

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních
zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



Využití mineralizačních testů pro studium vlivu
organického hnojení
Diplomová práce

Autor práce: Bc. Barbora Plháková
Vedoucí práce: prof. Ing. Karel Voříšek, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití mineralizačních testů pro studium vlivu organického hnojení" 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing Karlu Voříškovi, CsC za odborné rady při utváření písemné části a při provádění experimentální části, Ing. Jiříchu Černému, Ph.D. za ochotnou pomoc a dodání potřebných chybějících informací a paní RNDr. Svatoslavě Strnadové za pomoc při práci v laboratoři.

Využití mineralizačních testů pro studium vlivu organického hnojení

Souhrn

Práce je zaměřena na porovnání dvou statických metod k měření půdní respirace a porovnání různých typů hnojení aplikovaných na půdu. Experiment probíhal v letech 2012-2014 na demonstračním poli ČZU v Praze Suchdole (půdní typ černozem). Výsledky byly stanoveny pro šest parcel: kontrola (nehnojená půda), NPK (na půdu bylo aplikováno minerální hnojení), Kal (na půdu byl aplikován kal v množství 330 kg N/ha, jednou za tři roky), Kal3 (na půdu byl aplikován kal v množství 990 kg N/ha, jednou za tři roky), Hnůj (na půdu byl aplikován hnůj v množství 330 kg N/ha, jednou za tři roky), Hnůj ½ (na půdu byl aplikován hnůj v množství 165 kg N/ha, jednou za tři roky).

Pro stanovení půdní respirace byla využita metoda alkalická absorpční neboli titrační (AA) a metoda využívající interferenčního refraktometru (IR). Byla hodnocena bazální respirace (B), potenciální respirace s dusíkem (N), potenciální respirace s glukózou (G) a potenciální respirace s dusíkem a glukózou (NG). Obě metody měly statisticky podobné výsledky potenciální respirace s dusíkem a glukózou (NG). Metoda AA se statisticky významně lišila od metody IR v případě bazální respirace (B), potenciální respirace s dusíkem (N) a potenciální respirace s glukózou (G).

Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a ostatními hnojenými parcelami. Jednotlivé parcely, na něž bylo hnojení aplikováno, nebyly statisticky odlišné. Průměrné hodnoty bazální respirace byly vyhodnoceny jako vysoké a velmi vysoké (2,18 mg CO₂/100g/h pro metodu AA a 0,42 mg CO₂/100g/h pro metodu IR).

Klíčová slova: mineralizace C-látek; hnůj; čistírenské kaly; minerální hnojení; respirometrické testy

The use of mineralization tests for the evaluation of the influence of organic manuring

Summary

The thesis is focused on comparing two static methods to measure soil respiration and comparing different types of amendments applied to the soil. The experiment was conducted in 2012-2014 on a demonstration field of the Czech University of Life Sciences in Prague Suchdol (soil type is chernozem). The results were determined for six parcels: control (unfertilized soil), NPK (into the soil was applied mineral fertilizers), Kal (into the soil was applied sludge in the amount of 330 kg N / ha, once every three years), Kal3 (into the soil was applied sludge in an amount of 990 kg N / ha, once every three years), Manure (manure was applied in an amount of 330 kg N / ha, once every three years), Manure ½ (manure was applied in an amount of 165 kg N / ha once every three years).

Soil respiration was evaluated with static alkali absorption method - or titration method (AA) and static method utilizing interference refractometer (IR). Basal respiration (B), potential respiration with the nitrogen (N), potential respiration with the glucose (G) and potential respiration with nitrogen and glucose (NG) were evaluated. Both methods had statistically similar results by potential respiration (NG) and statistically significantly different results by basal respiration, potential respiration (N) and potential respiration (G).

A statistically significant difference was found between the control and other amendment plots. Plots with amendments, were not statistically different. Average values of basal respiration were evaluated as high (0.47 mg CO₂ / 100 g / h for the method of AA and 0.42 mg CO₂ / 100 g / h for the method IR).

Keywords: mineralization C-substances, manure; sewage sludge; mineral fertilization; respirometry tests

Obsah

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | Úvod | 10 |
| 2 | Cíl práce a hypotézy | 11 |
| 2.1 | Cíl práce | 11 |
| 2.2 | Hypotézy | 11 |
| 3 | Literární rešerše | 12 |
| 3.1 | Vlivy na půdní úrodnost a kvalitu půdy | 12 |
| 3.1.1 | Význam organických látek v půdě..... | 13 |
| 3.1.1.1 | Živé organismy v půdě..... | 13 |
| 3.1.1.2 | Neživá složka půdní organické hmoty | 14 |
| 3.1.1.3 | Význam organických látek a organismů v půdě | 14 |
| 3.1.2 | Mineralizace C- látek | 15 |
| 3.1.3 | Humifikace..... | 16 |
| 3.1.4 | Minerální látky v půdě | 17 |
| 3.2 | Respirace a respirační testy | 17 |
| 3.2.1 | Mikroorganismy a jejich význam pro půdu | 18 |
| 3.2.2 | Definice respirace a metody měření respirace | 20 |
| 3.2.3 | Alkalická absorpční metoda (titrační)..... | 23 |
| 3.2.4 | Metoda využívající interferenčního refraktometru | 24 |
| 3.3 | Hnůj | 24 |
| 3.3.1 | Složení hnoje..... | 25 |
| 3.3.2 | Příznivé a nepříznivé vlivy hnoje | 25 |
| 3.3.3 | Legislativa související s hnojem | 26 |
| 3.4 | Čistírenské kaly | 27 |
| 3.4.1 | Složení čistírenských kalů..... | 27 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.4.2 | Příznivé a nepříznivé vlivy čistírenských kalů | 28 |
| 3.4.2.1 | Vlastnosti rizikových prvků obsažených v kalech | 28 |
| 3.4.2.2 | Vlastnosti kalů aplikovaných na půdu | 29 |
| 3.4.3 | Legislativa související s čistírenskými kaly..... | 30 |
| 3.5 | Minerální hnojení..... | 31 |
| 3.5.1 | Složení..... | 31 |
| 3.5.2 | Příznivé a nepříznivé vlivy | 31 |
| 3.5.3 | Legislativa související s minerálními hnojivy | 32 |
| 4 | Metodika..... | 33 |
| 4.1 | Půda..... | 33 |
| 4.2 | Odebrané vzorky | 33 |
| 4.3 | Hnojení aplikované na půdu a jejich množství | 34 |
| 4.3.1 | Čistírenský kal, hnůj, minerální hnojiva použita při pokusu | 35 |
| 4.4 | Postup (protokol) experimentu | 35 |
| 4.4.1 | Metoda využívající interferenčního refraktometru: | 36 |
| 4.4.2 | Alkalická absorpční metoda (titrační) metoda: | 36 |
| 5 | Výsledky | 38 |
| 5.1 | Metoda využívající interferenčního refraktometru (IR):..... | 39 |
| 5.1.1 | Výsledky pro rok 2012 (IR)..... | 41 |
| 5.1.2 | Výsledky pro rok 2013 (IR)..... | 42 |
| 5.1.3 | Výsledky pro rok 2014 (IR)..... | 45 |
| 5.2 | Alkalická absorpční metoda (AA) metoda: | 47 |
| 5.2.1 | Výsledky pro rok 2012 (AA) | 49 |
| 5.2.2 | Výsledky pro rok 2013 (AA) | 50 |
| 5.2.3 | Výsledky pro rok 2014 (AA) | 53 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.3 | Porovnání metody AA a IR | 55 |
| 6 | Diskuze..... | 56 |
| 6.1 | Metody používané pro měření respirace..... | 56 |
| 6.2 | Respirační aktivita v porovnání s výsledky vědeckých prací..... | 57 |
| 6.3 | Rozdíly mezi hnojením (NPK, kal, hnůj) | 57 |
| 7 | Závěr | 59 |
| 8 | Seznam literatury | 60 |
| 9 | Přílohy | 64 |
| 9.1 | Tabulky pro grafy k výsledkům pro metodu IR | 64 |
| 9.1.1 | Výsledky pro rok 2012: | 64 |
| 9.1.2 | Výsledky pro rok 2013: | 65 |
| 9.1.3 | Výsledky pro rok 2014: | 66 |
| 9.2 | Tabulky pro grafy k výsledkům pro metodu AA..... | 67 |
| 9.2.1 | Výsledky pro rok 2012: | 67 |
| 9.2.2 | Výsledky pro rok 2013: | 68 |
| 9.2.3 | Výsledky pro rok 2014: | 70 |
| 9.3 | Statistické vyhodnocení porovnání metody AA a IR..... | 71 |
| 9.3.1 | Bazální respirace | 71 |
| 9.3.2 | Potenciální respirace s dusíkem | 72 |
| 9.3.3 | Potenciální respirace s glukózou..... | 73 |
| 9.3.4 | Potenciální respirace s glukózou a dusíkem | 74 |
| 9.4 | Statistické porovnání typů hnojení a časové závislosti | 75 |
| 9.4.1 | Bazální respirace metodou AA | 75 |
| 9.4.2 | Bazální respirace metodou IR..... | 76 |
| 9.4.3 | Potenciální respirace s dusíkem metodou AA | 78 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.4.4 | Potenciální respirace s dusíkem metodou IR..... | 79 |
| 9.4.5 | Potenciální respirace s glukózou metodou AA..... | 81 |
| 9.4.6 | Potenciální respirace s glukózou metodou IR..... | 82 |
| 9.4.7 | Potenciální respirace NG metodou AA..... | 84 |
| 9.4.8 | Potenciální respirace NG metodou IR | 86 |

1 Úvod

Udržitelný rozvoj a ochrana životního prostředí jsou cíle, kterých je snaha dosáhnout během posledních několika let. Mezinárodní konference v Riu de Janeiru 1992, a Rio+20 2002, jejichž záměr bylo upozornit na riziko, jenž plyne z nekontrolovatelného využívání přírodních zdrojů, přinesly do světa, který se doposud řídil hlavně cílem neustálého ekonomického růstu, nový pohled na stabilní růst a naše životní prostředí. Součástí směřování Evropské unie je tímto záměrem se řídit a zajistit lidem životní komfort včetně environmentálních kvalit i do budoucích let.

Jednou z důležitých podmínek zachování kvality životního prostředí je zachovat jeho biodiverzitu. S biodiverzitou je úzce spojena i kvalita půdy, ovzduší a vody. Půda je nedocenitelným zdrojem přírodního bohatství. Je zdrojem naší obživy už po několik tisíciletí, umožňuje růst rostlinám a je domovem velkého množství půdních organismů.

Pro zachování kvality půdy (tím je myšleno hlavně zemědělsky využívané půdy) je důležité dobře s ní hospodařit. Tedy aplikovat dostatečně na druhy bohaté osevní postupy, používat vhodné dostupné technologie na její obdělávání a navracet živiny včetně organické hmoty, které byly z půdy odebrány během růstu plodiny.

Nejběžnější cestou jak udržet půdní úrodnost je hnojení. Jak napovídá příbuznost těchto výrazů v angličtině - půdní úrodnost =fertility, hnojení =fertilization, jsou spolu úzce spojeny. Vhodnost jednotlivých hnojiv ať už se jedná o hnůj, kejdu, minerální hnojiva či kompost doposud určoval zemědělec, který půdu obdělával. Mezi oblíbená hnojiva patří ta, která nejvíce zvýší výnos plodin.

Každá plodina má jiné nároky na živiny a množství organické hmoty. Živiny i organická hmota jsou z půdy odčerpávány různou intenzitou a v rozdílných množstvích a do půdy by měly být ve stejném množství navraceny. Během let bylo nashromážděno množství dat z polních pokusů, díky nimž lze určit množství hnojiva, které je potřeba do půdy zapravit. Byly tak vytvořeny metodiky pro výživu rostlin, určující bilanci organických látek. (Richter a Kubát, 2003)

Celkové utváření půdy je úzce spjata s půdními organismy, nejvíce je pak závislé na nejpočetnější skupině, kterou tvoří mikroorganismy. Mikroorganismy ovlivňují mnoho dějů v půdě včetně mineralizace a humifikace organických látek. Měřením jejich aktivity a mikrobiální biomasy a dalších parametrů, lze zjistit mnohé o půdní rovnováze a chybějících živinách. Tyto parametry nám pomáhají určit půdní kvalitu a najít možnosti jak ji zvýšit.

2 Cíl práce a hypotézy

2.1 Cíl práce

Posoudit vliv různého hnojení (hnůj, čistírenské kaly, NPK) na mineralizaci uhlíku organických látek (in vitro) jak na bazální úrovni tak potenciální aktivity po doplnění vhodných dostupných substrátů.

2.2 Hypotézy

- 1) Rozdílné varianty hnojení ovlivní respirační aktivitu.
- 2) Obě použité metody (interferometrická a titrační) poskytují podobné informace/výsledky.

3 Literární rešerše

3.1 Vlivy na půdní úrodnost a kvalitu půdy

Kvalita je soubor typických, zpravidla kladných, vlastností (Petráčková a kol., 1995). Pokud určujeme kvalitu životního prostředí, musíme analyzovat všechny faktory, které kvalitu ovlivňují - vodu, vzduch i půdu. Nelze vynechat ani jeden z těchto parametrů, jsou úzce spojené navzájem a v mnoha ohledech jsou na sobě závislé. Kvalita vody a vzduchu jsou analyzovatelné relativně přesnými metodami (Bloem et al., 2006). Půda je natolik komplexní systém, že neumožňuje jednoduchou definici kvality půdy a je proto obtížněji měřitelná.

Nelze jednoduše říci, že je daná půdním typem nebo pouze množstvím humusu, humusotvorných nebo mineralizovatelných látek, či že je daná tím na jakém geologickém podloží vznikala. Kvalita půdy je stanovitelná obtížněji a k jejímu stanovení je třeba více indikátorů. Indikátory by měly být relevantní a porovnatelné mezi různými půdními typy. Každý indikátor má svou nezastupitelnou roli, nelze u určování půdní kvality použít pouze jeden. K jejímu popisu je potřeba skupina těchto indikátorů (Bloem et al., 2006).

Kvalita půdy je ovlivněna mnoha faktory. Mezi ně patří půdní úrodnost, fyzikální vlastnosti jako je pórovitost, objemová hmotnost, hydraulická vodivost, chemické vlastnosti jako je schopnost sorpce v půdě, struktura půdy (zrnitost, textura půdy) a další (půdní organismy, množství organické hmoty).

Důležitým faktorem ovlivňujícím půdní úrodnost a kvalitu zemědělsky využívané půdy, je množství rizikových prvků v půdě, ale také jakým způsobem je s ní zacházeno, například její ulehlost, ohrožení erozí a čerpání živin z půdy související s úbytkem půdní organické hmoty. Proto je také často využíván v souvislosti s kvalitou půdy, také výraz zdraví půdy (soil health), vyjadřující v některých souvislostech stejný význam.

Bloem et al. (2006) porovnává některé definice půdní kvality dalších autorů a mezi nimi vyzdvihuje pojetí Dorana and Parkina (1994), ti kvalitu půdy vymezují z hlediska ekosystémů jako produktivitu, environmentální kvalitu (tedy kapacitu snížit ohrožení kontaminací, patogeny a vnějšími hrozbami) a zdraví žijících organismů (vzájemný vztah mezi půdní kvalitou, živočichy, rostlinami a zdravím lidí).

Kvalita půdy je tedy stanovitelná pomocí více testů. Jednou skupinou takových testů (indikátorem), jsou testy mikrobiologické. Shrnout nejdůležitější mikrobiologické testy půdy se pokusil ve své publikaci *Microbiological methods for assessing soil quality* Bloem et al.

(2006). Tato publikace, podle jeho slov, by měla shrnovat nejběžněji využívané a cenově dostupné testy, podrobně popsat jejich metodiku a umožnit laboratořím sjednotit hodnocení jednotlivých výzkumů. Zároveň také poukazuje na to, že mikroorganismy jsou schopné lépe postihnout změny ve využívání půdy, kondici životního prostředí a kontaminaci, než chemické a fyzikální parametry. Mezi zde jmenované indikátory patří velikost půdní mikrobiální biomasy, respirace (na kterou je zaměřena tato práce), potenciální mineralizace dusíku, enzymové aktivity, hojnost hub, hlístic a žížal.

3.1.1 Význam organických látek v půdě

Půdní organická hmota (POH), anglicky soil organic mater (SOM), se dělí na živou a neživou složku. POH je v půdě přibližně 6 % z celkové hmotnosti půdy. Zbylou část (94 %) zastává minerální podíl (Pospíšilová a Tesařová, 2009). Živá složka je tvořena půdními organismy (živočichy, mikroorganismy) a živou složkou rostlin. Živou složku označujeme souhrnným názvem edafon. Zemědělská půda obsahuje přibližně 3000 kg čerstvé váhy na hektar půdních organismů (Bloem et al., 2006).

3.1.1.1 Živé organismy v půdě

Podle Bloema et al. (2006) je velikost populací různých organismů v půdě následující:

- Žížaly formující hlavní část půdní fauny, konzumující převážně rostlinná rezidua a půdu včetně mikroorganismů, čítá maximálně 1000 jednotlivců na m² nebo také několik stovek kilogramů C na hektar.
- Roupice mají podobné potravní nároky a jejich populace je mezi 10² a 10⁶/m² s biomasou do 1 kg C/ha. Roztoči do velikosti cca 1 mm, živí se predací houbami, bakteriemi, mají populaci velikosti 10⁴ – 10⁵/m² a biomasu do 0,1 kg C/ha.
- Chvostokoci s funkcí omnivorů a fungivorů jsou také velcí cca do 1 mm, s velikostí populace 10³-10⁵/m² a biomasou do 1 kg C/ha.
- Hlístice živí se širokým spektrem druhů od bakterií, hub po rostlinnou stravu, jsou do velikosti 500 μm, jejich populace je od 10 do 50 jedinců na 1 g půdy a biomasa do 1 kg/ha.
- Prvoci jsou jednobuněčné organismy o velikosti 2-200 μm o velikosti populace 10⁶ buněk na 1g půdy a biomasou okolo 10 kg C/ha.

- Bakterie jsou obvykle menší než 2 μm , jejich populace je přibližně 10^9 buněk/g půdy a množství biomasy 50-500 kg C/ha.
- Hyfy hub mají průměr obvykle od 2 μm do 10 μm velké a dosahují délky 10-1000 m/g půdy s velikostí biomasy 1-500 kg C/ha.

3.1.1.2 Neživá složka půdní organické hmoty

Neživou složku POH, tvoří odumřelý edafon, látky v přeměně a humus. Do těchto skupin lze rozdělit POH podle dynamiky rozkladu. Rychle se rozkládající hmota neboli látky nehumifikované podle Richtera a Kubáta (2003), jsou snadno mikroorganismům přístupné látky. Většinou se jedná o čerstvě odumřelé organické zbytky rostlin (posklizňové zbytky), organická hnojiva, odumřelá těla půdních organismů včetně mikroorganismů s poločasem rozkladu několik měsíců až několik let. Rychlost rozkladu ovlivňuje poměr C:N. U této skupiny POH je široký poměr C:N.

Další skupinou látek POH, jsou látky v přeměně. Tato skupina látek je v procesu mineralizace (mění se zpět na látky minerální), nebo se pomalu přetvářejí se na humus. Poměr C:N je užší. Poslední skupinou je již stabilizovaná POH a tou je humus. Humus nebo také látky humifikované (Richter a Kubát, 2003), jsou látky s dlouhým poločasem rozkladu. Poločas rozkladu je závislý na konkrétní složce humusu. Humus se skládá z huminových kyselin, fulvokyselin a huminů. Humus vzniká složitým procesem humifikace popsaným v kapitole 3.1.3.

3.1.1.3 Význam organických látek a organismů v půdě

Všechny složky POH, jsou v půdě neoddělitelnou součástí, bez nichž by tento komplexní systém nebyl úplný. Živá složka má velký vliv na půdní strukturu a utváření půdy. Kořeny rostlin pomáhají v soudržnosti půdy, pokud jsou vhodně rozmístěné, zabraňují erozi nebo zmírňují půdní erozi.

Půdní živočichové ovlivňují půdu svou činností, například žížaly, utváří chodbičky a vytváří tak některé póry, vylučují exkrementy s příznivými vlastnostmi apod. Nedílnou součástí živé hmoty jsou pak mikroorganismy. Jejich působení v půdě je věnována samostatné části (3.1.2 a 3.2.1). Nehumifikovaná složka POH je vhodným substrátem pro mikroorganismy, mineralizované látky jsou pak přístupné nejen mikroorganismům, ale i rostlinám. Humusové látky mají příznivý vliv na půdní vlastnosti a půdní úrodnost.

Množství jednotlivých složek POH, se neustále mění. V procesu mineralizace a humifikace jsou jednotlivé části neustále přetvářeny, následně jsou částečně z půdy odebírány rostlinami. Pro udržení rovnovážné bilance POH v půdě a udržení úrodnosti půdy, je třeba organickou hmotu a živiny do půdy navracet v podobě hnojení.

Parametry, stanovující změnu v množství organické hmoty je celkový obsah půdní organické hmoty, nebo s ní úzce spojený obsah organického C. Zvýšením nebo snížením množství organického C v půdě lze prokázat efektivitu hnojení. Snížení obsahu organické hmoty může být ukazatelem zhoršení úrodnosti půdy – ovlivňující stabilitu struktury půdy a vodní retenci, což potvrzuje Bloem et al (2006). Změny v POH, v závislosti na rozdílném hnojení mohou být charakterizovány zhodnocením dlouhodobého zvýšení či snížení celkového organického C v ornici (Šimon and Czako, 2014)

Dlouhodobý pokus Oberholzera et al. (2014) ukázal, že i když je do půdy pravidelně dodávána organická hmota a hnojiva, nemusí to být vždy v dostatečné míře. Uvádějí, že přes všechna opatření a procedury může dojít ke ztrátě půdního organického uhlíku (POC) v ročním průměru mezi 0,10-0,25 t C ha⁻¹ (s odhadovanými průměrnými ročními C vstupy z organických hnojiv a nadzemních a posklizňových rostlinných zbytků 6-2,4 tuny C ha⁻¹). Přestože bylo zkoumáno více hnojiv v různých kombinacích (organická i minerální hnojiva) ztráty POC byly stálé a nebylo dosaženo rovnováhy.

Pospíšilová a Tesařová (2009) nehodnotí vysoký obsah organického uhlíku jen pozitivně, uvádí, že jeho nadbytek může být ekonomicky nevýhodný až škodlivý. Dodávají také, že množství, ve kterém, dosahuje nepříznivých vlastností, je ale velice těžko stanovitelné.

3.1.2 Mineralizace C- látek

Největší vliv na mineralizaci veškerých organických látek v půdě mají mikroorganismy. Jsou součástí koloběhů C, N, P, S a dalších látek. Rychlost uvolňování těchto prvků z organické hmoty je závislá na kinetice rozkladu těchto látek. Záleží na struktuře dané sloučeniny, velikosti molekul, přístupnosti těchto látek mikroorganismům a také na prostředí, ve kterém se mikroorganismy nacházejí, tedy na vlhkosti půdy, teplotě půdy, jejím pH a přístupu kyslíku.

Každý koloběh látek je závislý na určité skupině mikroorganismů, které hmotu rozkládají. Každý mikroorganismus potřebuje odlišné podmínky. Mikroorganismy rozkládající převážně C-látky se rozdělují do dvou skupin podle toho, zda ke své existenci potřebují vzdušný kyslík nebo ne. Podle toho se dělí na aerobní (vyžadující dostatek O₂),

fakultativně anaerobní mikroorganismy, které jsou schopny přežít jak v prostředí bezkyslíkatém, tak v prostředí kde se O_2 nachází a obligátní anaerobové, tedy mikroorganismy, které jsou schopny metabolických reakcí pouze bez přístupu O_2 . Procesy při kterých jsou C-látky přeměňovány na jiné látky či rozkládány, jsou fermentace a respirace. Respirace je využívána k měření mikrobiální aktivity v půdě.

Množství kyslíku v půdě je závislé především na pórovitosti a ulehlosti půdy. Póry jsou různě veliké a ne vždy jsou zaplněné pouze vzduchem, ale i vodou. Ritz and Young (2011) dokládají několika studiemi dalších autorů, že vztah mikropórů a půdních agregátů má velký vliv na mikroorganismy.

Mineralizace C je prokazatelně spojená s póry o průměru 15-60 μm . Mineralizace N je prokazatelně spojená s póry o průměru 0,6 až 30 μm . Fruktóza je rozložitelná rychleji v pórech o velikosti 100-300 μm v průměru než 0,3-3,0 μm nebo 1-100 μm , protože jsou tyto póry adekvátně zaplněny vodou a vzduchem, tím pádem poskytují optimální zdroj vody a kyslíku a tak jsou příznivé pro aerobní mikrobiální aktivitu (Ritz and Young, 2011). Velikost půdních pórů může výrazně ovlivnit způsob obhospodařování půdy a typ hnojení.

3.1.3 Humifikace

Proces humifikace je množství biochemických reakcí, je úzce spojený s koloběhem uhlíku a dusíku v půdě (Tan, 2003). Proces probíhá dlouhodobě při neustále se měnících podmínkách. Optimální je neustálé střídání vlhkého období se suchým, střídání teplot a měnící se množství kyslíku obsaženého v pórech. Humifikace je částečně závislá na procesu mineralizace, protože při ní reaguje množství energeticky bohatých meziproductů rozkladu (Pospíšilová a Tesařová, 2009).

Je několik teorií vzniku jednotlivých humusových látek, zahrnujících depolymerizaci biopolymerů a jejich transformaci na humusové látky, polymerizaci malých molekul vzniklých rozkladem biopolymerů a následnou tvorbu humusové hmoty. Humifikaci se pokouší vysvětlit depolymerizační teorie, o něco modernější ligninová teorie a polymerační teorie (Tan, 2003). Humifikace se účastní jak rostlinné materiály, tak rezidua odumřelých organismů. Zdroje látek pro humifikaci zahrnují lignin, celulózu, hemicelulózu, polysacharidy a proteiny. Neopomenutelným surovým materiálem pro humifikaci jsou fenoly a aminosacharidy syntetizované mikroorganismy.

3.1.4 Minerální látky v půdě

Výnosy plodin a zároveň půdní úrodnost je závislá nejen na obsahu POH, ale také na obsahu minerálních látek. Jak uvádí Poláková a kol. (2011), anorganické látky přístupné ve své iontové formě rostlinám označujeme jako živiny. Základními stavebními prvky jsou tyto živiny, které jsou v rostlinách obsaženy ve větším množství od několika desetin až desítek %. Označovány jsou jako makroelementy – C, H, O, N, P, K, Mg, S, Ca. Živiny, které jsou pro rostlinu také důležité, ale v mnohem menších hodnotách, tedy méně než 0,05 % (Poláková a kol., 2011), se nazývají mikroelementy a patří mezi ně měď, železo, mangan, molybden, zinek a bor. Mají především katalytickou funkci, působí na příjem nebo využití základních živin v rostlině (P, K, Mg a Ca) a tím mohou zvyšovat jakost rostlinných produktů.

Mezi minerální látky patří také skupina rizikových prvků, které negativně působí na rostlinu, člověka, nebo jinou složku prostředí. Jejich působení je závislé na jejich přístupnosti pro daný organismus a velikosti dávky (Linhart, 2014; Anděl, 2011). Pro půdu je tedy zásadní jejich celkový obsah a koncentrace volně dostupných forem těchto látek.

Mezi rizikové anorganické látky patří těžké kovy. Rizikové látky uvedené v publikaci autorů Poláková a kol. (2011) Monitoring zemědělských půd v ČR jsou: Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn a Hg. Některé ze jmenovaných rizikových prvků mohou být zároveň v malých množstvích pro rostlinu nezbytné. Ve větším množství se pak stávají rizikovými.

Uhlík je do půdy dodáván v podobě organického hnojení, kyslík a vodík je přijímán rostlinami v podobě H₂O a je také obsažen v organickém hnojivu. I další živiny, zvyšující výnos jako je N, P, K a další jsou součástí organických hnojiv. Velice častým způsobem jak tyto živiny dodat v potřebném množství a v potřebnou dobu je v podobě minerálních hnojiv. Snáze se aplikují a jsou rostlinám přístupné okamžitě, na rozdíl od živin v organických hnojivech uvolňujících se postupně, kde je velká část vázána ve sloučeninách, a proto je dostupná až po jejich mineralizaci.

3.2 Respirace a respirační testy

Mikrobiální metody v systému hodnocení kvality půdy hrají nezastupitelnou roli. Cílem mikrobiálních testů je zjistit aktivitu půdních organismů a jejich přibližné množství v biomase. U půd kontaminovaných, lze výsledky porovnávat s půdami nekontaminovanými. Pomocí nich lze určit míru narušení funkcí v půdě či zhoršení kvality půdy. Toho využívá například Poláková a kol. (2011).

Metody, pomocí nichž lze stanovit kvalitu půdy hodnocením mikrobiálního společenstva, mohou být rozděleny do čtyř skupin, podle informací, které poskytují. Tyto skupiny jsou: půdní mikrobiální biomasa a její množství; půdní mikrobiální aktivita; rozmanitost a struktura mikrobiálních společenství a interakce mezi rostlinou a mikroby.

Mikrobiální biomasa a její množství je zjišťována pomocí konvenčních metod (anglicky viable or direct counting procedures) – počet mikroorganismů je stanoven jejich sečtením pod mikroskopem. Některé nekultivovatelné půdní mikroorganismy mohou být kultivovány po adekvátním zlepšení výživových podmínek pro jejich růst (Bloem et al., 2006). Pomocí různě upravených médií lze stanovit určité specifické skupiny mikroorganismů.

Některé mikroorganismy nejsou snadno stanovitelné, nemusí být pro ně vhodný substrát nebo jsou v dormantní fázi. Proto jsou tato stanovení orientační povahy a slouží pro představu o přibližném počtu a složení mikrobiální biomasy. Nevýhodou konvenčních metod počítání pod mikroskopem je jejich subjektivita a časová náročnost. Proto jsou běžně využívané biochemické a fyziologické metody jako například extrakce mikrobiálního uhlíku a dusíku po usmrcení mikroorganismů chloroformem nebo substrátem indukovaná respirace či nitrifikace (Bloem et al., 2006).

Biochemické techniky prozrazují mnohé o metabolických procesech mikrobiální komunity v celém jejich rozsahu (respirace a mineralizace) nebo podle jejich funkčních skupin (nitrifikace a denitrifikace). Aktivita mikroorganismů může být rozdělena do dvou skupin na aktuální a potenciální aktivitu. Aktuální aktivita mikroorganismů vyjadřuje aktivitu, kdy podmínky nezbytné pro metabolismus mohou být nižší než optimální. Tedy jak je tomu v přirozených polních podmínkách či v neobohacených půdních vzorcích.

Na rozdíl od toho potenciální mikrobiální aktivita, včetně enzymatické aktivity, vyjadřuje, jakou aktivitu mohou vyvinout mikroorganismy při optimálních podmínkách. Optimální podmínky jsou uměle nastaveny v laboratoři a patří mezi ně: optimální teplota a vlhkost, živiny a substrát (Bloem et al., 2006). Jedním z důležitých parametrů, podle nějž lze určit některé mikrobiální charakteristiky je tedy půdní respirace.

3.2.1 Mikroorganismy a jejich význam pro půdu

Půda je živý organismus. Obsahuje kromě minerálních složek také organickou hmotu a půdní organismy. Organická hmota velmi ovlivňuje půdní kvalitu. Půda by ale nebyla tak úrodná, kdyby jednotlivé částičky organické a anorganické hmoty nebyly rozkládány (mineralizovány v případě POH) a zpřístupňovány tak rostlinám. Tuto funkci z velké části

přebírá živá složka půdy – zástupci živočišné, rostlinné a mikrobiální říše. Nejpočetnější a také co do velikosti nejmenší jsou mikroorganismy. Mikroorganismy se řadí mezi nejméně aktivní organismy v půdě (Foukalová a kol., 2011).

Mikroorganismy můžeme rozdělit do několika základních skupin (upraveno podle Voříška (2008) a Foukalové a kol. (2011)):

- **Podbuněčné** organismy množí se pouze v hostitelském organismu.
- Organismy bez morfologicky diferencovaného jádra jsou organismy **prokaryotické** a řadíme mezi ně bakterie, aktinomycety a sinice. Bakterie dosahují velikosti mezi 1-10 μ m.
- Organismy s diferencovaným jádrem jsou **eukaryotické** organismy. Řadíme mezi ně houby (Mycota), řasy (Algae) a prvoky (Protozoa). Houby mohou být vláknité (mikromycety) či holokarpické. Největší houby dosahují až několik 100 μ m.

Mikroorganismy mohou mít rozhodující vliv na biologické utváření půdy. Mají vliv na tvorbu humusu, klíčení rostlin, výživu rostlin a mohou ovlivňovat i únavu půdy (Voříšek, 2008). Podle Polákové a kol. (2011) mají mikroorganismy vliv i na tvorbu půdní struktury. Mikroorganismy vytváří s okolním prostředím komplikované vztahy, proto jejich působení může být pozitivní a zároveň i negativní.

Jako pozitivum může být považován antagonistický vztah přirozené mikroflóry k patogenním mikroorganismům. Patogenní mikroorganismy jsou choroboplodné organismy, to znamená, že jsou schopné vyvolat onemocnění (Petráčková a kol., 1995). Přirozené a patogenní mikroorganismy jsou vzájemnými konkurenty, a pokud přirozená mikroflóra není nijak výrazně narušena, může patogenní mikroorganismy vytlačit. Bylo dokázáno, že mikroorganismy jsou chráněny před predací mikrofauny, pokud se nachází v pórech velikosti menší než 6 μ m (Ritz and Young, 2011).

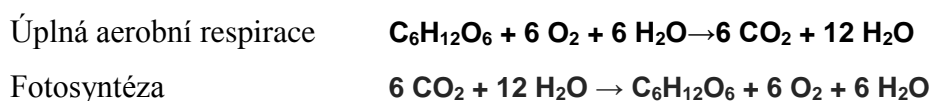
Jak už bylo řečeno, mají také půdotvornou funkci. Transformují odumřelé zbytky rostlin a živočichů v procesu zvaném mineralizace. Užšími pojmy pro mineralizaci je respirace, tedy rozklad převážně C-látek a amonifikace (rozkládané látky obsahují N). Kromě organické hmoty jsou schopné rozkládat i hůře rozložitelné organické látky, pokud je přítomna i snadno rozložitelná hmota. Jev, o kterém je řeč se nazývá priming efekt. O pozitivní priming efekt se jedná v případě, že pomaleji a komplikovaněji rozložitelnou hmotou jsou znečišťující látky (například u kontaminovaných půd). Tento jev nemusí mít pouze pozitivní vliv. O negativní priming efekt se jedná v případě, že je do půdy přidáno větší množství snadno se rozkládající organické hmoty (například tráva), která podnítl rychlejší

rozklad stářejší organické hmoty v půdě s následkem uvolnění většího množství CO₂ a dalších minerálních látek. Velká část půdní organické hmoty tedy zmineralizuje velice rychle a není vytvořeno dostatek prostoru pro utváření humusových látek. Půda je tímto způsobem ochuzována. Zmineralizované látky jsou do jisté míry využity příjmem kořenů rostlin, do určité míry může docházet ke ztrátám vyplavováním těchto látek do spodních horizontů a podzemní vody a tím tak půda ztrácí cenné živiny.

Proto je důležité, aby v půdním systému byla udržována alespoň minimální rovnováha. Půdní mikroflóra a mikrofauna jsou rozhodujícím prvkem pro jakýkoli produktivní koloběh živin ekosystémů (Ritz and Young, 2011). Pro udržení zdravého funkčního půdního systému, musí být přítomna mikrobiální komunita zapojená do základních cyklů živin a minerálů, což Ritz and Young (2011) potvrzují.

3.2.2 Definice respirace a metody měření respirace

Respirace neboli buněčné dýchání je činnost nezbytná k životu organismů. Je to aerobní nebo anaerobní proces, při němž je získávána energie. Redukované organické a anorganické sloučeniny v buňce jsou primární donor elektronů a oxidované sloučeniny akceptorem elektronu (Bloem et al., 2006). Energie uvolňovaná rozkladem sloučenin je na konci procesu ukládána do energeticky bohatých vazeb ATP. Zjednodušeně můžeme brát respiraci jako příjem kyslíku a zároveň výdej oxidu uhličitého (Bloem et al., 2006), což může vyvolat dojem, pokud je rozkládanou látkou glukóza, že je to opačný proces než fotosyntéza viz rovnice uvedené níže.



Oba procesy jsou natolik rozdílné a komplikované že toto zjednodušení není možné. Součástí temnostní fáze fotosyntézy je takzvané dýchání neboli fotorespirace, bez kterého by celý proces fotosyntézy nebyl úplný. Organismy využívající k svému vývoji fotosyntézu se nazývají fototrofové, organismy využívající k získání energie převážně procesu respirace (případně fermentace) a zároveň nejsou schopné využít fotonů ze slunečního záření k ukládání energie, se nazývají chemotrofové. Těchto organismů je široká škála.

Přesnějším vyjádřením respirace je níže uvedená rovnice. Z ní je patrné, že kromě vody a oxidu uhličitého vzniká celá řada meziproductů a energie, kterou mikroorganismy následně využívají a která je v procesu pro mikroorganismy klíčová.



Respirace kořenů rostlin z celkového vyprodukovaného množství CO_2 zabírá od 12 do 30 %. Za zbylý vyprodukovaný CO_2 zodpovídají půdní organismy - mikroorganismy za cca 63 – 79.2 %, zbylých 7-8,8 % produkují ostatní živočichové. (Bloem et al., 2006). Vzniklý CO_2 uvolněný do půdy slouží jako zdroj uhlíku nejen rostlinám, ale také samotným mikroorganismům, při rozkladu organické hmoty jej vzniká dost na to, aby byli mikrobi dostatečně zásobeni, to potvrzuje i Foukalová a kol. (2011).

Respirace může být hodnocena, jak vyplývá přímo z procesu, stanovením ubývajícího O_2 nebo stanovením vznikajícího CO_2 . Metody měření respirace lze také dělit podle toho, je-li měřena přímo na poli nebo v laboratorních podmínkách. Tento proces ovlivňují faktory, mezi něž patří obsah půdní vody, koncentrace kyslíku a jeho biodostupnost, teplota, pH a dostupnost živin. Největší vliv na respiraci má obsah vody, který kromě jiného působí na dostupnost kyslíku a živin.

Měření respirace přímo na poli umožňuje zajistit přirozené podmínky. Část, kde je respirace měřena je překryta nebo uzavřena v komoře a během inkubační doby je měřen jeden z parametrů stanovující respiraci (úbytek O_2 či vznikající CO_2). Takto je možné získat ucelenou informaci o celkové respiraci všech organismů včetně rostlin. Tyto výsledky je však obtížné srovnávat, podmínky měření mohou být velice rozdílné v závislosti na počasí a dalších faktorech (mění se teplota, vlhkost, stáří porostu). Laboratorní podmínky umožňují zavést standardizované postupy se stejnými podmínkami, umožňující srovnání výsledků.

K měření respirace byly přijaté z evropské unie dvě technické normy: ČSN ISO 16 072 (836 440) – Laboratorní metody pro stanovení mikrobiální půdní respirace a ČSN ISO 14 240-1 (836 441) – Kvalita půdy - Stanovení půdní mikrobiální biomasy - Metoda substrátem indukované respirace. Podle normy ISO 10 381 – 6 (1993), uvedené v publikaci Bloem et al. (2006), je důležité při zpracování vzorků dodržet tyto zásady:

- Přemístit odebrané vzorky do laboratoře jak nejrychleji je to možné (v rámci hodin).
- Pokud to možné není umístit je do chladicí nádoby.
- Poté zhomogenizovat přeseťím, přes síto o velikosti pórů 2-5 mm.
- Vzorky mohou být, pokud je není možné přeseťít, částečně vysušeny při stálé teplotě od +2 do +4°C.

- Pokud nejsou vzorky zpracovány hned, lze je přechovávat při -20°C po dobu ca 12 měsíců, poté musí být minimálně týden předinkubovány (této možnosti využívají nejčastěji země Skandinávského poloostrova).

Respirace je stanovována širokou škálou metod, liší se způsob zachycení plynu a samotná analýza plynu, výběr metody závisí pouze na osobních zkušenostech badatele. Žádná z metod dosud nebyla obecně preferována ani doporučována (Puangploy, 2007).

Respirace může být měřena jako respirace bazální nebo potenciální. Tedy za podmínek jaké jsou v půdě aktuálně, v daný moment, s množstvím určitých omezujících faktorů (bazální respirace) a laboratorně upravených podmínek eliminujících limitující faktor, například množství živin (potenciální respirace). Bazální respirace odráží jak množství, tak i kvalitu zdroje uhlíku (Bloem et al., 2006). Patří mezi metodu stanovující půdní mikrobiální aktivitu. Porovnáním bazální a potenciální respirace lze získat potřebné informace o stavu půdy.

Metody měření také mohou být rozděleny na statické a dynamické systémy (metody):

1. Statické metody, kde jsou plyny shromažďovány v uzavřeném inkubačním systému obsahujícím půdu, nebo inkubační komůrce umístěné na povrchu půdy.
2. Dynamické metody, kde volný vzduch prostý CO_2 proudí nepřetržitě přes inkubační systém a složení plynu je analyzováno kontinuálně na výstupu.

Výhody a nevýhody dynamických a statických metod jsou předmětem některých vědeckých prací. Mezi metody měření respirace patří (Puangploy, 2007):

- Titrační metoda (alkalická absorpční metoda¹)
- Spektroskopické metody
 - Fourierova transformační infračervená absorpční spektroskopie

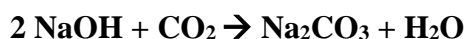
¹ Poznámka: V některých pracích je metoda titrační uvedena jako alkalická absorpční metoda. Pro přehlednost v textu uvádím tuto metodu jako alkalickou absorpční metodu, považuji to jako poněkud přesnější vyjádření. Jako metoda titrační je uvedena v pracích Puangploy (2007), v práci Rotmanna and Joergensena (2011) je uvedena jako absorpční v NaOH, Yim et al. (2002) ji uvádějí jako alkalickou absorpční metodu (převzatou od Kirita, 1997), stejným způsobem je uvedena i v Bekku et al. (1997), Jensen et al. (1996) ji uvádějí jako statickou metodu absorpce v alkalickém roztoku.

- Infračervené analyzátory plynu
- Infračervená fotoakustická spektrometrie
- Laditelná diodová laserová absorpční spektroskopie
- Plynové senzory
- Plynová chromatografie
- Headspace plynová chromatografie

Nejčastěji uváděnou statickou metodou je metoda alkalická absorpční, která je spolu s metodou využívající interferenčního refraktometru využita v této práci v rámci experimentální části. Další z možností statických metod bazální respirace, umožňující měřit na substrát reagující mikrobiální biomasu a jeho aktivní či dormantní populaci je popsána v publikaci Bloem et al. (2006). Autoři Bloem et al. (2006) tuto metodu doporučují zařadit mezi běžně využívané metody. CO₂ produkovaný v půdě v uzavřené nádobě je zachycen v roztoku hydroxidu draselného, s nímž zreagoval. To má za následek snížení poměrné elektrické vodivosti daného roztoku, která je měřena platinovými elektrodami umístěnými v každé inkubační nádobě.

3.2.3 Alkalická absorpční metoda (titrační)

Tato metoda patří mezi metody statické umožňující měření velkého množství půdních vzorků. Tuto metodu v menších úpravách popisuje Bloem et al. (2006) podle autorů Bringmark and Brindmark (1993), Zibilske (1994) a Öhlinger et al. (1996). Princip metody je jednoduchý. Vznikající CO₂ je pohlcován roztokem NaOH (viz uvedená rovnice níže) o dané koncentraci. Ten je umístěn v uzavřené nádobě se vzorkem půdy po celou dobu inkubace. Následně je vysrážen srážecím roztokem a nespotřebovaný hydroxid je titrován kyselinou HCl o koncentraci odpovídající koncentraci hydroxidu.



Jako indikátoru konce titrace se využívá fenolftalein, jenž roztok NaOH zbarví do fialovo-růžové barvy a v okamžiku, kdy je zneutralizován dostatečným množstvím roztoku kyseliny se roztok odbarví. Jako srážecí činidlo je možné využít BaCl₂ či SrCl₂, s nimiž CO₂ tvoří nerozpustnou sraženinu bílé barvy. Je nutné použít dostatečné množství srážecího činidla, tak aby byl vysrážen všechen navázaný CO₂.

Tato metoda umožňuje mírné modifikace. Pokud je stanovována bazální respirace a množství vzorku je menší, lze použít roztok NaOH a HCl s nižší koncentrací. Pokud je předpokládané množství CO₂ vyšší, lze použít roztoky koncentrovanější. Například pokud je stanovována respirace potenciální. Na koncentraci těchto roztoků závisí následný přepočet množství vyprodukovaného CO₂ na jeden mililitr HCl. Také lze podle množství vzorku upravit množství NaOH. Dále v práci bude označena jako metoda AA.

3.2.4 Metoda využívající interferenčního refraktometru

Metoda využívající interferenčního refraktometru (IR) patří mezi metody statické. Tuto metodu podrobně popisují Novák a Apfelthaler (1964) v publikaci Rostlinná výroba (10). Podle počtu vědeckých prací a metodiky v nich uváděných, je způsob určení množství vyprodukovaného CO₂ pomocí IR, méně využívanou metodou než je metoda alkalická absorpční.

Vzorky jsou inkubované v uzavřených přesně kalibrovaných lahvích. Po uplynutí inkubační doby je plyn vzniklý mineralizací vytěsněn koncentrovaným roztokem soli do měřicí trubice IR. IR je optický přístroj, kde je porovnáván plyn o známém indexu lomu s plynem o neznámém indexu lomu. V tomto případě je plynem o známém indexu lomu vzduch prostý CO₂, plyn s neznámým indexem lomu plyn vytěsněný z lahvi se vzorkem. Množství CO₂ je stanoveno výpočtem po odečtení jednotlivých dílků na interferenční stupnici.

3.3 Hnůj

Chlévský hnůj, jak uvádí Richter a Kubát (2003), je směs steliva a tekutých výkalů hospodářských zvířat se zbytky krmiva zušlechťená fermentací. Tedy přeměněná chlévská mrva, po určité době skladování. Kvalita chlévské mrvy je závislá na kvalitě ustájení zvířat, jejich výživě druhu a stáří. Kvalita ustájení je daná množstvím podestýlky a její pravidelnou obměnou. Podestýlka může být sláma nejlépe řezaná na 15-20 cm, rašelina, piliny nebo listí. Mezi kvalitní hnůj patří hnůj koňský, který je hodně záhřevný a spíše suchý. Rovněž hnůj skotu je možno považovat za kvalitní. Hnůj prasat je vlhčí a studený. Velmi bohatý na živiny je hnůj ovčí a drůbeží, doporučovaný spíše zahradníkům.

Kvalita nově vzniklého hnoje je závislá na následném zacházení s chlévskou mrvou. Pokud je dobře uskladněna a proces fermentace proběhne za příznivých podmínek, dojde k menším ztrátám dusíku v ní obsaženém a dalších živin. Vlastní zrání mrvy je složitý

biochemický proces, kdy směs podestýlky, pevných výkalů a moči jsou částečně odbourávány činnostmi různých skupin mikroorganismů (Richter a Kubát, 2003)

Proces je závislý na teplotě, vlhkostních podmínkách a množství kyslíku dostupného pro mikroorganismy. Proces fermentace je především anaerobní. Aby nedošlo k velkým ztrátám živin a organické hmoty, je vhodnější, aby byl omezen přístup kyslíku, který proces odbourávání urychluje a tím zvětšuje ztráty.

3.3.1 Složení hnoje

Hnůj lze považovat za kvalitní hnojivo bohaté na organickou hmotu a živiny, umožňující v závislosti na dávce zvýšit výnos zemědělských plodin a kvalitu půdy, do které je zapraven. Také v závislosti na skladování obsahuje zvýšený počet mikroorganismů, pro půdu nepostradatelných. Jeho složení je úzce spojené se složením chlévské mrvy. Hnůj tedy může být podle druhu hospodářských zvířat koňský, kravský, prasečí, drůbeží, ovčí a kozí.

3.3.2 Příznivé a nepříznivé vlivy hnoje

Vlastnosti jsou dány obsahem organické hmoty, jejíž zlepšující vliv na půdu byl již popsán (viz. kapitola 3.1.1). Hnůj má příznivý poměr C:N, množství přístupného N a dalších živin. Hnůj má pozitivní vlastnosti, které mají dobrý vliv na strukturu půdy, zvyšuje kapilární vodní kapacitu a poskytuje vyšší stupeň biologické rozmanitosti v půdě (Wolf and Snyder, 2003). Složení a struktura mikrobiálního společenství se liší v závislosti na velikosti částic. Vyšší rozmanitost mikrobiálního společenstva se nachází mezi malými částicemi než u hrubých velkých zlomků a frakcí.

Ling et al. (2014) zjistili, že organické hnojení v dlouhodobém měřítku zvyšuje obsah POH o velikosti částic 2 mm, a tím i rozmanitost bakteriálních společenstev. Také dodávají, že zvyšuje enzymatickou aktivitu v půdě. V dlouhodobém pokusu Šimon and Czakó (2014) vyhodnotili chlévský hnůj jako kvalitní hnojivo, které zvyšuje jak kvantitativní tak kvalitativní vlastnosti v půdě (zvyšuje množství přístupného C, enzymatickou aktivitu, půdní respiraci).

Nepříznivé vlastnosti závisí na vyzrálosti hnoje, obsahu patogenních mikroorganismů, obsahu rizikových prvků a rizikových látek. Nevzrálý hnůj může působit fytotoxicky a může obsahovat více patogenních mikroorganismů, dobře vzrálý hnůj má minimální negativní důsledky. Obsah rizikových prvků je omezen normou, pokud jsou stanovené limity dodrženy a hnojivo uznáno jako typové, nepředstavuje riziko pro půdu.

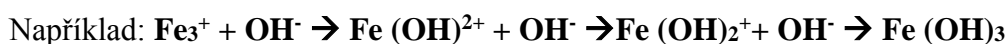
Aplikace hnoje může zvyšovat pH, reakce s tím související popisují Wofl and Snyder (2003). Vysoké množství produkovaného CO₂ v půdě rozkladem hnoje v kombinaci s HCO₃⁻, má tendenci zachovávat nebo zvyšovat pH a tak i redukovat rozpustnost mikroživin. To je způsobené řadou reakcí, jako je mikrobiální a kořenová respirace:



V půdě s vysokým pH OH⁻ ionty přecházejí do formy iontů HCO₃⁻ a následně CO₃²⁻. Zvýšením množství CO₂ se posouvá reakce doleva a tak se zvyšuje množství OH⁻ a tím i pH.



Mikronutrienty pak přecházejí do nerozpustné formy:



3.3.3 Legislativa související s hnojem

Hnůj je podle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech organickým hnojivem, tedy živiny pro výživu rostlin v něm obsažené jsou v organické podobě. Lze jej také považovat za statkové hnojivo, které je vedlejším produktem chovu hospodářských zvířat a vedlejším produktem rostlinné výroby. Podle tohoto zákona by měl být ohlášen jako typové hnojivo. Nemusí být registrován, pokud splňuje podmínky stanovené tímto zákonem, respektive podmínky stanovené ve vyhlášce č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva. Jednou z podmínek tohoto zákona je splnění limitních hodnot rizikových prvků obsažených v hnoji. Podle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech jej lze také považovat za biologicky rozložitelný odpad (=jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu) a to v případě, že se jej původce zbavuje.

Ustanovení zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech a dalších norem spojených s hnojivy, hnojivými přípravky, pomocnými půdními látkami, pomocnými rostlinnými přípravky a substráty podléhají nadřazeným předpisům Evropské unie, které byly do české legislativy implementovány, v některých částech se na ně zákon odkazuje. Patří mezi ně:

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 2003/2003 ze dne 13. října 2003 o hnojivech, v platném znění.
- Směrnice Rady 86/278/EHS ze dne 12. června 1986 o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství.

- Směrnice Rady 91/692/EHS ze dne 23. prosince 1991, kterou se normalizují a racionalizují zprávy o provádění některých směrnic týkajících se životního prostředí.
- Směrnice Rady 91/676/EHS ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů.
- Nařízení Komise (ES) č. 181/2006 ze dne 1. února 2006, kterým se provádí nařízení (ES) č. 1774/2002, pokud jde o organická hnojiva a půdní přídatky s výjimkou hnoje, a o změně uvedeného nařízení.

3.4 Čistírenské kaly

Čistírenské kaly jsou produktem z čištění odpadních vod. Vznikají na mechanicko-biologických čistírnách v různých fázích procesu čištění odpadní vody. Primární kal vzniká usazením sedimentujícího podílu znečištění v usazovacích nádržích (tedy ještě v mechanické části čistírny). Sekundární kal vzniká usazením aktivního kalu v dosazovacích nádržích. Primární i sekundární kal obsahuje velké množství aktivních mikroorganismů. Velká část těchto mikroorganismů pozitivně ovlivňuje proces čištění vody. Část z nich může být ale potenciálně nebezpečná, mezi ně patří patogenní mikroorganismy (viry, patogenní bakterie, parazitické organismy ve své prvotní formě, například vajíčka tasemnic, háďátek, motolic (Plháková, 2013)). Aby mohl být kal aplikován na zemědělskou půdu, musí být dále zpracován. Nejčastěji je zpracován anaerobní stabilizací nebo aerobní stabilizací, pak vzniká anaerobně stabilizovaný kal a aerobně stabilizovaný kal, neboli jak je uvedeno ve vyhlášce č. 382/2001 Sb. se jedná o upravený kal.

3.4.1 Složení čistírenských kalů

Čistírenské kaly obsahují značné množství organické hmoty obohacené o živiny. Živiny v čistírenském kalu jsou částečně vázané na organickou hmotu. Tyto živiny se uvolňují postupně po aplikaci během následujících let. Rychlost uvolňování uhlíku a živin je závislá na stabilitě kalu a stabilitě samotných látek obsažených v kalu. Dusík a fosfor, které se nachází v kalu, byly z vody převážně odstraněny imobilizací mikroorganismů, velká část organického materiálu, byla usazena v podobě primárního kalu na dně usazovacích nádrží. Částečně jsou živiny také v minerální podobě snadno přístupné pro rostliny. Množství organické hmoty a živin je závislé na procesu, při kterém vznikly, na typu odpadní vody (městské, průmyslové) a následné úpravě kalů.

3.4.2 Příznivé a nepříznivé vlivy čistírenských kalů

Jak už bylo řečeno množství živin a organické hmoty je závislé na typu kalu a jeho úpravě. Úpravou kalu je myšlena jeho aerobní nebo anaerobní stabilizace a hygienizace. Při úpravě kalu se snadno rozložitelná organická hmota částečně přetváří na stabilnější organickou hmotu, část organické hmoty je redukována a část se mineralizuje. Při anaerobní stabilizaci se redukuje organická hmota v sušině z původních 60-70% na přibližně 50% (Rajczyková a kol., 2001).

Kvalita čistírenských kalů závisí také na množství rizikových látek. Jejich celkový obsah je ovlivněn hlavně typem odpadní vody, ze které kal vznikl. Formu v jaké se rizikové látky nacházejí a celkový obsah může ovlivnit i způsob čištění odpadní vody. Mezi rizikové látky, jejichž množství dodané do půdy omezuje vyhláška č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, patří těžké kovy, AOX+, PCB, arsen, kadmium, chrom, měď, rtuť, nikl, olovo a zinek (Plháková, 2013).

3.4.2.1 Vlastnosti rizikových prvků obsažených v kalech

(upraveno podle Polákové a kol., 2011)

AOX nebo také halogenované organické sloučeniny jsou látky, které obsahují skupinu halogenů, nejčastěji Cl, nebo Br. Polychlorované bifenyly (PCB), jsou látky patřící do skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků. Tyto látky pro svou vysokou stálost byly dříve široce využívány. Jsou prokazatelně toxické. Pravděpodobně karcinogenní. Kumulují se v tukové tkáni a v mateřském mléce, způsobují změny na kůži, změny spojené s indukci enzymů, estrogenní aktivitou, snižuje se obranyschopnost organismu, dochází k poruchám reprodukce, zvětšení štítné žlázy.

Arzen a jeho sloučeniny je vysoce toxický, mutagenní, teratogenní a karcinogenní. Rostliny jej přijímají nepatrné množství. Člověk je náchylnější na rakovinu plic a kůže, může být zvýšené riziko nádorů jater, ledvin a močového měchýře. Kadmium je toxické a pravděpodobně karcinogenní, omezuje růst rostliny, poškozují kořeny a způsobuje chlorózu, které předchází červenohnědé zbarvení listů rostliny. U živočichů se toxicita kadmia projevuje negativním ovlivněním činnosti ledvin, plic, jater a srdeční činnosti.

Chrom stimuluje růst rostlin, pro člověka je však toxický a karcinogenní, negativně ovlivňuje kůži (dráždění a zvrhodovatění), sliznice a zažívací trakt (vředy v žaludku a zažívacím traktu), je schopný vyvolat zhoubné nádory plic a alergické astma. Účinky na člověka jsou velice silné, nejtoxičtější formou je chrom v oxidačním stavu VI. Toxičtější je

při vdechování jeho aerosolů, méně toxický je při přijímání potravou, protože v žaludku oxidační stav VI přechází na III (Linhart, 2014).

Měď je jako stopový prvek nepostradatelný, pohyblivost mědi stoupá s klesajícím pH, ve vysokých koncentracích může působit fyto toxicky, projevem fyto toxicity mědi je chloróza. U člověka předávkování mědi způsobuje akutní otravu a následně smrt. Přbytek mědi je však vzácný.

Rtuť je přijímána rostlinami hlavně ze vzduchu, z půdy méně. Rostliny ji přijímají velice snadno, omezuje jejich růst, vývin kořenů a fotosyntézu. Je kumulativním jedem pro člověka a živočichy, kumuluje se v ledvinách, játrech a slezině. Pro organismus je toxická a neurotoxická. Chronická otrava se projevuje třesem rukou, emoční nestabilitou a záněty dásní (Linhart, 2014). Nejtoxičtější formou je dimethylrtuť a methylrtuť.

Nikl je toxický pro rostliny ve vyšších koncentracích ($10-100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), omezuje jejich růst, potlačuje fotosyntézu a transpiraci. Pro člověka je karcinogenní a teratogenní. Vyvolává alergickou reakci na kůži (způsobuje dermatitidu, zvanou niklový svrab). Inhalace prachu způsobuje podráždění dýchacích cest, alergické astma, po požití trávicí soustavou napadá nejvíce ledviny (Linhart, 2014).

Olovo je pro rostlinu v menším množství stimulant, ve větším množství je toxické – narušuje metabolismus vápníku, inhibuje enzymatické systémy, snižuje příjem oxidu uhličitého a omezuje příjem vody. V lidském těle se kumuluje v kostech a poškozuje ledviny, játra, nervovou soustavu, červené krvinky, cévy a svaly. Má mutagenní a karcinogenní účinky.

Zinek je pro lidský organismus i pro rostlinné tělo nepostradatelný. Ovlivňuje v organismu mnoho dějů. Přes jeho dobré vlastnosti, je ve větším množství toxický. Redukuje růst rostlin a listů, u člověka způsobuje křeče, bolesti žaludku, zvracení a průjemy.

3.4.2.2 Vlastnosti kalů aplikovaných na půdu

Čistírenské kaly mají řadu příznivých vlastností, obsahují množství živin a organické hmoty. Velké riziko však přináší obsah rizikových prvků, které se pravidelnou aplikací kalů mohou v půdě kumulovat a ohrožovat tak vzházení a růst rostlin, bioakumulací v rostlinách také v menším či větším měřítku v závislosti na druhu rostliny ohrožovat potravní řetězec. V poslední řadě jsou tyto rizikové látky nebezpečné pro ostatní biotu v půdě, mají negativní ekotoxikologický efekt. Proto i přes množství příznivých vlastností je rizikovitost kalů hodnocena v mnoha vědeckých experimentech, které se zabývají jak potenciálním

nebezpečím a velikostí dávky, tak odstraněním tohoto efektu. Například výzkum Azizi et al. (2013) byl zaměřen na ekotoxikologický vliv a odstranění rizikových látek vermikompostováním pomocí žížal druhu *Lumbriculus rubellus* a kompostu, na kterém byly pěstovány houby.

Carbonell et al. (2009) zkoumali ekotoxikologický efekt kalů na půdní organismy. Výsledky výzkumu ukázaly sníženou schopnost klíčení a snížení množství biomasy u rostliny *Brassica rapa* (u všech dávek kalu) a snížené množství biomasy u rostlin *Triticum aestivum* a *Vicia sativa* (u nejvyšší dávky = 120 kg/ha⁻¹). Naopak v porovnání s kontrolou (bez aplikace kalu), byla u všech dávek kalu zvýšena enzymatická aktivita (dehydrogenázy a fosfatázy) a respirační aktivita mikroorganismů.

Podle výsledků dalších vědeckých prací závisí jak na typu rostliny (Singh and Agrawal, 2010; Oleszczuk, 2007), tak na způsobu úpravy kalů (Antolín et al., 2010). Oleszczuk (2007) posuzoval vliv PAH, těžkých kovů a fyzikálně-chemických vlastností kalu. Výsledky studie ukázaly vysokou toxicitu kalu ve vztahu k rostlinám (až 100% inhibice klíčení semen), toxicita byla prokázána i v jeho další studii (Oleszczuk, 2008).

Antolín et al. (2010) porovnávali vliv kalů na bioakumulaci těžkých kovů rostlinami s kontrolou (bez aplikace kalu). U všech kalem ošetřených vzorků došlo ke zvýšené akumulaci těžkých kovů v tkáních rostlin vyvolaných oxidativním stresem. Singh and Agrawal (2010) potvrzují, že aplikace kalů má vliv na půdní fyzikální vlastnosti a tak i dostupnost těžkých kovů v půdě, ta způsobuje zvýšení bioakumulace rizikových prvků rostlinou.

Na sledovaných rostlinách pozorovali Singh and Agrawal (2010) zkrácení kořenů, prodloužení výhonků, zvýšení počtu listů a zvětšení listové plochy, zároveň s nárůstem množství biomasy rostliny v závislosti na aplikovaných kalech. Celkový výnos se v porovnání s kontrolou zvýšil (čím vyšší dávka kalu byla aplikována, tím vyšší byl výnos). S dávkou kalu vyšší než 4,5 kg/m² se zvýšilo i riziko kontaminace potravního řetězce.

3.4.3 Legislativa související s čistírenskými kaly

Podle zákona č. 185/2001 Sb., O odpadech a o změně některých dalších zákonů je kal z čistíren odpadních vod odpadem. Zpracování kalu do půdy je v zákoně označeno jako použití kalu a to je možné jedině v případě, že čistírenský kal byl upraven. Tedy byl podroben: „*biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalech, a tím i zdravotní riziko spojené s jeho aplikací.*“ (Burdek, 2012). Kal lze

na půdu aplikovat s ohledem na nutriční potřeby rostlin, tak aby jejich využitím nebyla zhoršena kvalita půdy, kvalita povrchových a podzemních vod. Zákon také stanoví, na jaké půdě není kal možno použít. Další podmínky použití kalu určuje vyhláška 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Zde jsou stanoveny:

- technické podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě,
- mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě a rizikových látek, které mohou být do zemědělské půdy přidány,
- mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech a mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě,
- postupy odběru vzorků kalů a půdy a metody analýzy kalů a půdy.

Pokud nejsou splněny uvedené podmínky, není možné čistírenský kal využít na zemědělské půdě.

3.5 Minerální hnojení

Minerální hnojiva jsou převážně průmyslově vyráběné sloučeniny takového složení, které jsou pro rostliny po jejich aplikaci rychle dosažitelné. Minerální hnojiva mohou být jednosložková nebo vícesložková. Jednosložkové minerální hnojivo je taková minerální látka či sloučenina, která poskytuje výhradně jednu z potřebných živin (N, P, K, apod.). Vícesložkové minerální hnojivo je směs látek poskytujících pro rostliny více živin pohromadě a to podle aktuální potřeby zemědělce v různých kombinacích, nejčastěji je to směs NPK.

3.5.1 Složení

Složení minerálních hnojiv je výhradně chemické povahy. Liší se podle živiny dodávané do půdy. Složení minerálních hnojiv, které patří mezi typová hnojiva, je stanoveno ve vyhlášce č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.

3.5.2 Příznivé a nepříznivé vlivy

Výhodou minerálních hnojiv je jejich poměrně nízký objem v poměru k aplikovanému množství (na rozdíl od hnojiv organických). Lze je tedy snáze aplikovat do půdy. Jejich působení je rychlejší a množství živiny, kterou je potřeba do půdy dodat z důvodu jejího aktuálního nedostatku, lze stanovit relativně přesně podle potřeby rostlin. Jejich nevýhodou jsou poměrně výrazné ztráty živin v důsledku jejich mobility v půdě vlivem dešťů.

3.5.3 Legislativa související s minerálními hnojivy

Použití minerálních hnojiv na zemědělské půdě upravuje zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd jinak také zákon o hnojivech. Co lze považovat za minerální hnojivo je uvedeno v paragrafu č. 2 tohoto zákona. Minerální hnojiva podobně jako hnůj, mohou být ohlášeny jako typové hnojivo, pokud splňují podmínky uvedené ve vyhlášce č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva a tedy v takovém případě nemusí být registrovány.

4 Metodika

4.1 Půda

Půdní typ, ze kterého byly odebírány vzorky je černozem. Vzorky byly odebírány v pravidelných intervalech podle ročního období z Demonstračního pole ČZU v Praze Suchdole. Černozemě jsou v ČR třetím nejrozšířenějším typem půd, vyvinutým v nejsušších a nejteplejších oblastech nížin a pahorkatin převážně na spraších (Poláková a kol., 2011). Demonstrační pole je využito k dlouhodobému pokusu s aplikovanými čistírenskými kaly, hnojem v různém množství a minerálními hnojivy.

K této experimentální části byly vybrány pouze určité parcely. Celá část demonstračního pole je zpracovávána pravidelnou orbou do hloubky 25 cm. Zbytky slámy nejsou zaorány, ale odvezeny z pole pryč. Pole je rozděleno do tří pásů, plodiny se střídají v tříletém cyklu s následným osevním postupem: brambory – pšenice - ječmen. Okrajová část (bez rotace) slouží jako úhor.

4.2 Odebrané vzorky

Byla provedena analýza šesti vzorků:

1. půda nehnojená určená jako kontrola (kontrola)
2. půda hnojená minerálním hnojivem v celkové dávce 2x70 kg N/ha za rok, 30 kg P/ha za (NPK)
3. půda hnojená kalem v celkové dávce kal 330 kg N/ha 1x za tři roky, (kal)
4. půda hnojená kalem v celkové dávce 990 kg N/ha 1x za tři roky, (kal3)
5. půda hnojená hnojem v celkové dávce 330 kg N/ha 1x za tři roky, rok, 100 kg K/ha za rok. (hnůj)
6. půda hnojená hnojem v celkové dávce 165 kg N/ha za rok, (hnůj ½)

Přesné vyjádření množství hnojiv je vyjádřeno v tabulce 4. 2. 1.

Tabulka č. 4. 2. 1 Množství a aplikace hnojiv na jednotlivé parcely

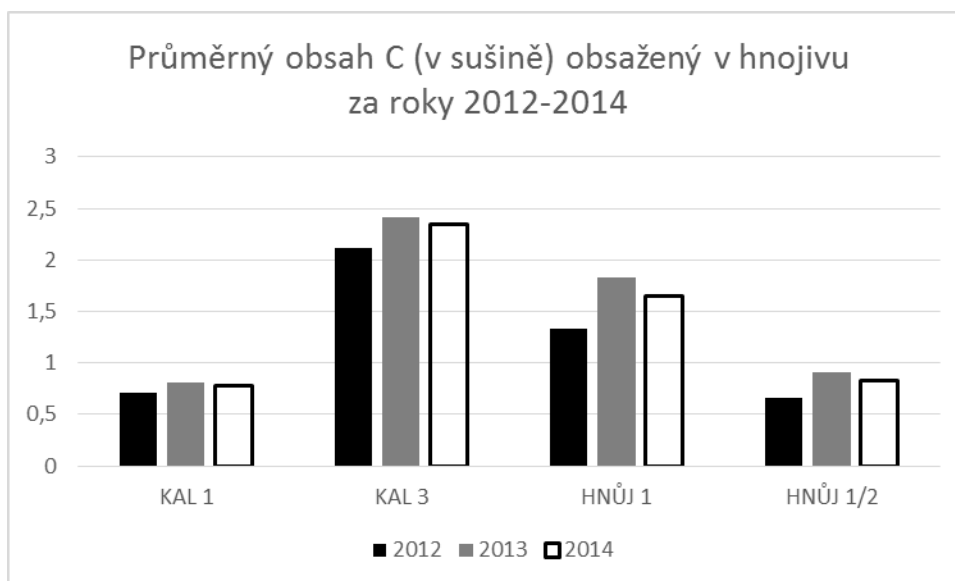
| část pozemku (typ hnojení) | Ječmen | Brambory | Pšenice |
|----------------------------|---|--|---|
| Kontrola | 0 | 0 | 0 |
| Kal3 | 0 | kal 990 kg N/ha | 0 |
| Kal | 0 | kal 330 kg N/ha | 0 |
| Hnůj 1 | 0 | hnůj 330 kg N/ha | 0 |
| Hnůj ½ | 2 x (55/2)kg N/ha | hnůj 165 kg N/ha | 2 x 55 kg N/ha |
| NPK | 70 kg N/ha 30 kg P/ha 100 kg K/ha | 120 kg N/ha 30 kg P/ha 100 kg K/ha | 2x70 kg N/ha 30 kg P/ha 100 kg K/ha |

Demonstrační pole, ze kterého byly odebrány vzorky bylo oseto *Triticum aestivum* (Pšenice setá). Odběry byly provedeny na 8 místech sondýrkou do hloubky cca 20 cm v orniční vrstvě v celkovém množství cca 1 kg vzorku z každé experimentální parcely.

4.3 Hnojení aplikované na půdu a jejich množství

Na parcely byl aplikován hnůj, čistírenský kal a minerální hnojivo. Hodnoty uvedené v tabulce vyjadřují celkový N aplikovaný v daném roce na půdu. Celková dávka hnojiv je určena podle obsahu N v půdě a obsahu N v hnojivu. Průměrný obsah C v kalech v sušině byl 25,95 % (20,9-30,05 %), průměrný obsah C v hnoji v sušině byl 33,06 % (28,2-40,08 %). Průměrný obsah C v sušině v organickém hnojivu (t.ha-1) je znázorněn v grafu č. 4.3.1.

Graf č. 4.3.1.:



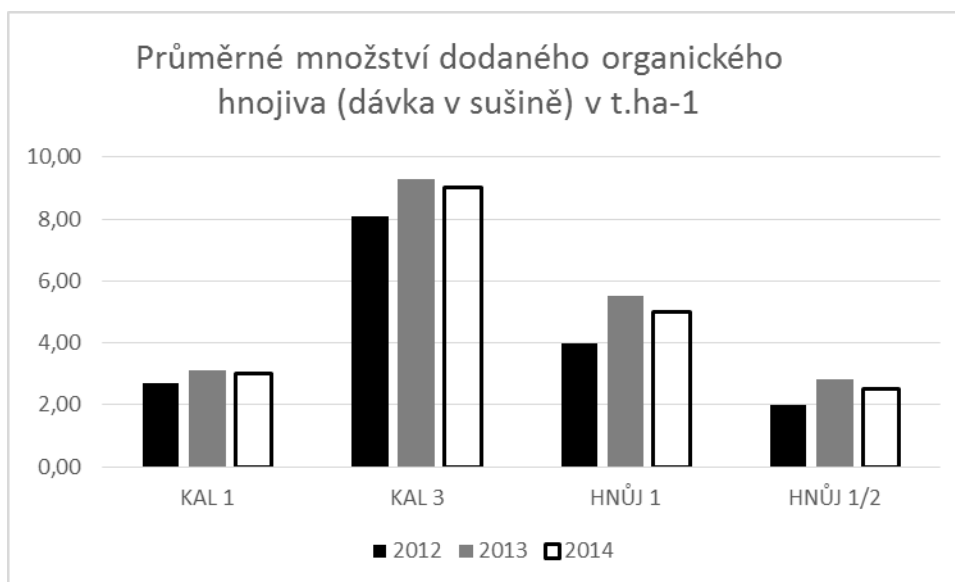
4.3.1 Čistírenský kal, hnůj, minerální hnojiva použitá při pokusu

Čistírenský kal aplikovaný na půdu byl anaerobně stabilizován a pochází z městské čistírny odpadních vod Praha Troja. Hnůj, který byl použit k výzkumným účelům, pochází ze zemědělského podniku ČZU z Lán. Minerální hnojiva v tomto experimentu byla použita v podobě ledku amonného s vápencem (N), trojitého superfosfátu (P) a 60% draselné soli (K).

Průměrné množství dodané organické hmoty je znázorněno v grafu č. 4.3.2. Minerální hnojení bylo aplikováno ve dvou dávkách jako regenerační a produkční hnojení, v termínech:

- 2012 – 14.3 a 17.4.,
- 2013 – 8. 3. a 24.4.,
- 2014 – 3. 3. a 8.4.

Graf č. 4.3.2.:



4.4 Postup (protokol) experimentu

Vzorky po odebrání byly ihned homogenizovány v laboratoři přeseťím přes síto s oky velikosti 2 mm a uloženy ke stabilizaci v ledničce po dobu 14-21 dní při teplotě 3-5°C. Po stabilizaci byla u vzorků porovnávána respirační aktivita pomocí dvou metod: alkalické absorpční metody a metody využívající interferenčního refraktometru. Aktivita mikroorganismů byla hodnocena jako:

- 1) bazální respirace, kdy vzorky byly zvlhčeny vodou
- 2) potenciální respirace po přidání glukózy,
- 3) potenciální respirace po přidání dusíku (síran amonný),
- 4) potenciální respirace po přidání glukózy a dusíku (síran amonný)

4.4.1 Metoda využívající interferenčního refraktometru:

Respirační aktivita mikroorganismů byla hodnocena pomocí vyprodukovaného množství CO₂. Vzorky byly inkubovány po dobu 20 hodin v termostatu o regulované teplotě 28-30°C. Po uplynutí doby inkubace byl CO₂ vytěsněn nasyceným roztokem soli a změřen na interferometru.

Postup:

Po uplynulé době stabilizace bylo naváženo 50g vzorku do kalibrovaných lahví. Pro každý vzorek byla založena varianta bazální respirace (B), potenciální respirace s dusíkem (N), potenciální respirace s glukózou (G) a potenciální respirace s dusíkem a glukózou (NG). Každá varianta byla založena ve dvou opakováních. Pro jednotlivé varianty (B, N, G, NG), byly použity roztoky podle tabulky č. 8.4.1.

Tabulka č. 4.4.1. Použité roztoky pro jednotlivé varianty

| Varianta | Roztok |
|---|--|
| Respirace bazální (B) | 2 ml destilované vody |
| Resp. potenciální s přidavkem dusíku (N) | 2 ml roztoku síranu amonného |
| Resp. potenciální s přidavkem glukózy (G) | 2 ml 25% roztoku glukózy |
| Resp. potenciální s přidavkem dusíku a glukózy (NG) | 2 ml roztoku připraveného smísením 50% roztoku glukózy se síranem amonným v poměru 1:1 |

Jednotlivé vzorky byly pečlivě uzavřeny a vloženy do termostatu o teplotě 28-30°C na 20 hodin. Po 20 hodinách byly vyjmuty a po přidání nasyceného roztoku soli (NaCl) určeného k vytěsnění plynu, změřeny na interferometru.

4.4.2 Alkalická absorpční metoda (titrační) metoda:

U této metody bylo využito kvantitativní potenciometrické analýzy zpětné titrace, k určení vyprodukovaného množství CO₂ po dobu pokusu (24h, při teplotě 28-30°C). CO₂ produkovaný mikroorganismy reagoval s roztokem NaOH, který byl po uplynulé době pokusu vyjmut a titrován příslušnou kyselinou (HCl). Indikátor využitý k titraci byl fenolftalein, srážecí činidlo BaCl₂.

Postup:

Po uplynulé době stabilizace bylo naváženo 25 g vzorku do petriho misek, které byly uloženy do uzavíratelných krabiček. Pro každý vzorek byla založena varianta bazální

respirace (B), potenciální respirace s dusíkem (N), potenciální respirace s glukózou (G) a potenciální respirace s dusíkem a glukózou (NG). Každá varianta byla založena ve dvou opakováních. Pro jednotlivé varianty (B, N, G, NG), byly použity roztoky podle tabulky č. 4.4.2.

Tabulka č. 4.4.2. Použité roztoky pro jednotlivé varianty

| Varianta | Roztok |
|---|--|
| Respirace bazální (B) | 1 ml destilované vody |
| Resp. potenciální s přídavkem dusíku (N) | 1 ml roztoku síranu amonného |
| Resp. potenciální s přídavkem glukózy (G) | 1 ml 25% roztoku glukózy |
| Resp. potenciální s přídavkem dusíku a glukózy (NG) | 1 ml roztoku připraveného smísením 50% roztoku glukózy se síranem amonným v poměru 1:1 |

Do krabičky se vzorkem byla přidána petriho miska s roztokem NaOH pro absorpci CO₂ produkovaného mikroorganismy. Poté byly vzorky uloženy do termostatu s teplotou 28-30°C na 24 hodin. Po 24 hodinách byly vyjmuty a roztok NaOH titrován kyselinou HCl o příslušné koncentraci po přidání indikátoru (fenolftalein) a srážecího činidla (BaCl₂).

5 Výsledky

Za období 2012-2014 byla stanovena průměrná hodnota bazální a potenciální respirace. Průměrná hodnota pro jednotlivé měsíce a pro období 2012-2014 byla vypočtena pomocí excelu a programu STATISTICA. Jednotlivé výsledky z programu STATISTICA jsou uvedeny v příloze, ke každému uvedenému grafu náleží tabulka uvedená v příloze. Průměrná hodnota všech odběrů byla:

- Bazální respirace (B) byla průměrně $2,18 \pm 0,44$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a $0,42 \pm 0,17$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR.
- Potenciální respirace s přidavkem dusíku (N) byla průměrně $2,59 \pm 0,46$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a $1,08 \pm 0,36$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR.
- Potenciální respirace s přidavkem glukózy (G) byla průměrně $5,69 \pm 2,67$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a $2,96 \pm 1,38$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR.
- Potenciální respirace s přidavkem dusíku a glukózy (NG) byla průměrně $17,09 \pm 6,38$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a $17,37 \pm 6,48$ mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR.

Potenciální respirace N ukazuje, zda jsou přítomná společenstva mikroorganismů saturována dusíkem, podle tohoto ukazatele se dá zjistit kompetice mezi rostlinami a mikroby, týkající se omezující živiny, kterou je v tomto případě dusík. Poměr N:B vypočítaný podělením bazální respirace a potenciální respirace s dusíkem se u vzorků nachází ve standardních mezích (od 0,8 – 1,2).

Potenciální respirace G se používá, pokud chceme určit, zda mikroorganismy mají dostatek, popřípadě nedostatek dostupného uhlíku (který je v tomto případě dodán v podobě glukózy obsahující rychle dostupný uhlík). Poměr G:B, zjistitelný vydělením potenciální respirace s glukózou a bazální respirace, se obvykle pohybuje mezi hodnotou 6,5 a 10. Poměr G:B vypočítaný pro metodu IR, byl v mezích těchto hodnot. Naopak u metody AA byly tyto hodnoty překvapivě nízké.

Potenciální respirace NG se stanovuje, aby bylo možné určit, zda je půdní organická hmota snadno dostupná nebo dostupná méně (může upozornit na vysokou stabilitu půdní

organické hmoty). U poměru NG:B vypočítaného pro metodu IR byly hodnoty vyšší, než je přiměřené (normálně se pohybují mezi 15 - 36), zatímco u metody AA byly naopak hodnoty o mnoho nižší, než je přiměřené. Nelze tedy spolehlivě říci, zda je POH stabilní či ne.

Pro každý odběr byly hodnoty zpracovány do grafů a tabulek. Grafy jsou uvedeny v následujících dvou podkapitolách (5.1 a 5.2), tabulky k nim jsou uvedené v první části přílohy (9.1 a 9.2), statistické vyhodnocení je uvedeno v druhé části přílohy (9.3 a 9.4).

5.1 Metoda využívající interferenčního refraktometru (IR):

K výpočtu množství vyprodukovaného CO₂ bylo využito vzorce 5.1:

$$\text{produkce CO}_2 = D \cdot K / S$$

(vzorec č. 5.1)

kde

D počet dílků naměřených na interferometru,

K koeficient vypočtený pro každou kalibrovanou lahev

S sušina (bezrozměrně)

Vyprodukovaný CO₂ vychází v mg CO₂/hod/100g suché zeminy.

Statisticky průkazně nejnižších hodnot bazální respirace dosáhla kontrola 0,23² (0,09 – 0,51). Výsledky statistického testu nepotvrdily hypotézu, že neexistuje rozdíl mezi hnojeními. Z testu vyplývá, že je kontrola statisticky významně odlišná od ostatních vzorků. Nejvyšších průměrných hodnot dosáhla parcela hnůj ½ 0,52² (0,27 – 0,81), Kal, Kal 3 a Hnůj vykazovaly podobné výsledky - Kal=0,43² (0,22 – 0,60); Kal3=0,48 (0,25-0,70); Hnůj= 0,46 (0,33-0,56).

Podle předpokladu potenciální respirace měla vyšší průměrné hodnoty než bazální respirace. A to v očekávaném pořadí B<N<G<NG. Bazální respirace v průběhu let 2012-2014 je znázorněna v grafu č. 5.1. Podrobné výsledky pro jednotlivé měsíce jsou v grafech v podkapitole 5.1.1 – 5.1.3. Tabulky s výsledky pro jednotlivé grafy jsou uvedeny v příloze.

Nejnižších hodnot potenciální respirace N dosáhla kontrola 0,76 (0,3-3). Nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi hnojenými parcelami a kontrolou. Hodnoty pro hnojení byly: NPK=1,24 (0,4-6,82); Kal=1,41 (0,54-8,02); Kal3=1,39 (0,61-7,14); Hnůj=0,84 (0,58-1,07); Hnůj ½=0,83 (0,60-1,06).

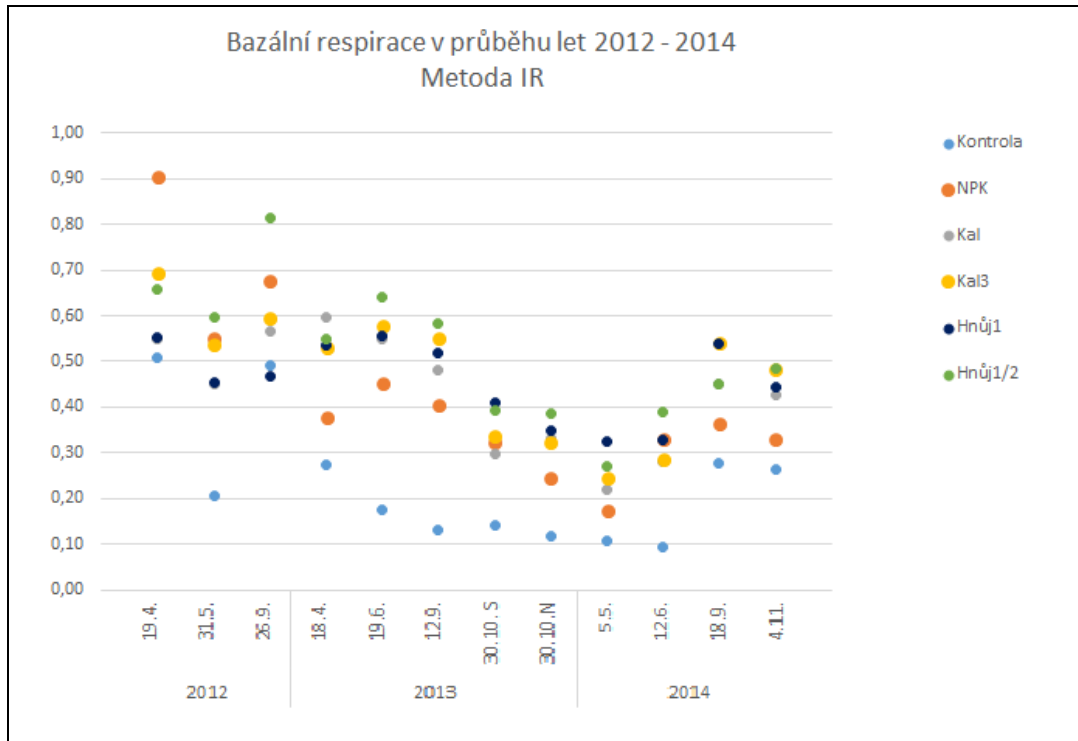
² Hodnota uvedená za rovnítkem je průměrná hodnota, hodnoty uvedené v závorce za ní jsou rozptylem hodnot, mezi kterými se naměřené hodnoty pohybovaly. Všechny výsledky jsou uvedené v mg CO₂/hod/100g.

Statisticky průkazně nejnižších hodnot potenciální respirace G dosáhla kontrola 1,97 (0,64-6,94). Výsledky statistického testu nepotvrdily hypotézu, že neexistuje rozdíl mezi hnojeními. Z testu vyplývá, že je kontrola statisticky významně odlišná od ostatních vzorků. Hodnoty pro hnojení byly: NPK=2,68 (1,11-3,94); Kal=3,04 (1,63-5,68); Kal3=2,9 (0,61-5); Hnůj= 3,64 (1,86-6,24); Hnůj ½=3,5 (1,97-4,75).

Statisticky průkazně nejnižších hodnot potenciální respirace NG dosáhla kontrola 9,74 (2,17-20,83). Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi kontrolou, a hnojenými parcelami hnojem a kalem, mezi NPK a kontrolou nebyl větší rozdíl. Hodnoty pro hnojení byly: NPK=14,67 (6,01-24); Kal=19,1 (12,09-24,89); Kal3=22,04 (11,54-31,76); Hnůj=19,8 (11,62-28,09) Hnůj ½=18,89 (11,99-26,28).

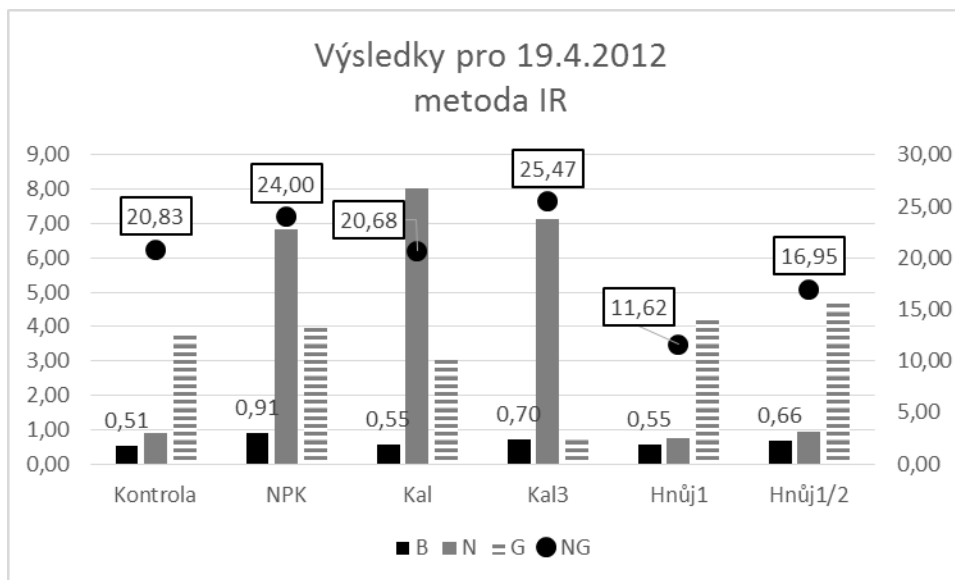
Z níže uvedeného grafu (5.1) jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými odběry. Lze z něj vyčíst, že v případě metody IR, jsou hodnoty bazální respirace u kontroly nejnižší v dlouhodobém měřítku. Nejnižší hodnoty pro všechna hnojení byly při odběru 5.5.2014 a nejvyšší 19.4.2012 a 26.9.2012.

Graf č. 5.1. Bazální respirace v průběhu let 2012-2014, Metoda IR, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

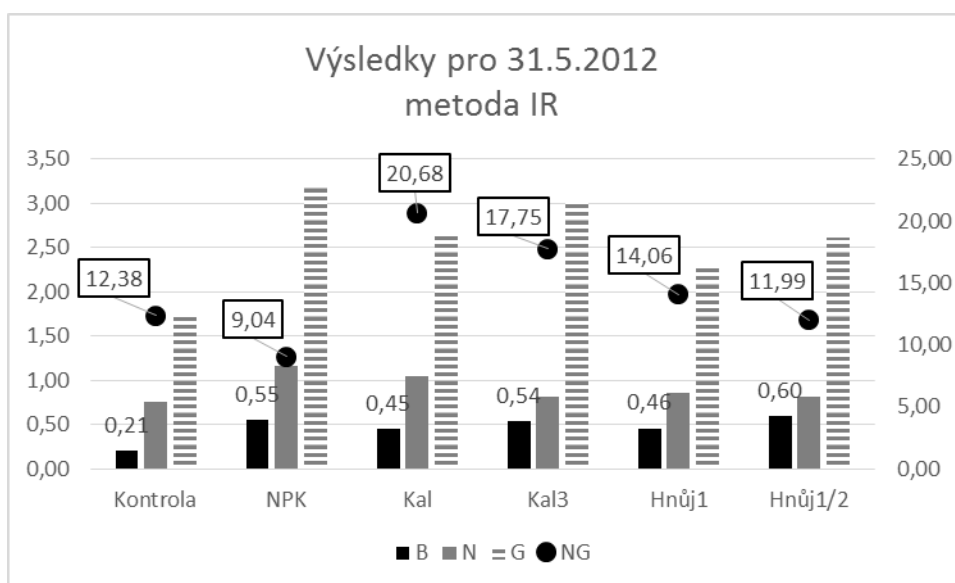


5.1.1 Výsledky pro rok 2012 (IR)

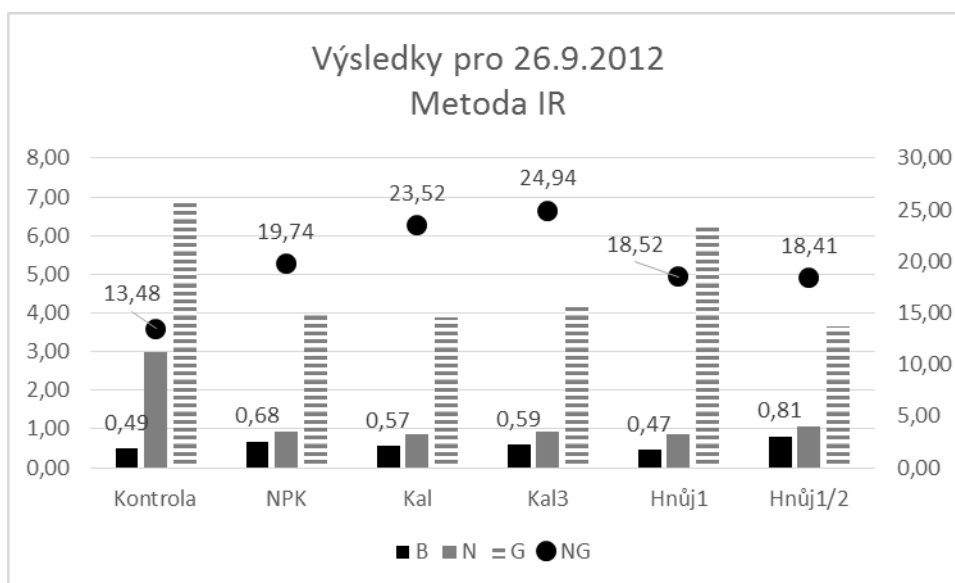
Graf č. 5.1.1.1 Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2012, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy.



Graf č. 5.1.1.2. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2012, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

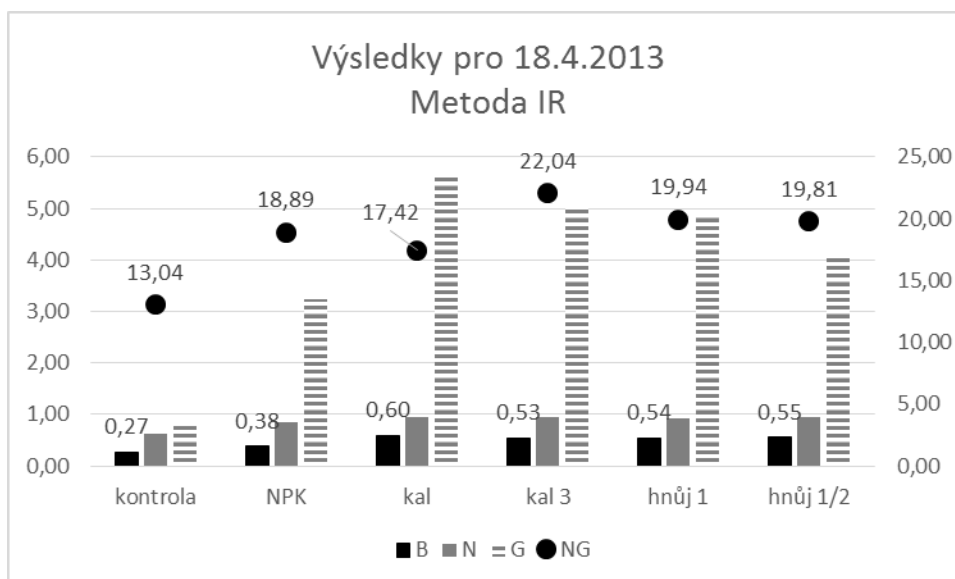


Graf č. 5.1.1.3. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2012, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

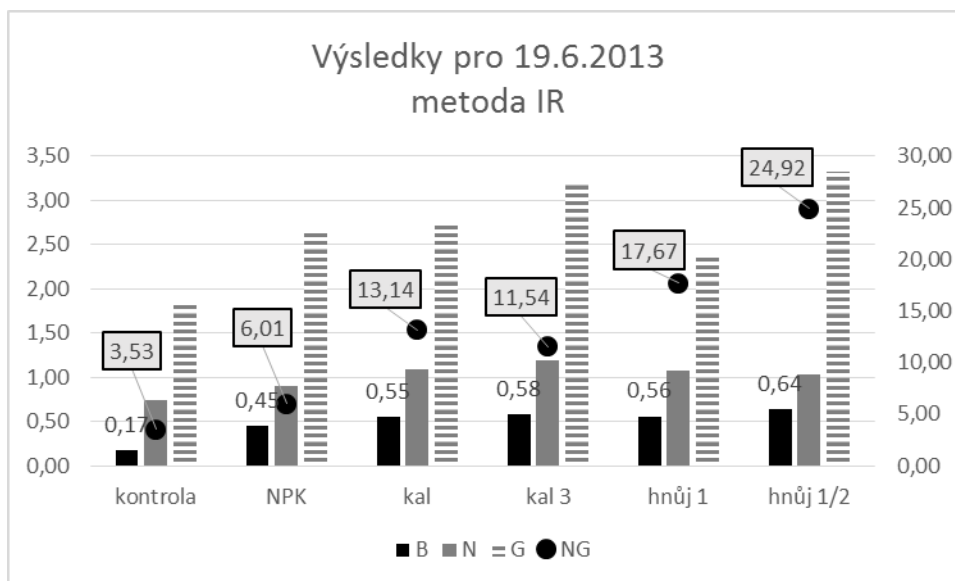


5.1.2 Výsledky pro rok 2013 (IR)

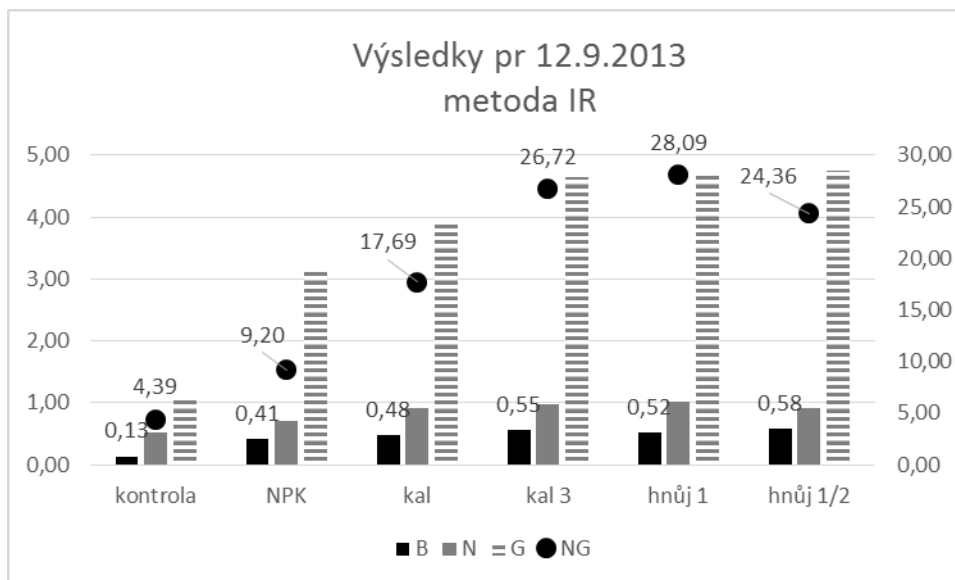
Graf č. 5.1.2.1. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



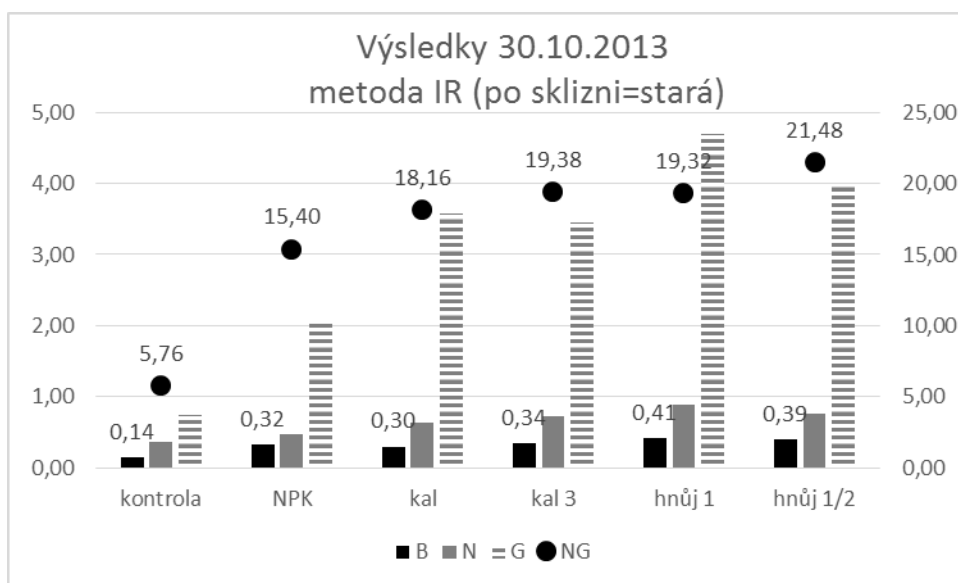
Graf č. 5.1.2.2. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



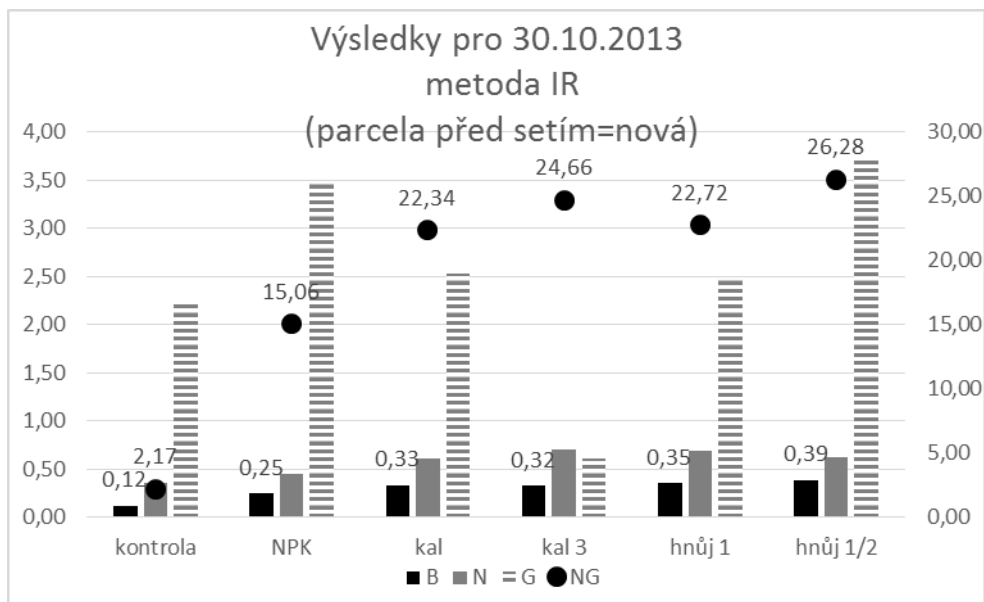
Graf č. 5.1.2.3. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



Graf č. 5.1.2.4. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

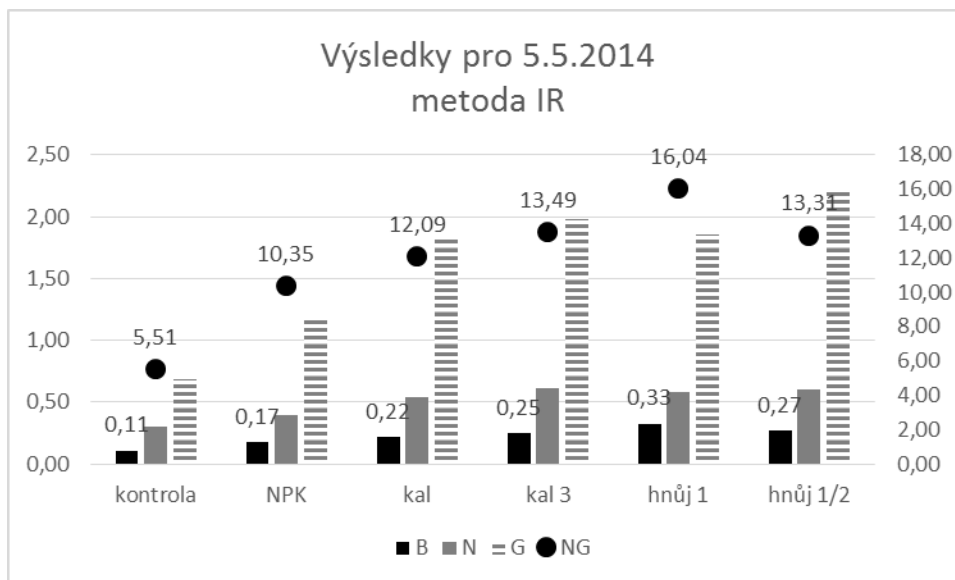


Graf č. 5.1.2.5. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

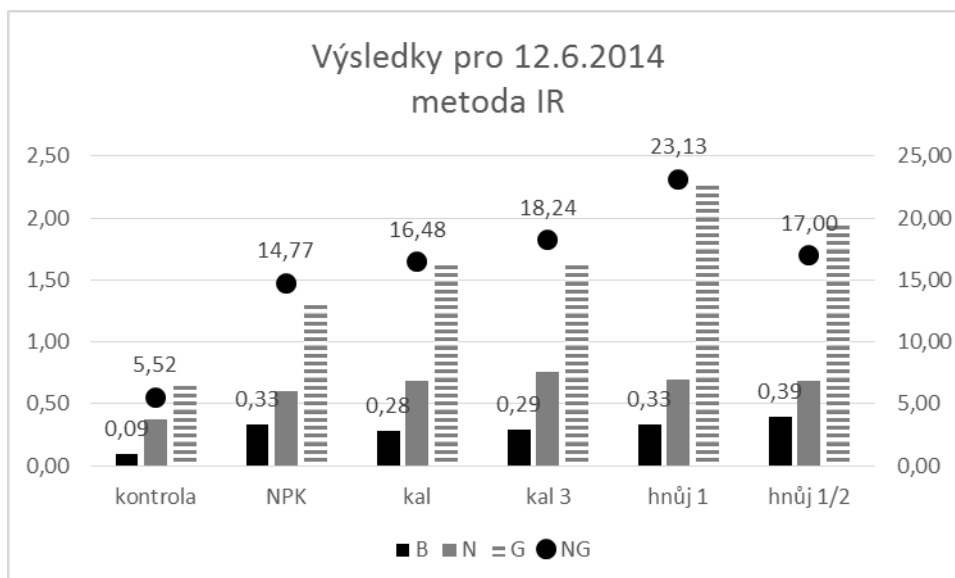


5.1.3 Výsledky pro rok 2014 (IR)

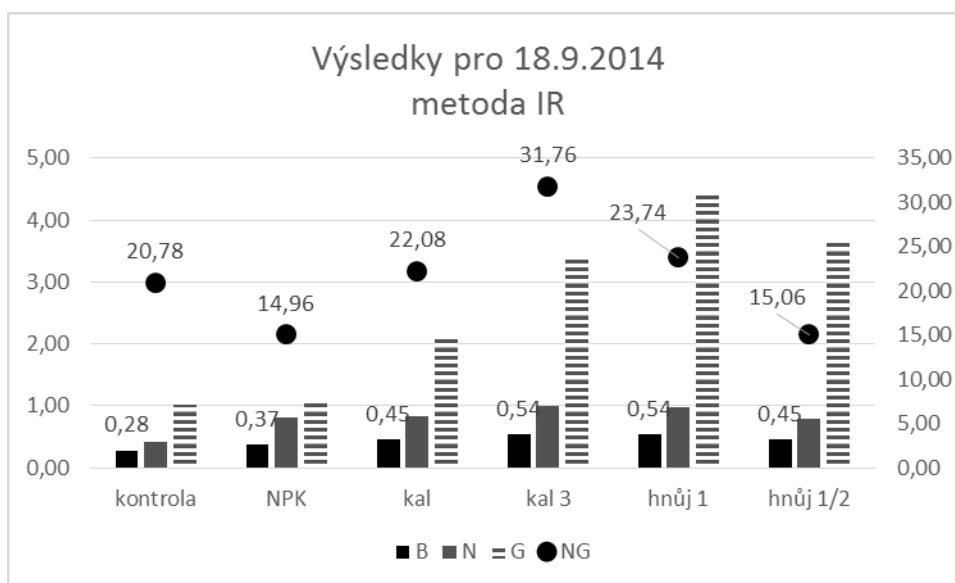
Graf č. 5.1.3.1. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



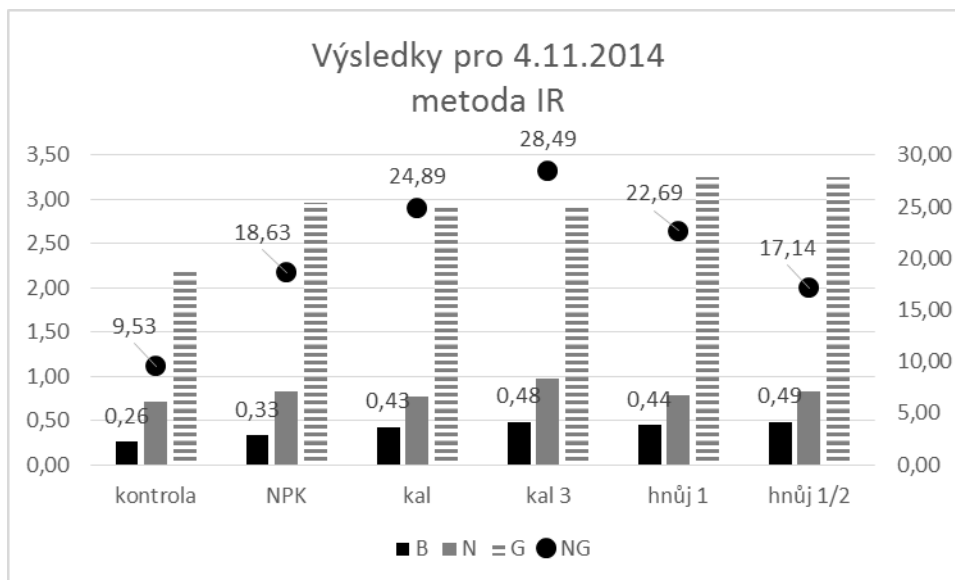
Graf č. 5.1.3.2. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy.



Graf č. 5.1.3.3. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



Graf č. 5.1.3.4. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda IR, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



5.2 Alkalická absorpční metoda (AA) metoda:

K výpočtu množství vyprodukovaného CO₂ bylo využito vzorce:

$$C\text{-CO}_2 = [(\text{ml NaOH} \cdot F_{\text{NaOH}}) - (\text{ml HCl} \cdot F_{\text{HCl}}) \cdot K] \cdot 4 / S / 24$$

kde

ml NaOH mililitry NaOH

ml HCl spotřeba HCl v mililitrech

F NaOH a F HCl příslušný faktor

K množství vázaného C- CO₂ na 1 ml NaOH o příslušné molaritě, (pro 1 mol.l⁻¹ NaOH = 6, pro 0,1 mol.l⁻¹ NaOH=0,6)

S sušina (bezrozměrně)

Vyprodukovaný CO₂ vychází v mg C-CO₂/hod/100g. Pro možnost porovnání byly výsledky převedeny na mg CO₂/hod/100g suché zeminy ve kterých jsou uvedeny v grafech, v tabulkách i v textu.

Podle předpokladu potenciální respirace měla vyšší průměrné hodnoty než bazální respirace. A to v očekávaném pořadí B<N<G<NG. Bazální respirace v průběhu let 2012-2014 je znázorněna v grafu č. 5.2. Podrobné výsledky pro jednotlivé měsíce jsou v grafech v podkapitole 5.2.1 – 5.2.3. Tabulky s výsledky pro jednotlivé grafy jsou uvedeny v příloze.

Statisticky průkazně nejnižších hodnot bazální respirace dosáhl Hnůj 2,06 (1,55 – 2,93)³. Kontrola dosáhla hodnot 2,22 (1,63 – 3,02). Výsledky statistického testu hypotézu (neexistuje rozdíl mezi hnojeními) nevyvrátily. Nejvyšších průměrných hodnot dosáhla parcela Hnůj ½ 2,27 (1,50 – 2,95), Kal, Kal3 a NPK vykazovaly podobné výsledky - Kal=2,19 (1,49 – 2,99); Kal3=2,16 (1,65 – 2,96), NPK=2,16 (1,40 – 3,02).

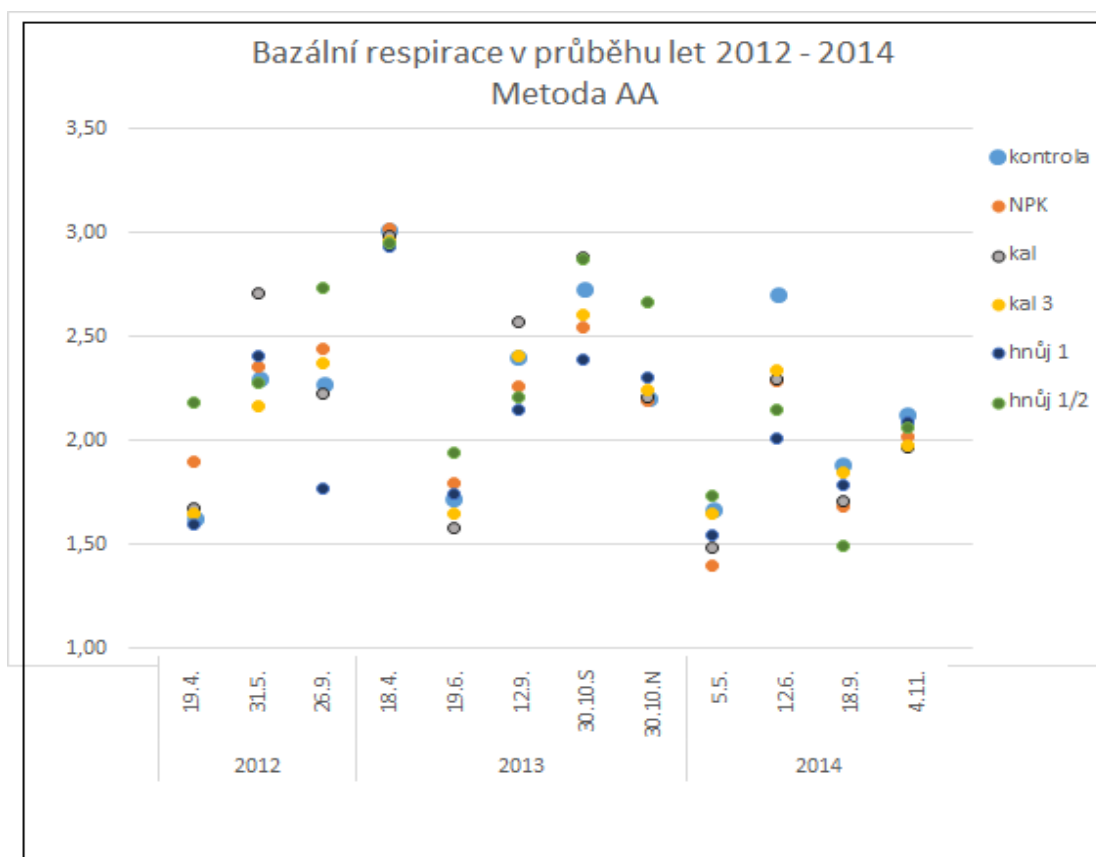
Nejnižších hodnot potenciální respirace N dosáhla Kontrola 2,27 (1,81 – 2,77). Výsledky statistického testu hypotézu (neexistuje rozdíl mezi hnojeními) nepotvrdily. Kontrola je podle výsledků statisticky významně odlišná od ostatních vzorků. Hodnoty pro hnojení byly: NPK=2,56 (1,93 – 3,53); Kal=2,67 (2,01 – 3,49); Kal3=2,65 (1,98 – 3,59); Hnůj=2,66 (2,03 – 3,47); Hnůj ½=2,73 (1,88 – 3,55).

³ Hodnota uvedená za rovnítkem je průměrná hodnota, hodnoty uvedené v závorce za ní jsou rozptylem hodnot, mezi kterými se naměřené hodnoty pohybovaly. Všechny výsledky jsou uvedené v mg CO₂/hod/100g.

Nejnižších hodnot potenciální respirace G dosáhla Kontrola=4,92 (0,49 – 10,88). Výsledky statistického testu nepotvrdily hypotézu, že neexistuje rozdíl mezi hnojeními. Z testu vyplývá, že je kontrola statisticky významně odlišná od ostatních vzorků. Hodnoty pro hnojení byly: NPK=5,9 (0,50 – 10,23); Kal=5,95 (0,39 – 14,35); Kal3=5,94 (0,43 – 11,92); Hnůj=5,96 (0,38 – 9,09); Hnůj ½=5,47 (0,48 – 8,76).

Nejnižších hodnot potenciální respirace NG dosáhl Hnůj ½ =13,42 (1,01 – 19,40). Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi kontrolou, a hnojenými parcelami hnojem a kalem, mezi NPK a kontrolou nebyl větší rozdíl. Hodnoty pro hnojení byly: Kontrola=16,46 (1,48 – 21,25); NPK=15,27 (1,12 – 22,54); Kal=19,71 (1,88 – 24,72); Kal3=20,14 (2,23 – 25,29); Hnůj=17,54 (1,83 – 24,69).

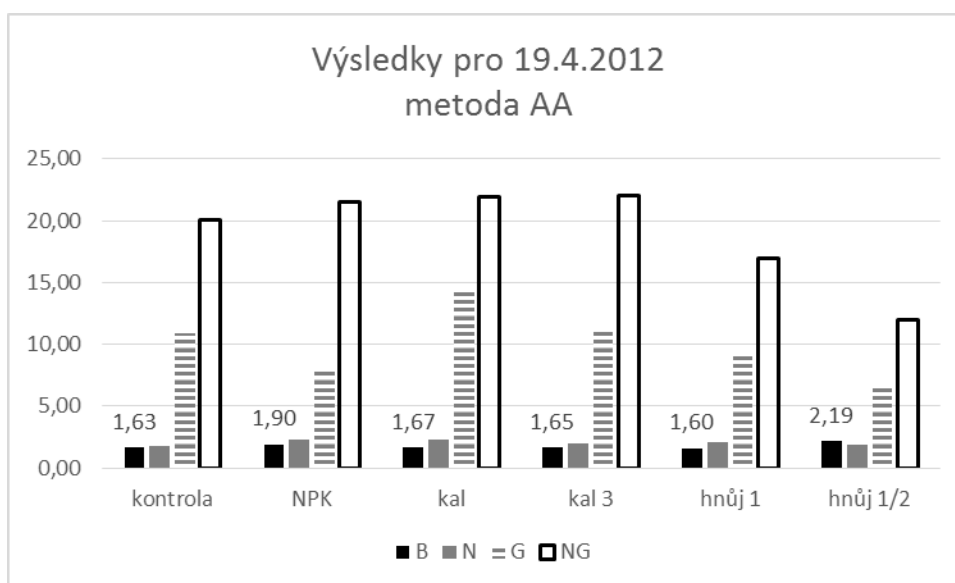
Graf č. 5.2.1 Bazální respirace v průběhu let 2012-2014, Metoda AA, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



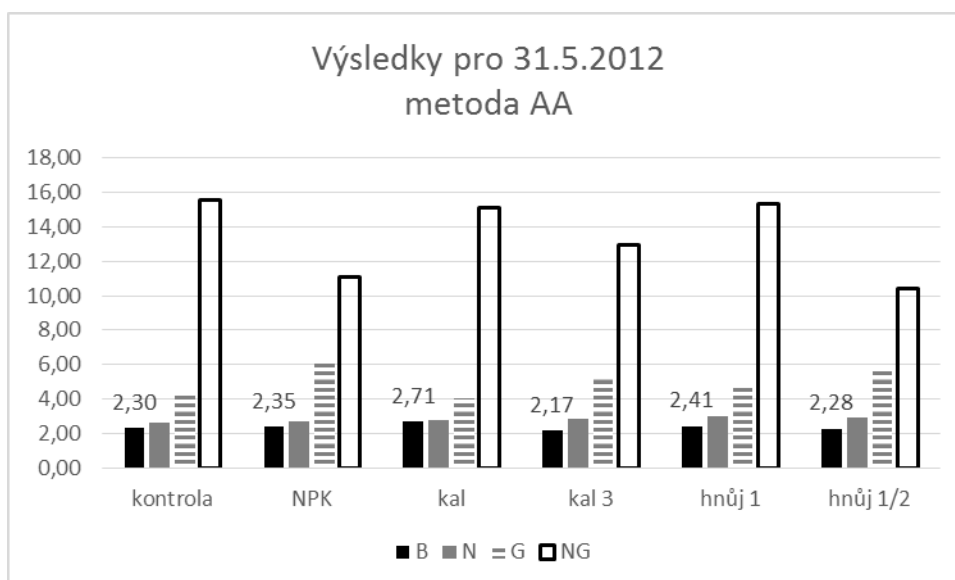
Obdobně jako u metody IR, byl pro metodu AA vytvořen graf znázorňující bazální respiraci v průběhu všech tří let. Nejnižší hodnoty všech hnojení byly naměřeny po odběru 5.5.2014. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny po odběru 18.4.2013.

5.2.1 Výsledky pro rok 2012 (AA)

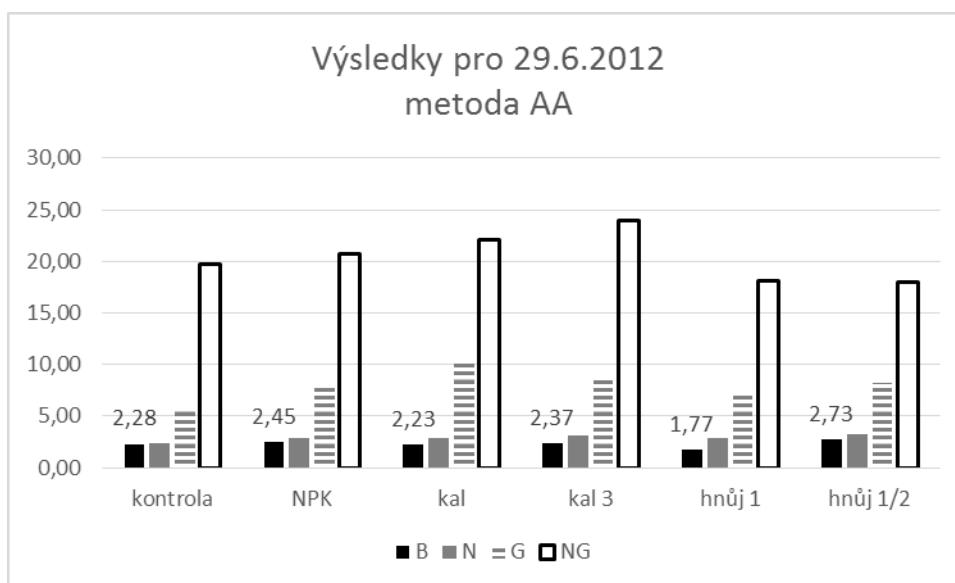
Graf č. 5.2.1.1. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2012, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



Graf č. 5.2.1.2. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2012, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

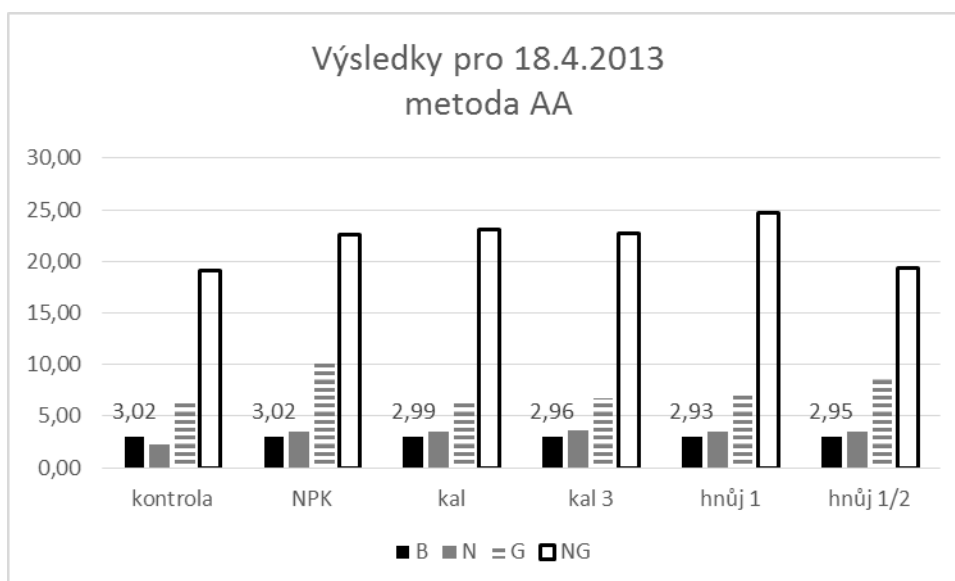


Graf č. 5.2.1.3. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2012, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

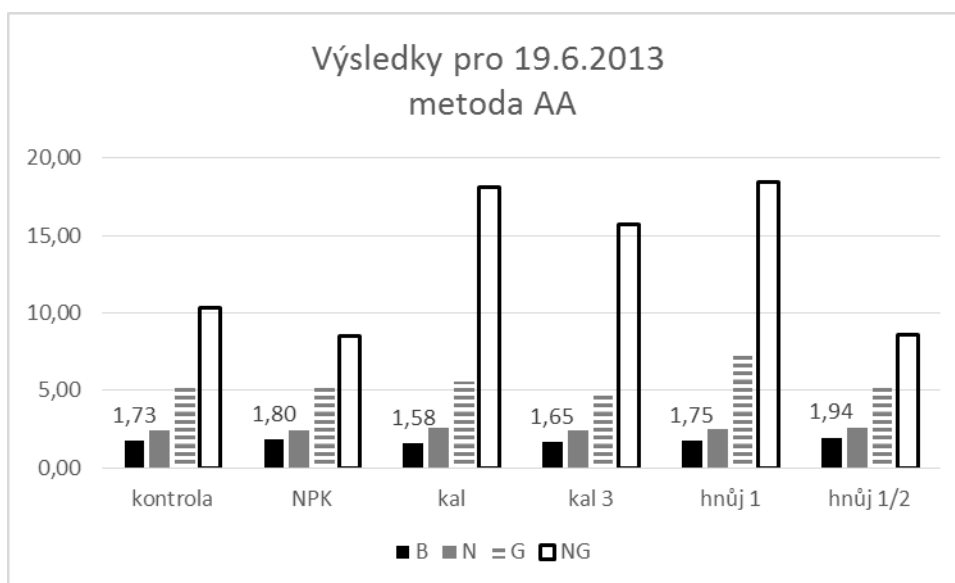


5.2.2 Výsledky pro rok 2013 (AA)

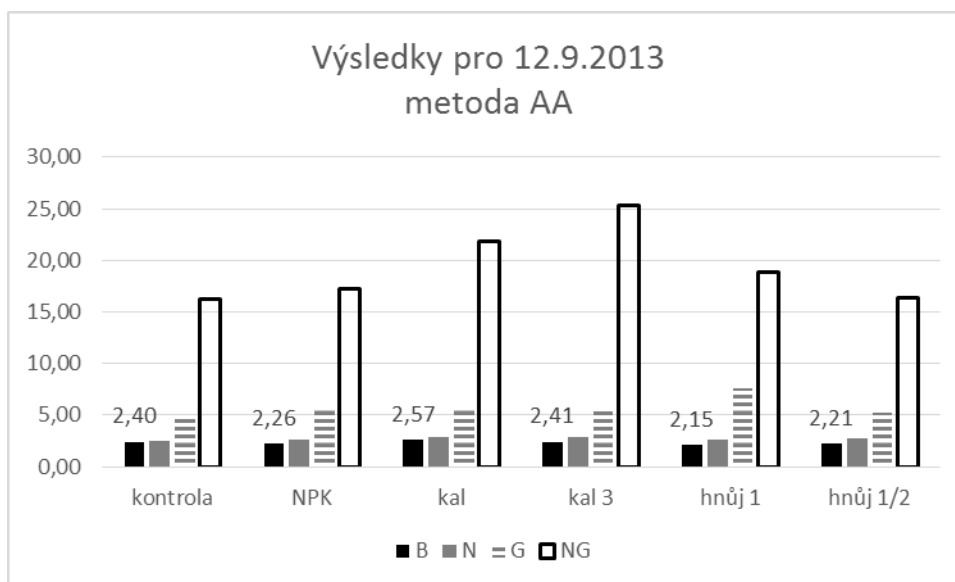
Graf č. 5.2.2.1. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



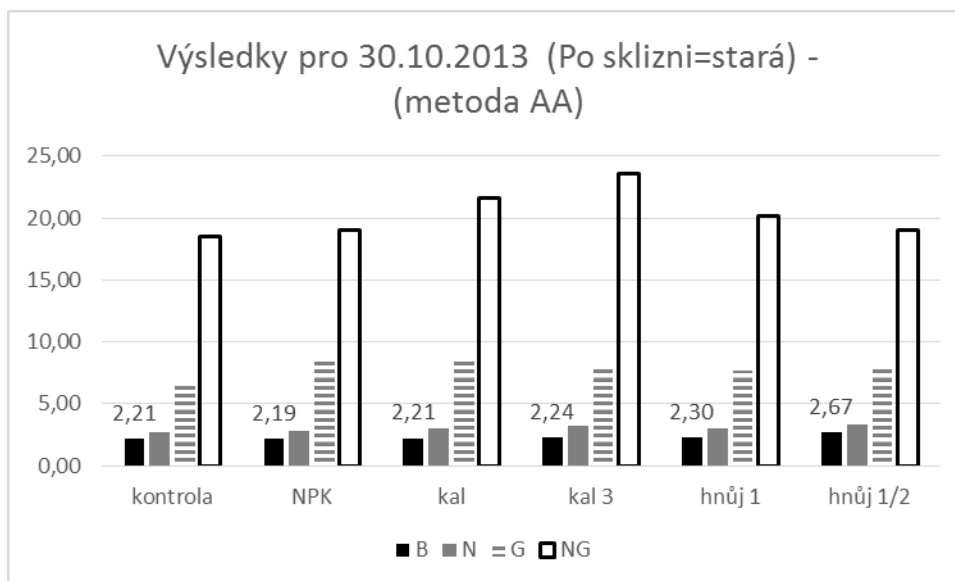
Graf č. 5.2.2.2. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



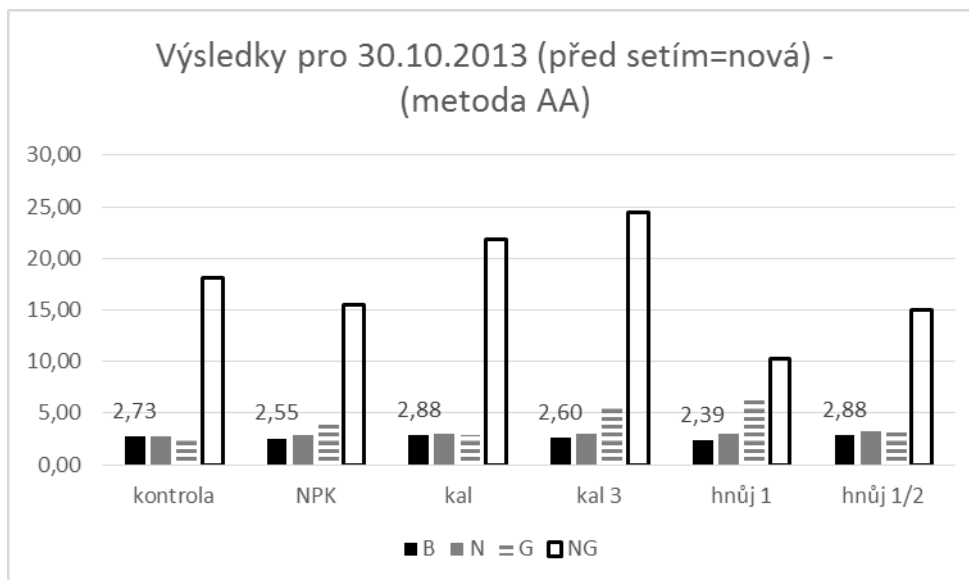
Graf č. 5.2.2.3. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



Graf č. 5.2.2.4. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

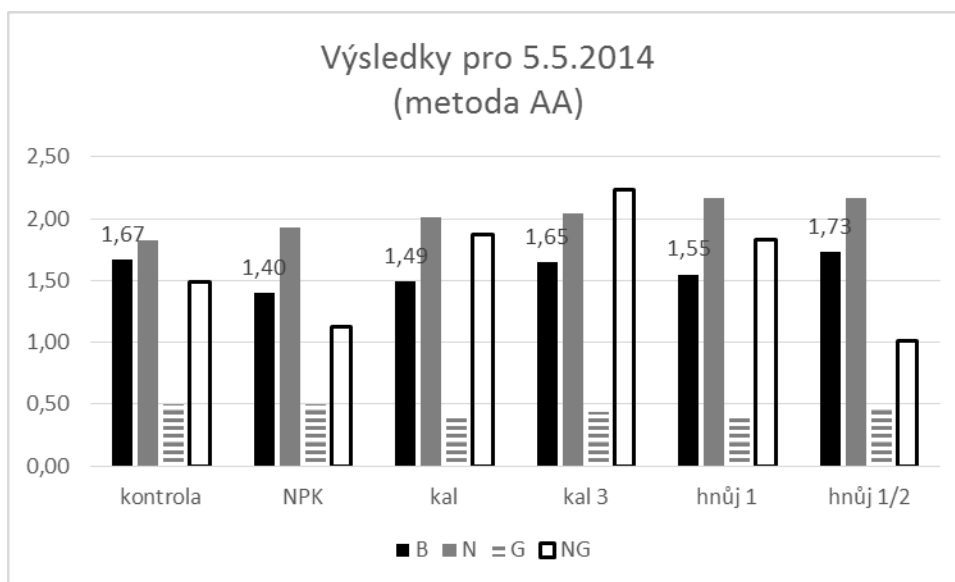


Graf č. 5.2.2.5. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2013, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy

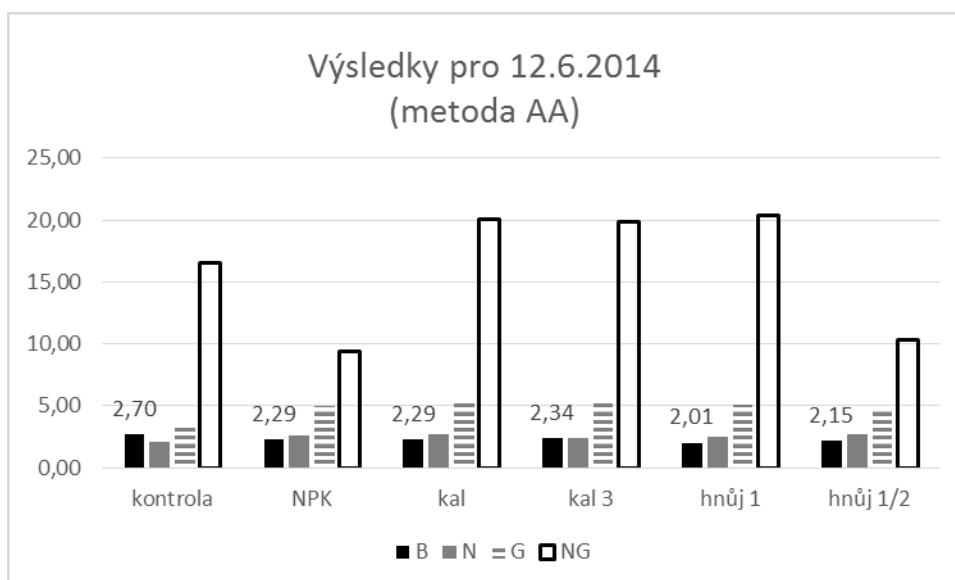


5.2.3 Výsledky pro rok 2014 (AA)

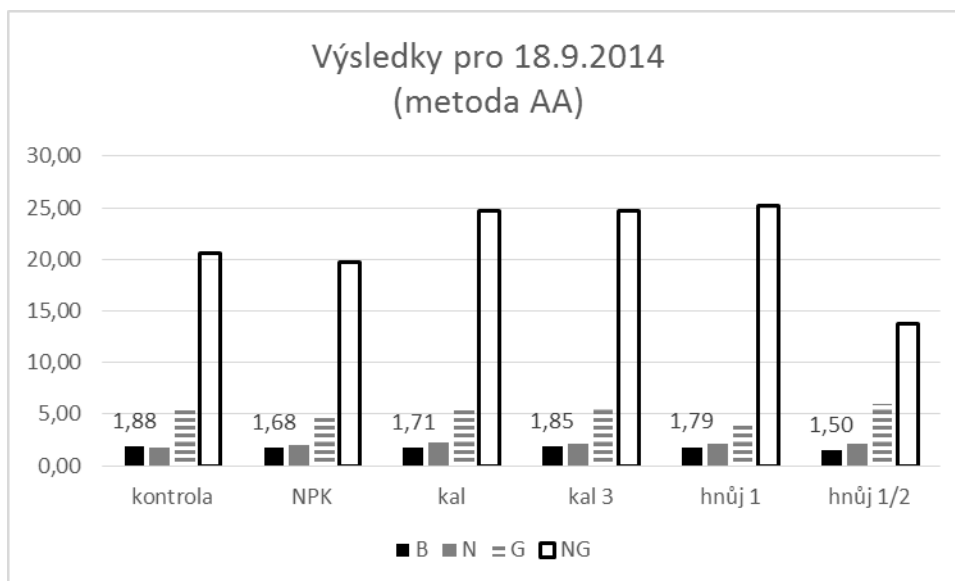
Graf č. 5.2.3.1. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



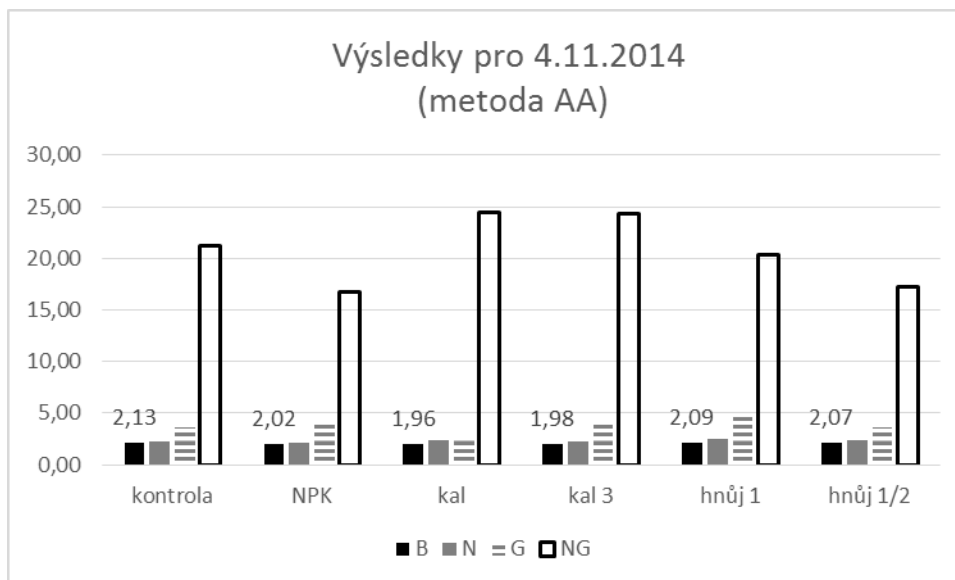
Graf č. 5.2.3.2. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



Graf č. 5.2.3.3. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



Graf č. 5.2.3.4. Bazální a potenciální respirace (B=bazální respirace, N=potenciální respirace s dusíkem, G=potenciální respirace s glukózou, NG=potenciální respirace s dusíkem a glukózou), metoda AA, v roce 2014, v mg CO₂/hod/100g suché zeminy



5.3 Porovnání metody AA a IR

Metody byly porovnány pomocí párového T - testu v programu STATISTICA. Pro porovnání byly provedeny čtyři testy. Jeden pro bazální respiraci a tři pro potenciální respiraci. Hypotéza u všech testů zněla: Neexistuje rozdíl mezi metodou IR a AA. Výsledky testu pro bazální respiraci (B) hypotézu nepotvrdily ($\alpha=0,05$), z testu vyšlo, že metoda AA a IR jsou statisticky významně odlišné.

U potenciální respirace s dusíkem (N) a potenciální respirace s glukózou (G), také hypotéza potvrzena nebyla a výsledky potvrzují, že jsou metody statisticky významně odlišné. Zatímco potenciální respirace s glukózou a dusíkem (NG) hypotézu nevyvrátila a z testu vyplývá, že mezi metodou AA a IR není statisticky průkazný rozdíl

Bazální respirace vykazovala nejnižší variabilitu než potenciální respirace. Nejvyšší variabilita byla u varianty NG.

6 Diskuze

6.1 Metody používané pro měření respirace

Aby bylo možné provést porovnání jednotlivých výsledků s vědeckými pracemi ostatních autorů, je nutné podrobně prostudovat jednotlivé odlišnosti v metodice dané metody a tyto odlišnosti brát v potaz. Také pokud chceme srovnat dvě nebo více odlišných metod je důležitá pečlivost a důsledné dodržování jednotlivých postupů. Vědecké práce zabývající se touto problematikou poukazují na mnohá úskalí, která tato porovnání přináší.

Často diskutovanou otázkou vědeckých prací bylo porovnání statické metody a metody dynamické, popřípadě dvou statických metod mezi sebou, nebo dvou metod dynamických. Například Rottmann and Joergensen (2011), Alavoine et al. (2008), Davidson et al. (2002), Yim et al. (2002), Bekku et al. (1997), Jensen et al. (1996). V tomto případě byly srovnávány dvě metody statické.

Yim et al. (2002) vyhodnotili jako přesnější a lepší metodu alkalickou absorpční metodu než metodu dynamických komorových systémů. Davidson et al. (2002) podotýká, že dynamické komorové systémy mají řadu zjištěných chyb v měření. Tyto chyby se ale podle jeho výzkumu dají značně omezit, pokud je vědec s nimi dostatečně obeznámen a ví jak jim předcházet. Alavoine et al. (2008) vyhodnotili dynamické metody jako spolehlivější, především protože umožňují značnou automatizaci metody. Umožňují podle něj zvýšení frekvence měření za den na rozdíl od statické metody, příkladem může být substrátem indukovaná respirace, která zvýšit frekvenci měření umožňuje pouze omezeně díky tomu, že je prováděna manuálně.

Rotmann and Joergensen (2011) zjistili porovnáním tří dynamických metod využívajících komory s alkalickou absorpční metodou, značné rozdíly ve výsledcích mezi těmito metodami (výsledky dynamických metod byly analyzovány plynovou chromatografií, přenosným infračervených analyzátozem a přenosným fotoakustickým systémem). Alkalická absorpční metoda spolu s metodou plynové chromatografie, výsledky značně podceňovaly ve srovnání s druhými dvěma metodami, u nichž byly výsledky vyšší. Podcenění výsledků produkce CO₂ u alkalické absorpční metody v porovnání s různými metodami dynamickými potvrzují i ostatní autoři (Alavoine et al., 2008; Yim et al., 2002).

6.2 Respirační aktivita v porovnání s výsledky vědeckých prací

Bazální respirace (B) byla průměrně 2,18 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a 0,42 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR. Tyto hodnoty uvádí Foukalová a kol. (2011) jako velmi vysoké a vysoké hodnoty bazální respirace (uvádí interval od 0,42 do 0,57 jako vysoké a od 0,57 a výš velmi vysoké). Ve srovnání s výsledky dalších vědeckých výzkumů jsou tyto hodnoty srovnatelné. Podlešáková et al. (1982; in Foukalová a kol., 2011) uvádí, že průměrná hodnota pro černozemě v ČR je 0,55 mg CO₂/hod/100g a Novák (1969; in Foukalová a kol., 2011) hodnoty 0,60 – 0,65 mg CO₂/hod/100g pro orniční vrstvu. Voříšek et al. (2002) uvádí pro bazální respiraci hodnoty 0,39 mg CO₂/hod/100g, Popelářová et al. (2008) 0,45 mg CO₂/hod/100g a Růžková 0,48 mg CO₂/hod/100g.

Potenciální respirace s přidavkem dusíku (N) byla průměrně 2,59 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a 1,08 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR. Hodnoty uvedené pro N v pracích byly 0,62-0,65 mg CO₂/hod/100g (Novák, 1969; in Foukalová a kol., 2011), 1,04 Růžková et al. (2008) mg CO₂/hod/100g.

Potenciální respirace s přidavkem glukózy (G) byla průměrně 5,69 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a 2,96 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR. Pro G jsou nejčastěji uváděné hodnoty mezi 3,39 – 4,25 mg CO₂/hod/100g (Novák, 1969; in Foukalová a kol., 2011; Voříšek et al., 2002; Popelářová et al., 2008; Růžková et al., 2008).

Potenciální respirace s přidavkem dusíku a glukózy (NG) byla průměrně 17,09 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu AA a 17,37 mg CO₂/hod/100g suché zeminy pro metodu IR. Hodnoty uváděné v publikacích se pohybují mezi 9,50 mg CO₂/hod/100g (Popelářová et al., 2008) a 39,21 (Novák, 1969; in Foukalová a kol., 2011).

Hodnoty naměřené při odběru 5.5.2014 byly překvapivě nízké (nejvíce se to projevilo u metody AA u varianty G a NG). Pravděpodobně to bylo v důsledku reakce mikroorganismů na neobvyklé množství srážek v tomto měsíci, které vyplavily velké množství dusíku do spodních vrstev. Nevylučuje se ani chyba v měření.

6.3 Rozdíly mezi hnojením (NPK, kal, hnůj)

Šimon and Czako (2014) zkoumali vliv různých hnojení a kombinací těchto hnojiv. Z jejich výsledků vyplynulo, že velmi pozitivní vliv na celkový obsah C-mikrobiální biomasy, množství kořenových exudátů, rozpustných sacharidů a aminokyselin má chlévský hnůj.

Vzhledem k tomu, že minerální hnojivo obsahuje pouze některé živiny a neobsahuje žádnou formu C, nezvyšuje obsah půdní organické hmoty ani enzymatickou aktivitu, půdní respirace v porovnání s organickými hnojivy různého typu je mnohem nižší. To potvrzují Ciccattelli et al. (2014) i Šimon and Czako (2014). Ling et al. (2014) dodávají, že dlouhodobé minerální hnojení snižuje pH půdy, zatímco organické hnojení okyselení půdy snižuje.

Autoři Šimon and Czako (2014), Ling et al. (2014) a Guo et al. (2014) zjistili, že minerální hnojivo aplikované spolu s různými organickými hnojivy má příznivý vliv na půdu. Dlouhodobá aplikace organických hnojiv a kombinace hnojiva minerálního s organickým snižuje objemovou hmotnost půdy a zvyšuje její pórovitost, také má pozitivní vliv na obsah C v půdě.

Výsledky této práce ukázaly, že rozdíly mezi jednotlivými hnojeními v případě bazální respirace nejsou statisticky významně odlišné (u metody AA), odlišná byla pouze kontrola a to jen u metody IR. Nejnižší hodnoty bazální respirace vykazovala parcela nehnojená (Kontrola) a hnojená NPK v porovnání s ostatními hnojivy (zejména u metody IR). V porovnání s kontrolou vykazovaly všechny hnojené parcely vyšší výsledky bazální respirace a to v případě použití obou metod. V případě potenciální respirace s dusíkem a glukózou byly hodnoty nejnižší u kontroly a také byly nižší u NPK a u parcely označené Hnůj ½ (to dokazují obě metody, patrnější je to u metody AA), nejedná se však o statisticky významný rozdíl.

Pokus prováděný na stejném pokusném poli hodnotící výnos plodin (Černý a kol., 2010), ukázal, že průměrný výnos plodin na parcelách hnojených dusíkatými hnojivy byl o 13-18 % vyšší, hnojených hnojem o 19 %, o 21 % po aplikaci kalů a o 25 % vyšší u parcely hnojenou NPK (v porovnání s kontrolní nehnojenou parcelou). Je důležité neopomenout, že tento pokus byl započat ještě před uvedením vyhlášky č. 382/2001 Sb. O podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, proto nesplňuje podmínky ve vyhlášce uvedené (je aplikováno větší množství kalu, než je povoleno). Nebyla prokázána zvýšená akumulace rizikových prvků v rostlině (pouze v nepatrném množství), ale dochází ke kumulaci prvků v půdě.

7 Závěr

K vyhodnocení první i druhé části hypotézy bylo využito programu STATISTICA.

Hypotézy zní:

- 1) Rozdílné varianty hnojení ovlivní respirační aktivitu;
- 2) Obě použité metody (interferometrická a titrační) poskytují podobné informace /výsledky.

Pro posouzení první části bylo využito testu ANOVA a pro posouzení druhé části hypotézy párový T-test. Oba testy byly provedeny na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Výsledky testů ukázaly, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými druhy hnojení. Nejnížší výsledky měla kontrolní nehnojená parcela. Nejnížší výsledky bazální respirace z parcel, které byly hnojené, měla parcela hnojená NPK u metody IR 0,43 mg CO₂/hod/100g. Tato parcela měla v pokusu Černý a kol. (2010) nejvyšší průměrný výnos. Výsledky bazální respirace byly podle Foukalové a kol. (2011) vysoké až velmi vysoké, uvádí interval od 0,42 do 0,57 jako vysoké a 0,57 a výš jako velmi vysoké, přičemž průměrné hodnoty v tomto experimentu byly 2,18 (AA) a 0,42 (IR).

Při porovnání metody alkalické absorpční (AA, nebo v některých pracích uváděné jako titrační) a metody využívající interferometrického refraktometru (IR) nebyla hypotéza potvrzena u varianty bazální respirace (B), potenciální respirace s dusíkem (N) a potenciální respirace s glukózou (G). U potenciální respirace s dusíkem a glukózou (NG), nebyla hypotéza vyvrácena, z toho vyplývá, že v případě této varianty nejsou metody statisticky významně odlišné.

8 Seznam literatury

- 1) Alavoine, G., Houlbert, J. A., Nicolardot, B. 2008. Comparison of three methods to determine C decomposition of organic materials in soils under controlled conditions. *Pedobiologia*. 52 (1). 61-68. DOI: 10.1016/j.pedobi.2008.03.001.
- 2) Anděl, P. 2011. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring*. Evernia. Liberec. p. 243. ISBN 978-80-903787-9-7.
- 3) Antolín, M. C. Muro, I. Sánchez-Díaz, M. 2010. Sewage sludge application can induce changes in antioxidant status of nodulated alfalfa plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73 (3). p. 436-442. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2009.08.022.
- 4) Azizi, A. B. Lim, M. P. M. Noor, Z. M. Abdullah, N. 2013. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 90. p. 13-20. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2012.12.006.
- 5) Bekku, Y. Koizumi, H. Oikawa, T. Iwaki, H. 1997. Examination of four methods for measuring soil respiration. *Applied Soil Ecology*. 5 (3). p. 247-254. DOI: 10.1016/s0929-1393(96)00131-x.
- 6) Bloem, J. Hopkins, D. W. Benedetti, A. 2006. *Microbiological methods for assessing soil quality*. CABI Publishing. Wallingford. p. 307. ISBN 0851990983.
- 7) Burdek, L. 2012. *Životní prostředí*. Sagit. Ostrava. p. 640. ÚZ. ISBN 978-80-7208-935-2.
- 8) Carbonell, G. Pro, J. Gómez, N. Babín, M. M. Fernández, C. Alonso, E. Tarazona, J. V. 2009. Sewage sludge applied to agricultural soil: Ecotoxicological effects on representative soil organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72 (4). p. 1309-1319. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2009.01.007.
- 9) Cicatelli, A. Baldantoni, D. Iovieno, P. Carotenuto, M. Alfani, A. De Feis, I. A. Castiglione, S. 2014. Genetically biodiverse potato cultivars grown on a suitable agricultural soil under compost amendment or mineral fertilization: yield, quality, genetic and epigenetic variations, soil properties. *Science of the Total Environment*. 493. p. 1025-1035. DOI: 10.1016/j.scitotenv.
- 10) Černý, J. Balík, J. Kulhánek, M. Časová, K. Nedvěd, V. 2010. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant soil environ*. 56 (1) p. 28–36.

- 11) Davidson, E. A. Savage, K. Verchot, L. V. Navarro, R. Venterea, R. T. Parkin, T. B. 2002. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*. 113 (1-4). p. 327-343. DOI: 10.1016/b978-0-12-386897-8.00019-x.
- 12) Foukalová, J. Kubík, L. Malý, S. 2011. Sledování vybraných respiračních charakteristik černozemí na Moravě: Monitoring of selected respiration characteristics of chernozems in Moravia. *Mendelova univerzita v Brně. Brno*. p. 72. ISBN 978-80-7375-317-7.
- 13) Guo, Z. Hua, K. Wang, J. Guo, X. He, Ch. Wang, D. 2014. Effects of different regimes of fertilization on soil organic matter under conventional tillage. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 12 (3) p. 801-808. DOI: 10.5424/sjar/2014123-4859.
- 14) Jensen, L. S. Mueller, T. Tate, K. R. Ross, D. J. Magid, J. Nielsen, N. E. 1996. Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ: A comparison of two chamber methods. *Soil Biology and Biochemistry*. 28 (10-11) p. 1297-1306. DOI: 10.1016/s0038-0717(96)00136-8.
- 15) Ling, N. Sun, Y. Ma, J. Guo, J. Zhu, P. Peng, Ch. Yu, G. Ran, W. Guo, S. Shen, Q. 2014. Response of the bacterial diversity and soil enzyme activity in particle-size fractions of Mollisol after different fertilization in a long-term experiment. *Biology and Fertility of Soils*. 50 (6). p. 901-911. DOI: 10.1007/s00374-014-0911-1.
- 16) Linhart, I. 2014. Toxikologie: interakce škodlivých látek s živými organismy, jejich mechanismy, projevy a důsledky. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha*. p. 410. ISBN 978-807-0808-771.
- 17) Pospíšilová, L. Tesařová, M. 2009. Organický uhlík obhospodařovaných půd = Organic carbon in arable soils. *Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno*. p. 41. ISBN 978-807-3752-828.
- 18) Macurová, R. Duffková, H. 2014. Optimální testy půdních biologických a chemických parametrů kejdovaných a mulčovacích travních porostů: metodika. *VÚMOP. Praha*. p. 47. ISBN 978-808-7361-368.
- 19) Oberholzer, H. R. Leifeld, J. Mayer, J. 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization Experiment, following land-use change from grassland to cropland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 177 (5) p. 696-704. DOI: 10.1002/jpln.201300385.

- 20) Oleszczuk, P. 2008. The Tenax fraction of PAHs relates to effects in sewage sludges. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72 (4). p. 1320-1325. DOI: 10.1016/j.ecoenv. 10.004.
- 21) Oleszczuk, P. 2007. Phytotoxicity of municipal sewage sludge composts related to physico-chemical properties, PAHs and heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 69 (3). p. 496-505. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2007.04.006.
- 22) Petráčková, V. Kraus, J. Sodomková, M. 1995. *Akademický slovník cizích slov: [A-Ž]*. Academia. Praha. p. 8895. ISBN 80-200-0982-5.
- 23) Plháková, B. 2013. Vliv čistírenských kalů na mineralizaci organických C-látek: The influence of sewage sludges on organic carbon substances mineralization. Česká zemědělská univerzita v Praze. Bakalářská práce. Praha. Vedoucí práce prof. Ing. Karel Voříšek. CSc.
- 24) Poláková, Š. Kubík, L. Malý, S. 2011. *Monitoring zemědělských půd v České republice 1992-2007*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, odbor bezpečnosti krmiv a půdy. Brno. p. 117. ISBN 978-80-7401-041-5.
- 25) Popelářová, E. Voříšek, K. Strnadová, S. 2008. Relations between activities and counts of soil microorganisms. *Plant soil environ*. 54 (4). p.163–170.
- 26) Puangploy, P. 2007. *Determination of microbial biomass gases using titration and headspace gas chromatography*. Mahidol University. Dizertační práce. Mahidol. Vedoucí práce Tinnakorn Tiensing.
- 27) Rajczyková, E. Belica, P. Šumná, J. Dian, M. Markovič, M. 2001. *Základné princípy odvádzania a čišťenia odpadových vod*. Výzkumný ústav vodného hospodárstva Bratislava. Bratislava. p. 95. ISBN 80-89062-04-0.
- 28) Richter, R. Kubát, J. 2003. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. p. 56. ISBN 80-727-1133-4.
- 29) Ritz, K. Young, I. 2011. *The architecture and biology of soils: life in inner space*. MA: CABI. Cambridge. p. 244. ISBN 978-184-5935-320.
- 30) Rottmann, N. Joergensen, R. G. 2011. Measuring the CO₂ production from maize-straw-amended soil columns - a comparison of four methods. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 174 (3). p. 373-380. DOI: 10.1002/jpln.200900371.
- 31) Růžek, L. Voříšek, K. Vráblíková, J. Strnadová, S. A. Vráblík, P. 2003. Chemical and biological characteristics of reclaimed soils in the Most region (Czech Republic). *Plant Soil and Environment*. 49 (8). p. 346 – 351.

- 32) Růžková, M. Růžek, L. Voříšek, K. 2008. Soil biological activity of mulching and cut/harvested land set aside. *Plant Soil Environ.* 54 (5). p. 204–211.
- 33) Singh, R. P. Agrawal, M. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 73 (4). p. 632-641. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2010.01.020.
- 34) Šimon, T. Czakó, A. 2014. Influence of long-term application of organic and inorganic fertilizers on soil properties: Crop Research Institute. *Plant Soil Environ. Prague.* 60 (7). 314–319.
- 35) Wolf, B. Snyder, G. H. 2003. Sustainable soils: the place of organic matter in sustaining soils and their productivity. Food Products Press. New York. p. 352. ISBN 15-602-2917-9.
- 36) Tan, K. H. 2003. Humic matter in soil and the environment: principles and controversies. Marcel Dekker. New York. P. 386 ISBN 08-247-4272-9.
- 37) Yim, M. H. Joo, S. J. Kaneyuki, N. 2002. Comparison of field methods for measuring soil respiration: a static alkali absorption method and two dynamic closed chamber methods. *Forest Ecology and Management.* 170 (1-3). p. 189-197. DOI: 10.1016/s0378-1127(01)00773-3.

Legislativní dokumenty:

- 38) Česká republika. O stanovení požadavků na hnojiva. In: *Sbírky zákonů.* 2000. č. 474/2000 Sb. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/>
- 39) Česká republika. O odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů.* 2001. č. 185/2001 Sb. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/>
- 40) Česká republika. O podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. In: *Sbírka zákonů.* 1. 1. 2002. č. 382/2001 Sb. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/>
- 41) Česká republika. O hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd: zákon o hnojivech. In: *Sbírka zákonů.* 1998. č. 156/1998 Sb. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/>

9 Přílohy

9.1 Tabulky pro grafy k výsledkům pro metodu IR

Tabulka pro Graf č. 5.1. Bazální respirace v průběhu let 2012-2014,

| BAZÁLNÍ RESPIRACE METODA IR <i>mg CO₂/hod/100g suché zeminy</i> | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|------|-------|-------|-------|
| | 2012 | | | 2013 | | | | | 2014 | | | |
| <i>parcela</i> | 19.4. | 31.5. | 26.9. | 18.4. | 19.6. | 12.9. | 30.10. S | 30.10. N | 5.5. | 12.6. | 18.9. | 4.11. |
| <i>Kontrola</i> | 0,51 | 0,21 | 0,49 | 0,27 | 0,17 | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,28 | 0,26 |
| <i>NPK</i> | 0,91 | 0,55 | 0,68 | 0,38 | 0,45 | 0,41 | 0,32 | 0,25 | 0,17 | 0,33 | 0,37 | 0,33 |
| <i>Kal</i> | 0,55 | 0,45 | 0,57 | 0,60 | 0,55 | 0,48 | 0,30 | 0,33 | 0,22 | 0,28 | 0,45 | 0,43 |
| <i>Kal3</i> | 0,70 | 0,54 | 0,59 | 0,53 | 0,58 | 0,55 | 0,34 | 0,32 | 0,25 | 0,29 | 0,54 | 0,48 |
| <i>Hnůj1</i> | 0,55 | 0,46 | 0,47 | 0,54 | 0,56 | 0,52 | 0,41 | 0,35 | 0,33 | 0,33 | 0,54 | 0,44 |
| <i>Hnůj1/2</i> | 0,66 | 0,60 | 0,81 | 0,55 | 0,64 | 0,58 | 0,39 | 0,39 | 0,27 | 0,39 | 0,45 | 0,49 |

9.1.1 Výsledky pro rok 2012:

Tabulka pro graf č. 5.1.1.1.

| VÝSLEDKY 19. 4. 2012 (METODA IR) <i>(mg CO₂/hod/100g suché zeminy)</i> | | | | |
|---|------|------|------|-------|
| | B | N | G | NG |
| Kontrola | 0,51 | 0,90 | 3,77 | 20,83 |
| NPK | 0,91 | 6,82 | 3,94 | 24,00 |
| Kal | 0,55 | 8,02 | 3,05 | 20,68 |
| Kal3 | 0,70 | 7,14 | 0,77 | 25,47 |
| Hnůj1 | 0,55 | 0,75 | 4,19 | 11,62 |
| Hnůj1/2 | 0,66 | 0,93 | 4,74 | 16,95 |

Tabulka pro graf č. 5.1.1.3.

| VÝSLEDKY 26. 9. 2012 (METODA IR) <i>(mg CO₂/hod/100g suché zeminy)</i> | | | | |
|--|------|------|------|-------|
| | B | N | G | NG |
| Kontrola | 0,49 | 3,00 | 6,94 | 13,48 |
| NPK | 0,68 | 0,93 | 3,94 | 19,74 |
| Kal | 0,57 | 0,87 | 3,88 | 23,52 |
| Kal3 | 0,59 | 0,91 | 4,18 | 24,94 |
| Hnůj1 | 0,47 | 0,85 | 6,24 | 18,52 |
| Hnůj1/2 | 0,81 | 1,06 | 3,67 | 18,41 |

Tabulka pro graf č. 5.1.1.2.

| VÝSLEDKY 31. 5. 2012 (METODA IR) <i>(mg CO₂/hod/100g suché zeminy)</i> | | | | |
|---|------|------|------|-------|
| | B | N | G | NG |
| Kontrola | 0,21 | 0,76 | 1,71 | 12,38 |
| NPK | 0,55 | 1,16 | 3,18 | 9,04 |
| Kal | 0,45 | 1,04 | 2,66 | 20,68 |
| Kal3 | 0,54 | 0,81 | 3,01 | 17,75 |
| Hnůj1 | 0,46 | 0,86 | 2,28 | 14,06 |
| Hnůj1/2 | 0,60 | 0,82 | 2,61 | 11,99 |

9.1.2 Výsledky pro rok 2013:

Tabulka pro graf č. 5.1.2.1.

| VÝSLEDKY PRO 18. 4. 2013 (METODA IR) mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,27±0,14 | 0,62±0,00 | 0,85±0,12 | 13,04±7,77 |
| NPK | 0,38±0,14 | 0,85±0,07 | 3,25±2,13 | 18,89±0,32 |
| kal | 0,60±0,06 | 0,94±0,00 | 5,68±0,48 | 17,42±3,73 |
| kal 3 | 0,53±0,07 | 0,96±0,11 | 5,00±0,58 | 22,04±4,21 |
| hnůj 1 | 0,54±0,06 | 0,93±0,02 | 4,84±0,43 | 19,94±1,99 |
| hnůj 1/2 | 0,55±0,05 | 0,94±0,05 | 4,07±0,95 | 19,81±2,54 |

Tabulka pro graf č. 5.1.2.2.

| VÝSLEDKY PRO 19. 6. 2013 (METODA IR) mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,17±0,14 | 0,75±0,09 | 1,81±1,15 | 3,53±0,16 |
| NPK | 0,45±0,08 | 0,90±0,05 | 2,65±0,31 | 6,01±2,92 |
| Kal | 0,55±0,01 | 1,08±0,03 | 2,76±0,18 | 13,14±0,80 |
| kal 3 | 0,58±0,06 | 1,18±0,05 | 3,19±0,50 | 11,54±2,94 |
| hnůj 1 | 0,56±0,02 | 1,07±0,00 | 2,37±0,23 | 17,67±1,08 |
| hnůj 1/2 | 0,64±0,00 | 1,03±0,04 | 3,33±0,24 | 24,92±5,04 |

Tabulka pro graf č. 5.1.2.3

| VÝSLEDKY PRO 12. 9. 2013 (METODA IR) mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,13±0,11 | 0,52±0,01 | 1,09±0,23 | 4,39±0,05 |
| NPK | 0,41±0,00 | 0,71±0,05 | 3,11±0,69 | 9,20±4,05 |
| kal | 0,48±0,00 | 0,92±0,09 | 3,92±0,20 | 17,69±0,27 |
| kal 3 | 0,55±0,04 | 0,97±0,02 | 4,65±0,29 | 26,72±2,76 |
| hnůj 1 | 0,52±0,04 | 1,02±0,03 | 4,72±0,23 | 28,09±0,48 |
| hnůj 1/2 | 0,58±0,06 | 0,91±0,11 | 4,75±0,18 | 24,36±4,11 |

Tabulka pro graf č. 5.1.2.4.

| VÝSLEDKY PRO 30. 10. 2013 (PO SKLIZNI=STARÁ) - (METODA IR) mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,14±0,09 | 0,36±0,02 | 0,74±0,04 | 5,76±2,62 |
| NPK | 0,32±0,02 | 0,47±0,04 | 2,03±0,65 | 15,40±2,06 |
| kal | 0,30±0,00 | 0,63±0,01 | 3,58±0,23 | 18,16±1,16 |
| kal 3 | 0,34±0,02 | 0,71±0,04 | 3,46±0,49 | 19,38±0,78 |
| hnůj 1 | 0,41±0,04 | 0,88±0,06 | 4,70±0,36 | 19,32±1,28 |
| hnůj 1/2 | 0,39±0,03 | 0,76±0,10 | 4,00±0,82 | 21,48±2,97 |

Tabulka pro graf č. 5.1.2.5

| VÝSLEDKY PRO 30. 10. 2013 (PŘED SETÍM=NOVÁ) - (METODA IR) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,12±0,07 | 0,36±0,11 | 2,20±0,80 | 2,17±3,06 |
| NPK | 0,25±0,06 | 0,44±0,06 | 3,47±0,03 | 15,06±6,38 |
| kal | 0,33±0,01 | 0,61±0,01 | 2,52±0,38 | 22,34±0,73 |
| kal 3 | 0,32±0,02 | 0,70±0,07 | 0,61±0,15 | 24,66±2,26 |
| hnůj 1 | 0,35±0,02 | 0,69±0,05 | 2,48±3,51 | 22,72±2,17 |
| hnůj 1/2 | 0,39±0,00 | 0,62±0,13 | 3,74±0,87 | 26,28±0,65 |

9.1.3 Výsledky pro rok 2014:

Tabulka pro graf č. 5.1.3.1.

| VÝSLEDKY PRO 5. 5. 2014 (METODA IR) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,11±0,00 | 0,30±0,03 | 0,69±0,14 | 5,51±2,94 |
| NPK | 0,17±0,02 | 0,40±0,09 | 1,17±0,25 | 10,35±0,13 |
| Kal | 0,22±0,02 | 0,54±0,02 | 1,82±0,22 | 12,09±3,56 |
| kal 3 | 0,25±0,05 | 0,61±0,04 | 1,98±0,04 | 13,49±1,68 |
| hnůj 1 | 0,33±0,08 | 0,58±0,08 | 1,86±0,05 | 16,04±0,22 |
| hnůj 1/2 | 0,27±0,02 | 0,60±0,01 | 2,23±0,41 | 13,31±2,59 |

Tabulka pro graf č. 5.1.3.2.

| VÝSLEDKY PRO 12. 6. 2014 (METODA IR) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,09±0,11 | 0,37±0,08 | 0,64±0,04 | 5,52±4,38 |
| NPK | 0,33±0,02 | 0,60±0,14 | 1,31±0,22 | 14,77±0,22 |
| kal | 0,28±0,04 | 0,68±0,02 | 1,63±0,11 | 16,48±1,72 |
| kal 3 | 0,29±0,03 | 0,75±0,01 | 1,64±0,25 | 18,24±0,06 |
| hnůj 1 | 0,33±0,03 | 0,70±0,01 | 2,26±0,01 | 23,13±0,88 |
| hnůj 1/2 | 0,39±0,01 | 0,68±0,10 | 1,97±0,31 | 17,00±5,58 |

Tabulka pro graf č. 5.1.3.3.

| VÝSLEDKY PRO 18. 9. 2014 (METODA IR) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,28±0,12 | 0,42±0,09 | 1,01±0,13 | 20,78±7,58 |
| NPK | 0,37±0,01 | 0,80±0,02 | 1,11±0,37 | 14,96±1,80 |
| Kal | 0,45±0,05 | 0,84±0,02 | 2,12±0,06 | 22,08±2,59 |
| kal 3 | 0,54±0,03 | 1,00±0,13 | 3,41±0,68 | 31,76±1,07 |
| hnůj 1 | 0,54±0,03 | 0,97±0,12 | 4,45±0,21 | 23,74±0,10 |
| hnůj ½ | 0,45±0,06 | 0,79±0,09 | 3,69±0,54 | 15,06±1,30 |

Tabulka pro graf č. 5.1.3.4.

| VÝSLEDKY PRO 4. 11. 2014 (METODA IR) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| mg CO ₂ /hod/100g suché zeminy | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 0,26±0,01 | 0,70±0,09 | 2,21±1,35 | 9,53±6,98 |
| NPK | 0,33±0,02 | 0,83±0,01 | 2,96±0,13 | 18,63±0,96 |
| kal | 0,43±0,03 | 0,77±0,08 | 2,90±0,16 | 24,89±3,87 |
| kal 3 | 0,48±0,02 | 0,97±0,02 | 2,91±0,07 | 28,49±0,82 |
| hnůj 1 | 0,44±0,01 | 0,78±0,20 | 3,25±0,20 | 22,69±2,34 |
| hnůj 1/2 | 0,49±0,05 | 0,83±0,02 | 3,25±0,36 | 17,14±2,40 |

9.2 Tabulky pro grafy k výsledkům pro metodu AA

Tabulka pro graf č. 5.2.1 Bazální respirace v průběhu let 2012-2014

| BAZÁLNÍ RESPIRACE METODA AA | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|------|-------|-------|-------|
| MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | | | | | | | | | |
| | 2012 | | | 2013 | | | | | 2014 | | | |
| vzorek | 19.4. | 31.5. | 26.9. | 18.4. | 19.6. | 12.9. | 30.10.S | 30.10.N | 5.5. | 12.6. | 18.9. | 4.11. |
| kontrola | 1,63 | 2,30 | 2,28 | 3,02 | 1,73 | 2,40 | 2,73 | 2,21 | 1,67 | 2,70 | 1,88 | 2,13 |
| NPK | 1,90 | 2,35 | 2,45 | 3,02 | 1,80 | 2,26 | 2,55 | 2,19 | 1,40 | 2,29 | 1,68 | 2,02 |
| kal | 1,67 | 2,71 | 2,23 | 2,99 | 1,58 | 2,57 | 2,88 | 2,21 | 1,49 | 2,29 | 1,71 | 1,96 |
| kal 3 | 1,65 | 2,17 | 2,37 | 2,96 | 1,65 | 2,41 | 2,60 | 2,24 | 1,65 | 2,34 | 1,85 | 1,98 |
| hnůj 1 | 1,60 | 2,41 | 1,77 | 2,93 | 1,75 | 2,15 | 2,39 | 2,30 | 1,55 | 2,01 | 1,79 | 2,09 |
| hnůj 1/2 | 2,19 | 2,28 | 2,73 | 2,95 | 1,94 | 2,21 | 2,88 | 2,67 | 1,73 | 2,15 | 1,50 | 2,07 |

9.2.1 Výsledky pro rok 2012:

Tabulka pro graf č. 5.2.1.1.

| VÝSLEDKY PRO 19.4.2012 (METODA AA) | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|------------|
| MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 1,63±0,13 | 1,81±0,03 | 10,88±0,30 | 20,11±0,15 |
| NPK | 1,90±0,03 | 2,30±0,18 | 8,04±0,30 | 21,48±1,19 |
| kal | 1,67±0,06 | 2,29±0,32 | 14,35±0,31 | 21,93±0,61 |
| kal 3 | 1,65±0,01 | 1,98±0,03 | 11,29±0,15 | 22,00±0,74 |
| hnůj 1 | 1,60±0,06 | 2,03±0,27 | 9,09±1,52 | 16,94±0,46 |
| hnůj 1/2 | 2,19±1,03 | 1,88±0,03 | 6,49±1,34 | 11,96±0,45 |

Tabulka pro graf č. 5.2.1.2.

| VÝSLEDKY PRO 31.5.2012 (METODA AA) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 2,30±0,45 | 2,60±0,03 | 4,38±0,71 | 15,53±1,99 |
| NPK | 2,35±0,20 | 2,71±0,14 | 6,28±0,14 | 11,11±0,84 |
| kal | 2,71±0,76 | 2,77±0,14 | 4,01±0,14 | 15,11±1,64 |
| kal 3 | 2,17±0,29 | 2,87±0,29 | 5,36±1,62 | 12,95±0,88 |
| hnůj 1 | 2,41±0,09 | 2,98±0,09 | 4,71±0,86 | 15,32±1,29 |
| hnůj 1/2 | 2,28±0,09 | 2,94±0,06 | 5,79±0,71 | 10,41±0,99 |

Tabulka pro graf č. 5.2.1.3

| VÝSLEDKY PRO 26.9.2012 (METODA AA) | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|------------|
| MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 2,28±0,12 | 2,43±0,09 | 5,85±1,04 | 19,72±0,45 |
| NPK | 2,45±0,03 | 2,90±0,09 | 7,78±0,00 | 20,71±0,88 |
| kal | 2,23±0,06 | 2,82±0,03 | 10,44±5,09 | 22,05±1,45 |
| kal 3 | 2,37±0,09 | 3,09±0,09 | 8,45±0,30 | 23,95±1,78 |
| hnůj 1 | 1,77±0,93 | 2,89±0,18 | 7,27±0,60 | 18,09±3,30 |
| hnůj 1/2 | 2,73±0,21 | 3,27±0,06 | 8,22±0,30 | 17,99±0,46 |

9.2.2 Výsledky pro rok 2013:

Tabulka pro graf č. 5.2.2.1.

| VÝSLEDKY PRO 18.4.2013 (METODA AA) | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|------------|
| MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 3,02±0,03 | 2,27±0,03 | 6,26±0,14 | 19,15±1,95 |
| NPK | 3,02±0,06 | 3,53±0,09 | 10,23±2,01 | 22,54±1,29 |
| kal | 2,99±0,28 | 3,49±0,03 | 6,51±0,28 | 23,02±0,57 |
| kal 3 | 2,96±0,08 | 3,59±0,03 | 6,70±0,98 | 22,66±1,12 |
| hnůj 1 | 2,93±0,00 | 3,47±0,00 | 7,38±0,15 | 24,69±0,15 |
| hnůj 1/2 | 2,95±0,06 | 3,55±0,09 | 8,76±0,72 | 19,40±1,01 |

Tabulka pro graf č. 5.2.2.2.

| VÝSLEDKY PRO 19.6.2013 (METODA AA) | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 1,73±0,05 | 2,38±0,08 | 5,11±0,00 | 10,35±0,79 |
| NPK | 1,80±0,03 | 2,40±0,29 | 5,33±0,00 | 8,53±1,33 |
| kal | 1,58±0,00 | 2,56±0,30 | 5,52±0,95 | 18,09±1,63 |
| kal 3 | 1,65±0,06 | 2,39±0,12 | 4,79±0,29 | 15,68±0,00 |
| hnůj 1 | 1,75±0,06 | 2,48±0,03 | 7,18±0,56 | 18,45±3,63 |
| hnůj 1/2 | 1,94±0,14 | 2,56±0,06 | 5,16±0,14 | 8,55±0,71 |

Tabulka pro graf č. 5.2.2.3.

| VÝSLEDKY PRO 12.9.2013 (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 2,40±0,06 | 2,44±0,30 | 4,82±0,91 | 16,18±0,00 |
| NPK | 2,26±0,18 | 2,64±0,06 | 5,85±0,6 | 17,24±0,45 |
| Kal | 2,57±0,03 | 2,91±0,03 | 5,62±1,99 | 21,82±0,15 |
| kal 3 | 2,41±0,00 | 2,88±0,24 | 5,38±0,46 | 25,29±0,61 |
| hnůj 1 | 2,15±0,12 | 2,65±0,06 | 7,58±0,15 | 18,84±1,19 |
| hnůj 1/2 | 2,21±0,24 | 2,75±0,03 | 5,20±0,15 | 16,35±0,00 |

Tabulka pro graf č. 5.2.2.4.

| VÝSLEDKY PRO 30.10.2013 (PO SKLIZNI=STARÁ) - (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| Kontrola | 2,21±0,06 | 2,67±0,00 | 6,46±0,30 | 18,54±2,40 |
| NPK | 2,19±0,00 | 2,76±0,09 | 8,75±0,60 | 19,08±0,30 |
| Kal | 2,21±0,09 | 3,05±0,03 | 8,74±0,00 | 21,59±1,49 |
| kal 3 | 2,24±0,03 | 3,19±0,18 | 8,00±0,00 | 23,59±1,51 |
| hnůj 1 | 2,30±0,03 | 3,05±0,06 | 7,64±0,00 | 20,11±0,61 |
| hnůj 1/2 | 2,67±0,10 | 3,30±0,13 | 7,90±0,67 | 18,99±1,00 |

Tabulka pro graf č. 5.2.2.5.

| VÝSLEDKY PRO 30.10.2013 (PŘED SETÍM=NOVÁ) - (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 2,73±0,45 | 2,77±0,09 | 2,44±1,80 | 18,11±2,40 |
| NPK | 2,55±0,09 | 2,90±0,12 | 4,11±0,00 | 15,49±0,60 |
| Kal | 2,88±0,03 | 2,99±0,12 | 2,84±2,38 | 21,80±2,38 |
| kal 3 | 2,60±0,18 | 3,00±0,27 | 5,66±2,72 | 24,44±0,30 |
| hnůj 1 | 2,39±0,15 | 3,03±0,09 | 6,45±1,37 | 10,22±3,04 |
| hnůj 1/2 | 2,88±0,07 | 3,18±0,10 | 3,42±0,33 | 14,98±0,67 |

9.2.3 Výsledky pro rok 2014:

Tabulka pro graf č. 5.2.3.1.

| VÝSLEDKY PRO 5.5.2014 (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 1,67±0,16 | 1,83±0,13 | 0,49±0,01 | 1,48±0,01 |
| NPK | 1,40±0,13 | 1,93±0,13 | 0,50±0,06 | 1,12±0,00 |
| Kal | 1,49±0,10 | 2,01±0,00 | 0,39±0,04 | 1,88±0,09 |
| kal 3 | 1,65±0,00 | 2,04±0,03 | 0,43±0,06 | 2,23±0,09 |
| hnůj 1 | 1,55±0,03 | 2,17±0,06 | 0,38±0,06 | 1,83±0,06 |
| hnůj ½ | 1,73±0,19 | 2,16±0,10 | 0,48±0,03 | 1,01±0,12 |

Tabulka pro graf č. 5.2.3.2.

| VÝSLEDKY PRO 12.6.2014 (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 2,70±0,12 | 2,11±0,12 | 3,51±0,00 | 16,52±2,63 |
| NPK | 2,29±0,03 | 2,57±0,00 | 4,93±0,14 | 9,37±0,43 |
| kal | 2,29±0,06 | 2,68±0,12 | 5,20±0,00 | 20,11±2,97 |
| kal 3 | 2,34±0,87 | 2,39±0,00 | 5,21±0,14 | 19,83±1,45 |
| hnůj 1 | 2,01±0,03 | 2,49±0,15 | 5,10±0,29 | 20,42±0,58 |
| hnůj 1/2 | 2,15±0,00 | 2,68±0,37 | 4,67±0,29 | 10,35±2,01 |

Tabulka pro graf č. 5.2.3.3.

| VÝSLEDKY PRO 18.9.2014 (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 1,88±0,13 | 1,70±0,19 | 5,29±0,30 | 20,56±2,10 |
| NPK | 1,68±0,03 | 2,05±0,03 | 4,99±1,35 | 19,77±1,50 |
| kal | 1,71±0,07 | 2,20±0,17 | 5,35±1,08 | 24,72±2,78 |
| kal 3 | 1,85±0,22 | 2,15±0,00 | 5,90±0,00 | 24,67±1,49 |
| hnůj 1 | 1,79±0,00 | 2,15±0,19 | 4,04±0,00 | 25,18±3,59 |
| hnůj 1/2 | 1,50±0,16 | 2,06±0,13 | 5,96±0,30 | 13,79±0,00 |

Tabulka pro graf č. 5.2.3.4.

| VÝSLEDKY PRO 4.11.2014 (METODA AA) MG CO ₂ /HOD/100G SUCHÉ ZEMINY | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | B | N | G | NG |
| kontrola | 2,13±0,00 | 2,22±0,06 | 3,58±0,32 | 21,25±1,95 |
| NPK | 2,02±0,06 | 2,09±0,03 | 4,01±0,32 | 16,76±4,19 |
| kal | 1,96±0,13 | 2,33±0,26 | 2,45±0,00 | 24,45±0,33 |
| kal 3 | 1,98±0,07 | 2,26±0,07 | 4,10±0,33 | 24,37±3,95 |
| hnůj 1 | 2,09±0,06 | 2,52±0,29 | 4,73±0,65 | 20,36±0,65 |
| hnůj 1/2 | 2,07±0,06 | 2,41±0,03 | 3,55±0,32 | 17,20±0,32 |

9.3 Statistické vyhodnocení porovnání metody AA a IR

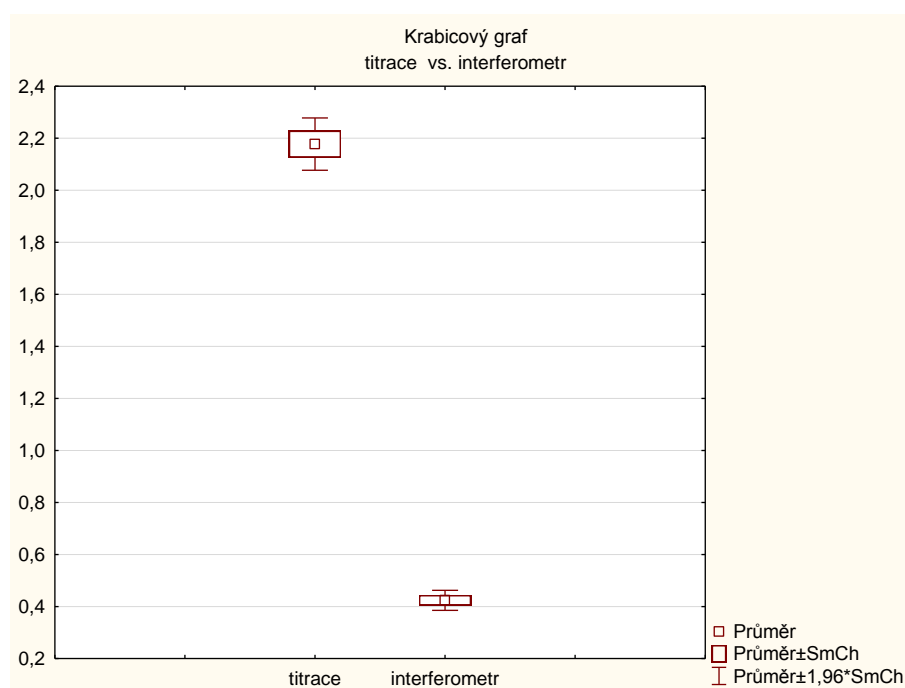
Porovnání bylo provedeno pomocí párového t-testu v programu STATISTICA CZ.

9.3.1 Bazální respirace

Nulová hypotéza testu byla:

$H_0: \mu_{01} = \mu_{02}$ Neexistuje rozdíl mezi metodami (výsledky varianty bazální respirace).

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$, v intervalu spolehlivosti +/- 95% od 1,644212 do 1,862828. Existuje statisticky významný rozdíl mezi metodami. Viz graf a tabulka.



| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) | | | | | | |
|---------------|--|----------|---|----------|------------------|----------|-------|
| | Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | |
| | Průměr | Sm.odch. | | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | v p |
| titrace | 2,177540 | 0,435316 | | | | | |
| interferometr | 0,424020 | 0,166778 | 2 | 1,753520 | 0,465162 | 31,98697 | 0,00 |

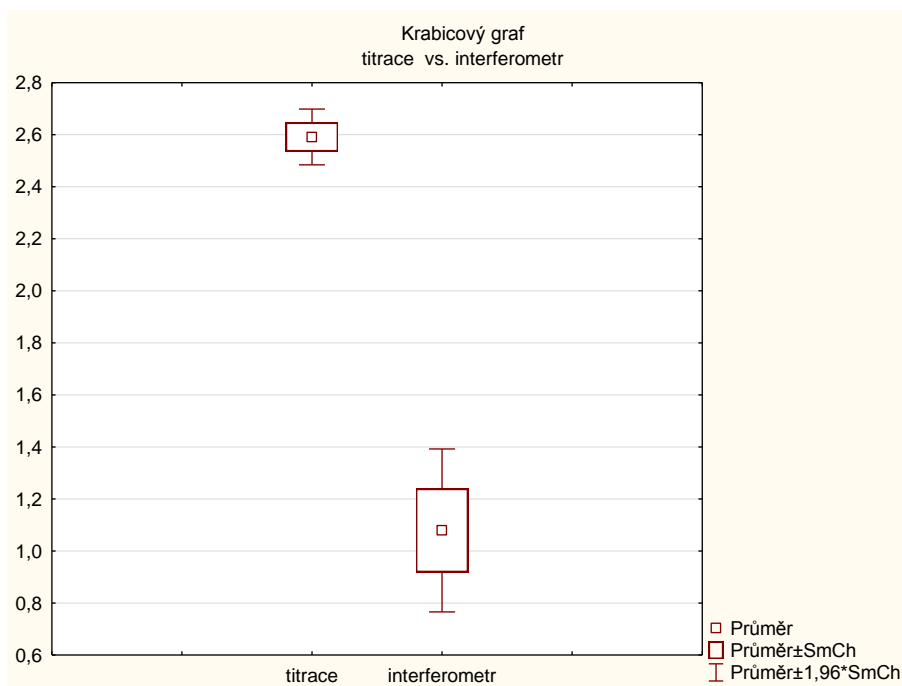
| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) | |
|---------------|--|------------------------|
| | Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | |
| | Int. spolehl. -95,000% | Int. spolehl. +95,000% |
| titrace | | |
| interferometr | 1,644212 | 1,862828 |

9.3.2 Potenciální respirace s dusíkem

Nulová hypotéza testu byla:

$H_0: \mu_{01} = \mu_{02}$ Neexistuje rozdíl mezi metodami.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$, v intervalu spolehlivosti +/- 95% od 1,160886 do 1,863994. Existuje statisticky významný rozdíl mezi metodami. Viz graf a tabulka.



| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|---------------|--|----------|---|----------|------------------|----------|---|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | v | p |
| titrace | 2,591442 | 0,464733 | | | | | | |
| interferometr | 1,079002 | 1,356182 | 2 | 1,512440 | 1,496047 | 8,578257 | 1 | 0,000000 |

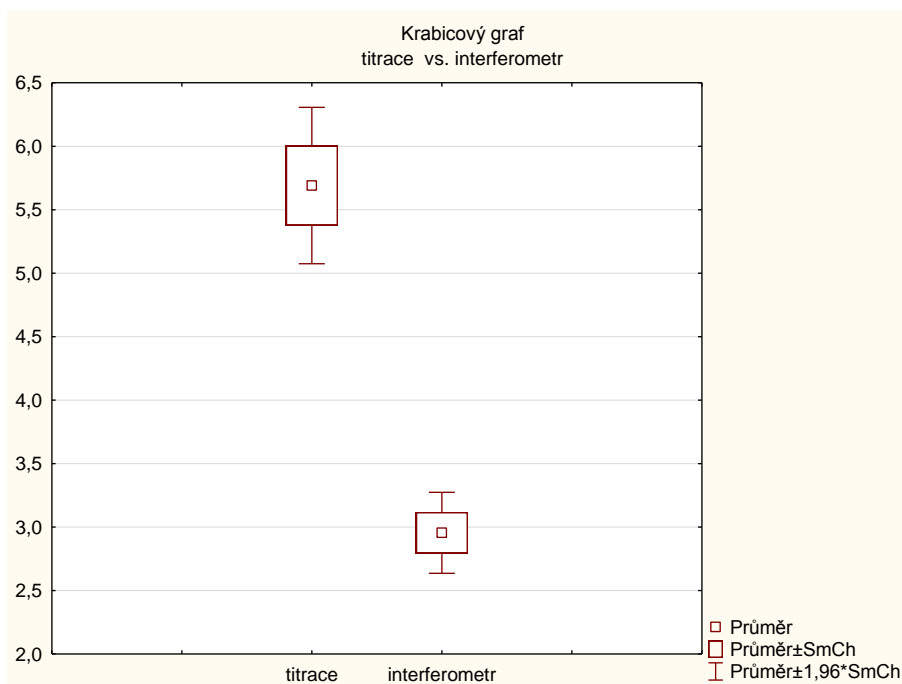
| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | |
|---------------|--|------------------------|
| | Int. spolehl. -95,000% | Int. spolehl. +95,000% |
| titrace | | |
| interferometr | 1,160886 | 1,863994 |

9.3.3 Potenciální respirace s glukózou

Nulová hypotéza testu byla:

$H_0: \mu_{01} = \mu_{02}$ Neexistuje rozdíl mezi metodami.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$, v intervalu spolehlivosti +/- 95% od 2,139273 do 3,331394. Existuje statisticky významný rozdíl mezi metodami. Viz graf a tabulka.



| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) | | | | | | |
|---------------|--|----------|--------|------------------|----------|----------|------------|
| | Průměr | Sm.odch. | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | v | p |
| titrace | 5,690698 | 2,668948 | | | | | |
| interferometr | 2,955364 | 1,380309 | 2 | 2,735334 | 2,536552 | 9,150249 | 1 0,000000 |

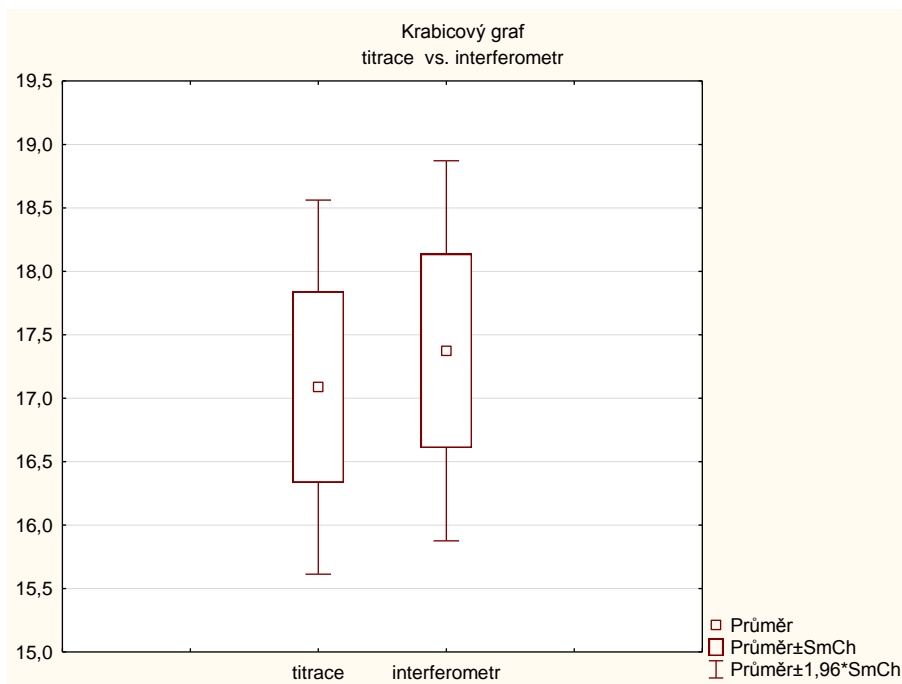
| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) | |
|---------------|--|------------------------|
| | Int. spolehl. -95,000% | Int. spolehl. +95,000% |
| titrace | | |
| interferometr | 2,139273 | 3,331394 |

9.3.4 Potenciální respirace s glukózou a dusíkem

Nulová hypotéza testu byla:

$H_0: \mu_{01} = \mu_{02}$ Neexistuje rozdíl mezi metodami.

Na základě výsledků testu nelze hypotézu zamítnout. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$, v intervalu spolehlivosti $\pm 95\%$ od -1,79408 do 1,223024. Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi metodami. Viz graf a tabulka.



| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|---------------|--|----------|---|-----------|------------------|-----------|---|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | v | p |
| titrace | 17,08819 | 6,380770 | | | | | | |
| interferometr | 17,37372 | 6,483120 | 2 | -0,285528 | 6,419687 | -0,377399 | 1 | 0,707003 |

| Proměnná | t-test pro závislé vzorky (statistika) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | |
|---------------|--|---------------------------|
| | Int. spolehl. -95,000% | Int. spolehl. +95,000% |
| titrace | | |
| interferometr | -1,79408 | 1,223024 |

9.4 Statistické porovnání typů hnojení a časové závislosti

Porovnání bylo provedeno pomocí testu vícefaktorová ANOVA v programu STATISTICA Cz.

9.4.1 Bazální respirace metodou AA

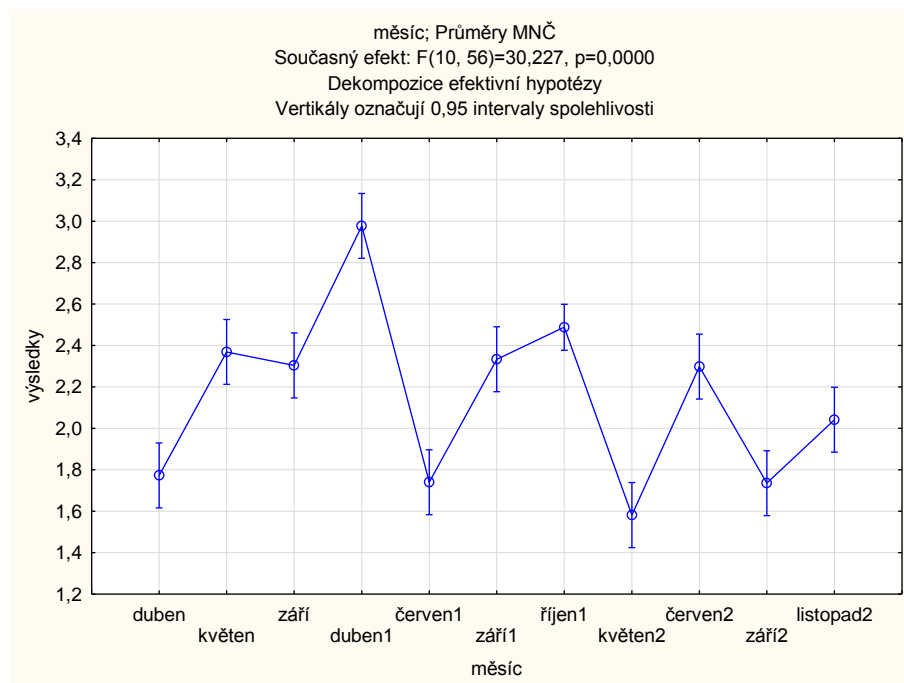
Nulová hypotéza testu byla:

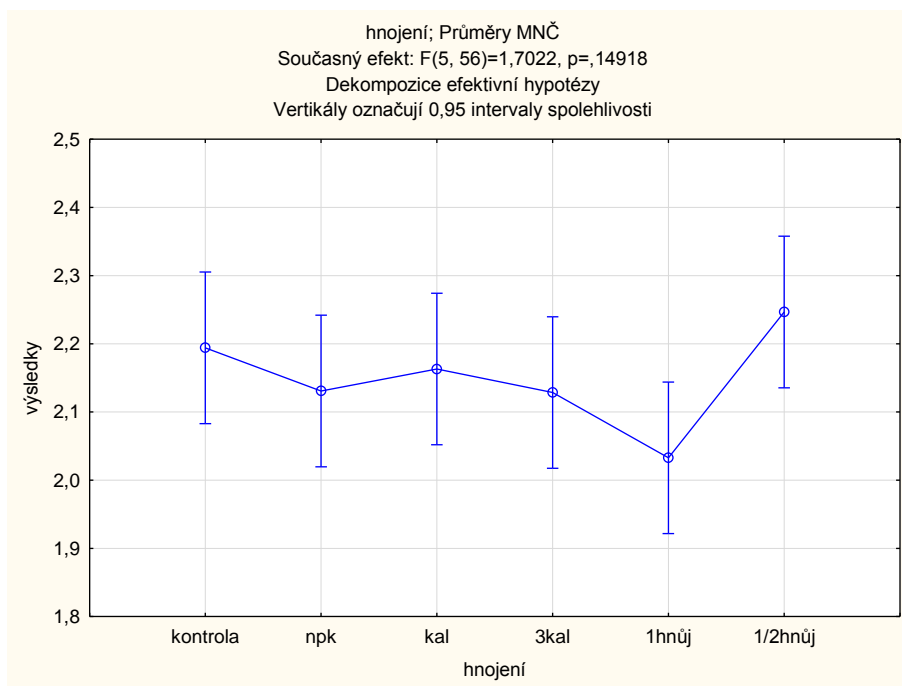
H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu nelze hypotézu zamítnout. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy.





| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 319,4059 | 1 | 319,4059 | 8707,359 | 0,000000 |
| měsíc | 11,0881 | 10 | 1,1088 | 30,227 | 0,000000 |
| hnojení | 0,3122 | 5 | 0,0624 | 1,702 | 0,149182 |
| Chyba | 2,0542 | 56 | 0,0367 | | |

Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Hnůj<Kal3<NPK<Kal<Kontrola<Hnůj ½

9.4.2 Bazální respirace metodou IR

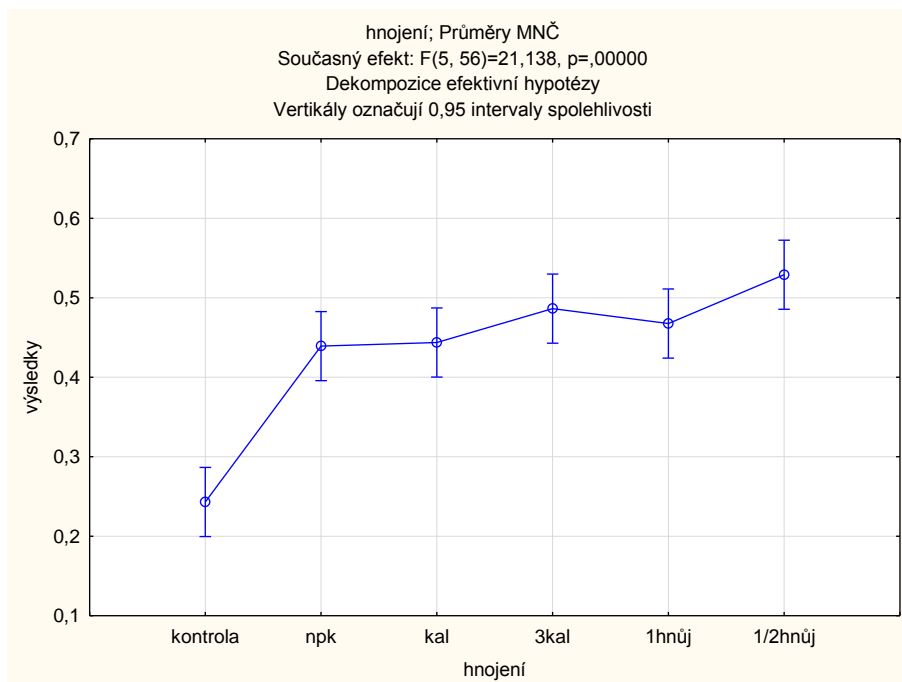
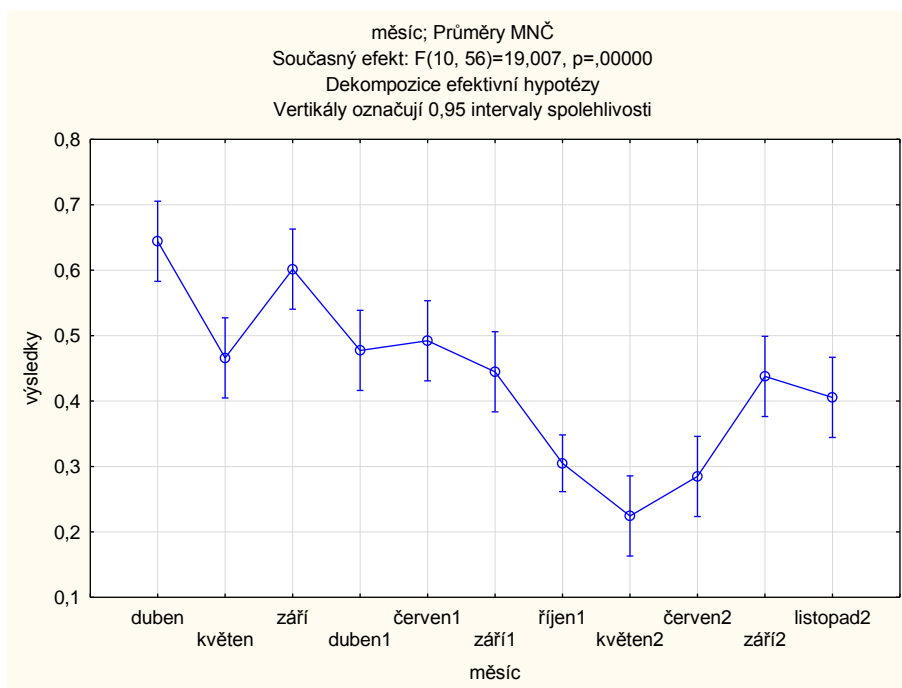
Nulová hypotéza testu byla:

H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Existuje statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a hnojenými parcelami. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy.



Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Kontrola<NPK<Kal< Hnůj<Kal3<Hnůj ½

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PC | F | p |
| Abs. člen | 13,07458 | 1 | 13,07458 | 2328,839 | 0,000000 |
| měsíc | 1,06709 | 10 | 0,10671 | 19,007 | 0,000000 |
| hnojení | 0,59337 | 5 | 0,11867 | 21,138 | 0,000000 |
| Chyba | 0,31440 | 56 | 0,00561 | | |

9.4.3 Potenciální respirace s dusíkem metodou AA

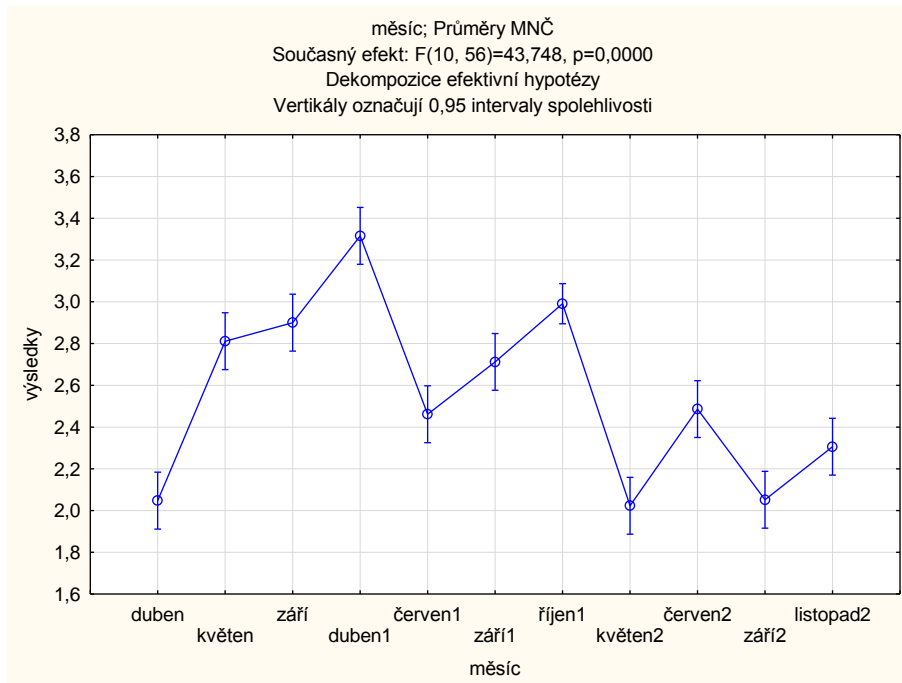
Nulová hypotéza testu byla:

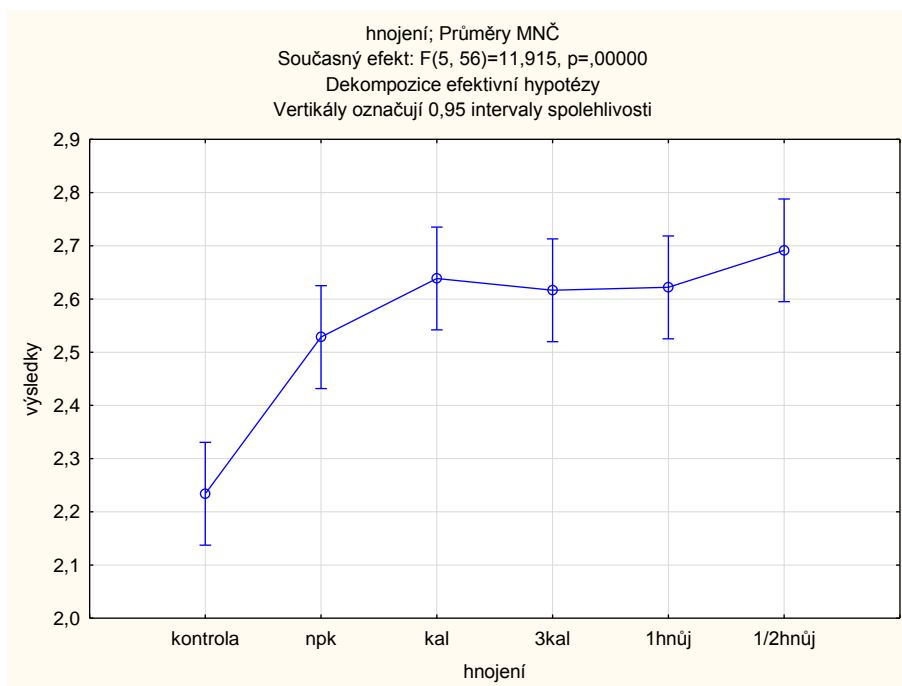
H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Existuje statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a hnojenými parcelami. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy.





Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Kontrola < NPK < Kal3 < Hnůj < Kal < Hnůj 1/2

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 451,4084 | 1 | 451,4084 | 16280,79 | 0,000000 |
| měsíc | 12,1298 | 10 | 1,2130 | 43,75 | 0,000000 |
| hnojení | 1,6518 | 5 | 0,3304 | 11,92 | 0,000000 |
| Chyba | 1,5527 | 56 | 0,0277 | | |

| Č. buňky | Scheffeho test; proměnná výsledky (statistika) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: Between MSE = ,02773, sv = 56,000 | | | | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | hnojení | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | 2,2703 | 2,5647 | 2,6749 | 2,6528 | 2,6583 | 2,7278 |
| 1 | kontrola | | 0,005326 | 0,000034 | 0,000100 | 0,000077 | 0,000002 |
| 2 | npk | 0,005326 | | 0,756227 | 0,889271 | 0,861116 | 0,344495 |
| 3 | kal | 0,000034 | 0,756227 | | 0,999802 | 0,999952 | 0,987085 |
| 4 | 3kal | 0,000100 | 0,889271 | 0,999802 | | 1,000000 | 0,941192 |
| 5 | 1hnůj | 0,000077 | 0,861116 | 0,999952 | 1,000000 | | 0,957207 |
| 6 | 1/2hnůj | 0,000002 | 0,344495 | 0,987085 | 0,941192 | 0,957207 | |

9.4.4 Potenciální respirace s dusíkem metodou IR

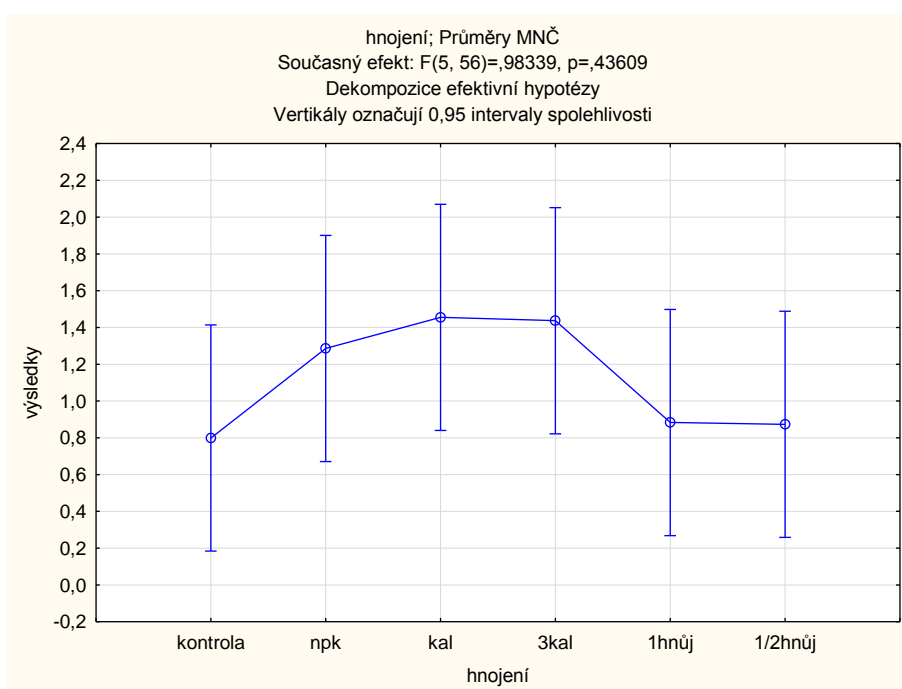
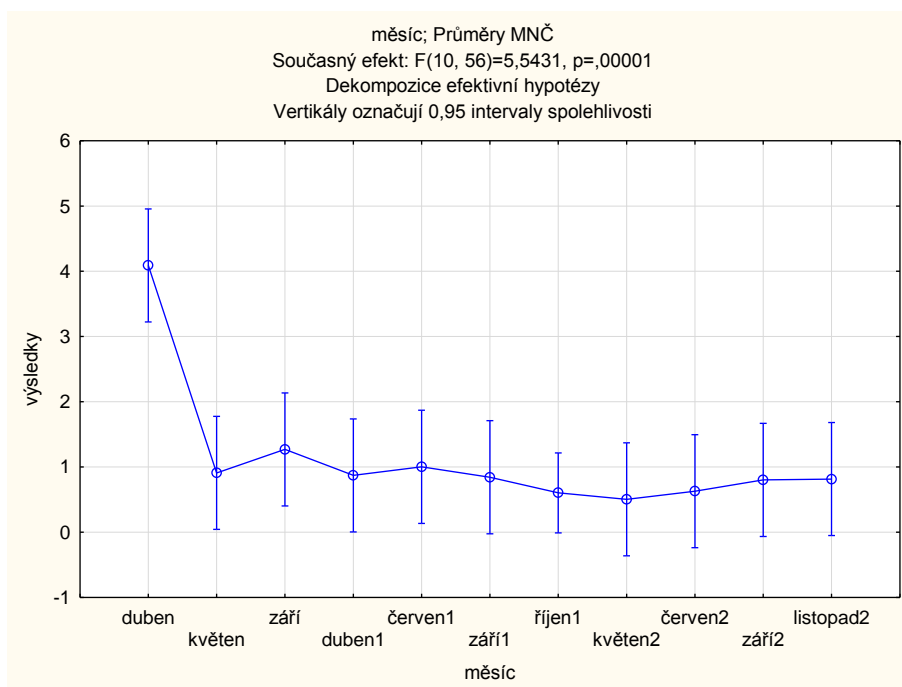
Nulová hypotéza testu byla:

H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu nelze hypotézu zamítnout. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy.



Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Kontrola < Hnůj 1/2 < Hnůj < NPK < Kal3 < Kal

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 87,07653 | 1 | 87,07653 | 77,58269 | 0,000000 |
| Měsíc | 62,21395 | 10 | 6,22139 | 5,54308 | 0,000011 |
| Hnojení | 5,51865 | 5 | 1,10373 | 0,98339 | 0,436092 |

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-------|--|-----------------|---------|---|---|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Chyba | 62,85275 | 56 | 1,12237 | | |

9.4.5 Potenciální respirace s glukózou metodou AA

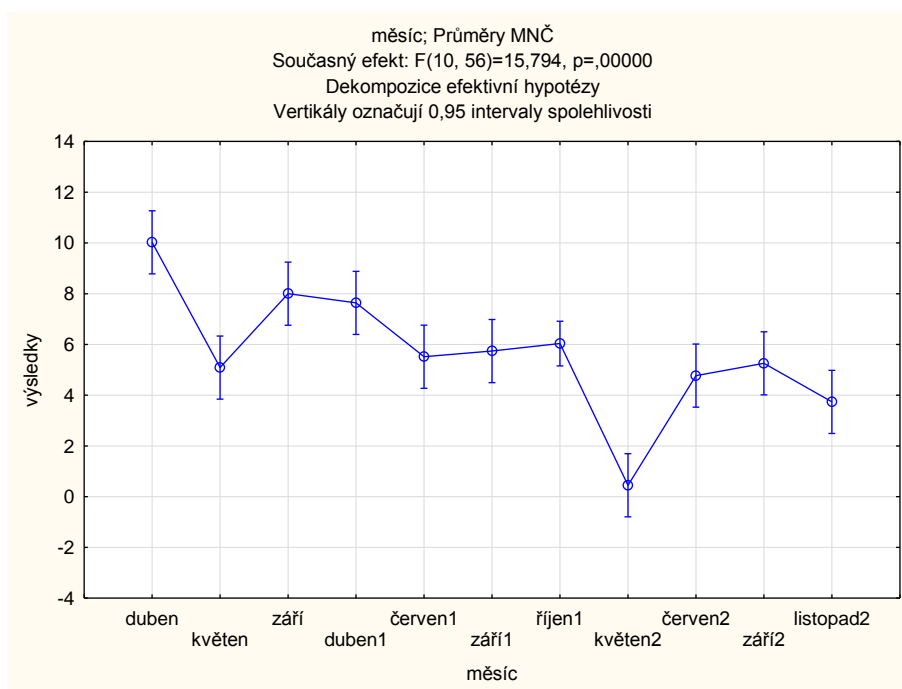
Nulová hypotéza testu byla:

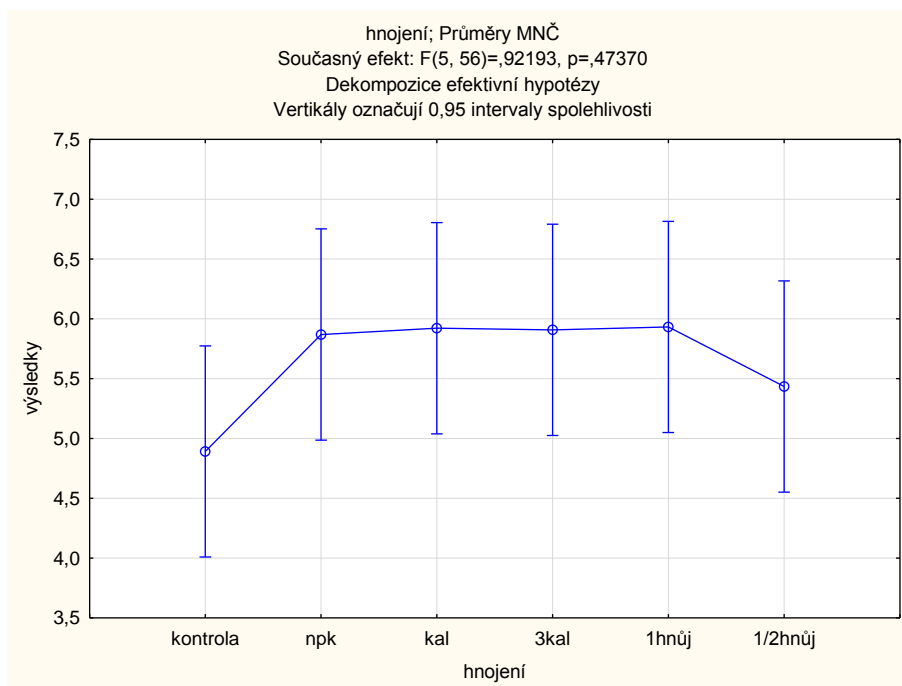
H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu nelze hypotézu zamítnout. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy.





Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Kontrola < Hnůj 1/2 < NPK < Kal < Kal3 < Kal < Hnůj

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 2214,598 | 1 | 2214,598 | 957,0010 | 0,000000 |
| měsíc | 365,496 | 10 | 36,550 | 15,7943 | 0,000000 |
| hnojení | 10,667 | 5 | 2,133 | 0,9219 | 0,473696 |
| Chyba | 129,590 | 56 | 2,314 | | |

9.4.6 Potenciální respirace s glukózou metodou IR

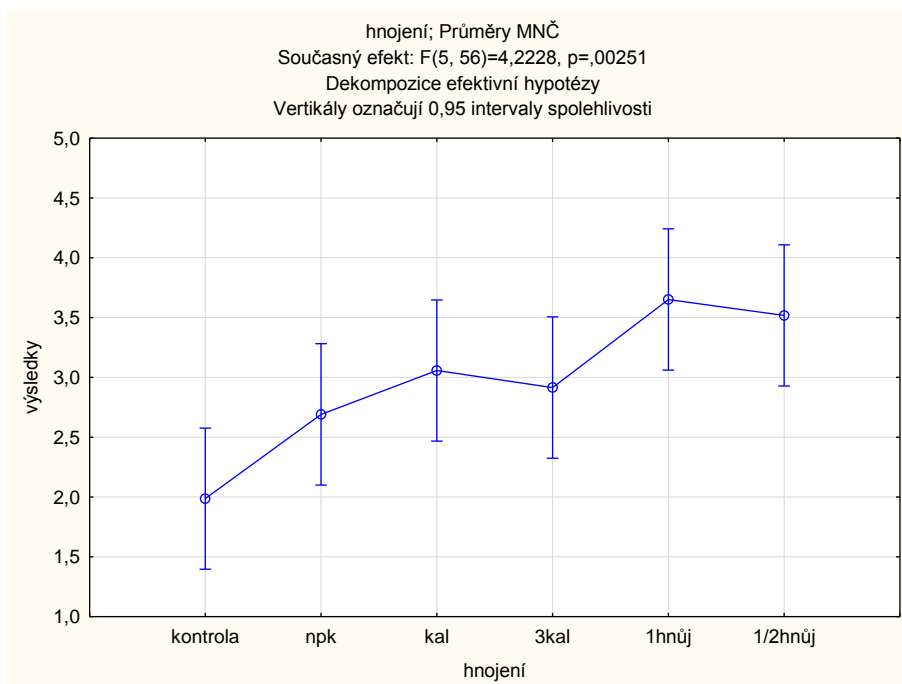
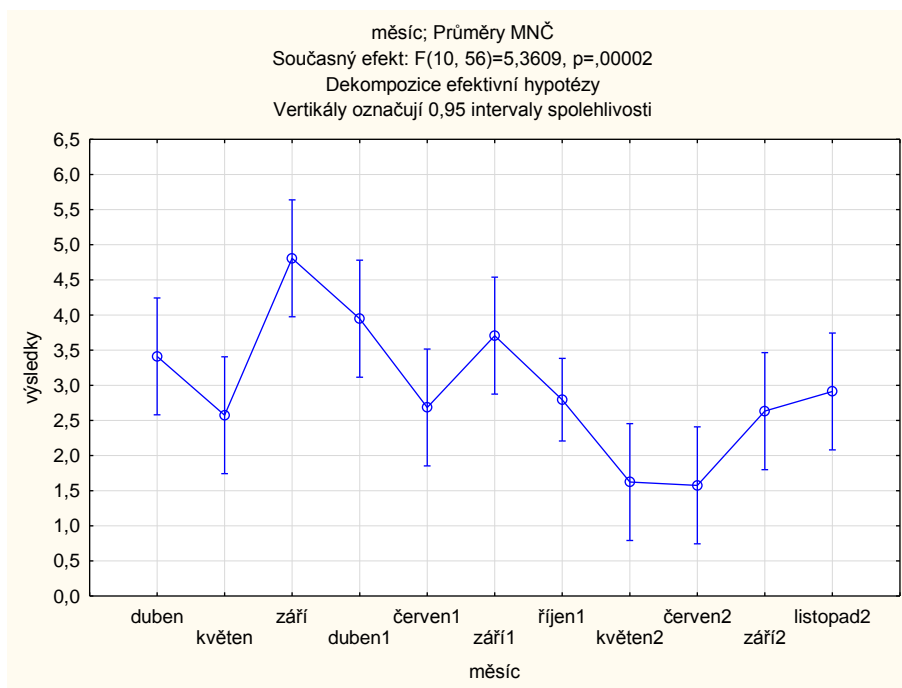
Nulová hypotéza testu byla:

H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Existuje statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a hnojem hnojenými parcelami. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy



Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Kontrola < NPK < Kal3 < Kal < Hnůj ½ < Hnůj

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 609,8713 | 1 | 609,8713 | 589,3565 | 0,000000 |
| měsíc | 55,4749 | 10 | 5,5475 | 5,3609 | 0,000016 |
| hnojení | 21,8489 | 5 | 4,3698 | 4,2228 | 0,002508 |
| Chyba | 57,9493 | 56 | 1,0348 | | |

| Č. buňky | Scheffeho test; proměnná výsledky (statistika) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: Between MSE = 1,0348, sv = 56,000 | | | | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | hnojení | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | 1,9718 | 2,6764 | 3,0429 | 2,9006 | 3,6367 | 3,5038 |
| 1 | kontrola | | 0,718400 | 0,264828 | 0,426077 | 0,012752 | 0,028569 |
| 2 | npk | 0,718400 | | 0,977406 | 0,997669 | 0,387140 | 0,558662 |
| 3 | kal | 0,264828 | 0,977406 | | 0,999744 | 0,840661 | 0,939961 |
| 4 | 3kal | 0,426077 | 0,997669 | 0,999744 | | 0,678894 | 0,831589 |
| 5 | 1hnůj | 0,012752 | 0,387140 | 0,840661 | 0,678894 | | 0,999817 |
| 6 | 1/2hnůj | 0,028569 | 0,558662 | 0,939961 | 0,831589 | 0,999817 | |

9.4.7 Potenciální respirace NG metodou AA

Nulová hypotéza testu byla:

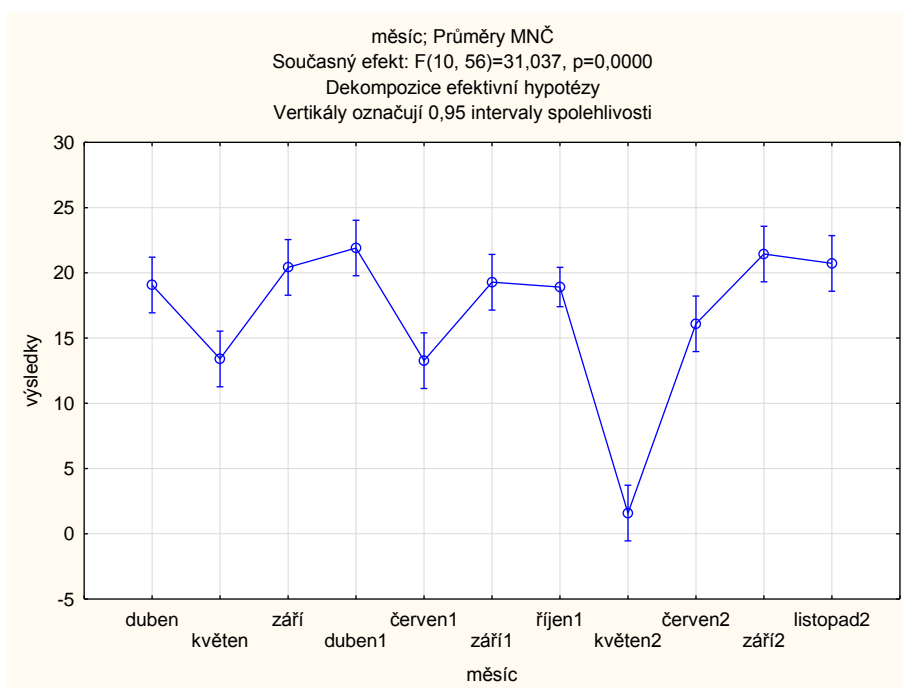
H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

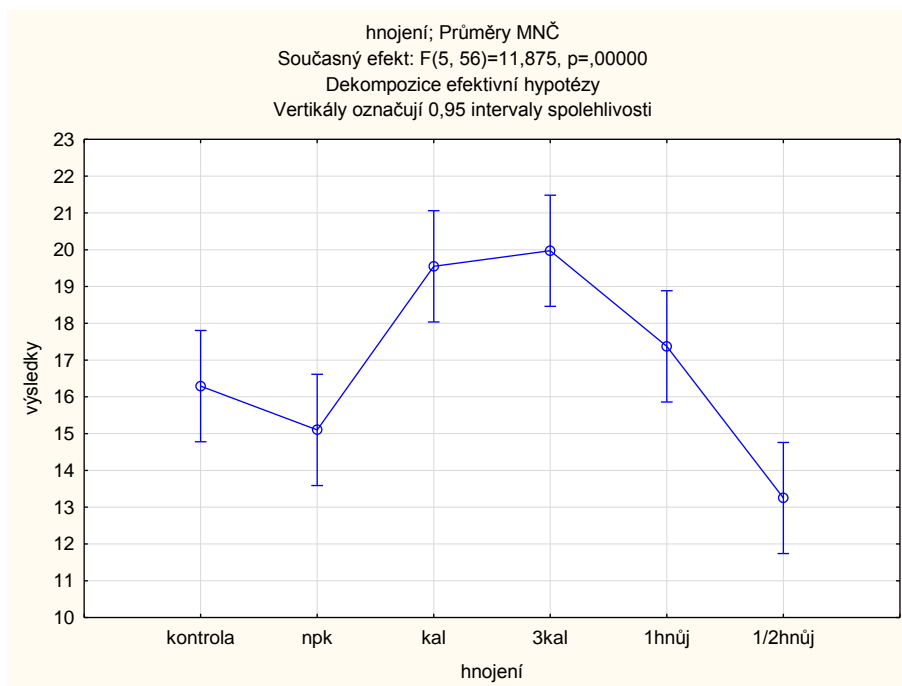
Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H0: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu nelze hypotézu přijmout. Existuje statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými hnojeními, viz tabulka podrobného vyhodnocení Scheffeho testu.

Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy





Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Hnůj ½ < NPK < Kontrola < Hnůj < Kal < Kal3

| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 19800,17 | 1 | 19800,17 | 2916,186 | 0,000000 |
| měsíc | 2107,36 | 10 | 210,74 | 31,037 | 0,000000 |
| hnojení | 403,13 | 5 | 80,63 | 11,875 | 0,000000 |
| Chyba | 380,23 | 56 | 6,79 | | |

| Č. buňky | Scheffeho test; proměnná výsledky (statistika) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: Between MSE = 6,7897, sv = 56,000 | | | | | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | hnojení | 1 16,458 | 2 15,267 | 3 19,714 | 4 20,138 | 5 17,537 | 6 13,416 |
| 1 | kontrola | | 0,937634 | 0,113650 | 0,048946 | 0,958769 | 0,165640 |
| 2 | npk | 0,937634 | | 0,008069 | 0,002628 | 0,480666 | 0,696049 |
| 3 | kal | 0,113650 | 0,008069 | | 0,999464 | 0,528778 | 0,000038 |
| 4 | 3kal | 0,048946 | 0,002628 | 0,999464 | | 0,323294 | 0,000010 |
| 5 | 1hnůj | 0,958769 | 0,480666 | 0,528778 | 0,323294 | | 0,018055 |
| 6 | 1/2hnůj | 0,165640 | 0,696049 | 0,000038 | 0,000010 | 0,018055 | |

Z výše uvedené tabulky je patrné, že je statisticky významně odlišná hodnota Kontroly a Kalu 3; statisticky významný rozdíl mezi NPK a Kalem a mezi NPK a Kalem 3; statisticky významný rozdíl mezi Kalem a Hnojem ½; statisticky významný rozdíl mezi Kalem 3 a Hnojem ½; statisticky významný rozdíl mezi hnojem a hnojem ½.

9.4.8 Potenciální respirace NG metodou IR

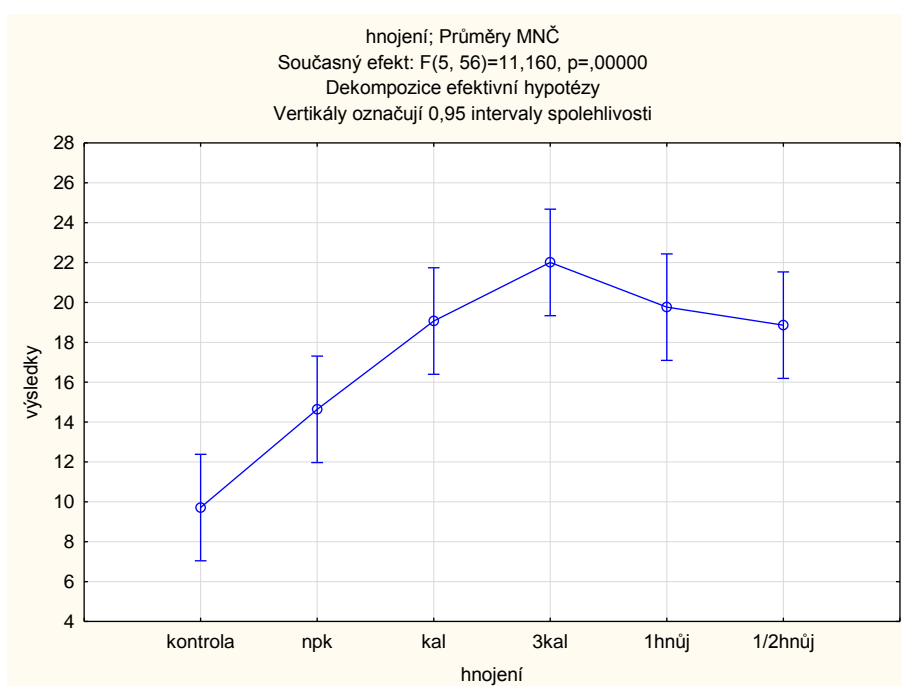
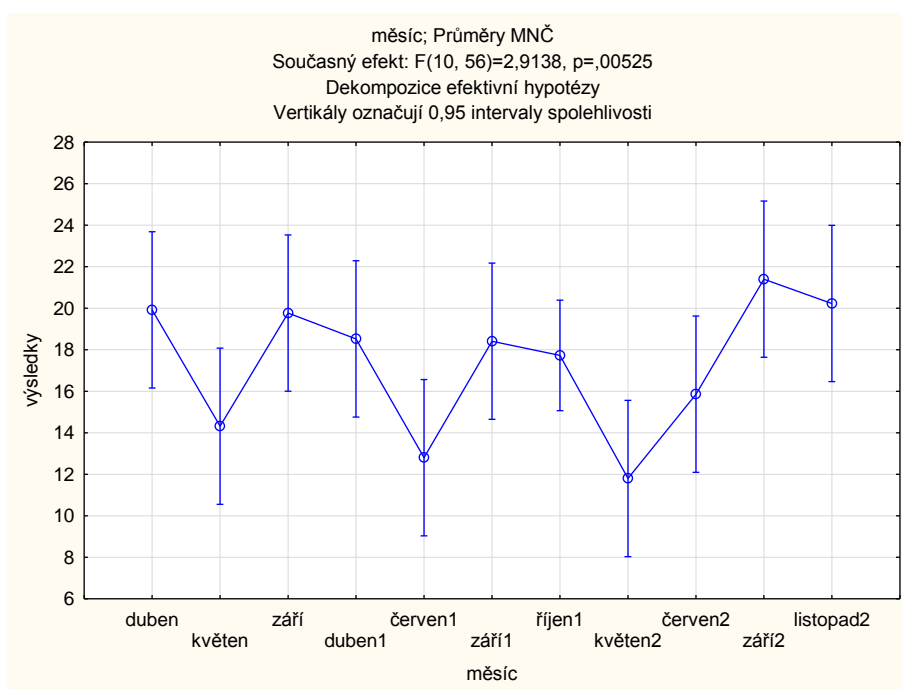
Nulová hypotéza testu byla:

H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými měsíci.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta.

H₀: Neexistuje rozdíl mezi jednotlivými hnojeními.

Na základě výsledků testu byla tato hypotéza zamítnuta. Existuje statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a kalem a hnojem hnojenými parcelami. Test byl proveden na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Viz tabulka a grafy.



| Efekt | Jednorozměrné testy významnosti pro výsledky (statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|-----------------|----------|----------|----------|
| | SČ | Stupně volnosti | PČ | F | p |
| Abs. člen | 20793,08 | 1 | 20793,08 | 982,0039 | 0,000000 |
| měsíc | 616,96 | 10 | 61,70 | 2,9138 | 0,005254 |
| hnojení | 1181,48 | 5 | 236,30 | 11,1596 | 0,000000 |
| Chyba | 1185,75 | 56 | 21,17 | | |

| Č. buňky | Scheffeho test; proměnná výsledky (statistika) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: Between MSE = 21,174, sv = 56,000 | | | | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | hnojení | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | 9,7432 | 14,672 | 19,098 | 22,041 | 19,796 | 18,893 |
| 1 | kontrola | | 0,247020 | 0,000790 | 0,000004 | 0,000246 | 0,001103 |
| 2 | npk | 0,247020 | | 0,365410 | 0,015937 | 0,208343 | 0,420515 |
| 3 | kal | 0,000790 | 0,365410 | | 0,781668 | 0,999619 | 0,999999 |
| 4 | 3kal | 0,000004 | 0,015937 | 0,781668 | | 0,919039 | 0,728945 |
| 5 | 1hnůj | 0,000246 | 0,208343 | 0,999619 | 0,919039 | | 0,998669 |
| 6 | 1/2hnůj | 0,001103 | 0,420515 | 0,999999 | 0,728945 | 0,998669 | |

Hodnoty jsou v následujícím pořadí: Kontrola < NPK < Hnůj^{1/2} < Kal < Hnůj < Kal³