

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv systému hnojení na využití dusíku ozimou pšenicí**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Anna Procházková**

**Obor studia: Výživa a ochrana rostlin (FYTOMN)**

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

© 2022 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv systému hnojení na využití dusíku ozimou pšenicí" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále bych touto cestou ráda poděkovala vedení Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin za poskytnutí potřebných materiálů a možnost analýzy potřebných vzorků.

# Vliv systému hnojení na využití dusíku ozimou pšenicí

## Souhrn

Cílem práce bylo zjistit, jak velký je vliv systému hnojení na využití dusíku porostem ozimé pšenice v polních pokusech. Sledován byl výnos zrna, slámy, obsah dusíku v jednotlivých částech rostliny, odběr dusíku rostlinou na jednotlivých variantách, bilance a efektivita využití dusíku ozimou pšenicí.

V rámci této práce byly vyhodnocovány výsledky z průběhu tří hospodářských let 2019-2021. Experimentální část byla provedena v rámci dlouhodobých polních pokusů KAVR ČZU v Praze, které byly založeny v roce 1996. A to na dvou z celkových pěti pokusných stanovišť, konkrétně Praha-Suchdol a Humpolec. Hodnocení probíhalo v rámci šesti variant, přičemž na pěti z nich byl nastaven určitý systém hnojení organického, minerálního a jejich kombinací. Varianty hnojení byly označeny jako Kal, Hnůj, Hnůj  $\frac{1}{2}$  + N, NPK a N. Jedna varianta byla ponechána bez hnojení a byla označena jako Kontrola.

Předmětem hodnocení na obou sledovaných stanovištích byl výnos zrna a slámy pšenice, obsah dusíku v jednotlivých sklizených produktech a jejich odběr dusíku. Na základě zjištěných odběrů dusíku a dodaného množství v hnojivech byla následně vypočtena bilance dusíku pro jednotlivé varianty na stanovištích. Pozornost byla věnována i výpočtu parametrů efektivit využití dusíku, a to konkrétně Agronomické efektivitě aplikovaného dusíku (AE-N) a Efektivitě využití dusíku (RE-N).

Značný vliv na odběr dusíku, a to nejcitelněji v roce 2019, měl vývoj srážek. V období kvetení, kdy je nejvyšší odběr dusíku pšenicí a je zapotřebí dostatek vláhy, bylo na stanovišti Praha-Suchdol o zhruba 25 % méně srážek než na stanovišti Humpolec. Tato skutečnost se poté promítla v celkovém odběru dusíku, kdy na stanovišti Humpolec přesahovaly odběry na některých variantách hodnotu 200 kg/ha.

Co se týče výnosů, můžeme konstatovat, že na variantách, kde bylo použito minerální hnojení, dosahovaly většinou vyšších hodnot. Nejvyšší dosažený výnos na stanovišti Humpolec byl na variantě hnojení N 9,30 t/ha. Na stanovišti Praha-Suchdol byl nejvyšší výnos 8,47 t/ha a to na variantě Kal. Naopak nejnižší výnos byl na obou sledovaných stanovištích zjištěn na variantě Kontrola, a to v případě Humpolce 1,32 t/ha a Praha-Suchdol 3,77 t/ha.

Z výsledků vyplývá, že obsah dusíku v zrnu pšenice byl jednoznačně vyšší na variantách, kde bylo použito minerální hnojení, přičemž nejvyšší zjištěné obsahy byly na obou



sledovaných stanovištích v roce 2019 na variantě N. V případě stanoviště Praha-Suchdol byl obsah N na této variantě 2,08 % a na stanovišti Humpolec 2,09 %.

Vliv stanoviště se projevil také na efektivitě využití dusíku, kdy na stanovišti Humpolec dosahovala vyšších hodnot než na stanovišti Praha-Suchdol. Zjištěné výsledky odpovídají vědeckým závěrům, na základě kterých lze konstatovat, že efektivita využití dusíku z aplikovaných hnojiv je na stanovištích s horšími parametry kvality půdy vyšší.

**Klíčová slova:** ozimá pšenice, dusík, dlouhodobý polní pokus

# Effect of fertilization system on nitrogen utilization by winter wheat

## Summary

The aim of this thesis was to investigate the effect of fertilization system on nitrogen utilization by winter wheat in field experiments. Grain yield, straw yield, nitrogen content in different parts of the plant, nitrogen uptake by the plant on each variant, nitrogen balance and nitrogen use efficiency by winter wheat were monitored.

The experimental part was carried out within the long-term field trials, which were established in 1996 by Department of agro-environmental chemistry and plant nutrition (KAVR) at the ČZU in Prague. This was done at two of the five experimental sites, namely Praha-Suchdol and Humpolec. The evaluation has been carried out on six variants, while on five of them a certain fertilization system of organic fertilizers, mineral fertilizers and their combinations was set. The fertilization variants were designated as Sewage sludge, Manure, Manure 1/2 + N, NPK and N. One variant was left without fertilization and was labeled as Control.

The subject of evaluation on the two experimental sites, was the grain and straw yield of wheat, the nitrogen content of each harvested product and their nitrogen uptake. Based on the observed nitrogen uptakes and the amount supplied in fertilizers, a nitrogen balance was then calculated for each variant at the sites. In this thesis were also calculated parameters of nitrogen use efficiency, namely Agronomic Efficiency of Applied Nitrogen (AE-N) and Nitrogen Use Efficiency (RE-N).

Precipitation trends had a significant impact on nitrogen uptake, most noticeably in 2019. During the flowering period, when nitrogen uptake by wheat is highest and sufficient moisture is required, the Praha-Suchdol site received about 25 % less rainfall than the Humpolec site. This fact was then reflected in the total nitrogen uptake, with uptake at the Humpolec site exceeding 200 kg/ha in some variants.

In conclusion, variants with mineral fertilization reached mostly higher yield. The highest yield achieved at the Humpolec site was 9.30 t/ha on the N fertilization variant. On the Praha-Suchdol site, the highest yield was 8.47 t/ha on the Kal variant. On the other hand, the lowest yields were found on both monitored sites on the Kontrola variant, namely in the case of Humpolec 1.32 t/ha and Praha-Suchdol 3.77 t/ha.

The results show that the nitrogen content in wheat grain was clearly higher on the variants where mineral fertilization was used, with the highest levels found on both monitored sites in 2019 on the variant N. In the case of the Praha-Suchdol site, the N content on this variant was 2.08 % and on the Humpolec site 2.09 %.

The effect of habitat was also reflected in the N use efficiency, with higher values at the Humpolec site than at the Praha-Suchdol site. The results are consistent with the scientific conclusions that the efficiency of nitrogen use from applied fertilizers is higher on sites with poorer soil quality parameters.

**Keywords:** winter wheat, nitrogen, long-term field experiment

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>13</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Dusík.....</b>	<b>14</b>
3.1.1 Dusík v půdě.....	14
3.1.1.1 Mineralizace .....	15
3.1.1.2 Ztráty dusíku.....	18
3.1.2 Dusík v rostlině.....	19
<b>3.2 Hnojiva v zemědělství, jejich účinky a kombinace .....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Aplikovaná hnojiva.....	21
3.2.1.1 Organická hnojiva .....	21
3.2.1.2 Minerální hnojiva .....	24
<b>3.3 Pšenice .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 Tvorba hospodářského výnosu .....	26
3.3.2 Kvalita zrna.....	28
3.3.2.1 Dusíkaté látky .....	30
3.3.3 Chemické složení zrna pšenice .....	31
3.3.3.1 Bílkoviny .....	31
3.3.3.2 Sacharidy .....	32
3.3.3.3 Tuky.....	32
3.3.3.4 Vitamíny .....	32
3.3.4 Výživa a hnojení pšenice .....	32
3.3.4.1 Výživa dusíkem .....	34
3.3.4.2 Příjem dusíku pšenicí .....	36
<b>4 Metodika .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Charakteristika pokusných stanovišť' .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Informace o variantách .....</b>	<b>39</b>
4.2.1 Uspořádání pokusů .....	39
4.2.2 Systém hnojení.....	39
<b>4.3 Charakteristika pěstované odrůdy .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4 Stanovení výnosu.....</b>	<b>40</b>
<b>4.5 Stanovení obsahu dusíku v rostlinách.....</b>	<b>40</b>
4.5.1 Příprava vzorků a mineralizace .....	41
4.5.2 Destilace a stanovení obsahu dusíku titrací HCl .....	41

<b>4.6</b>	<b>Odběr dusíku .....</b>	<b>42</b>
<b>4.7</b>	<b>Bilance .....</b>	<b>42</b>
<b>4.8</b>	<b>Parametry efektivity využití dusíku .....</b>	<b>42</b>
<b>4.9</b>	<b>Zpracování výsledků .....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>Výnos zrna .....</b>	<b>44</b>
5.1.1	Praha-Suchdol .....	44
5.1.2	Humpolec .....	45
	46	
<b>5.2</b>	<b>Výnos slámy .....</b>	<b>47</b>
5.2.1	Praha-Suchdol .....	47
5.2.2	Humpolec .....	48
<b>5.3</b>	<b>Obsah dusíku v rostlině .....</b>	<b>50</b>
5.3.1	Obsah dusíku v zrně.....	50
5.3.1.1	Praha-Suchdol.....	50
5.3.1.2	Humpolec .....	51
5.3.2	Obsah dusíku ve slámě .....	53
5.3.2.1	Praha-Suchdol.....	53
5.3.2.2	Humpolec .....	54
<b>5.4</b>	<b>Odběr dusíku .....</b>	<b>56</b>
5.4.1	Praha-Suchdol .....	56
5.4.1.1	Zrno .....	56
5.4.1.2	Sláma .....	57
5.4.2	Humpolec .....	58
5.4.2.1	Zrno .....	59
5.4.2.2	Sláma .....	59
<b>5.5</b>	<b>Bilance dusíku.....</b>	<b>60</b>
5.5.1	Praha-Suchdol .....	60
5.5.2	Humpolec .....	61
<b>5.6</b>	<b>Parametry efektivity využití dusíku .....</b>	<b>61</b>
5.6.1	Praha-Suchdol.....	61
5.6.1.1	Agromická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N).....	61
5.6.1.2	Efektivita využití dusíku (RE-N).....	62
5.6.2	Humpolec .....	62
5.6.2.1	Agromická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N).....	62
5.6.2.2	Efektivita využití dusíku (RE-N).....	63
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>64</b>

<b>6.1 Výnos zrna pšenice.....</b>	<b>64</b>
6.1.1 Vliv ročníku na výnos.....	65
6.1.2 Vliv stanoviště a hnojení na výnos .....	66
6.1.3 Vliv hnojení na obsah N-látek v zrně .....	67
6.1.4 Efektivita využití dusíku z hnojiv.....	68
<b>7 Závěr .....</b>	<b>69</b>
<b>8 Literatura.....</b>	<b>70</b>
<b>9 Seznam příloh.....</b>	<b>77</b>
<b>10 Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

## Seznam grafů

Graf 1: Znázornění odběru živin ozimou pšenicí (výnos zrna 7,2 t a slámy 7 t/ha), (Vaněk et al. 2016) .....	33
Graf 2: Odběr dusíku (kg/ha) a nárůst sušiny (t/ha) během vegetace (dle Vaňka et al. 2016).36	
Graf 3: Výnos zrna (t/ha) při 100% sušině, Praha-Suchdol.....	44
Graf 4: Výnos zrna (t/ha) při 100% sušině, Humpolec .....	46
Graf 5: Výnos slámy (t/ha) při 100% sušině, Praha-Suchdol .....	48
Graf 6: Výnos slámy (t/ha) při 100% sušině, Humpolec .....	49
Graf 7: Obsah dusíku (%) v zrně, Praha-Suchdol .....	51
Graf 8: Obsah dusíku (%) v zrně, Humpolec .....	52
Graf 9: Obsah dusíku (%) ve slámě, Praha-Suchdol .....	53
Graf 10: Obsah dusíku (%) ve slámě, Humpolec .....	55

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji (Vaněk et al. 2012).....	22
Tabulka 2: Průměrné využití živin z hnoje (% celkového obsahu), (Vaněk et al. 2016) .....	22
Tabulka 3: Průměrné složení kalů (Mata-Alvarez et al. 2000).....	23
Tabulka 4: Nejčastěji uváděné obsahy živin, organických látek (OL) a pH v sušině čistírenských kalů (Černý et al. 2014) .....	24
Tabulka 5: Obsah živin ledeků vyráběných v ČR (Vaněk et al. 2016) .....	25
Tabulka 6: Hodnoty jakostních ukazatelů pšenice (Prugar et al. 2008) .....	29
Tabulka 7: Pšenice krmná (Faměra 1993) .....	29
Tabulka 8: Chemické složení jednotlivých částí zrna (%), (Prugar et Hraška 1986).....	31
Tabulka 9: Odběry živin u pšenice ozimé (kg/t zrna).....	34
Tabulka 10: Charakteristika pokusných stanovišť .....	38
Tabulka 11: Měsíční úhrny srážek (mm) v hodnoceném období .....	38
Tabulka 12: Průměrné měsíční teploty (°C) za sledované období .....	39
Tabulka 13: Dávky živin v aplikovaných hnojivech (kg/ha).....	40
Tabulka 14: Výnos zrna na jednotlivých variantách Praha-Suchdol .....	45
Tabulka 15: Výnos zrna na jednotlivých variantách, Humpolec .....	46
Tabulka 16: Výnos slámy na jednotlivých variantách, Praha-Suchdol .....	47
Tabulka 17: Výnos slámy na jednotlivých variantách, Humpolec .....	49
Tabulka 18: Obsah dusíku (%) v zrně na jednotlivých variantách Praha-Suchdol .....	50
Tabulka 19: Obsah dusíku (%) v zrně na jednotlivých variantách, Humpolec .....	53
Tabulka 20: Obsah dusíku (%) ve slámě na jednotlivých variantách, Praha-Suchdol .....	54
Tabulka 21: Obsah dusíku (%) ve slámě na jednotlivých variantách, Humpolec .....	54
Tabulka 22: Celkový odběr N (kg/ha) na stanovišti Praha-Suchdol .....	56
Tabulka 23: Odběr N (kg/ha) zrnem, Praha-Suchdol .....	57
Tabulka 24: Odběr N (kg/ha) slámou, Praha-Suchdol.....	58
Tabulka 25: Celkový odběr N (kg/ha) na stanovišti Humpolec .....	58
Tabulka 26: Odběr N (kg/ha) zrnem, Humpolec .....	59
Tabulka 27: Odběr N (kg/ha) slámou, Humpolec.....	60
Tabulka 28: Bilance dusíku (kg/ha), Praha-Suchdol .....	60
Tabulka 29: Bilance dusíku (kg/ha), Humpolec .....	61
Tabulka 30: AE-N (kg/kg) na stanovišti Praha-Suchdol .....	62
Tabulka 31: RE-N (kg/kg) na stanovišti Praha-Suchdol .....	62
Tabulka 32: AE-N (kg/kg) na stanovišti Humpolec .....	63
Tabulka 33: RE-N (kg/kg) na stanovišti Humpolec .....	63

# 1 Úvod

Pšenice setá (*Triticum aestivum*), respektive její ozimá forma, je velice významnou plodinou pro naše zemědělství. Její významnost je o to větší, jelikož je zároveň nejpěstovanější plodinou na českých polích. Pšenici je v České republice oseto zhruba 800 tisíc hektarů, což jí zajišťuje prvenství v rámci plodin ze skupiny obilnin. Pšenice však není významnou plodinou jen v České republice, její popularita je celosvětová, řadí se totiž mezi tři nejpěstovanější plodiny světa. Důvody, proč tomu tak je a pšenice se těší takové popularitě, jsou v celku prosté. Jedná se totiž o velice starou plodinu, kterou již dávno před námi pěstovali naši předci na svých polích. Neměli samozřejmě k dispozici tak výnosné a kvalitní odrůdy, jako máme dnes my. Přispěli ovšem nemalým dílem k tomu, aby se dostala tato plodina do takové formy, v jaké ji můžeme vidět na pozemcích dnes. Dalším důležitým důvodem, který je třeba uvést, je její všestranné využití. Pšenice je totiž významnou složkou ve výživě lidí, zároveň však i zvířat a využívá se i pro technické účely.

Z výše uvedeného je patrné, že tato plodina je velmi významná a měli bychom jí věnovat nemalou část naší pozornosti. A to z toho důvodu, že jediné dobře vyživená a zdravá rostlina může poskytnout vysoký a kvalitní výnos zrna. Výživa rostlin je bezesporu téma, které je a bylo velice řešené a zkoumané řadou odborníků. Díky práci těchto lidí dnes známe mnoho zákonitostí a pravidel, kterými je dobré se ve výživě rostlin řídit, tak aby byly co nejlépe uspokojeny potřeby rostliny. Právě dostatečná výživa rostlin a udržení kvalitní a vysoké úrody trápí v dnešní době většinu zemědělců. Finančně velice nákladná výroba minerálních hnojiv a následně jejich vysoká pořizovací cena, která je mnohonásobně vyšší než doposud, vedla řadu výrobců k pozastavení výroby. Zemědělci tak leckdy mají jen omezené množství těchto hnojiv, nebo je nemají k dispozici vůbec. Tato nová situace tak vnáší úplně jiné podmínky pro výživu rostlin, kdy se budeme muset těmto podmínkám přizpůsobit a naučit se v nich pracovat.

To je velice náročný a důležitý úkol vzhledem k okolnostem, které zmiňuje ve své práci Foulkes et al. (2011), kdy OSN předpovídá, že světová lidská populace dosáhne do roku 2050 počtu 9,4 miliardy. Svět proto musí během příštích 40-50 let vyvinout kapacitu, aby uživil 10 miliard lidí. Většina této kapacity bude muset být výsledkem vyšších výnosů na stávající orné půdě.



## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

### Hypotézy:

1. Předpokládá se, že povětrnostní podmínky ročníku budou mít vliv na využití dusíku rostlinou.
2. Předpokládá se, že obsah dusíku v zrně bude dosahovat vyšších hodnot u variant hnojených minerálními dusíkatými hnojivy.
3. Předpokládá se, že stanovištní podmínky budou ovlivňovat efektivitu využití dusíku.

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na využití dusíku ozimou pšenicí. Sledované parametry budou hodnoceny ve třech letech, konkrétně 2019, 2020 a 2021.

Hodnocen byl obsah dusíku ve sklizených částech rostlin (sláma a zrna), jeho výpočet, výnos, odběr dusíku, bilance dusíku a parametry efektivnosti jeho využití ozimou pšenicí.

Předmětem hodnocení budou dvě rozdílná stanoviště Praha-Suchdol a Humpolec.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Dusík

Pro všechny živé organismy je dusík (N) nepostradatelným prvkem, přičemž v rámci moderního systému zemědělství je jeho přítomnost esenciální. Organismy je využíván pro tvorbu rozmanitých organických látek - aminokyseliny, aminocukry, bílkoviny, chlorofyl, nukleové kyseliny a další. Pro optimální vývoj rostlin je N klíčovým prvkem, a to nejen z hlediska biochemických a fyziologických procesů, ale také jako hlavní předpoklad pro zvýšení výnosu a kvalitativních ukazatelů produktu (Robertson et Vitousek 2009; Vaněk et al. 2012). Zároveň se dusík stal nejvíce aplikovanou živinou v hnojivech (Keeny et Hatfield 2008; Sharma et Bali 2018).

#### 3.1.1 Dusík v půdě

Převážná většina dusíku je soustředěna v litosféře. Z hlediska jeho koloběhu má největší význam dusík obsažený v atmosféře. Zde se vyskytuje nejčastěji jako elementární plynný dusík  $N_2$ . V ornici je obsaženo 3 000-6 000 kg N/ha, což je zhruba 0,1-0,2 % (Vaněk et al. 2007). Půdní dusík je přítomen ve čtyřech základních podobách: 1) organická půdní hmota, 2) půdní organismy a mikroorganismy, 3) vázaný amoniak a 4) minerální formy N ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ) v půdním roztoku (Walworth 2013).

Do půdy se dusík dostává několika způsoby: 1) prostřednictvím biologické fixace (fixace vzdušného dusíku půdními mikroorganismy), 2) aplikací hnojivých látek (organická a minerální hnojiva) a 3) ve formě spadů (Vaněk et al. 2012). V půdě se mohou vyskytovat také mikroorganismy, které jsou schopny produkovat amoniak. Většina biologicky fixovaného dusíku však pochází od mikroorganismů, které jsou vzdušný dusík schopny poutat, nikoliv jej samy vyrábět. Velká část těchto fixujících organismů se v půdě nevyskytuje volně, ale v symbiotickém vztahu s vyššími rostlinami (Vaněk et al. 2012; Walworth 2013). Tyto organismy, výhradně bakterie a příbuzné organismy využívající enzymatický komplex zvaný nitrogenáza, jsou schopny za běžných podmínek (tlaku a teplotě) rozrušit pevnou kovalentní vazbu inertního  $N_2$  obsaženého v atmosféře. Běžně se komplex nitrogenázy skládá ze dvou bílkovin. První, velká bílkovina obsahuje molybden (Mo), železo (Fe) a anorganickou síru (S), a nazývá se dinitrogenáza. Druhá, menší bílkovina obsahuje pouze Fe a anorganickou síru a nazývá se dinitrogenáza-reduktáza. V jiném případě je pro tento úkon zapotřebí zvýšeného tlaku a teploty. To je principem Haber-Boschova procesu, který je v současné době primárním zdrojem N pro výrobu dusíkatých hnojiv (Stevenson et Cole 1999; Strock 2008; Walworth 2013).

V půdě je převážná část (zhruba 95 %) přítomného dusíku obsažená v organické půdní hmotě (Balík et al. 2012; Walworth 2013). Jedná se o odumřelé organismy (rostliny, živočichové, mikroorganismy), jejich metabolity, humusové látky a další (Vaněk et al. 2012). Dle Horwatha et Paula (2015) primárním komponentem půdní organické hmoty jsou mikrobiální produkty sestávající se z alifatických látek, sacharidů a sloučenin obsahujících dusík, přičemž základem pro tvorbu organické hmoty jsou interakce jednotlivých sloučenin s minerálním podílem půdy. Organická půdní hmota má v půdě důležité chemické, fyzikální a

biologické funkce a je velmi složité predikovat její dynamiku, jelikož se jedná o heterogenní komplex a její přeměny jsou ovlivňovány půdními vlastnostmi a faktory prostředí (Yang et Janssen 1997). Dusík obsažený v organické hmotě je však nepřístupný pro výživu rostlin. Pro uvolnění N z organické hmoty je nutné podrobit tyto látky rozkladným procesům (Balík et al. 2012; Walworth 2013), kdy rozklad těchto organických materiálů je velice složitým procesem (Jenkinson et al. 1990).

V orniční vrstvě se může nacházet 5-10 % minerálního N ( $N_{\min}$ ) z obsahu celkového dusíku v závislosti na půdě. Obsah  $N_{\min}$  v půdě je v průběhu roku značně proměnlivý. Ovlivňujícími faktory jsou obsah organické hmoty v půdě, hydrotermické podmínky, množství odběru rostlinami a aplikace hnojiv (Vaněk et al. 1997 a, b). V půdách je poměrně velká část minerálního dusíku v podobě  $NH_4^+$  fixována v jílových minerálech ( $NH_4^+_F$ ) a na výživě rostlin se významně nepodílí (Vaněk et al. 2012). Množství takto fixovaného dusíku je v jednotlivých půdách různé a liší se v závislosti na hrubosti struktury půdy, tedy čím jemnější půdní složení je, tím více  $NH_4^+_F$  se v půdě nachází. V rámci fixovaného  $NH_4^+$  je nutné rozlišovat dlouhodobě fixovaný a krátkodobě fixovaný, kdy krátkodobě fixovaný  $NH_4^+$  je více přístupný rostlinám než dlouhodobě fixovaný. V defixaci amonného iontu hrají důležitou roli půdní mikroorganismy. Takto uvolněný dusík se aktivně podílí na koloběhu N v průběhu vegetačního období a záleží na obsahu jílovitých a dalších částic v půdě (Nieder et al. 2011).

Nejpestřejší přeměny dusíku se odehrávají právě v půdě. Odehrávají se zde dva protichůdné základní procesy. Prvním procesem, a pro rostliny esenciálním, je přeměna organických sloučenin obsahujících dusík na minerální dusík, který jsou rostliny schopny přijímat. Principem procesu je mineralizace organických látek na amoniak. Tento produkt je dále oxidován přes dusitany až na dusičnany. Protichůdným procesem je imobilizace minerálních produktů. Minerální dusík je za přítomnosti mikroorganismů fixován do organických látek (Stevenson 1982; Mengel et Kirkby 2006).

Procesy uvedené výše jsou značně ovlivňovány obsahem uhlíku (C) v půdě. Jeho dostatek podporuje rozvoj heterotrofních organismů. Tyto organismy jsou schopny imobilizovat N, tedy zabudovávat jej do organických sloučenin. Pokud je v půdě široký poměr C:N, tak dochází ve vysoké míře k imobilizaci dusíku, a snižují se tak jeho ztráty do prostředí (Goulding et al. 2001; Körschens 2004; Fu et al. 2019). Dalšími ovlivňujícími faktory jsou oxidačně-redukční podmínky, vlhkostní a teplotní poměry půdy (Knoepp et Swank 2002; Burger et Jackson 2003).

### 3.1.1.1 Mineralizace

Nejvyšší obsah přístupného dusíku se za běžných podmínek nalézá v ornici, kde je jeho zdrojem mineralizace organických látek. Takto uvolněný dusík je rozhodující pro výživu rostlin. Během mineralizačních procesů vznikají formy dusíkatých látek, které jsou označovány jako tzv. lehce mineralizovatelné (Balík et al. 2012). Mineralizace je dle Strocka (2008) třístupňovým procesem, který začíná aminizací, je následována amonizací a končí nitrifikací. V procesu aminizace mikroorganismy štěpí proteinové komplexy na jednodušší látky, jako jsou aminokyseliny, amidy a aminy. Amonizace a nitrifikace jsou klíčovými procesy kontrolujícími množství dostupného  $NH_4^+$  v půdě (Dannenmann et al. 2009; Wang et al. 2018).

### 3.1.1.1.1 Amonizace

V procesu amonizace se z lehce rozložitelných organických látek, které obsahují amino skupinu či amidickou skupinu (aminokyseliny, aminocukry a další) a z postupného rozkladu složitých látek uvolňuje  $\text{NH}_3$ . Amonizace je realizována skrze rozmanité metabolické dráhy, intracelulární i extracelulární, přičemž aktivně se na tomto procesu může podílet většina bakterií, hub a mnoho kmenů jednobuněčných eukaryot, které mají schopnost fotosyntézy. Z tohoto důvodu je rychlost amonizace silně ovlivněna velikostí a aktivitou půdní mikrofauny (Vaněk et al. 2013; Romillac 2019).

Proces probíhá v aerobních i anaerobních podmínkách, ale při dostatku kyslíku má amonizace rychlejší průběh. Amonizace je ukončena, pokud již není k dispozici žádný dostupný organický N. Jakmile je amoniak v procesu vyroben, tak může reagovat s jinými sloučeninami. Za přítomnosti kyslíku dochází k nitrifikaci (případně denitrifikaci), (Stefanakis et al. 2014; Cossu et al. 2018).

Na proces dále působí teplotní podmínky a půdní podmínky (pH, poměr C:N, obsah živin v půdě a další), (Stefanakis et al. 2014). Ze širšího úhlu pohledu je amonizace v rámci zemědělství ovlivňována využíváním půdy, pěstebními postupy (organické hnojení a další) a zpracováním půdy. Intenzita amonizace v půdě ovlivňuje následný proces nitrifikace, tedy má vliv na produkci dusičnanů, které jsou významným kontaminantem spodních a povrchových vod. Uvolněný dusík je využíván jak půdními mikroorganismy, tak i rostlinami (Vaněk et al. 2013; Romillac 2019). Velká část dusíku, která je přijímána rostlinami, je ve formě dusičnanů, avšak v anaerobních podmínkách (např. zaplavené půdy) je z důvodu absence kyslíku ( $\text{O}_2$ ) omezen proces nitrifikace, a většina dusíku tak zůstává v amonné formě (Strock 2008). Amonný kation  $\text{NH}_4^+$  je tedy v půdě využit pro výživu ať rostlin či živočichů, nebo je v půdě sorbován na půdní koloidy. Tyto mechanismy značně snižují ztráty amoniaku z půdy a schopnost jeho pohybu v půdním profilu (Vaněk et al. 2012).

Z hlediska potřeby výdaje energie je příjem  $\text{NH}_4^+$  pro rostlinu výhodnější, jelikož může být bezprostředně zapojen do metabolismu rostliny (Richter et Hlušek 1999). Dannenmann et al. (2009) uvádí, že rostliny preferují dusík organického původu a dávají přednost příjmu  $\text{NO}_3^-$  před  $\text{NH}_4^+$ . V rámci výživy rostlin amoniakálním dusíkem je sledován nižší příjem ostatních iontů, především kationtů  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  a organických iontů. Volný amoniak v buňce rostliny pak blokuje fotosyntetickou fosforilaci, omezuje dýchací procesy a dochází ke snížení oxidoredukce (Richter et Hlušek 1999).

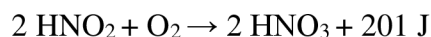
### 3.1.1.1.2 Nitrifikace

Procesy přeměn dusíku v půdě, jedná se především o nitrifikaci a denitrifikaci, se významně podílejí a spolurozhodují o distribuci dusíku v půdě, tedy i využití N rostlinami (Vaněk et al. 1997 c). Dle Strocka (2008) je nitrifikace finálním krokem v procesu mineralizace. V průběhu procesu je amoniak nebo amonný ion přeměňován prostřednictvím oxidace na nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) a následně na nitrát ( $\text{NO}_3^-$ ).

Woldendorp (1975) uvádí, že proces nitrifikace probíhá v půdě ve dvou krocích, přičemž každý z nich je vykonáván jinými organismy. První krok přeměny v půdě provádějí čtyři rody bakterií tzv. nitritační bakterie, z nichž je klíčový rod *Nitrosomonas*.



Ve druhém kroku přeměny je vzniklý dusitan oxidován na dusičnan. Do tohoto kroku mohou být zapojeny tři rody bakterií tzv. nitratačních bakterií, nejvýznamnějším je právě rod *Nitrobacter*.



Kromě výše uvedeného jsou další organismy schopny produkovat malá množství dusitanů a dusičnanů z organických a anorganických redukováných sloučenin. Dochází k tzv. Heterotrofní nitrifikaci.

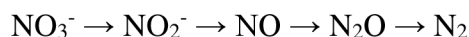
Nitrifikační bakterie jsou, na rozdíl od organismů podílejících se na amonizaci, citlivé na extrémní podmínky prostředí. Vaněk et al. (2012) uvádí, že rozhodující vliv na nitrifikaci mají teplota, dostatek vzduchu a vody v půdě, pH prostředí a aplikované hnojivo. Optimální podmínky pro průběh procesu nastávají v rozmezí 25-30 °C, přičemž se snižující se teplotou dochází k omezení průběhu nitrifikace a při teplotách pod 5 °C téměř ustává. Pro průběh oxidace je nutná přítomnost vzduchu (kyslíku) v půdě. Obsah půdního vzduchu souvisí s optimálním množstvím vody v půdě, kdy při nízkém obsahu půdní vody nitrifikace téměř neprobíhá a při úplném nasycení vodní kapacity dochází k nedostatku O<sub>2</sub> v půdě, a nastává tak opačný proces - denitrifikace, kdy dochází k redukci nitrátů za vzniku oxidů dusíku či plynného dusíku (N<sub>2</sub>), (Ward 2018). Optimální je nasycení půdy okolo 70 % maximální vodní kapacity. Klíčovým faktorem ovlivňujícím proces je i hodnota pH půdy, kdy optimální podmínky jsou v oblasti slabě kyselé až zásadité reakce. V kyselém prostředí, s hodnotou pH pod 5,5, dochází ke značnému omezení průběhu procesu. S tímto faktorem souvisí i výběr aplikovaných hnojiv, které mohou negativně ovlivňovat pH půdy (Vaněk et al. 2012). Ward (2018) uvádí mezi významné faktory ovlivňující nitrifikaci také salinitu prostředí. Salinita je zásadním determinantem ovlivňujícím mikrobiální složení prostředí, tedy i složení nitrifikačních organismů a rychlost nitrifikačních procesů.

#### 3.1.1.1.3 Denitrifikace

Denitrifikace je mikrobiálním procesem, kde dochází k redukci NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na plynné formy dusíku - oxidy dusíku (především oxid dusný - N<sub>2</sub>O) a dusík (N<sub>2</sub>). Proces denitrifikace může být uskutečňován širokým spektrem mikroorganismů (Skiba 2008). Jedná se především o heterotrofní organismy, které spíše používají nitrát než O<sub>2</sub> jako elektronový akceptor během procesu respirace (Robertson et Groffman 2015).

Jelikož jsou však dusičnany méně účinným akceptorem než je kyslík, většina mikroorganismů provádí denitrifikaci pouze, pokud jsou v podmínkách bez přístupu kyslíku. Ve většině půd tento proces probíhá zejména po vydatných deštích, kdy dochází k úplné saturaci půdních pórů vodou a přenos plynů v půdě je významně zpomalen (Robertson et Groffman 2015). Smith (1980) uvádí, že k denitrifikaci může docházet i v půdách nenasyčených na úrovni půdních agregátů, kdy v rámci půdy mají různé velikosti, ale obecně se skládají z minerálních částic a kousků organické hmoty. Agregáty jsou v půdě obklopeny tenkým vodním filmem, který brání výměně plynů. Vaněk et al. (2012) říká, že proces probíhá rychleji v neutrálním až alkalickém prostředí.

Denitrifikace je všude přítomný proces, běžně probíhající v suchozemském i vodním ekosystému. Vyskytuje se v půdách tropického a mírného pásu, v ekosystémech přírodních i intenzivně obhospodařovaných. Klasická definice denitrifikace je postupná redukce nitrátu ( $\text{NH}_3^-$ ) až na plynný dusík ( $\text{N}_2$ ), (Skiba 2008).



Martens (2005); Skiba (2008) uvádějí, že oxid dusný je v půdě produkován skrze dva biologické procesy. Prvním procesem je nitrifikace  $\text{NH}_4^+$  při aerobních podmínkách a druhým je proces nitrifikace/denitrifikace, který probíhá za anaerobních podmínek. V případě, kdy nitrifikační organismy produkují  $\text{N}_2\text{O}$  během nitrifikačního procesu je definován jako nitrifikační denitrifikace. Třetí cestou, nalezenou v půdách, je proces, kde dochází k chemickému rozkladu  $\text{NO}_2^-$  a může převládat v podmínkách s nízkou hodnotou pH půdy (pod hodnotu 5,0).



Skutečnost, jaký plyn je za jaké situace dominantně emitován do ovzduší, závisí na vlastnostech půdy a meteorologických podmínkách. Při nízkém provzdušnění půdy dochází k vyšší emisi  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{N}_2$ , zatímco při vysokém provzdušnění je vyšší produkce oxidu dusnatého (NO). Roční emise plynů mohou být velmi vysoké a uzavírají cyklus dusíku v přírodě (Skiba 2008; Robertson et Groffman 2015).

### 3.1.1.2 Ztráty dusíku

Ač je N esenciální pro organismy, jeho ztráty z koloběhu mezi rostlinou a půdou snižují úrodnost půdy a výnos rostlin, tak jeho negativní dopady na životní prostředí jsou značné (Balík et al. 2012; Cameron et Moir 2013). Dusík je vysoce pohyblivý v biosféře, což zvyšuje jeho ztráty do ovzduší či spodních vod. Do ovzduší dusík ve velké míře uniká v podobě  $\text{NH}_3$  a  $\text{N}_2\text{O}$ . Do spodních vod je N vyplavován v podobě vysoce pohyblivých dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ), (Hansen 2001; Velthof et al. 2009). Nadměrný obsah dusíku (a fosforu) ve spodních vodách může způsobit eutrofizaci povrchových vod, vodní květ, hypoxii, a je tak ohrožováno veřejné zdraví (Diaz et Rosenberg 2008; Cameron et Moir 2013; Sharma et Bali 2018). Kategorie dopadu „eutrofizace“ se dělí na dvě podkategorie, a to 1) suchozemská a 2) vodní eutrofizace. Je tomu tak, protože suchozemské (hlavně vyšší rostliny) a vodní rostliny (zejména řasy) reagují odlišně na dodatečnou suchozemskou eutrofizaci způsobenou atmosférickou depozicí živin na přírodní ekosystémy (Brentrup et al. 2004). Nadměrná volatilizace N do ovzduší v podobě oxidů a amoniaku má za následek destrukci ozonové vrstvy, zvyšování obsahu skleníkových plynů v ovzduší a v kombinaci se srážkami vede ke snížení rozmanitosti ekosystému, zvýšení stresu a okyselování prostředí (Keeney et Hatfield 2008; Robertson et Vitousek 2009).

Vhodným způsobem docílení minimalizace těchto ztrát je zvýšení efektivity využití dusíku (Wivstad et al. 2005; Sharma et Bali 2018). To může být rozmanitými způsoby, jako je výsadba hluboce kořenících plodin (např. některé vytrvalé trávy), využívání krycích plodin v rámci hospodaření nebo synchronizace aplikace dusíkatých hnojiv s požadavkem plodin na danou živinu tak, aby v půdě nebylo obsaženo příliš vysoké množství  $\text{NO}_3^-$ , který se může

vyluhovat do spodních vod (Sainju 2017). Využitelnost dusíku z aplikovaných hnojiv na orných půdách je nízká a pohybuje se zhruba mezi 25-50 % (Fageria et Baligar 2005; Chien et al. 2016; Sharma et Bali 2018).

Efektivita využití dusíku (NUE) je zavedený ukazatel hodnotící management dusíku. Možností výpočtu ukazatele existuje velké množství, ale neexistuje žádná komparace mezi těmito variantami. NUE je složitý pojem, jehož koncept spočívá v různosti zdrojů N, které přispívají k rostlinné produkci (Congreves et al. 2021). Sharma et Bali (2018) uvádí, že NUE má dvě základní definice. První definicí je účinnost, se kterou rostliny využívají a zadržují dusík v půdě. Tato definice vychází z tendence rostlin uvolňovat absorbovaný dusík do atmosféry namísto jeho uložení v rostlinném těle (Daigger et al. 1976). Je tedy měřeno, kolik N je rostlinou přijato a jak velká jeho část je ztracena v podobě emisí oxidu dusičitého, přičemž veškerý dusík je považován za půdní (Choi et al. 2009; Sharma et Bali 2018). Druhou definicí NUE je účinnost, s jakou je dusík aplikovaný do půdy prostřednictvím organických či minerálních hnojivých látek, přijímán výhradně rostlinami. Tedy není využíván k jiným účelům jako je výživa půdních bakterií (Koffi et al. 2016). NUE tak udává množství využití dusíku, dusík, který rostlina přijme a zadrží do doby sklizně oproti množství potenciálně přijatelného dusíku v půdě (Sharma et Bali 2018).

Většina indexů NUE, používaných ve výzkumu jsou rozděleny do kategorií dle toho, co udává jmenovatel a dle směru výzkumu se vybírá optimální kategorie NUE. Pro výpočet efektivity u krátkodobých pozorování jsou nejčastěji využívány výpočty na bázi hnojiv a rostlin. V případě dlouhých časových období se využívají výpočty na bázi půdy nebo izotopů (Congreves et al. 2021). Při výpočtu NUE je nutno zohlednit možné faktory ovlivňující výsledek. Jsou jimi, mimo jiné, chování N v cyklu, kdy dodaný dusík může být v půdě fixován a k jeho využití dochází až v následujících letech. Pro správnou interpretaci výsledku je nutné, aby hlavním zdrojem N v systému byl dusík dodávaný. Nutný je také stálý obsah půdní organické hmoty. U půd s klesajícím obsahem, dochází k nadhodnocení NUE. Dalším významným faktorem, ovlivňujícím hodnoty efektivity, je průběh ročníků, pěstební postupy v dané sezóně a v předešlých letech a další (Robertson et Vitousek 2009).

### 3.1.2 Dusík v rostlině

Po uhlíku je dusík nejžádanějším prvkem pro rostliny. Zhruba 1-5 % sušiny rostlin zaujímá právě dusík, který je základním prvkem proteinů, nukleových kyselin, chlorofylu, koenzymů, fytohormonů a sekundárních metabolitů. Z toho důvodu je dostupnost dusíku pro kořeny klíčovým faktorem pro růst rostlin (Marschner 2011). V rostlinném metabolismu jsou využívány obě formy dusíku: organický i anorganický. Anorganické formy dusíku (nitráty a amoniakální N) mohou být metabolizovány ve všech rostlinách. Mezi organické formy N, které mohou být metabolizovány, patří aminokyseliny, dusitany a močovina (Mokhele et al. 2012).

Všemi rostlinami je dusík přijímán v podobě nitrátového ( $\text{NH}_3^-$ ) a amonného iontu ( $\text{NH}_4^+$ ). O míře příjmu těchto iontů rozhodují jak podmínky prostředí, tak i sama rostlina. Významným faktorem vnějšího prostředí je pH půdy. V neutrálních podmínkách je příjem obou iontů vyrovnán. V alkalických půdách převažuje příjem amonného iontu. Naopak v kyseljším prostředí dochází k vyššímu příjmu nitrátového iontu (Pavlíková et al. 2008; Leghari et al. 2016). Příjem dusičnanů je vysoce ovlivněn také teplotou prostředí a aerací půdy. Při nízkých

teplotách ovzduší a vysoké míře aerace půdy se snižuje míra příjmu a využitelnosti nitrátového aniontu (Pavlíková et al. 2007).

Příjem jednoho iontu ovlivňuje v rámci rostliny příjem ostatních iontů. Pokud dochází v rámci agrotechniky k jednostranné výživě nitráty, dochází ke zvýšení tvorby organických aniontů v rostlině. Je tak zvýšen příjem kationtů do systému, jedná se především o  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  a  $Mg^{2+}$ . Pokud převažuje příjem amonného iontu, pak dochází ke snížení příjmu iontů, především kationtů (Vaněk et al. 2007).

Rostliny přijatý minerální dusík postupně využívají k tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Zatímco  $NH_4^+$  mohou rostliny bezprostředně využít k syntéze aminokyselin, nitrátový dusík musí být nejprve redukován na amonný. K redukcí dusičnanů dochází v rostlinných pletivech, hlavně v listech, za pomoci enzymů. V rostlinných pletivech je aktivita enzymu nitrátreduktázy poměrně vysoká, kdy k redukcí je zapotřebí dostatek energie. Významnou roli má i přítomnost některých prvků, jako jsou Mo, Fe, Cu, Mn a Mg. Vznikající  $NH_3$  je vázán na organické kyseliny (oxokyseliny) za vzniku aminokyselin (Vaněk et al. 2012).

V případě nedostatku dusíku od raných vývojových stádií, dochází k omezení produkce stavebních a funkčních bílkovin, což se projevuje omezením růstu rostliny a omezenou tvorbou všech orgánů klíčových pro rostlinu (listy, stébla), (Vaněk et al. 2012). Dusík je v rostlině alokován především v listech a stoncích, kde hraje klíčovou roli pro produkci biomasy. V rámci jednotlivých pater listů se dusík ukládá především do těch horních, dobře osvětlených. U pšenice dochází ke zvýšení listové plochy (LAI) se zvýšením aplikace dusíku. Na druhou stranu, zvyšující se listová plocha podporuje příjem a ukládání N z půdy během vegetativního růstu (Mokhele et al. 2012; Zhao et al. 2014).

Pokud trpí rostlina nedostatkem dusíku, tak jsou v menší míře produkovány látky obsahující dusík, jako je např. chlorofyl. V důsledku snížené tvorby chlorofylu dochází ke změně zbarvení, rostliny jsou světlejší (Vaněk et al. 2012). Omezená tvorba listů a chlorofylu vede ke snížení míry fotosyntézy, tedy k nižší produkci biomasy rostlin, a to nadzemní i kořenové. Snížená tvorba kořenového systému má za následek nižší energetické zásobení rostlin. Druhotně tak dochází ke snížení kapacity kořenů a snížení příjmu živin. Porosty s nedostatkem dusíku mají kratší vegetační dobu a rychleji dozrávají. Vzhledem ke zkrácené vegetační době dochází ke snížení výnosu a kvality produkce (Vaněk et al. 2016). V průběhu senescence porostu je v případě pšenice až 80 % dusíku obsaženého v listech transportováno do zrna (Mokhele et al. 2012). Dle Bamba et al. (2016) obsah N v pletivech rostlin v období metání koreluje s výnosem zrna.

## 3.2 Hnojiva v zemědělství, jejich účinky a kombinace

Hnojiva jsou sloučeniny a látky, které poskytují rostlinám živiny, mohou zlepšit jejich výživu, půdní vlastnosti a půdní úrodnost, a tím i příznivě ovlivnit růst, výnos a kvalitu rostlinné produkce. Podle původu a obsahu hlavních složek rozlišujeme hnojiva organická (statková) a minerální (Vaněk et al. 2016).

Všeobecně se uvádí, že statková hnojiva uvolní přibližně třetinu obsahu svého dusíku v průběhu prvního roku a cca 9-10 % a 3-5 % obsahu dusíku v průběhu druhého a třetího roku po aplikaci statkových hnojiv na pole. Tento údaj se týká především tuhých statkových hnojiv, jako je např. hnůj. Mineralizace tekutých hnojiv je v prvním roce rychlejší, uvolněné množství



živin je tedy vyšší než v případě hnoje, který má vysoký poměr C:N. Právě poměr C:N je klíčovým parametrem pro rychlost mineralizace. Hnůj oproti kejďám uvolňuje své živiny pomalu, uvolňuje je po delší dobu.

Rychlost mineralizace tekutých statkových hnojiv je v prvním roce rychlejší, dodají tedy plodině, ke které byly aplikovány, větší množství živin. V dalších letech je však jejich účinek menší, než v případě tuhých statkových hnojiv. Uvádí se, že statková hnojiva s nízkým poměrem C:N dodají v prvním roce přibližně 50 % svého obsahu dusíku. Kromě druhu statkových hnojiv je ovšem významným parametrem pro mineralizaci podnebí. Kdy rychlost mineralizace statkových hnojiv je významně ovlivněna především množstvím srážek. V případě výskytu extrémních podmínek se proces mineralizace statkových hnojiv významně inhibuje, ne-li zastaví (Hlisnikovský et al. 2018).

Je nesporné, že statková hnojiva zaujímají významné postavení v obnově a vytváření půdní úrodnosti. Jsou zdrojem organických látek i živin. Mají také výrazný mobilizační vliv na vyšší využití půdních rezerv tzv. priming effect (Vaněk et al. 2001).

Nevýhodou statkových hnojiv je jejich nehomogenita. Obsah živin ve statkových hnojivech se tak liší nejen na základě původu hnojiva, ale i chov od chovu. V tomto je velká výhoda minerálních hnojiv, jejich složení je homogenní a lze je přesně aplikovat tam, kde potřebujeme. Aplikace minerálních hnojiv představuje ideální způsob, jak zajistit vysoké výnosy naší primární obilniny.

Kombinace minerálních a statkových hnojiv představuje optimální formu hnojení, neboť zatímco minerální hnojiva dodají ve správný čas potřebné živiny v definovatelném množství a napomůžou tak k dosažení optimálních výnosů, statková hnojiva přispějí svými živinami a zároveň dodají do půdy organickou hmotu, která pozitivně ovlivní fyzikálně – chemické a biologické vlastnosti půdy. Zároveň zmírňují negativní dopad na půdu, především na hodnotu pH (Hlisnikovský et al. 2018).

Vaněk et al. (2001) zmiňuje, že na základě dlouhodobých stacionárních pokusů zakládaných u nás v letech 1972-1980 ÚKZÚZ na různých stanovištích v osmihonném osevním postupu (50 % obilovin, 25 % okopanin a 25 % pícnin), se ukazuje na příznivé působení organického hnojení v kombinaci s hnojením minerálními hnojivy. Samotné pravidelné hnojení hnojem (1x za 4 roky v dávce 40 t/ha k okopaninám) zvyšovalo výnosy celého osevního postupu o necelých 9 % (v prvních letech pokusů byl vliv vyšší), zatímco v kombinacích s minerálními hnojivy (N, P, K) o 33 a 44 %.

Na základě pokusů lze konstatovat, že přímý vliv hnojení na výnosy je vyšší na horších stanovištích. Na úrodných půdách se více uplatňuje hnojení v obnově půdní úrodnosti a v udržení stability výnosů a kvality produkce.

### **3.2.1 Aplikovaná hnojiva**

#### **3.2.1.1 Organická hnojiva**

##### **Chlévský hnůj**

Živiny z hnoje a rozkládající se organická hmota jsou přirozené složky životního prostředí, které v konečném důsledku podporují růst a produkci dalších rostlin a živočichů

(tab. 1). Ač je hnůj nazýván odpadní látkou, tak by měl být znovu využíván v rámci ekosystému, jako zdroj esenciálních látek (Van Horn et al. 1994).

Tabulka 1: Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji (Vaněk et al. 2012)

Hnůj	Obsah v čerstvém stavu (%)						
	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Hovězí	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08
Hovězí (hluboká podestýlka)	25	20	0,70	0,15	0,66	0,50	0,13
Koňský	25	20	0,65	0,13	0,52	0,21	0,11
Ovčí	25	20	0,85	0,14	0,66	0,25	0,12

Obsah těchto látek a živin se značnou měrou odvíjí od způsobu uložení a následného ošetření při zrání hnoje. Pokud tedy nejsou při tomto procesu dodrženy náležitě podmínky, dochází ke ztrátám. Úbytek organických látek je 50-60 %, z celkového dusíku v chlévské mrvě činí tyto ztráty v podobě (NH<sub>3</sub>) 30-40 %, u fosforu je to asi 5 % a pro draslík je velikost této hodnoty 10-20 %.

Hnojem se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v pohotové formě. Na orné půdě je na lehčích půdách doporučováno hnojení menšími dávkami v kratších cyklech a na těžších půdách vyšší dávky s intervalem delším. Střední dávky průměrně kvalitního hnoje na hektar u obilnin činí 20 t. Za vyhovující úroveň hnojení lze považovat dávku 35-40 t hnoje na hektar, aplikovanou na každý pozemek jednou za 4-5 let při běžném zastoupení plodin v osevním postupu (Vaněk et al. 2007).

Hnůj působí v půdě více let. Většinou se počítá s působením tři až pěti let, a to v lehčích půdách kratší dobu a v těžších půdách delší období. Praxe ukazuje, že v prvním roce je využití hnoje na středních půdách asi 50 % a v následujících letech vždy dalších 50 %. Značnou výhodou je skutečnost, že část organických látek je ve zralém hnoji již stabilizována. Nepodléhá tak rychlé mineralizaci v půdě, čímž je lépe transformována do humusových substancí. Také využití živin je rozloženo na delší období. Nejčastěji se uvažuje s využitím živin po dobu tří let (tab. 2).

Jestliže tedy aplikujeme 40 t hnoje skotu/ha, tak při uvažovaném využití v prvním roce bude mít hnojená plodina k dispozici okolo 48 kg N, 6,6 kg P, a 83 kg K. Tyto živiny, zvláště dusík, musíme brát v úvahu při stanovení dávky živin v minerálních hnojivech.

Hnůj společně s komposty se aplikují nejčastěji po sklizni (většinou obilnin) koncem léta a v podzimním období (Vaněk et al. 2012). Po aplikaci je nutné hnůj v co nejkratším termínu zaorat. Pokud bychom tak neučinili, snižujeme jeho hnojivou účinnost, kdy po 6 hodinách již o 3-16 % (Vaněk et al. 2007).

Tabulka 2: Průměrné využití živin z hnoje (% celkového obsahu), (Vaněk et al. 2016)

Živina	1. rok	2. rok	3. rok
Dusík	25	15	5
Fosfor	15	10	5
Draslík	40	15	10

### Kaly z čistíren odpadních vod

Aplikace čistírenských kalů na půdu má velký význam z hlediska jejich hnojivých a půdních vlastností, pokud neobsahují toxické látky. Heterogenní povaha čistírenských kalů produkovaných v různých čistírnách odpadních vod a rozdíly mezi ročními obdobími vyžadují znalost chemického složení čistírenských kalů před aplikací na půdu. Charakteristika čistírenských kalů závisí na procesech čištění odpadních vod a nakládání s kaly.

Obecně se čistírenský kal skládá z organických sloučenin (tab. 3), makroživin, široké škály mikroživin, neesenciálních stopových kovů, organických mikropolutantů a mikroorganismů.

Tabulka 3: Průměrné složení kalů (Mata-Alvarez et al. 2000)

	<b>Primární</b>	<b>Sekundární</b>	<b>Stabilizovaný, odvodněný</b>
<b>Anorganický podíl (%)</b>	30-53	18-37	38-66
<b>Organický podíl (%)</b>	47-70	63-82	34-62
<b>Obsah vody (%)</b>	88-97	95-98	64-83

Makronutrienty v čistírenských kalech slouží jako dobrý zdroj živin pro rostliny a organické složky poskytují příznivé vlastnosti pro úpravu půdy. Na druhou stranu může čistírenský kal kromě organického materiálu obsahovat také mnoho toxických látek, jako jsou detergenty, různé soli a pesticidy (Singh et Agrawal 2008). Obsah živin (tab. 4), především dusíku, je jedním z hlavních ukazatelů pro stanovení dávky kalů. Množství živin obsažených v kalech je zpravidla vyšší než ve stájových hnojivech, s výjimkou draslíku, kterého je většinou méně než 0,5 %.

Dusík je obsažen v čistírenských kalech v organické formě a ve formě minerální, jako amonný nebo nitrátový dusík. Forma dusíku je důležitá pro stanovení přístupnosti dusíku pro rostliny. Koncentrace organického a anorganického dusíku v kalech je ovlivněna způsobem ošetření kalů, manipulací při použití a řadou dalších procesů. Běžně je v čistírenských kalech většina minerálního dusíku ve formě amonné, a to až 90 %, jestliže byly kaly ošetřeny anaerobním způsobem. Ve stabilizovaných odvodněných čistírenských kalech tvoří obsah minerálního dusíku 10 % z celkového dusíku. Naopak v tekutých kalech představuje obsah minerálního dusíku 25-50 % z celkového obsahu N. Organický dusík zahrnuje hlavně aminokyseliny, což je ovlivněno především obsahem látek bílkovinné povahy. Po aplikaci čistírenských kalů do půdy je tak organický N poměrně rychle mineralizován mikroorganismy.

Čistírenské kaly jsou také výrazným zdrojem uhlíku a organické hmoty. Obsah organických látek je 33-57 %, což je dvakrát až třikrát více než v chlévském hnoji. Organické látky čistírenských kalů však vykazují nižší stabilitu v porovnání s chlévským hnojem (Černý et al. 2009).

Tabulka 4: Nejčastěji uváděné obsahy živin, organických látek (OL) a pH v sušině čistírenských kalů (Černý et al. 2014)

	Rozsah (%)	Průměr (%)		Rozsah (mg/kg)	Průměr (mg/kg)
<b>N</b>	2,2-4,8	3,2	<b>Zn</b>	135-1819	795
<b>P</b>	0,8-2,5	1,9	<b>Cu</b>	205-1347	486
<b>K</b>	0,2-0,6	0,4	<b>Mn</b>	187-558	270
<b>Mg</b>	0,4-2,3	0,9	<b>B</b>	24-71	48
<b>S</b>	0,3-2,3	0,9	<b>Mo</b>	3-13	6
<b>OL</b>	33-57	47			
<b>pH</b>	6,5-8,6	7,1			

Černý et al. (2014) uvádí, že dusík z kalů ovlivňuje růst během vegetace, a také v době tvorby semen. U plodin pěstovaných po aplikaci kalů je vyšší obsah bílkovin v semenech, případně jsou prokázány lepší kvalitativní parametry zrna, jako je HTS, objemová hmotnost či pádové číslo. Význam čistírenských kalů je nutno posuzovat také s ohledem na obsah a kvalitu organické hmoty.

Výsledky z polních pokusů obecně ukazují, že použití kalů na zemědělské půdě příznivě působí na růst rostlin a zvyšuje výnos sklizených produktů. Při krátkodobém hodnocení je největší vliv kalů na výnos plodin v prvním, případně ve druhém roce po jejich aplikaci na zemědělskou půdu. U pravidelného hnojení čistírenskými kaly je ale příznivě hodnoceno i jejich dlouhodobé působení. Jednoznačně nelze popsat, o kolik se zvýší výnos po aplikaci kalů, neboť jejich působení je ovlivněno ostatními půdními vlastnostmi a klimatickými podmínkami stanoviště. Obecně platí, že zvýšení výnosu na úrodných půdách je malé a větší vliv je na půdách méně úrodných.

Vaněk et al. (2016) říká, že jestliže použijeme nejvyšší povolenou dávku upraveného kalu, která činí 5 t sušiny/ha/rok, dodáme tím do půdy 160 kg N, 60 kg P, 15 kg K, 125 kg Ca a 20 kg Mg. Z velké části tyto živiny již v prvním roce přejdou do forem přijatelných pro rostliny.

Přesné stanovení dávky sušiny se vypočte ze zjištěného obsahu dusíku. Dávka dusíku dodaného v kalech nesmí překročit 70 % celkového potřebného množství dusíku pro hnojenou plodinu. Nejpozději do 48 hodin od umístění kalů na zemědělskou půdu musí být zapraveny do půdy. Obdobně jako u ostatních organických hnojiv však platí, že zapravení do půdy je nejlépe vykonat bezprostředně po aplikaci (Černý et al. 2014).

### 3.2.1.2 Minerální hnojiva

#### **Draselná sůl (DS-50 % K)**

Draselná hnojiva jsou chemické látky, které obsahují hlavní živinu draslík a pocházejí převážně z přirozených ložisek draselných solí. Jejich výroba je jednoduchá a jsou dobře rozpustná ve vodě. Kromě draslíku hnojiva obsahují i určité množství jiných prvků, hlavně Na a Mg. Vyskytují se ve dvou anionových formách, a to jako sírany a chloridy.

Základní složkou draselné soli je chlorid draselný KCl. Hnojiva jsou dodávána jako krystalická, granulovaná nebo prášková ve formě bílo-šedých až načervenalých granulí

(Kunzová 2010). Obsahuje téměř 96 % KCl-minimálně 49,5 % K, 47 % Cl a malé množství Na.

Je téměř univerzálním draselným hnojivem používaným na všech typech půd a ke všem plodinám s výjimkou plodin citlivých na chlór. Draselnou sůl lze použít jak při předseťové přípravě, tak i při orbě (Vaněk et al. 2012).

### **Superfosfát trojitý - granulovaný (TSP 20-21 % P)**

TSP se vyrábí rozkladem surových fosfátů kyselinou fosforečnou. Výsledný produkt obsahuje 20-21 % fosforu. Téměř veškerý fosfor je vodorozpustný ve formě Ca ( $H_2PO_4$ ). Neobsahuje síran vápenatý, není tudíž zdrojem síry jako jednoduchý superfosfát (Vaněk et al. 2012). Dodává se ve formě šedých až šedohnědých granulí (Kunzová 2009).

Superfosfáty jsou univerzální hnojiva pro všechny plodiny. Aplikují se k základnímu hnojení, nejpozději při předseťové a předvysadbové přípravě půdy. Na půdách dobře zásobených fosforem a se slabě kyselou až neutrální reakcí je možná jejich aplikace před orbou podmínkou. Proti tomu na půdách chudých na fosfor je úspěšné např. lokální zapravení fosforu do blízkosti osiva, označované jako tzv. hnojení pod patu. Kdy pro tento způsob hnojení se využívá především trojitý superfosfát a Amofos (Vaněk et al. 2012).

Toto hnojivo se nehodí pro půdy bohatě zásobené vápníkem s vyšším obsahem železa a vápníku a pro půdy silně kyselé (Kunzová 2009). Vaněk et al. (2012) říká, že superfosfáty by zásadně neměly přijít na pozemky s výrazně kyselou půdní reakcí, neboť vodorozpustný fosfor z hnojiva zde přechází poměrně rychle na formy pro rostliny málo přijatelné.

### **Ledek amonný s vápencem (LAV 26-27,5 % N)**

Jedná se o nejpoužívanější tuhé dusíkaté hnojivo v ČR, které se vyrábí z dusičnanu amonného a jemně mletého vápence ( $NH_4NO_3 + CaCO_3$ ). Z celkového dusíku obsaženém v hnojivu je polovina v amonné a polovina v nitrátové formě. Obsah dusíku ve většině hnojiv tohoto typu je okolo 27 % (tab. 5). Díky možnosti použití i jiných sloučenin a dodání například Mg a S jsou vyráběna hnojiva s přísadkami (Vaněk et al. 2016).

Tabulka 5: Obsah živin ledků vyráběných v ČR (Vaněk et al. 2016)

	<b>N (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Mg (%)</b>
<b>LAV 27,5</b>	27,5	8	0
<b>LAD 27,5</b>	27,5	4	3

Díky přítomnosti rychleji působící nitrátové a pozvolněji působící amonné formě dusíku je toto hnojivo téměř univerzální. Můžeme jej tak použít jak při předseťovém hnojení, tak i v průběhu vegetace hnojením na list. Jeho univerzálnost lze hodnotit i z hlediska půdních vlastností, kdy jej můžeme použít do všech půd. Značnou výhodou LAV oproti klasickým ledkům je to, že k přihnojení lze využít vyšší dávky, a tím snížit počet vstupů do porostu (Vaněk et al. 2007).

### 3.3 Pšenice

Pšenice patří k nejstarším kulturním plodinám, byla domestikována již asi sedm tisíc let před Kristem. Od té doby byly vyselektovány různé druhy pšenice, odpovídající lidským požadavkům. Pozdější genetický vývoj byl v minulém století charakterizován šlechtěním různých odrůd a v posledních desetiletích se již šlechtí speciální odrůdy pro různé využití, u nás především u měkké pšenice (Chloupek 2008). Využití pšenice je v dnešní době značně rozmanité. Využívá se pro účely krmivářství, kde je komponentem krmných směsí pro hospodářská zvířata. Dále pak využití potravinářské a průmyslové, kde se z pšenice získává líh a škrob. Tato plodina je také často využívána v energetice pro spalování.

Z celosvětového hlediska je pšenice společně s rýží a kukuřicí dominantní pěstovanou plodinou (FAO 2019). Dle Shewryho (2009) se tak pšenice počítá mezi „velkou trojku“ obilnin. Ročně se na světě sklídí asi 600 milionů tun pšenice z 220 milionů hektarů (Wrigley et Bekes 2004). Pšenice je však bezkonkurenční ve svém rozsahu pěstování, od 67° severní šířky (Skandinávie, Rusko) po 45° jižní šířky (Argentina), včetně vyvýšených oblastí v tropech a subtropích. Je také bezkonkurenční v rozmanitosti a rozsahu, v jakém se začlenila do kultury a dokonce i náboženství různých společností (Shewry 2009). Největšími producenty zrna je Asie (přes 40 % produkce), především Čína a Indie, Evropa (cca 32 %) a Amerika (okolo 17 %), (FAO 2019).

V České republice je pšenice nejpěstovanější obilninou na orné půdě (Kůst et Záruba 2018). V minulých letech se u nás pšenice pěstovala na 23 % orné půdy, ječmen na 17 % a žito a oves na 5 %, tento rozsah a změny zastoupení byly přímo úměrné reakci těchto obilnin na hnojení v posledních 40 letech. Jinými slovy, protože pšenice reagovala lépe na hnojení, rozšířila se na úkor žita (Chloupek 2008). Dnes z celkové osevní plochy zemědělského půdního fondu zaujímá cca 30 % a v porovnání s ostatními obilninami je pěstována až na 60 % osevních ploch. Její výměra se v posledních deseti letech pohybuje neustále nad 800 tis. hektarů, ale trend vývoje osevních ploch je záporný. Mírně klesající je také trend ve vývoji průměrných hektarových výnosů, kde hodnoty oscilují okolo 6 t/ha (Kůst et Záruba 2018).

Pšenice je v České republice pěstována především v ozimé formě. Tedy porosty jsou zakládány na podzim a rostliny musí projít procesem jarovizace, kdy na vzrůstný vrchol musí po určité době působit nízké teploty (okolo 0,0 °C) a dochází tak k fyziologickým změnám. Konečným důsledkem je přechod z vegetativního stavu rostliny do generativního. Rozdíly však nejsou pouze v době setí a délce vegetace na poli, ale také v době sklizně a výši výnosu, kdy dle Kůsta et Záruby (2018) se průměrný hektarový výnos jarní pšenice pohyboval okolo 4 t/ha. V minulosti se pěstovaly i tzv. přesívkové pšenice, které mohly být sety jak na podzim, tak i na jaře.

#### 3.3.1 Tvorba hospodářského výnosu

Obilniny mají ze všech kulturních rostlin jednu z největších schopností využívat vegetační faktory a prostředí, pro tvorbu výnosu. Rozšíření, a tím široké přizpůsobení podmínkám prostředí je u obilnin neobyčejně velké.

Formování vysoce produktivního porostu obilnin vyžaduje více než u jiných plodin regulaci početného souboru složek, určujících vysokou biologickou a zejména hospodářskou



úrodu. Je to dáno tím, že během vegetačního období se realizují růst a diference vegetativních i generativních orgánů a procesy, které rozhodují nejen o velikosti vyprodukované hmoty, ale i o jejím rozdělení mezi orgány a zvláště o akumulaci v hospodářsky důležitém orgánu. Produkční proces musíme proto hodnotit ve vzájemném sepětí těch faktorů, které určují nejen velikost celkové biologické produkce, ale zejména její hospodářsky významnou část - výnos zrna.

Výnos zrna obilnin tvoří jen část produkce veškeré biomasy. Z dosavadních výzkumů je zřejmé, že u nových odrůd obilnin souvisí vysoký hospodářský výnos s vysokým výnosem biologickým za předpokladu vhodné dynamiky tvorby nadzemní biomasy a ekonomicky účelné distribuce sušiny.

Pro vysoce výnosné porosty je důležitý přiměřený rozvoj asimilačního aparátu i kořenového systému ve vegetativním období a vysoké přírůstky sušiny v generativním období. Ty jsou podmíněné optimální úrovní pokryvnosti listoví, její delší aktivitou (zejména horní části rostliny) a vyšší rychlostí fotosyntézy (Petr et al. 1980). Výhodou ozimů proti jařinám je fakt, že mohou lépe zakořenit a částečně odnožit již na podzim a časně na jaře. Odnožování u nich probíhá při příznivějších vláhových podmínkách (Faměra 1993).

Jde tedy o soulad produkčních procesů a formování prvků hospodářského výnosu, přičemž je velmi významná schopnost rostlin převést vytvořené asimiláty do hospodářsky významných orgánů - obilek. Z toho vyplývá velká složitost vztahu produkčních procesů (fotosyntetické produkce) k hospodářskému výnosu obilnin ve srovnání s jinými zemědělskými plodinami. Tato složitost je vyvolána tím, že optimální podmínky pro maximální tvorbu biologického výnosu mohou být jiné než optimální podmínky pro maximální hospodářský výnos.

Výnos zrna obilnin je tvořen třemi základními komponenty:

1. počtem klasů na plošnou jednotku
  - počtem rostlin
  - počtem plodných stébel na jedné rostlině
2. počtem zrn v klasu
  - počtem klásků
  - počtem plodných kvítků
3. hmotností zrn (HTZ)  
(Petr et al. 1980)

V případě pšenice se jednotlivé odrůdy mohou lišit významem jednotlivých výnosotvorných prvků při tvorbě výnosu. V pěstitelské praxi jsou pak rozlišovány 4 základní typy odrůd, které tvoří výnos.

- produktivitou klasu - kde je vytvářeno méně odnoží (cca 450-550 klasů/m<sup>2</sup>), ale mají produktivnější klasy buď z hlediska vyššího počtu zrn v klasu nebo vyšší HTZ.
- počtem klasů na m<sup>2</sup> - odrůdy mají v klasu střední nebo nižší množství zrn, ale vyznačují se vyšší odnožovací schopností (cca 650-700 klasů/m<sup>2</sup>)
- počtem zrn na m<sup>2</sup> - kdy v dostatečném množství klasů na plochu (cca 550-650) se středním nebo vyšším počtem zrn v klasu, ale nízkou HTZ

- kompenzační typ - kde na tvorbě výnosu se víceméně rovnoměrně podílejí všechny výnosotvorné prvky, tedy nižší hodnota jednoho prvku může být kompenzována zvýšením hodnoty ostatních prvků v časové posloupnosti

(Křen 2019).

Tvorbu výnosu a kvalitu zrna lze do určité míry ovlivnit správně zvolenou pěstební technologií tvořenou různými agrotechnickými zásahy, jako je volba předplodiny a kvalita zpracování půdy a dalšími vstupy - hnojení, ošetření fungicidy, použití regulátoru růstu a podobně. Tyto vstupy a zásahy je zapotřebí optimalizovat ve vztahu k počasí. Tímto přístupem lze do jisté míry eliminovat míru negativních projevů sucha a s efektivním vynaložením vstupů docílit přijatelné rentability pěstované ozimé pšenice (Smutný et al. 2018).

### 3.3.2 Kvalita zrna

Termín kvalita zrna obilovin vyjadřuje, do jaké míry se skutečné parametry zrna obilovin blíží očekávanému standardu. Různí spotřebitelé a zpracovatelé mohou mít na zrno rozdílné požadavky, proto je třeba na kvalitu zrna pohlížet jako na relativní veličinu tvořenou mnoha složkami (Palík et al. 2009).

Ač je technologická kvalita zrna pšenice předem determinována genetickým základem rostliny, tak v přírodních podmínkách České republiky je značně ovlivňována počasím a agrotechnikou (Hubík et Mareček 2002). Tuto skutečnost uvádí i Palík et al. (2009), který říká, že kvalitu zrna ovlivňují dominantním způsobem odrůda a podmínky pěstování. Podmínky pěstování, zejména průběh počasí během vegetační doby, hrají velmi významnou roli při tvorbě technologické kvality v podmínkách nestabilního klimatu, ve kterém leží Česká republika. Agrotechnické postupy a úroveň minerální výživy pak mají aditivní vliv na technologickou kvalitu a mohou potlačit nebo naopak zvýraznit geneticky daný potenciál odrůdy.

Faktory ovlivňující jakost zrna:

- **Vlhkost** - stupeň zralosti při sklizni, počasí v době sklizně
- **Nečistoty** - seřizení sklízecí mlátičky a způsob sklizně, posklizňové čištění zrna
- **Příměsi** - dozrálé zrno výdrolu předplodin, přisev obilniny do řídké pšenice, manipulace se zrnem - mezisklady, doprava
- **Objemová hmotnost** - počasí v době tvorby obilky, hustota porostu, výživa dusíkem, odrůda
- **Obsah lepku** - odrůda, počasí v době tvorby obilky, hnojení dusíkem
- **Sedimentační test (SDS-test)** - viz obsah lepku
- **Číslo poklesu (viskotest)** - počasí v době dozrávání a při sklizni, opožděná sklizeň

(Faměra 1993).

Zrno pšenice by mělo na trhu se zemědělskými produkty splňovat doporučené ukazatele jakosti podle zaměření dalšího zpracování suroviny (Faměra 1993). Při využití zrna pro potravinářské účely se sleduje nejen vlhkost, která by měla být do 14,0 %, objemová hmotnost (78 kg/hl), příměsi a nečistoty, sedimentační hodnota, číslo poklesu (zkouška vnitřní porostlosti zrna) a také obsah N-látek, který by měl být minimálně 12 % (Hubík et Mareček 2002). Pro potravinářské zpracování má velký význam dodávání velkých kvalitativně stejných partií zrna (tab. 6).



Tabulka 6: Hodnoty jakostních ukazatelů pšenice (Prugar et al. 2008)

Jakostní ukazatele	Jednotky	Pšenice
<b>vlhkost</b>	(%)	nejvýše 14,5
<b>objemová hmotnost</b>	(g.l <sup>-1</sup> )	nejméně 760
<b>druhá čistota</b>	(%)	nejméně 95
<b>obsah N-látek v sušině (N*5,7)</b>	(%)	nejméně 10,5
<b>sedimentační – Zelenyho test</b>	(ml)	nejméně 22
<b>číslo poklesu</b>	(s)	nejméně 220
<b>příměsi a nečistoty</b>	(%)	nejvýše 12,0
<b>z toho: 1) zlomky zrn</b>	(%)	nejvýše 5,0
<b>2) zrnové příměsi</b>	(%)	nejvýše 7,0
<b>z toho: tepelně poškozená zrna</b>	(%)	nejvýše 0,5
<b>3) porostlá zrna</b>	(%)	nejvýše 4,0
<b>4) nečistoty</b>	(%)	nejvýše 3,0
<b>z toho: tepelně poškozená zrna</b>	(%)	nejvýše 0,05

Při vypouštění skladových buněk dochází k mísení zrna z různých vrstev. Z toho vyplývá nutnost rozdělení jakostně odlišných partií již při naskladňování pšenice do věžových sil. Ve velkokapacitních silech obchodních podniků je pravidlem rozdělovat nakupovanou produkci podle odrůd nebo podle obsahu N-látek.

Ve výživě lidí se obiloviny nepřímo podílejí i jako krmivo pro hospodářská zvířata. Ve vyspělých zemích, kde je velká spotřeba živočišných produktů, je tento podíl velmi vysoký a dosahuje z celkové spotřeby více než dvě třetiny. Podobně je tomu i v České republice. Největší podíl tvoří právě pšenice (40 %), které se dle statistických údajů zkrmuje okolo 1,7 milionů tun. I když jde „jen“ o krmnou pšenici, která má obvykle nižší cenu než pšenice potravinářská, její pěstování musí mít stejně vysokou úroveň a technologickou kázeň. I výnosy krmné pšenice jsou dokladem agronomické úrovně podniku (Prugar et al. 2008).

Tabulka 7: Pšenice krmná (Faměra 1993)

Ukazatel	Limit	Závaznost (%)	Základní jakost (%)
<b>Vlhkost</b>	nejvýše	14,0	15,0
<b>Nečistoty</b>	nejvýše	1,0	3,0
<b>z toho: semena svícele</b>	nejvýše	-	0,4
<b>anorganické nečistoty</b>	nejvýše	-	0,5
<b>příměsi</b>	nejvýše	-	12,0
<b>z toho: porostlost zrna žita,</b>	nejvýše	-	5,0
<b>žitovce, ječmene</b>	nejvýše	-	3,0
<b>obsah N-látek (N*6,25) v sušině</b>	nejméně	13	13,0

Tabulka 7 znázorňuje závazné ukazatele určující minimální podmínku při nákupu produktu. Základní jakost vyjadřuje doporučené ukazatele a hodnoty. Při jejich nedodržení je možno použít slevy (srážky) z ceny (Faměra 1993).

Produkty (komodity) rostlinné výroby je třeba pro potřebu nákupu, odbytu, technologické úpravy a skladování jakostně definovat. Určení jakostních ukazatelů je také potřebné pro stanovení ceny včetně hmotnostních nebo cenových srážek, popřípadě přírážek, rovněž pro dosažení skladovatelnosti těchto produktů a uchování jejich obchodovatelné kvality. V souladu s právními předpisy a ve spolupráci s orgány a organizacemi v ČR jsou navrhována znění jednotlivých českých technických norem (ČSN), případně podnikových norem (PN).

Normy je možno rozdělit na předmětové a předpisové (Prugar et al. 2008). Kvalitativní ukazatele a metody hodnocení stanovují předmětové normy (od 1. 1. 1993 změny norem) nebo podmínky na plodinové burze (Faměra 1993). Kromě předmětových norem potřebujeme pro stanovení jakostních ukazatelů Předpisové normy, které určují postup pro stanovení konkrétního jakostního ukazatele. Můžeme je rozdělit na české normy, např. řady ČSN 46 1011-1 až 29 (pro obiloviny, luštěniny a olejnatá semena), kdy jednotlivé její části stanoví metodu pro konkrétní jakostní ukazatel, a na normy mezinárodní či evropské, převzaté do řady českých technických norem (Prugar et al. 2008).

Pokud sáhneme po konkrétním příkladu předpisové normy, je jistě na místě zmínit normu ČSN 46 1011-18 (461011), (2003) Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin - Část 18: Zkoušení obilovin - Stanovení obsahu dusíkatých látek, tato norma určuje postup pro stanovení obsahu dusíkatých látek v obilovinách podle Kjeldahla. Metoda je použitelná rovněž pro všechny výrobky z obilovin.

### 3.3.2.1 Dusíkaté látky

Ze všech látek obsažených v zrně pšenice mají největší význam bílkoviny, a to z hlediska technologického i pro nutriční a krmnou hodnotu. Jejich množství v sušině kolísá ve velmi širokém rozpětí od 8 do 20 %. Zaznamenaly se dokonce případy, kde ve vegetačních pokusech se podařilo získat zrno s obsahem vyšším jak 30 % bílkovin. Po chemické stránce se bílkoviny pšeničného zrna jeví jako heterogenní směs protoplazmatických (albumíny a globulíny) a zásobních (prolamíny a glutelíny) složek. Jejich poměrové zastoupení je takovéto: 7-10 % albuminů, 4-6 % globulínů, 40-45 % gliadinů (prlamínu) a 34-45 % gluteninů. Nejvyšší nutriční hodnotu po stránce aminokyselinového složení mají albumíny a globulíny, nejnižší gliadiny, mezi nimi jsou gluteniny. Zásobní bílkoviny tvoří podstatnou část lepku, proto se gliadin a glutenin označují jako lepkové bílkoviny.

Zrno u nás pěstovaných kultivarů pšenice v klimaticky normálním roce obsahuje okolo 13 % bílkovin v sušině. V různých částech pšeničného zrna obsah bílkovin kolísá. Jejich relativně nejvyšší obsah je v aleuronové vrstvě a v klíčku, kde se vyskytují kromě jiného ve formě metabolicky a geneticky důležitých látek, jako jsou enzymy a nukleoproteidy. V endospermu je obsah bílkovin směrem do středu nižší. Tyto bílkoviny přecházejí ve velkém množství do mouky a jsou hlavními nositeli jejich technologických vlastností (Prugar et Hraška 1986).

Na tuto skutečnost poukazuje i Palík et al. (2009), který uvádí, že obsah dusíkatých látek v sušině významně ovlivňuje zpracovatelské vlastnosti zrna. Pro pekárenství je rozhodující, že

obsah dusíkatých látek v zrně kladně koreluje s obsahem lepkových bílkovin, které ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti těsta a objem pečiva.

Z jeho pokusů vyplývá, že obsah dusíkatých látek v sušině je významně ovlivněn teplotou a srážkami v měsících červen a červenec. Vyšší obsah N-látek mělo zrno sklizené v letech, ve kterých byly v období červen-červenec vyšší teploty a zároveň nižší srážky. Ze zmíněného tedy plyne, že obsah dusíkatých látek v zrně zvyšují vyšší teploty a nižší srážky v období tvorby zrna. Ovšem obsah dusíkatých látek není ovlivněn pouze teplotními podmínkami prostředí a ročníkem, nýbrž i dusíkatým hnojením a předplodinou (Prugar et al. 2008).

### 3.3.3 Chemické složení zrna pšenice

Chemické složení pšeničného zrna je různorodé. Obsahuje bílkoviny, tuky, cukry, popeloviny, vitamíny a další látky. Tabulka 8 uvádí v procentech chemické složení jednotlivých částí zrna (Prugar et Hraška 1986).

Tabulka 8: Chemické složení jednotlivých částí zrna (%), (Prugar et Hraška 1986)

Látky	Škrobový endosperm	Aleuronová vrstva	Obalové vrstvy	Zárodek
Voda	13,4	11,8	11,1	-
N-látky	10,2	25,0	9,4	do 40
Popeloviny	0,5	5,3	2,9	5,6
Tuky	0,9	9,1	-	12,3
Škrob	74,7	-	-	23

#### 3.3.3.1 Bílkoviny

Bílkovina je považována za nejdůležitější živinu pro lidi a zvířata, jak naznačuje původ jména z řeckého proteios - první nebo vrcholně důležitý. Obsah bílkovin v pšeničném zrně se může pohybovat mezi 10-18 % celkové sušiny. Pšeničné bílkoviny jsou klasifikovány podle jejich extrahovatelnosti a rozpustnosti v různých rozpouštědlech. Klasifikace je založena na dělení dle T. D. Osborna z přelomu minulého století. V jeho postupu sekvenční extrakcí mletého pšeničného zrna se získají následující bílkovinné frakce:

- Albuminy - rozpustné ve vodě
- Globuliny - nerozpustné v čisté vodě nýbrž ve zředěných roztocích NaCl, při vysokých koncentracích se opět nerozpouští
- Gliadiny - rozpustné v 70 % ethylalkoholu
- Gluteniny - rozpustné ve zředěných kyselých roztocích nebo roztocích hydroxidu sodného

Albuminy jsou nejmenší pšeničné bílkoviny, po nich následují globuliny. Gliadiny a gluteniny jsou komplikované vysokomolekulární bílkoviny. Většina z fyziologicky aktivních bílkovin (enzymy) v zrně pšenice se nachází v albuminové a globulinové skupině. V obilovinách jsou albuminy a globuliny koncentrované v obalech semen, aleuronových buňkách a zárodku, poněkud s nižší koncentrací v moučném endospermu. Gliadiny a gluteniny

jsou zásobní bílkoviny a pokrývají asi 75 % z celkového množství obsahu bílkovin. Rostlina pšenice uchovává bílkoviny v této formě pro budoucí použití sazenic (Šramková et al. 2009).

### 3.3.3.2 Sacharidy

Sacharidy tvoří nejpodstatnější podíl pšeničného zrna. Dělí se na polysacharidy (např. škrob, celulóza), oligosacharidy a monosacharidy (Palík et al. 2009).

Obilná zrna uchovávají energii ve formě škrobu (Šramková et al. 2009). Jeho obsah v pšeničném zrně se pohybuje mezi 50 až 80 % v závislosti na odrůdě a podmínkách pěstování (Palík et al. 2009). Škrob se vyskytuje v semenech ve formě granulí. Pšenice má dva typy škrobových zrn (granulí): velká (25-40  $\mu\text{m}$ ) lentikulární a malá (5-10  $\mu\text{m}$ ) kulovitá. Čockovitá granule se tvoří během prvních 15 dnů po opylení. Malé granule, které představují asi 88 % z celkového počtu granulí, se objevují 10-30 dní po opylení. Škrob je v podstatě polymer glukózy (Šramková et al. 2009).

Škrob ve vodě bobtná, a po zahřátí se vytváří škrobový maz, což má nezastupitelný význam při výrobě pšeničného pečiva (Palík et al. 2009).

### 3.3.3.3 Tuky

Lipidy jsou v obilovinách přítomny jen v malé míře, ale mají na ně významný vliv. Kvalita a textura potravin je dána jejich schopností spojovat se s bílkoviny díky jejich amfipatické povaze a se škrobem, tvořící inkluzní komplexy. U pšenice zrající semeno syntetizuje mastné kyseliny různou rychlostí. Biosyntéza lipidů závisí na acetyl-CoA, tato důležitá sloučenina se podílí na syntéze acyllipidů (např. glyceridy, fosfolipidy, vosky atd.).

Klíček má nejvyšší množství lipidů (11 %), ale jsou také spojena významná množství s otrubami, škrobem a proteiny endospermu. Komplexní polární lipidy, extrahované pomocí WSB, tvoří asi polovinu celkových lipidů v endospermu, 23 % v otrubách a 17 % v klíčku (Šramková et al. 2009).

### 3.3.3.4 Vitamíny

V pšeničném zrně se vyskytují vitamíny důležité pro výživu člověka i hospodářských zvířat. Ve 100 g sušiny se průměrně nachází 0,45 mg thiaminu, 0,15 mg riboflavinu, 5,0 mg niacinu, 1,0 mg kyseliny pantothenové, 0,4 mg pyridoxinu, 0,15 mg kyseliny listové atd.

Vitamíny jsou většinou nahromaděny v klíčku a v aleuronové vrstvě zrna. Protože však tyto části přecházejí při mlýnském zpracování většinou do otrub a tmavých krmných mouk, jsou světlé mouky určené pro výživu o vitamínový podíl ochuzené. Úbytek může, dle stupně vymletí, představovat i více než polovinu původního obsahu v zrně (Prugar et al. 2008).

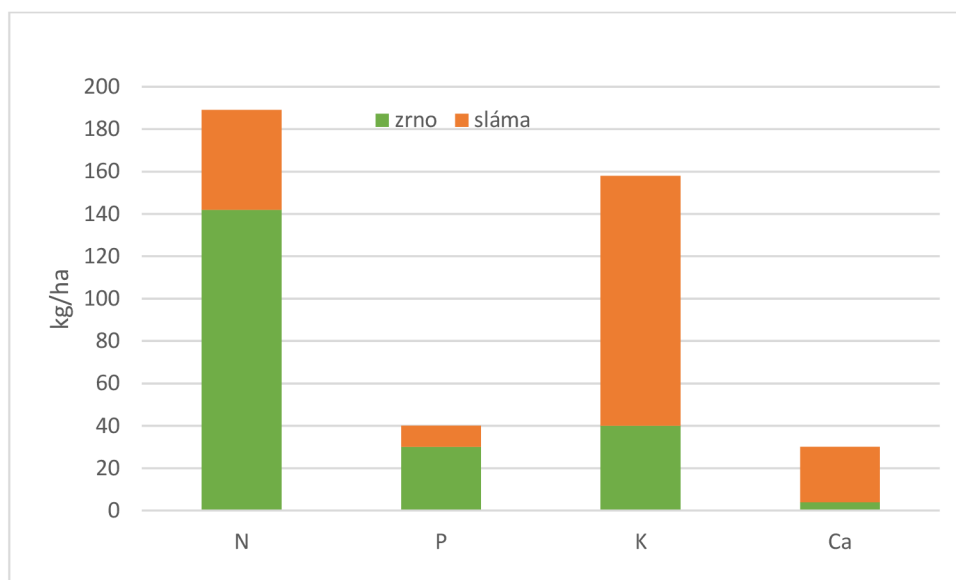
## 3.3.4 Výživa a hnojení pšenice

Celý koloběh látek a živin začíná a zase by měl končit v půdě. Rostlinnou produkcí jsou odčerpávány živiny z půdy. Množství živin, které je uváděno do koloběhu, je závislé na výši produkce, struktuře pěstovaných plodin, vnějších podmínkách a řadě dalších faktorů (Vaněk et al. 2016). O struktuře plodin se zmiňuje i Babulicová (2014), ta uvádí, že v zemědělské výrobě je střídání plodin vždy jedním ze základních agrotechnických opatření, které přispívá ke zvýšení

produkce plodin. Narušená rovnováha agroekosystémů tak může být kompenzována střídáním plodin s různými požadavky na živiny.

Podíly a množství živin, které odchází mimo zemědělský podnik a které se vrací zpět do půdy, mohou být značně rozdílné podle intenzity výroby hlavních tržních výrobků i rozsahu ztrát. Jednoznačně se ukazuje poměrně vysoká návratnost draslíku (okolo 65 %), nižší u fosforu (45 %) a nejnižší u dusíku (okolo 40 %). I při pečlivém hospodaření se stájovými hnojivy dochází k určitým ztrátám živin (nejvíce dusíku), připočteme-li k nim živiny obsažené v prodaných komoditách, je zřejmé, že koloběh živin je ochuzován a u většiny živin je negativní bilance. Proto pro zajištění potřebné produkce a udržení či zvýšení půdní úrodnosti musíme doplňovat chybějící živiny minerálními hnojivy. Hnojení je tedy třeba chápat jako součást celého komplexu faktorů. Tedy všech agrotechnických opatření a stanovištních podmínek. Z výše zmíněného tedy vyplývá, že hlavním úkolem dobrého hospodáře je hledat a následně eliminovat ty faktory, které na daném stanovišti limitují dosažení potřebné výše a kvality produkce (Vaněk et al. 2016).

Graf 1: Znázornění odběru živin ozimou pšenicí (výnos zrna 7,2 t a slámy 7 t/ha), (Vaněk et al. 2016)



Ve sklizených produktech obilniny odčerpávají z půdy poměrně značné množství živin. Z údajů v grafu 1 je patrné, že v zrna je hlavním exportním prvkem dusík a fosfor. Draslík je soustředěn převážně ve slámě, proto jeho velká část zůstává na pozemku, nebo se vrací v organických hnojivech (Vaněk et al. 2007). Podobně, jako draslík, tak i vápník je soustředěn převážně ve slámě obilnin. K těmto skutečnostem je nutné přihlížet při stanovení dávek živin pro následnou plodinu. Zároveň je třeba podotknout, že nové odrůdy při vysokých výnosech (9-10 t/ha) odčerpávají méně živin hlavně proto, že mají nižší podíl slámy (většinou pod 80 % výnosu zrna), (Vaněk et al. 2016). Odběry živin na 1 t výnosu u obilnin znázorňuje tabulka 9 (Vaněk et al. 2007).

Tabulka 9: Odběry živin u pšenice ozimé (kg/t zrna)

<b>Živina</b>	1)	2)	3)
<b>N</b>	22-26	25	24,6
<b>P</b>	4,4-6,2	5	3,4
<b>K</b>	16,2-21,0	20	13,5
<b>Ca</b>	2,8-5,7	-	-
<b>Mg</b>	1,2-3,0	2,4	-
<b>S</b>	-	4	-

1)Vaněk et al. 2007, 2)Zimolka et al. 2005, 3)Vyhláška č. 377/2013 Sb.

### 3.3.4.1 Výživa dusíkem

Pro dostatečnou kvalitu a množství zrna je rozhodující zabezpečit optimální množství veškerých biogenních prvků. Zvláštní význam má v systému veškerých polních plodin především dusík. Společně s agroekologickými podmínkami prostředí je právě dusík limitujícím prvkem úrody, ovšem za předpokladu, že i ostatní živiny jsou v optimu (Ducsay et Provazník 2018). Buráňová et al. (2016) uvádí, že aplikace dusíkatých hnojiv nejen že zvyšuje výnos pšenice, ale také působí na kvalitativní ukazatele zrna. Na ukazatele kvality zrna však působí velké množství dalších faktorů, jako je zejména vliv ročníku - množství a rozložení srážek a teploty vzduchu. Vzhledem k váze působení těchto přírodních faktorů, je vhodné pro zvýšení výnosu a využití hojivých látek synchronizovat aplikaci s průběhem počasí (Hooper et al. 2015). Významný vliv aplikace hnojiv na výši výnosu je sledován především na půdách chudých na živiny (Buráňová et al. 2015). Bamber et al. (2016) uvádějí, že na půdách s hrubou texturou je pro docílení vysokých výnosů klíčové množství dusíku a načasování jeho aplikace.

Normativ odběru živin z půdy činí při výnosu okolo 6 t zrna a přibližně stejném výnosu slámy okolo 144 kg N, 30 kg P, 108 kg K, 24 kg Ca a 12 kg Mg (Vaněk et al. 2016).

#### 3.3.4.1.1 Základní hnojení

Rostliny ozimé pšenice kořenovým systémem na dobrých strukturních půdách do zimy dosahují hloubky kolem 0,7-1,0 m. Podstatná část kořenového systému se však rozprostírá ve vrstvě do 0,4 m. Z tohoto důvodu má významnou úlohu pro zajištění optimálního růstu a vývoje pšenice v podzimním období obsah přístupných živin v půdě. Při nedostatku živin jsou omezovány metabolické procesy a výsledkem jsou slabé a špatně odnožené rostliny, které při silnějších zimách často vymrzají (Zimolka et al. 2005).

Při základním hnojení pšenice vycházíme z odběru dusíku v podzimním a zimním období do regeneračního přihnojení. Hodnota odběru se v průměru pohybuje okolo 30 kg N/ha a při průměrném 50 procentním využití N z půdy je potřeba zabezpečit, aby se v půdě do hloubky 0,3 m nacházelo 60 kg N/ha. Podle obsahu  $N_{an}$  se doporučené dávky pohybují v rozpětí 0-45 kg N/ha. Přednost dáváme amonné a amidické formě dusíku před nitrátovou (Kováč et al. 1998).

V podzimním období rostliny přijímají relativně málo živin a přes zimu se jejich příjem úplně zastavuje. Podíl odebraného dusíku na podzim není vyšší než 12 % z celkového odběru. Aplikovat proto vysoké dávky dusíku před setím je zbytečné a neekologické (Zimolka et al. 2005).



#### 3.3.4.1.2 Přihnojení během vegetace

V jarním období je hnojení cíleno do rozhodujících vegetačních fází, tím se zvyšuje jeho efektivita, a snižují se tak jeho možné ztráty. Dělení dávek v průběhu vegetace je závislé na genetických dispozicích jednotlivých odrůd (Ryant et al. 2017).

Regenerační přihnojení je důležité hnojařské opatření, kterým můžeme urychlit vývin porostu, jeho regeneraci a podpořit odnožování. Aplikují se dávky 20 až 60 kg N. Na sušších stanovištích, zvláště při předpokladu suššího jara, je to nejvýznamnější opatření a je třeba zde aplikovat převážnou část N (Vaněk et al. 2007). Právě podle průběhu povětrností a doby nástupu jara lze aplikovat dusík pro první přihnojení buď v nitrátové nebo amonné formě. Na první regenerační přihnojení je možné použít nitrátovou formu dusíku, která je přijímána již při teplotách od +5 °C (Palík et al. 2009). Toho lze využít zvláště u řídkých a slabých porostů, kde potřebujeme rychlý příjem dusíku rostlinami (Faměra 1993). Naopak pro již dostatečně odnožené rostliny, jestliže nechceme výrazněji podpořit další odnožování a přitom nechceme, aby rostliny měly nedostatek N, lze používat hnojiva nejlépe s amidickou formou N (Palík et al. 2009). Výsledkem regeneračního přihnojení je rychlý vývoj porostu na jaře, projevující se intenzivní tvorbou a růstem odnoží (Zimolka et al. 2005).

Produkční hnojení dusíkem provádíme na začátku sloupkování. Kdy má za úkol vytvořit předpoklady k dobrému vývoji porostu a optimální tvorbě výnosotvorných prvků. Bezprostředně jím ovlivňujeme velikost klasu, podporujeme růst a vývoj odnoží a pozitivně působíme na velikost listové plochy. Koncentrace živin v této vývojové fázi rozhoduje o intenzivním růstu rostlin, který se odvíjí v závislosti na povětrnostních podmínkách (Zimolka et al. 2005). V tomto období je proto důležité zajistit rostlinám dostatek N, přičemž dávky se pohybují v rozmezí 20-60 kg N/ha (Vaněk et al. 2007). K přihnojení se s výhodou využívá kapalných hnojiv, která je možno společně aplikovat s dalšími kapalnými látkami (pesticidy, regulátory růstu), (Faměra 1993). Z pohledu hnojařských opatření jsou regenerační a produkční hnojení nejvýznamnější (Vaněk et al. 2007).

Dělené hnojení a zvláště hnojení kvalitativní podle průběhu povětrnostních podmínek vytváří předpoklady pro zvýšenou technologickou jakost pšenice (obsah bílkovin, mokrého lepku a pekařské kvality zrna). Zvýšený obsah lepkové bílkoviny ovlivňuje především pekařské parametry. Pozdní přihnojení dusíkem se s větším efektem uplatní na půdách lehkých a středních, protože ty bývají dusíkem hůře zásobeny (Zimolka et al. 2005). Na dobrých stanovištích a při dostatečné výživě v předcházejících obdobích nepřináší vždy potřebný efekt (Vaněk et al. 2007). Přihnojení se provádí zpravidla ve dvou obdobích. U slabších porostů, kde je potřeba posílit asimilační aparát a udržet co největší počet produkčních odnoží, přihnojujeme v době, kdy se objevuje poslední list. Ostatní porosty přihnojujeme až na počátku metání. Pro hnojení v tomto období volíme zpravidla pevná hnojiva (Zimolka et al. 2005), kdy aplikujeme dávku 20-30 kg N/ha (Vaněk et al. 2007).

#### 3.3.4.1.3 Potřeba ostatních živin

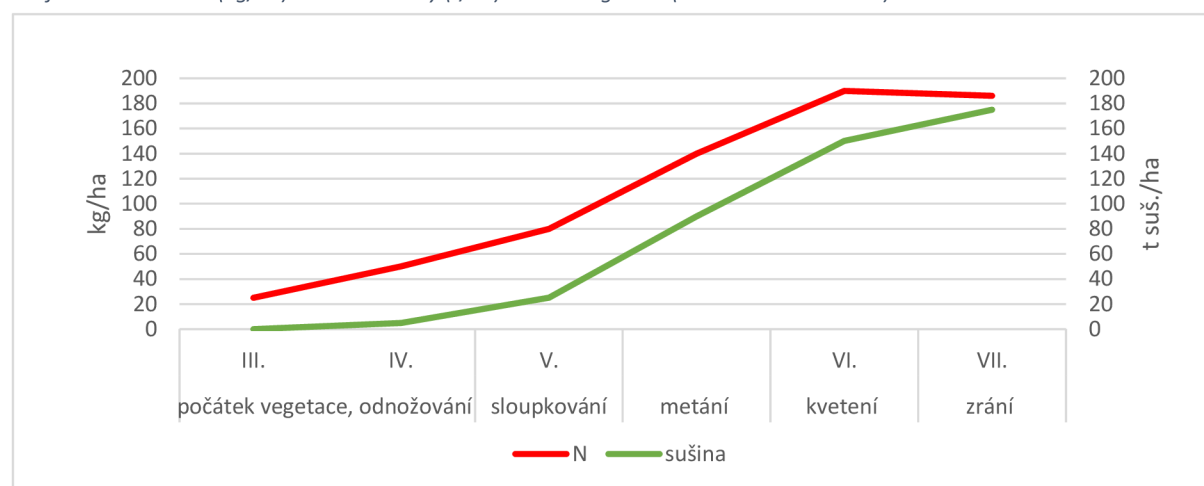
Příznivý vliv dusíkaté výživy se může projevit pouze tehdy, je-li dostatečně hnojeno i ostatními živinami. Rostliny pšenice by neměly strádat po celou dobu vegetace živinami, tak aby byla zajištěna maximální tvorba sušiny. Využití dusíku na tvorbu zrna je často v našich podmínkách negativně ovlivněno nízkým obsahem fosforu, draslíku, hořčíku a síry.

K živinám, které můžeme během vegetace aplikovat v tuhých hnojivech, patří síra. Zatímco hnojení draslíkem a fosforem směřujeme k základnímu hnojení, síru můžeme aplikovat nejlépe v kombinaci s dusíkatým přihnojením. Síra mimo jiné podporuje i příjem a utilizaci dusíku, a tím přispívá k jeho efektivnějšímu využití. Příznivý vliv hnojení dusíkem společně se sírou na výnos a kvalitu zrna pšenice byl prokázán (Zimolka et al. 2005).

### 3.3.4.2 Příjem dusíku pšenicí

Dynamika příjmu dusíku pšenicí v průběhu vegetačního růstu má podobný průběh jako nárůst biomasy. Během podzimu a období brzkého jara mají porosty pšenice vytvořené malé množství biomasy, s čímž souvisí i malý odběr živin. S nárůstem pšeničné biomasy během sloupkování roste i odběr dusíku z půdy a nejvyšších hodnot nabývá zhruba v době květu (viz graf 2), (Vaněk et al. 2016).

Graf 2: Odběr dusíku (kg/ha) a nárůst sušiny (t/ha) během vegetace (dle Vaňka et al. 2016)



Nitrátové a amonné ionty jsou hlavním zdrojem anorganického dusíku pro rostliny, které jsou přijímány kořeny, přičemž nitrátový dusík se obecně v půdách vyskytuje ve vyšších koncentracích než dusík amonný. Dostupnost jednotlivých forem N v půdě je proměnlivá v čase i místě a je ovlivňována vlastnostmi půdy jako jsou textura, pH, vlhkost a aktivita půdních mikrobů (Marschner 2011). Clarke et al. (1990) uvádějí, že celkový příjem dusíku je u pšenice spojen s dostatkem vody v půdě a koreluje s nárůstem sušiny.

Rostlina může využít N jako  $\text{NO}_3^-$  nebo  $\text{NH}_4^+$ , kdy tyto anorganické formy jsou absorbovány kořeny z půdního roztoku (Mokhele et al. 2012). V rámci kořenového systému však nemohou přijímat vodu a živiny všechny kořeny. Nejvyšší aktivitu v příjmu projevují nejmladší kořeny (kořenové vlášení, kořenové špičky), (Shi et al. 2013). Příjem a transport  $\text{NO}_3^-$  v rostlině se děje pomocí dvou bílkovinných přenašečů NRT (nízkoafinitní - NRT1 a vysokoafinitní - NRT2), (Rahikainen et Kangasjärvi 2020). Při přenosu nitrátu do kořene musí překonat plazmatiskou membránu a koncentrační spád, což vyžaduje přísun energie. Běžně se tak pro přenos  $\text{NO}_3^-$  využívá symportu s protonem  $\text{H}^+$ . V kořenovém systému se nitráty pohybují symplasmickou cestou, kdy tak překonají Caspariho proužky a pro transport na dlouhé vzdálenosti do listů a vrcholu přecházejí do apoplastu, kde jsou transpiračním proudem skrze xylém dopraveny na místo určení (Marschner 2011). Leghari et al. (2016) uvádí, že při



mimokořenové výživě se nitrátový dusík pohybuje z listů skrze floem do kořenů. Dusičnany jsou po příjmu z kořene nejprve redukovány na nitrity pomocí nitrátreduktázy, dále jsou transportovány do plastidů a redukovány na amonný ion pomocí nitrit reduktázy. Pšenice pro tyto přeměny využívá tři enzymy ze skupiny nitrátreduktáz a dva enzymy ze skupiny nitritreduktáz (Liu et al. 2021).

Pro příjem amonného dusíku do kořenů existují také dva bílkovinné přenašeče - nízkoafinitní (LATS) a vysokoafinitní (HATS). V rámci rostliny je pak  $\text{NH}_4^+$  přenášen pomocí přenašečů ze skupiny AMT, které mohou využívat uniport nebo symport s protonem  $\text{H}^+$ . Rostliny však z půdy mohou přijímat i organické formy dusíku, kterými jsou aminokyseliny a močovina. Pro obě látky se v rostlinách vyskytují specializované bílkovinné přenašeče (Marschner 2011).

## 4 Metodika

### 4.1 Charakteristika pokusných stanovišť

Hodnocení využití dusíku ozimou pšenicí bylo provedeno v rámci dlouhodobých polních pokusů Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin (KAVR) ČZU v Praze. Pokusy KAVR byly založeny na podzim roku 1996. Jedná se celkem o pět stanovišť na území České republiky, které se nacházejí v rozdílných půdně-klimatických podmínkách. Jmenovitě se jedná o stanoviště: Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec (u Pacova) a Praha-Suchdol. V této práci jsou hodnocena pokusná stanoviště Praha-Suchdol a Humpolec, charakterizována v tabulce 10. Měsíční úhrny srážek (tab. 11) a průměrné měsíční teploty (tab. 12) za sledovaná období jsou znázorněna níže.

Tabulka 10: Charakteristika pokusných stanovišť

Stanoviště	Praha-Suchdol	Humpolec
Lokalizace	50°7'40"N, 14°22'33"E	49°33'16"N, 15°21'2"E
Nadmořská výška (m.n.m.)	286	525
Průměrná roční teplota (°C)	9,1	7,0
Průměrné roční srážky (mm)	495	665
Půdní typ	černozem	kambizem
Půdní subtyp	modální	modální
Půdní druh	hlinitá	písčito-hlinitá

Tabulka 11: Měsíční úhrny srážek (mm) v hodnoceném období

Měsíc	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Suchdol	Humpolec	Suchdol	Humpolec	Suchdol	Humpolec
Říjen	30,9	41,9	30,9	47,2	72,8	91,6
Listopad	12,2	23,9	32,2	49,3	10,0	30,0
Prosinec	40,9	81,7	7,3	23,9	14,7	15,2
Leden	17,6	92,7	5,8	16,0	38,0	60,1
Únor	21,4	37,3	50,7	74,0	36,2	37,2
Březen	21,3	46,9	53,0	42,2	27,0	25,3
Duben	31,2	12,9	10,6	22,8	12,2	29,6
Květen	64,2	114,5	56,2	91,5	88,2	91,3
Červen	41,3	66,1	108,2	170,7	90,5	72,6
Červenec	54,8	64,7	57,1	69,6	82,1	127,2
Srpen	71,6	97,9	78,4	95,7	101,9	103,3
Celkem	<b>407,4</b>	<b>680,5</b>	<b>490,4</b>	<b>702,9</b>	<b>573,6</b>	<b>683,4</b>

Tabulka 12: Průměrné měsíční teploty (°C) za sledované období

Měsíc	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Suchdol	Humpolec	Suchdol	Humpolec	Suchdol	Humpolec
Říjen	10,8	10,6	10,3	9,9	10,1	9,4
Listopad	4,9	4,4	6,2	5,7	4,8	4,3
Prosinec	3,0	1,4	3,1	2,1	2,9	1,8
Leden	0,0	-1,7	1,8	0,6	0,2	-1,1
Únor	3,0	2,0	5,3	4,0	-0,5	-0,0
Březen	7,2	5,7	2,2	4,3	4,2	2,9
Duben	10,9	9,7	11,1	10,5	6,8	5,7
Květen	11,9	11,2	12,4	11,6	11,7	11,1
Červen	22,7	22,0	17,7	17,0	20,3	20,0
Červenec	20,6	19,5	19,5	18,8	19,8	19,8
Srpen	20,0	19,8	20,3	19,6	24,0	16,9

## 4.2 Informace o variantách

### 4.2.1 Uspořádání pokusů

V pokusech jsou střídány tři plodiny (brambory, ozimá pšenice, jarní ječmen). Uspořádání pokusů umožňuje pěstování všech tří plodin v každém roce. Díky této krátké rotaci je možné hodnotit krátkodobé i dlouhodobé změny sledovaných parametrů.

V rámci práce byly vyhodnocovány výsledky ze šesti pokusných variant. 1. **Kontrola** (nehnojená varianta), 2. **Kal** (Kaly z ČOV), 3. **Hnůj** (chlévký hnůj), 4. **Hnůj 1/2 + N** (poloviční dávka chlévkého hnoje s přidavkem N z minerálního dusíkatého hnojiva), 5. **N** (minerální dusíkaté hnojivo), 6. **NPK** (minerální hnojivo s obsahem N, P, K).

Na stanovišti Humpolec je pracováno s pokusnou parcelou o velikosti 60 m<sup>2</sup>, na pokusném stanovišti Suchdol je velikost parcely 60,5 m<sup>2</sup> (Černý et al. 2010).

### 4.2.2 Systém hnojení

Pokud jde o hnojení, je aplikovaná dávka dusíku v rámci pokusu, za tříletou rotaci, pro všechny varianty stejná, mimo kontrolu, a to 330 kg N/ha. Dávky živin v aplikovaných hnojivech uvádí tabulka 13.

Vzhledem k tomu, že je pracováno s různými typy hnojiv, je jejich aplikace poněkud rozdílná. Dávka minerálních dusíkatých hnojiv je u ozimé pšenice rozdělena na dvě poloviny. První je regenerační přihnojení a druhá dávka je produkční přihnojení. Doba pro aplikaci draselných a fosforečných minerálních hnojiv je ke všem plodinám stejná, a to na podzim. Organická hnojiva - chlévký hnůj a čistírenské kaly jsou aplikována pouze pod brambory, a to na podzim.

Tabulka 13: Dávky živin v aplikovaných hnojivech (kg/ha)

Varianta	Ozimá pšenice			Σ (tříletý cyklus)		
	N	P	K	N	P	K
<b>Kontrola</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Kal</b>	<b>0</b>	0	0	<b>330</b>	201*	55*
<b>Hnůj</b>	<b>0</b>	0	0	<b>330</b>	118*	374*
<b>Hnůj ½ + N **</b>	<b>110</b>	0	0	<b>330</b>	59*	187*
<b>NPK **</b>	<b>140</b>	30	100	<b>330</b>	90	300
<b>N **</b>	<b>140</b>	0	0	<b>330</b>	0	0

\* Mluvíme o průměrné dávce dle živin obsažených v hnojivech

\*\* Minerální hnojiva: N - LAV (27 % N), P - TSP (20-21 % P), K - DS (50 % K)

### 4.3 Charakteristika pěstované odrůdy

V rámci pokusu KAVR-ČZU v Praze byla použita odrůda ozimé pšenice RGT Reform, jejíž potravinářská jakost je A. Jedná se o polopozdní až pozdní odrůdu, registrovanou v SRN, kde byla v letech 2015-2016 nejvíce množena odrůdou pšenice.

Mezi přednosti, díky nimž je tato odrůda tak cenná patří:

- schopnost zajistit velmi slušný výnos ve všech výrobních oblastech
- výborná mrazuvzdornost
- velmi dobrá schopnost tvorby odnoží
- nižší habitus rostlin s pevným stéblem, díky kterému je sníženo riziko polehání porostu
- vynikající zdravotní stav listové plochy i klasu (např. vysoká odolnost fusáriím), díky kterému je možné odrůdu zařadit do osevního postupu po pšenici či kukuřici

(Anonym 2016)

Termín výsevu je od poloviny září až do konce října, avšak pozdní výsevy této odrůdě nevdají. Výsevek se pohybuje v rozmezí 3-4,4 MKS/ha. Tato hodnota je pro každého pěstitele jiná, vzhledem k době výsevu a výrobní oblasti, ve které bude porost založen (Anonym nedatováno).

### 4.4 Stanovení výnosu

Porost ozimé pšenice byl sklizen v plné zralosti maloparcelkovou sklízecí mlátičkou s přesně definovanou šířkou záběru žací lišty. Při sklizni byl hodnocen výnos zrna a slámy. Reprezentativní vzorky zrna i slámy byly po sklizni vyčištěny od nežádoucích příměsí. U všech vzorků byla stanovena sušina a výnos je vyjádřen jako výnos sušiny. Na základě sklizené plochy byl u všech vzorků stanoven výnos v t/ha.

### 4.5 Stanovení obsahu dusíku v rostlinách

Obsah dusíku v rostlinách ozimé pšenice byl stanoven postupem podle Kjeldahla. Tato metoda je založena na principu přeměny organického dusíku na síran amonný, pomocí koncentrované H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Vzniklý amoniak se zavádí do roztoku H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> za alkalických podmínek.

Vzniklé boritanové anionty se následně titrují standardizovanou HCl. Na základě spotřeby HCl při titraci se vypočítá obsah dusíku ve vzorku (Jiang et al. 2014).

#### 4.5.1 Příprava vzorků a mineralizace

Pro přípravu vzorků se naváží 0,5 g rostlinného materiálu, rozmělněné zrno a sláma. Do kyvet k naváženému materiálu se odměří lžička katalyzátoru pro mineralizaci (směs  $K_2SO_4 + Se + CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ). Takto připravené kyvety jsou vkládány do číselně označených panelů, tak aby bylo zřejmé, z jakého pokusného stanoviště vzorky pochází.

Kyvety jsou do panelu, kde je 20 pozic, vkládány dle zavedených pravidel. V pozici č. 1 je vždy slepý vzorek (BLANK), který obsahuje pouze katalyzátor bez rostlinného vzorku. Na pozici č. 2 je vkládán STANDARD, který obsahuje katalyzátor a 0,5 g rostlinného materiálu o známém obsahu N. Dále jsou řazeny vzorky pro analýzu, kdy každý vzorek je analyzován ve dvou opakováních.

Takto připravený panel se vzorky je přemístěn do spalovny. Zde je do každé z kyvet pomocí dávkovače přidáno 10 ml 96%  $H_2SO_4$ . Po tomto úkonu je panel vložen do topného hnízda a na kyvety je umístěna hlavice s víčky a odvody na odsávání par. Následně je spuštěno topné zařízení, ve kterém po dobu dvou hodin probíhá mineralizace vzorků. Během prvních 30 minut je plotýnka ohřívána na 367 °C. V následných 30 minutách dochází k zahřátí plotýnky na požadovanou teplotu 400 °C. Po dobu druhé hodiny dochází nejdříve k pomalému snižování teploty a v posledních 30 minutách panel vyjíždí nahoru a chladne.

#### 4.5.2 Destilace a stanovení obsahu dusíku titrací HCl

Zmineralizované vzorky jsou následně přemístěny do carouselu přístroje Gerhardt, kde je nutné zachovat stejné pořadí vzorků jako v panelu. Pro získání správných výsledků měření je nutné zabezpečit přítomnost používaných chemikálií v přístroji. Pro analýzu je nutné sledovat obsah a doplňovat roztok kyseliny borité, kyseliny chlorovodíkové, roztok hydroxidu sodného a demineralizované vody.

Analýza vzorků je zahajována a řízena pomocí počítačového programu Vapodest Manager. V tomto programu jsou uvedena jména panelů, hmotnost navážky jednotlivých vzorků a další informace o vzorcích. V průběhu analýzy je na monitoru počítače znázorňována právě probíhající aktivita v přístroji.

Analýza dle Kjeldahla sestává z několika na sebe navazujících kroků:

- přidávání NaOH do kyvety, jenž bude podrobena měření
- destilace vzniklého roztoku - těkání amoniakálního dusíku do nádoby s roztokem  $H_3BO_3$
- titrace vzorku pomocí HCl
- odsávání vzorku

Po dokončení celého cyklu je na základě spotřebované HCl při titraci a navážky vzorku stanoven obsah dusíku (%) v rostlinném materiálu. Výsledné hodnoty jsou zaznamenávány do tabulky v programu Vapodest Manager.

## 4.6 Odběr dusíku

Odběr dusíku ozimou pšenicí byl stanoven na základě procentuálního obsahu dusíku v jednotlivých částech rostlin (sláma, zrno) a pak celkově v nadzemní části rostliny s ohledem na jejich výnos. V kořenech a opadaných částech rostlin odběr dusíku nebyl hodnocen. Pro stanovení odběru dusíku rostlinným materiálem bylo postupováno dle následujícího postupu.

$$\text{Odběr N (kg/ha)} = a (\%) * 10 * y (\text{t/ha})$$

a - obsah dusíku v rostlinném materiálu

y - výnos hodnocené části rostliny

## 4.7 Bilance

Bilance dusíku u minerálního hnojení byla stanovena na základě hektarového odběru dusíku u jednotlivých hnojiv s ohledem na dávku dusíku, která byla aplikována.

$$\text{Bilance (kg N/ha)} = z (\text{kg/ha}) - x (\text{kg/ha})$$

z - aplikovaná dávka dusíku

x - odběr dusíku

Bilance N na variantách s organickými hnojivy byla stanovena na základě hektarového odběru dusíku s ohledem na procentuální využitelnost ve druhém roce z dávky dusíku, která byla aplikována v organických hnojivech. Využitelnost u varianty Kal byla počítána 15 % z aplikované dávky v prvním roce (Tarrasón et al. 2008). U varianty Hnůj bylo počítáno 10 % z aplikované dávky (Eghball et al. 2002) a na variantě Hnůj 1/2 + N bylo počítáno s využitelností 16 % (Eghball 2000; Klausner et al. 1994).

$$\text{Bilance (kg N/ha)} = b (\text{kg/ha}) - x (\text{kg/ha})$$

b - % množství využitelného dusíku ve druhém roce

x - odběr dusíku

## 4.8 Parametry efektivity využití dusíku

Pokusy bylo stanoveno, že efektivita využití dusíku (NUE) u obilnin se pohybuje okolo 33 %. Možností pro výpočet ukazatele NUE je velké množství a jsou založeny na různých ukazatelích. Mezi hojně využívané výpočty patří právě ty založené na poměru sklizeného produktu a dávky dodaného dusíku (Hawkesford 2017). Běžně se tento ukazatel označuje jako tzv. Agronomická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N), (Robertson et Vitousek 2009; Balík et al. 2012).

$$\text{AE-N (kg/kg)} = y \text{ (kg/ha)} - y_0 \text{ (kg/ha)} / z \text{ (kg/ha)}$$

y - výnos na hnojené variantě

y<sub>0</sub> - výnos na nehnojené variantě

z - dávka N na hnojené variantě

Vzhledem k tomu, že ne všechen dusík aplikovaný v podobě hnojiv je danou plodinou odebrán, tak zbylá část N zůstává v půdě. Tento může být přijat plodinami v následujících letech. Schopnost využití N v dalších letech je však velmi nízká (zhruba do 7 %). Takto měřený parametr se označuje jako Efektivita využití dusíku (RE-N), (Ladha et al. 2005; Balík et al. 2012).

$$\text{RE-N (kg/kg)} = x \text{ (kg/ha)} - x_0 \text{ (kg/ha)} / z \text{ (kg/ha)}$$

x - odběr dusíku na hnojené variantě

x<sub>0</sub> - odběr dusíku na nehnojené variantě

z - dávka dusíku na hnojené variantě

## **4.9 Zpracování výsledků**

Naměřená data z jednotlivých sledovaných variant hnojení na pokusných stanovištích Praha-Suchdol a Humpolec byla vyhodnocena pomocí MS Excel. Pro následnou vizualizaci jednotlivých výsledků byly zhotoveny tabulky v MS Word a sloupcové grafy v software STATISTICA 12.

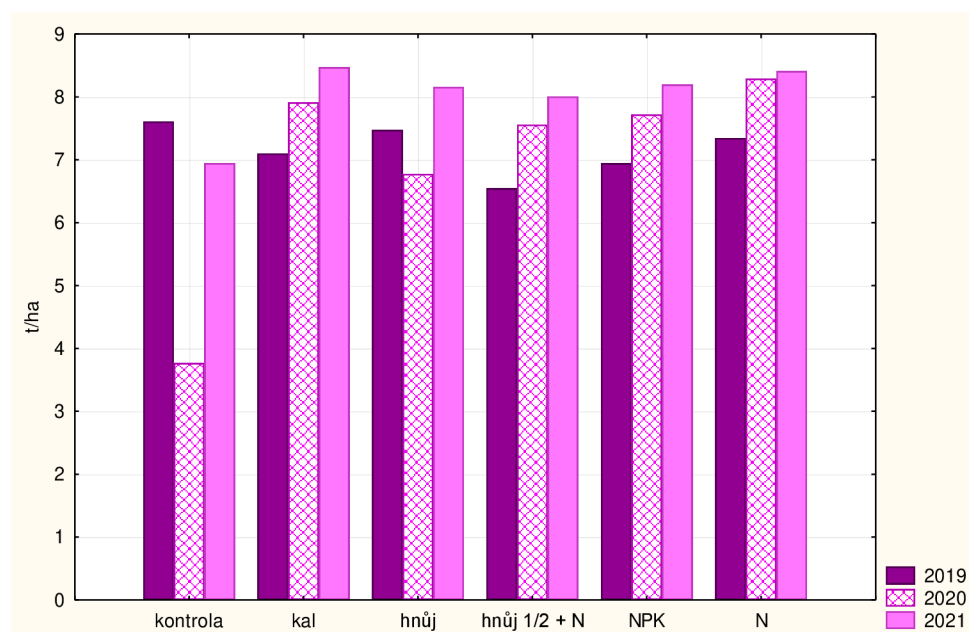
## 5 Výsledky

V rámci hodnocení výsledků byla použita data získaná z dlouhodobých polních pokusů KAVR ČZU v Praze. Hodnoceny byly hospodářské roky 2018/2019, 2019/2020 a 2020/2021.

### 5.1 Výnos zrna

#### 5.1.1 Praha-Suchdol

Graf 3: Výnos zrna (t/ha) při 100% sušíně, Praha-Suchdol



Výsledky na stanovišti Praha-Suchdol znázorňuje graf 3, ze kterého je patrné, že nejvyšších výnosů bylo dosahováno v roce 2021. Nejvyšší výnos v tomto roce byl na variantě Kal, a to 8,47 t/ha, kdy nárůst oproti nehnojené Kontrolě byl 22 %, viz tabulka 14. Tato skutečnost platila pro všechny hnojené varianty. Výjimkou je varianta Kontrola, zde byl nejvyšší výnos v roce 2019, kdy na této variantě bylo sklizeno 7,61 t/ha zrna. Rozdíl mezi lety 2019 a 2021 odpovídá 0,66 t/ha sklizeného zrna na této variantě. Rok 2020, výjimaje varianty Kontrola, kde oproti ostatním letům značně propadl, a to v průměru o 5,43 t/ha. A varianty hnůj, kde pokles výnosu vůči sledovaným obdobím nebyl tak markantní, se výnosově pohyboval za rokem 2021. Na druhé straně naprosto minimální rozdíl ve výnosu v těchto letech byl zjištěn na variantě N. Rozdíl sklizeného zrna mezi těmito lety byl zhruba 0,12 t/ha. Pokud se zaměříme na sledované roky celkově, z výsledků můžeme konstatovat, že výnos zrna na stanovišti Praha-Suchdol se v letech 2019-2021 pohyboval v rozmezí od 3,77 t/ha, a to na nehnojené Kontrolě, do 8,47 t/ha na organicky hnojené variantě Kal.

Z grafu je patrné, že u variant hnojených čistě organickými hnojivy, bez přídavku minerálních, bylo dosahováno lepších výsledků na variantě Kal. To bylo porušeno pouze v roce 2019, kdy vyšší výnos zrna byl sklizen na variantě Hnůj. Pokud srovnáme výsledky výnosů



oproti nehnojené variantě Kontrola, je zřejmé, že v tomto roce bylo na Kontrole dosaženo vyšších výnosů zrna než na obou organicky hnojených variantách. Hodnota výnosu zde totiž dosáhla 7,61 t/ha. Na variantě Kal v tomto roce byl pokles výnosu oproti kontrole o 7 %. Na variantě Hnůj byla výnosová ztráta oproti Kontrole 2 %.

Na variantě Kontrola byl v roce 2019 nejvyšší výnos. Hodnotu jejího výnosu nedokázaly předčit ani minerálně hnojené varianty NPK a N. V roce následujícím Kontrola naopak znatelně ve výnosu propadla. Nárůst oproti Kontrole na variantě NPK byl 105 % a na variantě hnojené N 120 %.

Tabulka 14: Výnos zrna na jednotlivých variantách Praha-Suchdol

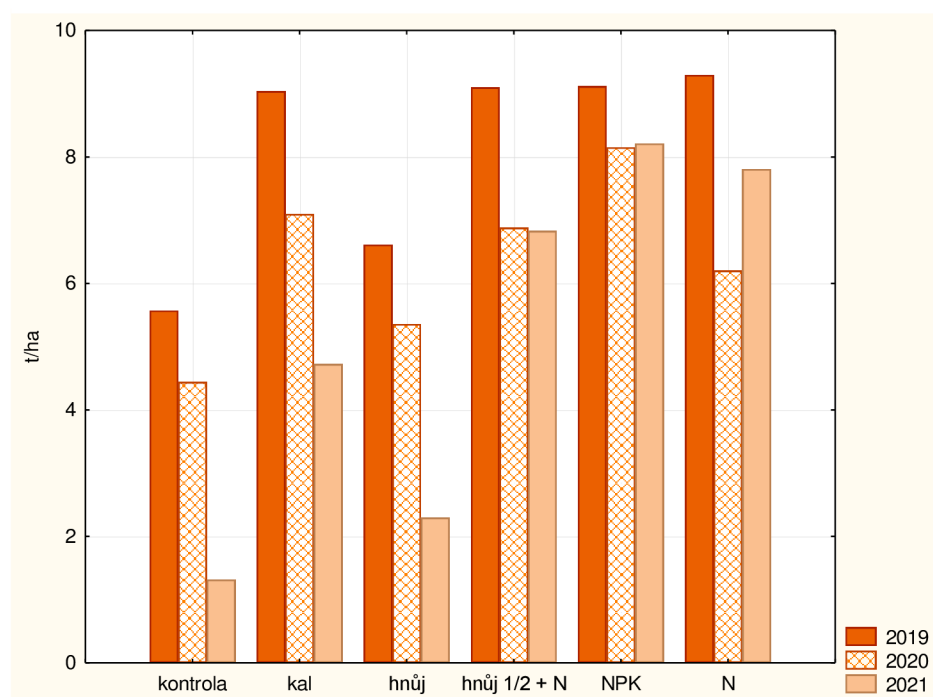
Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	7,61	100	3,77	100	6,95	100
<b>Kal</b>	7,10	93	7,91	210	8,47	122
<b>Hnůj</b>	7,47	98	6,77	180	8,16	117
<b>Hnůj ½ + N</b>	6,54	86	7,56	201	8,01	115
<b>NPK</b>	6,94	91	7,72	205	8,19	118
<b>N</b>	7,35	97	8,29	220	8,41	121

### 5.1.2 Humpolec

Dosažené výnosy zrna na stanovišti Humpolec jsou znázorněny v grafu 4. Nejvyšší výnosy zrna na všech variantách byly zjištěny v roce 2019. Vyhodnocení nejvýnosnější varianty v tomto roce není tak jednoznačné, neboť jak je z grafu patrné, hodnoty byly poměrně vyrovnané. Kdy na variantách Hnůj 1/2 + N (9,10 t/ha) a NPK (9,12 t/ha) byla hodnota výnosu takřka srovnatelná. Na základě tabulky 15 můžeme konstatovat, že nejvyšší výnos byl na variantě hnojené jen minerálním dusíkem, kde bylo dosaženo výnosu 9,30 t/ha, což oproti předešlým dvěma variantám byl v průměru výnosový nárůst jen o 0,19 t/ha. Pokud porovnáme variantu N s Kontrolou, výnosové zlepšení je již mnohem citelnější a odpovídá 67 %.

Hospodářský rok 2019/2020 byl výnosově níže než rok 2019. Hodnoty výnosu zrna, v tomto roce zaznamenané, se pohybovaly v rozmezí od 4,44 t/ha na variantě Kontrola do 8,15 t/ha na variantě NPK. Maximální nárůst výnosu oproti nehnojené Kontrole, kterého bylo v tomto roce dosaženo, tedy odpovídal 84 %. Na základě výsledků můžeme také konstatovat, že z organicky hnojených variant byl vyšší výnos zrna sklizený na variantě Kal. Rozdíl mezi variantou Kal a Hnůj byl 1,74 t/ha. Vztaženo ke Kontrole, byl nárůst výnosu na variantě Kal o 60 %. U minerálně hnojených variant byl rozdíl výnosu zrna mezi NPK a N 1,95 t/ha. Na základě tabulky můžeme konstatovat, že celkově se v rámci všech tří sledovaných let výše výnosů pohybovala v rozmezí hodnot 1,32 t/ha na variantě Kontrola až po 9,30 t/ha na variantě hnojené pouze minerálním dusíkem.

Graf 4: Výnos zrna (t/ha) při 100% sušíně, Humpolec



Nejvyšší nárůst výnosu oproti nehnojené variantě Kontrola byl v roce 2021. Zde bylo na variantě hnojené NPK dosaženo nárůstu o 6,89 t/ha, vyjádřeno procenticky ke Kontrole o 524 % (tab. 15).

Tabulka 15: Výnos zrna na jednotlivých variantách, Humpolec

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	5,57	100	4,44	100	1,32	100
<b>Kal</b>	9,04	162	7,10	160	4,72	359
<b>Hnůj</b>	6,61	119	5,36	121	2,30	175
<b>Hnůj ½ + N</b>	9,10	163	6,88	155	6,83	519
<b>NPK</b>	9,12	164	8,15	184	8,21	624
<b>N</b>	9,30	167	6,20	140	7,81	593

## 5.2 Výnos slámy

### 5.2.1 Praha-Suchdol

Tabulka 16: Výnos slámy na jednotlivých variantách, Praha-Suchdol

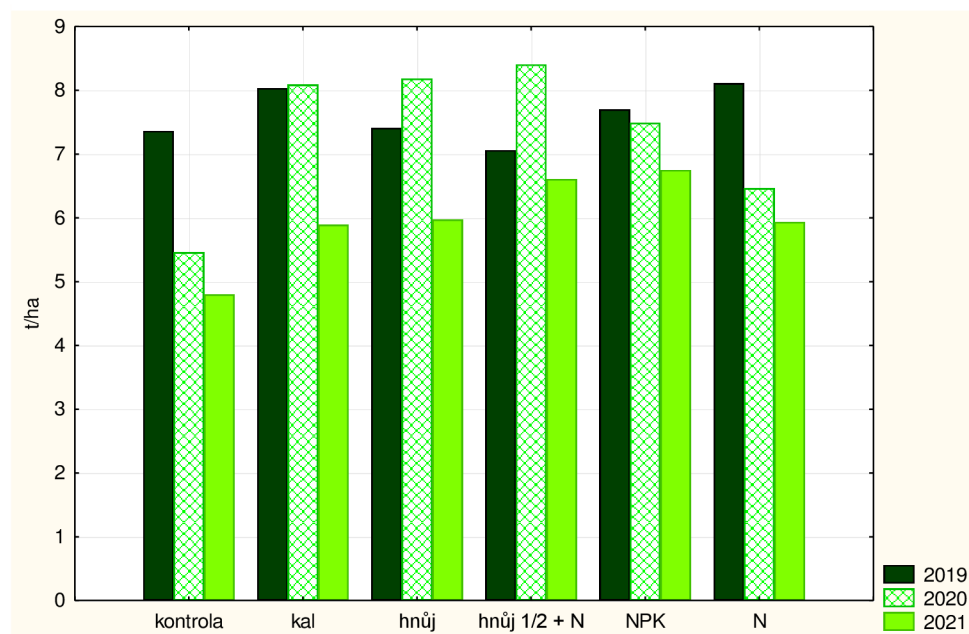
Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	7,36	100	5,46	100	4,80	100
<b>Kal</b>	8,03	109	8,09	148	5,89	123
<b>Hnůj</b>	7,41	101	8,18	150	5,97	125
<b>Hnůj ½ + N</b>	7,06	96	8,41	154	6,61	138
<b>NPK</b>	7,70	105	7,49	137	6,75	141
<b>N</b>	8,11	110	6,46	118	5,94	124

Výnosy slámy na stanovišti Praha-Suchdol za sledované období jsou znázorněny v grafu 5 a podrobnější přehled poskytuje tabulka č. 16. Rok 2021 byl pro stanoviště Praha-Suchdol příznivý, co se výnosu zrna týče, bylo zde sklizeno nejvíce zrna za sledované období. Výnos slámy v tomto roce však již tak velký nebyl. Na všech sledovaných variantách dosahoval v tomto roce nejnižších výsledků. Pokud rok 2021 vyhodnotíme detailněji, lze konstatovat, že nejvyššího výnosu bylo v tomto roce dosaženo na variantě hnojené NPK, a to 6,75 t/ha. Tato hodnota je vyšší o 0,14 t/ha než na variantě, kde byl použit Hnůj 1/2 + N. Zároveň pouze tyto dvě varianty hnojení dosáhly v daném roce výnosu přes 6 t/ha. Kdy na variantě NPK došlo k nárůstu výnosu oproti Kontrole o 41 % a na variantě Hnůj 1/2 + N o 38 %. Výnos na nehnojené Kontrole v tomto roce byl 4,80 t/ha. Tento výsledek je zároveň i nejnižším v tomto roce.

Co se týká roků 2019 a 2020 nemůžeme na stanovišti Praha-Suchdol jednoznačně stanovit, který z těchto roků byl výnosově nejvyšší, neboť výsledek byl celkem vyrovnaný. V hospodářském roce 2018/2019 totiž bylo dosaženo nejvyšších výnosů na stanovištích Kontrola, NPK a N, kdy průměrný výnos těchto variant dosahoval hodnoty přesahující 7 t/ha slámy. Naproti tomu v roce 2020 byl nejvyšší výnos na variantách Hnůj 1/2 + N, Hnůj a Kal, kde ovšem nárůst výnosu oproti roku předešlému nebyl tak markantní a byl pouhých 0,06 t/ha. V obou těchto letech bylo totiž dosaženo vysokého výnosu, a to přes 8 t/ha, kdy zvýšení výnosu oproti Kontrole bylo v roce 2019 o 9 % a v roce následujícím byl nárůst o 48 %. Z výsledků můžeme konstatovat, že u variant, kde bylo hnojeno organicky či kombinovaně Hnůj 1/2 + N, byl dosahován v roce 2020 výnos nejlepší, a to na všech přes 8 t/ha. Celkově se výnos za tříleté sledované období pohyboval v intervalu od 4,80 t/ha na nehnojené variantě Kontrola po hodnotu 8,41 t/ha na variantě s kombinovaným hnojením Hnůj 1/2 + N.

Důležité je také zmínit fakt, že na variantě NPK byla zjištěna v rámci sledovaných tří let nejmenší variabilita v dosaženém výnosu slámy. Jednotlivé hodnoty se lišily v průměru jen o 0,63 t/ha.

Graf 5: Výnos slámy (t/ha) při 100% sušině, Praha-Suchdol

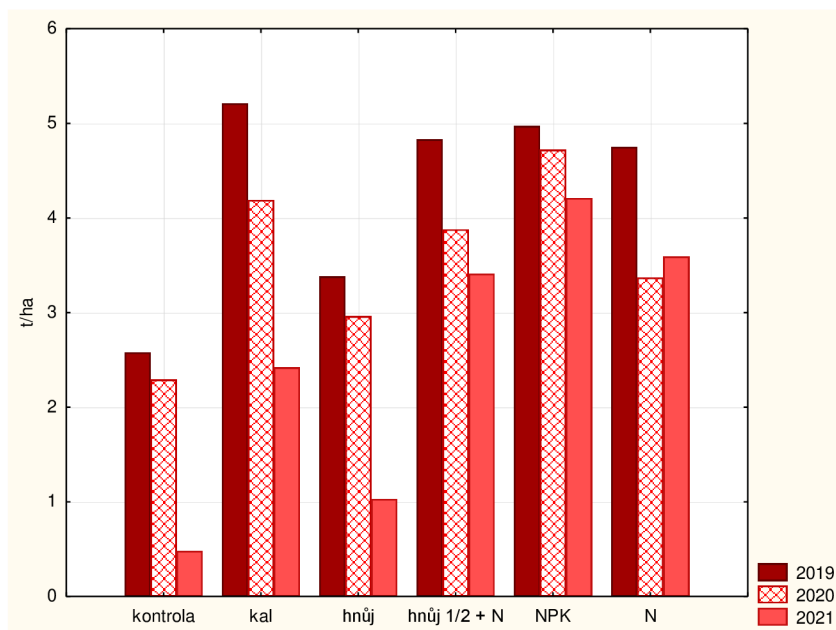


## 5.2.2 Humpolec

Vývoj výnosů slámy na stanovišti Humpolec znázorňuje graf 6 a konkrétní výnosy na jednotlivých variantách uvádí tabulka 17.

Jak je patrné z grafu níže, bylo na tomto stanovišti v roce 2021, na skoro všech variantách dosaženo nejnižšího výnosu. Jedinou variantou, kde tomu tak nebylo, je varianta hnojená pouze minerální formou dusíku, kde byl získaný výnos slámy 3,59 t/ha. Tato hodnota, pokud ji srovnáme s Kontrolou, představuje nárůst výnosu o 648 %. Takto vysoký nárůst je zapříčiněn extrémně nízkým výnosem na variantě Kontrola, který byl v tomto roce dokonce pod 1 t/ha slámy, konkrétně 0,48 t/ha. Pokud porovnáme s rokem 2020 na tomto stanovišti, je možné konstatovat, že meziroční nárůst výnosu zde byl o 0,22 t/ha. Propad výnosu v roce 2021 byl zaznamenán i na variantě Hnůj, na které ve srovnání s ostatními hnojenými variantami v tomto roce byl získán nejmenší výnos, pouze 1,03 t/ha. Při porovnání výsledku s variantou Kal, která se také řadí do organicky hnojených, můžeme konstatovat, že zde byl nárůst oproti Hnoji o 1,39 t/ha. Pokud Kal porovnáme s Kontrolou, byl zde nárůst výnosu 404 %.

Graf 6: Výnos slámy (t/ha) při 100% sušině, Humpolec



Na rozdíl od předešlého stanoviště se zde neprojevila taková heterogenita v rámci jednotlivých variant v letech 2019 a 2020. Kdy je možné konstatovat, že na všech variantách byl nejvyšší výnos zaznamenán v roce 2019. V tomto roce byl zároveň i zaznamenán nejvyšší výnos slámy na stanovišti Humpolec. Ten byl na variantě Kal, kde bylo sklizeno 5,21 t/ha slámy. Toto je zároveň i jediný výnos přesahující 5 t/ha. Poměrně vyrovnané byly v tomto roce výsledky na variantách Hnůj 1/2 + N (4,83 t/ha), NPK (4,97 t/ha) a N (4,75 t/ha).

Za poměrně homogenní můžeme vyhodnotit variantu s minerálním hnojením NPK, kde rozdíly ve výnosu slámy mezi jednotlivými sledovanými lety nebyly tak dynamické, jako tomu bylo na jiných sledovaných variantách.

Tabulka 17: Výnos slámy na jednotlivých variantách, Humpolec

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole	Výnos (t/ha)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	2,58	100	2,29	100	0,48	100
<b>Kal</b>	5,21	202	4,19	183	2,42	504
<b>Hnůj</b>	3,38	131	2,96	129	1,03	215
<b>Hnůj ½ + N</b>	4,83	187	3,88	169	3,41	710
<b>NPK</b>	4,97	193	4,72	206	4,21	877
<b>N</b>	4,75	184	3,37	147	3,59	748

## 5.3 Obsah dusíku v rostlině

### 5.3.1 Obsah dusíku v zrně

#### 5.3.1.1 Praha-Suchdol

Tabulka 18: Obsah dusíku (%) v zrně na jednotlivých variantách Praha-Suchdol

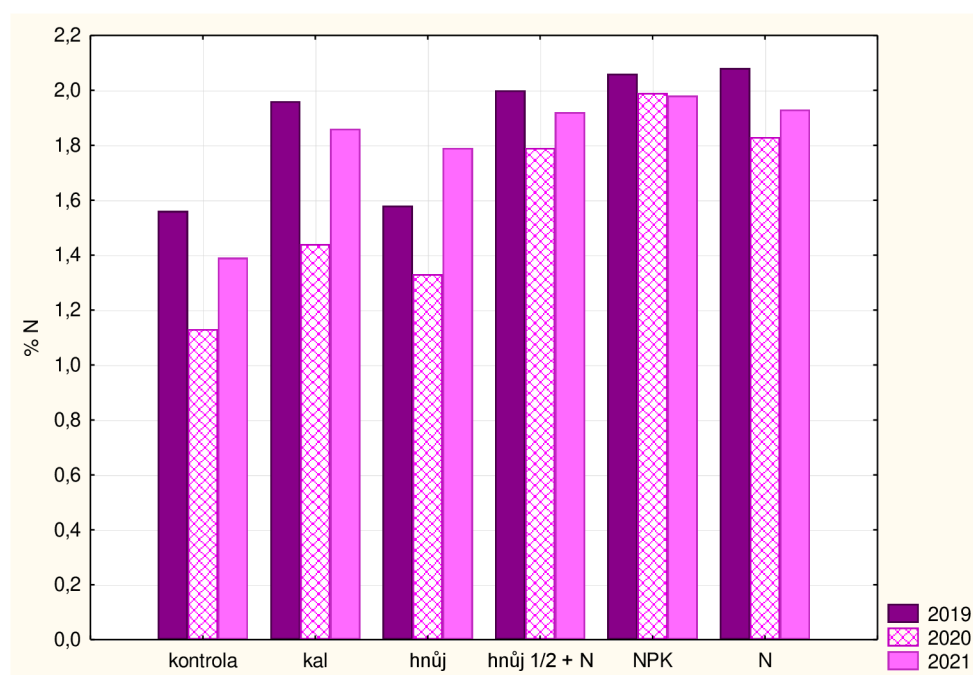
Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	1,56	100	1,13	100	1,39	100
<b>Kal</b>	1,96	126	1,44	127	1,86	134
<b>Hnůj</b>	1,58	101	1,33	118	1,79	129
<b>Hnůj ½ + N</b>	2,00	128	1,79	158	1,92	138
<b>NPK</b>	2,06	132	1,99	176	1,98	142
<b>N</b>	2,08	133	1,83	162	1,93	139

Zjištěné obsahy dusíku (%) na jednotlivých variantách jsou podrobně uvedeny v tabulce 18, pro vizualizaci výsledků je uveden graf 7 níže. Obsahy dusíku se na stanovišti Praha-Suchdol pohybovaly v rozsahu od 1,13 % do 2,08 %. Přičemž nejnižší naměřená hodnota v zrně byla na nehnouené variantě Kontrola v roce 2020. Naopak nejvyšší hodnota 2,08 % N byla na variantě hnojené pouze minerální formou dusíku, a to v roce předešlém.

Pokud bychom chtěli vyhodnotit ze tří sledovaných ročníků ten, kde bylo dosahováno nejvyššího obsahu dusíku v zrně, můžeme konstatovat, že jím je hospodářský rok 2018/2019. V tomto roce byl na téměř všech variantách naměřen nejvyšší obsah dusíku v zrně. Jedinou výjimkou je varianta Hnůj, kde byl zjištěný obsah 1,58 % nedostatečný, jelikož v roce 2021 byl na této variantě obsah vyšší o 0,21 %. Tato varianta byla zároveň i obsahově nejnižší co se ročníku týče, jelikož zde byl pouze 1% nárůst oproti nehnouené kontrole.

Můžeme konstatovat, že velmi homogenní jsou obsahy na variantě NPK, kde rozdíl mezi rokem 2020 a 2021 je zanedbatelný a ročník 2019 má vyšší obsah dusíku v průměru o 0,075 % oproti dalším dvěma letům. Zároveň je i patrné, že varianty hnojené pouze minerálními hnojivy společně s variantou Hnůj 1/2 + N měly v zrně naměřen větší obsah dusíku než varianty hnojené organicky. Což můžeme ukázat třeba na příkladu varianty Hnůj, kde pokles oproti variantě Hnůj 1/2 + N byl roven 0,46 % N v zrně v roce 2020. I když na druhou stranu je třeba podotknout, že Kal v roce 2019 s obsahem 1,96 % o tolik nezaostával za ostatními. Bezesporně nejnižší obsahy byly v tříletém sledování zjištěny na nehnojené variantě Kontrola, kde se pohybovaly v intervalu od 1,13 do 1,15 % N.

Graf 7: Obsah dusíku (%) v zrně, Praha-Suchdol

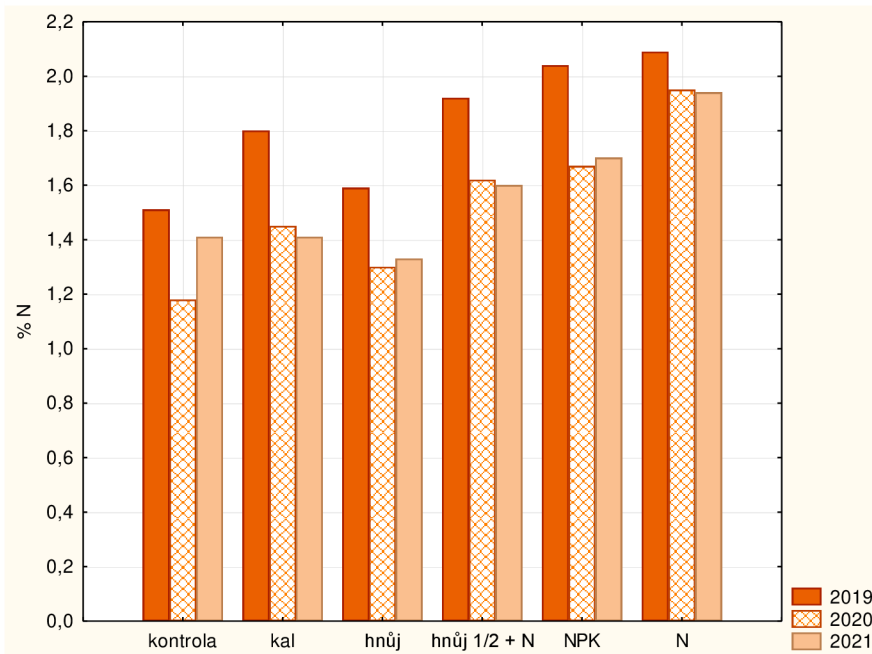


### 5.3.1.2 Humpolec

Hodnoty obsahu dusíku v zrně na stanovišti Humpolec za sledované období znázorňuje graf 8. Na stanovišti Humpolec se v letech 2019-2021 pohyboval obsah dusíku (%) v zrně pšenice v intervalu od 1,18 do 2,09 %. Z grafu vyplývá, že nejnižší obsah N byl naměřen na nehnojené variantě Kontrola. Naopak nejvyšší obsah na stanovišti Humpolec byl zjištěn na variantě hnojené pouze minerálně N, což dokládá tabulka 19.



Graf 8: Obsah dusíku (%) v zrně, Humpolec



Z výsledků vyplývá, že na stanovišti Humpolec byly na všech zkoumaných variantách zjištěny nejvyšší obsahy dusíku (%) v zrně v hospodářském roce 2018/2019. Zároveň v tomto roce bylo i dosaženo nejvyššího obsahu během sledovaného období na stanovišti Humpolec, a to na variantě N, kde byl zaznamenán nárůst obsahu N oproti nehnojené kontrole o 38 %. Pokud v tomto roce vyhodnotíme varianty, kde bylo použito pouze minerální hnojení, můžeme konstatovat, že varianta NPK vykazovala nižší obsah dusíku oproti variantě N pouze o 0,05 %. Na obou těchto variantách byl totiž zjištěn obsah N v zrně pšenice vyšší jak 2 %. Ovšem i na variantě Hnůj 1/2 + N byla patrná přítomnost minerálního dusíku, neboť byl na této variantě vyhodnocen v daném ročníku, nárůst obsahu dusíku oproti nehnojené kontrole, odpovídající hodnotě 27 %.

Při pohledu na graf 8 je hned patrná jedna zásadní skutečnost, a to, že velikost obsahu dusíku v pšeničném zrně byla v letech 2020 a 2021 poměrně značně vyrovnaná v rámci jednotlivých sledovaných variant. Pokud bychom se zaměřili v těchto letech na výsledky z variant, kde bylo použito pouze organické hnojení. Můžeme konstatovat, že na variantě Kal bylo dosahováno vyšších obsahů N, než na variantě Hnůj. Číselně vyjádřeno byl v roce 2020 pokles mezi variantami roven 0,15 % a v roce následujícím byla výše poklesu 0,08 %. Zároveň je třeba konstatovat, že v roce 2021 byl nulový nárůst obsahu dusíku v zrně v rámci varianty Kal. A na variantě Hnůj došlo k poklesu obsahu oproti nehnojené variantě kontrola o 0,08 %.



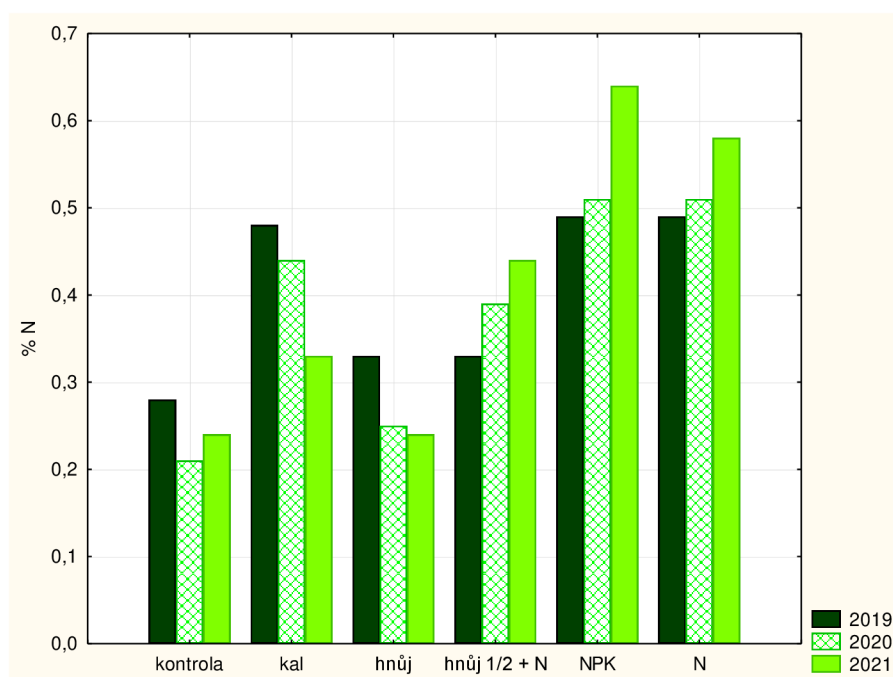
Tabulka 19: Obsah dusíku (%) v zrna na jednotlivých variantách, Humpolec

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	1,51	100	1,18	100	1,41	100
<b>Kal</b>	1,8	119	1,45	123	1,41	100
<b>Hnůj</b>	1,59	105	1,3	110	1,33	94
<b>Hnůj ½ + N</b>	1,92	127	1,62	137	1,6	114
<b>NPK</b>	2,04	135	1,67	142	1,7	121
<b>N</b>	2,09	138	1,95	165	1,94	138

### 5.3.2 Obsah dusíku ve slámě

#### 5.3.2.1 Praha-Suchdol

Graf 9: Obsah dusíku (%) ve slámě, Praha-Suchdol



Naměřené hodnoty obsahu dusíku na jednotlivých variantách a přepočtené na procenta ke Kontrole jsou uvedeny v tabulce 20. Pro lepší vizualizaci jsou data znázorněna v grafu 9. Interval, ve kterém se pohybovaly zjištěné obsahy na stanovišti Praha-Suchdol, nabývaly hodnot od 0,21 % na nehnoujné variantě Kontrola do 0,64 % na variantě NPK.

Vyhodnotit, který ze sledovaných hospodářských roků měl v rámci obsahu dusíku ve slámě nejvyšší hodnoty, je zde celkem složité. Na variantách Kontrola, Kal a Hnůj byl obsah

dusíku ve slámě v hospodářském roce 2019. Kdy v rámci těchto tří variant byl nejvyšší obsah na variantě Kal, a to 0,48 %. Na nehnějené variantě Kontrola byla výše obsahu dusíku rovna 0,28 %, nárůst oproti Kontrole na variantě Kal byl 74 %. Na druhé straně varianta Hnůj tak velký nárůst obsahu N ve slámě nezaznamenala, ten totiž byl pouze 18 %. Obecně bohužel musíme konstatovat, že na variantě Hnůj nebyl zaznamenán příliš velký nárůst obsahu N oproti nehnějené variantě. Ten nebyl nikterak vyšší ani v dalších dvou následujících letech, kdy nejnižší byl v roce 2021, kde nárůst oproti Kontrole byl 0 %.

Tabulka 20: Obsah dusíku (%) ve slámě na jednotlivých variantách, Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	0,28	100	0,21	100	0,24	100
<b>Kal</b>	0,48	174	0,44	210	0,33	138
<b>Hnůj</b>	0,33	118	0,25	119	0,24	100
<b>Hnůj ½ + N</b>	0,33	118	0,39	186	0,44	183
<b>NPK</b>	0,49	175	0,51	243	0,64	267
<b>N</b>	0,49	175	0,51	243	0,58	242

Ovšem na variantách Hnůj 1/2 + N, NPK a N tomu bylo jinak. Zde byl nejvyšší obsah dusíku ve slámě v roce 2021. Nejvyšší hodnota, která je zároveň i nejvyšší v rámci všech tří sledovaných let, byla v tomto roce na minerálně hnojené variantě NPK. Hodnota 0,64 % totiž představovala 167% nárůst oproti Kontrole. Ovšem ani varianta N v tomto roce nezaznamenala špatný výsledek, obsah dusíku naměřený ve slámě zde činil 0,58 %, což je zároveň druhý nejvyšší obsah za všechna sledovaná období a varianty. Nutno tedy podotknout, že nejvyšších výsledků bylo dosaženo na variantách, kde bylo použito pouze minerální hnojení.

### 5.3.2.2 Humpolec

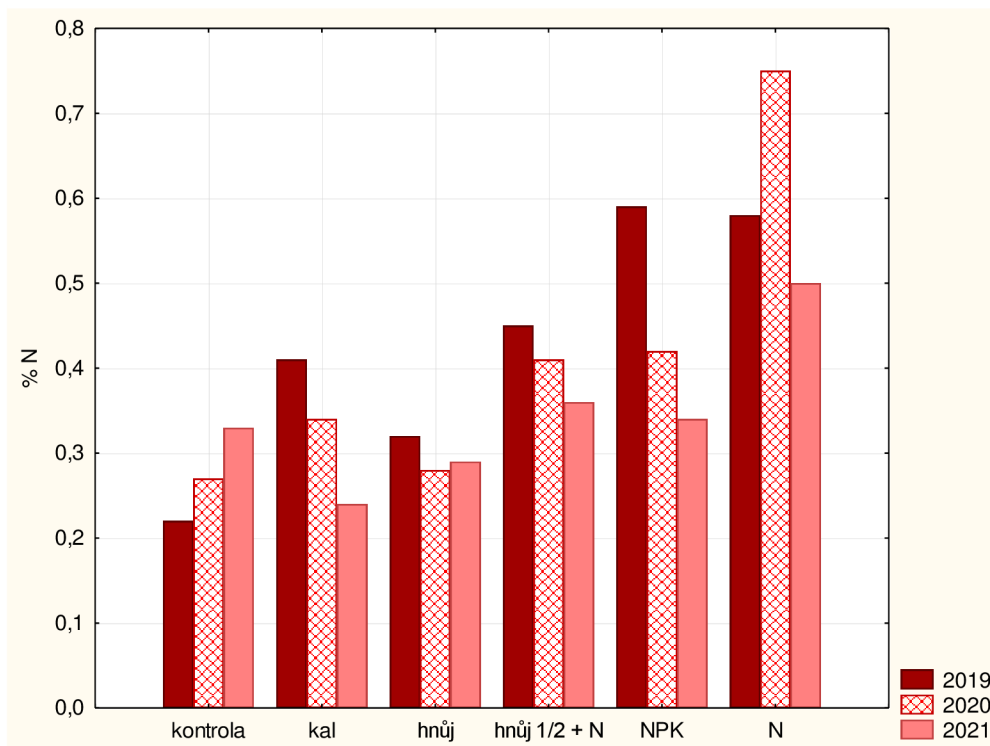
Tabulka 21: Obsah dusíku (%) ve slámě na jednotlivých variantách, Humpolec

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole	N (%)	% ke Kontrole
<b>Kontrola</b>	0,22	100	0,27	100	0,33	100
<b>Kal</b>	0,41	186	0,34	126	0,24	73
<b>Hnůj</b>	0,32	146	0,28	104	0,29	88
<b>Hnůj ½ + N</b>	0,45	205	0,41	152	0,36	109
<b>NPK</b>	0,59	268	0,42	156	0,34	103
<b>N</b>	0,58	264	0,75	278	0,5	152

Obsah dusíku ve slámě se na stanovišti Humpolec pohyboval v rozmezí hodnot od 0,22-0,75 %, jak je patrné z grafu 10. Nejnižší zjištěný obsah byl na nehnějené variantě Kontrola v roce 2019. Nejvyšší výsledek byl na variantě hnojené pouze minerálním dusíkem. Není zcela

jisté, který ze tří sledovaných hospodářských roků 2019-2021 byl z hlediska obsahu dusíku ve slámě ten s nejvyššími hodnotami.

Graf 10: Obsah dusíku (%) ve slámě, Humpolec



Nejvyšší obsah na variantách Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N a NPK byl v hospodářském roce 2018/2019. V rámci těchto variant bylo dosaženo nejvyššího obsahu N na variantě NPK, a to 0,59 %, což je zároveň i nejvyšší obsah pro celý tento ročník. Nárůst obsahu dusíku ve slámě na této variantě hnojení odpovídal 168 % oproti nehnojené Kontrolě (tab. 21). Naopak nejnižší obsah byl na variantě Hnůj, a to 0,32 %. Nárůst oproti Kontrolě zde byl pouze 46 %. Naproti tomu na variantě Kal, jež také spadá do organických hnojiv, bylo dosaženo poměrně vysokého výsledku, kdy naměřený obsah dusíku byl roven 0,41 %. Nárůst oproti Kontrolě zde byl 86 %, tedy můžeme konstatovat, že obsah na variantě Kal byl v tomto směru o 40 % vyšší než na variantě Hnůj.

V roce 2020 byl nejvyšší obsah dusíku na variantě N, kde byl naměřen o 178 % vyšší obsah dusíku ve slámě, než na nehnojené variantě Kontrola. Na ostatních variantách již obsahy nedosahovaly tak velkých hodnot. Pro rok 2021 je varianta s nejvyšším obsahem Kontrola. Obsah zde naměřený byl roven 0,33 %. Tento ročník byl však zajímavý i z dalšího důvodu. Tím je fakt, že na variantách, kde bylo použito organické hnojení, byl zjištěný obsah dusíku ve slámě nižší než na nehnojené Kontrolě. V případě Kalu činil pokles oproti Kontrolě 27 %, u Hnoje odpovídá hodnotě 12 %.

## 5.4 Odběr dusíku

### 5.4.1 Praha-Suchdol

Celkový odběr dusíku v rámci tříletého pozorování na stanovišti Praha-Suchdol je znázorněn v tabulce 22. Kdy můžeme konstatovat, že na nehnojené variantě Kontrola v rámci všech tří hospodářských roků byl zjištěn nejmenší odběr dusíku. Zároveň ani v jednom roce neklesl na žádné ze sledovaných, hnojených variant odběr dusíku vůči kontrolní variantě. Hodnoty, kterých nabýval interval v rámci pozorování, se pohyboval od 54-205 kg/ha odebraného dusíku. Nejvyšší odběry dusíku byly zaznamenány na variantách hnojených pouze minerálními hnojivy a to ve všech sledovaných letech. Na organicky hnojených variantách nedosahoval odběr tak velkých hodnot, ovšem je třeba podotknout, že v roce 2019 byl odběr na variantě Kal vyšší než na variantě Hnůj 1/2 +N, což v letech následujících se již neopakovalo. Pokud porovnáme jednotlivé roky mezi sebou, tak nejvyšších odběrů N bylo dosahováno v roce 2021. Jedinou výjimkou je varianta Kal, kde byl odběr nejvyšší v roce 2019.

Tabulka 22: Celkový odběr N (kg/ha) na stanovišti Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
	Odběr (kg/ha)	Odběr (kg/ha)	Odběr (kg/ha)
<b>Kontrola</b>	139	54	108
<b>Kal</b>	178	150	177
<b>Hnůj</b>	143	111	160
<b>Hnůj ½ + N</b>	155	168	183
<b>NPK</b>	181	192	205
<b>N</b>	193	185	197

#### 5.4.1.1 Zrno

Odběry dusíku zrnem pšenice na jednotlivých variantách na pokusném stanovišti Praha-Suchdol jsou zaneseny do tabulky 23. Odběry dusíku na stanovišti se pohybovaly mezi hodnotami 43-162 kg/ha. Zároveň je třeba konstatovat, že na všech variantách v rámci tří sledovaných hospodářských roků vykazoval odběr dusíku zrnem více jak 70 % z celkového odběru N.

Hodnota 162 kg/ha byla zjištěna na dvou variantách v hospodářském roce 2020/2021, a to na minerálně hnojených variantách NPK a N. Zajímavé je, že odběr dusíku zrnem na variantě N dosahoval 82 % z celkového odběru, ale na variantě NPK odpovídal pouze 79 % z celkového odběru. Nejnižší v tomto roce byl odběr na variantě Kontrola, a to 97 kg/ha. Pokud porovnáme organicky hnojené varianty, vyšší odběr byl zaznamenán na variantě Kal, a to o 12 kg/ha. Ovšem ani v ostatních sledovaných letech nebyl odběr na variantě Hnůj velký, odběr N na variantě Kal vykazoval vždy vyšší hodnotu. Pokud se ještě pozastavíme u varianty Hnůj, z výsledků můžeme konstatovat, že v roce 2019 zde byl odběr N srovnatelný, jako na nehnojené

variantě Kontrola. Celkově můžeme vyhodnotit rok 2021 jako rok s nejvyššími odběry dusíku, jelikož kromě varianty Kontrola bylo na všech ostatních variantách v tomto roce odebráno zrnem nejvíce dusíku.

Tabulka 23: Odběr N (kg/ha) zrnem, Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru
<b>Kontrola</b>	118	85	43	80	97	90
<b>Kal</b>	139	78	114	76	158	89
<b>Hnůj</b>	118	83	90	81	146	91
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	131	85	135	80	154	84
<b>NPK</b>	143	79	154	80	162	79
<b>N</b>	153	79	152	82	162	82

#### 5.4.1.2 Sláma

Odběr dusíku slámou na stanovišti Praha-Suchdol se pohyboval v rozmezí hodnot 11 - 43 kg/ha, jak uvádí tabulka 24 níže. Podíl odběru dusíku slámou se v rámci tohoto stanoviště pohyboval v intervalu od 9-22 %. I zde byly nejnižší zjištěné hodnoty odběrů na nehnoujené variantě Kontrola, přičemž žádná z hodnot odběrů zjištěných na hnojených variantách neklesla pod hodnotu Kontroly.

U odběru dusíku slámou nelze zcela jednoznačně říci, který ze sledovaných ročníků vykazoval nejvyšší hodnoty, neboť jsou zde výjimky. Přesněji, kromě variant Hnůj 1/2 + N a NPK, se nejvyšší odběry zjistily v hospodářském roce 2018/2019. V tomto roce zároveň došlo i ke shodě, kdy varianty Hnůj a Hnůj 1/2 + N odebraly stejné množství dusíku, a to 24 kg/ha. Zároveň ve všech sledovaných letech byl odběr N v rámci organického hnojení vyšší na variantě Kal. Nejznamenatelnější rozdíl byl přitom zaznamenán v roce 2020, kdy byl 15 kg/ha. Naopak nejnižší rozdíl mezi odběry byl v roce následujícím, a to pouze 5 kg/ha. Pokud zůstaneme v roce 2021, je třeba podotknout, že podíl odběru dusíku slámou z celkového odběru se v tomto roce pohyboval v rozmezí hodnot 9-21 %. V porovnání s ostatními ročníky tak vykazuje nejnižší procentický podíl na celkovém odběru dusíku. V rámci variant s minerálním hnojením, jmenovitě NPK a N, jsou odběry N v rámci všech ročníků nejvyšší.

Tabulka 24: Odběr N (kg/ha) slámou, Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru
<b>Kontrola</b>	20	15	11	20	11	10
<b>Kal</b>	38	22	36	24	19	11
<b>Hnůj</b>	24	17	21	19	14	9
<b>Hnůj ½ + N</b>	24	15	33	20	29	16
<b>NPK</b>	38	21	38	20	43	21
<b>N</b>	40	21	33	18	35	18

### 5.4.2 Humpolec

Tabulka 25 uvádí celkový odběr dusíku na stanovišti Humpolec v rámci tří hospodářských roků. V rámci všech tří let byl celkový odběr dusíku vždy vyšší na variantě, kde bylo použito hnojení. Z tabulky je patrné, že interval odběru dusíku se pobybovaly v rozmezí hodnot 20-290 kg/ha. Toto rozpětí je velmi široké. Rozdíl mezi nejnižším odběrem, který byl zjištěn na variantě Kontrola a nejvyšším, který byl na variantě N, byl roven 270 kg/ha.

Jak vyplývá z hodnot uvedených v tabulce, nejnižší celkový odběr dusíku byl zjištěn v roce 2021. Kdy kromě varianty N, na které byl nejnižší odběr v roce předešlém, byl na všech ostatních zkoumaných variantách odběr nejnižší. Na druhé straně nejvyšších odběrů dusíku bylo dosaženo v hospodářském roce 2019. Zde odběr dusíku dosahoval hodnot převyšujících 200 kg/ha. Jedinou výjimkou byla varianta Hnůj, kde byl odběr 153 kg/ha a varianta Kontrola s odběrem dusíku 119 kg/ha. Tento odběr byl zároveň nejnižším v roce 2019. Ve srovnání s odběry na variantě Kontrola z následujících dvou let, je ale jeho odběr nejvyšší. A to o 61 kg/ha vůči odběru v roce 2020 a o 99 kg/ha v roce 2021.

V rámci sledovaných variant během těchto tří let byl celkový odběr dusíku nejvyšší na variantách, kde bylo použito minerální hnojení. V rámci variant, kde bylo hnojeno organickými hnojivy, byl zjištěn vyšší odběr dusíku vždy na variantě Kal.

Tabulka 25: Celkový odběr N (kg/ha) na stanovišti Humpolec

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
	Odběr (kg/ha)	Odběr (kg/ha)	Odběr (kg/ha)
<b>Kontrola</b>	119	58	20
<b>Kal</b>	241	117	72
<b>Hnůj</b>	153	78	34
<b>Hnůj ½ + N</b>	258	127	121
<b>NPK</b>	282	156	154
<b>N</b>	290	146	169



#### 5.4.2.1 Zrno

Tabulka 26: Odběr N (kg/ha) zrnem, Humpolec

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru
<b>Kontrola</b>	114	96	52	90	19	95
<b>Kal</b>	220	91	103	88	66	92
<b>Hnůj</b>	142	93	70	90	31	91
<b>Hnůj ½ + N</b>	237	92	111	87	109	90
<b>NPK</b>	252	89	136	87	140	91
<b>N</b>	263	91	121	83	151	89

Odběr dusíku zrnem na stanovišti Humpolec v letech 2019, 2020 a 2021 je znázorněn v tabulce 26. Jak je patrné z tabulky, hodnoty odběru dusíku zrnem na stanovišti Humpolec nabývaly hodnot 19-263 kg/ha. Kdy nejvyšší zjištěná hodnota odběru dusíku byla na variantě N v roce 2019 a naopak nejnižší odběr dusíku zrnem byl zaznamenán na variantě Kontrola v roce 2021. Procentické vyjádření odběru zrnem z celkového odběru dusíku bylo ve všech třech letech poměrně vysoké a nabývalo hodnot 83-96 %.

Nejnižší odběry dusíku zrnem v rámci jednotlivých roků byly zaznamenány na nehnojené variantě Kontrola. Naopak nejvyšší odběry dle tabulky vykazují varianty, kde bylo hnojeno minerálními hnojivy, kdy odběry v letech 2020 a 2021 přesahovaly hranici 120 a na některých variantách i 150 kg/ha. Rok 2019 vykazoval hodnoty odběru dusíku zrnem přesahující 250 kg/ha. Z tabulky je patrné, že ročník 2019 vykazoval nejvyšší hodnoty odběru dusíku zrnem, a to na všech sledovaných variantách hnojení i Kontrole. Například Kontrola v tomto roce odebrala o 62 kg/ha dusíku více než v roce následujícím a oproti roku 2021 dokonce o 95 kg/ha dusíku více.

#### 5.4.2.2 Sláma

Z tabulky 27 je patrné, že odběr dusíku slámou na stanovišti Humpolec byl v letech 2019-2021 v rozmezí hodnot 1-30 kg/ha. Přičemž nejnižší odběr byl na variantě Kontrola a nejvyšší odběr dusíku slámou byl na variantě NPK. Procentický podíl odběru slámou z celkového odběru dusíku na stanovišti Humpolec v rámci tří sledovaných ročníků se pohyboval od 4 do 17 %. Jak vyplývá z tabulky, nejvyšší procentický podíl z celkového odběru dusíku na tomto stanovišti v rámci všech sledovaných variant hnojení a Kontroly byl v roce 2020. Interval, ve kterém se hodnoty pohybovaly, byl 10-17 %.

Pokud porovnáme odběry dusíku mezi všemi sledovanými roky, nejvyšší odběry pšeničnou slámou byly v roce 2019. V rámci tohoto ročníku byl nejvyšší odběr slámou na variantě hnojené NPK. Na druhé minerálně hnojené variantě N byl odběr nižší o 3 kg/ha. Nejnižší odběr byl na nehnojené variantě Kontrola, a to 6 kg/ha dusíku. Druhá nejmenší hodnota odběru byla na variantě Hnůj, a to 11 kg/ha. V porovnání s druhou organicky hnojenou variantou Kal byl odběr na variantě Hnůj nižší o 10 kg/ha. Rozdíl mezi těmito variantami byl

ve větší či menší míře zaznamenán i v dalších dvou následujících letech, kdy větší odběr byl vždy na variantě Kal.

Tabulka 27: Odběr N (kg/ha) slámou, Humpolec

Varianta	2018/2019		2019/2020		2020/2021	
	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru	Odběr (kg/ha)	% z celkového odběru
<b>Kontrola</b>	6	4	6	10	1	5
<b>Kal</b>	21	9	14	12	6	8
<b>Hnůj</b>	11	7	8	10	3	9
<b>Hnůj ½ + N</b>	22	8	16	13	12	10
<b>NPK</b>	30	11	20	13	14	9
<b>N</b>	27	9	25	17	18	11

## 5.5 Bilance dusíku

### 5.5.1 Praha-Suchdol

Tabulka 28: Bilance dusíku (kg/ha), Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
<b>Kontrola</b>	-139	-54	-108
<b>Kal</b>	-128	-100	-127
<b>Hnůj</b>	-110	-78	-127
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	-19	-32	-47
<b>NPK</b>	-41	-52	-65
<b>N</b>	-53	-45	-57

Bilanci dusíku na stanovišti Praha-Suchdol znázorňuje tabulka 28, kde jsou uvedeny hodnoty pro všechny tři sledované roky. Všechny hodnoty, jak je patrné z tabulky, byly v záporných hodnotách. Hodnoty, mezi kterými se bilance dusíku na stanovišti Praha-Suchdol pohybovala, byly v intervalu od -19 do -139 kg/ha. Kdy nejnižší rozdíl mezi hnojením a odběrem byl na variantě Hnůj 1/2 + N, naopak nejvyšší záporná hodnota byla na nehnojené variantě Kontrola. Obě tyto hodnoty přitom pochází z roku 2019. V rámci všech tří roků byla nejnižší hodnota vyjadřující bilanci dusíku na variantě, kde bylo kombinované organické a minerální hnojení. Přičemž nejvyšší hodnota pro bilanci byla v roce 2021. Rozdíl mezi roky 2019 a 2021 byl -28 kg/ha. Zároveň z tabulky vyplývá, že pouze v roce 2019 byl rozdíl mezi hnojením a celkovým odběrem dusíku nejvyšší na variantě Kontrola. V případě let 2020 a 2021 byla záporná hodnota bilance vyšší na variantách, kde bylo použito organické hnojení. Kdy v roce 2021 byla tato hodnota na variantě Kal a Hnůj dokonce shodná, a to -127 kg/ha.



## 5.5.2 Humpolec

V tabulce 29 jsou uvedeny hodnoty bilance na stanovišti Humpolec v období let 2019, 2020 a 2021. Jak je patrné z tabulky, bilance byla v rámci sledovaného období převážně v záporných hodnotách, a to v intervalu od -1 do -191 kg/ha. Nejnižší hodnota byla zjištěna na variantě Hnůj v roce 2021, naopak nejvyšší byla v roce 2019 na variantě Kal. Obě dvě hodnoty, jejichž rozdíl byl 190 kg N/ha, byly naměřeny na variantách, kde bylo použito organické hnojení. Výjimku tvoří varianta hnojení Hnůj 1/2 + N, kde v letech 2020 a 2021 byla bilance v kladných číslech. Kdy v roce 2020 byla hodnota bilance 9 kg/ha a v roce následujícím dokonce ještě o 6 kg/ha vyšší.

Nejvyšší záporné hodnoty vyjadřující bilanci byly v roce 2019, a to na všech sledovaných hnojených variantách i na Kontrole. Přičemž na všech variantách, kde byla použita nějaká forma hnojení, dosahovala bilance vyšších záporných hodnot, než na Kontrole. V letech 2020 a 2021 nedosahovala bilance tak velkých hodnot.

Tabulka 29: Bilance dusíku (kg/ha), Humpolec

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
<b>Kontrola</b>	-119	-58	-20
<b>Kal</b>	-191	-67	-22
<b>Hnůj</b>	-120	-45	-1
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	-122	9	15
<b>NPK</b>	-142	-16	-14
<b>N</b>	-150	-6	-29

## 5.6 Parametry efektivity využití dusíku

### 5.6.1 Praha-Suchdol

#### 5.6.1.1 Agronomická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N)

V tabulce 30 jsou znázorněny hodnoty Agronomické efektivity aplikovaného dusíku na stanovišti Praha-Suchdol za roky 2019-2021. V roce 2019 byly hodnoty Agronomické efektivity na všech variantách hnojení záporné. Tato skutečnost nastala, protože výnos na nehnojené variantě Kontrola byl v tomto roce vyšší než výnosy na všech hnojených variantách. Interval, ve kterém se Agronomická efektivita pohybovala, byl od 8 do 91 kg/kg. Nejnižší hodnota byla na variantě Hnůj 1/2 + N v roce 2021. Nejvyšší byla v roce 2020, a to na variantě Hnůj. Z tabulky je patrné, že nejvyšší hodnoty efektivity využití dusíku byly v roce 2020, a to na všech sledovaných variantách. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou v rámci tohoto roku byl 63 kg/kg. Přičemž varianty, na kterých bylo použito organické hnojení, měly vyšší Agronomickou efektivitu aplikovaného dusíku než varianty s minerálním hnojením, což platí i pro rok 2021.

Tabulka 30: AE-N (kg/kg) na stanovišti Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
<b>Kal</b>	-10	83	30
<b>Hnůj</b>	-4	91	37
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	-8	28	8
<b>NPK</b>	-5	28	9
<b>N</b>	-2	32	10

### 5.6.1.2 Efektivita využití dusíku (RE-N)

Tabulka 31: RE-N (kg/kg) na stanovišti Praha-Suchdol

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
<b>Kal</b>	0,8	1,9	1,4
<b>Hnůj</b>	0,1	1,7	1,6
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	0,1	0,8	0,6
<b>NPK</b>	0,3	1	0,7
<b>N</b>	0,4	0,9	0,6

Efektivita využití dusíku (RE-N) na stanovišti Praha-Suchdol je uvedena v tabulce 31. Hodnoty efektivity jsou na všech sledovaných variantách v rámci tří let v kladných číslech. Na základě tabulky můžeme konstatovat, že interval efektivity byl od 0,1 do 1,9 kg/kg. Nejnížší hodnota byla v roce 2019 na variantě Hnůj 1/2 + N. Naopak nejvyšší efektivita byla v roce 2020 na variantě Kal. Efektivita se v rámci všech tří let povětšinou pohybovala pod hranicí 1 kg/kg. Výjimkou jsou varianty Kal a Hnůj, kde byla efektivita využití dusíku vyšší než 1 kg/kg, a to v letech 2020 a 2021. A varianta NPK, kde v roce 2020 byla efektivita využití dusíku 1 kg/kg.

Nejnižší zjištěná efektivita byla v roce 2019 na všech hnojených variantách. Rozdíl mezi nejnížší a nejvyšší efektivitou na jednotlivých variantách v rámci tohoto roku byl 0,7 kg/kg. Naopak nejvyšší efektivita využití dusíku byla dle tabulky v roce 2020, kdy se v rámci variant pohybovala v rozmezí hodnot 0,8-1,9 kg/kg.

## 5.6.2 Humpolec

### 5.6.2.1 Agronomická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N)

Hodnoty AE-N na stanovišti Humpolec za období 2019-2021 znázorňuje tabulka 32. Agronomická efektivita byla na všech sledovaných variantách během let 2019-2021 v kladných číslech. Hodnoty efektivity se pohybovaly v intervalu od 13 do 70 kg/kg. Nejvyšší byla na variantě Kal v roce 2019, naopak nejnížší v roce následujícím na variantě N. Z tabulky vyplývá, že na variantách hnojení Kal a Hnůj byla nejvyšší Agronomická efektivita v roce 2019. Na ostatních sledovaných variantách Hnůj 1/2 + N, NPK a N byla efektivita nejvyšší v hospodářském roce 2020/2021, přičemž nabývala hodnot od 40 do 49 kg/kg. Obecně nejvyšší

v rámci všech sledovaných let byla AE-N na variantě, kde bylo použito organické hnojení Kal. Druhá organicky hnojená varianta Hnůj měla také vyšší Agronomickou efektivitu než ostatní varianty, výjimkou byl pouze rok 2021, kdy na této variantě byla efektivita nejnižší.

Tabulka 32: AE-N (kg/kg) na stanovišti Humpolec

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
<b>Kal</b>	70	53	69
<b>Hnůj</b>	32	28	30
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	26	18	40
<b>NPK</b>	25	27	49
<b>N</b>	27	13	46

#### 5.6.2.2 Efektivita využití dusíku (RE-N)

Tabulka 33: RE-N (kg/kg) na stanovišti Humpolec

Varianta	2018/2019	2019/2020	2020/2021
<b>Kal</b>	1,9	1,2	1,1
<b>Hnůj</b>	0,8	0,6	0,4
<b>Hnůj 1/2 + N</b>	0,8	0,5	0,7
<b>NPK</b>	0,9	0,7	1
<b>N</b>	0,9	0,6	1,1

Efektivitu využití dusíku (RE-N) na stanovišti Humpolec znázorňuje tabulka 33. Jak vyplývá z tabulky, efektivita nabývala hodnot od 0,4 kg/kg na variantě Hnůj v roce 2021, do 1,9 kg/kg na variantě Kal v roce 2019. Nejvyšší RE-N v rámci všech tří sledovaných let, byla vždy na variantě Kal, přičemž tato hodnota byla vyšší než 1 kg/kg. Výjimkou je pouze rok 2021, kde byla hodnota efektivitu využití dusíku stejná na variantě Kal i na variantě N, a to 1,1 kg/kg. V roce 2019 byla, v porovnání s ostatními roky, nejvyšší na variantách Kal, Hnůj a Hnůj1/2 + N, kdy se hodnoty pohybovaly od 0,8 do 1,9 kg/kg. Na zbylých dvou hodnocených variantách NPK a N byla nejvyšší efektivita využití dusíku zjištěná v roce 2021. Kdy na variantě NPK byla RE-N rovna 1 kg/kg a na variantě N 1,1 kg/kg.

## 6 Diskuze

### 6.1 Výnos zrna pšenice

Při sklizni ozimé pšenice v roce 2019, bylo sklizeno 4 716,5 tis. t zrna. Výroba vzrostla oproti roku 2018 nejen z důvodu navýšení osevních ploch (814 517 ha), ale také bylo dosaženo vyšších hektarových výnosů (průměrný výnos ČR 5,79 t/ha). Rozhodující vliv na dosaženou úroveň sklizně v hospodářském roce 2018/2019 mělo počasí, kdy teplotně nadnormální a srážkově podnormální duben vystřídalo chladné počasí května s četnými srážkami, následovaný výrazně nadnormálně teplým červnem s lokálními srážkami bouřkového charakteru (Kůst et Záruba 2020). Při srovnání průměrného výnosu v rámci ČR a hektarových výnosů na pokusném stanovišti Praha-Suchdol je zřejmé, že na všech sledovaných variantách (včetně Kontroly) bylo dosaženo vyšších ha výnosů. Na stanovišti Humpolec byly vyšší výnosy sledovy na všech hnojených variantách a pouze nehnojená varianta Kontrola (5,57 t/ha) nedosáhla výnosového průměru ČR.

V následujícím hospodářském roce 2019/2020 došlo k navýšení průměrného republikového výnosu ozimé pšenice na 6,20 t/ha. Díky tomuto průměrnému výnosu bylo možné kompenzovat nižší výměru pěstování pšenice (774 683 ha) a dosáhnout vyšší produkce zrna než v předešlém roce. Klíčovým faktorem přitom bylo opět počasí, kdy vysoké teploty a nedostatek srážek byly v průběhu května vystřídány chladnějším průběhem počasí s normálním množstvím srážek, a mohlo tak docházet k optimálnímu vývoji výnosotvorných faktorů (Kůst 2021). Na stanovišti Suchdol bylo dosaženo vyššího výnosu na všech hnojených variantách, přičemž nejvyšší výnos byl zaznamenán na variantě N (8,29 t/ha). Výnos na variantě Kontrola v roce 2020 dosáhl hodnoty pouze 3,77 t/ha. Hektarové výnosy na stanovišti Humpolec byly na jednotlivých variantách značně variabilní, přičemž na dvou ze šesti sledovaných variantách bylo dosaženo nižších výnosů, než byl průměrný výnos ČR. Jedná se o varianty Kontrola (4,44 t/ha) a Hnůj (5,36 t/ha). Na variantě N pak byl sledován výnos 6,20 t/ha. Nejvyššího průměrného výnosu bylo dosaženo na variantě NPK (8,15 t/ha).

Hospodářský rok 2020/2021 byl dle statistik Českého statistického úřadu (ČSÚ) ze sledovaných ročníků nejúrodnějším. Průměrný hektarový výnos ozimé pšenice v ČR byl na úrovni 6,47 t/ha. Z hlediska produkce však došlo oproti předešlému roku ke snížení výroby zrna, a to z důvodu snížení osevních ploch (na 709 538 ha), což nebylo možné kompenzovat ani vzrůstem průměrného výnosu z jednotky plochy. Výnosy dosažené na stanovišti Suchdol byly na všech hnojených variantách relativně vyrovnané a pohybovaly se od 8,01 t/ha (Hnůj ½ + N) do 8,47 t/ha (Kal). Nejnižší výnos byl sledován na variantě Kontrola (6,95 t/ha). Oproti tomu na stanovišti Humpolec je sledována vyšší variabilita výnosů než v předešlém roce. Nižšího výnosu než je republikový průměr bylo dosaženo na třech variantách – Kontrola (1,32 t/ha), Hnůj (2,30 t/ha) a Kal (4,72 t/ha). Oproti tomu nejvyššího výnosu bylo dosaženo na variantě NPK (8,21 t/ha).

Při porovnání obou sledovaných stanovišť je zřejmé, že nejvyšších výnosů bylo dosaženo na stanovišti Humpolec v roce 2019 (přes 9 t/ha), avšak při porovnání výnosů v rámci všech sledovaných let, je na stanovišti Humpolec vidět značná variabilita mezi výnosy. Oproti tomu hektarové výnosy na hnojených variantách Praha-Suchdol nevykazují tak vysokou variabilitu,

což může být způsobeno i dobrou úrodností půdy, jelikož se jedná o černozemě na spraši (viz Příloha 1).

### 6.1.1 Vliv ročníku na výnos

Nejnižších výnosů ve sledovaných letech bylo dosaženo na stanovišti Humpolec, a to především v roce 2021, kde na variantě Hnůj bylo sklizeno pouze 2,30 t/ha a na variantě Kontrola bylo dosaženo výnosu 1,32 t/ha.

Z vývoje hodnot hektarových výnosů na nehnojené variantě Kontrola na stanovišti Humpolec je viditelný značný pokles. Pokud se porovnájí průměrné úhrny srážek při zakládání porostu v jednotlivých letech, pak je zřejmé, že s vyšším úhrnem srážek v měsíci říjnu je dosahováno nižších výnosů pšenice. Jak zmiňuje Faměra (1993) a Prugar et al. (2008), optimálními podmínkami pro pěstování pšenice nejsou půdy zamokřené a s vysokou hladinou podzemní vody. Z dat znázorňujících měsíční úhrny srážek na stanovišti Humpolec (viz Příloha 3) je zřejmé, že právě v posledním sledovaném roce s nejnižším výnosem byl úhrn srážek během října vysoce nadnormální (91,6 mm) oproti dlouhodobému normálu kraje Vysočina (39 mm). Je tak možné konstatovat, že podmínky pro založení porostu nebyly optimální. Půda pro zakládání porostů byla přemokřená, s kyselou půdní reakcí (pH 5,1). Lze tedy předpokládat, že kvalita porostů v podzimním období nedosahovala optima. Na stanovišti Suchdol se tento trend závislosti jednoznačně neprojevil. I když na Suchdole byl taktéž v měsíci říjnu zaznamenán nadnormální úhrn srážek (72,8 mm), (viz Příloha 2), tak na druhou stranu byla zaznamenána vyšší průměrná měsíční teplota (10,1 °C) než v Humpolci (9,4 °C). Suchdolské půdy také mají alkaličtější půdní reakci (pH 7,5) a lepší zásobenost živinami než půdy v Humpolci, tedy mají vyšší produkční schopnosti v případě absence aplikace hnojivých látek.

Dle Kůsta et Záruby (2020) a Kůsta (2021) je důležité rozložení srážek během jarního období. To nejen z hlediska zvýšení účinnosti agrotechnických zásahů (např. aplikace hnojiv), ale především pak během měsíce května a června, kdy dochází k vývoji výnosotvorných prvků. Weehler et al. (2000) a Porter et Semenov (2005) zdůrazňují, že v tomto období není klíčovým faktorem pouze úhrn srážek, ale také teplota vzduchu, která negativně ovlivňuje výnos především v období kvetení. Na obou sledovaných stanovištích sice byly sledovány nadnormálně vysoké teploty v období června, kdy je extrémně důležité, aby nedošlo k narušení procesu nalévání a především pak zrání zrna, které by mohlo být vlivem vysokých teplot vzduchu a nízkého úhrnu srážek negativně ovlivněno. Vzhledem k dosaženým výnosům na stanovišti Suchdol, kde byly především v průběhu června naměřeny průměrné teploty přesahující 20 °C (roky 2019, 2021) tedy nelze jednoznačně konstatovat, že by byla teplota vzduchu jediným klíčovým faktorem. Mírné dopady vysokých teplot na výnos by bylo možné vysvětlit kombinací vlivu faktorů teploty a úhrnu srážek. Tím by bylo možné vysvětlit i rozdíl ve výnosech na Suchdole mezi roky 2019 a 2021, kdy byly sledovány vyšší průměrné měsíční teploty (22,7 a 20,3 °C), avšak v roce 2019 spadlo pouze 41,3 mm a naproti tomu v roce 2021, kde bylo na všech hnojených variantách dosaženo výnosu přes 8 t/ha, spadlo 90,5 mm. Stejný princip vlivu kombinace teploty a srážek je možné pozorovat i na stanovišti Humpolec, kde v roce 2019 byly taktéž pozorovány vysoké teploty v průběhu června (průměrně 22 °C), ale zároveň zde byl zaznamenán měsíční úhrn srážek 66,1 mm, což bylo evidentně dostačující pro neutralizaci negativních dopadů na pšenici a na hnojených variantách (kromě var. Hnůj) bylo

dosaženo výnosů přes 9 t/ha. I když v roce 2021 byly v Humpolci sledovány nejnižší a velmi variabilní výnosy, lze konstatovat, že i tak kombinace průměrných teplot v červnu 20 °C a úhrn srážek 72,6 mm neměly zásadně negativní vliv na porosty vzhledem k tomu, že na některých hnojených variantách bylo dosaženo výnosu okolo 8 t/ha (N – 7,81 t/ha, NPK – 8,21 t/ha).

### 6.1.2 Vliv stanoviště a hnojení na výnos

Na dosahované výnosy pšenice působí velké množství faktorů. Mezi ty klíčové je možné řadit i půdní vlastnosti stanoviště. Jak je zmíněno výše, Faměra (1993) i Prugar et al. (2008) uvádějí, že pšenice preferuje středně těžké půdy s dobrou vododržností a ideálně slabě kyselou až neutrální půdní reakcí. Naopak nevhodnými podmínkami jsou půdy lehké, zamokřené s kyselou půdní reakcí. Optimálním podmínkám v případě obou sledovaných lokalit se blíží stanoviště Praha-Suchdol, kde se vyskytují úrodné černozemě na spraši s dobrým obsahem organické hmoty, dobrou zásobeností živinami a hodnotou pH 7,5. Na tomto stanovišti také v průběhu sledovaného období 2019-2021 bylo dosahováno vyrovnaných výnosů. Dobrá úrodnost stanoviště je viditelná i na výnosech dosahovaných na nehnojené variantě.

Oproti tomu na stanovišti Humpolec je patrná vysoká variabilita výnosů, jak mezi jednotlivými variantami, tak mezi jednotlivými roky. Ač mezi jednotlivými roky jsou sledovány podobné celkové úhrny srážek za vegetaci (chronologicky – 680,5 mm, 702,9 mm, 683,4 mm), tak především mezi roky 2019 a 2021, kde byl rozdíl v úhrnu zhruba 3 mm, je značný rozdíl v dosažených výnosech na jednotlivých variantách. Lze tedy konstatovat, že stanoviště značně ovlivňuje výši výnosů.

Vliv stanoviště na výnos může být částečně kompenzován hnojením. Balík et al. (2012) a Buráňová et al. (2015) uvádí, že největší odezva na aplikovaný dusík je na stanovištích méně úrodných. Naopak na stanovištích s vysokou úrodností půdy se vliv aplikace dusíku snižuje. To potvrzují i dosažené výsledky v Humpolci, kde nejsou optimální podmínky pro pěstování, ale přesto je možné dosahovat výnosů přes 9 t/ha. Ovšem jak upozorňuje Hooper et al. (2015), je nutné aplikace a dávky dusíku synchronizovat s průběhem počasí, jelikož dusík je v půdě značně pohyblivý. Pokud tak dochází k aplikaci během značně vlhkého období, může docházet ke ztrátám nitrátového N. Bamber et al. (2016) uvádí, že obsah N v rostlině v období metání těsně koreluje s dosaženým výnosem.

Dle Vaňka et al. (2012) je dusík klíčovou živinou, která zásadně ovlivňuje utváření a vývoj výnosotvorných prvků a samotného výnosu včetně kvalitativních ukazatelů zrna (viz příloha 4 a 5). Aplikace hnojiv je však nutné provádět racionálně a s ohledem na působení dalších faktorů. Na půdách úrodných se mohou vyskytnout případy, kdy s aplikací N nemusí docházet ke zvýšení výnosu oproti nehnojené variantě (viz rok 2019 Praha-Suchdol). To odpovídá zjištění Balíka et al. (2012), který uvádí, že na úrodných půdách je 84-88 % dusíku odebíráno z půdy a pouze 12-16 % N je využito z aplikovaných hnojiv. Na stanovištích s nižší půdní úrodností se pak zvyšuje využitelnost N z hnojiv zhruba na 40 %.

Ducsay et Provazník (2018) však připomínají Liebigův Zákon minima, kdy zdůrazňují, že dusík je sice limitujícím prvkem ve výživě, ale pouze za předpokladu, že i ostatní živiny jsou v půdě obsaženy v optimálním množství. Toto tvrzení verifikuje vývoj výnosů na stanovišti Humpolec, kde nejvyrovnanějších výsledků je dosahováno na variantě NPK.

Z hlediska působení kombinace minerálního a organického hnojení na výnosy ozimé pšenice (varianta Hnůj  $\frac{1}{2}$  + N) je z dosažených výsledků patrné, že oproti variantě hnojené pouze hnojem došlo k nárůstu výnosu, což uvádějí ve své práci i Hlisnikovský et al. (2018) a Vaněk et al. (2001). Z hlediska složitosti definice optima v dnešním kontextu je však složité diskutovat o této kombinaci hnojiv jako o optimální variantě výživy pro dosahování optimálních výnosů. V rámci provedených sledování nebyl v žádném roce zaznamenán na variantě Hnůj  $\frac{1}{2}$  + N vyšší výnos zrna než na variantě NPK. V případě porovnání s variantou N bylo vyššího výnosu při kombinovaném hnojení dosaženo pouze v roce 2020 na stanovišti Humpolec. Zásadním problémem pro možnost porovnání zmíněných variant je rozdílné množství aplikovaného dusíku, kdy v případě variant N a NPK je aplikována dávka 140 kg N/ha a na variantě Hnůj  $\frac{1}{2}$  + N se jedná o dávku 136 kg N/ha.

### 6.1.3 Vliv hnojení na obsah N-látek v zrně

Při tvorbě technologické jakosti zrna odrůd pečárenské pšenice sehraává každoročně významnou roli vliv průběhu ročníku (vliv meteorologický), ale především zvolená odrůda. Mezi faktory rozhodujícími o výsledné jakosti můžeme dále zařadit klimatické podmínky pěstování (vliv lokality) a v neposlední řadě také vliv agrotechnických postupů, zejména pak úroveň dusíkaté minerální výživy (Zimolka et al. 2005). Tu rozdělujeme do čtyř hlavních kategorií, kdy v různých vývojových fázích rostliny dodáváme určité množství dusíku v kg/ha. Pokud se jedná o obsah dusíkatých látek v zrně, který je jedním z důležitých jakostních ukazatelů, můžeme jej ovlivnit pozdním přihnojením. A to v dávce 30 až 45 kg N/ha.

Ze všech látek obsažených v pšeničném zrně mají největší význam bílkoviny, a to z hlediska technologického i pro nutriční a krmnou hodnotu. Jejich množství v sušině kolísá ve velmi širokém rozpětí od 8 do 20 %. Zrno u nás pěstovaných odrůd pšenice v klimaticky normálním roce obsahuje okolo 13 % bílkovin v sušině (Prugar et Hraška 1986).

Zrno pšenice by mělo na trhu se zemědělskými produkty splňovat doporučené ukazatele jakosti podle zaměření dalšího zpracování suroviny (Faměra 1993), přičemž obsah N-látek v sušině potravinářské pšenice vypočtený jako (obsah N v zrně x 5,7) by měl dosahovat nejméně hodnoty 11,5 % (Prugar et al. 2008).

Dle Kůsta et Záruby (2020) byl rok 2019 význačný tím, že velká část sklizně splňovala parametry obsahů N-látek pro potravinářské užití. Na stanovišti Suchdol dosahovalo vyšších obsahů N-látek v zrně v průběhu sledovaných let více variant, při porovnání se jedná především o organicky hnojené varianty.

Dle provedeného statistického šetření je patrné, že jedním ze zásadních faktorů je také systém hnojení. Z výsledků získaných z SW Statistika, kde byla počítána závislost sledovaného ukazatele na nezávislé proměnné (aplikované množství N/ha) hodnocené na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  vyplývá, že aplikace dusíkatých hnojiv zvyšuje obsah N-látek v zrně (viz Příloha 6). Nepotvrdilo se to pouze v případě varianty hnojené hnojem, kde ve druhém roce (u pšenice) je dle metodiky kalkulováno s množstvím využitelného dusíku 10 % (Eghball et al. 2002), tedy 33 kg N/ha. V případě obou stanovišť je pak sledován vyšší obsah dusíkatých látek především v zrně pšenice hnojené minerálními hnojivy. Jak uvádí Mokhele et al. (2012), tak v průběhu senescence porostu ozimé pšenice je až 80 % dusíku obsaženého v pletivech pšenice



transportováno právě do zrna. Tedy rychle působící minerální hnojiva zvyšují obsah N v rostlině, následně v zrně, a tedy mají značný vliv na jakostní ukazatele sklizně.

#### 6.1.4 Efektivita využití dusíku z hnojiv

Pojem efektivita využití dusíku (NUE) je možné vyjádřit jako ukazatel hodnotící management dusíku, ovšem hlubší význam a samotné použití indexu je složitý. To potvrzují i široké možnosti výpočtu NUE, kde však neexistuje účinné porovnání výsledků mezi jednotlivými metodami výpočtu. Efektivitu lze tedy vypočítat mnoha možnostmi, přičemž zvolený výpočet závisí na směru výzkum (Congreves et al. 2021). Výše zvolený ukazatel tzv. Agronomická efektivita je založen na podílu přírůstku výnosu varianty vůči kontrole vztahovaný k množství aplikovaného dusíku. Jak již zmiňuje Koffi et al. (2016), slabinou výpočtu je, že využitelnost aplikované dávky N je vztahována pouze k rostlině. Jsou tedy zcela ignorovány další směry užití N z hnojiv, např. výživa půdních bakterií. Dle vypočítaných agronomických efektivit (AEN) pro sledovaná stanoviště, jsou zarážející dosahované hodnoty na variantách s organickými hnojivy (např. u varianty Hnůj byla zaznamenána hodnota AEN až 91 kg/kg), a to především na stanovišti Suchdol. Fageri et Baligar (2005), Chien et al. (2016) a další uvádějí, že využitelnost N na orných půdách je nízká a dosahuje běžně hodnot mezi 25-50 %. To by tedy bylo v přímém rozporu s výše uvedenými výsledky. S vysvětlením však přichází Balík et al. (2012), který uvádí, že na úrodných půdách pochází přes 80 % přijímaného dusíku z půdy a pouze do 20 % je využito z hnojiv. Na méně úrodných půdách se tento poměr vyrovnává a z hnojiv je využito zhruba okolo 40 % N. Částečně věrnějším obrazu o využitelnosti živin z aplikovaných hnojiv rostlinami tedy odpovídají výsledky zjištěné na stanovišti Humpolec.

V provedeném statistickém šetření, kde byl sledován vliv úhrnu srážek za vegetační období (říjen-srpen) na efektivitu využití dusíku, byly pozorovány různé závislosti dle zvoleného stanoviště. Na stanovišti Suchdol, kde v průběhu let 2019 až 2021 byly zaznamenány zvyšující se úhrny srážek ze 407,4 mm/vegetač. období na 573,6 mm/vegetač. období, vyplývá z provedené regresní analýzy (viz Příloha 7), že se stoupajícím úhrnem stoupá na všech hnojených variantách agronomická efektivita. Při analýze celkových úhrnů srážek je však v korelačním poli vidět značný rozptyl mezi hodnotami AEN dosahovaných na organicky hnojených variantách. Při podrobnějším šetření bylo pozorováno, že na efektivitu mají značný vliv především srážky v průběhu června. Stejná analýza byla provedena také pro stanoviště Humpolec, kde v rámci úhrnu srážek za vegetační období byl sledován stejný vývoj jako na stanovišti Suchdol, přičemž byly zaznamenány úhrny (chronologicky řazeno): 680,4 mm; 702,9 mm; 683,4 mm. Z Přílohy 9 je zřejmé, že na tomto stanovišti byl sledován opačný vývoj závislosti, tedy se zvyšujícím se úhrnem srážek za vegetační období se snižuje hodnota AEN. Stejných výsledků bylo dosaženo i při zkoumání vlivu srážek během června na agronomickou efektivitu. Je tedy zřejmé, že pro to, aby hnojivo mohlo být rostlinou přijato, je nutné působení srážek, které dodávané živiny převádějí do půdního roztoku. Na druhou stranu je dusík (především nitrátový) značně pohyblivý v půdě a při vysokém úhrnu srážek a vysoké úrovni dusíkatého hnojení může docházet ke značným ztrátám a efektivita využití N z dodaných hnojiv se tak snižuje.



## 7 Závěr

V rámci diplomové práce byla analyzována a vyhodnocována data za roky 2019, 2020 a 2021, získaná ze dvou pokusných stanovišť Praha-Suchdol a Humpolec. V rámci každého stanoviště bylo pozorováno šest variant: Kontrola, Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N, NPK a N. Z vyhodnocených výsledků vyplývají tyto závěry:

- Při hodnocení výše výnosu zrna na jednotlivých stanovištích byl zjištěn opačný ročníkový vývoj, kdy na stanovišti Praha-Suchdol bylo dosaženo nejvyšších výnosů v roce 2021, kde kromě varianty Kontrola byl na všech hnojených variantách výnos přesahující 8 t/ha. Na stanovišti Humpolec byly naopak nejvyšší výnosy v roce 2019, kdy kromě Kontroly a Hnoje byl na všech variantách výnos přesahující 9 t/ha zrna.
- Obsah dusíku v zrně pšenice dosahoval na obou sledovaných stanovištích nejvyšších hodnot v roce 2019. V tomto roce byl na stanovišti Humpolec odběr podpořen 114,5 mm srážek v období května a na stanovišti Praha-Suchdol 64,2 mm srážek. V případě obsahu dusíku ve slámě nelze jednoznačně říci, ve kterém ze sledovaných ročníků byly hodnoty obsahu nejvyšší, neboť je zde v rámci jednotlivých variant jistá heterogenita.
- Ze sledovaných dat vyplývá, že nejvyšších obsahů dusíku v zrně je dosahováno na variantách hnojených minerálními hnojivy, kde na stanovišti Praha-Suchdol se hodnoty pohybují v intervalu 1,83-2,08 % a na stanovišti Humpolec 1,67-2,09 % .
- Z výsledků bylo zjištěno, že vyšší vliv aplikovaných hnojiv na výnos je sledován na méně úrodných půdách.

### **Hypotéza 1.**

Hypotéza předpokládající, že povětrnostní podmínky ročníku budou mít vliv na využití dusíku rostlinou, byla potvrzena.

### **Hypotéza 2.**

Předpoklad, že obsah dusíku v zrně bude vyšší u variant hnojených minerálními dusíkatými hnojivy, se z výsledků zjištěných na sledovaných pokusných stanovištích potvrdil.

### **Hypotéza 3.**

Hypotéza 3, která předpokládá, že stanovištní podmínky budou ovlivňovat efektivitu využití dusíku, se v rámci tohoto sledování potvrdila.

## 8 Literatura

- Anonym, 2016. Pšenice ozimá RGT Reform. Available from: <http://www.znz.cz/download/344-vpagro-listovka-a4-reform-05-16.pdf> (accessed April 2020).
- Anonym, nedatováno. Pšenice ozimá. *Elita semenářská*. Available from: <http://www.elita.cz/psenice-oz-ragt-czech---vp-agro> (accessed April 2020).
- Babulicová, M. (2014). The influence of fertilization and crop rotation on the winter wheat production. *Plant, Soil and Environment*, 60(7), 297-302.
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. (2012). Bilance dusíku v zemědělství. *Certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Bamber, K. W., Evanylo, G. K., Thomason, W. E. (2016). Importance of Soil Properties on Recommended Biosolids Management for Winter Wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 80(4), 919-929.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 265-279.
- Buráňová, Š., Černý, J., Kulhanek, M., Vašák, F., Balík, J. (2015). Influence of mineral and organic fertilizers on yield and nitrogen efficiency of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 9(2), 257-272.
- Buráňová, Š., Černý, J., Mítura, K., Lipínska, K. J., Kovářik, J., Balík, J. (2016). Effect of organic and mineral fertilizers on yield parameters and quality of wheat grain. *Scientia agriculturae bohemica*, 47(2), 47-53.
- Burger, M., Jackson, L. E. (2003). Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 29-36.
- Cameron, K. C., Di, H. J., Moir, J. L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of applied biology*, 162(2), 145-173.
- Clarke, J. M., Campbell, C. A., Cutforth, H. W., DePauw, R. M., Winkleman, G. E. (1990). Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Canadian Journal of Plant Science*, 70(4), 965-977.
- Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, 12.
- Cossu, R., Morello, L., Stegmann, R. (2018). Biochemical processes in landfill. *Solid Waste Landfilling: Concepts, Processes, Technologies*. eds. Cossu R., Stegmann R. (Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 91-115.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Časová, K., Nedvěd, V. (2010). Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant Soil Environ.* 56, 28-36.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Vaněk, V. (2014). Využití kalů z čistíren odpadních vod. Pages 19-26 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 20. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

- Černý, J., Balík, J., Švehla, P., Kulhánek, M. (2009). Využití odpadů z Čov jako zdroje organických látek a živin. Pages 36-41 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 15. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Český statistický úřad. (2022). *Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin*. ČSÚ. Available from: Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin - 2021 | ČSÚ (czso.cz).
- ČSN 46 1011-18 (461011).(2003). Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin-Část 18: Zkoušení obilovin -Stanovení obsahu dusíkatých látek. Český normalizační institut, Praha.
- Daigger, L. A., Sander, D. H., Peterson, G. A. (1976). Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation 1. *Agronomy Journal*, 68(5), 815-818.
- Dannenmann, M., Simon, J., Gasche, R., Holst, J., Naumann, P. S., Kögel-Knabner, I., Papeň, H. (2009). Tree girdling provides insight on the role of labile carbon in nitrogen partitioning between soil microorganisms and adult European beech. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(8), 1622-1631.
- Diaz, R. J., Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*, 321(5891), 926-929.
- Ducsay, L., Provazník, M. (2018). Výživa a hnojení ozimnej pšenice na jeseň. *Agromanual*. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyziva-ahnojenie-ozimnej-psenice-na-jesen> (accessed September 2019).
- Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal* 64: 2024-2030.
- Eghball, B., Wienhold, B. J., Gilley, J. E., Eigenberg, R. A. (2002). Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.* 57, 470-473.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in agronomy*, 88, 97-185.
- Faměra, O. (1993). *Základy pěstování ozimé pšenice*. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, Praha.
- FAO (2019). FAOSTAT. FAO. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed August 2019).
- Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Davies, W. J., Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R., Martre, P., ... Reynolds, M. P. (2011). Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), 469-486.
- Fu, X., Wang, J., Sainju, U. M., Liu, W. (2019). Soil nitrogen fractions under long-term crop rotations in the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 186, 42-51.
- Goulding, K. W. T., Murphy, D. V., Macdonald, A., Stockdale, E. A., Gaunt, J. L., Blake, L., ... Brookes, P. (2001). The role of soil organic matter and manures in sustainable nutrient cycling. *Sustainable management of soil organic matter*, 221-342.
- Hansen, S. (2001). *Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management*. CRC Press.
- Hawkesford, M. J. (2017). Genetic variation in traits for nitrogen use efficiency in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2627-2632.
- Hlisnikovský, L., Holík, L., Vach, M., Kunzová, E. (2018). Účinek NPK a statkových hnojiv na výnosy zrna a slámy pšenice ozimé. *Agromanual*. Available from:

- www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/ucinek-npk-a-statkovych-hnojiv-na-vynosy-zrna-a-slamy-pšenice-ozime (accessed January 2022).
- Hooper, P., Zhou, Y., Coventry, D. R., McDonald, G. K. (2015). Use of nitrogen fertilizer in a targeted way to improve grain yield, quality, and nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 107(3), 903-915.
- Horwath, W., Paul, E. A. (2015). Carbon cycling: the dynamics and formation of organic matter. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*, 4, 339-82.
- Hubík, K., Mareček, J. (2002). Kvalita obilnin. *Úroda*. Available from <https://www.uroda.cz/kvalita-obilnin/> (accessed August 2019).
- Chien, S. H., Teixeira, L. A., Cantarella, H., Rehm, G. W., Grant, C. A., Gearhart, M. M. (2016). Agronomic effectiveness of granular nitrogen/phosphorus fertilizers containing elemental sulfur with and without ammonium sulfate: A review. *Agronomy Journal*, 108(3), 1203-1213.
- Chloupek, O. (2008). Kvalita produkce pšenice. Pages 134-136 in Hosnedl, V., Doležal, J., Chloupek, O., Hořčíčka, P., editors. *Pšenice od genomu po rohlík*. Kurent, České Budějovice.
- Choi, J. H., Maruthamuthu, S., Lee, H. G., Ha, T. H., Bae, J. H. (2009). Nitrate removal by electro-bioremediation technology in Korean soil. *Journal of hazardous materials*, 168(2-3), 1208-1216.
- Jenkinson, D., Andrew, S., Lynch, J., Goss, M. J., Tinker, P. B. (1990). The turnover of organic matter in soil. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 329(1255), 361-368.
- Jiang, B., Tsao, R., Li, Y., Miao, M. (2014). Food Safety: Food Analysis Technologies/Techniques. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 273–288). Elsevier.
- Keeney, D. R., Hatfield, J. L. (2008). The nitrogen cycle, historical perspective, and current and potential future concerns. In *Nitrogen in the Environment* (pp. 1-18). Academic Press.
- Klausner, S.D., Kanneganti, V.R., Bouldin, D.R. (1994). An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manures. *Agronomy Journal* 86: 897-903.
- Knoepp, J. D., Swank, W. T. (2002). Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils*, 36(3), 177-182.
- Koffi, D., Vincent, B., Valere, M. (2016). Yield and nitrogen use efficiency of aromatic rice varieties in response to nitrogen fertilizer. *Emir. J. Food Agric*, 28, 126–135.
- Körschens, M. (2004). Soil organic matter and environmental protection. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50(1), 3-9.
- Kováč, K., Kubinec, S., Ďudák, J., Halás, L., Herzová, E., Gromová, A., Ložek, O., Stehlo, P. (1998). *Pestovanie ozimnej pšenice a pôdoochranárske technológie pestovania obilnín*. Výzkumný ústav rastlinnej výroby, Piešťany.
- Křen, J. (2019). Výnosotvorné prvky pšenice. Page 51 in Horáková, V., Dvořáčková, O., editors. *Seznam doporučených odrůd 2019*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.

- Kunzová, E. (2009). *Výživa rostlin a hnojení fosforem*. Výzkumný ústav rostlinné výroby.
- Kunzová, E. (2010). *Výživa rostlin a hnojení draslíkem*. Výzkumný ústav rostlinné výroby.
- Kůst, F. (2021). *Situační a výhledová zpráva obiloviny 2020*. Ministerstvo zemědělství.
- Kůst, F., Záruba, J. (2018). *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Kůst, F., Záruba, J. (2020). *Situační a výhledová mapa obiloviny 2019*. Ministerstvo zemědělství.
- Ladha, J. K., Pathak, H., Krupnik, T. J., Six, J., van Kessel, C. (2005). Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in agronomy*, 87, 85-156.
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-219.
- Liu, X., Hu, B., Chu, C. (2021). Nitrogen assimilation in plants: current status and future prospects. *Journal of Genetics and Genomics*.
- Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Martens, D. A. (2005). Denitrification. In "Encyclopedia of soils in the environment", vol. 1 (D. Hillel, JL Hatfield, DS Powlson, C. Rosenzweig, KM Scow, MJ Singer & D. L. Sparks, eds), 378-382. Martens, D. A. (2005). Denitrification. In "Encyclopedia of soils in the environment", vol. 1 (D. Hillel, JL Hatfield, DS Powlson, C. Rosenzweig, KM Scow, MJ Singer & D. L. Sparks, eds), 378-382.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3-16.
- Mengel, K., Kirby, E. A. (2006). *Principles of plant nutrition*. (Fifth Edition); Springer/Star Educational Books Distributor Pvt. Ltd; 849.
- Mokhele, B., Zhan, X., Yang, G., Zhang, X. (2012). Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(3), 399-405.
- Nieder, R., Benbi, D. K., Scherer, H. W. (2011). Fixation and defixation of ammonium in soils: a review. *Biology and fertility of Soils*, 47(1), 1-14.
- Palík, S., Burešová, I., Edler, S., Sedláčková, I., Tichý, F., Váňová, M. (2009). *Metodika pěstování ozimé pekárenské pšenice*. Agrotest fyto, s. r. o., Kroměříž.
- Pavlíková, D., Balík, J., Pavlík, M., Tlustoš, P., Vaněk, V. (2007). Dusík v rostlině a jeho využití. Pages 28-33 in Jakl, M., Pavlíková, D., editors. *Sborník z 13. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. (2008). Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia XII*, 4:3-8.

- Petr, J., et al. (1980). *Tvorba výnosu hlavních polních plodin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Porter, J. R., Semenov, M. A. (2005). Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 360. 2021 - 2035.
- Prugar, J., et al. (2008). *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Výzkumný ústav pивovarský a sladařský, a. s., ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, Praha.
- Prugar, J., Hraška, Š. (1986). *Kvalita pšenice*. Příroda, vydavatel'stvo knih a časopisov, n. p., Bratislava.
- Rahikainen, M., Kangasjärvi, S. (2020). On the roots of nitrogen uptake. *New Phytologist*, 228(3), 802-804.
- Richter, R., Hlušek, J. (1999). *Výživa a hnojení rostlin, I. obecná část*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.
- Robertson, G. P., Groffman, P. M. (2015). Nitrogen transformations. In *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (pp. 421-446). Academic Press.
- Robertson, G. P., Vitousek, P. M. (2009). Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual review of environment and resources*, 34, 97-125.
- Romillac, N. (2019). Ammonification. In *Encyclopedia of Ecology, second-volume set* (pp. 256-263). Elsevier Inc..
- Ryant, P., Antošovský, J., Škarpa, P. (2017). Hnojení pšenice ozimé na jaře. *Agromanual*. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-psenice-ozime-na-jare> (accessed September 2019).
- Sainju, U. M. (2017). Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *MethodsX*, 4, 199-208.
- Sharma, L. K., Bali, S. K. (2018). A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability*, 10(1), 51.
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of experimental botany*, 60(6), 1537-1553.
- Shi, J., Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Wang, L., Zuo, Q. (2013). Characterizing root nitrogen uptake of wheat to simulate soil nitrogen dynamics. *Plant and soil*, 363(1), 139-155.
- Singh, R. P., Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management*, 28(2), 347-358.
- Skiba, U. (2008). Denitrification. In *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume set* (pp. 866–871). Elsevier Inc..
- Smith, K. A. (1980). A Model of the extent of anaerobic zones in aggregated soils, and its potential application to estimates of denitrification 1. *Journal of Soil Science*, 31(2), 263-277.

- Smutný, V., Vrtílek, P., Dryšlová, T., Neudert, L., Křen, J. (2018). Význam agrotechnických faktorů při pěstování ozimé pšenice v systému bez živočišné výroby. *Agromanuál*. Available from: [https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/vyznam-agrotechnicky-ch-faktoru-pripestovani-ozime-psenice-v-systemu-bez-zivocisnevyruby?fbclid=IwAR23tFi6guosOVmb3KaCYh9hl\\_jU0tJFtSO7zK3HtLCSYdVTN4daAzcm DAo](https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/vyznam-agrotechnicky-ch-faktoru-pripestovani-ozime-psenice-v-systemu-bez-zivocisnevyruby?fbclid=IwAR23tFi6guosOVmb3KaCYh9hl_jU0tJFtSO7zK3HtLCSYdVTN4daAzcm DAo) (accessed August 2019).
- Stefanakis, A., Akrotos, C. S., Tsihrintzis, V. A. (2014). Treatment processes in VFCWs. *Vertical Flow Constructed Wetlands; Stefanakis, A., Akrotos, CS, Tsihrintzis, VA, Eds*, 57-84.
- Stevenson, F. J. (1982). Nitrogen in agricultural soils. *American Society of Agronomy Monograph Series – No. 22*; Madison, Wisconsin, USA. 940.
- Stevenson, F. J., Cole, M. A. (1999): The nitrogen cycle in soil: Global and ecological aspects. In *Cycles of Soil*, 2nd ed.: Wiley: New York, 139-190.
- Strock, J. S. (2008). Ammonification. In *Encyclopedia of ecology, five-volume set* (pp. 162-165). Elsevier Inc..
- Šramková, Z., Gregová, E., Šturdík, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 115-138.
- Van Horn, H. H., Wilkie, A. C., Powers, W. J., Nordstedt, R. A. (1994). Components of dairy manure management systems. *Journal of dairy science*, 77(7), 2008-2030.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012). *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.
- Vaněk, V., Balík, J., Ložek, O., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2013). *Výživa pol'ných a záhradných plodín*. Profi Press, Nitra.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2016). *Výživa a hnojení polních plodín*. Profi Press, Praha.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007). *Výživa polních a zahradních plodín*. Profi Press, Praha.
- Vaněk, V., Němeček, R., Najmanová, J. (1997 a). Vliv stanoviště a způsobu hospodaření na obsah minerálního a mineralizovatelného dusíku v půdách. *Rostlinná výroba*, 43, 463-471.
- Vaněk, V., Pavlíková, D., Balík, J., Tlustoš, P. (1997 b). Dusík v půdě a jeho přeměny. *Sborník z 3. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. ČZU, Praha, 8-11.
- Vaněk, V., Pavlíková, D., Balík, J., Tlustoš, P. (1997 c). Dusík v půdě a jeho přeměny. Pages 8-14 in Brodský, L., editor. *Sborník z konference Racionální použití průmyslových hnojiv*. Katedra agrochemie a výživy rostlin ČZU Praha, Praha.
- Vaněk, V., Štípek, K., Šilha, J. (2001). Statková hnojiva a jejich použití. *Úroda*. Available from: [uroda.cz/statkova-hnojiva-a-jejich-pouziti/](http://uroda.cz/statkova-hnojiva-a-jejich-pouziti/) (accessed January 2022).

- Velthof, G. L., Oudendag, D., Witzke, H. P., Asman, W. A. H., Klimont, Z., Oenema, O. (2009). Integrated assessment of nitrogen losses from agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE. *Journal of Environmental Quality*, 38(2), 402-417.
- Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv ze dne 15. října 2013. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2013, částka 174, s. 5002-5015. ISSN 1211-1244. Available from: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=39242>.
- Walworth, J. (2013). Nitrogen in the Soil and the Environment.
- Wang, C., Wang, N., Zhu, J., Liu, Y., Xu, X., Niu, S., He, N. (2018). Soil gross N ammonification and nitrification from tropical to temperate forests in eastern China. *Functional Ecology*, 32(1), 83-94.
- Ward, B. B. (2018). Nitrification. In *Encyclopedia of Ecology* (pp. 351-358). Elsevier.
- Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Ellis, R. H., Porter, J. R., Vara Prasad, P. (2000). Temperature variability and the yield of annual crops. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 82. 159 – 167.
- Wivstad, M., Dahlin, A. S., Grant, C. (2005). Perspectives on nutrient management in arable farming systems. *Soil use and management*, 21, 113-121.
- Woldendorp, J. W. (1975). Nitrification and denitrification in the rhizosphere, *Bulletin de la Société Botanique de France*, 122:sup2, 89-107.
- Wrigley, C., Bekes, F. (2004). Processing quality requirements for wheat and other cereal grains. Pages 349-388 in Benech-Arnold, R. L., Sánchez, R. A., editors. *Handbook of seed physiology*. Food Products Press, New York, London, Oxford.
- Yang, H. S., Janssen, B. H. (1997). Analysis of impact of farming practices on dynamics of soil organic matter in northern China. *European Journal of Agronomy*, 7(1-3), 211-219.
- Zhao, B., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., Ata-Ul-Karim, S. T., Ni, J., ... Zhu, Y. (2014). New critical nitrogen curve based on leaf area index for winter wheat. *Agronomy Journal*, 106(2), 379-389.
- Zimolka, J., Edler, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., Říha, K., Tichý, F. (2005). *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press, Praha.



## 9 Seznam příloh

Příloha 1: Porovnání průměrného výnosu ČR a sledovaných stanovišť (t/ha).....	I
Příloha 2: Porovnání měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot vzduchu na stanovišti Praha-Suchdol s normály .....	I
Příloha 3: Porovnání měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot vzduchu na stanovišti Humpolec s normály .....	II
Příloha 4: Vliv množství aplikovaného N (kg/ha) na výnosy (t/ha) v letech 2019-2021 Praha-Suchdol .....	III
Příloha 5: Vliv množství aplikovaného N (kg/ha) na výnosy (t/ha) v letech 2019-2021 Humpolec .....	III
Příloha 6: Vliv hnojení na obsah N-látek v zrně pšenice.....	IV
Příloha 7: Vliv úhrnu srážek za vegetační období (říjen-srpen) na AEN Praha-Suchdol.....	IV
Příloha 8: Vliv úhrnu srážek (mm) v červnu na AEN Praha-Suchdol.....	V
Příloha 9: Vliv úhrnu srážek za vegetační období (říjen-srpen) na AEN Humpolec .....	V
Příloha 10: Vliv úhrnu srážek v červnu na AEN Humpolec.....	V



## 10 Samostatné přílohy

Příloha 1: Porovnání průměrného výnosu ČR a sledovaných stanovišť (t/ha)

	Prům. výnos ČR	Praha-Suchdol						Humpolec					
		Kontr.	Kal	Hůj	Hněj 1/2 + N	NPK	N	Kontr.	Kal	Hůj	Hněj 1/2 + N	NPK	N
2018/19	5,79	7,61	7,10	7,47	6,54	6,94	7,35	5,57	9,04	6,61	9,10	9,12	9,30
2019/20	6,20	3,77	7,91	6,77	7,56	7,72	8,29	4,44	7,10	5,36	6,88	8,15	6,20
2020/21	6,47	6,95	8,47	8,16	8,01	8,19	8,41	1,32	4,72	2,30	6,83	8,21	7,81

Příloha 2: Porovnání měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot vzduchu na stanovišti Praha-Suchdol s normály

	2018/2019				2019/2020				2020/2021			
	Srážky (mm)	Normál* (mm)	Teplota (°C)	Normál* (°C)	Srážky (mm)	Normál* (mm)	Teplota (°C)	Normál* (°C)	Srážky (mm)	Normál* (mm)	Teploty (°C)	Normál* (°C)
Říjen	30,9	34	10,8	8,7	30,9	34	10,3	8,7	72,8	34	10,1	8,7
Listopad	12,2	40	4,9	3,4	32,2	40	6,2	3,4	10	40	4,8	3,4
Prosinec	40,9	38	3	-0,1	7,3	38	3,1	-0,1	14,7	38	2,9	-0,1
Leden	17,6	34	0	-1,2	5,8	34	1,8	-1,2	38	33	0,2	-0,6
Únor	21,4	30	3	-0,2	50,7	30	5,3	-0,2	36,2	28	-0,5	0,4
Březen	21,3	40	7,2	3,7	53	40	2,2	3,7	27	38	4,2	4
Duben	31,2	34	10,9	8,6	10,6	34	11,1	8,6	12,2	31	6,8	9,2
Květen	64,2	63	11,9	13,7	56,2	63	12,4	13,7	88,2	64	11,7	13,8
Červen	41,3	70	22,7	16,5	108,2	70	17,7	16,5	90,5	77	20,3	17,2
Červenec	54,8	82	20,6	18,5	57,1	82	19,5	18,5	82,1	79	19,8	19
Srpen	71,6	75	20	18	78,4	75	20,3	18	101,9	72	24	18,6
<b>Celkem</b>	<b>407,4</b>	<b>540</b>			<b>490,4</b>	<b>540</b>			<b>573,6</b>	<b>534</b>		
<b>Výnosy</b>	<b>7,10 - 7,61</b>				<b>3,77 - 8,29</b>				<b>6,95 - 8,47</b>			

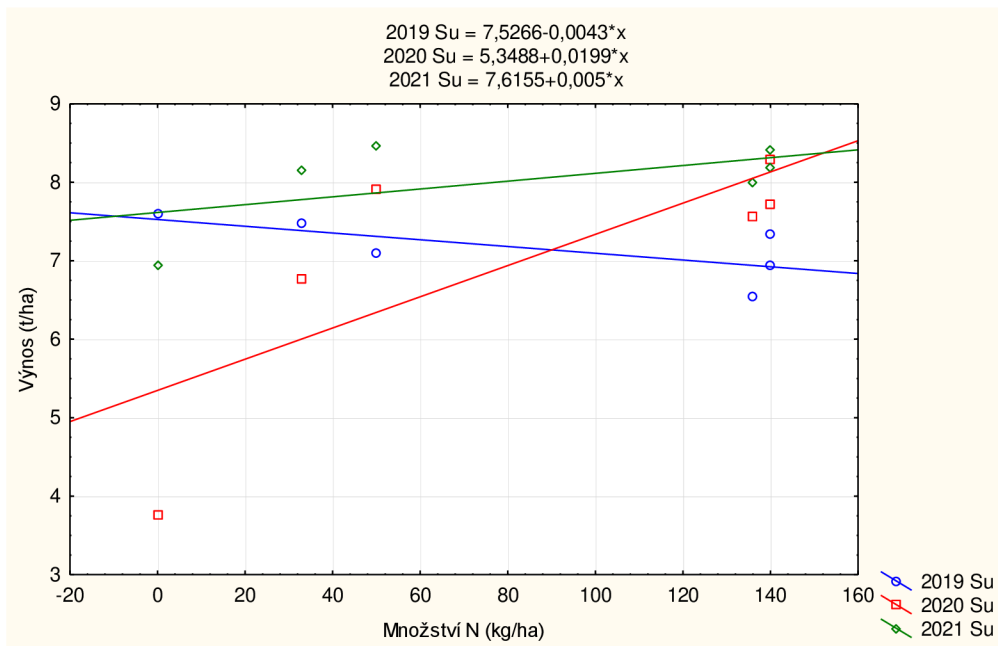
\* Dlouhodobý srážkový/teplotní normál (1981-2010; 1991-2020) pro Prahu a Středočeský kraj

Příloha 3: Porovnání měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot vzduchu na stanovišti Humpolec s normály

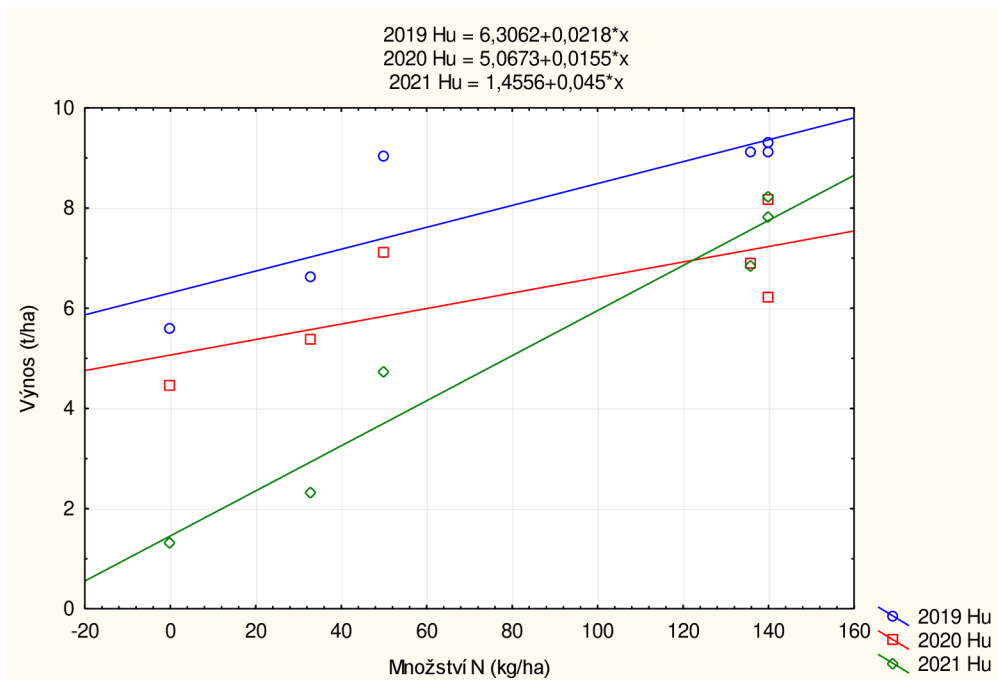
	2018/2019				2019/2020				2020/2021			
	Srážky (mm)	Normál* (mm)	Teploty (°C)	Normál* (°C)	Srážky (mm)	Normál* (mm)	Teploty (°C)	Normál* (°C)	Srážky (mm)	Normál* (mm)	Teploty (°C)	Normál* (°C)
Říjen	41,9	39	10,6	7,6	47,2	39	9,9	7,6	91,6	39	9,4	7,6
Listopad	23,9	46	4,4	2,3	49,3	46	5,7	2,3	30	46	4,3	2,3
Prosinec	81,7	47	1,4	-1,6	23,9	47	2,1	-1,6	15,2	47	1,8	-1,6
Leden	92,7	44	-1,7	-2,6	16	44	0,6	-2,6	60,1	45	-1,1	-2
Únor	37,3	38	2	-1,5	74	38	4	-1,5	37,2	36	0	-0,9
Březen	46,9	48	5,7	2,2	42,2	48	4,3	2,2	25,3	47	2,9	2,7
Duben	12,9	41	9,7	7,4	22,8	41	10,5	7,4	29,6	37	5,7	8,1
Květen	114,5	71	11,2	12,6	91,5	71	11,6	12,6	91,3	71	11,1	12,7
Červen	66,1	75	22	15,4	170,7	75	17	15,4	72,6	80	20	16,2
Červenec	64,7	87	19,5	17,3	69,6	87	18,8	17,3	127,2	89	19,8	17,9
Srpen	97,9	80	19,8	16,9	95,7	80	19,6	16,9	103,3	79	16,9	17,7
<b>Celkem</b>	<b>680,5</b>	<b>616</b>			<b>702,9</b>	<b>616</b>			<b>683,4</b>	<b>616</b>		
<b>Výnosy</b>	<b>5,57 - 9,30</b>				<b>4,44 - 8,15</b>				<b>1,32 - 8,21</b>			

\* Dlouhodobý srážkový/teplotní normál (1981-2010; 1991-2020) pro kraj Vysočina

Příloha 4: Vliv množství aplikovaného N (kg/ha) na výnosy (t/ha) v letech 2019-2021 Praha-Suchdol



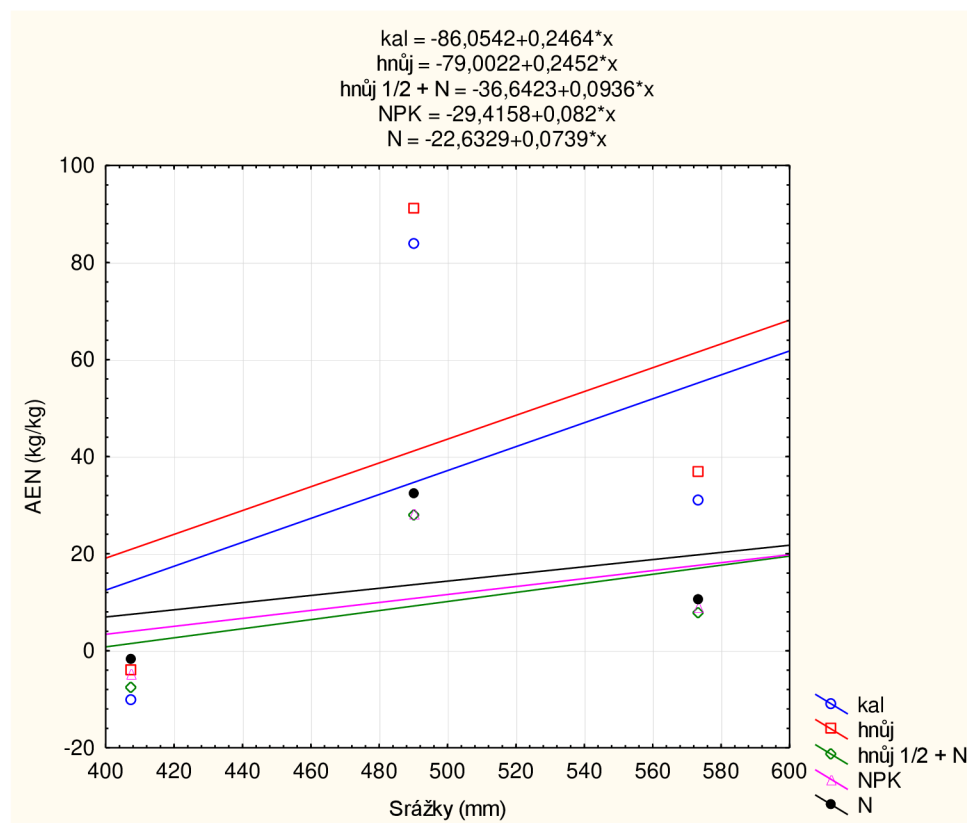
Příloha 5: Vliv množství aplikovaného N (kg/ha) na výnosy (t/ha) v letech 2019-2021 Humpolec



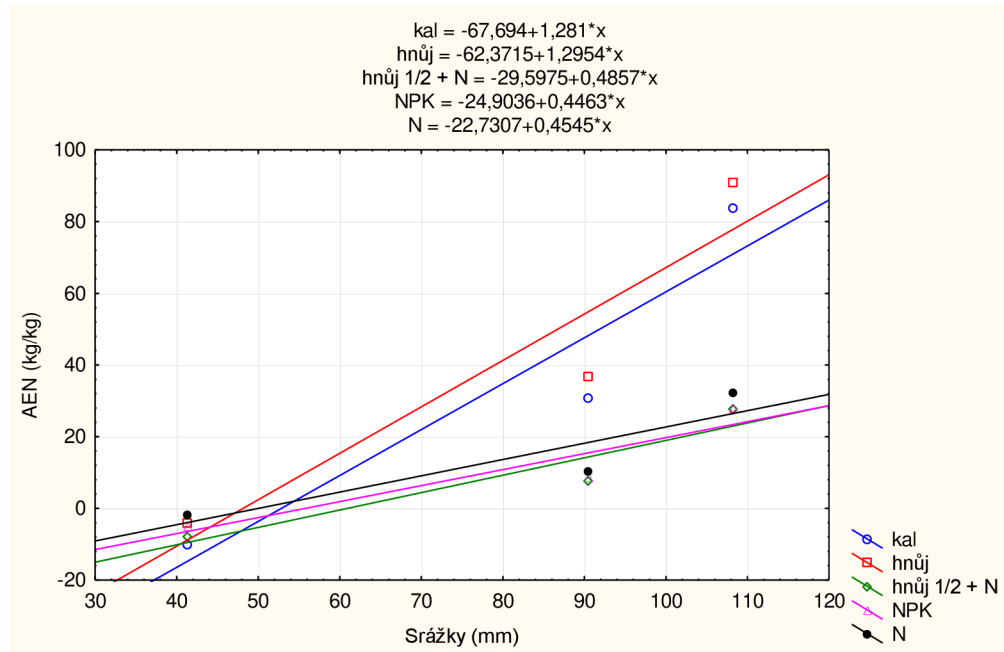
Příloha 6: Vliv hnojení na obsah N-látek v zrně pšenice

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná 2019 Su (Výnosy Su+Hu) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00278, sv = 7,0000					
	kg N/ha	1 8,8920	2 9,0060	3 11,172	4 11,400	5 11,799
1	0		0,293945	0,000212	0,000212	0,000212
2	33	0,293945		0,000212	0,000212	0,000212
3	50	0,000212	0,000212		0,020537	0,000216
4	136	0,000212	0,000212	0,020537		0,000496
5	140	0,000212	0,000212	0,000216	0,000496	

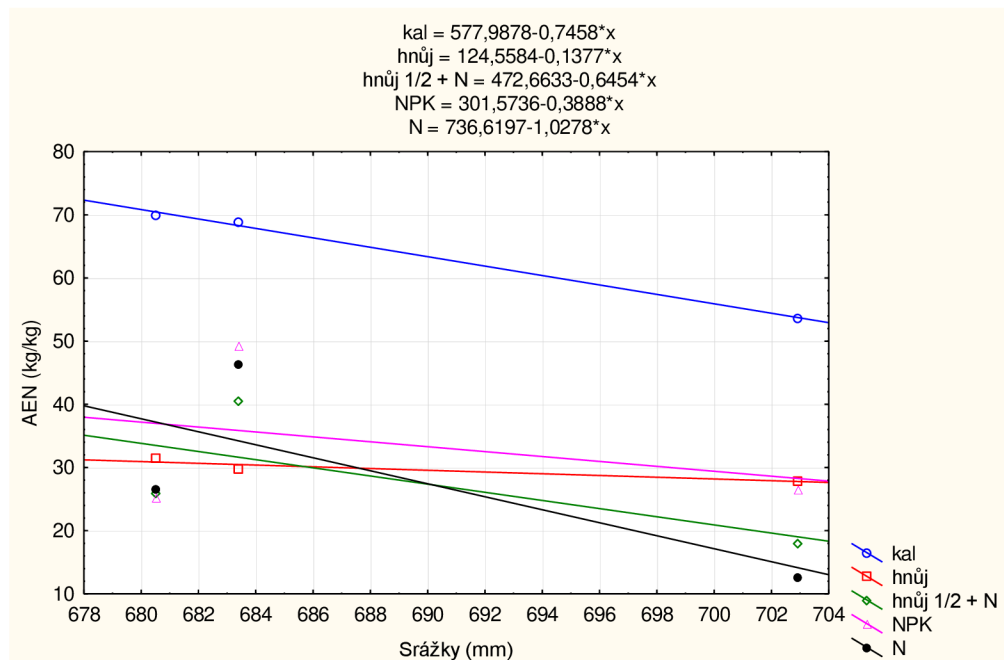
Příloha 7: Vliv úhrnu srážek za vegetační období (říjen-srpen) na AEN raha-Suchdol



Příloha 8: Vliv úhrnu srážek (mm) v červnu na AEN Praha-Suchdol



Příloha 9: Vliv úhrnu srážek za vegetační období (říjen-srpen) na AEN Humpolec



Příloha 10: Vliv úhrnu srážek v červnu na AEN Humpolec

