

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv způsobu hospodaření a půdních podmínek na obsah  
mineralizovatelného dusíku v půdě**

**Diplomová práce**

**Bc. Anežka Dittrichová**

**Zemědělství a rozvoj venkova – Ekologické zemědělství**

**Ing. Jindřich Černý, Ph.D.**

**© 2023 ČZU v Praze**



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv způsobu hospodaření a půdních podmínek na obsah mineralizovatelného dusíku v půdě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych vyjádřila své poděkování panu Ing. Jindřichu Černému, Ph.D., za jeho odborné vedení, cenné rady a trpělivý přístup, který mi poskytl.

# Vliv způsobu hospodaření a půdních podmínek na obsah mineralizovatelného dusíku v půdě

## Souhrn

Tato práce se zabývá příjmem a využitím dusíku rostlinami při použití různých systémů hnojení. V literární rešerši je popsán organický dusík a minerální dusík. Dále jsou uvedeny formy mineralizovatelného dusíku v půdě a jejich možné zjištění. Uvedena jsou organická hnojiva povolená v rámci ekologického zemědělství a popsány jsou jejich přínosy pro zvýšení obsahu dusíku v půdě a výživu rostlin.

V experimentální části byla pro tuto práci vybrána dvě stanoviště s odlišnými půdně-klimatickými podmínkami, a to konkrétně Humpolec a Hněvčeves. Tam probíhají dlouhodobé polní pokusy založené v roce 1996. V rámci této práce byly hodnoceny čtyři varianty. Nehnojená kontrolní varianta, dále varianta hnojená chlévským hnojem, který je běžně využíván jako organické hnojivo v ekologickém zemědělství. Druhé dvě varianty NPK a N+sláma sloužily jako srovnávací.

Je předpoklad, že vyšší obsah mineralizovatelného dusíku v půdě bude na stanovišti s úrodnější půdou (např. hnědozem) ve srovnání s méně úrodnou půdou (např. kambizemí). Na základě výsledků se tento předpoklad nepotvrdil, jelikož z analýz sledovaných dat bylo zjištěno, že vyšší obsah potenciálně mineralizovatelného dusíku stanovený metodou–extrakce horkou vodou ( $N_{HWE}$ ) byl zaznamenán na stanovišti Humpolec (kambizem), kde se hodnoty obsahu  $N_{HWE}$  pohybovaly v rozmezí od 38,09-50,68 mg/kg.

Na stanovišti Hněvčeves (hnědozem) se zjištěné hodnoty obsahu  $N_{HWE}$  pohybovaly v intervalu hodnot 29,6-34,19 mg/kg. Dále se předpokládalo, že vyšší obsah potenciálně mineralizovatelného dusíku je na variantách s organickým hnojením, a naopak nižší na variantách s minerálním hnojením. Tento předpoklad se potvrdil, jelikož nejvyšší obsah  $N_{HWE}$  byl na obou stanovištích zaznamenán na variantě Hnůj a zároveň na variantě Hnůj na stanovišti Humpolec byl zaznamenán i vyšší podíl  $N_{HWE}$  z celkového obsahu dusíku a činil 3,23 %.

**Klíčová slova:** mineralizovatelný dusík, ekologické zemědělství, extrakce horkou vodou, uhlík, hnůj

# The impact of farming practices and soil conditions on the content of mineralizable nitrogen in the soil.

## Summary

This thesis deals with the uptake and utilization of nitrogen by plants using different fertilizer systems. The literature review describes organic and mineral nitrogen. Furthermore, the forms of mineralizable nitrogen in the soil and their possible determination are presented. Organic fertilizers allowed in organic farming are listed, and their benefits for increasing soil nitrogen content and plant nutrition are described.

In the experimental part of this study, two sites with different soil and climate conditions were selected, specifically Humpolec and Hněvčeves, where long-term field experiments were established in 1996. Four variants were evaluated within this study. The unfertilized control variant, as well as the variant fertilized with manure, which is commonly used as organic fertilizer in organic farming. The second two variants, NPK and N+straw, served as comparative variants.

It is assumed that the higher content of mineralizable nitrogen in the soil will be on the site with more fertile soil (e.g. chernozem) compared to less fertile soil (e.g. cambisols). Based on the results, this assumption was not confirmed, as it was found from the analysis of the monitored data that higher content of potentially mineralizable nitrogen determined by the hot water extraction method ( $N_{HWE}$ ) was recorded at the Humpolec site (cambisol), where the values ranged from 38.09-50.68 mg/kg. The  $N_{HWE}$  content values at the Hněvčeves site (chernozem) ranged from 29.6-34.19 mg/kg. It was also assumed that higher content of potentially mineralizable nitrogen is in variants with organic fertilization, and vice versa, lower in variants with mineral fertilization. This assumption was confirmed, as the highest  $N_{HWE}$  content was recorded on both sites in the variant with manure, and a higher proportion of  $N_{HWE}$  from the total nitrogen content, 3.23 %, was also recorded in the manure variant.

**Keywords:** mineralizable nitrogen, organic farming, hot water extraction, carbon, manure

<b>1</b>	<b>Obsah</b>	
<b>2</b>	Úvod .....	<b>9</b>
<b>3</b>	Vědecká hypotéza a cíle práce .....	<b>10</b>
<b>4</b>	Literární rešerše.....	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>Obsah a formy dusíku v půdě .....</b>	<b>11</b>
4.1.1	Organický dusík .....	11
4.1.2	Mineralizované formy dusíku .....	12
4.1.3	Minerální dusík .....	17
<b>4.2</b>	<b>Půdní organická hmota.....</b>	<b>18</b>
4.2.1	Poměr C/N .....	19
<b>4.3</b>	<b>Přeměny dusíku v půdě .....</b>	<b>20</b>
4.3.1	Mineralizace.....	21
4.3.2	Amonizace .....	21
4.3.3	Nitrifikace .....	22
4.3.4	Heterotrofní nitrifikace .....	22
4.3.5	Denitrifikace .....	23
4.3.6	Ztráty dusíku .....	23
<b>4.4</b>	<b>Dusík v rostlině.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5</b>	<b>Zdroje a příjem dusíku rostlinami .....</b>	<b>24</b>
4.5.1	Fixace dusíku rostlinami .....	24
4.5.2	Příjem dusíku a jeho asimilace rostlinami .....	24
4.5.3	Transporty dusíku v rostlině .....	25
<b>4.6</b>	<b>Možnosti využití dusíku v EZ.....</b>	<b>26</b>
4.6.1	Organická hnojiva .....	27
<b>5</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Charakteristika pokusných stanovišť .....</b>	<b>30</b>
5.1.1	Systém hnojení.....	31
5.1.2	Analýzy půdních vzorků .....	32
5.1.3	Zpracování výsledků.....	32
5.1.4	Výpočet celkového dusíku a uhlíku v půdě (kg/ha) .....	32
<b>6</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Obsah celkového organického dusíku a uhlíku v půdě .....</b>	<b>33</b>

<b>6.2</b>	<b>Mineralizovatelné formy dusíku.....</b>	<b>39</b>
6.2.1	Horkou vodou extrahovatelný dusík a uhlík.....	39
<b>7</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>46</b>
7.1	Celkové množství dusíku v půdě.....	46
7.2	Poměr C/N .....	47
7.3	Obsah potenciálně mineralizovatelného dusíku a uhlíku v půdě .....	48
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>Seznam tabulek a grafů.....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Samostatné přílohy.....</b>	<b>60</b>
11.1	Fotodokumentace .....	I
11.2	Výstupy ze statistiky .....	I



## 2 Úvod

Dusík se vyskytuje v půdě, ve vodě a ve vzduchu a je nepostradatelný pro všechny organismy. Spolu s uhlíkem je jedním z nejdůležitějších prvků v celkovém koloběhu na Zemi. Pro výživu rostlin je dusík velmi důležitý, ale jeho přeměna na dostupnou formu pro rostliny je složitý proces. Jeho obsah v zemině je klíčový, protože při nedostatku dusíku jsou výnosy nízké a rostliny jsou méně kvalitní, zatímco při nadměrném množství může dusík poškodit jak rostliny, tak i životní prostředí.

V půdě je organický uhlík a dusík vzájemně propojen a jejich dynamika je klíčová v agroekosystémech. Doporučené způsoby hospodaření podporují tvorbu půdní organické hmoty a zvyšují mineralizaci organického dusíku v půdě. Mezi tyto způsoby patří například přidávání živočišného hnojení, používání luskovin v osevním postupu a kontinuální bezorebné obdělávání půdy, které mají tendenci zvyšovat labilní zásoby organického uhlíku a mineralizovatelného dusíku v půdě. Dusík v půdě není vždy v takové formě, aby byl snadno dostupný pro rostliny. Potenciálně mineralizovatelný dusík se týká množství dusíku, které může být uvolněno z organických zdrojů v půdě a následně se stát snadno dostupným pro rostliny.

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují proces mineralizace dusíku z půdní organické hmoty, jako je typ a pH půdy, obsah organického materiálu, klimatické podmínky a mikrobiální aktivita. Využití potenciálně mineralizovatelného dusíku může pozitivně ovlivnit výnosy plodin a snížit náklady na hnojení, což má vliv na udržitelnost zemědělské produkce a životní prostředí. Při podobných ročních povětrnostních podmínkách může množství mineralizovatelného dusíku z půdní organické hmoty kolísat více než o 100 % v závislosti na stavu zásobení půdy. Podpora mineralizace půdního organického dusíku je v ekologickém zemědělství klíčová, zejména vzhledem k vysokým limitům na externí vstupy do půdy.

Ekologické zemědělství nesmí používat minerální hnojiva a pesticidy, a tedy spoléhá na organická hnojiva a fixaci vzdušného dusíku. Pro podporu zvýšení mineralizace dusíku v půdě je proto důležité podporovat půdní organickou hmotu racionálním používáním organických hnojiv.

### **3 Vědecká hypotéza a cíle práce**

#### **Hypotézy:**

1. Předpokládá se, že obsah mineralizovatelného dusíku v půdě bude ovlivněn půdně–klimatickými podmínkami stanoviště.
2. Předpokládá se, že vyšší obsah mineralizovatelného dusíku v půdě bude na stanovišti s úrodnější půdou (např. hnědozemí) ve srovnání s méně úrodnou půdou (např. kambizemí).
3. Předpokládá se, že vyšší obsah mineralizovatelného dusíku bude na variantách s organickým hnojením, a naopak nižší na variantách s minerálním hnojením.

## 4 Literární rešerše

### 4.1 Obsah a formy dusíku v půdě

Dusík se v půdě vyskytuje v organických formách či anorganických formách (amoniak ( $\text{NH}_4^+$ ) a dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ )). Celkový obsah dusíku se v půdě pohybuje v rozmezí 0,1-0,2 %, a to představuje 3000-6000 kg dusíku v ornici na jeden hektar. Dusíkem nejlépe zásobené půdy jsou černozemě a hnědozemě ve srovnání s ostatními půdami genetického typu (Vaněk 2016).

Většina dusíku je vázána v půdní organické hmotě. Tato složitá skupina organických sloučenin tvoří zhruba 20-25 % celkového dusíku v půdě, ale toto číslo se může značně lišit v závislosti na způsobech obhospodařování půdy: střídání plodin, obdělávání půdy a používání statkových hnojiv (Drinkwater et al. 2015).

#### 4.1.1 Organický dusík

Převažujícím zdrojem dusíkatých sloučenin v půdě jsou organické sloučeniny. Organické sloučeniny se dostávají do půdy jako rostlinné či živočišné zbytky, biomasa mikroorganismů, jejich metabolity, humusové látky vznikající při transformaci organických látek apod. Dusík těchto sloučenin je pro rostliny nedostupný (Balík, Černý, and Kulhánek 2012).

Z celkového půdního dusíku je půdní organický dusík tvořen přibližně ze 20-40 % bílkovinným materiálem (bílkoviny, peptidy a aminokyseliny), z 5-6 % aminocukry, z 35 % heterocyklickými dusíkatými sloučeninami (včetně purinů a pyrimidinů) a 19 % tvoří  $\text{NH}_3$ , přičemž  $\frac{1}{4}$  je stanovena jako  $\text{NH}_4^+$ . Převažují tedy bílkovinné látky a heterocyklické sloučeniny. Organické formy dusíku v půdě byly studovány podle uvolňovaných organických sloučenin v kyselých půdách při vyšších teplotách. Organická forma dusíku získaná kyselou hydrolyzou je hydrolyzovatelný celkový dusík, rozdělený na hydrolyzovatelný  $\text{NH}_4^+$ -N, aminocukry-N, aminokyseliny-N a neidentifikovaný dusík a dusík nerozpustný v kyselině, což je forma spojená s půdními minerály po kyselé hydrolyze (Balík et al. 2012; Francisco da Silva et al. 2020).

Fracionace umožňuje oddělit z půdy přijatelné formy dusíku, jako např. amid-N a amino-N (hydrolyzovatelný kyselinou), které mohou být rychle uvolňovány v půdě mineralizací, kde se uvolňuje anorganický dusík ( $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ ) do půdního roztoku (Otto et al. 2013).

Většina organického dusíku však může v půdě tvořit stabilnější formy, jako např. nehydrolyzovatelný dusík a neidentifikovaný dusík. Změny v nehydrolyzovatelném dusíku

mohou souviset s obhospodařováním půdy, protože čím vyšší je intenzita hydrolyzy organických forem dusíku v půdě, tím vyšší je přítomnost jemnějších částic, které vytvářejících

jílovito-hlinité komplexy, které tvoří nehydrolyzovaný dusík. Organický dusík je důležitou složkou organické hmoty v půdě, a jako takový hraje klíčovou roli v cyklu dusíku a produkci plodin (Hagemann et al. 2016).

Organicky vázaný podíl dusíku je tvořen převážně dusíkem obsaženého v humusových substancích. Dále se vyskytuje v bílkovinách, nebílkovinných amidových sloučeninách a v produktech částečného rozkladu bílkovin. Organický dusík se uvolňuje (mineralizuje) mikrobiální činností do forem přístupných rostlinám. Anorganický dusík se uvolňuje z organického dusíku v půdě, zejména z bílkovin a aminokyselin (Balík et al. 2012).

#### 4.1.2 Mineralizované formy dusíku

Mineralizovatelné formy dusíku jsou oproti obsahu celkového dusíku mnohem více ovlivněné zemědělskou činností. Z množství celkového dusíku v půdě tvoří sice malý podíl, avšak výrazně se podílejí na výživě rostlin a také na přeměnách mikrobiální biomasy. Jednotlivé složky jsou zobrazeny v tabulce 1. V zemědělské praxi se nejčastěji využívá stanovení minerálního dusíku (Balík et al. 2012).

Tabulka 1 Formy mineralizovatelného dusíku (Balík et al. 2012)

Složky	Popis	Způsob měření
horkou vodou extrahovatelný dusík	dusík, který lze z půdy extrahovat horkou vodou	půdní testy, které měří horkou vodou extrahovatelný dusík
dusík mikrobiální biomasy	dusík, který je spojen s živou mikrobiální biomasou v půdě	půdní testy, které měří dusík mikrobiální biomasy
dusík stanovený inkubačními testy	dusík, který je mineralizován z organické hmoty půdy během specifické inkubační doby	půdní testy, které měří potenciál mineralizace dusíku
extrahovatelný organický dusík	dusík, který lze extrahovat z půdy roztokem, který rozkládá organickou hmotu	půdní testy, které měří extrahovatelný organický dusík

Množství forem mineralizovatelného dusíku v půdě se může lišit v závislosti na různých faktorech, jako je typ půdy, klima, využití půdy, postupy hospodaření a další. Měřením těchto různých forem dusíku v půdě mohou pěstitelé a výzkumníci lépe porozumět stavu živin v půdě a činit informovaná rozhodnutí o hnojení a postupech hospodaření s půdou (Spargo et al. 2011). Potenciální mineralizovatelný dusík odkazuje na množství dusíku, které mineralizuje za optimálních a konstantních podmínek prostředí. Od roku 1900 se zásoba půdy dusíku odhaduje pomocí biologických a chemických metod, včetně testů dostupných dusičnanů a (potenciálně) mineralizovatelného dusíku (Wivstad et al. 2005).

U mineralizovatelných forem dusíku v půdě je důležitou složkou mikrobiální biomasa (Ros et al. 2011). Mikrobiální biomasa představuje významný zdroj živin pro rostliny, například dusíku, síry či fosforu a patří mezi lehce rozložitelné zdroje organické hmoty. V mikrobiální biomase orných půd je uváděn obsah 225 kg dusíku na hektar. Mineralizovatelný dusík se vztahuje k množství dusíku v půdě, které se uvolňuje v průběhu jednoho roku, a obvykle se vyjadřuje v  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  nebo jako míra ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$ ).

Délka experimentálního období, během kterého se měří mineralizace, se pohybuje od 7 do 210 dnů a odhaduje se z nárůstu anorganického dusíku během hnojení nebo z příjmu dusíku rostlinami pěstovanými ve skleníku (Balík et al. 2012; Thornton et al. 2013).

Index dostupnosti dusíku představuje specifický indikátor, který ukazuje množství dusíku v mikrobiální biomase (Elbl et al. 2015). Tato metoda tedy ukazuje dostupnost dusíku pro půdní mikroby. Existuje předpoklad, že index dostupnosti dusíku koreluje se schopností půdních mikrobů využívat minerální dusík. Mikrobiální dusík je významný zdroj rychle mineralizovatelného dusíku a dobrá korelace ( $r^2=0,9$ ) je zjištěna mezi obsahem dusíku v mikrobiální biomase a příjmem dusíku pšenice.

Studie Singh et al. (2009) ukázaly, že procentuální podíl mikrobiálního dusíku na celkovém množství dusíku činil 8,01-19,15 %. Mikrobiální dusík pozitivně koreloval s anorganickým dusíkem ( $n=180$ ,  $r=0,80$ ,  $p<0,001$ ). Celkově lze říci, že ačkoli existuje pozitivní korelace mezi mikrobiální biomasou a příjmem dusíku pšenice, tento vztah je komplexní a může být ovlivněn různými faktory. Proto je při hodnocení stavu živin v půdě a rozhodování o hnojení a dalších způsobech hospodaření důležité brát v úvahu více faktorů. Pro rostliny je mineralizace mikrobiální biomasy důležitá, jelikož pro ně představuje rozhodující část dostupného dusíku. Přesný odhad mineralizovatelného dusíku z půdní organické hmoty je nezbytný pro zlepšení hospodaření s hnojivem v zemědělských systémech (Xu et al. 2013).

### **Extrahovatelný organický dusík**

Bylo navrženo mnoho chemických půdních testů měřících extrahovatelný organický dusík k určení mineralizovatelného dusíku. Ve studii Ros et al. (2011) vyhodnotili prediktivní hodnotu půdních testů pomocí 2068 pozorování zobrazeno v tabulce 2.

Metaanalýza byla použita k nalezení nejlepšího půdního testu, k analýze rozdílů mezi terénními a laboratorními experimenty a k určení, zda je jejich předpověď hodnota ovlivněna intenzitou extrakce. Průměrný korelační koeficient  $r$  ve všech půdních testech byl 0,69, což znamená, že frakce extrahovatelného organického dusíku obecně vysvětluje 47 % změn mineralizovatelného dusíku ( $n=1675$ ,  $P<0,05$ ).

Množství celkového dusíku vysvětloval 43 % variability ( $n=393$ ,  $P<0,05$ ). Jeden z důležitých faktorů je samotný postup extrakce: průměrné vysvětlené procento v mineralizovatelném dusíku pomocí organického extrahovatelného dusíku se pohybovalo od 20 do 74 % pro různé formy organického extrahovatelného dusíku. Dalším faktorem je přesnost biologické metody, která se používá jako referenční.

Ačkoli se biologické metody používají ke kalibraci chemických půdních testů již desítky let, neexistuje shoda na tom, která z nich se má používat pro kritické hodnocení půdních testů (Wang et al. 2001).

Tabulka 2 Charakteristiky chemických extrakčních metod použitých v analyzovaných  
upraveno dle (Ros et al. 2011)

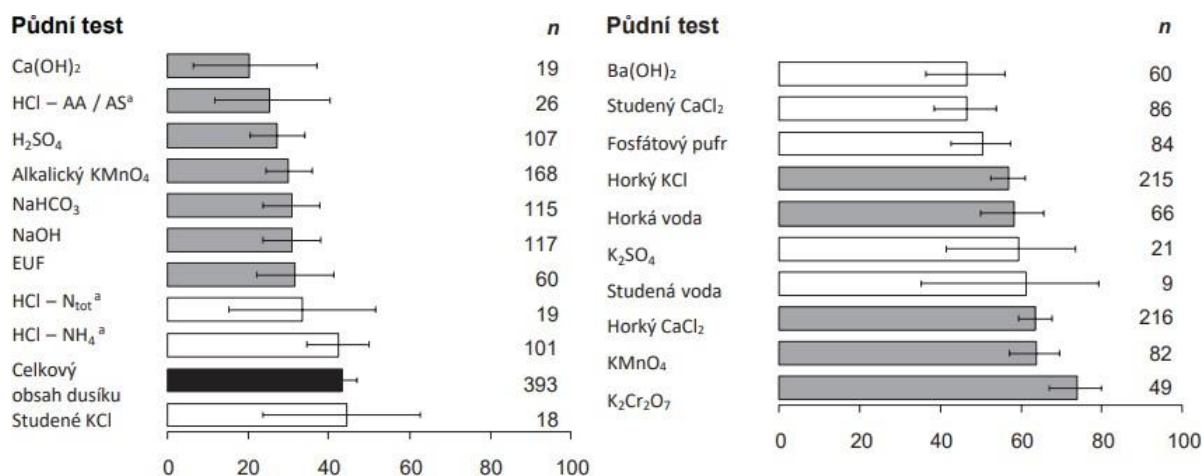
METODA A	SOLI <sub>A</sub>	M / MOL L <sup>-1</sup>	SSR / ML G <sup>-1</sup>	TEPLOTA / °C	ČAS/ MINUTY	N- FRACTION <sup>B</sup>	N C
Studené CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	0,01	5-10	20-25	30-120	N <sub>org</sub>	2 1
Horké CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	0,01	1-10	80-121	20 -8640	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	3 2
Studené KCl	KCl	1-2	2-10	20-25	60-240	N <sub>org</sub>	8
Horké KCl	KCl	1-3	2-10	35-120	60-1200	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	5 1
Studená voda	—	—	2-8	20-25	15-30	N <sub>org</sub>	3
Horká voda	—	—	2-8	80-100	60-990	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	1 6
Acid K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,02-1,0	1-60	20-25	30-60	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ;	8
NaOH	NaOH	0,1-10	2-10	20-100	4-2520	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	2 7
Ba(OH) <sub>2</sub>	Ba(OH) ) <sub>2</sub>	0,05-0,1	10	20-25	30-90	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	1 4
Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca(OH) ) <sub>2</sub>	0.05	10	100	30	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub>	6
Acid KMnO <sub>4</sub>	KMnO 4	0,01-0,1	1-50	20-25	60-120	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	1 4
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5-1.0						
NaHCO <sub>3</sub>	NaHC O <sub>3</sub>	0,01-0,5	5 -20	20-25	15-300	N <sub>org</sub>	2 8
HCl	HCl	0,02-6	1-10	20-115	30-1440	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	1 6
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1-18	2-80	20-100	15-1680	N <sub>org</sub> +NH <sub>4</sub> ; N <sub>org</sub>	2 3

Vysvětlené údaje k tabulce 2: pozorovaný rozsah molarity (M), hmotnost půdního roztoku (SSR), teplota extrakce (Teplota), doba extrakce (Čas) a naměřené frakce dusíku (N) pro 18 půdních testů. aEUF elektro-ultrafiltrace; zkratky půdních testů se skládají z názvu soli použité k extrakci organické frakce dusíku(N); horká a studená se vztahují k teplotě extrakce: horká (T>80°C) ve srovnání se studenou (T<25°C).bStanovení EON včetně (Norg NH<sub>4</sub>) nebo bez NH<sub>4</sub> (Norg). Nc je počet studií.

Půdní testy celkového obsahu dusíku v půdě podle studie Ros et al. (2011) využívající fosfátové pufové roztoky, studený CaCl<sub>2</sub>, Ba(OH)<sub>2</sub>, studený KCl, HCl-hydrolyzovatelný NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a HCl hydrolyzovatelného celkového dusíku se chovaly podobně jako celkový dusík a vysvětlovaly 33-61 % mineralizace dusíku, což je zobrazeno v grafu 1.

Extraktory s kyselinou  $K_2Cr_2O_7$ , kyselinou  $KMnO_4$ , horkým  $CaCl_2$ , horkou vodou a horkým  $KCl$  vysvětlovaly rozdíly v mineralizaci dusíku lépe než celkový dusík ( $P < 0,05$ ). Podíl extrahovatelného organického dusíku na celkovém dusíku v půdě pohyboval od méně než 5 % u mírných extrakčních činidel až po více než 35 % u intenzivní extrakcí, jako je kyselá hydrolyza. Průměrné hodnoty organického extrahovatelného dusíku se pohybovaly mezi 0,1 a  $963 \text{ mg kg}^{-1}$  (Ros et al. 2011).

Graf 1 Porovnání extrahovatelného organického dusíku pro 20 půdních testů ve srovnání s celkovým dusíkem (%) Upraveno dle (Ros et al. 2011)



Chybové úsečky jsou 95% intervaly spolehlivosti. Šedé sloupce se významně liší od celkového dusíku ( $P < 0,05$ ); bílé sloupce se neliší od celkového dusíku. Zkratky půdních testů – a n je počet pozorování. HCl-extrahovatelný dusík je rozdělen na aminokyseliny a aminocukry (AA / AS), extrahovatelný  $NH_4^+$  a celkový hydrolyzovatelný N (N<sub>tot</sub>).

Síla vztahu mezi extrahovatelným organickým dusíkem a mineralizovatelným dusíkem byla po analyzování všech půdních testů slabší při měření mineralizace dusíku v polních pokusech ( $R_2=17 \%$ ,  $n=91$ ) ve srovnání skleníkovými pokusy ( $R_2=44 \%$ ,  $n=67$ ), aerobní inkubací ( $R_2=54 \%$ ,  $n=494$ ) a anaerobní inkubací ( $R_2=64 \%$ ,  $n=23$ ). Vysvětlený procentuální rozptyl v mineralizaci dusíku stanovený v laboratorních nebo skleníkových pokusech byl v průměru o  $3 \pm 16 \%$  ( $\pm 1 \text{ SD}$ ) vyšší než v pokusech prováděných v terénu (rozmezí 8-72 %), s výjimkou některých organických frakcí extrahovaných 6 ml HCl.

Lepší výkonnost těchto frakcí extrahovatelných HCl v terénu může souviset s omezeným počtem dostupných terénních datových bodů ( $n < 6$ ). Hodnoty  $R_2$  pro šest nejlepších půdních testů při optimálním laboratorních podmínkách se pohybovaly mezi 60 a 80 %, to naznačuje, že extrahovatelný organický dusík může mít určitý potenciál pro předpovědi v laboratorních podmínkách. Korekce mezi potenciální a skutečnou mineralizací se může následně provést pomocí simulačních modelů (Ros et al. 2011).

Korelace mezi extrahovatelným organickým dusíkem a mineralizovatelným dusíkem na poli je slabší. Hodnoty  $R_2$  měly skutečně tendenci se zvyšovat z 34 % pro výtros (n=17) až na 45 % pro příjem dusíku (n=32) a až na 54 % pro čistý přírůstek anorganického dusíku (n=16) (Malley et al. 2015).

Koncentrace extrahovatelného organického dusíku byla pozitivně spojena s mineralizovatelným dusíkem, což vysvětluje v průměru 47 % záznamů. Nejlepší předpovědi byly získány, když byl extrahovatelný organický dusík extrahován horkým  $\text{CaCl}_2$ , kyselinou  $\text{KMnO}_4$  nebo kyselinou  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Předpovědi mineralizovatelného dusíku byly významně horší, když byla mineralizace měřena v terénu ve srovnání s měřeními za kontrolovaných podmínek (Ros et al. 2011).

Chemické metody měří  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  nebo organický dusík v extraktech, jako je voda a hydrolyzující solné roztoky (Haynes 2005). Množství organického dusíku v extraktantu se může pohybovat od méně než 5 % do více než 50 % celkového dusíku v závislosti na intenzitě extrakce (Ros et al. 2009). Intenzita extrakce určuje, kolik organického dusíku se uvolňuje z půdy. Závisí především na typu soli, molaritě roztoku, poměru půdy k roztoku a délce a teplotě extrakce (Ros et al. 2009).

Schimel & Bennett (2004) se zaměřili na to, že rozpuštěný organický dusík, který je součástí extrahovatelného organického dusíku, hraje přechodnou roli v mineralizaci dusíku, a přišli s tezí, že tok dusíku přes rozpuštěný organický dusík, řídí rychlost mineralizace více, než jeho velikost. Otázkou je, zda rozpuštěný organický dusík může být přesně posouzen současnými půdními testy, protože většina půdních testů extrahuje také organické sloučeniny jiné než rozpuštěný organický dusík. Statisticky významný vztah mezi velikostí extrahovatelného organického dusíku a mineralizovatelným dusíkem proto naznačuje, že jsou současně ovlivněny jinou proměnnou. Jak extrahovatelný organický dusík, tak mineralizovatelný dusík by mohly být ovlivněny kvalitativními aspekty organické hmoty, jako je stupeň humifikace (Ros et al. 2011). Variabilita mineralizace dusíku byla v terénu měřena pro zjištění rozsahu účinků teploty, vlhkosti, biomasy, struktury půdy a ztrát difuzí, denitrifikací, nebo kořenů (Hatch et al. 2000).

Nejdůležitější však je, že tyto výsledky zdůrazňují omezené znalosti o funkční roli extrahovaného organického dusíku v mineralizaci dusíku a její interakci s vlastnostmi půdy a podmínkami prostředí. Výsledky Ros et al. (2011) naznačují, že neutrální nebo kyselé soli extrahují dusík bez ohledu na intenzitu jejich extrakce, ale k potvrzení tohoto předpokladu je zapotřebí dalšího výzkumu.



### 4.1.3 Minerální dusík

Sutton et al. (2011) uvádí, že obsah minerálního dusíku v půdě představuje důležitý ukazatel zemědělství. V orniční vrstvě je možný obsah minerálního dusíku v rozmezí 5-10 % z celkového dusíku v závislosti na půdě (Vaněk 2016).

Minerální dusík v půdě má obvykle větší vliv na růst, výnosy a kvalitu plodin než jakákoli jiná živina. Dusík může být dodáván z půdy, atmosféry, organických hnojiv a rostlinných zbytků. Minerální dusík, zejména pak  $\text{NO}_3^-$  a též dusík z hnojiv, je v půdách dobře pohyblivý. Důsledkem toho může docházet při vyšší koncentraci (zvláště v mimovegetačním období) ke ztrátám vyplavením (Balík et al. 2012).

Je obtížné odhadnout množství mineralizovaného dusíku, proto je doporučeno analyzovat půdu na obsah minerálního dusíku pro každé pole každý rok. Na základě analýzy minerálního dusíku v půdě se může maximalizovat výnosový potenciál na nejlepších polích a snížit vstupy na polích s nižším výnosovým potenciálem. Stanovením minerálního dusíku v půdě bylo ve vyspělých zemích docíleno lepší účinnosti hnojení a snížení ztrát dusíku. Obsah minerálního dusíku se většinou počítá do 90 cm a rozděluje stanovení po vrstvách 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm. Obsah minerálního dusíku se stal momentálně dobrým kritériem pro optimalizaci hnojení. Množství minerálního dusíku se stanovuje na počátku nebo v průběhu vegetace. U obilnin se většinou počítá s profilem až do 90 cm v půdě v Evropě a v rámci České republiky je doporučeno pouze do 60 cm hloubky (Prechalová & Klement 2013).

Studie Bünemann et al. (2018) se zaměřila na metaanalýzu dat z více než 1 000 studií a zahrnovala různé druhy půd, klimatické podmínky a typy plodin. Jejím cílem bylo porovnat obsah minerálního dusíku v půdě mezi ekologickým a konvenčním zemědělstvím. Výsledky ukázaly, že v průměru byl obsah minerálního dusíku v půdě v ekologickém zemědělství o 8 % vyšší než v konvenčním zemědělství. Studie také zjistila, že rozdíl v obsahu minerálního dusíku mezi oběma typy zemědělství se lišil podle geografické polohy a typu plodin. V některých regionech byl rozdíl v obsahu minerálního dusíku menší, v jiných výraznější. Nicméně v průměru byl rozdíl pozitivní ve prospěch ekologického zemědělství.

Na druhé straně studie Maeder et al. (2002) ukazuje, že obsah minerálního dusíku v půdě byla v ekologickém zemědělství v průměru o 25 % nižší než v konvenčním zemědělství. Tato studie zahrnovala analýzu půdy na 36 ekologických a konvenčních farmách v období od roku 1993 do 2000.

V další studii Vanlauwe et al. (2014) bylo zjištěno, že zemědělci, kteří používali kombinaci organických a anorganických hnojiv, měli vyšší obsah minerálního dusíku v půdě než zemědělci, kteří používali pouze organická nebo pouze anorganická hnojiva. Výsledky ukázaly, že zemědělci, kteří používali kombinaci organických a anorganických hnojiv, měli v půdě v průměru 31,6 mg/kg dusíku, zatímco zemědělci, kteří používali pouze organická hnojiva, měli v průměru 22,6 mg/kg dusíku, a zemědělci, kteří používali pouze anorganická hnojiva, měli v průměru 18,6 mg N/kg. Toto naznačuje, že kombinace organických a anorganických hnojiv může být efektivní strategií pro zvyšování obsahu minerálního dusíku v půdě v porovnání s používáním pouze jednoho druhu hnojiv.

## 4.2 Půdní organická hmota

Půdy s vysokým obsahem organické hmoty bohaté na dusík mají tendenci mít vyšší obsah mikroorganismů, které se podílejí na mineralizaci dusíku. Organické formy zásob dusíku se vytvářejí v průběhu let a měly by být v maximální možné míře udržovány. Akumulace a zadržování dusíku v organické hmotě a stejně tak biologické aktivity půdy se zlepšují:

- udržováním půdy pokryté rostlinami nebo jejich zbytky po celou sezónu
- zvyšováním druhové rozmanitosti v systému prostřednictvím pěstování meziplodin
- pěstování biomasy na místě udržováním živých kořenů po co největší část roku
- omezení používání biocidů, jako jsou pesticidy, fungicidy a herbicidy

Užitečná biologická aktivita půdy má tendenci klesat kvůli některým faktorům, jako je obdělávání půdy, intenzivní doprava a další (Drinkwater et al. 2015).

Organická část půdy se skládá z živé a neživé části. Obě tyto složky jsou na sobě závislé a důsledky složek působí na celkovou biologii půdy, mineralizační a imobilizační procesy, včetně transformace organických látek. Nejaktivnější skupinou je živá část půdy skládající se z mikroedafonu (bakterie, houby, aktinomycety, sinice aj.). Neživá část organických látek se dělí na dvě skupiny. První skupina neživé části je primární organická hmota, do které spadají odumřelé (neživé) části rostlin a půdní mikroflóry nacházející se v půdě. Dalším zdrojem je zapravení zbytků rostlin nebo aplikace organických hnojiv, primární organická hmota je tak zdroj živin pro půdní mikroflóru (Černý 2017).

Výsledky taktéž naznačují, že budování půdní organické hmoty v orné půdě může poskytnout dostatek dostupných živin pro rostliny k udržení výnosů plodin a zároveň výrazně snížit vstupy dusíkatých hnojiv. To může být způsobeno tím, že vyšší půdní organický uhlík zlepšuje strukturu půdy a vlastnosti zadržování vody, což vede ke zlepšení růstu plodin. Vyšší množství půdní organické hmoty by také mohly poskytnout důležitější makro- a mikroživiny, které jsou omezující v půdách s nižšími koncentracemi půdního organického uhlíku. Navíc navýšením množství rostlinných zbytků, které se vrací zpět do půdy, může potenciálně vést k tvorbě půdního organického uhlíku (Powlson et al. 2011).

Cílené snížení používání dusíkatých hnojiv by pak mohlo zabránit ročnímu vyplavení až 3,73 milionu tun dusíku do vnitrozemských vod, což představuje 10 % minerálních hnojiv aplikovaných na kukuřici a pšeničnou půdu. Většina obdělávané půdy obsahuje méně než 2 % půdního organického uhlíku, což je důvodem více chránit a obnovovat půdně organický uhlík v orné půdě (Oldfield et al. 2019).

Dusík mineralizovaný z půdní organické hmoty a plodin po odběru vzorků je potenciálně důležitým zdrojem dusíku pro příjem rostlinami. Za každé 1 % zvýšení organické hmoty v půdě je následně o 10 kg/ha více minerálního dusíku v půdě. Nedávný výzkum naznačuje, že odhadovaná hodnota kolem 20 kg/ha může být vhodný, přinejmenším po chladném období (Mahal et al. 2019).

#### 4.2.1 Poměr C/N

Ideální poměr C/N v půdě závisí na druhu pěstovaných rostlin. V půdách ČR je obvyklý poměr C/N 10-12:1 (Zimolka et al. 2005).

V půdě díky mikroorganismům probíhá neustálý proces rozkladu organické hmoty. Tyto mikroorganismy využívají organickou hmotu jako zdroj energie a živin, včetně dusíku a uhlíku. Během rozkladu organické hmoty se uhlík a dusík uvolňují do půdy v různých poměrech. Uhlík se uvolňuje pomaleji než dusík, což způsobuje zvýšení poměru C/N v půdě. Pokud je množství organické hmoty v půdě vysoké a rozkládá se pomalu, pak se zvýší poměr C/N. Naopak, když se do půdy přidávají látky s vysokým obsahem dusíku, jako jsou hnojiva, poměr C/N se snižuje, protože se dostává do půdy více dusíku než uhlíku. Poměr C/N v půdě může být ovlivněn i dalšími faktory, jako jsou pH půdy, teplota, vlhkost a druh organické hmoty, která se do půdy přidává. Vlivem různých faktorů může být poměr C/N v půdě výrazně odlišný v různých oblastech a půdních typech (Richter et al. 2002).

Poměr C/N poskytuje nejlepší odhad dostupnosti dusíku (Schlesinger and Bernhardt 2013). Doporučená hodnota poměru C/N je 10:1 či méně. Vhodné hodnoty poměru C/N v půdě jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Hodnocení kvality humusu podle poměru C/N upraveno dle (Haney et al. 2012)

Hodnocení	C/N
Velmi vysoký	<5,0
Vysoký	5,0-8,0
Střední	8,0-11,0
Nízký	11,0-14,0
Velmi nízký	>14,0

Nejužší poměr C/N=10 mají půdy s vysokou biologickou aktivitou (např. rendziny a černozemě). V minerálních půdách poměr C/N často neodpovídá poměru v půdní organické hmotě, jelikož při kjeldalizaci dochází též ke stanovení části fixovaného amonného iontu (Zimolka et al. 2005). Toto je významné zejména u půd s malým podílem organických látek a s vysokým obsahem jílu. Při sledování vlivu poměru C/N na mineralizaci je nutné rozlišovat mezi huminovými látkami, které již prodělaly dlouhodobý rozkladný proces (Kirkby et al. 2011).

## Poměr C/N v substrátech

Rozhodujícím faktorem pro uvolňování dusíku z organické hmoty je poměr C/N, přičemž se uvádí, že jako dostatečné zásobování půdy dusíkem lze považovat poměr o C/N 15-18 (Leinweber et al. 2013). V půdě poměr C/N často ovlivňuje rychlost procesů, jako například tvorba biomasy nebo rozklad organické hmoty (Schlesinger & Bernhardt, 2013). Uhlík vstupuje do ekosystémů z atmosféry procesem fotosyntézy, a to ve formě CO<sub>2</sub>. V případě zabudování uhlíku do biomasy je v podobě rozpustných organických sloučenin rozložen a vyplaven z půdy (Harte 2019). Zásadní význam pro posouzení uvolňování uhlíku do prostředí má symbiotická fixace N<sub>2</sub> (Merbach et al. 2013).

Pokud je poměr C/N v půdě příliš vysoký, znamená to, že je v ní více uhlíku v poměru k dusíku, což může vést k nedostatku dusíku u rostlin. To lze napravit přidáním hnojiv bohatých na dusík nebo organických látek, jako je hnůj nebo kompost, do půdy. Pro většinu zeleninových plodin se za optimální považuje poměr C/N 20-30:1. U luskovin, které mají schopnost vázat atmosférický dusík, se upřednostňuje nižší poměr C/N 15-20:1. Naopak pokud je poměr C/N v půdě příliš nízký, znamená to, že je v ní více dusíku v poměru k uhlíku, což může vést k nadměrné mikrobiální aktivitě a ztrátám živin. To lze napravit přidáním materiálů bohatých na uhlík, jako jsou sláma nebo piliny, do půdy (Suruban et al. 2022).

Při zvýšeném množství CO<sub>2</sub> dochází ke zvýšení množství rostlinné biomasy spolu se zvýšeným poměrem C/N z rostlinných zbytků a exsudátů zaváděných do půdy. Převládají proto procesy mineralizace nad procesy imobilizace, což vyžaduje pravidelný zvýšený přísun organické hmoty do půdy. Vysokým poměrem C/N se vyznačují organická hnojiva, zvláště chlévský hnůj (20-30:1). Poměrem C/N je řízena rovnováha mezi mineralizací a imobilizací. Dokud je uhlík a dusík k dispozici ze sloučenin s podobnou mírou rozkladu, při užším poměru C/N než 20:1 obvykle dochází k mineralizaci. K imobilizaci dochází hlavně tehdy, když poměr C/N rozložené organické hmoty přesahuje 30:1, rostliny trpí nedostatkem dusíku (Sradnick & Feller 2020).

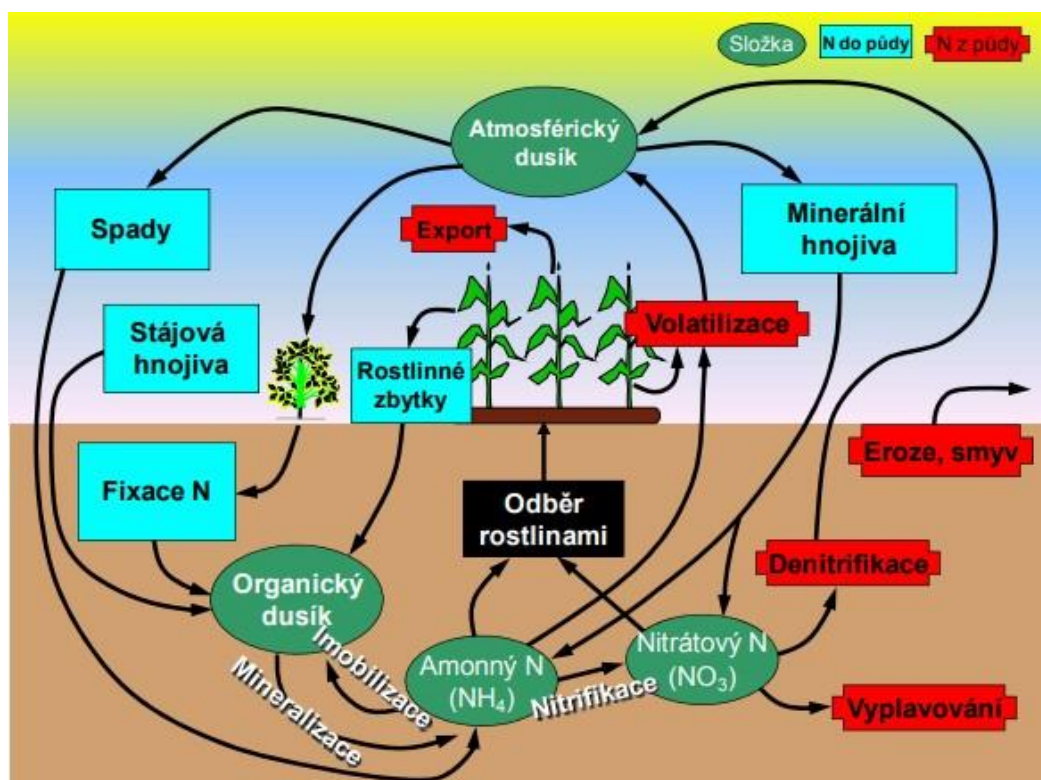
### 4.3 Přeměny dusíku v půdě

Dusík je živina, která mezi půdou, živými organismy a atmosférou prochází různými procesy (Doltra et al. 2019). Je všeobecně známo, že mineralizace a nitrifikace zvyšují množství dusíku, který je pro rostliny dostupný. Naopak denitrifikace, imobilizace a vyplavování mohou vést k dočasným ztrátám dusíku z kořenů rostlin. Nicméně pro celkový koloběh dusíku v ekosystému je klíčový přínos dusíku z atmosféry. V zemědělství může být koloběh dusíku narušen odvozem organické hmoty. Dochází k tomu kvůli odvozu organické hmoty v podobě hlavních, případně vedlejších produktů pěstovaných plodin a na druhou stranu aplikací dusíkatých hnojiv (Balík et al. 2012).

### 4.3.1 Mineralizace

Mineralizace je proces, na kterém se podílí řada fyziologicky velmi odlišných heterotrofních mikroorganismů rozkládajících organické sloučeniny s cílem získání energie. Probíhá zde přeměna organického dusíku na anorganické formy, viz obrázek 1.

Obrázek 1 Koloběh dusíku (Balík et al., 2012)



V obvyklých podmínkách se největší množství přístupného dusíku nachází v ornici, kde se uvolňuje během mineralizace organických látek. Tento dusík je klíčový pro výživu rostlin. Během procesu mineralizace se tvoří různé formy dusíkatých látek, které jsou nazývány jako "lehce mineralizovatelné". (Balík et al., 2012). Výchozím materiálem mineralizace jsou hlavně proteiny a polypeptidy, jejichž hydrolýzou se za účasti katalytických peptidáz uvolňují aminokyseliny (Cai et al., 2017).

Je odhadováno, že v podmínkách mírného pásma je ročně mineralizováno 1-3 % celkového půdního dusíku. Za vegetační sezónu na orných půdách střední Evropy se mineralizaci dusíku uvolní 50-90 kg N.ha<sup>-1</sup> (Balík et al., 2012).

### 4.3.2 Amonizace

Mineralizace se dělí na dvě části. V první části, která se nazývá amonizace, kde je finálním produktem amonný dusík. Dusík je v této části ze snadněji rozložitelných organických látek (aminokyseliny, amidy, aminocukry, organické látky biomasy odumřelých mikroorganismů) a dále i postupným rozkladem složitých látek (např. polypeptidů na peptidy až aminokyseliny) uvolňován v procesu amonizace NH<sub>3</sub>, jenž je zdrojem dusíku pro mikroflóru a může být využíván i rostlinami (Balík et al., 2012).

### 4.3.3 Nitrifikace

Druhou částí mineralizace je nitrifikace. Proces nitrifikace je ve většině půd klíčovým procesem, jelikož transformuje amonnou formu dusíku na nitrátovou formu dusíku ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). V první fázi se biochemickými reakcemi uvolněný amonný dusík stává přímým zdrojem dusíku pro rostliny či je sorbován na půdní sorpční komplex, který je biologicky vázán mikroorganismy (Jenkinson 2001).

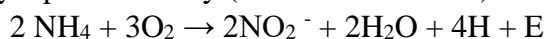
Faktory ovlivňující nitrifikaci:

- Teplota: Optimální teplota pro nitrifikaci v půdách je mezi 20 °C a 30 °C, jakmile teploty klesnou pod 15 °C, je nitrifikace limitována, a při teplotách nižších než 5 °C nitrifikace probíhá minimálně.
- pH: Nitrifikace optimálně probíhá v rozmezí pH 6,5 - 8,5, při hodnotě pH pod 6,5 intenzita nitrifikace klesá a pod 5 se zastavuje.
- Provzdušnění: V provzdušněných půdách nitrifikace probíhá rychleji.
- Vlhkost: Pro průběh nitrifikace je ideální vlhkost půdy 70 % MVK. Za sucha se nitrifikace zastavuje (Černý et al. 2011).

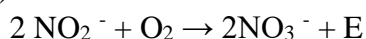
Vliv na nitrifikaci má i dostupnost některých prvků, například fosfor nitrifikaci omezuje (Chapin & Eviner 2013).

Mezi významné faktory ovlivňující nitrifikaci patří také salinita prostředí. Salinita je zásadním determinantem ovlivňujícím mikrobiální složení prostředí, tedy i složení nitrifikačních organismů a rychlost nitrifikačních procesů (Ward 2008).

Autotrofní nitrifikace probíhá pomocí nitrifikačních bakterií. První skupinou jsou aerobní nitrifikační bakterie rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrospira*, které oxidují amoniak na nitrity a pak na nitráty (Kox & Jetten 2015).



Do druhého stupně patří nitratační bakterie rodu *Nitrobacter*, které využívají kromě dusíku také energii uvolňovanou během oxidace a převádějí dusitaný na dusičnan (Vaněk 2016).



Obě skupiny organismů jsou chemolitotrofní a jako zdroj uhlíku potřebují oxid uhličitý. Do autotrofní nitrifikace patří též bakterie kmene archea.

Bakterie zahrnuté do skupiny *Annamox* jsou též schopny přeměnit amoniak a dusitanové anionty. Dusík je pak většinou fixován specifickými bakteriemi za tvorby amoniaku. Patří sem skupina bakterií kmene *Planctomyces* (Kox & Jetten 2015).

### 4.3.4 Heterotrofní nitrifikace

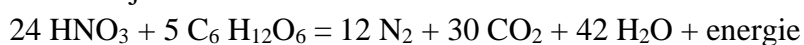
V tomto procesu probíhá oxidace organických či anorganických forem dusíku za vzniku nitrátů. Heterotrofní nitrifikace může být obzvláště důležitá za podmínek v některých půdách, které jsou nepříznivé pro známé autotrofní nitrifikační mikroorganismy. Heterotrofní nitrifikace není spojena s výrobou ATP.

Je velmi obtížné kvantifikovat důležitost podílu heterotrofní nitrifikace na přeměnách jednotlivých forem dusíku, protože na celkové množství nitrátů v půdě je vliv heterotrofní nitrifikace sporný, jelikož pro neautotrofní organismy (kupříkladu heterotrofní bakterie) nepředstavuje jediný zdroj energie (Leinweber et al. 2013).

#### 4.3.5 Denitrifikace

Denitrifikace je mikrobiální proces, při kterém dochází k redukci  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$  na plynné formy dusíku – oxidy dusíku (převážně oxid dusný –  $\text{N}_2\text{O}$ ) a dusík ( $\text{N}_2$ ). Proces denitrifikace je z velké části prováděn širokým spektrem mikroorganismů. Jedná se především o heterotrofní organismy, které spíše používají nitrát než kyslík jako elektronový akceptor během procesu respirace (Robertson & Groffman 2015).

Sumárně je lze znázornit takto:



Při průběhu denitrifikace jsou hlavními podmínkami dostatek lehce dostupných organických látek (uvolňuje se z nich energie a oxidují se na oxid uhličitý) a přítomnost nitrátů (Černý et al. 2011; Ward 2008).

#### 4.3.6 Ztráty dusíku

Vyplavování dusičnanů je ovlivněno faktory prostředí a hospodaření (např. klima, půdní vlastnosti) a způsoby hospodaření (např. druh hnojiv) (Smith et al. 2019).

Výroba a aplikace dusíkatých hnojiv spotřebovává obrovské množství energie a jejich nadbytek je škodlivý pro životní prostředí. Dusík je pro organismy esenciální a jeho ztráty z koloběhu mezi rostlinou a půdou snižují úrodnost půdy a výnos rostlin (Cameron et al. 2013).

Zejména vyplavování dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) a emise  $\text{NH}_3$  a  $\text{N}_2\text{O}$  mají dopad na kvalitu životního prostředí. Právě dusičnany jsou nejvíce přijatelná forma dusíku pro rostliny, ale také velice náchylná k vyplavování. Jedním ze způsobů, ztráty vyplavováním snížit, je zvýšit efektivitu využití dusíku pomocí snížení vstupů dusíkatých hnojiv (Smith et al. 2019).

Studie Tuomisto (2012) publikovala, že vypalování dusičnanů během střídání plodin bylo nižší v ekologickém zemědělství než u běžných konvenčních systémů. Dusík je pohyblivý v biosféře, to zvyšuje jeho ztráty do ovzduší či spodních vod. Dusík do ovzduší uniká v podobě  $\text{NH}_3$  a  $\text{N}_2\text{O}$ . Vysoce riziková je ztráta dusíku z orné půdy, čímž se půda vyčerpává. V podobě pohyblivých dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) je dusík vyplavován do spodních vod a tím ovlivňuje regionální kvalitu vody a ovzduší a přispívá k emisím skleníkových plynů (Vitousek et al. 2009).

V důsledku toho se může dusík hromadit jako anorganický dusík a může být imobilizován a remineralizováno během rozkladu půdní organické hmoty (Poffenbarger et al. 2018).

Nadměrná volatizace dusíku do ovzduší v podobě oxidů a amoniaku má za následek zvyšování skleníkových plynů v ovzduší či destrukci ozonové vrstvy (Vitousek et al., 2009). Ztráty volatilizací mohou dosáhnout i hodnoty 25 % z dávky dusíku, ale obvykle se pohybují okolo 5 %. Tyto ztráty jsou závislé na půdních a klimatických podmínkách, dávce a formě hnojiva i na způsobu a době aplikace (Černý et al. 2011).

Vhodným způsobem docílení minimalizace těchto ztrát je zvýšení efektivity využití dusíku (Wivstad, Dahlin, and Grant 2008). Toho lze dosáhnout různými způsoby, jako je výsadba hluboce kořenících plodin, nebo využíváním krycích plodin v rámci hospodaření. Využitelnost dusíku z aplikovaných hnojiv na orných půdách je nízká a pohybuje se zhruba mezi 25-50 % (Sharma & Bali 2017). Rozhodující je především způsob a rychlost zapravení hnojiv, nejdůležitější jsou první hodiny po aplikaci. Dusík je volatilizován podobně i při povrchové aplikaci minerálními dusíkatými hnojivy, kde je obsažen nebo se vytváří amoniak (Kox & Jetten 2015).

## **4.4 Dusík v rostlině**

Dusík je obecně uznáván jako nejvíce omezující živina potřebná pro produkci potravin ve světovém měřítku. Optimalizace efektivity využití dusíku je základním cílem udržitelného zemědělství. Dosažení tohoto cíle zlepšuje ekonomickou výkonnost agroekosystémů lepším sladěním vstupů dusíku s potřebami plodin a snižuje negativní dopady nadměrných aplikací dusíku, jako je kontaminace podzemních vod (Ros et al. 2011).

## **4.5 Zdroje a příjem dusíku rostlinami**

### **4.5.1 Fixace dusíku rostlinami**

Biologická přeměna  $N_2$  ve vzduchu na rostlinám dostupný amoniak pomocí symbiotických bakterií je vedle minerálních hnojiv dalším významným zdrojem vstupu dusíku do zemědělství. V celosvětovém měřítku roční přísun dusíku prostřednictvím biologické fixace  $N_2$  v různých zemědělských systémech činí přibližně 50-70 Tg (Soumare et al. 2020). Několik nedávných přehledů popisuje limitující faktory pro zvýšení fixace  $N_2$  v rostlinách a také vyhlídky na genetické modifikace obilovin fixujících  $N_2$  (de Novais et al., 2020).

Podle předchozích výzkumů řídí půdní mikroorganismy půdní respiraci a mineralizaci dusíku. Ve studii de Novais (2020) bylo popsáno, že populace mikrobů a aktinomycet pozitivně koreluje s mírou mineralizace a spotřebou amoniaku (Chalk et al. 2014). Navíc se všeobecně uvádí, že teplota půdy může významně ovlivnit mikrobiální druhy, množství a aktivitu, které určují tyto půdní procesy (Soumare et al. 2020).

### **4.5.2 Příjem dusíku a jeho asimilace rostlinami**

U mnoha rostlin je část dusičnanů asimilován v kořenech, ale větší část je transportována do výhonku, kde je nejprve redukován na dusitany nitrátreduktázou v cytoplazmě a poté dále na amonium nitritreduktázou v plastidech a glutamin syntetázou v plastidech a cytoplazmě. Amonium odvozené z dusičnanů nebo přímo z absorpce amoniaku pomocí transportérů amoniaku je dále asimilováno na aminokyseliny prostřednictvím cyklu GS/glutamin-2-oxoglutarát aminotransferázy (GOGAT). Převládajícími izoenzymy GS/GOGAT jsou chloroplastické GS2 a Fd-GOGAT a cytosolové GS1 a NADH-GOGAT (Masclaux-Daubresse et al. 2010).



Aminoskupina glutamátu může být přenášena na aminokyseliny pomocí řady různých aminotransferáz. Asparaginsyntetáza katalyzuje tvorbu asparaginu a glutamátů z glutaminu a aspartátu. Předpokládá se, že spolu s GS hraje AS klíčovou roli v primárním metabolismu dusíku. Kromě toho mitochondriální NADH-glutamát dehydrogenáza (GDH) může alternativně zabudovávat amonium do glutamátů v reakci na vysoké hladiny amoniaku v podmínkách. RuBisCO tvoří 50 % celkového rozpustného proteinu v listech C3 rostlin a 20 % v listech rostlin C4. V rostlinách C3, vede okysličování RuBisCO k uvolňování kyslíku z C3 rostlin, CO<sub>2</sub> a fotorespiračnímu amoniaku (Zehnálek et. al 2006). Kromě toho probíhají v rostlinách různé katabolické biochemické procesy, např. degradace bílkovin a deaminace aminokyselin, nebo uvolňování amoniaku (NH<sub>3</sub>). Skelety uhlíku produkované fotosyntézou jsou potřebné k asimilaci anorganického dusíku na aminokyseliny (Zehnálek Josef et al. 2006).

### 4.5.3 Transporty dusíku v rostlině

Xylémové prvky zajišťují tok dusičnanů, asimilátů, dalších živin a vody z kořenů do výhonů. Přesun do nadzemní tkáně je poháněn transpirací na povrchu listů, což způsobuje hydrostatický tlakový gradient v xylému, který se rozšiřuje dolů ke kořenům. V xylému a floému dochází k transportu širokého spektra aminokyselin, a přestože se koncentrace jednotlivých aminokyselin může lišit v závislosti na rostlinném druhu a prostředí, často jsou nejhojněji zastoupeny aspartát, glutamát, asparagin a glutamin u hlíznatých tropických luskovin mohou ureidy tvořit více než 90 % dusíku v xylému a jsou také převládajícími formami dusíku ve floému (Tyree 2003).

U rostlin, které přednostně redukují dusík v kořenech nebo hlízkách, se v xylému nachází nízké množství anorganického dusíku ve srovnání s aminokyselinami ureidy. Koncentrace dusičnanů v xylému však může převyšovat koncentrace organických sloučenin dusíku, pokud k asimilaci dusíku dochází v listech (Peuke 2010).

Xylém nejenže usnadňuje bezprostřední zásobování pletiv výhonů dusíkem pro fyziologické funkce, ale také umožňuje získávání dusíku podél jeho transportní dráhy k vytvoření zásobních zásob dusíku v kořenech, stonku, hlavních žilkách listů a stěně podnoží (Tegeđer & Masclaux-Daubresse 2018). Sloučeniny dusíku, které se dostávají do xylému, jsou poháněny transpirací a obvykle jsou transportovány do fotosynteticky aktivních listů. Přenos mezi xylémem a floémem vyžaduje získání dusíku z proudu transpirace do buněk xylémového parenchymu prostřednictvím protosymportu a symplasmatický pohyb dusíku směrem do floému, po němž následuje apoplastický krok ukládání organického dusíku do floému. Nedávné studie ukázala , že přenos dusičnanů z xylému do floému v listech je zprostředkován pomocí NPF1.2/NRT1.11 a NPF1.1/NRT1.12 a že tyto transportéry podporují růst výhonků při vysoké výživě dusičnany (Robertson and Groffman 2015).

Zdá se, že to, kolik dusíku je ještě přijímáno z půdy během reprodukční fáze a kolik dusíku v semenech pochází z příjmu z půdy vs. z mobilizace, závisí na druhu plodiny, jejich genotypech a podmínkách prostředí a půdy. Například u rostlin řepky se exprese a aktivita kořenového nitrátového transportéru po přechodu do produkční fáze snížila a došlo k menšímu příjmu dusičnanů ve srovnání s vegetativní fází (Tegeđer and Masclaux-Daubresse 2018).

Pokusy s rostlinami řepky pěstovanými na poli v podmínkách pletorických dusičnanů a vody dále prokázaly značný příjem dusíku kořeny během reprodukce, který přispívá až 30 % k obsahu dusíku v silici. Podobně u jiného pokusu byl příjem dusíku z kořenů během fáze jarovizace zachován, zatímco příspěvek půdního dusíku k plnění zrna byl vyšší, když byly rostliny pěstovány při vysokém v porovnání s nízkým přísunem dusičnanů (Masclaux-Daubresse & Chardon 2011).

Coque & Gallais (2007) odhadli, že 62 % dusíku v jádře pochází z remobilizace dusíku, a tedy 38 % pochází z příjmu dusíku kořeny po zasetí a naznačují, že rostliny jsou dobře vybaveny k příjmu dusíku kořeny po celé vegetační období, dokud je koncentrace dusíku v půdě dostatečná. V systémech pěstování plodin se však dusíkatá hnojiva často aplikují v rané fázi růstu, a ačkoli to závisí na kvalitě půdy, mohou být půdní dusičnany v fázi jarovizace vyčerpány. Příjem dusíku navíc závisí na dostupnosti půdní vody, která může být v některých regionech v létě nízká. Za těchto podmínek se rostliny musí spoléhat hlavně na remobilizaci dusíku z bílkovin a zásobáren dusíku v listech, stoncích nebo stěnách plodů, aby zajistily výživu dusíkem v reprodukčních jímkách.

#### **4.6 Možnosti využití dusíku v EZ**

Hospodaření s dusíkem v ekologickém zemědělství vyžaduje začleňování zbytků plodin a krycích plodin a živočišného hnoje do půdy za účelem budování a udržování půdní organické hmoty. Množství celkového dusíku aplikovaného ročně na zemědělský podnik ve statkových hnojivech, organických a organominerálních hnojivech nesmí v průměru zemědělského podniku překročit limit 170 kg dusíku ročně na hektar zemědělsky využitě půdy, při započtení půdy vhodné k aplikaci (ES) 889/2009 (Watson et al., 2002).

Ve studii Spargo et al. (2011) uvádí, že množství hektarů obhospodařované v ekologickém zemědělství ve Spojených státech se v letech 1992 až 2003 zvyšoval v průměru o 24 % ročně v reakci na poptávku spotřebitelů po ekologických produktech. Ceny obilovin z ekologického zemědělství byly až dvakrát vyšší než ceny obilovin z konvenčního zemědělství, i když ceny konvenčních obilovin v posledních několika letech značně kolísaly. Zásadní byla invaze na Ukrajinu, res. z toho plynoucí sankce na zboží ruska a běloruska, kde se vyrábí značná část hnojiv. Výpadek jejich dovozu tak značně zvýšil cenu hnojiv, a ještě se to podpořilo tím, že vzrostla cena plynu (opět dováženého z RUS/BLR), který evropští výrobci hnojiv potřebují. Ekologická výroba mouky je pak relativně levnější v porovnání se zdražující se "chemickou". Ekonomické faktory vedly konvenční pěstitele obilí k zvažování přechodu na ekologické metody produkce. V ekologických systémech pěstování obilí se stále více zvyšuje počet hektarů, proto je zlepšování efektivity využívání dusíku v těchto systémech stále důležitější. Přechod na ekologickou produkci obilí představuje výzvy, včetně udržení úrodnosti půdy a boje proti plevelu, což může bránit úspěšnému přechodu zemědělců na ekologické zemědělství. Výnosy obilnin jsou často, avšak ne vždy, v ekologickém zemědělství nižší než v konvenčních systémech (Pan, Smith, and Pan 2009). Důvodem nižších výnosů je hlavně to, že v ekologickém zemědělství se nemohou používat minerální dusíkatá hnojiva a pesticidy, proto nedostatek dusíku či rozsáhle rostoucí plevel snižují výnos. Zdrojem dusíku v ekologickém zemědělství jsou převážně organická hnojiva (Spargo et al. 2011).

Dále je důležité začleňovat meziplodiny, krycí plodiny a posklizňové zbytky, jelikož podporují produktivitu půdy a mineralizaci organického dusíku. A když mají plodiny dostatek dusíku z půdy, lze externí vstupy dusíku snížit. Avšak tento způsob vyžaduje znalost vlastností dané půdy a schopnosti půdy dodat potřebný dusík rostlinám, a následně odpovídajícím způsobem upravit další vnější vstupy dusíku (Ros et al. 2011). Ve studii Chang et al. (2007) byly porovnávány účinky minerálního hnojení oproti účinkům při neaplikování hnojiva na některé vybrané chemické vlastnosti půdy, mikrobiální populace a aktivitu půdních enzymů (dehydrogenázy, celulózy,  $\beta$ -glukosidázy, proteázy, ureázy, arylsulfatázy a kyselé a alkalické fosfatázy). Výsledky ukazují, že pH, elektrická vodivost, koncentrace celkového dusíku a organické hmoty získané při zpracování kompostu byly obecně vyšší než při aplikaci minerálního hnojení. Půdní mikrobiální biomasa, populace bakterií, hub a aktinomycet, jakož i aktivity půdních enzymů se v půdě ošetřené kompostem ve srovnání s půdou ošetřenou minerálním hnojením výrazně zvýšily.

#### 4.6.1 Organická hnojiva

Zemědělství je v současné době závislé na externích hnojivech. V ekologickém zemědělství se smí využívat pouze organická hnojiva např. hnůj, digestát, kompost. Všechna organická hnojiva, která jsou povolena v ekologickém zemědělství, jsou hnojiva a pomocné půdní látky uvedené v příloze I. nařízení (ES) č. 834/2007 viz tabulka 1.

Tabulka 4 Povolené a pomocné půdní látky a živiny nařízení (ES) č.834/2007

Druh	Podmínky
Průmyslový vápenc z výroby cukru	Vedlejší produkt při výrobě cukru z cukrové řepy.
Kamenná moučka a jííl	
Odpad z pěstování hub	Výchozí složení substrátu je omezeno na produkty uvedené v této příloze.
Výkaly červů (vermikompost a hmyzu)	
Lihovarní výpalky a výtazek z nich	Kromě amonných výpalků.
Průmyslový vápenc z výroby cukru	Vedlejší produkt při výrobě cukru z cukrové řepy.
Kompostovaná nebo zkvašená směs rostlinné hmoty	Produkt získaný ze směsi rostlinné hmoty, které byly podrobeny kompostování nebo anaerobnímu kvašení určenému k výrobě bioplynu.
Produkty nebo vedlejší produkty živočišného původu: krevní moučka, kostní moučka, rybí moučka masová moučka, péroá moučka, moučka z chlupů, vlna, kožešina chlupy, mléčné produkty	Na kožešinu: Maximální koncentrace chrómu (VI) v mg/kg sušiny:
Mořské řasy a výrobky z nich	Pouze pokud byly přímo získány: <ul style="list-style-type: none"> <li>• extrakcí vodou nebo vodným roztokem kyseliny nebo alkalickým roztokem</li> <li>• kvašením</li> </ul>
Piliny a dřevěné třísky, kompostovaná kůra, popel ze dřeva	Ze dřeva, které nebylo po kácení chemicky upravováno.
Přírodní měkký fosforit	

V ekologickém zemědělství se nesmí používat syntetická minerální hnojiva (např. ledky, síran amonný, močovina). Koncentrace živin v organických hnojivech je rozložena rovnoměrněji mezi všechny prvky než v minerálních hnojivech (Vaněk et al. 2007). Staková hnojiva jsou zpravidla vyráběna přímo v zemědělském podniku. Obsah živin a jejich složení je ovlivněn způsobem ošetřování a také záleží na živném režimu půd dané oblasti. Jimi dodáváme do půdy rostlinné živiny N, P, K organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální (Khan et al. 2018).

Hlavně stájová, ale též další statková hnojiva představují univerzální typ hnojiv, jejichž působení je pozvolnější. Půdy, které jsou pravidelněji hnojené statkovými hnojivy mají lepší fyzikální vlastnosti, lépe přijímají vodu, zadržují vodu, a jsou odolnější k výkyvům pH. Také umožňují vhodnější dávkování minerálních hnojiv a lepší využití živin rostlinami. Celkově po aplikaci statkovými hnojivy jsou tyto půdy úrodnější (Blumenthal et al. 2008).

### Chlévský hnůj

Hnůj byl vždy považován za cenný vstup do půdy pro pěstování plodin. V širším slova smyslu se hospodaření s hnojem týká jeho vhodného využití závislosti na možnostech a cílech každého zemědělského podniku, ať už se jedná o zlepšování kvality půdy, výživy plodin anebo zisku farmy. Hospodaření s hnojem je definován jako proces, jehož cílem je kombinovat ziskové zemědělské hospodaření s hospodárným využíváním půdy s minimálními ztrátami živin z hnoje, a to v současnosti i v budoucnosti (Akbari et al. 2011).

Chlévský hnůj vzniká během procesu zrání chlévské mrvy na hnojišti. Tento proces zahrnuje kvašení, tlení a hnití, během kterého se jednotlivé složky mrvy rozkládají a přeměňují na látky s odlišným kvalitativním složením. Největší intenzita rozkladu organických látek nastává při aerobních podmínkách (Vaněk et al. 2007).

Hnojem se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, neboť potřebují plynulé a dlouhodobé dodávání živin. Při aplikaci 40 t hnoje skotu na ha, při plánovaném využití v prvním roce bude mít hnojená plodina k dispozici okolo 48 kg N, 6,6 kg P a 83 kg K. Při stanovení dávky živin v minerálních hnojivech, musíme zohlednit zvláště dusík, ale i ostatní živiny (Vaněk et al. 2007).

Průměrný obsah organických látek v hnoji skotu je zobrazen v tabulce 5.

Tabulka 5 Průměrný obsah, ztráty a využití živin hnoje skotu [%] (Vaněk et al.2016)

Ukazatel	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Hnůj skotu	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08
Ztráty při uložení	-	-	30-40	5	10-20	-	-
Využití živin v 1. roce	-	-	25	15	40	-	-

Doporučená dávka chlévského hnoje je  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . V případě, že je nedostatek hnoje, se raději hnojí větší plocha nižší dávkou hnoje než naopak. Chlévský hnůj je třeba aplikovat na podzim. Na jaře je přípustné aplikovat dobře vyzrálý chlévský hnůj jen na lehkých půdách (Vokál 2013).

Hnojení hnojem, může mít za následek nižší výnosy vzhledem k pomalejšímu uvolňování organického dusíku. Aplikace hnoje zvyšuje také pH půdy. Zvýšení pH závisí na dávce a načasování aplikace hnoje (Kulhánek et al. 2019).

Studie Bayu (2006) uvádí, že kombinované použití chlévského hnoje a minerálních hnojiv zvýšilo výnos plodin, a to při zachování půdní úrodnosti. Výsledky vyvracejí obavy zemědělců, že chlévský hnůj může zhoršit vodní stres v suchých podmínkách a vést ke snížení výnosu. Výsledky také ukázaly, že 50 % doporučeného množství minerálních hnojiv pro pěstování plodin lze nahradit chlévským hnojem, aniž by to mělo účinek výrazně nižší účinek na vývoj plodin. Aplikace 5, 10 a 15 t chlévského hnoje na ha v kombinaci se 100 % doporučené dávky hnojiv a 5, 10 a 15 t chlévského hnoje  $\text{ha}^{-1}$  v kombinaci s 50 % doporučené dávky hnojiva lze doporučit zemědělcům, kteří nemohou dovolit kupovat minerální hnojiva (Bayu et al. 2006).

## 5 Metodika

Tato část diplomové práce je věnována hodnocení obsahu dusíku a uhlíku v půdě. Tyto hodnocení byla provedena v rámci dlouhodobých pokusů, které probíhají na ČZU v Praze již od roku 1996. Dlouhodobé stacionární pokusy jsou založeny na stanovištích s různými půdními a klimatickými podmínkami. Pro tuto práci byla vybrána stanoviště Humpolec a Hněčevy.

### 5.1 Charakteristika pokusných stanovišť

#### Humpolec

Stanoviště Humpolec se nachází v kraji Vysočina v mírně teplé podnebné oblasti. Nejvíce srážek spadne v letním období. Na množství a intenzitě srážek na Vysočině se významně podílí reliéf a převažující západní a severozápadní směr větru. Na stanovišti Humpolec je hlinitopísčité půdní druh půdy zobrazeno v tabulce 6.

Tabulka 6 Charakteristika pokusných stanovišť Humpolec

Stanoviště	Nadmořská výška (m n. m.)	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrné roční srážky (mm)	Půdní typ	Půdní Subtyp	Půdní druh
Humpolec	525	7,0	665	kambizem	modální	písčito-hlinitá

Na stanovišti Humpolec se pH pohybuje mezi 4,71-4,99 (CaCl<sub>2</sub>), hodnoty se liší v závislosti na variabilitě a jsou uvedeny v tabulce 7. Kationtová výměna půdy se na tomto stanovišti pohybuje v intervalu 73-126 (mmol<sup>(+)</sup>.kg<sup>-1</sup>) a konkrétní hodnoty jednotlivých variant jsou zaznamenány v tabulce 8.

Tabulka 7 Hodnoty pH jednotlivé varianty Humpolec

Varianta	Kontrola	Hněj	NPK	N+sláma
pH	4,99	5,1	4,71	4,96

Tabulka 8 Hodnoty KVK jednotlivé varianty Humpolec

Varianta	Kontrola	Hněj	NPK	N+sláma
KVK [mmol/kg]	90	78	73	126

## Hněčeves

Stanoviště Hněčeves se nachází v Královéhradeckém kraji se vyznačuje teplými léty a chladnými zimami, což značí vyšší průměrná teplota viz tabulka 9.

Tabulka 9 Charakteristika pokusných variant Hněčeves

Stanoviště	Nadmořská výška (m n. m.)	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrné roční srážky (mm)	Půdní typ	Půdní subtyp	Půdní druh
Hněčeves	265	9,2	565,4	hnědozem	modální	jílovito-hlinitá

Interval hodnot pH na tomto stanovišti je mezi 5,26-6,04 (CaCl<sub>2</sub>), konkrétní hodnoty na variantách jsou zaznamenány v tabulce 10. Hodnoty kationtové výměny půdy (KVK) se pohybují mezi 97-116 (mmol<sup>(+)</sup>.kg<sup>-1</sup>), hodnoty jednotlivých variante jsou zobrazeny v tabulce 11.

Tabulka 10 Hodnoty pH jednotlivých stanovišť Hněčeves

Varianta	Kontrola	Hněj	NPK	N+sláma
pH	5,95	5,26	5,87	6,04

Tabulka 11 Hodnoty KVK jednotlivých variant Hněčeves

Varianta	Kontrola	Hněj	NPK	N+sláma
KVK [mmol/kg]	116	114	97	116

### 5.1.1 Systém hnojení

Na stanovištích Hněčeves a Humpolec probíhá jednoduché střídání plodin: 2019 hnojené hnojem brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen. Každý rok se pěstují všechny plodiny. Pro účely této studie byly zkoumány čtyři varianty: nehnojená kontrolní varianta, varianta hnojená hnojem, varianta hnojená NPK a varianta hnojená slámou s přidaným dusíkem. Varianty NPK a N+sláma byly v této práci použity jako srovnávací. Hněj byl použit jako organické hnojivo běžně používané v ekologickém zemědělství, a aplikován byl na podzim 2017 pod brambory. V roce 2018 byly pěstovány brambory a v roce 2019 byla pěstována pšenice. Ošetření NPK u pšenice ozimé a zahrnovalo fosfor (trojitý superfosfát) a draslík (draselná sůl) aplikovány na podzim a dusík na jaře ve formě ledku amonného s vápencem. Obsah dusíku v aplikovaném hnoji (v čerstvé hmotě) činil 0,6 % při dávce 55 t/ha a obsah draslíku v hnoji činil 1,0 % a obsah fosforu 0,15 %. Obsah draslíku v hnoji v čerstvé hmotě byl 1,0 % a obsah fosforu 0,15 %.

## 5.1.2 Analýzy půdních vzorků

### Stanovení celkového organického dusíku a uhlíku

Pro stanovení celkového dusíku a uhlíku v půdě byla použita Dumasova metoda. Analýza se provádí na vzorku prosátém pod 0,4 mm. Celkový dusík se stanovuje po zahřátí materiálu na teplotu 1050 °C v přítomnosti kyslíku. Vzorek je spálen a organické prvky se oxidují. Anorganický i organický dusík je oxidován, rozkladnými produkty jsou oxidy dusíku a plyny ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  a oxidy dusíku  $NO_x$ ) se zachytí a projdou několika kanály. Pouze reprezentativní alikvotní část ( $10\text{ cm}^3$ ) přenášená vektorovým plynem (héliem) přes vzorek půdy měděným katalyzátorem, aby se oxidy dusíku přeměnily na dusík. Směs je poté přenesena do tepelně vodivého zařízení, který vysílá elektrický signál úměrný obsahu dusíku a tento signál je integrován po dobu 40 s. Konečný výsledek je následující výsledek se pak vypočítá z kalibrační křivky vynesené pomocí známých standardů glycinu a vyjádří se v procentech

### Stanovení obsahu mineralizovatelného dusíku extrakcí horkou vodou

Pro stanovení obsahu extrahovatelných forem dusíku a extrahovatelného organického uhlíku horkou vodou v půdě byla použita jemnozem. Zemina byla předem usušena na vzduchu při teplotě 40 °C. 10 g zeminy bylo naváženo do 100 ml extrakční baňky se zpětným chladičem. Zemina byla zalita 50 ml destilované vody. Suspenze byla vařena po dobu jedné hodiny při 100 °C. Po vychladnutí byly vzorky odstředěny.

Ve výluhu byl stanoven obsah  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$ , obsah celkového extrahovatelného dusíku a extrahovatelného organického uhlíku. Měření bylo provedeno segmentovou průtokovou analýzou s kolorimetrickým stanovením na přístroji SKALARplusSystem (fy Skalar, Holandsko) viz příloha I.

## 5.1.3 Zpracování výsledků

Naměřená data z jednotlivých sledovaných variant hnojení na pokusných stanovištích Humpolec a Hněvčeves byla vyhodnocena pomocí MS Excel. Pro následnou vizualizaci jednotlivých výsledků byly zhotoveny tabulky v MS Word a sloupcové grafy v software STATISTICA 12 stanoveny byly statisticky významné rozdíly na hladině významnosti ( $p < 0,05$ ). Následné výstupy z programu STATISTICA 12 jsou uvedeny v samostatných přílohách.

## 5.1.4 Výpočet celkového dusíku a uhlíku v půdě (kg/ha)

Celkový obsah dusíku a uhlíku v půdě byl přepočítán na hloubku ornice  $ha^{-1}$  30 cm a objemové hmotnosti na stanovišti Humpolec  $1,4\text{ g/cm}^3$  a na stanovišti Hněvčeves  $1,5\text{ g/cm}^3$ .

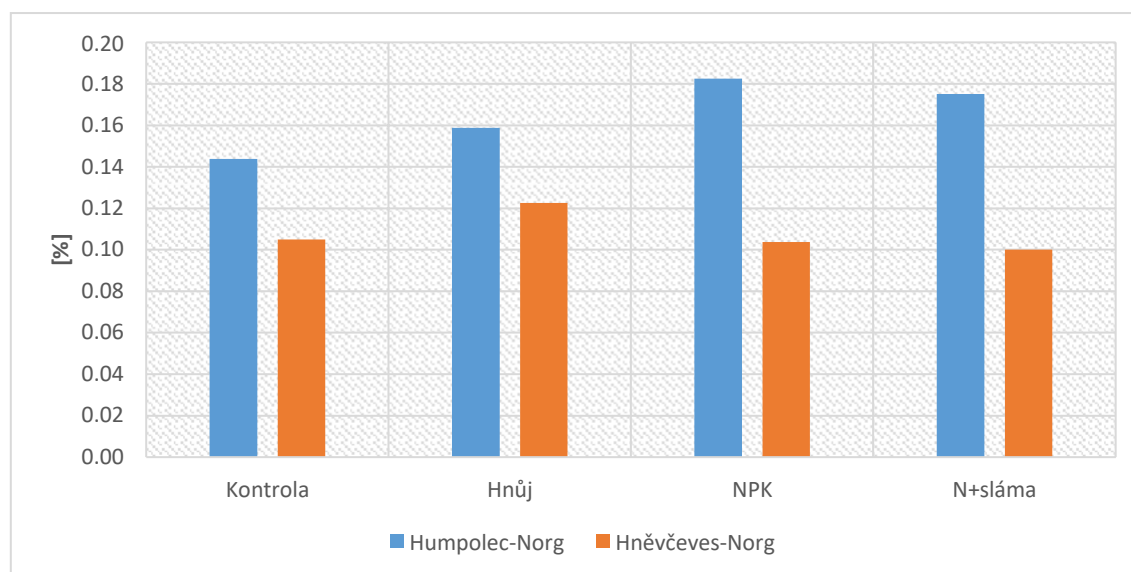


## 6 Výsledky

### 6.1 Obsah celkového organického dusíku a uhlíku v půdě

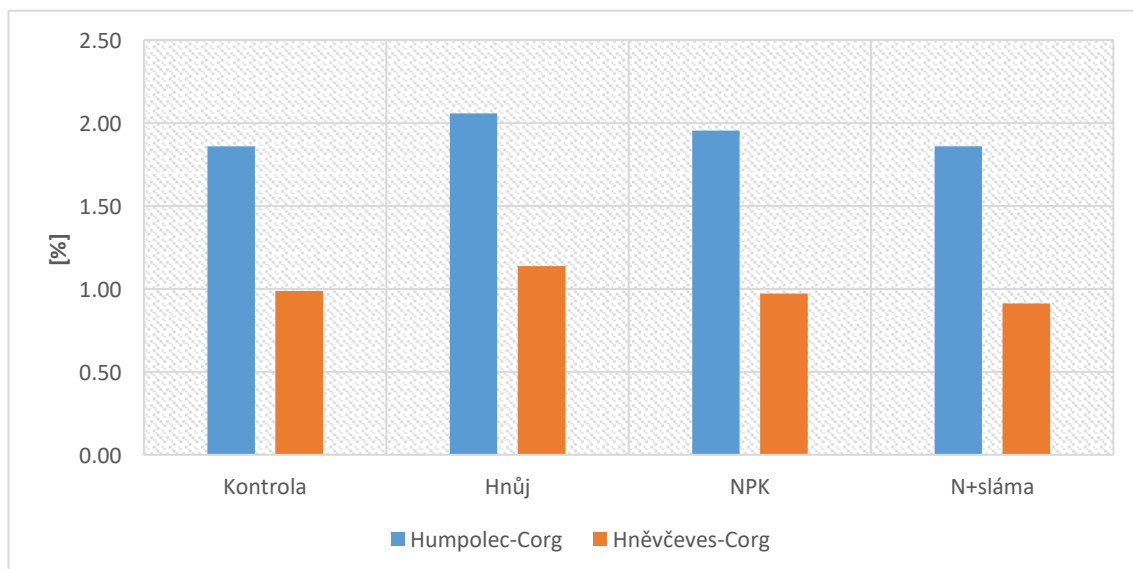
#### Porovnání stanovišť

Z grafu 2 je patrné, že celkově vyšší celkový obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě byl zaznamenán na stanovišti Humpolec, přičemž nejvyšší hodnota celkového obsahu  $N_{org}$  v půdě činila 0,18 % na variantě Hnůj. Naopak nejnižší zaznamenaná hodnota  $N_{org}$  byla zaznamenána na stanovišti Hněvčeves (0,10 %) a to na variantě NPK a N+sláma. Na stanovišti Hněvčeves na variantě Hnůj byl celkový obsah  $N_{org}$  stanoven na 0,12 % a zároveň byl na této variantě zaznamenán nejnižší rozdíl mezi stanovišti.



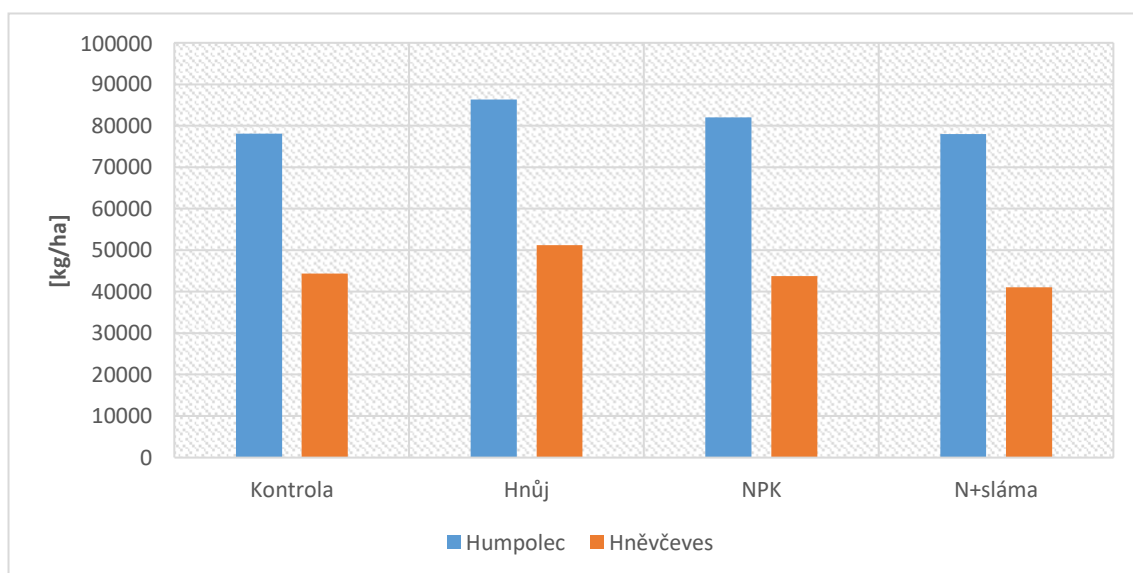
Graf 2 Celkový obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec a Hněvčeves [%]

Na stanovišti Humpolec byl zaznamenán výrazně vyšší celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě než na stanovišti Hněvčeves. Konkrétně na variantě Hnůj byla zaznamenána hodnota celkového obsahu  $C_{org}$  2,06 %, což je markantně vyšší hodnota než u ostatních variant na obou stanovištích. Naopak nejnižší hodnota celkového obsahu  $C_{org}$  v půdě byla zaznamenána na variantě N+sláma na stanovišti Hněvčeves, kde hodnota celkového obsahu  $C_{org}$  činila 0,91 %. Na tomto stanovišti byly zaznamenány velmi podobné hodnoty na variantě NPK, konkrétně 0,97 %. Zároveň je z grafu 3 patrné, že hodnoty celkového obsahu  $C_{org}$ , které byly zaznamenány na stanovišti Hněvčeves byly téměř o polovinu nižší oproti stanovišti Humpolec.



Graf 3 Celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě Humpolec a Hněvčeves [%]

Po přepočtu na celkový uhlík v půdě na hloubku a hmotnost ornice. $ha^{-1}$  je z grafu 4 viditelné, že hodnoty obsahu celkového organického uhlíku v půdě ( $C_{org}$ ) po přepočtu na hloubku a hmotnost ornice. $ha^{-1}$  činila desítky tisíc kilogramů na hektar. Nejvyšší rozdíl byl zaznamenán na variantě NPK, kde na stanovišti Humpolec dosahuje hodnota celkového uhlíku v půdě 82005 kg/ha a naopak na stanovišti Hněvčeves pouze 43706 kg/ha na této variantě. Výrazně vysoký celkový obsah  $C_{org}$  v půdě byl zaznamenán na variantě Hnůj, kde hodnota dosahuje 86362 kg/ha. Naopak nejnižší obsah uhlíku v půdě je 41006,25 kg/ha na variantě N+sláma na stanovišti Hněvčeves.

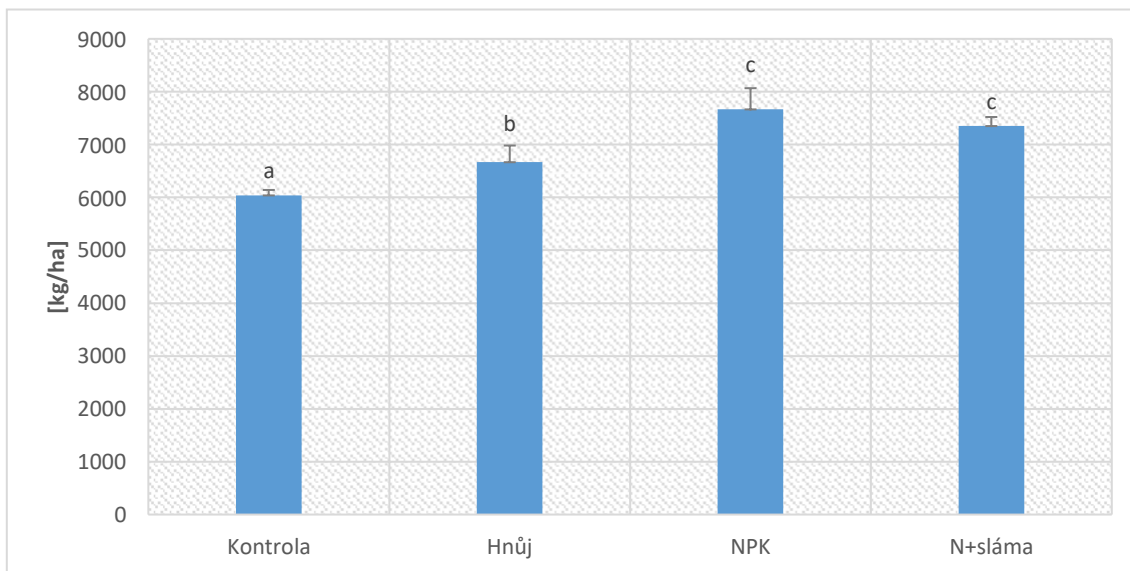


Graf 4 Celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě na ornici porovnání stanovišť [kg/ha]

### Humpolec

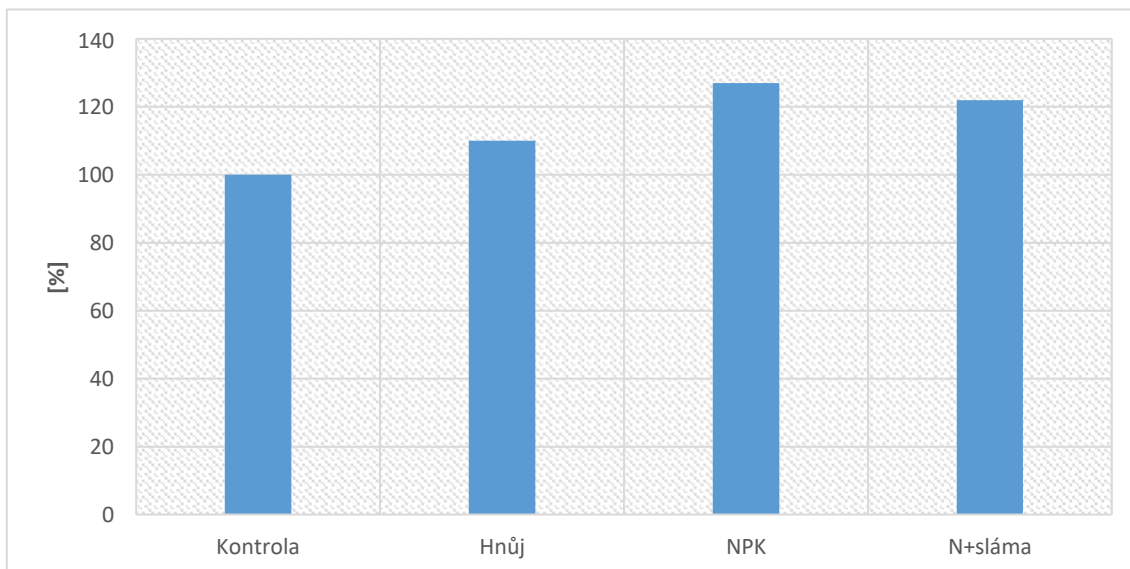
Nejvyšší obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě zobrazený na grafu 5 na stanovišti Humpolec byl zaznamenán na variantě NPK a N+sláma a na obou těchto variantách byla zaznamenán průměrný obsah z jednotlivých opakování  $N_{org}$  0,18 %, avšak po přepočtu na hmotnost a hloubku ornice činil celkový obsah  $N_{org}$  na variantě NPK činil 7665 kg/ha

a N+ sláma (7350 kg/ha). Zároveň zde nedošlo k variabilitě mezi opakování, jelikož směrodatná odchylka vyšla nízká. Nejnižší obsah  $N_{org}$  vyšel na nehnojené kontrole, kde je výsledná hodnota 0,14 %. Zároveň došlo ke statistickému průkaznému rozdílu mezi nehnojenou kontrolní variantou a hnojenými variantami a dále byl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi variantou hnojenou hnojem, kde celkový obsah  $C_{org}$  činil 7655 kg/ha, a variantami NPK a N+sláma.



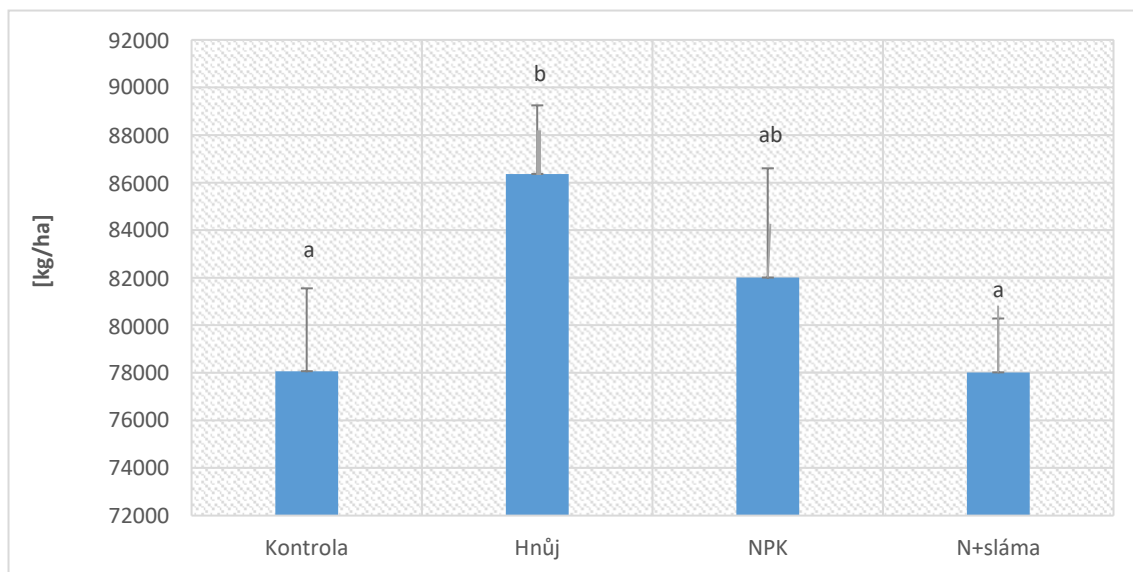
Graf 5 Celkového obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec [kg/ha]

V rámci stanoviště Humpolec je nevyšší relativní změna celkového obsahu  $N_{org}$  ve srovnání s kontrolou na variantě NPK, kde byl zaznamenán nejvyšší celkový obsah  $N_{org}$  po přepočtu na hmotnost a hloubku ornice.  $ha^{-1}$  7665 kg/ha a relativní rozdíl tak činil 27 %, což je zobrazené v grafu 6. Při použití organického hnojiva v tomto případě hnůj, byl zaznamenán celkový obsah  $N_{org}$  6666 kg/ha a byl zde vyšší rozdíl v porovnání s kontrolou o 10 %. Na variantě byl zaznamenán rozdíl o 22 % N+sláma a hodnota celkového obsahu  $N_{org}$  7350 kg/ha.



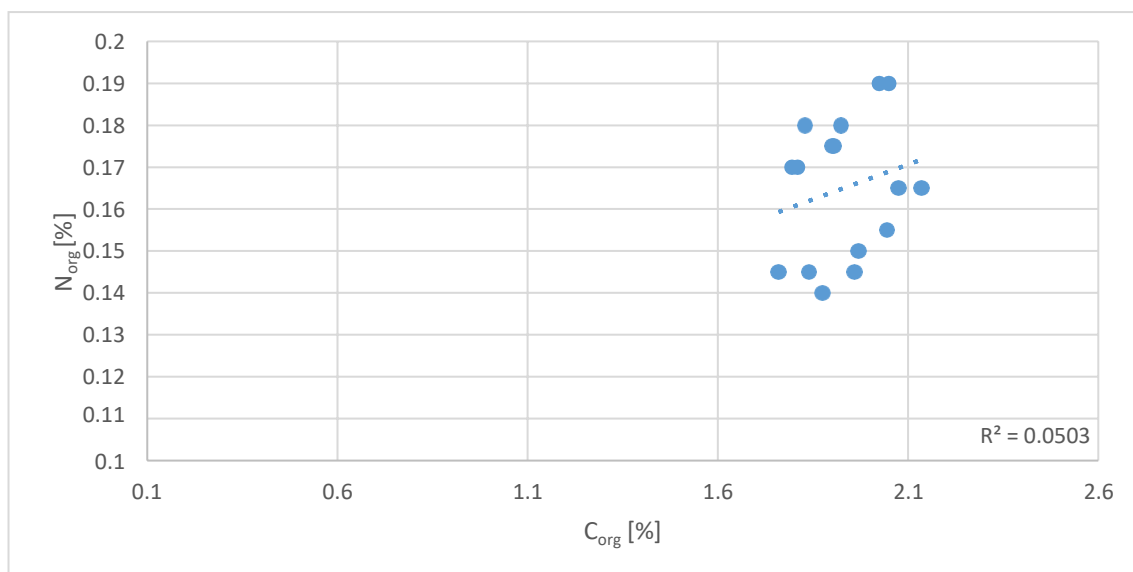
Graf 6 Relativní změny celkového obsahu dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec [%]

Dle grafu 7 je patrné, že nejvyšší celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě byl zaznamenán na variantě Hnůj dosahující 2,06 %, zároveň při přepočtu na celkový obsah uhlíku v půdě na ornici činil celkový obsah  $C_{org}$  86363 kg/ha. Na variantě Hnůj byl též zaznamenán statisticky významný rozdíl vůči ostatním variantám. Nepatrně nižší celkový obsah  $C_{org}$  byl na variantě NPK, konkrétně 1,95 %, což po přepočtu na celkový obsah  $C_{org}$  v půdě na hmotnost a hloubku ornice. $ha^{-1}$  činil obsah 82005 kg/ha. Takřka stejný obsah uhlíku v půdě byl zaznamenán na nehnojené variantě Kontrola a na variantě N+sláma, avšak při přepočtu na celkový obsah  $C_{org}$  v půdě vyšel vyšší celkový obsah na nehnojené variantě Kontrola 78067 kg/ha, kdežto na variantě N+sláma byl celkový obsah  $C_{org}$  78016 kg/ha.



Graf 7 Celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě Humpolec [kg/ha]

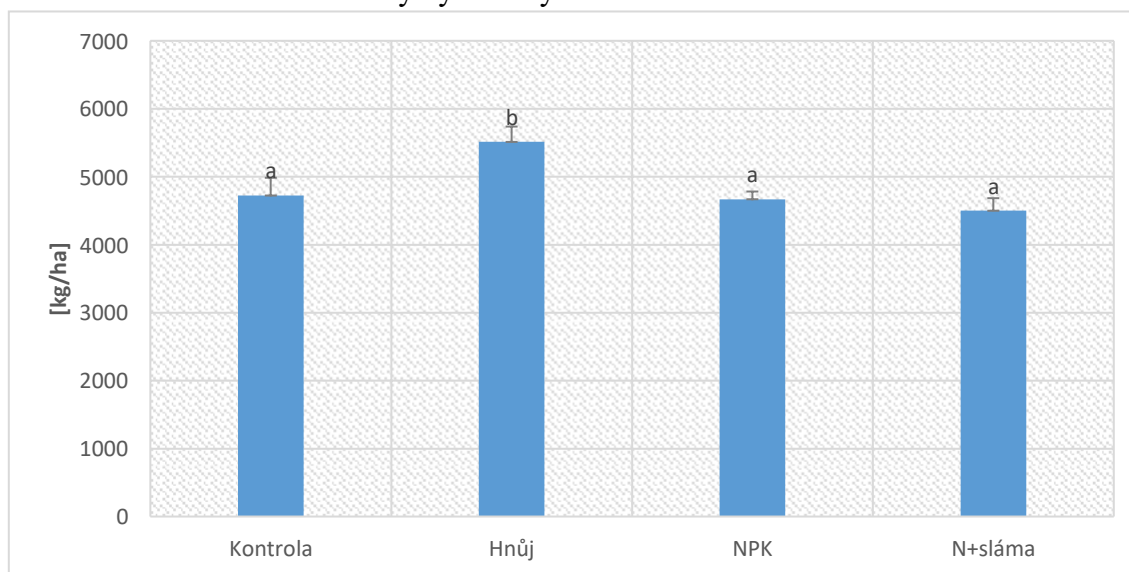
V grafu 8 je znázorněn vztah mezi obsahem uhlíku a dusíku v půdě. Hodnota koeficientu determinace zde vyšla 5 %, což naznačuje, že model nedosahuje potřebné kvality k určení závislosti



Graf 8 Vliv celkového obsahu ( $C_{org}$ ) na celkový obsah ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec [%]

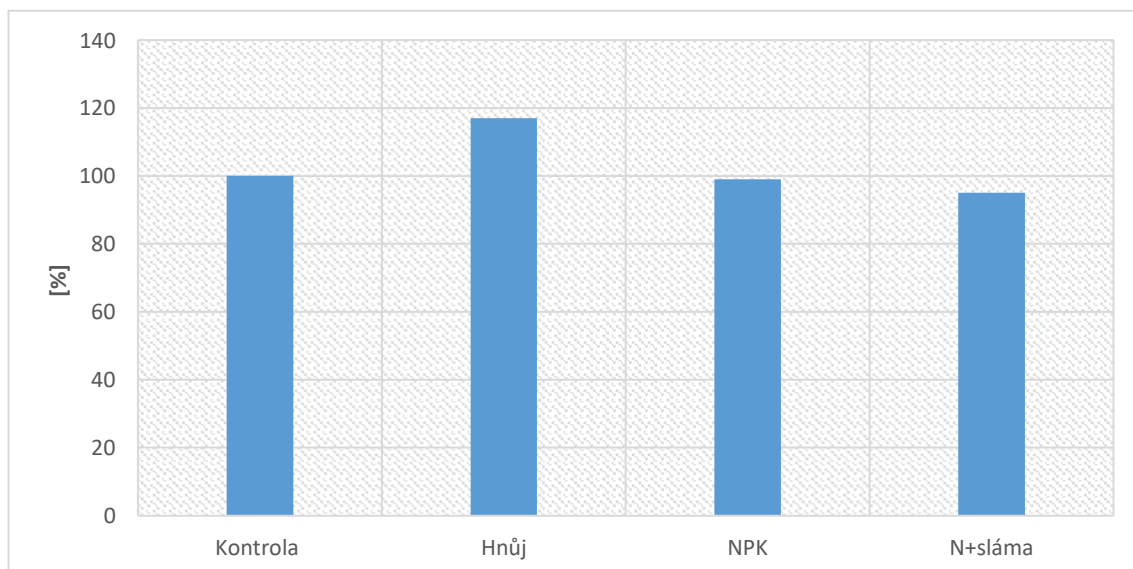
## Hněvčeves

Dle grafu 9 je patrné, že nejvyšší celkový obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě na stanovišti Hněvčeves byl zaznamenán na variantě Hnůj 0,12 % a po přepočtu na ornici činil celkový obsah  $N_{org}$  5512 kg/ha, zároveň dle nízké směrodatné odchylky je patrné, že nedošlo k variabilitě mezi jednotlivými opakování. Podobně tomu je tak i u ostatních variant, přičemž na NPK a N+sláma vyšla nízká směrodatná odchylka a zároveň zde došlo ke stejné průměrné hodnotě celkového obsahu  $N_{org}$  a konkrétně bylo zaznamenáno 0,10 %, po přepočtu na ornici pak celkový obsah  $N_{org}$  činil NPK (4669 kg/ha) a N+sláma (4500 kg/ha). Na variantě Hnůj byl zároveň zaznamenán statisticky významný rozdíl vůči ostatním variantám.



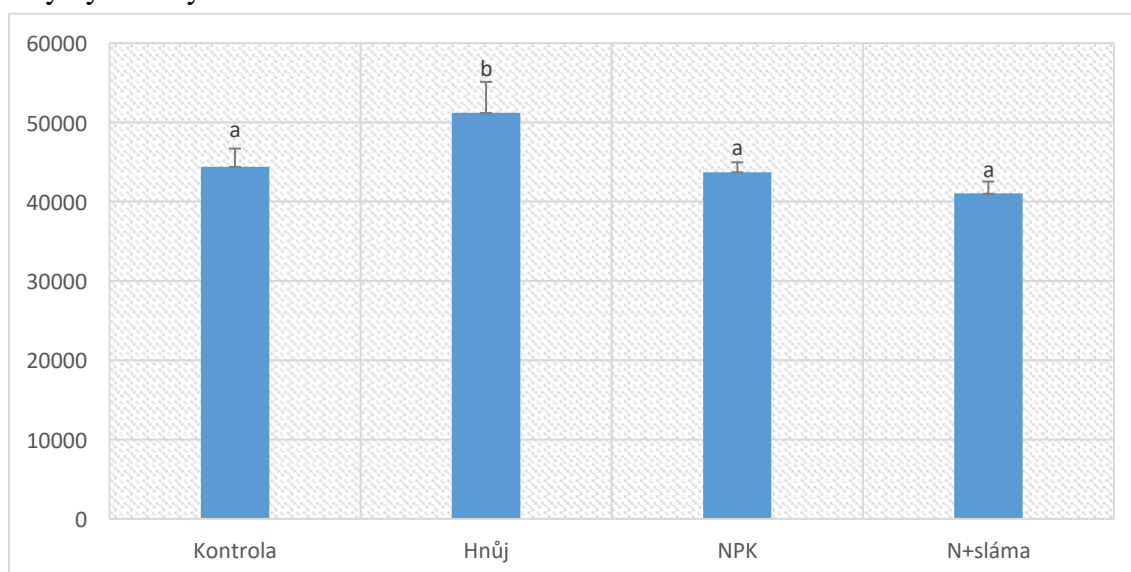
Graf 9 Celkový obsah organického dusíku v půdě ( $N_{org}$ ) Hněvčeves [kg/ha]

Na stanovišti Humpolec na variantě NPK byl zaznamenán nejvyšší relativní rozdíl celkového obsahu  $N_{org}$  v půdě oproti nehnojené kontrole. Nicméně na stanovišti Hněvčeves byl na této variantě zaznamenán nižší rozdíl o 1 % a celkový obsah  $N_{org}$  na variantě NPK činil 4668 kg/ha. Na variantě N+sláma byl zaznamenán ještě nižší rozdíl obsahu  $N_{org}$  oproti nehnojené kontrole a to o 5 % a celkový obsah  $N_{org}$  na této variantě činil 4500 kg/ha. Nejvyšší relativní změna obsahu dusíku oproti nehnojené kontrole o 17 % byla zaznamenána na stanovišti Hnůj, kde bylo dosaženo celkového obsahu  $N_{org}$  5513 kg/ha. Tyto rozdíly jsou graficky znázorněny v grafu číslo 10.



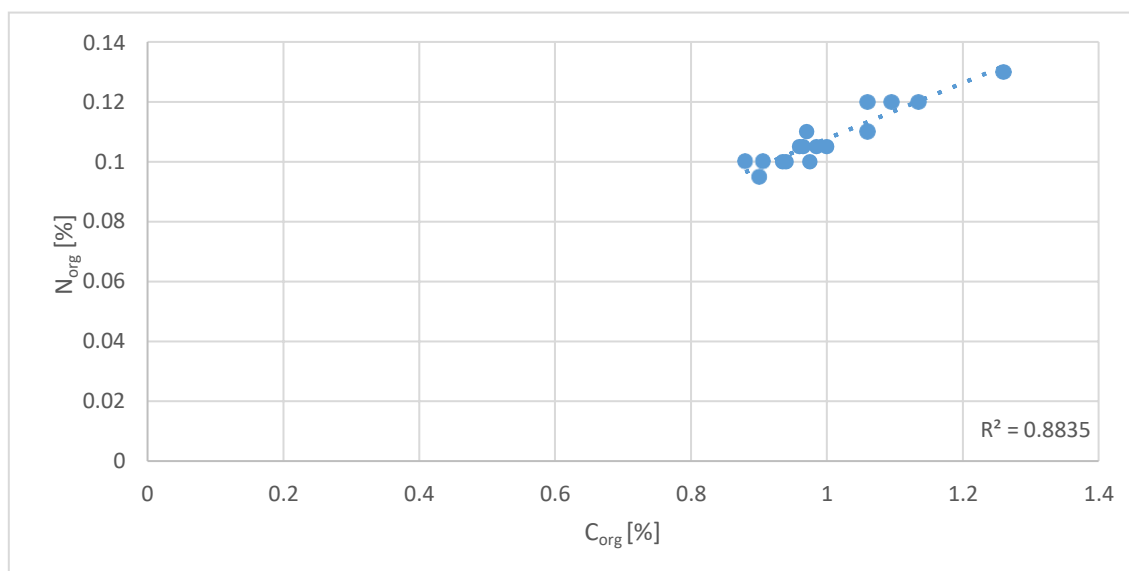
Graf 10 Relativní změny celkového obsahu dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Hněvčeves [%]

Nejvyšší obsah celkového organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě je zaznamenán na variantě Hnůj, konkrétně hodnota obsahu  $C_{org}$  činila 1,14 %. Po přepočtu na celkový obsah  $C_{org}$  v půdě na ornici byla zaznamenána hodnota 51187 kg/ha. Zároveň na variantě Hnůj byl zjištěn statisticky významný rozdíl.



Graf 11 Celkový obsah uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě Hněvčeves [kg/ha]

Hodnota koeficientu determinace vztahu mezi obsahem uhlíku a dusíku v půdě je 88 %. Tento vysoký koeficient determinace prokazuje, že existence přímé závislosti obou proměnných je významná, což je zobrazeno v grafu 12.



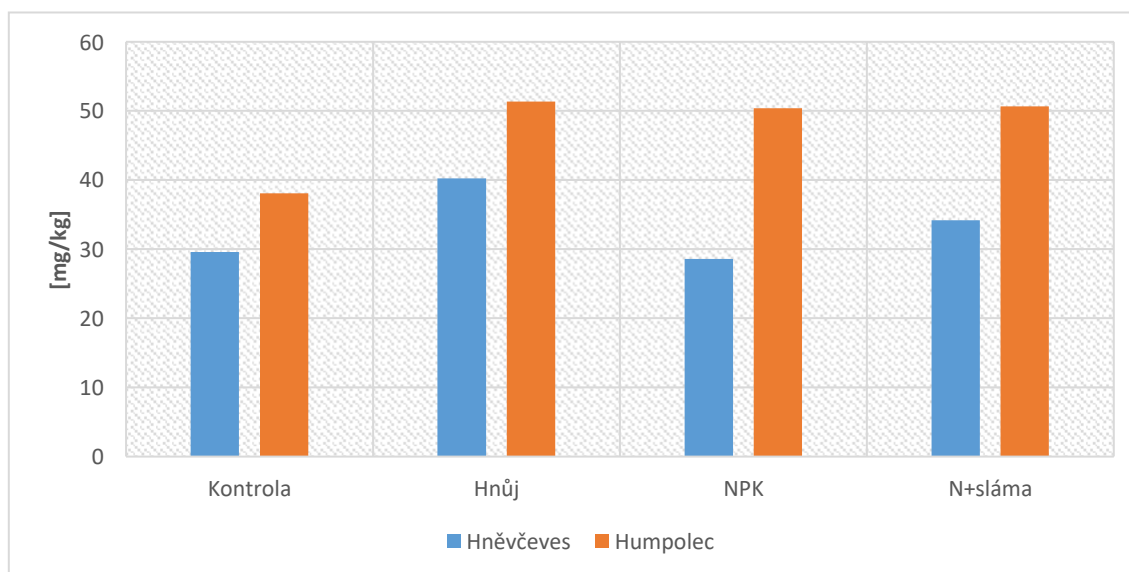
Graf 12 Vliv obsahu celkového obsahu  $C_{org}$  na celkový obsah  $N_{org}$  Hněvčeves [%]

## 6.2 Mineralizovatelné formy dusíku

### 6.2.1 Horkou vodou extrahovatelný dusík a uhlík

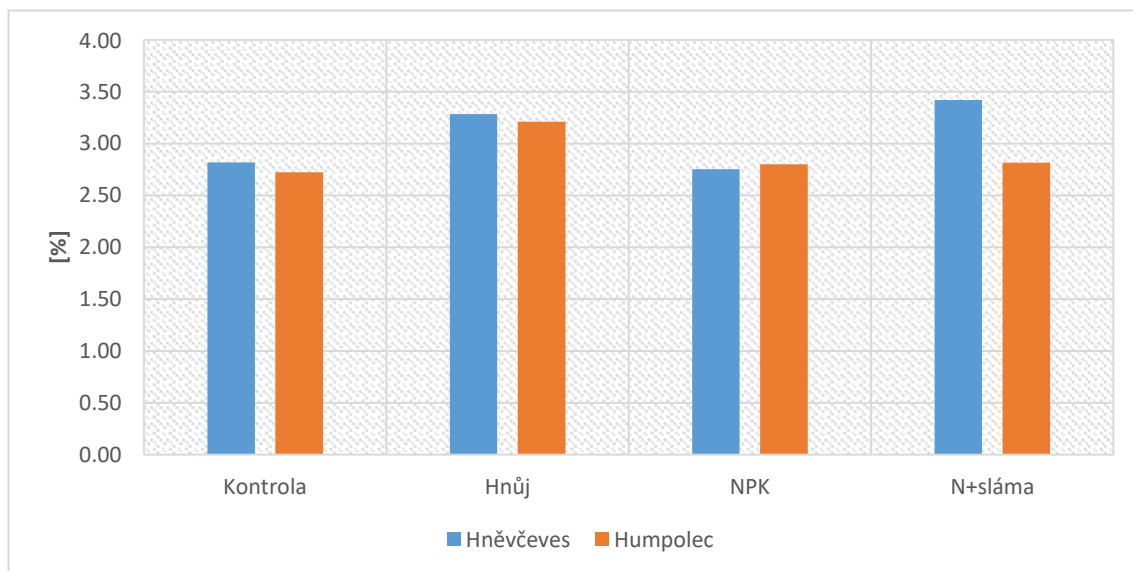
#### Porovnání stanovišť

Porovnání hodnot obsahu horkou vodou extrahovatelného dusíku ( $N_{HWE}$ ) v půdě na stanovišti Humpolec a Hněvčeves jsou zaznamenány v grafu 13. Znatelně vyšší hodnoty byly zaznamenány na stanovišti Humpolec, přičemž nejvyšší hodnota obsahu  $N_{HWE}$  dosahuje 51,33 mg/kg na variantě Hnůj. Zároveň na této variantě byla vyšší hodnota i na stanovišti Hněvčeves konkrétně 40,24 mg/kg, lze také konstatovat, že v rámci hnojených variant je na variantě Hnůj nejnižší rozdíl mezi stanovišti, konkrétně 11,09 mg/kg obsahu  $N_{HWE}$  v půdě. Naopak nejnižší hodnota obsahu  $N_{HWE}$  v půdě činí 28,56 mg/kg byl zaznamenána na stanovišti Hněvčeves na variantě NPK.



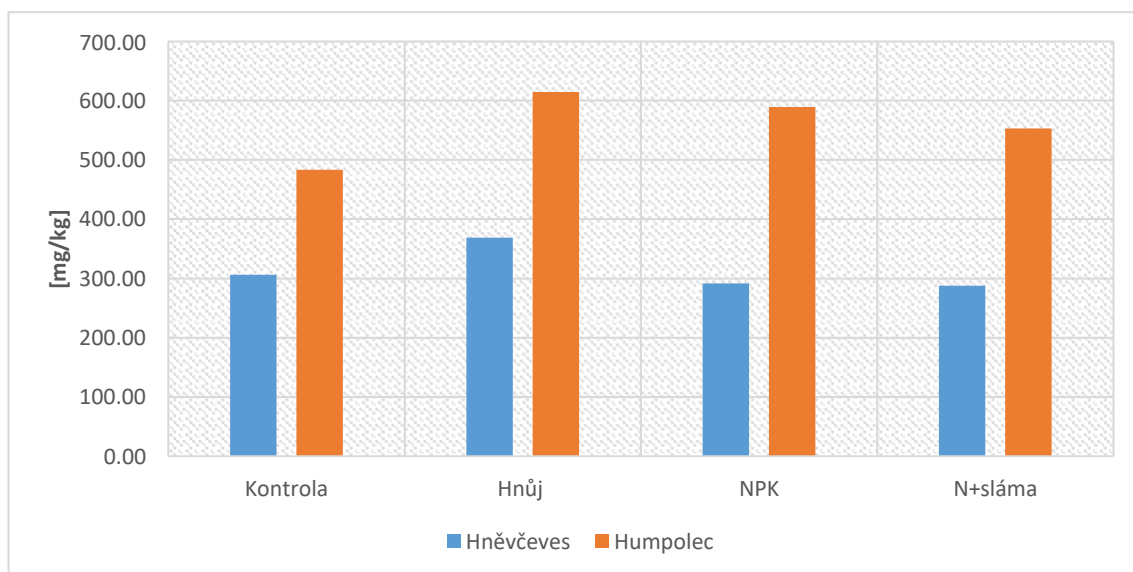
Graf 13 Obsah  $N_{HWE}$  porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves [%]

Graf 14 zobrazuje, že podíl  $N_{HWE}$  z celkového dusíku byl na obou stanovištích vyrovnaný. Na variantě N+sláma byl pozorován největší rozdíl v hodnotách mezi stanovišti Hněvčeves a Humpolec. Na stanovišti Hněvčeves dosahuje podíl 3,42 % a na Humpolci 2,82 %. Na variantě Hnůj byly zaznamenány vyšší a zároveň nejvíce vyrovnané hodnoty podílu extrahovatelného dusíku z celkového obsahu dusíku. Na stanovišti Hněvčeves na variantě Hnůj byl zaznamenán podíl 3,28 % a na Humpolci 3,21 %.



Graf 14 Podíl extrahovatelného dusíku z celkového dusíku porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves [%]

Hodnoty extrahovatelného obsahu uhlíku v půdě stanovišť Humpolec a Hněvčeves jsou zaznamenány v grafu 15, lze kterého je patrné, že nejvyšší hodnota je na stanovišti Humpolec na variantě Hnůj a dosahuje 614,60 mg/kg. O něco nižší hodnota je 589,15 mg/kg zaznamenána na variantě NPK a též na stanovišti Humpolec. Na stanovišti Hněvčeves byl zaznamenán nejnižší obsah extrahovatelného uhlíku z obou stanovišť dosahující pouhých 288,10 mg/kg na variantě N+sláma. Obsah varianty NPK dosáhl mírně vyšší hodnoty, konkrétně 291,73 mg/kg.

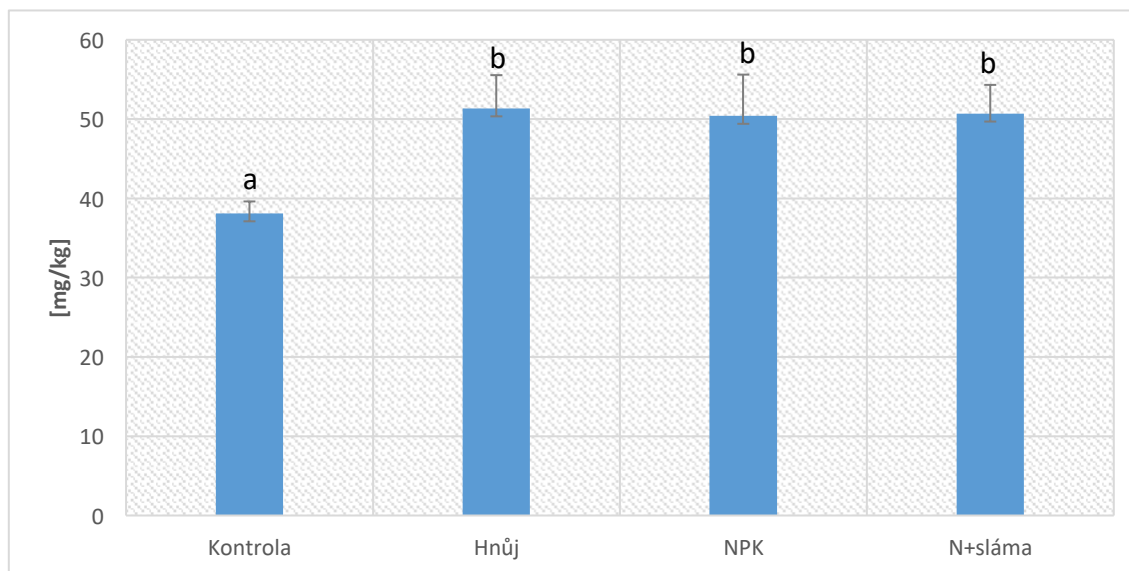


Graf 15 Obsah extrahovatelného uhlíku porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves [mg/kg]



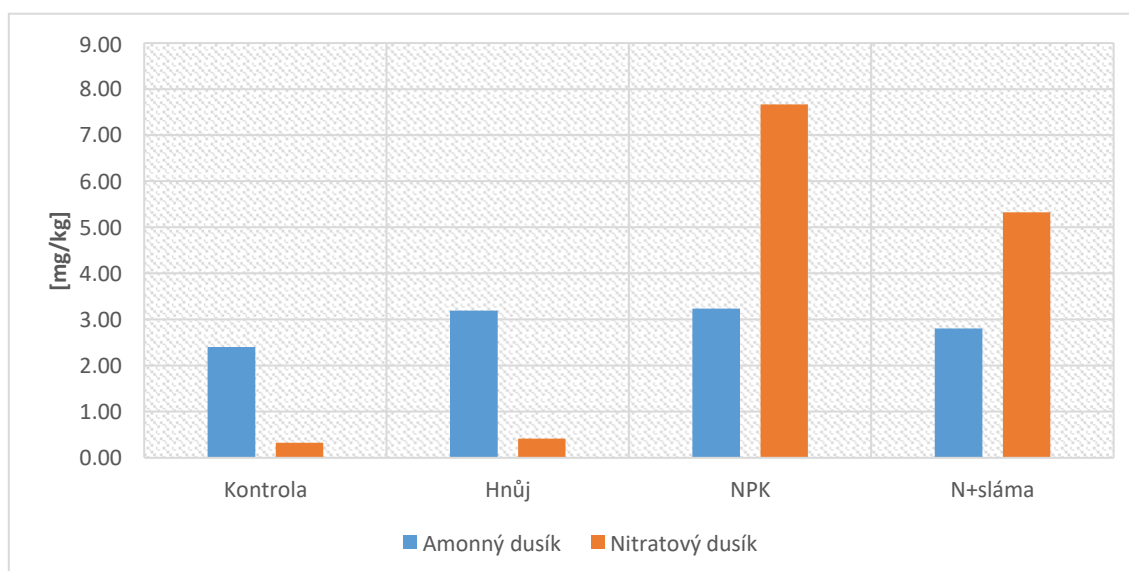
## Humpolec

Graf 16 znázorňuje vypočtený průměrný obsah extrahovatelného dusíku ( $N_{HWE}$ ) z na jednotlivých opakování na variantách. Nejvyšší obsah extrahovatelného dusíku byl zaznamenán na variantě Hnůj, kde průměrná hodnota této varianty činí 51,33 mg/kg. Nejnižší obsah extrahovatelného dusíku v půdě byl 30,09 mg/kg a zaznamenán byl na nehojené variantě 30,09 mg/kg, dle grafu 16 lze také konstatovat, že mezi hnojenými variantami a nehojenou kontrolní variantou existuje statisticky významný rozdíl.



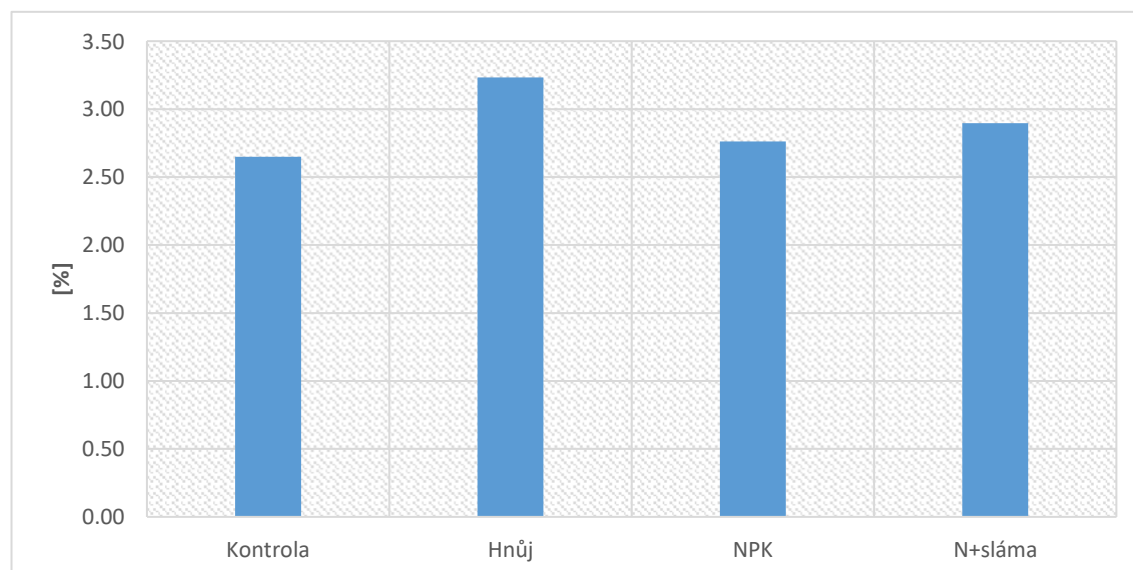
Graf 16 Obsah  $N_{HWE}$  Humpolec [mg/kg]

Markatně nejvyšší obsah nitrátového dusíku ( $N-NO_3$ ) byl na variantě NPK, kde zaznamenaný obsah činil 7,67 mg/kg, což je patrné z grafu 17. Zároveň na této variantě byl i nejvyšší obsah amonného dusíku ( $N-NH_4^+$ ), který činil 3,24 mg/kg.



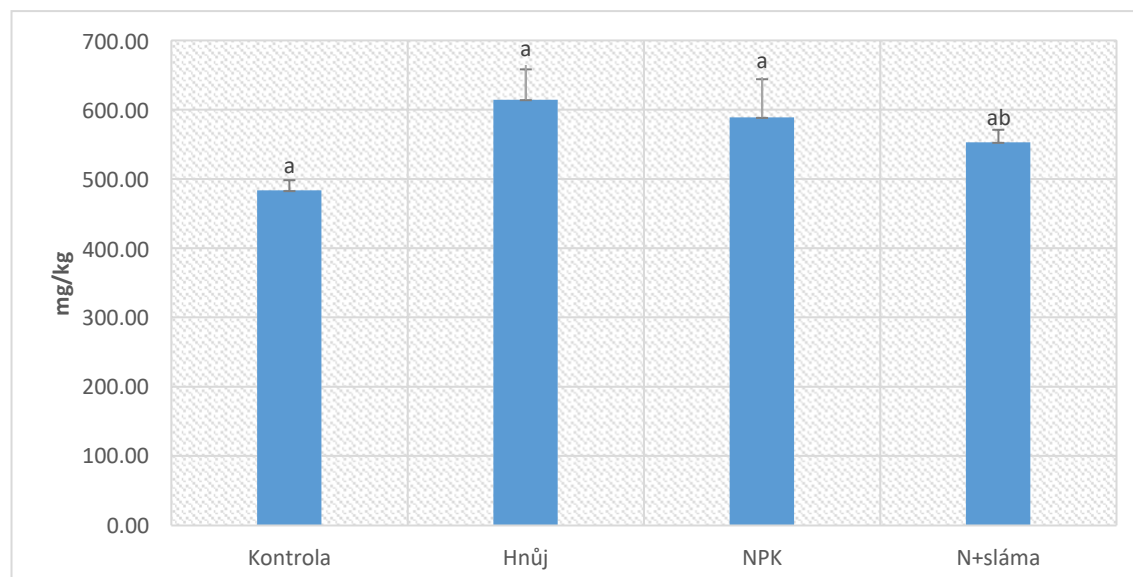
Graf 17 Obsah amonného ( $N-NH_4^+$ ) a nitrátového dusíku ( $N-NO_3^-$ ) Humpolec [mg/kg]

Dle grafu 18 je patrné, že nejvyšší podíl extrahovatelného dusíku  $N_{HWE}$  z celkového množství obsahu dusíku v půdě je zaznamenán na variantě Hnůj, kde hodnota činila 3,23 %. Vyšší podíl byl i na variantě N+sláma, konkrétně 2,9 %. Nejnižší podíl obsahu extrahovatelného dusíku byl zaznamenán na nehojené kontrolní variantě dosahující 2,65 %.



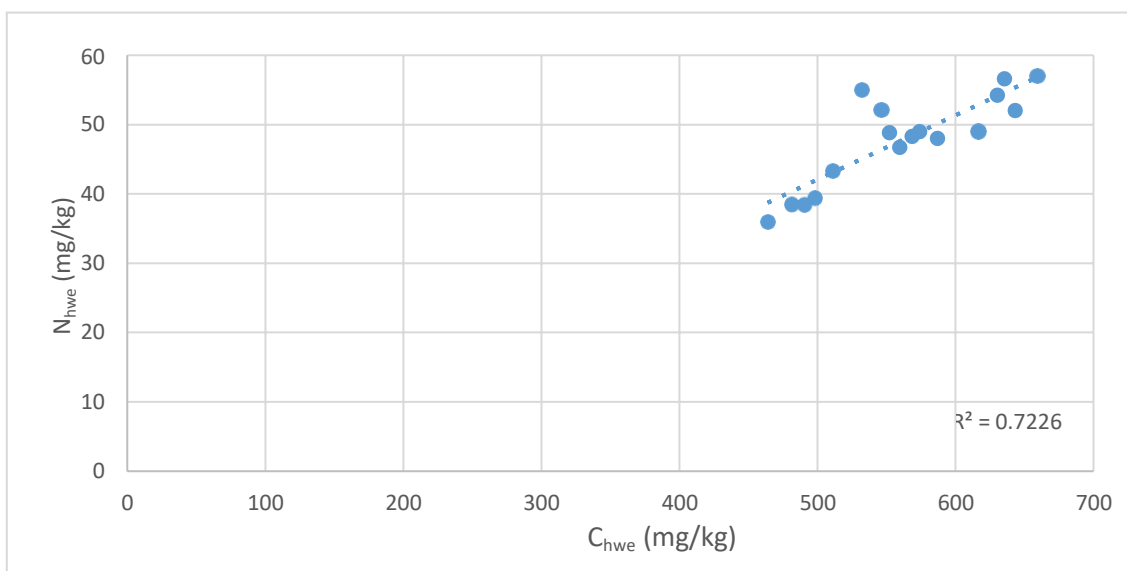
Graf 18 Podíl extrahovatelného dusíku ( $N_{hwe}$ ) z celkového dusíku Humpolec [%]

Nejvyšší obsah extrahovatelného uhlíku ( $C_{hwe}$ ) byl zaznamenán na variantě Hnůj, kde výsledná hodnota činí 614,6 mg/kg. Naopak nejnižší obsah je na nehojené kontrolní variantě dosahující 483,56 mg/kg, což je znázorněno v grafu 19.



Graf 19 Obsah extrahovatelného uhlíku ( $C_{hwe}$ ) v půdě Humpolec

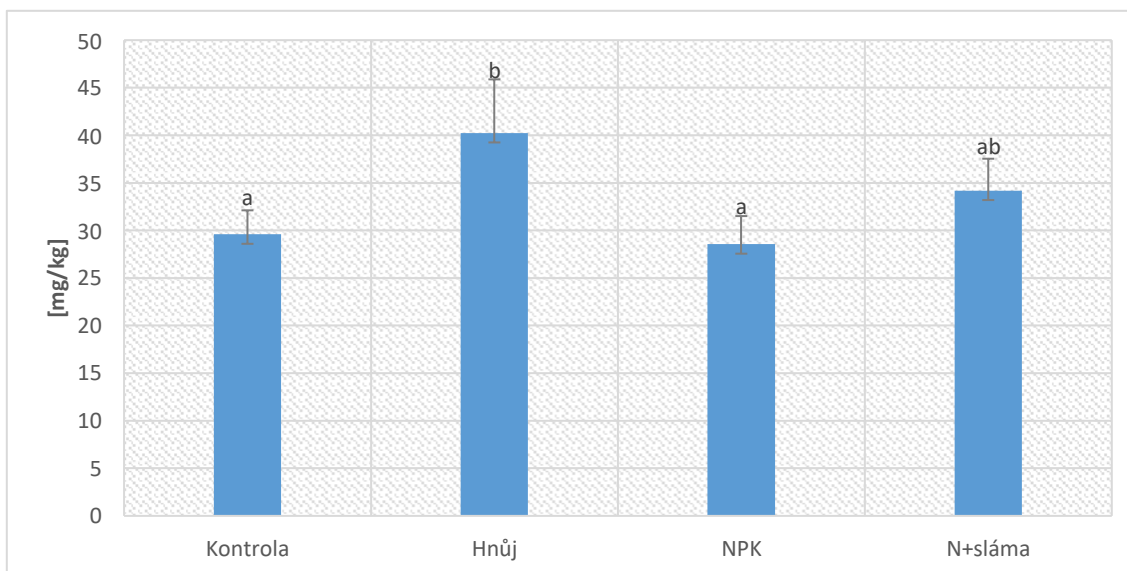
Z grafu 20 vyplývá, že mezi obsahem extrahovatelného dusíku a uhlíku byla pozorována silná přímá závislost. Toto značí i koeficient determinace, který vyšel 72,3 %.



Graf 20 Vliv obsahu C<sub>hwe</sub> na obsah N<sub>hwe</sub> Humpolec (mg/kg)

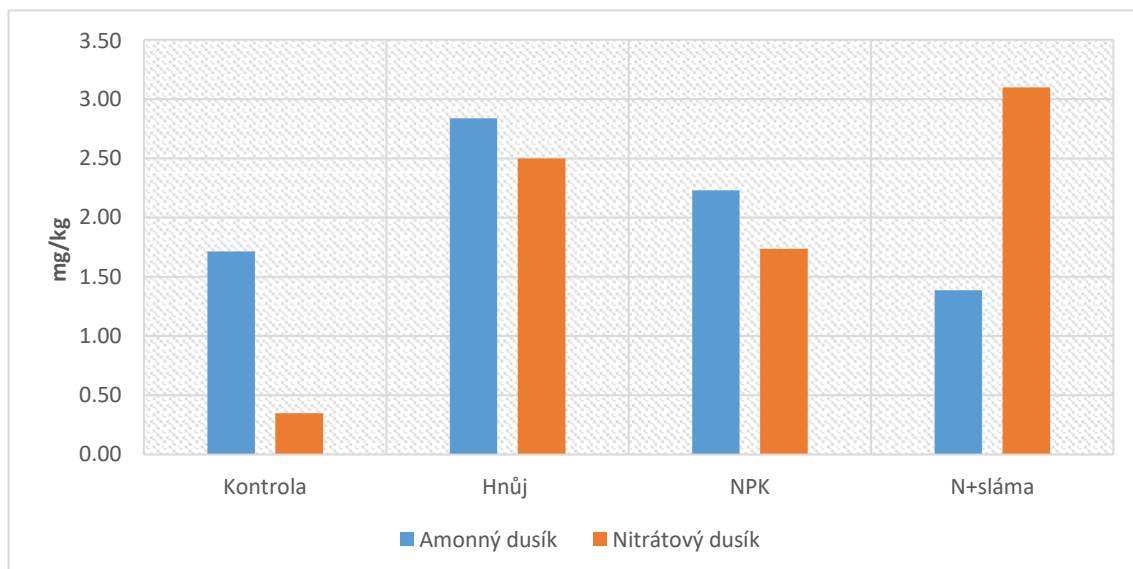
### Hněvčeves

Nejvyšší obsah extrahovatelného dusíku (N<sub>hwe</sub>) v půdě vyšel na variantě Hnůj (40,24 mg/kg), zároveň na této vyšel statisticky významný rozdíl oproti variantě NPK a nehojené kontrole, což je zobrazeno v grafu 21. Na variantě N+sláma byla zaznamenána hodnota obsahu extrahovatelného dusíku v půdě 34,87 mg/kg. Nejnižší obsah extrahovatelného dusíku v půdě byl zaznamenán (28,56 mg/kg) na variantě NPK, což je nižší obsah oproti nehojené kontrolní varinatě, kde obsah extrahovatelného dusíku dosahuje 29,6 mg/kg.



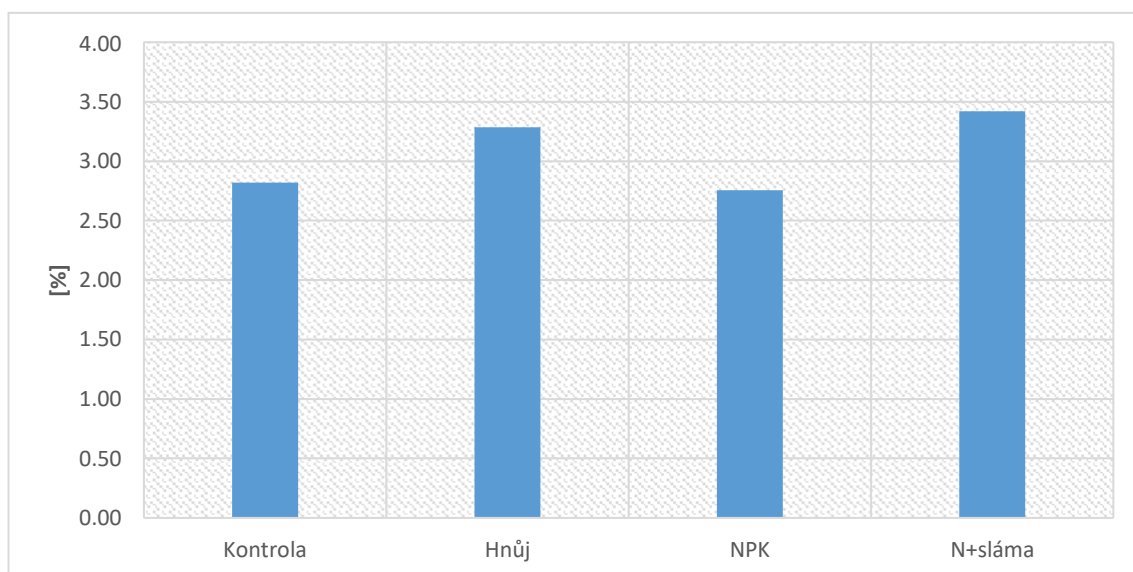
Graf 21 Obsah extrahovatelného dusíku (N<sub>hwe</sub>) Hněvčeves [mg/kg]

Z grafu 22 je patrné, že z obsahu extrahovatelného dusíku nejvyšší obsah amonného dusíku byl zaznamenán na variantě NPK (3,24 mg/kg). Nepatrně nižší obsah byl zaznamenán na variantě Hnůj, který činil 3,19 mg/kg. Naopak nejvyšší obsah nitrátového dusíku je zaznamenán na variantě N+sláma. Nejnižší obsah nitrátového dusíku byl na nehojené variantě Kontrola. Zároveň je možné si povšimnout, že na na variantě Hnůj je obsah nitrátového i amonného duísku velice vyrovnaný.



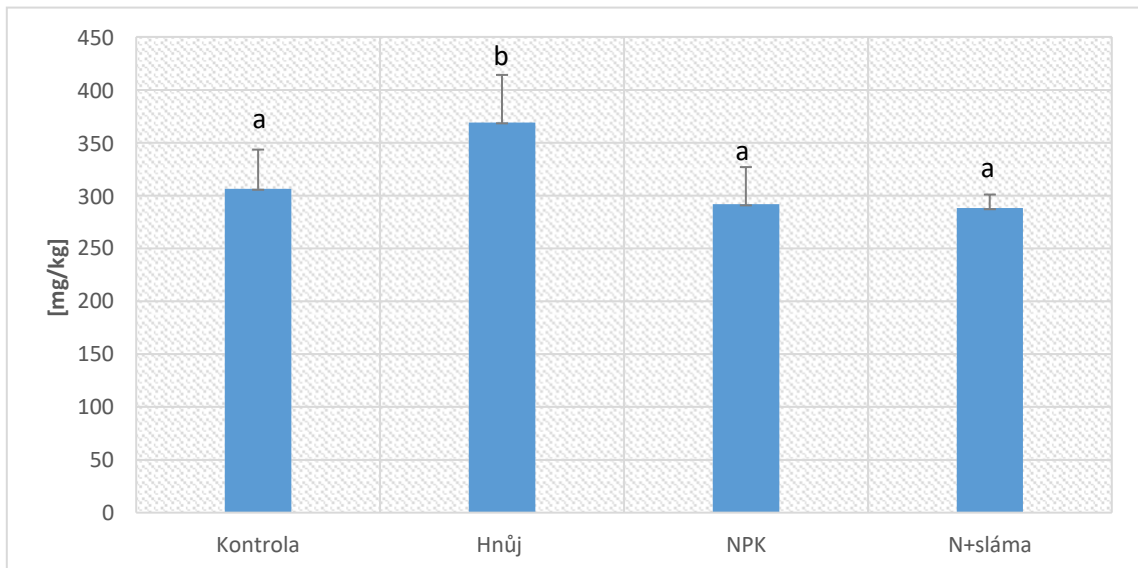
Graf 22 Obsah amonného ( $N-NH_4^+$ ) a nitrátového dusíku ( $N-NO_3^-$ ) v půdě Hněvčeves

Na tomto stanovišti nejvyšší podíl extrahovatelného dusíku z celkového dusíku 3,42 % dosáhla varianta N+sláma, jak znázorňuje graf 23. Minimalní rozdíl je na variantě Hnůj, kde podíl činí 3,28 %. Naopak nejnižší podíl je zaznamenán na variantě NPK 2,75 %, kde zároveň došlo k nižšímu rozdílu oproti nehnojené variantě o 0,07 %.



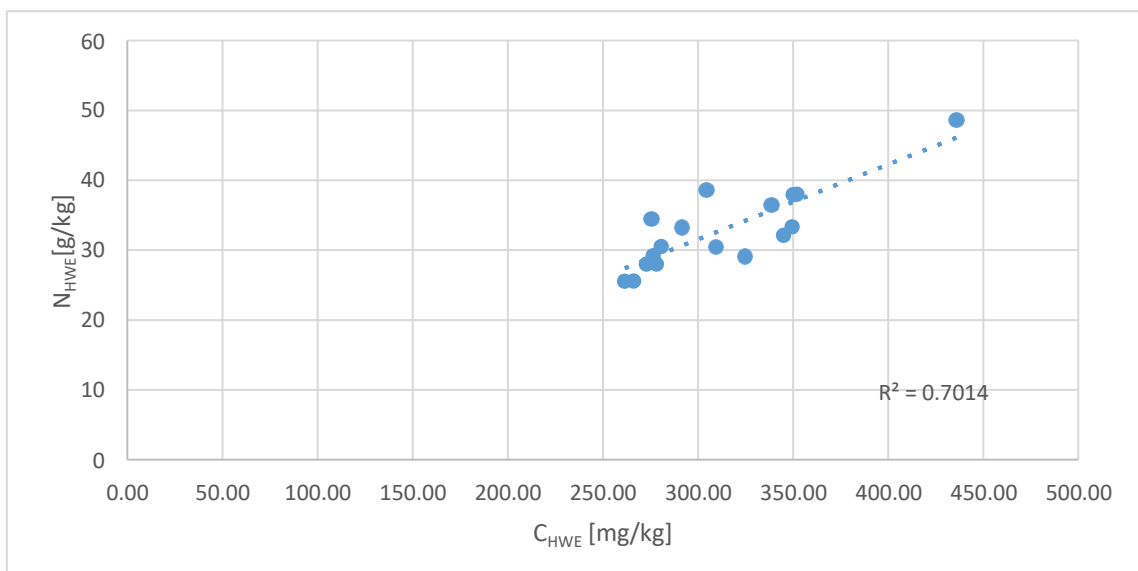
Graf 23 Podíl extrahovatelného dusíku ( $N_{hwe}$ ) z celkového dusíku Hněvčeves [%]

Graf 24 znázorňuje obsah extrahovatelného uhlíku  $C_{HWE}$  v půdě, přičemž nejvyšší obsah  $C_{HWE}$  (369,13 mg/kg) byl zaznamenán na variantě Hnůj a oproti nehnojené kontrole byl rozdíl o 89,78 mg/kg. Nejnižší obsah  $C_{HWE}$  byl zaznamenán na variantě N+sláma, kde hodnota obsahu  $C_{HWE}$  činila 288,11 mg/kg.



Graf 24 Obsah extrahovatelného uhlíku ( $C_{HWE}$ ) v půdě Hněvčeves

Z grafu 25 vyplívá, že mezi obsahem extrahovatelného dusíku a uhlíku byla pozorována silná přímá závislost. Toto značí i koeficient determinace, který vyšel 70,14 %.



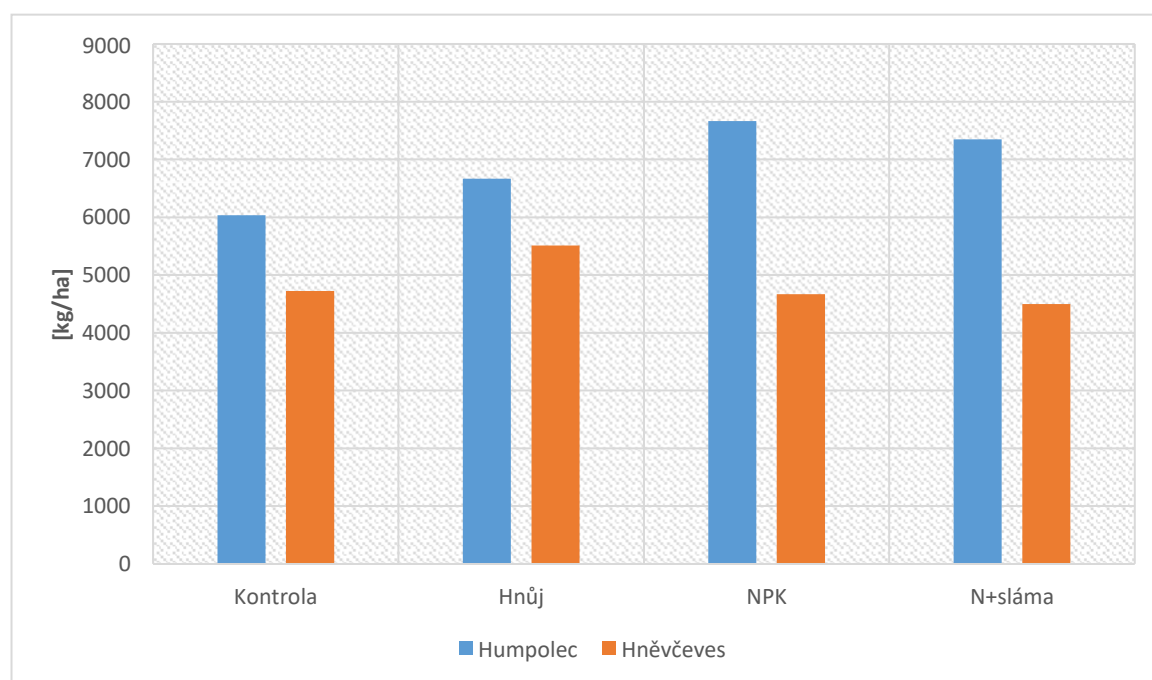
Graf 25 Vliv obsahu  $C_{HWE}$  na obsah  $N_{HWE}$  Hněvčeves (mg/kg)

## 7 Diskuze

### 7.1 Celkové množství dusíku v půdě

Balík et al. (2012) se ve své studii zabývali stanovením celkového obsahu dusíku v půdě, kde vyhodnocovali stanoviště s odlišnými půdně–klimatickými podmínkami, mezi které patřily i stanoviště Humpolec a Hněvčeves. V rámci jejich studie byly na stanovišti Humpolec zaznamenány celkově vyšší hodnoty celkového obsahu dusíku v půdě, přičemž nejvyšší hodnota byla naměřena na variantě Hnůj, kde dosáhla hodnoty 8814 kg/ha a na stanovišti Hněvčeves byla nejvyšší hodnota opět naměřena na variantě Hnůj a činila 7434 N kg/ha. Výsledky v této diplomové práci, které byly hodnoceny z roku 2022, jsou poněkud nižší, nicméně opět potvrzují, že nejvyšší hodnoty celkového dusíku v půdě byly zaznamenány na stanovišti Humpolec, avšak nejvyšší hodnota byla naměřena na variantě NPK, konkrétně 7665 kg/ha. Zatímco na stanovišti Hněvčeves je opět nejvyšší hodnota zaznamenána na variantě Hnůj, kde dosáhla hodnoty 5514 kg/ha.

Zároveň Prchalová and Klement (2013) ve své studii uvádí, že celkový obsah dusíku v orniční vrstvě České republiky se pohybuje v rozmezí 3000-9000 kg/ha. Z grafu 26 je patrné, že toto rozmezí splňují výsledky ze stanoviště Humpolec tak i ze stanoviště Hněvčeves, zároveň žádná z hodnot celkového obsahu dusíku nedosáhla vrchní ani spodní hranice.



Graf 26 Obsah celkového dusíku v půdě porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves

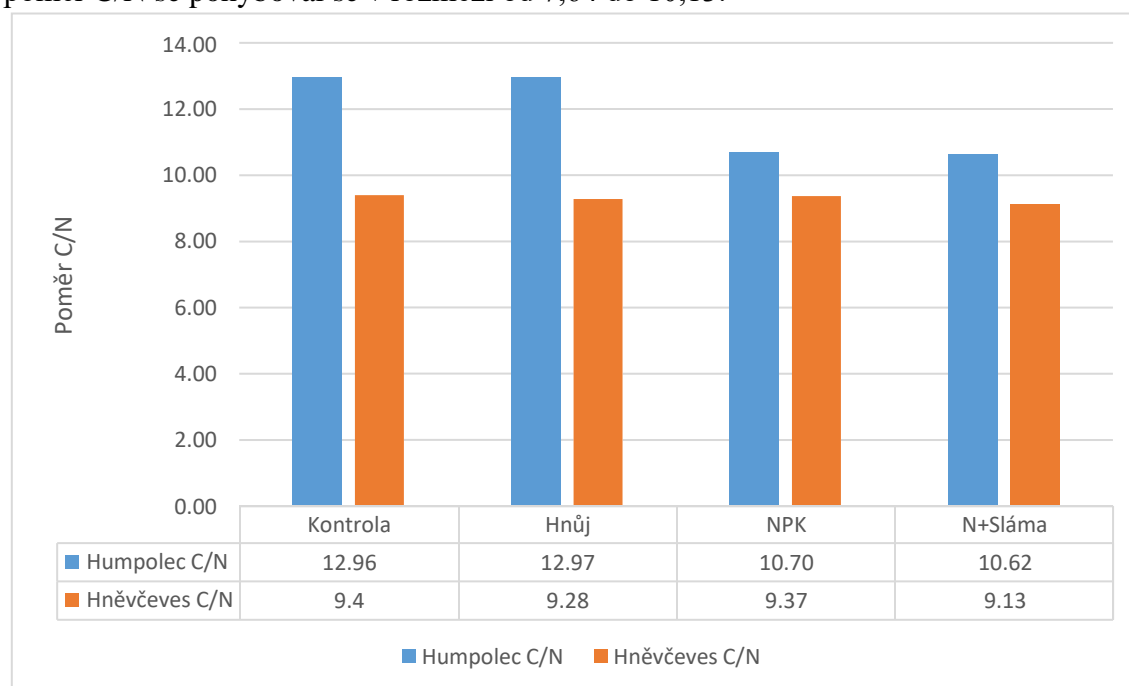
Variantou s nejvyšším obsahem celkového uhlíku v půdě na stanovištích Humpolec a Hněvčeves byla varianta s aplikací hnoje. Výzkum provedený Balík et al. (2003), že aplikace hnoje vedla k nárůstu celkového obsahu uhlíku v půdě ve srovnání s nehnojenou kontrolní variantou a variantami s aplikací minerálního hnojení.

Zároveň výzkum Vahdat et al. (2010) uvedli, že použití organického hnojení má pozitivní dopad na celkový obsah půdního organického uhlíku, a zvyšuje také jeho labilitu. To znamená, že se zvyšuje podíl méně stabilních a snadno rozložitelných organických látek. Tento jev je pravděpodobně způsoben nízkou stabilitou organických látek dodaných do půdy. V oblastech s přirozeně vysokým obsahem půdního organického uhlíku je riziko zmenšení jeho obsahu, pokud se používají pouze minerální hnojiva. Tento jev se nazývá "priming effect". Použití dodatečné primární organické hmoty je tedy nutné k omezení ztrát půdní organické hmoty v intenzivně obhospodařovaných půdách.

Z výsledků také vyplývá, že existuje vysoká závislost mezi celkovým obsahem uhlíku a dusíku v půdě, vyšší prokazatelná závislost vyšla na stanovišti Humpolec, kde koeficient determinace dosáhl 88 %, což je v souladu s výzkumem Haney et al. (2012), kde byl zaznamenán koeficient determinace mezi těmito dvěma proměnnými ve výši 93 %.

## 7.2 Poměr C/N

Studie Dhillon et al. (2018) uvádí, že na variantě hnojené hnojem byl vyšší podíl organického uhlíku, který kolísal mezi 7,40 g/kg a 10,65 g/kg s průměrem 9,31 g/kg, zároveň upozorňují na to, že čerstvý hnůj je nachylnější ke ztrátám uhlíku než například kompost. Rovněž uvádí, že poměr C/N se pohyboval se v rozmezí od 7,64 do 10,13.



Graf 27 Poměr C/N Humpolec a Hněvčeves

To je v souladu s prací Nesseef et al. (2013), jelikož ten zároveň uvádí, že tento poměr je ukazatelem mineralizace dusíku, což znamená, že po hnojení organickými hnojivy (hnoje) se dusík stal v půdě dostupným a snížil se poměr C/N, což podpořilo mineralizaci dusíku. Během procesu mineralizace byl dusík vyčerpán, čímž se poměr C/N zvýšil. Toto tvrzení potvrzuje stanoviště Humpolec, z grafu 27 je patrné, že vyšel poměr C/N nejvyšší právě na variantě Hnůj, kde dosahuje hodnoty 12,97 podobně tak vyšel poměr C/N na nehnojené kontrolní variantě, který činí 12,96.

Tyto hodnoty jsou zároveň nejbližší k uváděnému průměrnému poměru C/N čímž je 15:1, který například uvádí ve své studii Zimolka et al. (2005). To se nedá říct o stanovišti Hněvčeves, kde se ani nejvyšší záznamovaná hodnota (C/N=9,4) na nehnojené kontrolní variantě k uváděnému průměru zdaleka nepřiblížila. Zároveň studie Spargo et al. (2011) uvádí, že nejvyšší poměr C/N dosáhla varianta hnojená minerálním hnojením, což bylo téměř potvrzeno na stanovišti Hněvčeves, kde na variantě NPK bylo dosaženo poměru vyššího poměru C/N čínicí 9,37, oproti variantě Hnůj.

### 7.3 Obsah potenciálně mineralizovatelného dusíku a uhlíku v půdě

Ve studii Zhou et al. (2012) byla v průběhu let pozorována akumulace organického uhlíku a dusíku stanovený metodou – extrakce horkou vodou, bylo zjištěno, že aplikace hnoje vedla k vyššímu množství extrahovatelného organického uhlíku a dusíku v půdě ve srovnání s minerálním hnojením. Na tomto výsledku se shodují obě stanoviště, jak je uvedeno v tabulce 12. I když jsou hodnoty na stanovišti Hněvčeves výrazně nižší, stále byl dosažen nejvyšší obsah extrahovatelného dusíku ( $N_{HWE}$ ) a obsah ( $C_{HWE}$ ) na variantě s použitím hnoje. Nejvyšší hodnoty z obou stanovišť byly dosaženy v Humpolci, a to konkrétně 51,33 mg/kg  $N_{HWE}$  a 614, mg/kg  $C_{HWE}$ .

To je v souladu se studií Murphy et al. (2007), kde také došlo k vyššímu obsahu potenciálně mineralizovatelného dusíku a uhlíku extrakcí horkou vodou po aplikaci organických materiálů. Ve studii Chantigny (2003) navíc uvádí, že obsah extrahovatelného uhlíku a dusíku v půdě měl tendenci se zvyšovat s počtem let hnojení hnojem a většina těchto nárůstů se týkala ve svrchních 5 cm hloubky půdy. Spargo et al. (2011) naznačují, že podpora mineralizace půdního organického dusíku v ekologickém zemědělství by měla být obzvláště podpořena. Hlavně z toho důvodu, že se při tomto způsobu hospodaření jsou vysoké limity v externích vstupech do půdy.

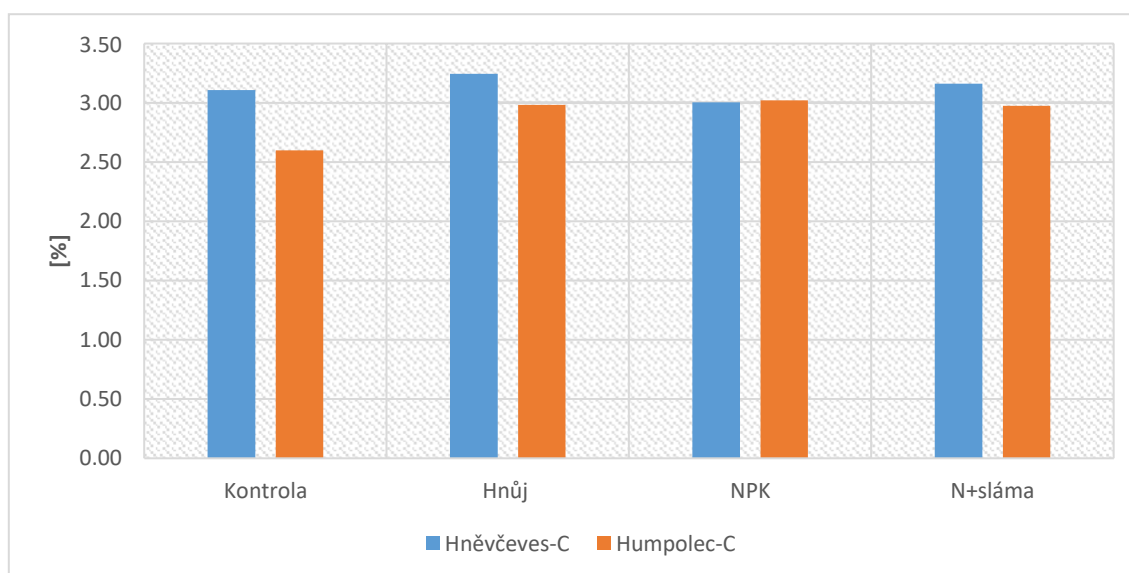
Tabulka 12 Obsah  $N_{HWE}$  a  $C_{HWE}$  porovnání stanovišť [mg/kg]

	Hněvčeves-C	Hněvčeves-N	Humpolec-C	Humpolec-N
Kontrola	306.35	29.60	483.56	38.09
Hnůj	369.13	40.24	614.60	51.33
NPK	291.73	28.56	589.15	50.39
N+sláma	288.10	34.19	553.05	50.68

Marriot a Wander (2006) zjistili, že po výpočtu podílu extrahovatelného dusíku z celkového dusíku byl zaznamenán vyšší podíl na variantě hnojené hnojem oproti variantě hnojené minerálním hnojením. S tímto zjištěním je stotožněn výsledek podílu extrahovatelného dusíku z celkového dusíku na stanovišti Humpolec, kde na variantě hnojené hnojem vyšel nejvyšší podíl, který činil 3,23 %. Naopak na stanovišti Hněvčeves vyšel nejvyšší podíl extrahovatelného dusíku v půdě na variantě N+sláma, dosahující 3,42 %, zároveň je to nejvyšší podíl z obou stanovišť.

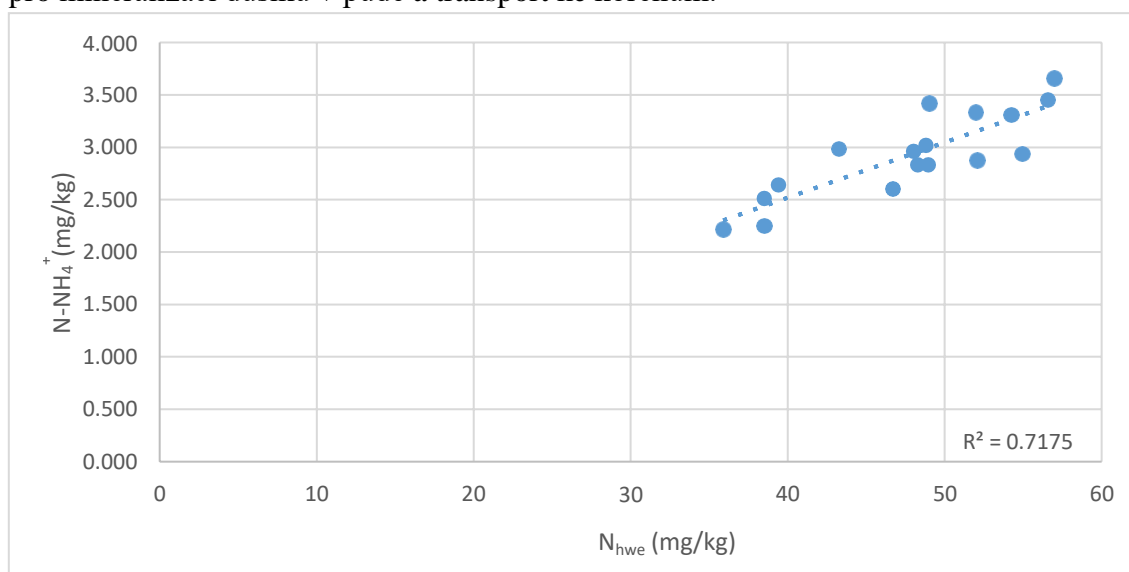


Podobně je tomu tak i u výsledků výzkumu Nedvěd et al. (2006), kde podíl extrahovaného dusíku z celkového činil 4,17 % na stanovišti Humpolec a v Hněvčevsi 3,31 %. Zároveň uvádí, že obsah extrahovatelného uhlíku půdě byl zaznamenán vyšší na stanovišti Hněvčeves (4,59 %), oproti stanovišti Humpolec, kde byl zaznamenán podíl 3,86 %. Z grafu 28 je patrné, že výsledky podílu extrahovatelného uhlíku z roku 2022 jsou dosti podobné, rovněž na vstanovišti Hněvčeves je dosažen vyšší podíl konkrétně 3,25 % na variantě Hnůj. Na stanovišti Humpolec nejvyšší podíl činí 3,05 % na variantě NPK.



Graf 28 Podíl (v %) extrahovaného uhlíku z celkového obsahu uhlíku v půdě

Dessureault-Rompré et al. (2010) uvádí, že konkrétně půdní typ výrazně ovlivňuje mineralizaci dusíku a například vysoký obsah jílu v půdě může zabránit rozkladu organických substrátů zvýšením jejich chemické a fyzikální ochrany. Černý (2020) uvádí, že vyšší mineralizační potenciál je na pozemcích, které jsou pravidelně hnojené hnojem či kejdou. Dále popisuje, že průběh počasí (teplota, srážky) ovlivňují nejen růst rostlin, ale též právě podmínky pro mineralizaci dusíku v půdě a transport ke kořenům.



Graf 29 Závislost extrahovaného dusíku a amonného dusíku (mg/kg) Humpolec

Murphy et al. (2007) uvádí, že obsah anorganického dusíku v půdě úzce souvisí s obsahem extrahovatelného dusíku v půdě, zároveň výsledky v této studii poukazují na výrazně vyšší vliv obsahu extrahovatelným dusíku ( $N_{HWE}$ ) v půdě na obsah amonného dusíku v půdě ( $N-NH_4^+$ ), což potvrdily výsledky ze stanoviště Humpolec, kde byla zaznamenána silná přímá závislost, což je patrné z grafu 29.

Ros et al. (2009) navíc uvádí, že zjištění potenciálního mineralizovatelného dusíku extrakcí horkou vodou byl přesnější, než jiné extrakční metody.

Zároveň studie Haney et al. (2012) uvádí, že významná kolerace je mezi extrahovatelným dusíkem a uhlíkem, navíc dle zaznamenaného koeficientu determinace (84 %), uvedli, že je silná závislost mezi těmito dvěma proměnnými. To potvrdil výsledek na stanovišti Humpolec, kde vyšel koeficient determinace 72,3 %, a můžeme tak hovořit o silné závislosti. Zároveň Haney et al. (2012) uvádí, že obsah amonného dusíku ( $N-NH_4^+$ ) byl vyšší na hnojených variantách oproti nehnojené kontrole. Na stanovišti Humpolec toto splnily všechny hnojené varianty. Na proti tomu na stanovišti Hněvčeves toto splňovala pouze varianta Hnůj (2,84 mg/kg) a NPK (2,23 mg/kg).

## 8 Závěr

V rámci diplomové práce byly porovnávány různé systémy hnojení na stanovištích Humpolec a Hněvčeves. Na každém stanovišti bylo pozorováno 4 varianty – nehnojená Kontrola, Hnůj, NPK a N+sláma. Z vyhodnocených výsledků vyplývají následující závěry:

- Nejvyšší obsah celkového dusíku  $N_{org}$  činil 0,18 % a byl zaznamenán na stanovišti Humpolec na variantě NPK. Na stanovišti Hněvčeves vyšel nejvyšší celkový obsah  $N_{org}$  (0,12 %).
- Nejvyšší obsah celkového uhlíku  $C_{org}$  v půdě vyšel u obou stanovišť na variantě Hnůj. V Humpolci obsah činil 2,06 %. Na stanovišti Hněvčeves dosáhl celkový obsah uhlíku  $C_{org}$  v půdě 1,14 %.
- Nejvyšší obsah mineralizovatelného dusíku, zjištěný metodou – extrakce horkou vodou byl zaznamenán na variantě Hnůj, konkrétně na stanovišti Humpolec (51,33 mg/kg) na stanovišti Hněvčeves (40,24 mg/kg). Zároveň byla zaznamenána v silná závislost mezi obsahem extrahovatelného dusíku a obsahem extrahovatelného uhlíku.
- Vyšší podíl extrahovatelného dusíku  $N_{HWE}$  z celkového dusíku v půdě byl zjištěn na stanovišti Humpolec na variantě Hnůj, kdežto na stanovišti Hněvčeves byl vyšší podíl  $N_{HWE}$  z celkového dusíku zjištěn na variantě N+sláma.

### Hypotéza 1.

Hypotéza předpokládající se, že obsah mineralizovatelného dusíku v půdě bude ovlivněn půdně–klimatickými podmínkami stanoviště, tato hypotéza byla potvrzena.

### Hypotéza 2.

Hypotéza předpokládající se, že vyšší obsah mineralizovatelného dusíku v půdě bude na stanovišti s úrodnější půdou (např. hnědozem) ve srovnání s méně úrodnou půdou (např. kambizemí). Tato hypotéza se nepotvrdila.

### Hypotéza 3.

Hypotéza předpokládající se, že vyšší obsah mineralizovatelného dusíku bude na variantách s organickým hnojením, a naopak nižší na variantách s minerálním hnojením se potvrdila.

## 9 Literatura

- Akbari, P., A. Ghalavand, Sanavy Modarres, and Agha Alikhani. 2011. "The Effect of Biofertilizers, Nitrogen Fertilizer and Farmyard Manure on Grain Yield and Seed Quality of Sunflower (*Helianthus Annus L.*)." *Agriculture Technology* 7(1): 173-.
- Bailey, Karen J., and Richard C. Leegood. 2016. "Nitrogen Recycling from the Xylem in Rice Leaves: Dependence upon Metabolism and Associated Changes in Xylem Hydraulics." *Journal of Experimental Botany* 67(9):2901–11. doi: 10.1093/jxb/erw132.
- Balík, J., J. Černý, P. Tlustoš, and M. Zitková. 2003. "Nitrogen Balance and Mineral Nitrogen Content in the Soil in a Long Experiment with Maize under Different Systems of N Fertilization." *Plant, Soil and Environment* 49(12):554–59. doi: 10.17221/4193-PSE.
- Balík, Jiří, Jindřich Černý, and Martin Kulhánek. 2012. *Bilance Dusíku v Zemědělství*. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Bayu, W., N. F. G. Rethman, P. S. Hammes, and G. Alemu. 2006. "Effects of Farmyard Manure and Inorganic Fertilizers on Sorghum Growth, Yield, and Nitrogen Use in a Semi-Arid Area of Ethiopia." *Journal of Plant Nutrition* 29(2):391–407. doi: 10.1080/01904160500320962.
- Blumenthal, Jürg M., David D. Baltensperger, Kenneth G. Cassman, Stephen C. Mason, and Alexander D. Pavlista. 2008. "Importance and Effect of Nitrogen on Crop Quality and Health." P. 21 in *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*, edited by J. L. Hatfield and R. F. Follett.
- Bünemann, Else K., Giulia Bongiorno, Zhanguo Bai, Rachel E. Creamer, Gerlinde De Deyn, Ron de Goede, Luuk Fleskens, Violette Geissen, Thom W. Kuyper, Paul Mäder, Mirjam Pulleman, Wijnand Sukkel, Jan Willem van Groenigen, and Lijbert Brussaard. 2018. "Soil Quality – A Critical Review." *Soil Biology and Biochemistry* 120:105–25. doi: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
- Cameron, K. C., H. J. Di, and J. L. Moir. 2013. "Nitrogen Losses from the Soil/Plant System: A Review." *Annals of Applied Biology* 162(2):145–73. doi: 10.1111/aab.12014.
- Černý, Jindřich. 2017. "Organická Hmota v Půdě, Její Obsah, Složky a Význam." *Agromanual*.
- Černý, Jindřich. 2020. "Hnojení Ozimé Pšenice Dusíkem Podle Vývoje Porostu a Vědeckých Poznatků." *Agromanual*.
- Černý, Jindřich, Václav Vaněk, and Ondřej Kozlovský. 2011. "Hnojení Dusíkem: Specifika a Aplikace." *Zemědělec*.
- Chalk, Phillip M., Mark B. Peoples, Ann M. McNeill, Robert M. Boddey, Murray J. Unkovich, Matthew J. Gardener, Caroline F. Silva, and Deli Chen. 2014. "Methodologies for Estimating Nitrogen Transfer between Legumes and Companion Species in Agro-Ecosystems: A Review of <sup>15</sup>N-Enriched Techniques." *Soil Biology and Biochemistry* 73:10–21. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.02.005.
- Chang, Ed-Haun, Ren-Shih Chung, and Yuong-How Tsai. 2007. "Effect of Different Application Rates of Organic Fertilizer on Soil Enzyme Activity and Microbial Population." *Soil Science and Plant Nutrition* 53(2):132–40. doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00122.x.
- Chapin, F. S., and V. T. Eviner. 2013. "Biogeochemical Interactions Governing Terrestrial Net Primary Production." Pp. 189–216 in *Treatise on Geochemistry: Second Edition*. Vol. 10. Elsevier.
- Coque, M., and A. Gallais. 2007. "Genetic Variation for Nitrogen Remobilization and Postsilking Nitrogen Uptake in Maize Recombinant Inbred Lines: Heritabilities and Correlations among Traits." *Crop Science* 47(5):1787–96. doi: 10.2135/cropsci2007.02.0096.

- Dessureault-Rompré, Jacynthe, Bernie J. Zebarth, David L. Burton, Mehdi Sharifi, Julia Cooper, Cynthia A. Grant, and Craig F. Drury. 2010. "Relationships among Mineralizable Soil Nitrogen, Soil Properties, and Climatic Indices." *Soil Science Society of America Journal* 74(4):1218–27. doi: 10.2136/sssaj2009.0213.
- Dhillon, Jagmandeep, Mariana Ramos Del Corso, Bruno Figueiredo, Eva Nambi, and William Raun. 2018. "Soil Organic Carbon, Total Nitrogen, and Soil PH, in a Long-Term Continuous Winter Wheat ( *Triticum Aestivum* L.) Experiment." *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49(7):803–13. doi: 10.1080/00103624.2018.1435678.
- Doltra, J., P. Gallejones, J. E. Olesen, S. Hansen, R. B. Frøseth, M. Krauss, J. Stalenga, K. Jończyk, A. Martínez-Fernández, and G. C. Pacini. 2019. "Simulating Soil Fertility Management Effects on Crop Yield and Soil Nitrogen Dynamics in Field Trials under Organic Farming in Europe." *Field Crops Research* 233:1–11. doi: 10.1016/j.fcr.2018.12.008.
- Drinkwater, Laurie E., Cynthia A. Cambardella, Jean D. Reeder, and Charles W. Rice. 2015. "Potentially Mineralizable Nitrogen as an Indicator of Biologically Active Soil Nitrogen." Pp. 217–29 in.
- Elbl, Jakub, Magdalena Vaverková, Dana Adamcová, Lukáš Plošek, Antonín Kintl, Tomáš Lošák, Jaroslav Hynšt, and Jana Kotovicová. 2015. "Influence of Fertilization on Microbial Activities, Soil Hydrophobicity and Mineral Nitrogen Leaching." *Ecological Chemistry and Engineering S* 21(4):661–75. doi: 10.1515/eces-2014-0048.
- Francisco da Silva, Eulene, Marlenildo Ferreira Melo, Kássio Ewerton Santos Sombra, Tatiane Severo Silva, Diana Ferreira de Freitas, Maria Eugênia da Costa, Eula Paula da Silva Santos, Larissa Fernandes da Silva, Ademair Pereira Serra, and Paula Romyne de Moraes Cavalcante Neitzke. 2020. "Organic Nitrogen in Agricultural Systems." in *Nitrogen Fixation*. IntechOpen.
- Hagemann, N., J. Harter, and S. Behrens. 2016. "Elucidating the Impacts of Biochar Applications on Nitrogen Cycling Microbial Communities." Pp. 163–98 in *Biochar Application*. Elsevier.
- Haney, Richard L., Alan. J. Franzluebbbers, Virginia. L. Jin, Mari-Vaughn. Johnson, Elizabeth. B. Haney, Mike. J. White, and Robert. D. Harmel. 2012. "Soil Organic C:N vs. Water-Extractable Organic C:N." *Open Journal of Soil Science* 02(03):269–74. doi: 10.4236/ojss.2012.23032.
- Harte, John. 2019. "Reflections on 27 Years of Manipulated Ecosystem Warming in a Subalpine Meadow." Pp. 1–27 in *Ecosystem Consequences of Soil Warming: Microbes, Vegetation, Fauna and Soil Biogeochemistry*. Elsevier.
- Hatch, D. J., A. Bhogal, R. D. Lovell, M. A. Shepherd, and S. C. Jarvis. 2000. "Comparison of Different Methodologies for Field Measurement of Net Nitrogen Mineralization in Pasture Soils under Different Soil Conditions." *Biology and Fertility of Soils* 32(4):287–93. doi: 10.1007/s003740000250.
- Haynes, R. J. 2005. "Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview." Pp. 221–68 in.
- Jenkinson, D. S. 2001. "The Impact of Humans on the Nitrogen Cycle, with Focus on Temperate Arable Agriculture." *Plant and Soil* 228 3–15. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004870606003>.
- Khan, M. N., M. Mobin, Z. K. Abbas, and S. A. Alamri. 2018. "Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater." Pp. 225–40 in *Encyclopedia of the Anthropocene*. Elsevier.
- Kirkby, C. A., J. A. Kirkegaard, A. E. Richardson, L. J. Wade, C. Blanchard, and G. Batten. 2011. "Stable Soil Organic Matter: A Comparison of C:N:P:S Ratios in Australian and

- Other World Soils.” *Geoderma* 163(3–4):197–208. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.04.010.
- Kox, Martine A. R., and Mike S. M. Jetten. 2015. “The Nitrogen Cycle.” Pp. 205–14 in *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*.
- Kulhánek, Martin, Jindřich Černý, Jiří Balík, Ondřej Sedlář, and Filip Vašák. 2019. “Changes of Soil Bioavailable Phosphorus Content in the Long-Term Field Fertilizing Experiment.” *Soil and Water Research* 14(No. 4):240–45. doi: 10.17221/175/2018-SWR.
- Leinweber, Peter, Jens Kruse, Christel Baum, Melissa Arcand, J. Diane Knight, Richard Farrell, Kai Uwe Eckhardt, Kristian Kiersch, and Gerald Jandl. 2013. “Advances in Understanding Organic Nitrogen Chemistry in Soils Using State-of-the-Art Analytical Techniques.” Pp. 83–151 in *Advances in Agronomy*. Vol. 119.
- Maeder, Paul, Andreas Fliessbach, David Dubois, Lucie Gunst, Padruot Fried, and Urs Niggli. 2002. “Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming.” *Science* 296(5573):1694–97. doi: 10.1126/science.1071148.
- Mahal, Navreet K., William R. Osterholz, Fernando E. Miguez, Hanna J. Poffenbarger, John E. Sawyer, Daniel C. Olk, Sotirios V. Archontoulis, and Michael J. Castellano. 2019. “Nitrogen Fertilizer Suppresses Mineralization of Soil Organic Matter in Maize Agroecosystems.” *Frontiers in Ecology and Evolution* 7. doi: 10.3389/fevo.2019.00059.
- Malley, D. F., P. D. Martin, and E. Ben-Dor. 2015. “Application in Analysis of Soils.” Pp. 729–84 in.
- Masclaux-Daubresse, Céline, and Fabien Chardon. 2011. “Exploring Nitrogen Remobilization for Seed Filling Using Natural Variation in *Arabidopsis Thaliana*.” *Journal of Experimental Botany* 62(6):2131–42. doi: 10.1093/jxb/erq405.
- Masclaux-Daubresse, Céline, Françoise Daniel-Vedele, Julie Dechorgnat, Fabien Chardon, Laure Gaufichon, and Akira Suzuki. 2010. “Nitrogen Uptake, Assimilation and Remobilization in Plants: Challenges for Sustainable and Productive Agriculture.” *Annals of Botany* 105(7):1141–57. doi: 10.1093/aob/mcq028.
- Merbach, Wolfgang, Friedhelm Herbst, Helmut Eißner, Lothar Schmidt, and Annette Deubel. 2013. “Influence of Different Long-Term Mineral-Organic Fertilization on Yield, Nutrient Balance and Soil C and N Contents of a Sandy Loess (Haplic Phaeozem) in Middle Germany.” *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(8):1059–71. doi: 10.1080/03650340.2012.692875.
- Murphy, D. V., E. A. Stockdale, P. R. Poulton, T. W. Willison, and K. W. T. Goulding. 2007. “Seasonal Dynamics of Carbon and Nitrogen Pools and Fluxes under Continuous Arable and Ley-Arable Rotations in a Temperate Environment.” *European Journal of Soil Science* 58(6):1410–24. doi: 10.1111/j.1365-2389.2007.00946.x.
- Nedvěd, Václav, Jiří Balík, and Jindřich Černý. 2006. “Soil Extraction by Hot Water and Calcium Chloride.” *Department of Agrienvironmental Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbát, Czech Republic*.
- Nesseef, Layth, Dragan Marković, Dejan Marković, Dragan Jovšić, and Zoran Jovanović. 2013. “Management of Influence of Using of Fertilizers on Soil Quality: The Case of Nitrate Pollutants.” *Open Journal of Ecology* 03(07):489–94. doi: 10.4236/oje.2013.37057.
- de Novais, Candido Barreto, Cristiana Sbrana, Ederson da Conceição Jesus, Luc Felicianus Marie Rouws, Manuela Giovannetti, Luciano Avio, José Oswaldo Siqueira, Orivaldo José Saggin Júnior, Eliane Maria Ribeiro da Silva, and Sergio Miana de Faria. 2020a. “Mycorrhizal Networks Facilitate the Colonization of Legume Roots by a Symbiotic

- Nitrogen-Fixing Bacterium.” *Mycorrhiza* 30(2–3):389–96. doi: 10.1007/s00572-020-00948-w.
- de Novais, Candido Barreto, Cristiana Sbrana, Ederson da Conceição Jesus, Luc Felicianus Marie Rouws, Manuela Giovannetti, Luciano Avio, José Oswaldo Siqueira, Orivaldo José Saggin Júnior, Eliane Maria Ribeiro da Silva, and Sergio Miana de Faria. 2020b. “Mycorrhizal Networks Facilitate the Colonization of Legume Roots by a Symbiotic Nitrogen-Fixing Bacterium.” *Mycorrhiza* 30(2–3):389–96. doi: 10.1007/s00572-020-00948-w.
- Oldfield, Emily E., Mark A. Bradford, and Stephen A. Wood. 2019. “Global Meta-Analysis of the Relationship between Soil Organic Matter and Crop Yields.” *SOIL* 5(1):15–32. doi: 10.5194/soil-5-15-2019.
- Otto, R., R. L. Mulvaney, S. A. Khan, and P. C. O. Trivelin. 2013. “Quantifying Soil Nitrogen Mineralization to Improve Fertilizer Nitrogen Management of Sugarcane.” *Biology and Fertility of Soils* 49(7):893–904. doi: 10.1007/s00374-013-0787-5.
- Pan, Genxing, Pete Smith, and Weinan Pan. 2009. “The Role of Soil Organic Matter in Maintaining the Productivity and Yield Stability of Cereals in China.” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 129(1–3):344–48. doi: 10.1016/j.agee.2008.10.008.
- Peuke, Andreas D. 2010. “Correlations in Concentrations, Xylem and Phloem Flows, and Partitioning of Elements and Ions in Intact Plants. A Summary and Statistical Re-Evaluation of Modelling Experiments in *Ricinus Communis*.” *Journal of Experimental Botany* 61(3):635–55. doi: 10.1093/jxb/erp352.
- Poffenbarger, Hanna J., John E. Sawyer, Daniel W. Barker, Daniel C. Olk, Johan Six, and Michael J. Castellano. 2018. “Legacy Effects of Long-Term Nitrogen Fertilizer Application on the Fate of Nitrogen Fertilizer Inputs in Continuous Maize.” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265:544–55. doi: 10.1016/j.agee.2018.07.005.
- Powelson, D. S., A. P. Whitmore, and K. W. T. Goulding. 2011. “Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change: A Critical Re-Examination to Identify the True and the False.” *European Journal of Soil Science* 62(1):42–55. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x.
- Prchalová, Renáta, and Vladimír Klement. 2013. *Lyzimetrická Sledování*. Havlíčkův Brod: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský.
- Richter DrSc., Prof. Ing. Rostislav, Prof. Ing. Jaroslav Hlušek CSc., Ing. Pavel Ryant Ph.D., and Ing. Tomáš Lošák. 2002. “Organická Hnojiva a Jejich Postavení v Zemědělské Praxi.” 8.
- Robertson, G. P., and P. M. Groffman. 2015. “Nitrogen Transformations.” Pp. 421–46 in *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Elsevier.
- Ros, G. H., E. J. M. Temminghoff, and E. Hoffland. 2011. “Nitrogen Mineralization: A Review and Meta-Analysis of the Predictive Value of Soil Tests.” *European Journal of Soil Science* 62(1):162–73. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01318.x.
- Ros, Gerard H., Marjoleine C. Hanegraaf, Ellis Hoffland, and Willem H. van Riemsdijk. 2011. “Predicting Soil N Mineralization: Relevance of Organic Matter Fractions and Soil Properties.” *Soil Biology and Biochemistry* 43(8):1714–22. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.017.
- Ros, Gerard H., Ellis Hoffland, Chris van Kessel, and Erwin J. M. Temminghoff. 2009. “Extractable and Dissolved Soil Organic Nitrogen – A Quantitative Assessment.” *Soil Biology and Biochemistry* 41(6):1029–39. doi: 10.1016/j.soilbio.2009.01.011.
- Schimel, Joshua P., and Jennifer Bennett. 2004. “NITROGEN MINERALIZATION: CHALLENGES OF A CHANGING PARADIGM.” *Ecology* 85(3):591–602. doi: 10.1890/03-8002.
- Schlesinger, W. H., and Emily Bernhardt. 2013. *Biogeochemistry an Analysis of Global Change*. 3rd ed. Academic Press.

- Sharma, Lakesh, and Sukhwinder Bali. 2017. "A Review of Methods to Improve Nitrogen Use Efficiency in Agriculture." *Sustainability* 10(2):51. doi: 10.3390/su10010051.
- Singh, Jay S., D. P. Singh, and A. K. Kashyap. 2009. "A Comparative Account of the Microbial Biomass-N and N-Mineralization of Soils under Natural Forest, Grassland and Crop Field from Dry Tropical Region, India." *Plant, Soil and Environment* 55(6):223–30. doi: 10.17221/1021-PSE.
- Smith, Chris J., James R. Hunt, Enli Wang, Ben C. T. Macdonald, Hongtao Xing, O. T. Denmead, Steve Zeglin, and Zhigan Zhao. 2019. "Using Fertiliser to Maintain Soil Inorganic Nitrogen Can Increase Dryland Wheat Yield with Little Environmental Cost." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 286:106644. doi: 10.1016/j.agee.2019.106644.
- Soumare, Abdoulaye, Abdala G. Diedhiou, Moses Thuita, Mohamed Hafidi, Yedir Ouhdouch, Subramaniam Gopalakrishnan, and Lamfeddal Kouisni. 2020. "Exploiting Biological Nitrogen Fixation: A Route Towards a Sustainable Agriculture." *Plants* 9(8):1011. doi: 10.3390/plants9081011.
- Spargo, John T., Michel A. Cavigelli, Steven B. Mirsky, Jude E. Maul, and John J. Meisinger. 2011. "Mineralizable Soil Nitrogen and Labile Soil Organic Matter in Diverse Long-Term Cropping Systems." *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 90(2):253–66. doi: 10.1007/s10705-011-9426-4.
- Sradnick, André, and Carmen Feller. 2020. "A Typological Concept to Predict the Nitrogen Release from Organic Fertilizers in Farming Systems." *Agronomy* 10(9):1448. doi: 10.3390/agronomy10091448.
- Suruban, Charlie, Md. Abdul Kader, and Zakaria M. Solaiman. 2022. "Influence of Various Composted Organic Amendments and Their Rates of Application on Nitrogen Mineralization and Soil Productivity Using Chinese Cabbage (*Brassica Rapa*. L. Var. *Chinensis*) as an Indicator Crop." *Agriculture* 12(2):201. doi: 10.3390/agriculture12020201.
- Tegeder, Mechthild, and Céline Masclaux-Daubresse. 2018. "Source and Sink Mechanisms of Nitrogen Transport and Use." *New Phytologist* 217(1):35–53. doi: 10.1111/nph.14876.
- Tuomisto, H. L., I. D. Hodge, P. Riordan, and D. W. Macdonald. 2012. "Does Organic Farming Reduce Environmental Impacts? – A Meta-Analysis of European Research." *Journal of Environmental Management* 112:309–20. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.08.018.
- Tyree, Melvin T. 2003. "Plant Hydraulics: The Ascent of Water." *Nature* 423(6943):923–923. doi: 10.1038/423923a.
- Vahdat, E., F. Nourbakhsh, and M. Basiri. 2010. "Estimation of Net N Mineralization from Short-Term C Evolution in a Plant Residue-Amended Soil: Is the Accuracy of Estimation Time-Dependent?" *Soil Use and Management* 26(3):340–45. doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00285.x.
- Vaněk, Václav. 2016. *Výživa a Hnojení Polních Plodin*. Praha: Profi Press, s.r.o.
- Vaněk, Václav, Jiří Balík, Daniela Pavlíková, and Pavel Tlustoš. 2007. *Výživa Polních a Zahradních Plodin*. Praha: Profi Press, s.r.o.
- Vanlauwe, B., J. Wendt, K. E. Giller, M. Corbeels, B. Gerard, and C. Nolte. 2014. "A Fourth Principle Is Required to Define Conservation Agriculture in Sub-Saharan Africa: The Appropriate Use of Fertilizer to Enhance Crop Productivity." *Field Crops Research* 155:10–13. doi: 10.1016/j.fcr.2013.10.002.
- Vitousek, P. M., R. Naylor, T. Crews, M. B. David, L. E. Drinkwater, E. Holland, P. J. Johnes, J. Katzenberger, L. A. Martinelli, P. A. Matson, G. Nziguheba, D. Ojima, C. A. Palm, G. P. Robertson, P. A. Sanchez, A. R. Townsend, and F. S. Zhang. 2009. "Nutrient Imbalances in Agricultural Development." *Science* 324(5934):1519–20. doi: 10.1126/science.1170261.



- Vokál, B. 2013. *Brambory: Šlechtění, Pěstování, Užití, Ekonomika*. 1st ed. Praha: Profi Press.
- Wang, Weijin, Chris J. Smith, Phillip M. Chalk, and Deli Chen. 2001. "Evaluating Chemical and Physical Indices of Nitrogen Mineralization Capacity with an Unequivocal Reference." *Soil Science Society of America Journal* 65(2):368–76. doi: 10.2136/sssaj2001.652368x.
- Ward B.B. 2008. "Nitrification." *Princeton University* 1–8.
- Watson C.A.\*, H. Bengtsson, M. Ebbesvik, A. K. Løes, A. Myrbeck, E. Salomon, J. Schroder, and E. A. Stockdale. 2002. "A Review of Farm-Scale Nutrient Budgets for Organic Farms as a Tool for Management of Soil Fertility." *Soil Use and Management* 18(3):264–73. doi: 10.1079/SUM2002127.
- Wivstad, M., A. S. Dahlin, and C. Grant. 2005. "Perspectives on Nutrient Management in Arable Farming Systems." *Soil Use and Management* 21(s1):113–21. doi: 10.1111/j.1475-2743.2005.tb00415.x.
- Wivstad, M., A. S. Dahlin, and C. Grant. 2008. "Perspectives on Nutrient Management in Arable Farming Systems." *Soil Use and Management* 21(1):113–21. doi: 10.1111/j.1475-2743.2005.tb00115.x.
- Xu, Xiaofeng, Peter E. Thornton, and Wilfred M. Post. 2013. "A Global Analysis of Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Terrestrial Ecosystems." *Global Ecology and Biogeography* 22(6):737–49. doi: 10.1111/geb.12029.
- Zehnálek Josef, Adam Vojtěch, and Kizek René. 2006. "Asimilace Dusičnanového, Amonného a Amidického Dusíku u Zemědělských Plodin." *Chem.Listy* 508–14.
- Zhou, Xiaoqi, Chengrong Chen, Hanwen Wu, and Zhihong Xu. 2012. "Dynamics of Soil Extractable Carbon and Nitrogen under Different Cover Crop Residues." *Journal of Soils and Sediments* 12(6):844–53. doi: 10.1007/s11368-012-0515-z.
- Zimolka, Josef, S. Elder, L. Hřivna, J. Jánský, P. Kraus, J. Mareček, F. Novotný, R. Richter, and K. Říha. 2005. *Pšenice Pěstování, Hodnocení a Užití Zrna*. Profi Press.

## 10 Seznam tabulek a grafů

### Seznam tabulek

Tabulka 1 Formy mineralizovatelného dusíku (Balík et al. 2012) .....	12
Tabulka 2 Charakteristiky chemických extrakčních metod použitých v analyzovaných upraveno dle (Ros et al. 2011) .....	14
Tabulka 3 Hodnocení kvality humusu podle poměru C/N upraveno dle (Haney et al. 2012) .	19
Tabulka 4 Povolené a pomocné půdní látky a živiny nařízení (ES) č.834/2007 .....	27
Tabulka 5 Průměrný obsah, ztráty a využití živin hnoje skotu [%] (Vaněk et al.2016) .....	28
Tabulka 6 Charakteristika pokusných stanovišť Humpolec .....	30
Tabulka 7 Hodnoty pH jednotlivé varianty Humpolec .....	30
Tabulka 8 Hodnoty KVK jednotlivé varianty Humpolec .....	30
Tabulka 9 Charakteristika pokusných variant Hněvčeves .....	31
Tabulka 10 Hodnoty pH jednotlivých stanovišť Hněvčeves .....	31
Tabulka 11 Hodnoty KVK jednotlivých variant Hněvčeves .....	31
Tabulka 12 Obsah $N_{HWE}$ a $C_{HWE}$ porovnání stanovišť(mg/kg) .....	48

### Seznam tabulek

Graf 1 Porovnání extrahovatelného organického dusíku pro 20 půdních testů ve srovnání s celkovým dusíkem (%) Upraveno dle (Ros et al. 2011) .....	15
Graf 2 Celkový obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec a Hněvčeves .....	33
Graf 3 Celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě Humpolec a Hněvčeves .....	34
Graf 4 Celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě na ornici porovnání stanovišť .....	34
Graf 5 Celkového obsah organického dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec .....	35
Graf 6 Relativní změny celkového obsahu dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec .....	35
Graf 7 Celkový obsah organického uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě Humpolec .....	36
raf 8 Vliv celkového obsahu ( $C_{org}$ ) na celkový obsah ( $N_{org}$ ) v půdě Humpolec (%) .....	36
Graf 9 Celkový obsah organického dusíku v půdě ( $N_{org}$ ) Hněvčeves .....	37
Graf 10 Relativní změny celkového obsahu dusíku ( $N_{org}$ ) v půdě Hněvčeves .....	38
Graf 11 Celkový obsah uhlíku ( $C_{org}$ ) v půdě Hněvčeves .....	38
Graf 12 Vliv obsahu celkového obsahu $C_{org}$ na celkový obsah $N_{org}$ Hněvčeves (%) .....	39
Graf 13 Obsah dusíku extrahovaný horkou $N_{HWE}$ porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves .....	39
Graf 14 Podíl extrahovatelného dusíku z celkového dusíku porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves .....	40
Graf 15 Obsah extrahovatelného uhlíku porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves .....	40
Graf 16 Obsah extrahovatelného dusíku Humpolec .....	41
Graf 17 Obsah amonného ( $N-NH_4^+$ ) a nitrátového dusíku ( $N-NO_3^-$ ) Humpolec .....	41
Graf 18 Podíl extrahovatelného dusíku ( $N_{hwe}$ ) z celkového dusíku Humpolec .....	42
Graf 19 Obsah extrahovatelného uhlíku ( $C_{hwe}$ ) v půdě Humpolec .....	42
Graf 20 Vliv obsahu $C_{hwe}$ na obsah $N_{hwe}$ Humpolec (mg/kg) .....	43
Graf 21 Obsah extrahovatelného dusíku ( $N_{hwe}$ ) Hněvčeves .....	43
Graf 22 Obsah amonného ( $N-NH_4^+$ ) a nitrátového dusíku ( $N-NO_3^-$ ) z extrakce horkou vodou v půdě Hněvčeves .....	44
Graf 23 Podíl extrahovatelného dusíku ( $N_{hwe}$ ) z celkového dusíku Hněvčeves .....	44
Graf 24 Obsah extrahovatelného uhlíku ( $C_{HWE}$ ) v půdě Hněvčeves .....	45
Graf 25 Vliv obsahu $C_{HWE}$ na obsah $N_{HWE}$ Hněvčeves (mg/kg) .....	45
Graf 26 Obsah celkového dusíku v půdě porovnání stanovišť Humpolec a Hněvčeves .....	46
Graf 27 Poměr C/N Humpolec a Hněvčeves .....	47
Graf 28 Podíl (v %) extrahovaného uhlíku z celkového obsahu uhlíku v půdě .....	49

Graf 29 Závislost extrahovaného dusíku a amonného dusíku (mg/kg) Humpolec.....49

## 11 Samostatné přílohy

Příloha I SKALARplusSystem (foto autor).....	I
Příloha II Vliv hnojení na celkový obsah dusíku v půdě Humpolec (kg/ha).....	I
Příloha III Vliv hnojení na celkový obsah dusíku v půdě Hněvčeves (kg/ha).....	I
příloha IV Vliv hnojení na celkový obsah uhlíku v půdě Humpolec (kg/ha).....	II
příloha V Vliv hnojení na celkový obsah uhlíku v půdě Hněvčeves (kg/ha) .....	II
Příloha VI Vliv obsahu celkového uhlíku na celkový obsah dusíku v půdě Humpolec (kg/ha) .....	III
Příloha VII Vliv celkového obsahu uhlíku na celkový obsah dusíku Hněvčeves (kg/ha).....	III
Příloha VIII Vliv hnojení na obsah extrahovatelného dusíku v půdě N <sub>HWE</sub> Humpolec (mg/kg) .....	IV
Příloha IX Vliv hnojení na obsah extrahovatelného dusíku N <sub>HWE</sub> v půdě Hněvčeves (mg/kg) .....	IV
Příloha X Vliv hnojení na obsah extrahovatelného uhlíku v půdě Humpolec (mg/kg).....	IV
Příloha XI Vliv hnojení na obsah extrahovatelného uhlíku v půdě Hněvčeves (mg/kg) .....	IV
Příloha XII Vliv obsahu C <sub>HWE</sub> na obsah N <sub>HWE</sub> Humpolec .....	V
Příloha XIII Vliv obsahu C <sub>HWE</sub> na obsah N <sub>HWE</sub> Hněvčeves .....	V
Příloha XIV Vliv obsahu N <sub>HWE</sub> obsah N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	VI

## 11.1 Fotodokumentace

Příloha I SKALARplusSystem (foto Autor)



## 11.2 Výstupy ze statistiky

Příloha II Vliv hnojení na celkový obsah dusíku v půdě Humpolec (kg/ha)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Humpolec $N_{org}$ Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. $PC = 1276E2$ , $sv = 28.000$				
	Varianty	Humpolec Průměr	1	2	3
1	kontrola	6037.500		****	
2	hnůj	6667.500			****
4	N+sláma	7350.000	****		
3	NPK	7665.000	****		

Příloha III Vliv hnojení na celkový obsah dusíku v půdě Hněvčeves (kg/ha)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Hněvčeves $N_{org}$ Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. $PC = 53337.$ , $sv = 28.000$			
	Varianty	Hněvčeves Průměr	1	2
4	N+sláma	4500.000	****	
3	NPK	4668.750	****	
1	kontrola	4725.000	****	
2	hnůj	5512.500		****

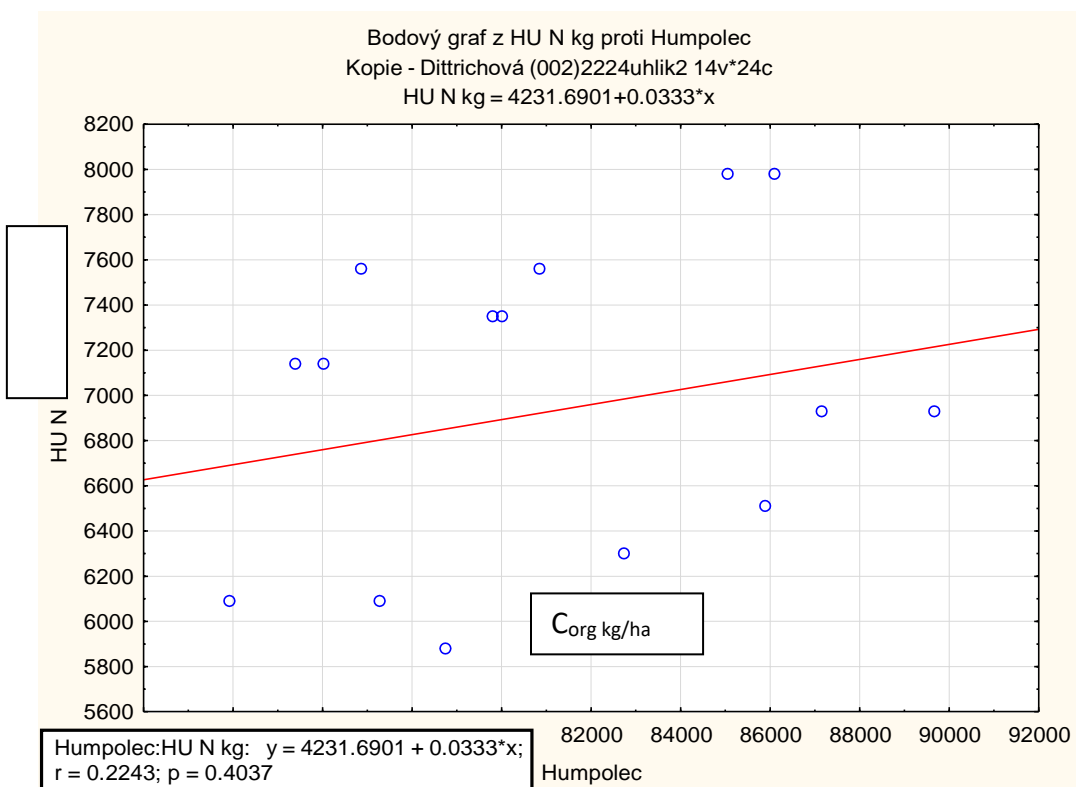
příloha IV Vliv hnojení na celkový obsah uhlíku v půdě Humpolec (kg/ha)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Humpolec $C_{org}$ Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. $PC = 1166E4$ , $sv = 12.000$			
	Proml	Humpolec Průměr	1	2
4	N+SLAMA	78015.00	****	
1	kontrola	78067.50	****	
3	NPK	82005.00	****	****
2	Hnůj	86362.50		****

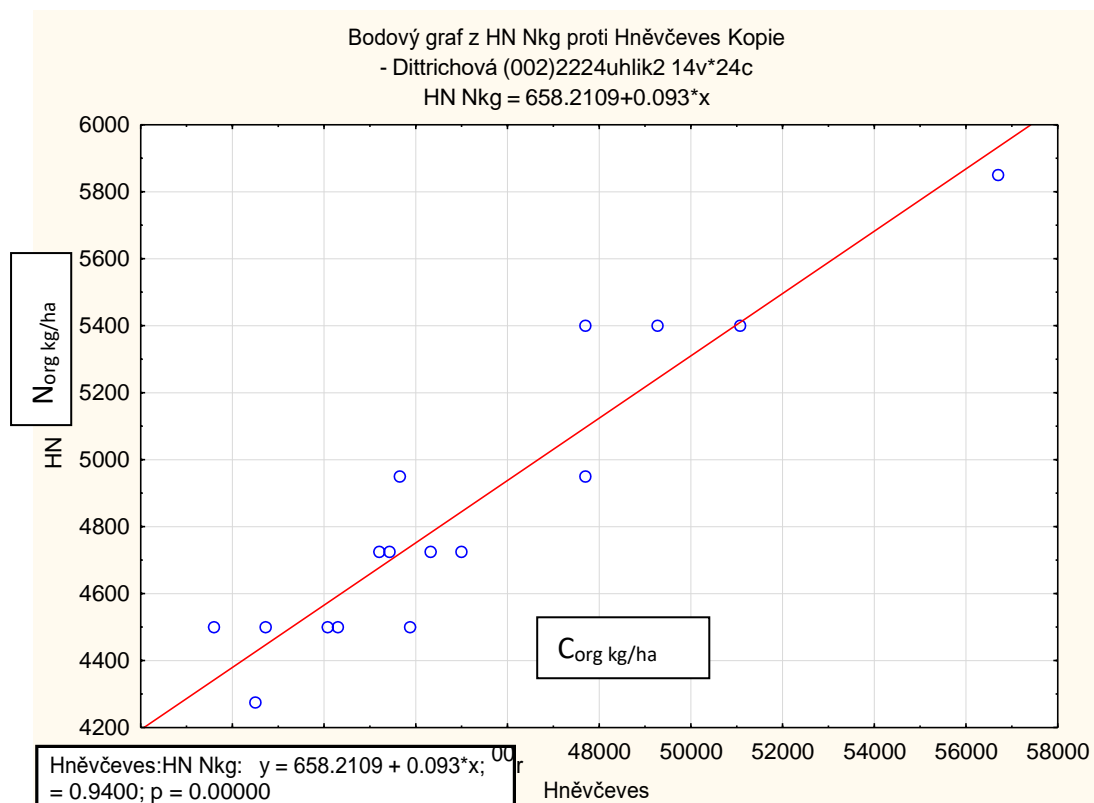
příloha V Vliv hnojení na celkový obsah uhlíku v půdě Hněvčeves (kg/ha)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Hněvčeves $C_{org}$ Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. $PC = 6190E3$ , $sv = 12.000$			
	Proml	Hněvčeves Průměr	1	2
4	N+SLAMA	41006.25	****	
3	NPK	43706.25	****	
1	kontrola	44381.25	****	
2	Hnůj	51187.50		****

Příloha VI Vliv obsahu celkového uhlíku na celkový obsah dusíku v půdě Humpolec (kg/ha)



Příloha VII Vliv celkového obsahu uhlíku na celkový obsah dusíku Hněvčeves (kg/ha)



Příloha VIII Vliv hnojení na obsah extrahovatelného dusíku v půdě N<sub>HWE</sub> Humpolec (mg/kg)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná N <sub>HWE</sub> Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 15.930, sv = 13.000			
	Prom1	N Průměr	1	2
1	kontrola	38.08516		****
3	NPK	50.39277	****	
4	N+SLÁMA	50.67650	****	
2	Hnůj	51.33261	****	

Příloha IX Vliv hnojení na obsah extrahovatelného dusíku N<sub>HWE</sub> v půdě Hněvčeves (mg/kg)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná N <sub>HWE</sub> Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 14.075, sv = 13.000			
	Prom1	Dusík Průměr	1	2
3	NPK	28.56058	****	
1	kontrola	29.59849	****	
4	N+SLÁMA	34.18635	****	****
2	Hnůj	40.23934		****

Příloha X Vliv hnojení na obsah extrahovatelného uhlíku v půdě Humpolec (mg/kg)

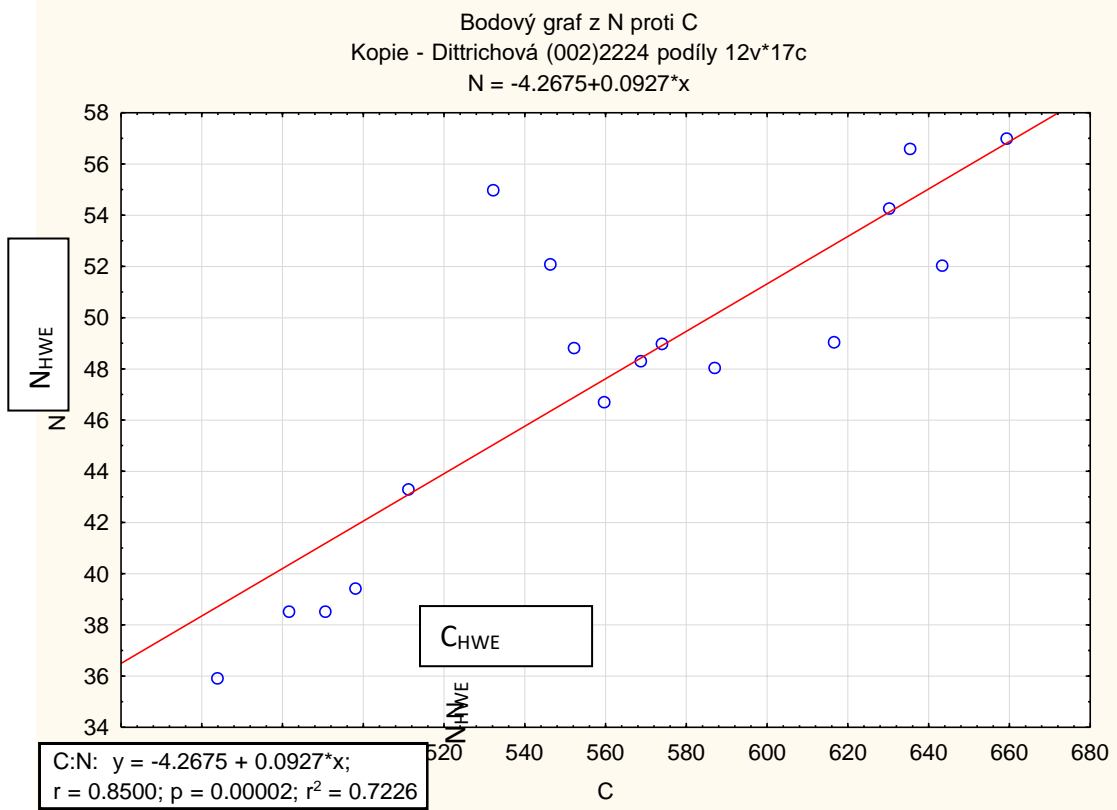
Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná C <sub>HWE</sub> Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 1487.6, sv = 13.000			
	Prom1	C Průměr	1	2
1	kontrola	483.5594		****
4	N+SLÁMA	553.0538	****	****
3	NPK	589.1532	****	
2	Hnůj	614.6015	****	

Příloha XI Vliv hnojení na obsah extrahovatelného uhlíku v půdě Hněvčeves (mg/kg)

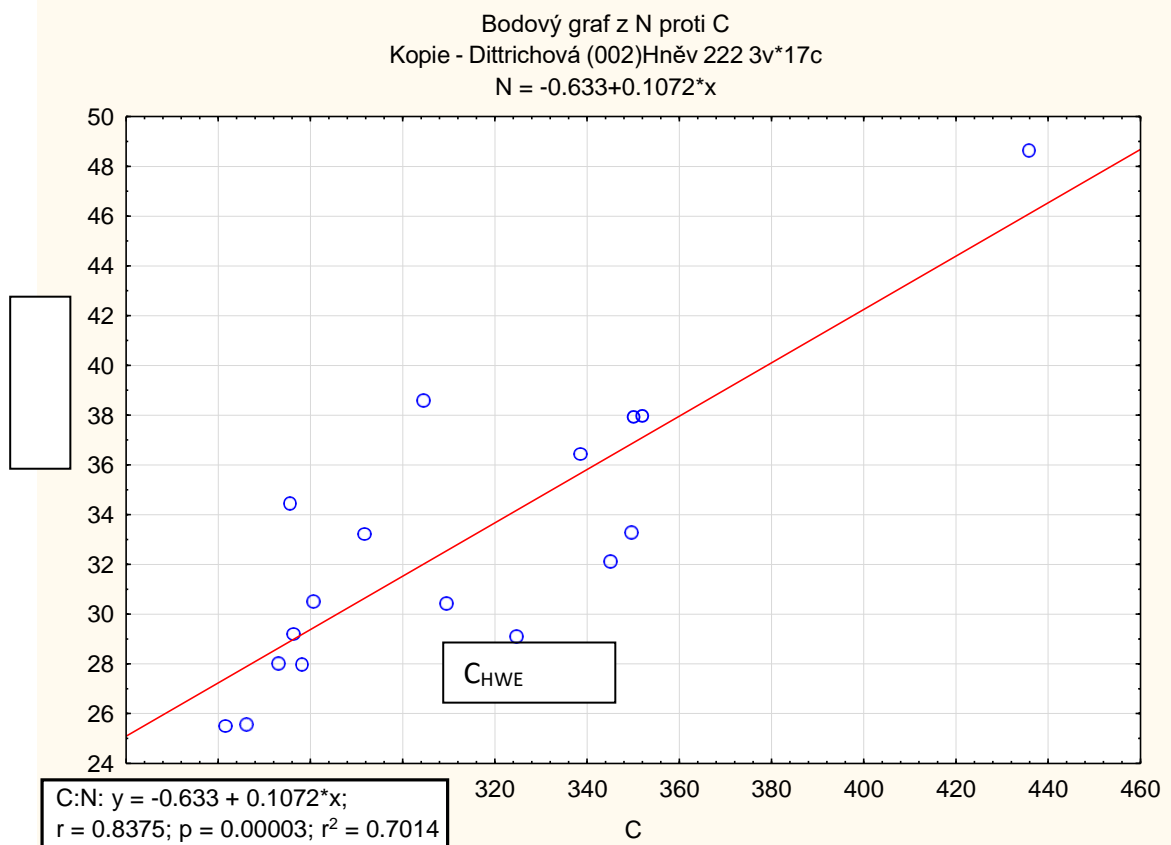
Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná C <sub>HWE</sub> Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 1200.2, sv = 13.000			
	Prom1	C Průměr	1	2
4	N+SLÁMA	288.1048	****	
3	NPK	291.7335	****	
1	kontrola	306.3490	****	****
2	Hnůj	369.1259		****



Příloha XII Vliv obsahu  $C_{HWE}$  na obsah  $N_{HWE}$  Humpolec



Příloha XIII Vliv obsahu  $C_{HWE}$  na obsah  $N_{HWE}$  Hněvčeves



Příloha XIV Vliv obsahu  $N_{HWE}$  obsah  $N-NH_4^+$  Humpolec

Bodový graf z Amonný dusík HU proti Nhwe

Tabulka20 10v\*17c

Amonný dusík HU =  $0.4109 + 0.0527 * x$

