

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Odběr dusíku ozimou pšenicí s ohledem na systém hnojení  
a podmínky stanoviště**

**Bakalářská práce**

**Radek Samek  
Rostlinná produkce**

**Ing. Jindřich Černý, Ph.D.**

**© 2021 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Odběr dusíku ozimou pšenicí s ohledem na systém hnojení a podmínky stanoviště" jsem vypracoval 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1.5.2021

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za trpělivé a ochotné vedení mé bakalářské práce, cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále bych rád poděkoval katedře agroenvironmentální chemie a výživy rostlin za poskytnutí potřebných materiálů a možnosti analýzy vzorků.

# Odběr dusíku ozimou pšenicí s ohledem na systém hnojení a podmínky stanoviště

## Souhrn

Tato práce se zabývala vlivem hnojení na příjem dusíku ozimou pšenicí s ohledem na podmínky stanoviště. Je důležité znát potřeby rostlin a vztah pšenice k jednotlivým způsobům hnojení. Dalším faktorem ovlivňující příjem dusíku je prostředí, ke kterému v této práci bylo také přihlíženo. Literární rešerše byla zaměřena na vliv hnojení na příjem dusíku ozimou pšenicí, přeměny dusíku v půdě a efektivitu využití dusíku z různých hnojiv. V práci byly popsány faktory ve vztahu k příjmu dusíku, které ovlivňují jednotlivé parametry tvorby výnosu a kvality produkce. V literární rešerši byl také popsán průběh asimilace dusíku v rostlinách (pšenici) a faktory, které ji ovlivňují. Praktická část práce byla založena na výsledcích dlouhodobých stacionárních pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin – České zemědělské univerzity v Praze. Vzorke byly odebírány v roce 2019, tudíž z porostu založeného v roce 2018. Výsledky byly zpracovány ze dvou půdně-klimaticky odlišných stanovišť, a to ze stanoviště Suchdol o velikosti pokusné parcely 60,5 m<sup>2</sup> a stanoviště Lukavec o velikosti pokusné parcely 60 m<sup>2</sup>. Na stanovištích bylo sledováno 8 variant pokusů v rámci hnojení: 1. žádné hnojení (kontrola), 2. čistírenské kaly, 3. statkový hnůj, 4. poloviční dávka statkového hnoje + N v minerálních dusíkatých hnojivech, 5. minerální dusíkatá hnojiva (N), 6. NPK v minerálních hnojivech, 7. NPK v minerálních hnojivech s přidanou směsí mikroprvků a potenciálně rizikových prvků, 8. sláma jarního ječmene + N v minerálních dusíkatých hnojivech. Z těchto variant byl vyhodnocen výnos zrna, výnos slámy, sklizňový index, obsah dusíku v zrně, obsah dusíku ve slámě, odběr dusíku zrnem, odběr dusíku slámou, celkový odběr dusíku, sklizňový index dusíku a odběrový normativ. Také byly vyhodnoceny stanovené hypotézy. Výnos zrna byl ovlivněn především podmínkami stanoviště a zřejmě nízkým úhrnem srážek. Na stanovišti Lukavec bylo dosaženo vyššího sklizňového indexu (až 80 %) oproti stanovišti Suchdol. Vyššího obsahu dusíku jak v zrně, tak ve slámě bylo dosaženo na stanovišti Suchdol, a to především na variantách hnojených minerálními hnojivy. Odběr dusíku byl ovlivněn především podmínkami stanoviště. Sklizňový index dusíku vykázal vyšší hodnoty na stanovišti Lukavec, ale naopak vyšší hodnoty odběrového normativu byly vykázány na stanovišti Suchdol.

**Klíčová slova:** ozimá pšenice; dusík; výnos; bilance

# **Nitrogen uptake by winter wheat with respect to fertilization system and site conditions**

## **Summary**

This bachelor thesis dealt with the effect of fertilization on nitrogen uptake by winter wheat with respect to habitat conditions. It is important to know the needs of plants and the relationship of wheat to different methods of fertilization. Another factor influencing nitrogen uptake is the environment, which was also taken into account in this work. The literature search focused on the effect of fertilization on nitrogen uptake by winter wheat, nitrogen conversion in the soil and the efficiency of nitrogen utilization from various fertilizers. The paper describes the factors in relation to nitrogen uptake, which affect the individual parameters of yield generation and production quality. The course of nitrogen assimilation in plants (wheat) and the factors that affect it were also described in the literature search. The practical part of the work was based on the results of long-term stationary experiments of the Department of Agri-Environmental Chemistry and Plant Nutrition – Czech University of Life Sciences in Prague. Samples were taken in 2019, that is from the cover established in 2018. The results were processed from two soil-climatically different sites, namely the Suchdol site with an experimental plot size of 60.5 m<sup>2</sup> and the Lukavec site with an experimental plot size of 60 m<sup>2</sup>. At the sites were monitored 8 variants of fertilization experiments: 1. no fertilization (control), 2. sewage sludge, 3. manure, 4. half dose of manure + N in mineral nitrogen fertilizers, 5. mineral nitrogen fertilizers (N), 6. NPK in mineral fertilizers, 7. NPK in mineral fertilizers with added mixture of microelements and potentially risky elements, 8. spring barley straw + N in mineral nitrogen fertilizers. From these variants, grain yield, straw yield, harvest index, nitrogen content in grain, nitrogen content in straw, nitrogen uptake by grain, nitrogen uptake through straw, total nitrogen uptake, harvested nitrogen index and uptake norms were evaluated. The established hypotheses were also evaluated. Grain yield was mainly affected by habitat conditions and probably low rainfall. A higher harvest index (up to 80 %) was achieved at the Lukavec site compared to the Suchdol site. Higher nitrogen content in both grain and straw was achieved at the Suchdol site, especially on variants fertilized with mineral fertilizers. Nitrogen uptake was mainly affected by habitat conditions. The nitrogen harvest index showed higher values at the Lukavec site, but on the contrary, higher values of sampling standards were reported at the Suchdol site.

**Keywords:** winter wheat, nitrogen, yield, balance

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Obilniny obecně.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Pšenice ozimá.....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Evoluce a šlechtění pšenice .....	11
3.2.2 Botanický popis .....	12
3.2.3 Požadavky na prostředí.....	12
3.2.4 Adaptabilita pšenice k prostředí .....	12
<b>3.3 Dusík.....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Koloběh dusíku.....	13
3.3.2 Rovnice dusíkové bilance .....	14
3.3.3 Přeměny dusíku v půdě.....	15
<b>3.4 Ztráty dusíku z půdy.....</b>	<b>17</b>
3.4.1 Těkání amoniaku .....	17
3.4.2 Vyluhování dusičnanů .....	17
<b>3.5 Omezení ztrát dusíku synchronizací potřeb rostlin a hnojení.....</b>	<b>17</b>
3.5.1 Metody snižování ztrát amoniaku.....	18
<b>3.6 Příjem dusíku .....</b>	<b>18</b>
3.6.1 Asimilace dusíku .....	19
3.6.2 Mobilizace dusíku.....	22
<b>3.7 Výživa a hnojení ozimé pšenice.....</b>	<b>22</b>
3.7.1 Fosfor.....	23
3.7.2 Draslík.....	23
3.7.3 Vápník.....	23
3.7.4 Hořčík .....	23
3.7.5 Síra.....	23
<b>3.8 Aplikace dusíkatých hnojiv .....</b>	<b>24</b>
<b>3.9 Mimokořenová výživa.....</b>	<b>25</b>
3.9.1 Faktory mimokořenové výživy.....	25
3.9.2 Mimokořenová aplikace hnojiv .....	26
<b>3.10 Účinnost využívání dusíku v půdě a hnojivech .....</b>	<b>26</b>
<b>3.11 Vliv hnojení dusíkem na kvalitu a výnos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.12 Odebírání vzorků .....</b>	<b>28</b>
<b>4 Metodika .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Stanoviště Suchdol .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Stanoviště Lukavec .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Varianty .....</b>	<b>31</b>

<b>4.4</b>	<b>Souhrn srážek .....</b>	<b>32</b>
<b>4.5</b>	<b>Skližeň a zpracování vzorků .....</b>	<b>32</b>
<b>4.6</b>	<b>Výpočty.....</b>	<b>32</b>
4.6.1	Výnos .....	32
4.6.2	Sklizňový index .....	32
4.6.3	Obsah dusíku.....	33
4.6.4	Odběr dusíku.....	33
4.6.5	Sklizňový index dusíku.....	33
4.6.6	Odběrový normativ dusíku .....	33
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Stanoviště Suchdol .....</b>	<b>34</b>
5.1.1	Výnos zrna .....	34
5.1.2	Výnos slámy .....	35
5.1.3	Sklizňový index .....	35
5.1.4	Obsah dusíku v zrně .....	36
5.1.5	Obsah dusíku ve slámě .....	37
5.1.6	Odběr dusíku zrnem.....	37
5.1.7	Odběr dusíku slámou .....	38
5.1.8	Celkový odběr dusíku .....	38
5.1.9	Sklizňový index dusíku.....	39
5.1.10	Odběrový normativ dusíku .....	39
<b>5.2</b>	<b>Stanoviště Lukavec.....</b>	<b>40</b>
5.2.1	Výnos zrna .....	40
5.2.2	Výnos slámy .....	41
5.2.3	Sklizňový index .....	41
5.2.4	Obsah dusíku v zrně .....	42
5.2.5	Obsah dusíku ve slámě .....	43
5.2.6	Odběr dusíku zrnem.....	43
5.2.7	Odběr dusíku slámou .....	44
5.2.8	Celkový odběr dusíku .....	44
5.2.9	Sklizňový index dusíku.....	45
5.2.10	Odběrový normativ dusíku .....	46
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>Výnos zrna .....</b>	<b>47</b>
<b>6.2</b>	<b>Odběr dusíku zrnem .....</b>	<b>50</b>
<b>6.3</b>	<b>Celkový odběr dusíku .....</b>	<b>51</b>
<b>6.4</b>	<b>Sklizňový index dusíku .....</b>	<b>52</b>
<b>6.5</b>	<b>Odběrový normativ .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>54</b>

<b>8 Literatura.....</b>	<b>56</b>
<b>9 Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>



# 1 Úvod

Pšenice je nejpěstovanější plodinou v České republice i na celém světě. Má nezastupitelný význam v potravinářském průmyslu i ve výživě hospodářských zvířat. Její produkce ovlivňuje celosvětový trh s potravinami. S přibývajícimi roky a nárůstem lidské populace jsou na ni kladeny čím dál vyšší požadavky. V důsledku nárůstu počtu lidí a jejich vyšší potřebě a zastavováním orné půdy se zvětšuje rozdíl mezi poptávkou a produkcí. Hlavní snahou šlechtění je zvýšit její hektarový výnos a tím vybalancovat nerovnováhu mezi zvyšující se potřebou lidstva a omezenou produkcí pšenice. Aby nové vyšlechtěné odrůdy pšenice byly schopny tvořit vyšší hektarové výnosy, oproti předcházejícím odrůdám, je zapotřebí vyšší příjem dusíku. S vyšším příjmem souvisí intenzivnější a efektivnější aplikace dusíku a účinnost odběru dusíku plodinou. Systém hnojení a podmínky stanoviště nepřímo ovlivňují účinnost odběru dusíku rostlinou. Plodiny v různých podmínkách přijímají a preferují jinou formu dusíku. Což jde ovlivnit správně zvolenými agrotechnickými zásahy, dělenými dávkami hnojiv, osevním postupem a podobně.

Při nesprávném hospodaření může dojít ke ztrátám dusíku z půdy. To představuje ekonomickou ztrátu a únik dusíku z dosahu rostlin, ale i tím dochází ke znečištění životního prostředí, půd, podzemních vod a ovzduší. Proto začíná vzbuzovat velký zájem obor precizního zemědělství a je brán jako hlavní východisko, jak zvýšit hektarový výnos a tím uspokojit potřeby lidstva.

Jak je všeobecně známo, dusík je hlavním růstovým prvkem všech zelených rostlin. Za přítomnosti optimálního množství dusíku a dalších potřebných prvků a dostatečné vláhý je vysoký předpoklad rychlého růstu. Naopak dusík opoždí dožívání a je vhodné předejít velkému odběru dusíku ve fázi dožívání, například nepřihnojováním dusíkem v období tvorby generativních částí rostlin. Dusík je dobře pohyblivý v půdě a je náchylný na únik z půdy. Proto nelze dusíkem hnojit do zásoby, ale přihnojuje se při setí nebo bezprostředně před ním anebo v průběhu vegetace. Je dobré znát hlavní vlastnosti dusíku, jeho přeměny a příčiny ztrát z půdy a také vztah s plodinou a její požadavky na dusík a jeho příjem. Plodiny vykazují jinou potřebu dusíku v průběhu vegetace, například nižší ve fázi klíčení oproti fázi intenzivního růstu. Krokem k úspěchu je rozdělení dávek dusíkatých hnojiv a vypočítání dávky dusíku tak, aby odpovídala potřebě dané růstové fázi plodiny.

Dalším faktorem je již zmíněné prostředí, které může být ovlivňováno samotným hnojením, typy hnojiv a kombinací hnojiv. Nejvíce používaná jsou hnojiva minerální, která mají deklarovaný obsah čistých živin. Těchto hnojiv je celá řada a dělí se na jednosložková, která obsahují jednu hlavní živinu (dusíkatá, fosforečná, draselná atd.) a na vícesložková, která obsahují dvě nebo více hlavních živin (NP, PK, NPK apod.). U těchto minerálních hnojiv bezprostředně známe jejich složení a procentuální podíl dané živiny. Tato hnojiva jsou využívána primárně jako zdroj živin. Druhou kategorií hnojiv jsou hnojiva organická (hnůj, močůvka, kejda, sláma, zelené hnojení, komposty), která nemají deklarované přesné složení a nemají takovou koncentraci živin jako hnojiva minerální. Tato hnojiva vykazují zlepšující účinek na fyzikální vlastnosti půdy a zadržování živin a vody. Kombinací těchto dvou kategorií hnojiv existuje značný předpoklad pro vytvoření optimálních podmínek pro plodinu.

## 2 Cíl práce

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv hnojení organickými a minerálními hnojivy na příjem dusíku ozimou pšenicí a distribuci dusíku ve sklizených produktech. Hodnocení bylo vztaženo také k půdně-klimatickým podmínkám na různých stanovištích. Na základě toho byli stanoveny tyto hypotézy:

- 1) Předpokládám, že na variantách hnojených pouze dusíkem bude odběr dusíku nižší než na variantách hnojených dusíkem, fosforem i draslíkem.
- 2) Předpokládám, že vhodné podmínky stanoviště budou zvyšovat odběr dusíku ozimou pšenicí.
- 3) Předpokládám, že se bude lišit sklizňový index dusíku mezi jednotlivými variantami hnojení.
- 4) Předpokládám, že se bude lišit nebo odběrový normativ dusíku mezi jednotlivými variantami hnojení.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Obilniny obecně

Obilniny jsou v České republice nejrozšířenější plodiny. V zemědělských podnicích se ve většině případů pěstují na více než polovině orné půdy a často jejich zastoupení přesahují 60 % ze všech osevních ploch (Vaněk et al. 2016).

Obilniny jsou nezastupitelné pro lidskou existenci především tím, že mají prakticky univerzální použití jako lidské potraviny, krmiva pro zvířata i jako suroviny pro průmyslové zpracování. Z celosvětového hlediska se plodiny řadí podle největšího rozsahu produkce jako pšenice, rýže, kukuřice a ječmen. Obilniny mají nezastupitelný význam pro lidskou výživu, kde tvoří i ve vyspělých zemích třetinu až polovinu celkové energetické potřeby a přibližně čtvrtinu až třetinu celkové potřeby bílkovin. Obsahují také značné množství minerálních látek – nejvíce fosfor, vápník, draslík a podstatnou část vitamínů skupiny B. Obilniny jsou stejně nenahraditelné i jako krmivo pro zvířata, k zajištění celé živočišné výroby. Tvoří hlavní součást krmných jadrných směsí pro všechny druhy a kategorie hospodářských zvířat za účelem produkce masa, tuků, mléka, vajec a podobně (Diviš et al. 2010).

### 3.2 Pšenice ozimá

#### 3.2.1 Evoluce a šlechtění pšenice

Jedním z klíčových faktorů úspěchu pšenice, jako globální potravinářské plodiny, je její adaptabilita na širokou škálu klimatických podmínek. To lze částečně přičíst struktuře hexaploidního genomu, který je výsledkem dvou polyploidizačních událostí. Odhaduje se, že k první z nich došlo před několika stovkami tisíci lety. Hybridizace proběhla mezi divokým druhem *Triticum urartu* ( $2n = 2x = 14$ ; AA; 2 je počet chromozomů v každé somatické buňce a  $2x$  je základní počet chromozomů) a druhem ze sekce Sitopsis z *Triticum*, o kterém se předpokládá, že je příbuzný s *Aegilops speltoides* ( $2n = 14$ ; SS). Tato hybridizace vytvořila tetraploid *Triticum turgidum* ( $2n = 4x = 28$ ; AABB), což je předchůdce pšenice emmer pěstované na Středním východě a *T. turgidum* sp. *durum*, která je dnes pěstovaná na těstoviny. Druhá hybridizační událost mezi *T. turgidum* a diploidní trávou, *Aegilops tauschii* (DD), vyprodukovala rodový hexaploid *T. aestivum* ( $2n = 6x = 42$ , AABBDD), který se od té doby pěstuje jako chlebová pšenice a má více než 95 % celosvětově pěstované pšenice (IWGSC 2014).

Janovská et al. (2017) tuto evoluci charakterizují tak, že planá forma pšenice dvouzrnky vznikla zřejmě spontánním křížením pšenice jednozrnky (genom A) s trávou *Aegilops speltoides* (donor genomu B) s následnou polyploidizací. Z této plané formy vznikla postupně výběrem a kultivací dvouzrnka kulturní, s nelámavým klasem a zlepšenými hospodářskými znaky. Hexaploidní druhy pšenice setá a pšenice špalda vznikaly později z křížení dvouzrnky s trávou *Aegilops tauschii* (která je nositelem genomu D) a následnou polyploidizací. Za oblast vzniku hexaploidních pšenic se nejčastěji považuje tzv. „úrodný půlměsíc“ (od blízkého východu po střední Asii).

Člověk pěstuje pšenici již více než 10 000 let. Za tu dobu prošla výraznou proměnou od divokých forem pšenice ke kulturně pěstovaným formám. V průběhu domestikace došlo ke značné změně habitu rostliny ale i celého porostu a k rozšíření pěstování. V průběhu 19. století došlo k velkým změnám v pěstování a tím i v požadavcích na vlastnosti pšenice a začalo období organizované selekční práce. Se znovuobjevením Mendelových zákonů v roce 1900 nastupuje období vědeckého šlechtění. Šlechtění pšenice je ale vlastně stejně staré jako její pěstování, přestože se v různých periodách nazývá různě. Definovat šlechtění můžeme několika způsoby. Často se hovoří o oboru na pomezí vědy a umění. Šlechtění lze také charakterizovat jako znalosti lidstva uložené do zrna, zejména pak z pohledu šlechtitele jen znalosti uložené do zrna mají smysl (Horčíčka 2008).

### **3.2.2 Botanický popis**

Stéblo je duté, tenkostěnné, tvořené obvykle pěti články oddělenými kolénky. List je čárkovitý, plochý, bez řapíku. Na rozhraní listové pochvy a čepele se nachází krátký vroubkovaný jazýček. Ouška objímající zčásti lodyhu jsou malá, řídce obrvená nebo lysá. Květenstvím je čtyřhranný klas s vícekvětými klásky (většinou 2–5 květů). Vřetenou klasu je tuhé a nelámavé. Plevy a pluchy mají vejčitý nebo podlouhle vejčitý tvar a jsou zřetelně kýlnaté. Pluchy mohou být osinaté nebo bezosinné. Plodem je obilka. Obilky mají oblý tvar a z plev volně vypadávají. Rostlina kvete v červnu (UKZÚZ 2020).

### **3.2.3 Požadavky na prostředí**

Pšenici vyhovují hlubší, hlinité a jílovitohlinité půdy s neutrální až slabě kyselou půdní reakcí a s dostatečnou zásobou živin. Velmi dobré podmínky pro pěstování pšenice jsou zejména v oblastech s průměrnou teplotou 14–17 °C a s nízkými srážkami 250–350 mm v jarním a letním období (UKZÚZ 2020).

Pšenice setá patří mezi nejnáročnější obilniny. Je hlavní plodinou teplejších a sušších oblastí. Nejvhodnějšími půdami pro její pěstování jsou úrodné půdy – např. černozemě na spraši, hlinité, vododržné a strukturní půdy s neutrální reakcí. Pšenice má velmi slabě rozvinutý kořenový systém a pomalý jarní vývoj. Díky tomu špatně konkuruje plevelům, je náročnější na výživu a další agrotechnická opatření. Při porovnání s ostatními obilnými druhy v ekologickém zemědělství, reaguje pšenice na příznivé podmínky prostředí vysokým výnosem. Pro tvorbu výnosových prvků je důležitý průběh počasí v době intenzivního růstu (sloupkování) a při tvorbě klasu a zrna. Chladnější počasí s častými dešťovými přeháňkami v uvedených fázích podporuje vyšší tvorbu výnosových prvků klasu (Konvalina & Moudrý 2008).

### **3.2.4 Adaptabilita pšenice k prostředí**

Využití výnosového potenciálu pšenice je závislé na podmínkách pěstování a limitujících faktorech prostředí (voda, výživa, sluneční svit, teplota). Odrůda pšenice musí mít vhodnou formu (ozimost, jarovost), ranost kvetení a případně dobu zralosti pro využití svého potenciálu v daném prostředí. Schopnost adaptace pšenice k prostředí je podmíněna převážně třemi faktory: raností (Esp geny), fotoperiodickou citlivostí (geny Ppd)

a jarovizačním požadavkem (geny Vrn). Působením těchto genů je určena schopnost rostliny přejít z růstové fáze do fáze reprodukční (Horčíčka 2008).

### 3.3 Dusík

Rostliny jsou závislé na anorganickém dusíku a ročně se do půdy celosvětově přidává 85–90 milionů tun dusíkatých minerálních hnojiv. Dusíkatá minerální hnojiva představují hlavní náklady v rostlinné výrobě. Díky tomu také dochází ke ztrátám dusíku v terénu, což vede ke znečištění půd a vod. Neúplné zachycení a špatná přeměna dusíkatých hnojiv způsobují globální oteplování, které je zapříčiněné únikem plynného dusíku. Hlavním cílem výzkumů ve výživě rostlin je snížení úrovně hnojení a využívání šlechtění rostlin, které mají lepší schopnost využití dusíku (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

Dusík je v rostlinných pletivech z pohledu obsahu čtvrtým nejvýznamnějším prvkem. Vedle přítomnosti v jiných sloučeninách je dusík naprosto nezbytný pro produkci aminokyselin, bílkovin, enzymů, hormonů, fytoalexinů a fenolických látek. Podporuje intenzivní růst, zpožďuje dozrávání a ovlivňuje velikost buněk a sílu buněčné stěny. Dusík je obvykle v půdě přítomen v limitovaném množství, přičemž dochází k rychlému vyčerpání zásob přijatelných forem dusíku. Může být přijímán rostlinami v oxidované (nitrátové  $\text{NO}_3^-$ ) nebo redukované (amonné  $\text{NH}_4^+$ ) formě. V půdě přístupné formy dusíku vznikají v procesu biologické mineralizace organického dusíku na anorganický amonný dusík ( $\text{NH}_4^+$ ), který je dále oxidován (v procesu nitrifikace) na nitrátovou formu ( $\text{NO}_3^-$ ). Rychlá nitrifikace na orné půdě vytváří předpoklad pro přednostní příjem nitrátové formy, která je následně v rostlinách redukována na aminovou formu ( $\text{NH}_2$ ) (Klem & Klemová 2008).

Dusík je klíčovým prvkem ve výživě rostlin, který omezuje růst rostlin a výnosy plodin v mnoha agroekosystémech, v deštivých i zavlažovaných systémech. Fotosyntéza plodin je úzce spojena se zachycením světla vzrostným vrcholem a obsahem dusíku v rostlině v závislosti na jeho dostupnosti v půdě (Lemaire et al. 2007; Hikosaka 2004).

U plodin sklizených na zrno, jako jsou obiloviny a luštěniny, je doba fotosyntézy nadzemních částí také ovlivněna funkční rovnováhou mezi mírou odběru a půdní zásobou dusíku a schopností kořenů zachytit dusík na konci vegetačního období (Spiertz 2010).

Obiloviny remobilizují dusík z listů do zrna, zatímco okopaniny většinu dusíku zadržují ve zbytcích plodin (Van Ginkel et al. 2001).

#### 3.3.1 Koloběh dusíku

Dusík je soustředěn hlavně v litosféře, ale pro jeho koloběh v přírodě má největší význam dusík z atmosféry, který představuje 2,3 % N na planetě. Ve vzduchu je převládající součástí a jeho podíl činí 75,51 % hmotnostních, což je 78,08 % objemových. Převážně jde o elementární plynný dusík ( $\text{N}_2$ ). Hlavní články koloběhu tvoří půda, rostliny a atmosféra. Z atmosféry se dusík dostává do půdy prostřednictvím fixace mikroorganismy, hnojivy, rostlinnými zbytky a ve formě spadů. Poutání vzdušného dusíku je nejvýznamnějším zdrojem dusíku v biosféře. Mikroorganismy fixující  $\text{N}_2$  jsou jednak volně žijící, jednak symbiotické. Celkový obsah dusíku v půdě se běžně pohybuje v rozmezí 0,1–0,2 % což představuje v ornici 3000–6000 kg dusíku na jeden hektar (Vaněk et al. 2016).

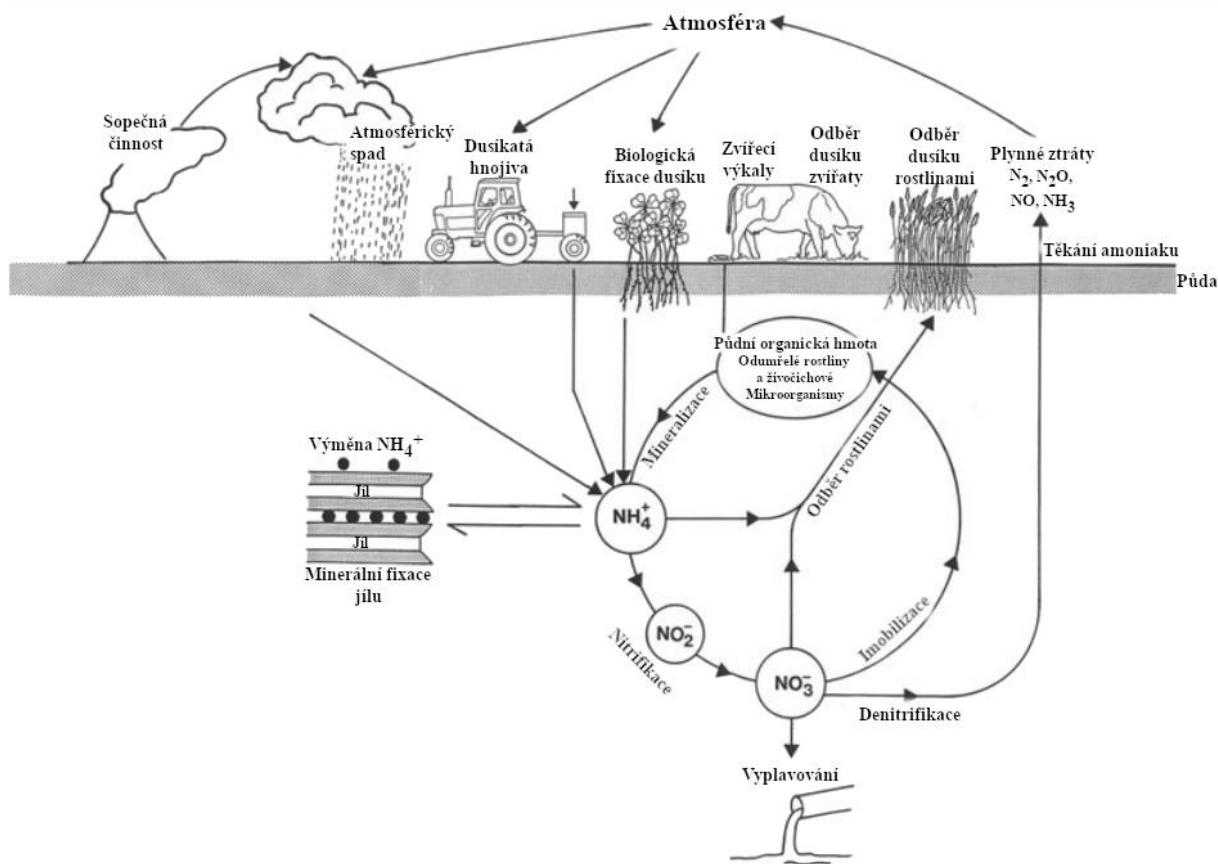
Půdní dusík je přítomen ve čtyřech hlavních formách:

- organická hmota, jako je rostlinný materiál, houby a humus
- půdní organismy a mikroorganismy
- amonné ionty ( $\text{NH}_4^+$ ) zadržované jílovými minerály a organickými látkami
- minerální formy N v půdním roztoku, včetně  $\text{NH}_4^+$ , dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) a nízkých koncentrací dusitanů ( $\text{NO}_2^-$ ).

Zisky, ztráty a přeměny dusíku v systému půd a rostlin ovlivňují dostupnost dusíku pro rostliny a jeho přenos do širšího prostředí (obr. 1). V zemědělských a zahradnických systémech je minerální dusík náchylný ke ztrátě:

- těkáním amoniaku
- vyluhování (odstraňování v drenážní vodě)
- denitrifikací (přeměna na plynné formy) (Cameron et al. 2013).

Obrázek 1 Cyklus dusíku půda / rostlina dle Cameron et al. (2013).



### 3.3.2 Rovnice dusíkové bilance

Množství dusíku v půdě v jednom okamžiku lze popsat pomocí následující bilanční rovnice dusíku založené na cyklu dusíku:

$$N = N_p + N_b + N_f + N_u + N_m - N_{pl} - N_g - N_i - N_l - N_e$$

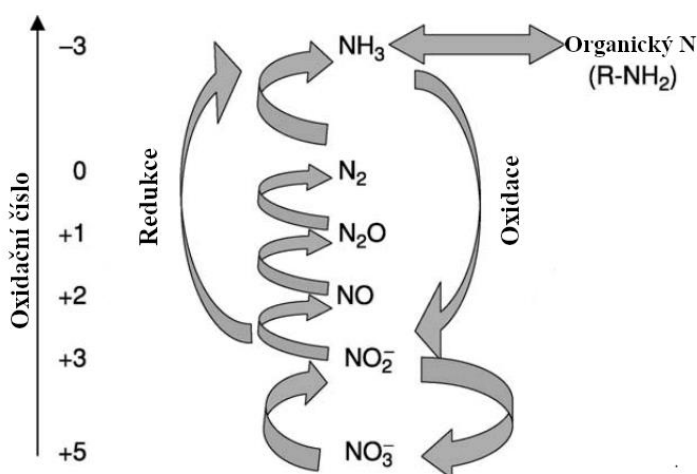
Kde N je množství dusíku v půdě, p je srážení a suchá depozice, b je biologická fixace, f je hnojivo, u je moč a hnůj se vracící se do půdy, m je mineralizace, pl je příjem rostlin,

g jsou plynné ztráty, i je imobilizace, l je ztráta vyplavováním a e je eroze a povrchový odtok (Cameron et al. 2013).

### 3.3.3 Přeměny dusíku v půdě

Cyklus dusíku v půdě je řízen přeměnami mezi oxidovaným a redukovaným stavem a mezi organickými a anorganickými formami dusíku (obr. 2). Základní rozpustné formy anorganického dusíku v půdě jsou  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NH}_4^+$ . Anorganické formy plynného dusíku jsou  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$ . Organický dusík má mnoho forem, jako jsou aminokyseliny (např. glycin, glutamin), aminosacharidy (např. glukosamin, galaktosamin), nukleosidy (např. adenin, guanin), peptidy, enzymy (např. kataláza, ureáza), fosfolipidy (např. fosfatidylethanolamin, fosfatidylserin), vitamíny (např. niacin) a další sloučeniny, jako je kreatin, kyanid, alantoin, různé alkylaminy a močovina (Coyne & Frye 2005).

Obrázek 2: Oxidačně-redukční přeměny dusíku dle Coyne & Frye (2005).



Žádný prvek nezbytný pro život nemá v půdě tolik forem jako dusík. Přeměny mezi těmito formami jsou většinou zprostředkovány mikroby. Půdní mikrobiologie tedy hraje další důležitou roli ve funkci ekosystému. Ve většině půdních ekosystémů dusík omezuje růst rostlin a primární produkci. To záleží na tom, jakou rychlostí půdní mikroby přeměňují dusík na formy použitelné rostlinou.

Dusík má v půdě devět různých chemických forem (tab. 1). Plynný dusík ( $\text{N}_2$ ) tvoří 79 % naší atmosféry a je zdaleka nejhojnější formou dusíku v biosféře, ale je nepoužitelný pro většinu organismů, včetně rostlin. Biologická fixace  $\text{N}_2$ , při níž se  $\text{N}_2$  transformuje na organický dusík, je dominantním přirozeným procesem, kterým dusík vstupuje do biologických zásob půdy.

Mezi hlavní přeměny dusíku v půdě patří mineralizace dusíku, což je přeměna organického dusíku na anorganické formy. Imobilizace dusíku je příjem nebo asimilace anorganických forem dusíku mikroby a jinými půdními organismy. Nitrifikace je přeměna amonného dusíku ( $\text{NH}_4^+$ ) na dusitany ( $\text{NO}_2^-$ ) a poté dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ). Denitrifikace je přeměna dusičnanu na oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a na plynný dusík ( $\text{N}_2$ ). Jiné formy dusíku (tab. 1) se na těchto přeměnách podílejí především jako prostředníci a během přeměny mohou

uniknout do prostředí, kde se mohou účastnit chemických reakcí nebo jsou transportovány jinam pro další reakce (Robertson & Groffman 2015).

Tabulka 1: Hlavní formy dusíku v půdě dle Robertson & Groffman (2015).

Název	Chemický vzorec	Oxidační číslo
Dusičnan	$\text{NO}_3^-$	+5
Oxid dusičitý	$\text{NO}_2$	+4
Dusitan	$\text{NO}_2^-$	+3
Oxid dusnatý	$\text{NO}$	+2
Oxid dusný	$\text{N}_2\text{O}$	+1
Plynný dusík	$\text{N}_2$	0
Amoniak	$\text{NH}_3$	-3
Amonný dusík	$\text{NH}_4^+$	-3
Organický dusík	$\text{R}_{\text{NH}_3}$	-3

Barbarick (2006) definuje tyto přeměny dusíku takto:

1. Organický dusík na amonný dusík (mineralizace).

Organický dusík obsahuje více než 95 % dusíku stanoveného v půdě. Tuto formu dusíku nedokážou rostliny přijmout, ale postupně se přeměňuje půdními mikroorganismy na amonný dusík ( $\text{NH}_4^+$ ). Amonný iont není ve velké míře vyplavován. Protože  $\text{NH}_4^+$  je kladně nabitý iont (kation), je přitahován k záporně nabitému půdnímu jílu a je jím držen. Amonný dusík je přístupný pro rostliny.

2. Amonný dusík na dusičnanový dusík (nitrifikace).

Za tepla v dobře odvodněné půdě se amonný iont rychle transformuje na dusičnan ( $\text{NO}_3^-$ ). Dusičnan je hlavní forma dusíku používaná rostlinami. Snadno se vyluhuje, protože se jedná o záporně nabitý iont (aniont) a není přitahován k jílovité půdě. Dusičnanová forma dusíku je hlavním problémem znečištění prostředí.

3. Dusičnanový nebo amonný dusík na organický dusík (imobilizace).

Půdní mikroorganismy používají při rozkladu rostlinných zbytků dusičnan a amonný dusík. Tyto formy jsou v tomto procesu dočasně „vázaný“ (zabudovány do mikrobiálních buněk). To může být velký problém, pokud zbytky plodin mají vysoký obsah uhlíku v poměru k dusíku. Příkladem je pšeničná sláma, stonky kukuřice a piliny. Aby se zabránilo této přeměně, je nutné přidat 9 až 32 kg dusíku na tunu těchto zbytků. Poté, co se zbytky rozloží, mikrobiální populace začne odumírat a probíhají procesy mineralizace a nitrifikace.

4. Dusičnanový dusík na plynný dusík (denitrifikace).

Pokud půda nemá dostatek vzduchu, mikroorganismy místo kyslíku ve vzduchu používají kyslík z  $\text{NO}_3$  a rychle přeměňují  $\text{NO}_3$  na oxidy dusíku a plynný dusík ( $\text{N}_2$ ). Tyto plyny unikají do atmosféry a nejsou rostlinám k dispozici. K této přeměně může dojít během dvou nebo tří dnů ve špatně provzdušněné půdě a může mít za následek velké ztráty hnojiv dusičnanového typu.

5. Amonný dusík na plynný amoniak (těkání amoniaku).

Půdy, které mají vysoké pH (pH vyšší než 7,5), mohou ztratit velké množství  $\text{NH}_4^+$  přeměnou na plynný  $\text{NH}_3$ . Aby se tyto ztráty minimalizovaly, zapracovávají se pod povrch vlhké půdy pevná hnojiva amonného typu, močoviny a bezvodého amoniaku (Barbarick 2006).



### 3.4 Ztráty dusíku z půdy

Mezi hlavní ztráty dusíku z půdy patří vyluhování dusíku do povrchových a podzemních vod, denitrifikace na  $N_2$ , těkání  $NH_3$ , uvolňování  $N_2O$  a  $NO_x$  do atmosféry a eroze půdy (Xu et al. 2012).

#### 3.4.1 Těkání amoniaku

Těkání amoniaku je ztráta plynného amoniaku z povrchu půdy (obr. 1). Tento proces je nežádoucí, protože představuje ztrátu dusíku ze systému půd a rostlin a ohrožení širšího prostředí. Většina těkavého amoniaku se vrací na povrch Země mokrou depozicí (tj. rozpuštěný v dešťové vodě) nebo suchou depozicí (tj. připojený k částicovým látkám – prach, popílek), což způsobuje okyselení a eutrofizaci přírodních ekosystémů (tj. obohacování vod o dusík, popř. fosfor). Emise amoniaku a následná depozice na půdu a vodu představují také nepřímý zdroj skleníkových plynů oxidu dusného. Zemědělství zahrnuje asi 50 % z veškerého amoniaku, který je celosvětově těkavý.

Například potenciální riziko těkavosti amoniaku z močovinného hnojiva může představovat mezi 0 % až 65 % použitého dusíku v závislosti na půdních a klimatických podmínkách (Cameron et al. 2013).

Hlavní příčinou ztráty amoniaku těkáním z povrchu půd je nerovnováha mezi akumulací dusíku v půdě a příjmem dusíku rostlinami. Nezahrnutím přímých ztrát dusíku z rostlin při výpočtu obsahu dusíku vede k nadhodnocení ztrát dusíku z půdy a podhodnocení účinnosti příjmu dusíku rostlinou (Xu et al. 2012).

#### 3.4.2 Vyluhování dusičnanů

Ztráty dusičnanů z půdy do vody představují nejen ztrátu úrodnosti půdy, ale také představují hrozbu pro širší životní prostředí a pro lidské zdraví.

Množství dusičnanů, které se vyluhuje z půdy, závisí na koncentraci dusičnanů přítomných v půdním roztoku a na množství odtoku, který v půdě během stanovené doby proběhne.

Množství dusičnanů přítomných v půdním roztoku závisí na použitém množství dusíku, rychlosti nitrifikace, rychlosti denitrifikace atd. (Cameron et al. 2013).

### 3.5 Omezení ztrát dusíku synchronizací potřeb rostlin a hnojení

Aby byly zajištěny výnosy plodin a bylo zabráněno ztrátám dusíku, mělo by hnojení dusíkem odpovídat potřebě plodin v dané dávce a v daném čase. Hnojení dusíkem na základě potřeby rostlin je založeno na funkčním vztahu mezi příjmem dusíku a získáváním uhlíku prostřednictvím fotosyntézy plodiny, a to jak v rámci jedné plodiny nebo v rámci systému více plodin.

Byly vyvinuty sofistikované algoritmy pro popis vztahu mezi suchou hmotností plodiny a příjmem dusíku. Chceme-li získat optimální soulad mezi poptávkou plodiny a dodáním dusíku, mohou nám růstové modely plodin pomoci předpovědět výnosový potenciál za konkrétních klimatických podmínek a zohlednit riziko snížení růstu (např. sucho, teplo) a omezení růstu (např. plevele, škůdci, nemoci).

Vysoká účinnost využití dusíku nezaručuje, že ztráty dusíku nepřekročí kritické prahové hodnoty prostředí. Nejdůležitějším faktorem určujícím riziko potenciálních ztrát dusíku je celkové množství dusíku, který zbyl po sklizni ve zbytcích plodin a v půdě. K posouzení dopadů na životní prostředí by dynamika dusíku neměla být studována u jedné plodiny, ale v rozmanitosti cyklů plodin a ve smíšených systémech rostlin a zvířat (Spiertz 2010).

### 3.5.1 Metody snižování ztrát amoniaku

Aplikace dusíkatých hnojiv 3–5 cm pod povrch půdy snižuje riziko tékání amoniaku, protože na povrchu půdy snižuje koncentraci amoniaku a amonného dusíku v roztoku. Dělení aplikací hnojiv může také snížit ztráty tékáním amoniaku. Aplikace močoviny před deštěm může výrazně snížit množství tékavých látek amoniaku, protože smyje močovinu a amonné ionty pod povrch půdy (Cameron et al. 2013).

Například Black et al. (1987) zjistili, že 10–16 mm srážek brzy po aplikaci močoviny snížilo ztrátu amoniaku o více než 80 %.

Aplikace závlahové vody po aplikaci hnojiva s močovinou může také snížit riziko tékání amoniaku. Nejspolehlivějším způsobem, jak snížit tékání amoniaku, je potáhnout hnojivo na bázi močoviny inhibitorem ureázy, jako je N- (n-butyl) thiofosforečný triamid (NBPT) nebo fenylfosfordiamidát, protože to snižuje rychlost přeměny močoviny v půdě na amoniak / amonný dusík deaktivací enzymu ureázy (Cameron et al. 2013).

Turner et al. (2010) prokázali dramatické snížení tékání amoniaku (z 9,5 % na 1,0 % aplikovaného dusíku) při použití močoviny potažené NBPT v prvním experimentu pěstování ozimé pšenice.

Ztráty tékáním amoniaku z hnojiv na bázi močoviny jsou variabilní a nepředvídatelné, přidání inhibitoru ureázy je potenciálně cenná metoda pro zmírnění ztrát (Cameron et al. 2013).

## 3.6 Příjem dusíku

Rostliny přijímají většinu živin svými kořeny ve formě iontů – buď kationtů ( $\text{NH}_4^+$ ) anebo aniontů ( $\text{NO}_3^-$ ) z půdního roztoku. V procesu příjmu živin kořeny rostlin lze rozlišit několik fází: přísun živin do bezprostřední blízkosti kořenů; průnik živin do volného prostoru buněk kořenů; vstup živin do vnitřního prostoru buněk kořenů (průnik polopropustnou membránou – plazmalemou, do cytoplazmy); transport živin v rostlině (Vaněk et al. 2016).

Dostupnost dusíku v půdě značně kolísá v prostoru i čase v důsledku faktorů, jako jsou srážky, teplota, vítr, typ půdy a pH. Proto preferovaná forma, ve které je dusík přijímán, závisí na adaptaci rostlin na půdní podmínky. Rostliny adaptované na nízké pH a na půdy s redukčními procesy, které se nacházejí v dospělých lesních porostech nebo arktické tundře, mají tendenci přijímat amonný iont nebo aminokyseliny. Zatímco rostliny přizpůsobené vyššímu pH a půdám s aerobním prostředím preferují dusičnany (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

Většina rostlin získává minerální dusík z půdy, který je z velké části tvořen z hnojení anorganickými hnojivy, bakteriální nitrifikací nebo přirozeně biologickou fixací dusíku (Good et al. 2004).

Efektivní využití dusíku musí začít efektivním zachycením. To jsou primárně kořenové vlastnosti, které závisí na stavbě kořenů i na jejich funkčnosti. Dusík je přijímán kořeny hlavně ve formě dusičnanů z většiny zemědělských půd, ale také jako amonný dusík a v menší míře jako organický dusík ve formě aminokyselin. Pro příjem a transport přes buněčné membrány je katalyzován jednou nebo více velkými genovými skupinami. Transportní systémy jsou vysoce vyvinuté a mají vysokou afinitu k substrátu. Byly charakterizovány dvě skupiny transportérů dusičnanů, typ s nízkou afinitou a typ s vysokou afinitou.

Kořenová funkce musí být optimální v průběhu celé vegetace plodin, od založení až do dospělosti. Pro pšenici je příjem dusíku je důležitý, protože přispívá ke kvalitě celé plodiny (Hawkesford 2014).

Příjem dusíku rostlinami zahrnuje několik kroků, včetně příjmu, asimilace, translokace a remobilizace (Good et al. 2004).

### 3.6.1 Asimilace dusíku

Asimilace dusíku vyžaduje redukci dusičnanu na amonný dusík s následnou asimilací amoniaku na aminokyseliny (obr. 3) (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

O příjmu obou iontů ( $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ ) rozhodují hlavně vnější podmínky, ale i sama rostlina. Významný vliv vykazuje pH prostředí. V kyselejší oblasti převažuje příjem  $\text{NO}_3^-$  a v neutrální až alkalické oblasti pH se příjem obou iontů vyrovnává nebo je vyšší příjem  $\text{NH}_4^+$ . Také teplota zasahuje do příjmu těchto iontů, při nižší teplotě se snižuje příjem i využití  $\text{NO}_3^-$ . V biologicky činných půdách, vlivem poměrně rychlé oxidace amonného dusíku na nitrátový (nitrifikací), převažuje většinou příjem nitrátového iontu. Nitrátový iont je v půdě pohyblivější, protože se nachází v půdním roztoku a snadněji se hmotovým tokem půdní vody dostává do rhizosféry a je k dispozici rostlinám. Příjem jednotlivých iontů a jejich využití v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů.

Rostliny přijatý minerální dusík postupně využívají ke tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Zatímco  $\text{NH}_4^+$  mohou rostliny bezprostředně využít k syntéze aminokyselin, nitrátový dusík musí být nejprve převeden (redukován) na amonný dusík. Redukce dusičnanů probíhá v rostlinných pletivech, hlavně listech za pomoci enzymů. Nejprve redukce nitrátoreduktázy na nitrity, které jsou dále redukovány přes hyponitrit a hydroxylamin až na amoniak. V rostlinných pletivech je za potřebí dostatek energie (Vaněk et al. 2016).

Redukce dusičnanů probíhá jak v kořenech, tak v nadzemních částech rostlin. Redukce je ale prostorově oddělena mezi cytoplazmou a plastidy / chloroplasty. V cytoplazmě dochází k redukci dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) a v chloroplastech dochází k redukci dusitanů ( $\text{NO}_2^-$ ). Redukce dusičnanů na dusitany je v cytosolu katalyzována enzymem nitrátoreduktázou (NR). Po redukci dusičnanů je dusitan přemístěn do chloroplastů, kde je druhým enzymem, nitritoreduktázou (NiR), redukován na amoniak ( $\text{NH}_3$ ) (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

Vznikající amoniak je vázán na organické kyseliny (oxokyseliny) za vzniku aminokyseliny. Nejběžnější vazba  $\text{NH}_3$  je na kyselinu oxoglutarovou ( $\alpha$ -ketoglutarovou) za vzniku kyseliny glutamátové. Podobně se může tvořit z kyseliny octové a amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) kyselina asparagová. Obě aminokyseliny jsou schopny vázat další molekulu  $\text{NH}_3$

na karboxylovou skupinu a tvořit amidy – asparagin a glutamin, a omezovat tak možné toxické působení  $\text{NH}_3$  v pletivech.

Kyselina glutamátová a asparátová jsou prvotními a základními aminokyselinami v rostlinách. Většina dalších aminokyselin se tvoří přestavbou jiných, které jsou donory aminoskupiny (Vaněk et al. 2016).

Amoniak pocházející z redukce dusičnanů a také z fotorespirace nebo z recyklace aminokyselin v plastidu / chloroplastu je asimilován hlavně takzvaným cyklem Glutamin syntetázou (GS) nebo glutamát syntázou (GOGAT).

Glutamin syntetáza fixuje amonný dusík ( $\text{NH}_4^+$ ) na molekule glutamátu za vzniku glutaminu. Tento glutamin reaguje následně s 2-oxoglutarátem za vzniku dvou molekul glutamátu, přičemž tento krok je katalyzován glutamin-2-oxoglutarátaminotransferázou (nebo glutamát syntázou). Dvě třídy jaderných genů kódují GS: geny GLN2 a GLN1.

GLN2, přítomný jako jediný jaderný gen u všech dosud studovaných druhů, kóduje chloroplastickou GS2. O GS2 se předpokládá, že se podílí na primární asimilaci amoniaku pocházejícího z redukce dusičnanů v rostlinách C3 i C4 a v opakované asimilaci amoniaku vyrobeného z fotorespirace v rostlinách C3. Naopak skupina genů GLN1 kóduje cytosolické izoformy GS1, přítomné v různých orgánech, jako jsou kořeny nebo stonky. Předpokládá se, že se podílejí na recyklaci amonného dusíku během konkrétních vývojových kroků, jako je stárnutí listů a syntéza glutaminu pro transport do floémové šňávy.

V rostlinách jsou přítomny dvě různé formy glutamát syntázy. Fd-GOGAT je převážně lokalizován v listových chloroplastech, zatímco NADHGOGAT je primárně lokalizován v plastidech nefotosyntetických tkání, jako jsou kořeny, etiolované listové tkáně a doprovodné buňky. Kromě cyklu GS/GOGAT se na asimilaci amoniaku pravděpodobně podílejí tři enzymy. Cytosolická asparagin syntetáza (AS) katalyzuje na adenosintrifosfát (ATP) závislý přenos amidoskupiny glutaminu na molekulu aspartátu za vzniku glutamátu a asparaginu (obr. 3).

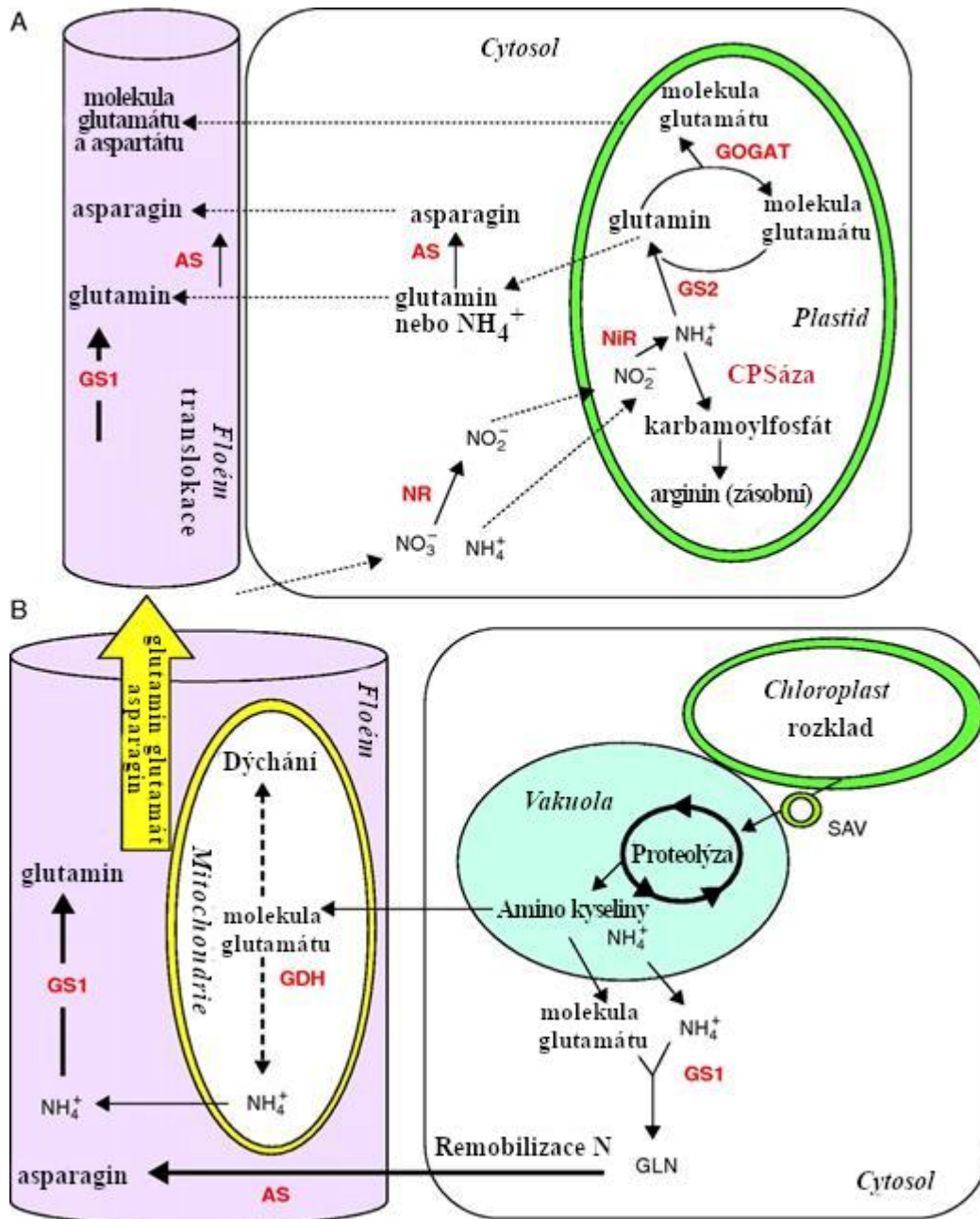
Karbamoylfosfát syntáza (CPSáza) tvoří karbamoylfosfát, prekurzor citrulinu a argininu, v plastidech pomocí hydrogenuhlíčitanu, ATP a amoniaku nebo amidové skupiny glutaminu. NR, NiR a GOGAT vyžadují redukci energie buď jako nikotinamidadenindinukleotid (NADH) nebo ferredoxin (Fdx) podle enzymu. Glutamin syntetáza a asparagin syntetáza vyžadují ATP. Kromě toho jsou uhlíkové řetězce a zejména ketokyseliny nezbytné pro tvorbu organického dusíku jako aminokyselin. Dostupnost uhlíkových řetězců pro kondenzaci amoniaku a přísun ATP, Fdx a NADH jako produktů fotosyntézy, dýchání a fotorespiračních drah je tedy nezbytný pro asimilaci dusíku (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

Aminokyseliny jsou základní stavební jednotkou peptidů a polypeptidů (bílkovin). Tvoří se vzájemnou kombinací 20 základních aminokyselin tak, že podle přesného a pro jednotlivé druhy specifického genetického kódu (přenašečem genetické informace je kyselina ribonukleová – RNA) se řetězí potřebné aminokyseliny. Reaguje tak karboxylová skupina

(-COOH) jedné aminokyseliny s aminoskupinou ( $-\text{NH}_2$ ) sousední aminokyseliny – vážou se navzájem tzv. peptidovou vazbou ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ). Bílkoviny tvoří podstatnou součást všech živých buněk a pletiv rostlin. Rostlinné bílkoviny obsahují 15-18,9 % N. Jsou obsaženy zvláště v mladých orgánech, dělivých pletivech, enzymech, nukleoproteidech a dalších

látkách, které se významně podílejí na vlastním růstu rostliny a tvorbě nejdůležitějších orgánů a celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetace se tvoří větší množství zásobních bílkovin v semenech, obiloviny obsahují většinou nad 10 % ze zrna. Dusík je taky významnou součástí chlorofylu. (Vaněk et al. 2016).

Obrázek 3. Schematické znázornění klíčových enzymů v procesu přeměny dusíku u mladých a senesujících rostlin dle Masclaux-Daubresse et al. (2010).



Legenda k obrázku 3.

Schematické znázornění klíčových enzymů podílejících se na přeměnách dusíku (A) u mladých a (B) senesujících listů.

Obrázek (A) – Nitrátreduktáza (NR) a asparagin syntetáza (AS) jsou lokalizovány v cytosolu a nitrit reduktáza (NiR), izoenzym glutamin syntetázy 2 (GS2), glutamát syntáza

(GOGAT) a karbamoylfosfát syntetáza (CPSáza) v plastidech buňky mezofylu. Izoenzym glutamin syntetázy 1 (GS1) a AS se nacházejí v cytosolu doprovodných buněk.

Obrázek (B) – Události spojené se stárnutím zahrnují degradaci chloroplastů a translokaci plastidových proteinů do centrální vakuoly prostřednictvím přenosu vakuoly spojené se stárnutím (SAV). K recyklaci aminokyselin došlo v mitochondriích a cytosolu mezofylových buněk a doprovodných buněk. Glutamátdehydrogenáza (GDH), GS1 a AS jsou hlavními enzymy podílejícími se na syntéze glutaminu, glutamátu a asparaginu ve floému (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

### 3.6.2 Mobilizace dusíku

Listové bílkoviny a zejména fotosyntetické bílkoviny plastidů se během stárnutí značně uvolňují, což poskytuje enormní zdroj dusíku, který mohou rostliny využívat k doplnění výživy rostoucích orgánů, jako jsou nové listy a semena. Mobilizace dusíku byla studována u několika druhů rostlin metodou „zjevné remobilizace“. Touto metodou se stanoví množství celkového dusíku přítomného v různých orgánech rostlin v různých dobách vývoje a je prováděno dlouhodobé značení, což umožňuje stanovení toků dusíku (Masclaux-Daubresse et al. 2010).

Reakce rostlin na dostupnost dusíku závisí jak na genotypu, tak na interakci genotypu s úrovní hnojení dusíkem. Účinnost využití a mobilizace dusíku jsou obecně vyšší při nízkém příjmu dusíku než při vysokém příjmu dusíku. Omezující zásahy do metabolismu dusíku v rostlinách jsou odlišné při vysokých a nízkých dávkách dusíku. K hlavním změnám v účinnosti využití dusíku dochází při vysokých dávkách dusíku. Při nichž dochází k výrazným rozdílům v příjmu dusíku, zejména po odkvětu. U pšenice účinnost využití dusíku souvisí s účinností příjmu dusíku při nízkých úrovních dusíku (Xu et al. 2012).

## 3.7 Výživa a hnojení ozimé pšenice

Ozimá pšenice patří mezi plodiny se střední potřebou živin. Na 1 tunu zrna a odpovídající množství slámy a kořenů odčerpá v průměru 25 kg dusíku (N), 5 kg fosforu (P), 20 kg draslíku (K), 2,4 kg hořčíku (Mg), 4 kg síry (S). Pšenice začíná svůj vývoj již v obilce při klíčení, kdy dochází vlivem enzymatické činnosti k rozkladu složitých organických látek na látky jednoduché, které zárodek (embryo) využívá pro svůj růst. Na chemickém složení obilky závisí tvorba kořenového systému a přechod rostlin na výživu z půdy. Je proto nezbytné, aby osivo bylo kvalitní, bohaté především na dostatek zásobních látek a vyznačovalo se vysokou enzymatickou aktivitou, což se následně odráží i v jeho klíčivosti. Existují často mylné předpoklady o tom, že obilka obsahuje také dostatek minerálních živin pro růst a vývoj rostlin pšenice v počátečním období. Není tomu tak, protože 200 kg osiva obsahuje pouze cca 4-5 kg N, 0,6-0,8 kg P, 1-1,2 kg K, 0,2-0,25 kg Ca, 0,25-0,3 kg Mg a 0,3-0,4 kg S. V podzimním období přijímají rostliny ozimé pšenice relativně málo živin, přesto se může jejich deficit v porostech vyskytnout již na podzim. Přes zimu se příjem živin úplně zastavuje, a i když v případě oteplení pozorujeme, že porosty vegetují, je to na úkor zásob živin a energie, které si vytvořily v podzimním období (Hřivná 2012).

Ekologické zemědělství v porovnání s konvenčním zemědělstvím dosahuje nižších výnosů a kvality zrna, což je způsobeno nedostatečným zásobením porostu dusíkem během vegetace. V souvislosti s nedostatkem dusíku v EZ obsahovaly odrůdy nižší procento dusíkatých látek v sušině zrna (Zrcková et al. 2018).

### **3.7.1 Fosfor**

Aplikace fosforečných hnojiv obvykle nemá přímý vliv na koncentraci bílkovin v pšenici. V některých případech však bylo zjištěno, že P ovlivňuje příjem a metabolismus N. Například rostliny pšenice hnojené NP-hnojivy přijímaly více N než rostliny hnojené N-hnojivy, a to díky lepšímu vývoji kořenů od vzejití do odnožování. Při aplikaci P v kombinaci s N hnojivy dochází ke snížení koncentrace bílkovin ve srovnání s aplikací samotného N. Pravděpodobně je to zapříčiněné tím, že dochází k ředění bílkovin při zvyšování výnosu zrna (Wang et al. 2007).

### **3.7.2 Draslík**

Draslík úzce souvisí s asimilací dusíku v rostlinách. S draselnou výživou se zvyšuje rychlost transportu aminokyselin do zrna a také přeměnu aminokyselin na bílkoviny zrna. V polních podmínkách Kanady a Itálie aplikace K hnojiv neprokázala žádný vliv na koncentraci bílkovin ozimé pšenice (Wang et al. 2007).

### **3.7.3 Vápník**

Vápník hraje důležitou roli ve struktuře buněčné stěny, stavbě rostlin, kvalitě a tvorbě výnosu, zatímco jeho nedostatek činí rostlinu citlivější na biotické a abiotické stresy (Alomari et al. 2017).

### **3.7.4 Hořčík**

Rychlost růstu plodin je však do určité míry pozměněna pomocnými faktory, jako je aplikace hořčíku a síry, které mohou významně ovlivnit příjem a využití dusíku. Hořčík je základní živinou podporující příjem dusíku a současně kontrolující procesy odpovědné za fotosyntézu, produkci asimilátů a rozdělení mezi části rostlin. Nízký příjem hořčíku během zakládání rostlin může mít za následek snižování rychlosti příjmu dusičnanových iontů, snižování rychlosti růstu listů a snižování transportu asimilátů rostoucích kořenů (Grzebisz 2013).

### **3.7.5 Síra**

Zralé pšeničné zrna obsahuje málo síranu, obvykle 1–5 % z celkového obsahu S, na rozdíl od vegetativních tkání, které mohou obsahovat až 50 % celkové S ve formě síranu. Většina S ve zralém pšeničném zrna je přítomna v bílkovinách jako cystein a methionin. Nedostatek síry snižuje koncentraci aminokyselin obsahujících S v pšeničném zrna a tím se snižuje kvalita při pečení. Nedostatek síry také snižuje koncentraci dalších aminokyselin, jako je lysin a threonin, které jsou podstatnější pro výživovou hodnotu pšeničných bílkovin. Požadavky na síru u pšenice jsou mnohem nižší než u vysoce náročných plodin, jako je řepka

nebo vojtěška. Nedostatek S v pšenici však byl pozorován v mnoha zemích a v posledních letech se stále více rozšiřuje v západní Evropě, západní Kanadě, západních USA, jižní Asii, Austrálii a na Novém Zélandu. Když nastane nedostatek S, může poklesnout jak výnos, tak kvalita zrna (Wang et al. 2007).

### 3.8 Aplikace dusíkatých hnojiv

Vzhledem k rostoucí populaci a celosvětově omezené ploše úrodné orné půdy je naléhavě nutné dále zvyšovat výnosy plodin v kombinaci s udržitelným využíváním neobnovitelných zdrojů (Spiertz 2010).

Aplikace dusíkatých hnojiv může vést ke značnému zvýšení výnosů pšeničných zrn, ale NUE= nitrogen use efficiency (zvýšení čistého výnosu na jednotku aplikovaného dusíku) je často nízká (Hooper et al. 2015).

V současné době je celosvětová účinnost využití dusíkatých hnojiv v systémech pšenice 30–50 %, v některých zemích s vysokými potenciálními podmínkami byly popsány vyšší hodnoty (50–60 %) účinnosti využití dusíkatých hnojiv (Dai et al. 2013).

Dusíkaté hnojivo se obvykle aplikuje na začátku sezóny, těsně před nebo při setí, nebo během prvních několika týdnů po setí.

Mezi výhody časných aplikací dusíku patří zlepšení rané vitality plodiny, zvýšení konkurenceschopnosti plevelům, a nakonec zlepšení výnosu a kvality zrna. Pokud jsou však srážky nízké, může zvýšená vitalita spojená s předčasným použitím veškerého dusíku vést k vyčerpání půdní vlhkosti a poté k vysokému vodnímu stresu před kvetením. Následkem je omezení plodiny reagovat na aplikaci dusíku a snížení NUE (účinnost využívání dusíku).

Úprava načasování aplikací dusíku tak, aby lépe odpovídala poptávce plodin, může být přínosem pro NUE. Doba největší poptávky dusíku plodinami je obvykle během fáze prodloužení stonku, kdy plodina hromadí sušinu nejrychleji.

Voda dostupná v půdě hraje při obnově dusíku rostlinami velmi důležitou roli. Přebytek dostupné vody v půdě může vést k různým ztrátám dusíku a její nepřítomnost inhibuje příjem dusíku.

Ještě důležitější je, že načasování aplikace dusíku by mohlo ovlivnit rovnováhu zásob půdní vody během vegetačního období ovlivněním oblasti transpirace vzrostného vrcholu.

V zavlažovaném systému pěstování nebyly zjištěny žádné interakce mezi výnosem zrna, kvalitou zrna a NUE mezi různými zavlažovacími ošetřeními a dělenou aplikací dusíku. Avšak za stepních podmínek jsou možné silné interakce mezi dostupnou vlhkostí a odběrem dusíku.

Využití dusíkatých hnojiv při aplikaci dusíku bylo během růstu vyšší než využití dusíku aplikovaného při setí za simulovaných průměrných srážek. Ale rozdíl nebyl pod průměrnými srážkami významný.

V oblastech plodin typického středomořského podnebí (chladné, vlhké zimy a horká, suchá léta) se množství a načasování srážek během vegetačního období značně liší, což zvyšuje riziko spojené s aplikací dusíku. Čas a rychlost aplikace dusíku by měli být řízeny tak, aby odráželi tuto variabilitu srážek. Mnoho studií bylo založeno na plodinách s vysokým výnosem, které vyžadovaly vysoké množství a dělenou aplikaci dusíku. Tyto studie byly zaměřeny na klíčové růstové fáze jako na jedinou proveditelnou možnost, jak umožnit splnění



vysokých požadavků plodin. Ale v semiaridním prostředí, kde mohou být nároky plodin na dusík nízké (podle globálních standardů) a kde je voda hlavním odrazem produktivity, mohou stále existovat lepší a sladěné nabídky dusíku s potenciálem výnosu.

Dusíkaté hnojivo představuje značné vstupní náklady a finanční riziko. Používání dusíkatých hnojiv ovlivňuje zemědělský hospodářský plán. Srážky během vegetačního období ovlivní optimální množství dusíku potřebné pro plodinu. Dělení aplikací dusíku může také záviset na množství cíleného dusíku (Hooper et al. 2015).

### **3.9 Mimokořenová výživa**

Listy rostlin mohou přijímat amoniak přímo přes průduchy, a proto mohou snížit množství plynného amoniaku uvolněného ze systému půd a rostlin do atmosféry. Listy rostlin však mohou také uvolňovat plynný amoniak. Čím větší je výška a hustota rostlinného porostu, tím nižší je ztráta amoniaku (Cameron et al. 2013)

Rostliny mohou přijímat živiny všemi orgány – tedy i listy, stonky a květy. Mechanismus vstupu živin do rostliny nadzemními orgány je podobný jako u kořenů, má však některé zvláštnosti. Významnou překážkou pro příjem živin listy je kutikula. K průniku živin a nízkomolekulárních organických látek (sacharidy, aminokyseliny) kutikulou slouží velké množství pórů ( $10^{10}/\text{cm}^2$ ) o velikosti 1 nm, které jsou soustředěny hlavně kolem svěracích buněk průduchů. Těmito póry pronikají snadno látky menší a bez náboje, např. močovina o velikosti 0,44 nm. Póry jsou lemovány negativními skupinami, hlavně polygalakturonových kyselin, které usnadňují pronikání kationtů, zatímco brzdí průnik aniontů. Proto jsou také kationty při mimokořenové aplikaci přijímány rychleji než anionty. Větší sloučeniny pronikají snadněji kutikulou po porušení její celistvosti, ke které dochází vlivem změn vlhkosti povrchu listů. Průduchy mají pro příjem živin malý význam (Vaněk et al. 2016).

#### **3.9.1 Faktory mimokořenové výživy**

Příjem, transport a následné využití živin jsou při mimokořenové aplikaci hnojiv ovlivňovány řadou dalších faktorů. Jednotlivé druhy rostlin se liší ve tvaru a velikosti listů, celkové ploše nadzemních částí rostlin apod. Jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující účinnost mimokořenového hnojení je výživný stav rostlin. Více živin je vstřebáváno a také transportováno u rostlin, které vykazují nižší obsah živin. Je to pochopitelné, protože když je vysoký obsah živiny v pletivech rostlin, je průnik živiny z povrchové části rostlin do volného prostoru a následně do vnitřního prostoru buněk nižší. Nejvíce limitující účinnost mimokořenové aplikace hnojiv jsou povětrnostní podmínky, hlavně srážky. Aplikované hnojivo může být snadno smyto srážkami z povrchu rostlin. Proto by v nejbližších dnech po použití (nejméně tři dny) nemělo pršet. Důležité jsou ale informace i o srážkách před aplikací, protože vlivem měnících se vlhkostních poměrů na povrch listů dochází k porušení kutikuly. To usnadňuje sice příjem živin, ale na druhé straně se musí zvažovat vyšší možnost poškození rostlin. Aby se předešlo případnému poškození rostlin, je vhodné za takových podmínek používat nižší koncentrace aplikovaných roztoků. S vlhkostí, a to vzdušnou i povrchu rostlin, souvisí rychlost vysychání aplikovaného roztoku. Významnou roli zde má i proudění vzduchu, teplota a v neposlední řadě také sluneční záření. Zapříčiňují rychlé zasychání, odvádí roztoku z povrchu rostlin. Příznivě naopak působí tvorba

rosy, kdy nejsou předpoklady k zasychání, případně je zaschlé hnojivo opětovně ovlhčeno a převedeno do roztoku. Je také významný vliv denní doby. Rozhodně příznivější podmínky pro setrvání roztoku na povrchu rostlin nastávají večer, kdy se zvyšuje relativní vlhkost vzduchu a lze očekávat tvorbu rosy (Vaněk et al. 2016).

### 3.9.2 Mimokořenová aplikace hnojiv

Pro mimokořenovou aplikaci je možno použít klasická hnojiva. Pochopitelně jsou vhodná hnojiva, která jsou dobře rozpustná ve vodě, jako močovina, ledek vápenatý, případně hnojiva kapalná, např. DAM, NP roztoky, CaN-sol, MgN-sol. V současné době je také vyráběno velké množství hnojiv určených přímo pro mimo kořenovou aplikaci (Vaněk et al. 2016).

## 3.10 Účinnost využívání dusíku v půdě a hnojivech

Přestože je využití dusíku pšenicí po celém světě zjevně špatné, je jeho příjem kořeny jednotlivými rostlinami pšenice, většinou ve formě nitrátového a amonného iontu, nebo dokonce hnojením močovinou je obecně velmi účinný (Zörb et al. 2018).

Ve většině ročních systémů plodin příjem dusíku z půdy trvá pouze 8–12 týdnů a nesoulad dostupnosti dusíku s potřebami plodin pravděpodobně nejvíce přispívá k nadměrným ztrátám dusíku. Hospodaření s dusíkatými hnojivy bude v krátkodobém hledisku i nadále nejdůležitější možností, jak zlepšit jeho účinnost využití. Mezi přizpůsobené technologie aplikace hnojiv patří hluboká aplikace, řízené uvolňování a rozdělení materiálu do více dávek. Dávky se tvoří na základě hladin chlorofylu v listech a koncentraci dusíku v rostlině. Kromě toho se používají biologické zdroje dusíku (například Azolla a luštěniny) jako zelené hnojení k nahrazení doplňkového dusíku. Zelené hnojení se stává atraktivnější, díky rostoucím chemickým a energetickým nákladům na hnojiva (Xu et al. 2012).

Pšenice má tři hlavní fáze růstu se značnými nároky na dusík. Po zasetí je přibližně 6 mg celkových zásob bílkovin v zrně dostatečné k udržení klíčivosti a růstu semenáčku, dokud se neobjeví první list. Další dusík musí být získáván kořenovým systémem, ale v této fázi je kořínek velmi malý. Nejlepší je hnojivo aplikovat přímo pod řádek osiva, které je odolné proti vyluhování, ale pouze jen v případě, že není k dispozici dostatek dusíku z mineralizace (Zörb 2018).

Ztrojnásobení světové produkce obilovin od 50. let bylo dosaženo pouze 10% nárůstem plochy osázené obilninami. Většina zisku pocházela ze zvýšení výnosu na jednotku plochy půdy způsobeného zavedením vysoce výnosných kultivarů, které velmi dobře reagovaly na přísun dusíku z hnojiv a zavlažovací vody. Byl vyvozen závěr, že intenzifikace produkce obilovin ušetřila asi jednu miliardu hektarů zemědělské půdy. Proto regiony s nedostatečnou agronomickou intenzifikací by bezpochyby měly pracovat s více živinami, vodou a jinými vstupy aplikovanými na plodiny ve vhodné formě. Také by měly pracovat s lepším načasováním, s cílenější a specifickou aplikací pro danou lokalitu.

Zvýšené používání hnojiv, zejména dusíku, silně zvýšilo růst a výnos plodin. V důsledku toho se zvýšila i efektivita využívání zdrojů, jako je účinnost použití světla ( $\text{g} \cdot \text{MJ}^{-1}$ ) a produktivita vody ( $\text{kg}$  sušiny na jednotku evapotranspirace) (Spiertz 2010).

Dusík je jednou z nejdůležitějších rostlinných živin v zemědělství na orné půdě. Cyklus dusíku v půdě je z velké části zprostředkován mikroby, kteří zajišťují přeměnu organického dusíku na minerální formy, zejména na dusičnany a amonný dusík. Tento proces závisí na několika agronomických postupech, zejména na systémech pěstování plodin, zpracování půdy a hnojení dusíkem (zdroj, množství a doba aplikace). Systémy pěstování plodin jsou velmi specifické v důsledku klimatických a půdních podmínek každé pěstitelské oblasti. V posledních letech zemědělství obnovilo zájem o střídání plodin a jejich účinky na využití dusíku rostlinami k podpoře výnosného a efektivního zemědělství. Ve skutečnosti pěstitelské postupy mají dopad na půdně-fyzikální vlastnosti (struktura, zadržování vody, stabilita agregátu, provzdušňování, objemová hmotnost) a půdní biochemické procesy (mineralizace, nitrifikace) mají značný vliv na efektivnost a udržitelnost hospodaření s půdami. Precizní hospodaření s půdou je označeno jako mocný nástroj k překonání problémů spojených s nízkou infiltrací, povrchovou krustou, špatnou drenáží, zhutněním půdy, zapravením plevelu s povrchovými úlomky. Pokud jde o znečištění v oblasti životního prostředí, existují náznaky, že intenzivnější agronomické postupy, jako je orba půdy, mohou zvýšit mineralizaci dusíku a tím hladinu dusíku v prostředí. Zvýšení této hladiny dochází v měsících následujících po zpracování půdy ve srovnání s nulovým nebo sníženým zpracováním půdy. Přebytková zásoba půdního dusíku bude primárně ve formě dusičnanu, a ta by mohla být potenciálně vyluhována na lehčích půdních typech zejména během zimních měsíců. Naopak minimalizační systémy mohou významně snížit jak nitrátové vyluhování, erozi půdy a mohou dosáhnout zlepšení obsahu vody v půdě.

Využívání kompostu k dodávání živin pro rostlinnou produkci představuje určité výzvy. Různí autoři naznačují, že změny organických látek zvyšují úrodnost půdy zlepšením fyzikálně-chemických a biologických vlastností půd. Proto by to mohlo být přínosné v udržitelném zemědělství. V důsledku toho se tento postup stává běžnějším v zemědělské praxi, zejména ve středomořských podmínkách, kde je vysoká mineralizace a půdy potřebují více organické hmoty. Uplatňování alternativních zásahů nabízí mnoho výhod, jako je zvýšení úrodnosti půdy, zlepšení biologické rozmanitosti půdy a snížení rizika znečištění vysokou aplikací minerálních hnojiv. Proto se v zemědělství stále více využívají jiné organické zdroje (Montemurro 2009).

### **3.11 Vliv hnojení dusíkem na kvalitu a výnos**

V systémech potravinářských plodin hraje dusík klíčovou roli, protože je hlavní živinou určující výnos. Při vyvážení potřeby hnojiva a hnojení dochází k velkému posun vpřed (Spiertz 2010).

Dusík je jedním z důležitých faktorů, které ovlivňují výnos a kvalitu pšenice. Pokud není k dispozici dostatečné množství dusíkatých hnojiv, výnosy a kvalita pšenice se zhorší. Naopak nadměrná aplikace dusíku bude mít za následek nižší účinnost využití dusíku v pšenici a větší znečištění životního prostředí. Díky tomu, že hnojivo má významný účinek na zlepšení výnosu pšenice se aktuálním tématem výzkumu stalo to, jak rozumně aplikovat dusíkaté hnojivo ke zlepšení výnosu i kvality (Liu & Shi 2013).

Technologická kvalita pšenice je velmi složitý ukazatel, který závisí na genetickém potenciálu genotypů, použité technologii a agroekologických podmínkách. Minerální výživa,

zejména výživa dusíkem, na vysoké úrovni ovlivňuje technologickou kvalitu. Dusík má v interakci s dalšími prvky minerální výživy významný vliv na výnos a technologickou kvalitu pšenice. Kvalita pšenice závisí na kultivarech, ale může se lišit od povětrnostních podmínek, stavu půdy a použité technologie, jako je hnojení dusíkem. To znamená, že optimální množství hnojiva je důležitým agronomickým faktorem. Příjem a využití dusíku rostlinami závisí na genetických vlastnostech kultivarů a agroekologických podmínkách. Pro vysoký výnos a kvalitu zrna je nutný příjem dusíku rostlinou během vegetace. Dusík přímo ovlivňuje zvyšování obsahu bílkovin v zrna. Bílkoviny jsou v přímé korelaci s dalšími charakteristikami technologické kvality (Zecevic et al. 2010)

Také jsou již dlouho známé jako jedinečná složka pšenice, která je zodpovědná za kvalitu chleba. Bílkoviny z pšeničné mouky lze rozdělit do dvou širokých skupin, na bílkoviny lepkové a nelepkové. Mezi nelepkové bílkoviny patří především albuminy a globuliny (AG), které jsou považovány hlavně za metabolické bílkoviny, ale mohou mít určitou roli při výrobě chleba. Glutenové bílkoviny (gliadiny a gluteniny) byly uznány jako hlavní složky zodpovědné za variace vlastností chleba. Gliadinové bílkoviny mají malou odolnost vůči tažnosti a jsou hlavně zodpovědné za soudržnost těsta, zatímco bílkoviny gluteninu dodávají těstu schopnost tažnosti. Pšeničné bílkoviny lze také klasifikovat na základě molekulární velikosti, buď polymerní nebo monomerní. Polymerní bílkoviny zahrnují hlavně gluteniny s malým množstvím vysokomolekulárních AG, zatímco monomerní bílkoviny jsou gliadiny s nízkomolekulárním AG. Množství a kvalita bílkovin ovlivňují vlastnosti pečení chleba, jako je doba míchání, vlastnosti při manipulaci s těstem, pohlcení vody, objem bochníku a vlastnosti strouhanky (Park et al. 2006).

Pšenice a jiné obilniny mohou trpět na nedostatek mikroživin, zejména nedostatek železa (Fe) a zinku (Zn), který ohrožuje lidské zdraví. Nedostatek Zn postihuje více než dvě miliardy lidí na celém světě a nedostatek Fe přispívá k přibližně 800 000 úmrtím ročně. Nejméně 20 % lidí v Číně trpí anémií, která je většinou způsobena nedostatkem Fe. Nedostatek Zn je také vážný problém lidského zdraví v Číně (Shi et al. 2010)

### **3.12 Odebírání vzorků**

Odebírání průměrných vzorků rostlinné hmoty a jejich přípravě k analýze je nutno věnovat maximální pozornost a péči. Jen správně odebraný vzorek, charakterizující přesně složení celé sklizně, partie, zásilky apod., může poskytnout výsledky, umožňující formulaci správných závěrů. Naopak vzorek odebraný nesprávným způsobem může obraz o složení zkoušené organické hmoty úplně zkreslit a vyvození objektivních závěrů znemožnit. Je proto nutné při odebírání vzorků jednotlivých druhů rostlinného materiálu postupovat co nejpřísněji podle zásady stejnosměrnosti a poměrnosti. Stejnosměrností se rozumí odebírání dílčích vzorků z různých míst a z různých vrstev. Poměrností rozumíme závislost počtu odebraných dílčích vzorků na jeho hmotnosti (Kunzová et al. 2014).

## 4 Metodika

Bakalářská práce je založena na výsledcích dlouhodobých stacionárních pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin – České zemědělské univerzity v Praze. Vzorky byly odebrány v roce 2019, tudíž z porostu založeného v roce 2018. Tyto dlouhodobé pokusy byly založeny na podzim roku 1996 a od té doby probíhá jejich opakování. Tím si zachovávají stálost a ve výsledcích, v rámci hnojení, nedochází k vlivu předchozích let. Výsledky jsou zpracovány ze dvou půdně-klimaticky odlišných stanovišť, a to ze stanoviště Suchdol o rozloze 60,5 m<sup>2</sup> a stanoviště Lukavec o rozloze 60 m<sup>2</sup>. Je stanoven stejný osevní postup, kde se střídají plodiny ve sledu brambory, pšenice ozimá, ječmen jarní. Na patričném stanovišti je pokusná parcelka rozdělena do třech bloků, pro možnost pěstování všech plodin v jednom roce a tím získání výsledků z dané plodiny každý rok. Na stanovištích je sledováno 8 variant pokusů v rámci hnojení.

### 4.1 Stanoviště Suchdol

Pro zhodnocení vlivu vhodných půdně-klimatických podmínek v této bakalářské práci je stanoviště Suchdol (obr. 4) charakterizováno jako stanoviště s vhodnými podmínkami (tab. 2).

Obrázek 4: Letecký snímek stanoviště Suchdol Google (2021).



Tabulka 2. Charakteristika pokusného stanoviště Suchdol dle Buráňová et al. (2015); Černý et al. (2010).

<b>Lokalizace</b>	50°7'40"N, 14°22'33"E
<b>Nadmořská výška (m n. m.)</b>	286
<b>Průměrná roční teplota (°C)</b>	9,1
<b>Průměrné roční srážky (mm)</b>	495

<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>	7,5
<b>Půdní typ</b>	Černozem
<b>Půdní druh</b>	hlinito – písčítá
<b>C<sub>ox</sub> (%)</b>	2,6
<b>KVK (mmol<sup>(+)</sup> /kg)</b>	230
<b>P Mehlich III (mg/kg)</b>	91
<b>K Mehlich III (mg/kg)</b>	230
<b>Mg Mehlich III (mg/kg)</b>	240
<b>Ca Mehlich III (mg/kg)</b>	9000

## 4.2 Stanoviště Lukavec

Pro zhodnocení vlivu vhodných půdně-klimatických podmínek v této bakalářské práci je stanoviště Lukavec (obr. 5) charakterizováno jako stanoviště s méně vhodnými podmínkami (tab. 3).

Obrázek 5: Letecký snímek stanoviště Lukavec Google (2021).



Tabulka 3. Charakteristika pokusného stanoviště Lukavec dle Buráňová et al. (2015); Černý et al. (2010).

<b>Lokalizace</b>	49° 33' 23" N, 14° 58' 39" E
<b>Nadmořská výška (m n. m.)</b>	610
<b>Průměrná roční teplota (°C)</b>	7,7
<b>Průměrné roční srážky (mm)</b>	666
<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>	4,3
<b>Půdní typ</b>	Kambizem
<b>Půdní druh</b>	hlinito – písčítá

<b>C<sub>ox</sub></b> (%)	1,7
<b>KVK</b> (mmol <sup>(+)</sup> /kg)	128
<b>P</b> Mehlich III (mg/kg)	124
<b>K</b> Mehlich III (mg/kg)	213
<b>Mg</b> Mehlich III (mg/kg)	80
<b>Ca</b> Mehlich III (mg/kg)	1100

### 4.3 Varianty

Pokus zahrnoval 8 variant ošetření porostu:

1. žádné hnojení (kontrola) 2. čistírenské kaly 3. statkový hnůj 4. poloviční dávka statkového hnoje + N v minerálních dusíkatých hnojivech 5. minerální dusíkatá hnojiva (N) 6. NPK v minerálních hnojivech 7. NPK v minerálních hnojivech s přidáním směsi mikroprvků a potenciálně rizikových prvků 8. sláma jarního ječmene + N v minerálních dusíkatých hnojivech.

Organická hnojiva – čistírenské kaly, statkový hnůj a sláma byla vždy aplikována na podzim (říjen) před brambory. Na podzim byla před každou plodinu aplikována minerální fosforečná a draselná hnojiva; minerální dusíkatá hnojiva byla aplikována pro brambory a jarní ječmen na jaře před založením porostu. U ozimé pšenice byla dávka dusíku rozdělena na dvě poloviny, první byla aplikována jako regenerativní hnojení, druhá jako produkční hnojení (tab. 4). Množství aplikovaného dusíku u pšenice bylo 140 kg/ha N a u jarního ječmene 70 kg/ha N. Aplikace NPK ozimé pšenice a jarního ječmene zahrnovalo fosfor v dávce 30 kg/ha P a draslík v dávce 100 kg/ha K. U ostatních ošetření závisela dávka P a K na obsahu živin v aplikovaných organických hnojivech (tab. 5). Na všech lokalitách byly použity čistírenské kaly ze stejné čistírny odpadních vod (Černý et al. 2010).

Aplikace mikroprvků a potenciálně rizikových prvků probíhá při jarní přípravě před sadbou brambor.

Aplikovanými minerálními hnojivy jsou ledek amonný s vápencem (LAV 27 % N), trojitý superfosfát (TSP 21 % P) a draselná sůl (DS 50 % K).

Tabulka 4: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu.

Číslo	Varianta	Brambory			Pšenice ozimá			Ječmen jarní		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
<b>1</b>	<b>Kontrola</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2</b>	<b>Kal</b>	330	201	55	0	0	0	0	0	0
<b>3</b>	<b>Hnůj</b>	330	118	374	0	0	0	0	0	0
<b>4</b>	<b>Hnůj ½</b>	165	59	187	110	0	0	55	0	0
<b>5</b>	<b>N</b>	120	0	0	140	0	0	70	0	0
<b>6</b>	<b>NPK</b>	120	30	100	140	30	100	70	30	100
<b>7</b>	<b>NPK +mpr.</b>	120	30	100	140	30	100	70	30	100
<b>8</b>	<b>N +sláma</b>	138	6	47	140	0	0	70	0	0

Tabulka 5: Průměrné dávky sušiny, sušina a obsahy živin v organických hnojivech.

	Dávka	sušina	Obsah živin (% sušiny)				
	t/ha/rok	%	N	P	K	Ca	Mg
<b>Kal</b>	9,00	30,60	3,66	2,23	0,61	3,00	0,78
<b>Hnůj Lukavec</b>	17,77	26,3	1,90	0,63	2,72	1,71	0,51
<b>Hnůj Suchdol</b>	16,83	34,2	2,05	0,76	1,94	2,20	0,60
<b>Sláma</b>	5,00	95,0	0,35	0,11	0,93	0,49	0,04

#### 4.4 Souhrn srážek

Z tabulky (6) a (7) je patrný rozdíl v úhrnu srážek na jednotlivých stanovištích.

Tabulka 6: Měsíční souhrn srážek (mm) v roce 2019 na Stanovišti Suchdol.

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec
<b>Srážky</b>	17,6	21,4	21,3	13,2	64,2	41,3	54,8

Tabulka 7: Měsíční souhrn srážek (mm) v roce 2019 na Stanovišti Lukavec.

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec
<b>Srážky</b>	102,3	42,0	57,0	16,8	96,6	39,2	94,0

#### 4.5 Sklizeň a zpracování vzorků

Sklizeň rostlin byla prováděna experimentálním kombajnem (Černý et al. 2010). Po sklizni zralých rostlin (v plné zralosti) byly odebrány vzorky rostlin. Poté byly vzorky homogenizovány v laboratorním nožovém mlýnu (Cutting mill, SM 100, Retch, Haan, Německo) vybaveném kalibrovanou síťovinou s kruhovými otvory pro prosetí částic <1 mm (Buráňová et al. 2015). Vzorky pro stanovení sušiny byly sušeny při 105 ° C (Černý et al. 2010).

#### 4.6 Výpočty

Z jednotlivých výsledků opakování v dílčích variantách byl vypočten průměr, který je hlavním výsledkem a použitou hodnotou pro tento pokus.

##### 4.6.1 Výnos

Získaný výnos čerstvé hmoty byl přepočítán na úplnou sušinu. Soubory údajů o výnosu byly přepočítány na výnos sušiny a vyjádřeny v tunách na hektar (t/ha) (Černý et al. 2010).

##### 4.6.2 Sklizňový index

Byl vypočítán jako podíl průměrného výnosu zrna z průměrného výnosu celé nadzemní biomasy.



#### **4.6.3 Obsah dusíku**

Stanovení celkového dusíku bylo provedeno Kjeldahlovou metodou (Buráňová et al. 2015).

#### **4.6.4 Odběr dusíku**

Je přepočítané obsažené množství (kg) dusíku (zrna, slámy, celkový) na hektar. Byl stanoven jako výsledek součinu obsahu dusíku a hektarového výnosu převeden na kg N/ha.

#### **4.6.5 Sklizňový index dusíku**

Je charakterizován jako podíl odběru dusíku zrnem z odběru dusíku celé nadzemní biomasy.

#### **4.6.6 Odběrový normativ dusíku**

Je vyjádřen jako podíl výnosu zrna a celkového odběru dusíku celé nadzemní biomasy.

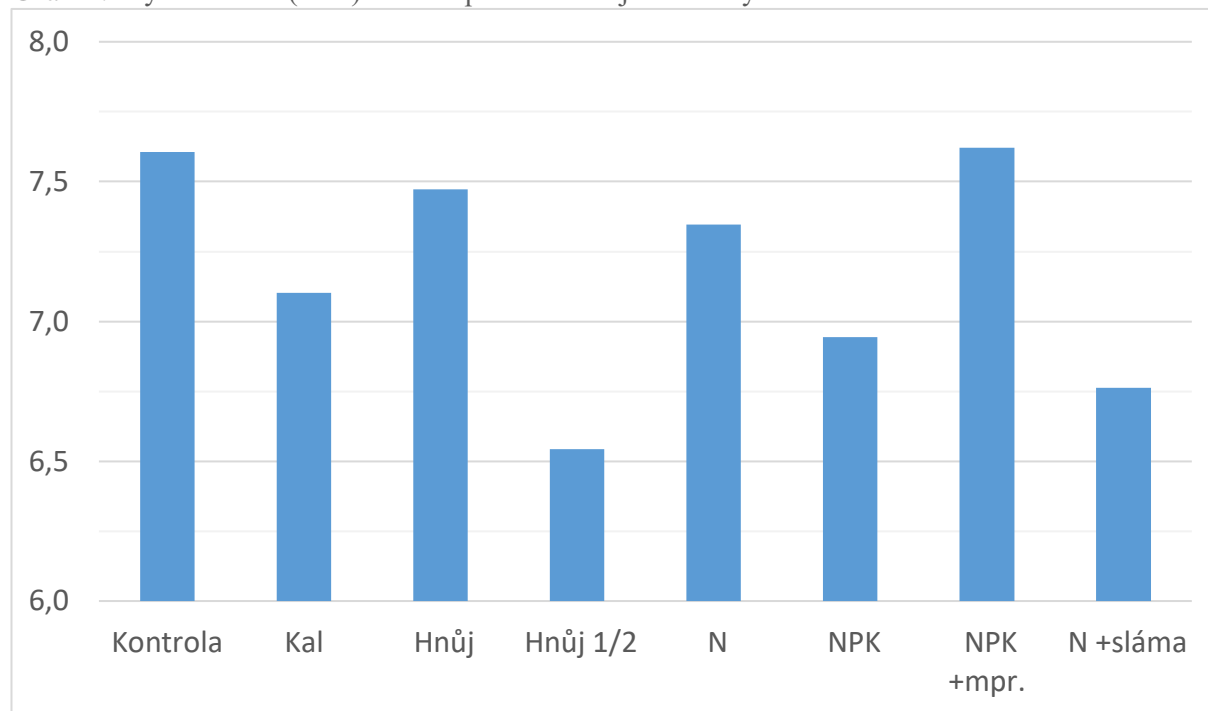
## 5 Výsledky

### 5.1 Stanoviště Suchdol

#### 5.1.1 Výnos zrna

Hektarový výnos zrna na stanovišti Suchdol projevily poměrně vyrovnané výsledky. Z grafu (1) je patrný rozdíl jedné tuny mezi kontrolní variantou a variantou s poloviční aplikací hnoje. Druhý největší výnos zrna, oproti předpokladu, byl naměřen na kontrolní variantě, kde nebylo aplikováno žádné hnojivo již od roku 1996. Pouze ve variantě, kde byla aplikována NPK hnojiva se směsí mikroprvků, bylo dosaženo v průměrných hodnotách vyššího výnosu zrna oproti kontrolní variantě o 150 kg/ha. Výnos kontrolní varianty 7,6 t/ha zrna vykazuje velmi dobrý výnos na nehnojenou kontrolní variantu.

Graf 1: Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.

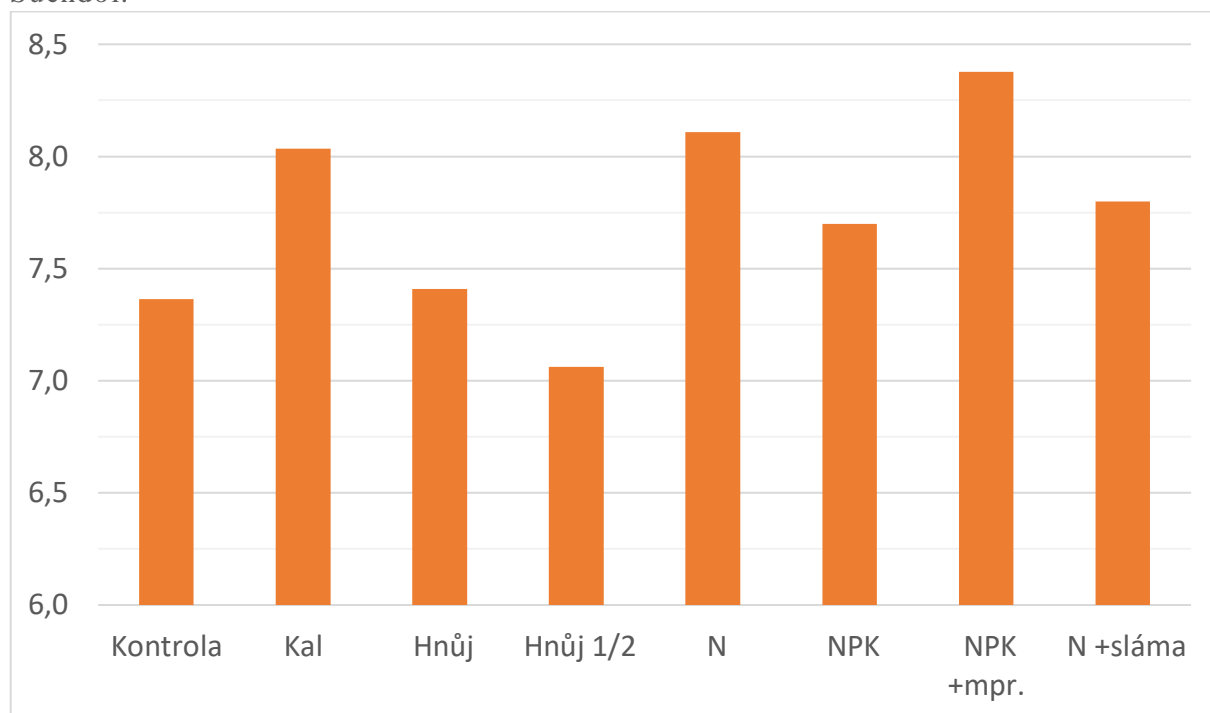


Na variantě hnojené kalem byly naměřeny hodnoty nižší oproti kontrole o půl tuny. Plná dávka hnoje vykazovala o 135 kg nižší výnos než kontrolní varianta. Poloviční dávka hnoje vykazuje ze všech variant nejnižší výnos, na ni byl naměřen nižší výnos o 930 kg oproti plné dávce hnoje. Na variantách hnojených minerálním dusíkem s různou kombinací, lze si také povšimnout změn ve výnosu. Na variantě s aplikací čistého dusíku bylo naměřeno nižších hodnot o 260 kg/ha oproti kontrole. Varianta, na které byla ponechána sláma, byl oproti předpokladu naměřen druhý nejnižší výnos zrna. Varianta vynesla o 583 kg/ha zrna méně oproti variantě bez ponechané slámy. Mezi variantami s aplikací NPK hnojiv byl zjištěn rozdíl 577 kg/ha zrna. Varianta hnojená NPK hnojivy se směsí, která je již zmiňována jako nejlepší varianta ve výnosu zrna, vykazovala vyšší výnos oproti variantě hnojené pouze minerálními NPK hnojivy. Aplikace NPK hnojiv, oproti předpokladu, vynesla o 403 kg/ha zrna méně než varianta s čistým dusíkem a o 662 kg/ha zrna méně než kontrolní varianta.

### 5.1.2 Výnos slámy

Výnos slámy, jako výnos vedlejšího produktu nám spíše pomohl charakterizovat nárůst celé nadzemní biomasy a objektivně identifikovat odběr dusíku celou plodinou. Z grafu (2) je patrné, že kontrolní varianta už není dominantní variantou, ale spíše podprůměrnou. Hodnota výnosu slámy se pohybuje v rozdílu 1 300 kg, který je tvořen rozdílem mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou.

Graf 2: Výnos slámy (t/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.

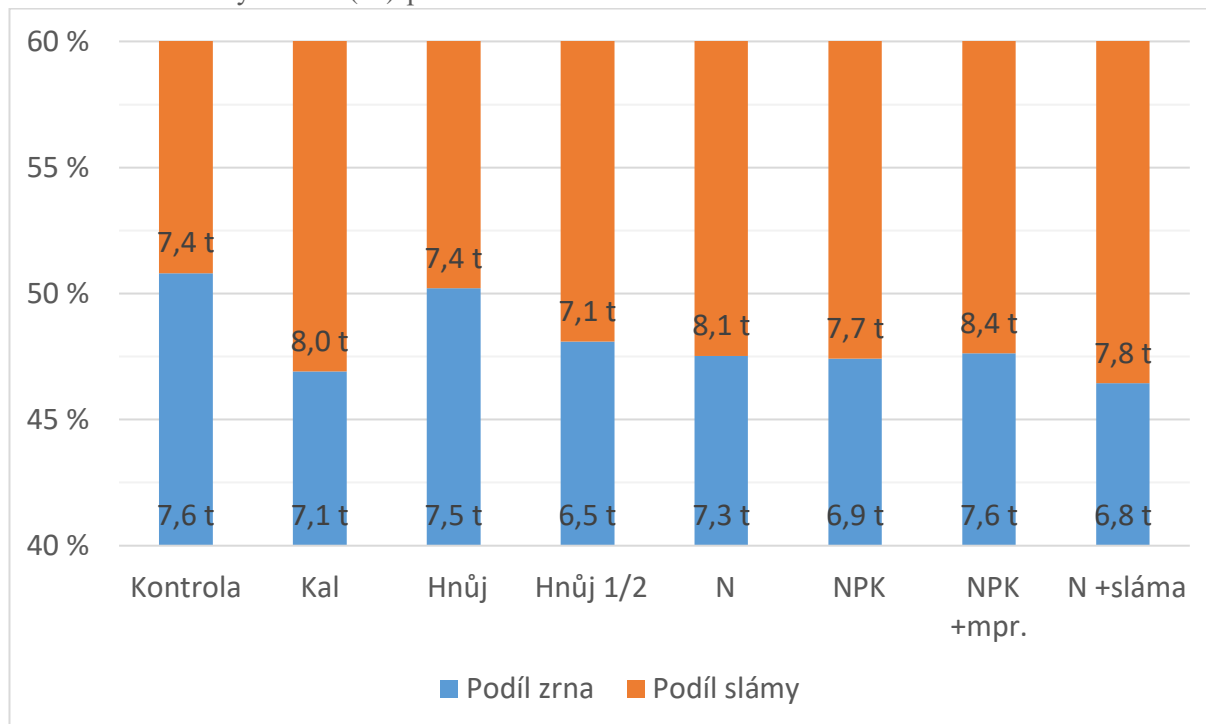


Na kontrolní variantě byly stanoveny nejnižší hodnoty 7,36 t/ha slámy. V kategorii organických hnojiv varianta s aplikací kalu vykázala větší výnos slámy než obě varianty s aplikací hnoje, kde bylo naměřeno o 0,67 t/ha slámy více než na kontrolní variantě. Varianta s aplikací plné dávky hnoje vynesla pouze o 40 kg/ha slámy než kontrolní varianta. Na variantě s poloviční dávkou hnoje byl stanoven výnos nižší o 300 kg/ha slámy. Oproti předpokladu varianta hnojená čistým dusíkem dosáhla vyššího výnosu o 210 kg, než varianta s ponechanou slámou i než varianta hnojená NPK hnojivy o 410 kg. Největší výnos slámy bylo vykázáno u varianty s aplikací NPK hnojiv se směsí mikroprvků a to o celou tunu na hektar oproti kontrole.

### 5.1.3 Sklizňový index

Pro poměr výnosu zrna z výnosu celé nadzemní biomasy byl vyjádřen sklizňový index. Na stanovišti Suchdol můžeme pozorovat v jednotlivých variantách vysokou vyrovnanost, která se pohybuje v rozmezí 4,4 %. Nejvyšší podíl zrna byl projeven u kontrolní varianty s 50,8 % podílu zrna a nejnižší podíl zrna byl vykázán u varianty hnojené čistým dusíkem s ponechanou slámou, a to s podílem zrna 46,4 %. V grafu (3) si můžeme povšimnout i vyrovnanosti mezi jednotlivými produkty, která se drží mezi 46 % a 51 %.

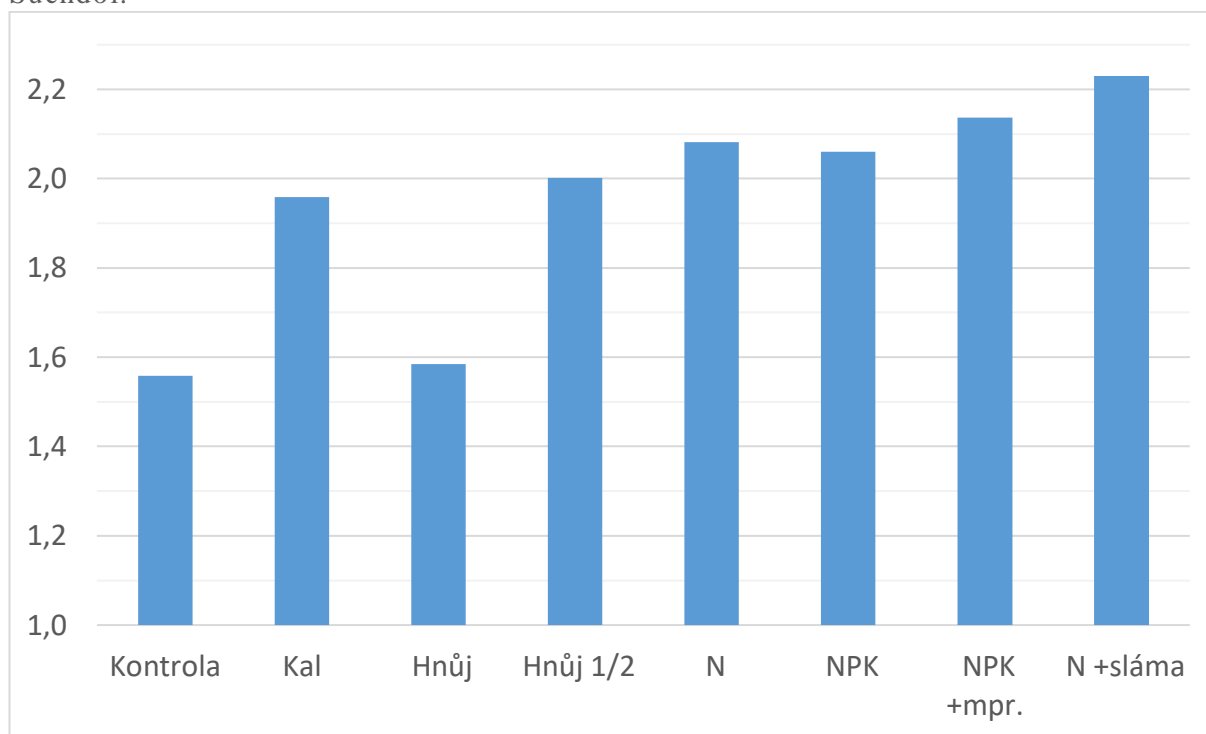
Graf 3: Sklizňový index (%) pšenice ozimé na stanovišti Suchdol.



#### 5.1.4 Obsah dusíku v zru

Obsah dusíku v zru je vyjádřen jako procentuální zastoupení dusíku z celého zrna a charakterizuje jaké množství dusíku v něm bylo nahromaděno. Množství ovlivňuje kvalitu zrna. Na grafu (4) je již patrný vliv hnojení.

Graf 4: Obsah dusíku (%) v zru ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.



Nejnižších hodnot bylo naměřeno u nehnojené kontrolní varianty s obsahem dusíku v zrně 1,56 %. Vyšší zastoupením o pouhé 3 setiny procenta bylo naměřeno u varianty hnojené plnou dávkou hnoje. U ostatních variant byl projevěn značný nárůst obsahu dusíku v zrně. Varianty kal, N, NPK a poloviční dávka hnoje vykázaly hodnoty v rozmezí 1,96 až 2,08 %. U varianty NPK se směsí mikroprvků bylo naměřeno 2,14 % a u varianty hnojené čistým dusíkem s ponechanou slámou bylo dosaženo hodnoty 2,23 %.

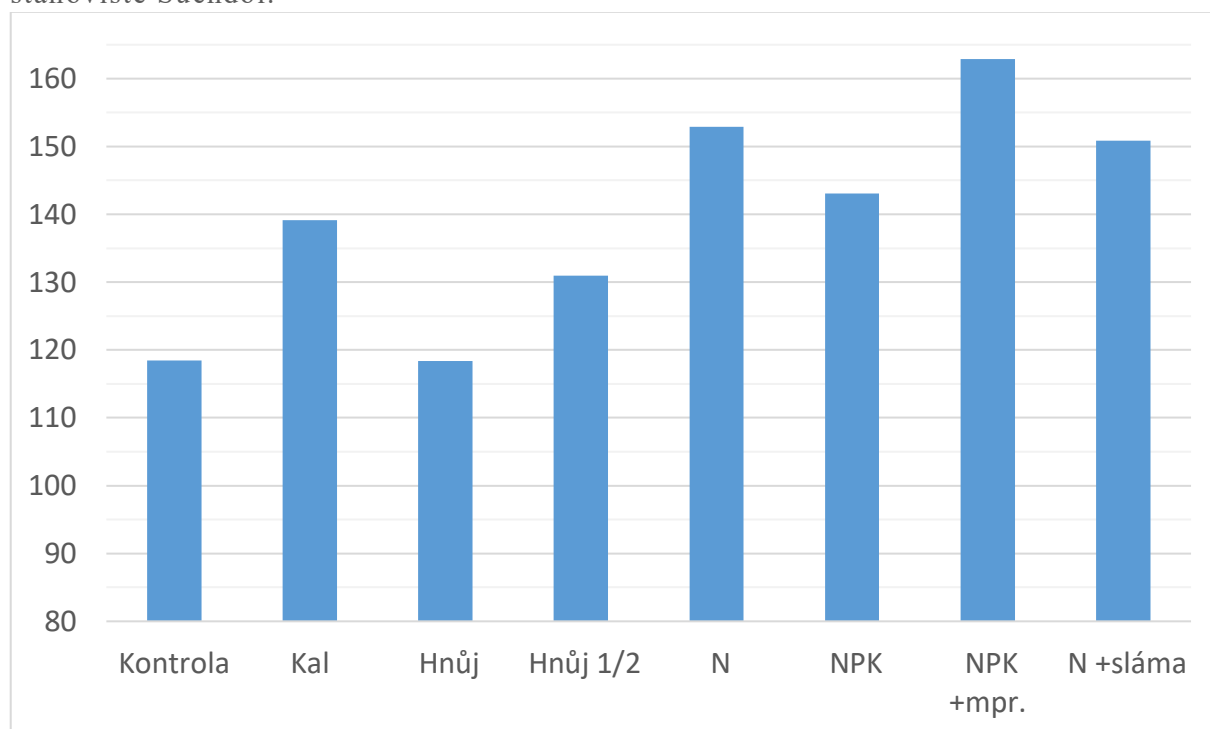
### 5.1.5 Obsah dusíku ve slámě

U obsahu dusíku ve slámě byl vyhodnocen obdobný vliv hnojení, jako u obsahu dusíku v zrně. Kontrolní varianta vykazuje nejnižší obsah dusíku 0,28 %. U obou variant hnojených hnojem byl naměřen stejný obsah dusíku 0,33 % se zanedbatelným rozdílem 6 tisícín procenta. U ostatních variant hnojených minerálními hnojivy s různými kombinacemi a varianta s aplikací kalu bylo naměřeno hodnoty mezi 0,45 % a 0,5 %.

### 5.1.6 Odběr dusíku zrnem

Graf (5) charakterizuje množství přijatého dusíku zrnem na hektar. Kontrolní varianta a varianta s aplikovanou plnou dávkou hnoje vykázaly nejnižší odběr dusíku zrnem. Z kontrolní varianty bylo vypočteno 118,49 kg odebraného dusíku a o 100 g méně z varianty s plnou dávkou hnoje. Pro variantu s poloviční dávkou hnoje byl stanoven vyšší odběr dusíku o 12,51 kg oproti kontrolní variantě. Varianta s aplikací kalu vyšla nejlépe z organických hnojiv. Pro variantu kal bylo stanoveno 139,13 kg, což je o 20,64 více než kontrolní varianta. Vyšších výsledků bylo dosaženo u aplikace minerálních hnojiv.

Graf 5: Odběr dusíku (kg/ha) zrnem ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.



Nejvyšších hodnot bylo stanoveno u varianty NPK se směsí mikroprvků. Zde bylo odebráno 162,86 kg dusíku na hektar, což je o 44,37 kg méně než kontrolní varianta. Druhý největší odběr dusíku byl stanoven u varianty N s hodnotou menší o 9,96 kg než varianta NPK se směsí mikroprvků. Varianta hnojená čistým dusíkem s ponechanou slámou vykázala o 2,05 kg než varianta N. Varianta NPK odebrala o 7,79 kg méně než varianta N + sláma a o 24,57 více než kontrolní varianta.

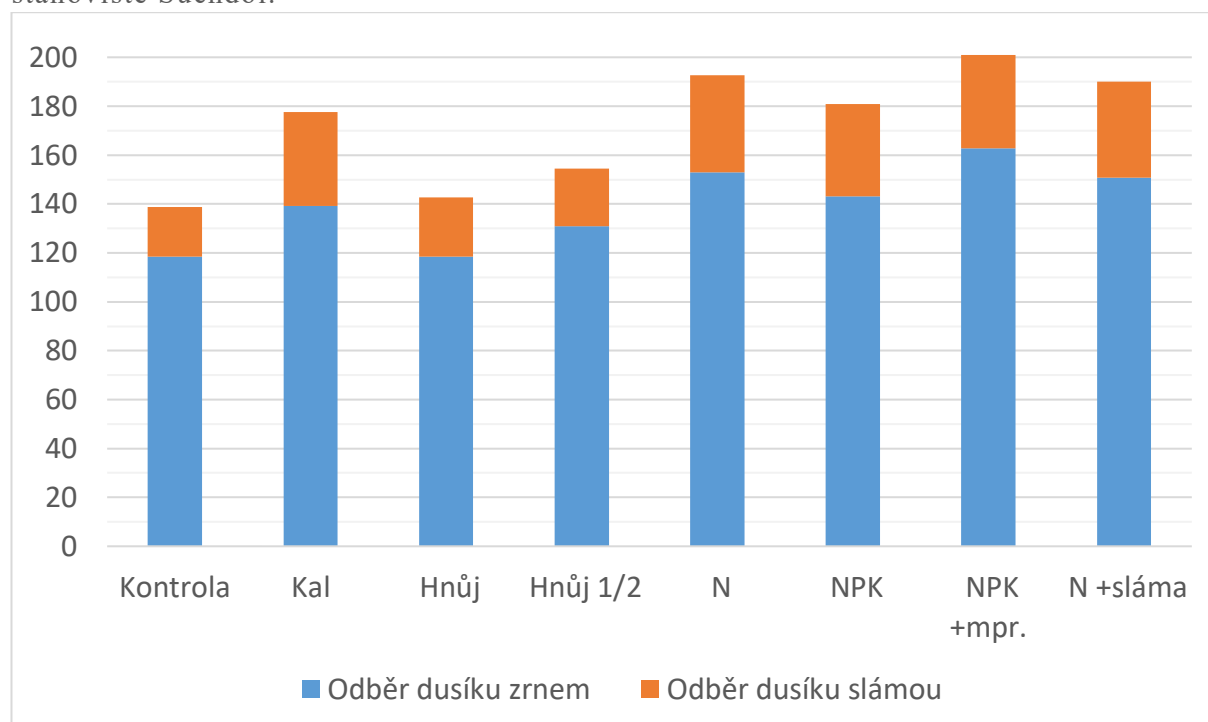
### 5.1.7 Odběr dusíku slámou

Nejnižších hodnot bylo stanoveno na kontrolní variantě. Kontrolní varianta odebrala 20,35 kg/ha N. Na variantě s poloviční dávkou hnoje bylo odebráno o 3,19 kg více než na variantě kontrolní. Pro variantu hnůj bylo vypočteno o 3,94 kg více než na kontrolní variantě. U minerálních hnojiv včetně kalu byly stanoveny hodnoty mezi 37,2 kg a 39,7 kg/ha N.

### 5.1.8 Celkový odběr dusíku

Celkový odběr dusíku byl stanoven, jako součet odběru dusíku zrnem a slámou. Z grafu (6) je vyjádřen zřetelný rozdíl v příjmu dusíku zrnem a slámou. Hodnoty odběru dusíku zrnem přesáhly 100 kg/ha N, kdežto hodnoty odběru dusíku slámou byli stanoveny pod úrovní 40 kg/ha N. Nejnížší hodnoty vykazují varianty hnojené hnojem a kontrolní varianta. Vyšší hodnoty byli stanoveny u variant kal, N, NPK, NPK se směsí mikroprvků a N + sláma.

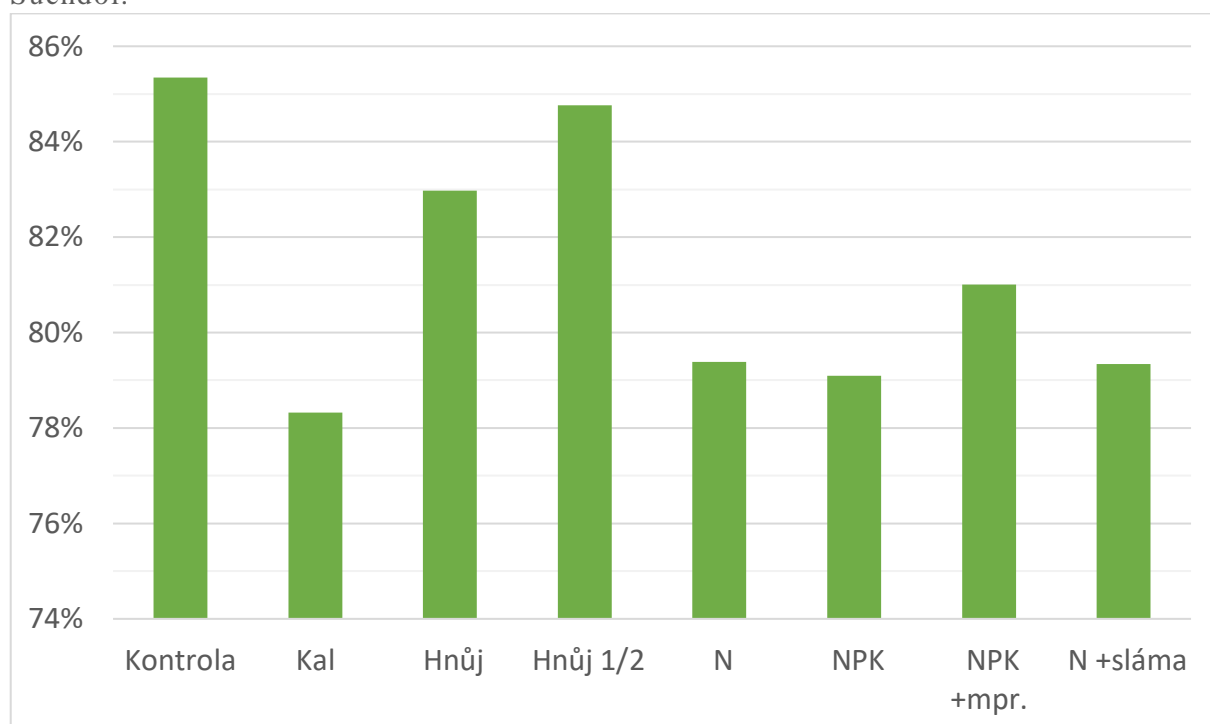
Graf 6: Celkový odběr dusíku (kg/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.



### 5.1.9 Sklizňový index dusíku

Graf (7) znázorňuje procentuální zastoupení odběru dusíku zrnem z celkového odběru dusíku celé nadzemní biomasy. Na kontrolní variantě bylo vypočteno 85,3 % dusíku v zrně, což je největší obsah dusíku v zrně ze všech variant. Další nejvyšší obsahy vykázaly varianty hnojené hnojem. Pro variantu s poloviční dávkou hnoje bylo vypočteno 84,7 % dusíku a pro plnou dávku hnoje 83 %. Kal vykázal nejnižší hodnotu 78,3 % dusíku v zrně. Varianty hnojené minerálními hnojivy N, NPK a N + sláma vykázali s rozdílem čtyř desetin procenta stejný obsah dusíku v zrně 79 %. NPK se směsí mikroprvků vykázala z minerálně hnojených variant nejvyšší zastoupení dusíku v zrně 81 %.

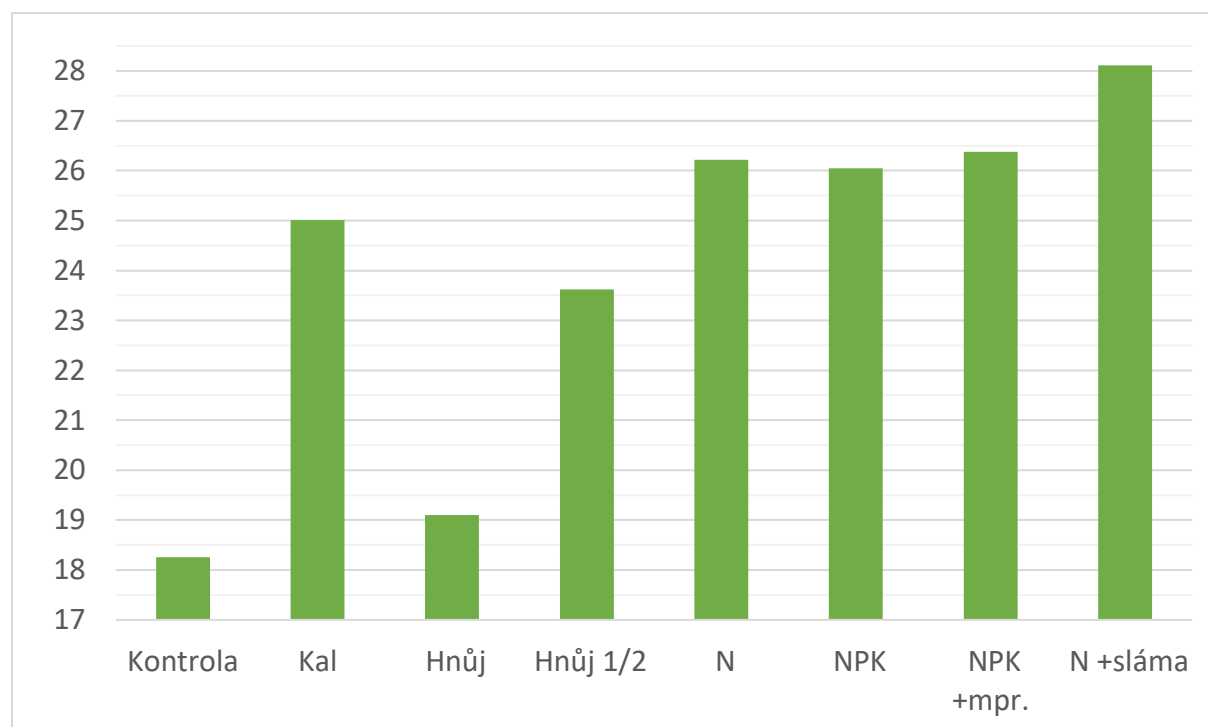
Graf 7: Sklizňový index dusíku (%) pšenice ozimé na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.



### 5.1.10 Odběrový normativ dusíku

Spotřeba celkového dusíku celé nadzemní biomasy na tvorbu jedné tuny zrna je charakterizována grafem (8). Nejnižší spotřebu vykázaly varianta kontrolní a varianta s plnou dávkou hnoje. Kontrolní varianta vykázala nejnižší spotřebu dusíku na tvorbu jedné tuny zrna 18,25 kg. Varianta s aplikací plné dávky hnoje spotřebovala 19,1 kg N/t zrna. U varianty s poloviční dávkou hnoje spotřeba razantně stoupla na 23,6 kg N/t zrna. Poslední varianta z organicky hnojených variant kal spotřebovala 25 kg N/t zrna. Varianty N, NPK, a NPK se směsí mikroprvků vykazují stejnou spotřebu dusíku 26 kg N/t zrna s odchylkou 380 g. Největší odběr 28,1 kg N/t zrna vykázala varianta N s ponechanou slámou.

Graf 8: Odběrový normativ dusíku (kg N/t zrna) pšenice ozimé na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.

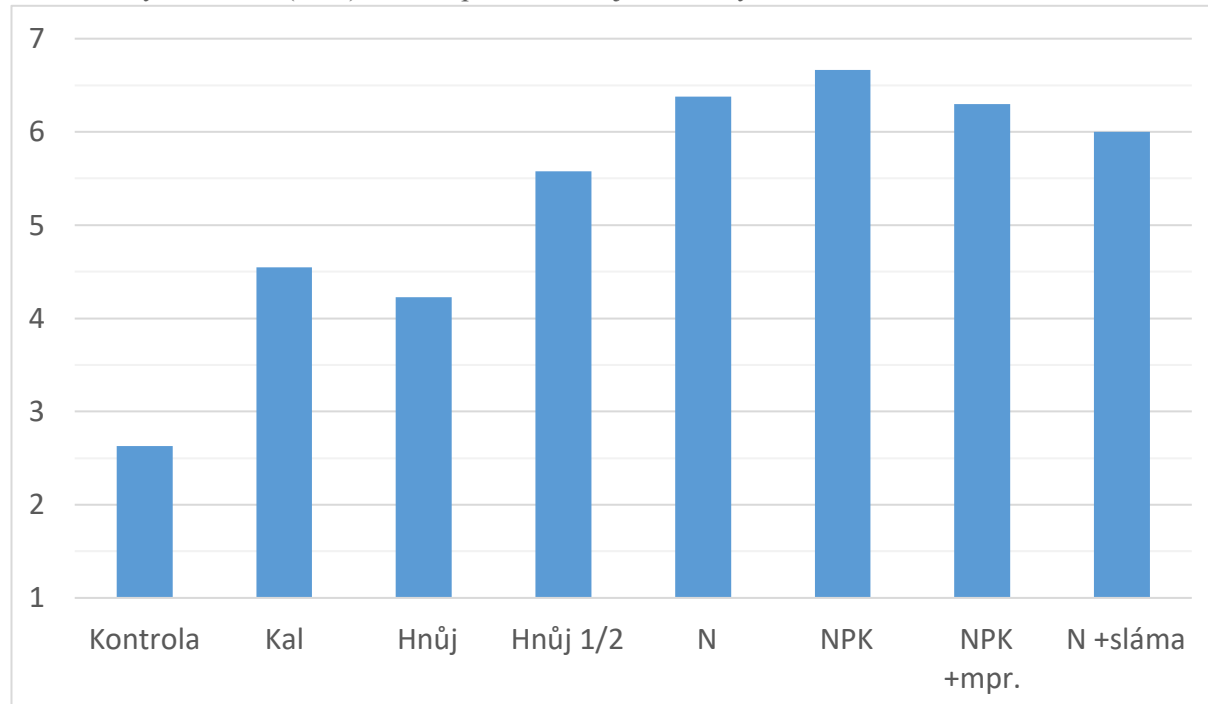


## 5.2 Stanoviště Lukavec

### 5.2.1 Výnos zrna

Z grafu (9) je patrná variabilita výnosu a rozdíl mezi hraničními variantami 4 t. Kontrolní nehnojená varianta vykázala nejnižší výnos zrna 2,62 t.

Graf 9: Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.



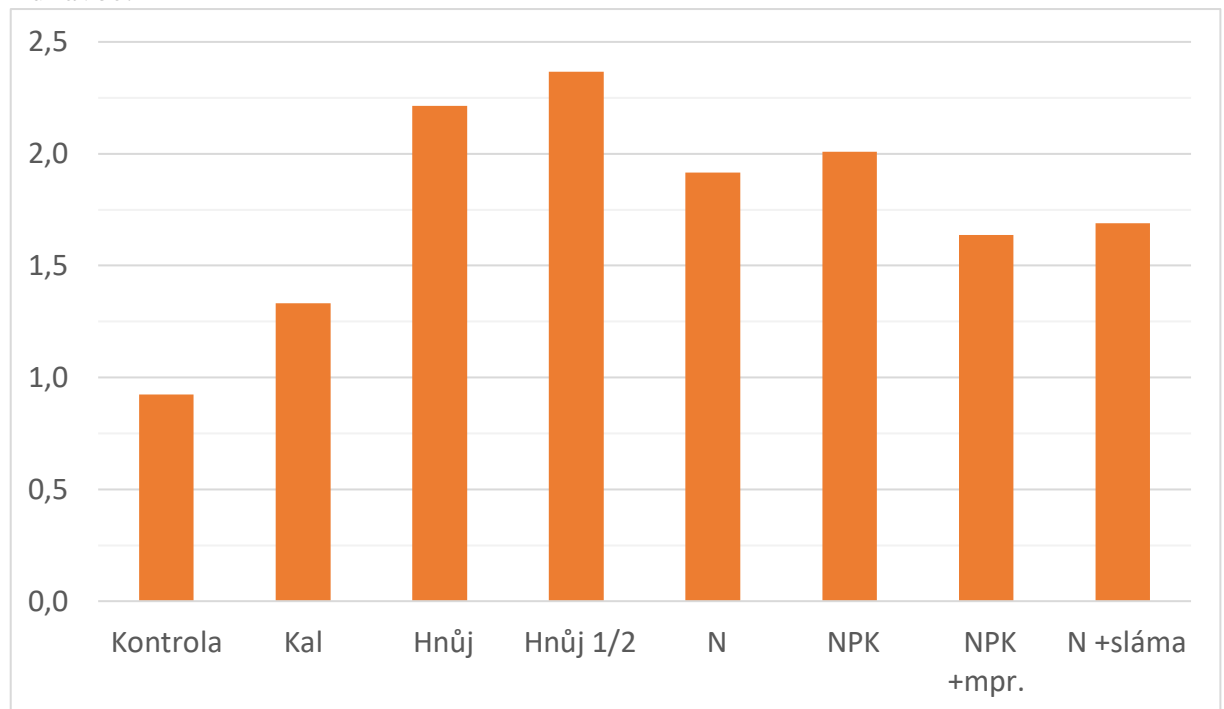


Na variantách hnojených organickými hnojivy byl výnos stanoven od nejmenšího v tomto pořadí. Varianta hnůj 4,2 t s nárůstem výnosu 1,6 t oproti kontrolní variantě. Varianta kal vykázala o 1,9 t vyšší výnos než kontrolní varianta a varianta hnojená poloviční dávkou hnoje vynesla o 3 t více než varianta kontrolní. Varianty hnojené minerálními hnojivy vykázaly vyrovnaný výnos s rozdílem 665 kg. Varianta N + sláma vynesla 6 t, což je o 3,4 t více než kontrolní varianta. Oproti předpokladu varianta N (bez ponechané slámy) vynesla o 378 kg více než varianta s ponechanou slámou. U varianty NPK + mpr. bylo dosaženo výnosu 6,3 t, což je o 3,7 t více než kontrolní varianta. Nejvyššího výnosu bylo vykázáno u varianty NPK s hodnotou 6,7 t, což je o 365 kg více než na variantě s mikroprvky.

### 5.2.2 Výnos slámy

Na stanovišti Lukavec kontrolní varianta vykázala nejnižší výnos 0,9 t, o 400 kg více vynesla varianta kal. Nejvyšší výnos slámy vykázala varianta hnůj ½ s 2,4 t/ha, což je o 1,4 t více než kontrolní varianta. Oproti variantě hnojené poloviční dávkou hnoje vynesla varianta hnůj o 152 kg méně. Nejvyšší výnos z variant hnojených minerálními hnojivy vykázala varianta NPK s 2 t/ha, oproti ní vynesla varianta s přidáním mikroprvky o 371 kg méně. Varianta N vykázala menší výnos o 94 kg/ha oproti variantě NPK. Poslední varianta N + sláma vynesla o 318 kg méně než varianta NPK, což je patrné z grafu (10).

Graf 10: Výnos slámy (t/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.

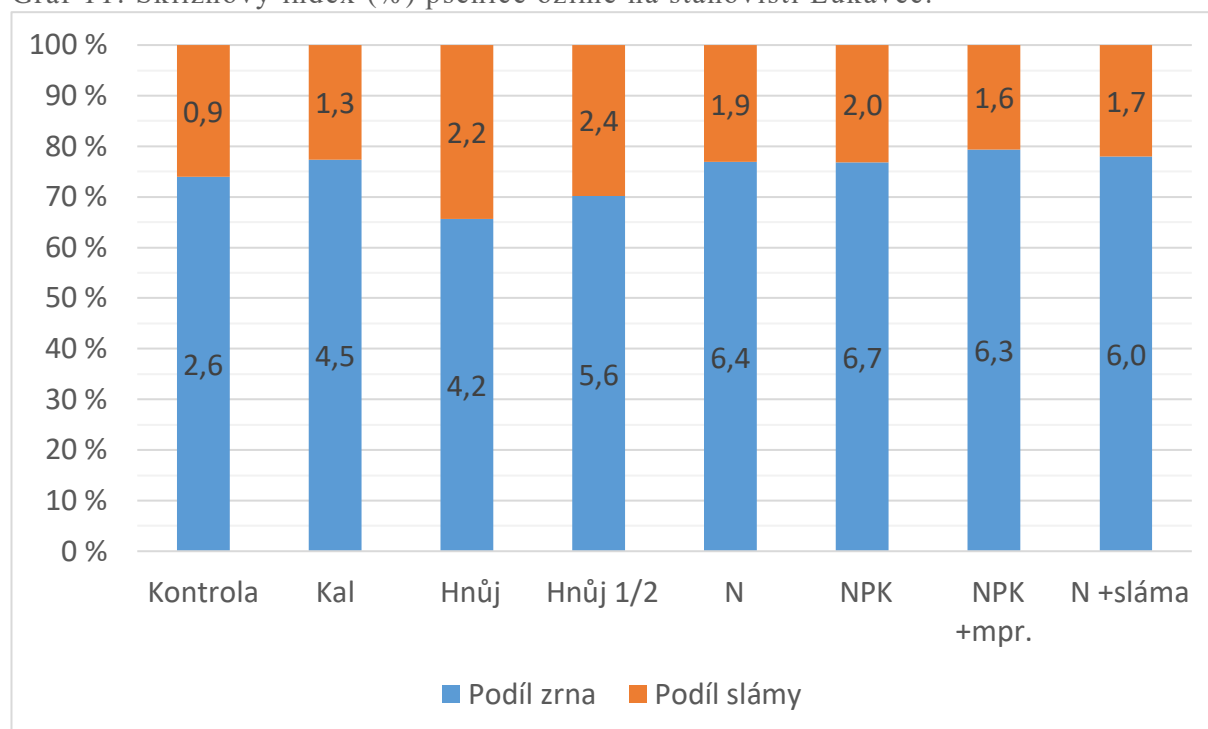


### 5.2.3 Sklizňový index

Graf (11) pro sklizňový index stanoviště Lukavec vyjádřil výsledky v rozmezí 10 %. Varianty hnojené hnojem, jako jediné menší podíl zrna než kontrolní varianta, u které bylo vypočteno 74,0 % podílu zrna. Nejnižší podíl zrna, a jako jediná varianta která vykázala nižší podíl zrna než 70 %, bylo zjištěno u varianty s aplikací hnoje a to s 65,6 % zrna. U varianty

s poloviční dávkou hnoje bylo zjištěno 70,1 % obsahu zrna. Následující varianty vykázaly vyšší obsah zrna než kontrolní varianta. U varianty kal bylo vypočteno 77,4 % podílu zrna. Byl zjištěn rozdíl mezi variantou N a N + sláma 1,1 %, kde vyšší obsah vyjádřila varianta s ponechanou slámou 78,0 %. Nejvyšší zastoupení podílu zrna bylo zjištěno u varianty NPK + mpr. s 79,4 % a o pouhých 2,6 % méně bylo zjištěno u varianty NPK.

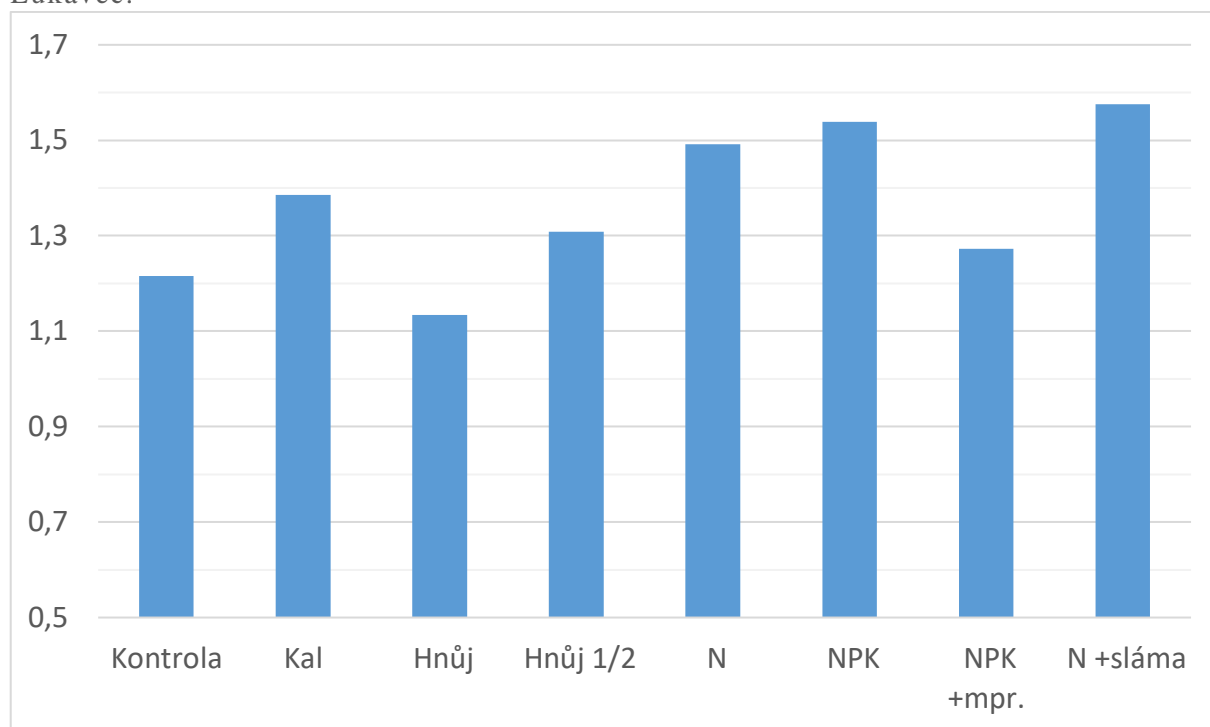
Graf 11: Sklizňový index (%) pšenice ozimé na stanovišti Lukavec.



#### 5.2.4 Obsah dusíku v zru

Z grafu (12) je patrný nejnižší obsah dusíku u varianty hněj 1,13 %, což je pouhých 9 setin procenta méně než kontrolní varianta s 1,22 %. Poloviční dávka hnoje vykázala 1,31 %, což je o 9 setin procenta více než kontrolní varianta, tudíž o 18 setin procenta více než plná dávka hnoje. Varianta kal vykázala o 17 setin procenta větší obsah dusíku oproti kontrolní variantě. Oproti očekávání varianta NPK + mpr. vykázala nejnižší obsah dusíku z variant hnojených minerálními hnojivy a to s 1,27 % dusíku, což je o pouhých 5 setin procenta více než kontrolní varianta. Varianta NPK vykázala 1,54 %, což je vyšší zastoupení o 27 setin procenta než varianta s přidávanými mikroprvky. Varianta N vyjádřila zastoupení dusíku 1,49 % a nejvyšší zastoupení vykázala varianta s ponechanou slámou 1,58 %.

Graf 12: Obsah dusíku (%) v zrně ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.



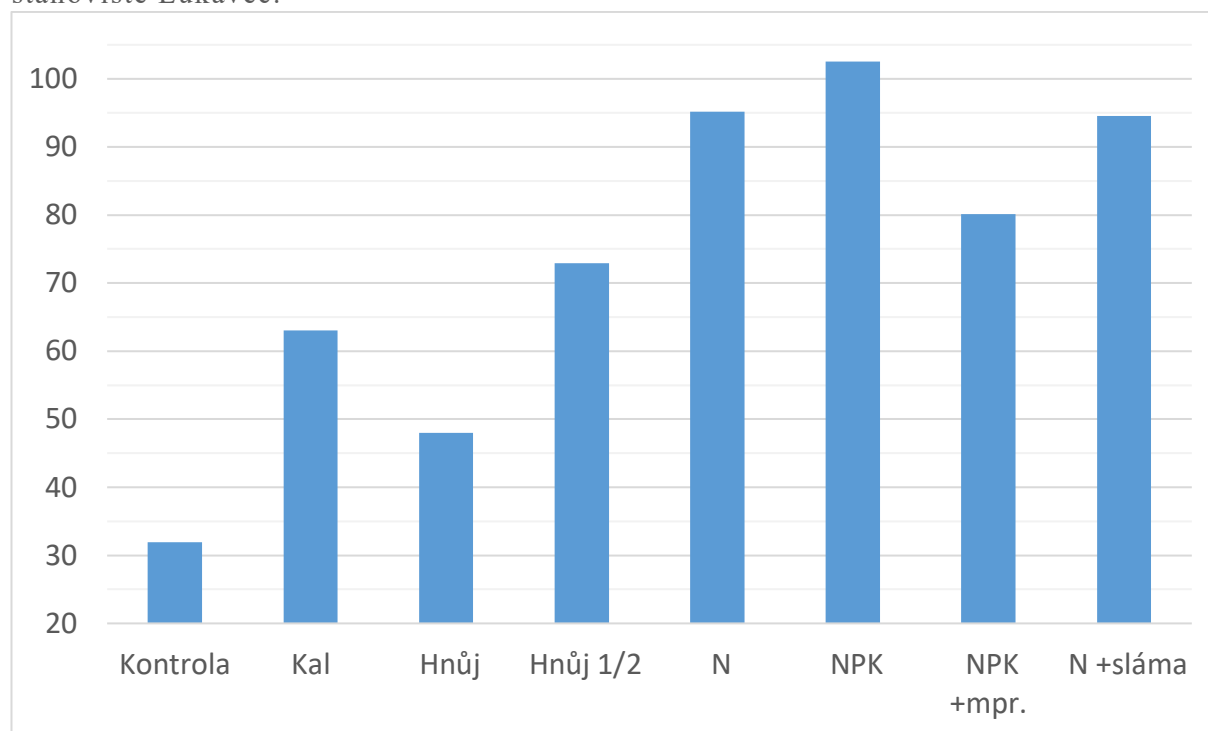
### 5.2.5 Obsah dusíku ve slámě

Kontrolní varianta vyjádřila 0,23 % obsahu dusíku. Nejnižší obsah dusíku 0,22 % ve slámě vykazala varianta hnůj, což je o jednu setinu procenta méně než varianta kontrolní. Další vyrovnané výsledky vyjádřili s rozdílem jedné setiny procenta varianty hnůj ½ s 0,29 % a kal s 0,30 %. Varianty NPK, NPK + mpr. a N + sláma vykazali vyrovnané výsledky v rozmezí 0,31 – 0,32 %. Nejvyššího obsahu dusíku 0,35 % dosáhla varianta hnojená čistým dusíkem.

### 5.2.6 Odběr dusíku zrnem

Nejnižšího odběru dusíku vykazala varianta kontrolní s 32 kg/ha. Z grafu (13) je patrný rozdíl v odběru dusíku mezi variantami hnojenými minerálními hnojivy a variantami hnojenými organickými hnojivy. Varianty hnojené organickými hnojivy vykazali nižší odběr dusíku než varianty hnojené minerálními hnojivy. Varianta hnůj odebral o 18 kg více než kontrolní varianta, poloviční dávka hnoje odebrala až o 41 kg více. Varianta kal odebrala o 31 kg více než kontrolní varianta. Varianta N a N + sláma vykazali stejný odběr dusíku s rozdílem 600 g. Varianta N odebrala o 63,2 kg a varianta N + sláma o 62,6 kg více než varianta kontrolní. Nejvyššího odběru dosáhla varianta NPK se 102,5 kg/ha N, což je o 70,5 kg více než kontrolní varianta. Varianta NPK + mpr. odebrala o 22,3 kg méně než varianta bez přidání mikroprvků.

Graf 13: Odběr dusíku (kg/ha) zrnem ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.



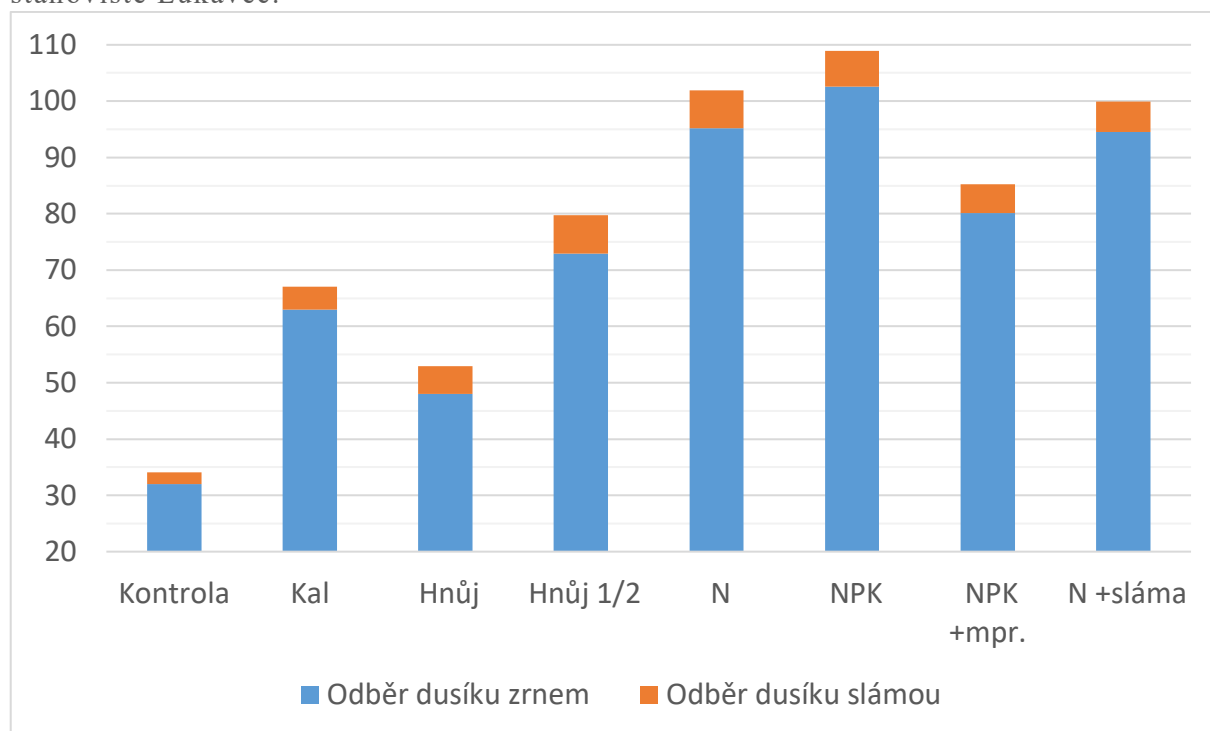
### 5.2.7 Odběr dusíku slámou

Nejmenší odběr dusíku vykázala varianta kontrolní 2,1 kg/ha N. Varianta kal odebrala o 1,9 kg více než kontrolní varianta. Varianta hnojená plnou dávkou hnoje vykázala vyšší odběr dusíku o 2,8 kg oproti variantě kontrolní. Největšího odběru dosáhla varianta hnojená poloviční dávkou hnoje 6,8 kg/ha N, což je o 1,9 kg více než varianta s plnou dávkou hnoje a o 4,7 kg více než kontrolní varianta. Varianty N (6,8 kg) a NPK (6,4 kg) vykázali přibližně o 1,4 kg větší odběr než kombinované varianty N + sláma (5,4 kg) a NPK + mpr. (5,1 kg).

### 5.2.8 Celkový odběr dusíku

Z grafu (14) je patrné, že celkový odběr dusíku především závisí na odběru dusíku zrnem. Nejnižších hodnot bylo vykázáno u varianty kontrolní 32 kg/ha N a u varianty hnůj (48 kg). Nejvyšších hodnot bylo vykázáno u variant NPK (102,5 kg), N (95,1 kg) a u varianty N + sláma (94,5 kg). Průměrné hodnoty byli naměřeny u variant kal (63 kg), hnůj ½ (72,9 kg) a u varianty NPK + mpr. (80,2 kg).

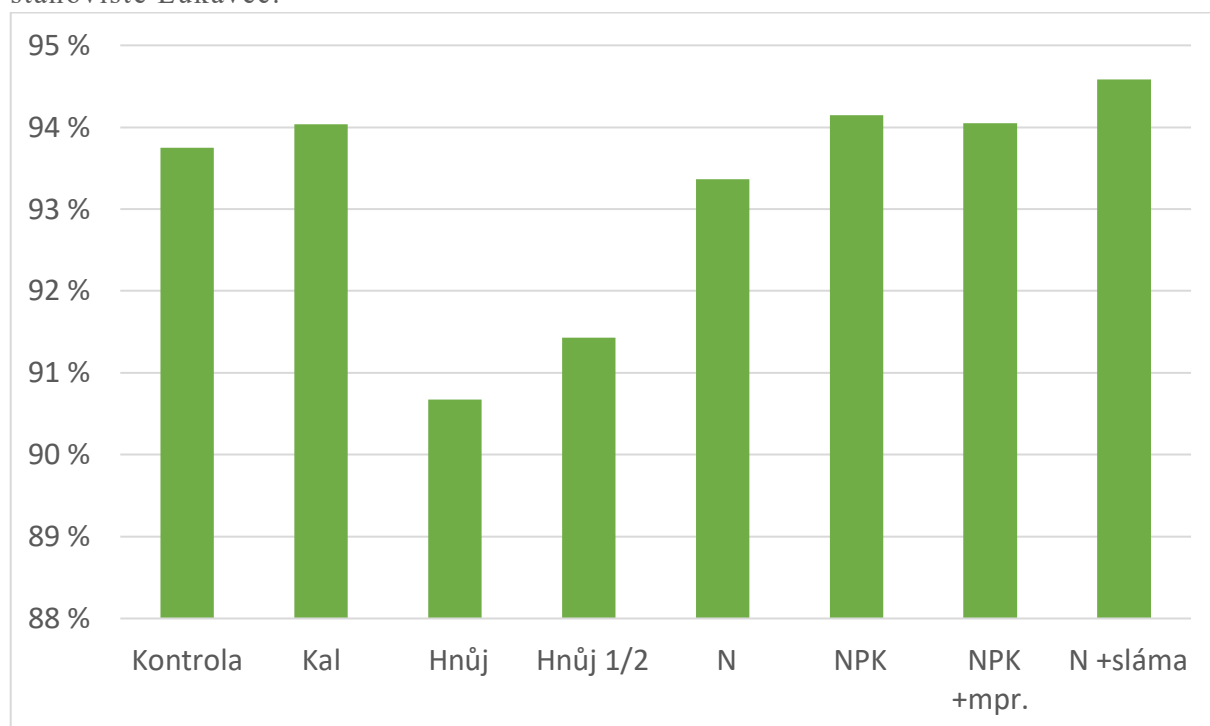
Graf 14: Celkový odběr dusíku (kg/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.



### 5.2.9 Sklizňový index dusíku

Z grafu (15) je patrná vyrovnanost sklizňového indexu kolem hodnoty 94 % s výjimkou variant hnojených hnojem, u kterých sklizňový index dusíku byl vyhodnocen okolo 91 %.

Graf 15: Sklizňový index dusíku (%) pšenice ozimé na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.

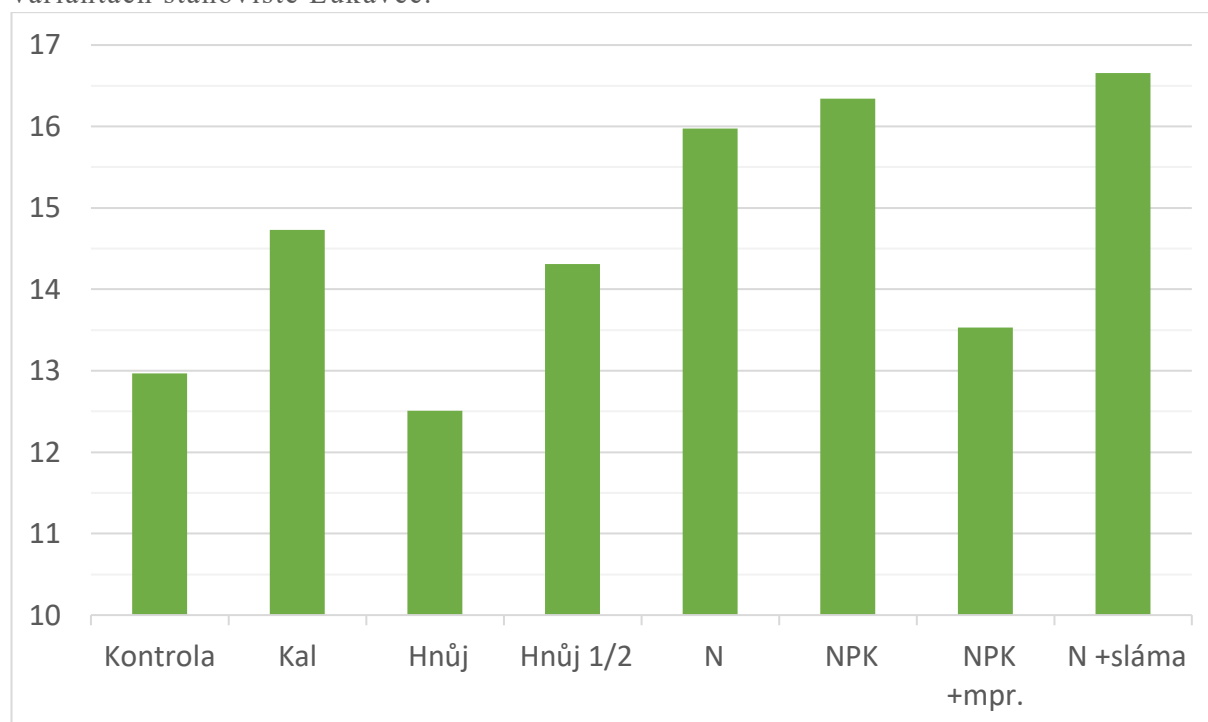


Kontrolní varianta spotřebovala z celkového odebraného dusíku 93,7 % pro tvorbu zrna, varianta kal o 30 setin procenta více (94 %). Varianta hnůj spotřebovala 90,7 % N zrnem a varianta s poloviční dávkou hnoje o 75 setin procenta více. Varianta hnojená dusíkem odebrala, jako jediná z minerálně hnojených variant, méně než kontrolní varianta o 38 setin procenta. Varianta s ponechanou slámou vykázala největší sklizňový index dusíku s 94,6 %, což je o 1,2 % více než varianta hnojená čistým dusíkem a o 83 setin procenta více než varianta kontrolní. Varianty hnojené NPK hnojivy vykázali stejný sklizňový index dusíku s rozdílem 10 setin procenta, pro NPK 94,1 % a pro NPK + mpr. 94 %, což je o 30 a 40 setin procenta více než varianta kontrolní.

### 5.2.10 Odběrový normativ dusíku

Graf (16) vyjádřil variabilitu odběrového normativu na daných variantách. Kontrolní varianta odebrala 12,97 kg N/t zrna. Varianta hnůj vykázala nižší odběr o 459 g oproti variantě kontrolní. Varianta hnojená poloviční dávkou hnoje (14,31 kg) vykázala vyšší odběr o 1,34 kg více než kontrolní varianta, což je o 1,8 kg více než varianta s plnou dávkou hnoje. Varianta s aplikací kalu odebrala 14,73 kg, což je o 1,76 kg více než varianta kontrolní. Varianta N + sláma vykázala největší odběrový normativ 16,66 kg, což je o 3,69 kg více než varianta kontrolní. Varianta hnojená čistým dusíkem odebrala o 680 g méně než varianta s ponechanou slámou. Mezi variantami NPK a NPK + mpr. je značný rozdíl v odběru a to 2,81 kg. Varianta NPK odebrala 16,34 kg, což je o 3,37 kg více než varianta kontrolní. Varianta s přidávanými mikroprvky odebrala 13,53 kg, což je o 560 g více než kontrolní varianta.

Graf 16: Odběrový normativ dusíku (kg N/t zrna) pšenice ozimé na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.



## 6 Diskuze

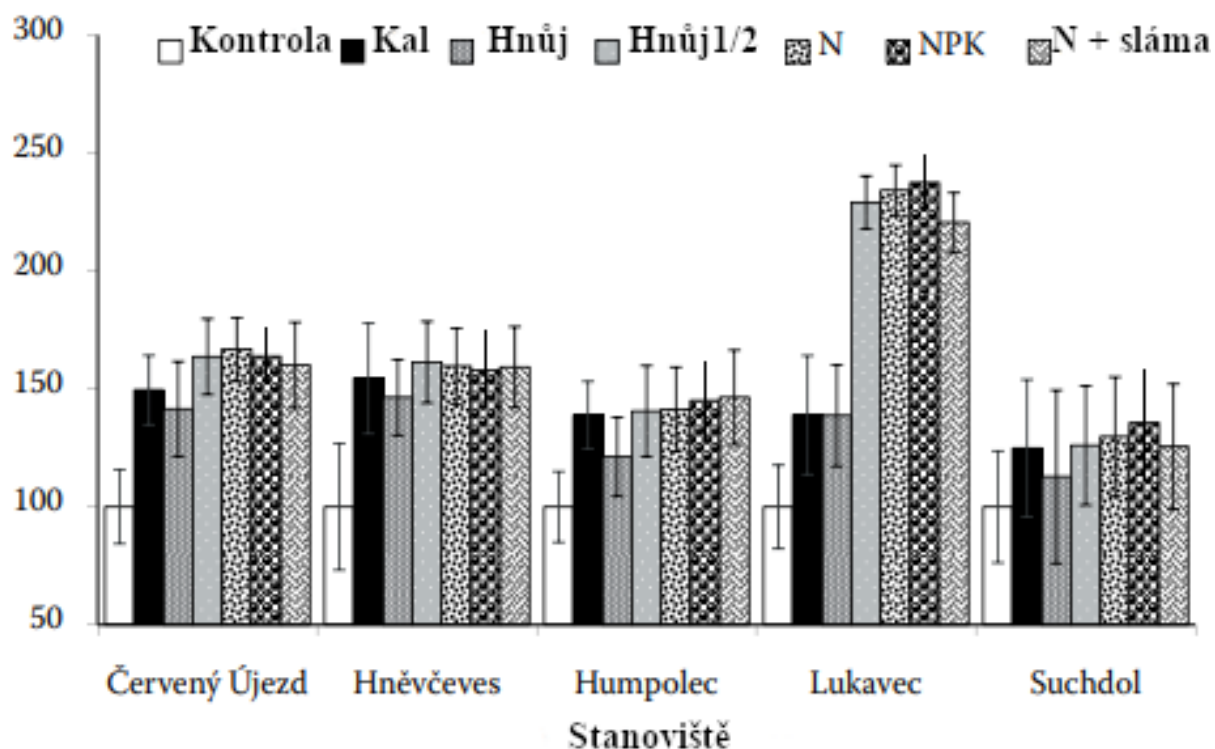
### 6.1 Výnos zrna

Černý et al. (2010) ze stejných dlouhodobých pokusů ČZU vyhodnotili průměrné hodnoty z průběhu 12 let od roku 1997 do roku 2008. Jejich pokusy jsou rozšířeny o lokality Červený Újezd, Hněvčeves a Humpolec. Z jejich pokusů byly nejnižší výnosy získány na všech stanovištích na nehnojených kontrolních variantách. Významně nejnižší průměrný výnos, konkrétně 2,74 t/ha, byl zaznamenán na lokalitě Lukavec, nejvyšší průměrný výnos 4,92 t/ha byl zaznamenán na lokalitě Humpolec.

Tyto výsledky se shodují s výsledky této BP (ročník 2019) pouze na stanovišti Lukavec. Na stanovišti Suchdol je kontrolní varianta druhou nejvýnosnější variantou, což vyvrací i tvrzení Chloupek et al. (2004), kteří uvádějí, že výnos plodiny je ovlivněn mnoha faktory. V České republice (ČR) je výnos pšenice ovlivněn většinou polohou, hnojením dusíkem a ročním obdobím, přičemž za dostatečnou aplikaci je považováno 120 kg/ha N.

Možným vysvětlením by mohl být fakt, že v roce 2019 byl velice suchý březen a duben, kdy se zakládají hlavní výnosotvorné prvky. Hnojené varianty nebyly schopné jejich potenciál využít. To se projevilo především na Suchdole, kde na úrodných půdách dokázala kontrola vytvořit relativně vysoký výnos. Na Lukavci, na málo úrodných půdách ale už kontrola takový výnos nedokázala vytvořit.

Obrázek 6: Relativní výnosy ozimé pšenice (%) na jednotlivých stanovištích pokusu dle Černý et al. (2010).



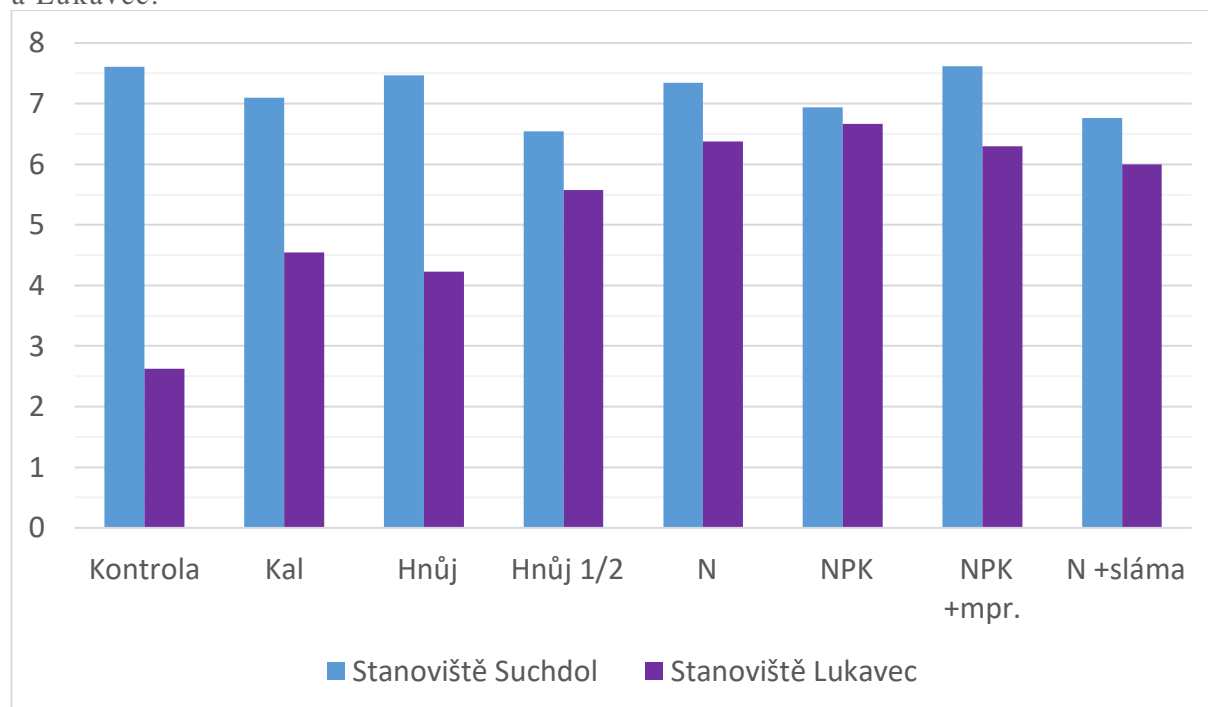
Na variantě Lukavec, oproti variantě Suchdol, bylo dosaženo značných rozdílů ve výnosu zrna mezi kontrolní variantou a hnojenými variantami. Černý et al. (2010) uvádějí, pouze na lokalitě Suchdol nebyl tento rozdíl statisticky významný. Jelikož se jedná o úrodné

místo s dobrou zásobou dostupných živin, byl účinek hnojení poměrně nízký. Na úrodnějších místech vede absence hnojení k mnohem pomalejšímu snížení výnosu ve srovnání s méně úrodnými místy. To dokumentují výsledky ze stránky Lukavec; ošetření minerálními hnojivy mělo za následek vyšší výnosy o 120 až 137 % nad kontrolou (obrázek 6). Na ostatních místech byly výnosy na pozemcích ošetřených minerálními hnojivy vyšší o 40–66 % ve srovnání s kontrolou

Na variantách hnojených pouze organickými hnojivy (kal, hnůj) a nehnojená kontrolní varianta vykázaly značný rozdíl ve výnosu zrna. Stanoviště Suchdol s lepšími stanovištními podmínkami vykázalo stálý vyrovnaný výnos na jednotlivých variantách, kdežto stanoviště Lukavec s horšími stanovištními podmínkami vykázalo značný pokles výnosu zrna na nehnojené variantě a variantách kal a hnůj. To se shoduje s pokusy Černého et al. (2010), kde lokalita Lukavec ve srovnání s ostatními lokalitami poskytla nejnižší hodnoty výnosu pšeničného zrna na variantách hnojených hnojem a kalem. Obě varianty měly průměrný výnos 3,80 t/ha za celé experimentální období. Na jiných místech nebyly rozdíly ve výnosu zrna ozimé pšenice mezi hnojenými pozemky významné. Také Černý et al. (2010) uvádějí, že hnojení pouze hnojem nebo kalem vždy vedlo k nižším výnosům, to se neshoduje s výsledky této BP na stanovišti Suchdol. Naopak varianta kal a hnůj dosáhly vyšších výsledků než varianta hnůj 1/2 a zároveň vyrovnaných výsledků s variantami hnojených minerálními hnojivy. To by mohlo mít za následek již zmiňované počasí. Na stanovišti Lukavec bylo potvrzeno nižších výnosů při hnojení kalem a hnojem oproti ostatním hnojeným variantám.

Z grafu (17) je patrný vliv hnojení minerálními hnojivy, u kterých jsou výnosy obou stanovišť vyrovnané.

Graf 17: Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol a Lukavec.





Na stanovišti Lukavec je patrná nižší účinnost hnojení hnojem oproti NPK hnojení. Černý et al. (2010) uvádějí, přestože je účinek hnojení hnojem na výnos nižší než při hnojení NPK, používání statkových hnojiv přináší další pozitivní aspekty, zejména vlastnosti půdy. Slouží například jako zdroj organické hmoty, zvyšuje stabilitu půdních agregátů, ovlivňuje vodní půdní režim, aktivitu půdních mikroorganismů a množství mikrobiální biomasy.

Oproti předpokladu hnojení čistým dusíkem na stanovišti Suchdol vykázalo vyšší výnos než hnojení N, P, K hnojivy bez přidaných mikroprvků. Na stanovišti Lukavec tohoto jevu nebylo dosaženo. U variant hnojených minerálními dusíkatými hnojivy, kde bylo dosaženo relativně vyrovnaných hodnot výnosu zrna ozimé pšenice, Černý et al. 2010 připisují rozdílům ve výnosu zrna zejména vliv půdně-klimatických podmínkám lokality. Také uvádějí že, výnos zrna ozimé pšenice byl ovlivněn podmínkami lokality, rokem a způsobem hnojením.

Macholdt et al. (2019) zjistili, že minerální hnojení N bylo primárním faktorem určujícím výnosovou stabilitu ozimé pšenice. Za velmi důležitý faktor ke snížení variability výnosů lze považovat optimální dodávku dusíku dostupného pro rostliny buď z minerálních nebo organických hnojiv nebo z vhodného systému střídání plodin. Tento pozitivní účinek na stabilitu výnosu pšenice se zvyšuje s vyšším N hnojením, ale ne nad optimálním hnojením.

Uvádějí, že pro stabilitu výnosu systémů pěstování pšenice jsou důležité agronomické faktory, jako je minerální a organické hnojení. Jejich studie ukázala následující:

(1) Lze dojít k závěru, že jasně snížené minerální hnojení NPK vedlo k vyššímu agronomickému riziku a variabilitě výnosu zrna pšenice ozimé ve srovnání s dostatečně dodávanými minerálními živinami.

(2) Ve všech kombinacích hnojiv se 100% minerálním hnojením s přidaným hnojem k předplodině (cukrové řepě) snížila agronomická rizika a zajistila relativně vysoké a stabilní výnosy obilí ozimé pšenice.

(3) Dostatečný přísun minerálních NPK, zejména v kombinaci s hnojem, lze tedy považovat za velmi důležitý pro snížení agronomických rizik při produkci pšenice.

Vzhledem ke specifickým půdním podmínkám v experimentálním místě s místními specifiky na podnebí a půdu (470 g/kg jílu), výsledky této studie jsou primárně použitelné pro ozimou pšenici pěstovanou za srovnatelných agronomických podmínek a podmínek lokality, a proto je lze zobecnit pouze v omezené míře. Výsledky vychází z roku 1956 (první rok sklizně) do roku 2016 na polní výzkumné stanici Giessen (50 ° 36 N; 8 ° 39 E; 158 m n.m.) severně od Frankfurtu. Půda je kambizem fluvická glejová, s pH 5.7-6.3 a struktura půdy 90 g/kg písku, 440 g/kg naplaveniny a 470 g/kg hlíny.

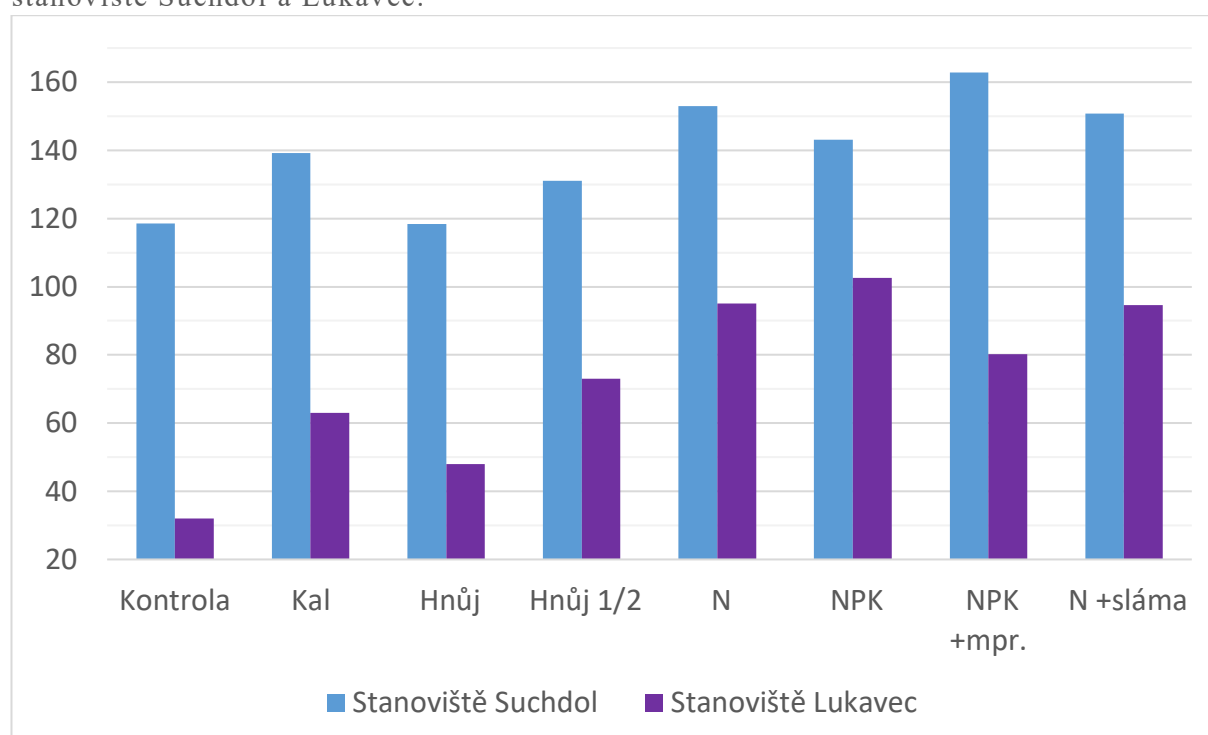
I přesto tyto specifické půdní podmínky se výsledky pokusů potvrzují. Obě varianty hnojené organickými hnojivy s kombinací minerálních (hnůj ½, N + sláma) vykazují stále a vyrovnané výnosy na obou stanovištích. Přesto varianty hnojené NPK hnojivy vykazují podobný i vyšší výnos. Lze předpokládat, jak uvádí Macholdt et al. (2019), že kombinace minerálních NPK hnojiv s organickými hnojivy by dosahovali ještě vyšších výnosů. Z grafu (17) je patrný vliv přihnojení mikroprvků, který by mohl v kombinaci organických hnojiv a NPK hnojiv podpořit tendenci růstu výnosu.

## 6.2 Odběr dusíku zrnem

Tabulka (8) znázorňuje výsledky, které stejných dlouhodobých pokusů ČZU vyhodnotily průměrné hodnoty z průběhu 16 let Buráňová et al. (2015), z kterých je patrný rozdíl průměrného odběru dusíku zrnem mezi lety 1997-2012 oproti výsledkům této BP práce z roku 2019. Oproti dlouhodobým výsledkům kontrolní varianta na stanovišti Lukavec vykázala pokles odběru dusíku a to ze 41 na 32 kg/ha, Naopak na stanovišti Suchdol došlo ke značnému nárůstu v odběru dusíku a to z 71 na 118 kg ha.

Ve vhodných podmínkách, na stanovišti Suchdol, varianta hnůj vykázala stejný odběr dusíku zrnem (s rozdílem 100 g), jako varianta kontrolní. Na stanovišti Lukavec (méně vhodné podmínky) u varianty hnůj je z grafu (18) patrný pokles odběru dusíku zrnem.

Graf 18: Odběr dusíku (kg/ha) zrnem ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol a Lukavec.



Tabulka 8: Odběr dusíku (kg/ha) ozimou pšenicí na jednotlivých stanovištích dlouhodobého pokusu (1997-2012) dle Buráňová et al. (2015).

Varianta	Suchdol	Lukavec
<b>Kontrolní</b>	71,2	40,7
<b>Kal</b>	99,2	61,8
<b>Hnůj</b>	81,4	61,1
<b>N</b>	120,8	113,2
<b>NPK</b>	129,6	117,6
<b>N+ sláma</b>	121,5	108,7

Varianta hnůj ½ v důsledku kombinace organických hnojiv s minerálním dusíkem na obou stanovištích vykazala patrný nárůst odběru dusíku oproti variantě hnůj.

Varianta hnojená kalem na stanovišti Lukavec, oproti dlouhodobým výsledkům Buráňové et al. (2015) nevykázala značné změny v odběru dusíku, kdežto na stanovišti Suchdol došlo k nárůstu o 40 kg/ha.

Varianta NPK s přidanými mikroprvky na stanovišti Suchdol vykazala největší odběr dusíku ze všech variant. Na stanovišti Lukavec byl vyjádřen pokles v obsahu dusíku na variantě NPK + mpr. a jeho odběr je nejnižší z variant hnojených minerálními hnojivy.

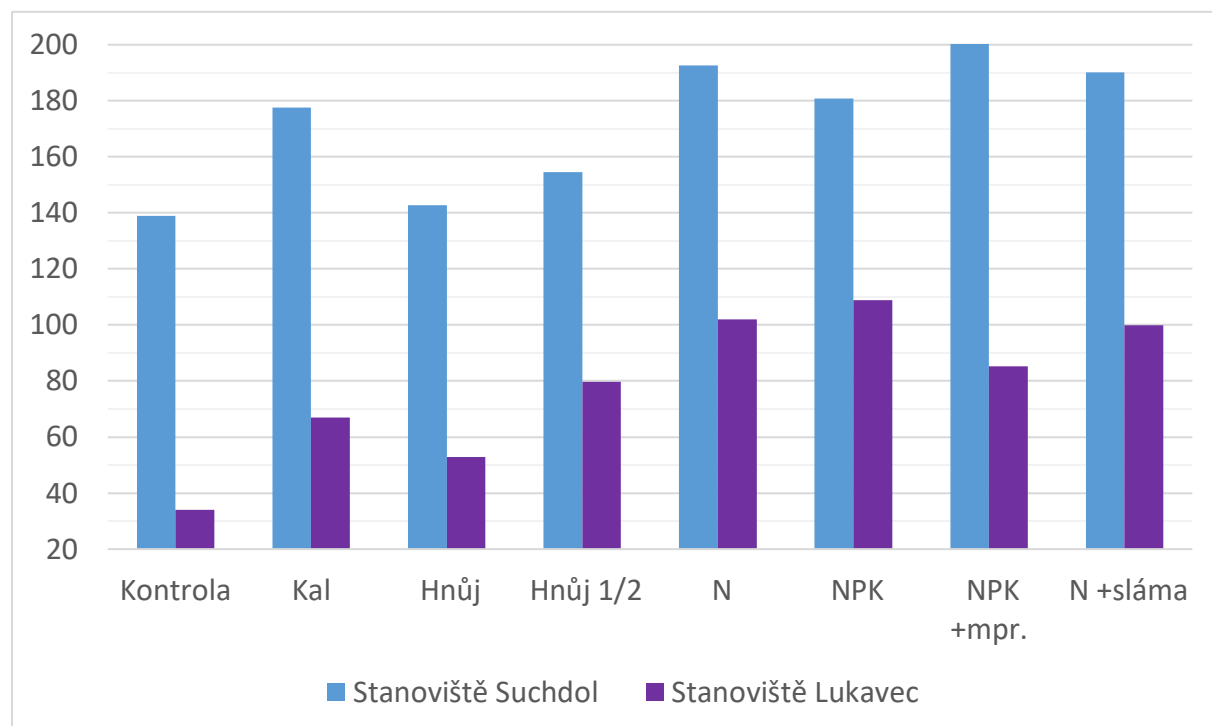
Oproti dlouhodobým výsledkům Buráňové et al. (2015) je na stanovišti Suchdol patrný nárůst odběru dusíku, a naopak na variantě Lukavec je patrný pokles odběru dusíku na jednotlivých hnojených i nehnojených variantách.

Podle předpokladu stanoviště Suchdol vykazalo větší odběr dusíku než na stanovišti Lukavec. Oproti předpokladu na stanovišti Suchdol hnojení čistým dusíkem vykazalo vyšší odběr dusíku než varianta NPK. Na stanovišti Lukavec hnojení čistým dusíkem vykazalo nižší odběr dusíku oproti variantě NPK.

### 6.3 Celkový odběr dusíku

Na stanovišti Suchdol byl vykázán ztelný nárůst celkového odběru dusíku vlivem odběru dusíku slámou. U stanoviště Lukavec nebylo vykázáno ztelného nárůstu. V grafu (19) v porovnání s grafem (18) je patrné, že po připočtení odběru dusíku slámou nebylo dosaženo žádné změny ve vlivu hnojení čistým dusíkem.

Graf 19: Celkový odběr dusíku (kg/ha) ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol a Lukavec.



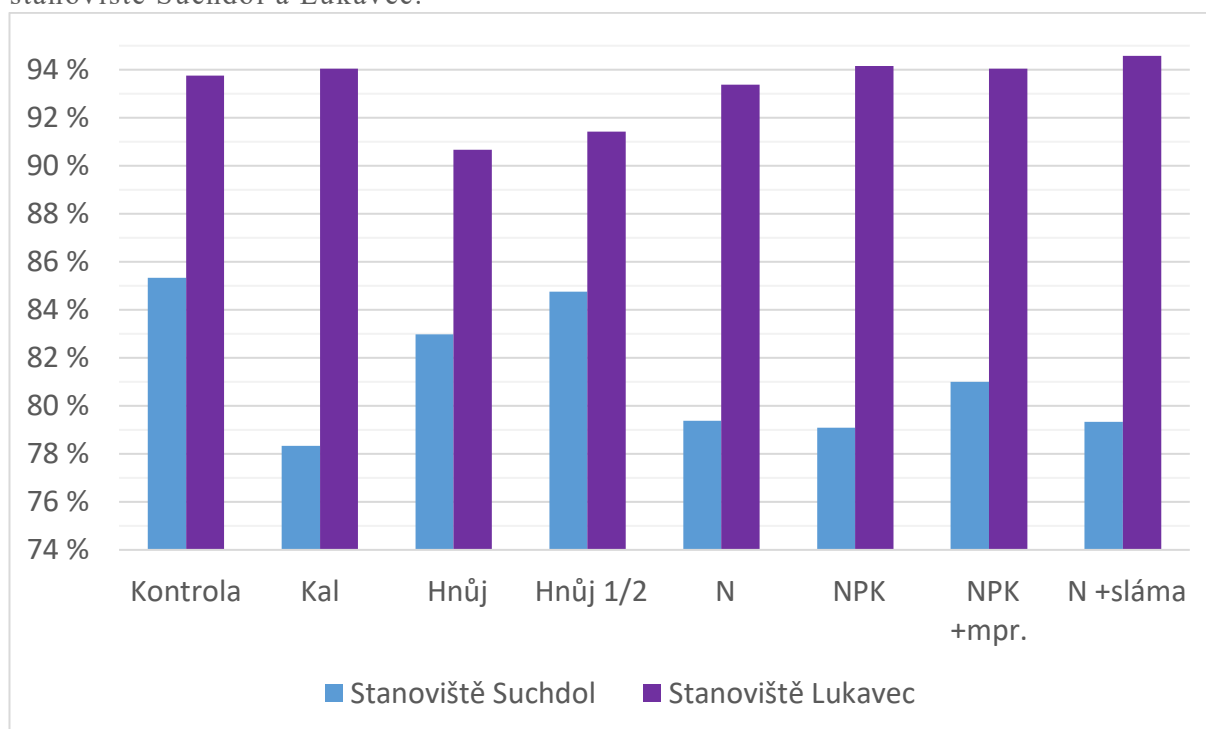
## 6.4 Sklizňový index dusíku

Na stanovišti Lukavec bylo dosaženo razantně vyšších hodnot sklizňového indexu, což se neprokázalo v dlouhodobých výsledcích Buráňové et al. (2015). Z tabulky (9) je patrná vyrovnanost výsledků mezi stanovišti na variantách hnůj, N, NPK a N + sláma jsou vyrovnané (rozmezí 1-5 %), varianty kal vykazaly rozdíl 7 % a varianty kontrolní 14 %.

Na variantách hnojených minerálními hnojivy bylo zjištěno rozdílu mezi stanovišti 13 až 15 %. Na variantách hnojených hnojem byl vypočítán rozdíl 6 až 7 % a u varianty kal byl zjištěn největší rozdíl mezi stanovišti a to 16 %. Rozdíl mezi kontrolními variantami byl vypočten na 8,4 %. Oproti předpokladu na stanovišti Lukavec bylo dosaženo vyrovnaných výsledků na jednotlivých variantách, vyjma variant hnojených hnojem, u kterých došlo k poklesu hodnot. Stanoviště Suchdol u variant hnojených hnojem a kontrolní varianty došlo k opačnému jevu, a to k nárůstu hodnot sklizňového indexu.

Oproti dlouhodobým výsledkům Buráňové et al. (2015) můžeme pozorovat opačného jevu nárůstu a poklesu hodnot oproti odběru dusíku, kde stoupaly hodnoty stanoviště Suchdol. V porovnání grafu (20) a tabulky (9) můžeme vyhodnotit pokles sklizňového indexu dusíku na stanovišti Suchdol o 2-9 % oproti dlouhodobým výsledkům. Naopak na stanovišti Lukavec můžeme pozorovat razantního nárůstu sklizňového indexu dusíku o 9-20 % oproti dlouhodobým výsledkům.

Graf 20: Sklizňový index dusíku (%) pšenice ozimé na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol a Lukavec.



Tabulka 9: Sklizňový index dusíku (%) ozimé pšenice na jednotlivých stanovištích dlouhodobého pokusu (1997-2012) dle Buráňová et al. (2015).

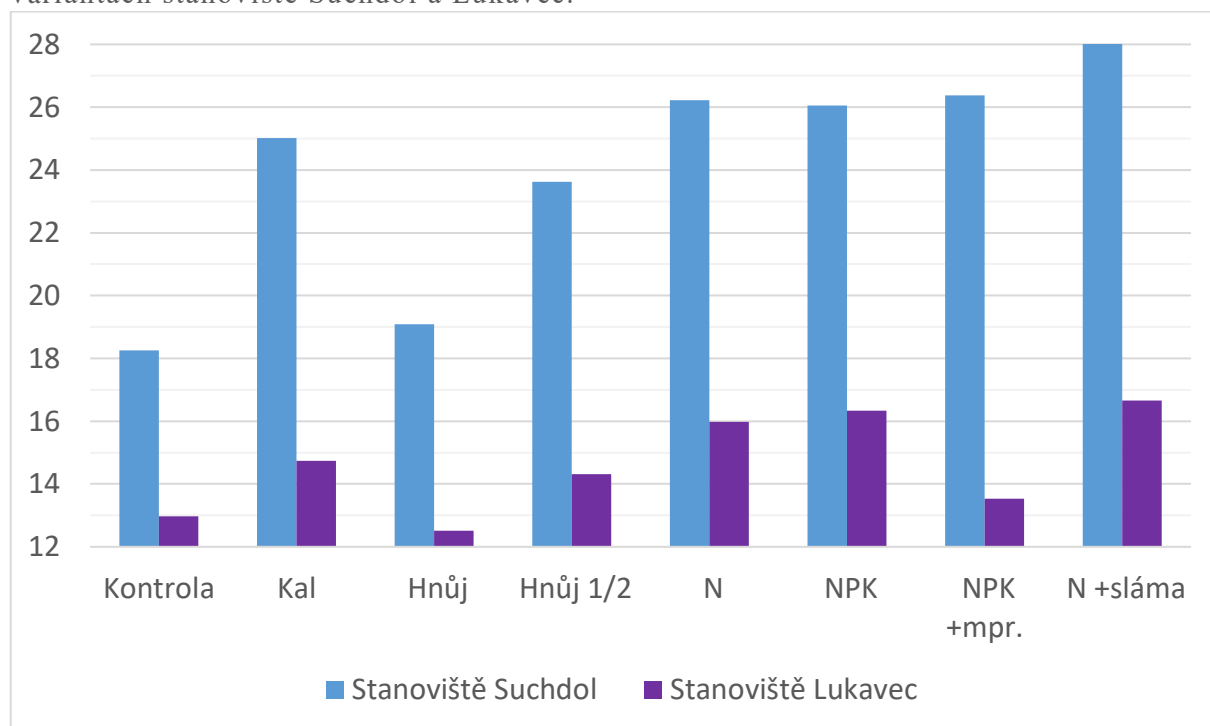
Varianta	Suchdol	Lukavec
<b>Kontrolní</b>	87,17	73,93
<b>Kal</b>	86,52	79,54

<b>Hněj</b>	85,35	80,82
<b>N</b>	85,42	83,94
<b>NPK</b>	86,98	84,50
<b>N+ sláma</b>	84,11	85,29

## 6.5 Odběrový normativ

Stanoviště Suchdol vykázalo vyšší hodnoty odběrového normativu oproti stanovišti Lukavec a to o 5-13 kg N/t zrna. Podobnou tendenci růstu hodnot odběrového normativu oproti kontrolní variantě na jednotlivých stanovištích vykázaly varianty kal, hněj ½, N, NPK a N + sláma. Z grafu (21) je patrný nesoulad na variantách hněj a NPK + mpr., kde na stanovišti Suchdol byl vykázán nárůst hodnot oproti kontrole a na stanovišti Lukavec byl vykázán pokles hodnot. Pro odběrový normativ mezi variantami na jednotlivých stanovištích nebyl vyjádřen pozitivní vliv hnojení dusíkem s kombinací fosforu a draslíku. Podle předpokladu byly vykázány rozdíly ve výsledcích odběrového normativu mezi jednotlivými variantami, kromě variant N a NPK na stanovišti Lukavec 16 kg N/t zrna a na stanovišti Suchdol je stejný odběrový normativ i u varianty NPK + mpr. 26 kg N/t zrna.

Graf 21: Odběrový normativ dusíku (kg N/t zrna) pšenice ozimé na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol a Lukavec.



## 7 Závěr

- Na stanovišti Suchdol výnosy vykázaly na všech variantách vyrovnané a podobné hodnoty. Na Stanovišti Lukavec nehnojená varianta nedokázala vytvořit vyrovnané výsledky s variantami hnojenými.
- Výnos slámy byl ovlivněn stanovištěm a hnojením organickými a minerálními hnojivy. Na stanovišti s horšími stanovištními podmínkami byl výnos slámy vyšší na variantách hnojených hnojem. Za vhodných stanovištních podmínek na stanovišti Suchdol nebyl vykázán pozitivní vliv hnojení hnojem, vyšších výnosů slámy dosahovaly varianty hnojené minerálními hnojivy.
- Sklizňový index vykázal odlišnost mezi stanovišti. Na stanovišti Lukavec bylo vykázáno vyššího podílu zrna (až 80 %) z poměru celé nadzemní biomasy, zatímco na stanovišti Suchdol poměr zrna a slámy byl vyrovnaný, ve většině těsně pod 50 % zrna.
- Obsah dusíku v zrnu byl vyšší na stanovišti s vhodnými podmínkami (Suchdol) a to především na variantách hnojených v kombinaci s minerálními hnojivy.
- Rozdíl obsahu dusíku ve slámě mezi stanovišti ani mezi jednotlivými variantami nebyl významný, pouze o 0-2 desetiny procenta.
- Odběr dusíku byl ovlivněn především podmínkami stanoviště. Na stanovišti Suchdol byl odběr dusíku zrnem na kontrolní variantě větší o 86,5 kg/ha N, u odběru dusíku slámou o 18,2 kg/ha N a u celkového odběru dusíku o 143,6 kg/ha N oproti kontrolní variantě na stanovišti Lukavec.
- Stanoviště Lukavec dosáhlo vyšších hodnot sklizňového indexu dusíku až o 16 % oproti stanovišti Suchdol. Pouze varianty hnojené hnojem vykázaly opačnou tendenci růstu a poklesu hodnot. Na Stanovišti Lukavec poklesly hodnoty sklizňového indexu oproti ostatním variantám i nehnojené variantě a na Stanovišti Suchdol varianty hnojené hnojem společně s variantou kontrolní vykázaly vyšší hodnoty oproti ostatním hnojeným variantám.
- Odběrový normativ byl ovlivněn stanovištními podmínkami i hnojením. Stanoviště Suchdol vykázalo až o 13 kg N/t zrna více než stanoviště Lukavec. Varianty hnojené minerálními hnojivy na obou stanovištích odebraly více dusíku na jednu tunu zrna oproti variantě kontrolní a variantě hnůj.
- **Hypotéza 1:** Předpokládám, že na variantách hnojených pouze dusíkem bude odběr dusíku nižší než na variantách hnojených dusíkem, fosforem i draslíkem.

Na stanovišti Lukavec tato hypotéza byla potvrzena, celkový odběr dusíku na variantě N byl o 7 kg/ha nižší. Na stanovišti Suchdol tato hypotéza byla vyvrácena z důvodu vyššího výnosu na variantě N o 11,7 kg/ha.

- **Hypotéza 2:** Předpokládám, že vhodné podmínky stanoviště budou zvyšovat odběr dusíku ozimou pšenicí.

Daná hypotéza byla potvrzena tím, že stanoviště Suchdol vykázalo vyšší celkový odběr dusíku na všech variantách oproti stanovišti Lukavec. Stanoviště Suchdol vykázalo vyšší odběr dusíku o 72 až 143,6 kg/ha N více.

- **Hypotéza 3:** Předpokládám, že se bude lišit sklizňový index dusíku mezi jednotlivými variantami hnojení.

Na stanovišti Suchdol byla tato hypotéza potvrzena jednoznačně, sice na variantách N, NPK a N + sláma nebyl stanoven znatelný rozdíl, ale ostatní varianty vykazují značný rozdíl. Na stanovišti Lukavec hodnoty sklizňového indexu vyšly vyrovnaně, vyjma variant hnojených hnojem, které vykázaly nižších hodnot oproti ostatním variantám.

- **Hypotéza 4:** Předpokládám, že se bude lišit odběrový normativ dusíku mezi jednotlivými variantami hnojení.

Tato hypotéza byla potvrzena na obou stanovištích, přesto by se dalo povšimnout podobných hodnot na variantách N a NPK na stanovišti Lukavec a na variantách N, NPK a NPK + mpr. na stanovišti Suchdol.

## 8 Literatura

- Alomari DZ, Eggert K, Von Wirén N, Pillen K, Röder MS. 2017. Genome-wide association study of calcium accumulation in grains of european wheat cultivars. *Frontiers in plant science* **8**:1-11.
- Barbarick KA. 2006. Nitrogen sources and transformations. Colorado State University Cooperative Extension, USA. Available from <https://mountainscholar.org/handle/10217/183183> (accessed November 2020).
- Black AS, Sherlock RR, Smith NP. 1987. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. *European journal of Soil Science* **38**:679–687.
- 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**:257-271.
- Cameron KC, Di HJ, Moir JL. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology* **162**:145-173.
- Coyne MS, Frye WW. 2005. NITROGEN IN SOILS/Cycle. Pages 13-21 in Hillel D, editor. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, USA.
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Časová K, Nedvěd V. 2010. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant, Soil and Environment* **56**:28-36.
- Dai X, Zhou X, Jia D, Xiao L, Kong H, He M. 2013. Managing the seeding rate to improve nitrogen-use efficiency of winter wheat. *Field Crops Research*, **154**:100-109.
- Diviš J, Jůza J, Moudrý J, Vondryš J, Bárta J, Štěrbá Z. 2010. Pěstování rostlin. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice.
- Good AG, Shrawat AK, Muench DG. 2004. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? *Trends in Plant Science* **9**:597-605.
- Google. 2019. Available from <https://www.google.cz/maps/> (accessed April 2021).
- Grzebisz W. 2013. Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil* **368**:23–39.
- Hawkesford MJ. 2014. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science* **59**:276-283.
- Hikosaka K. 2004. Interspecific differences in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes and ecological importance. *Journal of Plant Research* **117**:481–494.
- 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.

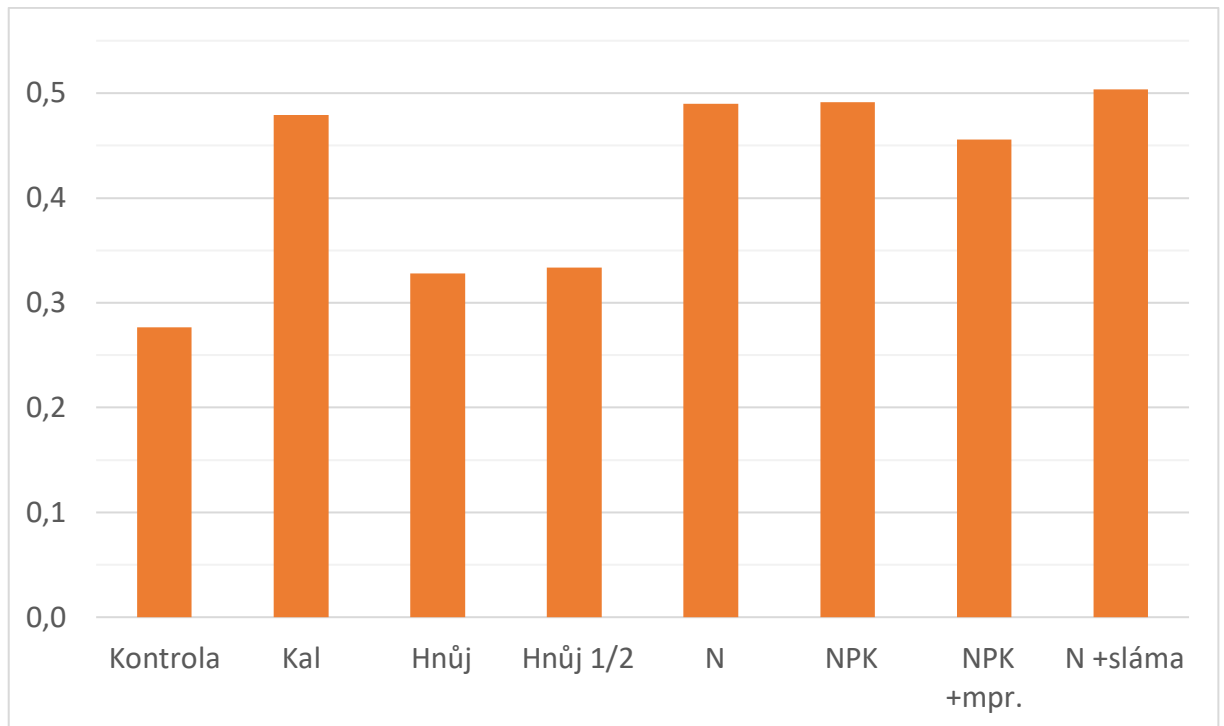


- Horčíčka P. 2008. Možnosti šlechtění pšenice. Pages 46-105 in kolektiv autorů., editors. Pšenice – od genomu po rohlík. Nakladatelství Kurent, s.r.o. České Budějovice.
- Hřivna L. 2012. Šlechtitelské listy. Družstvo vlastníků odrůd. Brno.
- Chloupek O, Hrstkova P, Schweigert P. 2004. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Research* **85**:167-190.
- International Wheat Genome Sequencing Consortium. 2014. A chromosome-based draft sequence of the hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) genome. *Science*. **345**:1251788;1-1251788;11
- Janovská D, Hermuth J, Dotlačil L. 2017. Využití genetických zdrojů rostlin – případ pšenice. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha.
- Klem K, Klemová Z. 2008. Vliv dávky, termínu a formy dusíkaté výživy ozimé pšenice na výskyt listových chorob a výnosový efekt fungicidní ochrany. *Obilnářské listy* **16**:121-126.
- Konvalina P, Moudrý J. 2008. Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice.
- Kulhánek M, Balík J, Černý J, Vašák F, Buráňová Š. 2014. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. *Plant, Soil and Environment* **60**:151-157.
- Kunzová E, Menšík L, Hejcman M, Dostál J. 2014 Metodický postup odběrů vzorků hnojiv, rostlin a půdy pro stanovení rizikových prvků v agroekosystémech a dalších parametrů půdní úrodnosti. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha.
- Lemaire G, Oosterom E, Sheehy J, Jeuffroy M H, Massignam A, Rossato L. 2007. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? *Field Crop Research* **100**:91–106.
- Liu D, Shi Y. 2013. Effects of Different Nitrogen Fertilizer on Quality and Yield in Winter Wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology* **5**:646-649.
- Masclaux-Daubresse C, Daniel-Vedele F, Dechorgnat J, Chardon F, Gaufichon L, Suzuki A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany* **105**:1141–1157.
- Montemurro F. 2009. Different Nitrogen Fertilization Sources, Soil Tillage, and Crop Rotations in Winter Wheat: Effect on Yield, Quality, and Nitrogen Utilization. *Journal of Plant Nutrition* **32**:1-18.
- Park SH, Bean SR, Chung OK, Seib PA. 2006. Levels of Protein and Protein Composition in Hard Winter Wheat Flours and the Relationship to Breadmaking. *Cereal Chemistry* **83**:418-423.

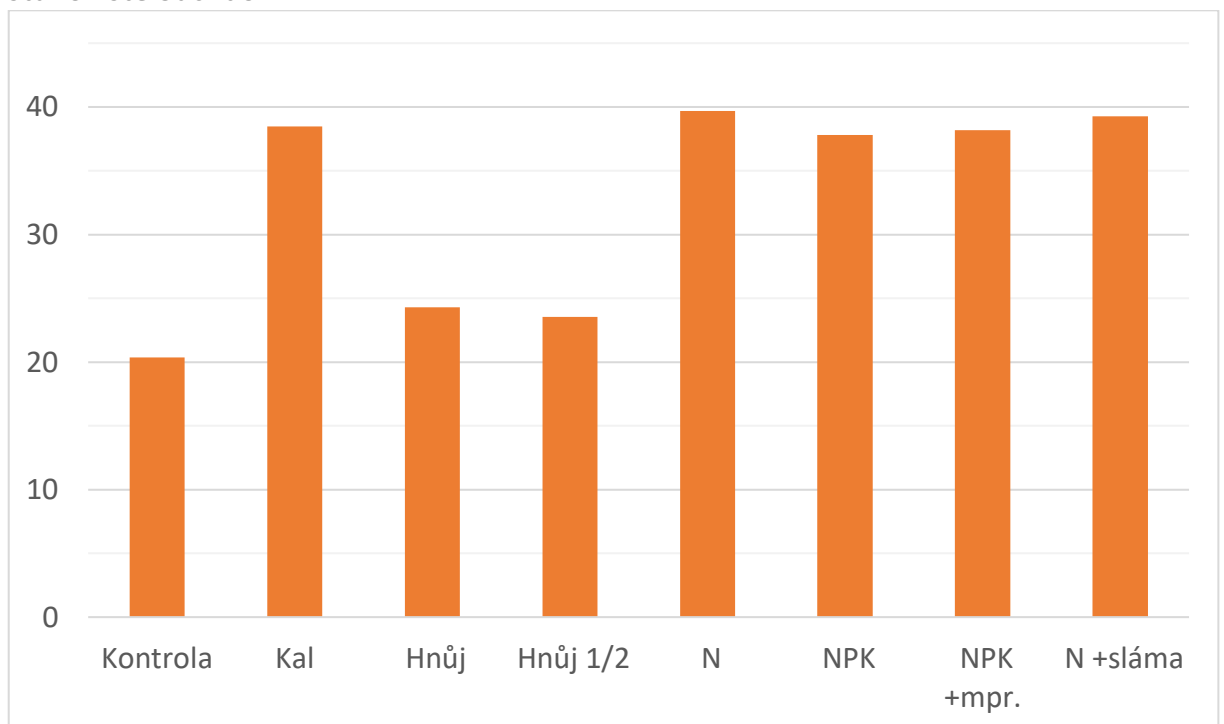
- Robertson GP, Groffman PM. 2015. Nitrogen transformations. Pages 421-446 in Paul EA, editor. Soil microbiology, ecology and biochemistry. Fourth edition. Academic Press, UK, USA.
- Shi R, Zhang Y, Chen X, Sun Q, Zhang F, Römheld V, Zou C. 2010. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* **51**:165–170.
- Spiertz JHJ. 2010. Nitrogen, sustainable agriculture and food security-A review. *Agronomy for Sustainable Development* **30**:43-55.
- Turner DA, Edis RB, Chena D, Freney JR, Denmead OT, Christie R. 2010. Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N-(n-butyl) thiophosphorictriamide. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **137**:261–266.
- UKZÚZ. 2020. Rostlinolékařský portál. UKZÚZ. Available from [http://eagri.cz/public/app/srs\\_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c53bebf%22#rlp|plodiny|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c53bebf|popis](http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c53bebf%22#rlp|plodiny|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c53bebf|popis) (accessed October 2020).
- Van Ginkel M, Ortiz-Monasterio I, Trethowan R, Hernandez E. 2001. Methodology for selecting segregating populations for improved N-use efficiency in bread wheat. *Euphytica* **119**:223–230.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Vydavatelství Profi Press s.r.o., Praha.
- Wang ZH, Li SX, Malhi S. 2007. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **88**:7–23.
- Xu G, Fan X, Miller AJ. 2012. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. *Annual Review of Plant Biology* **63**:153-182.
- Zecevic V, Knezevic D, Boskovic J, Micanovic D, Dozet G. 2010. Effect of Nitrogen Fertilization on Winter Wheat Quality. *Cereal Research Communications* **38**:243–249.
- Ziadi N, Sen Tran T. 2007. Chapter 7 Mehlich 3 – Extractable Elements. Pages 81-88 in Carter MR, Gregorich EG, editors. *Soil Sampling and Methods of Analysis Second Edition*. CRC Press, United States.
- Zörb C, Ludewig U, Hawkesford MJ. 2018. Perspective on Wheat Yield and Quality with Reduced Nitrogen Supply. *Trends in Plant Science* **23**:1029-1037.
- Zrcková M, Veškrna O, Horčíčka P. 2018. Šlechtitelský seminář 2018. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha.

## 9 Samostatné přílohy

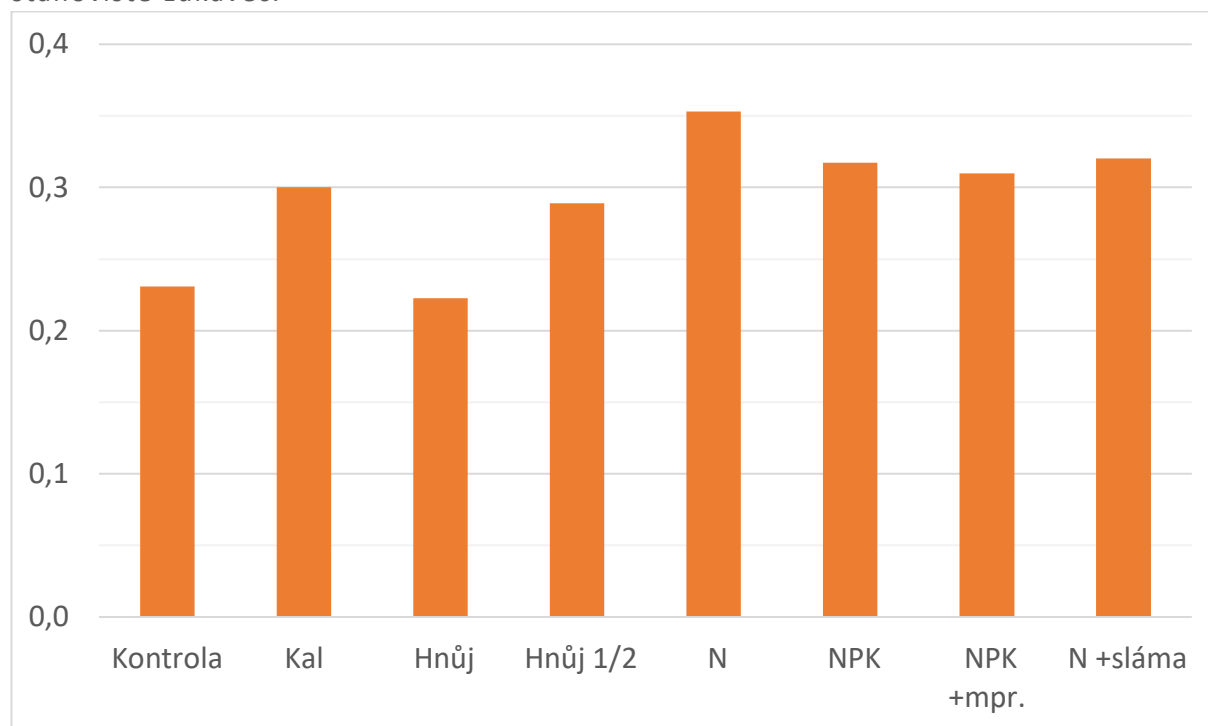
Graf I: Obsah dusíku (%) ve slámě ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.



Graf II: Odběr dusíku (kg/ha) slámou ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Suchdol.



Graf III: Obsah dusíku (%) ve slámě ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.



Graf IV: Odběr dusíku (kg/ha) slámou ozimé pšenice na jednotlivých variantách stanoviště Lukavec.

