomasa	6
3.2.1. Stanovení obsahu mikrobiální biomasy.....	6
3.2.1.1. Princip stanovení obsahu MB fumigačně-extrakční metodou	7
3.2.1.2. Preextrakce	7
3.2.1.3. Výpočet obsahu mikrobiální biomasy	7
3.2.2. Obsah uhlík a dusíku u mikrobiální biomasy v půdách	8
3.2.3. Vliv hnojení na obsah mikrobiální biomasy v půdě	9
3.2.4. Vliv porostu na obsah mikrobiální biomasy v půdě	11
3.2.5. Obsah mikrobiální biomasy při aplikaci čistírenského kalu	12
3.2.6. Vliv rizikových prvků obsažených v čistírenském kalu na obsah MB	14
3.2.7. Vliv hnojení biologicky rozložitelnými odpadními materiály na obsah MBC a MBN	15
3.3 Přeměny dusíku v půdě.....	17
3.3.1 Amonizace	17
3.3.2 Nitrifikace.....	18
3.3.3 Autotrofní nitrifikace	18
3.3.5 Heterotrofní nitrifikace	18
3.3.6 Fixace	18
3.4 Organická hnojiva.....	18
3.4.1 Chlévský hnůj.....	19
3.4.2 Čistírenské kaly	19
3.4.2.1. Možnosti úpravy čistírenských kalů.....	20
3.4.2.2. Dlouhodobé skladování čistírenských kalu.....	20
3.4.2.3 Stabilizace čistírenských kalů	20
3.4.2.4 Hygienizace kalů.....	20
3.4.2.5 Chemická hygienizace čistírenských kalů.....	20
3.4.2.6 Fyzikální metody hygienizace čistírenských kalů.....	20
3.5.1 Obsah živin v čistírenských kalech.....	21
3.5.4 Organické látky	21
3.5.5 Potenciálně toxické látky v kalech.....	21
3.6 Aplikace kalů na zemědělskou půdu	22
4 Metodika.....	24

5	Výsledky	28
5.1	Obsah uhlíku mikrobiální biomasy	28
5.1.1	Stanoviště Suchdol 2014	28
5.1.2	Stanoviště Suchdol 2015	29
5.1.3	Stanoviště Červený Újezd 2014	30
5.1.4	Stanoviště Červený Újezd 2015	31
5.1	Obsah dusíku mikrobiální biomasy	32
5.2.1.	Stanoviště Suchdol 2014	32
5.2.2	Stanoviště Suchdol 2015	33
5.2.3	Stanoviště Červený Újezd 2014	35
5.2.4.	Stanoviště Červený Újezd 2015	36
5.2.5.	Vztah mezi dusíkem a uhlíkem	37
Diskuze		39
6.1	Obsah uhlíku mikrobiální biomasy	39
6.1.2	Stanoviště Suchdol	39
6.1.3	Stanoviště Červený Újezd	43
6.2	Obsah dusíku mikrobiální biomasy	47
6.2.1	Stanoviště Suchdol	47
6.2.2	Stanoviště Červený Újezd	51
6. Závěr		55
8. Použitá literatura		56
9. Přílohy		61

1 Úvod

Mikrobiální biomasa je živou součástí půdní organické hmoty. Je prostředníkem transformací uhlíku dusíku síry a fosforu. Ukazatelem ekologické stability půdy. Během roku dochází na orné půdě k výkyvům obsahu mikrobiální biomasy. Je to ovlivněno pěstovanou plodinou, agrotechnickými operacemi, klimatickými podmínkami, počasím, obdobím, kdy je obsah mikrobiální biomasy sledován. Z důvodu vlivu mikrobiální biomasy uhlíku a dusíku na půdní úrodnost a tím pádem i na trvale udržitelný rozvoj a potravinovou bezpečnost, je nutné se o tuto problematiku zajímat a sledovat obsah mikrobiální biomasy. Přídavkem hnojiv je poskytován pro mikrobiální biomasu substrát, který stimuluje její růst. Při přídavku minerálního hnojení se zvýší obsah mikrobiální biomasy následným vyšším výnosem rostlin. Organická hnojiva jako jsou hnůj a kal mají přímý efekt na mikrobiální biomasu v podobě zvýšení obsahu, jelikož ji sama obsahují. Mají příznivý vliv i na pH, vodní režim půdy kationtovou výměnnou kapacitu atd. Kaly, které jsou při čištění odpadních vod produkovány jsou tedy možností, jak navrátit cenné složky do půdy.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv aplikace čistírenských kalů na obsah C a N půdní mikrobiální biomasy. Porovnat jednotlivé varianty hnojení-bez přidavku hnojiv, hnojení kalem, hnojem a NPK a posoudit jejich vliv na mikrobiální biomasu. Souvislost mezi obsahem C_{bi} a N_{bio} .

2.1 Hypotézy

- 1) Při dlouhodobé aplikaci čistírenských kalů na půdu dojde ke zvýšení obsahu mikrobiální biomasy v půdě z důvodu dodání organických látek v kalech a lehce využitelné formy dusíku a uhlíku mikrobiální biomasy, kterou, kal již obsahuje.
- 2) U kalu, kde je nižší stabilita organických látek a vyšší obsah lehce využitelné formy dusíku, ve srovnání s hnojem, dojde po aplikaci kalu ke zvýšení obsahu mikrobiální biomasy v půdě rychleji. Naopak u hnoje bude zvyšování obsahu mikrobiální biomasy pomalejší.
- 3) Při srovnání vlivu kalů a minerálních hnojiv lze předpokládat pozvolnější změny obsahu mikrobiální biomasy v půdě při hnojení minerálními hnojivy, jelikož působí až následně prostřednictvím organické hmoty rostlin, přičemž změny obsahu mikrobiální biomasy budou ovlivněny půdně-klimatickými podmínkami stanoviště.

3 Literární rešerše

3.1 Půda

Vaněk et al. (2012) uvádí že, vznik a vývoj půd je dlouhodobým procesem, který trvá staletí až tisíciletí. Půda tedy patří ke zdrojům, které jsou velmi obtížně obnovitelné, spíše neobnovitelné. Má strategický význam pro současnost i další generace. S ohledem na rostoucí počet obyvatel Země a ubývání využitelné půdy připadá na jednoho jedince stále méně půdy. Půda zajišťuje potravinovou bezpečnost pro všechny žijící organismy na Zemi. Z tohoto hlediska zajišťující existenci vyplývá nutnost péče a ochrany půdy. Půda je přírodně historickým útvarem, který se tvoří hromaděním minerální a organické hmoty na zemském povrchu působením půdotvorných faktorů za určitých podmínek Mezi půdotvorné procesy můžeme zařadit mateřskou horninu, organismy, klima a podzemní vodu. Mezi podmínky patří reliéf terénu a čas. Mnohdy značně ovlivňuje vývoj a tvorbu i půd člověk Šarapatka (2014). Dle Gergeľové (2008) hraje půda klíčovou roli v koloběhu biologicky nevyhnutelných složek – vody vzduchu, biogenních prvků a také rizikových prvků.

3.1.1 Chemické složení půdy

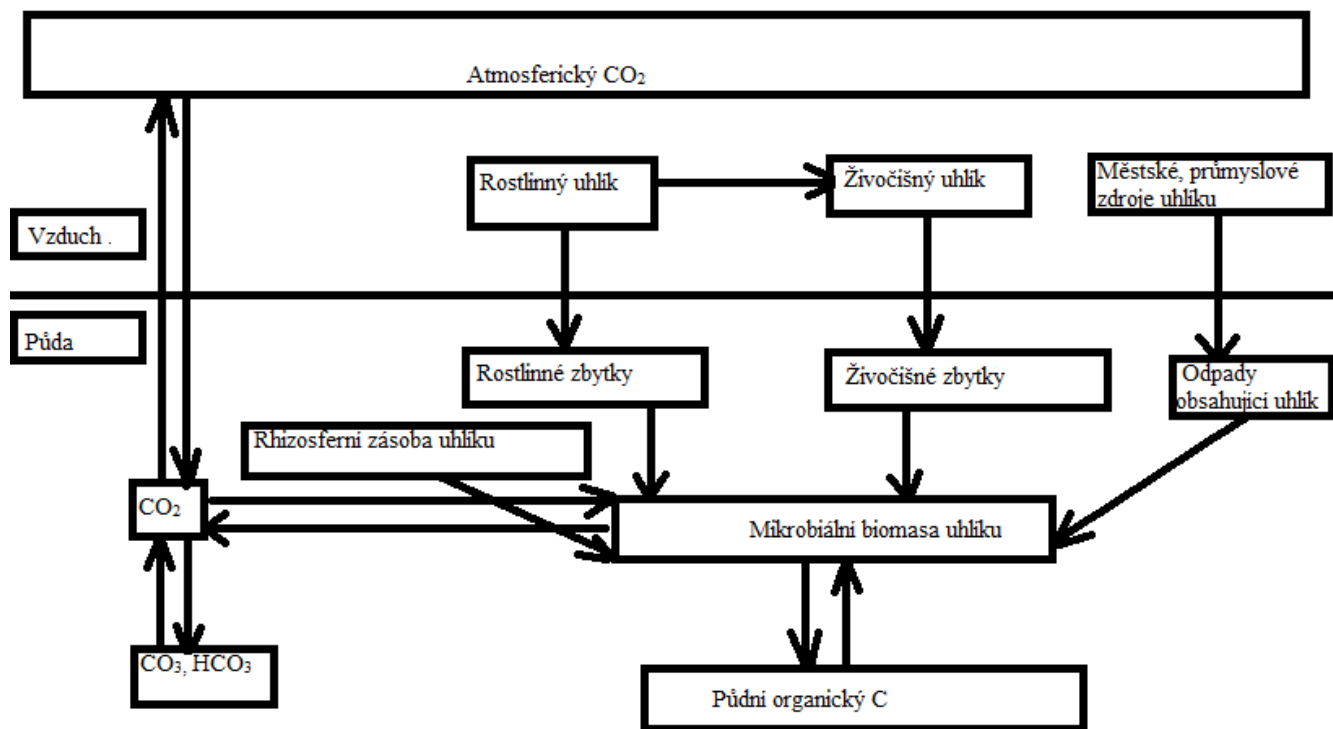
Zdrojem látek, které podléhají zvětrávání, a půdotvornými procesy vzniká půda, je horní část litosféry (Šarapatka, 2014). Vyšší obsah některých prvků (zejména bazických) v různých minerálech a horninách, tvořících geologický podklad půd, se promítá i do průběhu půdotvorných procesů a obsah těchto prvků se promítá i do půd. Současné ovlivňují významné půdní vlastnosti jako je pH, nasycenost sorpčního komplexu apod. Tvoří také potenciální rezervu živin a mohou se během dalšího rozkladu a transformace uvolňovat a sloužit jako zdroj pro rostliny (K, Ca, Mg., P, Fe a některé další mikroprvky) Vaněk et. al. (2012).

3.1.2 Anorganická složka půdy

Minerální část tvoří hlavní složku pevné frakce půdy. Zrnitost půdy je dána zastoupením jednotlivých frakcí minerální částic půdy Jednotlivé frakce částic a jejich uspořádání určují tvorbu a velikost pórů, výměnu a obsah vzduchu, zadržování a pohyb vody Brady et Weil (2008). Podle jejich zastoupení se stanoví půdní druh

3.1.3. Organická složka půdy

Zásoby půdního organického uhlíku obr. č. 1 (Lal, et al., 2001)



Organické materiály můžeme rozdělit podle charakteru do několika částí, které tvoří (nehumifikované látky, částečně humifikované látky, mikroedafon, zoedafon, vodorozpustné organické látky a stabilní humus). Nehumifikované látky, které jsou přítomné na povrchu půdy, tvoří posklizňové zbytky Stevenson et Cole, (1999). Množství posklizňových zbytků závisí na sortimentu pěstovaných rostlin na množství biomasy, kterou vytvoří a jaká část zůstává na pozemku (Vaněk et al., 2012). Částečně humifikované látky obsahují zbytky rostlin a jejich částečně rozložené zbytky. Mikrobiální biomasa je představována živými i mrtvými těly mikroorganismů zejména bakteriemi aktinomycetami a plísněmi. Zoedafon zahrnuje především bezobratlé živočichy. Vodorozpustné organické látky jsou organické látky rozpuštěné v půdním roztoku. Poslední část stabilní humus tvoří humifikované zbytky rostlin, zoedafonu, které byly stabilizovány mikrobiálními a chemickými přeměnami nebo jsou sloučeny s anorganickou složkou půdy (Stevenson et Cole, 1999). Půdní organický uhlík (obr. 1) působí dvojnásobem jako zdroj energie, jeho reaktanty i produkty působí jako katalyzátor biochemických reakcí a řady transformačních procesů. Půdní mikroorganismy jsou hlavními původci transformačních procesů, ve kterých jsou rozkládány snadno rozložitelné organické látky a také samotná mrtvá mikrobiální biomasa (Lal, et al., 2001). Z tohoto důvodu je funkce mikrobiální biomasy pro půdní úrodnost nezbytná prostřednictvím mineralizace živin z primární půdní

organické hmoty (Smith, 1999). Množství uhlíku se v mikrobiální biomase pohybuje okolo 1-5 % z celkového obsahu půdní organické hmoty. Jedidi et al., (2004). Mikrobiální biomasa je hlavním zdrojem labilních živin (Dick, 1992). Za normálních okolností existuje téměř lineární vztah mezi obsahem půdní mikrobiální biomasy (tab. č. 2) a organickým uhlíkem v půdě, ačkoliv během sezóny dochází k výkyvům ve obsahu mikrobiální biomasy přítomné v půdě (Smith, 1999). Její obsah závisí na hnojení, klimatických podmínkách, počasí a termínu odběru vzorků (Černý et al., 2008). Lynch et Panting (1980) naměřili obsah mikrobiální biomasy na jaře a v létě třikrát vyšší než na podzim a v zimě. V zimě se mikrobiální biomasa udržuje rozkládáním posklizňových zbytků tento zdroj uhlíku je komplexnější než kořenové exudáty, živiny z nich jsou uvolňovány pomaleji. Podle Powlsona (1994) vedou změny ve využívání půdy a zemědělském hospodaření ke změnám v obsahu organické hmoty v půdě. Tyto změny jsou v krátkodobém a střednědobém horizontu obtížně měřitelné, protože k nim dochází velmi pomalu. Je obtížně posoudit, zda mají na chování mikroorganismů přímé nebo nepřímé změny.

Tabulka č. 1. Obsah mikrobiální biomasy podle obsahu organické hmoty (<http://www.agvise.com/educational-articles/microbial-biomass/>)

Průměrný obsah MB%	Průměrný obsah MBC mg/kg	Rozsah obsahu MBC (mg/kg)
0-1 %	76	10-165
1-2 %	130	17-379
2-3 %	169	24-418
3-4 %	219	119-300
4-5 %	345	127-454
5-6 %	427	369-506
6 %+	613	421-805

3.2 Mikrobiální biomasa

3.2.1 Stanovení obsahu mikrobiální biomasy

Mikrobiální biomasa je obvykle definována jako část organické hmoty s širokou diverzitou (Scow,1997), která složená z živých a mrtvých mikroorganismů menších než 5-10 μm (Jedidi et al., 2004). Mikrobiální biomasa je používána pro charakterizaci stavu půdy (Jedidi et al., 2004). Obsah mikrobiální biomasy se měří jako množství uhlíku nebo dusíku vázaného v živých a mrtvých mikroorganismech hlavně bakterií a hub. Množství mikrobiální biomasy je nejčastěji udáváno v mg uhlíku a dusíku na kilogram půdy. Mikrobiální biomasa uhlíku a dusíku (C_{bio} a N_{bio}) může být stanovena různými metodami-přímým počítáním mikroorganismů, měřením specifického složení buněčných stěn a membrán (ATP, fosfolipidů), substrátem indukovanou respirací, fumigačně inkubační metodou nebo fumigačně extrakční metodou (Jedidi et. al, 2004).

3.2.1.1. Princip stanovení obsahu MB fumigačně-extrakční metodou

Základním principem fumigačně-extrakční metody je to, že půdní mikroorganismy jsou usmrceny po ošetření chloroformem, který rozloží jejich buněčné stěny, cytoplazma je rozložena enzymatickou autolýzou a transformována do extrahovatelné složky (Joergensen, 1995). Na rozdíl od fumigačně-inkubační metody fumigačně-extrakční metoda vyžaduje po fumigaci bezprostřední extrakci buněčných komponent pomocí roztoku soli pro biomasu uhlíku $0,5 \text{ mol. l}^{-1} \text{ K}_2\text{SO}_4$ (Joergensen et al, 2011). Fumigace trvá podobu 24 hodin. Jako fumigant se používá chloroform bez obsahu ethanolu (Pospíšilová et Vlček, 2015). Fumigace zvyšuje množství organického uhlíku extrahovaného $0,5 \text{ mol. l}^{-1} \text{ K}_2\text{SO}_4$ destrukcí a autolýzou buněčných membrán. Lynch et Panting (1980) uvádí, že při jejich výzkumu jílovitých půd se ukázalo, že prosetí půdy a následná fumigace chloroformem usmrtí 89 % bakterií a 99,8 % hub, zatímco u neporušené půdy fumigace usmrtí 81,9 % bakterií a 99,5 % hub. Organický uhlík extrahovaný pomocí $0,5 \text{ mol/l K}_2\text{SO}_4$ známým parametrem pro posouzení metabolického stavu půdních mikrobiálních společenstev. Akumulace tohoto uhlíku je znamením nízké stability půdního uhlíku to je spojené se stresem a rozkladem mikrobiální populace. (Vance et al, 1987).

3.2.1.2. Preextrakce

Preextrakce mikrobiálních komponent z fumigovaných půd byla použita pro odhad obsahu mikrobiální biomasy. Membrány kořenů v rhizosféře jsou chloroformem rozloženy také. Müeler et al, (1991) srovnali konvenční fumigačně-extrakční metodu dle Vance (1987) s dvěma dalšími metodami s použitím pre-extrakce stejně jako v metodě Widmera et al (1989) společně s mokřým prosetím pro odstranění kořínků, které by ovlivnily stanovení. Pro fumigaci byly lahvičky obsahující přirozeně vlhké půdy umístěny do exikátoru. Poté byly ošetřeny chloroformem. Exikátor byl umístěn na tmavém místě při $25 \text{ }^\circ\text{C}$ po 24 hodin. Extrakty byly před analýzou skladovány při $-15 \text{ }^\circ\text{C}$. Tento extrakční postup poskytl výsledky, které byly identické jako extrakční metody, kterou popsali Vance et al (1987).

3.2.1.3. Výpočet obsahu mikrobiální biomasy

Biomasa uhlíku stanovená fumigačně-extrakční metodou se vypočítá jako rozdíl mezi obsahem uhlíku ve fumigovaném a nefumigovaném vzorku (E_c) s použitím koeficientu k_c (mikrobiální biomasa $C = E_c/k_c$). Hodnota koeficientu pro výpočet obsahu mikrobiální biomasy je $k_{EC} = 0,45$. Mikrobiální biomasa dusíku se vypočítá jako rozdíl mezi obsahem dusíku ve fumigovaném a nefumigovaném vzorku s použitím k_{EN} koeficientu (mikrobiální biomasa $N = E_N/k_{EN}$). Koeficient použitý pro výpočet mikrobiální biomasy je $k_{EN} = 0,54$. Hodnota k_{EC} (extrahovatelná část mikrobiální biomasy uhlíku) extrakčně-fumigační metody byla stanovena na základě rozborů 153 půd (94 orných půd, 46 trvalých travních porostů, a 13 lesních půd). V první fázi bylo analyzováno 66 půd, další data

(87) půd byly získány z literatury. Jednotlivé k_c hodnoty se pohybovaly od 0,23-0,84. Aritmetický průměr poměru extrahovatelného uhlíku a C-FI ve skupině 153 půd byl 0,46 (Joergensen, 1995).

3.2.2. Obsah uhlík a dusíku u mikrobiální biomasy v půdách

Růžek et al (2004) testovali mikrobiologické parametry, obsah uhlíku a dusíku u kambizemí, luvizemí a hnědozemí. Vzorky byly odebírány během let 1991-2002 ze čtyř lokalit kde se vyskytovala kambizem (celkem 185 vzorků) a z pěti lokalit luvizemě (celkem 234 vzorků). Půdní vzorky byly odebírány z hloubky 0-20 cm během jarních a podzimních měsíců. Hnědozemně a luvizemně se v průběhu experimentu rozdělily do tří skupin. První skupina zahrnovala dvě lokality v horské oblasti Červená voda s nejvyšším obsahem uhlíku mikrobiální biomasy 621 a 625 mg/ g suché půdy Střední skupina zahrnovala pět lokalit, kde se vyskytovala modální kambizem, modální hnědozem, pseudoglej luvický a modální dystrická luvizem. Obsah mikrobiální biomasy se u těchto lokalit pohyboval v rozmezí 428-599 mg C /kg suché půdy. Do třetí skupiny patřily dvě lokality Neumětely (modální hnědozem) a Čistá u Rakovníka (modální kambizem) s m obsahem 398 mg C /kg suché půdy a 396 mgC /kg suché půdy. Růžek et al. (2005) použili pro stanovení uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy dva velmi disociačně podobné roztoky solí 0,5 M K_2SO_4 a 0,1 M $CaCl_2$. Na rozbor byly použity lesní orné a luční kambizemě a podzoly. Uhlík extrahovaný roztokem K_2SO_4 se u kambizemí s nadmořskou výškou (370-540 m) a podzolů s nadmořskou výškou (730-900 m) pohyboval od 31,2 do 216,7 mg/kg suché půdy. Uhlík extrahovatelný K_2SO_4 narůstal v následujícím pořadí orné půdy 31 mg/kg suché půdy (0,24 % C_{org}), sečené a spásané louky 95-187 mg/kg suché půdy-0,33-0,50 % C_{org} , a lesní půdy odebrané z minerálního horizontu A_H 0-50 mm 195-217 mg/kg suché půdy -0,33-0,55 % C_{org} Uhlík extrahovatelný pomocí $CaCl_2$ dosahoval hodnot orné půdy 9,9 mg/kg suché půdy, louky sečené a spásané 56,9-115 mg/kg suché půdy a lesní minerální horizont 89,3-142,9 mg/kg suché půdy. Obsah amonného dusíku extrahovatelného 0,01 mol/l $CaCl_2$ orné půdy 3,7 mg/kg suché půdy louky sečené a spásané 1,0-3,0 mg/kg suché půdy a lesní půda z minerálního horizontu 12,4-19,5 mg/kg suché půdy. Obsah nitratového dusíku extrahovatelného 0,1 mol/l byl u orných půd 8,2 mg/kg suché půdy, louky sečené a spásané 9,2-14,0 mg/kg suché půdy a lesní půda odebraná z minerálního horizontu obsahovala 3,1- 4,0 mg/kg suché půdy. Elhottová et al (1998) uspořádali dva pokusy, ve kterých použili odebranou půdu v jarním období (duben-květen) ze svrchní vrstvy půdy (0-10 cm). V prvním pokusu analyzovali půdu z opuštěného pole celkový obsah uhlíku 1,2 % C, C/N 10, pH 6) a druhého pole obhospodařovaného konvenčním způsobem hospodaření (celkový obsah uhlíku 1,2 %C, C/N 10, pH 5,1). V obou pokusech sledovali změny v celkové biomase během skladování (fumigačně-extrakční metodou podle Vance et al, (1987)) V obou případech zjistili významné změny v celkové mikrobiální biomase během prvních dnů skladování, zatímco zhruba po dvou měsících se mikrobiální biomasa ustálila na konstantní hladině. Pokles celkové mikrobiální biomasy byl provázen nárůstem bakteriální biomasy. Znamená to, že podíl bakteriální biomasy se v celkové biomase zvyšoval a pokles celkové biomasy byl způsoben snížením mikromycet. Pokles biomasy mikromycet je snadno

vysvětlitelný tím, že během mechanického porušení půdního vzorku dojde k potrhání a následnému odumření houbových vláken. Nárůst bakteriální biomasy doprovázel akumulaci zásobních látek v bakteriálních buňkách, která předcházela klidovým stádiím. To je ukazatelem, že se bakterie v prvních měsících přizpůsobovaly novým pro ně nepříznivým podmínkám prostředí.

3.2.3. Vliv hnojení na obsah mikrobiální biomasy v půdě

Černý et al (2008) sledovali změny v obsahu uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy v dlouhodobých pokusech s opakovaným pěstováním monokultury silážní kukuřice a pokus s rotací plodin. U pokusu s opakovaným pěstováním monokultury kukuřice bylo použito sedm typů hnojivnehnojená kontrola, síran amonný, roztok močoviny a dusičnanu amonného, roztok močoviny a dusičnanu amonného se slámou, chlévským hnojem, kejdou a pole ponechané ladem. V tomto experimentu obsah mikrobiální biomasy závisel na typu hnojení. Nejvyšší obsah mikrobiální biomasy byl stanoven při hnojení chlévským hnojem. Během let pozorování se obsah dusíku mikrobiální biomasy zvýšil v rozmezí od 45-95 % ve srovnání s kontrolou. Mikrobiální biomasa uhlíku se ve srovnání s kontrolou zvyšovala v rozmezí od 19-32 %. Při hnojení minerálními hnojivy byl obsah mikrobiální biomasy nižší ve srovnání s kontrolou. U několika studií byl dokumentován vliv hnojení chlévským hnojem na zvýšení obsahu uhlíku mikrobiální biomasy a dusíku. Při hnojení chlévským hnojem, se obsah uhlíku mikrobiální biomasy ve srovnání s hnojením minerálními hnojivy držel na stejné hladině nebo se zvyšoval Garcia et Gil, (2000). Obsah dusíku mikrobiální biomasy při hnojení síranem amonným byl o 30 % nižší ve srovnání s kontrolou. U hnojení roztokem močoviny a dusičnanu amonného byl obsah mikrobiální biomasy o 25 % nižší než u kontroly. Mikrobiální biomasa uhlíku byla nižší o 13 % při hnojení roztokem dusičnanu amonného a močoviny v porovnání s kontrolou. Zvláště dlouhodobá aplikace dusíku vede ke snížení obsahu mikrobiální biomasy. Na druhou stranu dusíkatá hnojiva mají nepřímý pozitivní vliv na půdní mikrobiální biomasu zvýšeným výnosem plodin a následným vyšším návratem organického dusíku a uhlíku do půdy prostřednictvím posklizňových zbytků Černý et al. (2008), Geisseler et Scow (2014), Dick, (1994). Výsledky tohoto experimentu naznačují, že se na varianta, kde je pěstována silážní kukuřice do půdy navrácí nízké množství organických posklizňových zbytků konkrétně kořenů a nadzemní část rostliny, která zůstává na pozemku. Černý et al (2008) uvádí, že nutné poznamenat, že kukuřice je plodina s negativní bilancí organických látek. V experimentu s rotací plodin závisel obsah mikrobiální biomasy na hnojení, půdě, klimatických podmínkách regionu a roce odběru. V pokusu bylo použito sedm druhů hnojení – kontrola, čistírenský kal (dávka 120 kg/ha), čistírenský kal (dávka 360 kg/ha), chlévský hnůj (dávka 120 kg/ha), chlévský hnůj dávka (60 kg/ha) a minerální hnojivo a minerální hnojivo se slámou. Organická hnojiva jsou aplikována k bramborám v listopadu a minerální hnojiva na jaře v březnu k pšenici a ječmenu. Nejvyšší obsah uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy zjištěn u pozemků hnojených čistírenským kalem. obsah dusíku mikrobiální biomasy u pozemků hnojených čistírenským kalem (120 kg N/ha) byl o 52 % vyšší ve srovnání s kontrolou a o 60 % vyšší při hnojení čistírenským

kalem (360 kg N/ha). obsah mikrobiální biomasy C byl při hnojení čistírenským kalem (120 kg/ha) o 11 % ve srovnání s kontrolou a o 36 % vyšší při hnojení čistírenským kalem (360 kg/ha). Lima et al (2009) posuzovali dlouhodobé účinky dvacetileté aplikace různých organických hnojiv (chlévkého hnoje, čistírenských kalů a kompostu) v porovnání s minerálními hnojivy na strukturu organické hmoty. Půdní vzorky byly odebírány z orniční vrstvy (0-30 cm) 30 měsíců po poslední aplikaci organických hnojiv. Experiment byl založen na luvizemi v roce 1962 na experimentální farmě Bonnské univerzity. V pokusu bylo použito následující hnojení čistírenský kal z obecní čistírny odpadních vod (14,88 sušiny t/ha), chlévský hnůj 9 t sušiny/ ha, 8 t sušiny/ha kompostu z organického odpadu z domácností a minerální hnojení 120 N kg/ ha/ rok ve formě dusičnanu amonného a uhličitanu vápenatého, 30 t P/ha/rok ve formě Superfosfátu a 150 kg K/ha/rok ve formě chloridu draselného. Do roku 1997 byla dávka čistírenského kalu a kompostu aplikována do půdy každý druhý rok. V roce 1997 došlo ke změně dávkování čistírenského kalu na 10 t/ha a kompostu na 90 t/ha. Od té doby byl čistírenský kal a kompost aplikován každý třetí rok. Dávka minerálního hnojení se nezměnila. Při porovnání minerálního hnojení (1,238 % celkového organického uhlíku) a dlouhodobé aplikace čistírenského kalu se obsah celkového organického uhlíku zvýšil o 57 % (1,983 %), a o 124 % (2,775) při aplikaci kompostu, zatímco zvýšení v případě aplikace chlévkého hnoje (1,473) nebylo zvýšení významné. Goyal et al (2006) se střídáním plodin (rýže-ječmen) sledovali změny obsahu mikrobiální biomasy. Půda, na které byl pokus založen byla vysoce humózní andozem. Experiment byl založen v roce 1982 s pěti druhy hnojení: kontrolní varianta, minerální hnojení (NPK), minerální hnojení a chlévský hnůj, chlévská mrva a minerální hnojení, minerální hnojení a kejda. Každé hnojení mělo jedno opakování. Během pěstování rýže bylo na pokus aplikováno 200 kg N, 80 kg P₂O₅, 80 kg K ve formě (NH₄)₂SO₄ a superfosfátu. Organická hnojiva byla aplikována ve formě chlévkého hnoje 15 t/ha, chlévské mrvy 20,4 t/ha a kejdy 14,2 t/ha. Během období, kdy byl pěstován ječmen, bylo aplikováno 60 kg N, 90 kg P₂O₅ a 80 kg K/ha. Organické hnojení bylo dodáno jako chlévský hnůj 15 t/ha, chlévské mrvy 25 t/ha. obsah živin dodaných prostřednictvím chlévkého hnoje, chlévské mrvy a kejdy 261, 422 a 426 g /kg organického C, 17,5, 14,6 a 18,3 g/kg, celkového dusíku, 6,3, 5,6 a 11,7 g/kg P na sušinu. Nárůst obsahu mikrobiální biomasy nejvyšší u kejdy. Druhý nejvyšší obsah mikrobiální biomasy byl sledován u pozemku hnojeného anorganickým hnojením a chlévské mrvy. Nejnižší obsah byl u nehnojeného pozemku. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy při jednotlivých použitých hnojení následující u nehnojeného pozemku 241 mg C/kg, anorganického hnojení 317 mg C/kg, minerálního hnojení s hnojem 388 mg C/kg, NPK a chlévské mrvy 403 mg C/kg a NPK + prasečí kejda 536 mg C/kg. Mikrobiální biomasa dusíku byl při použitých hnojeních následující u nehnojené parcely 39 mg N/kg, NPK 59 mg N/kg, NPK+ chlévský hnůj 78 mg N/kg, NPK+ prasečí kejda 104 mg N/kg. Gong (2009) sledovali ve svém pokusu dlouhodobý efekt aplikace hnojiv a hnoje na organickou hmotu a mikroby při rotaci plodin pšenice-kukuřice. V experimentu bylo použito 7 hnojení hnůj, hnůj ½ a minerální hnojení, NPK, NP, PK, minerální hnojení NK, a nehnojená kontrola. Půda, na kterou byla hnojiva aplikována obsahovala 17 % písku, 72 % naplavených částic, 11 % jílu.

Půda v 0-20 cm obsahovala 4,42 g/kg organického uhlíku, 0,45 g celkového obsahu N/kg, 9,51 mg minerálního N/kg, 0,50 g/kg celkového obsahu P a 18,6 g/kg v roce 1989 kdy tento experiment začal. celkového obsahu K Aplikace poloviční dávky hnoje a minerálního hnojení významně zvýšila obsah C a N. Celkový počet kultivovatelných bakterií byl vyšší při organickém hnojení, zatímco u nehnojeného pozemku byl obsah nižší. Zvýšení obsahu organické hmoty vedlo k vyšší mikrobiální aktivitě a zvýšení zásob labilního Ca N, který je rychle mineralizován a poskytuje tak rostlinám živiny pro jejich růst. Zlepšení obsahu organické hmoty a mikrobiálních aktivit díky použití organických a anorganických hnojiv může pomoci při zachování dlouhodobé zachování produktivity půdy.

3.2.4. Vliv porostu na obsah mikrobiální biomasy v půdě

Stadelman et Furrer (1981) studovali vliv aplikace čistírenského kalu na obsah organické hmoty mikroorganismy a jejich aktivity při aplikaci do písčito hlinité půdy. Každý rok bylo během vegetačního období odebráno 19 vzorků. Pokus byl založen na porovnání aplikace normální dávky (2 t organické hmoty /ha/rok), vysoké dávky (5 t organické hmoty/ha/rok), které jsou dodávány prostřednictvím tekutého anaerobně stabilizovaného kalu s minerálním hnojením a nehnojenou kontrolou. Experiment byl rozdělen na čtyři parcely: A, B, C a D. Na prvních třech parcelách A, B, C docházelo ke střídání plodin, na čtvrté varianta byly pěstovány trvalé travní porosty. Na první varianta (A) se během let pěstovaly: silážní kukuřice, ozimá pšenice, jeteloviny, silážní kukuřice a ozimá pšenice. Na varianta B byly pěstovány: ozimá pšenice jeteloviny, silážní kukuřice, obilí a jeteloviny. Na varianta C se střídaly tyto plodiny: jeteloviny, silážní kukuřice ozimá pšenice, jeteloviny a silážní kukuřice. V případě aplikace normálních dávek došlo ke zvýšení a vysokých dávek kalu docházelo k výraznějšímu zvýšení nejdůležitějších heterotrofních půdních mikroorganismů (aerobních bakterií, aktinomycet a vláknitých hub). Zvýšení obsahu aerobních bakterií po aplikaci kalu uvádí i Singh et Agrawal (2008). Počty aktinomycet a bakterií byly významně ovlivněny vysokou dávkou kalu u orné půdy i půdy z trvalých travních porostů. Na orné půdě se při hnojení kalem ve srovnání s minerálním hnojením zvýšil počet aktinomycet o 84 % a bakterií 71 % U trvalých travních porostů se v případě hnojení kalem zvýšil počet aktinomycet o 199 % a aerobních bakterií o 156 %. Malý et al (2011) studovali vzorky, které byly odebrané ze 118 ploch. Z těchto ploch se na orné půdě nacházelo 63 ploch a 27 byly trvalé travní porosty. Do sítě pozorovacích ploch bazálního monitoringu ÚKÚZ (TTP-ÚKÚZ) patří 22 ploch, na 5 plochách, které se nachází v chráněných krajinných oblastech TTP-CHKO je vyloučena zemědělská činnost. V případě všech trvalých travních ploch se jednalo o půdy, u nichž se nevyvinul humusový horizont. Ke změně způsobu obhospodařování došlo u 28 ploch. Plochy byly rozděleny na dvě skupiny. Odběry u první skupiny byly vzorky odebírány mezi lety 1999-2001 u těchto vzorků proběh odběr v dubnu, červenci a říjnu, mezi lety 2002-2008 se odběr uskutečnil v říjnu. U druhé skupiny byly vzorky odebírány v říjnu roku 2005 a 2007. Vzorky byly odebírány z horních 15 cm, směsný vzorek byl připraven z 18 vpichů, následně byly přes síto s velikostí ok 2 mm a uskladněny v ledničce. Analyzovány byly během následujících třech měsíců. Od roku 2007 byly po

úpravě zmrazeny při -20°C . Než byly vzorky analyzovány byly minimálně týden před analýzou rozmrazovány v lednici. Obsah mikrobiální biomasy byl stanovován pomocí extrakčně-fumigační metody jako množství uhlíku (MBC) a N (MBC) vázané v mikrobiálních buňkách. U trvalých travních porostů ÚKÚZ bylo množství MBC a MBN přibližně dvojnásobné, než tomu bylo u orné půdy. Nejvyšších hodnot dosahovala mikrobiální biomasa TTP-CHKO medián MBC byl 703 mg C/g a 152 mg N/kg

3.2.5. Obsah mikrobiální biomasy při aplikaci čistírenského kalu

Fernandes et al., (2005) studovali efekt aplikace čistírenských kalů na mikrobiální biomasu, basální respiraci, metabolický koeficient a enzymatickou aktivitu. Experiment probíhal v letech 1999-2002. Pro experiment byly využity čistírenské kaly ze sekundárního biologického čištění čistíren odpadních vod, která zpracovává městské a průmyslové kaly. Hnojení použité pro experiment se sestávalo z kontroly, minerálního hnojení NPK a čistírenského kalu, který poskytl stejné množství dusíku jako minerální hnojení. Dávky čistírenského kalu byly následující: jednonásobná dávka čistírenského kalu, dvojnásobná dávka čistírenského kalu, čtyřnásobná a osminásobná dávka čistírenského kalu. Během čtyřech kultivací. Jednonásobná dávka během první kultivace byla 8095 kg/ha, během druhé byla 3995 kg/ha, třetí 5315 kg/ha a čtvrté 6157 kg/ha. Obsah uhlíku v čistírenských kálech použitých během pokusu se pohyboval v rozmezí od 248,2-354,2 g/kg. Celkový obsah dusíku v čistírenském kalu se pohyboval v rozmezí od 21-40,8 g/kg. Půdní vzorky byly odebírány z hloubky 0-10 cm a 10-20 cm v říjnu roku 2000 před aplikací kalu, březnu 2001 v říjnu 2001, listopadu 2001 a březnu roku 2002. Na hodnoty obsahu půdní uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy měla významný vliv dávka čistírenského kalu a doba odběru. Mikrobiální biomasa uhlíku se pohybovala od 99-809 mg/kg ve hloubce 10 cm a 71-577 mg C/kg v hloubce 10-20 cm. Obsah dusíku mikrobiální biomasy se pohyboval v rozmezí od 11-101 mg/kg při hloubce odběru 0-10 cm a 8-84 mg/kg v hloubce odběru 10-20 cm. Tyto hodnoty indikují, že uhlík a dusík mikrobiální biomasy je koncentrovaná v prvních 10 cm vrstvy půdy. Sastre et al (1996) ve svém experimentu sledovali vliv aplikace kalu na půdní mikrobiální aktivity. Půdní vzorky byly odebrány z jílovo-písčito-hlinité půdy hojenými s dvěma různými druhy čistírenských kalů-průmyslovými a městskými kaly. Byly aplikovány dvě dávky 50 a 100 t/ha každý rok. Hnojení byla provedena ve třech opakováních. Nehnojený varianta a varianta hnojená minerálními hnojivy byly použity jako kontrola. Zvýšení během pokusu bylo 200 a 300 %. Mondal et al (2015) sledovali změny v kvalitě písčité půdy po krátkodobé aplikaci kalů na pozemku kde se střídavým pěstováním pšenice a viny čínské. Experiment pokračuje od roku 2010. Kaly byly aplikovány do půdy během období dešťů a byly použity jako zdroj živin pro plodiny. V oblasti bylo semi-aridní podnebí se srážkovým úhrnem 750-800 mm/rok. Na experiment byly použity následující varianty hnojení: nehnojený kontrolní varianta, NPK (120 kg N, 60 kg P₂O₅, 40 kg K₂O/ha) a dávky kalu 5,10,15 t sušiny kalu /ha. Kaly byly aplikovány každý rok v říjnu a následně zapraveny do půdy. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy u pozemků byl

významně vyšší než u kontrolního pozemku. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl u jednotlivých variant a vrstev půdy následující: kontrolní varianta 0-5 cm- 435,65 mg C/kg, 5-15 cm-343,21 mg C/kg, 15-30 cm- 230,34 mg C/kg, varianta hnojený minerálním hnojením-570,19 mg C/kg, 5-15 cm- 404 mg C/kg, 15-30 cm-217,65 mg C/kg, kal dávka 5t sušiny kalu/ha- 0-5 cm- 643,69 mg C/kg, 5-15 cm- 479,13 mg C/kg, 15-30 cm- 226,23 mg C/kg, kal dávka 10 t sušiny kalu/ha 0-5 cm- 683 mg C/kg, 5-15 cm-479,13 mg C/kg, 15-30 cm-211,17 mg C/kg a dávky kalu 15 t sušiny kalu/ ha 0-5 cm 838,11 mg C/kg, 5-15 cm -501,98 mg C/kg, 15-30 cm-244,68 mg C/kg. V hloubce půdy 0-5 cm byl nejvyšší obsah mikrobiální biomasy u pozemku hnojeného dávkou kalu 15 t/ha (838 mg/kg). Při porovnání s kontrolou (436 mg/kg) byl o 92 % vyšší. V hloubce půdy 5-15 cm se se zvyšující se dávkou kalu zvyšoval i obsah uhlíku mikrobiální biomasy jednotlivých variant, i když zvýšení nebylo tak vysoké. V hloubce půdy 15-30 cm nebyl pozorován významný rozdíl mezi obsahem biomasy uhlíku u jednotlivých hnojení. Čistírenské kaly jsou důležitým zdrojem organické hmoty, a tudíž zvyšující se obsah mikrobiální biomasy je spojen se zvyšující se dávkou kalu. Vysoký obsah organické hmoty a dusíku v čistírenském kalu může být potenciálním zdrojem potravy a energie pro heterotrofní mikroorganismy, a proto u nich byly vysoké obsahy mikrobiální biomasy uhlíku. Substrát obsahující uhlík stimuluje růst autochtonních půdních mikroorganismů a z tohoto důvodu je dobrým zdrojem energie. Banerjee et al., (1997) zkoumali vliv aplikace čistírenských kalů na biologické a biologické vlastnosti půdy. Čistírenské kaly aplikované na pozemky byly aplikovány na jílovitou půdu. Půdní vzorky byly odebírány v říjnu 1994, na jaře 1995, a v létě 1995 z pozemků, na které byly aplikováno 0, 1×50, 1×100, 2×50 a 2×100 t kalu /ha. Aplikace kalu významně zvýšila množství mikrobiální biomasy přítomné v půdě. Od podzimu 1994 do léta 1995 se obsah mikrobiální biomasy se u nehnojené varianty pohyboval v rozmezí 767-2216 mg C/ kg půdy. Při dávce 1×50 se obsah biomasy pohyboval v intervalu od 1083-1957 mg C/ g půdy, 1×100 t/ha 1458-2426 m C/kg půdy, 2×50 t/ha- 2081-2620 mg C/kg půdy a 2×100 t/ha 1836-2645 mg C/ kg půdy. Obsah dusíku mikrobiální biomasy se ve vzorcích pohyboval v rozmezích-dávka 0/t ha- 16,8- 120,1 mg N / kg půdy, 1×50 t/ha 58,5-93,0 mg N/ kg půdy, 1×100 t/ha 70,3 -289,9 mg N/ kg půdy, 2×50 t/ha 87,6-246,8 mg N/ g půdy a 2×100 t/ha 39,8-253,2 mg N/ kg půdy. Během třech let odběru vzorků byl zaznamenán nárůst obsahu mikrobiální biomasy každý rok. Nebylo však jasné, zda to odrážely sezónní změny obsahu mikrobiální biomasy (podzim jaro léto) nebo je to progresivní růst mikrobiální biomasy díky aplikaci kalů. U každého odběru měly vzorky odebrané z pozemků hnojených kaly vyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy než vzorky z nehnojeného kontrolního pozemku. Ve většině případů byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy vyšší u pozemků, kde byla aplikována vyšší dávka kalu než při nižší dávce. Nežádoucí vliv na obsah mikrobiální biomasy mohly mít i minulé aplikace. Obsah dusíku mikrobiální biomasy mohl být také ovlivněn buď sezónními změnami, nebo aplikací kalů. Nízké hodnoty obsahu mikrobiální biomasy dusíku zaznamenali v období jara 1995 při dávce kalu 50 t/ha. Mantovi et al. (2005) posuzovali účinky opakované aplikace čistírenských kalů s minerálními hnojivy na nivní půdě s rotací plodin: zimní pšenice, kukuřice, cukrové řepy. Na pokusné pozemky byly od roku 1988

aplikovány odvodněné anaerobně stabilizované kaly, tekutého kalu, odvodněný kal a kompost (směs odvodněného kalu smíchaného se slámou v poměru 1:9), který byl kompostovaný 2 měsíce a ještě 1-1,5 měsíce sušen. Kaly byly aplikovány každý rok před zaoráním ve dvou různých dávkách 5 a 10 t sušiny/ha, do roku 1994, kdy bylo množství aplikovaných kalů změněno na 7,5 a 15 t sušiny/ ha. Minerální hnojení bylo sestaveno s různých dávek močoviny 180 kg N/ha pro pšenici, 120 kg N/ha pro cukrovou řepu a 300 kg N/ha pro kukuřici. Po 12 letech kontinuální aplikace se zlepšila půdní úrodnost. Výrazné zvýšení obsahu organické hmoty bylo zaznamenáno při aplikaci dvojnásobné dávky kalů v porovnání s minerálním hnojením. Jako přímý důsledek vyššího obsahu organické hmoty se snížila alkalita půdy a zvýšila se koncentrace živin. Při porovnání tekutého kalu a kompostu (směsi odvodněného kalu a slámy) byl vyšší obsah organické hmoty u aplikace tekutého kalu. Dusík, který byl prostřednictvím těchto materiálů přidán, si rostliny zabudovaly do své biomasy, a byl méně mobilní.

3.2.6. Vliv rizikových prvků obsažených v čistírenském kalu na obsah MB

Fleißbach et al. (1994) studovali mikrobiální aktivitu půd hnojených kaly s vysokou koncentrací těžkých kovů. Obsah mikrobiální biomasy byl měřen ze dvou dlouhodobých pokusů s novou aplikací čistírenského kalu. Oba dva experimenty byly z lesní půdy převedeny na ornou. Oba dva pozemky byly hnojeny mezi lety 1980 a 1990 dávkou kalu 100 a 300 m³/ha/ rok. Nehnojený kontrolní varianta byl hnojen jen 180 kg N/ha/rok. Čistírenské kaly, které byly použity, pro pokus obsahovaly nízké množství těžkých kovů, proto byly kontaminovány přidáním chloridů těžkých kovů, které jsou rozpustné ve vodě. Následně byly kaly 6 týdnů anaerobně stabilizovány, tak aby se chloridy transformovaly do méně organické nebo sulfidické formy. Deset let po začátku polního experimentu různé dávky hnojení kalem způsobily změny v zásobě půdní mikrobiální biomasy. Na parcely, kam byl kal aplikován, se zvýšil obsah mikrobiální biomasy, ve srovnání s kontrolním pozemkem. Nicméně tento pozitivní účinek byl méně výrazný u parcel hnojených kalem s vysokým obsahem těžkých kovů. Při dávce kalu 300 m³/ha/rok se obsah mikrobiální biomasy průměrně snížil o 26 %. Walia et Goyal (2010) sledovali vliv aplikace kalu kontaminovaného těžkými kovy na mikrobiologické vlastnosti a růst indiánské hořčice. Pokus trval 90 dní. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl zjišťován 15, 30, 60 a 90. den pokusu. Aplikace kalů byla provedena na písčitou půdu. Pro účely pokusu použit čistírenský kal kontaminovaný těžkými kovy a nekontaminovaný kal. Pro experiment byly založeny tyto varianty: půda, půda a dávka nekontaminovaného kalu 10,20,40 a 80 t/ha a ty též varianty byly použity pro kal kontaminovaný těžkými kovy. Obsah mikrobiální biomasy uhlíku, na půdě, kde byly kaly, aplikovány se během pokusu pohyboval v rozmezí 136-125 mg C/kg. Čistírenský kal kontaminovaný těžkými kovy obsahoval 2400 mg /kg, Cr, 2400 mg/kg Pb, 400 mg/kg Ni a 40 mg/kg Cd. Změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy u půdy hnojené nekontaminovaným kalem se v dávce 10 t/ha pohybovaly během experimentu od 254-214 mg C/kg, při dávce kalu 20 t/ha byl obsah mikrobiální biomasy 309-248 mg C/kg, při aplikaci kalu 40 t/ha byl obsah mikrobiální

biomasy 99-90 mg C/kg a dávce 80 t/ha 107-99 mg C/kg. Obsahy uhlíku mikrobiální biomasy hnojené kontaminovaným kalem se během trvání pokusu měnil následovně-dávka 10 t/ha 248-202 mg C/kg, 20 t/ha 307-239 mg C/kg, 40 t/ha 441-247 mg C/kg a 80 t/ha 537-352 mg C/kg. Maximální obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl 15. den pokusu u všech dávek hnojení. Množství uhlíku mikrobiální biomasy se během pokusu až do konce snižovalo více u hnojení kalem kontaminovaným těžkými kovy než u nekontaminovaného kalu. Kovy přítomné v čistírenských kalech snížily obsah mikrobiální biomasy o 6-19,0 % se vzrůstající úrovní kontaminace kalů těžkými kovy ve srovnání s nekontaminovanými kaly po 90- ti dnech pokusu. Aplikace nekontaminovaných kalů na půdu by mohla poskytnout nejen organickou hmotu, ale také zlepšit úrodnost půdy poskytnutím živin, které jsou pro rostliny důležité. Avšak opakovaná aplikace kontaminovaných kalů nebo chlévského hnoje by mohla vést ke zvyšování kontaminace půdy těžkými kovy, které by mohly ovlivnit některé půdní mikrobiologické procesy a růst rostlin. Parat et al (2005) studovali dlouhodobý efekt dvacetileté opakované aplikace organických hnojiv. Pokus byl založen na fluvizemi, kde se nepřetržitě od roku 1979 pěstovala kukuřice. Minerální hnojení (NPK) bylo aplikováno každý rok před začátkem pěstování. Na tuto půdu byly během let 1974-1993 aplikována tato hnojení kontrola, chlévský hnůj 10 t/ha/rok a dvě různé dávky čistírenských kalů 10 t/ha/rok a 100 t/ha/rok každý druhý rok. Od roku 1993 nebylo aplikováno již žádné hnojení. Opakované dávky čistírenského kalu měly pozitivní vliv na obsah mikrobiální biomasy uhlíku. V roce 1987 se obsah mikrobiální biomasy zvýšil na dvojnásobek při dávce čistírenského kalu (10 t/ha/rok) a na trojnásobek v případě dávky 100 t/ha/rok. Šest let ukončení pokusu v roce 1999 byl obsah mikrobiální biomasy v půdě hnojené hnojem (80 mg C/ kg) velmi podobný jako v půdě kde byla aplikována dávka kalu 10 t/ha/rok (84 mg C/kg), nejvyšší obsah byl u varianty hnojené 100 t kalu/ha/rok 125 mg C/kg. Bojersson et al. (2013), studovali efekt hnojení čistírenskými kaly na výnos plodin, mikrobiální biomasu a strukturu mikrobiálních společenství v půdách. Půdní vzorky byly odebrány ze čtyř stanovišť (Ultuna, Lanna, Petersborg, Igelosa), kam byly v rámci dlouhodobého pokusu opakovaně aplikovány čistírenské kaly. Na prvním stanovišti byla jílovitá půda Množství aplikovaného kalu bylo 4 t C/ha každý druhý rok. Na druhém stanovišti byla naplavená půda, zde bylo aplikováno 8 t sušiny kalu/ha každý druhý rok. Společně s kaly zde byly přidány soli kovů (Cd 0,098, Cu 3,036 a Ni 6,250 kg/ha) Na třetím stanovišti se nacházela písčité půda Zde bylo aplikováno 4 nebo 12t sušiny/ha každý čtvrtý rok. Na posledním stanovišti se nacházela hlinitá půda, dávka aplikovaného kalu byla 4 nebo 12 t sušiny/ha každý čtvrtý rok. Na všech stanovištích zvýšila dlouhodobá aplikace čistírenských kalů obsah půdního organického uhlíku a dusíku. Dlouhodobá aplikace čistírenských kalů však vedla k poklesu pH a tím se zvýšila koncentrace kovů přidaných s kaly do půdy, ale na žádném stanovišti nebylo množství kovů pro mikroorganismy toxické.

3.2.7. Vliv hnojení biologicky rozložitelnými odpadními materiály na obsah MBC a MBN

Jedidi et al., (2004) zkoumali obsah mikrobiální biomasy při hnojení různými druhy odpadních materiálů. Bylo použito 5 druhů komunální kompost stáří 2 měsíce a 8 měsíců, kal z čištění

odpadních vod, který prošel anaerobní digescí, chlévský hnůj a sláma. Následně byly organické odpady smíseny v poměru 40 t odpadního materiálu/ha a roztokem KNO_3 tak aby dávka dusíku byla 100 kg N/ha. Vzniklo tak pět variant. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy se během 8 týdnů pokusu pohyboval u varianty půda +dusík 1272-1182 mg C/kg, půda+ dusík+ kompost (2 měsíce starý) 1520-1322 mg C/kg, půda+ kompost (stáří 8 měsíců) 1314-1252 mg C/kg, půda +dusík+ chlévský hnůj 1157-871 mg C/kg, půda+ dusík+ kal 1453-912 mg C/kg a půda+ dusík+ sláma 1750-1628 mg C/kg. Pokles obsahu mikrobiální biomasy po 8 týdnech pokusu může být způsoben stabilizací růstů mikroorganismů, protože došlo k vyčerpání přidaných živin. Výsledky také poukázaly na to, že pokud dojde k přidání organického materiálu do půdy, dojde k výraznému zvýšení obsahu mikrobiální biomasy uhlíku. Obsah dusíku mikrobiální biomasy se u jednotlivých variant během 8 týdnů pokusu pohyboval v následujících rozmezích půda 26,78- 38,99 mg N/ kg, půda +dusík 24,44-58,19 mg N/kg, půda +dusík +kompost (stáří 2 měsíce) 70,29- 57,60 mg N/kg, půda +dusík+ kompost (stáří 8 měsíců) 29,09-60,52 mg N/kg, půda +dusík + chlévský hnůj 27,07-58,18 mg N/kg, půda +dusík+ kal 86,12-139,06 mg N/kg, půda + dusík +sláma 76,22- 77,97 mg N/kg N. Druh půdního dusíku přítomného závisí na mikrobiální aktivitě. Mikroorganismy mohou podle půdních podmínek dusík mineralizovat nebo imobilizovat. Během pokusu se po přidání různých organických odpadů mikrobiální biomasa dusíku významně zvýšila, kromě varianty se slámou, kde byl vysoký poměr C/N. K poklesu obsahu mikrobiální biomasy dusíku došlo mezi druhým a čtvrtým týdnem pokusu, to může být vysvětleno tím, že byl dusík mineralizován a následně imobilizován. Ros et al (2006) studovali dlouhodobý efekt aplikace městského biologicky rozložitelného odpadu, odpadu z údržby zahrady (prořezané větve, spadané listí), hnoje a směsi pilin čistírenského kalu a kůry v porovnání s minerálním hnojením, tohoto odpadu a přidaného minerálního hnojení na chemické biologické a půdně mikrobiologické parametry během 12 let. Pokus byl založen v roce 1991 na půdě, která obsahovala 17,4 % jílu, 69 % naplavených částic, 13,6 % písku. Střídaly se zde následující plodiny kukuřice, letní pšenice a ozimý ječmen. Pro účely pokusu byly založeny tyto varianty: nehnojený kontrolní varianta, parcely, kam byly aplikovány odpadní materiály tak aby dávka dusíku odpovídala 175 kg N/, plochy, kam byly aplikovány odpadní materiály (dávka N-175 kg N/ha) s dávkou dusíku ve formě NH_4NO_3 a varianta s minerálním hnojením kde dávka dusíku odpovídala také 80 kg N/ha. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl u jednotlivých variant následující: kontrolní varianta obsahoval 123 mg C/g půdy, minerální hnojení 128,6 mg C/g půdy, při aplikaci městského biologického odpadu 134 mg C/g půdy, odpady z údržby zahrady 136,3 mg C /g půdy, hnoje 127,9 mg C/g, kalu +pilin +kůry 129,7 mg C/g půdy, městského organického odpadu +80 kg N/ha ve formě NH_3NO_3 147,2 mg C/g půdy, odpady z údržby zahrady +80 kg N/ha 141,2 mg C /g půdy, hnůj+80 kg N/ha 136, 7 mg C/g půdy, směs kalu+ pilin+kůry+80 kg N/ha- 135, 8 mg C/ g půdy. Obecně se dá říci, že významné zvýšení obsahu uhlíku mikrobiální biomasy může být v případě variant hnojení odpadními materiály a odpadními materiály s přídavkem dusíku způsobeno dostupností uhlíku v přidaném substrátu, který

stimuluje růst mikroorganismů, nebo to může být způsobeno přímým přidáním mikroorganismů prostřednictvím přidávaných odpadních materiálů.

3.3 Přeměny dusíku v půdě

Vaněk a et al., (2012) uvádí, že dusík s uhlíkem představují nejvýznamnější prvky v koloběhu živin v přírodě. Mají rozhodující postavení ve všech živých soustavách a značný vliv na životní prostředí. Dusík je nepostradatelnou živinou, a to nejen pro rostliny, i ale pro všechny živé organismy včetně půdních mikroorganismů. Patří k základním stavebním prvkům nejdůležitějších sloučenin živé hmoty-bílkovin. Celkový obsah dusíku v půdě se běžně pohybuje v rozmezí 0,1-0,2 % což představuje 3000-6000 kg N/ ha. Převážná část tohoto dusíku (většinou přes 95 %) je tvořena organickými sloučeninami (Vaněk et al, 2007), Vaněk et al, (2012). Jsou to rostlinné zbytky živočišné zbytky biomasa mikroorganismů, jejich metabolity, humusové látky vznikající při transformaci organických látek. Množství minerálního dusíku v orniční vrstvě může dosahovat 5-10 % celkového N. Obsah minerálního dusíku N v půdách se během vegetace mění v závislosti na hnojení obsahu primární organické hmoty v půdě, hydrotermických podmínkách na odběru rostlinami. Většinou má dva vrcholy výrazný jarní a méně výrazný po sklizni koncem léta. Smith (1999) uvádí, že dusík je do půdy dodáván prostřednictvím minerálních hnojiv, čistírenských kalů a jiných organických materiálů. Tyto zdroje dusíku, společně se zásobou půdního dusíku jsou předmětem komplexní řady vzájemně propojených biochemických a fyzikálních procesů, které společně tvoří koloběh dusíku.

3.3.1 Amonizace

Vaněk et. al., (2012) publikují že amonizace je procesem, při kterém dochází k odštěpení amoniaku z aminokyselin, případně amidů, která probíhá v aerobním i anaerobním prostředí a může být znázorněn deaminací nejjednodušších aminokyselin-glycinu a alaninu. Amoniak, který při tomto procesu rozkladu organických dusíkatých sloučenin je zdrojem dusíku pro mikroorganismy, část může být zdrojem dusíku pro rostliny, případně jako amonný kationt je sorbovaný na půdní koloidy. Koloidy přítomné v půdě jsou předpokladem výměnné sorpce amonného iontu, a to většinou značně omezuje možnost ztrátám dusíku vytěkáním a také většího pohybu v půdním profilu. Množství uvolněného amoniaku v půdě závisí nejen na množství organických dusíkatých látek, ale i na jejich kvalitě především na poměru C: N. Je-li C: N širší než 20:1, je hromadění NH₃ omezené, je-li nad 25:1, nestačí krýt vzniklý NH₃ ani vlastní potřebu mikrobů (na každých 25 g C potřebují mikrobi 1 g N). Nedostatek kyslíku, nadbytek vláhy, velmi nízké teploty, popřípadě sucho snižují intenzitu amonizačních procesů (Ivanič et al., 1984).

3.3.2 Nitrifikace

3.3.3 Autotrofní nitrifikace

Tento proces zahrnuje dvoustupňovou oxidaci amonného iontu pomocí specializované skupiny půdních mikroorganismů – nitrifikačních bakterií (Smith, 1999). V první fázi probíhá nitritace při té se amoniakální dusík oxiduje na dusitany s využitím činnosti bakterií rodů *Nitrosomonas* a *Nitrococcus* a dalších organismů. Ve druhé fázi probíhá nitratace vzniklé dusitany jsou oxidovány na dusičnany mikroorganismy rodů *Nitrobacter*, *Nitrospira* aj. (Švehla et al., 2010). Vzhledem ke zvláštní povaze nitrifikačních bakterií je rychlost nitrifikace ovlivněna podmínkami prostředí jako jsou vlhkost, teplota, pH a provzdušnění půdy. Teplota půdy je hlavní faktorem, který ovlivňuje rychlost nitrifikace a tím zvýšení obsahu nitrátů v půdě. Při teplotě nižší než 5 °C probíhá nitrifikace velmi pomalu, pokud teplota klesne na teploty okolo 0 °C, proces se zastaví (Smith, 1999). Optimální vlhkost se pohybuje většinou okolo 70 % maximální vodní kapacity.

3.3.5 Heterotrofní nitrifikace

Tato nitrifikace je způsobena heterotrofními bakteriemi a mikromycetami, které využívají jako zdroj uhlíku organické látky. Oxidují amoniak, dusitany ale i některé další heterotrofní organické sloučeniny. Oba dva druhy nitrifikace se odlišují zvláště mechanismem. Zatímco u autotrofní nitrifikace je oxidace NH_3 a nitritů spojena s cytochromovým systémem a tvorbou ATP, u heterotrofní nitrifikace se tato souvislost zatím neprokázala (Klaban, 2011). Heterotrofní nitrifikace je sice pomalejší než autotrofní, ale zastoupení bakterií, které jsou schopné heterotrofní nitrifikace v aktivovaném kalu je 20-50 x vyšší než zastoupení autotrofních nitrifikačních organismů (Srb et al, 2009)

3.3.6 Fixace

Fixace amonného iontu je výhodná, protože poskytuje mechanismus pro zachování dusíku v půdě, ze které se následně pomalu uvolňuje. Na rozdíl od minerálních zdrojů dusíku není organický dusík pro rostliny dostupný. Organický dusík je pomocí široké škály půdních mikroorganismů mineralizován do rostlinám dostupných forem (Smith, 1999)

3.4 Organická hnojiva

Hlavní složkou organických hnojiv tvoří organické látky živočišného či rostlinného původu (sacharidy, celulóza, hemicelulóza, lignin aminokyseliny, bílkoviny aj.), které nelze z pohledu půdní úrodnosti nahradit jinými látkami. Vedle těchto látek jsou v nich obsaženy makrobiogenní prvky (dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík i síra) a mikrobiogenní bór mangan, molybden, zinek, měď a železo. Doplnění organických látek je důležité, aby se zabránilo zhoršení fyzikálně chemických vlastností půdy (Richter et Kubát, 2003). Vedle toho, že organická hnojiva zabezpečují přísun

organických látek plní ještě další funkce. Organická hnojiva zvyšují účinnost čistých živin z průmyslových hnojiv, mohou působit na imobilizaci cizorodých prvků, zlepšují v půdní hospodaření s vodou atd. V půdě se při vyrovnané bilanci organických látek se zvyšuje mikrobiální aktivita, jejímž produktem je nově vytvářená organická hmota.

3.4.1 Chlévský hnůj

Podle Richtera et Kubáta (2003) a Látala et al (2015) je chlévským hnojem směs steliva, tekutých a tuhých výkalů hospodářských zvířat, která tvoří se zbytky krmiva chlévskou mrvu. Skladováním dochází k fermentaci, a tím jejímu zušlechtění a vzniká chlévský hnůj. Při přeměně mrvy je nejdůležitější zajistit uchování co největšího množství organických látek, největšího množství živin udržení a zvýšení počtu mikroorganismů. Na hnojišti nemá rozklad organických látek proběhnout úplně, měl by být přerušen ve fázi, kdy jsou lehce rozložitelné látky v určité rovnováze (chemicko-biologické) k jejich rozkladným produktům. Dle roční doby lze tohoto stavu dosáhnout asi za 2-3 měsíce zrání mrvy. Hnůj obsahuje obvykle také všechny ostatní mikro a makrobiogenní prvky. Dusík je zde obsažen ze 70 % v organické formě a ze 30 % v amoniakální formě. Obsah nitrátového dusíku nepřesahuje 0,8-1 %. Fosfor i draslík je zde obsažen v labilnějších formách. Obsahuje také značný podíl mikroorganismů 1-2 % ze sušiny dále také některé biologicky aktivní látky jako jsou auxiny, enzymy a jiné. Podíl organických látek chlévského hnoje je z 85-90 % ve formě polorozložené, ale nehumifikované organické hmoty. Zbytek je tvořen humusovými látkami (Richter et Kubát), (Látal et al, 2015).

3.4.2 Čistírenské kaly

Rudolf (2004) uvádí, že kal lze z vodohospodářského hlediska definovat jako směs látek, které jsou těžší než voda, a které se vylučují v procesu úpravy vody, a především při procesu čištění odpadních vod. Podle toho, ze kterého stupně čištění je kal odebírán rozlišujeme primární, sekundární a terciální kal, pocházející z chemického srážení (Raclavská, 2007). Primární kal je oddělován ze surové odpadní vody v usazovacích nádržích nebo jiných separačních zařízeních, ze kterých je také odebírán. Jeho povaha je převážně biologická, jeho složení je ovlivněno především složením přítékajících odpadních vod a poměry ve stokové síti. V aktivovaném kalu jsou obsaženy mikroorganismy bakterie, houby, plísňe, kvasinky a prvoky, kteří za intenzivního provzdušňování rozkládají ve vodách organické látky. Jsou oddělovány od kapalné fáze prostou sedimentací, složení kalu závisí především na substrátu a technologických parametrech kultivace. Oba druhy kalů mají odlišné vlastnosti i složení a jsou zpracovávány buď odděleně, nebo společně.

3.4.2.1. Možnosti úpravy čistírenských kalů

3.4.2.2. Dlouhodobé skladování čistírenských kalů

Studené vyhnívání se obvykle provozuje za účelem vyrovnání složení kalů, aby bylo umožněno řízení množství kalů aplikovaného v zemědělství. V průběhu skladování kalů dochází k poklesu organického podílu kalu. Hnojivá hodnota kalu klesá. Během dlouhodobého uskladnění tekutého kalu se snižuje množství virů a bakterií v kalu. Dosažený efekt závisí především na délce uskladnění. Dosažitelný efekt na patogeny jako nejodolnější patogeny, je však minimální. V chladném období nemá tato metoda uspokojivý efekt (Raclavská, 2007).

3.4.2.3 Stabilizace čistírenských kalů

Stabilizace je definována jako vlastnost, která je za určitou časovou jednotku konstantní. Vztažena je hlavně na biologické a chemické parametry nikoliv na fyzikální. Anaerobní stabilizace je nejrozšířenější metodou zpracování kalů. Na čistírnách odpadních vod se touto metodou zpracovává asi 87 % vyprodukovaných kalů. Anaerobní methanová stabilizace látek je procesem, při kterém směsná kultura mikroorganismů za anaerobních podmínek postupně rozloží biologicky rozložitelnou organickou hmotu. Výsledným produktem anaerobní methanové stabilizace je vyhníly kal, obsahující zbylé nerozložitelné organické látky a anorganický podíl a kapalná fáze-kalová voda. Tento kal je pro další použití nutné odvodnit, aby obsah sušiny byl co nejvyšší (Raclavská, 2007).

3.4.2.4 Hygienizace kalů

Volba metody hygienizace kalu závisí na technologii stabilizace kalu a na velikosti čistírny odpadních vod. Metody, u nichž je hygienizační efekt součástí stabilizačního procesu kalů jsou výhodnější. (Raclavská, 2007)

3.4.2.5 Chemická hygienizace čistírenských kalů

V technické praxi je nejvyužívanější metodou úprava kalů vápnem. K hygienizaci dochází v důsledku spolupůsobení zvýšené teploty a hodnoty pH. Obvyklá dávka CaO je 10-30 % v přepočtu na sušinu kalu, čímž dochází k navýšení produkce kalů. Základní podmínkou hygienizace kalu vápnem je dokonalé promísení kalu a vápna tak, aby v celém objemu kalu byla dosažena potřebná koncentrace vápna (Raclavská, 2007).

3.4.2.6 Fyzikální metody hygienizace čistírenských kalů

Jedná se termickou předúpravu tekutého kalu, po které následuje mezofilní nebo termofilní anaerobní stabilizaci kalu, předúprava probíhá po dobu minimálně 30 min při teplotě 70 °C. Následná

mezofilní stabilizace/termofilní anaerobní stabilizace kalu probíhá při podmínkách obvyklých pro použitý systém stabilizace kalu (Raclavská, 2007).

3.5.1 Obsah živin v čistírenských kalech

Charakteristika čistírenského kalu závisí na procesech čištění odpadní vody a úpravě kalu (Singh et Agrawal, 2008, Raclavská, 2007). Čistírenský kal obvykle obsahuje organické látky, makro-prvky široké spektrum mikro-prvků, stopové množství kovů organických mikro-polutantů a mikroorganismů. Makro-prvky v čistírenských kalech jsou dobrým zdrojem živin pro rostliny, organická složka prospěšně působí na půdní vlastnosti, jako jsou pórovitost, objemovou hmotnost, stabilita půdních agregátů a retenční vodní kapacitu (Singh et Agrawal, (2008), (Wang et al., (2008)). V čistírenských kalech jsou ve významných koncentracích obsaženy N, P, Ca a Mg. Rostliny nemohou využívat veškerý dusík, který je obsažený v kalech, neboť dusík, který je v kalech přítomen, který je převážně v organické formě. Aby mohly rostliny dusík využívat, musí být mineralizován na anorganickou formu. Doba aplikace, půda a vodní režim to vše může mít vliv na příjem dusíku rostlinami. Rostliny potřebují nejvíce na začátku růstové etapy, to znamená v době, kdy mineralizace dusíku ještě nemůže probíhat, protože půdní bakterie ještě nejsou aktivní. Některé rostliny např. obiloviny nemohou využívat dusík obsažený v kalech, je vhodný pouze pro rostliny, které mají delší vegetační období (Raclavská, 2007). Pro odhad hodnoty obsahu dusíku, který bude z tekutého vyhnílého kalu pro plodiny k dispozici v prvním období po následující aplikaci budou všechny rozpustné formy dusíku a jedna šestina nerozpustného organického dusíku (Adas, 1982). Pro kaly s obsahem sušiny asi 4 % je to asi 70-80 % celkového obsahu dusíku. Fosfor, který je v kalech obsažen je méně rozpustný než fosfor, dodávaný umělými hnojivy. Biologická dostupnost fosforu závisí na technologii čištění odpadních vod (Raclavská, 2007).

3.5.4 Organické látky

Čistírenský kal obsahuje od 55-70 % organické hmoty v závislosti na tom, zda byl stabilizován. Je dokázáno, že pevný stabilizovaný kal má pozitivní vliv na zvýšení obsahu organické hmoty, vodní kapacity a stabilizaci půdních agregátů. Hnojivá hodnota kalu závisí na tom, zda byl kal anaerobně stabilizován nebo je stabilizován chemickými látkami a poté odvodněn (Adas, 1982).

3.5.5 Potenciálně toxické látky v kalech

Čistírenské kaly, obsahují často vysoké množství toxických prvků, které mají vliv na rostliny, zdraví zvířat a lidí. Kovy přidávané do půdy jsou vázány jílem a na organickou hmotu, po aplikaci zůstávají v půdě napořád. Uvolnění těžkých kovů spojených s čistírenskými kaly je významně ovlivněno půdním pH, kationtovou výměnnou kapacitou, organickou hmotou, mobilitou a druhem

konkrétních kovů. Při nadměrné aplikaci čistírenských kalů do půdy byla zvýšená biologická dostupnost těžkých kovů, nízké dávky čistírenských kalů ovšem nezpůsobily významné zvýšení koncentrace těžkých kovů (Sigh et. Agrawal, 2008). Čistírenské kaly původem z domácností obsahují relativně méně kovů, mohou ovšem obsahovat vyšší množství zinku. V případě průmyslových odpadních vod, které vstupují, do kanalizace může výsledný kal obsahovat řadu potenciálně toxických prvků, které mohou limitovat jeho použití v zemědělství (Adas, 1982). Banerjee et al, (1997) uvádí, že aplikace kalů s nízkým obsahem kovů v jejich pokusu měla pozitivní vliv na obsah mikrobiální biomasy, organický uhlík a půdní mikrobiální aktivity. Kaly s vyšším obsahem způsobily spíše snížení obsahu mikrobiální biomasy.

3.6 Aplikace kalů na zemědělskou půdu

Zákonný předpis, který upravuje podmínky využití kalů z ČOV v zemědělství je zákon č. 185/2001. Zákon o odpadech rozděluje kaly podle místa vzniku na kaly z čistíren odpadních vod a kaly ze septiků a jiných zařízení. Definiuje, co je upravený kal. Zákon říká, že upravený kal je takový kal, který prošel dlouhodobým skladováním, biologickou chemickou nebo tepelnou úpravou, tak, že těmito procesy došlo k výraznému snížení množství patogenních organismů a tím i riziko spojené s jeho aplikací. Dále definiuje povinnosti osob právnických i fyzických, kteří aplikují kal na půdu. Na půdu se mohou používat jen upravené kaly s ohledem na nutriční potřebu rostlin. Jejich aplikací nesmí být zhoršena kvalita povrchových i podzemních vod. Kaly se nesmí používat například na půdě, která je součástí chráněného území přírody a krajiny, na lesních půdách, které se využívají ke klasické pěstební činnosti, tam kde je pásmo ochrany vodních zdrojů, na zamokřených a zaplavovaných půdách, na půdách kde je výměnná reakce nižší než pH 5,6, na pozemcích, které se využívají k pěstování polních zelenin v roce jejich pěstování a v roce předcházejícím, jestliže z půdních rozborů vyplyne, že obsah vybraných rizikových látek v průměrném vzorku překročí jednu ze stanovených hodnot uvedených v prováděcím právním předpisu, pokud kaly nesplňují mikrobiologická kritéria daná prováděcím právním předpisem, na plochách určených k rekreaci a sportu nebo na veřejných prostranstvích Použití mikrobiálně kontaminovaných kalů, se může provést pouze po prokázané hygienizaci kalů. Dále se nesmí aplikovat na trvalých travních porostech a travních porostech na orné půdě

Vyhláška č.437/2016 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě uvádí, že upravené kaly musí být zapraveny do půdy nejpozději do 48 hodin. Upravených kalů se na půdu může aplikovat po dobu 3 let pouze 5 tun sušiny kalu na jeden hektar. V případě, že v kalech je obsažena méně než polovina limitního množství každé ze sledovaných látek a prvků může být toto množství zvýšeno až na 10 tun sušiny v průběhu následujících po sobě jdoucích 5 let Stanovení přesné dávky sušiny se vypočítá ze zjištěného obsahu dusíku. Dávka kalů tedy jejich množství a dobu aplikace

ovlivňuje požadavek rostlin na živiny s tím, že musí být přihlédnuto k přístupným živinám v organické složce v půdě a podmínkám stanoviště. Potřebná dávka kalu musí být aplikována v jedné agrotechnické operaci a jednou v souvislém období při příznivých fyzikálních a vlhkostních podmínkách. V půdě, na kterou jsou kaly aplikovány nesmí být překročeny mezní hodnoty koncentrace vybraných rizikových prvků (tab. č. 2). Mezní hodnoty koncentrací látek v kalech, které mohou být aplikovány na zemědělskou půdu

Tabulka č. 2 Mezní hodnoty koncentrace vybraných rizikových prvků a v půdě

Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou v mg.kg ⁻¹ sušiny v půdě								
Půda	rizikový prvek							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Běžné půdy	20	0,5	90	60	0,3	50	60	120
Písky, hlinité písky, štěrkopísky	15	0,4	55	45	0,3	45	55	105

Tabulka 3 Mezní hodnoty koncentrací kalů, které se mohou aplikovat na půdu

Riziková látka	Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech mg.kg ⁻¹ sušiny
As arsen	30
Cd kadmium	5
Cr chrom	200
Cu měď	500
Hg	4
Ni	100
Pb	200
Zn	2500
AOX	500
PCB suma 6 kongenerů 28+52+101+138+152+180	0,6

4 Metodika

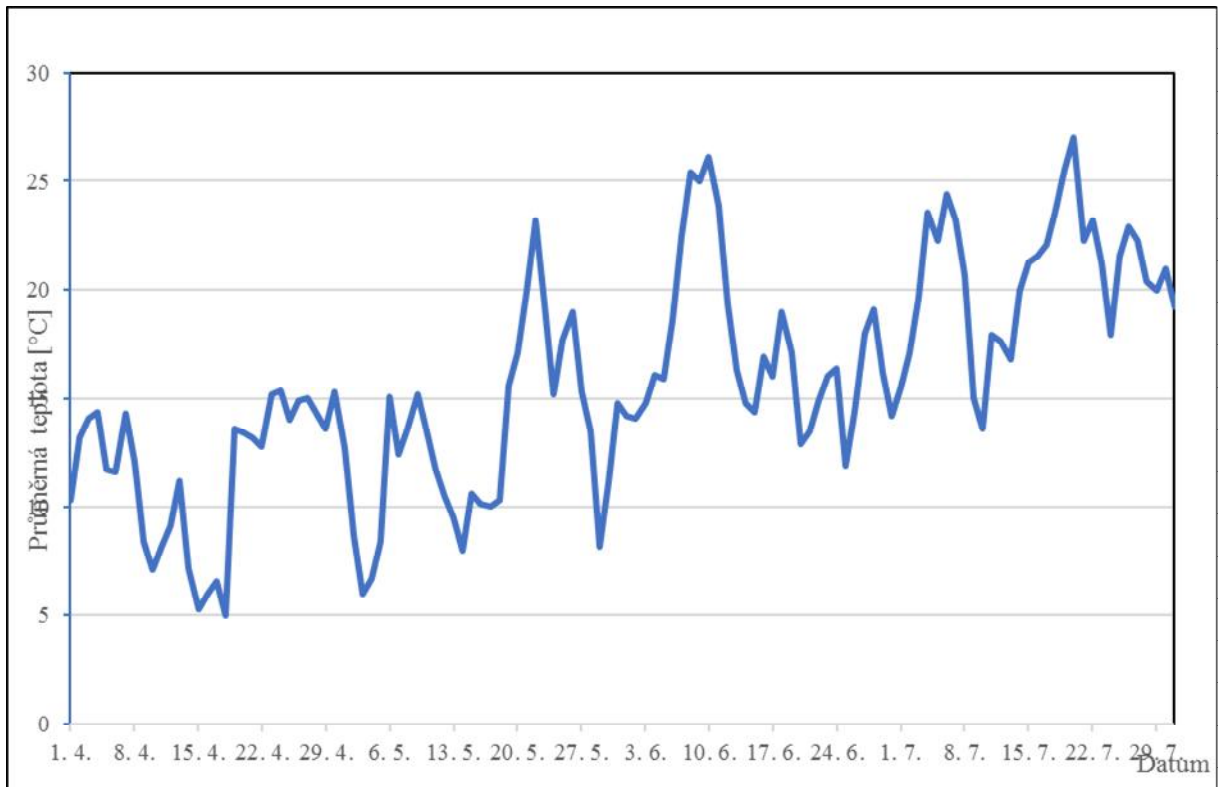
Obsah uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy byl zjišťován na dlouhodobých pokusech ČZU. Pro účely experimentu byly půdní vzorky odebrány ze dvou stanovišť (Praha-Suchdol, Červený Újezd). Pokusy byly založeny na podzim v roce 1996. V rámci stacionárních pokusů na stanovišti Suchdol jsou střídány tři plodiny v následujícím sledu brambory, ozimá pšenice, jarní ječmen. Na stanovišti Červený Újezd se jako pokusná plodina využívá silážní kukuřice. Pro potřeby hnojení pokusu se využívají kaly z ÚČOV Praha, hnůj ze školního zemědělského podniku Lány. Fosforečná a draselná hnojiva jsou aplikována na podzim, dusíkatá na jaře jsou aplikována (tabulka č. 5) Dávky hnoje a kalu sušina a obsah živin v nich na jednotlivá stanoviště je uvedena v tabulce č. 6. Mikrobiální biomasa uhlíku a dusíku je u brambor sledována po prvním roce aplikace a u pšenice po druhém roce. Vzorky pro stanovení mikrobiální biomasy C a N byly odebírány z orniční vrstvy půdy (0-30 cm) jednou za měsíc v období od dubna do srpna v roce 2014 a 2015. Plocha pokusné parcely na stanovišti Červený Újezd je 80 m², na stanovišti v Suchdole je výměra parcely 60,5 m². Charakteristika stanovišť je uvedena v tabulce č. 4

tabulka č. 4

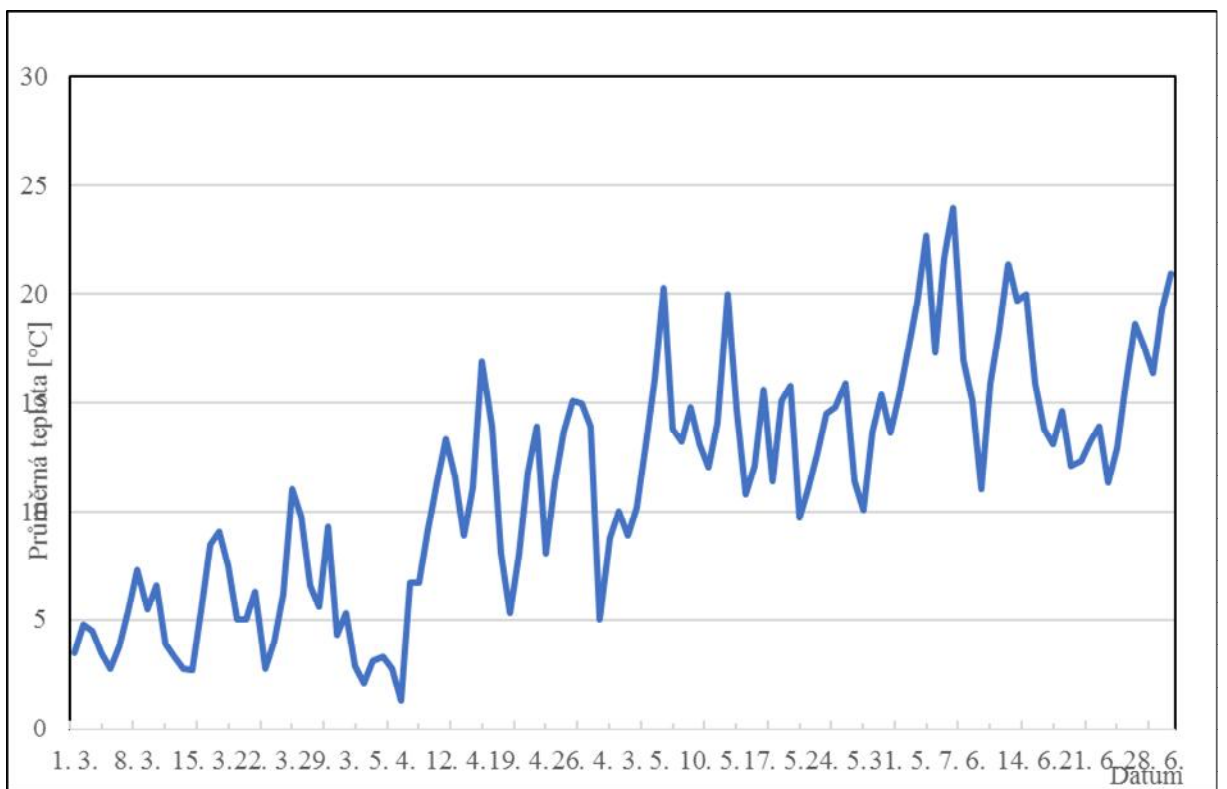
Charakteristika stanovišť	Suchdol	Červený Újezd
Lokalizace	50 °7'40''N, 14°22'33''E	50°4'22''N 14°10'19''E
Nadmořská výška (m.n.m.)	286	410
Průměrná roční teplota (°C)	9,1	7,7
Průměrné roční srážky (mm)	495	493
Půdní typ	Hlinitá Černozem	Písčito-hlinitá Hnědozem
pH (CaCl ₂)	7,5	6,5
C _{ox} (%)	2,6	1,7
KVK (mmol ⁽⁺⁾ . kg ⁻¹)	230	145
P (mg.kg ⁻¹)	91	100
K (mg.kg ⁻¹)	230	80
Mg (mg.kg ⁻¹)	240	110
Ca (mg.kg ⁻¹)	9000	3600

Obsah živin byl stanoven pomocí stanovení Mehlich 3

Graf č. 1 Vývoj teplot na Stanovišti Suchdol rok 2014



Graf č. 2 Vývoj teplot na Stanovišti Suchdol rok 2015



tabulka č. 5 Dávky živin aplikované k plodinám

Varianta	Brambory			Pšenice			Ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Kontrola	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kal 1	330 ¹⁾	201 ²⁾	55 ²⁾	0	0	0	0	0	0
Hnůj	330 ¹⁾	118 ²⁾	374 ²⁾	0	0	0	0	0	0
N ³⁾	120	0	0	140	0	0	70	0	0
NPK ³⁾	120	30	100	140	30	100	70	30	100

- 1) Celkový obsah dusíku v organických hnojivech
- 2) Průměrná dávka aplikovaná k plodinám podle obsahu živin v hnojivech
- 3) Minerální hnojiva N-LAV (27 % N) P-trojité superfosfát (21 %), K draselná sůl (50 % K)

tabulka 6: Průměrné dávky sušiny, sušina a obsahy živin v aplikovaných organických hnojivech

Varianta	Dávka sušiny	Sušina	Obsah živin (% sušiny)				
			N	P	K	Ca	Mg
Stanoviště	t/ha/rok	%					
Kal 1	9,00	30,6	3,66	2,23	0,61	3,00	0,78
Hnůj Červený Újezd	14,48	30,3	2,48	0,81	2,14	2,28	0,58
Hnůj Suchdol	16,83	34,2	2,05	0,76	1,94	2,20	0,60

Odebrané vzorky zeminy byly po odběru homogenizovány prosetím přes síto s velikostí ok 5 mm. Vzorky byly před analýzou skladovány v mrazicím boxu při -15°C. Před analýzou byly nechány při pokojové teplotě rozmrazit. Stenberg et al., (1998) publikovali pokus ve kterém sledovali vliv různého skladování vzorků před analýzou obsah mikrobiální biomasy u vzorků 12 různých minerálních zemědělských půd. Výsledky ukázaly že pokud byly vzorky po dobu 13 měsíců skladovány při -20 °C nemělo na to na mikrobiální biomasu rozhodující vliv. Poté byly naváženy dvě sady vzorků.

1) Pre-extrakce: (Müller et al, 1991)

Po navážení byly obě dvě sady vzorků zality 50 ml 0,05 mol. l⁻¹ K₂SO₄ a nechány 15 minut třepat. Po třepání byly obě dvě sady vzorků odstředěny. U vzorků určených k ošetření chloroformem byl extrakt vylit. Ze vzorků, které nebyly ošetřené bylo odpipetováno do připravených kyvet 4,5 ml extraktu a 4,5 demi vody. Obě dvě sady vzorků byly znovu zváženy.

2) Neošetřené chloroformem:

Sada vzorků byla navažována do plastových lahvíček. Jako u předchozí sady každá lahvíčka byla zvážena a její hmotnost byla zapsána do připravené tabulky. Na filtrační papír bylo přesně naváženo 15 g vzorku. Vzorek byl opatrně přesypán do lahvíčky. Každý vzorek byl navažován 2x stejně jako slepé vzorky.

Vzorky ošetřené chloroformem (Vance et al., (1987)

Sada vzorků určených na fumigaci byla navažována do teflonových lahvíček. Každý vzorek byl navážen 2x, stejně jako slepé vzorky. Nejprve byla zvážena teflonová lahvíčka. Její hmotnost byla zapsána do připravené tabulky. Následně byla váha vytárována. Na filtrační papír bylo naváženo přesně 15 g homogenizované zeminy. Vzorek byl opatrně přesypán do připravené teflonové lahvíčky.

3) Fumigace: (Vance et al., 1987)

Sada vzorků byla pro ošetření chloroformem umístěna do exikátoru. Nejdříve bylo odměrného válce odměřeno 30 ml chloroformu. Do každé lahvíčky včetně slepých vzorků bylo aplikováno 200 µl chloroformu. Zbytek chloroformu byl umístěn na dno exikátoru. Exikátor byl uzavřen a byl vytvořen podtlak, aby se chloroform vařil. Posléze byly vzorky se nechány v prostředí chloroformu a ve tmě 24 hodin.

4) Extrakce (Joergensen et al, 2011)

Neošetřené vzorky byly zality 50 ml 0,5 mol. l⁻¹ K₂SO₄ a nechány třepat 45 minut. Druhá sada vzorků byla po proběhlé fumigaci zalita 50 ml 0,5 mol. l⁻¹ K₂SO₄ a nechána třepat 45 minut. Obě dvě sady byly po třepání odstředěny a z každé bylo do připravených kyvet odpipetováno 4,5 ml extraktu a 4,5 ml demi vody.

5) Výpočet obsahu mikrobiální biomasy (Joergensen et al., 1995)

Pomocí přístroje Skalar Plus Systém analýzou s kolorimetrickým stanovením byl v extraktech změřen obsah uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy. Výpočet obsahu uhlíku mikrobiální biomasy dusíku byl proveden takto: od vzorků byly odečteny slepé vzorky, následný výpočet byl proveden jako rozdíl mezi obsahem těchto živin ve fumigovaném a nefumigovaném vzorku rozdíl byl na konec vydělen příslušným koeficientem pro biomasu uhlíku 0.45 a pro dusík 0,54

Obsah mikrobiální biomasy dusíku a uhlíku je uveden v mg/kg. K vyhodnocení výsledků a statistického vyhodnocení byl použit program Excel.

5 Výsledky

5.1 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy

5.1.1 Stanoviště Suchdol 2014

Obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl u nehnojené varianty během období, kdy probíhaly odběry 216,23-113,31 mg C/kg. Nejnižší obsah byl zjištěn 28.5.-111,38 mg C/kg.

V případě hnojení kalem obsah uhlíku mikrobiální biomasy nabýval hodnot od 61,88 -237,52 mg C/kg. Nejnižší obsah byl 28.5. 61,88 mg C/kg nejvyšší 29.4. 237,52 mg C/kg.

Obsah uhlíku mikrobiální biomasy u varianty hnojené hnojem dosahoval rozmezí od 69,00-220,21 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn při odběru v dubnu, naopak nejnižší v květnu.

U aplikace NPK v období dubna až července byl obsah uhlíku v rozpětí 91,48-194 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl naměřen v dubnu (29.4.) 194,31 mg C/kg nejnižší naopak 24.6. (91,48 mg C/kg.) (tabulka č. 7).

Tabulka č. 7: Obsah uhlíku mikrobiální biomasy u brambor

Brambory 2014 [mgC/kg] Suchdol				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
Kontrola	216,23	111,38	131,29	113,31
Kal	237,52	61,88	126,62	150,51
hnůj	220,21	69,00	93,97	172,70
NPK	194,31	93,21	91,48	132,75

U kontrolní varianty se během odběrů obsah mikrobiální biomasy nacházel v rozmezí od 66,38-198,83 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn u odběru 29.4. (198,83 mg C/kg), velmi nízký pak 24.6. (66,38 mg C/kg).

V případě, kdy byl aplikován kal obsah mikrobiální uhlíku se pohyboval od 57,55- 233,04 mg C/kg. Nejvyšší hodnoty obsahu uhlíku byly naměřeny 29.4. (233,33 mg C/kg) a nejnižší 28.5. (57,55 mg C/kg).

Při hnojení hnojem se hodnoty obsahu uhlíku vyskytovaly v rozmezí od 82,45-236,58 mg C/kg. Nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl naměřen u odběru 29.4. (236,58 mg C/kg), nízký obsah byl naměřen u odběru 28.5. (82,45 mg C/kg).

U minerálního hnojení (NPK) byly pozorovány hodnoty v rozmezí od 91,88- 222,75 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn u vzorku, který byl odebrán 29.4. (222,75 mg C/kg), nejnižší pak u odběru (24.6.) 91,88 mg C/kg (tabulka č.8).

Tabulka č. 8 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2014 [mgC/kg] Suchdol				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
kontrola	198,83	112,75	66,38	144,79
kal	233,04	57,55	88,53	146,82
hnůj	236,58	82,45	120,76	156,30
NPK	222,75	112,88	91,88	129,90

5.1.2 Stanoviště Suchdol 2015

Obsah uhlíku mikrobiální biomasy se u kontrolní nehnojené varianty nacházel v rozmezí 60,68-337,78 mg C/kg. Nejvyšší naměřený obsah pozorován při odběru 29.4 (337,78 mg C/kg), naopak nejnižší byl u vzorku, který byl odebrán 29.6. (60,68 mg).

Na variantě, kam byl aplikován kal, byl sledován obsah uhlíku v rozpětí od 93,59-346,27 mg C/kg. V dubnu (29.4) byl naměřen ve vzorku, který byl odebrán z této parcely nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 346,27 mg C/kg, nejnižší byl u vzorku, který byl odebrán 29.6. (93,59 mg C/kg).

Obsah uhlíku mikrobiální biomasy u pozemku hnojeného hnojem se pohyboval od 111,72-338,90 mg C/kg. V tomto případě byl nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy u odběru, který proběhl 29.4. (338,90 mg C/kg). Nejnižší obsah uhlíku byl u vzorku z 29.6. (111,72 mg C/kg).

U minerálního hnojení byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy v rozsahu 58,22-314 mg C/kg. Nejnižší byl u vzorku z 29.6. 58,22, nejvyšší 29.4. (314,82 mg C/kg) (tabulka č.9).

Tabulka č. 9 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy u brambor

Brambory 2015 [mg C/kg] Suchdol				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	157,59	337,78	166,33	60,68
Kal	181,70	346,27	153,48	93,59
hnůj	175,18	338,90	147,61	111,72
NPK	151,65	314,82	173,46	58,22

U kontrolní varianty byl obsah mikrobiální biomasy 57,14-335,93 mg C/kg. U odběru, který proběhl 29.4 byl nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 335,93 mg/kg, nejnižší pak 2.6. 57,14 mg C/kg.

Na variantu, kam byl aplikován kal se obsah uhlíku pohyboval v rozmezí od 74,93-327,10 mg C/kg. Zde byl nejvyšší obsah u odběru 29.4 (327,10 mg C/kg), naopak nejnižší 2.6. (74,93 mg C/kg).

Při aplikaci hnoje obsah od 82,45-236,58 mg C/kg. Nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl při odběru 28.3 (236,58 mg C/kg, nejnižší byl při odběru 29.4. (82,45 mg C/kg).

Varianta, kam bylo aplikováno minerální hnojení se obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl od 131,22-308,78 mg C/kg. Vzorek, který byl odebrán 29.4. měl nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 308,78 mg C/kg, nejnižší obsah byl u vzorku odebraného 29.6. (tabulka č.10).

Tabulka č.10 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2015 [mgC/kg] Suchdol				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	147,34	335,93	57,14	90,21
Kal	179,25	327,10	74,93	129,85
Hnůj	236,58	82,45	120,76	123,02
NPK	158,55	308,78	192,35	131,22

5.1.3 Stanoviště Červený Újezd 2014

Nehnojená kontrola měla obsah uhlíku mikrobiální biomasy v průběhu odběrů v rozpětí mezi 88,63-159,88 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl 29.4. (159,88 mg C/kg), nejnižší naopak 24.6. (88,63 mg C/kg).

Varianta hnojená kalem měla obsah uhlíku mikrobiální biomasy od 136,21-286,34 mg C/kg. Odběr s nejvyšším obsahem mikrobiální biomasy byl 28.5. 286,34 mg C/kg, s nejnižším obsahem 24.6. 136,21 mg C/kg.

U hnojení hnojem byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy v rozmezí 164,36-239,66 mg C/kg. Nejnižší obsah mikrobiální biomasy byl u vzorku z 23.7. 164,36 mg C/kg, nevyšší pak 239,55 mg C/kg.

V případě hnojení minerálním hnojením nabýval obsah mikrobiální biomasy během období odběrů hodnot od 114,81-204,25 mg C/kg. U minerálního hnojení byl nejnižší obsah zjištěn 24.6. (114,81 mg C/kg), nejvyšší pak 29.4. (204,25 mg C/kg) (tabulka č.11).

Tabulka č.11 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy

Kukuřice 2014 [mgC/kg] Červený Újezd				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
Kontrola	159,88	136,77	88,63	102,29
Kal	233,57	286,34	136,21	136,74
Hnůj	239,36	239,55	191,68	164,36
NPK	204,25	166,41	114,81	127,54

U nehnojené kontrolní variantě se obsah uhlíku mikrobiální biomasy nacházel v rozmezí 101,68-162,10 mg C/kg. V tomto případě byl nejnižší obsah mikrobiální biomasy u vzorku odebraného 24.6. (101,68 mg C/kg), nejvyšší byl 28.5. (162,77 mg C/kg).

U hnojení kalem byl rozsah obsahu uhlíku mikrobiální biomasy od 123,47-280 mg C/kg. Odběr s nejvyšším obsahem uhlíku byl zde z 28.5., nejnižší 24.6. 123,47 mg C/kg.

Varianta hnojená kalem měla obsah uhlíku od 138,49- 280,13 mg C/kg. Ze všech odběrů měl nejnižší obsah uhlíku vzorek odebraný 24.6. (123,47 mg C/kg), naopak nejvyšší 280 mg C/kg.

U organické hnojení v podobě hnoje nabýval obsah uhlíku hodnot od 150,23-243,85 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn 28.5. (243,85 mg C/kg), 23.7. byl obsah nejnižší.

Ve variantě hnojené minerálním hnojením obsah mikrobiální biomasy dosahoval hodnot od 135,85-235,48 mg C/kg. U odběru z 28.5 byl nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 235,48 mg C/kg, nejnižší 23.7. 135,85 mg C/kg (tabulka č. 12).

Tabulka č. 12 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2014 [mgC/kg] Červený Újezd				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
kontrola	162,10	162,77	101,68	110,25
Kal	215,06	280,13	123,47	138,49
hnůj	214,67	243,85	171,69	150,23
NPK	212,13	235,48	148,30	135,85

5.1.4 Stanoviště Červený Újezd 2015

Obsah uhlíku mikrobiální biomasy u nehnojeného kontrolní varianty byl v rozpětí od 84,90 - 236,32 mg C/kg. U odběru 29.4. (236,32 mg C/kg) byl zjištěn nejvyšší obsah, nejnižší byl naopak 2.6. (84,90 mg C/kg).

Varianta hnojená kalem měla obsah uhlíku mikrobiální biomasy od 118,18 -276,58 mg C/kg.

Hnojem hnojená varianta obsahovala během odběrů 126,09-281,06 mg C/kg. U této varianty byl nejnižší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 29.6. (126,09 mg C/kg), nejvyšší 29.4. (281,06 mg C/kg).

U minerálním hnojením hnojeného pozemku nabýval obsah mikrobiální biomasy hodnot od 108,72-239,95 mg C/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn u odběru, který proběhl 29.4. (239,95 mg C/kg), 28.3. byl naopak obsah mikrobiální biomasy nejnižší (tabulka č.13).

Tabulka č. 13 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy kukuřice

Kukuřice 2015 [mgC/kg] Červený Újezd				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	95,15	236,32	84,90	100,58
Kal	125,62	276,58	119,34	118,18
Hnůj	137,74	281,06	129,71	126,09
NPK	108,72	239,95	116,29	137,34

Kontrolní nehnojená varianta měla obsah mikrobiální biomasy v průběhu odběrů od 108,24-268,56 mg C/kg. Během odběrů byl u tohoto pozemku nejvyšší obsah mikrobiální biomasy 29.4. (268,56 mg C/kg), nejnižší potom 28.3. (108,24 mg C/kg).

Při hnojení kalem se obsah mikrobiální biomasy pohyboval od 113,47 -317,28 mg C/kg. Nejvyšší obsah uhlíku byl zjištěn u vzorku, který byl odebrán 29.4. (317,28 mg C/kg), naopak nejnižší 29.6. (109,03 mg C/kg).

Aplikace hnoje měla obsah mikrobiální biomasy v rozmezí hodnot od 113,47 až 330,87 mg C/kg. Na této variantě byl nejnižší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 29.6. (113,47 mg C/kg), naopak 29.4. (330,87 mg C/kg) byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy nejvyšší.

Při aplikaci minerálního hnojení (NPK) bylo rozpětí hodnot průměrného obsahu mikrobiální biomasy od 129,83- 298,18 mg C/kg (tabulka č. 14).

Tabulka č. 14 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2015 [mgC/kg]				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	108,24	268,56	109,74	115,51
Kal	154,73	317,28	131,96	109,03
hnůj	183,41	330,87	148,58	113,47
NPK	152,52	298,18	158,70	129,83

5.1 Obsah dusíku mikrobiální biomasy

5.2.1. Stanoviště Suchdol 2014

Během odběrů byl na kontrolní variantě obsah dusíku mikrobiální biomasy od 10,32- 19,10 mg N/kg. Maximální obsah dusíku mikrobiální biomasy byl v průběhu odběru 24.6. (19,10 mg N/kg), nejnižší pak u odběru 28.5. (10,32 mg N/kg).

U varianty hnojené kalem nabýval obsah dusíku mikrobiální biomasy 8,02-18,11 mg N/kg. Nejnižší obsah byl zjištěn 28.5. (8,02 mg N/kg) nejvyšší naopak 23.7. (18,11 mg N/kg).

V případě hnojení hnojem se pohyboval obsah mikrobiální biomasy od 7,97-20,71 mg N/kg. Zde byl nejvyšší obsah dusíku mikrobiální biomasy 23.7. (20,71 mg N/kg), nejnižší potom 28.5. (7,97 mg N/kg).

Varianta hnojená minerálním hnojením měla rozsah mikrobiální biomasy v rozpětí od 6,92-16,31 mg N/kg. V tomto případě byl nejvyšší obsah dusíku mikrobiální biomasy 23.7. (16,31 mg N/kg), nejnižší 6,92 mg N (28.5.) (tabulka č. 15). Vyšší hodnoty obsahu dusíku byly zjištěny u většiny variant v červenci, nižší poté v květnu.

Tabulka č. 15 Obsah dusíku mikrobiální biomasy brambory

Brambory 2014 [mgN/kg] Suchdol				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
kontrola	10,81	10,32	19,10	16,76
Kal	10,79	8,02	14,85	18,11
Hnůj	8,12	7,97	14,76	20,71
NPK	9,40	6,92	12,82	16,31

V tomto případě byl obsah dusíku mikrobiální biomasy u nehnojené varianty v rozmezí od 10,18-19,29 mg N/kg. Nejvyšší obsah dusíku byl zjištěn při posledním odběru 29.6. (19,29 mg N/kg. Od 28.3.-2.6. byl obsah dusíku od 10,18-18,86 mg N. Po odběru 28.3, došlo ke snížení obsahu dusíku mikrobiální biomasy, u následujícího odběru se obsah dusíku zvýšil.

Kalem hnojená varianta měla obsah dusíku během sledovaného období v rozmezí od 8,41-19,99 mg N/kg. Od 28.3. se obsah snížil, při dalších odběrech došlo ke zvyšování až do 29.6., kdy byl obsah nejvyšší.

U hnojení hnojem byl obsah dusíku mikrobiální biomasy v závislosti na termínu odběru 8,10-20,22 mg N/kg. Nejnižší obsah dusíku byl zjištěn u odběru z dubna, nejvyšší obsah dusíku byl sledován v červnu. V dubnu byly nižší hodnoty zjištěny nejen v tomto případě ale i u dalších variant.

Při minerálním hnojení byl obsah dusíku mikrobiální biomasy v rozpětí od 11,21-23,19 mg N/kg (tabulka č. 16).

Tabulka č. 16 Obsah dusíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2014 [mgN/kg] Suchdol				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
kontrola	10,18	15,26	5,70	9,28
Kal	13,40	15,16	8,81	15,63
Hnůj	15,72	16,40	11,34	15,91
NPK	23,19	12,98	8,32	15,64

5.2.2 Stanoviště Suchdol 2015

Obsah mikrobiální biomasy u kontrolní varianty byl v rozmezí od 7,84 -23,79 mg N/kg. U této varianty byl nejnižší obsah mikrobiální biomasy 29.6. (7,84 mg N/kg), nejvyšší 23,79 mg N/kg (28.3.).

U aplikace kalu se obsah dusíku mikrobiální biomasy pohyboval v rozpětí od 9,86-24,07 mg N/kg. Vzorek odebraný 28.3. měl nejvyšší obsah mikrobiální biomasy 24,07 mg N/kg, naopak nejnižší měl vzorek z 29.6 9,86 mg N/kg.

Při aplikaci hnoje byl obsah mikrobiální biomasy od 9,12-20,21 mg N/kg. Obsah mikrobiální biomasy u varianty hnojené hnojem odebraný měl odebraný vzorek 29.4 nejnižší obsah mikrobiální biomasy. Nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl u vzorku odebraného 28.3.

V případě aplikace minerálního hnojení obsah mikrobiální biomasy nabýval hodnot 11,05- 16,36 mg N/kg. Nejvyšší obsah mikrobiální biomasy měl vzorek z 29.4., nejnižší potom z 29.6.(tabulka č.17).

Tabulka č.17 Obsah dusíku mikrobiální biomasy brambory

Brambory 2015 [mgN/kg] Suchdol				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	23,79	15,41	13,11	7,84
Kal	24,07	14,73	10,85	9,86
Hnůj	20,21	13,92	9,12	11,99
NPK	11,51	16,36	14,88	11,05

Obsah uhlíku mikrobiální biomasy se u dlouhodobě nehnojené kontrolní v průběhu odběrů od 29.4. do 23.7. pohyboval v rozmezí od 5,70-15,26 mg N/kg. Maximální obsah dusíku byl zjištěn 28.5 (15,26 mg N/kg), minimální pak 24.6. (5,70 mg N/kg). Během odběrů došlo po odběru v březnu ke snižování obsahu dusíku až do 2.6., při dalších se obsah dusíku zvýšil.

U kalem hnojené varianty byl obsah dusíku mikrobiální biomasy v rozpětí 8,81-19,97 mg N/kg. Nejvyšší obsah měl vzorek odebraný 23.7. (15,36 mg N/kg), nejnižší vzorek odebraný 24.6. (8,81 mg N/kg).

Hnojem hnojená varianta měla obsah mikrobiální biomasy od 11,43-16,40 mg N/kg. V průběhu odebrání vzorků byl nejnižší obsah dusíku mikrobiální biomasy 11,34 mg N/kg (24.6.), nejvyšší naopak 16,40 mg N/kg (28.5.).

Minerální hnojení mělo rozsah hodnot obsahu 8,32-24,19 mg N/kg. Nejnižší obsah dusíku mikrobiální biomasy byl 8,32 mg N/kg, nejvyšší 29.4. (24,19 mg N/kg) (tabulka č.18).

Tabulka č. 18 Obsah dusíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2015 [mgN/kg] Suchdol				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	17,02	15,26	5,70	9,28
Kal	19,97	15,16	8,81	15,63
Hnůj	27,17	16,40	11,34	15,91
NPK	24,19	12,98	8,32	15,64

5.2.3 Stanoviště Červený Újezd 2014

Odběry u kontroly měly obsah dusíku mikrobiální biomasy v rozpětí od 7,22-12,03 mg N/kg. Nejnižší obsah mikrobiální biomasy byl zjištěn 29.4 (7,22 mg N/kg), nejvyšší naopak 28.5 (12,03 mg N/kg).

V případě hnojení kalem byl obsah mikrobiální biomasy od 8,73-15,72 mg N/kg. Obsah mikrobiální biomasy byl zde nejnižší 29.4 (8,73 mg N/kg), nejvyšší potom 28.5 (15,72 mg N/kg).

Hnojem hnojená varianta obsahovala 8,35-21,52 mg N/kg. Varianta hnojená NPK měla během odběrů obsah mikrobiální biomasy od 4,5-13,54 mg N/kg. Velmi nízký obsah dusíku mikrobiální biomasy byl 29.4 (4,50 mg N/kg) a nejvyšší 23.7 (13,54 mg N/kg) (tabulka č.19).

Tabulka č. 19 Obsah dusíku mikrobiální biomasy kukuřice

Kukuřice 2014 [mgN/kg] Červený Újezd				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
kontrola	7,22	9,36	10,37	12,03
Kal	8,73	15,72	14,85	15,43
Hnůj	8,35	15,29	21,52	17,76
NPK	4,50	13,25	8,04	13,54

Kontrolní nehnojená varianta obsahovala během odběrů od 6,66-11,51. Nejnižší obsah dusíku mikrobiální biomasy byl u odběru 29.4 (6,66 mg N/kg) a nejvyšší 24.6 (11,51 mg N/kg).

Kalem hnojená varianta měla obsah dusíku mikrobiální biomasy mezi 11,31-18,38 mg N/kg. U této varianty byl během trvání odběrů nejnižší obsah dusíku mikrobiální biomasy 29.4 (11,31 mg N/kg) a nejvyšší 28.5 (18,38 mg N/kg).

Organické hnojení hnojem mělo obsah dusíku mikrobiální biomasy v rozmezí 9,08-21,26 mg N/kg. Zde byl nejnižší obsah mikrobiální biomasy 29.4 (9,08 mg N/kg), nejvyšší potom 23.7 (21,26 mg N/kg).

Minerální hnojení obsahovalo od 4,06-17,92 mg N/kg. V tomto případě byl 29.4 obsah mikrobiální biomasy nejnižší, nejvyšší potom 24.6 (17,92 mg N/kg) (tabulka č. 20).

Tabulka č. 20: Obsah dusíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2014 [mgN/kg] Červený Újezd				
	29.4.	28.5.	24.6.	23.7.
kontrola	6,66	10,04	11,51	11,39
Kal	11,31	18,38	15,16	16,76
Hnůj	9,08	14,41	19,69	21,26
NPK	4,06	13,61	17,92	17,02

U nehnojené varianty byl obsah dusíku mikrobiální biomasy od 6,78 -12,74 mg N/kg. Nejnižší obsah dusíku mikrobiální byl 29.4 (6,78 mg N/kg) nejvyšší 12,74 mg N/kg (28.3).

Kalem hnojená varianta měla obsah mikrobiální biomasy v průběhu odběrů obsah mikrobiální biomasy v rozpětí od 9,65-13,77 mg N/kg. Nejnižší obsah mikrobiální biomasy byl 9,65 (2.6) nejvyšší 28.3 (13,77 mg N/kg).

Při hnojení hnojem se obsah dusíku mikrobiální biomasy vyskytoval v rozmezí od 7,91-13,82 mg N/kg V tomto případě byl nejnižší obsah mikrobiální biomasy 7,91 mg N/kg, nejvyšší 13,82 mg N/kg.

V případě, že bylo použito minerální hnojení byl obsah mikrobiální biomasy 2,55-13,68 mg N/kg. Vyšší obsah mikrobiální biomasy byl zjištěn 29.6, nízký potom 28.3. (tabulka č. 21).

5.2.4. Stanoviště Červený Újezd 2015

Tabulka č. 21 Obsah dusíku mikrobiální biomasy kukuřice

Kukuřice 2015 [mgN/kg] Červený Újezd				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
kontrola	12,74	6,78	5,11	11,22
Kal	13,77	11,67	9,65	12,44
Hnůj	9,99	9,02	7,91	13,82
NPK	2,55	7,98	8,20	13,68

Na kontrolní nehnojené variantě byl obsah dusíku mikrobiální biomasy od 0,47-14,09 mg N/kg. Na této variantě byl nejnižší obsah 29.4 (0,47 mg N/kg)., nejvyšší naopak 29.6 (14,09 mg N/kg). V případě, kdy byl použit na hnojení kal se obsah mikrobiální biomasy pohyboval v rozmezí od 13.72 – 17,96 mg N/kg.

Hnojem hnojená varianta obsahovala v období odběrů 14,10-23,24 mg N/kg. Nejnižší obsah mikrobiální biomasy byl 14,10 mg N/kg, nejvyšší potom 28.3 (23,24 mg N/kg).

Při hnojení NPK byl obsah dusíku mikrobiální biomasy 10,99-17,35 mg N/kg. Nízký obsah dusíku mikrobiální biomasy byl 29.4 (10,99 mg N/kg). Nejnižší byl 2.6 (2,27 mg N/kg) (tabulka č.22).

Tabulka č. 22 Obsah dusíku mikrobiální biomasy pšenice

Pšenice 2015[mgN/kg] Červený Újezd				
	28.3.	29.4.	2.6.	29.6.
Kontrola	11,36	0,47	9,79	14,09
Kal	17,96	13,91	13,72	13,72
Hnůj	23,24	12,88	15,91	14,10
NPK	17,35	10,99	12,27	16,28

5.2.5. Vztah mezi dusíkem a uhlíkem

. Mikrobiální biomasa dusíku přispívá k primárním zdrojům dusíku v půdě, který se může potenciálně mineralizovat. Mineralizace a imobilizace jsou půdní mikrobiální procesy, které se řídí dostupností uhlíku a předpokládá se, že jsou spojené s aktivní částí organické hmoty. Optimální poměr uhlíku a dusíku je 25:1. |

U brambor Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2014 (graf č. 19) byl obsah dusíku dlouhodobě nehnojené kontroly v období odběrů v rozpětí od 5,70- 15,26 mg N/kg a uhlíku 111,38 -216,23 mg C/kg.

U kalem hnojené varianty byl obsah dusíku v rozmezí od 8,02-18,11 mg N/kg a uhlíku 61,88-237,52 mg C/kg.

Hnojem hnojená varianta měla v období odběrů obsah dusíku v rozmezí od 7,97-20,71 mg N/kg a uhlíku 69,00-220,21 mg C/kg.

Varianta hnojená NPK měla obsah dusíku v rozmezí od 6,92-16,31 mg N/kg a uhlíku 91,48-194,31 mg C/kg.

U pšenice Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2014 (graf č. 20) byl obsah u dusíku a uhlíku kontrolní nehnojené varianty v rozmezí od 5,70-15,26 mg N/kg a uhlíku od 111,38-216,23 mg C/kg.

Varianta hnojená kalem měla obsah dusíku v období odběrů 8,81-15,63 mg N/kg a uhlíku 57,55-233,04 mg C/kg.

Hnojení NPK mělo obsah dusíku v rozmezí od 8,32-23,19 mg N/kg a uhlíku 91,88-222,75 mg C/kg.

U brambor Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2015 (graf č. 21) byl obsah dusíku v kontrolní variantě 5,70-15,26 mg N/kg a uhlíku 60,68-337,78 mg C/kg.

U kalem hnojené varianty byl obsah dusíku od 9,86-24,07 mg N/kg a uhlíku 93,59-346,27 mg C/kg.

Hnojem hnojená varianty měla obsah dusíku v rozpětí od 9,12-20,21 a uhlíku od 111,72-338,90 mg C/kg.

Varianta hnojená NPK měla obsah dusíku v průběhu trvání odběrů od 11,05-16,36 mg N/kg a uhlíku od 131,22-308,78 mg C/kg.

U pšenice Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2015 (graf č.22) byl obsah dusíku u kontrolní varianty od 9,28-15,26 mg N/kg a uhlíku 90,21-335,93 mg C/kg.

Kalem hnojená varianta měla obsah dusíku od 8,81-19,97 mg N/kg a uhlíku od 74,93-327,10 mg C/kg.

Hnojení hnojem mělo obsah dusíku od 11,34-27,17 mg N/kg a uhlíku 82,45-236,58 mg C/kg.

Hnojení NPK mělo obsah dusíku v průběhu odběrů od 8,32-24,19 mg N/kg a uhlíku 131,22-308,78 mg C/kg.

U kukuřice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2014 (graf č. 23) byl obsah dusíku u nehnojené varianty od 7,22-12,03 mg N/kg a uhlíku od 88,63-159,88 mg C/kg.

U kalem hnojené varianty byl obsah dusíku od 8,73-15,72 mg N/kg a uhlíku od 136,21-233,57 mg C/kg.

Při hnojení hnojem byl obsah dusíku od 8,35-17,76 mg N/kg a uhlíku od 138-239,55 mg C/kg.

Při hnojení NPK byl obsah dusíku od 4,50-13,54 mg N/kg a uhlíku 114,81-204,25 mg

U pšenice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2014 (graf č. 24) byl obsah dusíku u nehnojené kontrolní varianty v rozmezí od 6,66-11,51 mg N/kg a uhlíku od 162,77 mg C/kg.

Na variantě hnojené kalem byl obsah dusíku od 11,31-18,38 mg N/kg a uhlíku 123,47-280,13 mg C/kg.

U hnojem hnojené varianty byl obsah dusíku od 9,08-21,26 mg N/kg a uhlíku od 150,23-243,85 mg C/kg.

Při hnojení NPK byl obsah dusíku v průběhu odebrání vzorků 4,06-17,92 mg N/kg a uhlíku 135,85 mg C/kg.

U kukuřice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2015 (graf č.25) byl obsah dusíku u nehnojené varianty v rozmezí od 5-13 mg N/kg a uhlíku 85-236 mg C/kg.

V kalem hnojené variantě byl obsah dusíku od 10-14 mg N/kg a uhlíku od 118-277 mg C/kg.

V hnojem hnojené variantě byl obsah dusíku 8-21,52 mg N/kg a uhlíku od 126,0-191,68 mg C/kg.

Při hnojení NPK byl obsah dusíku v průběhu odběrů od 3-14 mg N/kg a uhlíku od 109-240 mg C/kg.

U pšenice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2015 (graf č. 26) byl obsah dusíku v nehnojené kontrolní variantě průběhu pokusu od 0,47-14,09 mg N/kg a uhlíku od 101,68-162,77 mg C/kg.

Ve variantě hnojené kalem byl obsah dusíku v rozmezí od 13,72-17,96 mg N a uhlíku 109,03-317,28 mg C/kg.

Při hnojené hnojem byl obsah dusíku v průběhu odebrání 12,88-23,24 mg N/kg a uhlíku 113,47-330,87 mg C/kg.

U varianty hnojené NPK byl obsah dusíku v rozmezí od 10,99-17,35 mg N/kg a uhlíku od 129,83-298,18 mg C/kg.

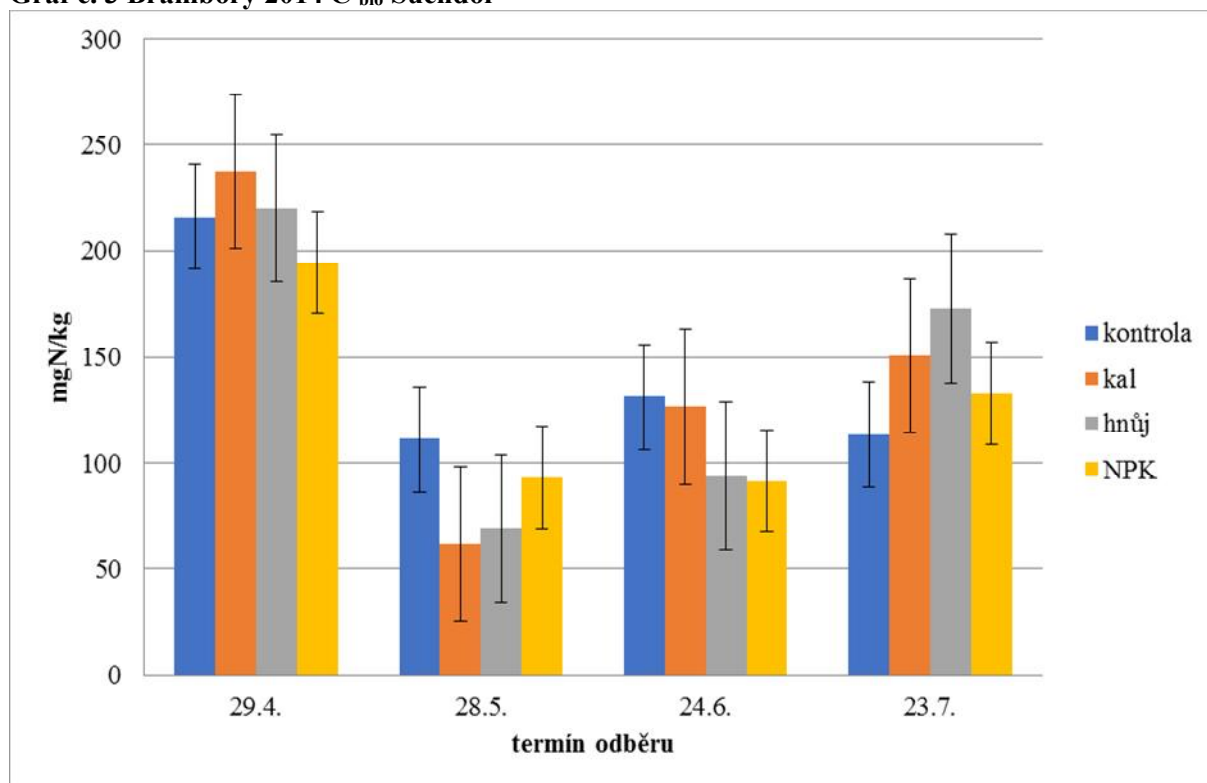
Diskuze

6.1 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy

6.1.2 Stanoviště Suchdol

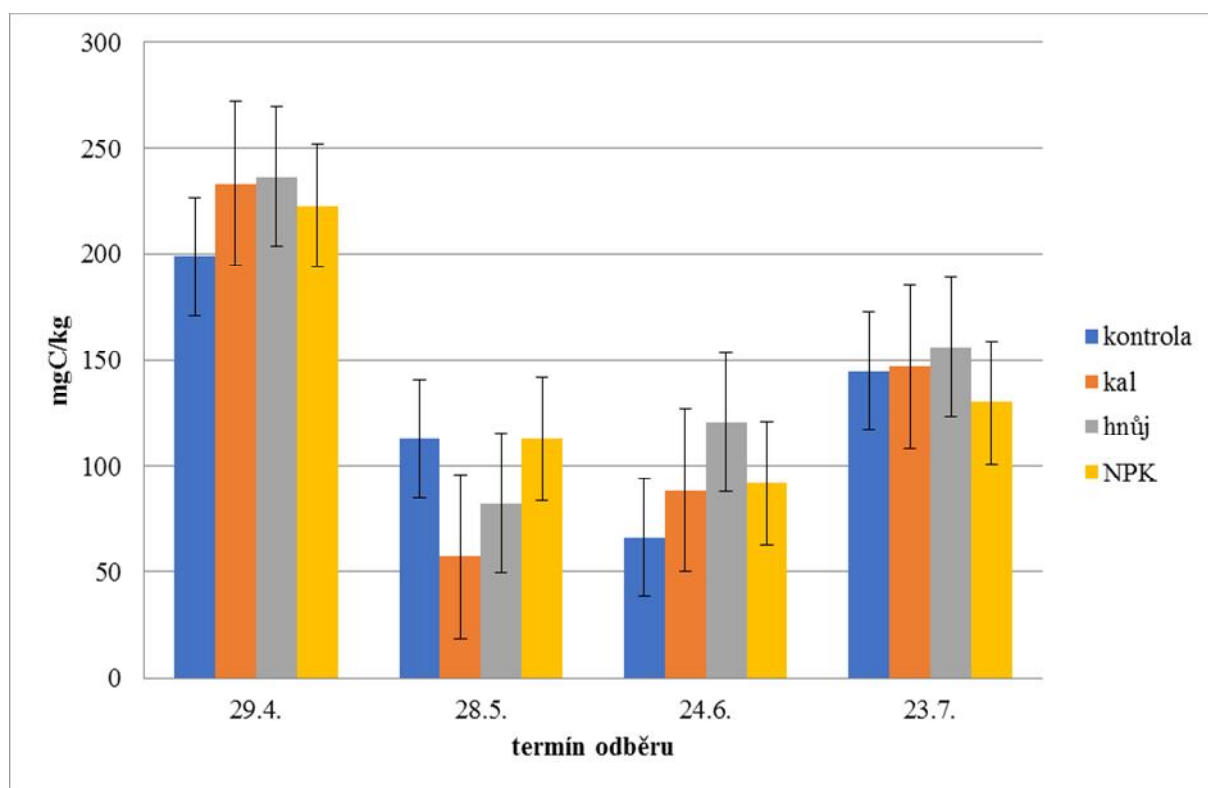
Na stanovišti Suchdol roce 2014 (graf č. 3) bylo vyšších hodnot obsahu uhlíku mikrobiální biomasy dosaženo v jarním a letním období. Lynch et Panting (1980) publikují, že naměřili třikrát vyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy na jaře a v létě než v zimě a na podzim. Černý et al (2008) uvádí, že obsah uhlíku mikrobiální biomasy závisí na hnojení, klimatických podmínkách, počasí a termínu odběru. Při odběru v květnu byl pozorován u brambor nižší obsah uhlíku mikrobiální biomasy u hnojených variant v porovnání s nehnojenou variantou. Mondal (2015) ve svém pokusu uvádí při dávce kalu 5 t/ha obsah mikrobiální biomasy v jednotlivých hloubkách 0-5 cm-643,65 mg C/kg, 5-15 cm 404 mg C/kg, 15-30 cm 226,23 mg C/kg. Tyto hodnoty jsou vyšší, než byly pozorovány na stanovišti Suchdol. Rozdíl je způsoben je to různým typem půdy, různou dávkou kalu, která byla na půdu aplikována také klimatickými podmínkami stanovišť. Na stanovišti, kde probíhaly Mondalovy pokusy se nachází písčito-hlinitá půda mírně alkalická půda s nízkým obsahem organické hmoty a vodorozpustných živin patřící do skupiny Iceptisolů, semiaridní podnebí s ročním úhrnem srážek 750-800 mm.

Graf č. 3 Brambory 2014 C_{bio} Suchdol



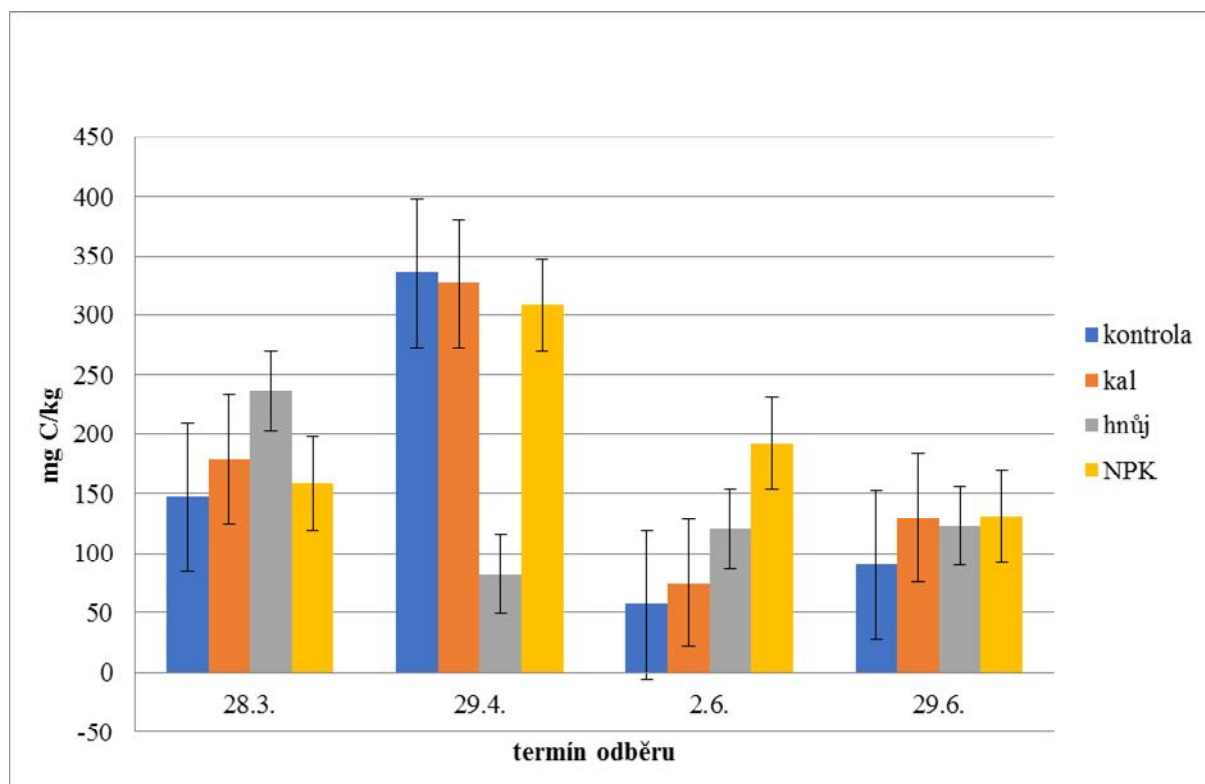
Jak z grafu č. 4 pšenice 2014 C_{bio} vyplývá byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy vyšší zejména v dubnu a červenci. Při porovnání hnojení kalem a hnojem bylo dosaženo vyšších hodnot ve většině případů hnojení hnojem. Na variantě hnojené NPK a variantě hnojené hnojem bylo dosaženo vyšších hodnot téměř u všech odběrů na variantě hnojené hnojem. Gong et al. (2006) zjistili, že hnojení minerálními hnojivy má menší vliv na obsah mikrobiální biomasy než hnojem. Černý et al., (2003) ve svém pokusu rovněž došli k tomu, že hnojení minerálními má nepřímý vliv na obsah mikrobiální biomasy, zvýšením výnosu plodin a následně vyšším návratem uhlíku ve formě posklizňových zbytků, které jsou substrátem pro mikroorganismy. Na dlouhodobě nehnojené variantě byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy téměř ve všech případech nižší ve srovnání s variantou hnojenou NPK. Je to opačný jev, než zjistili Černý et al, (2008). Varianta hnojená kalem měla na stanovišti Suchdol obsah uhlíku mikrobiální biomasy od 57,55-233,04 mg C/kg. V pokusu, který popisují Banerjee et al. (1997) byly na jílovitou půdu s pH 8,2 obsahem organického uhlíku 36 g/kg, celkového dusíku 3,8 g/kg aplikovány kaly. Při aplikaci dávky 50 t sušiny kalu /ha bylo dosaženo obsahu uhlíku mikrobiální biomasy od 1038-1957 mg C/kg. Vyšší hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy v porovnání se Suchdolem byly působeny rozdílnými půdními vlastnostmi a dávkou kalu.

Graf č. 4: Pšenice 2014 C_{bio} Suchdol



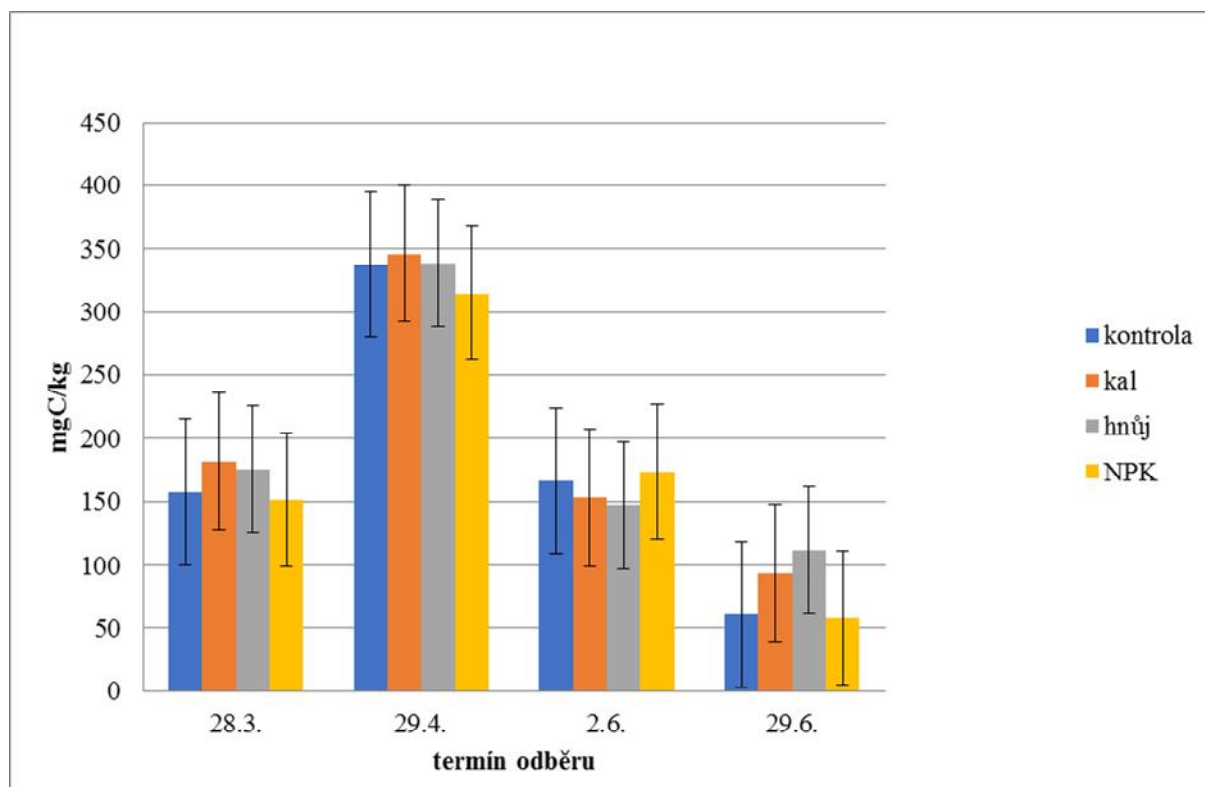
U pšenice 2015 C_{bio} Suchdol (graf č. 5) byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy při srovnání kontroly a kalem hnojené varianty téměř ve všech případech vyšší u kalem hnojené varianty v případě brambor (graf č. 6) tomu tak bylo také téměř ve všech případech. Jak uvádí (Mondal et al., 2015) kaly jsou důležitým zdrojem organické hmoty pro heterotrofní organismy a uhlík, který obsahují, stimuluje jejich růst. Při posledním odběru u brambor i pšenice bylo zjištěno při porovnání varianty hnojené minerálními hnojivy a u varianty hnojené hnojem vyšší obsah mikrobiální biomasy u hnojem hnojené varianty. Černý et al (2008) uvádí při použití minerálních hnojiv a chlévského hnoje také vyšší obsah mikrobiální biomasy u varianty hnojené chlévským hnojem. V případě varianty hnojené NPK byla maximální hodnota obsahu mikrobiální biomasy 327,10 mg C/kg. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy v pokusu, na které v Novém Dlí Mondal et al (2015) zjišťovali změny v kvalitě písčité půdy s mírně alkalickou půdní reakcí a nízkým obsahem organické hmoty a vodorozpustných živin bylo zjištěno u varianty hnojené NPK v hloubce 15-30 cm 226,23 mg C/kg. Ve srovnání se Suchdolem je tato hodnota nižší. Rozdíl v obsahu mikrobiální biomasy je dán jiným typem půdy, rozdílnými klimatickými podmínkami stanovišť.

Graf č. 5 Pšenice 2015 C_{bio} Suchdol



U brambor C_{bio} 2015 (graf č. 6) byl vyšší obsah mikrobiální biomasy v dubnu. Při hnojení chlévským hnojem byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy nejvyšší v březnu. Při dalších odběrech byl jeho obsah podobný. Garcia et Gil (2000), uvádějí, že v jejich experimentu se při aplikaci chlévského hnoje se obsah mikrobiální biomasy buď zvyšoval nebo byl na podobné hladině. Při srovnání variant hnojení kalem a hnojem bylo dosaženo téměř ve všech případech vyšších hodnot obsahu uhlíku mikrobiální biomasy na variantě hnojené kalem. V experimentu, na kterém Parat et al (2005) sledují dlouhodobý efekt aplikace organických hnojiv byl založen na fluvizemi. Obsah uhlíku mikrobiální biomasy na tomto experimentu při hnojení kalem ve srovnání hnojení hnojem vyšší u kalu. Obsah mikrobiální biomasy u hnoje v tomto pokusu byl 80 mg C/kg, u dávky kalu 10 t/ha 84 mg C/kg a při dávce kalu 100 t/ha 125 mg C/kg. Hodnoty jsou v porovnání se Suchdolem vyšší, protože se u pokusu liší typ půdy a dávka aplikovaného kalu.

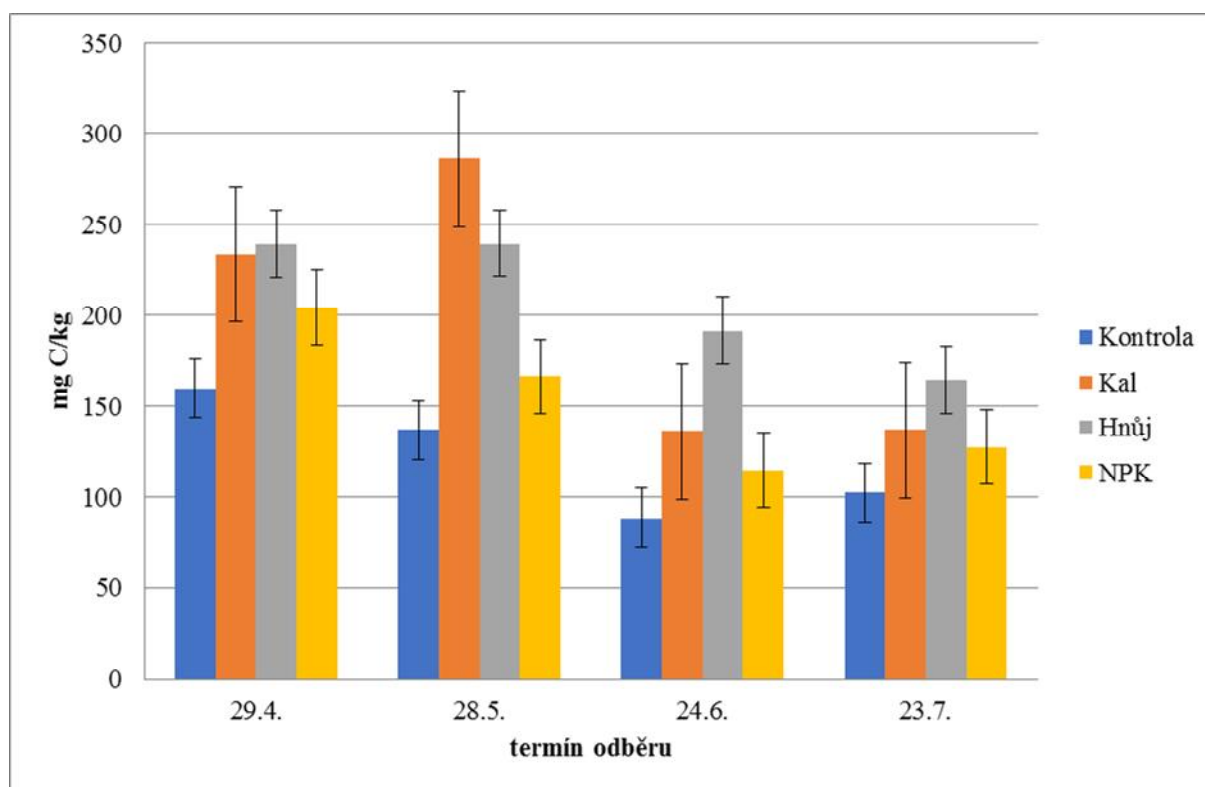
Graf č. 6 Brambory 2015 C_{bio} Suchdol



6.1.3 Stanoviště Červený Újezd

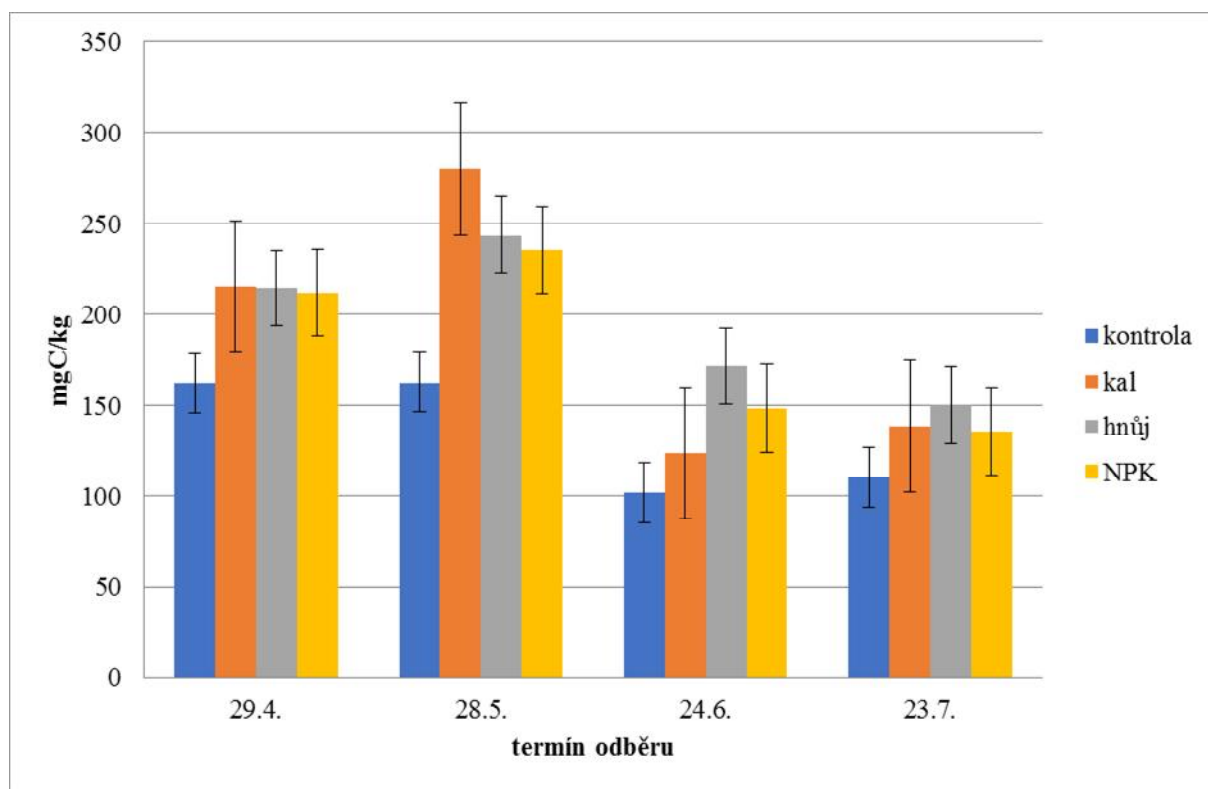
Na stanovišti Červený Újezd byly naměřeny u kukuřice C_{bio} 2014 (graf č. 7) vyšší hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy v roce 2014 při odběrech v dubnu a květnu. Může to být způsobeno postupně se zvyšujícími denními teplotami. Kontrolní varianta u kukuřice měla nižší obsah dusíku mikrobiální biomasy než v případě hnojení kalem. Banerjee et al (1997) rovněž zaznamenali vyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy ve variantě, kde byl aplikován kal než tam, kde nebylo hnojeno vůbec. U kukuřice při hnojení kalem a hnojem byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy vyšší než při minerálním a kontrolním hnojení. Při hnojení kalem byly v jarním období u kukuřice a pšenice vyšší hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy dubnu a květnu, při dalších odběrech v červnu a červenci byl obsah uhlíku biomasy podobný. Podobný obsah mikrobiální biomasy při odběrech v červnu a červenci může být vysvětlen stabilizací růstu mikroorganismů z důvodu vyčerpání živin, které byly do půdy přidány (Jedidi, 2004).

Graf č. 7 Kukuřice 2014 C_{bio} Červený Újezd



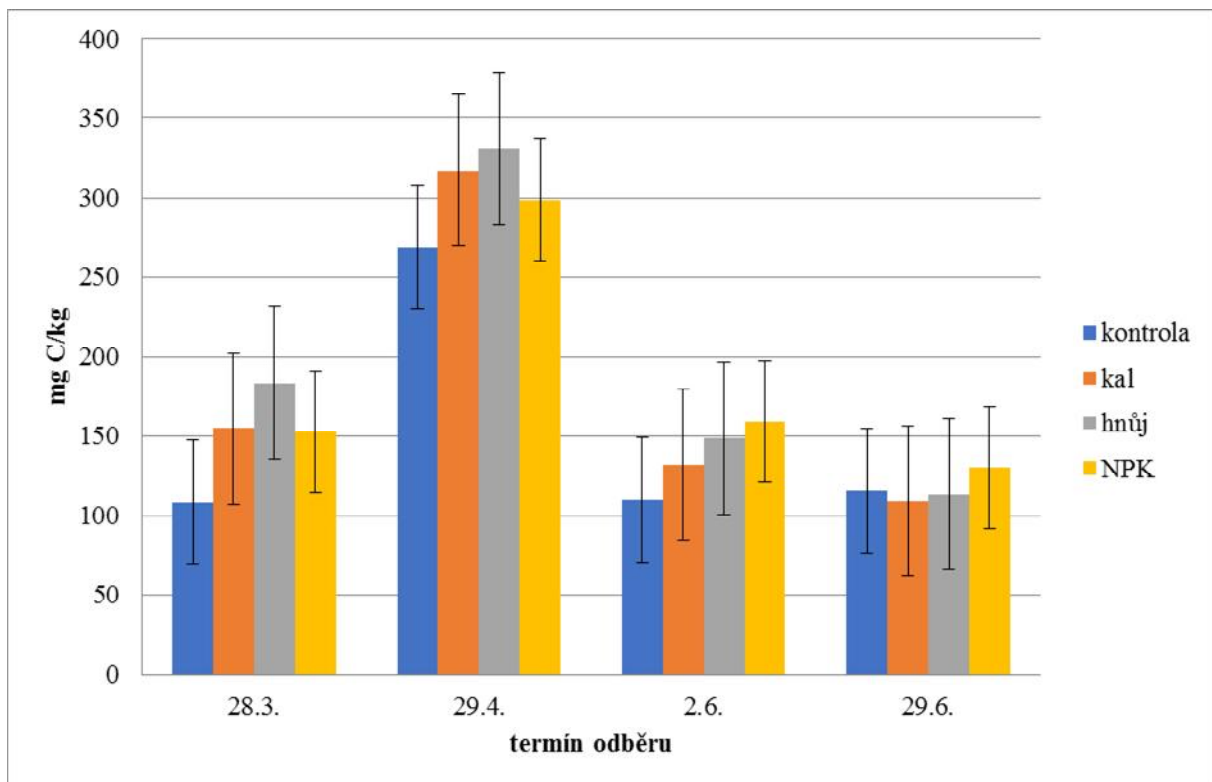
V grafu č. 8 Pšenice C_{bio} 2014 Červený Újezd byl obsah mikrobiální biomasy vyšší zejména v květnu, následně se poté držel u všech variant na podobných obsazích. Na dlouhodobě nehnojené variantě na Červeném Újezdě byl nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy 280,13 mg C/kg. Goyal et al (2006) provedli vysoce humózní andozemi polní pokus se střídáním plodin a obsah u nehnojené varianty byl 241 mg/kg. Tedy nižší než na stanovišti Červený Újezd. Rozdíl v obsazích uhlíku mikrobiální biomasy je dán typem půdy, klimatickými podmínkami stanoviště. Na stanovišti, kde byl založen experiment Goyala et al (2006) se nachází andozem, průměrná roční teplota zde je 13 °C a roční úhrn srážek je 1380 mm. Na Červeném Újezdě je roční průměrná teplota 7,7 °C a roční úhrn srážek 450 mm. V červnu byl obsah mikrobiální biomasy nízký. Lze říci, že vyššího obsahu mikrobiální biomasy bylo dosaženo dříve u kalu než u hnoje.

Graf č. 8 Pšenice 2014 C_{bio} Červený Újezd



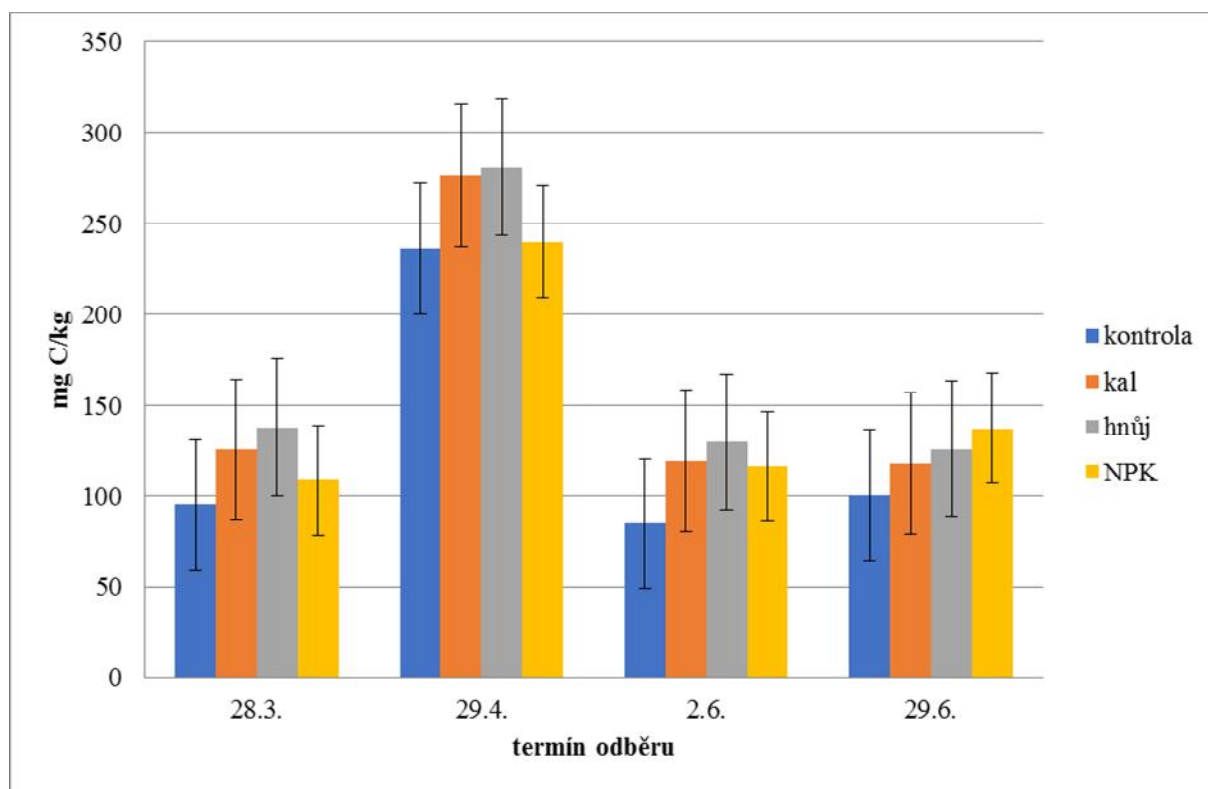
U pšenice C_{bio} 2015 Červený Újezd (graf č. 9) byly vyšší obsahy uhlíku mikrobiální biomasy dubnu a květnu. Při porovnání hnojení kalem a hnojem byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy vyšší než u kontrolního pozemku. Při porovnání minerálního hnojení a organického hnojení hnojem byl obsah po celou dobu trvání odběrů vyšší u organického hnojení. Černý et al (2008) v experimentu s pěstováním monokultury kukuřice s použitím minerálních a organických hnojiv uvádí, že nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl u hnojení chlévským hnojem. Při porovnání obou dvou stanovišť Suchdola a Červeného Újezdu byl obsah mikrobiální biomasy vyšší na Suchdole. Je to dáno lepšími podmínkami stanoviště, vyšší průměrnou roční teplotou. Na stanovišti Suchdol je průměrná roční teplota na stanovišti Suchdol vyššími denními teplotami a půdním typem, který se na stanovišti Suchdol nachází. Ale jak na stanovišti Suchdol, tak na Červeném Újezdě byly vyšší obsahy mikrobiální biomasy v jarním období. Obsah dusíku při hnojení kalem se po konci března snížil, ale poté byl jeho obsah podobný až do posledního odběru. Na nehnojené variantě byla maximální hodnota obsahu uhlíku mikrobiální biomasy 298,18 mg C/kg. Podobný obsah mikrobiální biomasy uvádí ve svém pokusu v případě nehnojené varianty i Mondal (2015)

Graf č. 9 Pšenice C_{bio} 2015 Červený Újezd



Maximální obsah dusíku mikrobiální biomasy byla při hnojení hnojem v dubnu (graf č. 10). Na variantě hnojené NPK nalezen podobný obsah dusíku mikrobiální biomasy při odběru v červnu jako v pokusu publikovaném Rosem et al (2006), kdy byl obsah dusíku mikrobiální biomasy 128,6 mg N/kg. Obsah dusíku při porovnání hnojení kalem s ostatními variantami je vyšší téměř ve všech případech při hnojení kalem. Po celou dobu pokusu byl obsah na variantě hnojené chlévským hnojem obsah uhlíku mikrobiální biomasy ze všech variant nejvyšší. Černý (2008) ve svém experimentu s rotací plodin také zjistil nejvyšší obsah uhlíku při hnojení chlévským hnojem. V tomto případě je vidět že od začátku odběru docházelo ke zvyšování obsahu mikrobiální biomasy při minerálním hnojení. Na kalem a hnojem hnojené variantě bylo dosaženo podobných obsahů uhlíku mikrobiální biomasy.

Graf č. 10 Kukuřice 2015 C_{bio} Červený Újezd

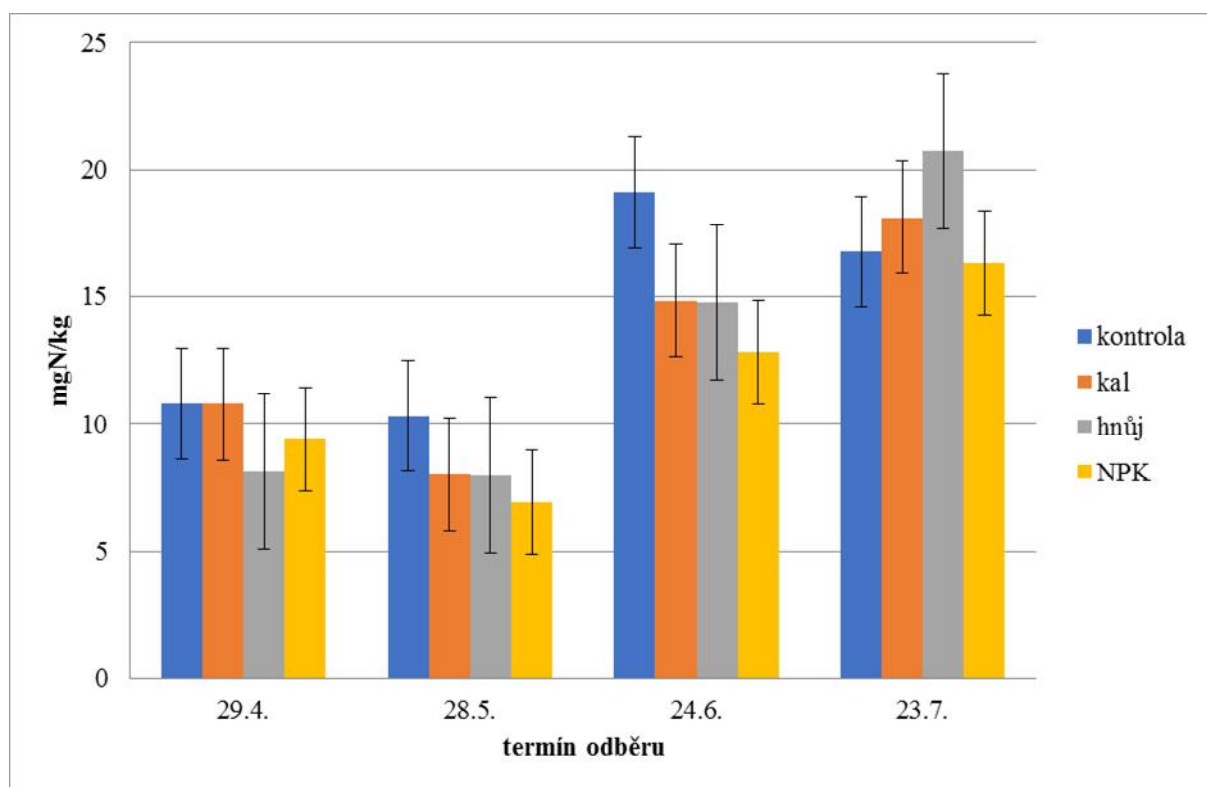


6.2 Obsah dusíku mikrobiální biomasy

6.2.1 Stanoviště Suchdol

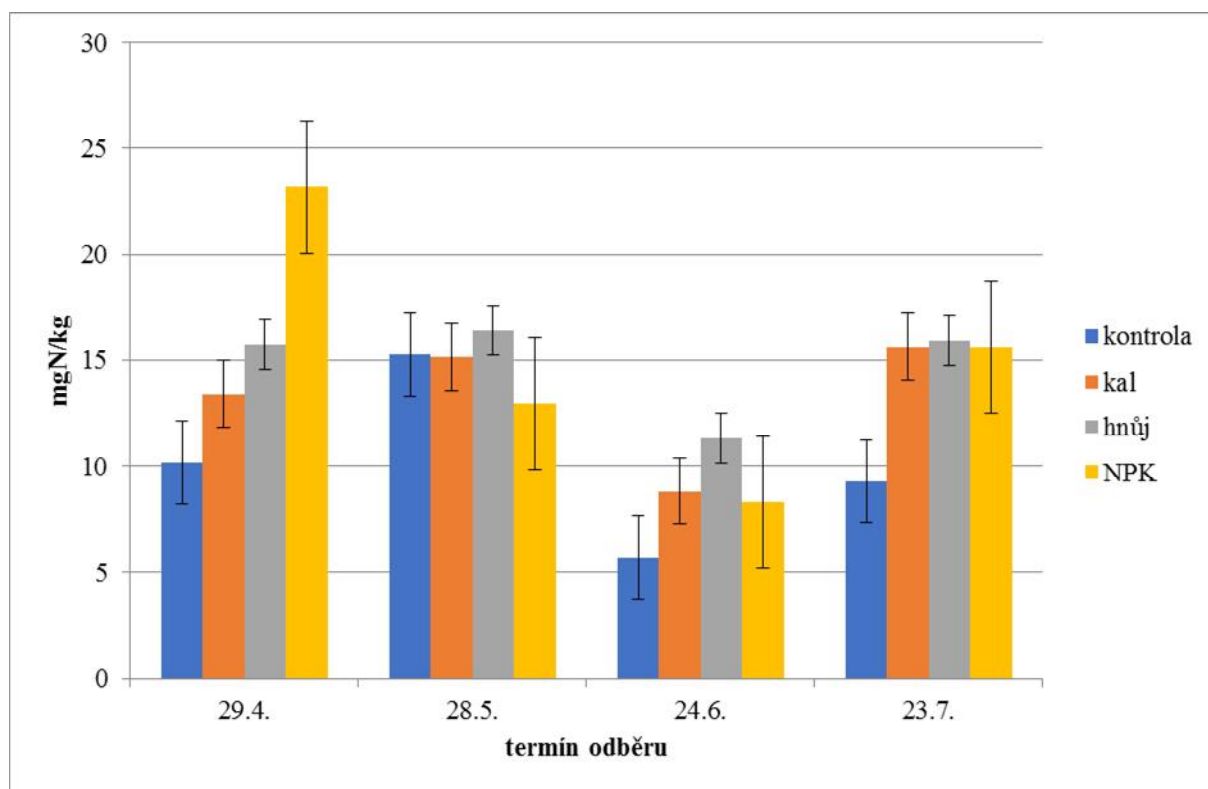
Obsah dusíku mikrobiální biomasy byl u brambor N_{bio} Suchdol (graf č. 11) v roce 2014 na stanovišti vyšší zejména při odběrech v červnu a červenci. Nižší obsah dusíku mikrobiální biomasy byl zjištěn při odběrech v květnu u všech variant. Důvodem může být, že před odběrem vzorků dle údajů meteorologické stanice na stanovišti Suchdol byl zaznamenán vyšší úhrn srážek. Na dlouhodobě nehnojené variantě a variantě hnojené NPK byl obsah dusíku mikrobiální biomasy po celou dobu trvání pokusu obsah dusíku vyšší na dlouhodobě nehnojené variantě. Důvodem může být, že dlouhodobá aplikace dusíku může snížit obsah mikrobiální biomasy (Černý et al, 2008). Avšak hnojení dusíkatými hnojivy má nepřímý pozitivní vliv na obsah dusíku mikrobiální biomasy zvýšeným výnosem plodin a posléze vyšším návratem primární organické hmoty do půdy (Geisler et Scow, 2014). Nejvyšší obsah dusíku mikrobiální biomasy mikrobiální biomasy dlouhodobě nehnojené kontrolní varianty byl 19,10 mg N/kg. V experimentu, který popisují Goyal et al (2006), kde se sledovaly změny obsahu mikrobiální biomasy při střídání plodin byl obsah mikrobiální biomasy u nehnojeného kontrolního pozemku 39 mg N/kg. Vyšší obsah dusíku mikrobiální biomasy v experimentu, který popisují je dán různým typem půdy.

Graf č. 11 Brambory N_{bio} Suchdol 2014



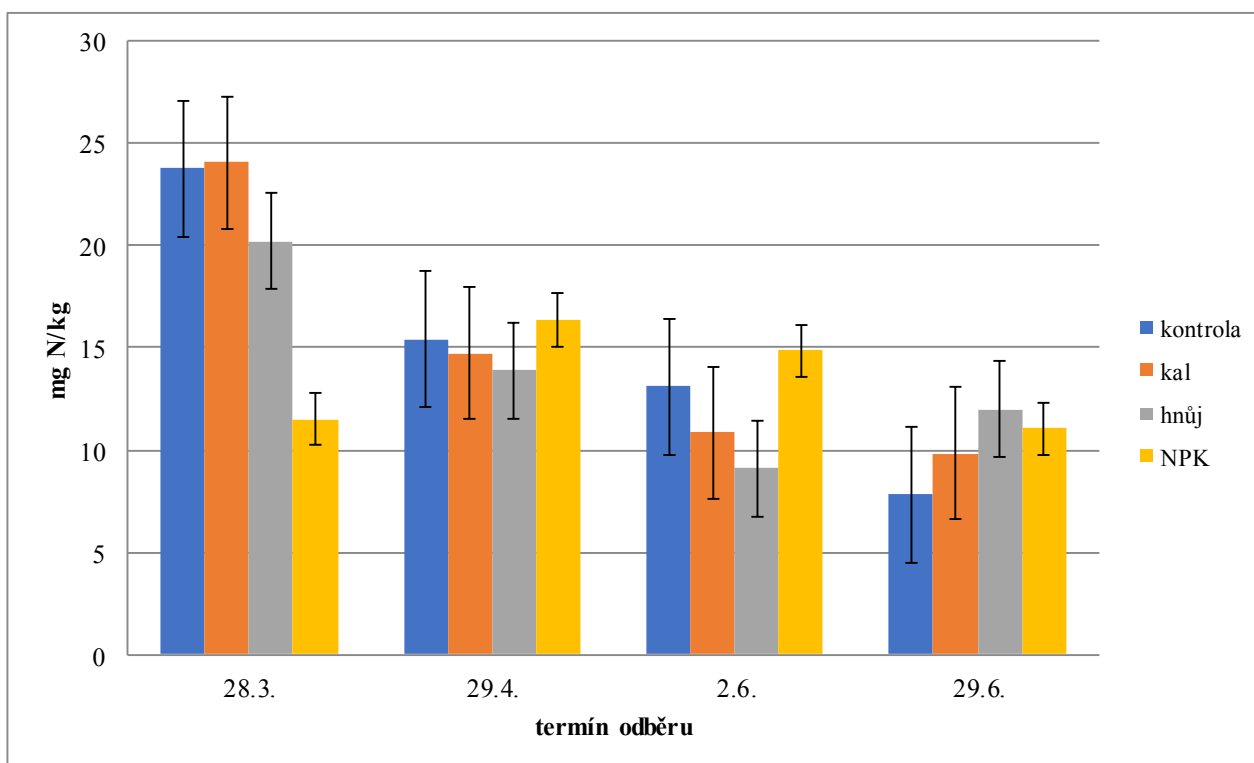
V případě pšenice N_{bio} Suchdol 2014 (graf č.12) bylo vyšších obsahů mikrobiální biomasy dusíku dosaženo v dubnu u všech variant. Podobných hodnot obsahu mikrobiální biomasy dusíku Fernandes (2005) dosáhl ve svém pokusu na nehnojené variantě a variantě hnojené NPK obsahu mikrobiální biomasy dusíku v hloubce 10-20 cm od 8-16 mg N/kg, 20-31 mg N/kg. Při aplikaci jednonásobné dávky kalu během první kultivace až čtvrté kultivace, kdy se dávka kalu pohybovala v rozmezí od 8095-3995 kg/ha byly hodnoty obsahu dusíku mikrobiální biomasy v pokusu Fernandese et al (2005) v rozmezí od 25,1-50,2 mg N/kg tedy daleko vyšší než na stanovišti Suchdol. Je to dáno rozdílným typem půdy, klimatickými podmínkami a dávkami kalu, které byly aplikovány během jednotlivých kultivací. Pokus, který popisují Fernandes et al (2005) se nachází v tropickém podnebí v Sao Paolu v Brazílii na červené jílovité půdě. Na stanovišti Suchdol se nachází černozem. Podobných hodnot obsahu mikrobiální biomasy dusíku jako v květnu bylo na stanovišti Suchdol u variant hnojených kalem a hnojem dosaženo i v červenci.

Graf č. 12 Pšenice N_{bio} Suchdol 2014



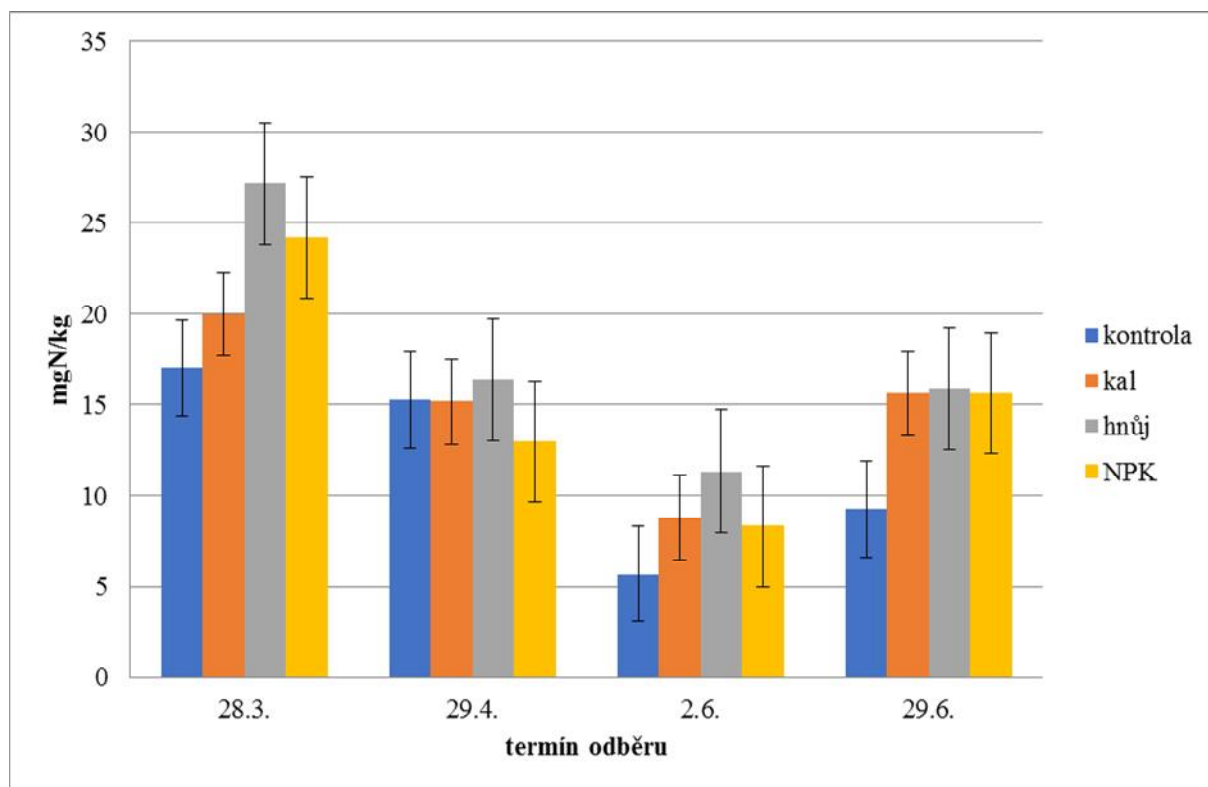
Obsah mikrobiální biomasy u brambor N_{bio} Suchdol v roce 2015 (graf č. 13) byl vysoký hlavně v březnu, nízký byl ve většině případů na konci června. Při hnojení kalem a minerálními hnojivy došlo ke zvýšení obsahu dřívě u kalů, kdežto u minerálního hnojení byl nárůst obsahu. Po březnovém odběru se obsah dusíku mikrobiální biomasy snížil to může být způsobeno, jak uvádí Jedidi (2004) tím, že dusík byl mineralizován a následně imobilizován. Na variantě hnojené hnojem byl obsah mikrobiální dusíku biomasy Na dlouhodobě nehnojené variantě a variantě hnojené kalem byl téměř ve všech případech vyšší u kalem hnojené varianty. Fernandes et al (2005) měli při srovnání nehnojené varianty a varianty hnojené kalem také vyšší obsahy dusíku mikrobiální biomasy u variant kam byl aplikován kal. Obsah mikrobiální biomasy na kontrolní variantě v rozmezí od 7,84-23,79 mg N/kg. Fernandes et al (2005) uvádí 8.0-16 mg N/kg. Tyto hodnoty jsou v porovnání s hodnotami dosaženými na Suchdole nižší. Je to dáno odlišnostmi obou stanovišť.

Graf č. 13 Brambory N_{bio} 2015 Suchdol



U pšenice N_{bio} 2015 (graf č.14) byl obsah mikrobiální biomasa dusíku vyšší v jarním období tedy hlavně v březnu u všech variant. Po celou dobu byl obsah dusíku mikrobiální biomasy vyšší u varianty hnojené hnojem hnoje než na variantě, kam byl aplikován kal. Podobný obsah dusíku byl zjištěn při odběrech v dubnu a na konci června. Varianta hnojená hnojem měla po celou dobu odběrů nejvyšší obsah mikrobiální biomasy oproti ostatním variantám. Na dlouhodobě nehnojené variantě byl obsah dusíku mikrobiální biomasy v období odběrů od 4,06-21,26 mg N/kg. V porovnání s tím, co uvádí Černý et al (2002) kdy na stejném stanovišti byl obsah dusíku mikrobiální biomasy u této varianty 13,2-32,4 mg N/kg. Obsah mikrobiální biomasy ve srovnání s tím, co zjistili Černý et al (2008) byl obsah mikrobiální biomasy v tomto pokusu nižší. Může to být způsobeno termínem a rokem odběru vzorků a počasím.

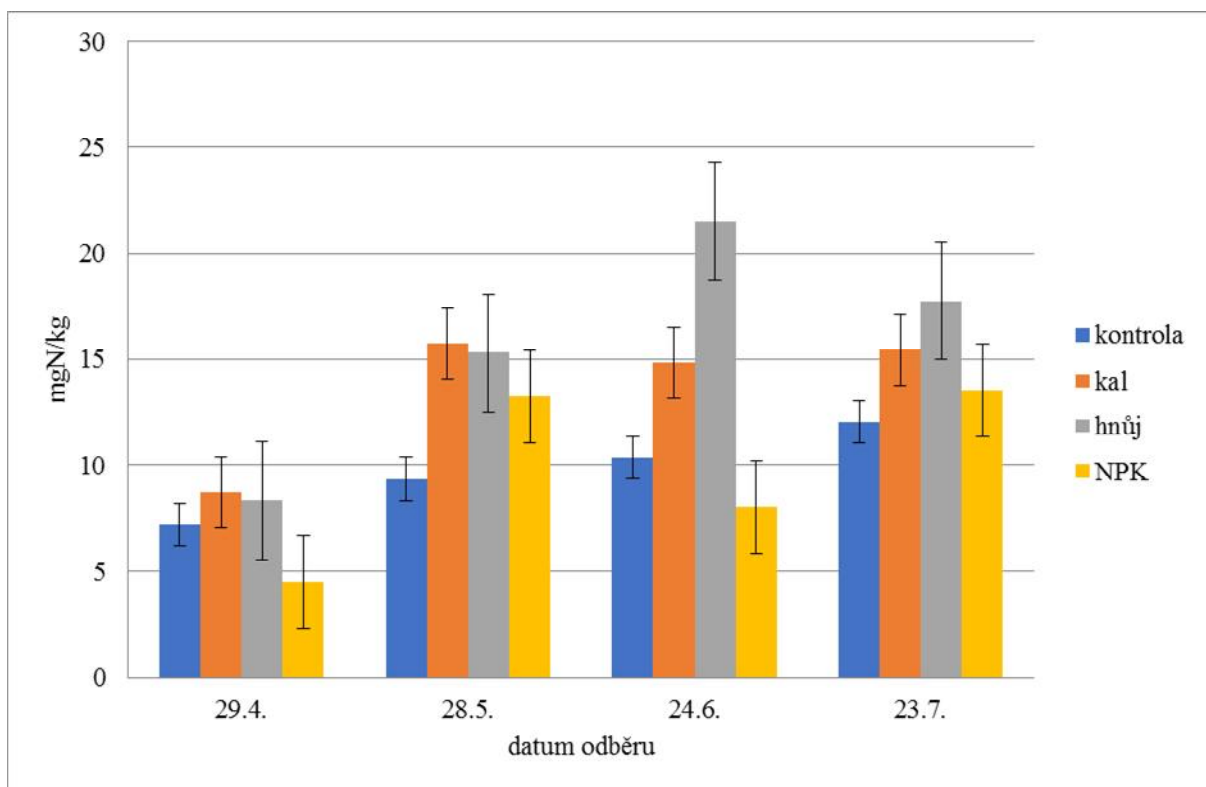
Graf č.14 Pšenice N_{bio} 2015 Suchdol



6.2.2 Stanoviště Červený Újezd

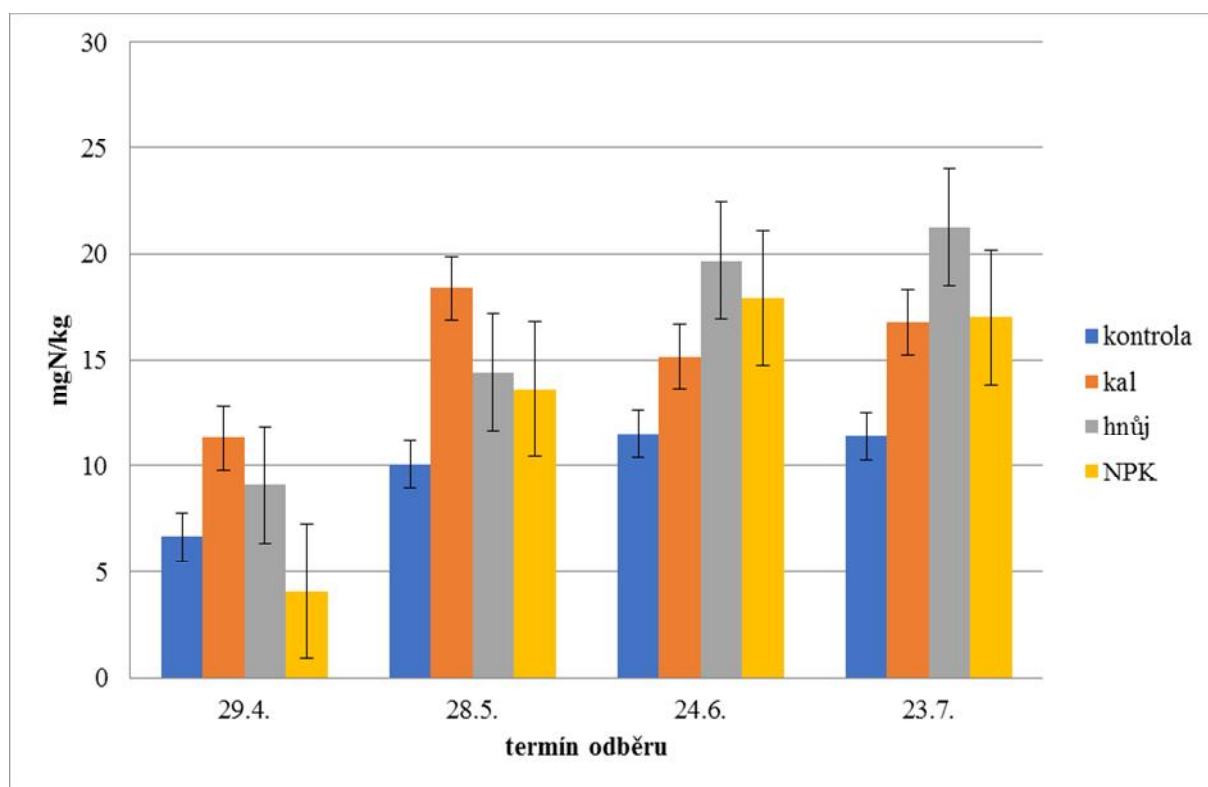
Na stanovišti Červený Újezd byl u kukuřice N_{bio} 2014 (graf č. 15) v závislosti na termínu odběru a na variantě od 4,50-21,52 mg N/kg. V porovnání s tím, co na stejném stanovišti uvádějí Černý et al. (2002) kdy se obsah dusíku mikrobiální biomasy se v závislosti na variantě a termínu odběru pohyboval od 3,6-28,5 mg N/kg. Tedy obsah dusíku mikrobiální dosahoval v experimentu nižších minimálních hodnot ale vyšších maximálních hodnot. Nízké hodnoty obsahu dusíku mikrobiální biomasy zjištěné v dubnu mohou být způsobeny nízkými teplotami. Při hnojení kalem a hnojem byl obsah dusíku mikrobiální biomasy vyšší při hnojení kalem. Při porovnání kontrolní varianty minerálním hnojením byl vyšší obsah mikrobiální biomasy u kalem hnojené varianty

Graf č. 15 Kukuřice N_{bio} 2014 Červený Újezd



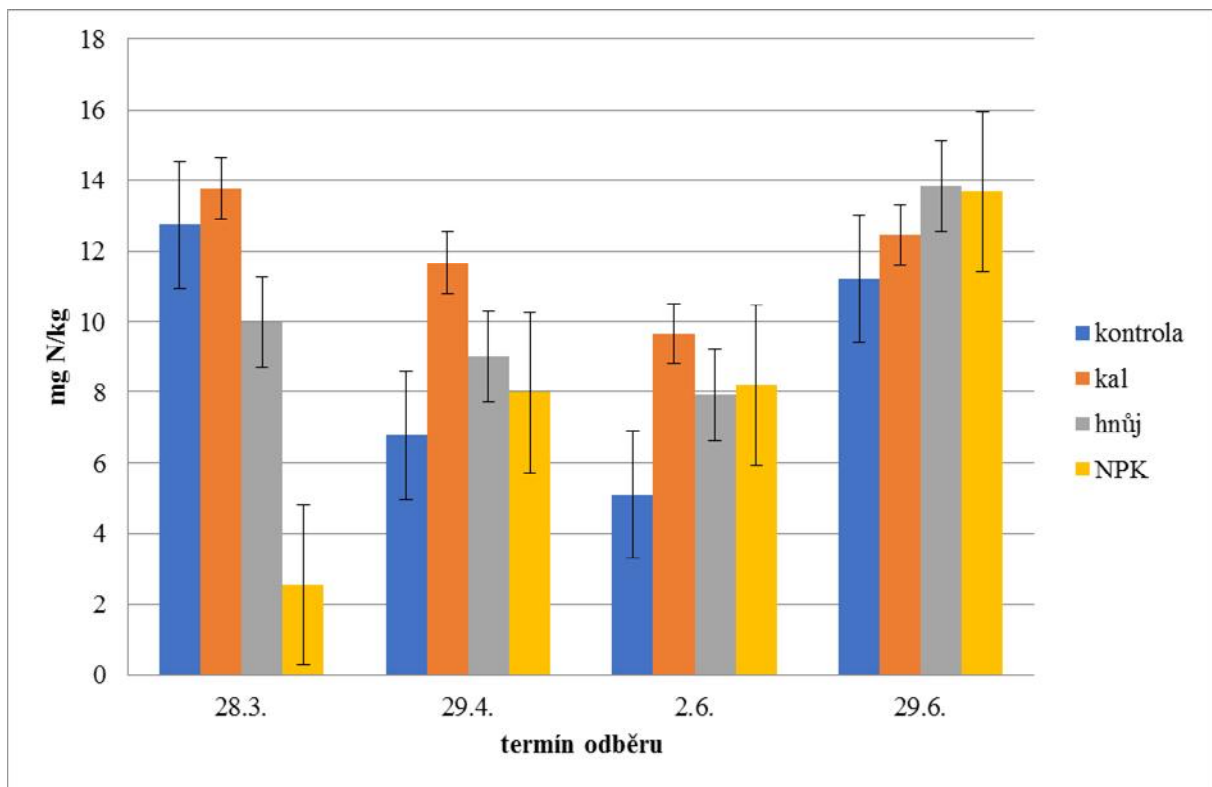
Z grafu č. 16 pšenice N_{bio} 2014 vyplývá, že obsah dusíku mikrobiální biomasy na stanovišti Červený Újezd byl v dubnu nejnížší. Důvodem může být nižší úhrn srážek v tomto období. Při porovnání hnojení hnojem a NPK byl obsah vyšší při hnojení hnojem. Lze ale říci že během odběrů obsah dusíku mikrobiální biomasy dříve narostl u kalu, u hnoje o měsíc později. To může potvrdit hypotézu, že je u kalu nižší stabilita organických látek, a proto dojde k zvýšení obsahu mikrobiální biomasy rychleji. Varianta hnojená NPK měla nejnížší obsah dusíku mikrobiální biomasy. Obsah dusíku mikrobiální biomasy byl u kalem hnojené varianty v rozmezí od 11,31-18,38 mg N/kg. Fernandes et al (2005) zjistili ve svém experimentu zjistili při dvojnásobné dávce kalu kdy se dávka kalu během první až čtvrté kultivace pohybovala v rozmezí od 7991-16190 kg/ha se obsah mikrobiální biomasy při odběru vzorků z hloubky 10-20 cm 32-69 mg N/kg. Rozdílný obsah dusíku mikrobiální biomasy na stanovišti Červený Újezd a stanovišti na kterém, Fernandes et al (2005) provádí své pokusy je dán rozdílnou dávkou kalu, které jsou na stanovišti Červený Újezd nižší a rozdílnými půdně klimatickými podmínkami stanovišť.

Graf č. 16 Pšenice N_{bio} 2014 Červený Újezd



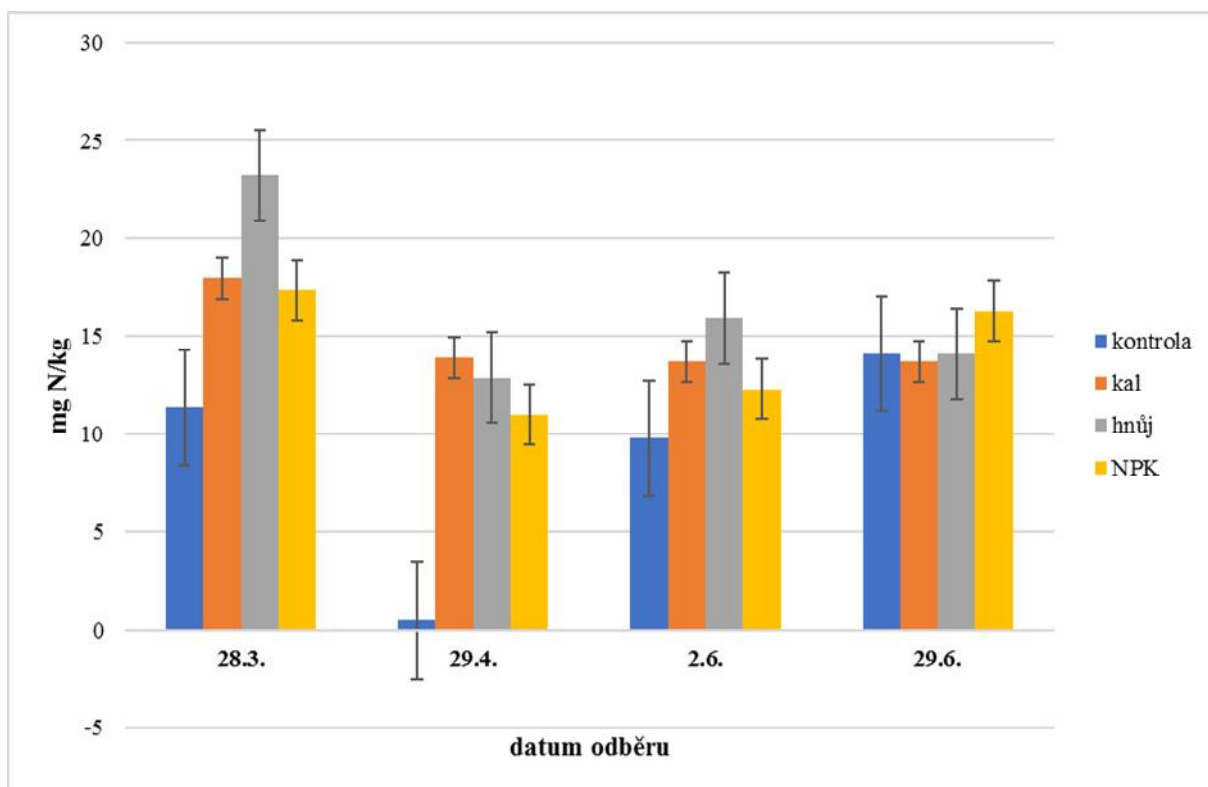
V případě Kukuřice 2015 N_{bio} Červený Újezd v roce 2015 (graf č. 17) vyšších hodnot dosaženo na konci června. Nízké hodnoty byly zjištěny 29.4. všech variant. Při porovnání minerálního a nehnojené kontrolní varianty byl obsah biomasy dusíku vyšší minerálního hnojení. Při hnojení kalem byl obsah dusíku mikrobiální biomasy nejvyšší v březnu, následně se držel na podobných obsazích. Téměř ve všech případech byl obsah dusíku mikrobiální biomasy na nehnojené kontrolní variantě ve srovnání s variantou hnojenou NPK vyšší na variantě hnojené NPK. Naopak Černý et al. (2002) ve svém experimentu zjistili že pokud byla varianta hnojena pouze dusíkatými hnojivem byla ve srovnání s nehnojenou tendence k nižšímu obsahu mikrobiální biomasy dusíku u dusíkatými hnojivem hnojených variant. Ale v tomto případě, lze potvrdit při hnojení minerálním hnojivem pozvolnější změny v obsahu mikrobiální biomasy dusíku.

Graf č. 17 Kukuřice 2015 N_{bio} Červený Újezd



Obsah mikrobiální biomasy vyšší v březnu (graf č. 18). Při porovnání minerálního hnojení a nehnojené kontroly byl obsah nižší u nehnojené kontroly. To je přesný opak toho, co uvádí Černý et al. (2003), že při srovnání minerálního a dlouhodobě nehnojené varianty byla tendence k nižšímu obsahu dusíku u minerálně hnojené varianty. Při hnojení hnojem a kalem dosahoval obsah dusíku mikrobiální biomasy u obou variant vyšších hodnot v březnu, následně byl obsah u obou variant až do posledního odběru podobný. Na kalem hnojené variantě byl obsah dusíku mikrobiální biomasy nejvyšší v březnu, při dalších odběrech byl jeho obsah podobný.

Graf č. 18 Pšenice N_{bio} Červený Újezd



6. Závěr

Práce měla za cíl vyhodnotit vliv aplikace čistírenských kalů na obsah mikrobiální biomasy v půdě. Obsah mikrobiální biomasy byl zjišťován na dvou stanovištích, kde probíhají dlouhodobé polní pokusy. V dlouhodobém polním pokusu bylo použito následující hnojení: NPK, chlévský hnůj, kal a dlouhodobě nehnojená kontrola. Obsah mikrobiální biomasy byl stanovován pomocí extrakčně fumigační metody.

V porovnání s porovnávanými experimenty byly obsahy dusíku a uhlíku mikrobiální biomasy na obou stanovištích na Suchdole a na Červeném Újezdě nižší. Je to dáno různými půdně-klimatickými podmínkami, rokem odběru, kdy byly vzorky z porovnávaných stanovišť odebírány.

- V případě aplikace čistírenských kalů byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy na lokalitě Červený Újezd téměř byl ve všech případech vyšší v první roce pozorování. Ve druhém roce se obsah uhlíku mikrobiální biomasy na této lokalitě v polovině případů snížil. Na Stanovišti Suchdol bylo dosaženo vyššího obsahu mikrobiální biomasy v prvním roce pozorování. Obsah dusíku mikrobiální biomasy byl na stanovišti Červený Újezd při hnojení kalem vyšší v prvním roce pozorování v polovině případů. Na Suchdole byl obsah dusíku mikrobiální biomasy byl obsah v polovině případů vyšší v polovině případů.
- Při srovnání kalu s hnojem bylo dosaženo vyššího obsahu uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy rychleji na obou stanovištích
- V případě vlivů hnojení NPK a hnojení kaly bylo u uhlíku mikrobiální biomasy dosaženo pozvolnějších změn na stanovišti Červený Újezd i Suchdol.
- Závislost mezi uhlíkem a dusíkem mikrobiální biomasy je dána termínem odběru rokem odběru a půdně klimatickými podmínkami stanovišť.

8. Použitá literatura

1. Adas (1982). The use of sewage sludge on agriculture land. Booklet2409. MAFF Publications Alnwick p.13
2. Agvise Laboratories: Education articles. *Biological activity testing: Microbial biomass* [online]. Northwood: Agvise Laboratories [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.agvise.com/educational-articles/microbial-biomass/>.
3. Banerjee, M., Butron, D., L., Depoe, S (1997). Impact of sewage sludge application on soil biological characteristic. *Agriculture, Ecosystems and Environmet.* 66 241-249.
4. Brady, N.C., Weil, R R. (2008). The nature and properties of soils. 14 ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. ISBN: 987-0-13-227938-3
5. Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Nedvěd, V. 2008. The changes in microbial biomass C and N in long-term experiments.[online] *Plant Soil and Environment.* 54 (5) 212-218 p. dostupné z: agriculturejournals.cz
6. Černý, J., Balík, J., Štípek, K., Balíková M. 2002. Změny obsahu dusíku ve stacionárních pokusech s kukuřicí dostupné na : http://www.agris.cz/zemedelstvi?id_a=118887
7. Dick, R.P. (1992). A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbiological parametres. *Agriculture Ecosystems and Environmet* 40 (1) 25-36 p
8. Fernandes S. A, P, Bettiol W, Cerri, C. C. (2005). Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology* 30 (1)
9. Fleißbach A. Martens, Reber, H., H. (1994). Soil microbial aktivity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. *Soil Biologx and Biochemistry.* 26 (9).1201-1205
10. Garcia-G., Plaza, C., Soler-Rovira, P., Polo, A. (2000). Long-term effects of municipal solid waste compost application on enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry.* 32 (13). 1907-1913
11. Geisseler, D., Scow K., M. (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms. *Soil Bilogy and Biochemistry.* 75 54-63 p.

12. Gergeľová Z. (2008). Využitie čistiarenských kalov a dnových sedimentov v poľnohospodarstve. Agrokomplex Nitra. 28 s. ISBN: 9788071391265
13. Gong, W., Yan X., Wang J., Hu, T. Gong Y. 2009. Long-term manure and fertilizers effects on soil organic matter fractions and microbes under wheat-maize cropping system in Northern China. *Geoderma* 149 (3-4) 318-324
14. Goyal, S., Sakamoto, K., Inubushi, K, Kamewada, K. (2006). Long-term effect of inorganic fertilization and organic amendment on soil organic matter and soil microbial biomass properties in Andosols. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 52 (6). 617-625 p.
15. Cheng, H.H., Kimble, J.M (2001). Characterization of Soil Organic Carbon Pools. In Lal, R. Assessment methods for soil carbon. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers,, *Advances in soil science* (Boca Raton, Fla.). 676 p. ISBN 1566704618.
16. Ivanič, J., Havelka, B., Knop, K. (1984). Výživa a hnojenie rastlín. *Príroda Bratislava*. 488 s.
17. Jedidi N., Hassen A., Van Cleemput O., M'Hiri, A. (2004). Microbial biomass in a soil amended with different types of organic wastes. *Waste management & Research* 22 (2) 93-99
18. Joergensen R.G. (1995) The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EC} value. *Soil Biology and Biochemistry*. 28 (1) 25-31
19. Joergensen, R, G, Wu, J., Brookes, P., C. (2011) Measuring soil microbial biomass using an automated procedure. *Soil biochemistry and biology*. 43 (5) 873-876
20. Klaban, V. (2011). *Ekologie mikroorganizmů-Illustrovaný lexikon biologie, ekologie a patogenity mikroorganizmů*. Galén. Praha. 549 s. ISBN: 9788072627707
21. Lal, R. Kimble, J. et Follett. (1998). Pedosperic processes and the carbon cycle. In: Lal, R., Kimble J. R.F. Follet. *Soil Processes and the Carbon cycle*. CRC Press. ISBN: 0-8493-7441-3
22. Látal, O., Pozdíšek, J., Štýbnarová, M., Kopeček, P. (2015). Zlepšení ekonomiky a efektivity výroby statkových hnojiv s využitím aktivátorů biologické transformace organické hnoty pro zlepšení půdních vlastností. *Agrovýzkum Rapotín s.r.o.* ISBN 978-80-87592-24-3
23. Lima, L.D.D., Santos, S.M., Scherer, H.W., Shneider, R., J., Duarte A, C., Santos, E., B., H., Esteves, V., I. (2009). Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. *Geoderma*. 150 (1-2) 38-45 p.

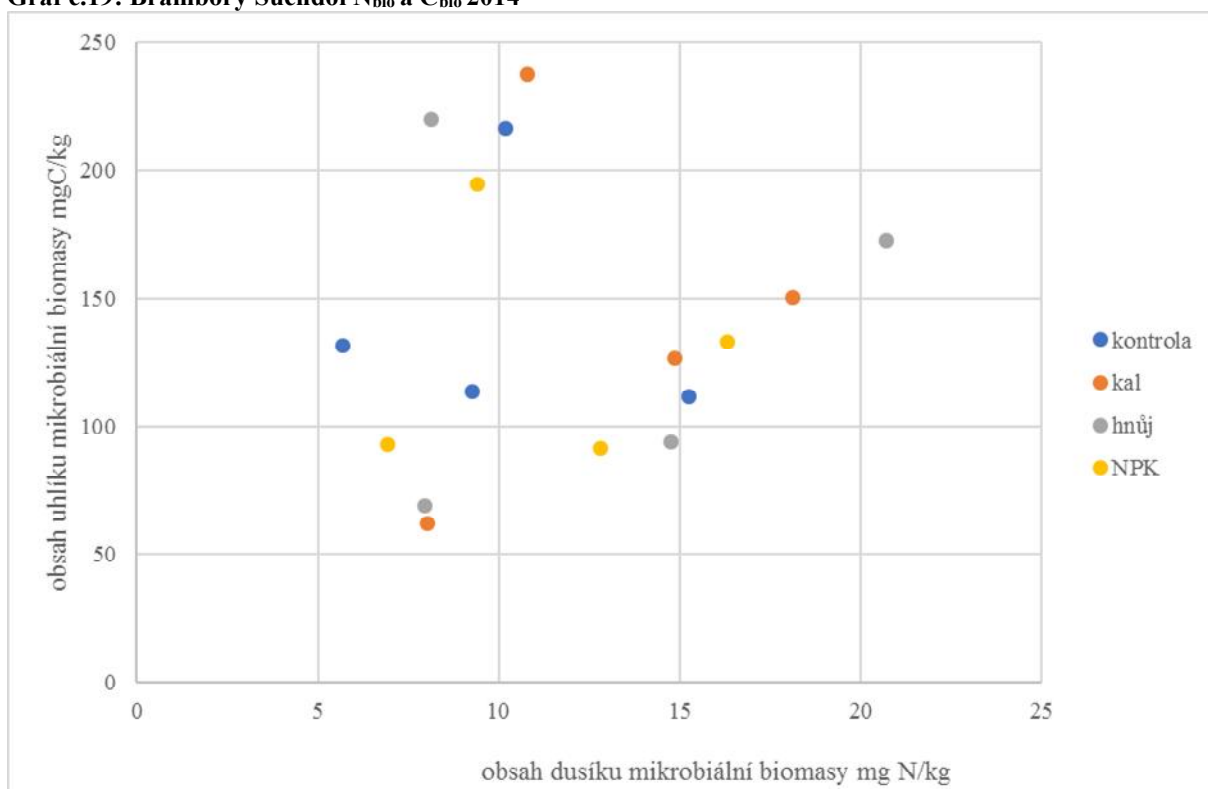
24. Lynch J.M., Panting L.M. (1980). Cultivation the soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. 12 29-33 p.
25. Mantovi, P., Baldoni,G., Toderi,G. (2005). Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land:effect of long term application.*Water Research*.39 (2-3) 289-296
26. Mondal, S., Singh, R.D., Patra, A., K., Dwivedi, B. S. (2015). Changes in soil quality response to short-term application of municipal sewage sludge in a typic halustept under cowpea-wheat cropping system. *Environmental Nanotechnology, Monitoring Management*. 4 37-41 p.
27. Muller, T., Joergensen R., G., Meyer, B. (1992) Estimation of soil microbial biomass C presence of living roots by fumigation- extraction. *Soil Biology and Biochemistry*. 24 (2). 179-181
28. Parat, C., Chaussod, R., Léveque, J. Andreux F. (2005). Long-term effect of metal containig farmyard manure and sewage sludge on organic matter in a fluvisol. *Soil Biology nad Biochemistry*. 37 (4) 673-679
29. Pospíšilová, L, Vlček, V. (2015). *Chemické a fyzikální ukazatele kvality/zdraví půdy*. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-244-1
30. Powlson D.S. 1994. The soil microbial biomass: Before , beyond and back. In: Ritz K., Dighton, J., Giller K.E.1994. *Beyond the Biomass: compositional and functional of soil microbial communities*. New York. Wiley-Sayce Publication. 275 p. ISBN: 0471950963
31. Raclavská, H. 2007. *Technologie zpracování a využití kalů z ČOV*.Ostrava. 171 s. ISBN: 9788024816005
32. Richter, R., Kubát, J. (2003). *Organická hnojiva jejich výroba a použití*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 56 s. ISBN 80-7271-133-4
33. Ros, M., Klammer, S., Knapp, B., Aichberger, K., Islam, H. (2006). Long-term effects of composts amendmnets of soil on functional and structural diversity and microbial aktivty. *Soil Use and Management*. 22 (2). 209-218
34. Rudolf, E. (2004) Čistírenské kaly z hlediska právních předpisů a ochrany životního prostředí. In. Pecinová A, Halousková, O. *Kaly z čistíren odpadních vod* 24.-25. Února 2004, Seč- Ústupy. *Vodní zdroje Ekomonitor*. 133 s. ISBN: 8086832007
35. Růžek, L., Nováková, M., Voříšek, K., Skořepová, I., Vortelová L., Kalfařivá, Z., Černý, J., Částka, T., Barabasz, W. (2005). Microbial biomass C determined using CaCl₂ and

- K₂SO₄ [online]. *Plant Soil and Environment*. 51 (10). 439-446 p. dostupné z: www.agriculturejournals.cz
36. Růžek, L., Voříšek, K., Strnadová S., Nováková, M., Barabasz, W. (2004). Microbial characteristics,[online] *Plant Soil and Environment*. 50 (5) 196-204 p. dostupné z: www.agriculturejournals.cz
37. Sastre, I., Vicente M., A., Lobo, M., C. (1996). Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. *Bioresource*. 57 19-23 p.
38. Scow, K. M. (1997). *Soil Microbial Communities and Carbon Flow in Agroecosystems*. Academic press. University of California, Davis. p. 367- 414. ISBN: 978012378260116
39. Singh, R., P., Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*. [online]. [28.2.16]. dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0956053X07000141>
40. Smith S.R. *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. (1996). Wallingford Cab International 382 p. ISBN: 0851989802
41. Srb, M., Vacková, L., Škrovan, O., Pečenka, M. Wannwr, J. (2009). Klasické a pokročilé technologie odstraňování fosforu z bodových zdrojů znečištění živinami In: Znečištění povrchových vod živinami: příčiny, důsledky a možnosti řešení (eu)trofizace : sborník konference: Praha, Novotného lávka. 11.června.2009. Praha: Český svaz vědeckotechnických společností
42. Stadelmann, X., Furrer, O.J. (1981). Influence of sewage sludge application on organic matter content, microorganisms and microbial activities of sandy loam soil. In: Catroux, G., P. L'Hermite, E. Suess. *The Influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils: proceedings of a seminar organized jointly by the Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research, and Development and the Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Munich, Federal Republic of Germany, held in Munich, June 23-24, 1981*. Hingham, MA: Sold and distributed in the U.S.A. and Canada by Kluwer Boston, c1983. ISBN 9027715017
43. Stenberg B., Johanson M., Pell M., Sjö Dahl-Svensson K., Stenström J., Torstensson L. 1998. Microbial biomass and activities in the soil as affected by frozen and cold storage. *Soil Biology and Biochemistry*. 30 (3) 393-402 p.
44. Stevenson F., J., Cole, M., A. (1999). *Cycles of soil Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients* 2nd. ed. New York. Willey. ISBN: 0471320714

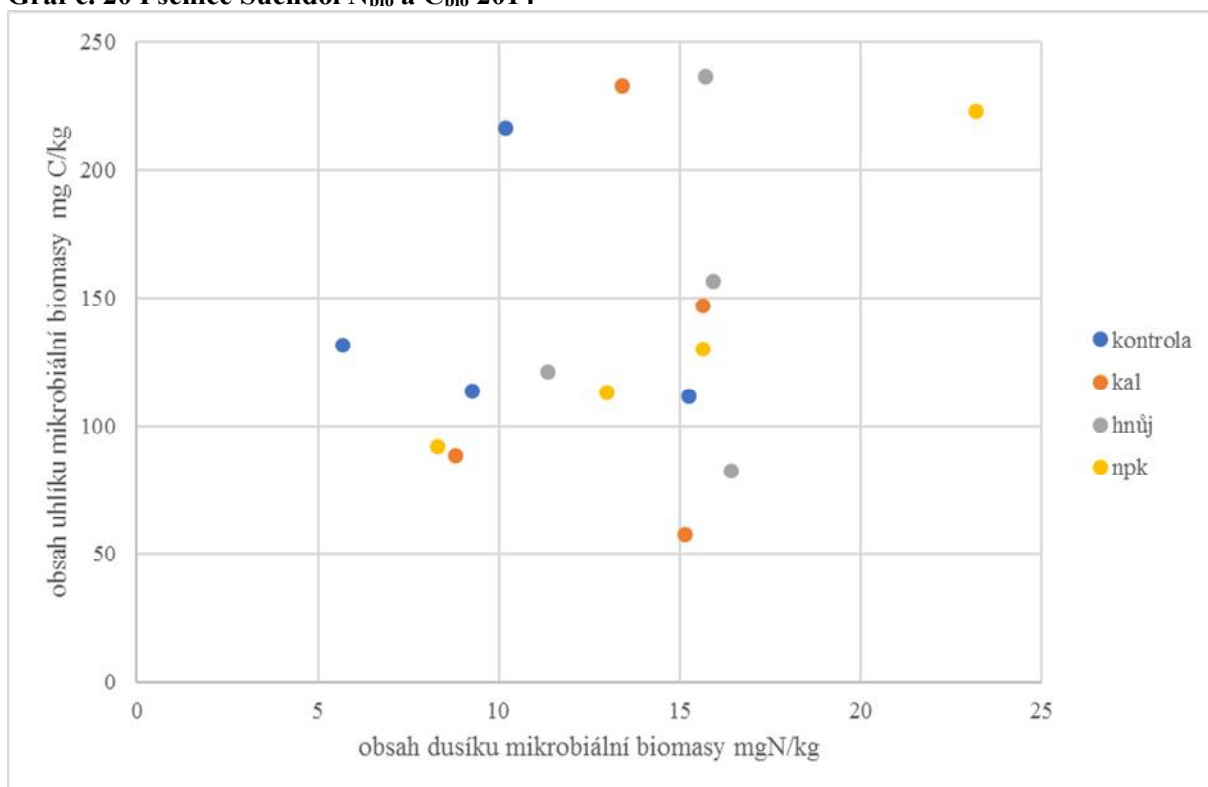
45. Šarapatka, B. (2014). Pedologie a ochrana půdy 1.vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1
46. Švehla, P. ,Jeníček, P. Habart, J., Hanč, A., Balík, J.(2010).Testování vlivu vybraných faktorů na průběh nitrifikace kalové vody. Chemické listy. (104). 343-348 p.
47. Vance, E.D., Brookes, P., C., Jenkinson. D., S. (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry. 19 (6). 703-707 p.
48. Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012). Výživa zahradních rostlin. Academia Praha.568 s. ISBN: 978-80-200-2147-2.
49. Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková D., Tlustoš, P. (2007). Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 176 s. ISBN: 976-80-86726-25-0
50. Vyhláška č. 437/2016 Sb. O podrobnostech nakládání s kaly
51. Walia, M. Goyal, S. (2010). Effects of heavy metal contaminated sewage sludge on soil microbial properties and growth of Indian mustard. Archives of Agronomy and Soil Science. 56 (5) 563-574 p.
52. Wang, X., Chen, T., Ge, Y., Jia, Y. (2008). Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. Journal of Hazardous Materials 160 (2) 554-558
53. Wildmer, P., Brookes, P., C., Parry C.L (1989). Microbial biomass nitrogen measurments in soils containing large amounts of inorganic nitrogen. Soil Biology and Biochemistry.21(6). 865-867 p.
54. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů.

9. Přílohy

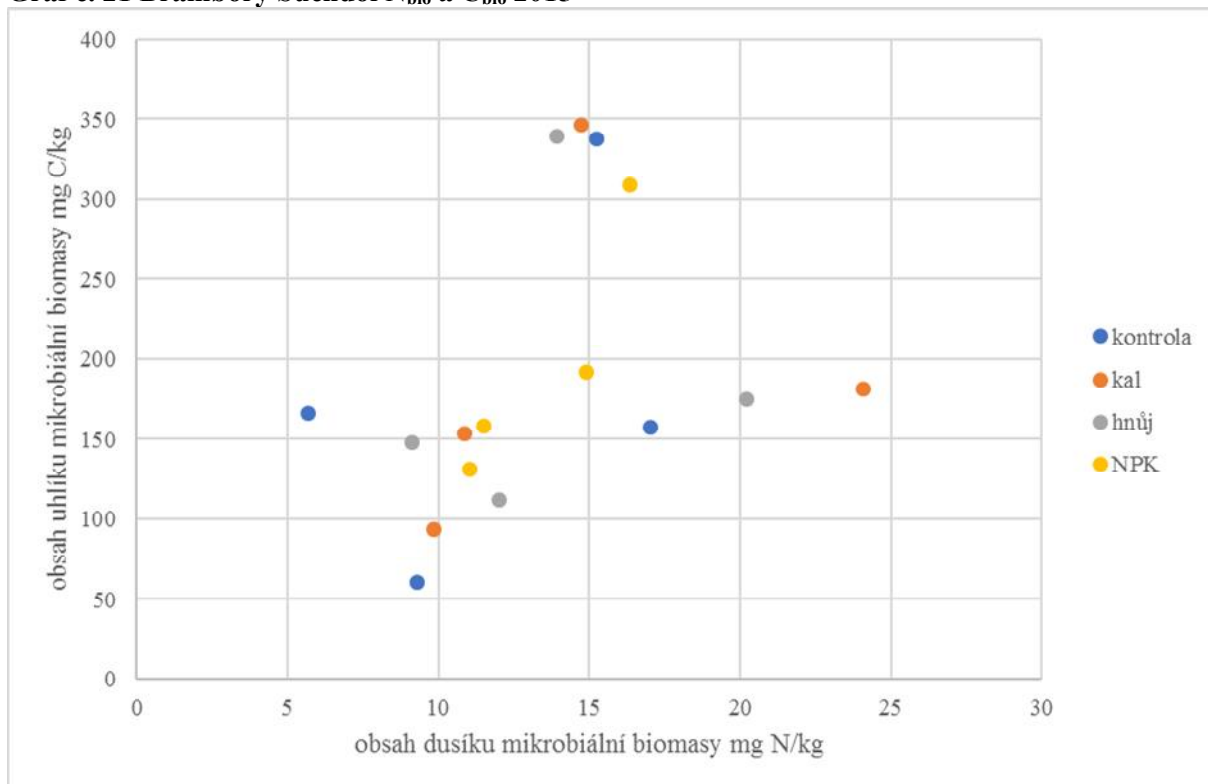
Graf č.19: Brambory Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2014



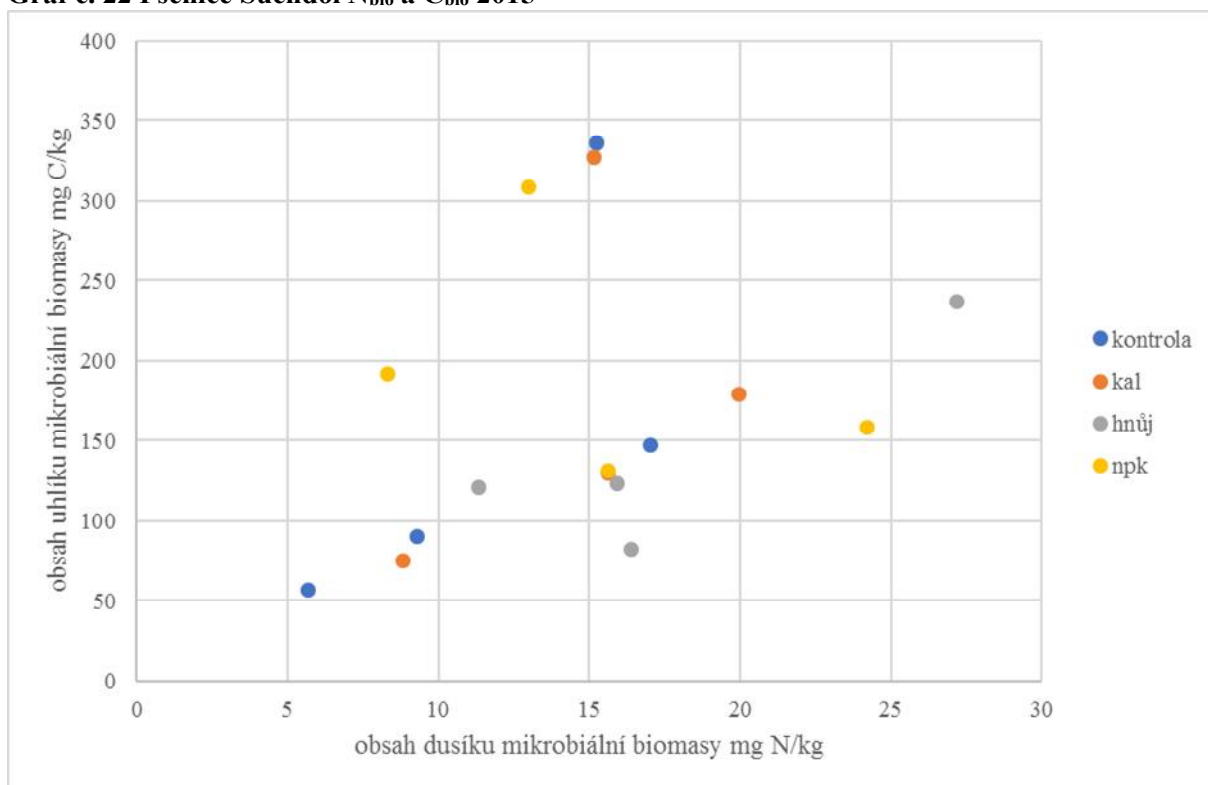
Graf č. 20 Pšenice Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2014



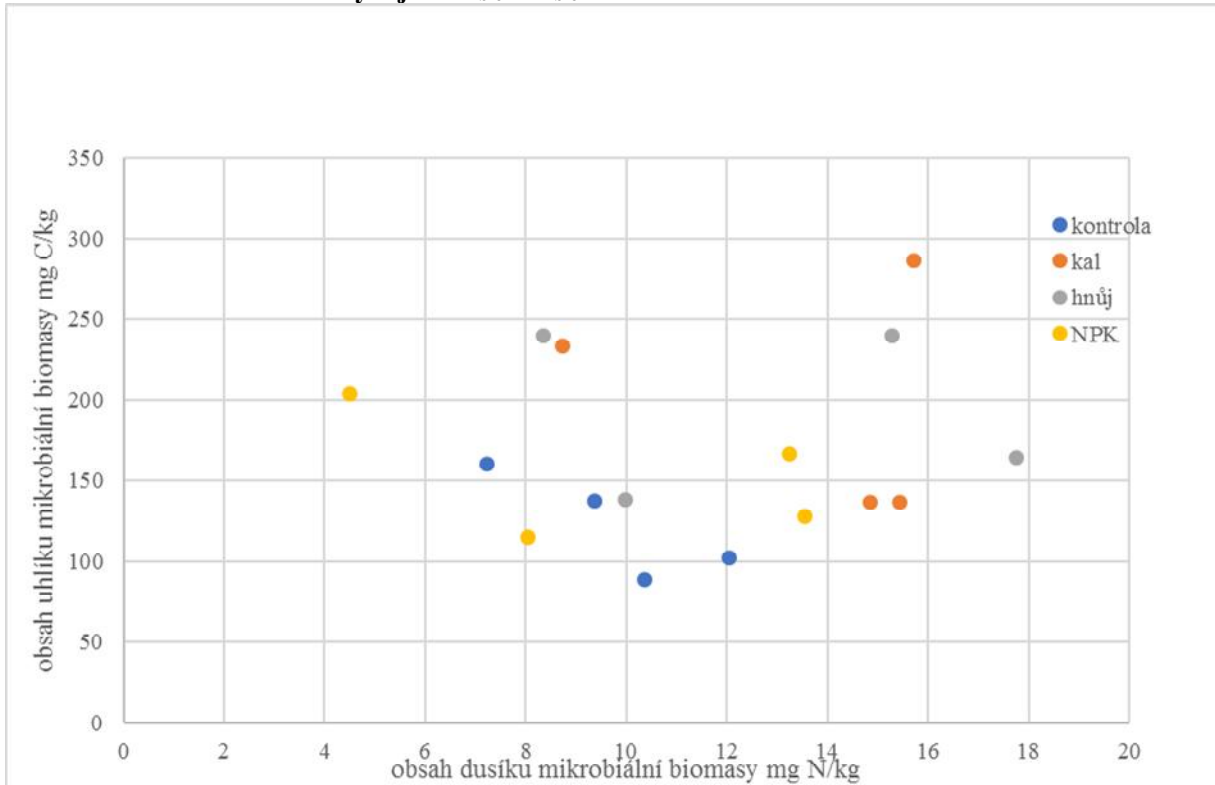
Graf č. 21 Brambory Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2015



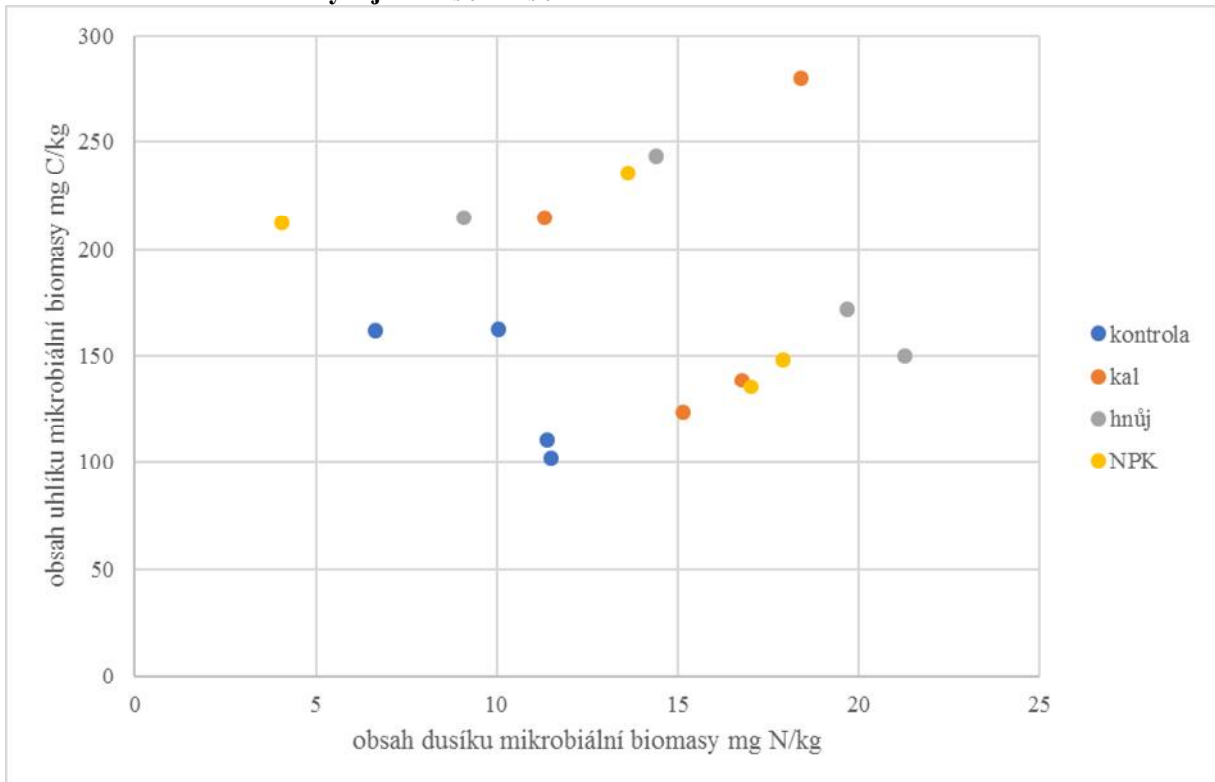
Graf č. 22 Pšenice Suchdol N_{bio} a C_{bio} 2015



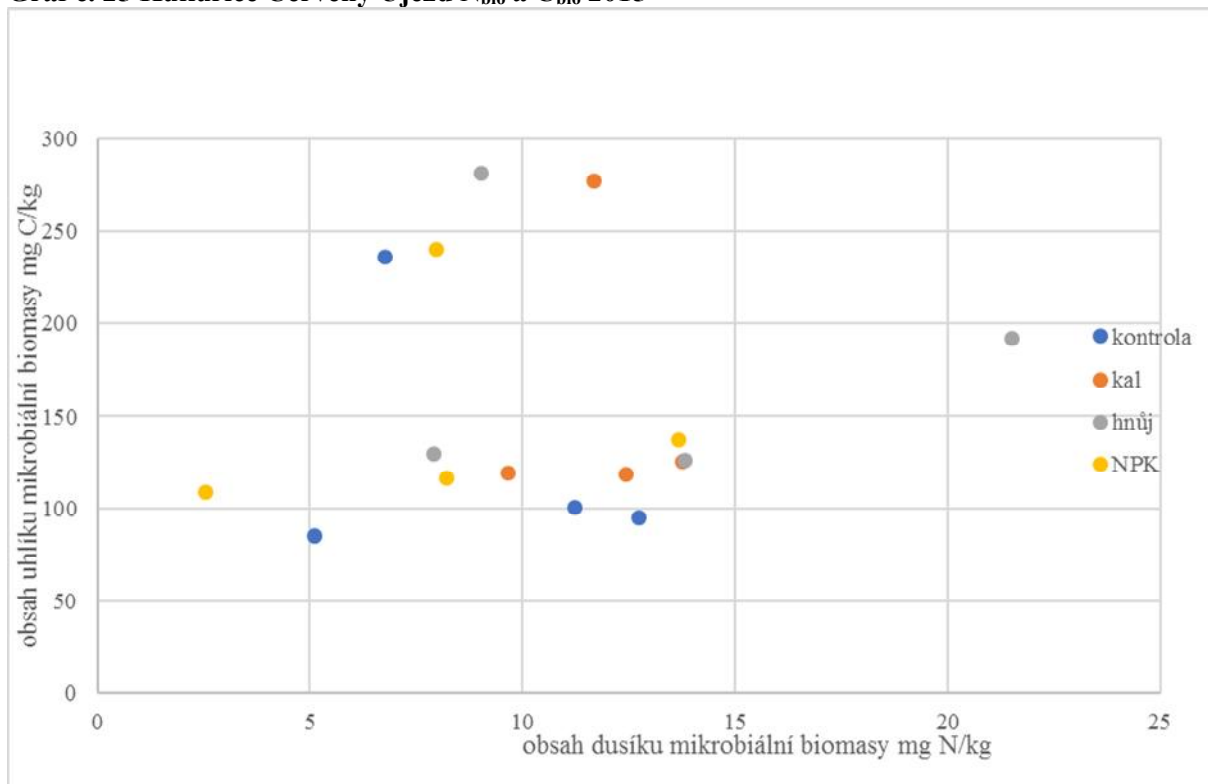
Graf č. 23 Kukuřice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2014



Graf č. 24 Pšenice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2014



Graf č. 25 Kukuřice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2015



Graf č. 26 Pšenice Červený Újezd N_{bio} a C_{bio} 2015

