

**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 výnos ozimé pšenice**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Eva Větrovcová  
Obor studia: Rostlinná produkce**

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

**© 2024 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv systému hnojení na výnos ozimé pšenice" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25. 4. 2024

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé práce panu Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za ochotu, cenné rady a čas strávený kontrolou mé bakalářské práce. Poděkování také patří podniku AGRO Semeč za poskytnutí vzorků ozimé pšenice.

# Vliv systému hnojení na výnos ozimé pšenice

## Souhrn

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv systému hnojení na výnos ozimé pšenice, dále byly zahrnuty parametry jako je sklizňový index, obsah dusíku a dusíkatých látek v zru pšenice, odběr dusíku zrnem i slámou a sklizňový index dusíku.

V práci byly použity vzorky ze dvou lokalit. Prvním stanovištěm byla pšenice ozimá z lokality Praha-Suchdol, kde se plodina pěstuje již od podzimu roku 1996 v tříletém cyklu s bramborami a jarním ječmenem. Bylo zde porovnááno šest variant hnojení, kterými byly 1. kontrola-nehnojená varianta, 2. hnůj, 3. minerální dusík se slámou, 4. polovina minerálního dusíku společně s hnojem, 5. NPK hnojení a 6. hnojení pouze s minerálním dusíkem. Minerální hnojiva obsahující fosfor a draslík se aplikují na podzim pro všechny druhy plodin. Dávka dusíku je u pšenice rozdělena do dvou fází. První část se aplikuje jako regenerační přihnojení a druhá část jako produkční přihnojení. V rámci hnojení samotným dusíkem, NPK hnojením a ½ hnoje+dusíku byla použita následující minerální hnojiva N – LAV (27 % N), P – trojitý superfosfát (21 % P), K – draselná sůl (50 % K). Druhým stanovištěm byla pšenice ozimá pěstovaná na třech pozemcích z rodinného podniku AGRO Semeč, která byla hnojena následujícími hnojivy: NPS 8-30-27, Urea 46, Sulfogranulát, LAD-27 % N. Výnosotvorné prvky v oblasti Semeč byly posuzovány pod stejným systémem hnojení.

Nejvyšší výnos zrna byl zjištěn na variantě NPK (11,47 t/ha) a nejvyšší výnos slámy na variantě N+sláma (11,48 t/ha). Výnos na pozemcích ze Semče se pohyboval v rozmezí od 11,74 t/ha do 13,39 t/ha. Jednotlivé hnojení na sklizňový index nemělo žádný vliv, jelikož na všech variantách i pozemcích dosáhl téměř totožných výsledků. Nejvyšší vliv na odběr dusíku zrnem měla varianta hnojená pouze dusíkem (200,9 kg N/ha) a její nárůst oproti kontrole byl 210,5 %. Nejmenší vliv na odběr dusíku zrnem měla varianta hnojena pouze hnojem a při srovnání s kontrolou se jednalo o nárůst 19,9 %. U odběru dusíku slámou se jednalo o největší nárůst na variantě N+sláma (59,9 kg N/ha), oproti kontrole zde došlo k 415% nárůstu. Nejmenší vliv na odběr dusíku slámou nastal na variantě hnůj a oproti nehnojené variantě měl nárůst 21,5 %. Při použití alespoň částečného hnojení s minerálním dusíkem došlo ke zvýšení výnosu a odběru dusíku zrnem a slámou. V Semči byl odběr dusíku zrnem v rozmezí od 191,2 kg N/ha do 241,6 kg N/ha a u slámy v rozmezí od 17,2 kg N/ha do 21,6 kg N/ha. Nejvyšší obsah dusíku a dusíkatých látek byl zjištěn na variantách N+sláma a N. Nejmenší hodnota sklizňového indexu dusíku byla zjištěna na variantách N+sláma (0,77) a N (0,78), jinak všechny varianty měly hodnotu vyšší než 0,8.

**Klíčová slova:** hnojení, ozimá pšenice, výnos

# Effect of fertilization system on winter wheat yield

## Summary

The aim of the bachelor's thesis was to evaluate the effect of fertilization system on winter wheat yield, parameters such as harvest index, nitrogen and nitrogenous content of wheat grain, nitrogen uptake by grain and straw, harvest index of nitrogen were also included.

Samples from two locations were used in this study. The first location was winter wheat from Prague-Suchdol, where the crop has been grown since autumn 1996 in a three-year cycle with potatoes and spring barely. Six fertilization variants were compared, which were 1. control-unfertilized variant, 2. manure, 3. mineral nitrogen with straw, 4. half mineral nitrogen together with manure, 5. NPK fertilisation and 6. fertilisation with mineral nitrogen only. Mineral fertilizers containing phosphorus and potassium were applied in autumn to all crops. The nitrogen dose for wheat is divided into two phases. The first part is applied as regenerative fertiliser and the second part as production fertiliser. The following mineral fertilisers N – LAV (27 % N), P – triple superphosphate (21 % P), K - potassium salt (50 % K) were applied as part of the fertilisation with nitrogen alone, NPK fertilisation and ½ manure + nitrogen. The second location was winter wheat grown on three plots from the family farm AGRO Semeč, which was fertilized with the following fertilizers: NPS 8 - 30 - 7, Urea 46, Sulfogranulate, LAD – 27 % N. The yield elements in Semeč area were assessed under the same fertilization system.

The highest grain yield was found in the NPK variant (11.47 t/ha) and the highest straw yield in the N+straw variant (11.48 t/ha). The yield on the Semeč plots ranged from 11.74 t/ha to 13.39 t/ha. The individual fertilisation had no effect on the harvest index, as all variants and plots achieved almost identical results. The variant fertilized with nitrogen only (200.9 kg N/ha) had the highest effect on N uptake by grain and its increase compared to the control was 210.5 %. The variant fertilised with manure only had the smallest effect on nitrogen uptake by grain, with a 19.9 % increase compared to the control. For nitrogen uptake by straw, the largest increase was in the N+straw variant (59.9 kg N/ha), with a 415 % increase compared to the control. The smallest effect on nitrogen uptake by straw occurred on the manure variant and had an increase of 21.5 % compared to the unfertilized option. There was an increase in yield and nitrogen uptake by grain and straw when at least partial fertilisation with mineral nitrogen was applied. In Semeč, nitrogen uptake by grain ranged from 191.2 kg N/ha to 241.6 kg N/ha and by straw from 17.2 kg N/ha to 21.6 kg N/ha. The highest nitrogen and nitrogen contents were found in the N+straw and N variants. The lowest nitrogen harvest index value was found on the N+straw (0.77) and N (0.78) variants, otherwise all variants had a value higher than 0.8.

**Keywords:** fertilization, winter wheat, yield

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Obilniny .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Pšenice ozimá.....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Vegetativní orgány pšenice.....	3
3.1.2 Generativní orgány pšenice .....	4
3.1.3 Růst a vývoj pšenice .....	4
3.1.4 Botanická charakteristika.....	4
<b>3.2 Faktory ovlivňující výnos .....</b>	<b>5</b>
3.2.1 Biostimulanty růstu.....	6
3.2.2 Podmínky zajišťující růst a vývoj .....	6
3.2.3 Vliv osevních postupů a agrotechnických opatření na produkci plodin.....	7
<b>3.3 Rostlinné živiny .....</b>	<b>8</b>
3.3.1 Příjem živin rostlinami .....	8
3.3.2 Mimokořenová výživa .....	9
3.3.3 Rozdělení živin .....	9
3.3.4 Dusík.....	9
3.3.4.1 Formy dusíku.....	9
3.3.4.2 Mineralizace .....	9
3.3.4.3 Volatilizace.....	10
3.3.4.4 Nitrifikace a denitrifikace.....	10
3.3.4.5 Koloběh dusíku.....	11
3.3.4.6 Dusík v rostlinách.....	12
3.3.4.7 Nedostatek dusíku .....	13
3.3.4.8 Nadbytek dusíku.....	13
3.3.5 Fosfor v půdě.....	14
3.3.6 Fosfor v rostlinách .....	14
3.3.7 Nedostatek fosforu.....	15
3.3.8 Nadbytek fosforu .....	15
3.3.9 Draslík v půdě.....	16
3.3.9.1 Draslík v rostlinách .....	17
3.3.9.2 Nedostatek draslíku .....	17
3.3.9.3 Nadbytek draslíku.....	17
3.3.10 Síra.....	17
3.3.10.1 Příjem síry rostlinami .....	18

3.3.10.2	Důvody poklesu obsahu síry v půdě.....	19
3.3.10.3	Nedostatek síry .....	19
3.3.10.4	Nadbytek síry.....	19
<b>3.4</b>	<b>Hnojení ozimé pšenice.....</b>	<b>19</b>
3.4.1	Rozdělení hnojiv .....	20
3.4.2	Způsoby aplikace hnojiv .....	20
3.4.3	Hnojení dusíkatými hnojivy.....	21
3.4.4	Dusíkatá hnojiva .....	22
3.4.5	Aplikace dusíkatých hnojiv .....	23
3.4.6	Vliv dostupnosti vody na účinky aplikace dusíkatých hnojiv .....	24
3.4.7	Hnojení sírou.....	24
3.4.8	Hnojení fosforečnými hnojivy .....	25
3.4.9	Hnojení draselnými hnojivy.....	26
3.4.10	Principy hnojení fosforečnými a draselnými hnojivy .....	26
3.4.11	Organická hnojiva.....	27
3.4.12	Chlévský hnůj .....	27
3.4.13	Hnojení chlévským hnojem .....	28
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>29</b>
4.1	Stanoviště výzkumu .....	29
4.2	Agrotechnika .....	29
4.3	Hnojení na jednotlivých území .....	30
4.3.1	Hnojení na katastrálním území Semeč.....	30
4.3.2	Hnojení na katastrálním území Suchdol .....	30
4.4	Agrochemické zkoušení zemědělských půd .....	30
4.5	Laboratorní výzkum .....	31
4.5.1	Práce v laboratoři .....	31
4.5.2	Stanovení dusíku.....	32
4.5.3	Stanovení vybraných výnosotvorných prvků .....	33
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>34</b>
5.1	Výnos .....	34
5.1.1	Výnos zrna Suchdol .....	34
5.1.2	Výnos slámy Suchdol .....	34
5.1.3	Výnos zrna Semeč .....	34
5.1.4	Výnos slámy Semeč.....	35
5.2	Sklizňový index.....	35
5.2.1	Sklizňový index Suchdol .....	35
5.2.2	Sklizňový index Semeč.....	35
5.3	Obsahy dusíku .....	35
5.3.1	Obsah dusíku v zrně Suchdol .....	36

5.3.2	Obsah dusíku ve slámě Suchdol .....	36
5.3.3	Obsah dusíku v zrně Semeč.....	36
5.3.4	Obsah dusíku ve slámě Semeč.....	36
<b>5.4</b>	<b>Obsah dusíkatých látek v zrně .....</b>	<b>37</b>
5.4.1	Obsah dusíkatých látek v zrně Suchdol.....	37
5.4.2	Obsah dusíkatých látek v zrně Semeč .....	37
<b>5.5</b>	<b>Odběr dusíku zrnem a slámou.....</b>	<b>37</b>
5.5.1	Odběr dusíku zrnem Suchdol.....	38
5.5.2	Odběr dusíku slámou Suchdol .....	38
5.5.3	Odběr dusíku zrnem Semeč .....	38
5.5.4	Odběr dusíku slámou Semeč .....	38
<b>5.6</b>	<b>Celkový odběr dusíku .....</b>	<b>39</b>
5.6.1	Celkový odběr dusíku Suchdol .....	39
5.6.2	Celkový odběr dusíku Semeč .....	39
<b>5.7</b>	<b>Sklizňový index dusíku .....</b>	<b>39</b>
5.7.1	Sklizňový index dusíku Suchdol .....	40
5.7.2	Sklizňový index dusíku Semeč.....	40
<b>5.8</b>	<b>Výnosotvorné prvky Semeč.....</b>	<b>40</b>
5.8.1	Počet odnoží před sklizní.....	40
5.8.2	Hmotnost tisíce semen.....	41
5.8.3	Počet zrn v jednom klasu .....	41
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>43</b>
6.1	Výnos.....	43
6.2	Sklizňový index.....	43
6.3	Obsah dusíku a dusíkatých látek.....	44
6.4	Odběr dusíku .....	44
6.5	Sklizňový index dusíku .....	45
6.6	Počet odnoží před sklizní na 1 m <sup>2</sup> .....	45
6.7	Hmotnost tisíce semen .....	45
6.8	Počet zrn v jednom klasu.....	46
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>48</b>



# 1 Úvod

Pšenice ozimá patří mezi základní potraviny po celém světě a Česká republika není výjimkou. Zaujímá tak důležitou pozici z hlediska celosvětové populace, která se neustále rozrůstá. S rostoucí populací stoupá i potřeba potravin, a tak je důležité se soustředit na optimalizaci výnosu jednotlivých plodin. Jedním ze zásadních prvků, který výsledný výnos ovlivňuje, je systém hnojení. Tento faktor má zásadní dopad jak na kvalitu sklizně, tak i na její kvantitu.

Pšenice ozimá patří mezi obiloviny náročné na hnojení a potřebu jednotlivých živin, zejména dusíku, který jej může být dodán prostřednictvím organických či minerálních hnojiv. Organická hnojiva přináší živiny do půdy postupně a podporují zejména dlouhodobou udržitelnost půdního prostředí, zatímco minerální hnojiva umožňují rychlou dodávku potřebných živin. Správně vyvážené hnojení také podporuje tvorbu silných kořenových systémů, což zvyšuje schopnost rostliny absorbovat živiny z půdy. V důsledku toho může správně provedené hnojení ozimé pšenice vést ke zvýšení výnosů, zlepšení kvality zrna a celkové stabilitě produkce potravin. Důležitý je také výběr samotné odrůdy, jelikož různé odrůdy nabízejí různé výsledky.

Výnos této plodiny však není ovlivněn pouze samotným hnojením, ale je třeba vzít i v potaz lokalitu, ve které se pšenice ozimá bude pěstovat, atmosférické podmínky dané lokality a zásobenost živin v půdě na určitém místě.

S ohledem na současný trend směrem k udržitelnějším zemědělským praktikám je třeba pečlivě zvážit, který systém hnojení je vhodnější pro konkrétní podmínky a potřeby plodin, jako je právě ozimá pšenice.

## 2 Cíl práce

Cílem práce bude vyhodnotit vliv hnojení na výnos ozimé pšenice, zejména dávky živin a jejich formy v aplikovaných hnojivech. Hodnoceny budou také faktory limitující tvorbu výnosu, jako např. agrochemické půdní vlastnosti, vliv ročníku apod. V práci bude také zahrnut výběr pozemků s rozdílnými půdními vlastnostmi.

Hypotézy:

1. Porost pšenice ozimé hnojený minerálními dusíkatými hnojivy bude vykazovat vyšších výnosů oproti porostu hnojeného hnojem.
2. Výnos pšenice ozimé bude vyšší na úrodnějších půdách.
3. Sklizňový index bude vykazovat vyšších hodnot na variantách, které byly hnojené minerálními dusíkatými hnojivy, oproti variantě hnojené pouze hnojem.

## 3 Obilniny

Na území České republiky jsou obilniny nejpěstovanější plodinou. Většina zemědělských podniků využívá více než polovinu své orné půdy k pěstování obilnin, v některých případech dosahuje toto využití až 60 % veškerých ploch využívaných pro setí (Vaněk et al. 2016).

Vzhledem k tomu, že lidská populace roste a v důsledku toho roste i spotřeba potravin, musí být produkce plodin do roku 2050 zintenzivněna asi o 70 % a do roku 2100 zdvojnásobena nebo ztrojnásobena, aby se zajistila potravinová bezpečnost lidí. Průzkum možností zvýšení produkce rostlin a efektivního využití dusíkatých hnojiv bez ohrožení životního prostředí je důležitou výzkumnou oblastí (Tabak et al. 2020).

### 3.1 Pšenice ozimá

Pšenice ozimá patří mezi nejvíce pěstovanou obilninu v České republice, a to stejné platí v rámci celého světa. Velká část produkce pšenice se využívá jako krmivo, ale větší část osevních ploch se pěstuje za účelem dosažení potravinářské kvality a tím pádem na našem území se více pěstují odrůdy, které mají jakost skupiny A a E (Zimolka et al. 2005). Pšenice je celosvětově druhá nejvíce pěstovaná obilnina a její velikost pěstebních ploch se pohybuje okolo 200 milionů ha (Zörb et al. 2018). Na území České republiky obilniny zaujímají přibližně 780 tisíc hektarů s průměrným výnosem, který v roce 2023 byl kolem 6,6 t/ha (Ministerstvo zemědělství 2023).

Pšenice je jednou ze tří obilovin (kromě rýže a kukuřice), které jsou nejdůležitějšími zdroji potravy pro lidi, a jejichž celosvětová spotřeba představuje více než 90 % celkové spotřeby obilovin (Tabak et al. 2020).

#### 3.1.1 Vegetativní orgány pšenice

Mezi vegetativní orgány pšenice patří stéblo, listy a kořen. Listy jsou přisedlé a skládají se z čepele a pochvy. Jazyček je krátký a po stranách vroubkovaný, nachází se na místě, kde se spojuje pochva a čepel listu. Ouška jsou malá a trichomy se na nich nacházejí řídké. Mohou být i holá. Na prvních listech ouška nebývají plně vyvinutá a tvoří se na nich pouze rudimenty. Na posledním listu ouška většinou zasychají (Zimolka et al. 2005). Poslední vyvinutý list je důležitý pro asimilaci dusíku a slouží jako hlavní zdroj aminokyselin transportovaných do rozvíjejících se zrn (Zörb et al. 2018).

Radicula prorůstá oplodím, vytvářející primární kořínek. Zároveň se také objevují kořeny vedlejší neboli adventivní kořeny. Když se koleoptile objeví nad povrchem půdy a je vystavena světlu, tak její růst zpomalí, zatímco u prvního zeleného listu, který se nachází uvnitř, začne intenzivní růst. Při tvorbě prvních listů se pod povrchem půdy zakládá odnožovací uzел, který je základem pro budoucí klas a odnože.

Ve vývoji pšenice z vegetativního období na generativní období začíná tvorba stébla s kláskovými hrbolky na vzrostném vrcholu. Stéblo je duté a směrem od báze ke klasu se zužuje. Skládá se obvykle z pěti článků neboli internodií, která jsou oddělena kolénky. Nejkratším internodiem na stéble je článek, který se nachází nejspodněji a nejdelším je článek, který je jako poslední a nachází se těsně pod klasem (Zimolka et al. 2005).

### 3.1.2 Generativní orgány pšenice

Mezi generativní orgány pšenice se řadí květenství, které je v podobě složeného klasu. Osou klasu je vřeten, na které svou bází přisedají klásky pšenice. Plod pšenice se nazývá obilka a skládá se ze tří částí: obaly, endosperm (jádru) a embryo neboli zárodek. Obaly obilky jsou tvořeny oplodím a osemením. Tyto vrstvy k sobě těsně přiléhají. Pod osemením se nachází aleuronová vrstva buněk, ta je umístěna těsně k endospermu. Buňky, které se v endospermu nachází mají při příčném řezu nepravidelný trojúhelníkový až mnohoúhelníkový tvar a jsou naplněny škrobem. Škrobová zrna jsou soustředěně vrstevnatá, mohou se lišit v jednotlivých velikostech a mají čočkovitý tvar (Zimolka et al. 2005).

### 3.1.3 Růst a vývoj pšenice

V průběhu vegetačního období rostliny procházejí sérií vývojových změn, na které rostlina reaguje prostřednictvím morfologických a anatomických změn. Pro hodnocení vnějších charakteristik se využívá makrofenologická stupnice, zatímco mikrofenologická stupnice podle Kupermanové zachycuje organogenezi vzrostného vrcholu s ohledem na stupeň diferenciaci klasu. Některé agrotechnické postupy, jako je aplikace dusíkatých hnojiv a použití regulátorů růstu, jsou vázány na specifické fáze růstového cyklu rostlin. Nástup těchto fází je detekován tehdy, když 50-70 % rostlin v porostu dosáhne určitého stádia (Faměra 1993).

Růst a vývoj pšenice lze rozdělit na dvě základní období, vegetativní a generativní. Do vegetativní fáze se řadí klíčení, vzcházení a odnožování. Do generativní fáze naopak sloupkování, metání, kvetení a zrání.

Pšenice má několik etap vývoje, které popisují organogenezi vzrostného vrcholu obilnin. V první etapě není vzrostný vrchol diferenciován a je polokulovitého tvaru. Jeho velikost se pohybuje od 0,3 do 0,6 mm, začínají se tvořit listy. V druhé etapě dochází k prodlužování vzrostného vrcholu a jeho velikost se pohybuje kolem 0,5 až 0,8 mm. Začínají se rozlišovat jednotlivá pletiva, která jsou základem pro stébla, kolénka a listy. Ve třetí etapě dochází k prodlužování vrcholu a rýhování. Dochází k vytváření základů pro budoucí listy. Vzrostný vrchol může mít velikost od 0,7 do 1,5 mm a slouží jako základ pro budoucí klas. Ve čtvrté etapě se formují kláskové hrbolky a dochází ke zplošťování vzrostného vrcholu. Dochází také k oddalování kolének a rostlina přechází z fáze vegetativní do fáze generativní. V páté etapě se formují květy a dochází k jejich diferenciaci. Šestá etapa je spojena se sloupkováním rostliny, začínají se diferenciovat prašníky a pestíky. Tvoří se obaly pšenice jako jsou klásky a kvítky. V poslední etapě se dokončuje formování pohlavních orgánů. (Zimolka et al. 2005)

### 3.1.4 Botanická charakteristika

Pšenice ozimá patří mezi jednoleté trávy, které mají květenství stažené v lichoklas. Klásky obsahují 2-5 květů, jsou bezosinné a některé kulturní formy mají osiny křivé (Novák & Skalický 2017). Pšenice zpravidla mívá 1-4 plodných klasů (Zimolka et al. 2005). Obilky pšenice jsou nahé, válcovitého tvaru a mají červenohnědé zbarvení (Novák & Skalický 2017).

Základní počet chromozomů u pšenice je  $n=7$  a rod *Triticum* L. zahrnuje diploidní stav pšenice ( $2n=14$ ), kam patří například pšenice planá jednozrnka (*Triticum boeoticum* (Boiss.) Schiem), která má úzký a plochý klas, ve zralosti se rozpadá. Klásky jsou pouze dvoukvěté a plodný je převážně jen ten spodní. Do skupiny diploidních se řadí také pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum* L.), která má také úzký klas, ale méně rozpadavý.

Větší význam z pěstitelského hlediska má tetraploidní skupina pšenic ( $2n=28$ ). Do této skupiny patří například pšenice planá dvouzrnka (*Triticum dicocoides* L.), pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoceum* L.), pšenice naduřelá (*Triticum turgidum* L.), pšenice polská (*Triticum polonicum*) nebo pšenice tvrdá (*Triticum durum*). Pšenice tvrdá má nelámaný klas s osinami, které často přesahují délku samotného klasu. Obilky jsou sklovité a neochmýřené, mají trojhranný tvar s vpadlým klíčkem.

Z pěstitelského hlediska je nejvýznamnější hexaploidní skupina ( $2n=42$ ). Do této skupiny patří pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) a pšenice špalda (*Triticum spelta* L.). Klas pšenice špaldy je lámavý, dlouhý a hodně řídký. Klásky obsahují čtyři květy, ale z toho pouze dva plodné. Obilky jsou pevně obaleny pluchami. Pšenice setá má oproti pšenici špaldě nelámaný klas, který může být osinatý nebo bezosinný a různě hustý. Plevy a pluchy jsou vejčitého nebo podlouhle vejčitého tvaru a mají zřetelný kýl. Obilky pšenice seté jsou nahé a buclaté. Mají mírně vystouplý klíček a jsou ochmýřené na protilehlé straně. V České republice se nejvíce pěstují odrůdy, které patří do variety *lutescens*, jež je charakteristická bezosinným nebo osinatým klasem bílé barvy (Zimolka et al. 2005).

V dnešní době se hojně pěstuje pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) jako potravina nebo krmivo, avšak dříve se více pěstovaly pšenice špalda (*Triticum spelta* L.), pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum* L.), pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoccon*) anebo pšenice shloučená (*Triticum compactum*). V teplejších oblastech na našem území se pěstuje i pšenice tvrdá (*Triticum durum*) (Novák & Skalický 2017).

### 3.2 Faktory ovlivňující výnos

Mezi výnosové prvky obilnin se řadí počet klasů na jednotku plochy, počet rostlin, počet zrn v klasu, počet klásků a hmotnost 1000 zrn (Faměra 1993).

Pro zvýšení využití výnosového potenciálu odrůd ozimé pšenice se využívá aplikace biologicky aktivních látek-regulátorů růstu. (Zimolka et al. 2005). Regulátory růstu rostlin jsou přírodní nebo syntetické sloučeniny, které ovlivňují vývoj nebo metabolismus vyšších rostlin. Mezi přírodní růstové regulátory patří kyselina abscisová, giberilin, cytokinin, kyselina salicylová nebo etylen. Přírodní regulátory růstu jsou nepříliš časté, což znemožňuje uspokojení potřeb současného zemědělství prostřednictvím extrakce rostlin. Navíc je výroba přírodních regulátorů růstu prostřednictvím biosyntézy omezena složitou technologií. Od minulého století chemici syntetizovali řadu fytohormonálních analogů z více dostupných sloučenin modifikací rodičovské struktury nebo novou syntézou nových přírodních regulátorů růstu (Yan et al. 2024).

Existují tři hlavní přístupy k využití regulátorů růstu v pěstování ozimé pšenice. Prvním z nich je aplikace v rané fázi růstu na podzim, s cílem zvýšit odolnost proti zimním podmínkám (Horčíčka et al. 2017). Významným faktorem je uplatňování regulátorů růstu na ozimou pšenici v podzimním období, aby došlo k vyrovnání odnoží a rozvoji kořenového

systemu (Zimolka et al. 2005). Druhý přístup spočívá v časně jarní aplikaci, která je zaměřena na omezení rizika polehnutí porostu. Pro časně seté porosty, které vykazují přerůstání, se zvláště doporučuje aplikace chlormequat-chloridu (CCC) s cílem zvýšit jejich odolnost vůči mrazu a zlepšit přezimování rostliny (Horčíčka et al. 2017). Chlormequat má inhibiční účinek na biosyntézu kyseliny gibberelové u ozimé pšenice. V důsledku aplikace chlormequatu pozorujeme zvýšenou koncentraci cytokininů, což vede k podpoře tvorby adventivních kořínků a posílení procesu zakořenění rostlin (Zimolka et al. 2005). Morforegulátory růstu, které jsou zaměřené na omezení poléhání rostliny se aplikují v pozdější fázi růstu rostlin. K této činnosti jsou k dispozici různé produkty obsahující účinné látky, jako je například chlormequat-chlorid, trinexapac-ethyl, etephon, prohexadion nebo mepiquat (Horčíčka et al. 2017).

### **3.2.1 Biostimulanty růstu**

Pokud dojde k narušení optimálních vláhových a teplotních podmínek pro efektivní příjem živin z půdy, tak dochází k situaci, kdy by mělo dojít k zavedení podpůrné mimokořenové výživy rostlin s využitím odpovídajících listových hnojiv. V případech půd bohatých na živiny, avšak s pravidelnými obdobími sucha, výkyvy teplot nebo výskytem jejich abiotických stresů, je vhodné přistoupit k preventivnímu opatření. Toho lze dosáhnout předem připravenými opatřeními na posílení odolnosti rostlin vůči budoucím poruchám v jejich růstu a výživě, a to prostřednictvím vhodných biostimulantů růstu (Javor et al. 2023).

Společné složky biostimulantů růstu zahrnují huminové látky, minerální prvky, aminokyseliny, chitin, chitosan, vitamíny, polysacharidy a oligosacharidy. Biostimulanty se liší ve svém složení a ingrediencích, ale hlavní klasifikace je na základě zdroje a obsahu, což zahrnuje produkty obsahující hormony, aminokyseliny a huminové látky.

Různé látky, jako jsou enzymy, mikroživiny, proteiny, aminokyseliny, fenoly, huminové a fulvinové kyseliny, salicylová kyselina, proteinové hydrolázy a další sloučeniny, jsou zdrojem biostimulantů. Navíc živé organismy, jako jsou bakterie a houby, které mohou vyvolat změny mezi organismy přítomnými v rostlině nebo půdním systému, jsou zahrnuty do skupiny biostimulantů.

Biostimulanty se aplikují prostřednictvím aplikace do půdy ve formě granulí, prášků, kapslí či roztoků, nebo jako aplikace postřiku na listy. Navíc je lze aplikovat pomocí fertigace prostřednictvím zavlažovacích systémů (Bashir et al. 2021).

### **3.2.2 Podmínky zajišťující růst a vývoj**

Podmínky, které zajišťují růst a vývoj rostliny se nazývají vegetační faktory. Tyto faktory se dají rozdělit do dvou skupin, a tím jsou vnější a vnitřní podmínky. Vnitřní faktory jsou určeny genetickými vlastnostmi pěstovaných rostlinných druhů a jednotlivých odrůd. Vnější faktory jsou dány prostředím, ve kterém se daná rostlina pěstuje. Mezi nejdůležitější vnější faktory patří světlo, teplota, časoví činitelé, prostoroví činitelé a hmotní činitelé.

Při dostatečném přísunu sluneční energie se vytváří chlorofyl, díky němuž může fungovat fotosyntéza. Dochází tak k redukci oxidu uhličitého a sluneční energie se přeměňuje do sacharidů, které fungují jako zdroj energie pro rostlinu (Vaněk et al. 2012). Fotosyntetické

produkty jsou hlavním zdrojem biomasy plodin. Zlepšení fotosyntézy na úrovni jednotlivého listu by tedy v principu mělo vést k nárůstu akumulace biomasy.

Rostliny jsou v průběhu svého života vystaveny různým stresům, jako je sucho, nedostatek živin a stres způsobený patogeny. Proto je důležité dále porozumět fotosyntéze a reakci na stresy pro zvýšení produkce v zemědělství. Zvýšení zemědělské produkce po celém světě do 19. let 20. století významně přispělo aplikací dusíkatých hnojiv. Hlavním důvodem je to, že dusík je jedním z nejdůležitějších prvků pro růst a vývoj rostlin jako součást aminokyselin, proteinů, buněčných stěn, membrán a nukleových kyselin (Mu & Chen 2021).

Na teplotě závisí všechny životní pochody, jako jsou enzymové reakce, transpirace rostlin, příjem živin nebo biologické procesy v půdách. Teplota ovlivňuje jak asimilaci, pro které je optimum od 25 °C do 30 °C, tak disimilaci. Disimilace je proces, během kterého se opět energie uvolňuje a zásobuje tak rostlinu.

Mezi časové činitele patří délka dne a délka vegetační doby. Je proto nezbytné respektovat genetické vlastnosti rostliny pro úspěšné pěstování.

Prostorové činitele reprezentují rozmístění rostlin na ploše. Tato charakteristika je dána vzdáleností řádků a vzdáleností rostlin v řádku. Porost, který má ideální počet rostlin a pravidelné rozmístění, vykazuje lepší výsledky.

Mezi hmotné činitele se řadí všechny vnější faktory, které ovlivňují rostlinu. Patří sem zejména podmínky atmosféry, a tím pádem složení ovzduší, cirkulace vzduchu a půdní vlastnosti (Vaněk et al. 2012).

Jedním z omezených faktorů pro růst rostlin je pH půdy, které kromě povětrnostních podmínek významně ovlivňuje jejich vývoj. Na půdách s horšími charakteristikami, zejména v obdobích nedostatku srážek, je pH klíčové pro růst kořenů, přičemž nižší pH může způsobovat toxicitu hliníku. Tato toxicita je zvláště významná, protože koncentrace hliníku v půdě roste se snižujícím se pH. Paralelně s omezením růstu kořenů klesá také růst nadzemní biomasy. Vědecké studie ukazují, že se snižuje i schopnost kořenů přijímat živiny, jako je draslík, který je klíčový pro regulaci vodního hospodářství rostlin a transport živin. Tento jev zahrnuje také další prvky, jako jsou fosfor, hořčík, vápník a dusík (Černý et al. 2020).

Rostlina má dva hlavní fyziologické mechanismy pro transport energie: xylém a floém. Xylém, známý také jako cévní svazky, transportuje vodu a rozpuštěné látky z kořenů do listů, umožňující tak pohyb živin směrem nahoru v rostlině. Naopak floém, který tvoří cévní trubice, přenáší organické sloučeniny, jako jsou cukry a aminokyseliny, z listů do kořenů a dalších částí rostliny. Dusík aplikovaný do půdy je hlavně přenášen pomocí xylému, který ho transportuje z kořenů do listů, kde je využíván při procesu fotosyntézy a syntéze proteinů. Nitráty ( $\text{NO}_3^-$ ) a aminokyseliny jsou příklady živin přenášených xylémem z kořenů do listů. Floém umožňuje i opačný transport dusíku a dalších živin, což je důležité pro redistribuci živin v rostlině (Leghari et al. 2016).

### **3.2.3 Vliv osevních postupů a agrotechnických opatření na produkci plodin**

V zemědělské produkci jsou osevní postupy vždy jedním z hlavních agrotechnických opatření, která přispívají k zvýšení produkce plodin. Z cizí i domácí literatury vyplývá, že farmy používají vysoký podíl obilovin a podíl kořenových plodin klesá. V osevních postupech se používají obiloviny po obilovinách, v lepším případě po olejních plodinách.

S vyšším podílem obilovin se očekává pokles výnosu zrna. Obecně jsou důvody poklesu výnosu zrna v poškození způsobeném houbovými chorobami, silnějším zamořením plevely, degradací struktury půdy a negativními vlivy na vodní a vzdušný režim. Dalšími důvody jsou horší rovnováha humusu v půdě a dodávka živin (Babulicová 2014).

### 3.3 Rostlinné živiny

Rostliny mají různé složení, ale voda je klíčovou složkou, jejíž množství závisí na druhu a věku rostliny. Po odstranění veškeré vody sušením při 105 °C zůstává sušina, která je důležitá pro výživnou hodnotu rostlin. Sušina je tvořena zejména organickými látkami, jako jsou sacharidy (cukry a škroby), tuky a bílkoviny (Kalina 2005).

Rostlinné živiny jsou rostlinami nepostradatelné, nelze zastoupit jednu živinu jinou živinou, zapojují se přímo do metabolismu rostlin. Absence jedné živiny ovlivňuje tvorbu významných látek, jako jsou bílkoviny, sacharidy, lipidy a jiné látky, které jsou pro rostliny důležité. Ovlivňuje se tak kvalita produkce, ale i růst a deformace orgánů rostlin (Vaněk et al. 2012).

Ozimá pšenice patří do skupiny rostlin se střední potřebou živin (Zimolka et al. 2005). Její průměrný odběr živin na 1 t zrna s adekvátním množstvím kořenů a slámy je znázorněn v tabulce 1. Kořenový systém ozimé pšenice může do zimního období dosahovat hloubky od 0,7-1,0 m. Významnou úlohu hraje vrstva kořenového systému do 0,4 m, proto je důležité zajistit, aby v podzimních měsících měla rostlina dostatečnou zásobu živin v půdě. Odběr dusíku na podzim bývá do 12 % z celkového odběru. Nejvyšší odběr dusíku se děje na jaře a než začne období sloupkování, rostlina má odebráno okolo 40 % dusíku a do konce kvetení 30 %. Rostliny po odkvětu relativně snižují své požadavky na dusík, protože dochází k jeho přemístování z jiných částí rostliny do tvořících se zrn (Zimolka et al. 2005).

	N	P	K	Ca	Mg
Pšenice ozimá	22-26	4,4-6,2	16,6-21	2,8-5,7	1,2-3

Tabulka 1 Střední odběry živin u pšenice ozimé v kg na 1 t zrna (Vaněk et al. 2016).

#### 3.3.1 Příjem živin rostlinami

Existují tři různé způsoby, jak jsou živiny přijímány rostlinami. Jedná se o hmotnostní tok, difúzi a zachycení kořeny (Leghari et al. 2016). Živiny přijímají ve formě iontů a jejich příjem je ovlivňován jak vnitřními, tak vnějšími vlastnostmi (Kalina 2005).

Samotný proces příjmu živin rostlinami má několik fází. První fází je přísun živin do prostředí blízkosti kořenů, dále živiny pronikají do volného prostoru buněk kořenů, vstupují do vnitřního prostoru buněk kořenů a dále také zahrnuje celkový transport živin v rostlině (Vaněk et al. 2016). Rostlina přijímá živiny, které se nacházejí v blízkosti jejích kořenů neboli v rhizosféře. Do rhizosféry se dostávají zejména třemi způsoby – pohybem půdního roztoku, difúzí a růstem kořenů (Kalina 2005).

Je zřejmé, že pouze živiny, které jsou v rhizosféře, mohou být využity pro výživu rostlin. Tyto živiny se vyskytují v podobě rozpuštěných iontů v půdním roztoku a k jejich transportu ke kořenům rostlin dochází pohybem půdního roztoku, což se označuje jako hmotový tok.



Tento proces umožňuje dodávání iontů, jako jsou například  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a  $\text{NO}_3^-$ . Tyto ionty se v půdním roztoku nacházejí ve velkém množství (Vaněk et al. 2016).

### 3.3.2 Mimokořenová výživa

Rostliny mohou absorbovat živiny prostřednictvím všech svých nadzemních orgánů, včetně listů, stonků a květů, a u stromů také větvemi a kmenem. Mechanismus příjmu živin nadzemními orgány je podobný jako u kořenů, ale má několik zvláštností (Vaněk et al. 2016.).

### 3.3.3 Rozdělení živin

Rostlinné živiny se dají rozdělit na několik skupin. První skupinou jsou makroprvky, kam patří zejména dusík, fosfor, draslík, ale také uhlík, kyslík, vodík, vápník, hořčík nebo síra. Tato skupina je v rostlinách nejvíce zastoupena, jedná se o desetiny až desítky procent. Druhou skupinou jsou mikroprvky, kam patří železo, mangan, zinek, měď, bor, molybden, chlor a nikl. Tato skupina živin se v rostlinách vyskytuje většinou do 0,05 %. Poslední skupinou jsou prvky užitečné. Tyto prvky se v rostlinách vyskytují hojně a často dosahují i vysokých hodnot, ale specifické pro ně je, že mohou být pro některé rostliny postradatelné. Patří sem například sodík, hliník a křemík (Vaněk et al. 2012).

### 3.3.4 Dusík

Dusík společně s uhlíkem patří mezi nejdůležitější prvky koloběhu látek v přírodě. Tento prvek je nepostradatelný nejen pro rostliny, ale také pro živé organismy. Je také součástí bílkovin, které se řadí mezi základní stavební látky (Vaněk et al. 2016). Dostupnost dusíku má vliv na celý vývoj plodiny. Ovlivňuje vzházení semenáčků, odnožování, vývoj koruny i plnění zrna, přičemž všechny tyto faktory mohou ovlivnit konečný výnos a společně určují požadavky plodiny na dusík (Hawkesford 2014).

#### 3.3.4.1 Formy dusíku

Mezi nejvíce stabilní formy dusíku se řadí pevná forma tohoto prvku, která se podílí z velké části na celkové bilanci dusíku. Tento prvek je nejvíce zastoupen v litosféře, kde činí až 98 % z celkového zastoupení, zbývající 2 % se nacházejí v atmosféře a jen velmi zanedbatelné množství v hydrosféře a biosféře (Balík et al. 2012).

Běžný obsah dusíku v půdě se pohybuje v rozmezí od 0,1 % do 0,2 %, což v přepočtu na jeden hektar vychází na 3000 – 6000 kg dusíku. Frakce tohoto prvku v půdě se dají rozdělit na minerální dusík a organický dusík, který z většiny převažuje. Organický dusík je tvořen živočišnými a rostlinnými zbytky a pro rostliny je nedostupný. Musí tak projít mineralizací na  $\text{N-NH}_4^+$  a dále na  $\text{N-NO}_3^-$  (Vaněk et al. 2016).

#### 3.3.4.2 Mineralizace

V půdě se organicky vázaný dusík obsažený v různých typech hnojiv, jako jsou organická, organominerální nebo statková hnojiva, uvolňuje a přechází do forem, které mohou být rostlinami využity. Tento proces však může být doprovázen ztrátami dusíku,

například vyplavením. Rychlost rozkladu organických sloučenin a uvolňování dusíku je především ovlivněna poměrem uhlíku k dusíku (Klír et al. 2008).

Mikrobiální biomasa v půdě, tvořící polovinu extrahovaných organických látek, je klíčovým zdrojem lehce mineralizovatelného dusíku. Představuje významnou zásobu mineralizovatelných látek, které konkurují o živiny pro rostliny, zejména dusík, fosfor a síru, a jsou úzce spojeny s mineralizovatelnou organickou hmotou, ovlivňující bilanci živin v půdě (Balík et al. 2012).

Jedná se o proces amonifikace, ve kterém jsou organické sloučeniny přeměňovány na amoniak. Mineralizace je ovlivňována několika faktory. Teplota během tohoto procesu by se měla pohybovat kolem 30 °C, avšak když dojde k poklesu teploty jen o 10 °C, tak se intenzita mineralizace snižuje o polovinu. Dále nejvíce mineralizaci ovlivňuje změna vlhkosti, provzdušnění, pH půdy, místo uskutečnění mineralizace nebo i půdní druh. Během sucha vzniká vyšší riziko ztrát dusíku volatilizací (Vaněk et al. 2016).

Během mineralizace dochází k uvolňování  $\text{NH}_3$  z organických látek dusíkatých sloučenin, který v prostředí obsahující vodu přijímá proton a přeměňuje se na  $\text{NH}_4^+$ .

Za příznivých podmínek pro mineralizaci mají rostliny k dispozici dostatečné množství minerálního dusíku, často více než po aplikaci dusíkatých hnojiv. V období sucha je obecně nutné zvýšit dávky dusíkatých hnojiv i na půdách s vysokou biologickou aktivitou a úrodností, a to s preferencí hnojiv typu LAV (stejně jako v chladnějším období). Naopak ve vlhčím a teplejším počasí je možné snížit dávky dusíku s výjimkou velmi lehkých půd (Černý et al. 2011).

#### 3.3.4.3 Volatilizace

Volatilizace je proces, během kterého vznikají ztráty dusíku na základě těkání amoniaku z povrchu půdy anebo jejích vrchních vrstev (Černý et al. 2011). Je to způsobeno nedostatečnou vlhkostí na půdním povrchu. Jedná se především o suché oblasti s vyšší teplotou a nedostatkem vody k zavlažování. Vysoká teplota zvyšuje transpirační rychlost a zvyšuje potřebu vody v kořenové zóně, což vede k suchým podmínkám v okolí rostlin. Dusík uniká do atmosféry ve formě plynného amoniaku ( $\text{NH}_3$ ). Rychlá volatilizace snižuje účinnost využití dusíku rostlinami. Pro odolání v takových situacích by mělo být použito malé množství zavlažování, aby se udržovala nepřetržitá reakce rostlin na dusík (Leghari et al. 2016).

Po aplikaci organických hnojiv, která mají vyšší podíl amonné formy dusíku (jako je kejda, močůvka, čistírenský kal i hnůj), dochází k volatilizaci na povrchu půdy. Způsob a rychlost, jakými jsou tato hnojiva zapravena, jsou klíčové zejména v prvních hodinách po aplikaci. Stejně tak je dusík volatilizován při povrchové aplikaci minerálních hnojiv obsahujících amoniak (např. močovina) (Černý et al. 2011).

#### 3.3.4.4 Nitrifikace a denitrifikace

Na půdách, které jsou biologicky činné je  $\text{NH}_3$  oxidován nitrifikací. V tomto procesu je za pomoci autotrofních organismů amonný dusík oxidován až na  $\text{N-NO}_3^-$ . Nitrifikace je velmi ovlivňována vnějšími podmínkami jako je vlhkost a teplota. Vyžaduje teplotu, která se pohybuje od 25 °C do 30 °C, dostatek vzduchu a slabě kyselé až mírně alkalické půdy (Vaněk et al. 2016).

Proces nitrifikace hraje významnou roli v mnoha typech půd a ekosystémů, jelikož přeměňuje relativně neaktivní amonnou formu dusíku na vysoce mobilní dusičnanovou formu. Tímto procesem se dusík stává dostupným pro rostliny jako důležitý živinný zdroj, avšak zároveň zvyšuje riziko jeho ztráty v důsledku vyplavování a denitrifikace. Rychlost nitrifikace je také ovlivněna typem použitého hnojiva. Dusík dodávaný ve formě amonných síranů je nitrifikován pomaleji, zatímco močovina je nitrifikována velmi rychle. Průběh nitrifikace močoviny podobným způsobem jako dusičnanu amonného je pozorován během relativně krátké doby (5-7 dní). Některá hnojiva obsahující močovinu obsahují inhibitory nitrifikace, avšak je důležité poznamenat, že jejich účinnost je také ovlivněna meteorologickými podmínkami. Zvláště za teplého a suchého počasí mohou tyto inhibitory paradoxně snížit účinnost využití dusíku z močoviny, zejména pokud je aplikován na povrch půdy a dochází ke ztrátám dusíku volatilizací amoniaku (Černý et al. 2011).

Opačným procesem je denitrifikace. Během denitrifikace jsou nitráty redukovány na oxidy dusíku za přítomnosti organických látek. Pro uskutečnění denitrifikace je žádoucí nedostatek kyslíku v půdě, nitráty a lehce rozložitelné organické sloučeniny (Vaněk et al. 2016).

Proces denitrifikace probíhá mezi teplotami 25–30 °C a při hodnotách pH 6-8. Hlavním cílem je minimalizovat obsah nitrátů v půdě, zejména koncem vegetačního období a mimo vegetační sezónu, kdy hrozí riziko zvýšeného obsahu vody v půdě a tím omezení obsahu kyslíku. Volné nitráty v půdě mohou být využity ozimou plodinou v podzimním období, ale pokud má následovat jarní plodina, je vhodné snížit ztráty nitrátového dusíku pomocí zeleného hnojení, což platí i pro snížení ztrát dusíku vyplavením v mimovegetačním období. Mikroorganismy nevyužívají nitrátový dusík, protože jeho příjem je energeticky náročný. Převažující je využívání amonné formy dusíku. Ztráty dusíku denitrifikací jsou vyšší při hnojení nitrátovou formou dusíku, zejména v podzimním období. Intenzita denitrifikace stoupá s koncentrací nitrátů v půdě, což může způsobit ztrátu až 40 % dusíku z aplikovaných dusičnanových hnojiv (Černý et al. 2011).

#### 3.3.4.5 Koloběh dusíku

Koloběh dusíku je biochemický proces, který probíhá v rhizosféře obilnin. Zahrnuje přeměnu atmosférického dusíku na organický dusík, který je tak přístupný živým organismům a následně je vrácen zpět do atmosféry (Guo et al. 2023). Atmosférická fixace dusíku probíhá, když obrovská energie blesků rozkládá  $N_2$  na oxid dusičitý ( $NO_2$ ) a poté ho kombinuje s kyslíkem, vytvářející dusičnan ( $NO_3$ ), který je společně s deštěm dopravován do země. Tato fixace dusíku přispívá malým množstvím prvku (Leghari et al. 2016).

Neschopnost mnoha plodin, jako jsou obilniny, využívat přímo volně dostupný dusík v atmosférickém plynu znamená, že jejich růst a produkce často závisí na aplikaci chemických hnojiv, což vede k emisím skleníkových plynů a eutrofizaci vody. Naopak luštěniny získávají přístup k dusíku prostřednictvím symbiotického vztahu s rhizobii. Tyto bakterie přeměňují dusíkový plyn na biologicky dostupný amoniak v uzlinách prostřednictvím procesu nazývaného symbiotická biologická fixace dusíku, která hraje rozhodující roli ve fungování ekosystému (Guo et al. 2023).

Z celkového dusíku, který je velmi pevně vázán je pouze malá část (2,5 %) obsažena v přístupných formách, které mohou snadno podléhat přeměnám. Důležitým zdrojem

N je také organická hmota, která se nachází v půdě. Ke zpřístupnění těchto forem dochází především až rozkladnými procesy, mezi které patří mineralizace a nitrifikace. Rostliny také mohou z části využívat vzdušný dusík fixovaný mikroorganismy. Mezi tyto procesy patří fixace symbiotickými bakteriemi a fixace volně žijícími mikroorganismy v půdě (Balík et al. 2012).

Symbiotické bakterie žijí nejčastěji v symbióze s bobovitými rostlinami. Jedná se o rod *Rhizobium*, který hostujícím rostlinám poskytuje fixovaný dusík ve formě amoniaku a rostliny bakteriím na oplátku předávají energii a živiny. Vlivem těchto mikroorganismů se tvoří na kořenech rostlin tzv. hlízky, kde mikroby fixují  $N_2$ . Proces fixace se děje na základě enzymu nitrogenázy. Tento enzym se skládá ze dvou složek. Z bílkovinné složky, která obsahuje čtyři atomy železa a čtyři atomy síry a jejím úkolem je předávat energii druhé složce. Druhá větší část zajišťuje vlastní redukci atmosférického dusíku a obsahuje dva atomy molybdenu a až třicet atomů železa a síry.

Volně žijící mikroorganismy se rozdělují na aerobní a anaerobní organismy, které žijí v půdě. Mezi aerobní organismy se řadí například *Azotobacter chroococcum* a anaerobní *Bacillus amylobacter*. Tyto bakterie potřebují k fixaci dusíku dostatek energie, která je jim poskytována prostřednictvím snadno rozložitelných organických látek. Nejvíce rozšířenou bakterií je *Azotobacter*, který dokáže poutat 9-20 mg dusíku na jeden gram energetického materiálu, kdežto u jiných rodů bakterií se jedná o podstatně menší množství. Množství je však ovlivňováno půdními podmínkami, mezi které patří pH půdy, množství organických látek nebo biologická činnost. Volně žijícími mikroorganismy je běžně fixováno 10 kg N/ha za rok. V našem prostředí se jedná okolo 5 kg N/ha za rok (Vaněk et al. 2012). Hnojení organickými hnojivy má klíčový význam pro podporu růstu a aktivity bakterií rodu *Azotobacter*. Tato hnojiva, zejména hnůj a komposty, zvyšují úrodnost půdy tím, že zlepšují obsah organické hmoty v půdě a podporují aktivitu mikroorganismů. Tímto způsobem přispívají k lepším biologickým vlastnostem půdy (Mikanová & Šimon 2013).

Do koloběhu se také řadí dusík, který do procesu vstupuje prostřednictvím srážek, prachu, odumřelých částí rostlin nebo mikroorganismů. Patří sem také zráty, které vznikají vyplavováním dusíku z půdního profilu nebo ztráty denitrifikací (Balík et al. 2012).

#### 3.3.4.6 Dusík v rostlinách

Dusík zaujímá důležité místo v metabolickém systému rostlin. Všechny životně důležité procesy jsou spojené s bílkovinami, jejichž základní látkou je dusík. Optimální úroveň dusíku zvyšuje fotosyntézu, produkci listové plochy, vegetační dobu, čistou asimilační rychlost, ale také stimuluje růst kořenů. Podporuje odběr využití dalších živin jako je draslík nebo fosfor a celkově kontroluje růst rostliny (Leghari et al. 2016). Průměrné množství dusíku se v sušině rostlin pohybuje obvykle mezi 1 až 3 % (Mikanová & Šimon 2013).

Dusík je rostlinami přijímán jako amonný kationt ( $NH_4^+$ ) nebo nitrátový aniont ( $NO_3^-$ ). Příjem těchto iontů je výrazně ovlivněn pH daného místa. V kyselém prostředí rostlina přijímá více nitrátového aniontu a v neutrálních až alkalických půdách více amonného kationtu. Při nižších teplotách je snížen příjem  $NO_3^-$ . V půdách s biologickou aktivitou naopak převažuje příjem  $NO_4^-$  z důvodu nitrifikace (Vaněk et al. 2016).

Poměr dusíku obsaženého v zrně, vzhledem k celkovému přijatému dusíku je vyjádřen pomocí sklizňového indexu dusíku (NHI). Mezi různými genetickými sadami bylo odhadnuto, že NHI dosahuje hodnoty přes 80 % a projevuje relativně nízkou citlivost na množství dusíku dodávaného pomocí hnojiv (Hawkesford 2014).

Během reprodukční fáze růstu rostlin je obvykle pozorováno snížení aktivity kořenů a příjmu živin. Tento jev vede k zahájení procesů remobilizace, při kterých jsou živiny přesunuty z jiných částí rostliny k reprodukčním orgánům. Více než 50 % dusíku v zrně, důležitého zdroje proteinů pro lidskou výživu, pochází právě z remobilizace dusíku. Remobilizace dusíku má vždy za následek snížení rychlosti fotosyntézy. U pšenice, rostliny typu C3, se v normálních podmínkách asi 38 % celkového dusíku nachází v lamelách listů, asi 18 % v pochvě listu, 27 % ve stonku a 17 % v klasu. Dusík v listech je rozdělen na strukturální, fotosyntetický a rezervní dusík. Přibližně 80 % fotosyntetického dusíku je remobilizováno do zrna po květu v normálních podmínkách, zatímco při nedostatku dusíku je remobilizováno 86 % této formy (Mu & Chen 2021).

#### 3.3.4.7 Nedostatek dusíku

Nedostatek dusíku vede k omezené tvorbě bílkovin, které fungují jako stavební a funkční látky rostliny. Projevuje se omezeným růstem orgánů rostlin, jako jsou listy, stébla nebo lodyhy. Rostliny jsou nižší a celkově slabší, mají nevyrovnané porosty a jsou světleji zabarvené. Omezením růstu listů a tvorby chlorofylu se omezuje také fotosyntéza, která je důležitá při tvorbě biomasy rostliny (Vaněk et al. 2016).

Kvůli nedostatku dusíku dochází u pšenice během fáze odnožování ke snížení počtu odnoží, k redukci stébel a ke zkracování vegetačního vrcholu. Dále se také snižuje počet zrn v klase a s tím i délka samotného klasu. Zrno pšenice má menší hmotnost a negativně ovlivněné technologické charakteristiky (Zimolka et al. 2005).

K odstranění nedostatku dusíku se mohou použít tuhá i kapalná dusíkatá hnojiva. Pro optimální účinnost je vhodné upřednostnit hnojiva ve formě ledkové, například ledek vápenatý, nebo hnojiva založená na dusičnanu amonném, jako je LAV (ledek amonný s vápencem). V kombinaci s postřikem proti plevelům a chorobám je vhodné použít hnojiva jako je močovina nebo DAM 390. Mimořádnou péči je třeba věnovat jednorázové aplikaci, kdy mimokořenová metoda nemusí zajistit dostatek dusíku. Proto se doporučuje zvážit postupné přihnojování nebo kombinaci s tuhými hnojivy. Pro optimální dávky dusíku k přihnojení porostů je důležité využít informace o stanovišti, rostlinách, půdě a celkového porostu (Vaněk et al. 2016).

#### 3.3.4.8 Nadbytek dusíku

Nadbytek dusíku není tak častý jako jeho nedostatek. Projevuje se latentně a rozdílně v závislosti na druhu rostlin a jejich růstové fázi. Nadbytek amonného dusíku působí na omezení vzcházivosti a růstu mladých rostlin. Je třeba dodržet nepřekročení jednorázové dávky dusíku (60 kg N/ha) a odstupu mezi setím a následným hnojením.

V důsledku přijatého dusíku, který se hromadí v okrajích listů může dojít po překročení určité hranice k jejich poškození, zasychání a odumření listu (Vaněk et al. 2012).

### 3.3.5 Fosfor v půdě

Fosfor je pro rostliny velmi důležitý prvek, ale i přesto patří mezi méně přístupné živiny. Většina půd neobsahuje dostatečné množství fosforu dostupného rostlinám (Balemi & Negisho 2012). Fosfor je esenciální makroživina, která hraje důležitou roli ve všech biochemických procesech rostlin, jako je fotosyntéza, dýchání, ukládání energie, buněčné dělení, zvětšování buněk a fixace dusíku. Je také důležitý při klíčení semen, zakládání sazenic, vývoji kořenů, nadzemní části, květů a semen. Navzdory důležité roli, kterou fosfor v půdě pro rostliny představuje, je nedostatek fosforu v půdě nejběžnějším nutričním stresem v mnoha oblastech světa, ovlivňujícím 42 % zemědělské půdy na světě (Muindi 2019).

Rostlinám dostupný fosfor je často hlavní omezující živinou pro jejich růst na většině zemědělských půd. Těžký nedostatek fosforu, převážně v raných růstových fázích, může vést k nevratným změnám ve vývoji a růstu. Takto rostlinou postrádaný fosfor nemusí být napraven ani optimálním přísunem tohoto prvku v pozdějších fázích vývoje.

Po dlouhodobém používání fosforečných hnojiv mohou hladiny fosforu dostupného rostlinám klesnout pod optimální úroveň pro produkci plodin, i když celkový obsah fosforu v půdě zůstává vysoký. Část aplikovaného fosforu je využívána rostlinami a půdními mikroorganismy, přičemž tyto mikroorganismy působí jako zásobník a zdroj fosforu v půdě. Druhá část může být částečně nebo zcela nedostupná rostlinám v důsledku fixace nebo okluze (Nkebiwe et al. 2016).

Množství tohoto prvku v půdě se pohybuje od 0,01-0,15 %, ale jeho převážná část je nepřijatelná pro rostliny. Půdy, které disponují vyšším obsahem organické hmoty, obsahují také více fosforu než půdy s nižším obsahem organické hmoty. Fosfor se v půdě nachází v minerálních a organických formách. Obsah organického fosforu se pohybuje okolo 30–50 % vůči celkovému obsahu fosforu, který se v půdě nachází a velkou část tvoří fyty (Vaněk et al. 2012). Množství organicky vázaného fosforu se v půdách výrazně liší. Rozkládající se rostlinné a živočišné produkty spolu se zemědělskou mikroflórou a faunou poskytují významné zásoby a zdroje organického fosforu v zemědělství (Muindi 2019). Tento fosfor musí následně projít procesem mineralizace, aby ho rostliny mohly využívat (Vaněk et al. 2012).

Mineralizaci lze rozdělit do dvou kroků. Prvním je biochemická mineralizace, ve které se anorganický fosfor uvolňuje pomocí fosfatázových exoenzymů, druhým je mineralizace biologická, ve které se anorganický fosfor uvolňuje z organických materiálů při oxidaci (Muindi 2019).

Minerální formy fosforu se rozdělují na primární fosforečné minerály a sekundární vysrážené a adsorbované fosforečnany. První skupina je tvořena vápenatými sloučeninami, ve kterých se nachází tři molekuly  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  a jedna molekula fluoridu, chloridu nebo hydroxidu vápenatého (Vaněk et al. 2012).

### 3.3.6 Fosfor v rostlinách

Rostliny přijímají fosfor ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně jako  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Způsob, jakým rostliny přijímají jednotlivé formy fosforu, je ovlivněn pH půdy. Optimální hodnota pH by se měla pohybovat v rozmezí od 5,5 7,0 (Vaněk et al. 2012). Pro zvýšenou účinnost příjmu fosforu mohou

rostlinné druhy využívat různé adaptační mechanismy, aby získaly přístup k dříve nedostupným zásobám fosforu v půdě, jako je například změněná morfologie kořenů, vylučování chemických látek do rhizosféry a asociace kořenů s mykorrhizou. Vyšší účinnost příjmu fosforu je obvykle spojena buď s větší velikostí kořenového systému nebo s vyšší mírou příjmu na jednotku délky kořenů (Balemi & Negisho 2012).

Obecně se vnímá, že příjem fosforečného iontu rostlinami probíhá jako přímý důsledek jeho přijímání z půdy kořenovými buňkami. Nicméně u více než 90 % suchozemských rostlin vznikají symbiotická partnerství s mykorrhizními houbami. U těchto rostlin hrají houbovitě hyfy důležitou roli při získávání fosforu pro rostlinu. Mykorrhizy lze rozdělit do dvou hlavních kategorií: ektomykorrhizy a endomykorrhizy. Mykorrhizní symbióza spočívá ve vzájemně prospěšné výměně uhlíku z rostliny za fosfor a další minerální živiny do houby. Přisun fosforu do kořenů kolonizovaných mykorrhizními houbami může být 3 až 5krát vyšší než nemykorrhizních kořenů (Schachtman et al. 1998).

Minerální fosfor, který je přijat, se rychle začleňuje do organických sloučenin a transportuje do oblastí s nejvyšší potřebou, jako jsou mladé listy, vegetační vrcholy, později květy a semena. V generativních orgánech a semenech se nachází nejvyšší obsah fosforu. Semena obsahují fosfor vázaný ve formě fyтину, který slouží jako zásobní látka nejen pro fosfor, ale také pro hořčík (Vaněk et al. 2012).

### **3.3.7 Nedostatek fosforu**

Nejdůležitějším obdobím pro příjem tohoto prvku je právě počátek vegetace. Chladné a suché počasí zhoršuje příjem fosforu, a právě v podzimních měsících nižší biologická aktivita půdy a omezená mineralizace organických sloučenin způsobují omezený příjem fosforu u rostlin (Vaněk et al. 2012). Nedostatek fosforu je způsoben buď nízkým obsahem fosforu v matečných horninách půdy, nebo transformacemi přidaného fosforu do forem, které nejsou pro rostliny dostupné (Muindi 2019).

Nedostatek tohoto prvku nemusí být zprvu viditelný. U rostlin dochází k omezenému růstu jejich kořenů a sníženému odnožování, ke zkracování stébel a slabému vývinu. Listy trpí tzv. hyperchlorofylací způsobenou anthokyany. Jedná se o červenofialové zbarvení listů (Zimolka et al. 2005).

Při odstranění nedostatku fosforu nemusí být ani mimokořenová aplikace účinná, protože fosfor pomalu proniká povrchem listů. Pro mimokořenovou aplikaci jsou k dispozici hnojiva, jako je Amofos nebo kapalná hnojiva Fostim, která obsahují nejen fosfor, ale také dusík. Nejlepším opatřením je však připravení lepších podmínek pro rostliny před zasetím. Jedná se především o zlepšení půdní reakce nebo lze zvýšit obsah organické hmoty v půdě pomocí kombinace klasických stájových hnojiv a zeleného hnojení (Vaněk et al. 2012).

### **3.3.8 Nadbytek fosforu**

Nadbytek fosforu u nás není častým jevem, protože půda dobře udržuje fosfor a jeho koncentrace v půdním roztoku zůstává nízká. V zahraničí, kde je zaznamenáván nepříznivý vliv vysokého obsahu fosforu v půdách na rostliny, je tento nadbytek fosforu často způsoben

vysokým podílem organického fosforu, který se dostává do půdy ze statkových hnojiv. To může mít negativní dopad na zdraví půdy a růst rostlin (Vaněk et al. 2012).

### 3.3.9 Draslík v půdě

Obsah draslíku v půdě se pohybuje okolo 0,4-3,2 %. Malé množství tohoto prvku se nachází v písčitéch a rašelinových půdách. Anorganické sloučeniny obsahují převážnou část draslíku v půdě, zatímco v organických molekulách je jeho výskyt velmi vzácný (Vaněk et al. 2012). Draslík patří mezi důležité živiny a nejhojnější prvky, které se v půdě nacházejí. Obsah tohoto prvku se liší v závislosti na fyzikálně-chemických vlastnostech půdy. Draslík se v půdě nachází ve čtyřech formách: vodorozpustný, výměnný, nevýměnný a minerální. Snadno dostupný nebo vodorozpustný draslík je dominantní frakcí v iniciační fázi, zatímco výměnný a nevýměnný draslík přispívá více v pozdějších fázích rostlin (Lalitha & Dhakshinamoorthy 2014). Draslík není ve srovnání s dusíkem a fosforem vázán v organické hmotě do jakékoli míry a prakticky všechno je spojeno s minerální frakcí. Kromě chemických hnojiv je zvětrávání minerálů draslíku hlavním procesem dodávání draslíku ve formách, které mohou rostliny využít (Fageria 2015).

Draslík přítomný v půdním roztoku jako rozpustný kationt se nazývá vodorozpustný draslík. Tato forma draslíku je pro rostliny snadno přijatelná a relativně neomezená působením kationtových výměnných sil. Draslík ve vodorozpustné formě má pozitivní vztah vůči jílu a prachu a negativní vůči písku. Proto půdy s vysokým obsahem jílu mají více vodorozpustného draslíku (Lalitha & Dhakshinamoorthy 2014). Ideální obsah vodorozpustného draslíku by měl být okolo 20 mg K/L. Vodorozpustný draslík tvoří zpravidla 1-10 % výměnného draslíku (Vaněk et al. 2012).

Výměnný draslík je forma draslíku přítomná v půdě a může být nahrazena kationty neutrálních solí přítomných v půdním roztoku. Tato forma draslíku může tvořit až 90 % z celkového obsahu (Lalitha & Dhakshinamoorthy 2014). Množství výměnného draslíku je vůči celkovému okolo 1-2 %, a nachází se na povrchu koloidních micel nebo na hranách a okrajích mezivrstev a uvnitř vrstev. V rámci kationtové výměnné kapacity by měl tvořit 3 - 4 % sorpce (Vaněk et al. 2012). Nejvyšší obsah výměnného K byl zjištěn u jílové až jílovito – prachovité frakce černých půd, následovaných červenými, fluvialními a lateritovými půdami. Obsah výměnného draslíku byl vyšší v povrchových půdách než v podpopvrchových půdách. Vyšší koncentrace výměnného draslíku v povrchových půdách lze přičítat přidávku K prostřednictvím rostlinných zbytků, hnoje a hnojiv (Lalitha & Dhakshinamoorthy 2014).

Nevýměnný draslík se nachází v primárních minerálech, zejména živcích a slídách, a také v mezivrstvách sekundárních jílových minerálů. Primární minerály, které obsahují K, jsou hlavním potenciálním zdrojem draslíku v půdě. Draslík vázaný v mřížce jílových minerálů může postupně unikat a přejít do výměnné formy za určitých podmínek. V průměru jsou půdy složeny z přibližně 40 % draslíku v živcích, 25 % ve slídách a 28 % v jílové frakci (Prášková & Němec 2016).



### 3.3.9.1 Draslík v rostlinách

Rostliny přijímají draslík ve formě kationtu  $K^+$ . Při nižší koncentraci draslíku v půdním roztoku převažuje jeho aktivní příjem a při vyšší koncentraci převažuje pasivní příjem. Příjem draslíku je ovlivňován vnějšími vlivy jako je teplota, vlhkost a intenzita slunečního záření. Většina obilnin obvykle využívá okolo 100 kg K/ha (Vaněk et al. 2012).

Doba příjmu draslíku se u různých rostlin liší. Nicméně obecně platí, že rostliny vstřebávají většinu svého draslíku v ranějším růstovém stádiu než dusík a fosfor. Experimenty s příjmem draslíku u kukuřice ukázaly, že 70-80 % bylo vstřebáno do doby květu a 100 % bylo vstřebáno tři až čtyři týdny po rozkvetení. Období během tvorby zrna zjevně není kritické pro dodávání draslíku (Prajapati & Modi 2012). Draslík podporuje tvorbu a aktivaci důležitých koenzymů, jako je ATP a NADP<sup>+</sup>, které ovlivňují mnoho důležitých syntetických procesů, například tvorbu cukrů, škrobu, bílkovin a dalších molekul. Má také vliv na fotosyntézu a při dostatečném zásobení draslíkem je pozitivně ovlivněn transport elektronů v tylakoidních membránách chloroplastů. To vede k efektivnější fotoredukci a fosforylaci, čímž se zvyšuje fotosyntéza a produkce energeticky bohatých látek, zejména glukózy (Vaněk et al. 2012).

### 3.3.9.2 Nedostatek draslíku

Projevy nedostatku draslíku se mohou objevit i na pozemcích s jeho dostatkem, a to kvůli špatným podmínkám pro jeho příjem jako je sucho nebo chlad. Při nedostatku se začnou v rostlinách hromadit nízkomolekulární látky-aminokyseliny nebo jednoduché sacharidy a je omezena tvorba látek vysokomolekulárních, kam patří bílkoviny a sacharidy (Vaněk et al. 2012).

Nedostatek draslíku se u rostlin projevuje zkrácenými stébly a během odnožování vytváří velké množství odnoží, což zapříčiňuje jejich keřovitý nebo metlovitý tvar. Rostliny také při nedostatku draslíku špatně přezimují a jsou více náchylné k poléhaní a výskytu houbových chorob (Zimolka et al. 2005).

### 3.3.9.3 Nadbytek draslíku

Stanoviště s nadbytkem draslíku se vyskytují hlavně v okolí skladišť organických hnojiv, například polních hnojišť. Na těchto místech se často používají vysoké koncentrace močovky, kejdy nebo silážních šťáv (Vaněk et al. 2016).

Pokud se rostlina přehnojí draslíkem, může to vést k nadměrnému příjmu tohoto prvku. Tím může být omezen příjem hořčíku, vápníku a manganu (Zimolka et al. 2005). Obvykle dochází jen k poškození na určitých částech rostliny až k úplnému spálení rostlin (Vaněk et al. 2012).

## 3.3.10 Síra

Obsah síry se v půdách, které jsou zemědělsky obhospodařované, pohybuje od 50 do 500 mg na kilogram (Vaněk et al. 2016). Síra se v půdě vyskytuje jak v anorganické, tak organické formě.

V zemědělských půdách se anorganická síra obvykle vyskytuje ve formě síranů a různých oxidačních stavů, jako jsou sulfidy, polysulfidy, siřičitany, thiosírany a elementární síra. V půdách s dobrou půdotvornou strukturou je nejčastější síranová forma.

Organická síra se v půdách dělí na dvě hlavní skupiny a těmi jsou estericky vázaná síra a síra přímo vázaná na uhlík. Estericky vázaná síra není na uhlík přímo vázaná a jedná se především o sulfátové estery, sulfamáty a sulfátové thioglyceridy. Síra, která je přímo vázaná na uhlík, se nachází například v sírných aminokyselinách, disulfidech a sulfonových kyselinách (Kulhánek et al. 2013). Většina síry, která se v půdě nachází je vázaná v organických sloučeninách, které představují až 98 % celkového obsahu tohoto prvku (Vaněk et al. 2016).

U pšenice ozimé je síra vázána na tvorbu biomasy a výnosu, podobně jako je to u potřeby dusíku. V zrně se však akumuluje menší podíl z celkově přijaté síry. K vytvoření jedné tuny výnosu pšenice potřebuje okolo 2-6 kg síry, též označováno jako odběrový normativ. Fyziologická potřeba je však obvykle uváděna mezi 2-3 kg síry na jednu tunu v případě dostatečného obsahu tohoto prvku v půdě. Při srovnání odrůd pekárenské pšenice s ostatními je v zrně pekárenských odrůd obvykle o 10 % více. Tento rozdíl je především způsoben vyšším obsahem bílkovin v zrně (Černý et al. 2020).

#### 3.3.10.1 Příjem síry rostlinami

Síru rostliny přijímají především svými kořeny, a proto je využíváno hnojení do půdy. Mimokořenová výživa se využívá především v pozdějších fázích růstu rostlin. I přesto, že je část síranů asimilována už v kořenech, tak hlavním místem jejich využití jsou chloroplasty, zejména v mladších listech. Aby síra mohla být zabudována do aminokyselin, tak musí projít redukcí, ve které se nejdříve z oxidované formy ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) vytváří redukovaná skupina SH, která se stává součástí cysteinu. Cystein je aminokyselina, která společně se sírou tvoří první stabilní organickou sloučeninu v rostlinných pletivech. Z aminokyseliny cystein jsou pak následně vytvářeny organické sloučeniny, mezi které patří například glutation (GSH) a zejména aminokyselina methionin. Obě tyto aminokyseliny se různými způsoby podílejí na tvorbě peptidů nebo složitějších bílkovin. Může také dojít k dočasnému uložení volných aminokyselin, jako jsou peptidy a bílkoviny, do rostlinných pletiv a při dozrání jsou využívány k tvorbě zásobních látek v zrně.

Síra je rostlinami přijímána především ve formě aniontu ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Černý et al. 2020) a její příjem je celkem málo ovlivňován půdními vlastnostmi a ostatními ionty, které se nacházejí v půdním roztoku. Klíčovým faktorem je obsah síranových aniontů v půdě, do kterého se dostávají z hnojiv, srážek obohacených o oxidaci  $\text{SO}_3^{2-}$  ze vzduchu a z půdních zásob. Síra se postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin, včetně organických látek, a prochází procesem oxidace, končícím vytvořením síranů, které představují hlavní formu síry dostupné pro rostliny (Vaněk et al. 2016). Množství síranů je velmi závislé na výživových podmínkách a při nadměrném přísunu hnojiv se největší zásoba síranů může soustředit v listech. V tkáních, které slouží jako zásobník, například v semenech, je obsah síry ve formách jiných než bílkovin minimální (Grant & Hawkesford 2015).

### 3.3.10.2 Důvody poklesu obsahu síry v půdě

Hnojení sírou je potřebné, jelikož množství síry, které se dostává do půdy ze vzdušných emisí rapidně kleslo. V roce 1990 se jednalo o 1,87 milionu tun  $\text{SO}_2$  (asi 120 kg síry na hektar). Kvůli snížení emisí došlo v roce 1998 k poklesu na 230 tisíc tun ročně, což je asi 15 kg síry na hektar za rok a v letech 2008-2009 dokonce pod 200 tisíc tun.

Mezi další důvody, proč obsah síry v půdě klesá je méně častější používání hnojiv obsahujících síru, jako je například jednoduchý superfosfát a rovněž se do osevních postupů zařazují plodiny, které jsou na obsah této živiny náročné (Kulhánek et. al 2013).

### 3.3.10.3 Nedostatek síry

Nedostatek síry se projevuje nejdříve omezenou syntézou bílkovin, včetně enzymů jako je například nitrátreduktáza. Enzymy, které jsou přijímány, nepřecházejí v dostatečné míře do formy amoniaku. To vede k omezení tvorby primárních zdrojů organických látek obsahujících dusík, jako jsou aminokyseliny a bílkoviny, v rostlinách. Tím pádem se minerální dusík ve formě nitrátů hromadí v pletivech rostlin, aniž by byl plně využíván (Vaněk et al. 2016).

Symptomy nedostatku síry u obilovin, jako jsou pšenice, ječmen a kukuřice, jsou méně charakteristické než u řepky a často mohou být zaměněny s nedostatkem dusíku, hořčíku, manganu nebo zinku. Symptomy se nejprve objevují na mladých listech spíše než na starých, což může pomoci rozlišit nedostatek síry od nedostatku dusíku. Nedostatek síry může způsobit sníženou produkci semen a omezený výnos tím, že snižuje počet opylených květů, což vede k menšímu počtu zrn na klásku (Grant & Hawkesford 2015).

### 3.3.10.4 Nadbytek síry

Nadbytek síry se v půdě projevuje vysokou koncentrací  $\text{SO}_4^{2-}$  v půdním roztoku, což rostliny dobře snášejí. Avšak pokud koncentrace síranů překročí hranici 4 000 mg v jednom litru, tak společně hlavně s chlorem a kationty sodíku a draslíku způsobují zasolení půd a zvýšenou koncentraci solí v půdním roztoku, což narušuje vzcházejivost rostlin.

Dříve se některé oblasti mohly potýkat s vysokou koncentrací  $\text{SO}_2$  ve vzduchu, která způsobuje poškozování rostlinných pletiv. Dnes se tento jev vyskytuje zřídka, zejména na místech, která mají omezenou cirkulaci vzduchu, jako je například zimní období, ve kterém je stále v některých domácnostech spalováno nekvalitní hnědé uhlí s vysokým obsahem síry (Vaněk et al. 2016). V České republice nebyl v roce 2022 překročen hodinový imisní limit a ani 24hodinový imisní limit koncentrace  $\text{SO}_2$  na žádném místě (Škáčková 2023).

## 3.4 Hnojení ozimé pšenice

Ozimá pšenice potřebuje půdu, která je hluboká, hlinitá až jílovitá, s mírně kyselou až neutrální reakcí. Nejvíce prosperuje na černozemích, degradovaných černozemích, hnědozemích a rendzinách. V oblastech s horšími podmínkami jsou to především podzolové půdy. Ideální je, aby půdy měly dobré fyzikální, biologické a chemické vlastnosti a byly schopné

udržet dostatek živin a vody. Pro pěstování pšenice nejsou vhodné půdy lehké (Zimolka et al. 2005).

Hnojení je klíčovou součástí opatření potřebných ke zvyšování úrodnosti půdy. Pro plné účinky je nezbytné provádět hnojení v souladu se správným obděláváním půdy, je také důležité dodržovat požadované termíny, výběr vhodné odrůdy a pečlivě ošetřovat a chránit rostliny (Kalina 2005).

Hnojení základními živinami by mělo být prováděno na základě agrochemických rozborů půdy, popřípadě anorganických analýz rostlin. Je důležité, aby každý zemědělec měl přehled o stavu živin na jednotlivých pozemcích, a proto je vhodné nechat provést rozbor půdy alespoň jednou za 3-5 let. Tím získá přesné informace o nutném hnojení a zajistí optimální podmínky pro úrodnost a zdravý růst rostlin (Faměra 1993).

Pokud se výnos pšenice pohybuje okolo 6 t zrna a 6 t slámy, tak se odběr živin pohybuje okolo 144 kg N, 30 kg P a 108 kg K (Vaněk et al. 2016).

Abychom zajistili dobré výnosy, tak je nutné, aby rostliny měly ideální podmínky půdy, čehož můžeme dosáhnout úpravou pH. Rostlina musí mít k ideálnímu růstu dostatečný přísun přístupného fosforu, draslíku, hořčíku i síry. Úprava pH půdy se provádí vápněním předplodin, které byly organicky hnojené anebo těsně po jejich sklizni. Pšenice ozimá je velmi citlivá vůči vyšší kyselosti půdy. Na půdách, které mají výměnné pH nižší než 6, se snižuje výnos zrna, ale také samotný příjem živin (Zimolka et al. 2005).

V oblasti hnojení je terminologie upravována tzv. Nitrátovou směrnicí, která je implementována ve zranitelných oblastech pomocí vládního nařízení (Klír et al. 2008) č. 117/2014 Sb. (Vaněk et al. 2016), který stanovuje zranitelné oblasti, a upravuje používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění opatření proti erozi v těchto oblastech (Klír et al. 2008).

### **3.4.1 Rozdělení hnojiv**

Hnojiva se rozdělují na statková neboli organická, kam patří chlévský hnůj, močůvka, kejda, sláma a zelené hnojení. Další skupinou jsou minerální hnojiva nebo také nazývaná průmyslová či koncentrovaná hnojiva. Do této skupiny patří dusíkatá, fosforečná a draselná hnojiva. Patří sem také tuhá vícesložková hnojiva nebo dvousložková kapalná hnojiva. Využívají se také kaly z čištění odpadních vod.

Minerální hnojiva se dají také rozdělit podle jejich technologie výroby na hnojiva smíšená a hnojiva kombinovaná. Hnojiva smíšená vznikají kombinací jednotlivých složek hnojiv, které jsou poté granulovány. Hnojiva kombinovaná vznikají výrobou vhodně upravených chemických procesů a jsou většinou granulovaná. Dalším rozdělením je podle skupenství, a to na hnojiva tuhá a hnojiva kapalná. Hnojiva tuhá se označují také jako hnojiva prášková a jsou granulovaná. Hnojiva kapalná jsou buďto čiré roztoky nebo suspenze a většinou jsou to kapalná beztlaká hnojiva, mohou být jednosložková i vícesložková (Vaněk et al. 2016).

### **3.4.2 Způsoby aplikace hnojiv**

Běžné techniky pro umístění hnojiv do půdy zahrnují: nepřímé umístění pomocí předúpravy semen hnojivy před setím, do seťového lůžka nebo do brázdy během setí, na povrch půdy prostřednictvím pásu se zaoráním nebo bez, pod povrch půdy jako mělký nebo hluboký

pás, do mělké nebo hluboké rýhy vykopané v půdě, jako mělké nebo hluboké bodové umístění nebo bodové vstřikovávání. Pásky hnojiv mohou být umístěné také na povrchu půdy nebo pod jejím povrchem, na řádek plodin nebo vedle jeho řádku. Tyto techniky lze aplikovat jak na anorganická (minerální) tak organická hnojiva, stejně jako na pevné, kapalné a plynné hnojivové přípravky. V případě plyných hnojiv je třeba speciálního zařízení k minimalizaci ztrát plynu (Nkebiwe et al. 2016).

### 3.4.3 Hnojení dusíkatými hnojivy

Pšenice se řadí mezi důležité obilniny s vysokými nároky na dusíkatá hnojiva. Dostatečný přísun tohoto prvku umožňuje dobrou akumulaci proteinu v zrna pšenice, která je důležitá pro pečení a kvalitu zpracování této plodiny.

Pšenice má tři hlavní fáze růstu, kdy požaduje přísun dusíku. Po seti je přibližně 6 mg celkových zásob bílkovin, které se v zrna nacházejí, dostatečné k udržení klíčení do objevení prvního listu. V další fázi rostlina přijímá dusík pomocí svého kořenového systému. Jelikož ale kořen v této fázi nemá dostatečnou délku, tak by hnojivo mělo být nejlépe aplikováno přímo jako malé množství amonného hnojení odolného proti vyplavování pod seťové lůžko. Hnojivo se takto aplikuje, pokud je nedostatečně dostupného dusíku z procesu mineralizace.

Pokud jsou zásoby dusíku značně sníženy, pšenice nedokáže využít celý svůj genetický potenciál na to, aby vytvořila co největší množství bílkovin během vývoje zrn. Nicméně farmářské pokusy v jižním Německu ukázaly, že jednotlivé aplikace dusíkatých hnojiv různých forem po odnožování vedly ke stejně vysokému výnosu a obsahu bílkovin v zrnech, aniž by se zvýšilo riziko vyplavování  $\text{NO}_3^-$ , pravděpodobně kvůli velkým zásobám dusíku v půdě. Dostupnost dusíku v půdním roztoku v této fázi v rhizosféře je zásadní pro využití genetického potenciálu pro tvorbu bílkovin v zrnech. (Zörb et al. 2018).

Pokud je rostlinám pšenice dodáváno vyšší množství minerálního dusíku, tak jsou lépe vyvinuté a pravděpodobně odolnější vůči stresu z okolního prostředí. Je to nejspíše díky zlepšené fotosyntéze listů, zvýšenému obsahu chlorofylu v listech, indexu listové plochy (LAI) a trvání listové plochy. Hnojení minerálním dusíkem má navíc pozitivní vliv na růst a hustotu kořenů, což poskytuje rostlinám výhody s ohledem na kapacitu příjmu vody a živin (Macholdt et al. 2019).

Účinky dusíku závisí na variabilitě půdních podmínek v rámci jednoho pozemku či stanoviště. Na úrodných půdách většina dusíku pro tvorbu výnosu pochází z půdní zásoby (84 - 88 %), s pouze omezeným přímým vlivem dusíkatých hnojiv (12-16 %). Naopak, na méně úrodných půdách má dusík z půdní zásoby větší podíl (56-60 %) na tvorbě výnosu. Tato variabilita zdůrazňuje potřebu individuálního přístupu k hnojení dusíkem v závislosti na konkrétních podmínkách daného stanoviště (Balík et al. 2012). Například studie prováděné v evropsko-středozezemních podmínkách zjistily, že získávání dusíku hnojivem u pšenice bylo 13 až 27 %, když byl dusík aplikován při seti, ale zvýšilo se na 41 až 55 %, když byl aplikován jako povrchová aplikace na začátku prodlužování stonku (Hooper et al. 2015).

Současné moderní odrůdy pšenice vyžadují, aby koncentrace bílkovin v zrna převyšovala 12 % sušiny, což vyžaduje vysokou syntézu aminokyselin ve vegetativních tkáních a jejich transport do vývojového zrna, kde dochází k tvorbě skladovacích bílkovin. Tento proces

je pouze mírně ovlivněn pozdní aplikací vysokých dávek dusíkatého hnojiva (až 150 kg N/ha), protože kořenová aktivita klesá během zrání a může tak být zodpovědná za environmentální problém ztrát dusíku.

Při budoucích zvýšených hladinách CO<sub>2</sub> se koncentrace bílkovin v zrně stávajících odrůd pšenice nevyhnutelně sníží o 6-8 %. Experiment FACE ukázal, že hnojení založené na NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bylo lepší než hnojiva obsahující amonium, a dokonce i při zvýšených hladinách CO<sub>2</sub> byla účinnost přijímání dusíku na poli při středním zásobování dusíkem téměř 100 %, ale při nadbytečném zásobování dusíkem kolem 75 % (Zörb et al. 2018).

Agronomická interpretace účinnosti využití dusíku může být podpořena použitím jednoduché metody, která zahrnuje výpočet poměru výnosu hlavní plodiny a množství aplikovaného dusíku, známého jako dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku (PFP). Tento výsledek poskytuje informaci o tom, kolik kilogramu výnosu bylo dosaženo za každý kilogram aplikovaného dusíku. Výsledek dosáhnout dle následující rovnice: PFP (kg/kg) = výnos (kg/ha) / aplikované množství dusíku (kg/ha) (Černý et al. 2020).

#### 3.4.4 Dusíkatá hnojiva

Dusíkatá hnojiva zaujímají největší podíl v rámci minerálních hnojiv. Jejich výroba je postavena na procesu syntézy amoniaku, což bylo poprvé provedeno v roce 1913 spojením dusíku a vody. Většina vyrobeného čpavku se používá na výrobu dusíkatých hnojiv. Čpavek může být použit k přímému hnojení, ale většina se využívá k výrobě močoviny a kyseliny dusičné. Tyto látky společně s čpavkem slouží k výrobě dusičnanu amonného a hnojiv, která jsou na něm založena. Dusík je dodáván prostřednictvím dusíkatých hnojiv v dusičnanové neboli nitrátové formě, amonné formě a amidové formě (Vaněk et al. 2016).

Dusíkatá hnojiva se dají rozdělit podle formy dusíku na:

-Hnojiva s ledkovým dusíkem – do této skupiny patří hnojiva, která se označují jako ledková, je to tedy ledek vápenatý, ledek sodný, ledek hořečnatý a ledek draselný. Tato hnojiva jsou dobře vodorozpustná. Aniont NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se v půdě nesorbují a je obsažen v půdním roztoku. Tato hnojiva jsou vhodná k aplikaci v menších dávkách během růstu rostlin.

-Hnojiva s amonným dusíkem – do této skupiny patří síran amonný a bezvodý amoniak. Tato forma hnojiv poskytuje rostlinám kationt, který je vázán v půdě a má omezenou pohyblivost. Tato hnojiva jsou ideální pro základní hnojení před setím. Rychlost nitrifikace přidaného amonného dusíku ovlivňuje jejich postupné působení.

-Hnojiva s dusíkem amidovým a kyanamidovým – do této skupiny patří dusíkaté vápno a močovina

-Hnojiva s dvěma a více formami dusíku – do této skupiny patří ledek amonný a další hnojiva, která se z něho vyrábějí, jedná se například o ledek amonný s vápencem, dolomitem nebo sádrou (LAV, LAD, LAS). Jedná se také o hnojivo DASA a DAM, která fungují na principu směšného roztoku dusičnanu amonného a močoviny. Tato skupina hnojiv má na zemědělském trhu největší zastoupení a to okolo 60 %.

-Hnojiva s pozvolně působícím dusíkem – Tato skupina hnojiv se dá rozdělit na obalovaná a pozvolně rozpustná. Převážná část hnojiv s postupným uvolňováním se používá ve specializovaných oblastech, jako je zahrádnictví, lesnictví, péče o travnaté plochy, a zejména na sportovních hřištích a podobných místech (Vaněk et al. 2016). Do skupiny hnojiv

s pomalu uvolnitelným dusíkem patří také hnůj či organická hnojiva s poměrem uhlíku k dusíku, který je vyšší než 10.

Do skupiny hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem patří statková hnojiva jako je kejda, močůvka, silážní trávy, trus drůbeže a drobných hospodářských zvířat, či organická hnojiva s poměrem uhlíku k dusíku, který je nižší než 10.

Pro účely dodržení nitrátové směrnice je dusíkatou hnojivou látkou chápáno jak minerální hnojivo s obsahem dusíku, tak organické hnojivo, organominerální hnojiva, statková hnojiva a upravený kal (Klír et al. 2008).

### 3.4.5 Aplikace dusíkatých hnojiv

Aplikace dusíkatých hnojiv může vést ke značným nárůstům výnosů pšeničného zrna, ale zároveň účinnost využití dusíku je často nízká (Hooper et al. 2015). Analýza dat z Britské sítě genetického zdokonalení pšenice ukazuje pozitivní vliv zvyšování výnosu a obsahu dusíku při rostoucí aplikaci. Při aplikaci tohoto prvku mezi 0–200 kg N/ha dochází k výraznému zvyšování výnosu a příjmu dusíku. Avšak při nejvyšší dávce (350 kg N/ha) nedochází k dalšímu nárůstu výnosu, i když je patrný další příjem dusíku. Rozptyl při každé hodnotě vstupního dusíku odráží variabilitu kultivarů a klimatické podmínky během čtyř let zkoušek. Plodina projevuje neschopnost reagovat na nadměrnou dávku dusíku nad 200 kg/ha vzhledem k nárůstu výnosu, což naznačuje omezení zdroje, pravděpodobně ve fotosyntetické efektivitě nebo omezení vody. Navzdory očekávanému genetickému potenciálu kultivarů dochází pouze k malému nárůstu obsahu dusíku v zrnech při výrazném zvýšení dávky dusíku (350 kg N/ha oproti 200 kg N/ha), což může naznačovat špatný zachytávací proces nebo nedostatek odbytíšť pro využití dostupného dusíku (Hawkesford 2014).

Snížení použití dusíkatých hnojiv (až o 20-40 %) bez ztrát kvality a kvantity může být dosažitelné. Snížení má několik přínosných účinků, jako je snížení energie pro výrobu hnojiv převážně metodou Haber-Bosch, snížení nákladů pro zemědělce a snížení negativních environmentálních účinků vypouštěného a plynného dusíku, který nebyl rostlinami přijat. Dalším způsobem, jak snížit použití dusíkatých hnojiv, je upravit jejich aplikaci nebo optimalizovat časování tak, aby lépe odpovídalo aktuálním hladinám dusíku v půdě (Zörb et al. 2018).

Hnojení pšenice ozimé dusíkem lze rozdělit na 4 části. Prvním je základní hnojení, které se provádí ještě před setím, regenerační hnojení, při kterém se hnojivo aplikuje při obnově vegetace na jaře, dále produkční, které se aplikuje na začátku sloupkování a hnojení pozdní před metáním rostliny anebo v době květu (Faměra 1993).

Dusíkatá hnojiva se na podzim běžně nepoužívají, pokud je obsah minerálního dusíku nad 10 mg/kg zeminy. Nemusí se také hnojit, pokud předplodiny byly hnojené hnojem nebo obilniny následovaly po jetelovinách. Přihnojování je vyžadováno pouze při opožděném vývoji rostliny nebo suchém podzimu (Zimolka et al. 2005). Pro rozhodnutí o případném hnojení dusíkem pod pšenici na podzim je důležité mít objektivní důvody. To zahrnuje zejména analýzu obsahu minerálního dusíku v půdě (N<sub>min</sub>) nebo výpočet záporné bilance dusíku po pěstované předplodině. Oprávněné je hnojení „pod patu“ kombinovanými hnojivy (NP, NPK), přičemž část dusíku je aplikována již před výsevem. Toto je doporučeno zejména na půdách s nízkým obsahem N<sub>min</sub> nebo tam, kde byla ponechána sláma předchozí

plodiny nebo po pěstování plodin s vyšším rizikem významnějšího vypuštění dusíku. V některých případech jsou také aplikována statková nebo organická hnojiva (kejda, digestáty, hnůj apod.) na pole, kde se bude pěstovat ozimá pšenice (Černý et al. 2020).

S regeneračním hnojením se začíná brzy na jaře, ale neaplikuje se na sníh nebo na promrzlou půdu. Pro zvolení ideální dávky dusíku se využívá kontrola porostu, a to zejména počet rostlin na m<sup>2</sup>, počet odnoží a celkový vývoj porostu (Zimolka et al. 2005). Dávka dusíku pro první jarní hnojení by měla být stanovena s ohledem na očekávanou potřebu dusíku během plného vegetačního růstu. Obvyklá hodnota se pohybuje kolem 40-60 kg N/ha, přičemž je nutné brát v úvahu faktory jako je odrůda pšenice a začátek jarní sezóny. Důležitým kritériem pro přizpůsobení této dávky může být také obsah minerálního dusíku v půdě nebo zvýšená potřeba dusíku pro rozklad půdní biomasy po sklizni předchozí plodiny (například sláma nebo strniště).

Kvalitativní přihnojení dusíkem již výrazně neovlivní množství výnosu, avšak má vliv na utváření kvalitativních charakteristik produkce, jako je obsah dusíku v zrnech, a také na další kvalitativní parametry zrna, jako je jeho objemová hmotnost, kvalita lepku či HTS (Černý et al. 2020).

Výhody brzké aplikace dusíkatých hnojiv zahrnují zlepšení rané vitality plodin, zvýšenou konkurenci plevelů a v konečném důsledku zlepšení výnosu a kvality zrna. Pokud je však úroveň dešťových srážek nízká, zvýšená intenzita spojená s aplikací veškerého dusíku může vést k vyčerpání půdní vlhkosti a poté k vysokým úrovním vodního stresu před kvetením, což snižuje reakci plodin na aplikaci dusíku a snižuje i NUE (Hooper et al. 2015). Existuje mnoho definicí NUE, může být definováno jako výnos na jednotku dostupného dusíku pro plodinu (Hawkesford 2014). Úprava načasování aplikace dusíku může být přínosem pro NUE prostřednictvím obnovy dusíku.

Doba největší poptávky po dusíku u plodiny je běžně během fáze, kdy rostlina prodlužuje svůj stonek. Rostlina během této fáze nejrychleji akumuluje sušinu a oddálení aplikací dusíku může zvýšit výtěžnost dusíku. Například studie v podmínkách evropského Středomoří zjistily, že regenerace dusíkatých hnojiv pšenicí byla 13 % až 27 % pokud byl dusík aplikován během setí, ale zvýšila se na 41 % až 55 % při přihnojování na začátku sloupkování (Hooper et al. 2015).

#### **3.4.6 Vliv dostupnosti vody na účinky aplikace dusíkatých hnojiv**

Aplikace dusíku na růst plodiny může být v suchých zemědělských oblastech výrazně omezena nedostatkem vody. Dostupná půdní voda je klíčová pro absorpci dusíku rostlinami. Přebytek vody může vést ke ztrátám dusíku, zatímco její nedostatek brání její absorpci. Časování aplikace dusíku může ovlivnit vodní bilanci v půdě během vegetačního období. Zavlažovací postupy nevykazují vliv na výnos, kvalitu zrna a NUE, ale v polosuchých podmínkách mohou být silné interakce mezi vlhkostí a odezvou na dusík. (Hooper et al. 2015).

#### **3.4.7 Hnojení sírou**

V posledních letech se obsah síry v půdě snižuje, což zvyšuje aktuálnost problému spojeného s hnojením sírou v České republice (Kulhánek et al. 2013). Sádrovec, jednoduchý superfosfát, draselná a hořečnatá hnojiva, která obsahují síru, vykazují pozitivní účinek,



zejména v oblastech s dlouhodobě nízkými emisemi síry a na půdách s omezeným obsahem vodorozpustné síry (Zimolka et al. 2005).

Vzhledem k tomu, že síra je nezbytnou složkou enzymů zapojených do metabolismu dusíku, doplnění hnojení dusíkem sírou může přinést měřitelné výhody. Současné řízení dusíku a síry může snížit potenciální znečištění reziduálních dusičnanů v půdě zvýšením přijímání dusíku a jeho zotavení a udržováním vysoké úrovně účinnosti dusíku (Tabak et al. 2020).

Síra se obvykle aplikuje do půdy, ale může být zde také využita foliární aplikace. Když se síranová forma tohoto prvku aplikuje foliárně, rychle proniká do listů. Většina síranů je však zachycena ve vakuolách a pouze malá část se využije k tvorbě výnosu. K foliární aplikaci se může použít například hořká sůl, ale lepší výsledky jsou obvykle dosahovány s aplikací elementární síry na listy. Pravděpodobně to souvisí s tím, že předtím, než je tato forma absorbována, musí být oxidována na sírany. Přejít elementární síry na sírany probíhá postupně a pomalu, což umožňuje rovnoměrnější dodávku síranů do listů. Tím se zabrání nadměrné akumulaci síranů v cytosolu a jejich následného hromadění ve vakuolách (Kulhánek et al. 2013). Pro základní hnojení je doporučeno použití síranu amonného, stejně jako draselných a hořečnatých hnojiv v síranové formě, jako je síran draselný, Patentkali, Kieserit a hořká sůl, zejména u rostlin citlivých na přebytek chloru. Pro přihnojení během vegetace je vhodné zvolit dusíkatá hnojiva obohacená o síru, například DASA, Sulfan, LAS, aby se zajistilo optimálně výživné prostředí pro rostliny (Vaněk et al. 2016).

Výnos ozimé pšenice je ovlivňován nejen samotnou dávkou síry, ale také půdními podmínkami, formou a termínem aplikované síry. U starších pokusů je uváděno, že pšenice potřebuje okolo 10-20 kg síry na hektar, ale podle novějších výzkumů by měla být dávka síry pro ozimou pšenici spíše v rozmezí 30-40 kg na hektar. Tento vyšší požadavek je odůvodněn nejen nižším obsahem síry v půdě, ale také vyššími výnosy nových odrůd a poznatky o horší remobilizaci síry v rostlinách (Černý et al. 2020).

### **3.4.8 Hnojení fosforečnými hnojivy**

Fosforečná hnojiva se zpravidla používají současně s draselnými hnojivy v jednosložkových směsích nebo kombinovaných hnojivech.

Fosforečné minerály se dají rozdělit do dvou skupin a těmi jsou měkké a krystalické. Měkké minerály vznikly procesem sedimentace, který se uskutečňoval na okrajích moří. Mají vysokou rozpustnost. Krystalinické jsou tvrdé minerály neboli apatity. Jsou tektonického původu. Při erupcích byly tyto fosforečnany přetaveny s obsahem silikátů, tím pádem obsahují také křemičitany (Vaněk et al. 2016). Primární minerály fosforu, jako jsou apatity, strengit a variscit, jsou velmi stabilní a uvolňování fosforu do půdního roztoku z těchto minerálů v důsledku zvětvávání v kyselých půdách je obvykle nízké. Naopak sekundární minerály fosforu, včetně fosforečnanů vápníku (Ca), železa (Fe) a hliníku (Al), se liší ve svých rychlostech rozpouštění, v závislosti na velikosti minerálních částic a pH půdy. S rostoucím pH půdy se zvyšuje rozpustnost fosforečnanů železa a hliníku, ale rozpustnost fosforečnanů vápníku klesá, dokud nedosáhne hodnot pH nad 8, kde začíná opět stoupat (Muindi 2019).

Fosfor je pevně vázán ve fosfátech a pro velkou část rostlin je takřka nepřijatelný. Z tohoto důvodu je nutné provést různé úpravy pro zvýšení jejich rozpustnosti a dostupnosti

pro rostliny. Výroba hnojiv s rozpustným fosforem ve vodě zahrnuje procesy, jako je rozklad silnými minerálními kyselinami (sírová, dusičná a fosforečná) pro výrobu superfosfátů. Dále zahrnuje jemné mletí, díky němuž se vyrábí mleté fosfáty, zejména z amorfních fosfátů a tavení s alkalickými přísadami pro výrobu termofosfátů. Do těchto úprav se také řadí vazba na zoxidované strusky při vyrábění železa (Vaněk et al. 2016).

Při výběru fosforečného hnojiva by měla být prioritou dáována variantám, které obsahují převážně rozpustný fosfor (Zimolka et al. 2005). Pokud není žádoucí pomalý nebo řízený uvolňovací model, mělo by být hnojivo s fosforem alespoň ze 60 % rozpustné ve vodě a materiály s pomalým nebo řízeným uvolňováním musí být podobně rozpustné ve vodě během vegetačního období (Hopkins 2015). Pro úhradu fosforu můžeme například použít superfosfát (jednoduchý nebo trojitý). Pro základní hnojení se obvykle používají tuhá hnojiva, zatímco kapalná jsou vhodná pro přihnojování během růstu rostlin nebo při zasetí pod povrch půdy (Zimolka et al. 2005).

Fosfor obsažený ve zbytcích plodin ponechaných na poli může být recyklován jejich začleněním do půdy, zatímco část fosforu obsaženého v plodinových zbytcích krmených dobytkem se může vrátit zpět do půdy ve formě hnoje a také jako kostní moučka. Mineralizace takových organických zdrojů fosforu může nastat prostřednictvím působení mikroorganismů a rostlin vylučujících fosfatázy a fytázy. Nicméně fosfor odstraněný spolu s obilnými zrny, jinými jedlými částmi rostlin a živočišnými produkty jako je kravský trus, mléko a maso určené k lidské spotřebě, je třeba nahradit aplikací minerálních fosforečných hnojiv (Balemi & Negisho 2012).

### **3.4.9 Hnojení draselnými hnojivy**

Nejdůležitějším zdrojem získávání draslíku na výrobu draselných hnojiv jsou přírodní ložiska draselných minerálů. Tato ložiska vznikala opakovaným přerodem mořských mělčin. Jednotlivé soli se postupně vykristalizovaly během odpařování. Jedná se zejména o sírany a chloridy vápenaté, hořečnaté, draselné a sodné.

Ve většině ložisek převládají minerály obsahující draslík ve formě chloridu. Tyto minerály jsou využívány při výrobě hnojiv, kde je draslík dodáván ve formě KCl, známého jako chloridový typ draselných hnojiv. Tato hnojiva se nazývají chloridová draselná hnojiva, jedná se především o draselnou sůl. Při výrobě hnojiv s vyšším obsahem draslíku jsou z této směsi soli odstraňovány doprovodné složky, především NaCl. Existuje také síranový typ draselných hnojiv, kde je draslík vázán na síranový aniont. Tato hnojiva se vyrábějí z minerálů obsahujících síran draselný, jako je langbeinit. Avšak kvůli nedostatku těchto zdrojů je výroba síranů založena také na konverzi KCl na K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pomocí kyseliny sírové. V současné době jsou k dispozici oba typy draselných hnojiv, přičemž většina sortimentu tvoří hnojiva chloridového typu, zejména draselné soli, a menší podíl představují hnojiva síranového typu (Vaněk et al. 2016).

### **3.4.10 Principy hnojení fosforečnými a draselnými hnojivy**

Při posuzování potřeb plodin v oblasti fosforu, draslíku a případně hořčíku je vhodné uplatnit metodu nazývanou nahrazovací hnojení. Tento přístup spočívá v navrácení živin,

kteře byly odstraněny z pole spolu se sklizenými plodinami, což je klíčové pro udržení výživy půdy v optimálním stavu (Klír et al. 2008).

V rámci dlouhodobého osevního postupu nebo cyklu střídání plodin je doplňování živin prováděno buď v jedné dávce, jako systém zásobního hnojení na více let, nebo ve více dávkách. Při tomto procesu je nezbytné brát v úvahu dostupnost živin v půdě, která je určena výsledky Agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP). Optimalizace zásoby dostupných živin v půdě se obvykle pohybuje v rozmezí od dobrého po vyhovující stav. V případě vysokých a velmi vysokých zásob živin se doporučená dávka hnojení snižuje, zatímco při nízkých zásobách je doporučeno zvýšení dávky hnojení (Klír et al. 2008).

### **3.4.11 Organická hnojiva**

Tato skupina hnojiv je většinu času produkována přímo v zemědělském podniku. Složení organických hnojiv závisí na obsahu živin v půdě, na druhu zvířat, které se v daném podniku chovají a způsobu jejich ošetřování a krmění. Statková neboli organická hnojiva obsahují vysokou hodnotu živin z krmiva a steliva zvířat. Největší využití má fosfor, kolem 30 % a dusík, jehož procento využití se pohybuje do 20 %. Malé množství využití je z draslíku. Při vhodném hospodaření se společně zvířecí exkrementy se stelivem mohou navracet do půdního prostoru.

Prostřednictvím statkových hnojiv jsou do půdy předávány rostlinné živiny, organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální. Výroba klasických statkových hnojiv závisí na počtu zvířat chovaných na dané ploše. Vzhledem k dramatickému poklesu stavu zvířat na území České republiky, je produkce těchto hnojiv ve většině podniků neadekvátní. Jedná se zejména o podniky s omezenou živočišnou výrobou. Působení statkových hnojiv je většinu času dlouhodobé a pozvolnější. Půdy, které jsou pravidelně hnojeny hnojem vykazují lepší fyzikální vlastnosti, lépe přijímají vodu a lépe zadržují přijaté živiny, lépe snášejí výkyvy půdní reakce a umožňují lepší dávkování hnojiv a efektivnější využití živin rostlinami (Vaněk et al. 2016).

Živiny se ve statkových hnojivech nacházejí v organické formě a prostřednictvím mikroorganismů, které se v půdě nacházejí, jsou přeměňovány do přijatelné formy pro rostliny. Tento proces je ovlivňován mírou povětrnosti. Pro rostliny je během chladného počasí méně přijatelných živin, z důvodu nízké aktivity půdních organismů (Kalina 2005).

### **3.4.12 Chlévský hnůj**

Chlévský hnůj vzniká, když chlévská mrva uzraje na hnojišti, jedná se v podstatě o směs výkalů, steliva, případně zbytků krmiva, která opouštějí stáj. Množství vyprodukovaného hnoje, obsah sušiny, organických látek a živin jsou ovlivněny druhem zvířat, jejich věkem, stravováním, podmínkami, ve kterých žijí, a zejména druhem a množstvím steliva. Sláma řezaná oproti neřezané pojme více výkalů a snižují se tak i ztráty dusíku okolo 30-50 % (Vaněk et al. 2016).

Chlévská mrva, která byla vyprodukována malými zvířaty, jako je například drůbež, obsahuje živin více než mrva, která pochází od velkých zvířat. Chlévská mrva od malých zvířat je častokrát sušší a má větší obsah organické hmoty (Kalina 2005).

Zrání chlévské mrvy zahrnuje procesy kvašení, tlení a hnití. Během celého procesu se jednotlivé látky rozkládají a proměňují na látky s jinými chemickými vlastnostmi. Tyto biologicko-chemické děje jsou vzájemně propojené a navzájem se ovlivňují.

Nejvýraznější proces rozkladu organických látek probíhá v aerobních podmínkách, tzv. za přítomnosti vzduchu, což vede k uvolňování z organických látek obsahující uhlík  $\text{CO}_2$  a z látek, které obsahují dusík, tak dochází k uvolňování  $\text{NH}_3$  a poté dochází k rozkladu na jednodušší sloučeniny. Uložená hmota nedokáže vytvořený  $\text{NH}_3$  vázat, a proto dochází k významným ztrátám dusíku. Z tohoto důvodu je důležité omezit přístup vzduchu a celkový kontakt s prostředím, nejen k ochraně organické hmoty, ale také k minimalizaci ztrát živin, zejména dusíku (Vaněk et al. 2016).

### **3.4.13 Hnojení chlévským hnojem**

V důsledku dlouhodobého hnojení hnojem lze předpokládat pozitivní účinky na chemické vlastnosti půdy, jako je akumulace celkových a rostlinami dostupných forem živin, zejména dusíku, ale také fosforu, draslíku a hořčíku. Dávka chlévského hnoje nakombinovaná s minerálními hnojivy může zlepšit výnos zrna, ale také i stabilitu celkového výnosu. Obecně aplikace organických hnojiv, ale zejména chlévského hnoje, ať už samotného nebo v kombinaci s minerálními hnojivy, zvyšuje obsah organického uhlíku v půdě. Může také následně zvýšit účinnost dodávaného fosforového hnojiva a zvýšit udržitelnou půdní produktivitu.

Chlévský hnůj má pozitivní význam na fyzikální vlastnosti půdy, jako je zvýšená agregátní stabilita, zlepšená infiltrace vody, vyšší kapacita zadržování vody a snížená objemová hmotnost půdy (Macholdt et al. 2019).

V pokusech, které byly prováděny v letech 2015-2018 na území Ivanovice, Čáslav a Lukavec bylo zjištěno, že hnůj z hospodářských dvorů výrazně zvýšil výnos zrna i po třech letech od aplikace a začlenění do půdy ve všech lokalitách, ale jeho aplikace neměla vliv na kvalitu zrna. Opak platil pro kvalitativní parametry. Hnojivo bylo schopno poskytnout živiny a upravit půdní podmínky pro vyšší výnosy pšeničného zrna, ale to nestačilo ovlivnit obsah hrubého bílkovinného extraktu a sedimentaci. S výjimkou klimatických podmínek je dusík nejvíce limitujícím faktorem pro vysoký obsah hrubého bílkovinného extraktu v pšeničném zrna. Z tohoto pohledu aplikace hnoje nemůže nahradit minerální hnojiva pro produkci pšeničného zrna vhodného pro pekárenské výrobky, alespoň pokud není pšenice hnojena přímo (Hlisnikovský et al. 2020).

## 4 Metodika

### 4.1 Stanoviště výzkumu

V dlouhodobém pokusu v oblasti Praha – Suchdol s rotací plodin brambory, pšenice ozimá, jarní ječmen bylo porovnáváno 6 variant hnojení, které zahrnovaly za 1. kontrolu - nehnojená varianta, 2. N + sláma, 3. hnůj, 4. ½ hnoje a dusíkaté hnojení, 5. NPK hnojení a za 6. varianta hnojená dusíkem. Tyto pokusy byly založeny na podzim v roce 1996.

Charakteristiky jednotlivých územních celků jsou popsány v tabulce 2.

	<b>Suchdol</b>	<b>Semeč</b>
<b>Lokalizace</b>	50°7'40"N, 14°22'33"E	50°26'44.16"N, 13°53'40.92"E
<b>Nadmořská výška (m. n. m.)</b>	286	250
<b>Průměrná roční teplota (°C)</b>	9,1	9,5
<b>Průměrné roční srážky (mm)</b>	495	473
<b>Půdní typ</b>	Černozem	Černozem
<b>Půdní subtyp</b>	modální	modální
<b>Půdní druh</b>	hlinito-písčítá	jílovitohlinitá

Tabulka 2 Charakteristika územních celků

Obě tato katastrální území se nacházejí v řepařské výrobní oblasti, která je vhodná pro pěstování pšenice ozimé.

Velikost pokusných parcel na území Suchdol byla 60,5 m<sup>2</sup> a v katastrálním území se jednalo o pozemky, které měly velikost o průměru 9,3 ha.

### 4.2 Agrotechnika

Pšenice z oblasti Semeč byla pěstovaná konvenčním způsobem hospodaření a na všech třech pozemcích proběhla předseťová příprava půdy. Nejdříve radličkovým podmítačem na hloubku 8 cm a následně před samotným setím, které proběhlo 1. října, byl použit diskový podmítač. Klasické orby zde nebylo využito. Výsevek byl 200 kg/ha. Pšenice ozimá, která byla pěstovaná v oblasti Semeč se nacházela na třech parcelách v rámci podniku AGRO Semeč. Jednalo se o odrůdu LG Absalon, což je raná odrůda kvality A. Pěstební období trvalo od října roku 2022 do srpna 2023.

V oblasti Praha – Suchdol byly před zasetím pšenice ozimé sklizeny 13. září brambory a 15. září byla půda převlácena. K aplikaci fosforu a draslíku došlo 5. října v rámci varianty NPK a v tento den také byla zapravena hnojiva rotačními bránami a byla provedena předseťová příprava půdy. Samotná pšenice byla vyseta 6. října a jednalo se o odrůdu Reform. Výsevek byl 240 kg/ha. O měsíc později 2. listopadu byla pšenice přerozměřena vyplečkovými cestičkami. Sklizeň této pšenice proběhla 21. července 2023.

## 4.3 Hnojení na jednotlivých území

### 4.3.1 Hnojení na katastrálním území Semeč

Hnojiva aplikovaná na jednotlivých pozemcích v oblasti Semeč jsou znázorněna v tabulce 3. Na pozemku pod silnicí bylo k pšenici ozimé aplikováno celkem 147,5 kg dusíku na hektar a na zbylých dvou pozemcích se jednalo o dávku 133,1 kg dusíku na hektar.

Hnojivo	celkem	dávka	přívod živin (kg/ha)					
	(kg)	(kg/ha)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	S
<b>NPS 8-30-27</b>	1960,20	180,00	14,4	54	0	0	0	48,6
<b>Urea 46 - granulovaná</b>	1089,00	100,00	46,3	0	0	0	0	0
<b>SULFOGRANULÁT</b>	272,25	25,00	0	0	0	0	0	22,5
<b>LAD, 27 % N</b>	1633,50	150,00	40,5	0	0	6,75	9	0
<b>Urea 46 - granulovaná</b>	1089,00	100,00	46,3	0	0	0	0	0

Tabulka 3 Použitá hnojiva

### 4.3.2 Hnojení na katastrálním území Suchdol

Minerální hnojiva obsahující fosfor a draslík se aplikují na podzim pro všechny druhy plodin. Minerální hnojiva s obsahem dusíku se u brambor a ječmene aplikují ještě před založením porostu, zatímco u pšenice je dávka dusíku rozdělena do dvou fází. První část se aplikuje jako regenerační přihnojení a druhá část jako produkční hnojení. Jednotlivé dávky živin jsou znázorněny v tabulce 4.

V rámci hnojení samotným dusíkem, NPK hnojením a ½ hnoje + N byla použita následující minerální hnojiva N – LAV (27 % N) P – trojitý superfosfát (21 % P) K – draselná sůl (50 % K).

	brambory			pšenice			ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
<b>kontrola</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>N + sláma</b>	138	6	47	140	0	0	70	0	0
<b>hnůj</b>	330	118	374	0	0	0	0	0	0
<b>hnůj 1/2 + N</b>	165	59	187	110	0	0	55	0	0
<b>NPK</b>	120	30	100	140	30	100	70	30	100
<b>N</b>	120	0	0	140	0	0	70	0	0

Tabulka 4 Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

## 4.4 Agrochemické zkoušení zemědělských půd

V práci byly použity výsledky z agrochemických zkoušení půd z katastrálního území Semeč, které jsou zajišťovány státem ve stavu k roku 2024. V oblasti Praha – Suchdol byly také zjišťovány obsahy jednotlivých živin v půdě, a to metodou Mehlich III. Byly zde hodnoceny obsahy fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku. Obsahy jednotlivých živin jsou znázorněny v tabulce 5.

	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>pH</b>
<b>Pod silnicí</b>	136	942	384	12300	7,5
<b>Nad Semčí</b>	104	831	261	12350	7,6
<b>Lukohořany</b>	44	818	304	8400	7,3
<b>Suchdol</b>	91	230	240	9000	7,5

Tabulka 5 Zásoby živin v půdě v jednotlivých variantách (mg/kg) a pH půdy (CaCl<sub>2</sub>)

## 4.5 Laboratorní výzkum

Na každém pozemku proběhlo před sklizní počítání klasů pomocí tzv. čtvrtmetrovky s rozměry 50 x 50 cm, které bylo použito k dalším výpočtům a výsledky této práce jsou k nalezení v kapitole Výsledky.

Z každého pozemku ze Semče byly poté odebrány klasy z plochy 0,25 m<sup>2</sup>, které byly použity k dalšímu laboratornímu zpracování.

### 4.5.1 Práce v laboratoři

Pšeničná zrna byla vyčištěna od nežádoucích příměsí, jako jsou pluchy či různé nečistoty, které by mohly výsledky zkreslovat. Takto vyčištěná zrna byla poté zvážena.

Suchá sláma byla upravena na střížném mlýnu Retsch SM 100 s otvory o průměru 2 cm, který je vidět na obrázku 1. Následně byla zpracována na mlýnku IKA MF 10 basic s otvory o průměru 1 mm, na kterém byla též mleta pšeničná zrna, avšak na otvorech o průměru 2 mm. Tento mlýnek je vidět na obrázku 2



Obrázek 1 Střížný mlýn Retsch SM 100



Obrázek 2 mlýnek IKA MF 10 basic

## 4.5.2 Stanovení dusíku

Samotné stanovení dusíku probíhalo Kjeldahlovou metodou. Tato metoda byla zavedena v roce 1883 a skládá se ze tří hlavních kroků, kterými jsou mineralizace, destilace a titrace (Sáez - Plaza et al. 2013). Základem je přeměna organického dusíku na síran amonný a následné oddělení a stanovení iontu amonného. Přeměna organického dusíku na síran amonný se dosáhne rozkladem vzorku koncentrovanou kyselinou sírovou. Během titrace se dnes využívá modifikace s kyselinou boritou, kterou zavedl Winkler v roce 1913. V této úpravě se amoniak destiluje do 3% roztoku kyseliny borité a poté se titruje standardním roztokem kyseliny sírové (Aguirre 2023).

Rozemletá zrna z každého stanoviště byla navážena do jednotlivých mineralizačních tub po 0,5 g. Ke každému vzorku byla přidána kyselina sírová a katalyzátor mineralizace, který obsahoval síran draselný, síran měďnatý (modrá skalice) a práškový selen. Při práci s kyselinou byly použity ochranné brýle a rukavice. Mineralizace probíhala na přístroji Kjeldatherm od firmy Gerhardt, který je vidět na obrázku 3. Samotná mineralizace probíhala po dobu 120 minut při teplotě 420 °C. Po vychladnutí byly mineralizační tuby se vzorky vloženy do automatického přístroje Vapodest, ve kterém byla provedena destilace a titrace. Tento přístroj je znázorněn na obrázku 4. Během destilace došlo za pomoci vodní páry k uvolnění anorganicky vázaného dusíku ve formě amoniaku. Takto uvolněný dusík je zachycen v nadbytku titračního roztoku kyseliny borité a provedením zpětné acidobazické titrace nadbytečného roztoku kyseliny došlo k určení skutečného obsahu dusíku.

U každé varianty byla stanovována dvě opakování, ze kterých byl následně vypočten průměr.



Obrázek 2 Mineralizační přístroj Kjeldatherm



Obrázek 4 Automatický přístroj Vapodest



### 4.5.3 Stanovení vybraných výnosotvorných prvků

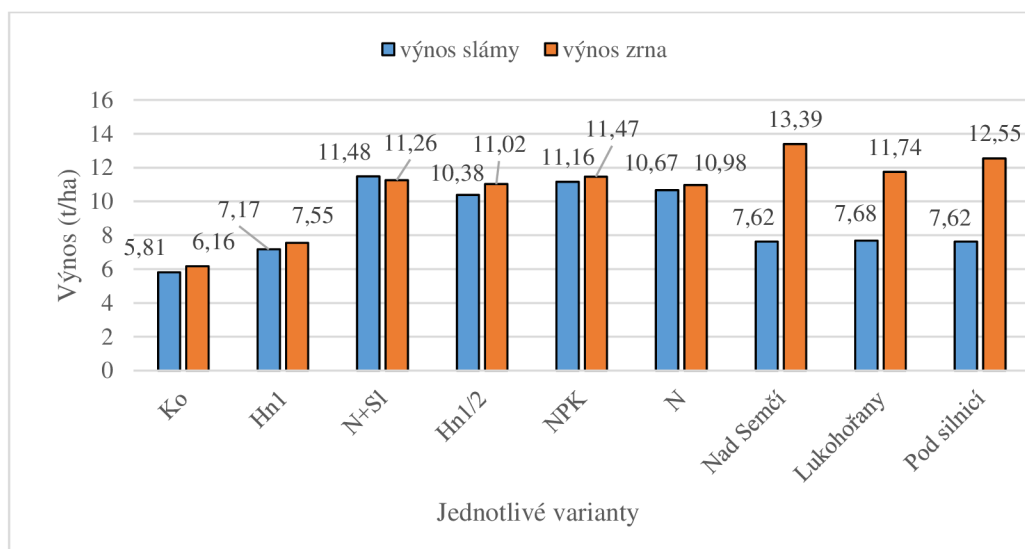
Výnos byl z katastrálního území Semeč vypočten jako předpokládaný výnos, a o přepočtem hmotnosti zrna a slámy na t/ha. Na území Praha-Suchdol bylo na jednotlivých variantách sklizeno pět průseků pšenice ozimé, ze kterých byl vypočten průměr a následně přepočítán na výnos suché slámy a suchého zrna v t/ha. Všechny výnosy byly přepočítány na 100% sušinu. Sklizňový index se počítal jako podíl výnosu zrna k výnosu nadzemní biomasy. V zrně byl dopočítáván ještě obsah dusíkatých látek, vynásobením hodnoty obsahu dusíku v zrně koeficientem 5,7.

Odběr dusíku zrnem, slámou a celkový odběr byl stanoven pomocí obsahu dusíku v zrně a slámě a následným sečtením byl zjištěn celkový odběr dusíku pšenice v dané variantě. Mezi parametry, které byly stanoveny v oblasti Semeč patřila hmotnost tisíce semen (HTS), počet zrn v jednom klasu a počet odnoží před sklizní. HTS byla zjištěna pomocí hmotnosti a počtu zrn na jednotlivých pozemcích a následným přepočítáním těchto hodnot pomocí trojčlenky na tisíc zrn. Pro počet zrn v jednom klasu bylo nejdříve vybráno z každého pozemku 4x10 vzorků a následně se počet zrn v každém opakování vydělil deseti. Počet odnoží na 1 m<sup>2</sup> před sklizní se zjistil pomocí spočítaných klasů ve čtvrtmetrovce a následným vynásobením číslem čtyři.

## 5 Výsledky

### 5.1 Výnos

Výsledky všech posuzovaných variant v oblasti Suchdol a hodnoty v oblasti Semeč jsou znázorněny v grafu 1.



Graf 1 Výnos zrna a slámy

#### 5.1.1 Výnos zrna Suchdol

U varianty kontrola byl výnos 6,16 t/ha. Nejvyšší výnos byl zjištěn na variantě NPK (11,47 t/ha). Jednalo se tedy o nárůst 86,2 % v porovnání s kontrolní variantou. Nejnižším výnosem v rámci hnojených variant však disponovala varianta hnojená hnojem (7,55 t/ha), kde nárůst činil oproti nehnojené variantě pouze 22,6 %.

#### 5.1.2 Výnos slámy Suchdol

Výnos slámy byl téměř na všech variantách nižší než výnos zrna. Pouze varianta N+sláma měla výnos slámy vyšší o 1,95 %. Kontrolní varianta měla výnos 5,81 t/ha. Nejvyšší výnos byl u slámy na variantě N + sláma (11,48 t/ha). Nárůst tak oproti variantě činil 97,6 %. Stejně jako u výnosu zrna, tak i u výnosu slámy byl nejnižší výnos zjištěn u varianty hnojené hnojem (7,17 t/ha). Jednalo se tedy pouze o nárůst 23,4 % oproti nehnojené variantě.

#### 5.1.3 Výnos zrna Semeč

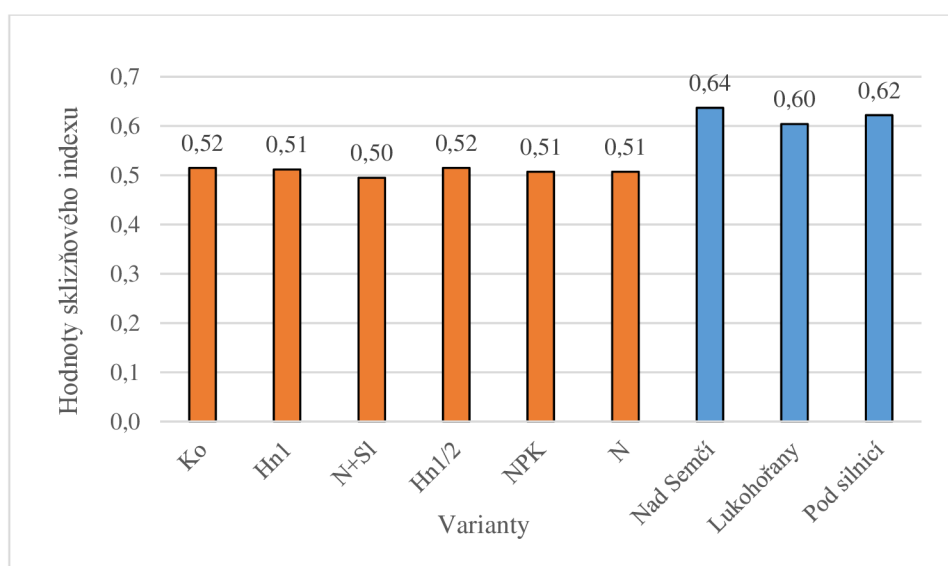
Rozdíl mezi jednotlivými pozemky nebyl nijak výrazný, avšak nárůst mezi nejnižším a nejvyšším výnosem byl 14 %. Předpokládaný výnos zrna měl v průměru hodnotu 12,56 t/ha a při srovnání s nejvyšším výnosem v katastrálním území Suchdol byl vyšší o 9,5 % a s kontrolní variantou o 103,9 %.

### 5.1.4 Výnos slámy Semeč

Ještě menší rozdíly vykazovaly výnosy slámy mezi jednotlivými pozemky. Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším procentem byl necelé jedno procento. Průměrný předpokládaný výnos dosáhl hodnoty 7,64 t/ha a v porovnání s nejvyšším výnosem na Suchdole byl o 33,5 % nižší a kontrolní variantou o 31,5 % vyšší. V porovnání s nejnižším výnosem byl vyšší o 6,6 %.

## 5.2 Sklizňový index

Všechny hodnoty sklizňových indexů posuzovaných variant ze Suchdola a z katastrálního území Semeč jsou znázorněny v grafu 2.



Graf 2 Sklizňový index

### 5.2.1 Sklizňový index Suchdol

Hodnoty sklizňového indexu se od sebe v rámci hodnocených variant na Suchdole nijak výrazně nelišily. Jednalo se pouze o změny v řádech setin. Nejvyšší sklizňový index vykazovala varianta hnojená ½ hnojem + N (0,52) a kontrolní varianta (0,52). Nejnižší sklizňový index byl zjištěn na variantě N + sláma (0,50). V průměru se však hodnota sklizňového indexu pohybovala kolem 0,51.

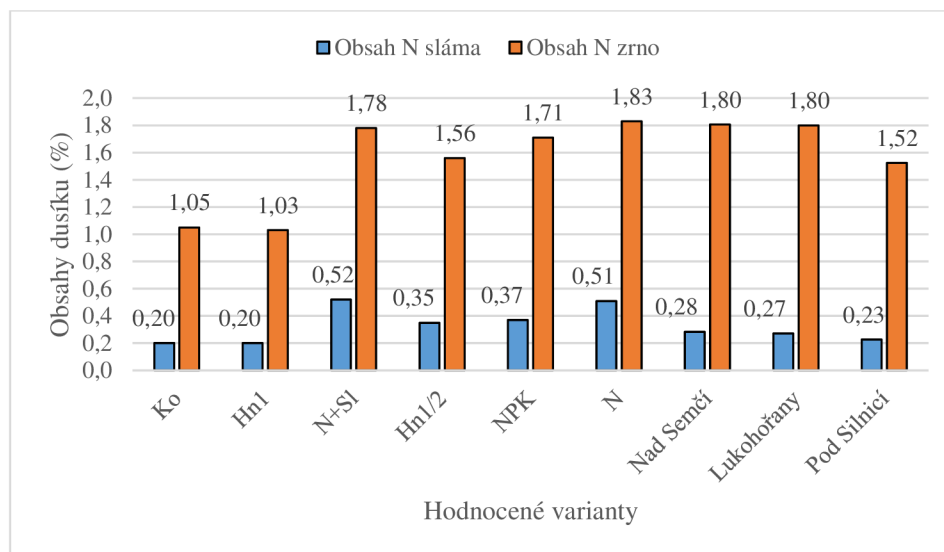
### 5.2.2 Sklizňový index Semeč

V rámci jednotlivých sklizených ploch v katastrálním území Semeč se jednotlivé hodnoty sklizňového indexu také neměnily. Při porovnání s jednotlivými variantami z území Suchdol se jednalo o změnu v řádech jedné desetiny. V průměru hodnota sklizňového indexu činila 0,62.

## 5.3 Obsahy dusíku

Všechny obsahy dusíku v zrna a slámě, jak na jednotlivých variantách na Suchdole, tak z katastrálního území Semeč, jsou znázorněny v grafu 3. Uzádných variant nebyla

naměřena vyšší hodnota dusíku ve slámě než v zrně. V průměru byla hodnota dusíku v zrně 5,5krát vyšší než hodnota dusíku ve slámě.



Graf 3 Obsahy dusíku v zrně a slámě

### 5.3.1 Obsah dusíku v zrně Suchdol

Výsledky obsahu dusíku na většině posuzovaných variantách byly vyšší než varianta kontrola. Jediný pokles oproti nehnějené variantě nastal na variantě hněj (1,03 %) a činil 2 %. Nejvyšší obsah dusíku byl naměřen ze vzorků, které byly hnějené pouze dusíkem (1,83 %) a při porovnání s kontrolou se jednalo o nárůst 74,3 %.

### 5.3.2 Obsah dusíku ve slámě Suchdol

Varianty kontrola a hněj vykazovaly stejných výsledků obsahu dusíku ve slámě (0,2 %). V porovnání s nejvyšším obsahem naměřeného obsahu dusíku ve slámě, který byl u varianty N + sláma (0,52 %), se jednalo o nárůst o 160 %. Podobného výsledku dosáhla také varianta hnějená pouze dusíkem (0,51 %), kde rozdíl byl jen o 5 % méně než na variantě N + sláma. Podobný obsah dusíku vykazovaly také varianty ½ hněj + N (0,35 %) a NPK (0,37 %). Rozdíl mezi nimi byl pouze 0,02 %.

### 5.3.3 Obsah dusíku v zrně Semeč

Průměrný obsah dusíku v zrně měl hodnotu 1,7 %. Nejvyšší obsah dusíku v zrně byl naměřen na vzorcích z pozemků Nad Semečič a Lukohořany (1,8 %). Tento obsah bylo o 71,4 % vyšší oproti kontrole na Suchdole. Jednalo se tak o nepatrný pokles oproti variantě N na Suchdole, na které byl naměřen nejvyšší obsah dusíku v zrně.

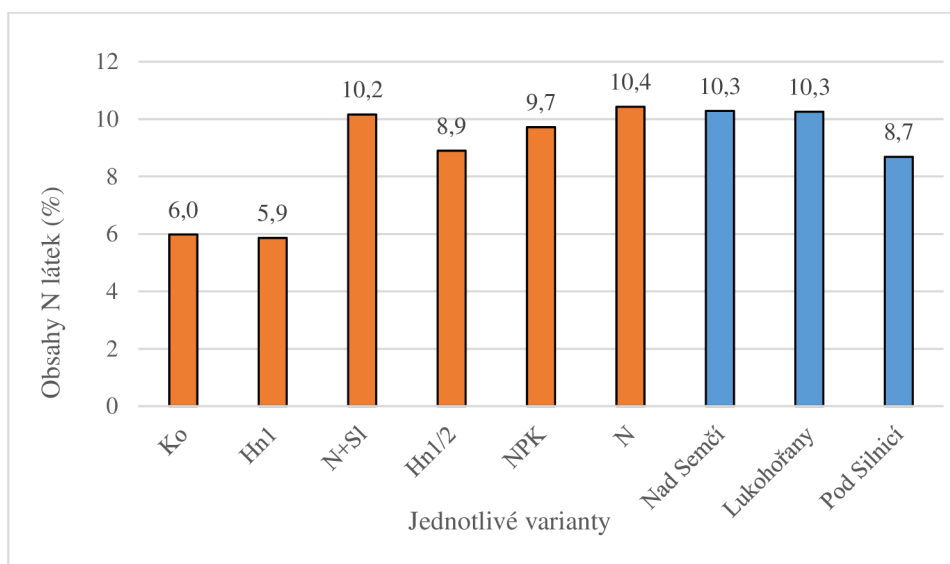
### 5.3.4 Obsah dusíku ve slámě Semeč

Hodnota průměrného obsahu dusíku ve slámě byla 0,26 % a oproti kontrole na Suchdole byla o 30 % vyšší. V porovnání s nejvyšše naměřenou hodnotou dusíku ve slámě na území

Suchdol měla až poloviční hodnotu a nejnižší naměřenou hodnotou se jednalo o nárůst, který dosáhl hodnoty pouze 30 %.

#### 5.4 Obsah dusíkatých látek v zrně

Všechny hodnoty obsahu dusíkatých látek v zrně, jak z pozemků na Suchdole, tak z katastrálního území Semeč, jsou znázorněny v grafu 4. Všechny výsledky korespondovaly se samotnými obsahy dusíku v zrně.



Graf 4 Obsahy N látek v zrně

##### 5.4.1 Obsah dusíkatých látek v zrně Suchdol

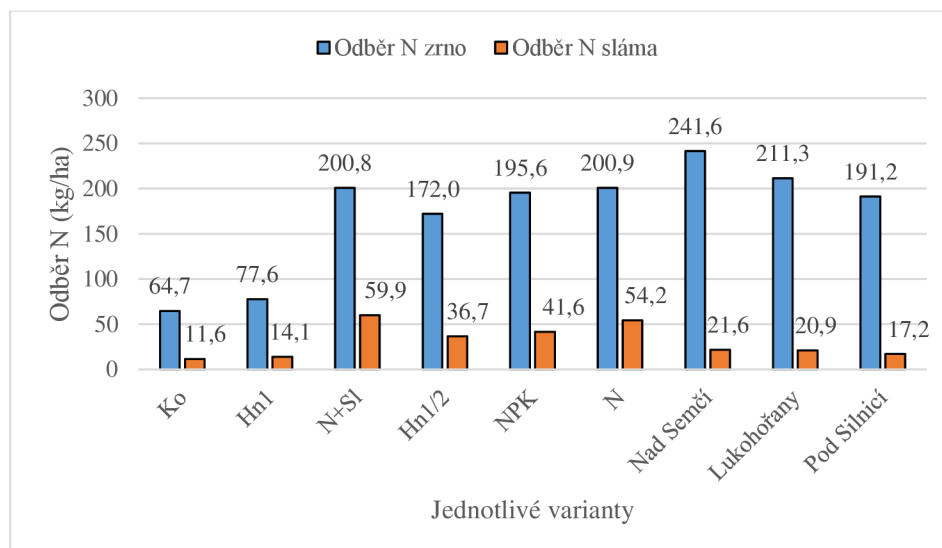
Nejnižší obsah dusíkatých látek byl zjištěn na variantě hnůj (5,86 %), stejně jako to bylo u obsahu dusíku v zrně, tak i zde nastal oproti kontrole pokles o 2 %. I zde nebylo výjimkou, že nejvyšší obsah dusíkatých látek byl na variantě hnojené pouze dusíkem (10,43 %). Druhý nejvyšší obsah dusíkatých látek byl naměřen na variantě N + sláma (10,16 %) a oproti kontrole se jednalo o nárůst 58,9 %.

##### 5.4.2 Obsah dusíkatých látek v zrně Semeč

Průměrná hodnota obsahu dusíkatých látek v zrně z katastrálního území Semeč vykazovala hodnotu 9,7 % a hodnoty změn mezi obsahy dusíku na katastrálním území Semeč a Suchdol se nijak nezměnily. Na dvou pozemcích byl zjištěn podobný obsah a to 10,3 %.

#### 5.5 Odběr dusíku zrnem a slámou

Všechny posuzované varianty odběrů dusíku zrnem a slámou jsou vyobrazeny v grafu 5. Na žádné z variant nevyšel menší odběr dusíku zrnem a slámou než na variantě kontrola a odběr dusíku zrnem byl na všech variantách vyšší než odběr dusíku slámou.



Graf 5 Odběr dusíku zrnem a slámou (kg/ha)

### 5.5.1 Odběr dusíku zrnem Suchdol

Varianta kontrola měla odběr dusíku zrnem 64,7 kg N /ha. Nejnižší odběr dusíku nastal na variantě hnůj (77,6 kg N /ha) a oproti variantě se jednalo o 19,9% nárůst. Nejvyšším odběrem dusíku disponovala varianta hnojená pouze dusíkem (200,9 kg N /ha) a oproti kontrole měla nárůst 210,5 %. Hned druhou nejvyšší hodnotou odběru dusíku zrnem disponovala varianta N+sláma (200,8 kg N/ha) a oproti variantě N měla tak rozdíl pouze 0,16 %.

### 5.5.2 Odběr dusíku slámou Suchdol

U varianty kontrola byl odběr dusíku slámou zjištěn o hodnotě 11,62 kg N/ha a oproti nejnižší hodnotě, která byla zjištěna také na variantě hnůj (14,12 kg N/ha), jako to bylo u odběru dusíku zrnem, se jednalo o nárůst 21,5 %. Nejvyšší odběr dusíku slámou nastal na variantě N+sláma (59,87 kg N/ha) a oproti kontrole došlo k 415% nárůstu. Zde druhou nejvyšší hodnotu odběru dusíku slámou měla naopak varianta hnojená pouze dusíkem (54,17 kg N/ha) a rozdíl mezi nejvyšším odběrem byl tak o 49 %.

### 5.5.3 Odběr dusíku zrnem Semeč

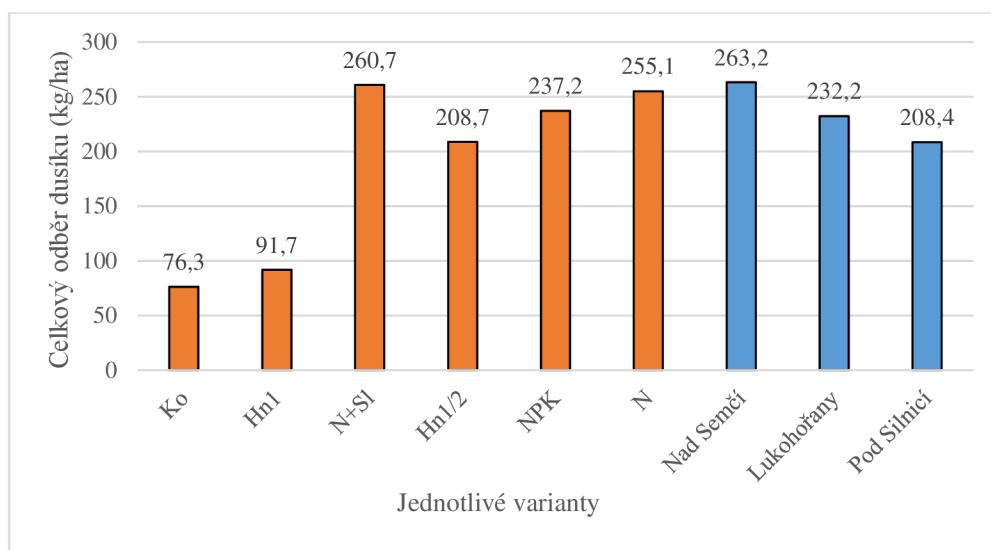
Průměrná hodnota odběru dusíku zrnem činila 214,7 kg N/ha. Oproti kontrole na Suchdole se jednalo o nárůst 231,8 %. Při srovnání s nejnižším odběrem dusíku na Suchdole byl nárůst 176,7 % a s nejvyšším odběrem nárůst činil pouze 6,9 %.

### 5.5.4 Odběr dusíku slámou Semeč

Průměrná hodnota odběru dusíku slámou byla 19,9 kg N/ha a při srovnání s kontrolou na Suchdole byl zjištěn nárůst 71,3 %. Oproti nejnižší variantě na Suchdole se jednalo o nárůst 40,9 %. Při srovnání s nejvyšší variantou na Suchdole se jednalo o pokles 66,76 %.

## 5.6 Celkový odběr dusíku

Celkový odběr dusíku ze všech posuzovaných variant je vyobrazen v grafu 6. Na žádné variantě nebyl celkový odběr dusíku menší než varianta kontrola.



Graf 6 Celkový odběr dusíku

### 5.6.1 Celkový odběr dusíku Suchdol

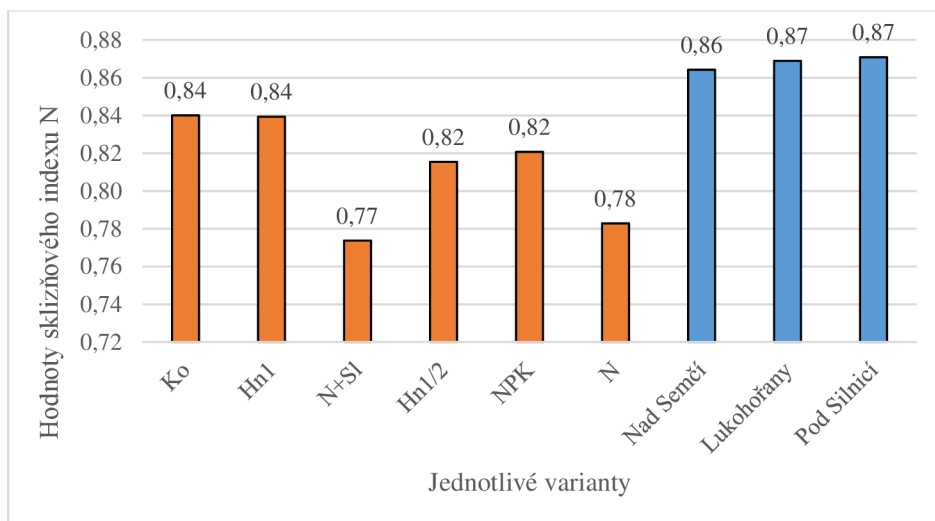
Kontrolní varianta měla celkový odběr dusíku 76,3 kg N/ha. Nejnižším odběrem dusíku disponovala varianta hnojená pouze hnojem (91,7 kg N/ha) a měla oproti kontrole nárůst 20,2 %. Všechny varianty jinak disponovaly celkovým odběrem vyšším než 200 kg N/ha. Nejvyšší celkový odběr dusíku nastal na variantě N + sláma (260,7 kg N/ha) a nárůst oproti kontrole činil 241,7 %. Druhý nejvyšší celkový odběr dusíku byl zjištěn na variantě, která byla hnojená pouze hnojem (255,1 kg N/ha).

### 5.6.2 Celkový odběr dusíku Semeč

Průměrná hodnota celkového odběru dusíku na katastrálním území Semeč činila 234,6 kg N/ha. Při srovnání s kontrolou ze Suchdola činil nárůst 207,5 %. Oproti variantě, na které byl zjištěn nejnižší celkový odběr dusíku, byla hodnota průměrného celkového odběru dusíku o 155,8 % vyšší. Při srovnání s variantou, na které byl zjištěn nejvyšší celkový odběr dusíku ze Suchdola se jednalo o 10% pokles.

## 5.7 Sklizňový index dusíku

Všechny hodnoty sklizňového indexu dusíku posuzovaných variant ze Suchdola a z katastrálního území Semeč jsou vyobrazeny v grafu 7.



Graf 7 Sklizňový index dusíku

### 5.7.1 Sklizňový index dusíku Suchdol

Všechny hodnoty sklizňového indexu dusíku na Suchdole se v průměru pohybovaly kolem hodnoty 0,8. Nejvyšší hodnota však byla zjištěna u varianty kontrola (0,84) a od druhé nejvyšší hodnoty na variantě hnojené pouze hnojem (0,839) se lišila pouze o jednu tisícinu a byla tedy menší o 0,12 %. Podobně na tom byly i varianty NPK (0,82) a ½ hnoje + N (0,815). Rozdíl mezi nimi byl pět tisícín neboli 0,61 %. Nejnižší hodnoty byly zjištěny u varianty N+sláma (0,77) a varianty N (0,78). Rozdíl mezi těmito dvěma variantami byl větší než u předchozích dvou srovnání, a to jedna desetina neboli 1,3 %.

### 5.7.2 Sklizňový index dusíku Semeč

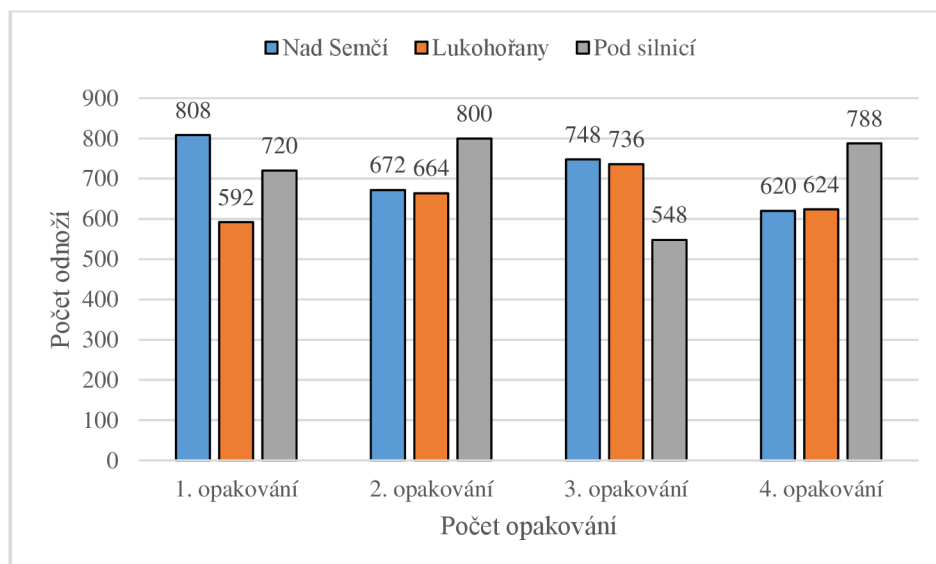
Průměrná hodnota sklizňového indexu dusíku činila 0,87 a k výrazným změnám mezi hodnotami jednotlivých pozemků nedošlo. Nejvyšší hodnota byla zjištěna na pozemku Pod silnicí (0,87) a nejnižší hodnotou disponoval pozemek Nad Semčí (0,86). Při srovnání průměrné hodnoty s kontrolou ze Suchdola se jednalo o nárůst 3,6 %.

## 5.8 Výnosotvorné prvky Semeč

### 5.8.1 Počet odnoží před sklizní

Všechny hodnoty počtu odnoží před sklizní jsou znázorněny v grafu 8. Hodnota počtu odnoží před sklizní na pozemku Nad Semčí se pohybovala v rozmezí od 620 do 808, na pozemku Lukohořany se jednalo o rozmezí od 592 do 736 a na pozemku Pod Silnicí o rozmezí od 548 do 800. Největší variabilita byla tak na pozemku Pod Silnicí a nejmenší na pozemku Lukohořany. V průměru největším počtem odnoží na 1 m<sup>2</sup> disponovaly pozemky Nad Semčí (712) a Pod Silnicí (714), jejichž vzájemný rozdíl nebyl velký. Oproti tomu pozemek Lukohořany měl v průměru pouze 654 odnoží, což je od pozemku Nad Semčí o 58 méně a od pozemku Pod Silnicí o 60 méně. V rámci jednotlivých opakování figurovala určitá variabilita pozemku.

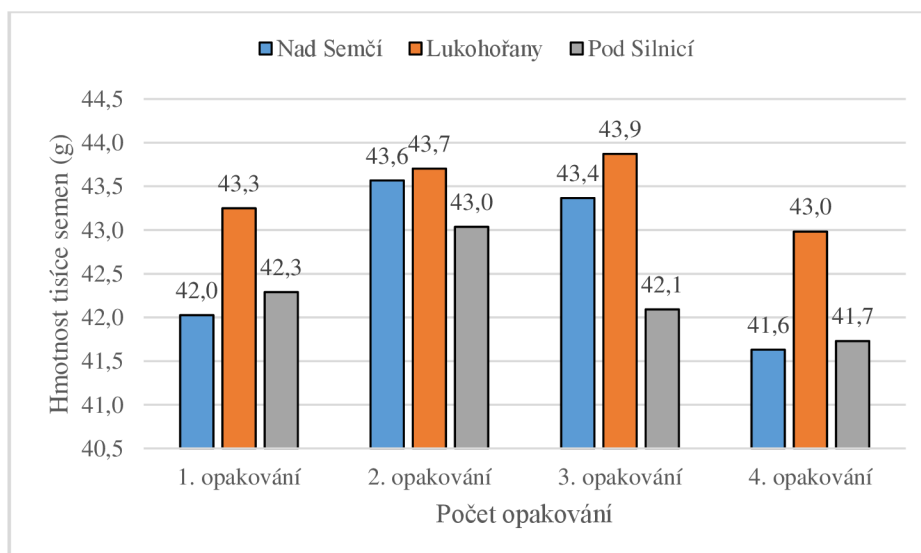




Graf 8 Počet odnoží před sklizni

### 5.8.2 Hmotnost tisíce semen

Všechny hodnoty hmotnosti tisíce semen jsou znázorněny v grafu 9. Hodnota HTS neboli hmotnosti tisíce semen se na pozemku Nad Semčí pohybovala v rozmezí od 41,6 g do 43,6 g, na pozemku Lukohořany bylo rozmezí od 43,0 g do 43,9 g a na pozemku Pod Silnicí se jednalo o rozmezí od 41,7 g do 43,0 g. Největší variabilitou tak disponovala hodnota HTS na pozemku Nad Semčí a nejmenší na pozemku Lukohořany. Zároveň ale na pozemku Lukohořany byl zjištěn největší průměr HTS a to 43,5 g a průměrné hodnoty tohoto prvku na pozemku Nad Semčí (42,6 g) a Pod Silnicí (42,3 g) se od sebe nijak nelišily i přesto, že pozemek Nad Semčí měl větší variabilitu.

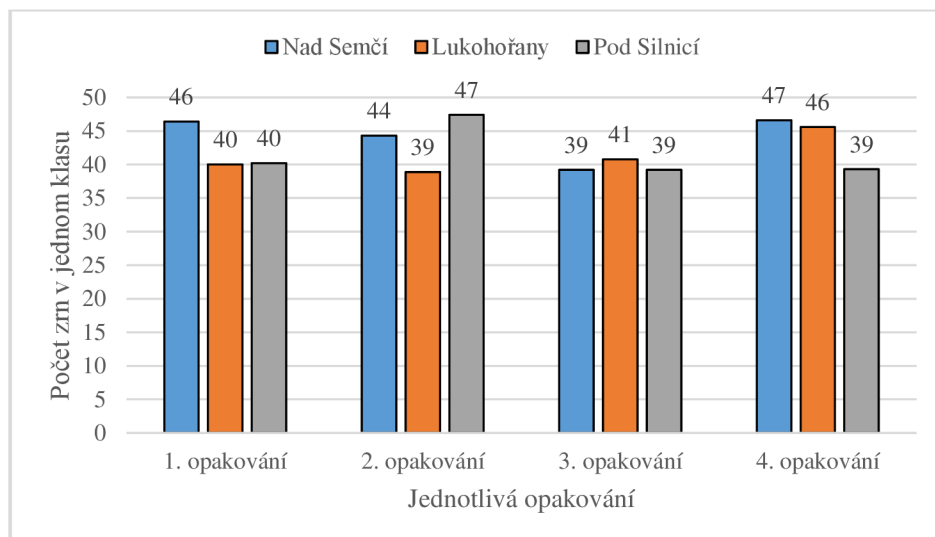


Graf 9 Hmotnost tisíce semen v gramech

### 5.8.3 Počet zrn v jednom klasu

Rozmezí počtu zrn v jednom klasu se na pozemku Nad Semčí pohybovalo od 39 do 47, na pozemku Lukohořany od 39 do 46 a na pozemku Pod Silnicí od 39 do 47.

Na těchto hodnotách lze vidět, že variabilita byla na všech pozemcích stejná. V průměru hodnoty tohoto prvku neklesly na žádném pozemku pod číslo 40. Nejvíce zrn v jednom klasu bylo zjištěno na vzorcích z pozemku Nad Semčí (44) a u pozemku Lukohořany (41) byl průměr pouze o 3 hodnoty nižší a u pozemku Nad Silnicí (42) pouze o 2 hodnoty nižší.



Graf 10 Počet zrn v jednom klasu

## 6 Diskuze

### 6.1 Výnos

Ministerstvo zemědělství ve žňovém zpravodajství z roku 2023 uvádí, že průměrný výnos pšenice ozimé se pohyboval okolo 6,61 t/ha v rámci území České republiky. Český statistický úřad (ČSÚ) uvádí, že na území Ústeckého kraje, ve kterém se nachází i území Semeč, byl průměrný výnos 6,88 t/ha. V Praze byl výnos dle ČSÚ v průměru 7,19 t/ha.

Jak je vidět z grafu 1, tak na Suchdole měl nejmenší vliv na výnos hnůj, kde tato hodnota u výnosu zrna byla pouze 7,55 t/ha a u výnosu slámy 7,17 t/ha. Varianta hnojená pouze hnojem vykazovala podstatně nižšího výnosu oproti variantám, ke kterým bylo přidáno minerální hnojení s dusíkem. Zhang et al. (2017) ve své studii uvádí, že používání samotného hnoje nestačí k udržení současné úrovně produkce vysoce výnosných odrůd ozimé pšenice, protože většina dusíku v hnoji je v organické formě a je třeba dlouhé doby k jeho mineralizaci, než je k dispozici pro příjem rostlinami. Hlisnikovský et al. (2023) uvádí, že živiny z minerálních hnojiv jsou rychle dostupné, rovnoměrné a jejich složení je dobře definované, což umožňuje přesné dávkování, ale zároveň je jejich účinek závislý na povětrnostních podmínkách. Největší vliv na Suchdole tak mělo na výnos zrna hnojení NPK (11,47 t/ha) a na výnos slámy hnojení dusík se slámou (11,48 t/ha). Macholdt et al. (2019) ve své studii však uvádí, že hnojením pouze minerálního NPK se obsah organického uhlíku v půdě může časem snižovat a dle Duncan et al. (2018) společná aplikace P, K a síry zvyšuje účinnost dusíku a pomáhá dosahovat vyšších výnosů s vyšším obsahem bílkovin. Vysoké výnosy byly tak dosažené v katastrálním území Semeč, kde k pšenici ozimé byla aplikována hnojiva jak s dusíkem, fosforem, tak i sírou. Výnos zrna pšenice a jeho kvalita je dle Hlisnikovský et al. (2023) ovlivněna celou řadou faktorů, jako je předplodina, způsob zpracování půdy, ale největší vliv na to mají povětrnostní podmínky a aplikace hnojiv. Káš et al. (2019) uvádí, že výnosy ozimé pšenice jsou ovlivňovány nejen extrémními klimatickými jevy, jako je dlouhodobé sucho nebo rozsáhlé povodně, ale také méně závažnými nepříznivými povětrnostními podmínkami, které mohou s budoucí změnou klimatu narůstat. Stejně tak Burton et al. (2024) ve své studii popisují vliv environmentálních podmínek, které silně ovlivňují výnos a obsah bílkovin, přičemž obojí je regulováno dávkami a načasováním aplikace dusíku. Dle mého názoru měla největší vliv na výnos pšenice ozimé forma dodávaných hnojiv. Buráňová et al. (2015) ve své publikaci uvádí, že dusík je klíčovým prvkem pro dosažení trvale vysokých výnosů u obilovin a Hawkesford (2014) ve své studii popisují, že zvyšující se přísun dusíku do plodiny vede k produkci větší biomasy, avšak s rizikem náchylnosti k poléhání.

### 6.2 Sklizňový index

V rámci sklizňového indexu byly výsledky téměř totožné, jak je vidět v grafu 2. V rámci Semeče se jednalo o hodnoty kolem 0,6 a v Praze na Suchdole o hodnoty kolem 0,5. Martinek et al. (2019) se ve svém článku zmiňuje o tom, že současné odrůdy mohou dosahovat hodnot okolo 0,3-0,4, ale dle některých literárních zdrojů by tato hodnota mohla stoupnout na 0,6, jak je uvedeno například ve studii Dai et al. (2016). Hodnoty sklizňového indexu

tak korelují s literárními zdroji. Jednotlivé formy hnojení tak na výsledky hodnot sklizňového indexu nemají vliv, což stojí v protikladu se studií Li et al. (2011) ve které se zmiňují, že zvyšování dávek dusíku může vést i ke zvýšení sklizňového indexu. Hnilička et al. (2020) ve své studii popisují, že šlechtění pšenice způsobilo významné změny v růstu rostlin, zejména ve zkrácení délky stébla a tím došlo ke zlepšení odolnosti rostlin proti poléhání a zvýšení hmotnosti zrna, což přispělo k vyšším hodnotám sklizňového indexu a Dai et al. (2016) ve své studii uvádí, že sklizňový index je ovlivněn abiotickými stresy a termíny setí.

### 6.3 Obsah dusíku a dusíkatých látek

Holík et al. (2018) ve své studii uvádí, že organická hnojiva v kombinaci s minerálními hnojivy vedou ke zvýšené koncentraci dusíku a lepšímu využití fosforu a draslíku v důsledku zlepšených vlastností půdy. Obsahy dusíku se od jednotlivých variant hnojení poměrně lišily, jak je znázorněno v grafu 3. Nejmenší vliv na obsah dusíku v zrna v rámci hnojených variant měla opět varianta, která byla hnojena pouze hnojem, kde hodnota činila 1,03 %. Stejný vliv byl tak zjištěn i u obsahu dusíkatých látek v zrna (5,9 %). Dle mého názoru je to opět způsobeno nedostatečnou výživou v podobě hnojení pouze hnojem, který je pro pšenici ozimou z hlediska výživy nedostačující. Nejvíce na obsah dusíku v zrna však působila varianta hnojená pouze dusíkem (1,83 %). Výsledky tak korespondují se studií Mikanová & Šimon (2013), ve které se zmiňují, že průměrné množství dusíku se v sušině pohybuje mezi 1 až 3 %. Dle Zhao et al. (2019) je obsah bílkovin v zrnech hlavně determinován akumulací dusíku ve fázi květu a účinností jeho přenosu do zrna, přičemž ovlivňujícími faktory jsou výběr odrůdy, hnojení, zavlažování a environmentální podmínky. Buráňová et al. (2016) také uvádí, že aplikace dusíku kombinovaná s lepším rozložením dusíku během cyklů růstu pšenice významně zlepšuje obsah bílkovin v zrnech.

U pšenice ozimé, která byla pěstována na třech pozemcích v oblasti Semeč se obsah dusíkatých látek pohyboval v rozmezí od 8,7 % do 10,3 %. Je to v podstatně méně, než uvádí produktový list od firmy Limagrain, která tuto odrůdu vyšlechtila. Dle uvedených informací by totiž měla dosáhnout až 13,6 % dusíkatých látek. Dle Polišenská et al. (2020) by pšenice pekárenská měla dosáhnout obsahu dusíkatých látek minimálně 11,5 % a pšenice pečivárenská maximálně 11,5 %.

### 6.4 Odběr dusíku

Největší odběr dusíku pšenicí ozimou nastal na variantách N+sláma (260,7 kg N/ha) a N (255,1 kg N/ha), jak je vidět v grafu 6. Vaněk et al. (2016) ve své publikaci uvádí, že odběr dusíku je závislý jak na výnosu, pěstované odrůdě, tak i na povětrnostních podmínkách. V grafu číslo 5 lze také vidět, že převážný odběr dusíku je odčerpán zrnem. Nejméně dusíku bylo odčerpáno na variantě hnojené pouze hnojem (91,7 kg N/ha), kde rostlinám není dodáváno potřebné množství dusíku. Černý et al. (2020) ve svém článku uvádí, že lineární vztah s výnosem platí přibližně do hodnoty 8 t/ha, jelikož s vyššími dávkami dusíku dochází ke snižování schopnosti pšenice aplikovaný dusík využít.

Vaněk et al. (2016) ve své publikaci uvádí, že nové odrůdy pšenice ozimé v případě vysokých výnosů zrna mají tendenci odčerpávat méně živin, zejména kvůli sníženému obsahu slámy.

## 6.5 Sklizňový index dusíku

Skvizňový index dusíku má naopak nejmenší hodnoty na variantách N+sláma (0,77) a N (0,78). Výsledky tohoto prvku tak nejsou ovlivňovány množstvím dodávaného dusíku, ani výnosem. Hawkesford (2014) uvádí, že hodnoty sklizňového indexu dusíku neboli NHI mohou dosáhnout až přes 80 % a nemají vysokou citlivost na množství dusíku, které bylo pšenici ozimé dodáno. Tento jev je dobře vidět například na variantě kontrola, jelikož se nejedná o variantu, ke které by byl dusík přidáván ve formě jakýchkoliv hnojiv. Stejně na tom byla i varianta hnojená pouze hnojem, kde sklizňový index dusíku měl stejnou hodnotu jako u varianty kontrola a to 0,84.

## 6.6 Počet odnoží před sklizní na 1 m<sup>2</sup>

Dle Šamalík et al. (2019) se optimální počet tohoto prvku pohybuje kolem 700 až 800 odnoží. Těchto hodnot dosahovaly všechny tři pozemky, které byly v oblasti Semeč posuzovány. V průměru se však do tohoto rozmezí dají zařadit pouze dva pozemky a těmi jsou Nad Semčí (712 odnoží) a Pod Silnicí (714 odnoží). Pozemek Lukohořany (654 odnoží) tak tohoto standardu nedosáhl. Avšak v publikaci od Pazderů et al. (2018) se všechny tři pozemky dají zařadit do kategorie s hustým porostem, která se v řepařské oblasti považuje nad 500 odnoží na 1 m<sup>2</sup>. Šamalík et al. (2019) ve svém článku ještě popisují, že vlastní tvorba odnoží je ovlivněna jak termínem setí, tak hloubkou setí, dále také samotnou výživou, klimatickými podmínkami a v neposlední řadě i genetickým základem dané odrůdy. V grafu 8 lze vidět, že na tento paramter působí i variabilita půdního prostředí.

## 6.7 Hmotnost tisíce semen

V publikaci od Pazderů et al. (2018) se hodnoty HTS pohybují v rozmezí od 38 g do 44 g. Dosažené výsledky tohoto prvku, které jsou znázorněny v grafu 9, tak korelují s příslušnou publikací. Mezi jednotlivými opakováními tak lze vidět, že hodnota byla poměrně konstantní, jelikož na žádném poli nebyla dolní ani horní hranice výše uvedeného rozmezí překročena. Dá se tak říct, že v průměru hodnoty hmotnosti tisíce semen na jednotlivých pozemcích, kam patří Nad Semčí (42,6 g), Lukohořany (43,5 g) a Pod Silnicí (42,3 g), měly ideální hodnotu. Yang et al. (2007) ve své studii zjistili, že obsah rozpustných sacharidů v celém stonku během střední fáze plnění zrna má klíčový vliv na následné uvolňování sacharidů ze stonku do zrna. Tento obsah měl velmi významné pozitivní korelace s hmotností tisíce semen a dokonce výnosem.

## **6.8 Počet zrn v jednom klasu**

Za optimální hodnotu se dle Pazderů et al. (2018) považuje rozmezí 26-32 zrn v jednom klasu pšenice ozimé. Na pozemcích ze Semče se však tyto hodnoty pohybovaly od 39-47 zrn a největší průměr tohoto prvku byl zjištěn na pozemku Nad Semčí (44 zrn).

## 7 Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na vliv různého typu hnojení na výnos ozimé pšenice, které zahrnovalo organická a minerální hnojiva. Dále bylo také zjišťováno, jak tyto různé systémy hnojení ovlivňují sklizňový index, obsah dusíku a dusíkatých látek v zrnu pšenice, odběr dusíku zrnem a slámou, celkový odběr dusíku a sklizňový index dusíku. V neposlední řadě byly také zkoumány výnosotvorné prvky pšenice ozimé v oblasti Semeč a jejich variabilita na pozemku v závislosti na stejném typu hnojení.

Ze zjištěných výsledků pokusu lze vyvodit:

- Minerální hnojiva mají oproti samotnému hnoji významný vliv na zvýšení výnosu u zrna a slámy. Použití hnoje zároveň s minerálním dusíkem se vyronávalo výsledkům, které byly zjištěny na výnosu u varianty, která byla hnojena pouze minerálním dusíkem. Dá se říct, že komplexní výživou u pšenice ozimé lze dosáhnout vysokých výnosů.
- Hnojení minerálního dusíku se slámou zvyšuje zejména výnos slámy.
- Hnojení samotným hnojem nezvyšuje odběr dusíku zrnem a slámou.
- Odběr dusíku zrnem a slámou je nejvíce ovlivněn systémem hnojení, ve kterém byl použit minerální dusík.
- Sklizňový index není ovlivněn zvýšenou dávkou dusíku a ani použitím organických či minerálních hnojiv.
- Sklizňový index dusíku není výrazně ovlivněn použitím různých typů hnojiv, avšak použitím minerálního dusíku společně se slámou a samotného dusíku dojde k mírnému poklesu.
- Použitím stejného typu hnojiv na celém pozemku nesníží jeho variabilitu.

### Hypotéza 1)

Hypotéza 1) o vyšším výnosu porostu pšenice ozimé hnojeného minerálními dusíkatými hnojivy oproti samotnému hnoji byla potvrzena.

### Hypotéza 2)

Hypotéza 2) o vlivu úrodnějších půd na výnos ozimé pšenice byla potvrzena.

### Hypotéza 3)

Hypotéza 3) o vyšším sklizňovém indexu na variantách, které byly hnojeny minerálními hnojivy oproti variantě hnojené pouze hnojem nebyla potvrzena.

## 8 Literatura

- Aguirre J. 2023. The Kjeldahl Method: 140 years. Cham: Springer Nature Switzerland
- Babulicová M. 2014. The influence of fertilization and crop rotation on the winter wheat production. *Plant, Soil and Environment* **60**:297-302
- Balemi T, Negisho K. 2012. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **12(3)**:547-561.
- Balík J, Černý J, Kulhánek M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Bashir MA, Rehim A, Raza QUA, Raza HMA, Zhai L, Liu H, Wang H. 2021. Biostimulants as Plant Growth Stimulators in Modernized Agriculture and Environmental Sustainability.311-322 in Ahmad F, Sultan M, editors. *Technology in Agriculture*. IntechOpen. Londýn.
- Buráňová Š, Černý J, Kulhánek 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, Mitura K, Lipínska KJ, 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
- Burton A, Häner LL, Schaad N, Strebel S, Vuille-dit-Bille N, Bongiovanni PdF, Holzkämper A, Pellet D, Herrera JM. 2024. Evaluation nitrogen fertilization strategies to optimize yield and grain nitrogen content in top winter wheat varieties across Switzerland. *Field Crops Research* **307**.
- Černý J, Kulhánek M, Sedlář O, Balík J, Javor T, Suran P. 2020. Vhodná dávka síry a termín aplikace při jarním hnojení ozimé pšenice. Agromanuál. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vhodna-davka-siry-a-termin-aplikace-pri-jarnim-hnojeni-ozime-psenice>
- Černý J, Sedlář O, Kulhánek M, Balík J, Šiler D. 2020. Hnojení ozimé pšenice dusíkem podle vývoje porostu a vědeckých poznatků. Agromanuál. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-ozime-psenice-dusikem-podle-vyvoje-porostu-a-vedeckych-poznatku>
- Černý J, Vaněk V, Kozlovský O. 2011. Hnojení dusíkem: specifika a aplikace. Zemědělec. Available from <https://zemedelec.cz/hnojeni-dusikem-specifika-a-aplikace>
- ČSÚ. 2023. Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin-2023. Pšenice setá ozimá. Český statistický úřad. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2023>



- Dai J, Bean B, Brown B, Bruening W, Edwards J, Flowers M, Karow R, Lee Ch, Morgan G, Ottman M, Ransom J, Wiersma J. 2016. Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass and Bioenergy*. **85**:223-227
- Duncan EG, O'Sullivan C, Roper MM, Biggs JS, Peoples MB. 2018. Influence of co - application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertilizer use, grain yield and protein content of wheat: Review. *Field Crops Research*. **226**:56-65
- Fageria NK. 2015. Potassium. 127-164 in Barker AV, Pilbeam D, editors. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group. CRC Press.
- Faměra O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Rostlinná výroba. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství, Praha.
- Guo K, Yang J, Yu N, Luo L, Wang E. 2023. Biological nitrogen fixation in cereal crops: Progress, strategies, and perspectives. *Plant Communications* **4**.
- Grant C, Hakwesford MJ. 2015. Sulphur. 261-304 in Barker AV, Pilbeam D, editors. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group. CRC Press.
- Hawkesford MJ. 2014. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science* **59**:276-283.
- Hlisnikovský L, Menšík L, Barlóg P, Kunzová E. 2023. How Weather and Fertilization Affected Grain Yield and Stability of Winter Wheat in a Long-Term Trial in the South Moravian Region, Czech republic. *Agronomy* **13**(9)
- Hlisnikovský L, Menšík L, Kunzová E. 2020. The Development of Winter Wheat Yield and Quality under Different Fertilizer Regimes and Soil-Climatic Conditions in the Czech Republic. *Agronomy* **10**.
- Hnilička F, Martinek P, Hniličková H. 2020. Zvyšování výnosu pšenice a hodnocení bilance energie s využitím spalné kalorimetrie. *Obilnářské listy*. **28**
- Holík L, Hlisnikovský L, Kunzová E. 2018. The effect of mineral fertilizers and farmyard manure on winter wheat grain yield and grain quality. *Plant Soil. Environ.* **64**(10):491-497
- Hooper P, Zhou Y, Coventry DR, McDonald GK. 2015. Use of Nitrogen Fertilizer in a Targeted Way to Improve Grain Yield, Quality, and Nitrogen Use Efficiency. *Agronomy Journal* **107**:903-915.
- Hopkins BG. 2015. Phosphorus. 66-126 in Barker AV, Pilbeam D, editors. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group. CRC Press.
- Horčíčka P, Bížová I, Veškra O, Bláha T, Holubová H, Chrpová J, Hanzalová J, Dašková L, Čapek J, Ježek S. 2017. Rádce pěstitele ozimé pšenice. Kurent, České Budějovice.

Javor T, Beranová L, AGROEKO Žamberk spol. s r. o., Bohuněk M, BioAktiv CZ s.r.o. 2023. Účinek mimokořenné výživy a stimulace růstu v ozimé pšenici. Agromanuál. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/stimulace/ucinek-mimokoreнове-vyzivy-a-stimulace-rustu-v-ozime-pšenici>.

Kalina M. 2005. Hnojení v zahradě. 2., aktualiz. vyd. Česká zahrada. Grada, Praha.

Káš M, Mühlbachová G, Kusá H. 2019. Winter wheat yields under different soil-climatic conditions in a long-term field trial. *Plant, Soil and Environment* **65(1)**:27-34.

Klír J, Kunzová E, Čermák P. 2008. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. 2., aktualiz. vyd. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Kulhánek M, Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita, Powerprint, Praha.

Lalitha M, Dhakshinamoorthy M. 2014. Forms of soil potassium-A review. *Agricultural Reviews* **35**.

Leghari SJ, Wahocho NA, Laghari GM, Laghari AH, Bhabhan GM, Talpur KH, Bhutto TA, Wahocho SA, Lashari AA. 2016. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review. *Advances in Environmental Biology* **10(9)**:209-218.

LG. 2022. Produktový list. Limagrain. Available from: <https://lc.lgseeds.cz/odrudy/obilniny/psenice-ozima/lg-absalon/>

Li H, Luo Y, Xue X, Zhao Y, Zhao H, Li F. 2011. A comparison of harvest index estimation methods of winter wheat based on field measurements of biophysical and spectral data. *Biosystems Engineering* **109(4)**:396-403

Macholdt J, Piepho HP, Honermeier B. 2019. Mineral NPK and manure fertilisation affecting the yield stability of winter wheat: Results from a long-term field experiment. *European Journal of Agronomy* **102**:14-22.

Martinek P, Hnilička F, Trávníčková M, Bezdíčková A. 2019. Zvyšovat sklizňový index a biomasu pšenice. Úroda. Available from: <https://uroda.cz/zvysovav-skliznovy-index-a-biomasu-psenice/>

Mikanová O, Šimon T. 2013. Alternativní výživa rostlin dusíkem: metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha

Ministerstvo zemědělství. 2023. žňové zpravodajství k 28. srpnu 2023. Available from: <https://eagri.cz/public/portal/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/roslinne-komodity/obiloviny/prubeh-sklizne/sklizen-2023/znove-zpravodajstvi-k-28-srpnu-2023>

Mu X, Chen Y. 2021. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry* **158**:76-82.

- Mwende Muindi E. 2019. Understanding Soil Phosphorus. *International Journal of Plant & Soil Science* 1-18.
- Nkebiwe PH, Weinmann M, Bar-Tal A, Müller T. 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research* **196**:389-401.
- Novák J, Skalický M. 2017. Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika. Čtvrté vydání. Powerprint, Praha.
- Pazderů K, Bečka D, Capouchová I, Dvořák P, Procházka P, Urban J. 2018. Pěstování rostlin-cvičení. Vydání druhé. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Polišenská I, Jirsa O, Jergl Z, Tvarůžek, Ludvík. 2020. Mezinárodní soutěž pěstebních technologií 2020 ve výsledkových přehledech II. Část: Vyhodnocené kvality pšenice ozimé. *Obilnářské listy* **28**
- Prajapati K, Modi HA. 2012. The importance of potassium in plant growth-a review. *Indian Journal of Plant Science* **1(02-03)**:177-186.
- Prášková L, Němec P. 2016. Bazální monitoring zemědělských půd, půdní reakce a obsah živin. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně.
- Sáez-Plaza P, Navas MJ, Wybraniec Sł, Michałowski T, Asuero AG. 2013. An Overview of the Kjeldahl Method of Nitrogen Determination. Part II. Sample Preparation, Working Scale, Instrumental Finish, and Quality Control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* **43**:224-272.
- Schachtman DP, Reid RJ, Ayling SM. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology* **116**:447-453.
- Šamalík J, Petrásek J, Chemap Agro s.r.o., Koprna R, Univerzita Palackého v Olomouci. 2019. Aktivní přístup k formování produktivních odnoží a výnosu obilnin. Agromanuál. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/listova-hnojiva/aktivni-pristup-k-formovani-produktivnich-odnozi-a-vynosu-obilnin>.
- Škáchová 2023. Kvalita ovzduší na území České republiky v roce 2022. Available from: [https://info.chmi.cz/zpravy/UKO\\_AIM2022](https://info.chmi.cz/zpravy/UKO_AIM2022)
- Tabak M, Lepiarczyk A, Filipek-Mazur B, Lisowska A. 2020. Efficiency of Nitrogen Fertilization of Winter Wheat Depending on Sulfur Fertilization. *Agronomy* **10**.
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin: pěstování, hodnocení a užití zrna. Academia, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin, Profi Pres s.r.o., Praha.
- Yan H, Yang Z, Chen S, Wu J. 2024. Exploration and development of artificially synthesized plant growth regulators. *Advanced Agrochem* **3**:47-56.

Yang DL, Jing RL, Chang XP, Li W. 2007. Identification of Quantitative Trait loci and Environmental Interactions for Accumulation and Remobilization of Water-Soluble Carbohydrates in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Stems. *Genetics* **171**(1):571-584

Zhang H, Yu X, Jin Z, Zheng W, Zhai B, Li Z. 2017. Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of soil science and plant nutrition* **17**(2):461-474

Zhao H, Song X, Yang G, Li Z, Zhang D, Feng H. 2019. Monitoring of Nitrogen and Grain Protein Content in Winter Wheat Based on Sentinel-2A Data. *Remote Sensing* **11**(4).

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.

Zörb C, Ludewig U, Hawkesford MJ. 2018. Perspective on Wheat Yield and Quality with Reduced Nitrogen Supply. *Trends in Plant Science* **23**:1029-1037.

