

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Využití amonifikačního a nitrifikačního testu pro studium  
organického hnojení**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Veronika Jarošová**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Karel Voříšek, CSc.**

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Využití amonifikačního a nitrifikačního testu pro studium 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. 4. 2015

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing. Karlu Voříškovi, CSc. za odborné vedení, pomoc a cenné rady při zpracování a vyhodnocování výsledků. Dále bych ráda poděkovala RNDr. Svatoslavě Strnadové za pomoc při práci v laboratoři a při zpracování výsledků, Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za poskytnutí potřebných doplňujících informací a Markétě Jarošové za pomoc s grafickým zpracováním.

# Využití amonifikačního a nitrifikačního testu pro studium organického hnojení

## Souhrn

Tato diplomová práce Využití amonifikačního a nitrifikačního testu pro studium organického hnojení se zabývá problematikou aplikace čistírenských kalů a chlévského hnoje na zemědělskou půdu.

Pro vyhodnocení výsledků byly použity dva testy – amonifikační, který byl vyhodnocován titračně a nitrifikační, který byl vyhodnocován pomocí iontově selektivní elektrody. U každého testu byly prováděny tři stanovení – měření aktuálního obsahu iontů ve vzorku, stanovení obsahu iontů po osmidenní inkubaci v komorovém termostatu a potenciální obsah iontů po přidání vhodného snadno dostupného substrátu (v případě amonifikačního testu 33 % roztok peptonu a v případě nitrifikačního testu 1 % roztok síranu amonného).

Cílem této práce je posoudit vliv různého hnojení na aktuální obsah amonných a nitrátových iontů a amonifikační a nitrifikační aktivitu půdních mikroorganismů včetně potenciální aktivity. Aktuální obsah amonných iontů byl zjištěn 8,74 – 36,83 mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 100 g suché zeminy, v průměru 17,49 mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 100 g suché zeminy a aktuální obsah nitrátů byl zjištěn 0,33 – 2,74 mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g suché zeminy, v průměru 1,10 mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g suché zeminy. Srovnání jednotlivých variant hnojení bylo hodnoceno v programu Statistica. U amonifikační i nitrifikační mikroflóry byla zaznamenána výrazná reakce na zlepšené nutriční podmínky po přidání snadno dostupných substrátů, reakce na zlepšené teplotní podmínky je ale ovšem sporná.

Hypotéza, že rozdílné varianty hnojení ovlivňují amonifikační a nitrifikační aktivitu nemohla být přijata, ani zamítnuta. Pro získání přesnějších a spolehlivějších dat je třeba provést více stanovení ve více opakováních.

**Klíčová slova:** amonifikace, nitrifikace, hnůj, čistírenské kaly, minerální hnojení

# The use of ammonification and nitrification tests for the evaluation of the influence of organic manuring

## Summary

This diploma thesis, The use of ammonification and nitrification tests for the evaluation of the influence of organic manuring, deals with problems of application of sewage sludge and farmyard manure on agricultural land.

Two tests were used for evaluation of results – ammonification, which was assessed by titration and nitrification, which was assessed by using an ion selective electrode. For each test three assessments were performed – assess of current content of ions in samples, assess of ions in samples after eight – day incubation in a chamber thermostat and potential content of ions with the addition of a suitable easily accessible substrate (33 % peptone for ammonification and 1 % ammonium sulfate for nitrification tests).

The aim of this study is to evaluate the influence of various types of fertilization on a current content of ammonium and nitrate ions and evaluation of ammonification and nitrification activity of soil microorganisms, also including potential activity. The current content of ammonium ions was detected 8,74 – 36,83 mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 100 g of dry soil with an average of 17,49 mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 100 g of dry soil and current nitrate ions content was detected 0,33 – 2,74 mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g of dry soil with an average of 1,10 mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g of dry soil. Comparisons of each variant of fertilization were evaluated in the program Statistica. A significant reaction to the improved nutritional conditions after addition of easily accessible substrate was observed for both, ammonification and nitrification, microflora but its reaction to the improved thermal conditions is however disputable.

The hypothesis that different variants of fertilization affect ammonification and nitrification activity can not be accepted nor rejected. To obtain more accurate and reliable data is necessary to perform more assessment with more repetitions.

**Keywords:** ammonification, nitrification, manure, sewage sludge, mineral fertilizers

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Vědecká hypotéza.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Cíle práce .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Půdní organická hmota.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Organická hnojiva.....</b>	<b>13</b>
3.2.1 Statková hnojiva .....	14
3.2.1.1 Hnojůvka .....	14
3.2.1.2 Močůvka .....	15
3.2.1.3 Kejda.....	15
3.2.1.4 Zelené hnojení .....	16
3.2.1.5 Hnojení slámou.....	17
3.2.1.6 Řepný chrást .....	18
3.2.1.7 Statkové komposty .....	19
3.2.1.8 Silážní šťávy .....	20
3.2.2 Průmyslová hnojiva .....	20
3.2.2.1 Průmyslové komposty .....	20
3.2.3 Hnůj .....	20
3.2.3.1 Faktory ovlivňující množství a složení.....	21
3.2.3.2 Skladování a zrání .....	21
3.2.3.3 Složení chlévského hnoje .....	22
3.2.3.4 Aplikace hnoje na zemědělkou půdu.....	22
3.2.4 Čistírenské kaly.....	23

3.2.4.1	Vznik čistírenských kalů .....	23
3.2.4.2	Zpracování kalů .....	24
3.2.4.3	Složení čistírenských kalů .....	25
3.2.4.4	Aplikace kalů na zemědělskou půdu .....	26
3.2.4.5	Čistírenské kaly v EU .....	26
<b>3.3</b>	<b>Minerální hnojiva .....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Dělení minerálních hnojiv .....	28
<b>3.4</b>	<b>Dusík v půdě .....</b>	<b>30</b>
3.4.1	Vliv dusíku na rostliny .....	30
3.4.2	Koloběh dusíku .....	31
3.4.2.1	Amonifikace .....	31
3.4.2.2	Nitrifikace .....	32
3.4.2.3	Denitrifikace .....	32
3.4.2.4	Fixace vzdušného N <sub>2</sub> .....	33
3.4.2.5	Imobilizace .....	33
<b>4</b>	<b>Materiál a metody .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Demonstrační a pokusné pole Suchdol .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Stanovení amonifikace .....</b>	<b>36</b>
4.2.1	Chemikálie .....	36
4.2.2	Pracovní postup .....	36
<b>4.3</b>	<b>Stanovení nitrifikace .....</b>	<b>38</b>
4.3.1	Chemikálie .....	38
4.3.2	Pracovní postup .....	38
<b>5</b>	<b>Výsledky měření .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>Výsledky měření obsahu amonných iontů .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>Výsledky měření obsahu nitrátů .....</b>	<b>45</b>

<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1</b>	<b>Měření obsahu amonných iontů .....</b>	<b>48</b>
6.1.1	Porovnávání jednotlivých variant testů.....	48
6.1.2	Změny obsahu amonných iontů v průběhu roku .....	48
6.1.3	Porovnání jednotlivých variant hnojení .....	48
<b>6.2</b>	<b>Měření obsahu nitrátů .....</b>	<b>49</b>
6.2.1	Porovnávání jednotlivých variant testů.....	49
6.2.2	Změny obsahu nitrátů v průběhu roku .....	49
6.2.3	Porovnání jednotlivých variant hnojení .....	50
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>55</b>



# 1 Úvod

Během posledních desítek let dochází k významným změnám ve využívání půdy. Jedná se jednak o změny osevních postupů, například vlivem pěstování energetických plodin, změny typu hnojení od organického k anorganickému, změny technologií atp. To vše má za následek snižování organické hmoty v půdě.

Organická hmota v půdě je jedním z hlavních faktorů půdní úrodnosti a proto je třeba ji do půdy pravidelně dodávat. Dříve zemědělství fungovalo jako bezodpadové hospodářství. Cyklus „krmivo - zvíře - výkaly - hnojivo - rostlina - krmivo“ fungoval po tisíce let, již od dob prvních zemědělců před 10 000 lety. Vzhledem ke zvýšeným nárokům spojeným s populační explozí minulého století dochází k narušování stability těchto agroekosystémů.

Dnes také dochází k přechodu spíše k rostlinné výrobě a dochází i ke snižování počtu hospodářských zvířat. To vše, spolu se zavedením bezstelivových chovů, vede ke snížené produkci statkových hnojiv.

Existuje několik alternativ organického hnojení, které zaručí přísun organické hmoty do půdy v případě nedostatku statkových hnojiv. Mezi ně patří například hnojení rostlinnými organickými hnojivy (zaorávání slámy, zelené hnojení, zaorávání chrástu cukrové řepy, silážní šťávy atd.), nebo také hnojení čistírenskými kaly. Právě čistírenské kaly by mohly být vhodnou alternativou, která by dokázala nahradit aplikaci statkových hnojiv.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

### **2.1 Vědecká hypotéza**

Rozdílné varianty hnojení ovlivňují amonifikační a nitrifikační aktivitu.

### **2.2 Cíle práce**

Posoudit vliv různého hnojení (hnůj, čistírenské kaly, NPK) na aktuální obsah nitrátových a amonných iontů a amonifikační a nitrifikační aktivitu půdních mikroorganismů včetně potenciální aktivity po doplnění vhodných snadno dostupných substrátů.

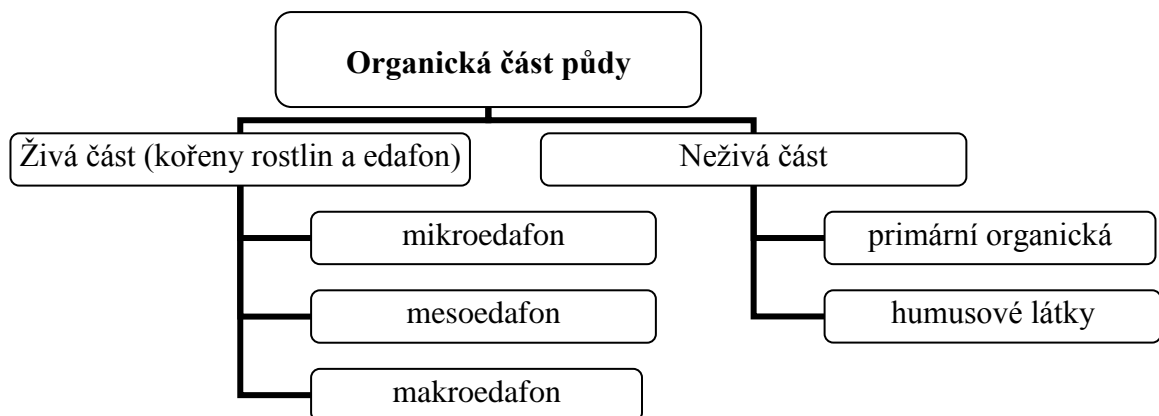
### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota, ačkoliv tvoří jen malý podíl celkové hmotnosti (Vaněk a kol., 2009) 2 – 5 %, má významný vliv na půdní úrodnost a kvalitu půdy. Již v dávné minulosti bylo známo, že souvisí s půdní úrodností a růst a výnosy plodin byly vždy zaznamenávány vyšší na půdách bohatých na organickou hmotu. Půdy dobře zásobené organickou hmotou mají vyšší schopnost vyrovnávat se s výkyvy počasí, nebo jiných biotických a abiotických faktorů (Kubát a kol., 2008). Je proto nutné organickou hmotu do půdy pravidelně a dostatečně dodávat formou organického hnojení. Během posledních 100 let ale došlo k významným změnám ve využívání půdy a tím i ke změnám obsahu organické hmoty v půdě. Jedná se například o změny osevních postupů z ekonomických a ekologických důvodů a zjednodušování struktury plodin ve prospěch tržních plodin.

Termín půdní organická hmota je obvykle používán k označení odumřelé organické hmoty a na živou část, přestože je pro úrodnost stejně důležitá, se obvykle zapomíná. Tim (2003) a Paul (2007) definovali půdní biotop jako souhrn živých organismů obývajících půdu, zahrnující rostliny, živočichy a mikroorganismy a abiotické prostředí, ve kterém žijí.

Vlastní rozdělení organické části půdy je zřejmé z následujícího přehledu převzatého od Vaňka a kol. (2009):



Z živé části mají významný vliv rostliny, zejména svým kořenovým systémem ovlivňují biologické i chemické procesy v období vegetace a po odumření jsou hlavním zdrojem organického materiálu. Mikroedafon zahrnuje bakterie, houby, aktinomycety, sinice aj.

a je nejaktivnější skupinou živé části půdy. Podílí se na většině rozkladných i transformačních procesů (Vaněk a kol., 2009).

Odumřelá neboli neživá část organické hmoty vzniká chemickým a biologickým rozkladem organických zbytků. Dělí se na primární organickou hmotu, která se nachází v různém stupni rozkladu, ve které je stále patrná morfologie rostlinného materiálu. Většinou je její obsah v půdě pouze asi 10 – 15 %. Má ale významný pozitivní vliv na fyzikální vlastnosti půd, je primárním zdrojem pro tvorbu humusových látek a její mineralizací získávají mikroorganismy energii, je produkován CO<sub>2</sub> a další minerální látky, které jsou zdrojem živin pro rostliny i mikroorganismy. Mezi zdroje primární organické hmoty patří kořenové exudáty<sup>1</sup>, odumřelé mikroorganismy a makroedafon, kořenové zbytky a odumřelé části kořenů, opad a zbytky nadzemních částí rostlin a statková hnojiva.

Druhou skupinu tvoří humusové látky. Jedná se o složité látky vzniklé procesem humifikace – fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy. V první fázi humifikace se tvoří hlavně fulvokyseliny, což je významné z hlediska vlivu primární organické hmoty na pohyblivost živin a těžkých kovů. Fulvokyseliny mají jednodušší stavbu molekuly i celkové složení než huminové kyseliny. Jejich vodné roztoky jsou velmi kyselé (pH 2,6 – 2,8), ve vodě dobře rozpustné a velmi agresivní na minerální podíl, který ochuzují o živiny a koloidy. Huminové kyseliny mají porézní stavbu a vyznačují se vysokou sorpční schopností, průměrně 400 – 600 mmol / 100 g HK (Pospíšilová a Tesařová, 2009).

Obě složky organické části půd jsou významné, vzájemně se podmiňují a jsou na sobě závislé a ve svých důsledcích působí na celkovou biologii půdy, mineralizační a imobilizační procesy, včetně transformace organických látek na složité a stabilní sloučeniny v půdě (Vaněk a kol., 2009).

---

<sup>1</sup> v kořenových sekretech jsou zastoupeny nejvíce cukry - zejména sacharóza a organické kyseliny - k. jablečná, k. citrónová, k. vinná, k. fumarová i aminokyseliny (Vaněk a kol., 2009)

## 3.2 Organická hnojiva

Organickým hnojivem se dle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech rozumí hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy v organické formě.

Od začátku 90. let minulého století dochází ke změnám v osevních postupech ve prospěch tržních plodin, došlo k omezení minerálního hnojení a v důsledku toho poklesly výnosy většiny pěstovaných plodin, zejména obilovin (Richter a Kubát, 2003). Dochází ale také ke snižování stavů hospodářských zvířat. Dle dat českého statistického úřadu bylo u nás v roce 1990 3 506 222 kusů skotu a 4 789 898 kusů prasat a do roku 2013 tyto počty klesly na 1 352 822 kusů skotu a 1 586 627 kusů prasat. To znamená pokles o více než 61 % u skotu a téměř 67 % u prasat a má významný vliv na produkci statkových hnojiv. V důsledku toho se také snížila produkce pícnin z 1 079 tis. ha v roce 1989 na 436 tis. ha (pokles asi o 60 %). To vše ovlivnilo koloběh látek v agroekosystému, produkci půdní organické hmoty a vstup organických látek do půdy.

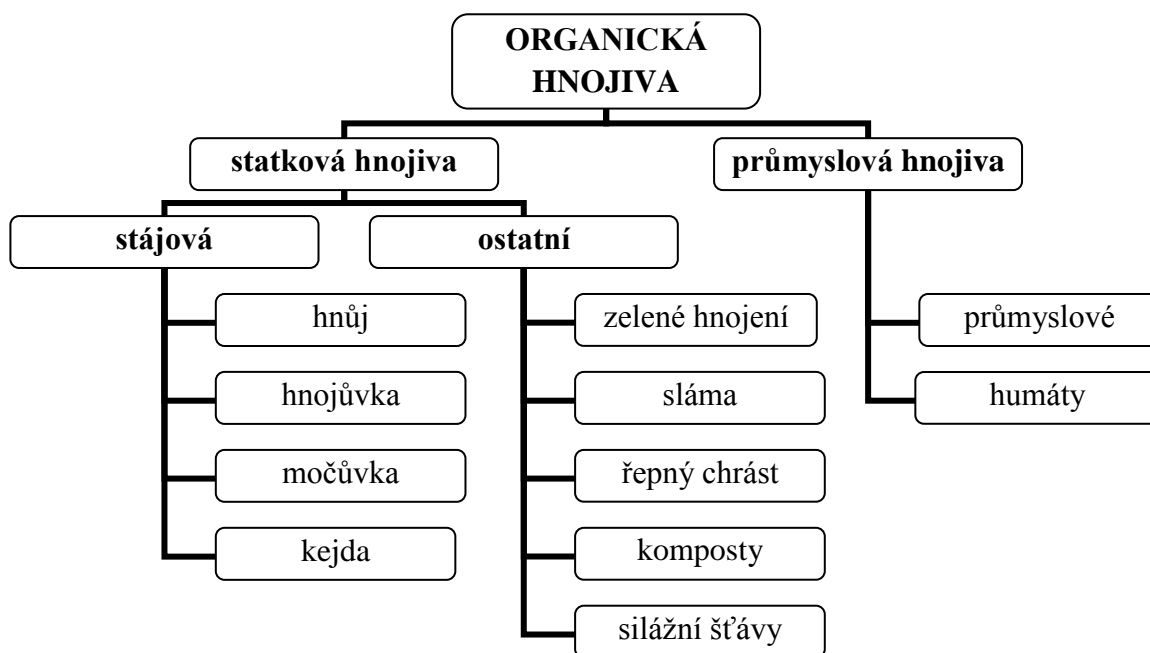
Organická hnojiva dodávají do půdy nejen makrobiogenní<sup>2</sup> a mikrobiogenní<sup>3</sup> prvky, ale hlavně organické látky rostlinného nebo živočišného původu (sacharidy, celulóza, hemicelulóza, lignin, aminokyseliny, bílkoviny aj.), které nelze z pohledu udržení či zvyšování půdní úrodnosti nahradit jinými látkami (Richter a Kubát, 2003). Vedle přísunu organických látek do půdy mají organická hnojiva řadu dalších výhod. Mezi ně patří například to, že omezují vodní a větrnou erozi v půdě, zlepšují hospodaření s vodou, jsou univerzální a obsahují všechny rostlinné živiny atd.

Organickou hmotu je třeba do půdy pravidelně doplňovat a proto jsou organická hnojiva jedním z hlavních výrobních prostředků našeho zemědělství a je na nich závislá úrodnost našich půd.

---

<sup>2</sup> makrobiogenní prvky - dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra

<sup>3</sup> mikrobiogenní prvky - bór, mangan, molybden, zinek, měď, železo



### 3.2.1 Statková hnojiva

Za statková hnojiva se dle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech rozumí hnojivo, vznikající jako vedlejší produkt při chovu hospodářských zvířat nebo produkt při pěstování kulturních rostlin.

#### 3.2.1.1 Hnojůvka

Hnojůvka vzniká jako odpad v průběhu zrání chlévské mrvy. Její množství a složení závisí především na kvalitě uskladnění, ošetření mrvy a na meteorologických podmínkách (srážkách a teplotě). Může dosahovat 8–20 % objemu uskladněné mrvy. Skladuje se v nepropustných jímkách, které musí velikostí odpovídat minimálně čtyřměsíční produkci hnojůvky. Jedná se o dusíkato – draselné hnojivo s obsahem N 0,11 – 0,14 % a obsahem K 0,46 – 0,48 % (Richter a Kubát, 2003). Vzhledem k jejímu původu obsahuje také velké množství mikroorganismů, které získává strháváním z mrvy a které se v ní dále množí.

Hnojůvka se používá zejména ke hnojení krmných plodin, luk a pastvin nebo také k zavlažování kompostu.

### 3.2.1.2 Močůvka

Močůvka je směs zkvašené moči ustájených hospodářských zvířat a vody (napájecí, splachovací, dešťové i povrchové). Stejně jako hnojůvka je hodnotným dusíkatým – draselným hnojivem, s tím rozdílem že obsahuje pouze malé množství mikroorganismů. Vzhledem k časté nevyhovující skladovací kapacitě jímek, nedostatku aplikační techniky a často i nezájmu o její účelné využití, je její použití k aplikaci na zemědělskou půdu nedostatečné.

Její přímé použití může být i riskantní, vzhledem k obsahu dusíkatých kyselin (hipurové a močové) a jejich meziproductů, které mohou „pálit“ rostliny. Proto je nutné omezit ztráty dusíku těkáním, a to lze mnoha způsoby. Dle Richtera a Kubáta (2003) například zajištěním rychlého odtoku tekutých výkalů do jímky, dostatečnou kapacitou močůvkových jímek, které by měly být zakryté poklopem, v otevřené jímce lze omezit ztráty plovoucím dřevěným krytem ze 42 % na 23 % a plovoucí kryt s 5 mm vrstvou vyjetého oleje sníží ztráty až na 7 %.

Močůvka je vhodná pro hnojení krmných plodin, okopanin, travních porostů, chmele nebo zeleniny a je třeba ji aplikovat rovnoměrně po celé ploše. Močůvku lze využít i k jiným účelům než k přímému hnojení. Například k zavlažování statkových kompostů nebo ke kompostování odpadní dřevní hmoty jako zdroj dusíku a k obohacení o mikroorganismy.

### 3.2.1.3 Kejda

Kejda je částečně zkvašená směs tuhých a tekutých exkrementů hospodářských zvířat a zbytků krmiv, s různým podílem technologické vody a reziduí různých desinfekčních prostředků a léků (Richter a Kubát, 2003; Groda a kol, 2008). Vzhledem k ekonomické efektivnosti a hygieny práce jsou bezstelivové provozy s přímým hnojařským využitím kejdy v zemědělsky vyspělých státech považovány za nejvýhodnější.

Jedná se o vysoce hodnotné organicko – minerální hnojivo, které spojuje vlastnosti hnoje a minerálních hnojiv. Obohacuje půdu o organické látky, živiny, bakterie a látky stimulační povahy (heteroauxiny), které dle Richtera a Kubáta (2003) při správné aplikaci zvyšují půdní úrodnost. Její množství a složení je proměnlivé a závisí na mnoha faktorech, například na obsahu vody, druhu, kategorii, stáří a krmení zvířat, způsobu odklizení výkalů nebo skladování (Škarda, 1978).

Vzhledem k jejímu úzkému poměru C : N (4 – 8 : 1) (Richter a Kubát, 2003) je vhodné použít kejdu v kombinaci například se zeleným hnojením, slámou a nebo ji použít

k výrobě kompostů. Dusík se z 50 – 60 % vyskytuje v amoniakální formě, jako  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , maximálně 10 % je ve formě nitrátové a zbytek ve formě organické. Rostlinami velmi dobře využitelný je organicky vázaný fosfor a nestabilní draslík a významný je také obsah síry, vápníku a hořčíku.

Pokud je kejda na půdu aplikována přímo, je nutné, ji nejdříve dlouhodobě skladovat. Vzhledem k její agresivitě je vhodná betonová odvětrávaná jámka vybavená ponorným, nebo vertikálním míchadlem (Groda a kol., 2008).

Kejdou se ideálně hnojí ve dvouletých cyklech, vzhledem k tomu, že na rozdíl od chlévského hnoje je účinek hnojení kejdou pouze dvouletý. V případě, kdy je možné kejdou přesně dávkovat, je možné hnojit každý rok. Ztráty amoniakálního dusíku lze vyloučit použitím vhodné aplikační techniky. Mezi vhodné patří kypřicí adaptéry<sup>4</sup>, které umožňují aplikaci pod povrch půdy nebo stripery zapravující kejdou v meziřádcích a zapraví kypřicí sekcí. Vhodná je také podlistová aplikace kejdy během vegetace hadicovými nebo botkovými aplikátory (Richter a Kubát, 2003).

Kejdou se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou a používá se zejména k okopaninám, jednoletým i víceletým pícninám, na trvalých loukách, pastvinách a k zelenině. V případě použití moderní aplikační techniky lze hnojit i řepku, kukuřici a ozimé obiloviny.

#### 3.2.1.4 Zelené hnojení

Zelené hnojení je vhodné pro dodání chybějících organických látek a živin do půdy, způsobených například nesprávným střídáním plodin v osevním postupu. Jedná se o zapravení zelených rostlin do půdy, které byly za tímto účelem na pozemku vypěstovány. Tento způsob hnojení je univerzálním organickým hnojivem, kterým lze dle Richtera a Kubáta (2003) chlévský hnůj nahradit až z 50 %. Zaoráním zelené hmoty se příznivě ovlivňují fyzikálně chemické vlastnosti půdy tím, že příznivě působí na vodní i tepelný režim, biologickou činnost půdy a v době před zaoráním také chrání před vodní a větrnou erozí. Další výhodou zeleného hnojení je poutání živin z půdy v biomase a jejich postupnému zpřístupňování, čímž se také snižuje nebezpečí jejich vyplavování.

---

<sup>4</sup> Holandsko – Veenhuis, Německo – Zunhammer, Rakousko - Vakuumat



Mezi způsoby zeleného hnojení patří využití rostlin jako hlavní plodiny nebo meziplodiny. Použití jako hlavní plodiny se využívá jen ve zcela výjimečných případech, protože v roce hnojení dochází ke ztrátě výnosu z tržní plodiny. Mezi tyto výjimečné případy patří zakládání vinic a chmelnic, rekultivace nebo naprostý nedostatek organických hnojiv. Nejčastěji se pro tyto účely využívají luskovino - obilné směsky (např. oves - vikev, oves - peluška) (Richter a Kubát, 2003).

Častějším a ekonomicky výhodnějším způsobem zeleného hnojení je využití meziplodiny. Jedním ze způsobů je vysetí vhodné meziplodiny (např. jílek mnohokvětý, jetel plazivý, hořčice, řepka aj.) do krycí plodiny (ozimy i jařiny v průběhu jejich vegetace nebo těsně před jejich sklizní). Výhodou tohoto způsobu jsou jistější výnosy a menší závislost na délce vegetační doby po sklizni hlavní plodiny, nevýhodou je možnost zaplevelení půdy - nutno snížit výsevek krycí plodiny o 10 % (Richter a Kubát, 2003). Minerálními hnojivy (fosforečnými a draselnými) hnojíme ke krycí plodině a dusíkem (výhodné jsou močovka, hnojůvka nebo kejda) přihnojujeme po sklizni krycí plodiny v dávkách 40 - 60 kg N. ha<sup>-1</sup>.

Dalším způsobem je vysetí formou strništní plodiny, kdy se vysadí vhodné plodiny při podmítce nebo do podmítky ihned po časně sklizené předplodině. Výhodou je nižší zaplevelování půdy a v příznivém roce dává velké výnosy, nevýhodou je větší závislost na povětrnostních podmínkách. Nejčastěji se používá hořčice bílá a svazenka vratičolistá (Procházková, 2001).

Dle výsledků pokusů Richtera a Kubáta (2003) je možné dosáhnout na lehkých půdách zvýšení výnosů o 25 - 30 % a na půdách těžších o 15 - 20 %. Zelené hnojení by ale nemělo být používáno trvale samostatně, ale v kombinaci například se stájovými hnojivy. Vhodné je například zaorání se slámou, kejdou i hnojem.

### 3.2.1.5 Hnojení slámou

Zaorávání slámy do půdy pro dodání organických látek je vhodné zejména při specializaci farmy na rostlinnou výrobu nebo nedostatku stájových hnojiv způsobeným poklesem stavů hospodářských zvířat. Mezi další důvody může patřit například zavedení bezstelivových provozů nebo nadbytečná produkce slámy.

Chemické složení slámy se značně liší, zejména dle druhu pěstované plodiny, způsobu hnojení a obsahu přístupných živin v půdě. Sláma je velmi bohatá na organické látky, kterých obsahuje v průměru 80 %. Ty z části podléhají mineralizaci, ale jsou i cennou surovinou pro tvorbu humusu (Richter a Kubát, 2003). Kvalita slámy závisí především na poměru C : N,

který se významně liší u jednotlivých plodin. Nejvyšší je sláma luskovin, která má poměr C : N 20 – 30 : 1. Oproti tomu například sláma řepky a kukuřice má tento poměr široký, a to 60 – 80 : 1 a sláma obilnin dokonce až 90 : 1 (Vach a kol., 2007). Vzhledem k tomu, že optimální poměr pro organické hnojení je 30 : 1, je nutné dusík doplnit, a to nejlépe v amonné formě v minerálních hnojivech s amonnou formou a nebo také například močovce nebo kejďe. Vyrovňovací dávka dusíku je 8 kg na 1 tunu slámy obilnin a 6 kg na 1 tunu slámy řepky (Procházková, 2001). Také poměr C : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> je ve slámě velmi široký, a to v průměru 190 : 1. Z tohoto důvodu je vhodné současně hnojit fosforečnými hnojivy a tato vyrovňovací dávka se pohybuje v rozmezí 0,5 - 1,0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na 1 tunu slámy. Při hnojení slámou se v půdě imobilizuje značné množství síry, a proto je vhodné aplikovat také hnojiva se sírou.

Půdy hnojené slámou jsou vzdušnější (kypřejší), rychleji vysychají a snadněji se obdělávají, ale při dlouhodobém hnojení slámou v suchých podmínkách může docházet k jejímu hromadění, a tím i ke zhoršení podmínek půdního prostředí.

Pro efektivní využívání slámy jako organického hnojiva je důležité slámu před zapravením kvalitně zpracovat (prořezat na délku 10 - 20 cm nebo rozdrtit, pro zvětšení povrchu slámy) a rovnoměrně rozvrstvit po strništi a dobře promísit s ornici. Také je pro urychlení a zkvalitnění rozkladu slámy nutné upravit poměr C : N a co nejrychleji zapravit do půdy podmínkou. U tradičních způsobů je sláma zapravována po podmínce orbou, u minimalizačních technologií je třeba opakovanou podmínkou provést mělké zpracování slámy do půdy.

Dle Richtera a Kubáta (2003) hnojení slámou nejlépe využívají plodiny, které jsou běžně hnojeny hnojem, zejména silážní a krmné plodiny a ve vlhčích oblastech brambory i cukrovka.

#### 3.2.1.6 Řepný chrást

I zaorávání chrástu cukrovky může v případě nedostatku statkových hnojiv plnit významnou roli organického hnojení. V 10 t řepného chrástu je obsaženo kolem 1,5 t sušiny, 50 kg N, 5 kg P, 65 kg K, 8 kg Ca a 5 kg Mg (Vach a kol, 2007). Obsahuje také cukernou složku, která je živným substrátem pro půdní mikroorganismy. Výrazně ale ovlivňuje vodní režim a zejména v suchých letech zhoršuje vodní deficit (Richter a Kubát, 2003).

Nejčastěji je zapravován až pozdě na podzim, a proto je jeho rozklad závislý na průběhu teplot v zimě. Problém může nastat v případě, kdy půda zamrzne již velmi brzy

na podzim, jaro je suché a k uvolňování dusíku mineralizací dochází až v průběhu vegetace. Takto působí negativně na koloběh dusíku v půdě a způsobuje jeho nekontrolovatelné uvolňování během vegetace. Stejný problém může nastat při příliš hlubokém zapravení chrástu do půdy. Dle Procházkové a kol. (2001) se osvědčuje spíše mělké zapravení do půdy (0,12 - 0,15 m).

Richter a Kubát (2003) na základě polních pokusů a poznatků uvádějí následující závěry a doporučení při zaorávání chrástu pro jarní ječmen. Na prvním místě doporučují před zaoráváním řepný chrást rovnoměrně rozprostřít po poli a nechat zavadnout. Dále vzhledem k množství uvolněného N na dobrých půdách v řepářských oblastech nedoporučují hnojení minerálním dusíkem před setím, je třeba ale vycházet z obsahu nimerálního N v půdě před setím a případně dohnojit. Zvláště na půdách s nízkou zásobou P je nutné přihnojovat fosforem, vzhledem k širokému poměru C:P v chrástu (100 - 150 : 1). Řepný chrást obsahuje také velké množství K, a proto je pro vyrovnaný příjem rostlinami třeba zvýšit koncentraci P a Mg aplikací listových hnojiv ve fázi DC<sup>5</sup> 25 - 30. Na kyselých půdách také dochází zaoráním chrástu ke zvyšování jejich kyselosti, proto je třeba také pamatovat na pravidelné vápnění půdy.

### 3.2.1.7 Statkové komposty

Kompostování je efektivně využíváno již po staletí. Přímou aplikací čerstvého materiálu je do půdy dodáno větší množství organické hmoty i živin, ale přináší i řadu výhod. Vyzrálý kompost je velice stabilní organické hnojivo, živiny jsou z něj uvolňovány velmi pomalu a nehrozí jejich ztráty vyplavováním do podzemních vod. Kompost se snáze skladuje a snadněji se s ním manipuluje<sup>6</sup>, což je výhodou v případě, že čerstvý materiál nemůže být na půdu aplikován přímo, například z důvodu velké vzdálenosti od zdroje.

Statkové komposty vznikají recyklací organické hmoty v rámci zemědělského podniku a mohou být vyráběny ze široké škály organických materiálů, jako je hnůj, chlévská mrva, kejda, listí, tráva, kůra, dřevní štěpka, kuchyňský odpad, sláma nebo seno.

Je třeba vzít při výběru úvahu poměr C : N a v případě, kdy je tento poměr u materiálu široký, například u slámy nebo dřevní štěpky, je třeba ho kombinovat s materiálem s úzkým

---

<sup>5</sup> DC – Zadoksova (dekadická) fenologická stupnice označující aktuální stav rostlin (25 – odnožování, 30 – začátek sloupkování)

<sup>6</sup> během procesu kompostování se sníží objem materiálu téměř o polovinu

poměrem C : N například hnojem nebo senem luštěnin. Pokud je poměr C : N v kompostu široký, bude vyžadovat časté míchání a nastavení úrovně vlhkosti, aby mohla být produkována vhodná směs. Oproti tomu v případě úzkého poměru C : N může být obtížnější kontrolovat pachy a může docházet k větším ztrátám dusíku (Wolf and Snyder, 2003).

#### 3.2.1.8 Silážní šťávy

Jako odpad při silážování vznikají silážní šťávy. Ty jsou tvořeny především buněčnou šťávou, která se uvolňuje po odumření rostlinných buněk a vodou, která vzniká rozkladem organických látek nebo která se do siláže dostane (například srážková voda). Obsah organických látek v sušině se pohybuje až k 90 % a sušina kolísá od 3 do 9 %.

Silážní šťávy je možno skladovat společně s kejdou nebo močůvkou. Jejich poměr ke kejdě by měl být 1 : 2 – 5 podle obsahu sušiny. V případě aplikace šťáv samostatně je třeba půdy pravidelně vápnit (Richter a Kubát, 2003).

Silážními šťávami se dle druhu půdy hnojí v 3 – 5 letých cyklech a aplikují se mobilními rozstřikovači. Aplikace musí být rovnoměrná a je nutné ji provést alespoň 3 týdny před setím nebo sázením. Po rozmetání je třeba co nejdříve je zapravit a dobře promísit s půdou například orbou nebo diskovými branami.

### 3.2.2 Průmyslová hnojiva

#### 3.2.2.1 Průmyslové komposty

Dle ČSN 46 5735 se za průmyslový kompost považuje organické hnojivo vyráběné mícháním a biologickým zráním různých látek obsahujících rozložitelné organické látky a rostlinné živiny. Jedná se o hnědou, šedohnědou až černou homogenní hmotu drobovitě až hrudkovitě struktury bez nerozpojitelných částic, která nesmí vykazovat pachy, svědčící o přítomnosti nežádoucích látek.

#### 3.2.3 Hnůj

Chlévský hnůj byl užíván po staletí jako základní zdroj živin pro rostliny. Kromě toho, že do půdy dodává živiny, je také značným zdrojem organické hmoty, zlepšuje půdní strukturu a hospodaření s vodou a zajišťuje vysoký stupeň biologické rozmanitosti.

Chlévský hnůj, jak ho definuje Richter a Kubát (2003), je tmavá, snadno rýpatelná hmota, v povrchových vrstvách hnědočerná, ve spodních nazelenalá, která při styku

se vzduchem rychle černá. Vzniká zušlechtěním (skladováním nebo fermentací) chlévské mrvy, což je směs steliva, tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat se zbytky krmiva. Hlavním úkolem při zrání mrvy je zachování co největšího množství organických látek, živin a udržení a zvýšení počtu mikroorganismů.

### 3.2.3.1 Faktory ovlivňující množství a složení

Složení a kvalita chlévského hnoje je velmi variabilní a závisí jednak na kvalitě čerstvého hnoje, který se dopraví na hnojiště a způsobu jeho skladování a ošetření. Na kvalitu a množství čerstvého hnoje má vliv především podestýlka, druh, stáří a užitkový směr zvířat, technika krmení, délka pobytu zvířat ve stáji, doba uložení na hnojišti a způsob ošetření chlévské mrvy. V klasických ustájeních s přivazováním, je zpravidla produkovaný chlévský hnůj ochuzen o močůvku, která odtéká do samostatných skladovacích nádrží. U novějších technologií s volným ustájením bývá močůvka součástí hnoje (Brestenský and Botto, 2010).

Jako podestýlka se používá sláma ozimů, řezaná na 15 – 20 cm, z důvodu snadnější manipulace. Sláma upravená tímto způsobem zvyšuje jímavost pro moč, zlevňuje manipulaci, snižuje její spotřebu a zajišťuje rovnoměrnější zapravení na poli. Používají se ale i další materiály jako rašelina, piliny nebo listí.

Nejvhodnější vlastnosti má hnůj koňský, vzhledem k tomu, že obsahuje nejméně vody a má vysokou samozáhřevnost. Oproti tomu nejméně kvalitní je hnůj prasat, který je naopak studený a obsahuje velké množství vody. Na živiny je velmi bohatý hnůj ovčí a drůbeží a proto se doporučuje používat v zahradnictví.

Minimální doba pro uložení chlévské mrvy na hnojišti je 3 měsíce, ale ideální doba pro její zrání je 6 měsíců (Richter a Kubát, 2003).

### 3.2.3.2 Skladování a zrání

Zrání mrvy by mělo zásadně probíhat na hnojišti, které je buď vybudováno u stáje, nebo jako provizorní polní hnojiště.

Na dočasném nezpevněném polním hnojišti je dozrávání hnoje velmi nerovnoměrné. Dle Brestenského a Botta (2010) na tomto typu hnojiště dochází ke ztrátám organické hmoty až 70 %, 60 % dusíku, 20 % fosforu a 30 % draslíku. Dle § 6 vyhlášky č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, mohou být tuhá statková hnojiva uložena na zemědělské půdě po dobu nejdéle 24 měsíců na místech vhodných k jejich uložení, schválených v havarijním plánu.

V případě snahy předejít ztrátám vyplývajícím ze skladování na polních hnojištích, je třeba ho skladovat v zařízeních na to určených, které vyhovují z hlediska hygienického, zooveterinárního, stavebního i ekologického. Dle § 6 vyhlášky č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv se tuhá statková hnojiva skladují ve stavbách pro skladování tuhých statkových hnojiv s vyloučením přítoku povrchových nebo srážkových vod. Součástí těchto staveb musí být sběrná jímka tekutého podílu. Kapacita skladovacích prostor pro tuhá statková hnojiva odpovídá jejich skutečné produkci za 6 měsíců. Vyhláška povoluje zmenšení skladovacích prostor na minimální velikost pro uskladnění dvouměsíční produkce v případě doložitelného uvedení statkových hnojiv do oběhu, jejich využití k výrobě organických hnojiv nebo k produkci bioplynu, popřípadě jejich likvidace jako odpadu, a to úměrně tomuto množství, na základě zpracovaného harmonogramu.

### 3.2.3.3 Složení chlévského hnoje

Na hnojišti by nemělo dojít k rozkladu všech organických látek. Rozklad by měl být přerušen ve fázi, kdy jsou lehce rozložitelné látky v chemicko – biologické rovnováze, což odpovídá asi 2 – 3 měsíční době zrání mrvy.

Rostlinné živiny jsou obsaženy v minerální i organické formě. Dusík je ze 70 % obsažen ve formě organické a ze 30 % ve formě amoniakální. Obsah fosforu v hnoji je 0,11 – 1,25 % a obsah draslíku 0,51 – 1,23 % a jsou obsaženy v labilnějších formách. Obsah síry je 0,05 – 0,1 %. Poměr C : N v hnoji je asi 20 – 30 : 1 a kvalitní hnůj má poměr uží - 17 : 1 (Richter a Kubát, 2003).

### 3.2.3.4 Aplikace hnoje na zemědělkou půdu

Pro efektivní využití hnoje je třeba, aby byl rovnoměrně rozmetán a co nejrychleji zapraven do půdy orbou. Pokud je hnůj zapraven ihned po rozmetání, jsou ztráty hnojivých hodnot a dusíku minimální. Po 6 hodinách ztrácí hnůj 16 % své hnojivé hodnoty a 33,9 kg N . ha<sup>-1</sup> a po 4 dnech je to dokonce 36 % hnojivé hodnoty a 76,5 kg N . ha<sup>-1</sup>. (Richter a Kubát, 2003)

Dle Richtera a Kubáta (2003) je optimální dávka hnoje na hektar 9 tun a interval hnojení by neměl být delší než 3 roky. Hnojem se hnojí především plodiny s delší vegetační dobou, náročné na organickou hmotu a jedná se zejména o okopaniny, jednoleté píce, olejnice a zeleninu (Škarda, 1978).

### 3.2.4 Čistírenské kaly

Dle §32 zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech se kalem rozumí kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností, kal ze septiků a jiných podobných zařízení a kal z ostatních čistíren odpadních vod.

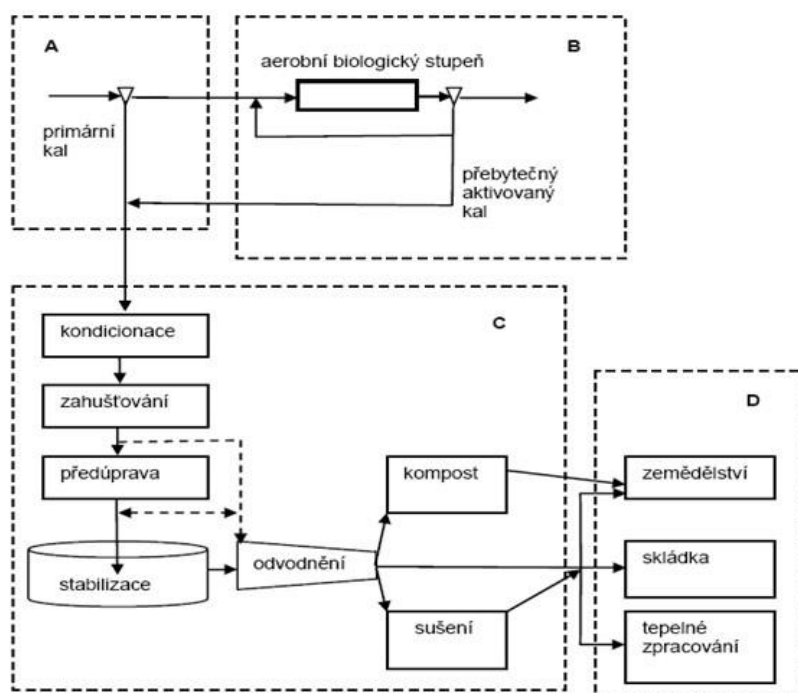
Gergel'ová (2008) definuje kal jako vedlejší produkt procesu čištění odpadních vod, který je stabilizovaný fyzikálně chemickými a/nebo biologickými procesy.

Dle zákona o odpadech se kal, který 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 zdravotní riziko spojené s jeho aplikací, označuje jako kal upravený.

#### 3.2.4.1 Vznik čistírenských kalů

Kaly jsou dle Kubíka (2009) různorodou suspenzí anorganických a organických látek, tedy zdrojem jak organické hmoty, základních živin a stopových prvků, tak i rizikových prvků, nebezpečných organických sloučenin a mikroorganismů. Čistírenské kaly vznikají v procesu čištění odpadních vod jako odpadní produkt – viz obrázek 1. Do kalů se v procesu klasického čistírenského procesu převádí většina (50 – 80 %) z přivedeného znečištění a jejich likvidace a zpracování je proto jedním z největších problémů čištění odpadních vod (Kutil a Dohányos, 2005).

Primární kal, tedy kal vznikající mechanickým čištěním odpadních vod, obsahuje nerozpuštěné látky ze surové odpadní vody. Vzhledem k odstranění většiny anorganických nerozpuštěných látek při předčištění převažují v primárním kalu látky organické. Sekundární kal, vznikající při biologickém čištění, obsahuje především přebytečnou biomasu využívanou při čištění odpadní vody (Černý a kol., 2009).



A – primární (mechanické) čištění odpadních vod, separace suspendovaných látek;

B – biologické aerobní čištění s recyklem aktivovaného kalu a odvodem přebytečného aktivovaného kalu;

C - operace úpravy a stabilizace kalu;

D - způsoby využití a likvidace kalu

**Obrázek 1:** Schéma tvorby a zpracování čistírenského kalu (Černý a kol, 2009)

### 3.2.4.2 Zpracování kalů

Kutil a Dohányos (2005) rozlišují mezi dvěma základními postupy zpracování kalů. Jedná se o zpracování surového kalu<sup>7</sup>, který se stává nebezpečným odpadem, a zpracování tzv. vyhnílého kalu. Vyhnílý kal vzniká anaerobní stabilizací surového kalu, při které dochází k přeměně rozložitelných organických látek na bioplyn. Vyhnívání probíhá v anaerobních reaktorech (vyhnívacích nádržích), při teplotě 38 °C. Následně je stabilizovaný kal zahušťován na sušinu 20 – 35 %. Vyhnílý kal je již hygienicky nezávadný a je možné ho aplikovat na zemědělskou půdu.

Před stabilizací je třeba nejdříve snížit obsah vody v kalu a to probíhá odvodňováním a zahušťováním. Používané technologie zahušťování jsou například gravitační zahušťování, flotace, centrifugy nebo sítopásové lisy a technologie odvodňování jsou například pásové lisy, odstředivky a kalolisy (Raclavská, 2007). Dle Kutila a Dokányose (2005) je odvodňování kalů mechanickými způsoby energeticky výhodnější než termické odvodňování.

<sup>7</sup> směs primárního a přebytečného aktivovaného kalu



Po odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu se uvolňuje kalová voda. Ta se vyznačuje vysokou koncentrací amoniakálního dusíku (u splaškových kalů až 1500 mg / l), což je prezentováno jako nevýhoda, existují ale už metody samostatného čištění kalové vody (Kutil a Dohányos, 2005).

### 3.2.4.3 Složení čistírenských kalů

Raclavská (2007) definuje čistírenské kaly jako směs inertních organických látek (živých a mrtvých buněk mikroorganismů účastnících se čistírenských procesů – čištění odpadních vod a stabilizace kalu) a anorganické složky. Jejich složení závisí hlavně na technologii čištění odpadních vod a jejich množství a složení.

Pro aplikaci kalu na půdu je důležitým aspektem obsah vody v odvodněném kalu. Pokud není odvodněný kal úplně vyschlý, je snadno rozpojitelný, přeschlý kal je velmi kompaktní a před aplikací na půdu vyžaduje rozdrčení, což může způsobovat provozní problémy a další náklady (Nerudová, 1978).

V sušině kalů z kalových polí je dle Nerudové (1978) obsaženo asi 30 – 35 % organických látek. Pro další použití čistírenských kalů jako hnojiva je rozhodující jejich vysoký obsah organické hmoty a příznivý poměr C : N který je v průměru 18 : 1. Limitující živiny v čistírenských kálech jsou zejména dusík a fosfor. V jejich sušině je obsaženo 1 – 7 % N a 1 – 5 % P (De Brouwere, 2006).

Riziko plynoucí z dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na zemědělskou půdu spočívá v obsahu patogenů, organických kontaminantů a akumulaci těžkých kovů. Těžké kovy se do kalů dostávají zejména z průmyslových odpadních vod. Sleduje se zejména obsah kadmia, olova a rtuti, dále zinku, niklu, chromu, molybdenu, arsenu, selenu a boru.

Nežádoucí příměsí kalů jsou také minerální oleje, které se v průběhu čištění nerozkládají. Ty působí v půdě jako mykoidní jedy a mají nepříznivý vliv na rozpad kalů v půdě – jeho hrudky jsou kompaktní a může trvat roky než dojde k jejich smísení s půdou.

Velká pozornost je v poslední době věnována obsahu PPCP (Pharmaceuticals and Personal Care Produkts). Ty zahrnují léky a také mnoho komerčních produktů, jako jsou kosmetické přípravky, prací a čisticí prostředky nebo přípravky osobní hygieny. Touto

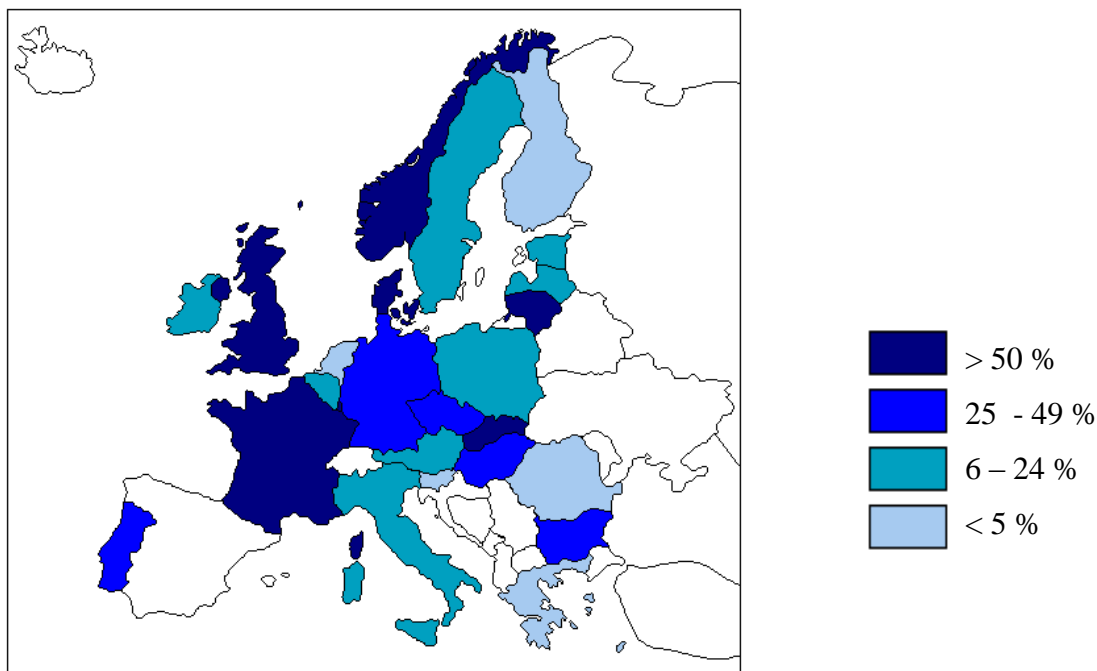
problematikou se již několik let zabývá CeHO<sup>8</sup> ve spolupráci s laboratořemi VÚV T.G.M.<sup>9</sup>, v. v. i.

#### 3.2.4.4 Aplikace kalů na zemědělskou půdu

Výhody plynoucí z aplikace kalů na zemědělskou půdu jsou dodání velkého množství organických látek a zlepšení fyzikálních vlastností, zejména půdní strukturu a hospodaření s vodou (De Brouwere, 2006).

Aplikace upravených kalů na zemědělskou půdu je upravena § 1 vyhlášky č. 382/2001 Sb. - Technické podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě. Aby byla jejich účinnost co nejvyšší je třeba, aby byl kal v půdě dobře promísen. Tekutý kal je nutné nechat rychle zasáknout do půdy, proto je potřeba aby byla půda v době aplikace kalu kyprá. Odvodněný kal může zase tvořit hroudy s mazlavým jádrem, které je pak nutné nechat přejít mrazem, aby se kompaktní kusy rozpadly.

#### 3.2.4.5 Čistírenské kaly v EU



**Obrázek 2:** Aplikace čistírenských kalů na zemědělskou půdu v jednotlivých členských státech

<sup>8</sup> Centrum pro hospodaření s odpady

<sup>9</sup> Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigue Masaryka

Dle posledních údajů publikovaných Evropskou komisí z roku 2010 je na území států Evropské unie vyprodukováno asi 10 milionů tun čistírenských kalů. Z toho nejvíce v Německu, kde je ročně produkováno více než 2 miliony tun, ve Velké Británii asi 1,5 milionu a kolem 1 milionu je vyprodukováno ročně v Itálii, Španělsku a Francii. Pro srovnání v roce 2010 bylo dle Sirotkové (2010) v České republice vyprodukováno asi 176 000 tun čistírenských kalů. Dle novějších dat z ČSÚ bylo v roce 2013 vyprodukováno 154 274 tun sušiny čistírenských kalů.

V jednotlivých členských státech se významně liší podíl kalů aplikovaných na zemědělskou půdu, viz Obrázek 2. Například Velká Británie a Francie zvyšuje podíl kalů aplikovaných na půdu a je aplikováno více než 50 % vyprodukovaných čistírenských kalů. Oproti tomu například v Německu, Finsku nebo Slovensku je aplikace kalů na půdu omezená a nebo zakázaná.

### 3.3 Minerální hnojiva

Dle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech se minerálním hnojivem rozumí hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy ve formě minerálních látek získaných extrakcí nebo jiným fyzikálním nebo chemickým postupem; za minerální hnojivo se považuje také dusíkaté vápno, močovina a její kondenzační a asociační produkty a hnojivo obsahující stopové živiny ve formě chelátů nebo komplexů.

Vrba a Huleš (2007) označují minerální hnojení za základní systémové opatření k udržení produktivnosti ekosystému a uvádějí, že podniky omezující minerální hnojení samy přiznávají pokles výnosů až o 40 % proti konvenčnímu zemědělství. Zároveň je ale třeba brát v úvahu možný negativní dopad na životní prostředí při aplikaci příliš vysokých dávek minerálních hnojiv například kontaminací vodních zdrojů, zasolení půd aj.

#### 3.3.1 Dělení minerálních hnojiv

Minerální hnojiva se dělí na jednosložková a vícesložková. Jednosložková minerální hnojiva obsahují jednu hlavní živinu a dělí se na dusíkatá, fosforečná, draselná, vápenatá a hořečnatá.

**Tabulka 1:** Obsah živin ve vybraných jednosložkových minerálních hnojivech (Anon., 2000)

	% N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O	% Mg	% S
<b>Dusíkatá hnojiva</b>					
Síran amonný	21	0	0	-	23
Dusičnan amonný	33 - 34,5	0	0	-	-
<b>Fosforečná hnojiva</b>					
Jednoduchý superfosfát	0	16 - 20	0	-	12
Trojité superfosfát	0	46	0	-	-
<b>Draselná hnojiva</b>					
Síran draselný	0	0	50	-	18
<b>Hořečnatá hnojiva</b>					
Kieserit	-	-	-	16	22

Hnojiva, která obsahují 2 a více primárních živin, se nazývají vícesložková. Mezi hlavní výhody těchto hnojiv patří snadná manipulace, transport a skladování, jednoduchá aplikace a vysoký obsah živin.

**Tabulka 2:** Obsah živin ve vybraných vícesložkových minerálních hnojivech (Anon., 2000)

	<b>% N</b>	<b>% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>
NPK	5 - 26	5 - 35	5 - 26
NP	20 - 26	6 - 34	-
PK	-	6 - 30	6 - 30

### 3.4 Dusík v půdě

Již po staletí (Bohm et al., 1985) byl dusík v půdě studován a dodnes zůstává nejvíce zkoumaným prvkem v půdní chemii a mikrobiologii. Je vázán v široké škále organických sloučenin, které zahrnují proteiny a polypeptidy, nukleové kyseliny, aminosacharidy a z velké části tzv. neidentifikovatelné humusové látky. Ve srovnání s organickým jsou zásoby anorganického dusíku v půdě velmi malé, ale jsou o mnoho snadněji identifikovatelné. Mezi hlavní formy anorganického dusíku vyskytující se v půdě patří amoniakální ( $\text{NH}_4^+$ ), dusičnanový ( $\text{NO}_3^-$ ), popř. přechodně dusitanový ( $\text{NO}_2^-$ ) a oxidy dusíku ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ).

Obsah dusíku v půdě v období roku značně kolísá vlivem různých faktorů. Kulakovská (1982; in Bielek, 1984) uvádí kolísání dusíku od 20 – 30 kg . ha<sup>-1</sup> do 110 – 120 kg . ha<sup>-1</sup>, přičemž v zimním období jsou obvykle naměřeny hodnoty do 10 mg . kg<sup>-1</sup>. V období od jara do podzimu se obvykle vyskytují dvě maxima a jedno minimum. Výrazné je jarní maximum, kdy obsah dusíku dosahuje maximálních hodnot. Následuje období vegetace, kdy je dusík z půdy odebírán vegetací a nastává tzv. letní minimum. Podzimní maximum je obvykle nižší než jarní a souvisí s mineralizací posklizňových zbytků.

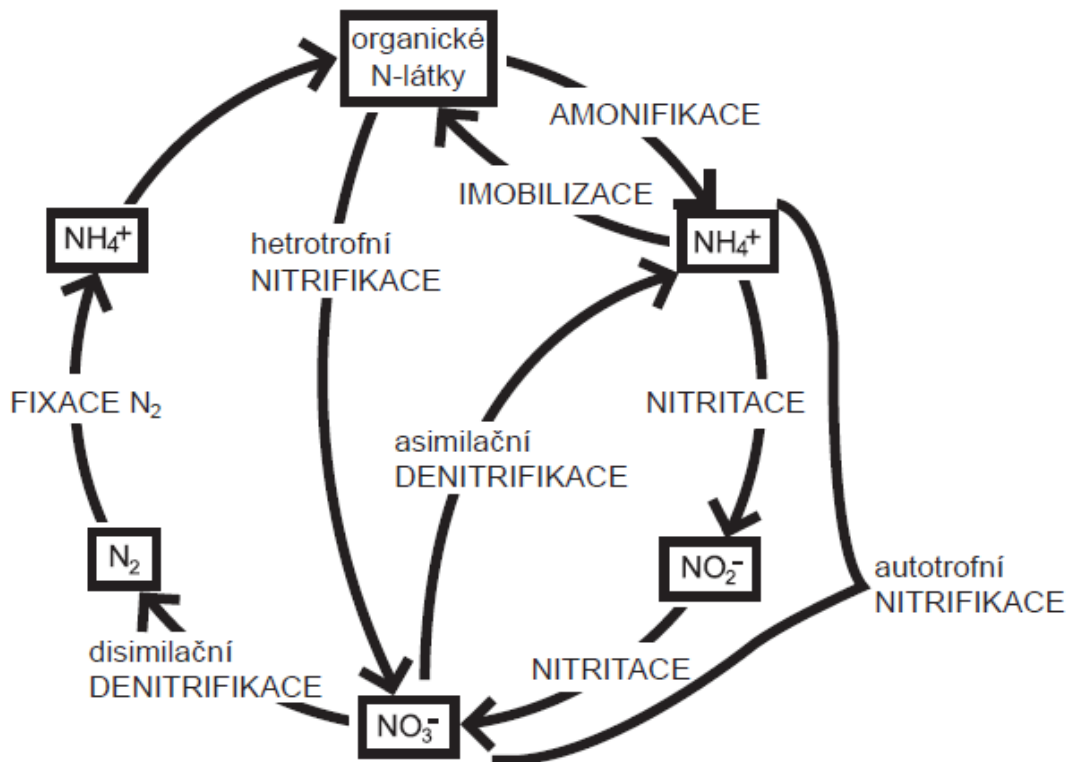
#### 3.4.1 Vliv dusíku na rostliny

Rostliny přijímají dusík zejména ve formě nitrátů a amonných solí a přeměňují ho na organické dusíkaté sloučeniny (Brady and Weil, 1999). Dusík je také významnou součástí chlorofylu ( $\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$  - chlorofyl a).

Nedostatek dusíku snižuje tvorbu chlorofylu a způsobuje světlé žlutozelené zbarvení listů rostlin – chlorózu neboli bledničku. Při nedostatku od počátku vegetace je velmi výrazně omezena tvorba stavebních bílkovin a tím je omezen růst rostlin a tvorba všech podstatných orgánů rostlin. Při dlouhodobém nedostatku dochází ke snaze zachovat vegetační vrchol, dusík je odbouráván ze starších listů a dodáván do novějších. Starší listy tím pádem zežloutne, předčasně zestárne a opadá.

Při nadbytku dusíku dochází k nadměrnému růstu rostlin. Rostlinné buňky jsou větší, ale slabé a rostliny jsou náchylné na polehávání po prudkém dešti nebo větru. Výnosy jsou tedy vyšší, ale výrazně nižší kvality. Na nadbytek dusíku jsou citlivé zejména některé drobnosemenné zeleniny, např. květák, brukev a salát (Brady and Weil, 1999).

### 3.4.2 Koloběh dusíku



#### 3.4.2.1 Amonifikace

Při amonifikaci dochází k rozkladu organického materiálu, za pomoci mikroorganismů, a uvolňování minerálního dusíku ve formě amonného iontu (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Amonifikační mikroflóra je velmi bohatou skupinou mikroorganismů zahrnující aerobní i anaerobní bakterie, plísně i aktinomycety a může tedy probíhat prakticky všude. Je schopna rozložit nejrůznější organické látky, například humus, rostlinné zbytky, odumřelá těla mikroorganismů i dusíkaté organické látky z hnojiv.

Rozhodující pro proces amonifikace je poměr C : N v rozkládané hmotě, za optimální se považuje poměr C : N 20 – 25 : 1. Dalším důležitým aspektem je půdní vlhkost. Při rozkladu látek s širším poměrem C : N je výhodná nižší vlhkost (Iljatdinov, 1976; in Bielek, 1984). Vliv má také střídání suchého a mokrého období, protože vysoušení aktivuje amonifikaci v následném vlhkém období. Dle studie provedené Nikitinem (1973; in Bielek, 1984) uměle vyvolané změny vlhkosti zvýšily výnosy až o 41 %. Důležitá je také půdní aerace. Při dlouhodobém nedostatku kyslíku se hromadí meziprodukty rozkladu (např. sirovodík, merkaptany, organické kyseliny, uhlovodíky, aminy, indol, skatol), které mohou

být toxické i samotné amonifikační mikroflóre. Po obnovení aerace je regenerace prostředí ale velmi rychlá. Neméně důležitý faktor je teplota, která je ideální 28 – 30 °C. Stejně jako u vlhkosti změny teploty zvyšují amonifikační aktivitu v půdě.

#### 3.4.2.2 Nitrifikace

Při nitrifikaci dochází k přeměně amoniaku, amonných solí (autotrofní nitrifikace) nebo organických dusíkatých látek (heterotrofní nitrifikace) na dusitany a dále na dusičnany.

Heterotrofní mikroflóra (některé heterotrofní bakterie nebo mikromycety) se od autotrofní liší tím, že nevyužívá tyto reakce jako jediný zdroj energie. Intenzita nitrifikace je mnohem menší než u autotrofní, ale může probíhat i v nepříznivých podmínkách, například kyslejších půdách nebo v nedostatečně aerovaných půdách.

Autotrofní nitrifikace probíhá ve dvou fázích. První je oxidace amoniaku na dusitany pomocí nitrifikační mikroflóry<sup>10</sup> - nitrifikační a druhá oxidace dusitanů na dusičnany pomocí nitrifikační mikroflóry<sup>11</sup> – nitrifikační. Podle některých studií (Šimek, 2000) tyto bakterie produkují jako vedlejší produkty i některé plynné oxidy – NO a N<sub>2</sub>O.

Zdrojem autotrofní nitrifikace je amonný iont a můžeme předpokládat intenzivnější nitrifikaci s jeho rostoucím množstvím v půdě. V přílišném množství může ale působit toxicky na nitrifikační mikroflóru a tím způsobuje hromadění dusitanů v půdě.

Mezi faktory ovlivňující nitrifikaci patří teplota, vlhkost, pH. Teplota je ideální 20 – 25 °C a při teplotách pod 0 °C nitrifikace prakticky vůbec neprobíhá. Ideální vlhkost se pohybuje v rozmezí 70 – 80 % MKK (maximální kapilární kapacita), pokud je vlhkost příliš vysoká, nemá nitrifikační mikroflóra dostatečné množství kyslíku a nitrifikace je tím omezena. Nelze jednoznačně stanovit ideální pH pro průběh nitrifikace, ale optimum se pohybuje v mírně alkalické oblasti. Intenzitu nitrifikace proto na kyselých půdách nezvyšuje aplikace dusíkatých hnojiv, ale vápnění.

#### 3.4.2.3 Denitrifikace

Denitrifikace je v širším slova smyslu jakákoli redukce dusičnanů (na dusitany, oxidy dusíku, amoniak nebo až molekulární dusík). Podílí se na ztrátách dusíku z půdy, snižuje tím

---

<sup>10</sup> rody: *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* a *Nitrosospira*

<sup>11</sup> především rod *Nitrobacter*



množství živin, které jsou využitelné rostlinami a mikroorganismy, a produkuje skleníkový plyn oxid dusný (N<sub>2</sub>O).

Mezi nitrifikační mikroorganismy patří řada rodů heterotrofních bakterií, například rody *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* nebo *Micrococcus* i autotrofních mikroorganismů jako jsou *Thiobacillus denitrificans* nebo *Micrococcus denitrificans* (Bielek, 1984).

#### 3.4.2.4 Fixace vzdušného N<sub>2</sub>

Rostliny a živočichové nemůžou přijímat dusík ve formě vzdušného dusíku N<sub>2</sub>, ten proto musí být nejdříve fixován (Leigh, 2002). Schopnost fixovat vzdušný dusík a přeměňovat ho na amoniak má celá škála půdních bakterií, které se nazývají diazotrofní. Některé z nich žijí v půdě volně a další žijí v symbióze s houbami, kapradinami nebo vyššími rostlinami. Mezi typické zástupce bakterií žijících v půdě volně patří například aerobní *Azotobacter* nebo anaerobní *Clostridium*. Ze symbiotických bakterií je znám zejména rod *Rhizobium* a jeho symbióza s bobovitými rostlinami. Symbióza s jinými než bobovitými rostlinami je méně častá, ale známá je také symbióza mezi olší (*Alnus*) a aktinomycety rodu *Frankia* (Dendooven, 1990).

#### 3.4.2.5 Imobilizace

Bielek (1984) rozlišuje imobilizaci na biologickou a nebiologickou. Biologickou imobilizací se rozumí enzymatická přeměna minerálního dusíku do organických dusíkatých struktur a probíhá jako výsledek asimilace minerálního dusíku především půdní mikroflórou, ale i rostlinami. Jejím charakteristickým rysem je nárůst biomasy. Imobilizace nebiologická zahrnuje přeměny minerálního, především amoniakálního dusíku a jeho fixaci na jílové minerály a organickou hmotu a jiné fyzikálně – chemické reakce.

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Demonstrační a pokusné pole Suchdol



**Obrázek 3:** Demonstrační pole,  
(foto 31. 10. 2013)

Vzorky byly odebírány na demonstračním a pokusném poli ČZU v Suchdole ve třech po sobě jdoucích letech 2012, 2013 a 2014. Odběry probíhaly na parcelách osetých ozimou pšenicí (*Triticum aestivum*) v různých fázích jejího růstu (2012 – 19. 4., 31. 5., 29. 9.; 2013 – 18. 4., 19. 6., 12. 9. 30. 10.; 2014 – 5. 5., 12. 6., 18. 9., 4. 11.). Parcely patří k dlouhodobému pokusu KAVR (Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin), který byl založen v roce 1996.

Z kontrolní parcely (KON) a parcel hnojených minerálními hnojivy (NPK), základní dávkou kalu (K1), trojnásobnou dávkou kalu (K3), základní dávkou hnoje (H1) a poloviční dávkou hnoje (H1/2) byly prováděny odběry sondýrkou Ejkelkamp z profilu 0 - 20 cm, na každé parcele 6 – 8 vpichů. Poté byly odebrané vzorky v laboratoři zhomogenizovány, převedeny na jemnozem a po dobu asi 3 týdnů uloženy při teplotě 3 – 6 °C.

Vzhledem k faktu, že vyhláška č. 382/2001 Sb. Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, vstoupila v platnost až v průběhu pokusu, parcely hnojené základní dávkou kalu i trojnásobnou dávkou kalu nejsou v souladu s jejími limity. Hrozí proto riziko akumulace rizikových prvků v půdě, ale doposud nebyla zaznamenána významná akumulace v rostlinách.

Osevní postup na demonstračním poli je naznačen v tabulce 1. Okrajová část bez rotace je označena jako úhor. Pole je obděláváno orbou do hloubky 25 cm.

**Tabulka 3:** Stacionární osevní postup na demonstračním poli ČZU

parcels č.	JEČMEN	BRAMBORY	PŠENICE	ÚHOR
1	Kontrola	Kontrola	Kontrola	Kon
3	0	990 kg N/ha <b>Kal 3</b> (trojnásobná dávka kalu)	0	jako u 1. pole
4	0	330 kg N/ha <b>Kal</b> (základní dávka kalu)	0	jako u 1. pole
5	0	330 kg N/ha <b>Hnůj 1</b> (základní dávka hnoje)	0	jako u 1. pole
7	2x(55/2) kg N/ha	165 kg N/ha <b>Hnůj ½</b> (poloviční dávka hnoje)	2x55 kg N/ha	jako u 1. pole
8	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	jako u 1. pole

-----11 m----- -----11 m----- -----11 m----- --2 m---

I  
5,5 m  
I

Organická hnojiva (čistírenské kaly a chlévský hnůj) byla aplikována na podzim (říjen) k bramborám. Minerální dusíkatá hnojiva byla aplikována k bramborám a jarnímu ječmenu na jaře před založením porostu. V případě ozimé pšenice byla dávka rozdělena na dvě poloviny - regenerační dávka aplikována v březnu a další dávka v počátku sloupkování v dubnu. Minerální hnojení NPK bylo aplikováno ve formě N – ledek amonný s vápencem (27 % N), P – trojitý superfosfát (21 % P) a K – draselná sůl (50 % K). Anaerobně stabilizované kaly byly dovezeny z Čistírny odpadních vod Praha – Troja (Černý a kol., 2010) (viz. obrázek 4) a hnůj byl dovezen ze zemědělského podniku v Lánech. Kontrolní parcela zůstala nehnojená.

**Obrázek 4:** Čistírenský kal před aplikací na půdu

## 4.2 Stanovení amonifikace

Pro každý odebraný vzorek (nehnojená kontrolní parcela, parcely hnojené NPK, základní dávkou kalu, trojnásobnou dávkou kalu, základní dávkou hnoje a poloviční dávkou hnoje) byly založeny tři typy testů – měření aktuálního obsahu amonných iontů ( $\text{N} - \text{NH}_4^+$ ), měření obsahu  $\text{N} - \text{NH}_4^+$  po osmidenní inkubaci v komorovém termostatu a potenciálního obsahu  $\text{N} - \text{NH}_4^+$  po přidání roztoku peptonu. Kultivace probíhala v komorovém termostatu při teplotě 28 – 30 °C a obsah  $\text{N} - \text{NH}_4^+$  byl hodnocen titračně.

### 4.2.1 Chemikálie

Pro stanovení amonifikace byly použity následující chemikálie: 40 % roztok NaOH, 0,1 mol.l<sup>-1</sup> roztok NaOH, 1 mol.l<sup>-1</sup> roztok NaOH, 0,05 mol.l<sup>-1</sup> roztok H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,5 mol.l<sup>-1</sup> roztok H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 33 % roztok peptonu, indikátor Tashiro<sup>12</sup>.

### 4.2.2 Pracovní postup

Pro každou variantu bylo naváženo 20 g zhomogenizovaného vzorku do lahví “masovek” (viz Obrázek 5) Každá varianta byla založena ve dvou opakováních.

Pro stanovení aktuálního obsahu  $\text{N} - \text{NH}_4^+$  (A) bylo navážené množství vzorku přelito cca 10 ml 40 % roztoku NaOH. Současně byla do lahve vložena miska, s 5 ml 0,05 mol.l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> s asi 5 kapkami indikátoru Tashiro. Dále byly vzorky inkubovány v komorovém termostatu po dobu 48 hodin.

Pro stanovení amonifikace – inkubované kontroly (K) bylo navážené množství zeminy ovlhčeno 3 ml destilované vody, vložen stojánek s 5 ml 0,05 mol.l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a asi 5 kapkami indikátoru Tashiro a inkubováno 8 dnů v komorovém termostatu. Po inkubaci



**Obrázek 5:** Lahev masovka

<sup>12</sup> směsný roztok 0,1 % bromkresolové zeleně a 0,1 % methylčerveně v 60 % ethanolu v poměru 5:1

byly vzorky přelity cca 10 ml 40 % roztoku NaOH a dalších 48 inkubovány v komorovém termostatu.

Pro stanovení potenciálního obsahu N -  $\text{NH}_4^+$  (P) bylo navážené množství vzorku zakapáno 3 ml 33 % roztoku peptonu, vložen stojánek s 5 ml  $0,5 \text{ mol.l}^{-1}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  a asi 5 kapkami indikátoru Tashiro a inkubováno 24 hodin v komorovém termostatu. Po inkubaci byly vzorky stejně jako u předchozích variant přelity cca 10 ml 40 % roztoku NaOH a dalších 48 inkubovány v komorovém termostatu.

Po inkubaci byly jednotlivé varianty titrovány:

- varianta A -  $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$  roztok NaOH
- varianta K -  $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$  roztok NaOH
- varianta P -  $1 \text{ mol.l}^{-1}$  roztok NaOH

Pro vyhodnocení testu byl použit vzorec:

$$A = ((X * F_1 * N_1) - (Y * F_1 * N_2)) * 5 * 14,$$

kde:

A – obsah N -  $\text{NH}_4^+$  v mg ve 100 g zeminy,

X - množství  $\text{H}_2\text{SO}_4$  v předloze (miska),

$F_1$  = faktor kyseliny v předloze,

$N_1$  = molarita kyseliny v předloze,

Y = spotřeba louhu při titraci (NaOH),

$F_2$  = faktor louhu,

$N_2$  = molarita louhu.

Pro stanovení obsahu N -  $\text{NH}_4^+$  ve 100 g suché zeminy by použit vzorec:

$$B = (A / S) * 100,$$

kde:

B – obsah N -  $\text{NH}_4^+$  v mg ve 100 g suché zeminy,

S – sušina v %.

### 4.3 Stanovení nitrifikace

Pro každý odebraný vzorek (nehnojená kontrolní parcela, parcely hnojené NPK, základní dávkou kalu, trojnásobnou dávkou kalu, základní dávkou hnoje a poloviční dávkou hnoje) byly založeny tři typy testů – měření aktuálního obsahu dusičnanů ( $N - NO_3^-$ ), měření obsahu  $N - NO_3^-$  po osmidenní inkubaci v komorovém termostatu a potenciálního obsahu  $N - NO_3^-$  po přidání roztoku síranu amonného. Kultivace probíhala v komorovém termostatu při teplotě 28 – 30 °C a obsah  $N - NO_3^-$  byl hodnocen pomocí iontově selektivní elektrody.

#### 4.3.1 Chemikálie

Pro stanovení nitrifikační aktivity byly použity následující chemikálie: destilovaná voda, roztok síranu amonného (1,8047 g / 250 ml, 1 mg N v 1 ml roztoku), 1 % roztok síranu draselného (10 g  $K_2SO_4$  / 1 l destilované vody), roztok síranu amonného (zásobní roztok ředěn v poměru 1:1) a síran stříbrný jako pufr.

#### 4.3.2 Pracovní postup

Pro každou variantu bylo naváženo 10 g zhomogenizovaného vzorku a stejně jako u stanovení amonifikační aktivity byla každá varianta založena ve dvou opakováních.

Pro stanovení aktuálního obsahu  $N - NO_3^-$  (A) bylo k navážce přidáno 50 ml 1 % roztoku síranu draselného a vzorky byly třepány po dobu 30 minut. Dále byly po dobu asi 2 hodin ponechány v klidu k sedimentaci a následně filtrovány do PVC lahviček (viz. Obrázek 6).

Pro stanovení nitrifikace – inkubované kontroly (K) bylo navážené množství vzorku zakapáno 1 ml destilované vody a po dobu 8 dnů inkubováno v komorovém termostatu. Po inkubaci byly vzorky stejně jako v případě (A) zality 50 ml 1 % roztoku síranu draselného, třepáno, sedimentováno a filtrováno do PVC lahviček.



**Obrázek 6:** Filtrace do PVC lahviček

Pro stanovení potenciálního obsahu N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bylo navážené množství vzorku zakapáno 1 ml roztoku síranu amonného a 8 dnů inkubováno v komorovém termostatu a dále jako u předchozích variant zalito 50 ml 1 % roztoku síranu draselného, třepáno, sedimentováno a filtrováno do PVC lahvíček.

Měření probíhalo na iontově selektivní elektrodě Crytur. Pro kalibrační křivku byly použity standardy (KNO<sub>3</sub>) od 0,1 do 100 mg N / 500 ml. Standardní roztok byl pipetován do odměrných nádobek o objemu 25 ml a k rysce doplněn 1 % roztokem K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (stejně jako pro vytřepání vzorků z důvodu snazšího vysrážení koloidů) dle tabulky 2.

**Tabulka 4:** Ředění pro kalibrační křivku

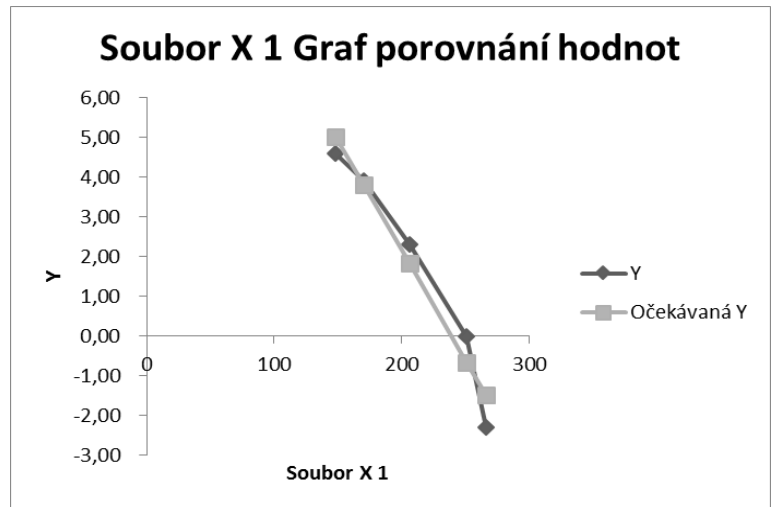
mg N / 500 ml	0,1	1	10	50	100
Pipetované množství roztoku v mikrolitrech	5	50	500 (0,5 ml)	2500 (2,5 ml)	5000 (5 ml)

Z filtrátu bylo do kádinek odměřeno 25 ml roztoku a standardní roztoky odměřeny také ve stejném objemu. Do každé kádinky včetně standardních roztoků byly přidány 2 ml roztoku síranu stříbrného jako pufru (složení: 7,775g / 1 l roztoku). Nejprve byla změřena kalibrační křivka – pro každou sadu měření zvlášť. Vlastní měření vzorků bylo provedeno odečtením potenciálu v mV v závislosti na koncentraci nitrátů na mV–metru (nitrátová elektroda, jako referenční elektroda kalomelová).

Testy byly vyhodnocovány graficky a výpočtem. Graficky byla na semilogaritmický papír vynášena závislost mV na koncentraci NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v půdním výluhu. Pokud jsou standardy značeny v mg N / 500 ml roztoku odpovídají odečtené hodnoty množství nitrátů v mg ve 100 g čerstvé zeminy. Na ose x byly vyneseny mV a na ose y logaritmická transformace koncentrace v mg N NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 100 g čerstvé zeminy.

Příklad kalibrační křivky:

x	y
0,1	266
1	251
10	206
50	170
100	148



Rovnice pro výpočet  $\ln y = Bx + \ln A$  byla zadána jako počítačové zpracování, kde A a B jsou konstanty funkce. Exponenciální regrese  $y = A * e^{Bx}$ . Přepočtení na mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g suché zeminy probíhalo dle rovnice  $N = (C/S) * 100$ , kde C je koncentrace N -  $\text{NO}_3^-$  ve 100 g čerstvé zeminy v mg a S je sušina v %.



## 5 Výsledky měření

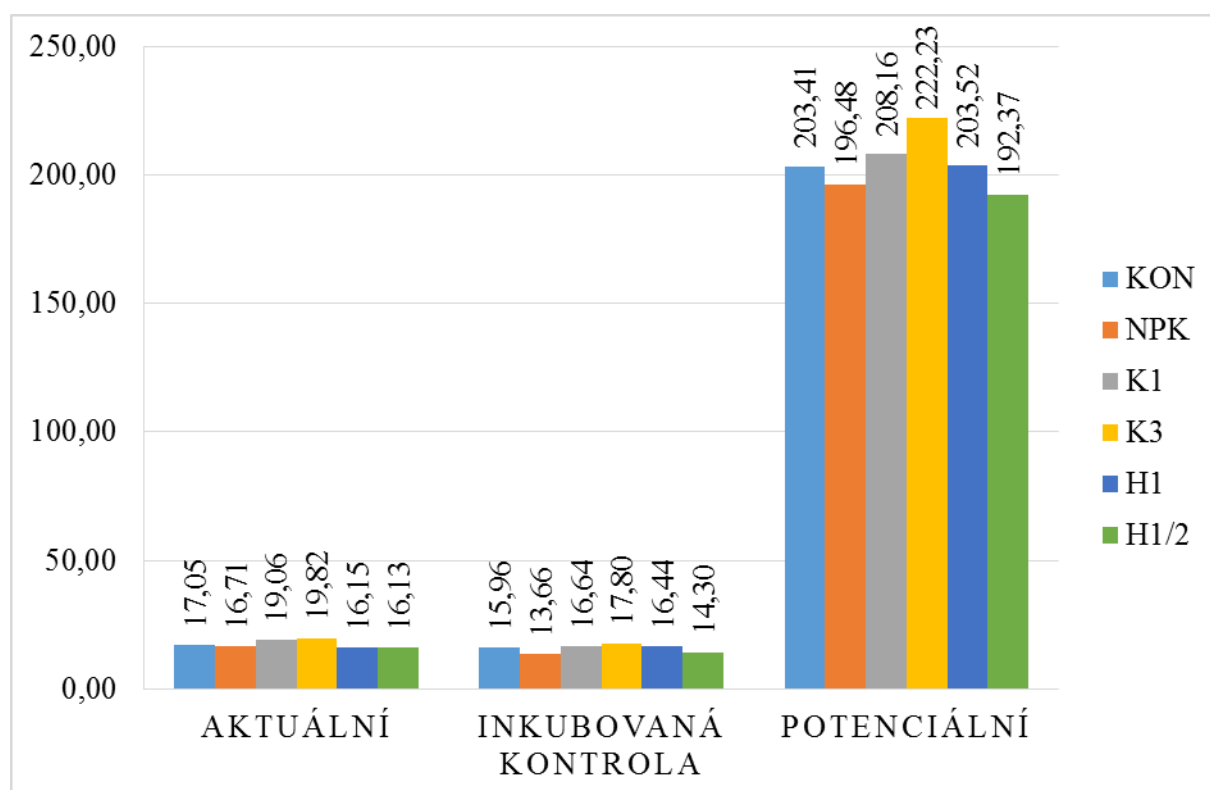
Pro vyhodnocení získaných dat byly použity vzorce již výše uvedené v metodice a programy Microsoft Excel a Statistica.

Stejně jako v mé bakalářské práci (Jarošová, 2013) doporučuji zvýšit četnost odběrů a opakování v rámci jednotlivých testů, neboť je stále patrný určitý rozptyl výsledků.

### 5.1 Výsledky měření obsahu amonných iontů

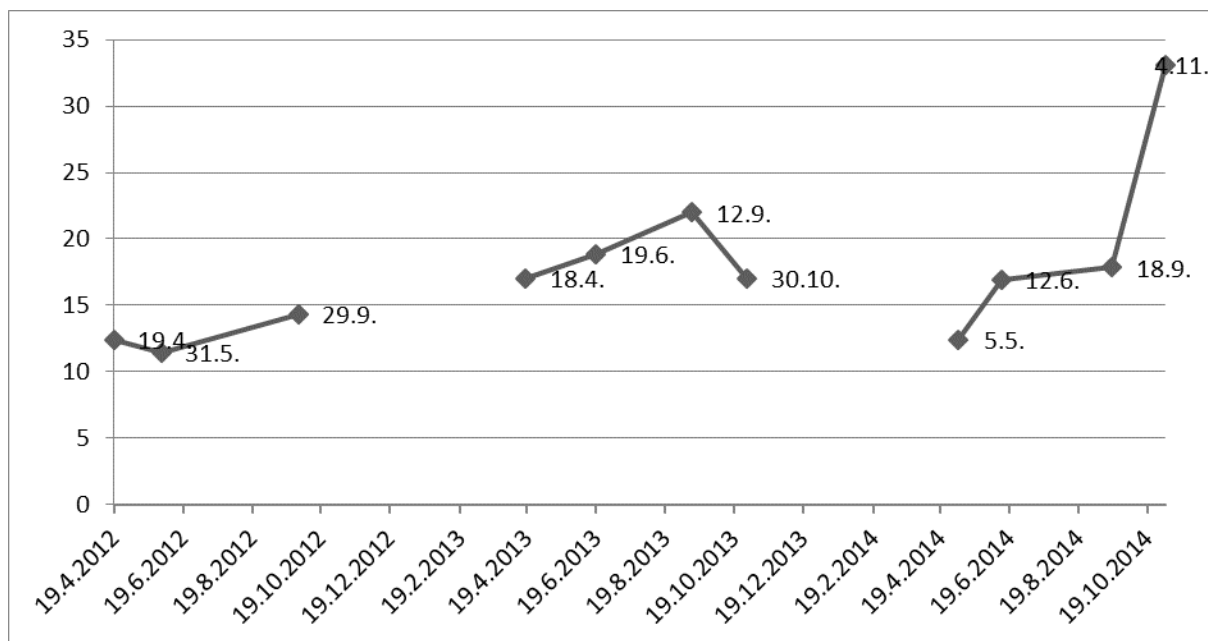
Pro každou variantu byly založeny tři testy: měření aktuálního obsahu N -  $\text{NH}_4^+$  (AKTUÁLNÍ), měření obsahu N -  $\text{NH}_4^+$  po osmidenní inkubaci v komorovém termostatu (INKUBOVANÁ KONTROLA) pro zjištění schopnosti mikroflóry zareagovat na zlepšené teplotní podmínky a měření obsahu N -  $\text{NH}_4^+$  po přidání roztoku peptonu (POTENCIÁLNÍ) pro zjištění reakce mikroflóry na zlepšené nutriční podmínky.

**Graf 1:** Obsah N -  $\text{NH}_4^+$  v jednotlivých variantách a na jednotlivých parcelách



Z Grafu 1 je na první pohled patrné, že došlo k výrazné reakci na zlepšené nutriční podmínky po přidání roztoku síranu amonného, ale nedošlo ke zvýšení amonifikační aktivity po zlepšení teplotních podmínek. To lze vyčíst také z Přílohy 1 – 6.

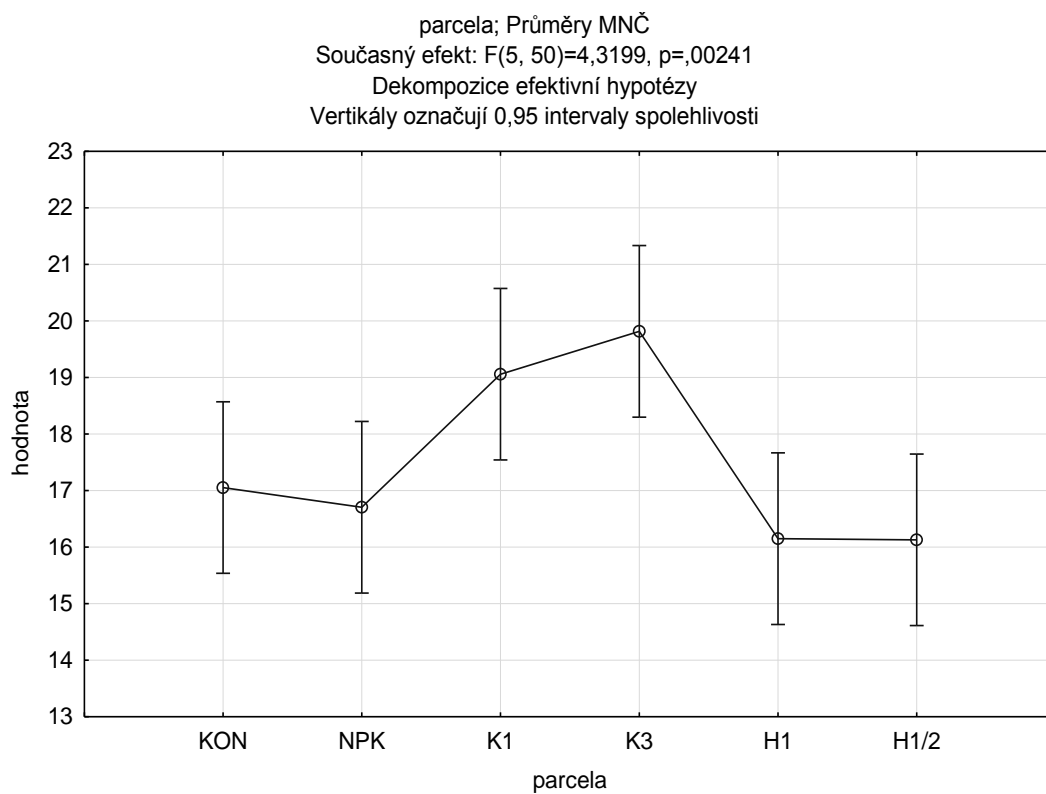
**Graf 2:** Aktuální obsah N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v průběhu roku - průměr ze všech sledovaných parcel



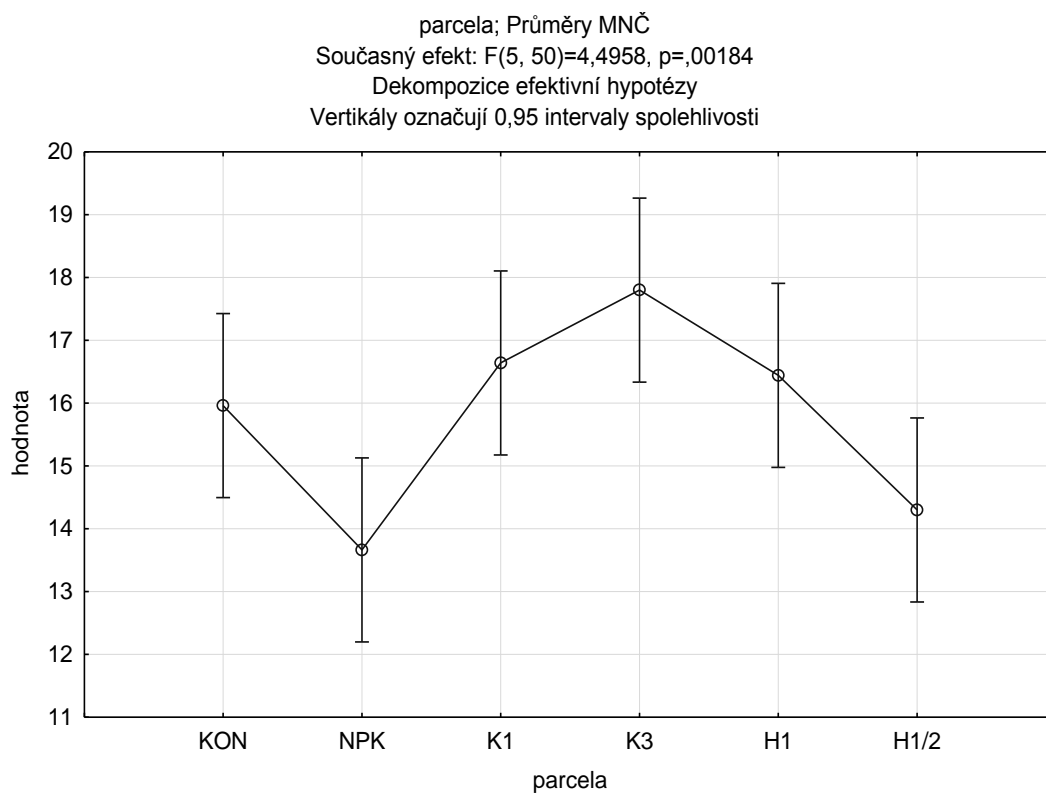
Graf 2 zobrazuje průměrné obsahy N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v průběhu roku ze všech sledovaných parcel. Grafy z jednotlivých parcel samostatně lze nalézt v Příloze 25 – 30.

Následující Grafy 3,4 byly vytvořeny programem Statistica a porovnávají aktuální obsah amonných iontů, obsah po osmidenní inkubaci v komorovém termostatu a potenciální obsah N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> u všech sledovaných variant hnojení – KON (kontrolní nehnojená parcela), NPK (parcela hnojená minerálními hnojivy), K1 (parcela hnojená základní dávkou kalu), K3 (parcela hnojená trojnásobnou dávkou kalu), H1 (parcela hnojená základní dávkou hnoje) a H1/2 (parcela hnojená poloviční dávkou hnoje).

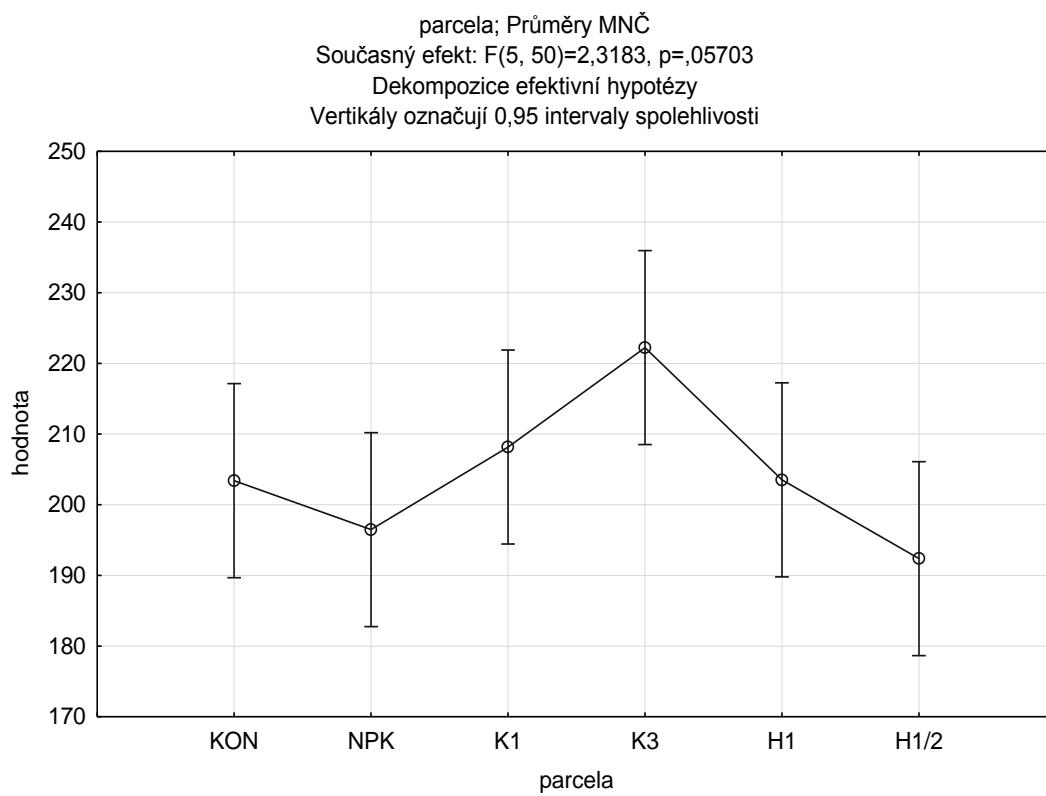
**Graf 3:** Porovnání aktuálních obsahů N -  $\text{NH}_4^+$  u jednotlivých variant hnojení



**Graf 4:** Porovnání obsahů N -  $\text{NH}_4^+$  po inkubaci v komorovém termostatu u jednotlivých variant hnojení



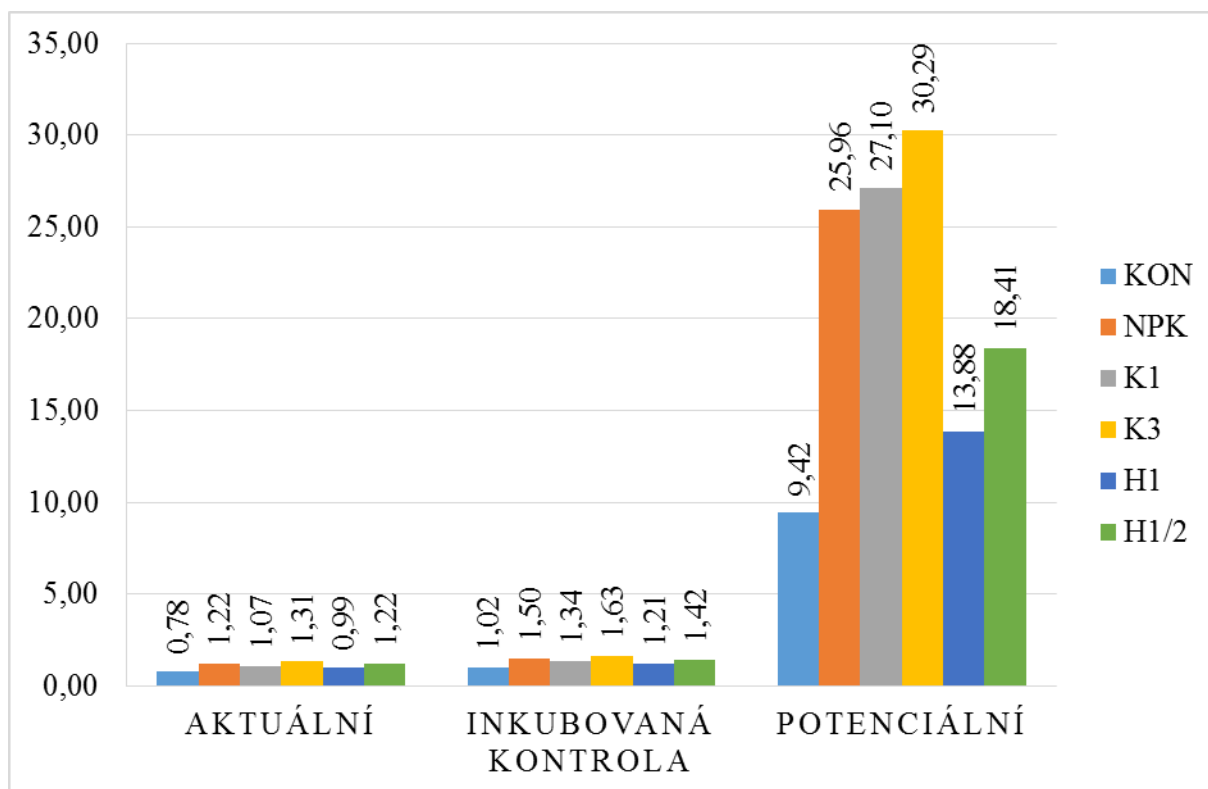
**Graf 5:** Porovnání potenciálních obsahů  $N - NH_4^+$  u jednotlivých variant hnojení



## 5.2 Výsledky měření obsahu nitrátů

Pro každou variantu byly založeny tři testy: měření aktuálního obsahu  $N - NO_3^-$  (AKTUÁLNÍ), měření obsahu  $N - NO_3^-$  po osmidenní inkubaci v komorovém termostatu (INKUBOVANÁ KONTROLA) pro zjištění schopnosti mikroflóry zareagovat na zlepšené teplotní podmínky a měření obsahu  $N - NO_3^-$  po přidání roztoku síranu amonného (POTENCIÁLNÍ) pro zjištění reakce mikroflóry na zlepšené teplotní i nutriční podmínky.

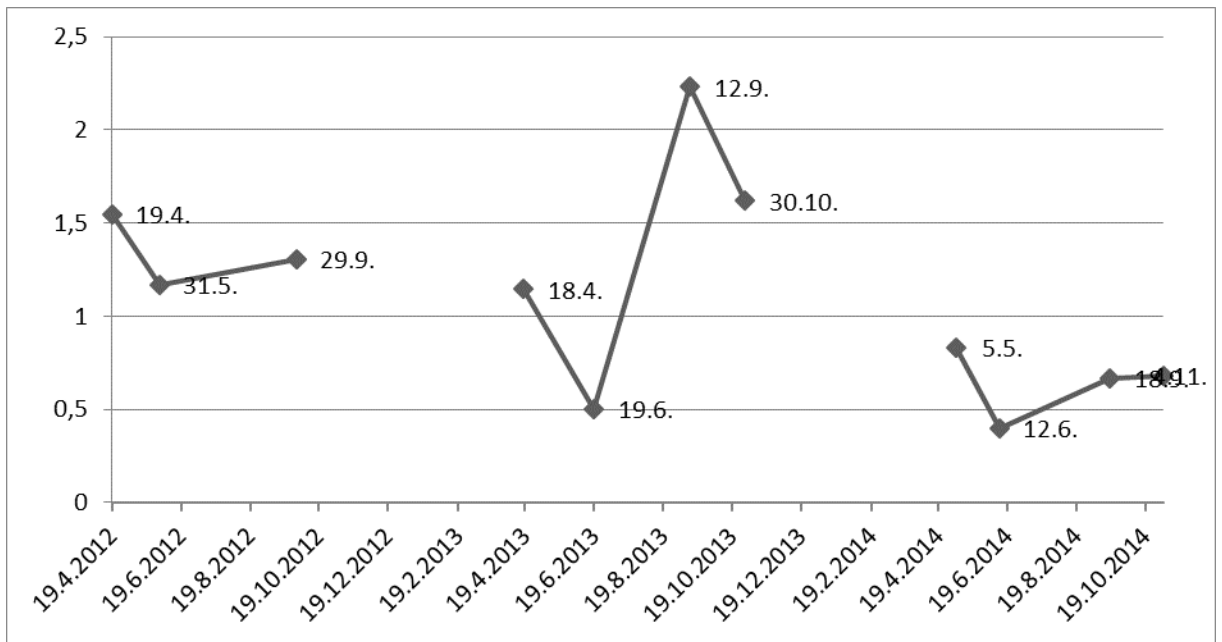
**Graf 6:** Obsah  $N - NO_3^-$  v jednotlivých variantách a na jednotlivých parcelách



Jak lze vidět na Grafu 6 a v Přílohách 6 – 7 nitrifikační mikroflóra ve všech případech zareagovala velmi výrazně na zlepšené nutriční podmínky a na rozdíl od měření amonných iontů byla zaznamenána zvýšená aktivita i po zlepšení teplotních podmínek.

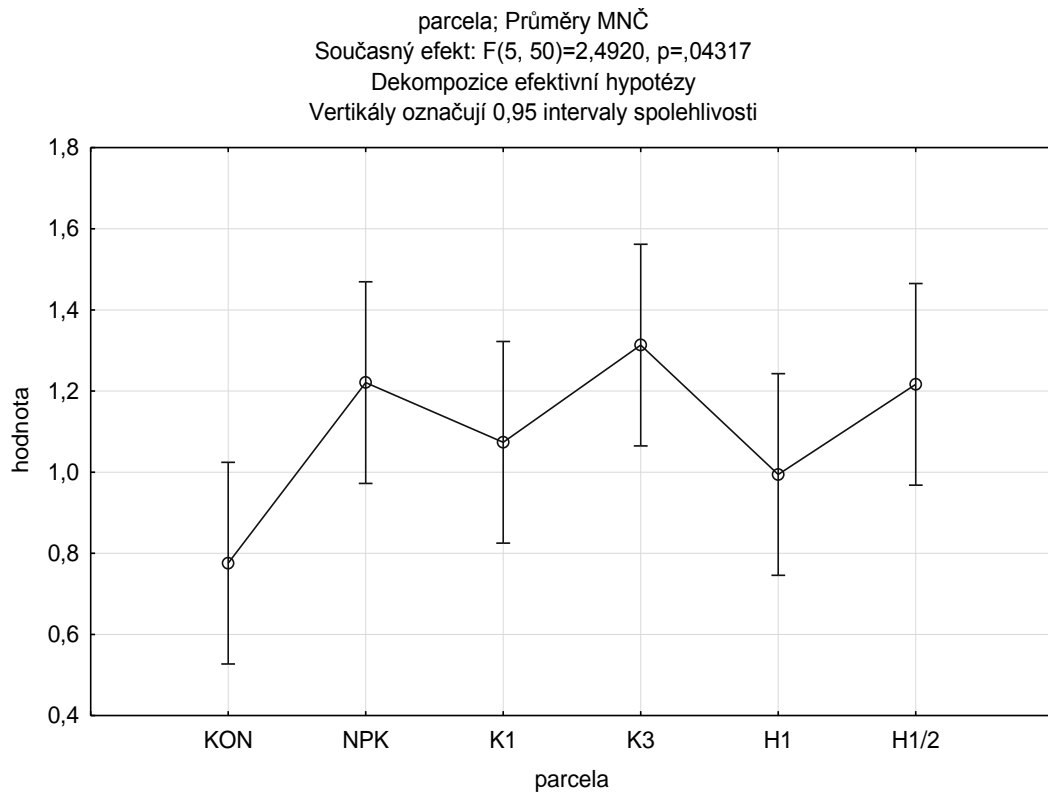
Graf 7 zobrazuje průměrné obsahy  $N - NO_3^-$  v průběhu roku ze všech sledovaných parcel. Grafy z jednotlivých parcel samostatně lze nalézt v Příloze 31 - 36.

**Graf 7:** Aktuální obsah N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v průběhu roku - průměr ze všech sledovaných parcel

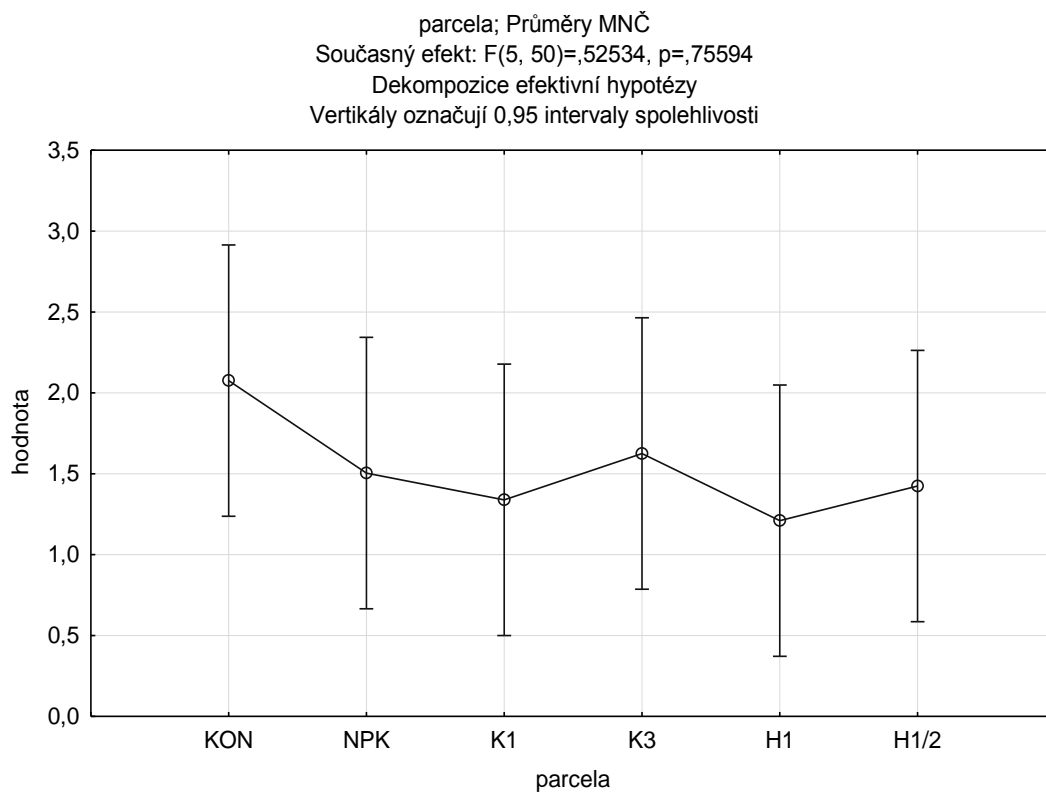


Následující Grafy 8, 9 a 10 byly vytvořeny programem Statistica a porovnávají obsah nitrátů aktuální, po inkubaci a potenciální u všech sledovaných variant hnojení.

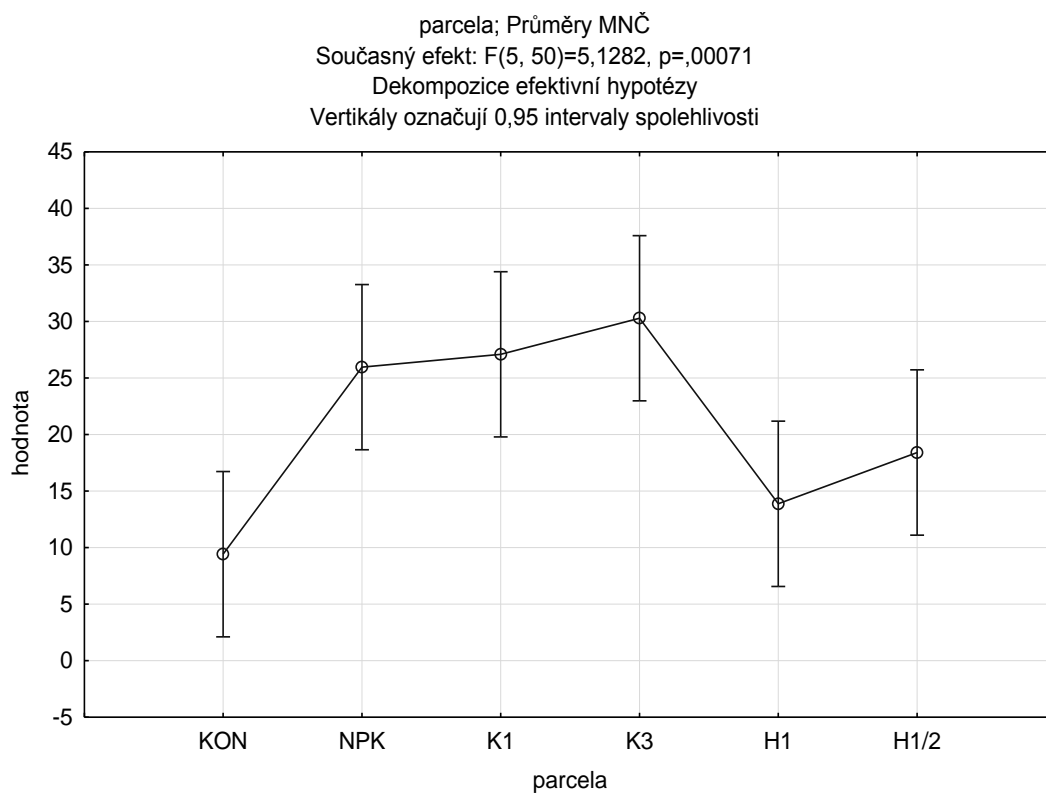
**Graf 8:** Porovnání aktuálních obsahů N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u jednotlivých variant hnojení



**Graf 9:** Porovnání obsahů N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> po inkubaci v komorovém termostatu u jednotlivých variant hnojení



**Graf 10:** Porovnání potenciálních obsahů N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u jednotlivých variant hnojení



## 6 Diskuze

### 6.1 Měření obsahu amonných iontů

#### 6.1.1 Porovnání jednotlivých variant testů

Při porovnání jednotlivých variant testů – aktuální obsah amonných iontů, jejich obsah po inkubaci a potenciální obsah (Graf 1) je patrné, že u všech variant hnojení došlo k výrazné reakci amonifikační mikroflóry na zlepšené teplotní a nutriční podmínky. Obsah amonných iontů je oproti aktuálnímu obsahu zvýšen asi 10 x, což svědčí o dobrém stavu amonifikační mikroflóry. Růžek (2006) uvádí na černoze potenciální obsah amonných iontů 134.23 – 193.39 mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 24 h / 100 g a Popelářová (2008) uvádí průměrně 193,53 mg N- $\text{NH}_4^+$  / 100 g sušiny, což zhruba odpovídá mým výsledkům.

Nedošlo ale ke zvýšení amonifikační aktivity po zlepšení teplotních podmínek v testu inkubovaná kontrola. Z 66 měření byl obsah N -  $\text{NH}_4^+$  po inkubaci nižší v 34 případech. To může být způsobeno probíhající nitrifikací nebo imobilizací ve vzorcích. Proto bych pro příští měření doporučovala po inkubaci vzorků provést stanovení nitrátů pro odhalení případné nitrifikace a stanovení biomasy pro odhalení případné imobilizace.

#### 6.1.2 Změny obsahu amonných iontů v průběhu roku

Obsah amonných iontů se v průběhu roku v půdě značně mění, jak dokumentuje Graf 2. V prvním roce (2012) byl naměřen klasický průběh obsahů N -  $\text{NH}_4^+$  s jarním maximem, letním minimem a podzimním maximem, často zmiňovaných v literatuře (Bielek, 1984). V roce 2013 nebyl obsah amonných iontů v jarním období vyšší, ale spíše nižší než v létě naměřené hodnoty a v roce 2014 byl obsah v jarním odběru výrazně nižší než později naměřené hodnoty. To mohlo být způsobeno zvýšeným odběrem amonných iontů rostlinami z půdního roztoku.

#### 6.1.3 Porovnání jednotlivých variant hnojení

Jednotlivé varianty hnojení byly vzájemně porovnávány statisticky v programu Statistica a na podrobnější vyhodnocení byl použit Tukeyův test. Zvolena byla hladina významnosti testu  $\alpha = 0,05$ .



V případě měření aktuálního obsahu amonných iontů (Graf 3) byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi parcelou K3 a parcelami H1 a H1/2, což dokazuje zvýšenou aktivitu amonifikační mikroflóry po aplikaci trojnásobné dávky čistírenského kalu než po aplikaci základní i poloviční dávky hnoje. U měření obsahu N -  $\text{NH}_4^+$  po inkubaci (Graf 4) byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi parcelou K3 a parcelami NPK a H1/2, což prokazuje, že aplikace trojnásobné dávky čistírenských kalů zvyšuje schopnost mikroflóry zareagovat na zlepšené teplotní podmínky více než aplikace minerálního hnojení nebo poloviční dávky hnoje. U jednotlivých variant hnojení, jak lze vidět v Grafu 5, nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v aktivitě amonifikační mikroflóry po zlepšení nutričních podmínek.

## **6.2 Měření obsahu nitrátů**

### **6.2.1 Porovnání jednotlivých variant testů**

Při porovnání jednotlivých variant testů – aktuální obsah amonných iontů, jejich obsah po inkubaci a potenciální obsah (Graf 6) došlo k mírnému zvýšení nitrifikační aktivity po zlepšení teplotních podmínek. Po zlepšení nutričních podmínek došlo k velmi výraznému zvýšení, a to v průměru asi 20 x. Dle Růžka (2006) je obsah nitrátů na černoze (3.47–19.01 mg N –  $\text{NO}_3^-$  / 8 dní / 100 g sušiny). Z mých výsledků více než 40 % neodpovídá tomuto rozsahu - KON 18 %, NPK 64 %, K1 55 %, K3 82 %, H1 9 % a H1/2 36 %. To může být způsobeno náhodnou chybou měření nebo vzorku a pro potvrzení nebo vyvrácení správnosti těchto dat by bylo třeba provést další měření s více opakováními.

### **6.2.2 Změny obsahu nitrátů v průběhu roku**

V průběhu roku se v půdě mění také obsah nitrátů. Z mých výsledků prezentovaných v Grafu 7 je jasně patrné jarní maximum, letní minimum a podzimní maximum ve všech sledovaných letech. Normálnímu průběhu obsahu N –  $\text{NO}_3^-$  v půdě se vymyká pouze vysoká hodnota naměřená 12. 9. 2013. Zvýšení obsahu v tomto období mohlo být způsobeno příznivými podmínkami (v týdnu před odběrem průměrné teploty 13,2 – 19,6 °C a spadlo 16,1 mm srážek) nebo tím, že již nebyl žádný odběr nitrátů rostlinami. Z Grafu 2 lze vyčíst, že i amonifikace byla v tomto období aktivní, takže nitrifikační bakterie měly dostatečné množství substrátu.

### 6.2.3 Porovnání jednotlivých variant hnojení

Stejně jako u měření amonifikační aktivity byly jednotlivé varianty hnojení porovnávány statisticky v programu Statistica a na podrobnější vyhodnocení byl použit Tukeyův test. Zvolena byla hladina významnosti testu  $\alpha = 0,05$ .

Při porovnávání aktuálního obsahu amonických iontů ve vzorcích byl, jak je vidět v Grafu 8, zjištěn statisticky významný rozdíl mezi parcelami K3 a KON, což dokumentuje, zvýšenou aktivitu nitrifikační mikroflóry po aplikaci trojnásobné dávky kalu oproti aktivitě na kontrolní nehnojené parcele. Při porovnání obsahů  $N - NO_3^-$  po inkubaci v komorovém termostatu (Graf 9) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými variantami hnojení. Porovnáním potenciální aktivity nitrifikační mikroflóry dle Grafu 10 bylo prokázáno, že parcely NPK, K1 a K3 se významně statisticky liší od parcely KON a parcela K3 se také významně liší od parcely H1. To dokumentuje zvýšenou schopnost nitrifikační mikroflóry zareagovat na zlepšené nutriční podmínky po aplikaci minerálního hnojení, základní a trojnásobné dávky kalu oproti nehnojené variantě a v případě trojnásobnou dávkou kalu hnojené parcely i vůči parcele hnojené základní dávkou hnoje.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posouzení vlivu různého hnojení – NPK, základní dávkou kalu, trojnásobnou dávkou kalu, základní dávkou hnoje a poloviční dávkou hnoje na aktuální obsah nitrátových a amonných iontů a amonifikační a nitrifikační aktivitu půdních mikroorganismů, včetně potenciální aktivity po doplnění vhodných snadno dostupných substrátů. Bylo provedeno celkem 11 odběrů ve třech po sobě jdoucích letech z demonstračního pole ČZU v Praze 6 – Suchdole a jako podklady byly použity také výsledky z mé bakalářské práce „Vliv čistírenských kalů na amonifikaci a nitrifikaci“.

Vědecká hypotéza „Rozdílné varianty hnojení ovlivňují amonifikační a nitrifikační aktivitu“ nemůže být dle výsledků ani přijata ani vyvrácena. Statisticky významný byl rozdíl aktivity amonifikační i nitrifikační aktivity po aplikaci trojnásobné dávky kalu. Pro získání spolehlivějších dat navrhuji v dalších studiích zvýšit počet odběrů a četnost opakování.

Spolehlivě byl prokázán vliv zlepšených nutričních podmínek (síran amonný pro nitrifikační a peptonu pro amonifikační test) na aktivitu jak amonifikačních tak nitrifikačních bakterií. Nebyl ale prokázán vliv zlepšených teplotních podmínek na jejich aktivitu, proto bych doporučovala provést další testy – nitrifikační pro indikaci probíhající nitrifikace a stanovení biomasy pro indikaci probíhající imobilizace.

## 8 Seznam použité literatury

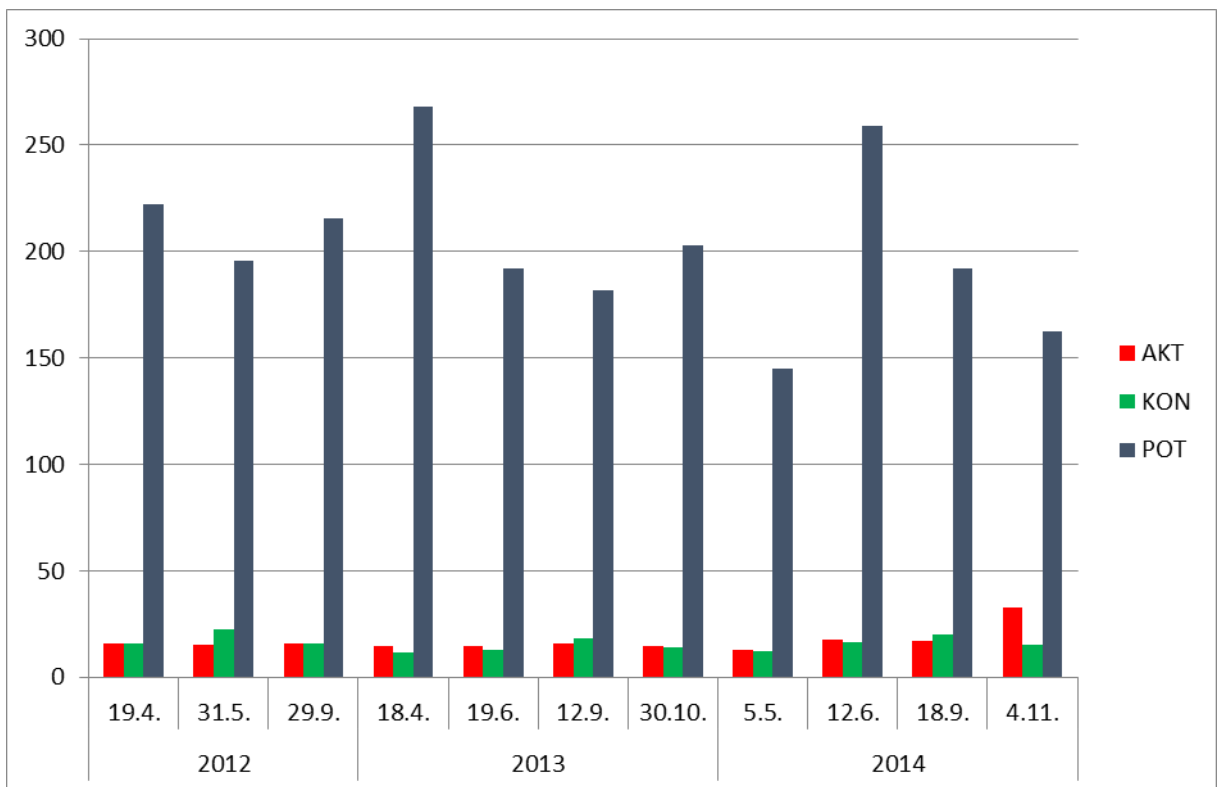
1. Anon. 2000. Fertilizers and their use: a pocket guide for extension officers. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. p. 70. ISBN: 92-5-104414-7
2. Balík, J., Pavlíková, D., Vaněk, V., Černý, J. 2009. Vliv hnojení na půdní vlastnosti a půdní úrodnost. Racionální použití hnojiv. 11 – 15 s.. ČZU v Praze. Praha.
3. Bielek, P. 1984. Dusík v pôde a jeho premeny. Priroda. Bratislava. 135 s.
4. Bohm, H. L., Mc.Neal, B.L., O'Connor, G.A. 1985. Soil chemistry. John Wiley & Sons, Inc.. New York. p. 360. ISBN: 0471822175.
5. Brady, N. C., Weil, P. R. 1999. The nature and properties of soil. Prentice Hall Upper Saddle River. p. 881 ISBN: 0-13-852444-0.
6. Brestenský, V., Botto, Ľ. 2010. Manipulácia a skladovanie hospodárskych hnojív. Agroinštitút Nitra štátny podnik. Nitra. 92 s. ISBN: 978-80-7139-145-6.
7. CZSO. Produkce kalů a způsob jejich zneškodnění v čistírnách odpadních vod podle krajů. 10. února 2015. Dostupné z <<https://www.czso.cz/>>.
8. CZSO. Stavby hospodárskych zvierat - Česká republika. 06. ledna 2015. Dostupné z <<https://www.czso.cz/>>.
9. Černý, J., Balík, J., Švehla, P., Kulhánek, M. 2009. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. Racionální použití hnojiv. 36 – 41 s. KAVR ČZU. Praha.
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. ČSN 46 5735. Průmyslové komposty. 1983. Český normalizační institut. Praha. 30 s.
12. De Brouwere, K. 2006. Risks of sewage sludge amended soils in relation to crops and soil microbial processes. p. 125.
13. Dendooven, L. 1990. Nitrogen mineralization and nitrogen cycling. Katholieke Universiteit. Leuven. p. 180.
14. Gergeľová, Z. 2008. Využitie čistírenských kalov a dnových sedimentov v podohospodárstve. Agrokomplex Nitra, a.s. 28 s. ISBN: 9788071391265.
15. Groda, B., Vítěz, T., Machala, M., Foller, J., Surýnek, D., Musil, J. 2008. Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. [cit. 2015-03-10] Dostupné z <[http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf)>.

16. Hazrati, H., Shayegan, J. 2011. Upgrading activated sludge systems and reduction in excess sludge. *Bioresource Technology*. 102 (22). p. 10327–10333.
17. Jarošová, V. 2013. Vliv čistírenských kalů na amonifikaci a nitrifikaci. ČZU v Praze. Praha. 44s.
18. Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., Šimon, T. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.. Praha. 34 s. ISBN: 9788087011652.
19. Kubík, L., Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV). *Biom.cz* [online]. 9. února 2009 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov>>. ISSN: 1801-2655.
20. Kutil, J., Dohányos, M. 2005. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 5. ledna 2005 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.
21. Leigh, G. J. 2002. Nitrogen fixation at the millennium. Elsevier, Amsterdam. p. 455. ISBN: 0444509658.
22. Nerudová, M. 1978. Využití odvodněných kalů z městských čistíren ke zúrodnění půd. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Praha. 31 s.
23. Paul E. A., Clark F. E. 2007. Soil microbiology, ecology and biochemistry. Amsterdam, Elsevier, p. 532. ISBN: 978-0-12-546807-7
24. Popelářová, E., Voříšek, K., Strnadová, S. 2008. Relations between activities and counts of soil microorganisms. *Plant, Soil and Environment*. 54 (4). 163-170.
25. Pospíšilová, L., Tesařová, M. 2009. Organický uhlík obhospodařovaných půd. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 41 s. ISBN: 978-80-7375-282-8.
26. Procházková B. 2001. Organické hnojení při hospodaření bez živočišné výroby. ÚZPI. Praha. 29 s. ISBN: 8072710834.
27. Raclavská, H. 2007. Technologie zpracování a využití a kalů z ČOV. Ostrava. 171 s. ISBN: 9788024816005.
28. Richter, R., Kubát, J. 2003. Organická hnojiva, jejich výživa a použití. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 56 s. ISBN: 8072711334.

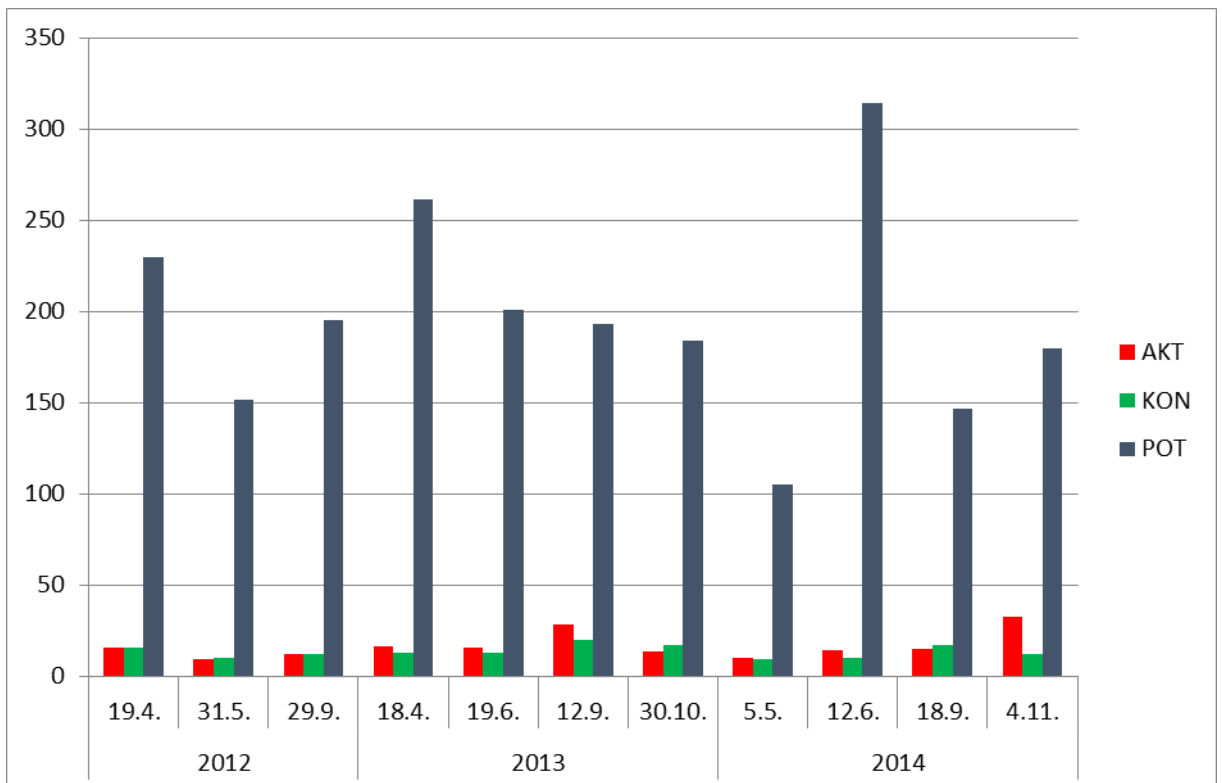
29. Růžek, L., Voříšek, K., Nováková, M., Strnadová, S. 2006. Microbial, chemical and textural parameters of main soil taxonomical units of Czech Republic. Plant, Soil and Environment. Special Issue. 29 – 35. ISSN: 12141178.
30. Sirotková, D. 2010. Kaly z ČOV - nové směry zájmu. Odpadové fórum. 2. str. 20.
31. Šimek M. 2000. Nitrification in soil - Terminology and methodology (review). Rostlinná výroba. 46. (9). p. 385-395.
32. Škarda, M. 1978. Organická hnojiva. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství a výživy ČSR. Praha. 203 s.
33. Tim, K. H. 2003. Humic Matter in Soil and the Environment, Principles and Controversies. Marcel Dekker, Inc. New York. p. 386. ISBN: 0-8247-4272-9.
34. Vach, M. 2007. Hospodaření na půdě bez chovu zvířat. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 28 s. ISBN: 978-80-87011-28-7
35. Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D., Černý, J. 2009. Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv - sborník z konference. ISBN 978-80-213-2006-2.
36. Vrba, V., Huleš, L., Humus - půda - rostlina (15) Minerální hnojiva. Biom.cz [online]. 2007-04-06 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-15-mineralni-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.
37. Vyhláška MZe č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv.
38. Vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.
39. Wolf, B., Snyder, G. H. 2003. Sustainable soils. Food Products Press. New York. p. 352. ISBN: 1-56022-917-9
40. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů.
41. Zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech).

## 9 Samostatné přílohy

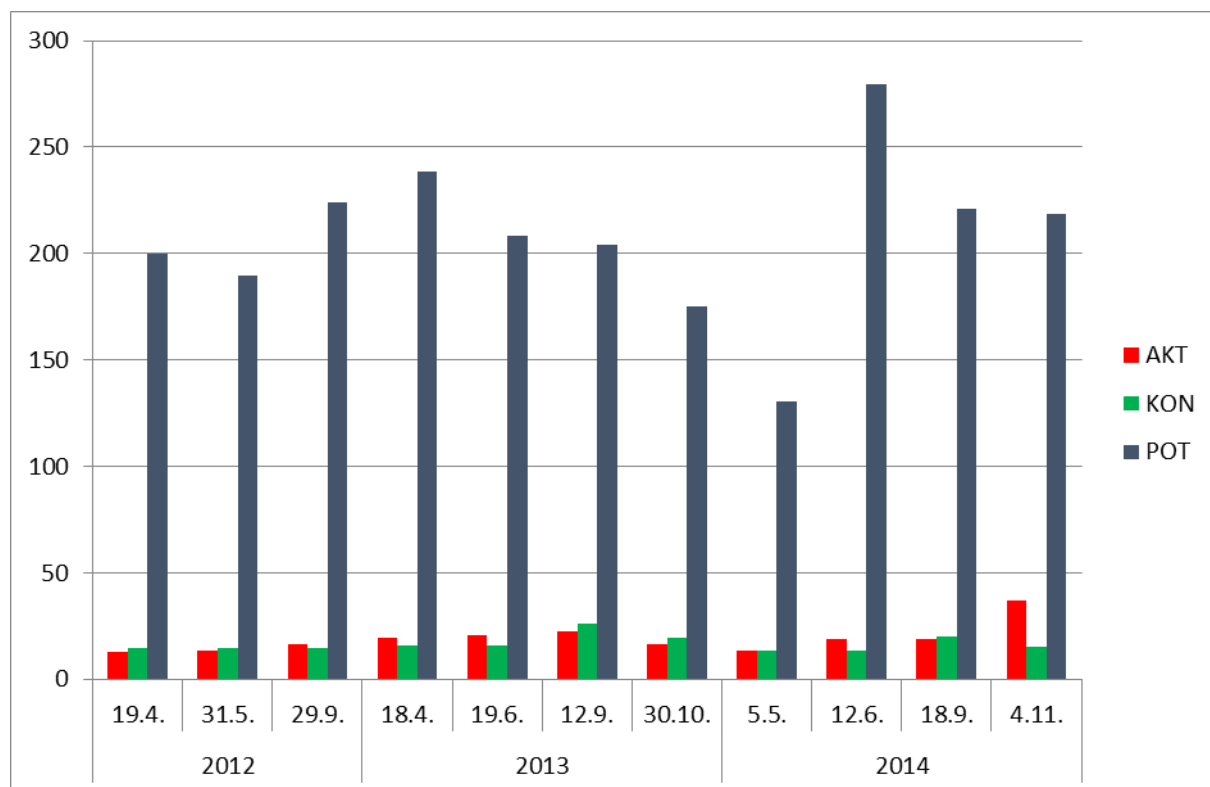
**Příloha 1:** Graf: Výsledky měření obsahu amonných iontů z kontrolní nehnojené parcely



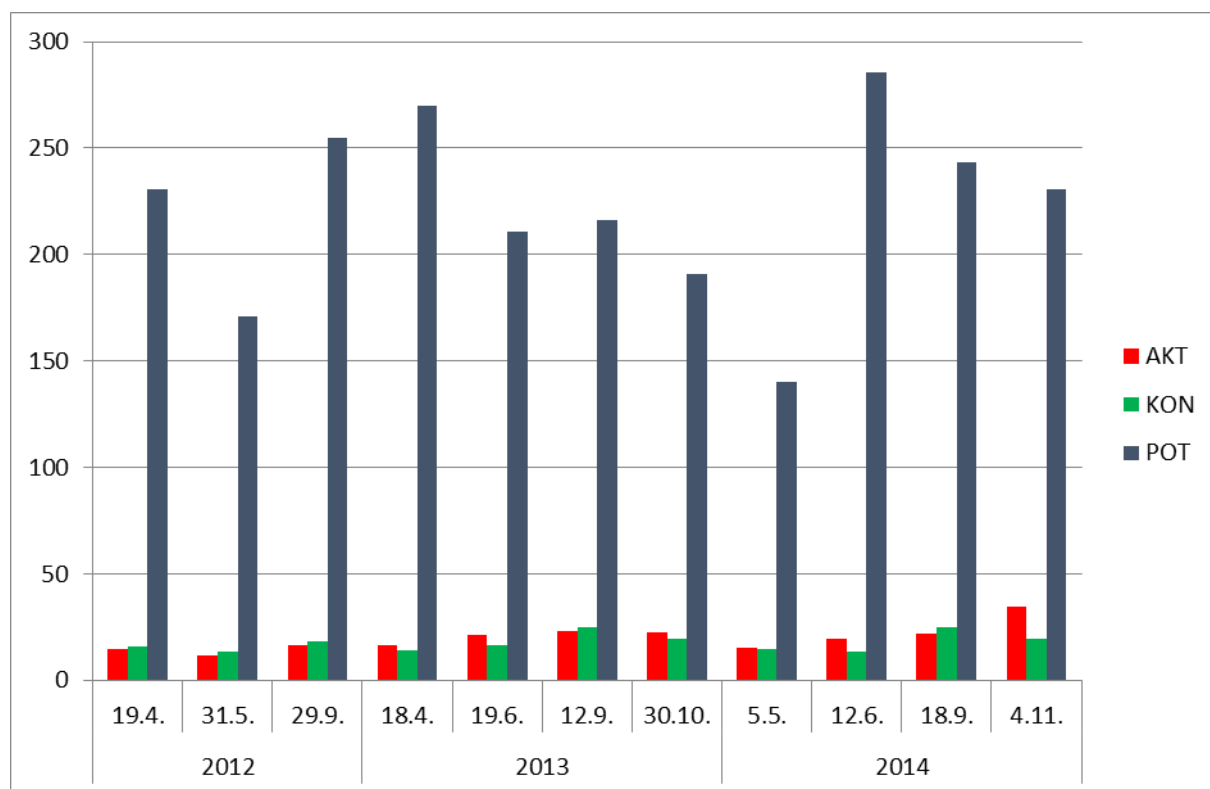
**Příloha 2:** Graf: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené minerálními hnojivy



**Příloha 3:** Graf: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené základní dávkou kalu

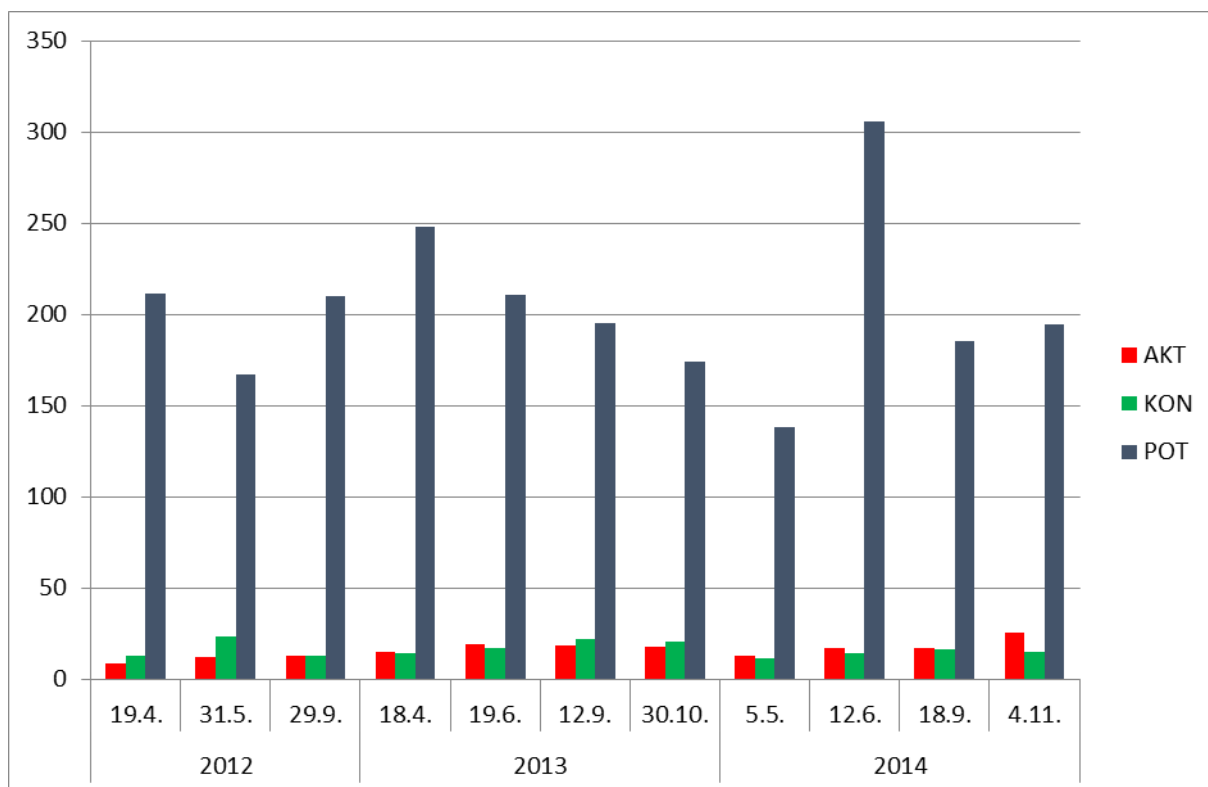


**Příloha 4:** Graf: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené trojnásobnou dávkou kalu

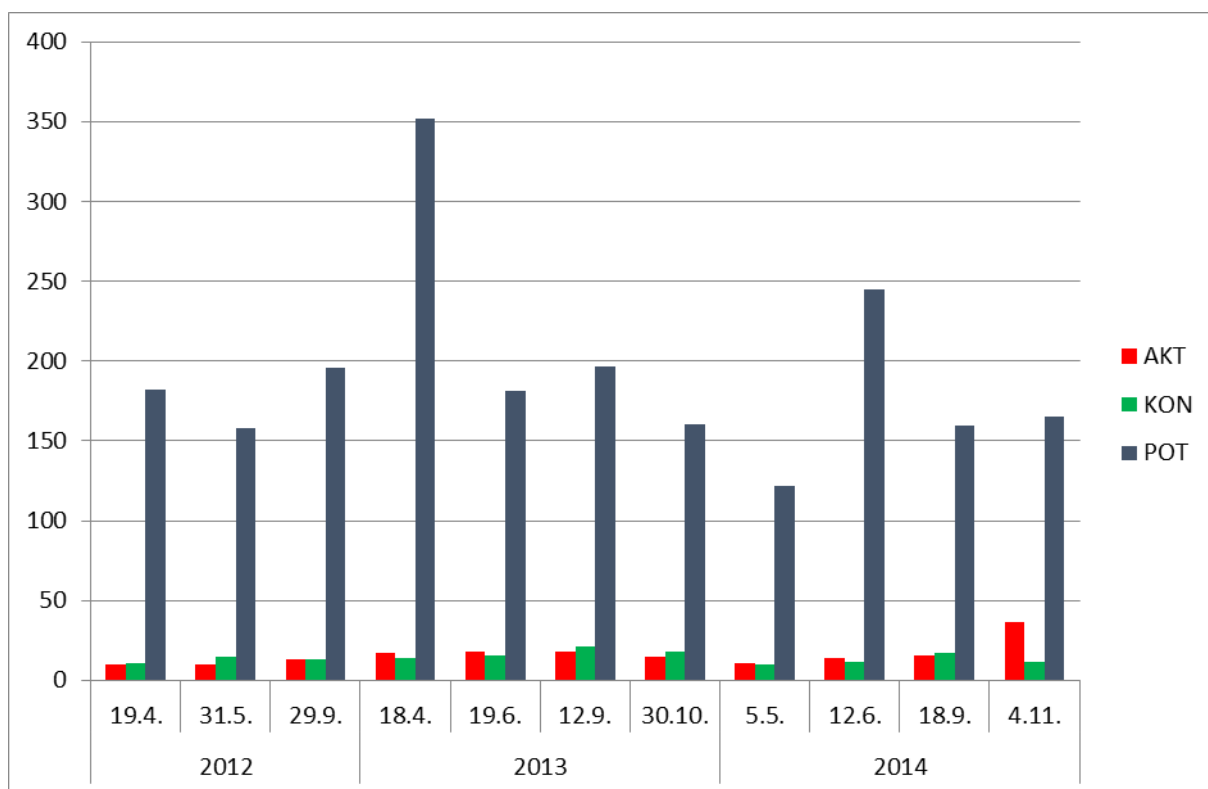




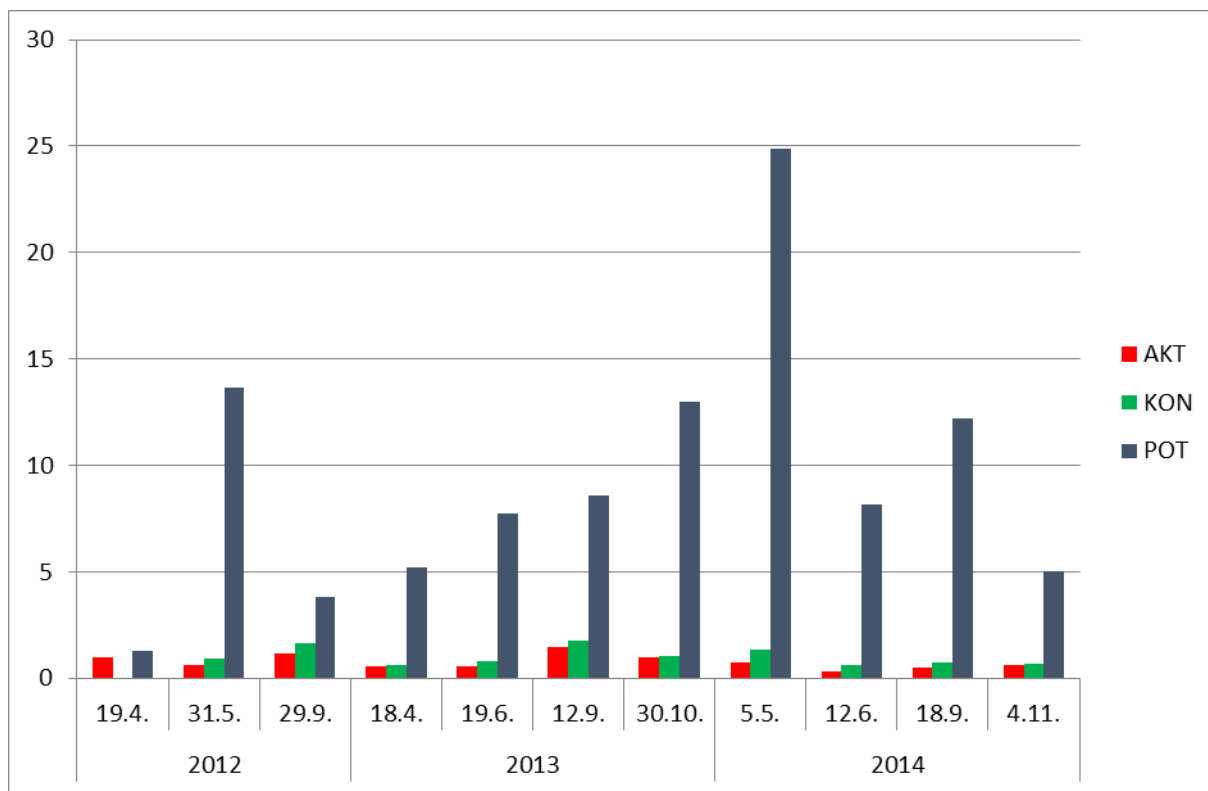
**Příloha 5:** Graf: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené základní dávkou hnoje



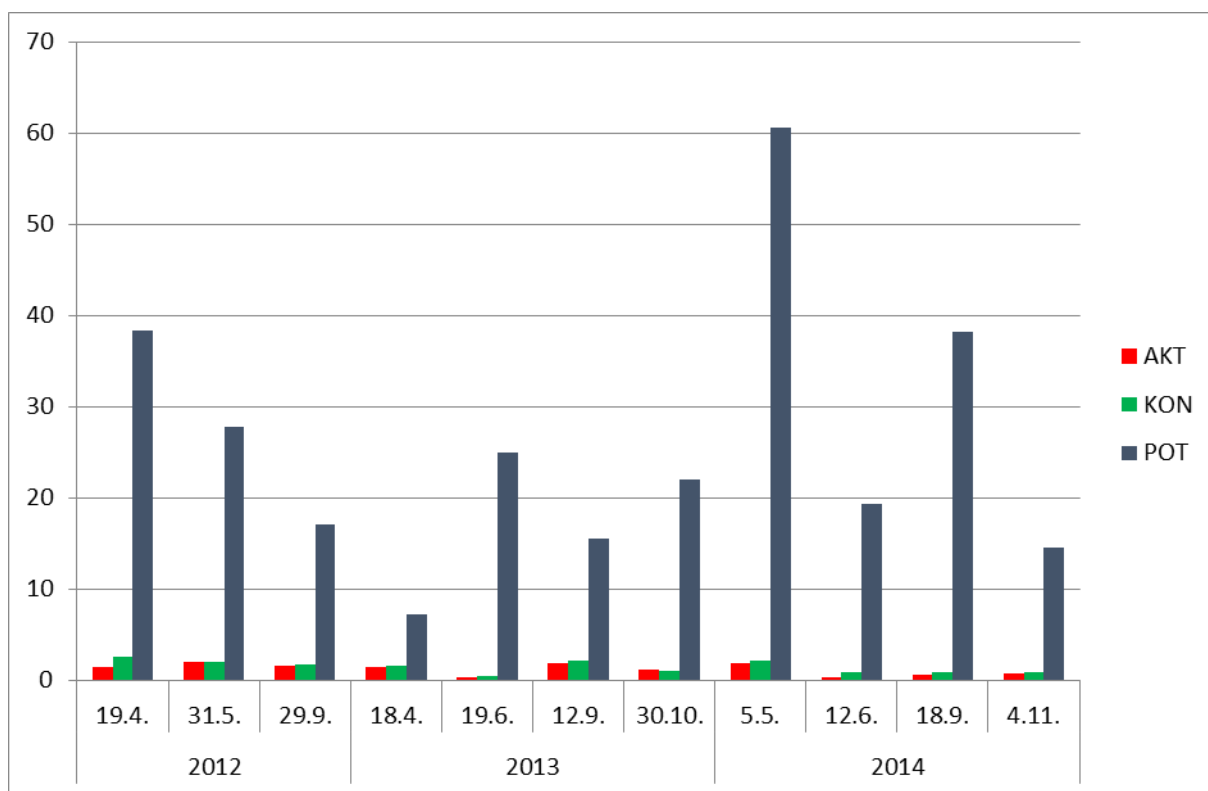
**Příloha 6:** Graf: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené poloviční dávkou hnoje



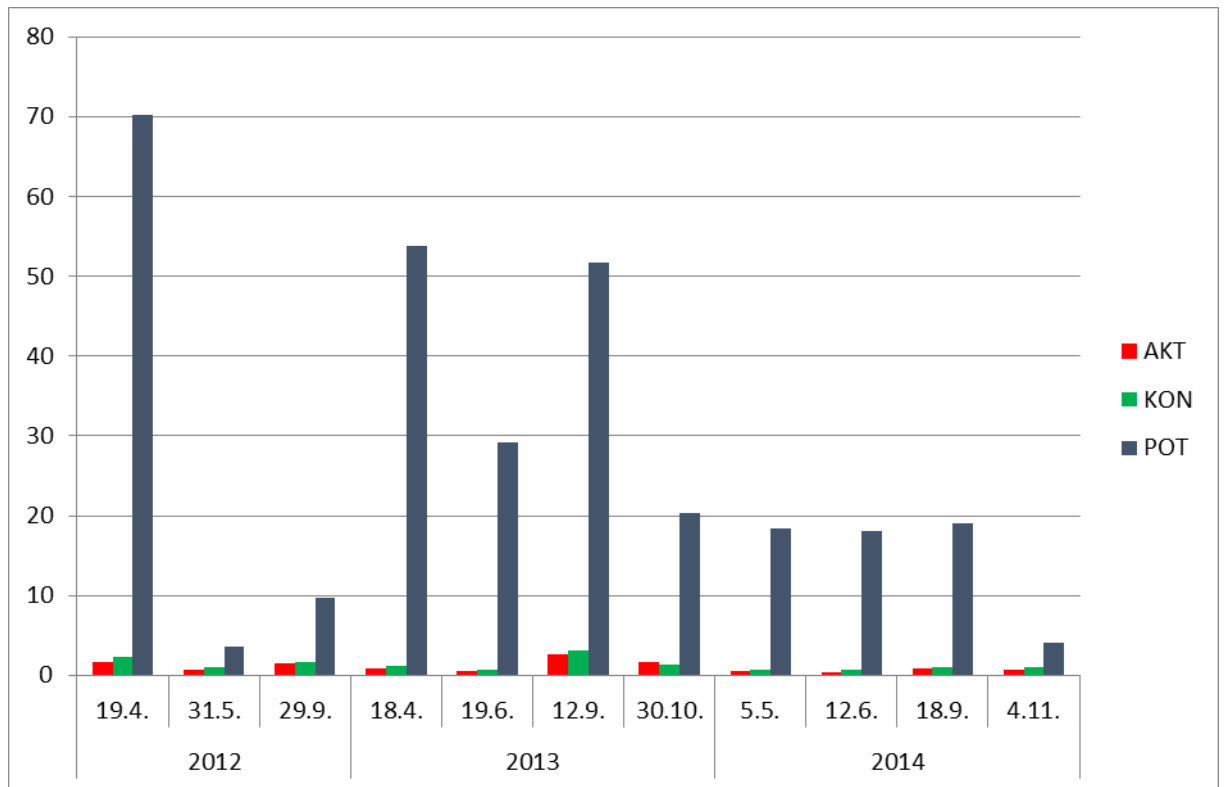
**Příloha 7:** Graf: Výsledky měření obsahu nitrátů z kontrolní nehnojené parcely



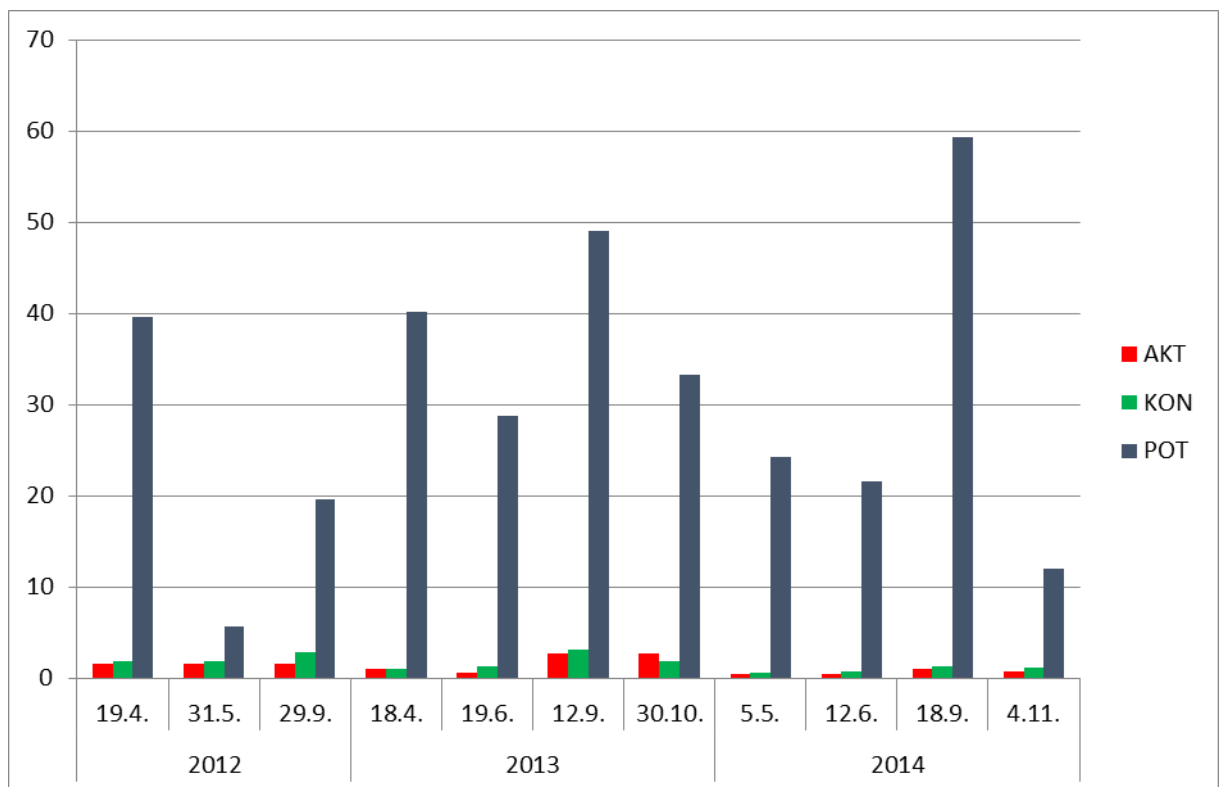
**Příloha 8:** Graf: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené minerálními hnojivy



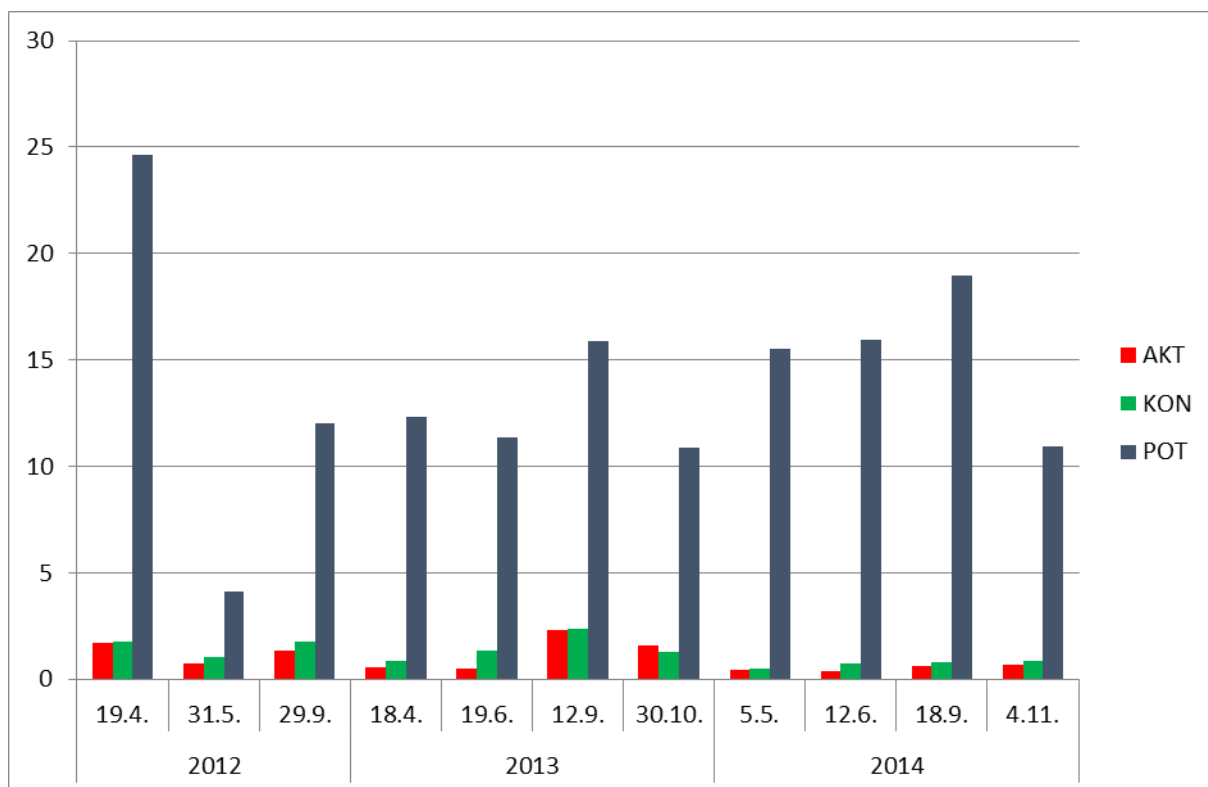
**Příloha 9:** Graf: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené základní dávkou kalu



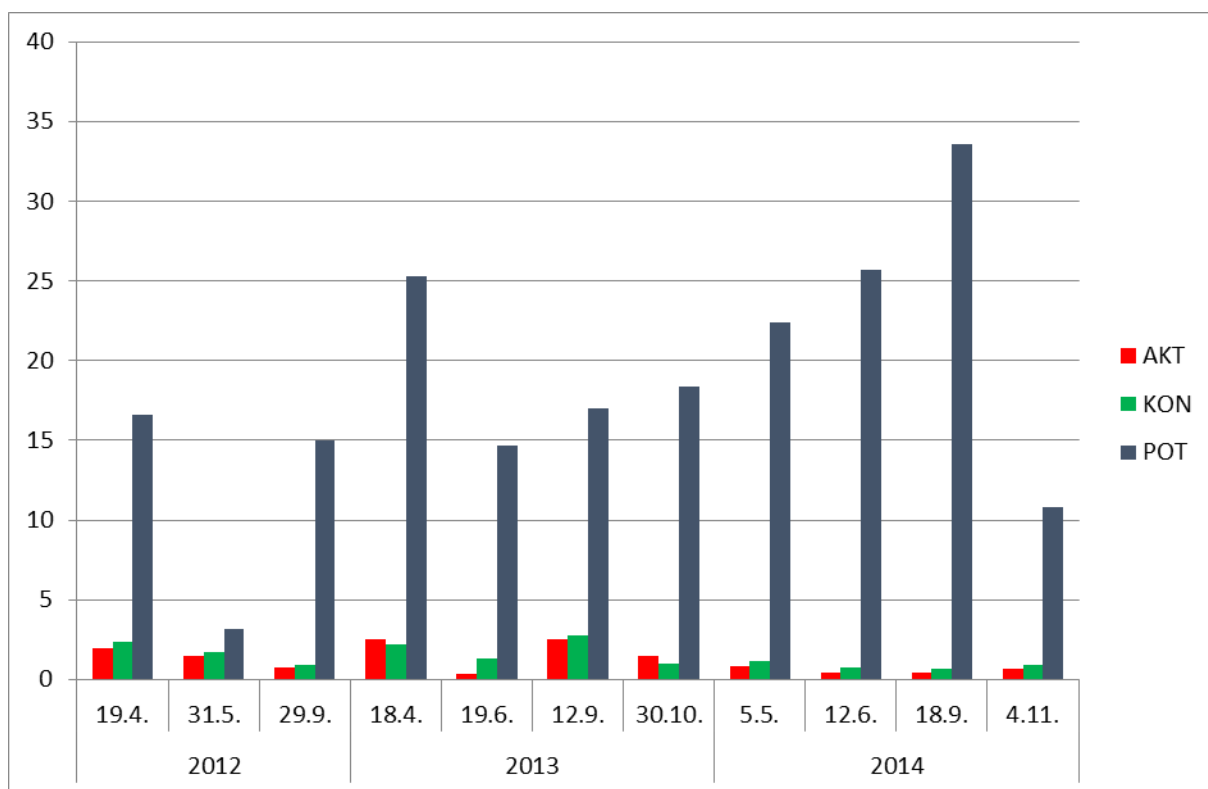
**Příloha 10:** Graf: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené trojnásobnou dávkou kalu



**Příloha 11:** Graf: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené základní dávkou hnoje



**Příloha 12:** Graf: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené poloviční dávkou hnoje



**Příloha 13:** Tabulka: Výsledky měření obsahu amonných iontů z kontrolní nehnojené parcely, v mg N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	16,04	15,06	16,02	14,53	14,59	16,11	14,69	12,84	17,88	16,8	33,04
KON	16,04	22,49	16,02	11,71	12,67	18,28	13,8	12,41	16,69	20,25	15,21
POT	222,5	196	215,4	268,1	192,1	181,6	202,8	145,1	259,2	192,2	162,5

**Příloha 14:** Tabulka: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené minerálními hnojivy, v mg N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	15,68	9,38	12,03	16,69	15,84	28,11	13,65	10,12	14,34	15,12	32,79
KON	15,68	10,15	12,44	12,94	13,14	19,89	17,17	9,701	9,834	16,85	12,51
POT	229,46	151,9	195,2	261,1	200,8	192,9	183,7	105,2	314,2	147	180

**Příloha 15:** Tabulka: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené základní dávkou kalu, v mg N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	12,84	13,76	16,48	19,42	20,85	22,39	16,4	13,28	18,71	18,67	36,84
KON	14,52	14,56	14,4	16,11	15,74	25,9	19,77	13,28	13,42	20,01	15,35
POT	200,01	189,5	224,3	238,6	208,2	204,3	175,4	130,3	279,4	220,8	218,9

**Příloha 16:** Tabulka: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené trojnásobnou dávkou kalu, v mg N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	14,37	11,95	16,76	16,67	21,08	23,18	22,32	15,41	19,53	21,85	34,87
KON	16,04	13,51	18,42	13,82	16,44	24,93	19,69	14,97	13,71	24,85	19,42
POT	230,69	170,7	255	270,1	211	216,1	191	140,4	285,5	243,1	230,9

**Příloha 17:** Tabulka: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené základní dávkou hnoje, v mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	8,74	12,23	12,84	15,22	19,47	18,82	17,93	12,54	17,43	17,18	25,25
KON	13,01	23,47	12,84	13,95	17,03	21,82	20,56	11,68	14,53	16,75	15,24
POT	211,1	166,9	209,7	248,2	210,8	194,9	174	138	305,9	185,1	194,2

**Příloha 18:** Tabulka: Výsledky měření obsahu amonných iontů z parcely hnojené poloviční dávkou hnoje, v mg N -  $\text{NH}_4^+$  / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	10,24	9,77	13	17,21	18,04	18,04	14,71	10,68	14,03	15,49	36,21
KON	11,07	14,56	13	13,85	15,17	21,57	18,27	9,83	11,14	17,21	11,64
POT	182,16	158,1	195,6	351,8	181,4	196,3	160,1	121,5	244,6	159,4	165,3

**Příloha 19:** Tabulka: Výsledky měření obsahu nitrátů z kontrolní nehnojené parcely, v mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	1	0,62	1,16	0,541	0,582	1,442	0,989	0,755	0,335	0,5	0,608
KON	12,6	0,95	1,66	0,642	0,798	1,786	1,041	1,343	0,597	0,722	0,697
POT	1,28	13,68	3,85	5,206	7,751	8,562	12,99	24,89	8,154	12,24	5,038

**Příloha 20:** Tabulka: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené minerálními hnojivy, v mg N -  $\text{NO}_3^-$  / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	1,43	1,96	1,55	1,494	0,349	1,821	1,225	1,924	0,364	0,613	0,7
KON	2,61	2,07	1,79	1,59	0,467	2,089	1,088	2,18	0,879	0,899	0,887
POT	38,37	27,84	17,03	7,233	24,94	15,47	21,95	60,64	19,28	38,26	14,59

**Příloha 21:** Tabulka: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené základní dávkou kalu, v mg N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	1,6	0,64	1,47	0,785	0,582	2,61	1,638	0,53	0,446	0,775	0,734
KON	2,26	1,03	1,7	1,206	0,721	3,104	1,294	0,648	0,7	1,057	1,008
POT	70,22	3,52	9,74	53,87	29,17	51,66	20,33	18,46	18,01	19,06	4,036

**Příloha 22:** Tabulka: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené trojnásobnou dávkou kalu, v mg N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	1,58	1,54	1,58	0,969	0,606	2,741	2,745	0,489	0,468	1,036	0,692
KON	1,86	1,9	2,8	1,064	1,326	3,092	1,927	0,647	0,756	1,341	1,165
POT	39,61	5,64	19,58	40,13	28,78	49,02	33,3	24,24	21,53	59,36	11,96

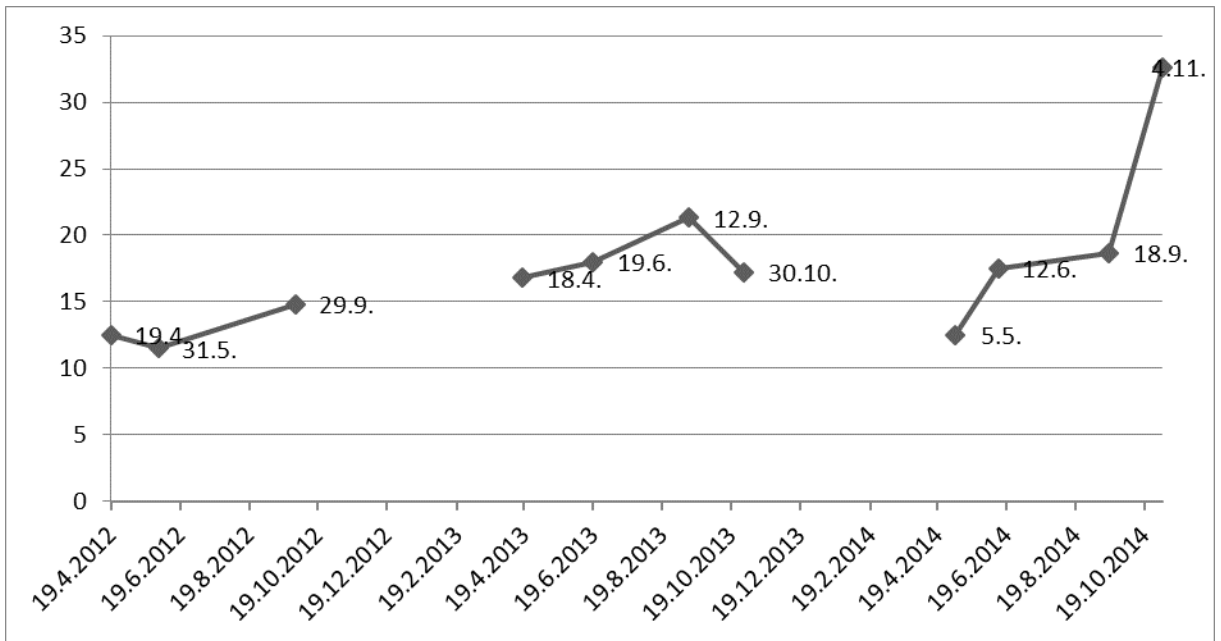
**Příloha 23:** Tabulka: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené základní dávkou hnoje, v mg N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	1,73	0,75	1,33	0,546	0,508	2,286	1,61	0,455	0,391	0,646	0,685
KON	1,79	1,03	1,74	0,869	1,335	2,37	1,309	0,528	0,714	0,776	0,847
POT	24,61	4,1	12,04	12,31	11,37	15,92	10,86	15,54	15,96	18,99	10,95

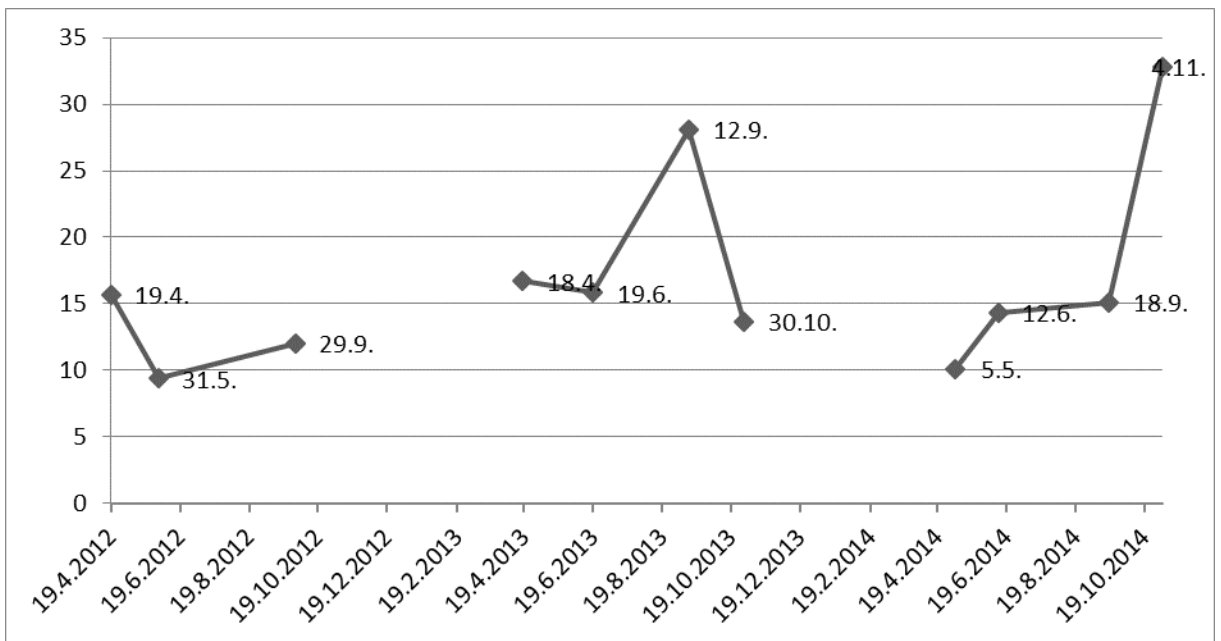
**Příloha 24:** Tabulka: Výsledky měření obsahu nitrátů z parcely hnojené poloviční dávkou hnoje, v mg N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 100 g suché zeminy

	2012			2013				2014			
	19.4.	31.5.	29.9.	18.4.	19.6.	12.9.	30.10.	5.5.	12.6.	18.9.	4.11.
AKT	1,93	1,49	0,75	2,535	0,374	2,481	1,508	0,84	0,4	0,417	0,658
KON	2,39	1,74	0,88	2,217	1,276	2,791	0,959	1,132	0,709	0,66	0,911
POT	16,58	3,19	14,97	25,26	14,64	17,04	18,4	22,43	25,67	33,61	10,78

**Příloha 25:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu amonných iontů z kontrolní nehnojené parcely

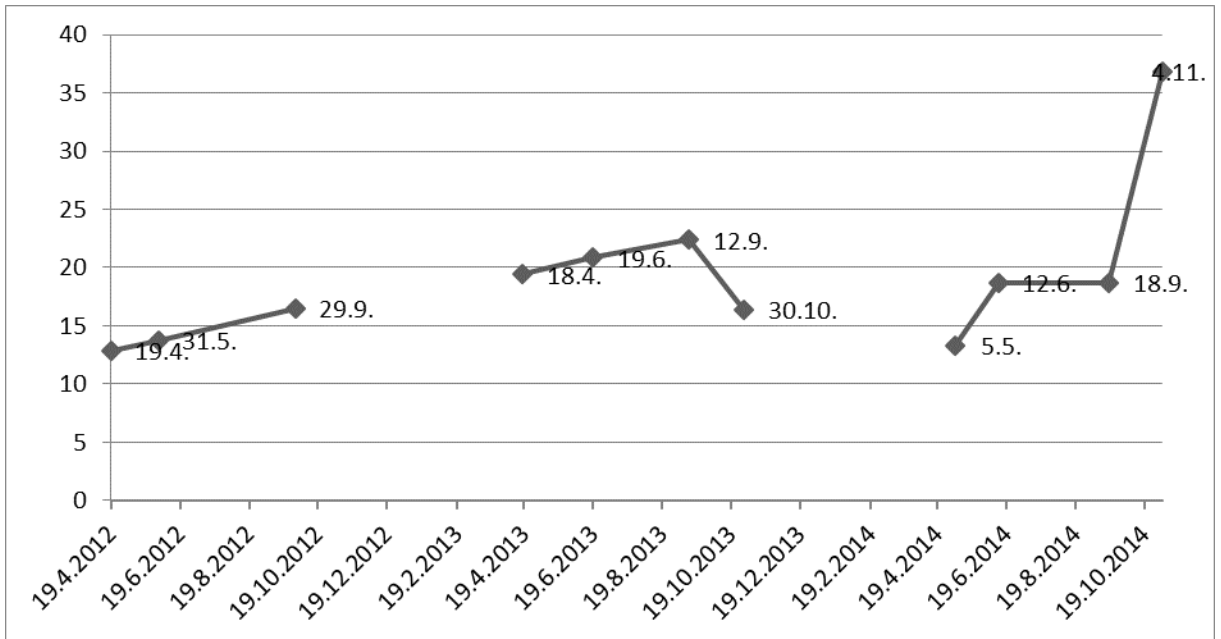


**Příloha 26:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu amonných iontů z parcely hnojené minerálními hnojivy

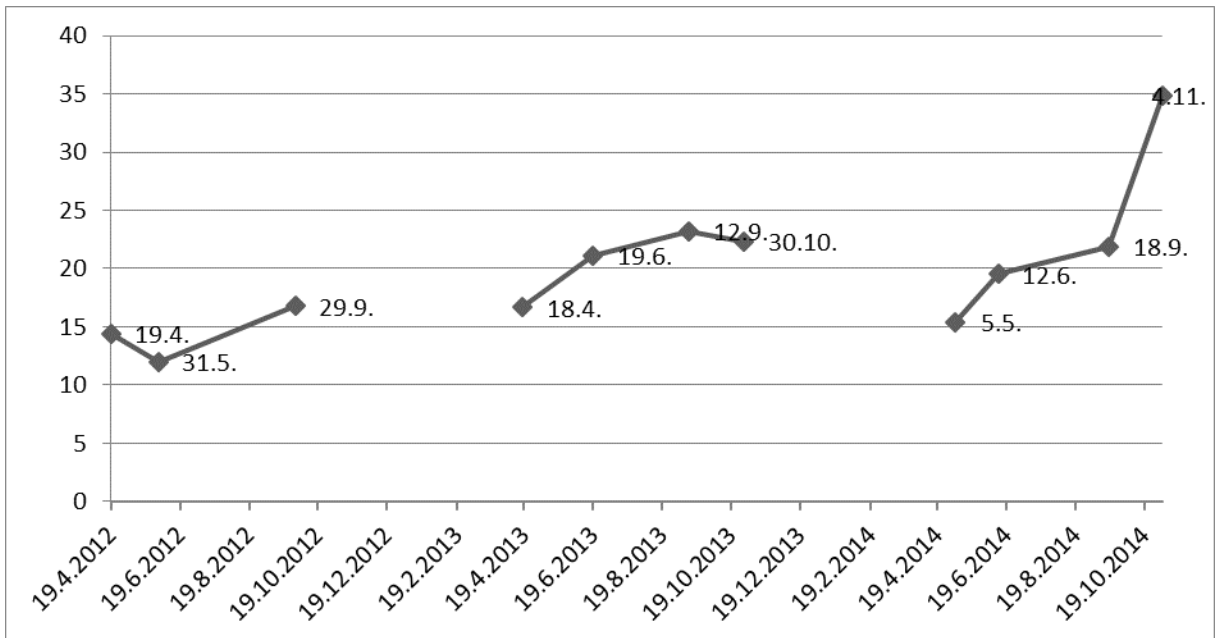




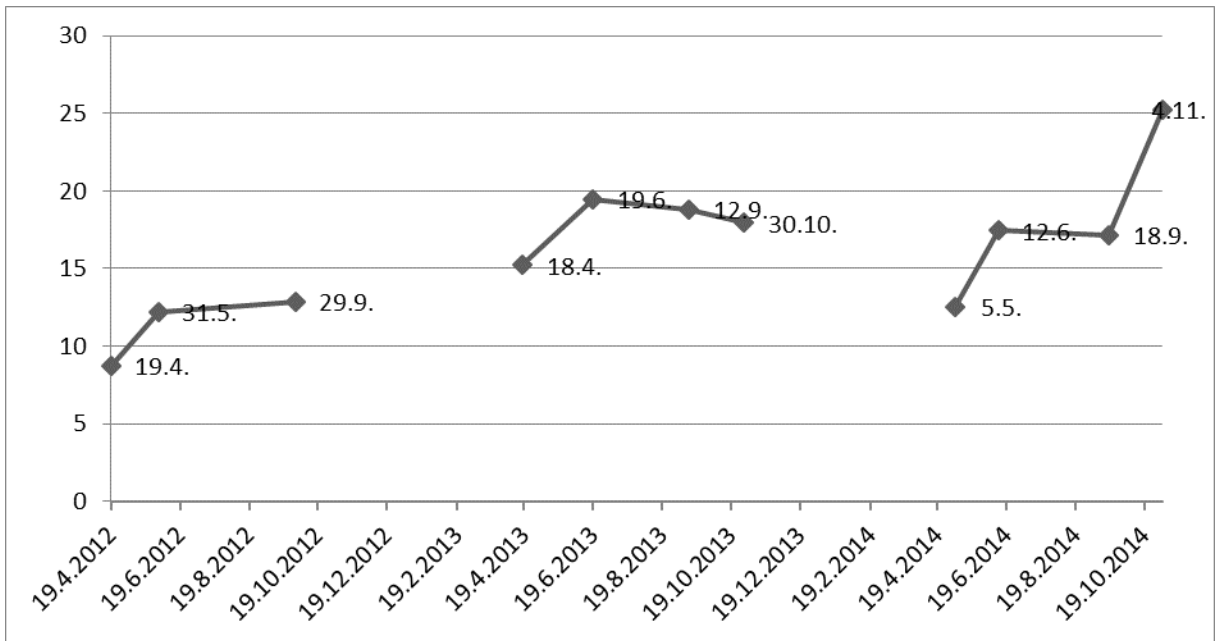
**Příloha 27:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu amonných iontů z parcely hnojené základní dávkou kalu



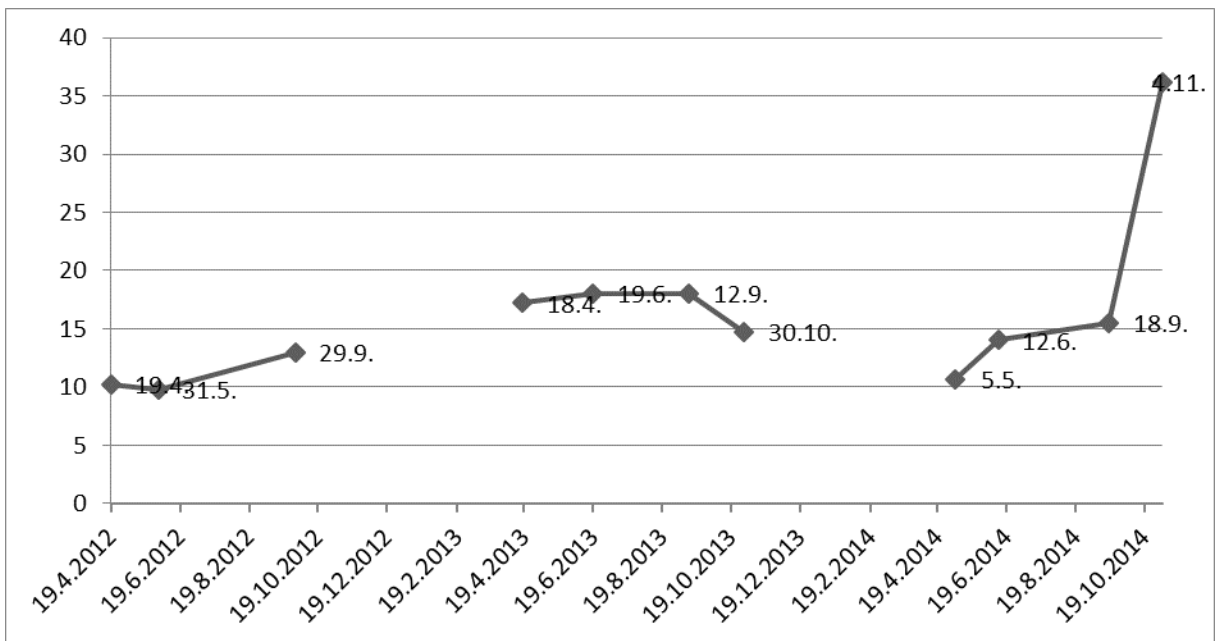
**Příloha 28:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu amonných iontů z parcely hnojené trojnásobnou dávkou kalu



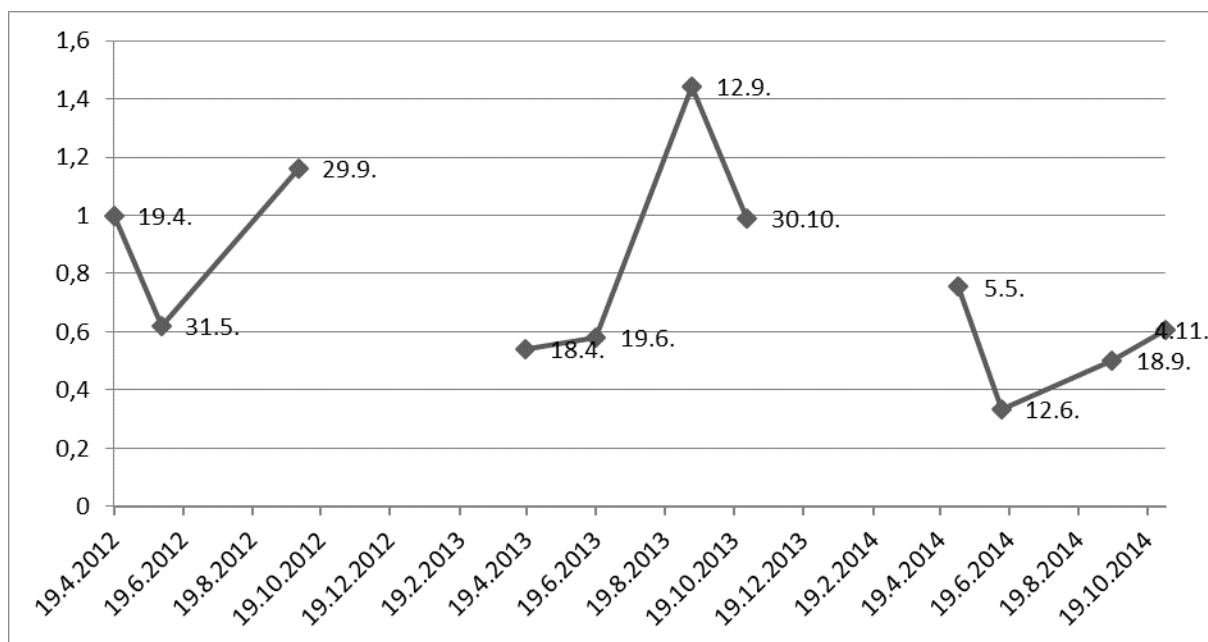
**Příloha 29:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu amonných iontů z parcely hnojené základní dávkou hnoje



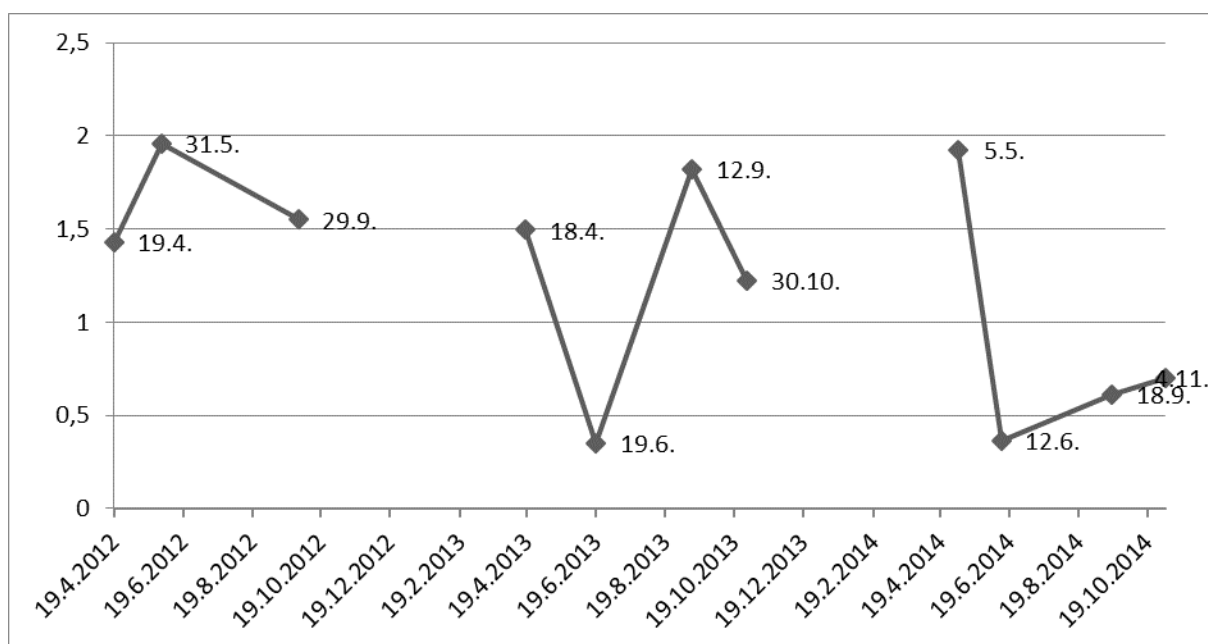
**Příloha 30:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu amonných iontů z parcely hnojené poloviční dávkou hnoje



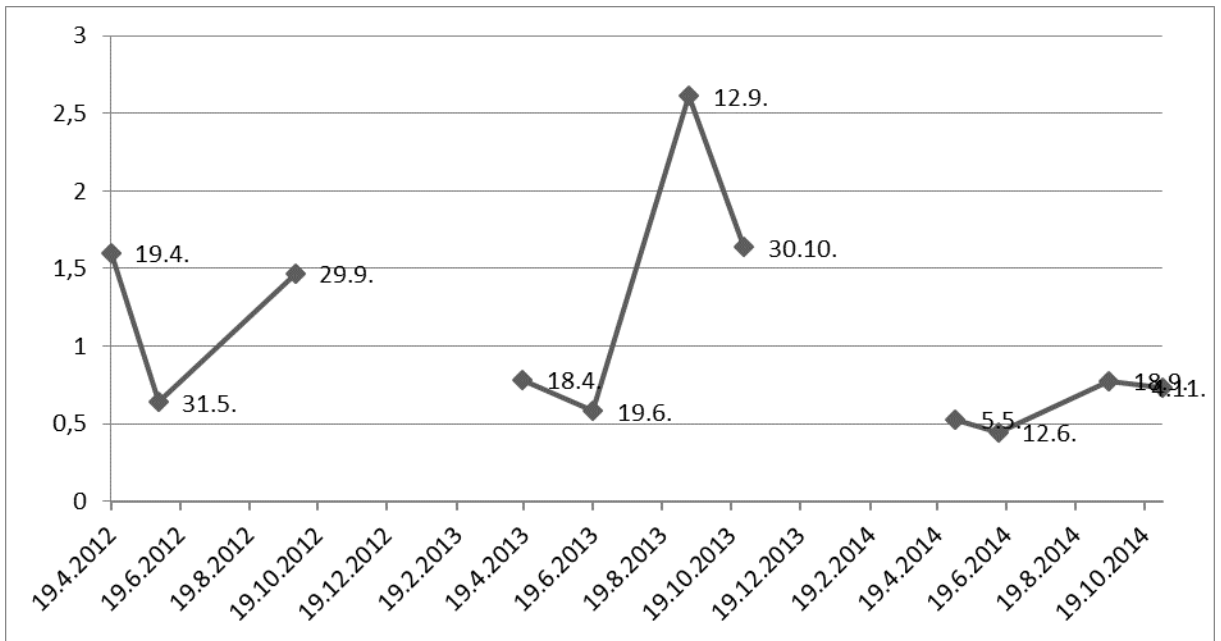
**Příloha 31:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu nitrátů z kontrolní nehnojené parcely



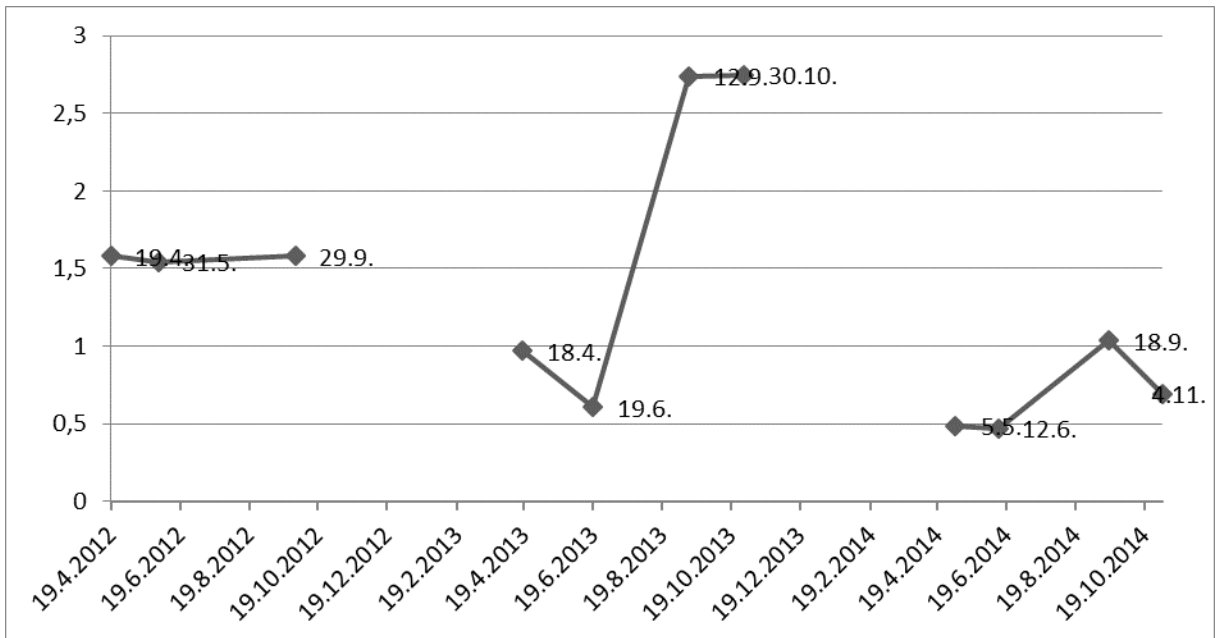
**Příloha 32:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu nitrátů z parcely hnojené minerálními hnojivy



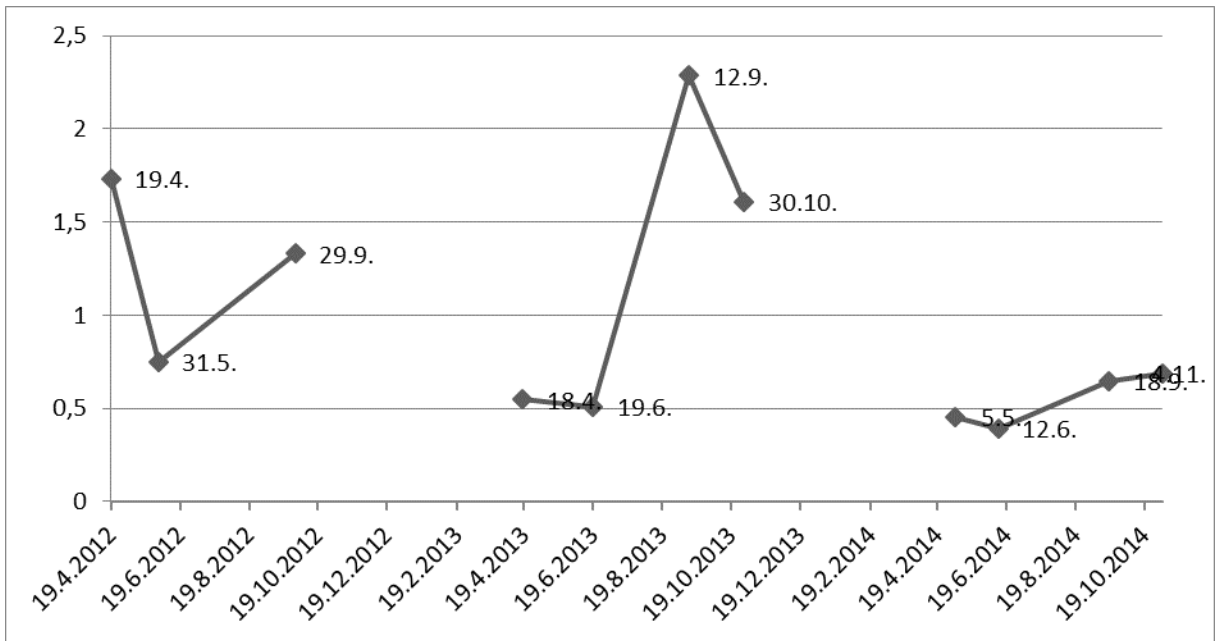
**Příloha 33:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu nitrátů z parcely hnojené základní dávkou kalu



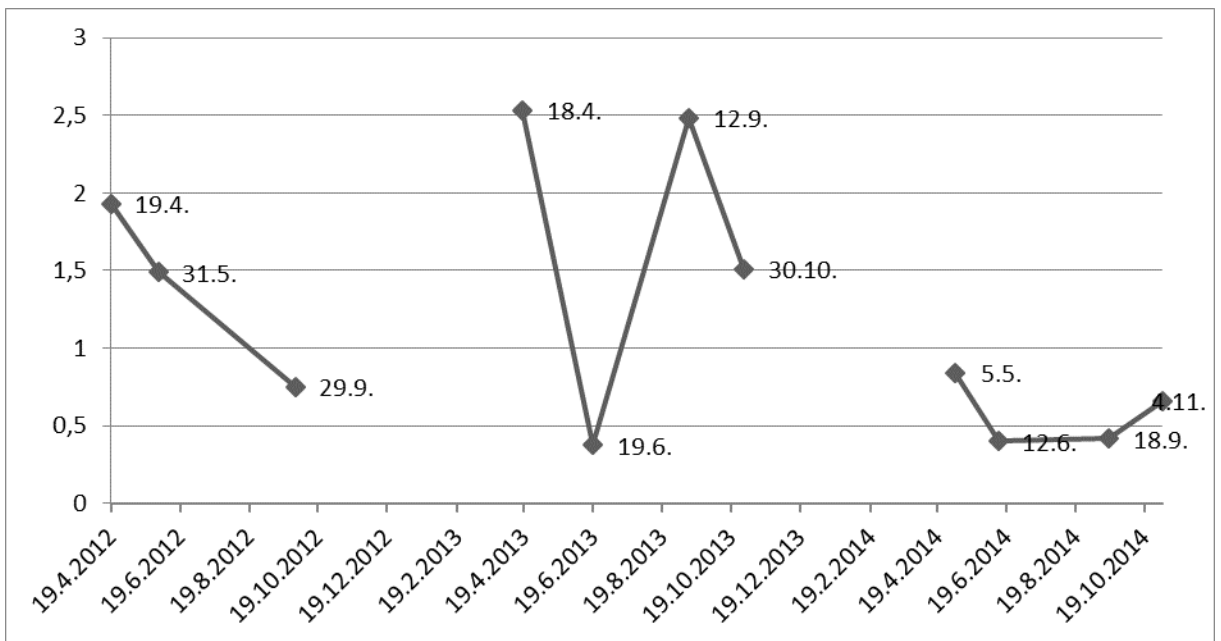
**Příloha 34:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu nitrátů z parcely hnojené trojnásobnou dávkou kalu



**Příloha 35:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu nitrátů z parcely hnojené základní dávkou hnoje



**Příloha 36:** Graf: Výsledky měření aktuálního obsahu nitrátů z parcely hnojené poloviční dávkou hnoje



**Příloha 37:** Tabulka ke Grafu 1: Obsah N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v jednotlivých variantách a na jednotlivých parcelách

	KON	NPK	K1	K3	H1	H1/2
AKTUÁLNÍ	17,05	16,71	19,06	19,82	16,15	16,13
INKUBOVANÁ KONTROLA	15,96	13,66	16,64	17,80	16,44	14,30
POTENCIÁLNÍ	203,41	196,48	208,16	222,23	203,52	192,37

**Příloha 38:** Tabulka ke Grafu 6: Obsah N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v jednotlivých variantách a na jednotlivých parcelách

	KON	NPK	K1	K3	H1	H1/2
AKTUÁLNÍ	0,78	1,22	1,07	1,31	0,99	1,22
INKUBOVANÁ KONTROLA	1,02	1,50	1,34	1,63	1,21	1,42
POTENCIÁLNÍ	9,42	25,96	27,10	30,29	13,88	18,41

**Příloha 39:** Tabulka ke Grafu 3: Porovnání aktuálních obsahů N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> u jednotlivých variant hnojení

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Grafy1_amonifikace) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	Stupně volnosti	hodnota SČ	hodnota PČ	hodnota F	hodnota p
Abs. člen	1	20179,67	20179,67	3215,804	0,000000
datum	10	2072,42	207,24	33,026	0,000000
parcela	5	135,54	27,11	4,320	0,002412
Chyba	50	313,76	6,28		
Celkem	65	2521,71			

**Příloha 40:** Podrobnější vyhodnocení předchozí tabulky – Tukeyův test

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná hodnota (Grafy1_amonifikace) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: Between MSE = 6,2752, sv = 50,000						
	parcela	1	2	3	4	5	6
		17,054	16,705	19,058	19,816	16,150	16,130
1	KON		0,999519	0,428433	0,119920	0,957191	0,952978
2	NPK	0,999519		0,254734	0,056680	0,995233	0,994321
3	K1	0,428433	0,254734		0,979992	0,088629	0,084821
4	K3	0,119920	0,056680	0,979992		0,014632	0,013873
5	H1	0,957191	0,995233	0,088629	0,014632		1,000000
6	H1/2	0,952978	0,994321	0,084821	0,013873	1,000000	

**Příloha 41:** Tabulka ke Grafu 4: Porovnání obsahů N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> po inkubaci v komorovém termostatu u jednotlivých variant hnojení

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Grafy2_amonifikace) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	Stupně volnosti	hodnota SČ	hodnota PČ	hodnota F	hodnota p
Abs. člen	1	16479,80	16479,80	2816,121	0,000000
datum	10	530,59	53,06	9,067	0,000000
parcela	5	131,55	26,31	4,496	0,001844
Chyba	50	292,60	5,85		
Celkem	65	954,73			

**Příloha 42:** Podrobnější vyhodnocení předchozí tabulky – Tukeyův test

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná hodnota (Grafy2_amonifikace) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: Between MSE = 5,8520, sv = 50,000						
	parcela	1	2	3	4	5	6
		15,961	13,664	16,641	17,800	16,443	14,301
1	KON		0,244034	0,985561	0,485681	0,997119	0,596317
2	NPK	0,244034		0,060363	0,002751	0,094555	0,989301
3	K1	0,985561	0,060363		0,869316	0,999964	0,226090
4	K3	0,485681	0,002751	0,869316		0,774762	0,016305
5	H1	0,997119	0,094555	0,999964	0,774762		0,316103
6	H1/2	0,596317	0,989301	0,226090	0,016305	0,316103	

**Příloha 43:** Tabulka ke Grafu 5: Porovnání potenciálních obsahů N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> u jednotlivých variant hnojení

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Grafy3_amonifikace) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	Stupně volnosti	hodnota SČ	hodnota PČ	hodnota F	hodnota p
Abs. člen	1	2756479	2756479	5367,234	0,000000
datum	10	109969	10997	21,412	0,000000
parcela	5	5953	1191	2,318	0,057028
Chyba	50	25679	514		
Celkem	65	141601			

**Příloha 44:** Tabulka ke Grafu 8: Porovnání aktuálních obsahů N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u jednotlivých variant hnojení

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Grafy4_nitrifikace) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	Stupně volnosti	hodnota SČ	hodnota PČ	hodnota F	hodnota p
Abs. člen	1	79,72005	79,72005	473,5548	0,000000
datum	10	18,48420	1,84842	10,9800	0,000000
parcela	5	2,09760	0,41952	2,4920	0,043168
Chyba	50	8,41719	0,16834		
Celkem	65	28,99899			

**Příloha 45:** Podrobnější vyhodnocení předchozí tabulky – Tukeyův test

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná hodnota (Grafy4_nitrifikace) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: Between MSE = ,16834, sv = 50,000						
	parcela	1	2	3	4	5	6
		,77566	1,2209	1,0736	1,3133	,99441	1,2165
1	KON		0,130907	0,536538	0,038030	0,809839	0,138008
2	NPK	0,130907		0,958098	0,994825	0,786720	1,000000
3	K1	0,536538	0,958098		0,744386	0,997516	0,963118
4	K3	0,038030	0,994825	0,744386		0,461210	0,993577
5	H1	0,809839	0,786720	0,997516	0,461210		0,800064
6	H1/2	0,138008	1,000000	0,963118	0,993577	0,800064	



**Příloha 46:** Tabulka ke Grafu 9: Porovnání obsahů N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> po inkubaci v komorovém termostatu u jednotlivých variant hnojení

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Grafy5_nitrifikace) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	Stupně volnosti	hodnota SČ	hodnota PČ	hodnota F	hodnota p
Abs. člen	1	154,4532	154,4532	80,53536	0,000000
datum	10	52,9292	5,2929	2,75985	0,008623
parcela	5	5,0376	1,0075	0,52534	0,755944
Chyba	50	95,8915	1,9178		
Celkem	65	153,8583			

**Příloha 47:** Tabulka ke Grafu 10: Porovnání potenciálních obsahů N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u jednotlivých variant hnojení

Efekt	Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Grafy6_nitrifikace) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	Stupně volnosti	hodnota SČ	hodnota PČ	hodnota F	hodnota p
Abs. člen	1	28674,14	28674,14	196,9219	0,000000
datum	10	3729,02	372,90	2,5609	0,013906
parcela	5	3733,63	746,73	5,1282	0,000714
Chyba	50	7280,59	145,61		
Celkem	65	14743,24			

**Příloha 48:** Podrobnější vyhodnocení předchozí tabulky – Tukeyův test

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná hodnota (Grafy6_nitrifikace) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: Between MSE = 145,61, sv = 50,000						
	parcela	1	2	3	4	5	6
		9,4208	25,946	27,098	30,287	13,878	18,414
1	KON		0,026295	0,014493	0,002409	0,952824	0,507851
2	NPK	0,026295		0,999931	0,958479	0,194477	0,686153
3	K1	0,014493	0,999931		0,989111	0,124246	0,546237
4	K3	0,002409	0,958479	0,989111		0,028158	0,210479
5	H1	0,952824	0,194477	0,124246	0,028158		0,949215
6	H1/2	0,507851	0,686153	0,546237	0,210479	0,949215	