

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Obsah dusíku v rostlinách a jeho bilance při různých
systémech hnojení**

Bakalářská práce

Autor práce: Anežka Dittrichová

Obor studia: Ekologické zemědělství

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

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "**Obsah dusíku v rostlinách a jeho bilance při různých systémech hnojení**" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jindřichu Černému, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a trpělivý přístup.

Obsah dusíku v rostlinách a jeho bilance při různých systémech hnojení

Souhrn

Tato práce se zabývá příjmem a využitím dusíku rostlinami při použití různých systémů hnojiv. V literární rešerši jsou popsány přeměny dusíku, kterými se dusík stává pro rostliny dostupný. Dále je uvedeno, jakými způsoby je rostlina schopna dusík přijímat a důsledky nedostatku či nadbytku dusíku. Uvedena jsou organická hnojiva, která jsou povolena v ekologickém zemědělství a jejich přínos pro obsah dusíku v půdě a výživu rostlin.

V experimentální části byla pro tuto práci vybrána dvě stanoviště s odlišnými půdně-klimatickými podmínkami, a to konkrétně Lukavec a Praha-Suchdol. Tam probíhají dlouhodobé polní pokusy založené v roce 1996. V rámci této práce byly hodnoceny tři varianty (nehnojená Kontrola, Hnůj, NPK). Varianta Hnůj byla hnojena chlévským hnojem, což je organické hnojivo běžně používané v ekologickém zemědělství. Varianta NPK sloužila jako srovnávací.

Z výsledků bylo zjištěno, že nejvyššího výnosu zrna (7,61 t/ha) bylo dosaženo na stanovišti Praha-Suchdol na nehnojené variantě Kontrola. Také bylo prokázáno, že hnojení minerálním hnojivem má nižší efekt na úrodném stanovišti (Praha-Suchdol) než na méně úrodném místě (Lukavec), kde nejvyšší výnos byl zaznamenán na variantě NPK (6,66 t/ha). Na stanovišti Praha-Suchdol na variantě Hnůj byly dosaženy vyrovnané výnosy zrna (7,47 t/ha) a slámy (7,41 t/ha). Aplikací organických hnojiv je dosaženo celkem vyšších výnosů na úrodnějším stanovišti.

Z výsledků bylo také prokázáno, že nejvyšší hodnoty obsahu dusíku v zrně jsou dosaženy u nejnižších výnosů. Na stanovišti Praha-Suchdol byl nejvyšší obsah dusíku v zrně 2,06 % na variantě NPK a zároveň zde bylo dosaženo nejnižšího výnosu zrna (6,94 t/ha).

Vyšší celkový odběr dusíku pšenice nastává vlivem vyššího výnosu, což se potvrdilo na minerálně hnojených variantách, kde na stanovišti Praha-Suchdol byl o 60 % vyšší celkový odběr dusíku oproti stanovišti Lukavec.

Klíčová slova: dusík, ozimá pšenice, ekologické zemědělství, organické hnojení, výnos

Nitrogen content in plants and its balance in different fertilization systems

Summary

The thesis deals with income and use of nitrogen in plants when different fertilization systems are applied. The literature research describes nitrogen transformations which make nitrogen easily used by plants. Then ways of absorption are mentioned, as well as consequences of the lack and surplus of nitrogen. Further the work introduces organic fertilizers permitted in eco-friendly agriculture and their benefits for the nitrogen content in soil and for plant nutrition.

For the experimental chapter two stands/locations with different soil and climate conditions were chosen, namely Lukavec and Prague-Suchdol. Long-term field experiments have been carried out there since 1996. Within the thesis three variants have been assessed – unfertilized Verification, Manure, NPK. The variant Manure was fertilized by manure which is commonly used in organic agriculture. The variant NPK was used for reference.

The results revealed that the highest grain yield (7,61 t/ha) was achieved at Prague-Suchdol location – the unfertilized variant Verification. The use of mineral fertilizer was proved to have a lower effect at rich location (Prague-Suchdol) than at location with infertile soil (Lukavec) where the NPK variant brought the highest yield (6,66 t/ha). Even yields of grain and straw were achieved at Praha-Suchdol location, variant Manure (grain: 7,47 t/ha, straw: 7,41 t/ha). The application of organic fertilizer results in comparatively lower but stable yields.

The results have also proved that the highest nitrogen content in grain was accomplished within the lowest yields. The highest nitrogen content in grain (2,06 %) and the lowest grain yield (6,94 t/ha) were recorded at Prague-Suchdol, variant NPK.

Higher nitrogen offtake is influenced by higher yield, which was confirmed at variants fertilized by mineral fertilizers – Praha-Suchdol had nitrogen offtake 60 % higher compared to Lukavec location.

Keywords: nitrogen, winter wheat, organic agriculture, organic fertilization, yield

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce a hypotézy	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Dusík	10
3.2 Obsah a formy dusíku v půdě	11
3.2.1 Organický dusík.....	11
3.2.2 Mineralizovatelné formy dusíku.....	11
3.2.3 Minerální dusík.....	12
3.2.4 Půdní organická hmota	13
3.2.5 Poměr C/N	14
3.3 Přeměny dusíku v půdě a faktory, které je ovlivňují	15
3.3.1 Mineralizace	16
3.3.2 Amonizace	17
3.3.3 Nitrifikace	17
3.3.4 Denitrifikace	19
3.3.5 Imobilizace	20
3.4 Ztráty dusíku	20
3.4.1 Volatilizace	20
3.4.2 Vyplavování.....	21
3.5 Význam dusíku pro rostliny	22
3.5.1 Nedostatek dusíku.....	23
3.5.2 Nadbytek dusíku	23
3.6 Příjem dusíku a jeho asimilace rostlinami	24
3.6.2 Vliv kořenů na příjem dusíku	25
3.6.3 Fixace vzdušného dusíku rostlinami a bakteriemi.....	25
3.6.4 Mykorhiza.....	27
3.7 Efektivita využití dusíku v EZ	27
3.7.1 Organická hnojiva.....	28
3.7.2 Chlévský hnůj.....	32
3.8 Pšenice	33
3.8.1 Nároky na prostředí	33
3.8.2 Pěstitelská technologie.....	35
3.8.3 Nároky na živiny.....	37
3.8.4 Hnojení ozimé pšenice.....	37

3.8.5	Využití dusíku pšenicí	37
4	Metodika	40
4.1	Charakteristika pokusných stanovišť	40
4.1.1	Systém hnojení	42
4.1.2	Zpracování vzorků	42
4.1.3	Stanovení výnosu	43
4.1.4	Sklizňový index	43
4.1.5	Stanovení obsahu dusíku v rostlinách	43
4.1.6	Odběr dusíku	43
4.1.7	Sklizňový index dusíku	43
4.1.8	Odběrový normativ dusíku	43
5	Výsledky	44
5.1	Výnos zrna a slámy	44
5.1.1	Výnos zrna	44
5.1.2	Výnos slámy	46
5.2	Sklizňový index	47
5.3	Obsah dusíku v zrně a slámě	49
5.3.1	Obsah dusíku zrna	49
5.3.2	Obsah dusíku ve slámě	51
5.4	Odběr dusíku	53
5.4.1	Odběr dusíku zrnem	53
5.4.2	Odběr dusíku slámou	54
5.4.3	Celkový odběr dusíku	55
5.5	Sklizňový index dusíku	56
5.6	Odběrový normativ dusíku	57
6	Diskuze	58
6.1	Výnos	58
6.2	Korelace mezi obsahem dusíku na výnosem	61
6.3	Obsah dusíkatých látek	61
7	Závěr	63
8	Literatura	65
9	Seznam obrázků a tabulek	72

1 Úvod

Dusík je prvek, který je obsažen v půdě, ve vodě a ve vzduchu. Dusík je nepostradatelný pro všechny organismy a spolu s uhlíkem je jedním z nejdůležitějších prvků v celkovém koloběhu na Zemi. Ve výživě rostlin představuje dusík velmi důležitou živinu a má složitý proces přeměny, aby se stal dostupný pro rostliny. Důležitá je rovnováha, jelikož při malém množství dusíku nastávají nízké výnosy a rostliny jsou méně kvalitní, avšak vysoké množství dusíku může též poškodit rostliny tak životní prostředí.

Dusík je součástí velmi důležitých látek jako jsou nukleové kyseliny, aminokyseliny či chlorofyl, který dodává rostlinám zelenou barvu a podílí se na fotosyntéze. Dusík je nejvíce limitujícím prvkem ve výnosu a kvalitě ozimé pšenice která je poslední dobou nejpěstovanější obilninou v České republice.

Ekologické zemědělství je způsob hospodaření dávající důraz na udržení biodiverzity a zachování přirozené půdní úrodnosti. Hlavním zdrojem živin v ekologickém zemědělství jsou organická hnojiva a fixace vzdušného dusíku. Při pěstování pšenice se používají statková hnojiva a to například hnůj. V ekologickém zemědělství jsou zakázána minerální hnojiva, které se běžně používají v konvenčním zemědělství.

V posledních letech zasáhl Českou republiku významný deficit srážek. A vzhledem k vysokým teplotám vzduchu poté dochází ke zvýšení intenzity vypařování vody do ovzduší k evapotranspiraci. Tento deficit vody se může výrazně projevit i na obsahu dusíku v plodinách a na výnosu, jelikož právě vlaha podporuje a zvyšuje obsah dusíkatých látek v pšenici. Schopnost zadržovat vodu ze srážek v půdě zvyšuje primární organická hmota. Zdrojem primární organické hmoty jsou právě organická hnojiva, kterými jsou do půdy dodávány organické látky. Konkrétně hnůj dodává již částečně humifikované organické látky.

Proto je důležité podporovat půdní organickou hmotu racionálním používáním organických hnojiv.

2 Cíl práce a hypotézy

V této práci bylo cílem zjistit rozdíly výnosu a obsahu dusíku v rostlinách pěstovaných bez minerálních dusíkatých hnojiv, bilance dusíku v agroekosystému ekologického zemědělství a vliv minerálního hnojení.

Hypotézy:

1. Na variantách hnojených hnojem bude vyšší výnos zrna ozimé pšenice než na nehnojené kontrolní variantě, ale nižší výnos než na variantách hnojených minerálními hnojivy.
2. Dusík z hnoje je rostlinami využíván dlouhodobě, ale jeho využitelnost rostlinami klesá s odstupem od aplikace hnoje.
3. Obsah dusíku v rostlinách na variantách se stejným systémem hnojení se bude lišit v závislosti na stanovištních podmínkách.

3 Literární rešerše

3.1 Dusík

Dusík má nezastupitelné postavení ve veškerých živých soustavách. Dusík je nepostradatelnou živinou nejen pro rostliny, ale též pro všechny živé organismy, včetně půdních mikroorganismů (Vaněk et al., 2016).

Množství dusíku se na naší planetě odhaduje celkově na $1,68 \cdot 10^{17}$ tun (viz tab. 1). Nejvíce dusíku je v litosféře, činí 98 % z celkového množství. Zbylá 2 % dusíku jsou obsažena v atmosféře a velmi málo dusíku je obsaženo v hydrosféře a biosféře. V litosféře je nejvíce dusíku koncentrováno ve svrchní vrstvě půdy, kde se nachází asi jedna třetina celkového množství dusíku. V biosféře je nejvýznamnějším zdrojem poutání vzdušného dusíku mikroorganismy (fixace N_2). Na naší planetě je většina celkového dusíku pevně vázána a jen cca 2,5 % dusíku je v přístupných formách, ve kterých může velice snadno podléhat přeměnám a být hromaděn živými organismy (Balík et al., 2012; Vaněk et al., 2016).

Tabulka 1 Celkové a přístupné množství dusíku (t N) v hlavních složkách naší planety (Balík et al., 2012)

Složky	Celkový N		Přístupný N	
	t N	%	t N	%
Litosféra	$1,64 \cdot 10^{17}$	97,63	$4,50 \cdot 10^{14}$	10,39
Atmosféra	$3,86 \cdot 10^{15}$	2,30	$3,86 \cdot 10^{15}$	89,07
Hydrosféra	$2,30 \cdot 10^{13}$	0,01	$2,30 \cdot 10^{13}$	0,53
Biosféra	$2,80 \cdot 10^{11}$	0,0001	$4,60 \cdot 10^{11}$	0,01
Celkem	$1,68 \cdot 10^{17}$	100,00	$4,30 \cdot 10^{15}$	100,00

Do přístupného dusíku je v bilanci započítán i atmosférický dusík. Tato zásoba dusíku se vyskytuje ve formě plynu (převážně N_2) a může podléhat přeměnám (Vaněk et al., 2016). Množství atmosférického dusíku je přibližně milionkrát větší než celkový obsah dusíku obsažený ve všech živých organismech. Ve vzduchu je atmosférický dusík převládající součástí, jeho podíl je 78-79 % a převážně jde o elementární plynný dusík (N_2) (Leghari et al., 2016).

Nezastupitelnou úlohu má dusík (N) pro vývoj zemědělských plodin, protože patří mezi hlavní živiny a je naprosto nezbytný pro tvorbu biomasy a řízení životně důležitých buněčných funkcí veškerých živých organismů (Balík et al., 2012).

3.2 Obsah a formy dusíku v půdě

Celkový obsah dusíku v půdě se obvykle pohybuje v rozmezí 0,1-0,2 %, což představuje 3000-6000 kg dusíku v ornici na jeden hektar. Dusíkem nejlépe zásobené půdy jsou černozemě a hnědozemě oproti ostatním půdám genetického typu. Nejdůležitějším zdrojem využitelného dusíku v půdě jsou organické látky dodávané do půdy jako organická hnojiva, rostlinné zbytky a vzdušný dusík poutaný hlízkovými bakteriemi bobovitých rostlin (Vaněk et al., 2016).

3.2.1 Organický dusík

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

Z celkového dusíku v půdě tvoří 90 % organický dusík ve většině půd. Organický dusík je důležitou složkou organické hmoty v půdě a jako takový hraje klíčovou roli v cyklu dusíku a produkci plodin v půdě (Hagemann et al., 2016).

Organicky vázaný podíl dusíku je tvořen hlavně dusíkem humusových substancí, dále bílkoviny, dusíkaté látky nebílkovinné amidy a produkty částečného odbourání bílkovin. Organický dusík se uvolňuje (mineralizuje) mikrobiální činností do forem přístupných rostlinám (Balík et al., 2012).

3.2.2 Mineralizovatelné formy dusíku

Mineralizovatelné formy dusíku jsou oproti obsahu celkového dusíku mnohem více ovlivněné zemědělskou činností. Z množství celkového dusíku v půdě tvoří sice malý podíl, avšak výrazně se podílejí na výživě rostlin a také na přeměnách mikrobiální biomasy. Mezi tyto složky patří např. horkou vodou extrahovatelný dusík, dusík mikrobiální biomasy, dusík stanovený inkubačními testy, extrahovatelný organický dusík. V zemědělské praxi se nejčastěji využívá stanovení minerálního dusíku (Balík et al., 2012).

U mineralizovatelných forem dusíku v půdě je důležitou složkou mikrobiální biomasa (Ros et al., 2011). Mikrobiální biomasa představuje významný zdroj živin pro rostliny, například dusíku, síry či fosforu a patří mezi lehce rozložitelné zdroje organické hmoty. V mikrobiální biomase orných půd je uváděn obsah 225 kg dusíku na hektar, a činí tak střední obsah. Mikrobiální dusík je významný zdroj rychle mineralizovatelného dusíku a dobrá korelace ($r^2=0,9$) je zjištěna mezi obsahem dusíku v mikrobiální biomase a příjmem dusíku pšenicí. Pro rostliny je mineralizace mikrobiální biomasy důležitá, jelikož pro ně představuje rozhodující část dostupného dusíku. Podle studie byl vyšší obsah mikrobiálního dusíku v půdě po aplikaci organickým hnojivem (Černý et al., 2001).

3.2.3 Minerální dusík

Pro rostliny je dusík dostupný ve formách amonné (NH_4^+) a nitrátové (NO_3^-). Souhrnně se tyto formy označují jako minerální dusík (Balík et al., 2012).

V orní vrstvě může celkové množství minerálního dusíku dosahovat 5-10 % z celkového dusíku (Černý, 2017). Avšak obsah minerálního dusíku může v půdě kolísat, vzhledem ke stanovištním podmínkám (půdní a povětrnostní), biologické činnosti, hnojení a odběru rostlinami (Vaněk et al., 2016). Relativně velká část minerálního dusíku v půdě je ve formě NH_4^+ poutaná v jílových minerálech. Tato forma je označována jako NH_4^+ , ale na výživě rostlin se významně nepodílí (Vaněk et al. 2012).

Stanovením minerálního dusíku v půdě bylo ve vyspělých zemích docíleno lepší účinnosti hnojení a snížení ztrát dusíku. S obsahem minerálního dusíku většinou počítá do 90 cm a rozděluje stanovení po vrstvách 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm. Obsah minerálního dusíku se stal momentálně dobrým kritériem pro optimalizaci hnojení. Množství minerálního dusíku se stanovuje na počátku nebo v průběhu vegetace. U obilnin se většinou počítá s profilem až do 90 cm v Evropě a v rámci České republiky je doporučeno pouze do 60 cm (Prchalová & Klement, 2013).

Nadbytek minerálního dusíku je nežádoucí proto, že je nebezpečí ztrát denitrifikací, případně vyplavením, což nepříznivě ovlivňuje životní prostředí (Möller & Stinner, 2009).

3.2.4 Půdní organická hmota

Rozklad půdní organické hmoty je neoddelitelnou součástí koloběhu dusíku v půdě. Organická hmota v půdě a související biologické aktivity podporují fyzikální podmínky v půdě, a největší vliv na zvýšení organické hmoty má dusík (Janssen, 2011).

Organickou část půdy tvoří živá a neživá část. Obě tyto složky jsou na sobě závislé a jejich důsledky působí na celkovou biologii půdy, mineralizační a imobilizační procesy, včetně transformace organických látek. Živá část půdy je nejaktivnější skupinou a řadí se sem mikroedafon (bakterie, houby, aktinomycety, sinice aj.). Neživá část organických látek se dělí do dvou skupin. První skupinou neživé části je primární organická hmota, kterou tvoří hlavně odumřelé (neživé) části rostlin a půdní mikroflóry nacházející se v půdě. Dalším zdrojem je zapravení zbytků rostlin nebo aplikace organických hnojiv, primární organická hmota je tak zdroj živin pro půdní mikroflóru (Černý, 2017).

Studie zjistily, že půdní organická hmota byla vyšší na ekologicky obhospodařovaných půdách o 7 % oproti půdám konvenčně obhospodařovaným (Tuomisto et al., 2012).

Druhou část neživé části organických látek tvoří humusové látky, které vznikají dlouhodobě v procesu humifikace a jsou velice stabilní v půdě, což znázorňuje tabulka 2. Na základě rozpustnosti v kyselinách se humusové látky dělí do tří skupin: fulvokyseliny, huminové kyseliny, huminy. Humus vzniká syntézou původně jednodušších organických látek (Černý, 2017).

Fulvokyseliny jsou dobře rozpustné v půdním roztoku a vlivem silně kyselého pH (2,6-2,8) jsou velmi agresivní na minerální podíl půd. Obsah dusíku je ve fulvokyselinách velice pohyblivý (1,2–4,1 %). Huminové kyseliny tvoří nejhodnotnější složku humusových látek. Obsah dusíku v huminových kyselinách je v průměru 3,6-4,8 % a to ve formě aminové, amoniakální a N heterocyklů. Huminové kyseliny mají pozitivní úlohu při tvorbě drobovité struktury a sorpčního komplexu. Huminy obsahují 20 -30 % dusíku z veškerého dusíku v půd (Richter, 2004).

Změnu rychlosti mineralizace stabilizované půdní organické hmoty většinou způsobí vstupující čerstvý organický materiál, tento jev se označuje „priming efekt“. Obvykle dochází ke zvýšení mineralizace po přidání dusíku do půdy (v EZ organické hnojení), tedy k pozitivnímu priming efektu. Takto zmobilizovaný „dusík navíc“ je k dispozici rostlinám, a za určitých podmínek je tento dusík ohrožen ztrátami vyplavením nebo denitrifikací (Fontaine et al., 2003; Šarapatka & Urban, 2003).

Priming efekt probíhá běžně v rhizosféře, kde díky vstupu snadno dostupných organických látek představuje rhizosféra prostředí s vysokým obsahem uhlíku a energie. Proto dochází ke zvýšení aktivity mikroorganismů, které využívají převážně kořenové exudáty jako zdroj substrátu a energie a poté rozkládají organickou hmotu a zpřístupňují tak živiny. Docházet může také k inhibici rozkladu původní organické hmoty, což se označuje jako negativní priming efekt. Mikroorganismy zde nepotřebují získávat další živiny rozkladem komplexních látek, jelikož žijí jen z dodaného substrátu v půdním roztoku, který jim poskytuje vše, co potřebují. Výsledkem negativního primingu je snížení dekompozice organické hmoty (Fontaine et al., 2003).

Agroekosystémy na rozdíl od přirozených ekosystémů s velmi pestrou a bohatou biodiverzitou ochuzují půdu o humus. Pro dlouhodobé udržení půdní úrodnosti je dobré v osevním postupu dostatečné zastoupení víceletých píceň (jetelotravní nebo vojtěškotravní směsi) (Balík et al., 2012).

Leinweber et al. (2013) uvádí, že ke zvýšení organické hmoty v půdě pomůže začlenění meziplodin. Výzkumy také prokázaly, že ekologické farmy mají tendenci mít vyšší obsah primární organické hmoty v půdě a nižší ztráty živin na jednotku plochy oproti konvenčnímu zemědělství (Janssen, 2011).

3.2.5 Poměr C/N

Rozhodujícím faktorem pro uvolňování dusíku z organické hmoty je poměr C/N (Leinweber et al., 2013). V půdě poměr C/N často ovlivňuje rychlost procesů, jako například tvorba biomasy nebo rozklad organické hmoty (Schlesinger & Bernhardt, 2013).

Uhlík vstupuje do ekosystémů z atmosféry procesem fotosyntézy, a to ve formě CO₂. V případě zabudování uhlíku do biomasy je v podobě rozpustných organických sloučenin po odumření rozložen a vyplaven z půdy (Harte, 2019). Zásadní význam pro posouzení uvolňování uhlíku do prostředí má symbiotická fixace N₂ (Merbach et al., 2013). Při zvýšeném množství CO₂ dochází ke zvýšení rostlinné biomasy spolu se zvýšeným poměrem C/N z rostlinných zbytků a exudátů zaváděných do půdy (Schlesinger & Bernhardt, 2013).

V našich půdách je obvyklý poměr C/N 10-15:1. Převládají proto procesy mineralizace nad procesy imobilizace, což vyžaduje pravidelný zvýšený přísun organické hmoty do půdy. Vysokým poměrem C/N se vyznačují organická hnojiva, zvláště chlévský hnůj (20-30:1). Poměr C/N poskytuje nejlepší odhad dostupnosti dusíku (Magdoff & Weil, 2004).

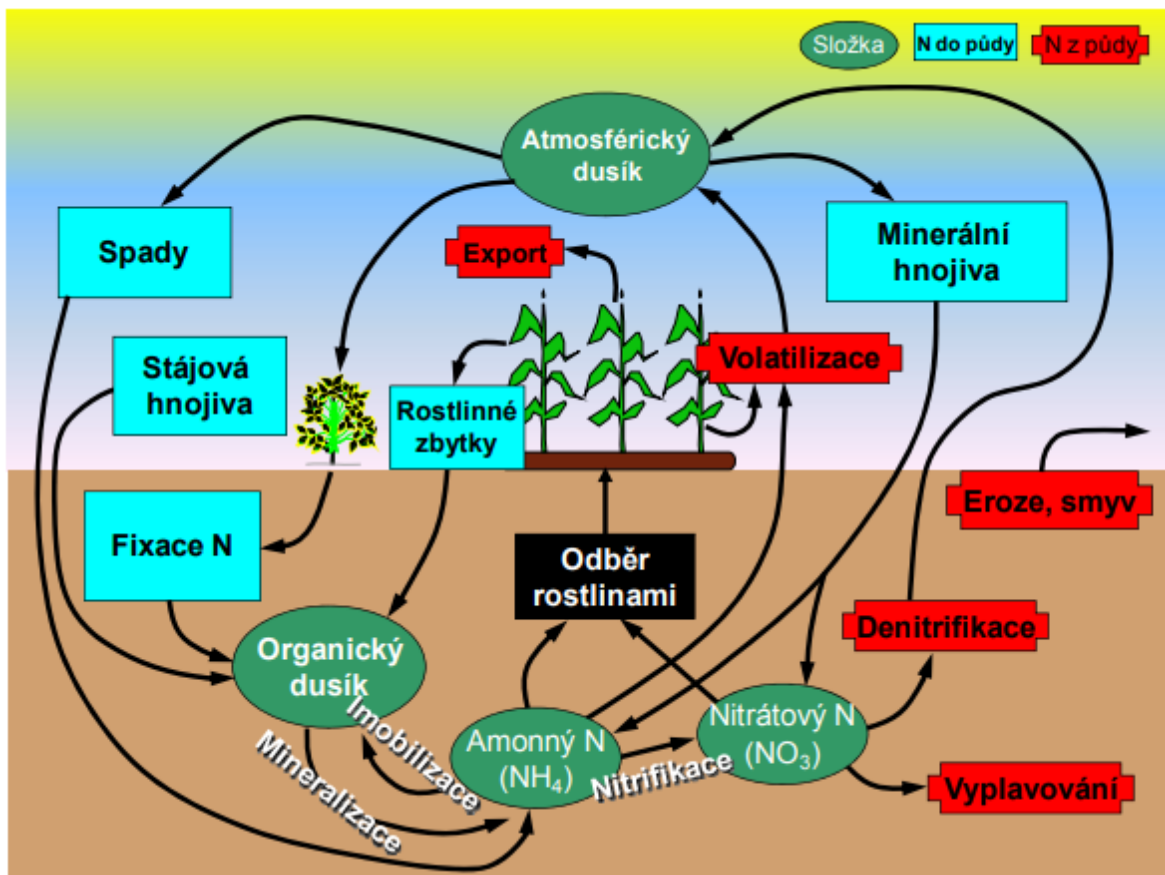
Dostatečné zásobování půdy dusíkem je poměr C/N do 15-18:1. Půdy s vysokou biologickou aktivitou, jako jsou např. černozemě nebo rendziny, se vyznačují nejužším poměrem C/N, který činí 10:1. Nejvyšší poměr C/N je v zamokřených rašelinných půdách - 50-60:1 a v O-horizontu podzolů je poměr 30-40:1. Obsah dusíku v půdě je hlavně ovlivněn rostlinným pokryvem (Černý et al., 1997).

Poměrem C/N je řízena rovnováha mezi mineralizací a imobilizací (Hartwig et al., 1996). Dokud jsou C a N k dispozici ze sloučenin s podobnou mírou rozkladu, při užším poměru C:N než 20:1 obvykle dochází k mineralizaci. K imobilizaci dochází hlavně tehdy, když poměr C:N rozložené organické hmoty přesahuje 30:1, rostliny trpí nedostatkem dusíku (Hartwig et al., 1996).

Snížení obsahu půdy C/N v posledních třech desetiletích by mohlo být způsobeno nedostatkem dusíku v úpravě bez přívodu dusíku, ředěním v důsledku prohloubení zorané vrstvy a hloubky odběru vzorků a snížením atmosférických emisí C a N (Balík et al., 2012).

3.3 Přeměny dusíku v půdě a faktory, které je ovlivňují

Dusík je živina, která mezi půdou, atmosférou a živými organismy prochází různými procesy (Doltra et al., 2019). Obecně platí, že mineralizace a nitrifikace zvyšují dostupnost dusíku pro rostliny. Denitrifikace, imobilizace a vyplavování vedou k dočasným ztrátám dusíku z rostlinných kořenů. Pro koloběh dusíku v přírodě má největší význam dusík z atmosféry. Do půdy se dusík z atmosféry dostává pomocí fixace mikroorganismy, hnojivy a ve formě spádů. Koloběh dusíku, který je znázorněn na obrázku 1, může být narušen odvozem organické hmoty, což se děje v zemědělství. Dochází k tomu kvůli odvozu organické hmoty v podobě hlavních, případně vedlejších produktů pěstovaných plodin a na druhou stranu aplikací hnojiv dusíkem (Balík et al., 2012).



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

3.3.1 Mineralizace

Mineralizace je proces, na kterém se podílí řada fyziologicky velmi odlišných heterotrofních mikroorganismů rozkládajících organické sloučeniny s cílem získání energie. Probíhá zde přeměna organického dusíku na anorganické formy (Balík et al., 2012).

Výchozím materiálem mineralizace jsou hlavně proteiny a polypeptidy a jejich hydrolyzou se za účasti katalytických peptidáz uvolňují aminokyseliny (Cai et al., 2017).

Je odhadováno, že v podmínkách mírného pásma je ročně mineralizováno 1-3 % celkového půdního dusíku. Na orných půdách střední Evropy se za vegetační sezónu mineralizace uvolní 50-90 kg N.ha⁻¹ (Balík et al., 2012).

Studie ukazují, že mineralizace je platným relativním měřítkem schopnosti rostlin uvolnit dusík pro růst rostlin (Cai et al., 2017).

Faktory ovlivňující mineralizaci:

- Teplota: Optimální teplota je 30°C. Při nízkých teplotách je mineralizace velmi malá. S rostoucí teplotou se mineralizace zvyšuje, především v oblasti o teplotě 20-35 °C.
- Vlhkost: Když se střídá období sucha a vlhka, mineralizace se zvyšuje.
- pH: Vliv půdní reakce v rozmezí hodnot pH 5-8 je velmi malý.
- Provdzušnění: Proces mineralizace probíhá činností řady fyziologicky velice odlišných mikroorganismů za aerobních i anaerobních podmínek.
- Poměr C/N: Vyšší poměr C/N zapříčiní, že množství uvolněného dusíku bude exponenciálně klesat.
- Půdní druh: Písčité půdy se vyznačují vyšší mineralizací než na půdy hlinité a jílovité.

(Černý et al., 2011)

3.3.2 Amonizace

Mineralizace se dělí na dvě části. V první části, která se nazývá amonizace, je finálním produktem amonný dusík. Dusík je v této části ze snadněji rozložitelných organických látek (aminokyseliny, amidy, aminocukry, organické látky biomasy odumřelých mikroorganismů) a dále i postupným rozkladem složitých látek (např. polypeptidů na peptidy až aminokyseliny) uvolňován v procesu amonizace NH_3 , jenž je zdrojem dusíku pro mikroflóru a může být využíván i rostlinami (Balík et al., 2012).

3.3.3 Nitrifikace

Druhou částí mineralizace je nitrifikace. Proces nitrifikace je ve většině půd klíčovým procesem, jelikož transformuje amonnou formu dusíku na nitrátovou formu dusíku (NH_4^+ , NO_3^-). V první fázi se biochemickými reakcemi uvolněný amonný dusík stává přímým zdrojem dusíku pro rostliny či je sorbován na půdní sorpční komplex, který je biologicky vázán mikroorganismy (Jenkinson, 2001).

Dusičnany vznikají v půdě a zároveň zde dochází k oxidaci amoniaku (Ferguson a kol., 2007). Nitrifikace je obvykle aerobní proces, zároveň při něm dochází k okyselení půdního prostředí (Černý et al., 2011). Tento proces je důležitý pro úrodnost půdy, protože dusičnany jsou snadno asimilovány rostlinami (Leinweber et al., 2013). V půdě se obvykle obsah dusičnanů pohybuje v rozmezí 2-20 mg.kg⁻¹ (Černý et al., 2011).

Faktory ovlivňující nitrifikaci:

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

(Černý et al., 2011)

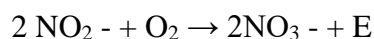
Vliv na nitrifikaci má i dostupnost některých prvků, například fosfor nitrifikaci omezuje (Chapin & Eviner, 2013).

Autotrofní nitrifikace

Nitrifikace probíhá prostřednictvím nitrifikačních bakterií. První skupinou jsou aerobní nitrifikační bakterie, které oxidují amoniak na nitrity a pak na nitráty (Kox & Jetten, 2015). Tato část se nazývá autotrofní nitrifikace, též nitritace a patří sem bakterie rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrospira*, které převádějí amoniak na dusitany a nepotřebují přídavek energetického zdroje (Vaněk et al., 2007).



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



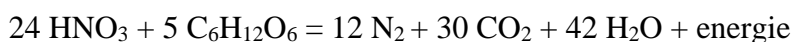
Obě skupiny organismů jsou chemolitotrofní a jako zdroj uhlíku potřebují oxid uhličitý (Švehla, 2004). Do autotrofní nitrifikace patří též bakterie kmenu *archaea*, také oxidující amoniak, které byly teprve nedávno rozpoznány a provádí se zde studie. Bakterie zahrnuté do skupiny *Annamox* jsou též schopny přeměnit amoniak a dusitanové anionty. Dusík je pak většinou fixován specifickými bakteriemi za tvorby amoniaku. Patří sem skupina bakterií kmene *Planctomyces* (Kox & Jetten, 2015).

Heterotrofní nitrifikace

V tomto procesu probíhá oxidace organických či anorganických forem dusíku za vzniku nitrátů. Heterotrofní nitrifikace může být obzvláště důležitá za podmínek v některých půdách, které jsou nepříznivé pro známé autotrofní nitrifikační mikroorganismy. Heterotrofní nitrifikace není spojena s výrobou ATP. Je velmi obtížné kvantifikovat důležitost podílu heterotrofní nitrifikace na přeměnách jednotlivých forem dusíku, protože na celkové množství nitrátů v půdě je sporný význam heterotrofní nitrifikace, jelikož pro neautotrofní organismy (kupříkladu heterotrofní bakterie) nepředstavuje jediný zdroj energie (Leinweber et al., 2013).

3.3.4 Denitrifikace

Denitrifikace je redukční proces, při kterém dochází k redukci nitrátů za přítomnosti organických látek přes oxidy dusíku až na elementární dusík. V našich podmínkách převažuje denitrifikace působená fakultativně anaerobními mikroorganismy, které během rozkladu užívají kyslík nitrátů (Vaněk et al., 2016). Sumárně je lze znázornit takto:



Při průběhu denitrifikace je podmínkou dostatek lehce dostupných organických látek (uvolňuje se energie a oxidují se na oxid uhličitý), přítomnost nitrátů a řada dalších podmínek (Černý et al., 2011; Ward B.B, 2008).

Faktory ovlivňující denitrifikaci:

- Teplota: Pro denitrifikaci je optimální teplota 25 až 30°C, při teplotách pod 10°C probíhá denitrifikace už jen v omezené míře.
- Provdzdušnění: Denitrifikace probíhá v anaerobních podmínkách.
- pH: Optimální hodnota pH pro denitrifikaci je mezi 6-8, při pH pod 5,5 intenzita denitrifikace klesá.
- Mikrobiální a fyzikální podmínky půdy
- Omezená aerace půdy
- Rostlinný pokryv
- Množství a způsob aplikovaného dusíku
- Vyšší obsah vody v půdě

(Černý et al., 2011)

Při průběhu denitrifikace je také podmínkou dostatek lehce dostupných organických látek (uvolňuje se energie a organické látky se oxidují se na oxid uhličitý) a přítomnost nitrátů. (Blumenthal et al., 2008).

Denitrifikace je běžná ve špatně odvodněných půdách (Hagemann et al., 2016). V ideálních podmínkách může být denitrifikováno až 112 kg N.ha⁻¹ a to během pěti dnů (Černý et al., 2011).

3.3.5 Imobilizace

Imobilizace je proces, při kterém jsou minerální formy dusíku NO₃⁻ a především NH₄⁺ asimilovány půdními mikroorganismy a poté zabudovány do organických sloučenin. Imobilizace probíhá v půdě současně s mineralizací (Kox & Jetten, 2015).

Část minerálního dusíku je poutána nebiologickou cestou, která se týká převážně amonných iontů navázaných do mezivrstev jílovitých minerálů. Takto fixovaný amoniak může tvořit na orných půdách 20-1000 mg N.kg⁻¹ (Černý et al., 2011).

3.4 Ztráty dusíku

3.4.1 Volatilizace

Volatilizace je proces ztráty dusíku z půdy způsobený těkáním amoniaku z povrchu či vrchní vrstvy půdy (Kox & Jetten, 2015). Ztráty volatilizací mohou dosáhnout i hodnoty 25 % z dávky dusíku, ale obvykle se pohybují okolo 5 %. Tyto ztráty jsou závislé na půdních a klimatických podmínkách, dávce a formě hnojiva i na způsobu a době aplikace (Černý et al., 2011).

Faktory ovlivňující volatilizaci:

- Teplota: K vyššímu uvolňování amoniaku dochází při vyšší teplotě.
- Vlhkost: Při nižším obsahu vody v půdě, a to hlavně na jejím povrchu, dochází k intenzivnějšímu uvolňování amoniaku.
- Provzdušnění: Vyšší volatilizace amoniaku nastává v anaerobních podmínkách.
- pH: Při vyšším pH se míra volatilizace zvyšuje a nejvíce se vyskytuje v alkalických půdách.
- Půdní druh: obsah jílovitých částic snižuje volatilizaci.

(Černý et al., 2011)

Dle Balík et al. (2012) jsou významné ztráty volatilizací amoniaku z organických hnojiv, které obsahují větší podíl amonné formy dusíku (kejda, močůvka, čistírenský kal či hnůj).

Rozhodující je především způsob a rychlost zapravení hnojiv, nejdůležitější jsou první hodiny po aplikaci. Dusík je volatilizován podobně i při povrchové aplikaci minerálními dusíkatými hnojivy, kde je obsažen nebo se vytváří amoniak (Kox & Jetten, 2015).

3.4.2 Vyplavování

Dusičnany jsou nejvíce přijatelná forma dusíku pro rostliny, ale také vysoce náchylná k vyplavování (Kirchmann & Ryan, 2004).

Průměrné vyplavování dusičnanů během střídání plodin bylo nižší v ekologickém zemědělství než u běžných konvenčních systémů (Tuomisto et al., 2012).

Při aplikaci hnojiv se doporučuje snížit obsah nitrátů v půdě, zvláště koncem vegetace a mimo vegetační období, kdy je zvýšené nebezpečí vyššího obsahu vody v půdě. Ozimá plodina je schopna využít volné nitráty v půdě, ale pokud bude na pozemku následovat jarní plodina, je vhodné pro snížení ztrát nitrátového dusíku využít zelené hnojení. Toto platí i pro snížení ztrát vyplavením dusíku z půdního horizontu. Například při zaorávce slámy není nitrátový dusík využíván mikroorganismy, jelikož jeho příjem je pro ně energeticky náročný, a tak především využívají dusík amonný (Černý et al., 2011).

K vyplavování dusíku dochází, když se voda z deště, zavlažování nebo tání sněhu pohybuje půdou do podzemních vod (Škarpa et al., 2016). Dusičnany jsou vysoce rozpustné ve vodě, a proto jsou rychle vyplavovány z půdy (Biernat et al., 2020).

Průměrné roční ztráty N vyplavením činí 5-55 kg N/ha. Množství vyplaveného dusíku se odvíjí od půdního druhu, dávek aplikovaného dusíku či pěstované plodiny (Blumenthal et al., 2008).

Biernat et al. (2020) ve svém projektu porovnával různé způsoby střídání plodin. Byl porovnáván ekologický způsob střídání plodin s nízkým vstupem dusíku, kde největší podíl měly leguminózy (25 %), s klasickým konvenčním způsobem hospodaření, kterému dominuje ozimá pšenice a vyznačuje se vysokými vstupy minerálních hnojiv. Pokus probíhal v oblasti s průměrným ročním srážkovým úhrnem 737 mm a na polích o rozloze od 5 do 23 ha. Z výsledků vyplynulo, že při střídání plodin v ekologickém hospodaření se podstatně snížilo vyplavování dusičnanů (22 kg N-NO₃/ha/rok) na rozdíl od konvenčního hospodaření (35 kg N-NO₃/ha/rok). Avšak v obou případech byla překročena koncentrace dusičnanového dusíku v pitné vodě, která dle Rámcové směrnice EU pro vodu je 50 mg/l dusičnanů. Z rozboru vztahu mezi výnosem na ha a množstvím vyplaveného dusíku vyplynulo, že ztráty dusičnanů jsou vyšší v ekologickém způsobu zemědělství.

Z výsledků je patrné, že by se do osevních postupů v ekologickém i konvenčním hospodaření v podzimním období měly zařadit jetelotravní směsky, které zajistí vysoké poutání dusíku N₂. Také různorodé osevní postupy zajistí snížení vyplavování dusíku do podzemních vod. Při pozorování systémů pěstování obilnin bylo zjištěno snížení vyplavování dusíku u systému, ve kterém jsou zařazeny krycí plodiny (Biernat et al., 2020).

V další studii bylo zjištěno, že jak na písčité, tak na jílové půdě bylo větší uvolňování dusíku do vody na hektar (Gutser a Ebertseder et al., 2005). Hodnocení vyplavování dusíku z půdy se sleduje pomocí lyzimetrů (Balík et al., 2012).

Lyzimetry představují nástroj na sledování přírodních zákonitostí a vztahů systému půda-voda-rostlina-atmosféra a poskytují podrobné informace o vodním režimu a hydrologické bilanci půdního profilu, včetně bilance v ní rozpuštěných chemických látek za přirozených podmínek (Prchalová & Klement, 2013).

3.5 Význam dusíku pro rostliny

Dusík, klíčový prvek pro růst a reprodukci rostlin, je základním stavebním kamenem nukleových kyselin a bílkovin (Bernard & Habash, 2009).

Rostlinné bílkoviny obsahují 15-18,9 % dusíku. Bílkoviny se významně podílejí na tvorbě orgánů, tvorbě biomasy a vlastním růstu rostliny. Jsou součástí především dělivých pletiv, nukleoproteinů, mladých orgánů a enzymů. Větší množství zásobních bílkovin se tvoří v semenech, a to ke konci vegetace. Podstatnými látkami v rostlinách jsou také heterocyklické sloučeniny. Jedná se především o sloučeniny s pěti nebo šesti atomy. Významné jsou fosforečné estery známé také jako nukleotidy, kde ribóza tvoří cukernou složku a purinová a pyrimidinová báze tvoří necukernou složku. (Vaněk et al., 2007).

Dusík je též významnou součástí chlorofylu. Tato důležitá organická sloučenina se skládá ze čtyř pyrolových jader s hořčíkem a dohromady tak tvoří její centrální část (Vaněk et al., 2016).

Dusík je nezbytný v rostlinných procesech, jako je fotosyntéza. Rostliny, které jsou dobře zásobené dusíkem, mají vysokou rychlost fotosyntézy. Obsah dusíku v rostlinách je také významným ukazatelem při hodnocení kvality pěstovaných plodin. Hodnocení obsahu dusíku ve sklizených produktech je důležité pro posouzení toku dusíku v agroekosystémech. Obsah dusíku v rostlinách je ovlivněn nejen hnojením, ale velký vliv mají také klimatické podmínky (Balík et al., 2012).

Během vegetace se s nárůstem sušiny obsah dusíku v rostlinách snižuje, avšak z hlediska celkového přijatelného množství se s růstem nadzemních a podzemních částí rostlinné biomasy zvyšuje, zpravidla až do doby dozrávání (Baier & Baierová, 1985). Dusík je rostlinami vyžadován ve velkém množství, jelikož může být omezujícím faktorem v rostlinné produkci a správném vývoji plodin (Bernard & Habash, 2009).

3.5.1 Nedostatek dusíku

Nedostatek dusíku od počátku vegetace má za následek omezení tvorby stavebních či funkčních bílkovin, a to se projevuje omezením růstu rostlin a tvorby všech podstatných orgánů rostlin (listů, stébel a lodyh). Při nedostatku dusíku jsou rostliny slabší a nižší. Sníženou tvorbou chlorofylu je způsobena žlutá barva rostlin (Vaněk et al., 2007).

Omezenou tvorbou listů a chlorofylu dochází ke snížení fotosyntézy, a tím k menší produkci biomasy. Snížená tvorba nadzemních orgánů zapříčiňuje i omezení tvorby kořenů a jejich energetického zásobování a následně dochází ke snížení příjmové kapacity kořenů a obecně se snižuje příjem i dalších živin. Porosty s nedostatkem dusíku mají proto většinou kratší vegetační dobu, rychleji dozrávají, ale zkrácením vegetace dochází ke snížení výnosu a kvality produkce, především semen (Vaněk et al., 2016). Dlouhodobý nedostatek dusíku také způsobuje pokles výnosu (Merbach et al., 2013).

3.5.2 Nadbytek dusíku

Při nadbytku dochází k velmi bujnému růstu, svěže zelené barvě listů, ale rostlina má slabou stavbu těla a je snadno napadena hmyzem či houbami. Kvůli omezené tvorbě chlorofylu může dojít i k změně zabarvení rostlin. V raných fázích vegetace jsou na nadbytek dusíku citlivé drobnosemenné zeleniny. Nadbytek dusíku v pozdějších fázích růstu rostlin způsobuje jeho hromadění v minerální formě (NO_3^-) v rostlinách (Vaněk et al., 2016).

Nadbytek dusíku v povrchových horizontech půdy, zvláště na podzim a v předjaří, působí zvýšené větvení kořenů v zónách vyšší koncentrace dusíku a omezení růstu hlavního a vedlejších kořenů. Zhoršuje se tak prokořenění celého profilu, přičemž se sníží příjmová kapacita kořenů pro živiny a vodu (Balík et al., 2012). Při nadbytku se tvoří také méně cukrů, pletiva nevyzrávají, což má za následek zvýšenou citlivost na nízké teploty (Vaněk et al., 2007). Příliš mnoho dusíku může též oddálit zralost (Zehnálek et al., 2006). Dobré růstové podmínky znamenají, že rostliny využijí dusík k růstu převážně vegetativních orgánů, listů, stonků či výhonků a z části také květních orgánů (Vaněk et al., 2016).

3.6 Příjem dusíku a jeho asimilace rostlinami

Asimilace anorganického dusíku (N) jako amonného dusíku (NH_4^+) do organických molekul, je klíčovým metabolickým procesem v rostlinách a může představovat hlavní omezení vegetativního růstu. Dusičnan (NO_3^-) a NH_4^+ představují dvě převládající formy dusíku, které jsou k dispozici pro příjem z životního prostředí (Pavlíková et al., 2008).

Velký vliv na příjem obou iontů má rostlina, ale i vnější podmínky. Důležitým faktorem je pH prostředí. Příjem NO_3^- je vyšší při kyselém pH, přičemž při neutrálním až zásaditém pH se příjem obou iontů vyrovnává či je vyšší příjem NH_4^+ . Teplota také ovlivňuje příjem těchto iontů. Když je nižší teplota, klesá příjem a využití NO_3^- (Vaněk et al., 2016).

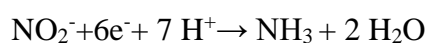
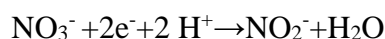
Na místech s biologicky aktivní půdou vlivem relativně rychlé oxidace amonného dusíku na nitrátový převažuje příjem nitrátového aniontu, jenž je v půdě pohyblivější a snadněji se hmotovým tokem dostává do rhizosféry a rostliny ho mají k dispozici (Pavlíková et al., 2008).

Využití a příjem jednotlivých iontů v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů. Jakmile dochází k výživě jen NO_3^- poté nastává v rostlině zvýšená tvorba organických aniontů, což je následek redukce nitrátu na NH_3 . Jakmile rostliny přijímají NO_3^- výměnou za HCO_3^- a kyselina jablečná je neustále odbourávána, není změněn příjem kationtů (Vaněk et al., 2016).

V rostlinných pletivech dochází k redukci dusičnanů, a to především v listech za účasti enzymů. Jde především o enzym nitrátoreduktáza, který potřebuje k redukci dostatek energie. Významnou roli v rostlinách zastupuje přítomnost některých prvků, mezi které patří molybden, železo, měď, mangan a hořčík. Na organické kyseliny je vázán NH_3 , který vzniká za vzniku aminokyselin. Rostliny přijímají tyto sloučeniny především kořeny, nepatrné množství i listy (plynný amoniak ze vzduchu) (Vaněk et al., 2007).

Asimilace nitrátového dusíku

Nitrát je přijímán kořeny, ale větší část je transportována do listů. Ve formě NO_3^- je nejprve enzymem nitrátoreduktázou nacházející se v cytosolu na NO_2^- a poté enzymem nitrioreduktázou redukován na NH_3 (Zehnálek et al., 2006).



Nitrity jsou rychle redukovány nitrioreduktázou, protože jsou škodlivé pro buňky. Nitratoreduktáza využívá elektrony především NADH (Zehnálek et al., 2006).

Asimilace amonného dusíku

Příjem amonného dusíku probíhá dvěma způsoby. Jakmile dojde k vyšším koncentracím NH_3 , je funkční enzym glutamátdehydrogenasa, který katalyzuje reakci 2-oxoglutarátu:



Avšak více účinnější se jeví enzymový systém GS/GOGAT (GS=glutaminsyntetasa), (GOGAT=glutamátsynthasa) (Douglas & Emden, 2017). V tomto případě se NH_4^+ primárně asimiluje do biokompatibilní aminokyseliny glutamin a glutamát prostřednictvím syntetázy glutaminu a glutaminu 2-oxoglutarát-aminotransferázy (Zehnálek et al., 2006).

Glutamin a glutamát jsou primárními dárci NH_4^+ pro biosyntézu všech dusíkatých sloučenin potřebných pro rostoucí rostliny, včetně aminokyselin, nukleových kyselin, chlorofylů, polyaminů a důležitých sekundárních metabolitů, jako jsou alkaloidy (Xu et al., 2012).

V lokalitách, které jsou chudé na živiny či s vysokým obsahem organických látek, může být dusík přijímán v organických formách (Zehnálek et al., 2006).

3.6.1 Vliv kořenů na příjem dusíku

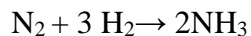
Základním předpokladem pro účinný příjem dusíku rostlinami je růst kořenů, protože hlubší a rozvinutější a hlubší kořeny mohou zlepšit příjem dusíku z hlubších vrstev půdy a snížit ztráty vyplavování dusičnanů do životního prostředí (King, 2003). Růst kořenů je proto značně ovlivňován hnojením dusíkem a působí na celkový růst rostlin a množství dusíku v rostlinách (Forde, 2002).

Růst kořenů je omezován toxicitou iontů hliníku a s nižší hodnotou pH jejich koncentrace významně stoupá. Také stoupá koncentrace hliníku v půdě se stoupající dávkou dusíku. Dochází také k poklesu příjmové schopnosti kořenů a snižuje se významně příjem draslíku, který je např. důležitý pro hospodaření rostlin s vodou, a též dochází k poklesu i dalších makro prvků, jako jsou, hořčík, dusík, vápník a fosfor (Douglas & Emden, 2017).

3.6.2 Fixace vzdušného dusíku rostlinami a bakteriemi

Principem fixace N_2 z ovzduší v zemědělských systémech jsou symbióza mezi leguminózami a hlízkovými bakteriemi rodu *Rhizobium*. Bakterie *rhizobium* redukuje N_2 na NH_4 . Rostliny zajišťují pro hlízkové bakterie energetický potenciál a živiny, poté jim předávají většinu fixovaného dusíku ve formě amoniaku (NH_3) (Baier & Baierová, 1985).

Nitrogenní organismy si získávají elementární dusík pomocí chemické energie, jež získávají rozkladem organických látek zejména uhlohydrátů (Balík, Černý, & Kulhánek, 2012). Enzym nitrogenáza je všeobecně odpovědná za biologickou fixaci N₂ a prostřednictvím tohoto enzymu je molekula N₂, která je chemicky velice stabilní, redukována na amonné ionty (Dixon & Kahn, 2004).



Nitrogenáza je enzym, který je složen ze dvou komponentů, Fe-protein bílkovinná složka enzymu, která dodává energii a elektrony druhému komponentu, kterým je Mo-Fe-protein, který zajišťuje vlastní redukci N₂. Symbiotická fixace N₂ je energeticky náročný proces. Je uváděno, že na redukci jedné molekuly N₂ je zapotřebí až 28 molekul ATP, tudíž na 1 kg fixovaného dusíku vychází spotřeba 34-36 M (Vaněk et al., 2016).

Při vhodných podmínkách jsou pro rozvoj a aktivitu schopny hlízkové bakterie poskytnout rostlinám 80-85 % celkové potřeby dusíku. Hnojení minerálními hnojivy je proto většinou neúčelné (Blumenthal et al., 2008). U hlízkových bakterií podobně jako u volně žijících mikroorganismů se výrazně snižuje fixace N₂ při zvýšeném obsahu minerálního dusíku v půdě (Ros et al., 2011). Fixace dusíku představuje hlavní vstup dusíku do organických zemědělských systémů. Množství dusíku fixovaný luštěninami je notoricky proměnlivé, je závislé na klimatu, pH půdy (Watson C.A. et al., 2002).

Důležité pro přísun dusíku biologickou fixací (N₂), je rozsah ploch, na kterých se pěstují bobovité plodiny, a podmínky pro tyto plodiny. Vojtěšky či porosty jetele jsou schopny fixovat 200 až 250 kg N/ha za rok a jednoleté bobovité 40-80 kg N/ha za rok. Tyto plodiny se pěstují na poměrně malých plochách a na pozemky nejsou zařazovány pravidelně (Vaněk et al., 2007).

Jetel bílý (*Trifolium repens*) je nejčastěji pěstovaná luštěnina v ekologickém zemědělství, kde se obvykle pěstuje spolu s travami a je využívána pro pastvu. Je schopen fixovat 80 -250 kg N/ha (Watson C.A. et al., 2002).

Leguminózy, které jsou hluboko kořenicí (vojtěška), mohou navíc využívat vodu a vyplavený dusík z hlubších vrstev půdního profilu, a tak vylepšovat bilanci dusíku v osevním postupu. Vojtěška může také například efektivně využít reziduální dusík po předchozích plodinách. Na některých půdách mohou kořeny vojtěšky růst do hloubky větší než 5,5 m a výzkum prokázal, že nitráty mohou být přijímány kořeny v kterékoliv hloubce, kde se nachází půdní roztok (Prchalová & Klement, 2013).

Vojtěška je schopna fixovat 200-500 kg N /ha. Krmné luštěniny fixují z atmosféry 90 % dusíku, což je více než komoditní luštěniny, které poutají 50 % dusíku z atmosféry. Avšak část fixovaného dusíku se při sklizni odstraní (Watson C.A. et al., 2002).

Nesymbiotická fixace elementárního vzdušného dusíku volně žijícími bakteriemi rodu *Azotobacter*, *Clostridium*, *Cyanobacteria*, je dalším zdrojem dusíku v půdě. Podmínkou je pro tuto populaci dostatek organické hmoty v půdě. *Azotobacter* váže na 1 g energetického 9- 20 mg. Tímto způsobem mohou také obohatit půdu o 5-15 kg N/ha. Při neutrálním pH, vyšší teplotě a vlhkosti půdy může být, jestliže se používají organická hnojiva (hnůj, kompost, sláma), fixace navýšena až na 30 kg N/ha (Mikanová & Šimon, 2013). Jakmile dojde k nízké míře mineralizace dusíku, může dojít k omezení dostupného dusíku a stimulaci biologické fixace (Xu et al., 2012).

V osevním postupu by mělo být dostatečné zastoupení hluboko kořenících rostlin, meziplodin na zelené hnojení a leguminóz poutajících vzdušný dusík. V ekologickém zemědělství by mělo podle nařízení rady Evropy č. 2092/91/EEC být oseto kolem 1/3 orné půdy luskovinou jako hlavní plodinou, aby zásobení dusíkem bylo dostatečné pro celý osevní postup (Škarpa et al., 2016).

3.6.3 Mykorhiza

Mykorhiza je nedílnou součástí cyklu dusíku. Klíčovou roli při příjmu a přenosu dusíku do rostlin je Erikoidní mykorhiza. Erikoidní mykorhiza je typická pro prostředí s nízkým obsahem minerálních látek a vysokým poměrem C:N, přičemž dostupnost půdního dusíku ovlivňuje funkci a složení mykorhizních hub. Depozice dusíku snižuje závislost hostitelů rostlin na jejich mykorhizních partnerech, což vede ke snížení druhové rozmanitosti mykorhizních hub. Pokud rostliny ukládají anorganický dusík, klesá jejich závislost na mykorhizních houbách, což také vede ke snížení obsahu uhlíku v půdě. Ve většině případů bylo prokázáno, že zvýšené hnojení dusíkem snižuje mikrobiální biomasu, což vede ke snížení mykorhizy a také schopnosti zabránit ztrátě dusíku vyplavováním (Kirchmann & Ryan, 2004).

3.7 Efektivita využití dusíku v EZ

V ekologickém zemědělství je dusík dodáván prostřednictvím organického hnojení a fixací dusíku N₂ (10 -40 kg.ha⁻¹N za rok). Avšak je třeba počítat také se ztrátami denitrifikací (rozkladem dusíkatých látek a únikem dusíku do ovzduší), které nabývají 20 – 50 kg.ha⁻¹ za rok. Kvůli nevhodné agrotechnice a vlivem vyplavení nebo erozí přichází půda o dalších

50-85 kg.ha⁻¹. Vzhledem ke složitým závislostem na půdním druhu, počasí, mikrobiální aktivitě půdy, zpracování půdy a řadě dalších faktorů je bilancování dusíku v ekologickém zemědělství velice obtížné a nepřesné (Kirchmann & Ryan, 2004).

Množství celkového dusíku aplikovaného ročně na zemědělský podnik ve statkových hnojivech, organických a organominerálních hnojivech nesmí v průměru zemědělského podniku překročit limit 170 kg dusíku ročně na hektar zemědělsky využitě půdy, při započtení půdy vhodné k aplikaci (ES) 889/2009 (Watson C.A. et al., 2002).

Dle Capouchové & Konvaliny (2014) se na ekologických farmách pohybovaly roční vstupy dusíku okolo 95 kg N ha⁻¹, kdy významným zdrojem dusíku byly vstupy z meziplodin poutajících N₂.

Důležité je též rozdělení aplikace dusíku a to použitím moderních stabilizátorů dusíku (např. inhibitory nitrifikace) (Gutser et al., 2005).

3.7.1 Organická hnojiva

Všechna organická a minerální hnojiva, která jsou povolena v ekologickém zemědělství, jsou hnojiva a pomocné půdní látky uvedené v příloze I. nařízení (ES) č. 834/2007 viz tabulka 2.

Tabulka 2 Povolené a pomocné půdní látky a živiny nařízení (ES) č. 834/2007

Druh	Podmínky
Chlévský hnůj, sušený chlévský hnůj a dehydrovaný drůbeží trus, kompostované živočišné výkaly, včetně drůbežího trusu a kompostovaného chlévského hnoje	Nesmí pocházet z velkochovu.
Kapalné živočišné výkaly	Použití po řízené fermentaci nebo vhodném zředění. Nesmí pocházet z velkochovu.
Kompostovaný nebo kvašený domovní odpad	Pouze rostlinný a živočišný domovní odpad.
Rašelina	Použití omezeno na zahradnictví (tržní zahradnictví, pěstování květin a stromů, školky).

Tabulka 2 Pokračování

Druh	Podmínky
Odpad z pěstování hub	Výchozí složení substrátu je omezeno na produkty uvedené v této příloze.
Výkaly červů (vermikompost a hmyzu)	
Kompostovaná nebo zkvašená směs rostlinné hmoty	Produkt získaný ze směsí rostlinné hmoty, které byly podrobeny kompostování nebo anaerobnímu kvašení určenému k výrobě bioplynu.
Produkty nebo vedlejší produkty živočišného původu: krevní moučka, kostní moučka, rybí moučka masová moučka, pěřová moučka, moučka z chlupů, vlna, kožešina chlupy, mléčné produkty	Na kožešinu: Maximální koncentrace chromu (VI) v mg/kg sušiny:
Mořské řasy a výrobky z nich	Pouze pokud byly přímo získány: <ul style="list-style-type: none"> • extrakcí vodou nebo vodným roztokem kyseliny nebo alkalickým roztokem • kvašením
Piliny a dřevěné třísky, kompostovaná kůra, popel ze dřeva	Ze dřeva, které nebylo po kácení chemicky upravováno.
Přírodní měkký fosforit	
Fosforečnan hlinitovápenatý, Thomasova moučka, surová draselná sůl nebo kainit	Produkty uvedené v příloze I části A.2 bodě 6 nařízení (ES) č. 2003/2003.
Síran draselný, který může obsahovat hořečnaté soli	Produkt získaný ze surové draselné soli fyzikální extrakcí, jenž může také obsahovat hořečnaté soli

Tabulka 2 Pokračování

Druh	Podmínky
Lihovarní výpalky a výtazek z nich	Kromě amonných výpalků.
Uhličitan vápenatý (křída, slín, mletý vápenec, bretaňské činidlo, (maěrl), fosfátová křída), Síran hořečnatý (například kieserit)	Pouze přírodního původu.
Přírodní uhličitan vápenatý a hořečnatý	Pouze přírodního původu. Např. křída, mletý „magnesian“, vápenec.
Roztok chloridu vápenatého	Pro ošetřování listů jabloni po zjištění nedostatku vápníku.
Síran vápenatý (sádra), stopové prvky, elementární síra	Produkty uvedené v nařízení (ES) č. 2003/2003.
Průmyslový vápenec z výroby cukru	Vedlejší produkt při výrobě cukru z cukrové řepy.
Chlorid sodný	Pouze kamenná sůl.
Kamenná moučka a jíl	

Rozpustná syntetická minerální hnojiva (např. ledky, síran amonný, močovina) nejsou v ekologickém zemědělství povolena. Koncentrace živin v organických hnojivech je rovnoměrněji rozložena mezi všechny prvky než v minerálních hnojivech (Vaněk et al., 2007). Statková hnojiva jsou zpravidla vyráběna přímo v zemědělském podniku. Jejich složení a obsah živin je ovlivněn způsobem ošetřování a také závisí na živném režimu půd dané oblasti. Do půdy jimi dodáváme rostlinné živiny N, P, K, organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální (Khan et al., 2018).

Vysoký obsah dusíku má hnojivo drůbeží trus s podestýlkou, naopak velmi nízkým obsahem dusíku se vyznačuje močůvka skotu a hnojůvka viz tabulka 3. Mezi hnojivy získanými z různých zdrojů existují velmi významné rozdíly v koncentraci dusíku a vzájemným vztahem živin mezi tekutými a pevnými hnojivy (Möller, 2018).

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

Tabulka 3 Průměrné složení vybraných organických hnojiv (Vaněk et al., 2007)

	Obsah org. látek %	Obsah dusíku (kg N/t)	Poměr C/N
Močůvka skotu a hnojůvka	1,0	1,5	3
Drůbeží trus s podestýlkou	30,2	20,4	8
Kejda skotu	5,7	3,9	8
Kompost	24	5,5	23
Sláma(hustě seté obilniny)	80	4-5	80-100

V intenzivně obhospodařovaných půdách je na hektar každoročně mineralizováno 3,5- 4,5 t organických látek. Na dobře provzdušněných půdách při větším zastoupení okopanin či plodin s intenzivnější kultivací jsou dosahovány vyšší hodnoty v porovnání s v biologicky méně činnými půdami, kde jsou nižší hodnoty. Aby se nesnížila půdní úrodnost je nutné vracet uvedené množství organických látek zpět do půdy, aby byla zmineralizovaná část organické hmoty doplněna. Rozklad organických látek, které jsou dodávány do půdy, vzhledem půdním podmínkám a charakteru materiálu probíhá rozdílně (Vaněk et al., 2007).

Vyšší aplikací organických hnojiv může dojít k vyšším ztrátám dusíku. Ale vzhledem k časté nedostupnosti organických hnojiv a tudíž omezené aplikaci, je riziko ztrát dusíku nízké. Zůstatek dusíku v průběhu několika let se považuje za důležitý ukazatel pro hodnocení dusíku v půdě (Bach & Frede, 1998).

Organická hnojiva s nízkým obsahem NH_4^+ a relativně vysokým poměrem C/N (např. hnůj, komposty), která pomalu uvolňují živiny, vykazují silně zvýšené využití dusíku plodinami v průběhu času v důsledku mineralizace nahromaděného N v půdách (Möller, 2018).

S vyšším obsahem dusíku a vysokým uvolňováním v roce aplikace se vykazují hrubé moučky luštěnin a dále například keratiny, masokostní moučka, digestates kuchyňského odpadu (Gutser et al., 2005).

Hnojivo ze statkových hnojiv je hlavním hnojivem udržujícím půdní potenciál úrodnosti, protože při jeho aplikaci půda získává biogenní prvky, které jsou asimilovány pěstováním plodin, a jsou tak z půdy odstraněny. V řadě studií byl pozorován pozitivní vliv používání statkových hnojiv na výnos plodin. Mnohé zemědělské podniky však nemají žádnou živočišnou výrobu nebo výrazně snížily produkci zemědělských hnojiv (Kulhánek et al., 2019). Ekologické hnojení pak může být nahrazeno slámou, která zůstane na poli po sklizni obilovin, i když vliv aplikace slámy na výnos uváděný v literatuře je spíše nízký (Černý et al., 2010).

3.7.2 Chlévský hnůj

Uzráním chlévské mrvy na hnojišti vzniká chlévský hnůj. Chlévská mrva se skládá ze steliva, směsí výkalů, zbytků krmiva. Proces zrání mrvy se skládá z kvašení, tlení a hnití, při kterém se komponenty rozkládají a následně přeměňují na látky jiného kvalitativního složení. Největší intenzita rozkladu organických látek probíhá za aerobních podmínek (Vaněk et al., 2007). Nejvíce dusíku obsahuje drůbeží hnůj viz tabulka 4.

Tabulka 4 Průměrné složení hlavních druhů chlévského hnoje (%) (Richter et al., 2002)

UKAZATEL	SKOT	KONĚ	OVCE	DRŮBEŽ
Org.látky	17,0	20,0	20,0	25,0
Sušina	24,0	25,0	25,0	25,0
N celkový	0,48	0,65	0,85	2,80

Pro zamezení ztrát organické hmoty, živin, ale hlavně dusíku, je důležité omezit přístup vzduchu a veškerý styk s prostředím. Ale i tak dochází často k úbytku organických látek 50-60 %. Ztráty jsou také na živinách. Ztráty z celkového dusíku v chlévské mrvě činí 30-40 % dusíku. Ztráty dusíku (NH₃) je možné omezit, když se do hnoje přidá zemina (asi 10 %), případně se aspoň pokryjí bloky hnoje zeminou (Vaněk et al., 2016).

Hnojem se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, neboť potřebují plynulé a dlouhodobé dodávání živin. Při aplikaci 40 t hnoje skotu na ha, při plánovaném využití v prvním roce bude

mít hnojená plodina k dispozici okolo 48 kg N, 6,6 kg P a 83 kg K. Při stanovení dávky živin v minerálních hnojivech, musíme zohlednit zvláště dusík, ale i ostatní živiny (Vaněk et al., 2007). Doporučená dávka chlévského hnoje je 30 t.ha⁻¹. V případě, že je nedostatek hnoje, se raději hnojí větší plocha nižší dávkou hnoje než naopak. Chlévský hnůj je třeba aplikovat na podzim. Na jaře je přípustné aplikovat dobře vyzrálý chlévský hnůj jen na lehkých půdách (Vokál, 2013).

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

3.8 Pšenice

Pšenice setá je velice často pěstovaným druhem ve všech systémech hospodaření. Domestikace pšenice začala již před tisíci lety a to na území „úrodného půlměsíce“, což je oblast dnešního Íránu, Iráku, Sýrie a Jordánska (Capouchová & Konvalina, 2014).

V České republice je dlouhodobě nejrozšířenější ozimá pšenice, která činí nejvýznamnější tržní komoditu významně ovlivňující ekonomiku zemědělských podniků (Blumenthal et al., 2008).

Převážně ozimé formy se pěstují v konvenčním zemědělství, pokud jde o ekologické zemědělství zde mají významné místo také jarní formy, a to z řady příčin (poškození divokými zvířaty, deficit dusíku, vyzimování, zplevelení) (Konvalina & Moudrý, 2008).

Z pšenice pochází široká škála potravinářských výrobků. Důležitou součástí pšenice jsou bílkoviny, které značně ovlivňují její kvalitu. Nejběžnějším produktem z pšenice je pečivo (Blumenthal et al., 2008).

3.8.1 Nároky na prostředí

Ve srovnání ostatními druhy obilnin v ekologickém zemědělství reaguje pšenice výrazněji na příznivé podmínky prostředí navýšením výnosu (Křen et al., 2018).

Půdy nejvhodnější pro pěstování pšenice, jsou černozemě na spraši a hlinité. Důležitá je vysoká půdní úrodnost, která je dána dobrými fyzikálními, fyzikálně-chemickými, chemickými i biologickými vlastnostmi. Radí se sem i dostatečný obsah přijatelných živin v půdě. Pšenice snáší i mírně kyselé pH do 5,5 (Jindřich Černý, 2020). Pšenice má slabě rozvinutý kořenový systém a proto špatně konkuruje plevelům, je tedy důležité aplikovat vhodnou regulaci plevelů a omezení škodlivých činitelů (Capouchová & Konvalina, 2014).

Výběr odrůdy

V České republice nejsou k dispozici odrůdy pšenice, které jsou cíleně šlechtěné pro podmínky ekologického pěstování, proto se pěstují běžné odrůdy vyšlechtěné v podmínkách konvenčního systému zemědělství (Václavíková et al., 2012). Avšak tyto odrůdy nemají řadu potřebných znaků pro pěstování v ekologickém zemědělství. Na odrůdy pšenice seté, které jsou vhodné pro ekologické pěstování jsou kladeny specifické požadavky:

- schopnost efektivního příjmu živin kořenovou soustavou při nižší hladině živin v půdě
- konkurenceschopnost vůči plevelům a abiotickým stresům
- stabilní výnosová úroveň při nízkých vstupech
- vysoká jakost produkce a vhodnost pro přípravu bioproduktů atraktivních pro spotřebitele
- vysoká odolnost proti houbovým chorobám fusariozy septorióza
- optimální hustota porostů pšenice pro ekologické pěstování 400-450 klasů na m²
- vyšší až nadprůměrná hmotnost obilek (HTS) a s vyšší produktivitou klasu
- odolnost vůči patogenům při klíčení a vcházení

(Capouchová & Konvalina, 2014)

Farmáři mohou určit vhodnou odrůdu podle dat pravidelně publikovaných v Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským ÚZKÚZ, a to konkrétně z dat pěstování při nižší intenzitě. V České republice se zabývá šlechtěním pšenice například společnost Selgen. V ekologickém zemědělství je doporučováno pěstovat kvalitní odrůdy pšenice, protože vykazují uspokojivou jakost, která vyhovuje zpracovatelům obilovin i přes negativní vliv technologických parametrů ekologického zemědělství (Václavíková et al., 2012).

V Evropě se produkce organické pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.) vyznačuje nízkými a proměnlivými výnosy zrn a obsahem dusíkatých látek v zrně, což také může být způsobeno například vyšším výskytem plevelů, škůdců a různých chorob, a jelikož se nesmí v ekologickém zemědělství používat pesticidy, je riziko těchto nepříznivých faktů vyšší (Casagrande et al., 2009).

Výnosotvorné prvky

Během vegetace je výnos obilnin tvořen postupnou realizací tří základních výnosových prvků:

- počet klasů na jednotku plochy (m²)
- počet zrn v klasech
- HTZ=hmotnost 1000 zrn (g)

(Křen et al., 2018)

Pro zajištění stabilních a vysokých výnosů ozimé pšenice je nutné poskytnout dobré podmínky. Jedním z faktorů, který ovlivňuje výnosotvorné prvky pšenice, je průběh počasí. Průběh počasí velmi často rozhoduje o počtu zrn. Jestliže je teplé počasí, zkracuje se doba pro vytváření klásků, naopak chladné počasí toto fenologické období prodlužuje a může docházet k založení většího počtu zrn v klasech. K limitujícím faktorům ovlivňující výnos, patří mimo počasí též pH půdy. Značný vliv má pH půdy na růst kořenů a to právě v ročnících s nedostatkem srážek a na pozemcích, které nejsou tak úrodné (Černý, 2020). Dalšími faktory je vysoká půdní úrodnost, dostatečný obsah přijatelných živin v půdě, vhodná předplodina (bobovité) a správná výživa rostlin (Vaněk et al., 2007). Oproti pšenici pěstované v konvenčních farmách jsou výnosy ekologicky pěstované pšenice o 20 % až 30 % nižší a to ve srovnatelných podmínkách (Křen et al., 2018).

3.8.2 Pěstitelská technologie

Zařazení v osevním postupu

Pšenice setá je ze všech obilnin nejnáročnější na předplodinu, jelikož ta významně ovlivňuje výši výnosu a kvalitu produkce (obsah proteinu v zrně). Proto jsou nejvhodnější předplodiny ty, které potlačují plevely a zanechávají v půdě dostatek pohotových živin zvláště dusíku (jeteloviny, luskoviny). Vhodné jsou i okopaniny za předpokladu, že jsou včas sklizeny.

Mezplodinu je vhodné zasít na lehkých půdách po luskovině či jetelovině (vyšší množství dusíku v půdě), protože zamezí vyplavení uvolněného dusíku z půdy. Pšenice by se neměla po sobě pěstovat 2- 5 let, kvůli hrozícímu nebezpečí výskytu houbových chorob (Capouchová & Konvalina, 2014).

Zpracování půdy

Ozimá pšenice vyžaduje včasnou podmítku po strniskových předplodinách, která je provedena válením nebo vláčením podle stavu půdy a průběhu počasí. Důležité pro pšenici je dobře a přirozené slehlé seťové lůžko (orba 4-6 týdnů před setím a hloubka 16-24 cm). Je možné kyprout půdu při opožděné orbě pospěchem či rýhovaným válcem utužit (Konvalina & Moudrý, 2008).

Struktura půdy by neměla být předseťovou přípravou příliš narušena a jeden až dvoutýdenní odstup mezi zásahy napomáhá redukci semenných plevelů (Capouchová & Konvalina, 2014).

Setí

Výsevy ozimé pšenice ve ekologickém zemědělství jsou vhodnější později v září až v říjnu oproti konvenčnímu zemědělství, ale záleží také na nadmořské výšce. Při pozdním setí na podzim pšenice méně odnoží, ale zato vzhledem k obtížnému až nemožnému přihnojení dusíkem časně na jaře by bylo udržení odnoží obtížné (Konvalina & Moudrý, 2008). Opožděné setí snižuje zaplevelení, především trávovými druhy (chundelka metlice). Pšenice se seje do hloubky 3-4 cm. Vzdálenost řádků se běžně uvádí 10 -12-5 cm (Capouchová & Konvalina, 2014). Pšenici lze plečkovat při širších řádcích či při setí do dvouřádků, což má efekt na zvýšení pekařské jakosti (Blumenthal et al., 2008).

Sklizeň, posklizňová úprava a jakost

Pšenice se sklízí na počátku plné zralosti. Optimální vlhkost pro sklizeň je do 14 %. Jakmile je sklizeň opožděna, dochází ke snížení obsahu i kvality lepku. Proto přednostně sklízíme potravinářskou pšenici, zvláště odrůdy náchylné k porůstání (Ing. P. Konvalina & Moudrý CSc., 2008). Ekologická forma pěstování má pozitivní vliv na nutriční jakost z pohledu vyššího zastoupení albuminů a globulinů, avšak má negativní dopad na snížení obsahu hrubého proteinu a problémem je též dosažení potravinářské, pekárenské jakosti (Capouchová & Konvalina, 2014).

Pšenice pěstovaná v ekologickém zemědělství dosahuje lepších parametrů krmné jakosti než pšenice vypěstovaná konvenčním způsobem, a to díky vyššímu obsahu albuminů a globulinů a esenciálních aminokyselin (David et al., 2005).

3.8.3 Nároky na živiny

Příjem živin ozimé pšenice i jejich konečný odběr je značně závislý na půdních, a povětrnostních podmínkách, intenzitě růstu, pěstované odrůdě a také na dosaženém výnosu (Václavíková et al., 2012). Při výnosu zhruba 6 t zrna a přibližně stejném výnosu slámy je odčerpáváno z půdy okolo 144 kg N, 30 kg P, 108 kg K, 24 kg Ca a 12 kg Mg (David et al., 2005). Hlavní příjem živin je v období intenzivního růstu naopak během podzimního a brzkého jarního období je množství vytvořené biomasy malé, tudíž je také nízký odběr živin (Škarpa et al., 2016).

3.8.4 Hnojení ozimé pšenice

V ekologickém zemědělství je pšenice vyživována především živinami uvolňovanými z rozkládající se předplodiny (jetelotrávy, luskoviny) nebo z organického hnojení zapraveného před setím či zapraveného k předplodině (Ryant, 2004).

Přímý vliv hnojení na produkci pšenice je nižší na úrodných stanovištích. Hnojení se projevuje přímým vlivem na výnos a jakost zrna, na půdách s nižší úrodností v méně příznivých podmínkách a po méně vhodné předplodině hnojení obnovuje půdní úrodnost, jelikož uhrazuje odebrané živiny sklizní (Vaněk et al., 2016).

Je důležité dbát na to, že při produkci potravinářské pšenice je nezbytné dosáhnout co nejvyšší kvality zrna a to zejména vysokého obsahu dusíkatých látek, což je důležité při produkci potravinářské pšenice. Pekařskou jakost může značně ovlivnit vyrovnaná výživa dusíkem po celé vegetační období (Václavíková et al., 2012).

Na podzim na lehčích půdách není nutné hnojení ozimé pšenice dusíkem. Problémové je období jarní obnovení vegetace. Tehdy se používá chlévský hnůj či kejda nebo močůvka. Využívají se hlavně po předplodině, která zanechává v půdě méně živin. Během vegetace lze porost přihnojit močůvkou močůvkou 4-10 (t.ha⁻¹), (4-10 t.ha⁻¹) a to pro zvýšení obsahu dusíkatých látek na chudých půdách (Černý, 2020).

3.8.5 Využití dusíku pšenicí

Dusík je klíčovým prvkem při dosahování trvale vysokých výnosů obilovin a je důležitý pro získání lepší kvality pšenice. Zvýšení dusíku obecně zlepšuje integritu a pevnost jádra, což vede k lepším vlastnostem mletí zrna (Buráňová et al., 2015).

Pšenice ozimá má téměř lineární vztah mezi potřebou dusíku a výnosem. Na 1 t výnosu je potřeba okolo 25 kg dusíku. V sušině zrna má být alespoň alespoň 2,1% N, což činí 2,1 kg N ve 100 kg a to odpovídá 21 kg v 1 t zrna. Tato hodnota odpovídá vytvoření zrna s obsahem alespoň 12 % dusíkatých látek. Z celkového odběru dusíku rostlinami zůstává po sklizni až 20 % dusíku ve slámě a v kořenech. Zrno potravinářské pšenice obsahuje 14 % dusíkatých látek, proto se již dostáváme na potřebu 25 kg N. Lineární vztah mezi výnosem a potřebou dusíku platí u výnosů přibližně do 8t zrna/ha zrna/ha. Důsledkem aplikace vyšších dávek dusíku je, že klesá schopnost pšenice využít aplikovaný dusík, a naopak se zvětšují ztráty dusíku a výnos se již nezvyšuje. Proto se za optimálních podmínek pravidelně neprovádí, protože jeho využitelnost v podzimním období je poměrně nízká a pohybuje se v rozmezí 30 – 50 % (Černý, 2020).

Vliv na obsah dusíku v pšenici má také stáří rostliny. Nároky na příjem dusíku rostlinou jsou z procentuálního hlediska následující: do konce sloupkování 41 %, do konce metání 18 %, do kvetení 12 % a při tvorbě zrna 29 %. Z těchto údajů je tedy patrné, že optimální příjem dusíku se mění se stářím rostliny. Příjem dusíku se také mění s ročním obdobím. Na podzim přijímá ozimá pšenice vcelku málo živin a podíl odebraného dusíku není vyšší než 12 % z celkového odběru. Většinu dusíku rostlina odebere na jaře a do konce sloupkování, kdy rostliny přijmou v průměru 40 % dusíku a až do konce kvetení odebere dalších 30 % této živiny. Po odkvětu se dusík přemísťuje z ostatních částí rostliny do tvořícího se zrna a požadavky pšenice na dusík se tak snižuje. Na konci vegetace zrno obsahuje až 75 % dusíku (Zimolka et al., 2005).

V ekologickém zemědělství je dusík často považován za jeden z klíčových a omezujících faktorů, který způsobuje nižší a nepravidelnou produktivitu pšenice a to až o 50 % méně než u konvenčně pěstované pšenice (David et al., 2005).

Jelikož se v ekologickém zemědělství nepoužívají dusíkatá hnojiva, dochází k nižšímu obsahu dusíkatých látek v odrůdách pšenice, a ta pak nemá šanci na výstavbu kvalitních lepkových bílkovin, což se může projevit negativně na výrobě pečiva (Václavíková et al., 2012).

Nedostatek dusíku

Při nedostatku dusíku jsou rostliny slabší, nižší, světlejší, neboť při nedostatku od počátku vegetace dochází k omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, a to se projevuje omezením růstu rostlin a tvorby všech jejich orgánů. Kvůli omezené tvorbě listů, což je následek nedostatku dusíku, dochází kvůli nedostatku chlorofylu ke snížení fotosyntézy, a tím menší tvorbě biomasy (Vaněk et al., 2016).

Nedostatek dusíku se může nepříznivě projevit na snížení počtu odnoží, omezením počtu zrn v klase, žloutnutím starších listů a nižší hmotností tisíce zrn nebo horší kvalitou zrna. Ve fázi sloupkování u ozimé pšenice může nedostatek dusíku způsobit snížení výnosu vzhledem k menšímu počtu zrn a může také zapříčinit snížení obsahu dusíkatých látek v zru (Černý, 2020).

Nadbytek dusíku

Nadbytek dusíku též působí negativně, jelikož dochází k přerůstání porostu, ale zrn se v klasech více nezaloží. Husté porosty mají vyšší povrch rostlin, tudíž mají nižší pevnost mechanických pletiv a při deštivém a větrném počasí je prost pšenice náchylný k polehání a chorobám (Vaněk et al., 2016). Zvýší se například riziko listových chorob, kvůli kterým dochází ke snížení výnosu (David et al., 2005).

Růst kořenů je ovlivňován růstovými hormony. Jakmile dochází k nadbytku dusíku, zvýší se obsah kyseliny abcisové, která omezuje růst postranních kořínků. Důsledkem je, že rostliny mají méně kořenů s nižší příjmovou kapacitou pro živiny a vodu a v pozdějších fázích růstu hůře odolávají nepříznivým podmínkám (Černý, 2020).

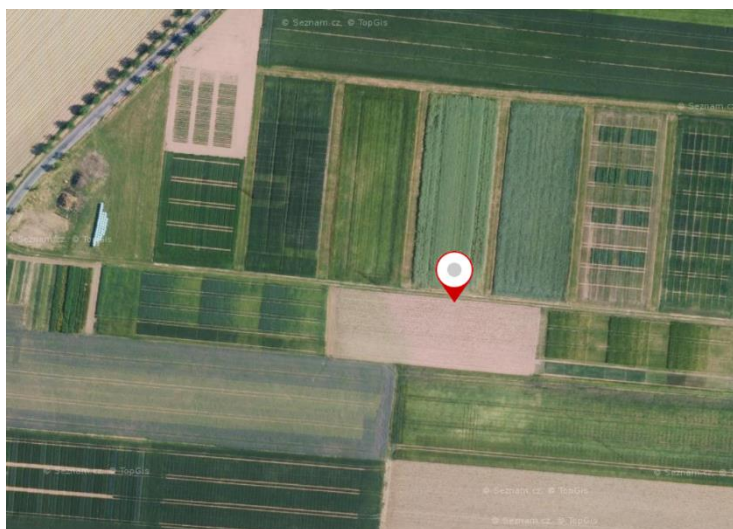
4 Metodika

4.1 Charakteristika pokusných stanovišť

Tato část bakalářské práce bude věnována hodnocení příjmu a využití dusíku ozimou pšenicí, které bylo provedeno v rámci dlouhodobých pokusů ČZU v Praze, které probíhají od roku 1996. Dlouhodobé stacionární pokusy byly založeny na stanovištích s různými půdními a klimatickými podmínkami. Pro tuto práci byla vybrána stanoviště Lukavec a Praha-Suchdol. Na těchto stanovištích probíhá jednoduché střídání plodin: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen. Každý rok se pěstují všechny plodiny. Velikost experimentálních pozemků byla 60 m² na stanovišti Lukavec a 60,5 m² na stanovišti Praha-Suchdol.

Lukavec

Stanoviště Lukavec se nachází v kraji Vysočina (viz obrázek 2) v mírně teplé podnebné oblasti. Nejvíce srážek spadne v letním období. Na množství a intenzitě srážek (viz tabulka) na Vysočině se významně podílí reliéf a převažující západní a severozápadní směr větru.



Obrázek 2 Lokalizace 49°33'23"N, 14°58'39"E Lukavec

Na stanovišti Lukavec je hlinitopísčité půdní druh půdy viz tabulka 5. Celkový oxidovatelný uhlík je obsažen v půdě v průměru 1,7 %, a tato hodnota značí slabě vápnitou půdu. Z jednotlivých živin na stanovišti Lukavec je dobře zastoupen vápník, který je průměrně dosahuje hodnoty v půdě 1100 (mg.kg⁻¹). Dobře je též v půdě obsažen draslík – průměrná hodnota je 213 (mg.kg⁻¹). Fosfor dosahuje vysoké průměrné hodnoty, a to 124(mg.kg⁻¹) a nízké zastoupení z přístupných živin má hořčík 80 (mg.kg⁻¹).

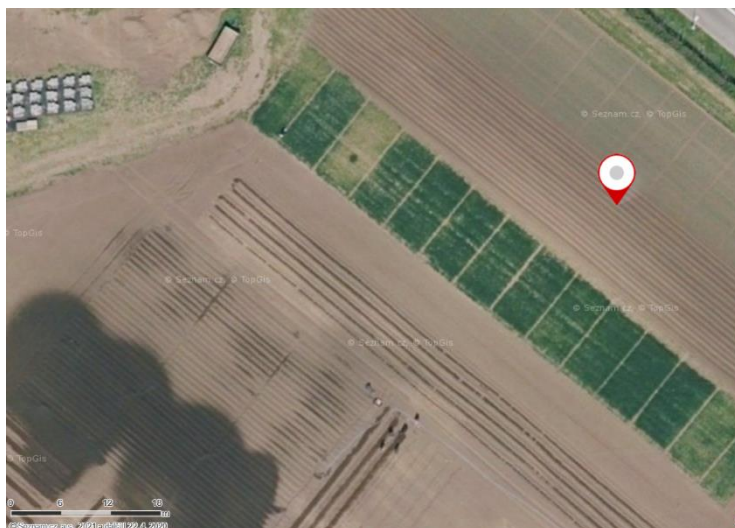
Další parametry se na stanovišti Lukavec se liší podle jednotlivých variant. Na nehnojené kontrolní variantě je pH 4,6 (CaCl₂) a kationtová výměna půdy dosahuje hodnoty 45 (mmol⁽⁺⁾.kg⁻¹). Na variantě Hnůj je pH 4,9 (CaCl₂) a kationtová výměna půdy činí 51 (mmol⁽⁺⁾.kg⁻¹). Na variantě NPK je kationtová výměna 48 (mmol⁽⁺⁾.kg⁻¹) a pH 4,4 (CaCl₂).

Tabulka 5 Charakteristika pokusných stanovišť Lukavec

Stanoviště	Nadmořská výška (m n. m.)	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrné roční srážky (mm)	Půdní typ	Půdní Subtyp	Půdní druh
Lukavec	610	7,7	666	Kambizem	Oglejená	Hlinito-písčítá

Praha- Suchdol

Stanoviště Praha-Suchdol se nachází ve Středočeském kraji (viz obrázek 3) a náleží do nejteplejší oblasti České republiky se srážkově podprůměrnými úhrny. Průměrné úhrny jsou uvedeny v tabulce 6.



Obrázek 3 Lokalizace 50°7'40"N, 14°22'33"E Praha-Suchdol

Hodnota pH na tomto stanovišti je 7,5 (CaCl₂), a jedná se tak o alkalickou reakci. Obsah celkového oxidovatelného uhlíku v půdě je 2,6 %. Průměrná hodnota kationtové výměny půdy (KVK) je vysoká a dosahuje hodnoty 230 (mmol⁽⁺⁾.kg⁻¹). Na stanovišti Praha-Suchdol je vysoké zastoupení živin v půdě. Obsah vápníku v půdě dosahuje 9000 (mg.kg⁻¹).

Vzhledem k hlinitopísčité lehké půdě (viz tabulka 6), je vysoký obsah také hořčíku průměrně dosahující hodnoty 240 (mg.kg-1) a draslíku, který dosahuje hodnoty 230 (mg.kg-1), což je dobrý obsah v půdě. Na stanovišti Praha-Suchdol je půda s vysokou sorpcí fosforu a v půdě činí obsah fosforu 91 (mg.kg-1) (Kulhánek et al., 2019).

Tabulka 6 Charakteristika pokusných stanovišť Praha-Suchdol

Stanoviště	Nadmořská výška (m n. m.)	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrné roční srážky (mm)	Půdní typ	Půdní subtyp	Půdní druh
Praha-Suchdol	286	9,1	495	Černozem	Modální	Hlinito-písčitá

4.1.1 Systém hnojení

Pro účely této práce byly hodnoceny dvě hnojené varianty a jedna nehnojená kontrolní varianta. Z organických hnojiv běžně používaných v ekologickém zemědělství byl použit hnůj, který na takto hnojené variantě byl aplikován na podzim 2017 pod brambory, dále v roce 2018 byly pěstovány opět brambory a v roce 2019 byla pěstována pšenice. Obsah dusíku v aplikovaném hnoji (v čerstvé hmotě) činil 0,6 % při dávce 55t/ha hnoje. Zároveň ve studii Buráňové et al. (2015) se předpokládá, že ve druhém roce po aplikaci hnoje je dostupnost celkového aplikovaného dusíku 11 %. Obsah draslíku v hnoji v čerstvé hmotě byl 1,0 % a obsah fosforu 0,15 %. Druhá varianta byla hnojená minerálním hnojivem NPK, kde byl fosfor a draslík aplikován na podzim a dusík na jaře ve formě ledku amonného s vápencem. Tato varianta ale sloužila jako srovnávací varianta, jelikož toto hnojivo v ekologickém zemědělství nesmí být používáno.

4.1.2 Zpracování vzorků

Rostlinné vzorky byly odebrány při zralosti rostlin po sklizni. Poté byly vzorky homogenizovány v laboratorním mlýnku na nože (střižný mlýn, SM 100, Retch, Haan, Německo) vybaveném normalizovaným okem s kruhovými otvory pro prosékání částic, <1 mm (Buráňová et al., 2015).

4.1.3 Stanovení výnosu

Porost ozimé pšenice byl sklizen v plné zralosti a v několika opakování byl hodnocen výnos zrna slámy. Aby se vzorky staly reprezentativní, byly po sklizni vyčištěny od nežádoucích příměsí. Následně byla u všech vzorků stanovena sušina a výnos, který je vyjádřen jako výnos při 100 % sušině. Na základě sklizené plochy byl u všech vzorků stanoven výnos v t/ha.

4.1.4 Sklizňový index

Harvest index (HI) byl vypočítán jako poměr výnosu zrna z výnosu celé nadzemní biomasy a podle postupu:

$$\text{Sklizňový index (\%)} = \text{Výnos zrna} / (\text{výnos zrna} + \text{výnos slámy})$$

4.1.5 Stanovení obsahu dusíku v rostlinách

Stanovení celkového dusíku bylo provedeno přístrojem Vapodest 50s (Gerhardt GmbH & Co. KG, Německo) (2019). Následně byl vypočítán obsah dusíkatých látek vynásobením obsahu dusíku koeficientem 5,7.

4.1.6 Odběr dusíku

Na základě procentuálního obsahu dusíku v zrně a ve slámě byl stanoven odběr dusíku pšenici. Následně byl odběr dusíku stanoven celkově v nadzemní části rostliny na základě výnosu. Odběr dusíku nebyl hodnocen v kořenech a opadaných částech rostlin. Odběr dusíku v ozimé pšenici byl vypočítán dle následujícího vzorce:

$$\text{Odběr dusíku (kg/ha)} = \text{obsah dusíku v ozimé pšenici (zrno, sláma)} \times 10 \times \text{výnos hodnocené části pšenice (t/ha)}$$

4.1.7 Sklizňový index dusíku

Sklizňový index dusíku (NHI) byl vypočítán jako poměr odběru dusíku v zrně z odběru dusíku celé nadzemní biomasy a podle následujícího postupu:

$$\text{NHI (\%)} = \text{Odběr dusíku v zrně} / (\text{odběr dusíku v zrně} + \text{odběr dusíku ve slámě})$$

4.1.8 Odběrový normativ dusíku

$$\text{Odběrový normativ (kg/ha)} = \text{obsah dusíku v zrně} \times 10 / (\text{obsah dusíku v zrně} \times 10 + \text{obsah dusíku ve slámě} \times 10)$$

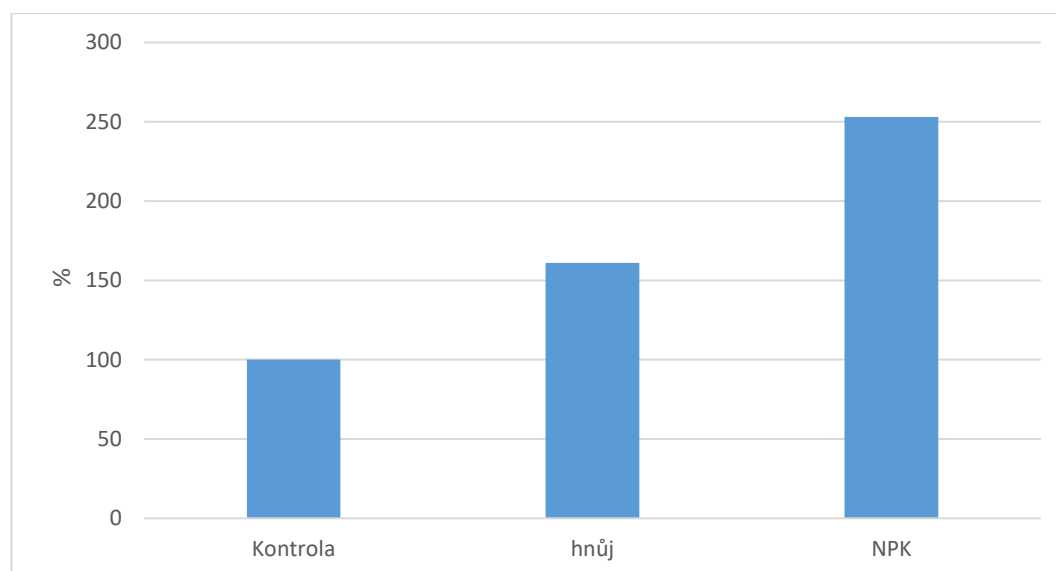
5 Výsledky

5.1 Výnos zrna a slámy

5.1.1 Výnos zrna

Lukavec

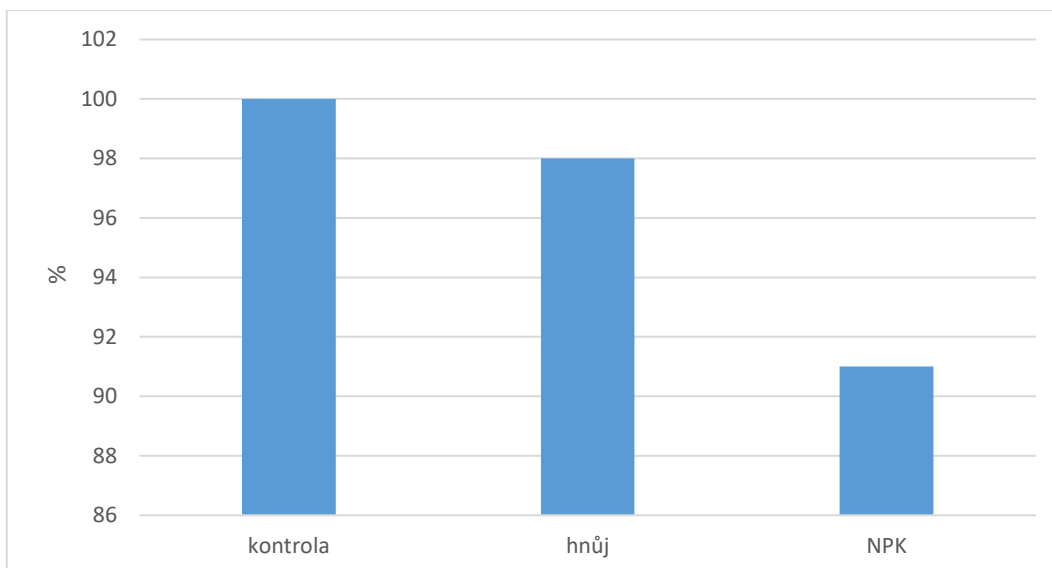
Nehnojená kontrolní varianta dosahovala výnosu 2,63 t/ha, což je také nejnižší výnos ze všech variant. Naopak nejvyšší výnos na variantě NPK dosahoval 6,66 t/ha, oproti kontrolní variantě došlo k navýšení výnosu o 153 %. Varianta Hnůj dosahovala výnosu 4,23 t/ha, zde došlo k navýšení oproti nehnojené kontrole o 61 %. A jak je také znázorněno v grafu 1, nedošlo k poklesu výnosu u obou hnojených variant oproti nehnojené kontrolní variantě.



Graf 1 Výnos zrna Lukavec (%)

Praha-Suchdol

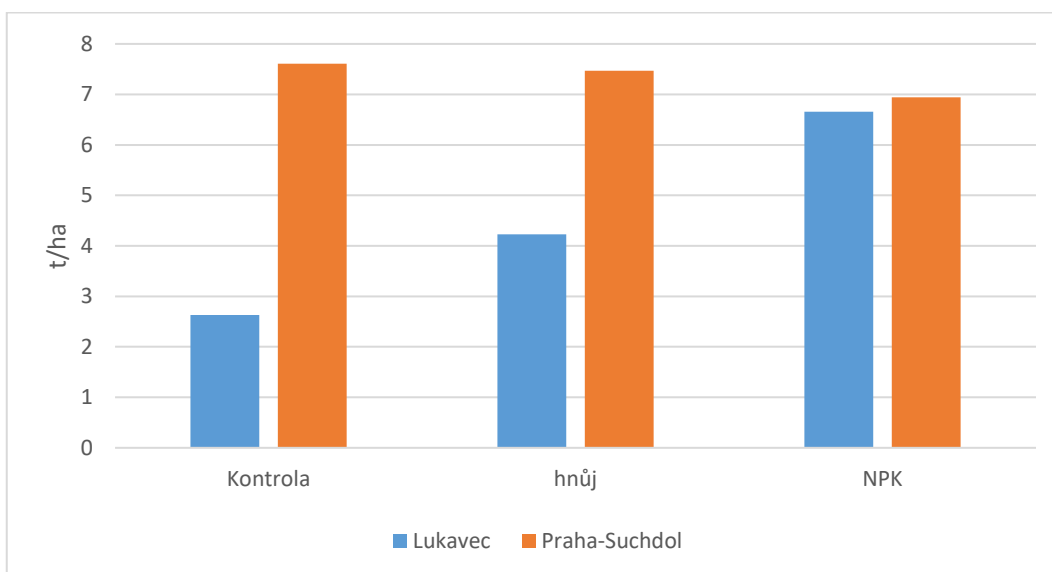
Na nehnojené kontrole byl naměřen nejvyšší výnos, který dosahoval 7,61 t/ha. Naopak nejnižší výnos byl u varianty NPK, a ten činil 6,94 t/ha a oproti kontrole byl pokles o 9 %. U varianty Hnůj činil výnos 7,47 t/ha a došlo k poklesu oproti nehnojené variantě jen o 2 %. Z grafu 2 je tedy patrné, že došlo k poklesu výnosu zrna oproti kontrolní variantě u obou hnojených variant.



Graf 2 Výnos zrna Praha-Suchdol (%)

Porovnání stanovišť

Srovnávány byly výnosy na lokalitách Praha-Suchdol a Lukavec. Celkově byly dosaženy vyšší výnosy na stanovišti Praha-Suchdol než na stanovišti Lukavec, jak znázorňuje graf 3.



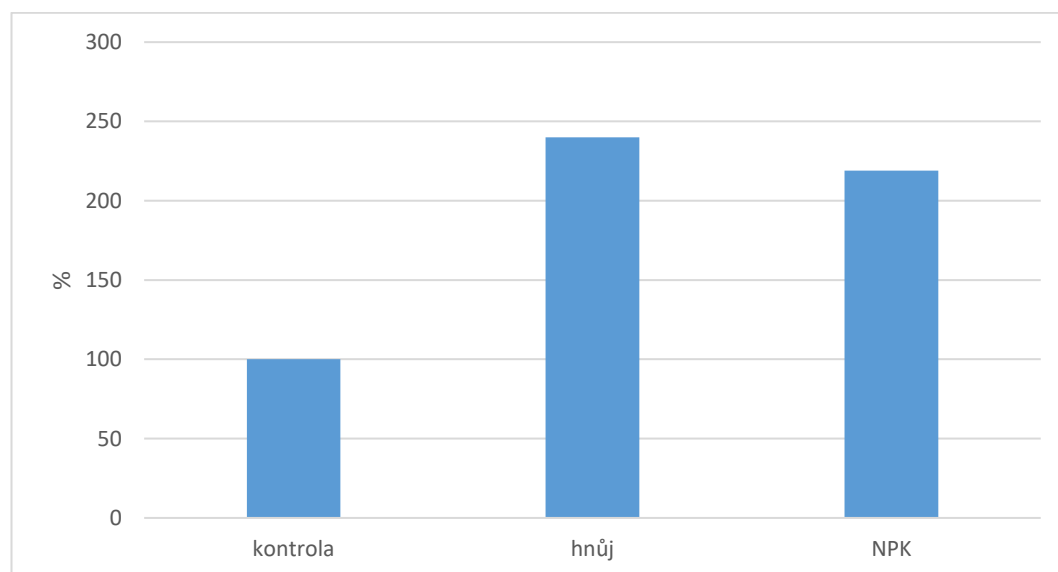
Graf 3 Výnos zrna-porovnání stanovišť t/ha

Nejnižší výnos byl dosažen na stanovišti Lukavec variantě Kontrola a činil 2,63 t/ha. Nejvyššího výnosu bylo dosaženo na variantě Kontrola na stanovišti Praha-Suchdol, kde výnos dosáhl 7,61 t/ha. Druhý nejvyšší výnos byl zaznamenán také na stanovišti Praha-Suchdol, kde výnos dosahoval 7,47 t/ha a to na variantě Hnůj. Z grafu je patrné, že mezi stanovišti byly nejvíce vyrovnané varianty NPK, kde rozdíl byl pouze 4 %.

5.1.2 Výnos slámy

Lukavec

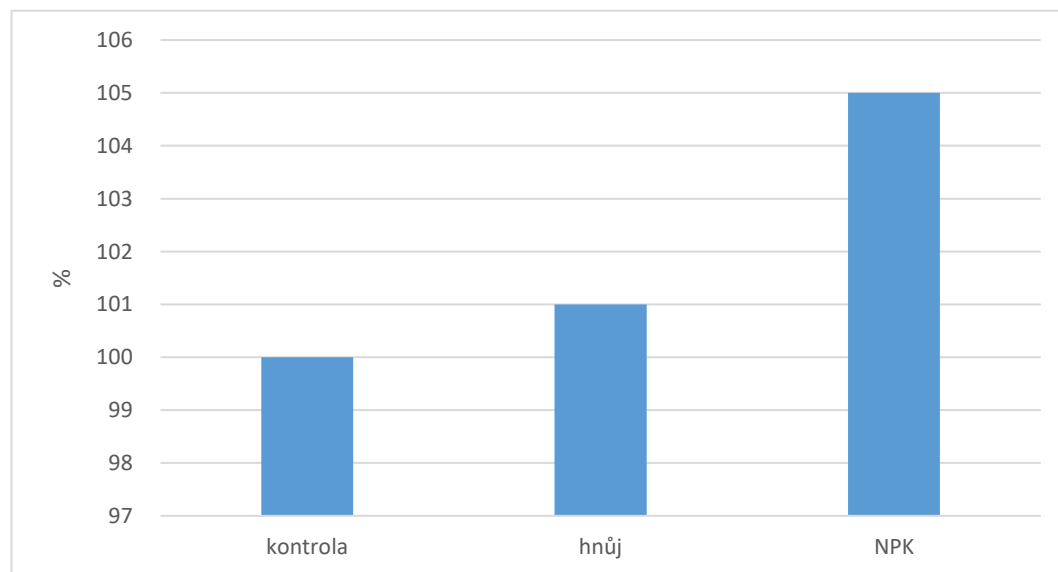
Nejvyššího výnosu dosáhla varianta Hnůj, kde výnos činil 2,21 t/ha a navýšení oproti nehnojené kontrole bylo o 140 %. Druhý nejvyšší výnos 2,01 t/ha byl zaznamenán na variantě NPK s navýšením výnosu bylo oproti nehnojené kontrole o 119 %. Z grafu 4 je patrné, že nedošlo k poklesu výnosu ani u jedné ze hnojených variant oproti nehnojené variantě Kontrola, která dosahovala výnosu 0,92 t/ha.



Graf 4 Výnos slámy Lukavec (%)

Praha-Suchdol

Z grafu 5 je vidět, že nedošlo ani u jedné hnojené varianty k poklesu oproti variantě Kontrola.

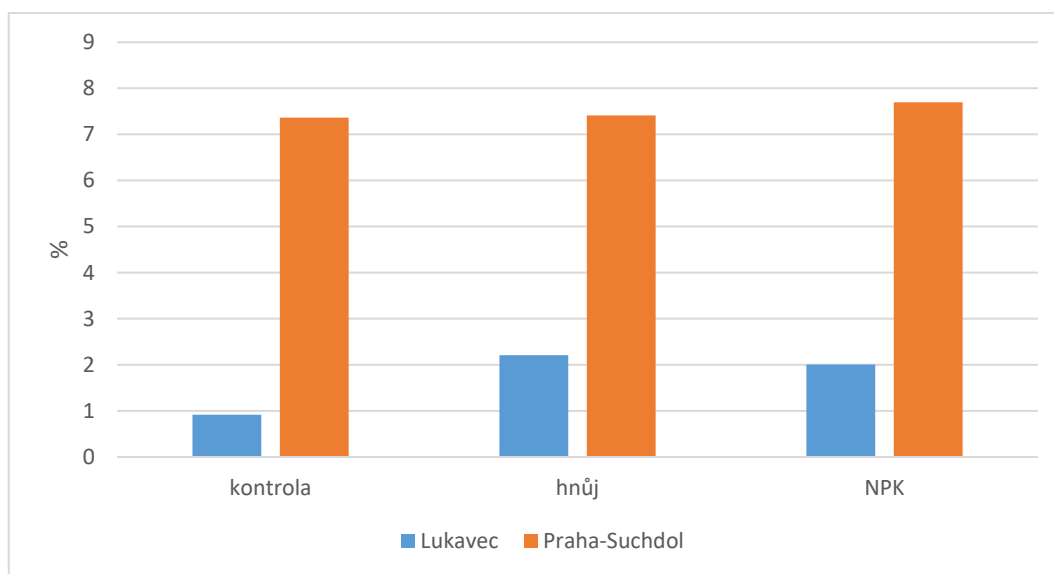


Graf 5 Výnos slámy Praha-Suchdol (%)

Výnos na variantě Hnůj byl 7,41 t/ha a navýšení oproti kontrole bylo 1 %. A nejvyšší výnos byl na variantě NPK a dosahoval hodnoty 7,70 t/ha a navýšení oproti kontrolní variantě o 5 %.

Porovnání stanovišť

Na grafu 6 vyplývá, že celkově nejvyšší výnos slámy byl dosažen na stanovišti Praha-Suchdol, přičemž nejvyšší výnos 7,7 t/ha zaznamenala varianta NPK. Také varianta Hnůj dosáhla vysokého výnosu, který byl 7,41 t/ha a oproti kontrole vyšší o 1 %. Na stanovišti Lukavec byl naopak dosažen nejnižší výnos 0,92 t/ha a to na variantě Kontrola. Celkově nedošlo k poklesu výnosu variant oproti výnosu na Kontrole ani na jednom stanovišti.

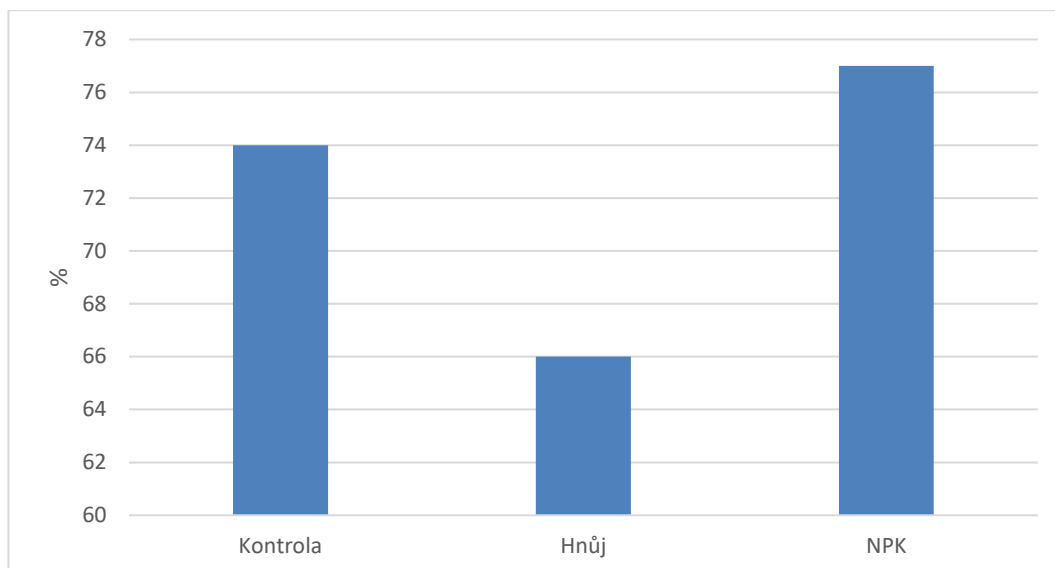


Graf 6 Výnos slámy-porovnání stanovišť (t/ha)

5.2 Sklizňový index

Lukavec

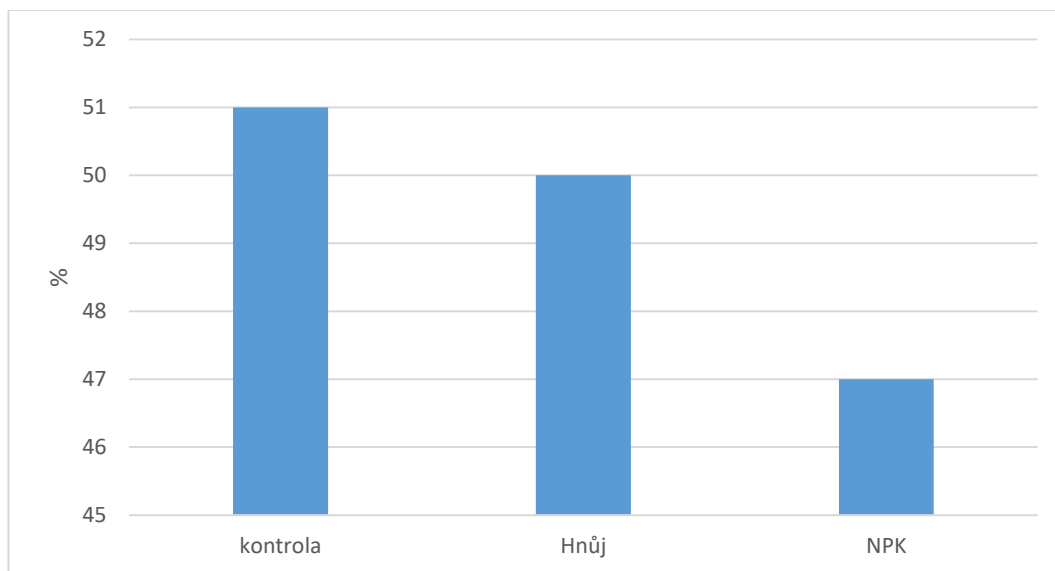
Z grafu 7 je patrné, že na stanovišti Lukavec dosáhla nejvyššího sklizňového indexu varianta NPK a to 77 %. Nižší byl sklizňový index na kontrolní nehnojené variantě, kde hodnota dosahovala 74 %. U varianty Hnůj byl sklizňový index nejnižší, a to s hodnotou 66 %.



Graf 7 Sklizňový index-Lukavec (%)

Praha- Suchdol

Na stanovišti Praha- Suchdol dosáhl sklizňový index na kontrolní variantě 51 % a z daných variant se jednalo o nejvyšší dosaženou hodnotu. Na variantě Hnůj byl kontrolní index 50 %, což jen o málo nižší než na kontrolní variantě, viz graf 8. Nejnižší sklizňový index 47 % byl změřen na variantě NPK.

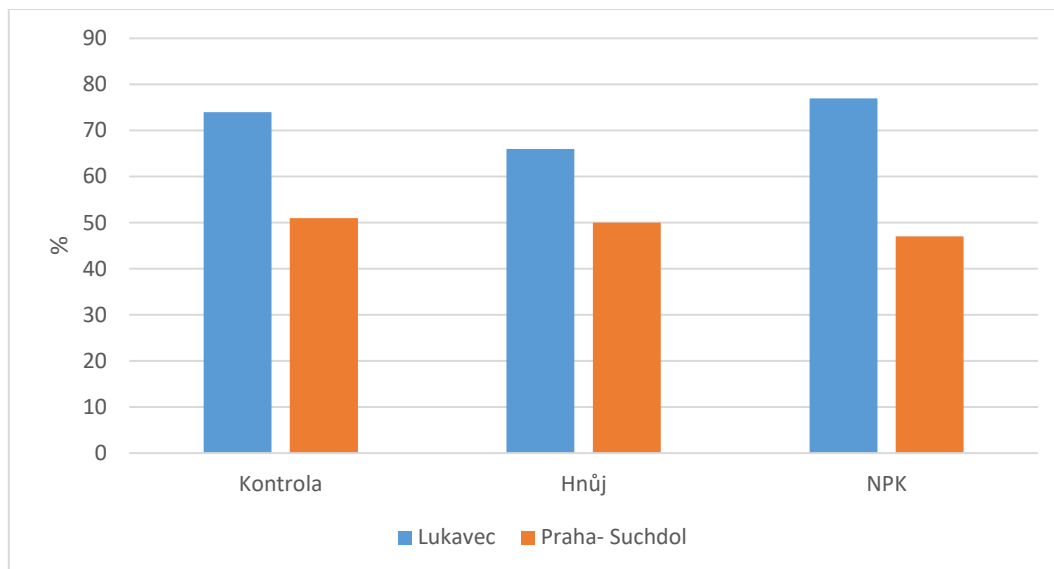


Graf 8 Sklizňový index Praha-Suchdol (%)

Porovnání stanovišť

Nejlepšího sklizňového indexu dosáhla se 77 % varianta NPK a to na stanovišti Lukavec. Na tomto stanovišti byl změřen i druhý nejvyšší sklizňový index 74 % na kontrolní variantě. Na variantě Hnůj na stanovišti Lukavec byla hodnota sklizňového indexu 66 %, což je dokonce

horší sklizňový index než měla nehnojená varianta kontrola, což je též vidět z grafu 9. Nejnižší hodnotu sklizňového indexu 47 % měla varianta NPK na stanovišti Praha-Suchdol. Na variantě Hnůj na tomto stanovišti byla hodnota sklizňového indexu 50 %, což je méně než na variantě Kontrola, kde sklizňový index činil 51 %.



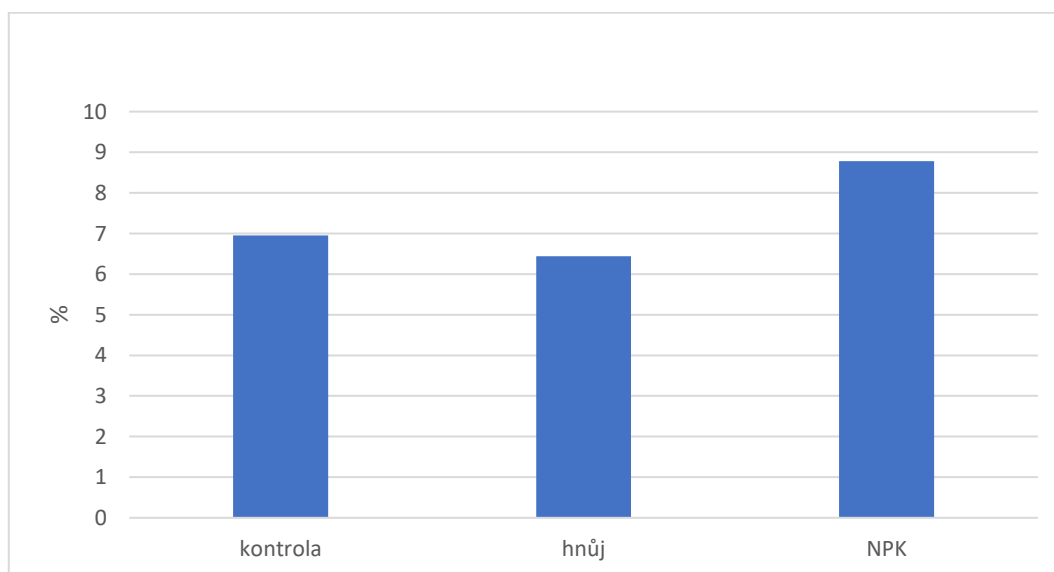
Graf 9 Sklizňový index-porovnání stanovišť (%)

5.3 Obsah dusíku v zrně a slámě

5.3.1 Obsah dusíku zrna

Lukavec

Z grafu 10 je patrné, že nejvyšší obsah dusíkatých látek 6,44 % byl na variantě Hnůj.

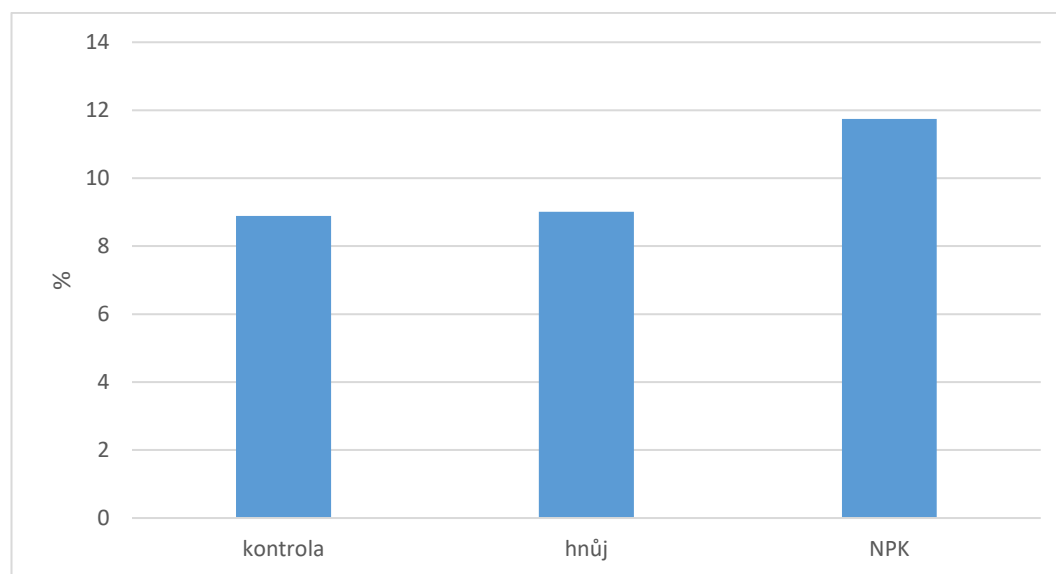


Graf 10 obsah dusíkatých látek v zrně Lukavec (%)

Po vynásobení obsahu dusíku na kontrolní variantě (1, 22 %) koeficientem 5,7 byl obsah dusíkatých látek na této variantě 6,95 %. Nejlépe na tom byla varianta NPK, kde obsah dusíkatých látek dosahoval 8,78 %.

Praha-Suchdol

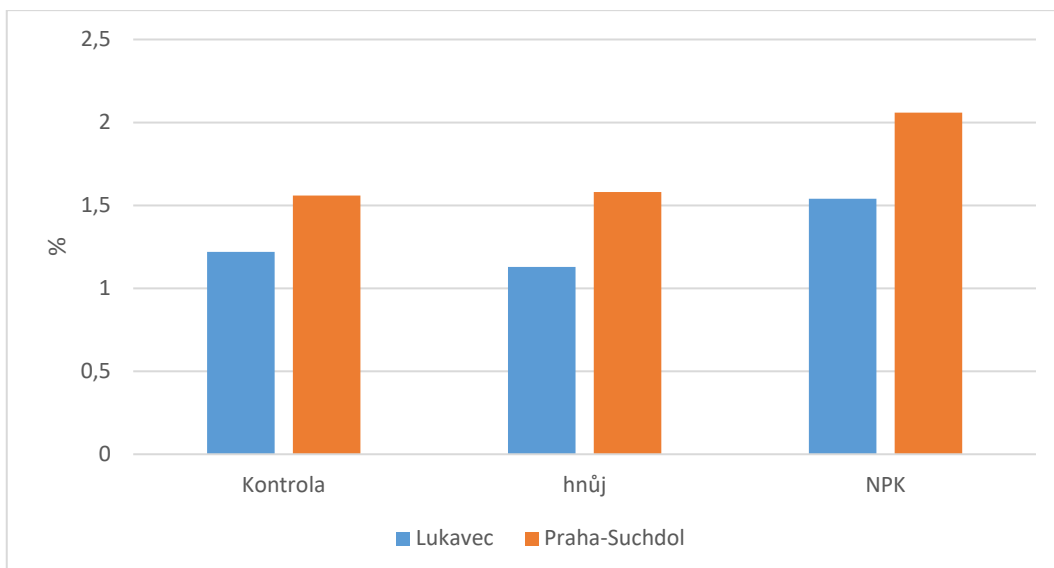
Nejvyšší obsah dusíku a zároveň obsah dusíkatých látek v zrně byl naměřen na variantě NPK (viz graf 11), kde obsah dusíkatých látek činil 11,74 %. Naopak nejnižší obsah dusíkatých látek dosahoval 8,89 % a to na nehnojené kontrolní variantě. Na variantě Hněj byl obsah dusíkatých látek 9,01 %.



Graf 11 Obsah dusíkatých látek v zrně Praha-Suchdol (%)

Porovnání stanovišť

Jeden z hlavních faktorů ovlivňujících obsah dusíku v zrně je hnojení a proto nejvyšší obsah dusíku v zrně byl naměřen na stanovišti Praha-Suchdol, kde dosáhl hodnoty 2,06 % na variantě NPK (viz graf 12). K vyššímu obsahu dusíku v zrně přispívá vyšší teplota, rok 2019 se je považován velice teplý rok. Na stanovišti Praha-Suchdol na variantě Hněj dosahovala hodnota obsahu dusíku v zrně 1,58 % a tak došlo i u této varianty k navýšení obsahu oproti nehnojené kontrole. Nejnižší obsah dusíku v zrně dosahoval hodnoty 1,13 % a to na variantě Hněj na stanovišti Lukavec. Na variantě Kontrola byl obsah dusíku v zrně 1,22 % a oproti stanovišti Praha-Suchdol tak došlo k poklesu obsahu dusíku v zrně na variantě Hněj oproti nehnojené kontrole o 7 %. V rámci tohoto stanoviště byl nejvyšší obsah dusíku v zrně na variantě NPK, kde dosahoval hodnoty 1,54 %.

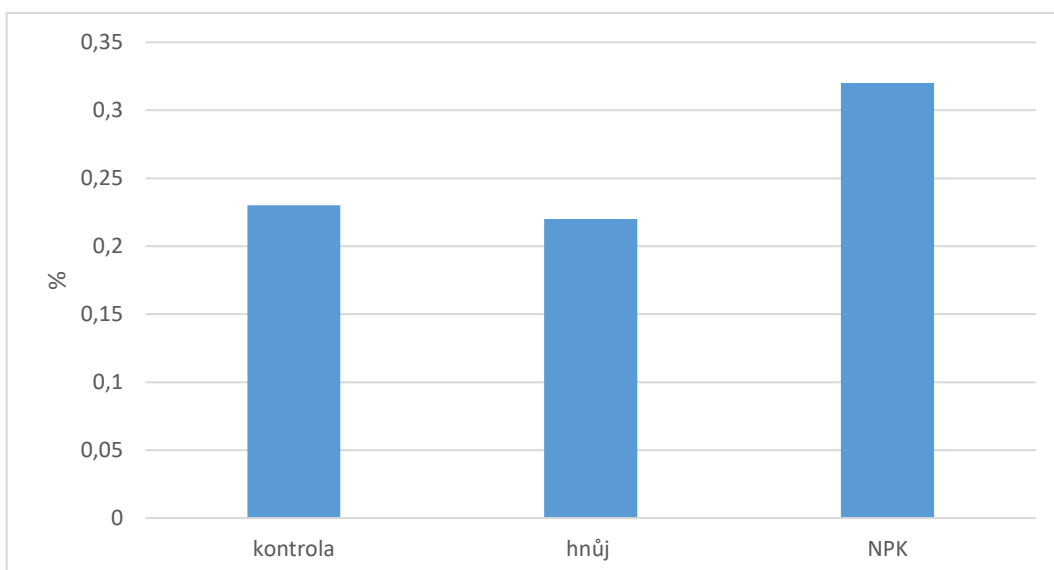


Graf 12 Obsah dusíku v zrnú-porovnání stanovišť (%)

5.3.2 Obsah dusíku ve slámě

Lukavec

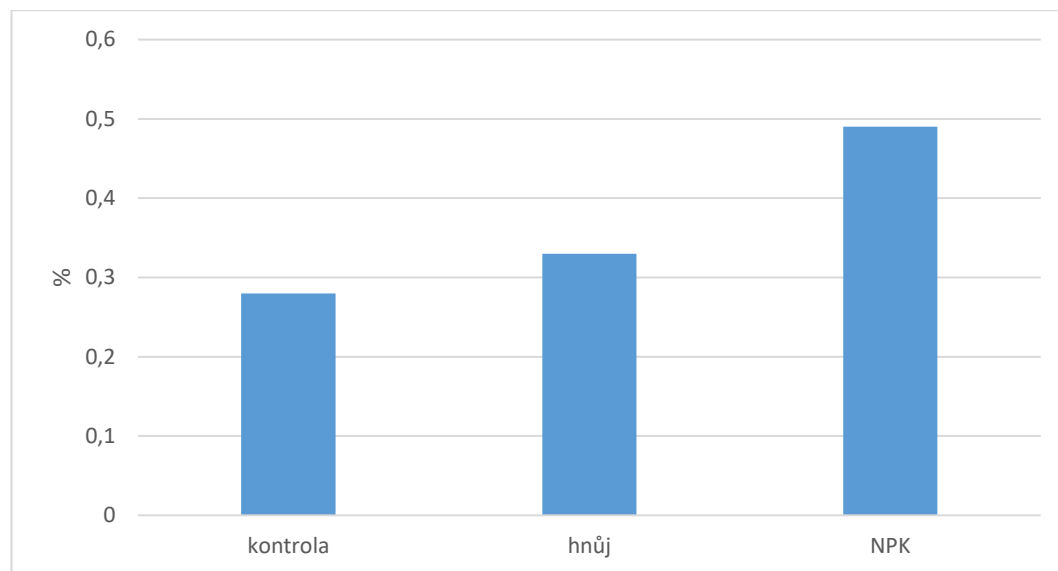
Na nehnojené kontrolní variantě byl obsah dusíku ve slámě 0,23 % (viz graf 13). Na variantě Hnůj došlo k poklesu obsahu dusíku oproti nehnojené kontrolní variantě, zároveň byl zde zaznamenán nejnižší obsah dusíku ve slámě, a to 0,22 %. Naopak nejvyšší obsah dusíku ve slámě činil 0,32 % a to na variantě NPK.



Graf 13 Obsah dusíku ve slámě Lukavec (%)

Praha-Suchdol

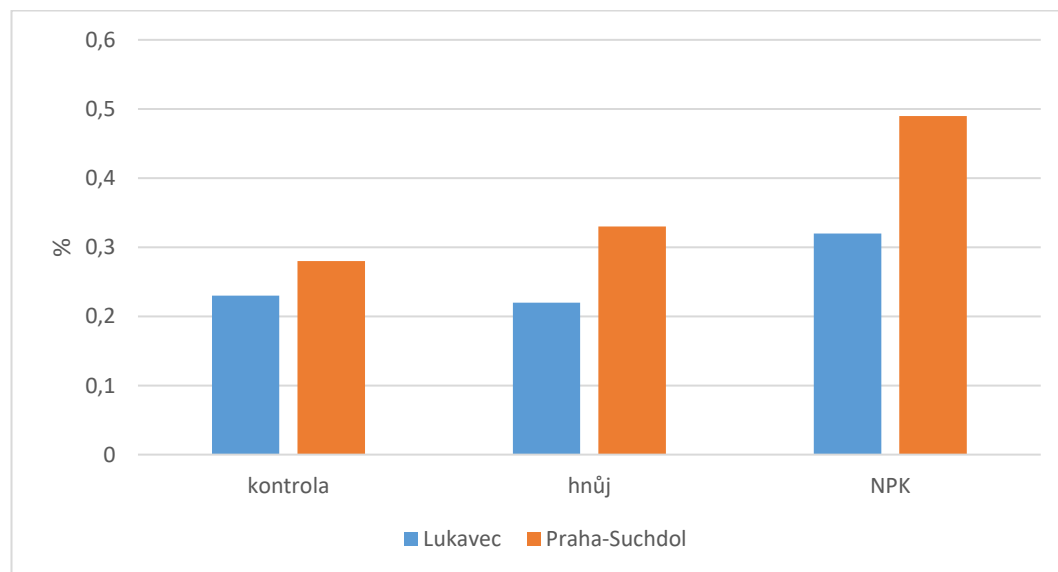
Z grafu 14 je viditelné, že obsah dusíku ve slámě nebyl nižší ani u jedné ze hnojených variant v porovnání s nehnojenou kontrolní variantou, kde obsah dusíku ve slámě byl 0,28 %. Ze hnojených variant byl vyšší obsah dusíku na variantě NPK - 0,49 %. Na variantě Hnůj byl obsah dusíku ve slámě 0,33 %.



Graf 14 Obsah dusíku látek ve slámě Praha-Suchdol (%)

Porovnání stanovišť

Celkově vyšší obsah dusíku ve slámě byl naměřen na stanovišti Praha-Suchdol, kde nejvyšší obsah dosahoval 0,49 % na variantě NPK (viz graf 15).



Graf 15 Obsah dusíku ve slámě – porovnání stanovišť (%)

Na této variantě byl naměřen i nejvyšší obsah dusíku ve slámě na stanovišti Lukavec - 0,32 %. O něco vyšší obsah dusíku ve slámě byl zjištěn na stanovišti Praha-Suchdol na variantě Hnůj. Nejnižší obsah dusíku v zrně z obou stanovišť činil 0,22 % a to na stanovišti Lukavec na variantě Hnůj. Podobný obsah měla na tomto stanovišti také varianta Kontrola, kde obsah dusíku činil 0,23 %. Na kontrolní variantě na stanovišti Praha-Suchdol byl naměřen obsah dusíku 0,28 %.

5.4 Odběr dusíku

5.4.1 Odběr dusíku zrnem

Praha-Suchdol

Nejnižší odběr dusíku zrnem na stanovišti Praha-Suchdol byl zaznamenán na variantě Hnůj a činil 118,03 kg/ha, došlo tak k poklesu oproti kontrolní variantě o 0,6 %, a odběr dusíku v zrně zde byl 118,72 kg/ha. Nejvyšší odběr dusíku v zrně dosahoval hodnoty 142,96 kg/ha na variantě NPK a odběr dusíku byl tak vyšší oproti kontrolní variantě o 20 %.

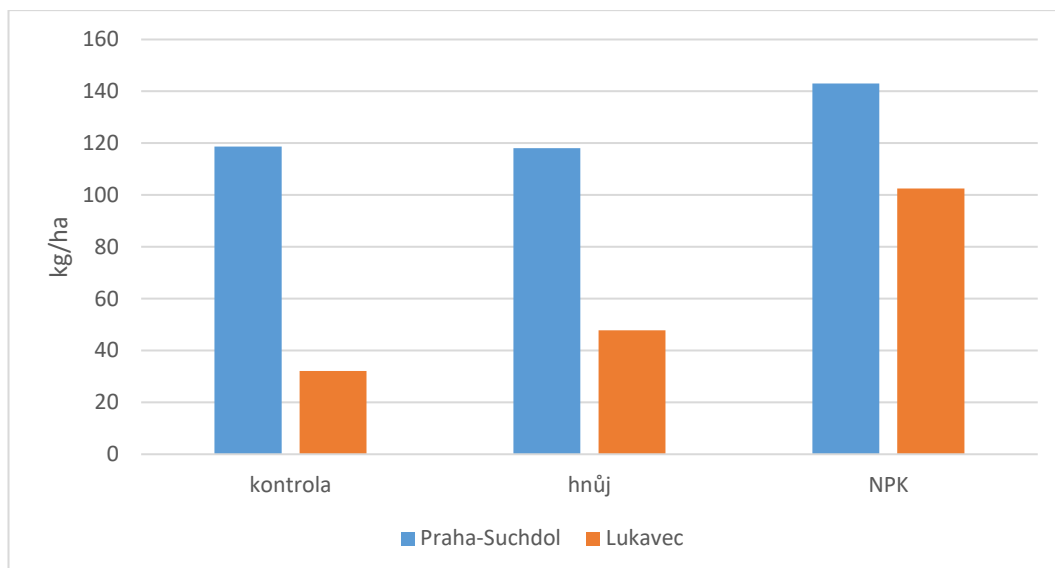
Lukavec

Na stanovišti Lukavec byl odběr dusíku u nehnojené kontrolní varianty 32,09 kg/ha, což byl zároveň nejnižší odběr dusíku na tomto stanovišti. Nejvyšší odběr dusíku byl zaznamenán na variantě NPK 102,56 kg/ha. Varianta Hnůj vykazovala odběr dusíku 47,80 kg/ha a odběr ve srovnání s kontrolou byl vyšší o 49 %.

Porovnání stanovišť

Z grafu 16 je patrné, že pšenice odebrala podstatně více dusíku na stanovišti Praha-Suchdol než na stanovišti Lukavec. Zároveň na stanovišti Lukavec nedošlo u hnojených variant k poklesu dusíku oproti kontrolní variantě, kde odběr dusíku činil 32,06 kg/ha, což je také nejnižší hodnota z obou stanovišť.

Nízký odběr dusíku byl také na variantě Hnůj (47,80 kg/ha) na stanovišti Lukavec. Naopak nejvyšší odběr dusíku dosahoval hodnoty 142,96 kg/ha, a to na stanovišti Praha Suchdol.



Graf 16 Odběr dusíku zrnem – porovnání stanovišť (kg/ha)

5.4.2 Odběr dusíku slámou

Praha-Suchdol

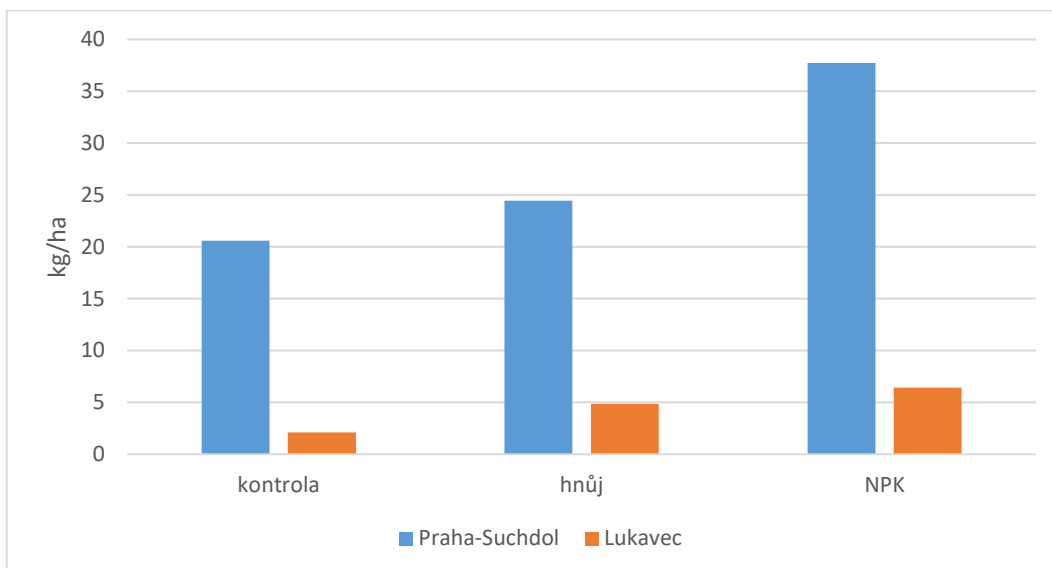
Na tomto stanovišti byl nejnižší odběr dusíku slámou na nehnojené kontrolní variantě, kde činil 20,61 kg/ha. Naopak nejvyšší odběru dusíku slámou byl na variantě NPK, kde dosahoval hodnoty 37,73 kg/ha, což byl vyšší odběr dusíku oproti kontrole o 83 %. Na variantě Hnůj byl zaznamenán odběr dusíku slámou 24,45 kg/ha a došlo také k navýšení oproti kontrole, a to o 19 %.

Lukavec

Nejvyšší odběr dusíku slámou na tomto stanovišti by zaznamenán na variantě NPK - 6,43 kg/ha. Druhý nejvyšší odběr dusíku dosahoval hodnoty 4,86 kg/ha a to na variantě Hnůj a oproti nehnojené kontrolní variantě, kde bylo odebráno 2,12 kg/ha dusíku.

Porovnání stanovišť

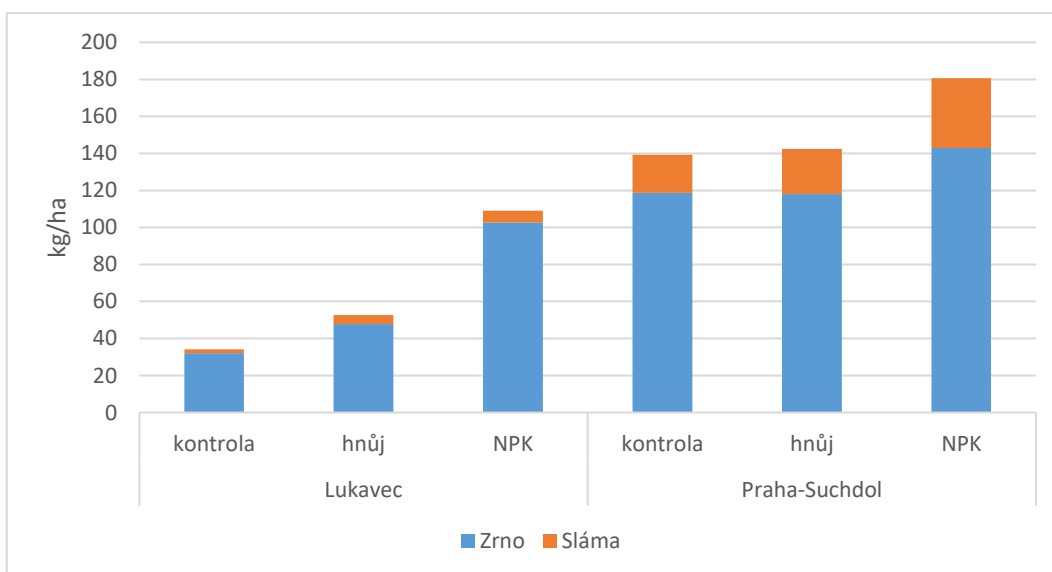
Z grafu 17 je znatelné, že nedošlo ani u jednoho stanoviště k poklesu odběru dusíku slámou vůči kontrolní nehnojené variantě. Viditelný je též vysoký rozdíl mezi stanovišti kde celkově vyšší odběry slámou byly zaznamenány na stanovišti Praha-Suchdol. Nejvíce dusíku bylo odebráno na variantě NPK na stanovišti Praha-Suchdol a to 37,73 kg/ha. Nejnižší odběr dusíku slámou byl zaznamenán na stanovišti Lukavec na kontrolní variantě -2,12 kg/ha



Graf 17 Odběr dusíku slámou – porovnání stanovišť (kg/ha)

5.4.3 Celkový odběr dusíku

Z grafu 18 je patrné, že nedošlo k poklesu odběru dusíku vůči nehnojené kontrole ani u jedné ze hnojených variant a obou stanovišť.



Graf 18 Celkový odběr dusíku – porovnání stanovišť (kg/ha)

Nejvyšší celkový odběr dusíku dosahoval hodnoty 180,69 kg/ha když zrno odebralo 79 % na stanovišti Praha-Suchdol na variantě NPK. Naopak nejnižší celkový odběr dusíku, který činil 34,21 kg/ha, a zároveň vyšší odběr zrna, který dosahoval 94 % z celkového odběru dusíku, byl naměřen na nehnojené variantě Kontrola na stanovišti Lukavec.

Na variantě NPK na stanovišti Lukavec byl celkový odběr dusíku 108,99 kg/ha, z toho zrno odebralo 94 % stejně jako na variantě Kontrola.

5.5 Sklizňový index dusíku

Praha-Suchdol

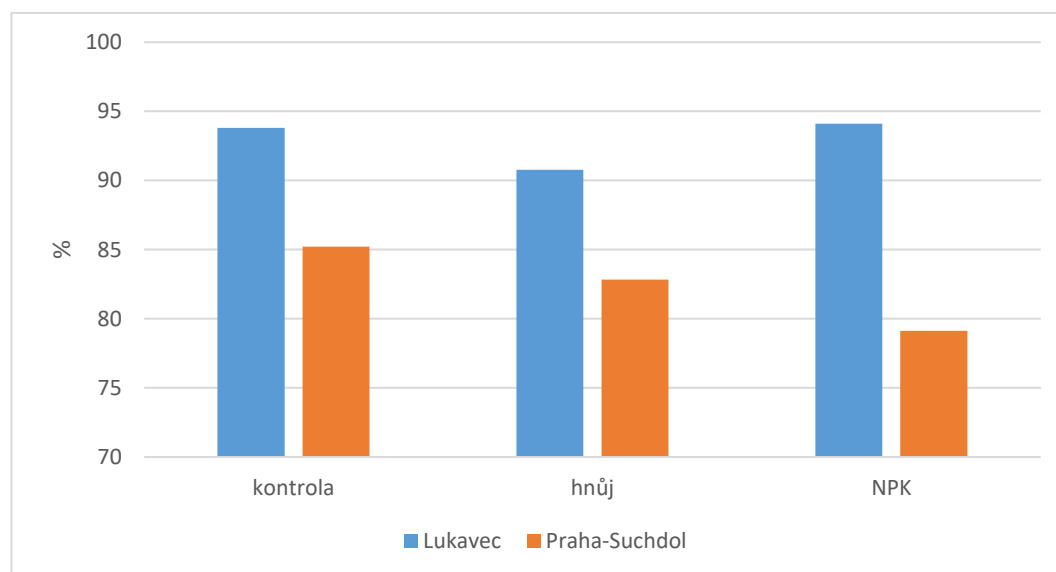
Nejvyšší sklizňový index dusíku dosáhl 85 % na nehnojené kontrolní variantě. Ze hnojených variant byl nejvyšší sklizňový index dusíku na variantě NPK a to 83 %. Na variantě hnůj dosáhl sklizňový index dusíku 79 %.

Lukavec

Nejvyšší sklizňový index dosahoval hodnoty 94 % a to na variantě hnojené NPK a stejně tomu bylo i na kontrolní nehnojené variantě, kdy sklizňový index dusíku dosáhl též hodnoty 94 %. Nejnižší sklizňový index byl na variantě Hnůj - 91 %.

Porovnání stanovišť

Z grafu 19 je patrné, že celkově nižší sklizňové indexy dusíku, byly naměřeny na stanovišti Praha-Suchdol, kde zároveň došlo k poklesu u obou hnojených variant oproti nehnojené kontrolní variantě, která dosahovala 85 %.



Graf 19 Sklizňový index dusíku – porovnání stanovišť

A naopak varianta NPK dosahovala na stanovišti Praha-Suchdol hodnoty 79 %, což je pokles oproti nehnojené kontrolní variantě o 6 % a zároveň nejnižší sklizňový index dusíku z obou stanovišť.

Celkově nejvyšší index dusíku z obou stanovišť dosahoval hodnoty 94 % a to na stanovišti Lukavec na variantě NPK, a stejný výsledek vyšel i na nehnojené kontrolní variantě.

5.6 Odběrový normativ dusíku

Lukavec

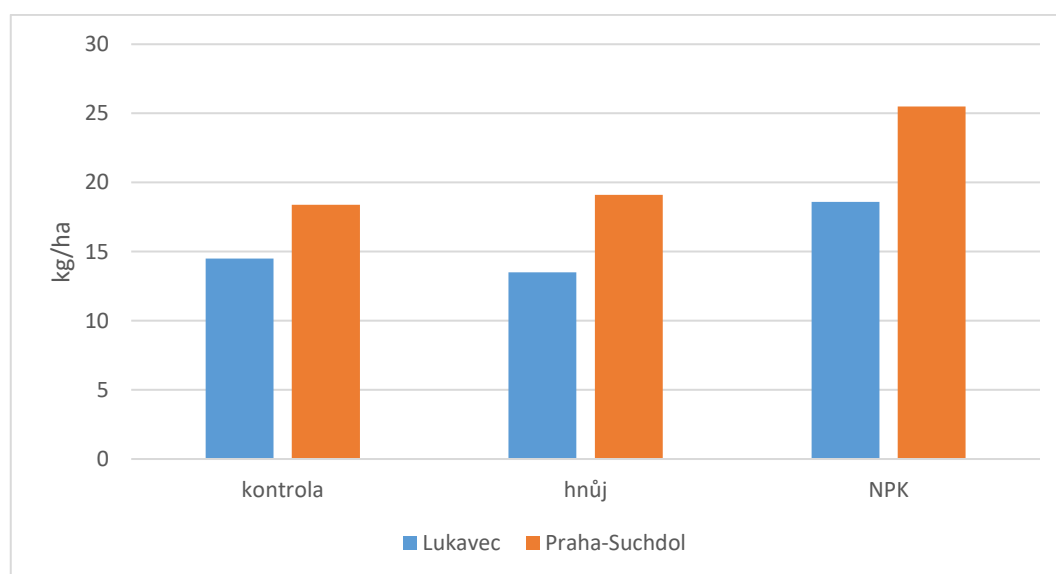
Nejnižší odběrový normativ byl vypočítán na variantě Kontrola - 14,5 kg/ha. O něco vyšší byl na variantě Hnůj, kde činil odběrový normativ 13,5 kg/ha. Nejvyšší hodnota odběrového normativu dosahovala 18,6 kg/ha, a to na stanovišti NPK.

Praha-Suchdol

Nehnojená kontrolní varianta dosahovala nejnižšího odběrového normativu a to 18,4 kg/ha. Varianta Hnůj dosahovala odběrového normativu 19,1 kg/ha. Nejvyšší odběrový normativ byl na variantě NPK, kde hodnota činila 25,5 kg/ha.

Porovnání stanovišť

Z grafu 20 je patrné, že vyšší odběrové normativy byly na stanovišti Praha-Suchdol, přičemž na tomto stanovišti byl i nejvyšší odběrový normativ z obou stanovišť a to na variantě NPK 25,5 kg/ha.



Graf 20 Odběrové normativy dusíku – porovnání stanovišť

Naopak nejnižší odběrový normativ dosahoval hodnoty 16,5 kg/ha a to na stanovišti Lukavec na variantě Hnůj. Zároveň na tomto stanovišti nastal pokles odběrového normativu oproti nehnojené kontrolní variantě, která dosahovala hodnoty 14,5 kg/ha.

Kontrolní varianta na stanovišti Praha-Suchdol činila 18,4 kg/ha a u obou hnojených variant došlo k navýšení odběrového normativu oproti kontrolní variantě.

6 Diskuze

6.1 Výnos

V roce 2019 byl podle Ministerstva zemědělství byl průměr výnosu sklizené pšenice ozimé 5,79 t.ha⁻¹. Obě stanoviště - Praha-Suchdol i Lukavec - měla vyšší výnosy než celostátní průměr.

Abrham et al. (2019) své studii uvádí, že nejvíce ovlivňují výnos zrna klimatické podmínky a to ze 74 %. Smith et al. (2019) dodává, že větší vliv na výnos má průběh počasí během roku než půdní druh nebo typ. Erekul & Köhn (2006) tvrdí, že nízká dostupnost vody zapříčiňuje sníženou dostupnost živin, což se následně projeví negativně na samotném výnosu ozimé pšenice, která může reagovat citlivěji než jiné odolnější obilniny.

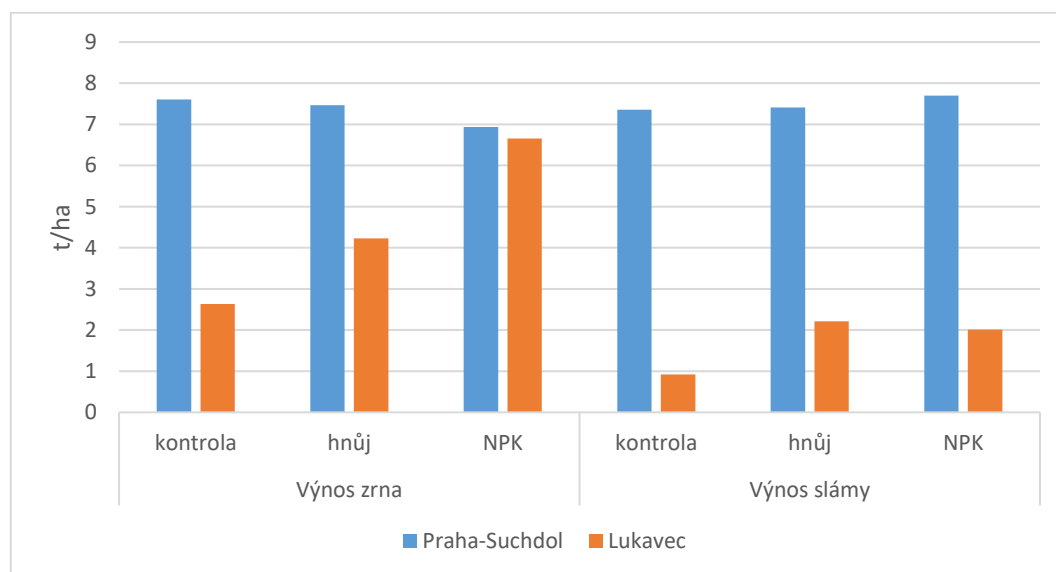
Z tabulky 8 je zřejmé, že na stanovišti Suchdol bylo za sledované období méně srážek (442,9 mm), oproti úhrnu srážek na stanovišti Lukavec, který byl 546 mm.

Tabulka 7 Úhrn srážek [mm] na stanovištích od 1.1. 2019 do 31.12. 2019

Měsíc	Praha-Suchdol	Lukavec
Leden	17,6	102,3
Únor	21,4	42
Březen	21,3	57
Duben	31,2	16,8
Květen	64	96,6
Červen	41,3	39,2
Červenec	54,8	94
Srpen	71,6	62,2
Září	49,3	35,9
Říjen	30,9	0
Listopad	32,2	0
Prosinec	7,3	0
Celkem	442,9	546

Ačkoli celkový úhrn srážek byl na stanovišti Praha-Suchdol nižší byly celkově vyšší výnosy zaznamenány na tomto stanovišti, jak je patrné z grafu 21. Důvodem je úrodnější půdní typ (černozemě na spraši), jak uvádí studie Černý et al. (2010) a tvrdí, že na úrodnějších místech má absence hnojení za následek mnohem pomalejší snižování výnosů ve srovnání

s méně úrodnými místy. V této práci představuje méně úrodné místo stanoviště Lukavec vzhledem k méně úrodnému typu kambizem, kde hrozí vyšší riziko acidifikace a následný pokles živin. Abrham et al. (2019) dodává, že hnojení ovlivňuje výnos zrna ze 23 %.



Graf 21 Celkové výnosy zrna a slámy – porovnání stanovišť (t/ha)

Buráňová et al. (2015) na základě výsledků své studie taktéž uvedla, že nejvyšší výnosy vyšly po hnojení minerálním hnojivem. Zároveň vyšší vliv minerálního hnojiva byl prokázán na méně úrodném stanovišti, a naopak nižší vliv má hnojení minerálním hnojivem na úrodnějším stanovišti. Tomu odpovídají výsledky ze stanoviště Lukavec, jelikož nejvyšší výnos zrna na tomto stanovišti byl na variantě NPK, kde dosahoval hodnoty 6,66 t/ha. Nejnižší rozdíl výnosu mezi stanovišti byl na variantě NPK, a na stanovišti Suchdol byl na této variantě naměřen nejvyšší výnos slámy dosahující 7,70 kg/ha.

Podle Kirchmann & Ryan (2004) jsou průměrné výnosy obecně o 20-45% nižší u ekologických farem při používání organických hnojiv oproti konvenčním farmám, kde jsou živiny dodávány prostřednictvím minerálních hnojiv. V tomto pokusu bylo použito organické hnojivo hnůj, které se používá v ekologickém zemědělství a minerální hnojivo NPK používané běžně na konvenční farmě. Na stanovišti Lukavec došlo k navýšení výnosu zrna na variantě NPK oproti variantě Hnůj o 57 %. Naopak na stanovišti Suchdol byl o 7 % vyšší výnos zrna na variantě Hnůj oproti variantě NPK. Výnos slámy na stanovišti Praha-Suchdol byl o 4 % vyšší na variantě NPK oproti variantě Hnůj a na stanovišti Lukavec došlo zase k poklesu výnosu na variantě NPK oproti variantě Hnůj o 9 %.

Kirchmann & Ryan (2004) uvádí, že nižší výnosy v ekologickém zemědělství jsou způsobené tím, že farmy v tomto způsobu hospodaření mají větší plochy na zelené hnojení, kterým je dodáván dusík. To znamená, že plodiny určené k produkci jsou pěstovány na menší ploše než v běžném konvenčním zemědělství.

Nižší výnosy v ekologických zemědělských podnicích v porovnání s konvenčními farmami znamenají, že k produkci stejného množství potravin je zapotřebí více půdy. Například udržení produkce potravin v Evropě v ekologickém zemědělství by vyžadovalo zvýšení rozlohy obhospodařované půdy o 64 % a to za předpokladu, že by se snížila produkce plodin o 39 % (Denison et al., 2004).

Kulhánek et al. (2019) uvádí, že použití statkových hnojiv vede ke zvýšení obsahu fosforu v půdě. Vašák et al. (2016) také uvádí, že aplikace chlévského hnoje zvyšuje pH půdy, avšak zvýšení závisí na dávce hnoje a době aplikace.

Merbach et al. (2013) také uvedl, že nejnižší výnosy na všech stanovištích byly dosaženy na nehnojených kontrolních variantách. S tím se shoduje také Casagrande et al. (2009), podle jehož studie by také měly být výnosy nejnižší též na variantách Kontrola, kam nebylo aplikováno žádné minerální hnojivo v porovnání s ostatními hnojenými variantami. Casagrande et al. (2009) dokonce uvádí, že dochází k poklesu výnosu na nehnojených kontrolních variantách až o 48 % oproti hnojení minerálním hnojivem. Na stanovišti Lukavec byl výnos zrna na nehnojené kontrolní variantě oproti variantě s minerálním hnojivem NPK o 153 % nižší. Podobně to bylo i s výnosem slámy, kde byl pokles výnosu o 118 % u nehnojené kontroly ku variantě NPK. Na stanovišti Praha-Suchdol byl výnos slámy na nehnojené kontrolní variantě oproti variantě NPK o 5 % nižší. Naopak tomu bylo u výnosu zrna na stanovišti Praha-Suchdol, kde došlo k vyššímu výnosu na nehnojené kontrolní variantě oproti variantě NPK o 9 %.

Smith et al. (2019) poukazuje na souvislost mezi odběrem dusíku z půdy a výnosem zrna. Balík et al. (2012) také tvrdí, že k rychlejšímu odběru přijatelných živin z půdní zásoby dochází při zvýšeném výnosu. Z výsledků vyplývá, že celkově vyšší odběr dusíku zrnem byl zaznamenán na stanovišti Praha-Suchdol, přičemž nejvyšší odběr dusíku zrnem byl 142,96 kg/ha na variantě NPK při výnosu 7,47 t /ha, což byl nižší výnos oproti nehnojené kontrolní variantě, kde výnos dosahoval 7,61 t/ha a odběr dusíku zde byl 118,72 kg/ha.

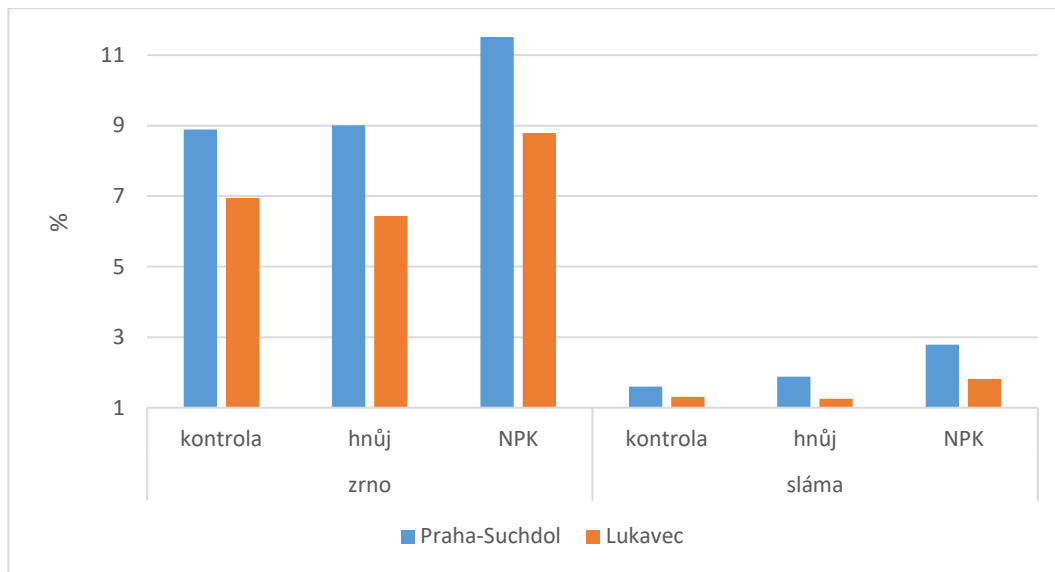
6.2 Korelace mezi obsahem dusíku a výnosem

Zimolka et al. (2005) poukazuje na negativní korelaci mezi výnosem a obsahem dusíku v zrně, jelikož nejvyšší hodnoty obsahu dusíku v zrně byly pozorovány u nejnižších výnosů. Toto tvrzení se potvrdilo na stanovišti Praha-Suchdol, kde byl nejnižší výnos zrna 6,94 t/ha na variantě NPK a zároveň tato varianta vykazovala nejvyšší obsah dusíku v zrně - 2,06 %. A naopak nejvyšší výnos zrna 7,61 t/ha byl na kontrolní nehnojené variantě a zároveň na této variantě byl zaznamenán nejnižší obsah dusíkatých látek - 1,56 %. Avšak stanoviště Lukavec se s výsledky výnosu zrna a slámy se studií Abrham et al. (2019) neshoduje. Stejně tak ani výnos slámy na stanovišti Praha-Suchdol.

Podle Abrham et al. (2019) byly při hnojení minerálními hnojivy vyšší výnosy slámy i zrna a zároveň také při tomto typu hnojení vyšší obsah dusíkatých látek. S tím se shoduje stanoviště Lukavec. Avšak na stanovišti Praha-Suchdol se s tímto tvrzením shoduje jen sláma. Cossani et al. (2012) uvádí, že při hnojení nižším než 100 kg N ha⁻¹ byl obsah dusíku asi o 60 % vyšší oproti nehnojené kontrole variantou a při hnojení vyšším než 100 kg N ha⁻¹ byl obsah dusíku dokonce o 80 % vyšší ve srovnání s nehnojenou kontrolou. Toto tvrzení bylo potvrzeno na stanovišti Praha-Suchdol, kde byl obsah dusíku v zrně na variantě NPK vyšší o 132 %. Na stanovišti Lukavec byl obsah dusíku v zrně vyšší o 126 %. Podobně tomu bylo u slámy, kde na stanovišti Praha-Suchdol byl vyšší obsah dusíku o 175 % na variantě NPK oproti nehnojené kontrole a na stanovišti Lukavec byl obsah vyšší o 139 %.

6.3 Obsah dusíkatých látek

V České republice dle ČSN 46 1100-2 musí obsah dusíkatých látek v zrně dosahovat minimálně 11,5 %, aby byla pšenice klasifikována jako potravinářská pšenice. Z analyzovaných výsledků splňuje limitní obsah jen varianta NPK na stanovišti Praha-Suchdol, kde obsah dusíkatých látek v zrně činí 11,74 %. Zbylé varianty tuto podmínku nesplnily. Podle Abrham et al. (2019) byl při hnojení minerálními hnojivy vyšší obsah dusíkatých látek oproti hnojení organickým hnojivem. A jak je z grafu patrné tyto výsledky se potvrdily na obou stanovištích.



Graf 22 Celkové obsahy dusíkatých látek zrna i slámy-porovnání stanovišť (%)

Podle Hřivny et al. (2004) hnojení dusíkem příznivě ovlivnilo obsah dusíkatých látek v pšenici a nejnižší obsah dusíkatých látek byl zaznamenán u nehnojené kontroly ze všech variant. S tímto tvrzením se shodují výsledky stanoviště Praha-Suchdol, kde obsah dusíkatých látek v zrně byl nejnižší na kontrolní variantě, kde činil 8,89 %, a také obsah dusíkatých látek ve slámě byl nejnižší na nehnojené kontrolní variantě - 1,6 %. S tímto tvrzením se ale neshoduje stanoviště Lukavec, jelikož nejnižší obsah dusíkatých látek v zrně byl zaznamenán na variantě Hnůj 6,44 % a obsah dusíkatých látek ve slámě byl také nejnižší na variantě Hnůj - 1,25 %.

Hlisnikovský (2018) ve své práci uvádí, že statková hnojiva uvolní zhruba třetinu obsahu svého dusíku v průběhu prvního roku cca to 9-11 % a dále v průběhu druhého a třetího roku po aplikaci uvolní 3-5 % obsahu dusíku.

Casagrande et al. (2009) uvádí, že obsah dusíkatých látek se snižuje při vyšší teplotě (>25°C) během zrání. A naopak vyšší dostupnost vody zvyšuje příjem dusíku a tím obsah dusíkatých látek v rostlinách.

7 Závěr

V rámci bakalářské práce byly porovnávány různé systémy hnojení na stanovištích Praha-Suchdol a Lukavec. Na každém stanovišti bylo pozorováno tři varianty- nehnojená Kontrola, Hnůj a NPK. Z vyhodnocených výsledků vyplývají následující závěry:

- Při hodnocení výnosu zrna se hnojení projevilo více na méně úrodném stanovišti Lukavec, kde je půdní typ kambizem. Nejvyšší výnos zrna byl na variantě NPK, kde dosahoval 6,66 t/ha a navýšení oproti nehnojené kontrole bylo o 153 %. Naopak na stanovišti Praha-Suchdol vzhledem k úrodnějšímu půdnímu typu černozem byl nejvyšší výnos zrna na nehnojené kontrolní variantě, kde činil 7,61 t/ha.
- Na stanovišti Lukavec byl dosažen nejvyšší výnos slámy na variantě hnojené statkovým hnojem. Výnos zde dosahoval hodnoty 2,21 t/ha a navýšení oproti nehnojené kontrole bylo 140 %.
- Na stanovišti Praha-Suchdol na variantě Hnůj byl zaznamenán vyšší výnos zrna (7,47 t/ha) oproti variantě hnojené minerálním hnojem, kde výnos činil 6,94 t/ha. Na variantě Hnůj byl na stanovišti Praha-Suchdol zaznamenán i vyšší výnos slámy, který činil 7,41 t/ha.
- Na variantě Hnůj bylo dosaženo vyšších výnosů na úrodnějším stanovišti.
- Vlivem vyššího výnosu zrna dochází k zvýšenému odběru dusíku, čemuž odpovídá varianta NPK na stanovišti Praha-Suchdol, kde činil celkový odběr dusíku 180,69 kg/ha a zároveň na této variantě byl dosažen nejvyšší výnos.
- Z celkového odběru dusíku byl vyšší odběr zrna oproti slámě (79-94%).
- Nejvyšší obsah dusíku v zrnu byl naměřen na stanovišti Praha-Suchdol a dosáhl hodnoty 2,06 % na variantě NPK.
- Na variantě Hnůj byl vyšší obsah dusíku v zrnu (1,58 %) na stanovišti Praha-Suchdol byl dokonce vyšší než obsah dusíku v zrnu na variantě NPK na stanovišti Lukavec (1,54 %).
- Limitní hranici pro obsah dusíkatých látek v zrnu (11,5 %) splnila jen varianta NPK na stanovišti Praha-Suchdol, kde obsah činil 11,74 %. Zároveň zde došlo nejvyššímu odběrovému normativu 25,5 kg /ha. Odběrový normativ byl nejnižší na variantě Hnůj na stanovišti Lukavec - 16,5 kg/ha.

Hypotézy:

1. Na variantách hnojených hnojem bude vyšší výnos zrna ozimé pšenice než na nehnojené kontrolní variantě, ale nižší výnos než na variantách hnojených minerálními hnojivy. Tato hypotéza byla na základě výsledků potvrzena na stanovišti Lukavec, kde nejnižší výnos zrna byl právě zaznamenán na nehnojené kontrolní variantě, na variantě Hnůj byl zaznamenán výnos 6,66 t/ha, což byl ale nižší výnos než na variantě hnojené minerálním hnojivem. Na stanovišti Praha-Suchdol byl na variantě Hnůj zaznamenán vyšší výnos zrna (7,47 t/ha) oproti této variantě na stanovišti Lukavec, avšak daná hypotéza se zde nepotvrdila, jelikož nejvyšší výnos byl na nehnojené kontrolní variantě a nejnižší na variantě hnojené minerálním hnojivem. Z výsledků je patrné, že ekologické zemědělství by mělo být zakládáno na úrodnějších stanovištích, kde je vyšší mineralizační potenciál stanoviště a vyšší dostupnost limitujících živin jako např. dusík.

2. Předpoklad hypotézy, že dusík z hnoje je rostlinami využíván dlouhodobě, ale jeho využitelnost rostlinami klesá s odstupem od aplikace hnoje se potvrdila. Pšenice ozimá byla pěstována ve druhém roce po aplikaci hnoje a z výsledků vyplývá, že obsah dusíku (dusíkatých látek) byl proto nízký a podobně tomu tak bylo i na nehnojené kontrolní variantě a to na obou stanovištích. Na stanovišti Lukavec byl na variantách nehnojených hnoje vyšší výnos slámy, který činil 2,21 t/ha a zároveň vyšší obsah dusíku ve slámě (0,23 %), což potvrzuje dlouhodobější působení hnoje během vegetace. Avšak celkový odběr dusíku nedosahoval úrovně minerálního hnojení ani na jednom stanovišti.

3. Hypotéza předpokládající, že obsah dusíku v rostlinách na variantách se stejným systémem hnojení se bude lišit v závislosti na stanovištních podmínkách, byla prokázána jelikož na všech variantách byl vyšší obsah dusíku v pšenici zaznamenán na stanovišti s úrodnější půdou Praha-Suchdol a to i přes nižší úhrn srážek oproti stanovišti Lukavec.

8 Literatura

- Abrham, Z., Vach, M., & Hlisnikovsky, L. (2019). Vliv aplikace hnojiv na výnosy, jakost a ekonomiku pšenice ozimé. *Agriscience*, 6. <http://www.agritech.cz/clanky/2019-3-3.pdf>
- Baier, J., & Baierová, V. (1985). *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Státní zemědělské nakladatelství.
- Balík, J., Černý, J., & Kulhánek, M. (2012). *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Balík, J., Černý, J., & Pavlíková, D. (2012). *Systém dusíkaté výživy CULTAN u travních a jetelotravních porostů: certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Bernard, S. M., & Habash, D. Z. (2009). The importance of cytosolic glutamine synthetase in nitrogen assimilation and recycling. In *New Phytologist* (Vol. 182, Issue 3, pp. 608–620).
- Biernat, L., Taube, F., Vogeler, I., Reinsch, T., Kluß, C., & Loges, R. (2020). Is organic agriculture in line with the EU-Nitrate directive? On-farm nitrate leaching from organic and conventional arable crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 298, 106964.
- Blumenthal, J. M., Baltensperger, D. D., Cassman, K. G., Mason, S. C., & Pavlista, A. D. (2008). Importance and Effect of Nitrogen on Crop Quality and Health. In J. L. Hatfield and R. F. Follett (Ed.), *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management* (p. 21).
- 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*, 16.
- Cai, Y., Chang, S. X., & Cheng, Y. (2017). Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. *Earth-Science Reviews*, 171, 44–57.
- Capouchová, I., & Konvalina, P. (2014). Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.). Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství (pp. 2–12). https://pro-bio.cz/wp-content/uploads/2016/11/93_94_cs_2014-ez-kniha.pdf

- Casagrande, M., David, C., Valantin-Morison, M., Makowski, D., & Jeuffroy, M.-H. (2009). Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 565–574.
- Cossani, C. Mariano, Gustavo A. Slafer a Roxana Savin. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crops Research*. 2012, 128, 109-118. ISSN 03784290.
- Černý, J., Balík, J., Kulháněk, M., Časová K, K., & Nedvěd, V. (2010). Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant, Soil and Environment*, 56(No. 1), 28–36.
- Černý, J., Balík, J., Pavlíková, D., Sýkora, K., & Brodský, L. (2001). Vliv hnojení organickými a průmyslovými dusíkatými hnojivy na obsah dusíku mikrobiální biomasy v ornici. *Agris-Odborné Konference*.
- Černý, Jindřich. (2017). Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam. *Agromanual*. <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam>
- Černý, Jindřich. (2020). Hnojení ozimé pšenice dusíkem podle vývoje porostu a vědeckých poznatků. *Agromanual*. <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-ozime-psenice-dusikem-podle-vyvoje-porostu-a-vedeckych-poznatku>
- Černý, Jindřich, Vaněk, V., & Kozlovský, O. (2011). Hnojení dusíkem: specifika a aplikace. *Zemědělec*. <https://www.zemedelec.cz/hnojeni-dusikem-specifika-a-aplikace/>
- Chapin, F. S., & Eviner, V. T. (2013). Biogeochemical Interactions Governing Terrestrial Net Primary Production. In *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (Vol. 10, pp. 189–216). Elsevier.
- David, C., Jeuffroy, M. H., Laurent, F., Mangin, M., & Meynard, J. M. (2005). The assessment of Azodyn-Org model for managing nitrogen fertilization of organic winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 23(3), 225–242.
- Denison, R. F., Bryant, D. C., & Kearney, T. E. (2004). Crop yields over the first nine years of LTRAS, a long-term comparison of field crop systems in a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 86(2–3), 267–277.

- Dixon, R., & Kahn, D. (2004). Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature Reviews Microbiology*, 2(8), 621–631.
- Doltra, J., Gallejones, P., Olesen, J. E., Hansen, S., Frøseth, R. B., Krauss, M., Stalenga, J., Jończyk, K., Martínez-Fernández, A., & Pacini, G. C. (2019). Simulating soil fertility management effects on crop yield and soil nitrogen dynamics in field trials under organic farming in Europe. *Field Crops Research*, 233, 1–11.
- Douglas, A. E., & Emden, H. F. van. (2017). *Nutrition and Symbiosis*. CAB International, 18. <https://www-cabi-org.infozdroje.czu.cz/cabebooks/FullTextPDF/2017/20173260834.pdf>
- Ereku, O., & Köhn, W. (2006). Effect of Weather and Soil Conditions on Yield Components and Bread-Making Quality of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Winter Triticale (*Triticosecale* Wittm.) Varieties in North-East Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(6), 452–464.
- Fontaine, S., Mariotti, A., & Abbadie, L. (2003). The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 837–843.
- Forde, B. G. (2002). Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate. *Annual Review of Plant Biology*, 53(1), 203–224.
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., & Schmidhalter, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 439–446.
- Hagemann, N., Harter, J., & Behrens, S. (2016). Elucidating the Impacts of Biochar Applications on Nitrogen Cycling Microbial Communities. In *Biochar Application* (pp. 163–198). Elsevier.
- Harte, J. (2019). Reflections on 27 years of manipulated ecosystem warming in a subalpine meadow. In *Ecosystem Consequences of Soil Warming: Microbes, Vegetation, Fauna and Soil Biogeochemistry* (pp. 1–27). Elsevier.
- Hartwig, U. A., Zanetti, S., Hebeisen, T., Lüscher, A., Frehner, M., Fischer, B., van Kessel, C., Hendrey, G. R., Blum, H., & Nösberger, J. (1996). Symbiotic Nitrogen Fixation: One Key to Understand the Response of Temperate Grassland Ecosystems to Elevated CO₂? In *Carbon Dioxide, Populations, and Communities* (pp. 253–264). Elsevier.
- Hlišnikovský, Lukáš. Účinek NPK a statkových hnojiv na výnosy zrna a slámy pšenice ozimé. *Agromanual.cz*. 2018. Praha, 2018. Dostupné také z:

<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/ucinek-npk-a-statkovych-hnojiv-na-vynosy-zrna-a-slamy-psenice-ozime>

- Janssen, B. H. (2011). Simple models and concepts as tools for the study of sustained soil productivity in long-term experiments. I. New soil organic matter and residual effect of P from fertilizers and farmyard manure in Kabete, Kenya. *Plant and Soil*, 339(1), 3–16.
- Jenkinson, D. S. (2001). The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil* 228, 3–15.
- Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K., & Alamri, S. A. (2018). Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 225–240). Elsevier.
- King, J. (2003). Modelling Cereal Root Systems for Water and Nitrogen Capture: Towards an Economic Optimum. *Annals of Botany*, 91(3), 383–390.
- Kirchmann, H., & Ryan, M. H. (2004). Nutrients in Organic Farming – Are there advantages from the exclusive use of organic manures and untreated minerals. *New Directions for a Diverse Planet*, 1–16. http://www.cropscience.org.au/icsc2004/pdf/828_kirchmannh.pdf
- Konvalina, Ing. P., & Moudrý CSc., prof. Ing. J. (2008). Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství.
- Kox, M. A. R., & Jetten, M. S. M. (2015). The nitrogen cycle. In *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 205–214).
- Křen, J., Horáková, V., Hrušková, M., & Klačka, K. a další. (2018). Seznam doporučených odrůd-pšenice ozimá. In *obilniny 2018* (pp. 19–65). Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. http://eagri.cz/public/web/file/585839/Obilniny_2018.pdf
- Kulhánek, M., Černý, J., Balík, J., Sedlář, O., & Vašák, F. (2019). Changes of soil bioavailable phosphorus content in the long-term field fertilizing experiment. *Soil and Water Research*, 14(No. 4), 240–245.
- Leghari, S., Ahmed, N., Mustafabhabhan, G., Hussain, K., Lashari, A., Wahocho, N., Laghari, G., Hussaintalpur, A., Bhutto, T., & Wahocho, S. (2016). Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review. *Advances in Environmental Biology*, 10 (9), 209–218.

- Leinweber, P., Kruse, J., Baum, C., Arcand, M., Knight, J. D., Farrell, R., Eckhardt, K. U., Kiersch, K., & Jandl, G. (2013). Advances in Understanding Organic Nitrogen Chemistry in Soils Using State-of-the-art Analytical Techniques. In *Advances in Agronomy* (Vol. 119, pp. 83–151).
- Magdoff, F., & Weil, R. R. (Eds.). (2004). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press.
- Merbach, W., Herbst, F., Eißner, H., Schmidt, L., & Deubel, A. (2013). Influence of different long-term mineral-organic fertilization on yield, nutrient balance and soil C and N contents of a sandy loess (Haplic Phaeozem) in middle Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(8), 1059–1071.
- Mikanová, O., & Šimon, T. (2013). Alternativní výživa dusíkem. In *Meotdika pro praxi* (p. 30). Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
- Möller, K. (2018). Soil fertility status and nutrient input–output flows of specialised organic cropping systems: a review. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (Vol. 112, Issue 2, pp. 147–164).
- Möller, K., & Stinner, W. (2009). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*, 30(1), 1–16.
- Pavlíková, D., Pavlík, M., & Balík, J. (2008). Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia XII*.
- Prchalová, R., & Klement, V. (2013). Lyzimetrická sledování. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. http://eagri.cz/public/web/file/278522/Lyzimetricka_sledovani_25_let.pdf
- Richter DrSc., Prof. Ing. R. (2004). Humifikované organické látky. https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/ol_humifikovane.htm
- Richter DrSc., Prof. Ing. R., Hlušek CSc., Prof. Ing. J., Ryant Ph.D., Ing. P., & Lošák, Ing. T. (2002). Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi. 8. http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/org_hnojiva_uroda02.pdf

- Ros, G. H., Hanegraaf, M. C., Hoffland, E., & van Riemsdijk, W. H. (2011). Predicting soil N mineralization: Relevance of organic matter fractions and soil properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(8),
- Ryant Ph.D., Ing. P. (2004). Význam dusíku pro pšenici. Multimediální Učební Texty z Výživy Rostlin, 5. https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/biogenni_prvky/dusik_psenice.pdf
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. (2013). *Biogeochemistry an Analysis of Global Change* (3rd ed.). Academic Press.
- Smith, C. J., Hunt, J. R., Wang, E., Macdonald, B. C. T., Xing, H., Denmead, O. T., ... Zhao, Z. (2019). Using fertiliser to maintain soil inorganic nitrogen can increase dryland wheat yield with little environmental cost. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 286
- Šarapatka, B., & Urban, J. (2003). *Ekologické zemědělství*. Ministerstvo životního prostředí ČR.
- Škarpa Ph.D., Ing. P., Ryant Ph.D., Ing. P., & Antošovský, Ing. J. (2016). Základní hnojení pšenice ozimé. *Agromanual*. <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime>
- Tuomisto, H. L., Hodge, I. D., Riordan, P., & Macdonald, D. W. (2012). Does organic farming reduce environmental impacts? - A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management*, 112, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018>
- Václavíková, M., Konvalina, P., & Hajšlová, J. (2012). Kvalita pšenice v ekologickém zemědělství. *Zemědělec*. https://orgprints.org/id/eprint/24906/1/kvalita_psenice.pdf
- Vaněk, V., Balík J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2016). *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, s.r.o.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., & Tlustoš, P. (2007). *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, s.r.o.
- Vašák, F., Černý, J., Buráňová, Š., Kulhánek, M., & Balík, J. (2016). Soil pH changes in long-term field experiments with different fertilizing systems. *Soil and Water Research*, 10(No. 1), 19–23.
- Vokál, B. (2013). *Brambory:šlechtění, pěstování, užití, ekonomika* (1st ed.). Profi Press.

- Ward B.B. (2008). Nitrification. Princeton University, 1–8.
- Watson C.A., Bengtsson, H., Ebbesvik, M., Løes, A.-K., Myrbeck, A., Salomon, E., Schroder, J., & Stockdale, E. A. (2002). A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use and Management*, 18(3), 264–273.
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 63, Issue 1, pp. 153–182).
- Zehnálek Josef, Adam Vojtěch, & Kizek René. (2006). Asimilace dusičnanového, amonného a amidického dusíku u zemědělských plodin. *Chem.Listy*, 508–514.
- Zimolka, J., Elder, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., & Říha, K. (2005). *Pšenice Pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press.

9 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obrázek 1 : Koloběh dusíku (Balík et al., 2012)	16
Obrázek 2 Lokalizace 49°33'23"N, 14°58'39"E Lukavec	40
Obrázek 3 Lokalizace 50°7'40"N, 14°22'33"E Praha-Suchdol	41

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Celkové a přístupné množství dusíku (t N) v hlavních složkách naší planety (Balík et al., 2012)	10
Tabulka 2 Povolené a pomocné půdní látky a živiny nařízení (ES) č. 834/2007	28
Tabulka 3 Průměrné složení vybraných organických hnojiv (Vaněk et al., 2007).....	31
Tabulka 4 Průměrné složení hlavních druhů chlévského hnoje (%) (Richter et al., 2002)	32
Tabulka 5 Charakteristika pokusných stanovišť Lukavec	41
Tabulka 6 Charakteristika pokusných stanovišť Praha-Suchdol	42
Tabulka 7 Úhrn srážek [mm] na stanovištích od 1.1. 2019 do 31.12. 2019	58

Seznam grafů:

Graf 1 Výnos zrna Lukavec (%)	44
Graf 2 Výnos zrna Praha-Suchdol (%)	45
Graf 3 Výnos zrna-porovnání stanovišť t/ha	45
Graf 4 Výnos slámy Lukavec (%)	46
Graf 5 Výnos slámy Praha-Suchdol (%)	46
Graf 6 Výnos slámy-porovnání stanovišť (t/ha)	47
Graf 7 Sklizňový index-Lukavec (%).....	48
Graf 8 Sklizňový index Praha-Suchdol (%)	48
Graf 9 Sklizňový index-porovnání stanovišť (%).....	49
Graf 10 obsah dusíkatých látek v zrně Lukavec (%).....	49
Graf 11 Obsah dusíkatých látek v zrně Praha-Suchdol (%)	50

Graf 12 Obsah dusíku v zrnu-porovnání stanovišť (%).....	51
Graf 13 Obsah dusíku ve slámě Lukavec (%)	51
Graf 14 Obsah dusíku látek ve slámě Praha-Suchdol (%).....	52
Graf 15 Obsah dusíku ve slámě – porovnání stanovišť (%).....	52
Graf 16 Odběr dusíku zrnem – porovnání stanovišť (kg/ha).....	54
Graf 17 Odběr dusíku slámou – porovnání stanovišť (kg/ha)	55
Graf 18 Celkový odběr dusíku – porovnání stanovišť (kg/ha).....	55
Graf 19 Sklizňový index dusíku – porovnání stanovišť	56
Graf 20 Odběrové normativy dusíku – porovnání stanovišť	57
Graf 21 Celkové výnosy zrna a slámy – porovnání stanovišť (t/ha)	59
Graf 22 Celkové obsahy dusíkatých látek zrna i slámy-porovnání stanovišť (%)	62