

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv hnojení na výnos a obsah dusíku v rostlinách ozimé
pšenice**

Bakalářská práce

Marek Kotulán

Rostlinná produkce (FYTOB)

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

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv hnojení na výnos a obsah dusíku v rostlinách ozimé pšenice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.4.2024

Poděkování

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

Vliv hnojení na výnos a obsah dusíku v rostlinách ozimé pšenice

Souhrn

Hlavní účel této bakalářské práce bylo zkoumat a posoudit vliv hnojení různými hnojivy (minerální a organická) na výnos a obsah dusíku v rostlinách ozimé pšenice. Bude také posuzován vliv stanovištních podmínek na utváření výnosu a obsahu dusíku v rostlinách.

Výsledky této bakalářské práce vycházejí z dlouhodobých stacionárních pokusů Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Tyto pokusy byly založeny v roce 1996 a nacházejí se na dvou stanovištích Praha Suchdol a Červený Újezd. Na obou stanovištích bylo posuzováno celkem sedm různých variant hnojení organických, minerálních dusíkatých hnojiv a jejich kombinací. Jednalo se o nehnojenou kontrolu, hnojení kalem z čistírny odpadních vod, hnojem, hnojem $\frac{1}{2} + N$, dusíkem se slámou, čistým dusíkem a NPK. Na všech variantách byla na tři rotace plodin aplikována dávka 330 kg N/ha. U organických hnojiv byla celá dávka aplikována přímo k předplodině. U minerálních hnojiv byla ke každé plodině aplikována část dávky a u ozimé pšenice tvořila 140 kg N/ha z celé dávky. U varianty hnojené Hnůj $\frac{1}{2} + N$ bylo k pšenici dodáno 110 kg N/ha čistého dusíku, zatímco hnůj byl aplikován již k předplodině s dávkou 165 kg N/ha.

Z výsledků vyplývá, že nejvyšších výnosů bylo dosaženo na stanovišti Praha Suchdol, kde bylo dosaženo vyšších výnosů na variantách hnojených minerálními hnojivy a kombinací minerálních a organických hnojiv. Úplně nejvyššího výnosu dosáhla varianta NPK, kde výnos představoval 11,47 t/ha. Naopak na stanovišti Červený újezdy bylo dosaženo nejvyšších výnosů na variantách hnojených organickými hnojivy, nebo kombinací organických a minerálních hnojiv. Zde byl nejvyšší výnos činil 9,5 t/ha a byl zaznamenán u varianty Hnůj + $\frac{1}{2} + N$. Obsah dusíku v zrně byl u obou stanovišť shodně zaznamenán na variantách hnojených minerálními hnojivy. Ovšem nejvyššího obsahu dusíku v zrně bylo zaznamenáno na variantě Hnůj $\frac{1}{2} + N$ na stanovišti Červený Újezd a obsah dusíku tvořil 2,13 %. Na Praze Suchdol bylo nejvyššího obsahu dusíku dosaženo u varianty hnojené čistým dusíkem a představoval 2,05 %. Naopak nejnižších výsledků bylo shodně dosaženo u varianty hnojené pouze hnojem.

Klíčová slova: ozimá pšenice, pokus, výnos, obsah dusíku, hnojiva

Effect of fertilization on yield and nitrogen content in winter wheat plants

Summary

The main purpose of this bachelor thesis was to examine and assess the impact of fertilization with different types of fertilizers (mineral and organic) on the yield and nitrogen content in winter wheat plants. Additionally, the influence of site conditions on the formation of yield and nitrogen content in plants will be evaluated.

The results of this bachelor thesis are based on long-term stationary experiments conducted by the Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition at the Czech University of Life Sciences in Prague. These experiments were established in 1996 and are located at two sites: Prague Suchdol and Červený Újezd. A total of seven different fertilization variants of organic, mineral nitrogen fertilizers, and their combinations were assessed at both sites. These variants included untreated control, fertilization with sewage sludge, manure, manure 1/2 + N, nitrogen with straw, pure nitrogen, and NPK. A dose of 330 kg N/ha was applied to all variants over three crop rotations. For organic fertilizers, the entire dose was applied directly to the preceding crop. For mineral fertilizers, a portion of the dose was applied to each crop, with 140 kg N/ha for winter wheat representing the entire dose. In the variant fertilized with Manure 1/2 + N, 110 kg N/ha of pure nitrogen was added to wheat, while manure was applied to the preceding crop at a dose of 165 kg N/ha.

The results indicate that the highest yields were achieved at the Prague Suchdol site, with higher yields recorded in variants fertilized with mineral fertilizers and combinations of mineral and organic fertilizers. The highest yield was achieved with the NPK variant, reaching 11.47 t/ha. Conversely, at the Červený Újezd site, the highest yields were achieved in variants fertilized with organic fertilizers or combinations of organic and mineral fertilizers. The highest yield recorded was 9.5 t/ha for the Manure + 1/2 + N variant. The nitrogen content in the grain was consistently recorded in variants fertilized with mineral fertilizers at both sites. However, the highest nitrogen content in the grain was observed in the Manure 1/2 + N variant at the Červený Újezd site, reaching 2.13%. In Prague Suchdol, the highest nitrogen content was achieved in the variant fertilized with pure nitrogen, at 2.05%. Conversely, the lowest results were consistently achieved in the variant fertilized only with manure.

Keywords: winter wheat, experiment, yield, nitrogen content, fertilizers

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíl práce	10
3 Literární rešerše	11
3.1 Pšenice ozimá	11
3.1.1 Biologická charakteristika	11
3.1.2 Tvorba výnosu	12
3.1.3 Stanovištní podmínky	13
3.1.4 Zařazení v osevním postupu	14
3.2 Výživa pšenice	15
3.2.1 Dusík.....	16
3.2.2 Fosfor.....	16
3.2.3 Draslík.....	17
3.2.4 Síra.....	18
3.2.5 Hořčík	19
3.2.6 Mikroprvky	19
3.2.6.1 Měď	20
3.2.6.2 Bor	20
3.2.6.3 Mangan	21
3.3 Hnojení pšenice	22
3.3.1 Hnojení dusíkem	23
3.3.1.1 Základní hnojení	23
3.3.1.2 Hnojení během vegetace.....	24
3.3.2 Hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem	24
3.3.3 Hnojení sírou	25
3.4 Dusík	26
3.4.1 Dusík v půdě.....	26
3.4.2 Koloběh dusíku.....	27
3.4.2.1 Mineralizace	27
3.4.2.2 Nitrifikace	28
3.4.2.3 Denitrifikace	29
3.4.3 Dusík v rostlinách.....	30
3.4.3.1 Příjem dusíku	31
3.4.3.2 Nedostatek dusíku.....	32
3.5 Použitá Hnojiva	33
3.5.1 Organická hnojiva.....	33
3.5.1.1 Hnůj	33
3.5.1.2 Kaly z čistíren odpadních vod	34

3.5.2	Minerální hnojiva.....	34
3.5.2.1	Ledek amonný s vápencem 26-27,5 % N	35
3.5.2.2	Trojité superfosfát 20-21 % P.....	35
3.5.2.3	Draselná sůl.....	35
4	Metodika	36
4.1	Dlouhodobý polní pokus	36
4.1.1	Hnojení pokusu	36
4.1.1.1	Kontrola	37
4.1.1.2	Kal.....	37
4.1.1.3	Hnůj	37
4.1.1.4	Hnůj ½ + dusík.....	37
4.1.1.5	Dusík.....	37
4.1.1.6	NPK	37
4.1.1.7	Dusík se slámou	38
4.2	Praha Suchdol.....	38
4.3	Červený Újezd	38
4.4	Průměrná měsíční teplota.....	39
4.5	Měsíční úhrn srážek.....	39
4.6	Sklizeň a zpracování vzorků	40
4.7	Výnos	40
4.8	Stanovení obsahu dusíku	40
4.9	Odběr dusíku	40
4.10	Sklizňový index dusíku	41
4.11	Bilance dusíku.....	41
5	Výsledky.....	42
5.1	Výnos zrna a slámy	42
5.1.1	Výnos zrna	42
5.1.1.1	Praha Suchdol	42
5.1.1.2	Červený Újezd	43
5.1.2	Výnos slámy	44
5.1.2.1	Praha Suchdol	44
5.1.2.2	Červený Újezd	45
5.2	Obsah dusíku v zrně a slámě	46
5.2.1	Obsah dusíku v zrně	46
5.2.1.1	Praha Suchdol	46
5.2.1.2	Červený Újezd	47
5.2.2	Obsah dusíku ve slámě	48
5.2.2.1	Praha Suchdol	48
5.2.2.2	Červený Újezd	49
5.2.3	Odběr dusíku zrnem a slámou	50

5.2.4	Odběr dusíku zrnem.....	50
5.2.4.1	Praha Suchdol	50
5.2.4.2	Červený Újezd	51
5.2.5	Odběr dusíku slámou	52
5.2.5.1	Praha Suchdol	52
5.2.5.2	Červený Újezd	53
5.2.6	Sklizňový index DUSÍKU	54
5.2.6.1	Praha Suchdol	54
5.2.6.2	Červený Újezd	55
5.2.7	Bilance dusíku	56
5.2.7.1	Praha Suchdol	56
5.2.7.2	Červený Újezd	57
5.2.8	Obsah dusíkatých látek v zrně	57
6	Diskuze	59
6.1	Výnos	59
6.2	Obsah dusíkatých látek v zrně	61
6.3	Sklizňový index dusíku	62
7	Závěr.....	63
8	Literatura.....	65
9	Seznam tabulek a grafů.....	I
9.1	Grafy	I
9.2	Tabulky	I

1 Úvod

Ozimá pšenice je jednou z nejpěstovanějších zemědělských plodin na světě a jako taková hraje i velmi zásadní roli v potravinářské produkci a následném potravinářské zpracování, proto je velmi důležité najít co nejlepší způsoby, jak potravinářskou kvalitu pšenice zajistit. Tato práce se zabývá vlivem různých hnojiv na výnos ozimé pšenice a na obsah dusíku v rostlinách, zejména pak v zrnu pšenice. Obsah dusíku a dusíkatých látek v zrnu ozimé pšenice je hlavní ukazatel pro možnost zpracování pšenice na potravinářské účely.

Dusík jako živina, která nejvíce ovlivňuje utváření výnosu a dosažení potravinářských hodnot pšenice se díky těmto aspektům dostává do popředí výzkumů. Přílišné nebo nesprávné hnojení dusíkem ovšem může mít neblahý vliv na životní prostředí, proto je velkým zájmem na vyvážení dobré produkce a aplikace hnojiv. Hnojiva by se měla rostlinám dodávat v době, kdy je dokáží nejlépe využít a zároveň v odpovídajících dávkách.

V této bakalářské práci je taktéž zkoumán vliv různých forem hnojiv na tvorbu výnosu a obsahu dusíku v rostlinách ozimé pšenice. Tento výzkum byl prováděn na dvou různých lokalitách. Pro zohlednění stanovištních podmínek při použití minerálních, organických a kombinovaných hnojiv ve snaze lépe porozumět možnostem zlepšení dvou velmi zásadních aspektů pro produkci kvalitní pšenice.

2 Cíl práce

Cílem práce bude hodnocení vlivu hnojení na výnos ozimé pšenice a obsah dusíku v rostlinách při aplikaci minerálních a organických při zohlednění stanovištních podmínek. U hnojiv bude posuzováno jejich přímé působení po aplikaci i dlouhodobé působení s odstupem aplikace nebo při jejich opakované aplikaci.

Hypotézy:

1. Jednotlivé varianty budou mít rozdílný sklizňový index dusíku
2. Hnojení dusíkem pozitivně ovlivňuje obsah dusíkatých látek v pšeničném zrně
3. Na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy bude dosahováno vyšších výnosů než na variantách hnojených pouze organickými hnojivy

3 Literární rešerše

3.1 Pšenice ozimá

Pěstování pšenice sahá daleko do historie. Pšenice byla jednou z prvních domestikovaných potravinářských plodin a po 8 000 let byla základní potravinou hlavních civilizací Evropy, západní Asie a severní Afriky. Dnes se pšenice pěstuje na větší ploše než jakákoliv jiná komerční plodina a je i nadále nejdůležitějším zdrojem obilovin pro lidi. Její světová produkce se pohybuje v průměru okolo 600 milionů tun ročně a osevní plocha je udávána kolem 240 milionů hektarů. Její pěstování je větší než pěstování rýže, kukuřice nebo brambor.

Pšenice se pěstuje především pro potravinářské účely, ale méně kvalitní zrno, které proto není vhodné se často využívá jako krmivo pro zvířata nebo se využívá v průmyslu. Zde se používá na výrobu alkoholu nebo jako přísada do papíru či k výrobě lepidla (Curtis et al. 2005).

Podle ČSÚ bylo v roce 2022 v České republice ozimou pšenicí oseto 801,6 tisíc hektarů. Celková osevní plocha pšenice činí 854,4 tisíce hektarů to z ní činí nejvíce pěstovanou plodinou u nás. Co se týká hektarových výnosů, u pšenice celkově poklesl oproti minulému roku o 0,25 t/ha na 6,07 t/ha. Výnos pšenice ozimé je 6,16 t/ha a oproti minulému roku se snížil o 0,3 t/ha. Tento pokles výnosu byl způsoben nadprůměrnými teplotami a podprůměrnými srážkami během května. Kvůli těmto nepříznivým podmínkám se nemohlo dostatečně nalít zrno, a to mělo negativní vliv na objemovou hmotnost zrna (Heřmanská & Kůst 2023).

3.1.1 Biologická charakteristika

Pšenice *Triticum* se řadí do čeledi *Poaceae* a patří do obilovin I. Skupiny. Kulturně významné druhy pšenice se člení podle počtu chromozomů a podle chlupatosti obilek. Pšenice jednozrnka *T. monococcum* L. je diploidní s pluchatými obilkami. Mezi tetraploidní s nahými obilkami se řadí pšenice tvrdá *T. durum* DESF., pšenice perská *T. carthlicum* NEVSKI. Do tetraploidů s pluchatými obilkami náleží pšenice dvouzrnka *T. dicoccum* SCHRANK. Významná pšenice z hexaploidů s nahými obilkami je pšenice seté *T. aestivum* L. a s pluchatými obilkami pšenice špalda *T. spelta* L. Druhy pšenic se dále dělí na nižší taxonomické jednotky, což jsou variety a odrůdy. U nás jsou nejrozšířenější odrůdy pšenice obecné, které náleží ke čtyřem nejčastějším varietám. Tyto variety se dělí na formu ozimou a jarní (Pazderů et al. 2018).

Pšenice ozimá má nelámavý klas, může být osinatý nebo bezosinný a liší se jeho hustota. Obaly klásku i plušky mají tvar vejčitý nebo podlouhle vejčitý s výraznou hřbetní linií. Zrna

jsou holá, vyboulená, na řezu mají kulatý tvar a mírně vystouplý klíček; na opačné straně jsou chlupatá. Původ ozimé pšenice pravděpodobně spočívá ve vývoji z pšenice špaldy. (Zimolka et al. 2005)

Tato pšenice se vyskytuje v čtyřech různých variantách:

- *Lutescens*: S bezosinným nebo osinatým kláskem, má bílou barvu.
- *Milturum*: S bezosinným nebo osinatým kláskem, má červenou barvu.
- *Erythospermum*: Má osinatý klas a bílá zrna.
- *Ferrugineum*: Má osinatý klas a červená zrna.

Pazdera et al. (2006) uvádí, že odnožující pšenice nechává postupně odumírat primární kořeny, které jsou nahrazovány sekundárními kořeny vyrůstajícími z odnožovacího uzlu. Stébla rostlin pšenice jsou tvořena z dutých článků a plných kolének, ze kterých vyrůstají listy. Listy jsou čárkovité a jsou tvořeny z listové čepele a pochvy, která objímá stéblo. V místech, kde pochva přechází v čepel se vytváří jazýček, který je popisován jako blanitý výrůstek. Po stranách listové plochy se tvoří zašpičatělé výrůstky, které se označují jako ouška. Plodem pšenice je obilka, která se skládá z obalové vrstvy, endospermu a zárodku.

3.1.2 Tvorba výnosu

Na tvorbě výnosu se podílí mnoho faktorů, jako jsou fyziologické procesy v rostlinách, fyzikální a chemické vlastnosti půdy, vliv klimatu, vliv aktuálního počasí a reliéf dané lokality (Chaloupecký et al. 2004). Všechny tyto faktory ovlivňují utváření výnosových parametrů, ty se skládají ze tří základních ukazatelů:

- Počet klasů na m^2
- Počet zrn v klasu
- Hmotnost tisíce zrn

Křen (2021) uvádí, že odrůdy ozimé pšenice se mohou lišit významem jednotlivých výše uvedených prvků při tvorbě výnosu. V praxi se poté rozlišují čtyři základní typy odrůd tvořící výnos.

- Produktivitou klasu – tyto odrůdy vytvářejí méně odnoží a mají nízký počet klasů na m^2 (450-550), ale mají produktivnější klasy díky většímu počtu zrn v klasu nebo mají větší hmotnost tisíce zrn
- Počtem klasů na m^2 – (650-700 m^2) mají menší až střední počet zrn v klasu, zato se vyznačují větší schopností vytvářet odnože

- Počet zrn na m² – tento typ odrůd má nižší hmotnost tisíce zrn, tuto nevýhodu kompenzuje dostatečným počtem klasů na m² (550-650) se středním až vyšším počtem zrn v klasu
- Kompenzační typ – zde se na tvorbě výnosu podílejí všechny tři prvky rovnoměrně, při špatném utváření jednoho z nich mohou zbylé dva kompenzovat jejich zvýšenou hodnotou, počet klasů na m² by měl být dostatečný (550-650)

Každý typ těchto odrůd vyžaduje v době tvorby výnosových prvků optimální podmínky. Pro dosažení dobrého výnosu je klíčová znalost jejich rozdílů v utváření výnosu. Podle těchto znalostí volíme lepší pěstební technologie a opatření. Nejdůležitější je správně naplánovat stanovení termínu setí a výsevku, aplikaci dusíkatých hnojiv a aplikaci regulátorů růstu.

3.1.3 Stanovištní podmínky

I když se pšenice ozimá pěstuje ve všech výrobních oblastech, dosahuje se rozdílných výnosů zrna v různé kvalitě podle podmínek stanoviště a použité agrotechniky (Faměra 1993).

Pšenice se pěstuje především v sušších a teplejších oblastech, nejlépe na černozemích na spraši nebo hlinitých půdách, které dobře drží vodu. Co se týče pH, tak pšenice zvládají i mírně kyselé půdy o hodnotě pH do 5,5. Nejvhodnější pro ni jsou samozřejmě půdy s neutrálními hodnotami pH. Následkem pomalejšího jarního růstu a nedostatečně vyvinutou soustavou kořenů, není pšenice schopna dobře konkurovat plevelům, a tak vyžaduje vyšší nároky co se týče agrotechnických opatření a také výživy (Konvalina et al. 2007).

Pravidelné dodávání živin do půdy je zásadní, neboť pšenice stejně jako ostatní plodiny čerpá živiny z půdní zásoby. Přičemž na méně úrodných půdách je vliv hnojení vyšší než na půdách úrodných, kde rostliny čerpají vyšší množství živin z půdy, než z aplikovaných hnojiv (Faměra 1993).

Balík et. al (2012) uvádí, co se týče dusíku, tak na úrodných půdách je ho 84–88 % na tvorbu výnosu využito z půdy a zbylých 12–16 % z hnojiv. Zatímco na méně úrodných půdách je na výnos využito z půdy pouhých 50-60 % dusíku.

Úhrn srážek může při růstu pšenice ovlivnit tvorbu výnosu a kvalitu zrna. Při nedostačujících srážkách během růstu mohou rostliny začít zasychat. V sušších oblastech může při nedostatku srážek dojít až k nouzovému dozrání. Pokud jsou rostliny vystaveny suchu už v raném vývoji, pak může začít shazovat odnože a v pozdějších fázích dojde k zasychání klasů. Nicméně nadprůměrný úhrn srážek také dokáže negativně ovlivňovat správný růst, kdy mohou způsobovat poléhání porostu. V polehlém porostu poté hrozí, že zrna začne klíčit již před sklizní (Bittner 2009).

Vliv teplot během vegetace je spojen v úzkém vztahu ke srážkám. Vývin rostlin se vlivem chladnějšího počasí zpomaluje. Tento jev je žádoucí zejména v době, kdy se zakládají odnože a na počáteční fázi sloupkování. V těchto fázích růstu pozitivně působí na tvorbu výnosu, neboť díky pomalejšímu růstu se stihne založit více odnoží, a i více klásků s vyšším počtem zrn. Naopak vyšší teploty a nedostatek srážek, byť jen krátkodobé, způsobují ve fázích dozrávání nedostatečný vývin zrna. To má za následek nižší výnos, ale i zhoršenou kvalitu potravinářské pšenice (Faměra 1993).

3.1.4 Zařazení v osevním postupu

Ozimá pšenice je řazena mezi náročné plodiny a správný výběr předplodiny je důležitý pro následný růst a tvorbu výnosu. Proto by měla v osevním postupu zaujímat místo až po zlepšujících plodinách, jako jsou například jeteloviny, luskoviny nebo olejniny (Šarapatka & Urban 2006). Jako dobrou předplodinu lze do osevního postupu zařadit i okopaniny za předpokladu včasné sklizně s tím, že k nim byla aplikována statková hnojiva.

Při opakujícím se setí pšenice vícekrát po sobě, hrozí riziko nárůstu škůdců a chorob. To vede ke snížení tvorby výnosu a jakosti pšenice. Stejně tak může být výnos negativně ovlivněn, jestliže je pšenice zasetá v pozdním období, kvůli opožděné sklizni předplodin, kdy nestihne využít jejich hodnotu (Faměra 1993; Šnobl et al. 2007).

3.2 Výživa pšenice

Při výživě rostlin platí takzvaný zákon minima. Ten udává, že růst rostlin je limitován tou živinou, která je rostlině nejméně přístupná, i když je ostatních prvků dostatek (Faměra 1993).

Ozimá pšenice, jako plodina s průměrnou náročností na živiny, vyžaduje určité množství živin pro optimální růst a vývoj. Pro produkci jedné tuny zrna spolu s odpovídajícím množstvím slámy a kořenů je potřeba přibližně 25 kg dusíku (N), 5 kg fosforu (P), 20 kg draslíku (K) a 2,4 kg síry (S) (Zimolka et al. 2005).

Vaněk et al. 2016 uvádí, že v zrnu je soustředěna převážná část dusíku a fosforu, zatímco ve slámě jsou draslík a vápník.

Vývoj pšenice začíná v obilce během klíčení a chemické složení obilky má vliv na formování kořenové soustavy, což ovlivňuje přechod rostliny na výživu z půdy. Kořenový systém pšenice se do zimy rozvíjí do hloubky 0,7 m - 1,0 m, přičemž většina kořenů se nachází do hloubky 0,4 m. V období podzimu je odběr živin a tvorba biomasy relativně malá a v zimě tyto procesy úplně ustávají. I přesto je důležité udržet dostatečný obsah přístupných živin v půdě pro optimální růst rostlin.

Nedostatek živin může omezit metabolické procesy rostlin, které vedou k oslabenému odnožování a k celkové slabosti rostlin. To má negativní dopad na počet klasů na jednotce plochy, počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn a na další kvantitativní parametry (Zimolka et al. 2005; Škarpa et al. 2016).

Odběr živin se začíná zvyšovat během jarního období, kdy rostliny obnovují biomasu (Škarpa et al. 2016).

Odběr živin	N	P	K	Ca	Mg	S
Množství v kg/t	22–26	4,4–6,2	17–21	2,8–5,7	1,2–3,0	4,0–5,8
Množství v kg/ha	150	30	110	24	12	30

Tabulka č.1: Průměrné odběry živin ozimou pšenicí vztahované na 1 t výnosu zrna a průměrný celkový odběr při výnosu 6 t/ha (Černý et al. 2014)

3.2.1 Dusík

Pro dostatečnou produkci pšeničného zrna v požadované kvalitě je jedním z rozhodujících faktorů adekvátní výživa porostů pšenice dusíkem (Ryant et al. 2017). Využití dusíku na tvorbu zrna je často negativně ovlivněno nízkým obsahem draslíku, fosforu, hořčíku a síry (Zimolka et al. 2005).

V podzimním období odebírají rostliny nanejvýš okolo 10 % dusíku. Zvyšovat odběr začínají až na jaře při obnově biomasy kdy do začátku sloupkování přijmou cca 40 %. Síla příjmu se zvyšuje do konce fáze kvetení. V té době odběr představuje dalších 30 %. Dusík se následně přemísťuje z ostatních částí rostliny do zrna při jeho tvorbě. V zrnu je po dokončení vegetace nahromaděno až 75 % dusíku (Jacobsen & Westermann, 1988).

Toto téma je podrobněji zpracováno v kapitole hnojení pšenice.

3.2.2 Fosfor

Obsah fosforu v půdě se pohybuje v rozmezí od 0,01 do 0,15 %. Většina celkového množství fosforu v půdách je pro rostliny nedostupná. Dominujícími formami fosforu v půdě jsou sloučeniny H_3PO_4 a v menší míře také vazby $H_4P_2O_7$. Fosfor v půdě se dělí na minerální a organické formy. Minerální formy se dělí na primární a sekundární minerály. Primární minerály jsou tvořeny apatity. Sekundární jsou vysrážené a adsorbované fosforečnany. V slabě kyselých až alkalických půdách převažují vápenné soli, které vznikají reakcí rozpustných sloučenin nebo uvolňováním kyseliny fosforečné. Jejich tvorba v půdě se odvíjí od hodnoty pH a tím je ovlivněna i pohyblivost fosforu v půdě a jeho dostupnost pro rostliny. Organické formy fosforu v půdě činí 30-50 % celkového fosforu v půdě. Nachází se zde především jako fytyl, fosfolipidy nebo nukleové kyseliny, které se nacházejí v kořenové hmotě. Do půdy se tak mohou dostat pomocí posklizňových zbytků. Velká část organického fosforu v půdě je rostlinám zpřístupněna mineralizací mrtvých těl mikroorganismů, které fosfor sorbují během života do svých těl.

Rostliny vstřebávají fosfor převážně ve formách $H_2PO_4^-$ a HPO_4^{2-} . Vzhledem k nízkému obsahu fosforu v půdním roztoku musí být rychle doplněn z pevné fáze půdy poté, co ho rostlina odebrala. Při nedostatku fosforu v pletivech mohou rostliny částečně ovlivnit jeho příjem. Toho dosahují zvýšením růstu kořenů, což vede k prokořenění většího objemu půdy. Rostliny zvyšují kořenovou sekreci a rozpustnost, to zvyšuje přijatelnost fosforu v rizosféře. Ovšem tento proces většího růstu kořenů probíhá na úkor růstu nadzemní biomasy.

Optimální podmínky pro absorpci fosforu rostlinami zahrnují zejména příznivé pH půdy v rozmezí 5,0 až 7,0. Dále přítomnost přijatelného množství fosforu v půdě v rozmezí 40-80 ppm, dostatek organických látek a adekvátní půdní vlhkost.

Fosfor je pro rostlinu důležitý zejména v přenosu energie a signálů, také je důležitou součástí biochemických procesů. Největší obsah fosforu se pak nachází v generativních orgánech a semenech (Vaněk et al. 2016).

Dle Zimolky et al. 2005 se nedostatek fosforu projevuje omezením růstu kořenů a odnožování. Stébla jsou pak krátká a slabě vyvinutá. Listy jsou vzpřímené, tmavě zelené až červenofialové. Stébla u paty jsou také červenofialově zbarvené. Tuto barvu vyvolávají antokyany.

3.2.3 Draslík

Obsah celkového draslíku v půdách je 0,5-3,2 %. Draslík s v půdách nachází zejména v anorganických sloučeninách. V organické hmotě půdy je zastoupen pouze v desítkách kg K/ha. Draslík se vyskytuje hlavně v primárních a sekundárních minerálech a lze ho rozdělit na nevýměnný, výměnný a vodorozpustný. Nevýměnný se nachází primárních například živce, slídy a sekundárních minerálech, kde se jedná hlavně o ility. Patří sem také fixovaný draslík, který se může po určité době přeměnit na výměnný draslík.

Výměnný draslík je vázán na půdní sorpční komplex a může být nahrazen jiným kationtem. Tato forma draslíku je pak hlavní formou přijímanou rostlinami. Vodorozpustný draslík je obsažen v půdním roztoku a může být okamžitě přijímán rostlinami.

Draslík je přijímán rostlinami ve formě K^+ a je přijímán jak aktivně, tak pasivně. Aktivně je přijímán při nižší koncentraci v půdním roztoku, a naopak pasivně ho rostliny přijímají při vyšší koncentraci. Příjem je pak ovlivněn zejména vlhkostí, teplotou a slunečním zářením (Vaněk et al. 2016).

Draslík se v rostlinách nachází především v mladých orgánech jako jsou listy a vegetační vrchol. Naopak ze starších částí rostlin je vymýván poměrně snadno, především proto, že není pevně vázaný v pletivech. Ale není vymýván hned, rostliny začínají snižovat jeho příjem v období druhé poloviny růstu a pomocí kořenů jsou schopné jeho část vyloučit zpět do půdy (Vaněk et al. 2007)

Draslík má v rostlině vliv především na transport asimilátů z listů do semen, ale ty se významně podílí na jejich transportu do kořenů. Díky těmto faktorům dobře působí na tvorbu kořenové soustavy a na přezimování rostlin. Velmi dobře působí na hospodaření rostlin s vodou (Černý et al. 2014).

Důležitým aspektem je i role draslíku ve zlepšování odolnosti pšenice vůči stresu, zejména v období sucha či salinitě půdy (Hafsi et al. 2014).

Dle Zörbeho et al. (2013) může draslík také ovlivnit kvalitu pšeničných zrn, zejména obsah škrobu, což má významný dopad na výslednou kvalitu mouky.

Nedostatek draslíku představuje zvýšené riziko poškození rostlin mrazem a nesprávného přezimování. Tento nedostatek zvyšuje pravděpodobnost poléhání porostu a výskytu houbových chorob. Stébla rostliny trpící nedostatkem draslíku jsou charakterizována zkrácením a výrazným vytvářením odnoží, a to vede k metlovitému nebo keřovitému vzhledu (Zimolka et al. 2005).

Zörb et al. 2013 popisuje, jak lze pozorovat rozdíl v obsahu draslíku mezi zrnem a slámou u rostlin pšenice při nedostatku tohoto prvku. Ve slámě je zjištěn výrazně nižší obsah draslíku ve srovnání se zrnem. Tento faktor by mohl být použit jako indikátor nedostatku draslíku v půdě.

3.2.4 Síra

Obsah síry v půdě se pohybuje mezi 50 a 500 mg S/kg, přičemž až 98 % celkové síry se nachází v organických sloučeninách. Tyto sloučeniny lze rozdělit na síru vázanou na organické látky v oxidované nebo redukované formě s převahou oxidovaných forem. Během mineralizace oxidovaných forem jako jsou například estery, lipidy nebo glukosinoláty. Dochází k snadnějšímu uvolňování síry, proto ji činí hlavním zdrojem pro rostliny. Na výživě rostlin sírou se může podílet síra vázaná v biomase mikrobů, ta je nejdynamičtější organických sloučenin v půdě, ale nachází se zde jen v malém množství 1-3 %. Rostliny vstřebávají síru ve formě SO_4^{2-} . I když jsou rostliny schopny přijímat SO_2 z ovzduší, tato schopnost pokrývá pouze omezený podíl a to do 30 % celkové potřeby.

Obsah síry v sušině obilovin je 0,18-0,19 % a odběr se pohybuje mezi 12-15 kg S/ha (Vaněk et al. 2016).

Síra je pro rostlinu nezbytným prvkem. Je důležitá pro tvorbu aminokyselin, zejména cysteinu a methioninu, proto má vliv na proteinovou strukturu pšenice. Regulace růstu pšenice, tvorba pevné a odolné stébelné hmoty jsou rovněž ovlivněny sírou (Ciaffi et al. 2005; Hawkesford & De Kok 2006).

Zimolka et al. (2005) zdůrazňují, že síra neovlivňuje pouze kvantitu, ale také nutriční hodnoty zrna a pekařskou jakost. Síra podporuje příjem a využití dusíku, a to zvyšuje jeho efektivitu. Doporučuje se aplikovat síru společně s dusíkatým přihnojením. Nedostatek síry se

projevuje světláním až žloutnutím nejmladších listů, omezeným využitím dusíku a snížením obsahu bílkovin v zrna, což negativně ovlivňuje technologické vlastnosti zrna.

3.2.5 Hořčík

V půdě se obsah hořčíku pohybuje v průměru 0,4-0,6 %. Hořčík se vyskytuje v mnoha horninách a jeho obsah se odvíjí od složení matečné horniny. Ve velké míře je obsažen v horninách jako olivín a serpenin, ale vyskytuje se i například v chloritu, pyroxenu a vermikulitu. Pro rostliny jsou klíčovým zdrojem hořčíku především hořečnaté soli – sírany, fosforečnany, chloridy a dusičnany. Tyto soli jsou v půdě velmi dobře rozpustné, a proto při jejich přítomnosti je v půdě dostatek hořčíku ve formě Mg^{2+} v půdním roztoku. Rostliny typ tohoto hořčíku přijímají převážně pasivně.

Průběh příjmu hořčíku pšenicí je během vegetačního období rovnoměrný, avšak zaznamenává nárůst především před zralostí a sklizní. Celkový odběr hořčíku pšenicí se pohybuje v rozmezí 10-15 kg Mg/ha za rok (Vaněk et al. 2016).

Hořčík hraje klíčovou roli ve fotosyntéze, kde je zastoupen v chlorofylu. Přibližně 12-15 % celkového množství hořčíku v rostlině je obsaženo v chlorofylu a při omezeném příjmu může tento podíl dosahovat až 30 % (Vaněk et al. 2016). Hořčík působí jako kofaktor pro mnoho enzymů zúčastněných ve fotosyntéze, v dýchání a v metabolismu. Například aktivuje klíčový enzym ribulóza-1,5difosfát karboxyláza (RuBisCO) ve fotosyntetickém Calvinově cyklu. Dále je nezbytný pro aktivaci enzymů, které regulují metabolismus fosforu, a to je klíčové pro přenos energie a syntézu nukleových kyselin (Marschner 2012).

Nedostatek hořčíku v rostlině má za následek inhibici růstu kořenů již v raném stádiu vývoje, přičemž růst nadzemních částí rostliny je ovlivněn méně výrazně. Tento nedostatečně vyvinutý kořenový systém negativně ovlivňuje celkový rozvoj rostliny. Dochází k akumulaci sacharózy v listech jako reakce na nedostatek hořčíku (Cakmak & Yazici 2010). Zimolka et al. (2005) poznamenávají, že na listech se objevuje korálkovitá mozaika, která vzniká nesouměrným uspořádáním chlorofylu. V případě zvýšeného nedostatku hořčíku dochází ke snížení růstu rostlin a nižšímu obsahu bílkovin v zrna.

3.2.6 Mikroprvky

Mikroprvky jsou skupinou rostlinných živin s obsahem nižším než 0,05 %, které jsou dnes často uváděné v jednotkách ppm (Vaněk et al. 2016).

Mezi nejdůležitější mikroživiny ve výživě obilovin patří měď, železo, molybden, bor, mangan a zinek.

3.2.6.1 Měď

V půdě se měď vyskytuje v organických i anorganických sloučeninách většinou jako Cu^{2+} . Její celkový obsah v půdě je okolo 30 ppm. V minerální formě se vyskytuje v nerozpustných solích. S organickými sloučeninami vytváří málo rozpustné komplexy, které ale mají velký podíl na pohyblivosti mědi v půdě. Rostliny měď přijímají ve formě kationtu Cu^{2+} . Obsah mědi v rostlině se pohybuje v průměru okolo 2-20 ppm. Nejvíce je zastoupena v kořenech a v chloroplastech (Vaněk et al. 2013).

Měď je nezbytná jako kofaktor různých proteinů a je využívána v enzymatických reakcích nezbytných pro růst plodin. Rostliny s dostatečným obsahem mědi mají větší tvorbu chlorofylu, semen, fotosyntézy a fotolýzy vody. Také jsou více odolné vůči napadení houbovými chorobami. Měď zvyšuje odolnost rostlin vůči suchu.

Rostliny dobře zásobené mědí se projevují větší úrodností, především vyšším počtem zrn v klasu a zvýšenou kvalitou zrna.

Pokud rostliny nemají dostatečný příjem mědi, sníží se jejich růst. Mladší listy se začnou deformovat a na apikálním meristému se začne projevovat nekróza (Saquee et al. 2023).

Podle studie Karamanose et al. (2004) aplikace $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ do 5 kg Cu/ha přineslo vyšší výnosy zrna. Při aplikaci více než 5 kg/ha se výnosy postupně snižovali a začala hrozit toxicita mědi pro rostliny pšenice. Autor uvádí, že při listové aplikaci hnojiva na začátku i na konci fáze prodlužování stonku vede k lepším výnosům zrna.

3.2.6.2 Bor

V půdě se obsah boru pohybuje v rozmezí 30-40 ppm, avšak jeho koncentrace se liší v závislosti na minerálech přítomných v půdě. Bor se vyskytuje ve formě křemičitanů a boritanů, přičemž křemičitanů bývá více rozšířeno. Během procesu zvětrávání se tyto minerály postupně rozkládají a uvolňují kyselinu boritou. Tato forma boru je následně pasivně absorbována rostlinami (Vaněk et al. 2013).

Bor je důležitým prvkem ve tvorbě buněčných stěn a jejich struktury. Většina boru v rostlinách se nachází právě v buněčných stěnách, kde hraje významnou roli. Aktivně se podílí na transportu látek v rostlině, zejména transportu sacharidů z listů do zásobních orgánů. Tím má významný vliv na růst kořenů a plodů, které slouží jako zásobní orgány, rovněž ovlivňuje rychlost fotosyntézy.

Tento prvek je důležitý i ve tvorbě reprodukčních orgánů, kde má vliv na klíčení pylové láčky a na tvorbu semen ve vegetačním vrcholu.

Obiloviny nepotřebují přímé hnojení borem, avšak jsou citlivé na jeho nadbytek. Rozpětí mezi nadbytkem a nedostatkem boru je totiž velmi malé, což může způsobit toxicitu nebo nedostatek tohoto prvku. Průměrný obsah v rostlinách pšenice je potom 3-4 ppm (Černý et al. 2016).

Toxické účinky i nedostatek boru mohou negativně ovlivnit produkci plodin a životní cyklus rostlin tím, že ovlivňují nasazování zrn a vedou k nižšímu výnosu. Nepřítomnost boru v libovolném vývojovém stádiu pšenice má za následek poškození pylových zrn, snížení kvality semen a menší množství zrn na klas (Saqueç et al. 2023).

Při jeho nedostatku dochází k odumírání růstového vrcholu, a to zapříčiňuje intenzivní růst odnoží, které ale rychle odumírá (Zimolka et al. 2005).

3.2.6.3 Mangan

Obsah manganu v půdách je v široké škále od desítek mg Mn/kg až po desetiny procent. Nachází se zde v několika oxidačních stupních, ale rostliny jsou schopny přijímat pouze Mn^{2+} . Jedná se o vodorozpustný a výměnný mangan. Na příjem manganu rostlinami má velký a negativní vliv zvyšování pH a oxidační procesy. Redukční procesy a kořenová sekrece rostlin pozitivně ovlivňuje rozpustnost, a tím i přijatelnost manganu rostlinami.

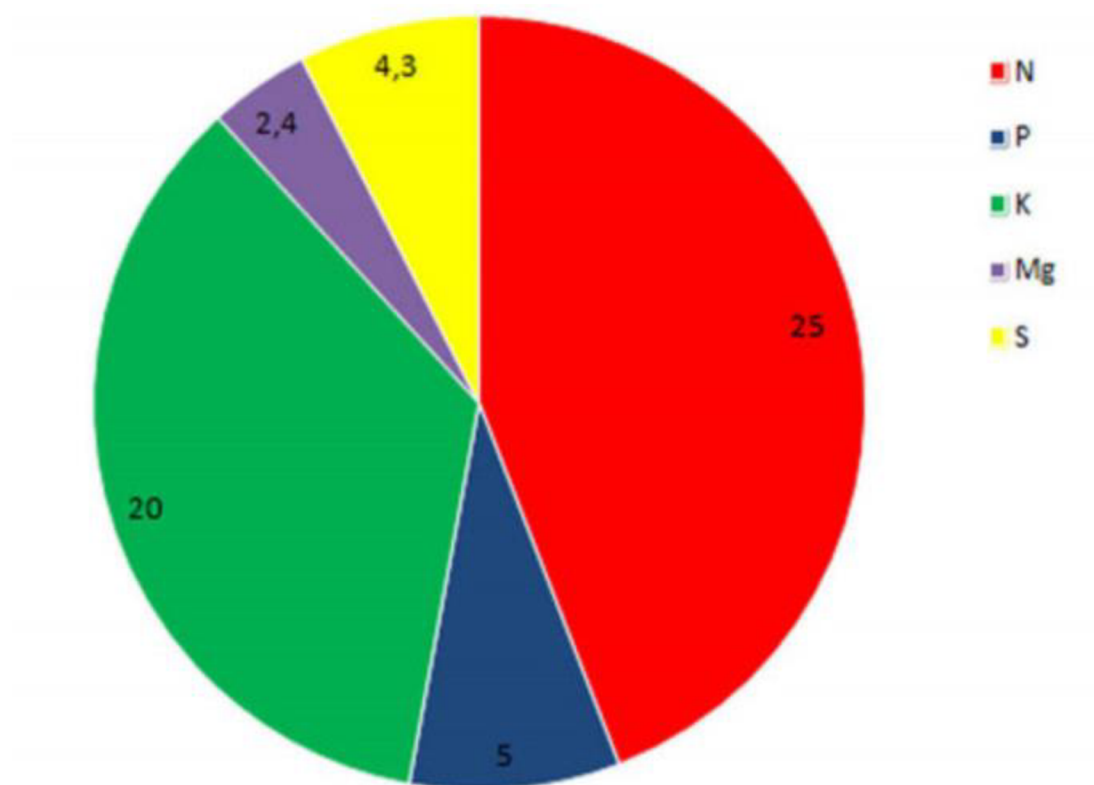
V rostlinách není mangan příliš pohyblivý, a tím je obtížně transportován ze starších orgánů. Proto je při listové aplikaci hnojiv dobré hnojení opakovat. Mangan je v rostlinách využíván jako významný enzymatický aktivátor především při Krebsově cyklu a fotosyntéze II. Důležitou úlohu má i při tvorbě chlorofylu a syntéze vitamínů, hlavně vitamínu C (Saqueç et al. 2023; Vaněk et al. 2007).

Vzhledem k jeho malé pohyblivosti se nedostatek manganu projevuje na mladších listech malými žlutými tečkami. Listy se stáčíjí do středu, kvůli redukci turgoru. Při dozrávání se omezuje tvorba bílkovin (Zimolka et al. 2005).

3.3 Hnojení pšenice

Ozimá pšenice je poměrně náročná na jednotlivé živiny. S ohledem na její pěstování a ve vztahu k půdní úrodnosti je nezbytné zabezpečit výživu na potřebné úrovni a přizpůsobit systém hnojení. Jednak požadavkům ozimé pšenice, ale také podmínkám stanoviště (Černý et al. 2014). Při hnojení pšenice je klíčové zohlednit specifické požadavky jednotlivých odrůd na výživu a musí se brát v potaz předplodina, která může podstatně ovlivnit půdní vlastnosti nezbytné pro růst a pro tvorbu výnosotvorných prvků (Zimolka et al. 2005).

Výnosotvorné prvky se skládají z počtu klasů na jednotku plochy, počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn. Tyto prvky jsou na sobě závislé a vzájemně se ovlivňují, ale i kompenzují. Prvky se začínají vyvíjet sice až v jarním období, nicméně jejich vývoj je možné ovlivnit již před založením porostu především výživou a hnojením (Černý et al. 2014).



Graf č. 1: Odběr živin výnosem zrna (kg/t) (Škarpa et al. 2016)

3.3.1 Hnojení dusíkem

Ozimá pšenice se řadí k plodinám náročným na dusík. Především ve fázi od konce odnožování do fáze mléčné zralosti, kdy v rostlinách pšenice probíhá intenzivní růst, je vysoká potřeba dusíku (Faměra 1993).

Potřebný růst rostlin, který působí na výnos a kvalitu zrna je ovlivňován především dusíkem, proto je důležité správně stanovit jeho celkovou dávku v minerálních hnojivech. Podstatné je i správně určit dobu aplikace (Černý et al. 2014). Vaněk et al. (2016) uvádí, že celkovou dávkou dusíku je dobré rozdělit, aby bylo možné hnojit přesněji a upravovat dávku hnojiv podle vývoje povětrnostních podmínek a stavu porostu. Dávka dusíku rozdělujeme na základní hnojení a přihnojení během vegetace. Aplikace dělené dávky se používá, protože dusík je poměrně mobilní prvek a při aplikaci jedné velké dávky by docházelo k velkým ztrátám dusíku. Tímto rozdělením lze lépe dodávat rostlinám dusík dle jejich aktuální potřeby. Dalším důvodem rozdělení je skutečnost, že mladé rostliny při nadbytku dusíku v prostředí vytvářejí slabší kořenový systém.

3.3.1.1 Základní hnojení

Za předpokladu, že v osevním postupu byla jako předplodina pro pšenici dána jetelovina, nebo že byl k předplodině aplikován chlévský hnůj, nemusí být aplikace dusíku v základním hnojení zapotřebí. Dusíkem by se mělo hnojit na podzim převážně v situaci, kdy obsah minerálního dusíku nedosahuje úrovně 10 mg/kg zeminy. Tento obsah dusíku se stanovuje ještě před začátkem setí (Škarpa et al. 2016). Zimolka et al. (2005) píše, že pšenice při výnosu 6 t zrna potřebuje 150 kg dusíku, ale během podzimu odčerpá nanejvýš 20 kg dusíku.

Obsah N_{\min} v půdě (mg/kg)	Dávka dusíku (kg/ha)
do 5,0	45
5,1–9,0	30
9,1–13,0	15
nad 13,0	0

Tabulka č.2: Dávky dusíku k základnímu hnojení pšenice ozimé podle N_{\min} v půdě (Škarpa et al. 2016)

3.3.1.2 Hnojení během vegetace

Tento způsob hnojení se provádí aplikací na list. Tímto způsobem se aplikuje převážná část dusíkatých hnojiv. Jednotlivé aplikace se provádí v období, kdy tak lze ovlivnit tvorbu výnosotvorných prvků. Podle těchto období se rozlišuje hnojení regenerační, produkční a kvalitativní (Vaněk et al. 2016).

Jednotlivé aplikace jsou prováděny v různých období, a proto každá ovlivňuje jiné výnosotvorné prvky. Regenerační hnojení tak podporuje tvorbu odnoží, zatímco počet zrn v klase je ovlivněn produkčním hnojením. Jako poslední hnojení se provádí hnojení kvalitativní, které působí na hmotnost zrn v klase a na obsah dusíkatých látek v zrnu.

Na jednotlivé dávky má vliv i to, jakým způsobem jednotlivé odrůdy dosahují výnosu. U některých odrůd se jedná o vyšší počet odnoží, jiné utvářejí výnos pomocí vyšší produktivity klasu (Ryant et al. 2017).

3.3.2 Hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem

Hnojení těmito živinami by mělo proběhnout ještě před setím ozimé pšenice, kdy by měly být i zapraveny do půdy. Stanovení dávky těchto živin se odvíjí od jejich přístupné zásoby v půdě. Je nezbytné zajistit, aby výnos zrna byl vytvářen především pomocí živin z půdy a hnojením se zajistilo jejich zpětné doplnění do půdy (Černý et al. 2014).

Dle Vaňka et al. 2013 by se tyto živiny měly aplikovat každoročně, podle zásoby těchto živin lze časový interval upravit, kdy fosfor lze aplikovat až na tři roky a draslík na dva, ale pouze pro střední a těžké půdy. Při nízkém obsahu živin v půdě nelze očekávat, že při zvýšení dávky hnojiva dojde k rychlému a výraznému zvýšení výnosu.

Fosforečná a draselná hnojiva se aplikují převážně společně pomocí jednosložkových nebo kombinovaných hnojiv. Fosforečná hnojiva se používají především ty, které obsahují fosfor ve vodorozpustné formě, proto je důležité zajistit správné pH půdy před hnojením fosforem, aby nedošlo k vysrážení jeho vodorozpustné formy. Nejčastější úprava pH půdy se provádí vápněním. Potřeba fosforu pro ozimou pšenici se pohybuje okolo 20-30 kg P/ha. Kvůli pomalému vstupu fosforečných aniontů do rostlin je mimokořenová výživa (aplikace na list) neefektivní.

Hnojení draslíkem vchází ze stejných principů jako hnojení fosforem, nicméně při srovnání těchto živin jsou vidět jejich odlišnosti. Hlavním rozdílem je mnohem větší potřeba draslíku u pšenice, která činí více než 100 kg K/ha. Pokud je porost dobře zapojen, může být potřeba draslíku až 150 kg K/ha. Stejně jako fosfor je v podzimním a zimním období využití

draslíku nižší, nicméně rostliny vyžadují draslík již po vytvoření kořenů, neboť v zásobních látkách se vyskytuje jen malé množství. Rostliny mají největší příjem draslíku v období intenzivního růstu, tudíž je velice důležitá jeho dostupnost v jarním období. Oproti fosforu bývá v půdě více pohyblivý a rostlinami je nejlépe přijímán v tekuté formě. To se musí zohlednit při výběru hnojiva.

Odběr hořčíku pšenici činí 10-15 kg Mg/ha, a to představuje desetinu odběru draslíku a dusíku. Kvůli vysoké pohyblivosti hořčíku v půdě je vhodné aplikaci rozdělit na dvě dávky. První dávka se aplikuje na podzim s draselnými hnojivy, zatímco druhá dávka se aplikuje na jaře současně s dusíkatými hnojivy. Hořčík se může do půdy dostat i při vápnění, pokud je použit dolomit nebo dolomitický vápenec. Vápenatá hnojiva jsou převážně uhličitaná, které se pomalu rozpouštějí ve vodě a jejich působení je pomalé (Ducsay & Provazník 2018; Černý et al. 2014; Škarpa et al. 2016).

3.3.3 Hnojení sírou

Dostačující množství síry pro pšenici se pohybuje v rozmezí 30-40 kg/ha. Nutnost přísunu síry pšenici je především kvůli zmenšujícímu se obsahu síry v půdě, ale také kvůli jejímu vlivu na výnos pšenice. Ovlivňuje i využití dusíku, převážně nitrátové formy a utváření určitých skupin bílkovin a aminokyselin.

Síra se podílí na tvorbě výnosu, především udržováním fertálních odnoží a také zvýšením zrn v klase (Černý et al. 2020). Proto je nejvhodnější aplikace v období odnožování až do počátku sloupkování (Ryant et al. 2017).

Černý et al. (2014) dále uvádí, že převážná část síry se aplikuje během jarního období, přesto bývá doporučeno hnojit i na podzim, pokud je obsah síry v půdě do 10 ppm. Při obsahu do 5 ppm je to už přímo nutné. Síra se pak nejčastěji aplikuje s dusíkatými hnojivy s obsahem síranu amonného nebo lze využít hořečnatá a draselná hnojiva, kde je síra již obsažena.

3.4 Dusík

Dusík je pátým nejrozšířenějším prvkem na Zemi, a dokonce v celé sluneční soustavě. Patří mezi šestici základních prvků jako uhlík, vodík, dusík, kyslík, fosfor a síra. Je druhou nejvýznamnější živinou pro život hned po uhlíku a čtvrtým nejzastoupenějším prvkem v buněčné biomase (Gonzalez-Lopez & Gonzalez-Martinez 2021).

Dusík je nezbytný pro tvorbu biomasy a pro životní funkce všech organismů. V rostlinách zastává především stavební a metabolickou funkci, ale i transportní a zásobní funkci (Mikanová et al. 2013). Organismy využívají dusík jako stavební látku pro tvorbu mnoho důležitých látek jako aminokyseliny, bílkoviny, nukleové kyseliny, aminocukry, chlorofyl a jiné (Balík et al. 2012).

3.4.1 Dusík v půdě

Celkový obsah dusíku v ornici se pohybuje v rozmezí 0,03-0,5 % s průměrnými hodnotami kolem 0,1–0,2 % (Balík et al. 2012). To představuje v orniční vrstvě přibližně 3000-9000 kg N/ha. Většina dusíku v půdě existuje v organické formě (98-99 %), kterou rostliny samy nedokážou přímo přijímat. Zbylých 1-2 % tvoří minerální dusík, a to především ve formách amonné (NH_4^+) a nitrátové (NO_3^-) (Balík et al. 2012; Mikanová et al. 2013). Z těchto forem dominuje nitrátová forma dusíku (NO_3^-) (Vaněk et al. 2016).

Primárním zdrojem dusíku v půdě není samotná půda, ale atmosféra. Dusík do půdy vstupuje skrze srážky, spady, fixaci mikroorganismy, posklizňové zbytky a organická i průmyslová hnojiva (Vaněk et al. 1997). Fixace vzdušného dusíku je považována za klíčový proces a dle Vaňka et al. (2016) představuje nejdůležitější zdroj dusíku v biosféře.

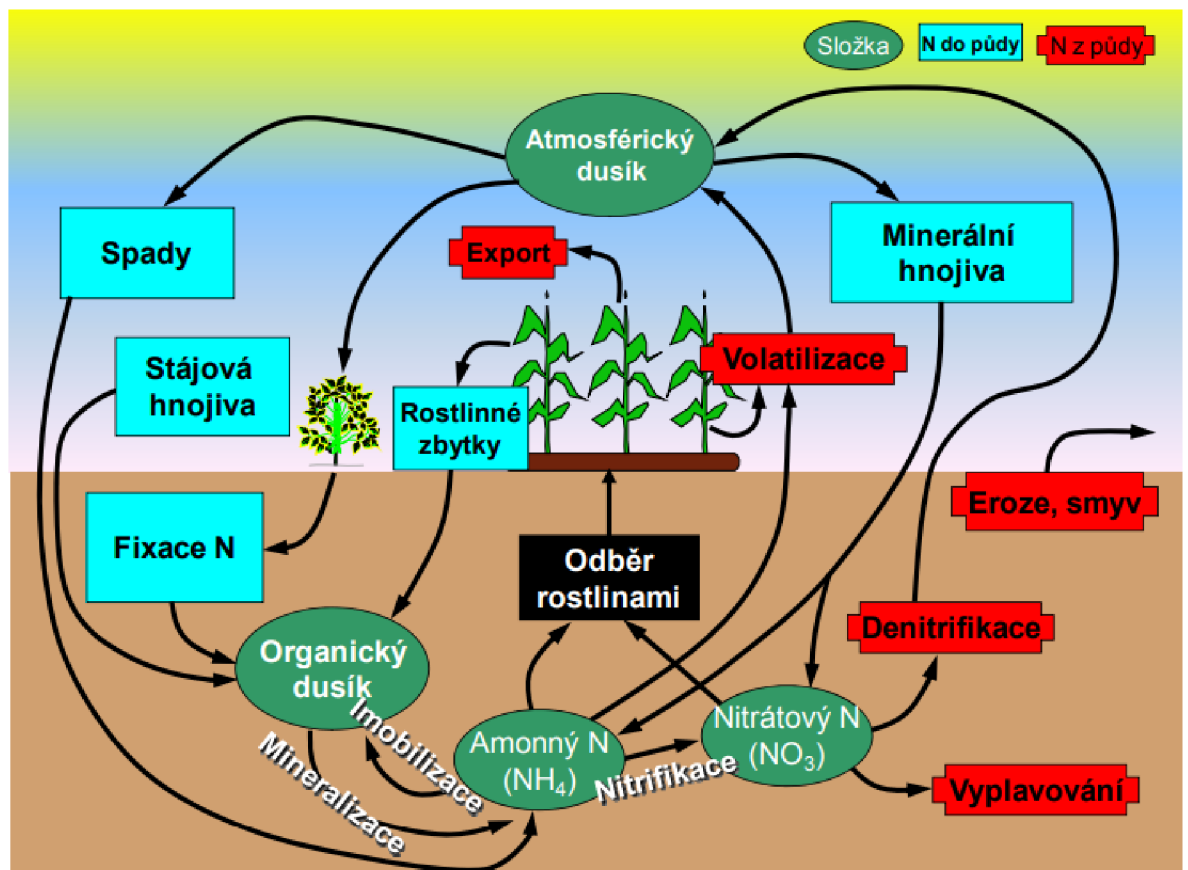
Srážky, jak mokré, tak suché do půdy dopravují 5-60 kg N/ha/rok a toto množství je ovlivněno úrovní znečištění ovzduší. Biologická fixace molekulárního dusíku přidává až 300 kg N/ha/rok. Navzdory těmto přírodním zdrojům dusíku rostliny spotřebovávají významné množství, a proto je pro dosažení optimálních výnosů nezbytná aplikace organických a minerálních hnojiv (Mikanová et al. 2013).

V atmosféře se dusík vyskytuje ve formě N_2 , která je pro rostliny nedostupná. Organismy jsou omezeny ve zpracování molekulárního dusíku, kvůli jeho inertní formě v důsledku silných trojitých vazeb atomů v molekulách N_2 . Organismy potřebují dusík ve formě reaktivní, který je pro ně přístupný a zpracovatelný (Harrison 2003).

3.4.2 Koloběh dusíku

Jako koloběh dusíku označujeme pohyb dusíku mezi atmosférou, biosférou a geosférou v různých formách. Tento koloběh je jeden z hlavních biochemických cyklů (Harrison 2003).

Koloběh dusíku je rozdělen mezi tři hlavní procesy a to nitrifikaci, denitrifikaci a fixaci N_2 . Těchto procesů se účastní mikroorganismy, které se podle účasti na daných procesech dělí na nitrifikátory, denitrifikátor a fixátory dusíku (Stein & Klotz 2016). Dle Vaňka et al. (2016) se mikroorganismy fixující vzdušný dusík dělí na volně žijící a symbiotické mikroorganismy.



Obrázek č.1: Schéma koloběhu dusíku (Balík et al. 2012)

3.4.2.1 Mineralizace

Mineralizace dusíku je převážně řízena aktivitou mikroorganismů, které odbourávají organické sloučeniny obsahující dusík na jednodušší anorganické formy – amonné iony (NH_4^+) a dusičnany (NO_3^-). Tento proces je závislý na faktorech jako je obsah organické hmoty v půdě, teplota, pH a vlhkost (Smith et al. 2011; Schimel & Bennett 2004).

Jedním z klíčových faktorů ovlivňujících mineralizaci dusíku je obsah organické hmoty v půdě. Organická hmota slouží jako substrát pro mikroorganismy, které jsou zodpovědné za rozklad organických sloučenin a uvolňování dusíku. Studie (Davidson & Janssens 2006)

zdůrazňují, že změny v obsahu organické hmoty mohou výrazně ovlivnit tempo mineralizace dusíku.

Teplota půdy je dalším důležitým faktorem ovlivňující mineralizaci dusíku. Výzkumy ukazují, že optimální teploty pro aktivitu mikroorganismů odpovědných za mineralizaci dusíku jsou specifické pro jednotlivé druhy. Různé teplotní podmínky mohou ovlivnit rychlost minerálního uvolňování dusíku a jeho dostupnost pro rostliny (Yanai et al. 2005).

3.4.2.2 Nitrifikace

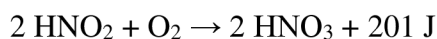
Nitrifikace je proces, kdy se za pomoci oxidace přeměňuje amonná forma dusíku na nitrátovou. Tento proces je velice významný pro rostliny, které tak mohou čerpat dusík z půdy i bez působení půdní mikroflóry, která jinak působí konkurenčně.

Tento proces probíhá za pomoci autotrofních mikroorganismů. Jedná se o skupinu bakterií, které jsou nazývány jako nitrifikační bakterie. Tyto bakterie využívají jak dusík, tak i uvolňovanou energii během oxidačních procesů (Apfelhater 1991; Vaněk et al. 2016).

Proces nitrifikace se dělí na dva stupně. V prvním stupni se amonný dusík oxiduje na dusitany (nitrity). V tomto kroku přeměňují dusík především bakterie z rodů *Pseudomonas* a *Nitrosomonas*.



V druhém stupni se nitrity dále oxidují na dusičnany (nitráty). Tato část procesu probíhá především za pomoci bakterií z rodů *Nitrobacter* a *Nitrosobolus*.



Rychlost těchto přeměn se odvíjí podle podmínek v půdním prostředí. A to při teplotě 20–35 °C. Při teplotě pod 5 °C proces už prakticky neprobíhá. Vlhkost půdy 60-70 % MVK a optimální půdní reakce se pohybuje v rozmezí 5,0-8,5 pH (Balík 2007). Dle Matulky (1997) při pH menších než 5 nitrifikace v podstatě už neprobíhá. V ojedinělých případech při pH vyšším než 7,8 může dojít k hromadění dusitanů (nitritů), a to může vést k narušení procesu nitrifikace. Tento jev bývá spojený s vyšším výskytem NH_3 v půdě.

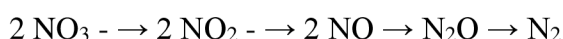
Amonná forma dusíku (NH_4^+) s kladně nabitými ionty je sorbována do záporně nabitých jílových částic a pudní organické hmoty. Díky kladnému náboji je amonný dusík odolnější vůči

vyplavování nebo vyluhování dešťovými srážkami. Zato nitrátová forma dusíku se záporně nabitými ionty není sorbována půdními částicemi, tudíž je snadněji vyplavována do spodních vod, a to vede ke snížení půdní úrodnosti (Harrison 2003).

Z této příčiny je snaha zpomalit proces nitrifikace v řádu týdnů. Hlavně omezení aktivity nitrifikačních bakterií v prvním stupni nitrifikace neboli oxidace amonného dusíku na nitrity. V důsledku zpomalení může nitrifikace začít ve fázi, kdy bude dusík nejvíce přijímán rostlinou, a tím bude i mnohem lépe využit dusík z hnojiv (Balík 2007; Vaněk et al. 2016). Vaněk et al. (2016) uvádí jako nejvíce uplatňované inhibitory dikyandiamid (DCD), které lze označovat také jako DIDIN, a nitrapyrin 2-chlor-6-(trichlormetyl)-pyridin.

3.4.2.3 Denitrifikace

Tento proces je převážně způsoben heterotrofními mikroorganismy. Tito denitrifikátoři jsou fakultativně anaerobní bakterie, které spojují oxidaci lehce rozložitelných látek s redukcí nitrátů. Při této redukcí vznikají z nitrátů dusitany, oxid dusnatý, oxid dusný a elementární dusík. Tento proces charakterizuje tato rovnice:



(Ingllet et al. 2005)

Při těchto přeměnách nitrátu na plynné formy dusíku dochází k úniku těchto produktů do atmosféry čili k těkání, což znamená ztráty dusíku z půdy (Matulka 1997).

Denitrifikace probíhá při nedostatku kyslíku, tudíž mikroorganismy využívají nitráty hlavně jako zdroj kyslíku, který pak dále využívají při katabolických pochodech (Matula 1997; Harisson 2003; Ingllet et al. 2005). Apfelthaler (1991) uvádí jako nejznámější rody bakterií např. *Pseudomonas*, *Achromobacter*, nebo *Micrococcus*.

Rozhodující faktory pro denitrifikaci je přítomnost nitrátů a nedostatek kyslíku v půdě. Avšak klíčový je dostatek lehce rozložitelných organických látek. (Vaněk et al. 1997; Vaněk et al. 2016). Apfelthaler (1991) dále uvádí jako další důležité podmínky vlhkost půdy, která závisí na plné vodní kapacitě a na půdní reakci. Ta se pohybuje v rozmezí pH 6-6,5, tudíž v neutrálním prostředí. Při pH nižším než 5 denitrifikace už prakticky neprobíhá.

Denitrifikátoři mohou být aktivní i při teplotách, které se pohybují pod 10 °C, to je především období, kdy rostliny nevyužívají nitráty vyskytující se v půdě (Apfelthaler 1991). Jedná se tedy o konec vegetace koncem léta a mimovegetační období na podzim. V tomto období může kromě nízkých teplot nastat také zvýšení množství vody v půdě, a tím hrozí vyplavení dusíku a nitrátů z půdy, avšak to napomáhá vytvářet anaerobní prostředí, a tak

vznikají další vhodné podmínky pro denitrifikaci. Tím nastávají velké ztráty dusíku, a to může negativně ovlivnit životní prostředí, ale hlavně vést k neúčinnosti hnojení (Vaněk et al. 1997). Podle Matulky (1997) mohou být v důsledku denitrifikace ztráty z aplikovaných hnojiv přesahovat až 15 %. Pro co nejlepším využití dusíkatých hnojiv a samotného dusíku je nejlepší aplikace zejména začátkem vegetace a poté i v průběhu (Vaněk et al. 1997).

V půdě probíhá kromě biologické denitrifikace i denitrifikace chemická, která ovšem není tak významná. V této chemické reakci se odehrává redukce nitritů (NO_2^-). Tuto reakci ale nezajišťují denitrifikační bakterie, nýbrž účast amidů (Vaněk et al. 1997; Vaněk et al. 2016).

3.4.3 Dusík v rostlinách

Dusík představuje klíčový prvek pro růst a vývoj zemědělských plodin, přičemž rostliny obsahují více dusíku než jakýkoli jiný prvek, kromě uhlíku, vodíku a kyslíku. Tato živina hraje nezastupitelnou roli v mnoha důležitých funkcích a sloučeninách nezbytných pro život. Dusík se nachází v různých částech rostliny, včetně listů, zrn, rostlinných tkání a kořenů v různých formách. Může fungovat jako součást struktury rostliny a zároveň se účastnit klíčových životních procesů.

Množství dusíku v sušině rostlin se průměrně pohybuje v rozmezí 1–3 %. Dusík je zvláště obsažen v bílkovinách, nukleových kyselinách, chlorofylu, chitinu a enzymech (Mikálková et al. 2013; Buchholz nedatováno).

Aminokyseliny jsou základními stavebními kameny peptidů a polypeptidů (proteinů), které jsou důležitou součástí všech živých buněk a rostlinných tkání. Rostlinné bílkoviny obsahují 15–18,9 % dusíku. Nachází se především v mladých orgánech, dělicích pletivech, enzymech, nukleoproteinech a dalších látkách, které hrají důležitou roli v růstu rostlin a tvorbě hlavních orgánů a celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetačního období se v semenech produkuje větší množství zásobních bílkovin (Černý et al. 2011). Tyto zásobní bílkoviny v zru tvoří až 10 % obsahu.

Dusík hraje rovněž významnou úlohu v chlorofylu, zeleném pigmentu nezbytném pro fotosyntézu. Tento proces umožňuje přeměnu sluneční energie na chemickou, což je klíčové pro energetický metabolismus rostlin. Rostliny disponující dostatečným zásobením dusíku, vykazují zvýšenou rychlost fotosyntézy a projevují tak intenzivnější růst.

Dusík je vázán v nukleových kyselinách, tvořící DNA, která má klíčový význam při přenosu genetické informace a zabezpečuje tak dědičnost klíčových vlastností rostlin (Marschner 2012; Vaněk et al. 2016).

3.4.3.1 Příjem dusíku

Rostliny jsou schopné přijímat dusík ve formě jak kationtu NH_4^+ , tak i aniontu NO_3^- . Množství přijímaného dusíku závisí hlavně na jeho koncentraci v půdním roztoku a odpovídá fyziologickým potřebám rostliny. Na příjem má z vnějších podmínek největší vliv pH. V kyselějším prostředí převažuje příjem NO_3^- a v neutrálním až alkalickém prostředí je příjem obou iontů vyvážený nebo se zvyšuje příjem NH_4^+ . Dalším významným vlivem je teplota, kdy se při nižších teplotách omezuje příjem a zároveň i využití NO_3^- .

V půdách s aktivní biologickou činností převažuje obvykle přijímání nitrátové formy dusíku. Tato převaha je způsobena rychlou oxidací amonného dusíku na nitrátový, čímž vzniká pohyblivější forma dusíku. Tato nitrátová forma se snáze dostává do rizosféry prostřednictvím hmotového toku půdní vody, což zajišťuje dostupnost pro rostliny.

Amonný iont je rostlinami přijímán z velké části pomocí difúze a probíhá převážně v blízkosti kořenové špičky. To je způsobeno nízkou koncentrací NH_4^+ v půdním roztoku, a to způsobuje, že rostliny přijímají tuto formu dusíku zejména při kontaktu kořínků s pevnou půdní fází. Rostliny mohou přímo využívat NH_4^+ k syntéze aminokyselin, avšak pro jeho začlenění do rostliny je nezbytný dostatečný tok organických látek z listů do kořenů. Při preferovaném zásobování rostliny amonnou formou dusíku se zvyšuje obsah volných aminokyselin nejen v kořenech, ale i v nadzemní biomase.

Jak bylo již uvedeno, nitrátový dusík má vyšší pohyblivost a je lépe dostupný rostlinám, ale jeho příjem je pro rostliny energeticky náročnější ve srovnání s amonnou formou. Tato energetická náročnost vychází z potřeby rostlin redukovat nitrátový dusík na dusičnany, které jsou následně znovu redukovány na amonný dusík pomocí enzymu nitroreduktázy. Teprve amonná forma dusíku je zabudovaná do rostlinných pletiv. Převážným způsobem příjmu NO_3^- je společně s vodou prostřednictvím kořenového vlášení. Rostliny s preferenční výživou NO_3^- projevují zvýšenou tvorbu organických aniontů, což vede k intenzivnějšímu příjmu kationtů, zejména K^+ , Ca^{2+} a Mg^{2+} (Balík et al. 2012; Vaněk et al. 2016).

Výzkumy provedené Näsholmem et al. (2000) naznačují, že rostliny jsou schopny přijímat dusík i ve formě organických sloučenin jako jsou aminokyseliny. Tento způsob příjmu dusíku nevyžaduje od rostlin žádnou energetickou náročnost, avšak jeho rychlost je nižší. Kořeny přijímají organické formy dusíku dvakrát pomaleji než NO_3^- a čtyřikrát pomaleji než NH_4^+ (Gärdenäs et al. 2011).

3.4.3.2 Nedostatek dusíku

Pokud rostlině chybí dusík již od počátku její vegetace, tak rostlina přestane v dostatečné míře vytvářet stavební a funkční bílkoviny. V tomto stavu netvoří dostatečně klíčivé orgány jako jsou listy, stébla, lodyhy a celkově je růst rostliny omezen (Balík et al. 2012; Vaněk et al. 2016).

Rostliny dále začnou rozkládat bílkoviny ve starších částech rostlin a poté je odvádějí do mladších částí rostliny pro tvorbu mladších listů a semen. Při rozkladu bílkovin ovšem dochází k zmenšování chloroplastů a zároveň s tím se snižuje obsah chlorofylu. Následkem snižování obsahu chlorofylu začínají nejstarší listy žloutnout a při větším nedostatku dusíku mohou listy začít usychat nebo až opadat (Wang et al. 2000). Vaněk et al. 2016 dále píše, že nedostatek chlorofylu zabraňuje průběhu fotosyntézy v dostatečné míře a rostliny tak nejsou schopné utvářet odpovídající množství biomasy. U rostlin tudíž nedochází k řádné tvorbě kořenového systému, a to negativně působí na schopnost přijímání živin v dostatečné míře.

Problémy s nedostatkem dusíku se také odvíjí od toho, ve které fázi růstu ho má rostlina nedostatek. Tento faktor negativně působí na tvorbu výnosu. Například ve fázi růstu odnoží není rostlina schopna vytvoření jejich většího množství. Pokud rostliny trpí nedostatkem dusíku v době vytváření zrn, tak se počet zrn v každém květenství snižuje. Důsledkem toho květenství není schopné vytvořit vysoký výnos, neboť je květenství krátké a řídké. Zrna mají menší hmotnost. Rostliny s nedostatkem dusíku mají kratší vegetační dobu, a to způsobuje dřívější zralost. V pozdějších fázích vegetace se omezuje tvorba bílkovin v zrnu. Tyto faktory poté vedou k nižším výnosům a k jeho menší kvalitě (Fecenko et Ložek, 2000; Zimolka et al. 2005).

3.5 Použitá Hnojiva

Tato kapitola rozebírá hnojiva použitá při polním pokusu.

3.5.1 Organická hnojiva

Organická (statková) hnojiva jsou vedlejším produktem živočišné výroby. Skládají se ze zvířecích exkrementů, steliva a zbytků krmiva. Produkce těchto hnojiv je závislá na množství dobytka v živočišné výrobě. V dnešní době je ovšem výroba statkových hnojiv v ČR nedostačující, a to kvůli stále se snižujícímu stavu dobytka. Složení a kvalita těchto hnojiv se odvíjí od druhu zvířat, jejich krmení a ošetřování, ale také závisí na živném režimu půd a na stáří hnojiv. Tyto hnojiva mají vysokou hnojivou hodnotu a dodávají do půdy makro a mikroprvky, organické látky, mikroorganismy, stimulační, růstové a hormonální látky. Při jejich pravidelné aplikaci má půda lepší fyzikální stav, lépe přijímá vodu a udržuje živiny. Je i odolnější vůči změnám pH. Hnojiva umožňují lepší dávkování minerálních hnojiv. Statková hnojiva se neaplikují každý rok, protože jejich působení je dlouhodobější a pozvolnější (Vaněk et al. 2016; Vaněk et al. 2007).

Mezi organická hnojiva patří stájová, do kterých se řadí hnůj, močůvka a kejda. Dále sem patří rostlinná hnojiva jako sláma, zelené hnojení a komposty (Vaněk et al. 2012).

3.5.1.1 Hnůj

Chlévský hnůj vzniká kvašením, tlením a hnitím chlévské mrvy, která se skládá ze steliva, výkalů a zbytků krmiva. Tyto procesy rozkládají mrvu a přetvářejí její složky na kvalitnější. Organické látky se nejvíce rozkládají za přístupu vzduchu. Při těchto podmínkách se dusíkaté organické látky přeměňují na NH_3 a uhlíkaté organické látky na CO_2 . NH_3 není výrazně poutána v rozkládající se hmotě, může zde dojít k vysokým ztrátám dusíku. Z tohoto důvodu je potřeba omezit přístupu vzduchu, nesmí se ovšem omezit úplně, nýbrž by to negativně ovlivnilo kvalitu hnoje (Vaněk et al. 2007).

Hnůj je kromě dusíku bohatý i na další prvky jako je fosfor, draslík, hořčík, síra a další stopové prvky, které pocházejí z potravy hospodářských zvířat (Font-Palma 2019). Mimo ztráty dusíku, které tvoří 30-40 % může docházet i ke ztrátám živin jako je právě fosfor, u kterého to činí kolem 5 % a ztráty draslíku mohou být 12-20 %. U draslíku jsou ztráty způsobeny srážkami, kterého ho vymývají. (Vaněk et al. 2007).

Při běžném zastoupení plodin v osevním postupu se aplikuje 35-40 t hnoje na hektar. Jedna dávka hnoje na pozemek vystačí obvykle 3-5 let. Na lehčích půdách se počítá s kratším

intervalem než na půdách těžších. Největší účinek má hnůj první rok po aplikaci, každý další rok jeho účinek klesá o 50 %. Jeho účinnost se také snižuje při pozdním zapravení do půdy, a to velmi rychle, kdy už po šesti hodinách ztráty činí 3-16 % a po čtyřech dnech až o 14–36 %. Proto je důležité hnůj zapravit co nejdříve. Legislativa poté udává lhůtu nejdéle do 48 hodin (Vaněk et al. 2016; Vaněk et al. 2007).

3.5.1.2 Kaly z čistíren odpadních vod

Čistírenské kaly mají vysoký obsah organických látek a živin. Většina organických látek v kalech je tvořena odumřelými mikroorganismy, které se podílejí na čištění vody. Díky jejich následné mineralizaci se do půdy uvolňují živiny, především dusík a fosfor, který jsou v kalech nejhojnější. Oproti jiným organickým hnojivům neobsahují kaly velké množství draslíku.

Ke hnojení nejsou vhodné všechny kaly kvůli obsahu rizikových prvků. Pro předejetí kontaminace půdy a následně i rostlin se musí dodržovat limity obsahu přístupných rizikových prvků. Do rizikových prvků se řadí například měď, zinek, molybden, nikl, arsen a rtuť (Kubík 2009).

Dusík v čistírenských kalech se vyskytuje ve formě organické i minerální. Minerální forma je obsažena jako amonný i nitratový dusík. Koncentrace minerálního i organického dusíku se odvíjí od způsobu ošetření a manipulací při použití kalů. Při anaerobním ošetření kalu se až 90 % minerálního dusíku skládá z amonné formy. Minerální dusík představuje z celkového obsahu ve stabilizovaném a odvodněném kalu 10 %. V tekutých kalech může být obsah minerálního dusíku 25-50 %. Odvodnění má tedy velký vliv na minerální dusík v kalu. Organický dusík je zastoupen především aminokyselinami, které jsou ovlivněny obsahem bílkovinných látek. Na obsah organického dusíku má velký vliv odvodnění, neboť jeho velká část je vázána k pevným částicím (Černý 2010).

3.5.2 Minerální hnojiva

Minerální (průmyslová, koncentrovaná) hnojiva jsou převážně výrobky chemického průmyslu. Při výrobě se omezuje množství vedlejších surovin, tím se koncentruje obsah živin daného prvku hnojiva. Tyto hnojiva jsou vyráběna z přírodních zdrojů jako jsou například fosfáty, vápence apod. Dusík se získává přímou syntézou amoniaku z dusíku a vodíku. Průmyslová hnojiva se mohou prodávat v různých formách. Podle skupenství mohou být tuhá nebo kapalná. Podle výroby mohou být smíšená nebo kombinovaná a dle obsahu živin se rozdělují na jedno či vícesložková hnojiva (Vaněk et al. 2016; Vaněk et al. 2007).

3.5.2.1 Ledek amonný s vápencem 26-27,5 % N

Vyrábí se z dusičnanu amonného a mletého vápence. Tyto hnojiva obsahují kolem 27 % dusíku a jeho celkový obsah je rozdělen na 50 % nitrátové a 50 % amonné formy. Jedná se o nejpoužívanější hnojivo u nás. Lze jej aplikovat při předseťové přípravě, ale i na přihnojení během vegetace. Tato univerzálnost je možná díky obsahu nitrátové formy, která působí rychle a zároveň obsahu amonné formy, která působí pomaleji. Jeho další prioritou je možnost použití vyšší dávky, a tím omezením vjezdů do porostů. LAV se může aplikovat na veškeré půdy, ale doporučuje se používat především na méně činné a těžší půdy s nižším pH, kde jiná dusíkatá hnojiva nedosahují velkého účinku (Vaněk et al. 2007).

3.5.2.2 Trojitý superfosfát 20-21 % P

Vyrábí se rozkladem surových fosfátů kyselinou fosforečnou. Výsledný produkt obsahuje 20-21 % fosforu a jeho většina je vodorozpustná.

Stejně jako jednoduchý superfosfát se jedná o univerzální hnojivo pro předseťovou přípravu. Na rozdíl od jednoduchého superfosfátu má ten trojitý vyšší obsah fosforu a neobsahuje síran vápenatý, tudíž není zdrojem síry jako jednoduchý superfosfát (Vaněk et al. 2016).

3.5.2.3 Draselná sůl

Z 96 % je tvořena chloridem draselným. Lze jej aplikovat ve formě granulované nebo krystalické. Krystalická forma se poté často používá při výrobě kapalných a směsných hnojiv.

Kvůli obsahu chloru, které činí až 47 % by se hnojivo nemělo používat k rostlinám citlivým na chlor. Jinak se jedná o univerzální hnojivo, které lze použít jak pro předseťovou přípravu, tak při orbě (Vaněk et al. 20012).

4 Metodika

4.1 Dlouhodobý polní pokus

V praktické části bakalářské práce byly analyzovány vzorky z dlouhodobých stacionárních pokusů, které byly založeny v roce 1996 katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Tyto pokusy se nacházejí na pěti různých stanovištích v České republice, každé stanoviště má odlišné půdně-klimatické podmínky.

V této bakalářské práci byly vyhodnocovány výsledky z těchto pokusných stanovišť. Přesněji ze stanoviště Praha Suchdol s rozlohou parcely 60,5 m² a stanoviště Červený Újezd s rozlohou parcely 80 m².

V pokusu jsou do osevního postupu zařazeny tři plodiny, které jsou seřazeny v následujícím sledu: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen. Na stanovišti Červený Újezd využívají místo brambor silážní kukuřici. Tato změna je zapříčiněna agrotechnickými možnostmi pracoviště.

4.1.1 Hnojení pokusu

Za tříletou rotaci plodin se na všech variantách hnojí stejnou dávkou dusíku 330 kg/ha. Výjimkou je varianta kontroly, která se vůbec nehnojí.

Aplikace organických hnojiv (chlévkový hnůj, čistírenské kaly, sláma) probíhá na podzim vždy pod brambory, v Červeném Újezdu vždy pod kukuřici. Pro potřebu pokusu jsou na všech stanovištích používány kaly ze stejné čistírny odpadních vod. Hnůj a sláma jsou brány z jednotlivých stanic.

Fosforečná a draselná minerální hnojiva jsou aplikována ke všem plodinám na podzim. Dusíkatá minerální hnojiva se aplikují k bramborům a k ječmeni ještě před založením porostu. U pšenice je poté dávka dusíku rozdělena na dvě poloviny do regeneračního a produkčního přihnojení. Přesné dávky živin aplikovaných v hnojivech jsou uvedeny v tabulce č. 2. Fosfor byl aplikován ve formě trojitého superfosfátu, draslík jako draselná sůl a pro aplikaci minerálního dusíku byl použit ledek amonný s vápencem.

Na pokusu zastupuje každá varianta jeden typ hnojiva a v této práci se srovnává šest různých variant + kontrola.

4.1.1.1 Kontrola

Tato varianta není ošetřována žádnou formou hnojiv. Slouží pro porovnání s ostatními variantami, které jsou hnojeny určitým typem hnojiv.

4.1.1.2 Kal

Na tuto variantu byly použity jako organická hnojiva kaly z čistírny odpadních vod, kdy na všechny pokusné pozemky byly použité kaly ze stejné ČOV. Kaly byly aplikovány na podzim pod brambory či kukuřici v dávce, která odpovídá 330 kg N/ha za celou rotaci všech tří plodin.

4.1.1.3 Hnůj

Tato varianta se stejně jako varianta s kaly hnojí na podzim pod brambory nebo kukuřici v odpovídající dávce 330 kg N/ha za celou rotaci všech tří plodin. Použitý hnůj je vždy z příslušného stanoviště.

4.1.1.4 Hnůj ½ + dusík

Na této variantě je aplikována pouze poloviční dávka chlévského hnoje na podzim pod brambory či kukuřici. Zbylá dávka hnojiv je dodávána ve sníženém množství v minerální formě dusíku u následujících plodin pšenice a ječmene. Jako minerální dusíkaté hnojivo je použit ledek amonný s vápencem.

4.1.1.5 Dusík

Varianta je hnojena pouze minerálním dusíkatým hnojivem (ledek amonný s vápencem) u všech plodin. U brambor a ječmene je celá dávka aplikována ještě před založením porostu. Při aplikaci hnojiv u pšenice je dávka nejvyšší a je rozdělena na regenerační a produkční.

4.1.1.6 NPK

Na této variantě s minerálním dusíkatým hnojivem (ledek amonný s vápencem) se hnojí stejně jako na variantě s dusíkem. Všechny plodiny jsou hnojeny na jaře, kdy brambory s ječmenem jsou hnojeny před založením porostu a pšenice je hnojena při regeneračním a produkčním hnojení během vegetace. U této varianty se hnojí kromě dusíku i fosforečným (trojitý superfosfát) a draselným (draselná sůl) hnojivem. Těmito hnojivy se hnojí na podzim u všech plodin stejnou dávkou.

4.1.1.7 Dusík se slámou

U této varianty je na podzim k bramborům či kukuřici zoráno 5 tun na hektar ječné slámy, která dostává do půdy fosfor a draslík. Dusík je opět aplikován v minerální formě (ledek amonný s vápencem) na jaře jako v předešlých variantách.

Dávky živin aplikovány v hnojivech na jednotlivé varianty jsou znázorněny v tabulce č.2

Varianty	Brambory			Pšenice			Ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Kontrola	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kal 1	330	201	55	0	0	0	0	0	0
Hnůj 1	330	118	374	0	0	0	0	0	0
Hnůj 1/2 +									
N	165	59	187	110	0	0	55	0	0
N	120	0	0	140	0	0	70	0	0
NPK	120	30	100	140	30	100	70	30	100
N + sláma	138	6	47	140	0	0	70	0	0

Tabulka č.3: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu (převzato z oficiální metodiky KVAR ČZU, upraveno pro potřeby bakalářské práce)

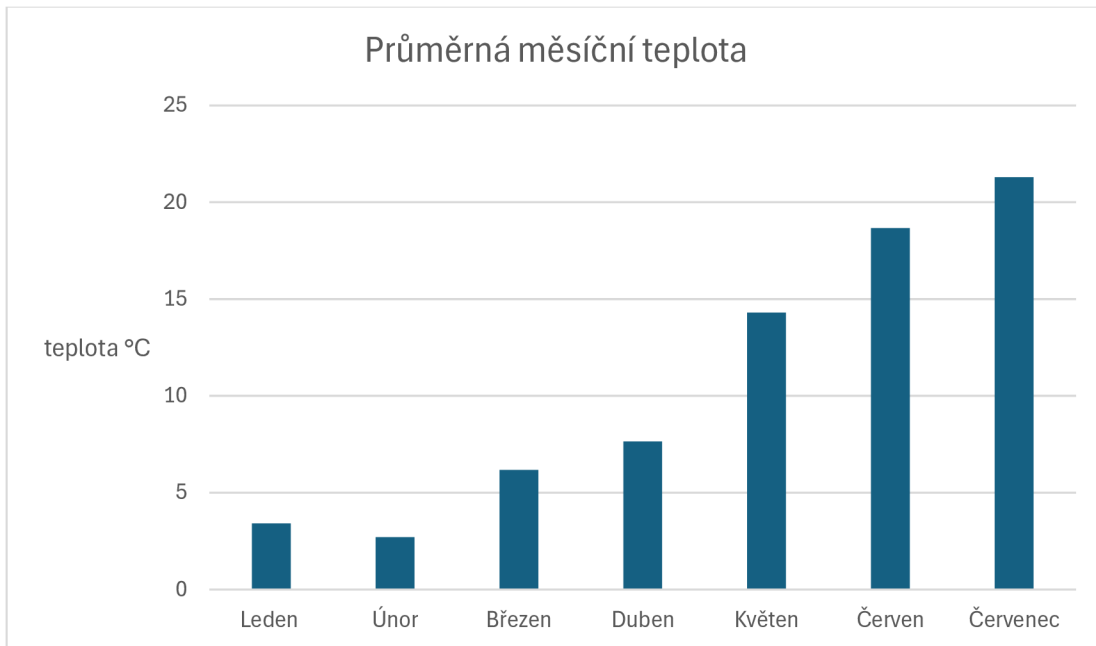
4.2 Praha Suchdol

Toto stanoviště se nachází na Demonstračním a pokusném pozemku České zemědělské univerzity. Přesná lokalita pozemku je na souřadnicích 50°7'40"N, 14°22'33"E. Nadmořská výška je 286 m n. m. na modálních černozemích s písčito-hlinitým půdním druhem. Průměrná roční teplota na tomto stanovišti je 9,1 °C a průměrný roční úhrn srážek činí 495 mm.

4.3 Červený Újezd

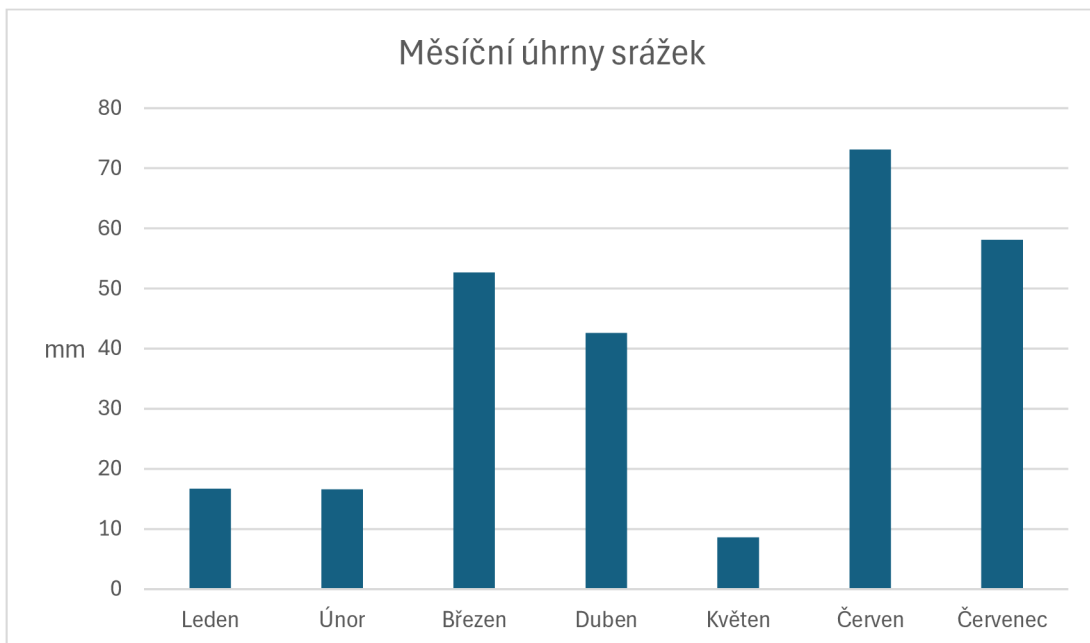
Stanoviště se nachází v okrese Praha-západ. Přesná lokalita pozemku je na souřadnicích 50°4'22"N, 14°10'19"E. Nadmořská výška je 400 m n. m. na modálních hnědozemích s hlinitým půdním druhem. Průměrná roční teplota na tomto stanovišti je 7,7 °C a průměrný roční úhrn srážek činí 493 mm.

4.4 Průměrná měsíční teplota



Graf č.2: Průměrná měsíční teplota během vegetace Praha Suchdol

4.5 Měsíční úhrn srážek



Graf č.3: Měsíční úhrny srážek během vegetace Praha Suchdol

4.6 Sklizeň a zpracování vzorků

Pšenice byla sklizena v plné zralosti pomocí experimentální sklízecí mlátičky. Z každé varianty byl odebrán reprezentativní vzorek zrna a slámy. Tyto vzorky byly poté mlety na laboratorním mlýně (Cutting mill, SM 100, Retch, Haan, Německo), který byl osazen sítím s otvory o velikosti 1 mm.

4.7 Výnos

V rámci pokusu byl počítán výnos slámy a výnos zrna. Ze sklizené čerstvé hmoty byla stanovena sušina, ze které byly vyjádřeny výnosy všech vzorků. Výnosy sušiny byly vyjádřeny v tunách na hektar.

4.8 Stanovení obsahu dusíku

Pro zjištění obsahu dusíku v zrně i slámě ozimé pšenice byla použita Kjeldahlova metoda. Tato metoda se skládá ze tří fází: mineralizace, destilace a titrace.

Pro realizaci metody byl použit vzorek rostlinného materiálu. V tomto případě se jednalo o rozemleté zrně a slámu o hmotnosti 0,5 g. Pro fázi mineralizace byl k vzorku přidán katalyzátor a koncentrovaná kyselina sírová. Vzorky jsou poté na dvě hodiny umístěny do topného hnízda, kde jsou zahřívány. První půlhodinu jsou vzorky zahřívány na 367 °C a v následující půlhodině jsou vzorky vystaveny požadované teplotě 400 °C. V druhé polovině procesu se pomalu teplota uvrací a poslední půlhodinu se nechávají vzorky vychladnout.

Zmineralizované vzorky byly dále zpracovány destilací a titrací pomocí přístroje Vapodest 50 s. V tomto přístroji se nejprve do vzorků přidá hydroxid sodný. Při destilaci vzniklého roztoku vyprchává amoniakální dusík do připravené nádoby s roztokem kyseliny borité. Jako poslední krok je provedena titrace vzorku pomocí kyseliny chlorovodíkové.

Po tomto procesu lze podle navážky vzorku a množství spotřebované kyseliny chlorovodíkové stanovit obsah dusíku ve vzorcích.

4.9 Odběr dusíku

Odběr dusíku ozimou pšenicí byl vypočítán podle obsahu dusíku v zrně a slámě rostlin následujícím způsobem. Obsah dusíku v hodnocené části materiálu (%) byl vynásoben deseti a poté znovu vynásoben hektarovým výnosem hodnocené části rostliny (t/ha). Výsledek je uváděn v kg/ha.

4.10 Sklizňový index dusíku

Sklizňový index dusíku byl stanoven jako podíl odběru dusíku zrna z odběru dusíku celé nadzemní biomasy (slámy).

4.11 Bilance dusíku

Bilance byla spočítána pomocí vzorce: dusík dodaný hnojením (kg/ha) – (dusík odebraný zrnem + dusík odebraný slámou) (kg/ha) (Krejč 2007). Jedná se však pouze o vzorec využitý u výpočtu bilance z minerálních hnojiv. U organických hnojiv se z celé dávky aplikované k předplodině musela přepočítat využitelnost dusíku v druhém roce. Jedná se o varianty hnojené kalem z čistírny odpadních vod, hnojem a u varianty Hnůj $\frac{1}{2}$ + N, kde se k výsledku připočítávala dávka minerálního dusíku aplikovaného k pšenice. U kalu se počítalo s koeficientem 15 %, u hnoje s koeficientem 10 % a u varianty Hnůj $\frac{1}{2}$ + N byl použit koeficient 16 % + 110 kg N/ha (Tarrasón et al. 2008; Eghball et al. 2002).

5 Výsledky

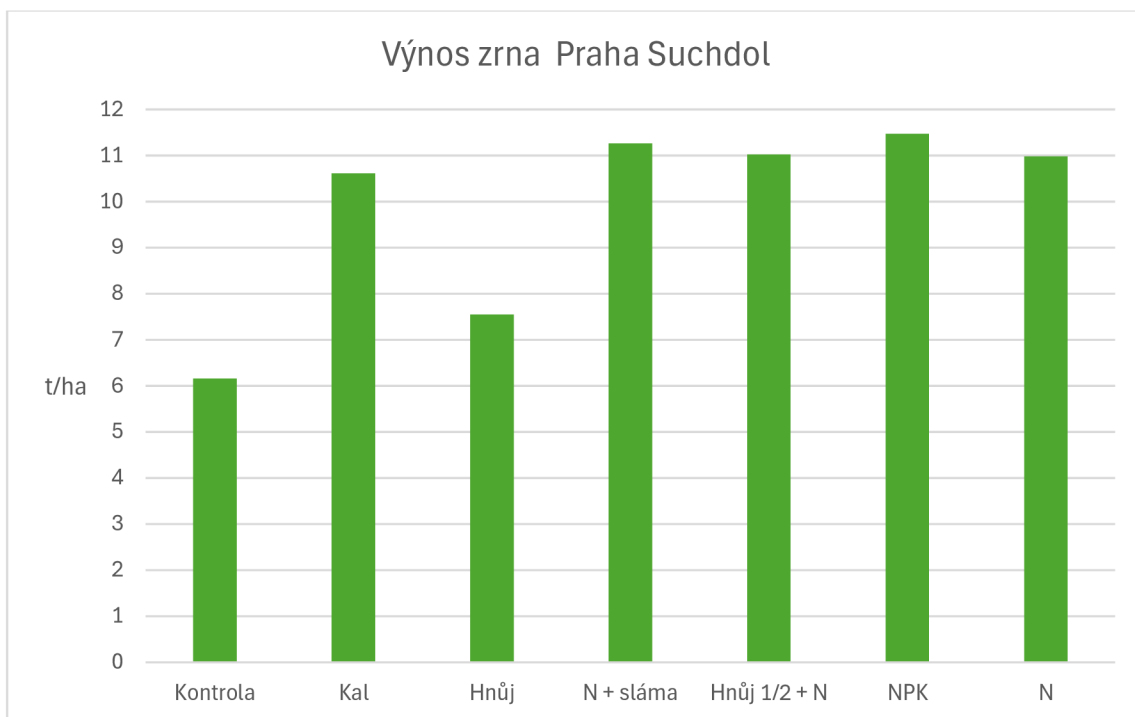
5.1 Výnos zrna a slámy

5.1.1 Výnos zrna

Výnosy byly stanovovány na lokalitách Praha Suchdol a Červený Újezd. Z výsledků vyplývá, že nejnižší výnosy zrna na obou stanovištích nachází na kontrolní variantě, kde výnos v Červeném Újezdě dosáhl 5,17 t/ha a jedná se tak o úplně nejnižší výnos. Na stanovišti Praha Suchdol dosahoval nejnižší výnos zrna 6,16 t/ha. Nejvyššího výnosu z obou stanovišť bylo dosaženo na Praze Suchdol u stanoviště N + sláma, kde výnos zrna dosáhl 11,26 t/ha. Celkově byl u většiny variant vyšší výnos na stanovišti Praha Suchdol kromě varianty Hnůj, která byla vyšší na Červeném Újezdě. Zde byl nejvyšší dosažený výnos zrna na stanovišti Hnůj ½ + N, který činil 9,25 t/ha a oproti nejvyššímu výnosu ze stanoviště Praha Suchdol se jedná o rozdíl 2,01 t/ha.

5.1.1.1 Praha Suchdol

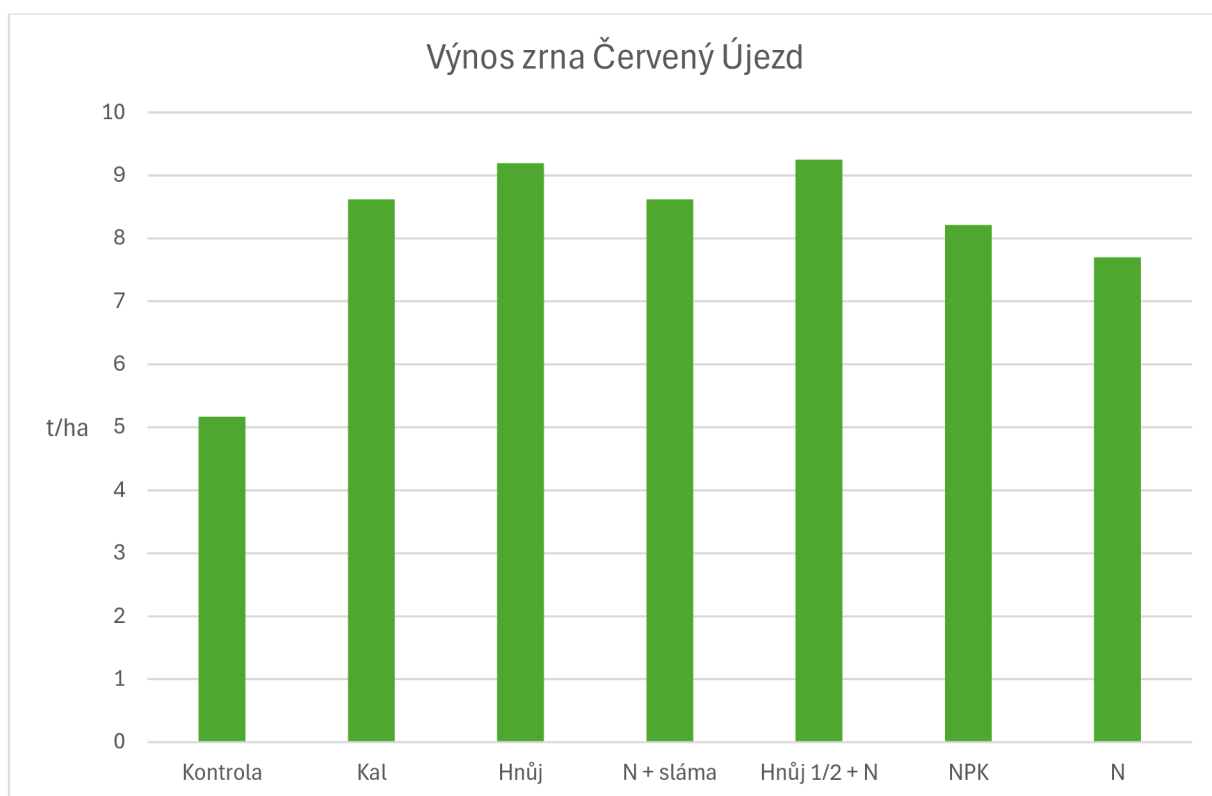
U kontrolní varianty na stanovišti Praha Suchdol byl naměřen výnos 6,16 t/ha. Nejnižší výnos u hnojených variant byl naměřen na variantě Hnůj, kde výnos činil 7,55 t/ha. Jedná se zde o nárůst výnosu o 1,39 t/ha oproti kontrole. Druhý nejnižší výnos na hnojených variantách byl naměřen na variantě Kal. Na této variantě bylo dosaženo výnosu 10,61 t/ha. Zde lze pozorovat vyšší nárůst výnosu oproti kontrole, a to o 4,45 t/ha. Graf číslo 4 ukazuje, že varianty N a Hnůj ½ + N jsou poměrně vyrovnané. Varianta N dosahovala výnosu 10,98 t/ha a u varianty Hnůj ½ + N byl naměřen výnos 11,02 t/ha. Nejvyšších a opět poměrně vyrovnaných výnosu dosahovaly varianty NPK a N + sláma. U varianty NPK výnos činil 11,47 t/ha a jedná se o nejvyšší výnos na stanovišti Suchdol. Druhý nejvyšší výnos byl zaznamenán na variantě N + sláma a činil 11,26 t/ha. Rozdíl ve výnosu mezi kontrolou a variantou NPK činí 5,31 t/ha a jedná se o nárůst 46,29 % výnosu zrna.



Graf č.4: Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.1.1.2 Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd dosahoval výnos u kontrolní varianty 5,17 t/ha. Nejnižší výnos z hnojených variant byl u varianty N, kde byl naměřen výnos 7,70 t/ha. Výnos oproti kontrole vzrostl o 2,53 t/ha. Druhou nejméně výnosnou variantou se stala varianta NPK. Zde výnos dosáhl 8,21 t/ha. Graf číslo 5 ukazuje, že u variant Kal a N + sláma byl naměřen shodný výnos 8,62 t/ha. Nejvyšší výnosy byly zjištěny u variant Hnůj a Hnůj ½ + N, kdy u varianty Hnůj byl naměřen výnos 9,19 t/ha a u varianty Hnůj + N výnos dosáhl 9,25 t/ha a představuje tak nejvyšší výnos na stanovišti Praha Suchdol. Rozdíl ve výnosu mezi kontrolou a Hnůj ½ + N činí 4,08 t/ha a jedná se tedy o nárůst 44,11 %.



Graf č.5: Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

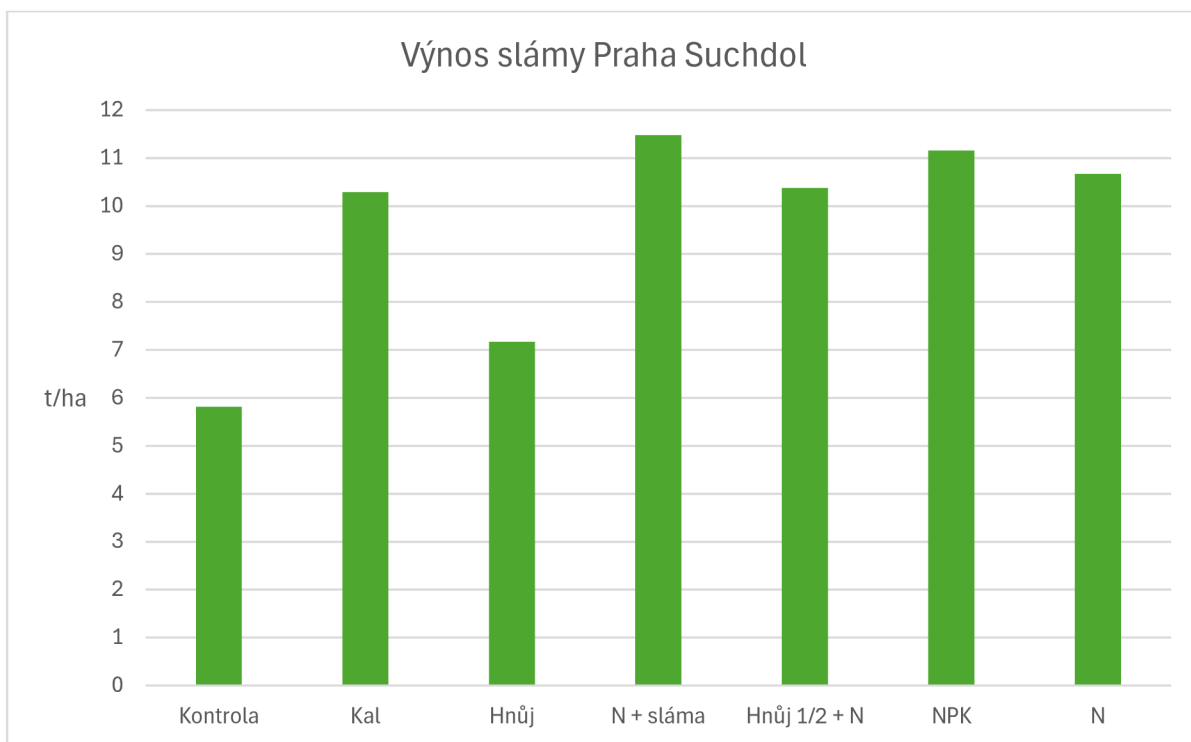
5.1.2 Výnos slámy

Nejnižší výnosy na obou stanovištích byly stejně jako u výnosu zrna na kontrolní variantě. Na stanovišti Červený Újezd na kontrolní variantě dosáhl výnos slámy 4,46 t/ha a jedná se o úplně nejnižší výnos ze všech variant. U kontrolní varianty na stanovišti Praha Suchdol činil výnos slámy 5,81 t/ha. Stejně jako u výnosu zrna ve většina větších výnosů na stanovišti Praha Suchdol. Na Červeném Újezdě je vyšší výnos slámy na variantě Hnůj. Nejvyššího výnosu slámy bylo dosaženo stejně jako u výnosu zrna na stanovišti Praha Suchdol na variantě N + sláma a činil 11,48 t/ha. Na stanovišti Červený Újezd byl nejvyšší výnos slámy na odlišné variantě než výnos zrna, a to na variantě N kde činil 9,26 t/ha. Rozdíl mezi nejvyšším výnosem slámy na stanovišti Praha Suchdol a Červený Újezd činí 2,22 t/ha.

5.1.2.1 Praha Suchdol

Na stanovišti Praha Suchdol dosáhl výnos slámy u kontrolní varianty 5,81 t/ha. Nejnižší výnos ze hnojených variant byl zjištěn u varianty Hnůj, kde dosáhl 7,17 t/ha. Z grafu číslo 6 je zřejmé, že se jedná o jediné dvě varianty, kde výnos nepřesahuje 10 t/ha. Nejnižší výnos, který přesáhl 10 t/ha byl zjištěn u varianty Kal a dosáhl 10,29 t/ha. Varianta Hnůj 1/2 + N dosáhla

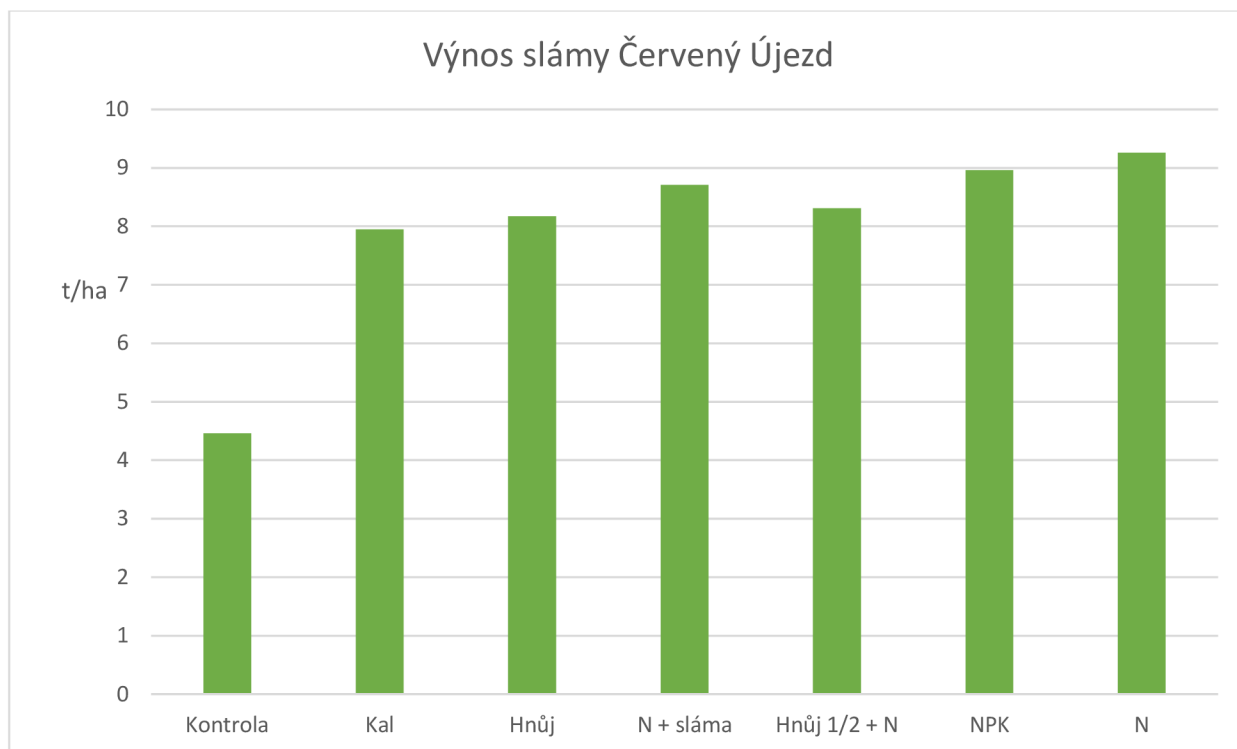
výnosu 10,38 a varianta N 10,67 t/ha. Nejvyšší výnosy byly zjištěny u variant NPK a N + sláma, kdy u varianty NPK dosáhl výnos 11,16 t/ha a u varianty N + sláma 11,48 t/ha. Rozdíl ve výnosu mezi kontrolní variantou a N + sláma činí 5,67 t/ha a jedná se o nárůst 49,39 %.



Graf č.6: Výnos slámy (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.1.2.2 Červený Újezd

U stanoviště Červený Újezd byl na kontrolní variantě stanoven výnos slámy 4,46 t/ha. Variantou s nejnižším výnosem mimo kontrolu je varianta Kal, kde výnos dosáhl 7,95 t/ha. Výnos zde vzrostl o 3,49 t/ha. Varianty Hnůj a Hnůj ½ + N dosáhly velmi podobných výnosů, kdy u varianty Hnůj bylo dosaženo výnosu 8,17 t/ha a u varianty Hnůj ½ + N 8,32 t/ha. Rozdíl mezi těmito dvěma variantami tak tvoří 0,15 %. O něco vyšších výnosů dosahují varianty N + sláma a NPK. U varianty N + sláma dosáhl výnos 8,71 t/ha a u NPK 8,96 t/ha. Zde je rozdíl mezi těmito variantami 0,25 %. Z grafu číslo 7 vyplývá, že nejvyššího výnosu bylo dosaženo u varianty N, kde výnos představoval 9,26 t/ha. Rozdíl ve výnosu u variant Kontrola a N činí 4,8 t/ha a jedná se o nárůst 51,84 %.



Graf č.7: Výnos slámy (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

5.2 Obsah dusíku v zrně a slámě

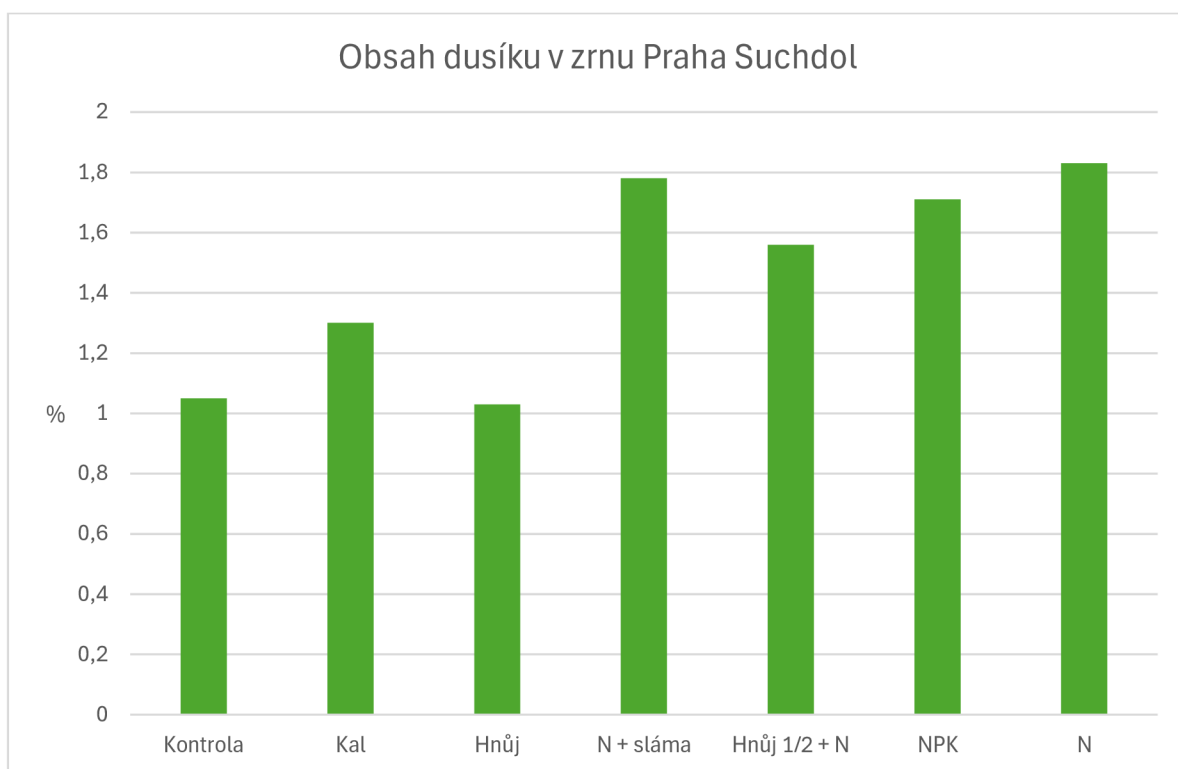
5.2.1 Obsah dusíku v zrně

U obsahu dusíku v zrně se na stanovišti Praha Suchdol, konkrétně u varianty Hnůj poprvé projevil propad jedné varianty oproti variantě Kontrola. Na variantě Hnůj na stanovišti Praha Suchdol činil obsah dusíku 1,03 % a jedná se tak zároveň o nejmenší naměřený obsah z obou stanovišť. Na stanovišti Červený Újezd byl nejmenší obsah dusíku naměřen opět na kontrolní variantě a tvořil 1,32 %. Zde se tedy poprvé liší varianty s nejnižšími hodnotami a zároveň má Červený Újezd vyšší hodnoty na všech variantách oproti stanovišti Praha Suchdol. Nejvyšší obsah dusíku v zrně bylo dosaženo na stanovišti Červený Újezd na variantě Hnůj 1/2 + N a obsah tvořil dusíku v zrně tvořil 2,13 %. Nejvyšší hodnota obsahu dusíku v zrně na stanovišti Praha Suchdol byla naměřena na variantě N a činila 1,83 % obsahu dusíku. Rozdíl mezi nejvyšším obsahem dusíku v zrně na stanovišti Praha Suchdol a Červený Újezd činil 0,3 %

5.2.1.1 Praha Suchdol

Na stanovišti Praha Suchdol byla u kontrolní varianty naměřena hodnota obsahu dusíku v zrně 1,05 %. Z grafu číslo 8 vyplývá, že varianta s nejnižším obsahem dusíku v zrně včetně

kontroly se nachází na variantě Hnůj a bylo zde naměřeno 1,03 %. U této varianty byl sledován pokles oproti kontrole o 0,02 %. Druhý nejnižší obsah dusíku z hnojených variant byl zaznamenán u varianty Kal a činil 1,3 % a jedná se o nejnižší hodnotu oproti kontrole, kdy se obsah dusíku navyšuje. U varianty Hnůj ½ + N byl naměřen obsah dusíku v zrně 1,56 %. Varianty NPK a N + sláma mají poměrně vyrovnané hodnoty, kdy varianta NPK dosáhl 1,71 % a u varianty N + sláma byla naměřena hodnota 1,78 % obsahu dusíku. Nejvyšší obsah byl naměřen na variantě N, kde činil 1,83 %. Rozdíl v obsahu dusíku v zrně mezi kontrolou a N byl 0,78 %.

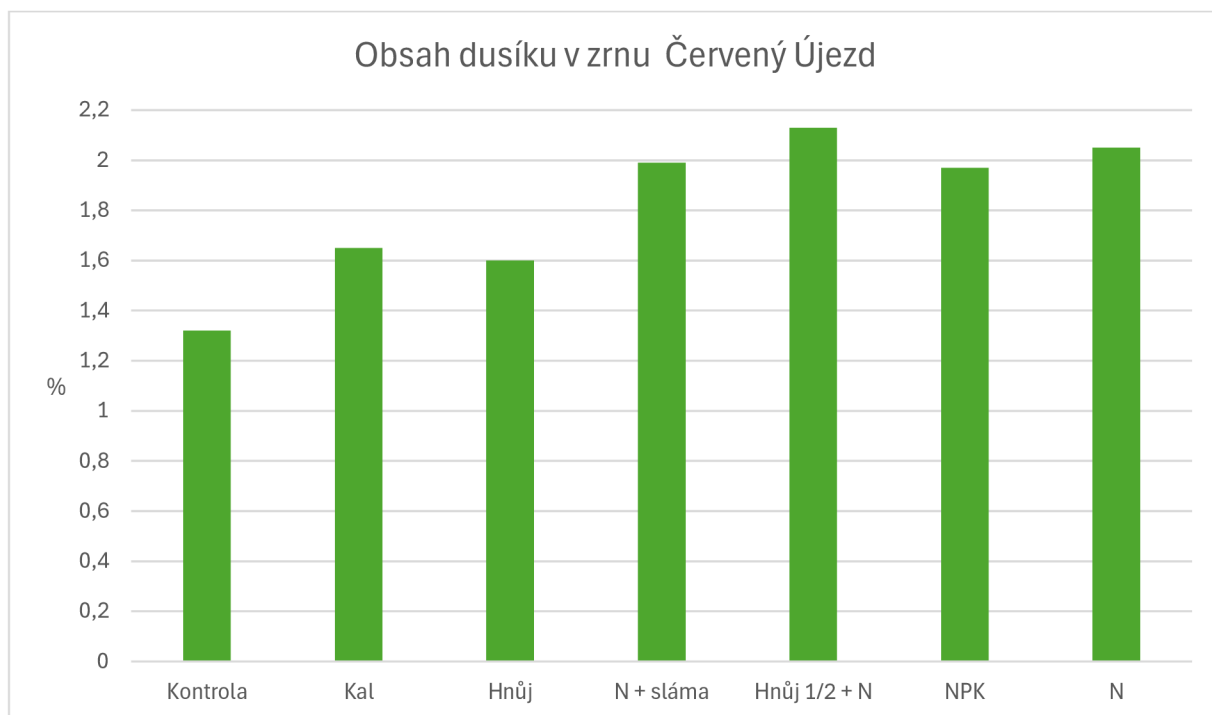


Graf č.8: Obsah dusíku v zrně (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.2.1.2 Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd byl na kontrolní variantě naměřen obsah dusíku v zrně 1,32 %. Na grafu číslo 9 je vidět, že nejmenší obsah dusíku v zrně z hnojených variant má stejně jako na stanovišti Suchdol varianta Hnůj. Zde obsah dusíku dosahuje hodnoty 1,6 % a jedná se tak o patrný nárůst oproti kontrole a je to velký rozdíl i oproti stanovišti Suchdol, kde u varianty hnůj byla hodnota obsahu dusíku nižší než u kontroly. Varianta Kal s hodnotou obsahu dusíku 1,65 % vykazuje velmi malý nárůst ve srovnání s variantou Hnůj. Varianta NPK s obsahem dusíku 1,97 % má s variantou N + sláma o obsahu 1,99 % velmi podobný výsledek. Druhý

nejvyšší naměřený obsah dusíku v zrně byl 2,05 % a byl naměřen na variantě N. Nejvyšší hodnota obsahu dusíku v zrně poté byla na variantě Hnůj ½ + N a činila 2,13 %. Rozdíl v obsahu dusíku v zrně mezi kontrolou a Hnůj ½ + N tvoří 0,81 %.



Graf č.9: Obsah dusíku v zrně (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

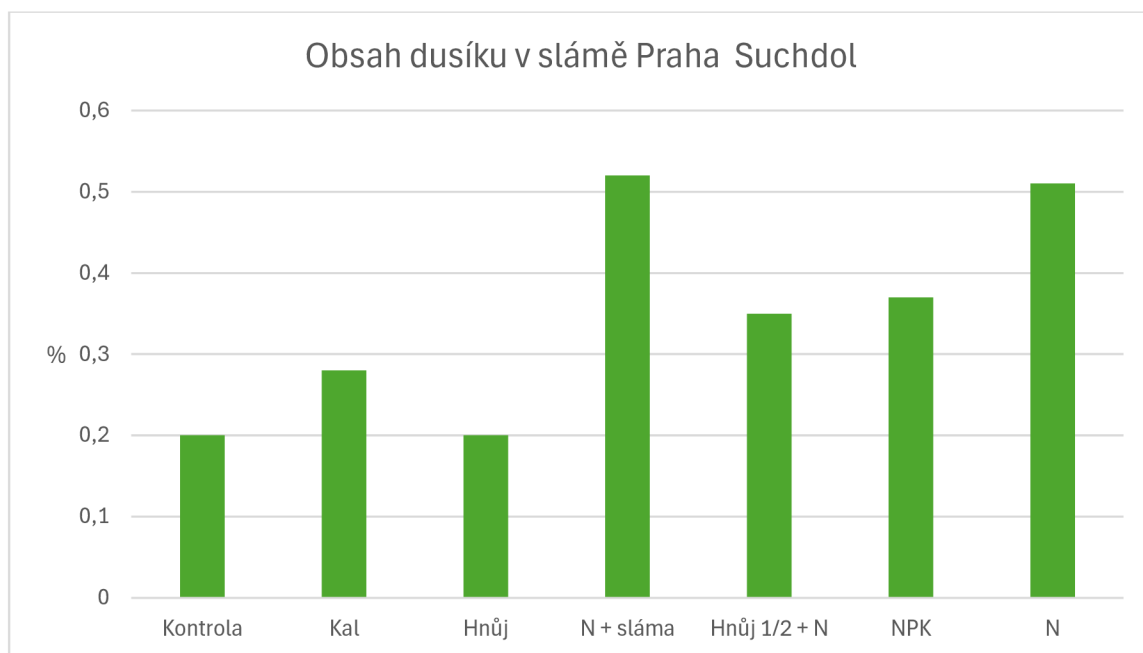
5.2.2 Obsah dusíku ve slámě

U obsahu dusíku ve slámě opět na stanovišti Červený Újezd projeví oproti stanovišti Praha Suchdol na všech variantách vyšší hodnoty. Nejnižší naměřený obsah na stanovišti Červený Újezd činí 0,23 % a nachází se na kontrolní variantě. Nicméně na stanovišti Praha Suchdol se nacházejí dvě varianty s celkově nejnižším naměřeným obsahem dusíku 0,2 % ve slámě a jedná se o varianty Kontrola a Hnůj. Nejvyšší obsah dusíku ve slámě se nachází na stanovišti Červený Újezd na variantě Hnůj ½ + N a představuje 0,7 %. Na stanovišti Praha Suchdol dosáhl nejvyšší obsah dusíku ve slámě 0,52 %. Rozdíl mezi nejvyššími obsahy dusíku ve slámě z obou stanovišť představuje 0,18 %.

5.2.2.1 Praha Suchdol

Na stanovišti Praha Suchdol byl u kontrolní varianty naměřen obsah dusíku ve slámě o hodnotě 0,2 %. Stejná hodnota obsahu dusíku byla naměřena i u varianty Hnůj a jedná se tak o nejnižší obsah dusíku na hnojených variantách, jak ukazuje graf číslo 10. Druhý nejmenší

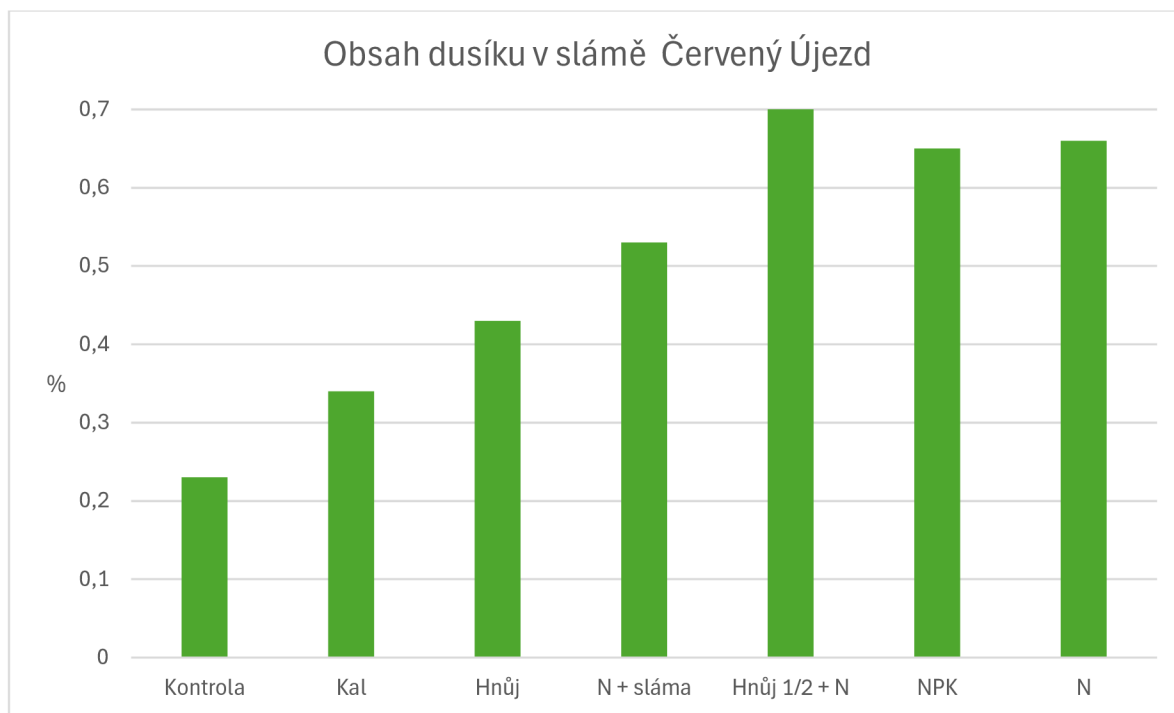
obsah dusíku byl naměřen na variantě Kal a dosáhl hodnoty 0,28 %. Varianta Hnůj ½ + N s obsahem dusíku ve slámě 0,35 % se od varianty NPK s obsahem 0,37 % liší pouze o 0,02 %. Nejvyšší naměřený obsah 0,52 % byl zjištěn u varianty N + sláma, ale Variantu N přesahuje pouze o 0,01 %. Rozdíl v obsahu dusíku ve slámě mezi variantou N + sláma a Kontrola tvoří 0,32 %.



Graf č.10: Obsah dusíku ve slámě (v %) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.2.2.2 Červený Újezd

U kontrolní varianty na stanovišti Červený Újezd byl zjištěn obsah dusíku ve slámě 0,23 %. Nejmenší naměřený obsah dusíku ve slámě na hnojených variantách byl u varianty Kal a činil 0,34 %. Varianta Hnůj dosáhla obsahu dusíku 0,43 % a u varianty N + sláma byla zjištěna hodnota obsahu dusíku 0,53 %. Jak je z grafu číslo 11 patrné, mezi těmito dvěma variantami došlo k nárůstu o 0,1 %. Nejvyšší obsah dusíku ve slámě byl naměřen u varianty Hnůj ½ + sláma a činil 0,7 %. Rozdíl v obsahu dusíku ve slámě mezi kontrolní variantou a variantou Hnůj ½ + sláma tvořil 0,47 %. Druhý nejvyšší obsah dusíku byl na variantě N s hodnotou 0,66 %. U varianty NPK byl zjištěn obsah dusíku 0,65 %. Rozdíl obsahu dusíku ve slámě mezi těmito dvěma variantami představuje rozdíl 0,01 %.



Graf č. 11: Obsah dusíku ve slámě (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

5.2.3 Odběr dusíku zrnem a slámou

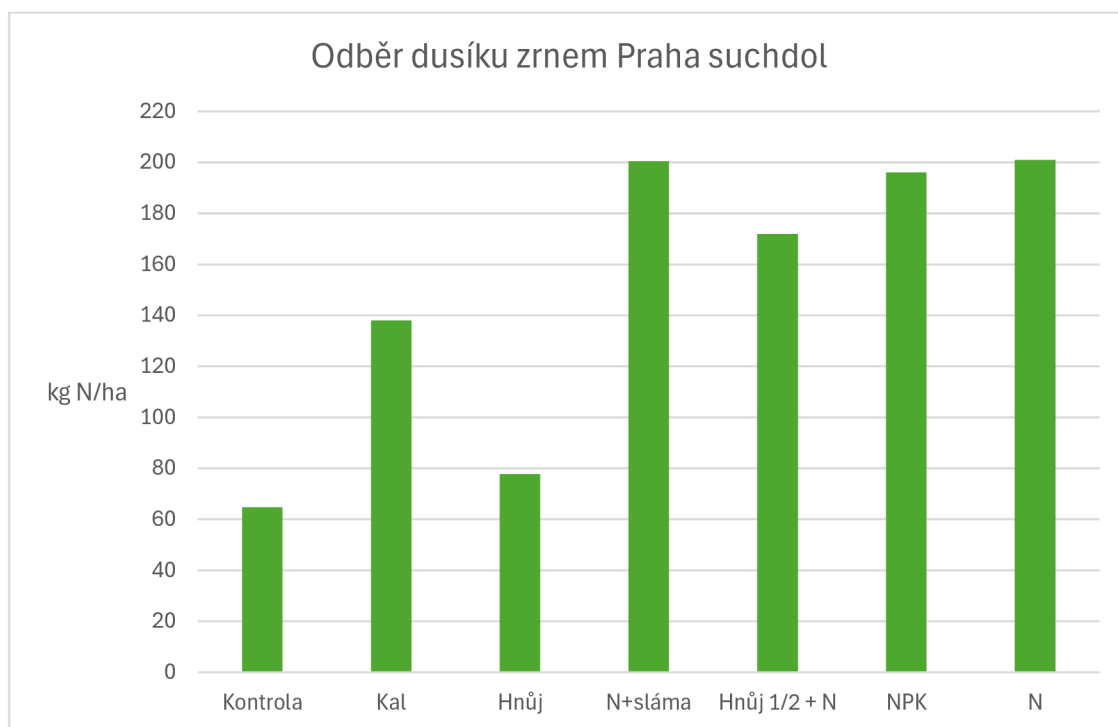
5.2.4 Odběr dusíku zrnem

U odběru dusíku zrnem varianty Kontrola, Hnůj a Kal dosahují vyšších odběrů na stanovišti Červený Újezd, zatímco ostatní varianty dosahují vyšších odběrů na stanovišti Praha Suchdol. Nejnižších odběrů bylo na obou stanovištích opět dosaženo na variantě Kontrola. Na stanovišti Praha Suchdol činil odběr dusíku zrnem 64,68 kg N/ha a jedná se o úplně nejmenší hodnotu. Na stanovišti Červený Újezd činil odběr dusíku u kontrolní varianty 68,24 kg N/ha. Nejvyšší odběr dusíku zrnem na stanovišti se nacházel na variantě N + sláma a tvořil 184,08 kg N/ha. Na stanovišti Praha Suchdol byl zjištěn úplně nejvyšší odběr dusíku zrnem na variantě N a představoval 200,93 kg N/ha. Rozdíl mezi nejvyššími odběry dusíku na obou stanovištích činí 16, 58 kg N/ha.

5.2.4.1 Praha Suchdol

Na kontrolní variantě na stanovišti Praha Suchdol bylo zrnem odebráno 64,7 kg N/ha. Nejnížší odběr u hnojených variant byl u varianty Hnůj, kde odběr dosahoval 77,8 kg N/ha. Oproti kontrole zde došlo k nárůstu odběru dusíku o 13,1 kg N/ha. Druhý nejnížší odběr na hnojené variantě se nacházel na variantě Kal a činil 137,9 kg N/ha. Nejvyššího odběru bylo dosaženo na variantě N, kde odběr tvořil 200,9 kg N/ha. Druhý nejvyšší odběr se nacházel na

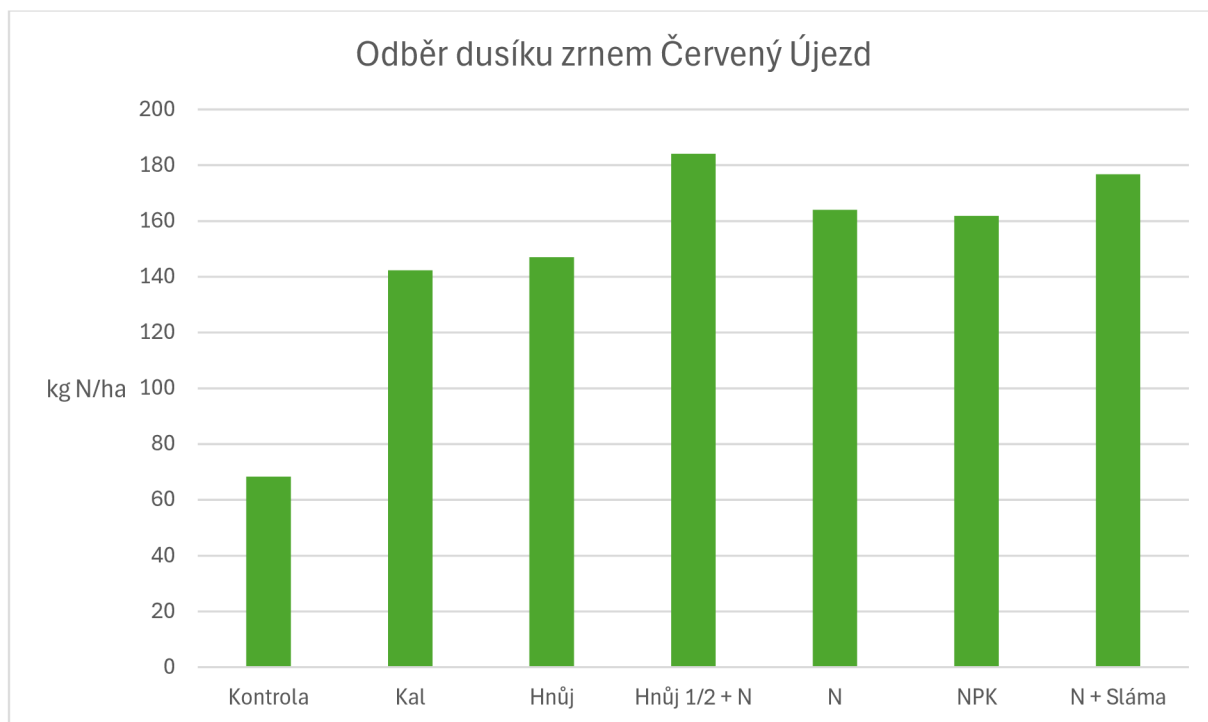
variantě N + sláma. Zde bylo odebráno 200,4 kg N/ha. Z grafu číslo 12 je patrný minimální rozdíl mezi těmito dvěma variantami, které činí pouze 0,5 kg N/ha, ale rozdíl v odběru mezi variantou N a kontrolou tvoří 136,3 kg N/ha. Jedná se o navýšení odběru zrnem 67,81 %. Na variantě Hnůj ½ + N bylo odebráno 171,9 kg N/ha a na variantě NPK odběr tvořil 196,1 kg N/ha.



Graf č.12: Odběr dusíku zrnem (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.2.4.2 Červený Újezd

U kontrolní varianty byl odběr dusíku zrnem 68,2 kg N/ha. Nejmenší naměřený odběr u hnojených variant činil 142,2 kg N/ha a nacházel se na variantě Kal. Druhý nejmenší odběr dusíku zrnem, který tvořil 147,04 kg N/ha byl naměřen na variantě Hnůj. Mezi těmito dvěma variantami se jedná o nárůst odběru 4,8 kg N/ha. Další varianty s obdobným odběrem dusíku jsou varianty NPK a N. U varianty NPK se jedná o odběr 161,7 kg N/ha a u varianty N dosahoval odběr 164,01 kg N/ha. Nárůst odběru mezi těmito dvěma variantami představuje 2,3 kg N/ha. Z grafu číslo 13 je patrné, že nejvyšší naměřený odběr se nacházel na variantě Hnůj ½ + N a tvoří 184,07 kg N/ha. Rozdíl odběru dusíku zrnem mezi kontrolní variantou a variantou Hnůj ½ + N činil 115,8 kg N/ha a jedná se tak o navýšení odběru o 62,93 %.



Graf č.13: Odběr dusíku zrnem (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

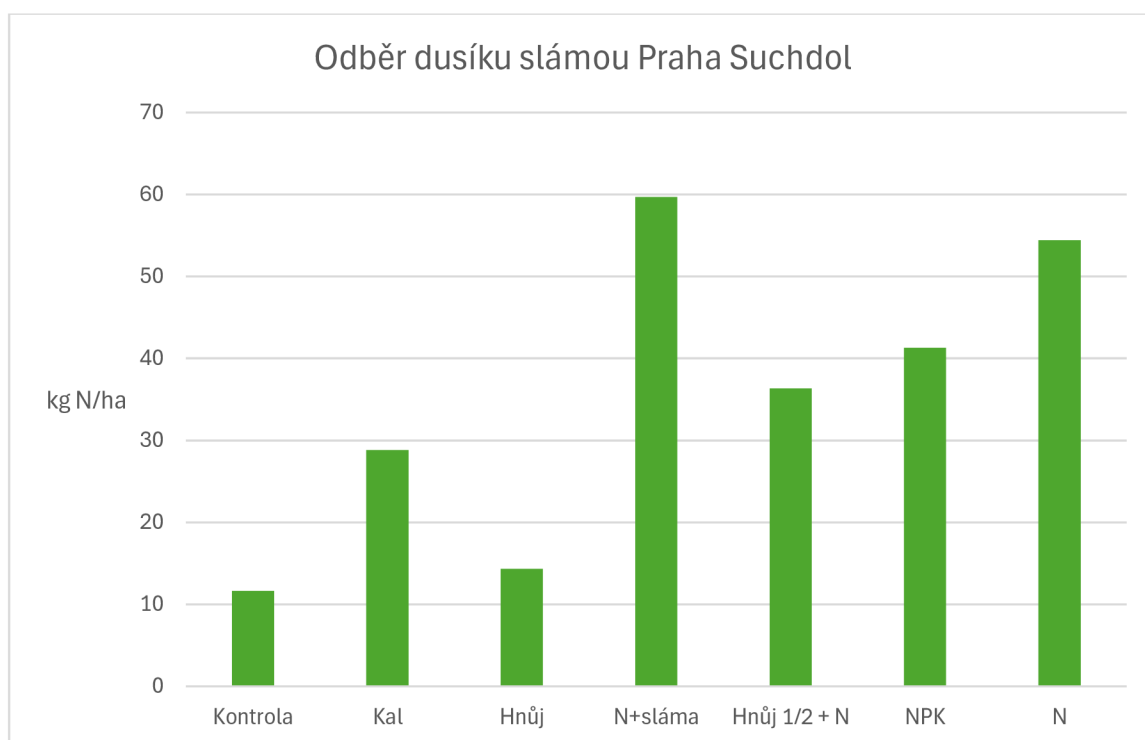
5.2.5 Odběr dusíku slámou

U odběru dusíku slámou opět jedno stanoviště nepřevyšuje to druhé na všech variantách. Stanoviště Praha převyšuje Červený Újezd na variantách Kontrola, Kal a N + Sláma. U zbylých variant je vyšší odběr na stanovišti Červený Újezd. Nejnižší odběr dusíku slámou se na obou stanovištích objevuje na kontrolní variantě, kde na stanovišti Praha Suchdol dosahuje odběr 11,62 kg N/ha a na Červeném Újezdě činí odběr 10,26 kg N/ha. Naopak nejvyššího odběru na Praze Suchdol bylo dosaženo na variantě N + sláma a dosáhl 59,69 kg N/ha. Úplně nejvyšší odběr dusíku slámou byl naměřen na Stanovišti Červený Újezd na variantě N a představoval 61,12 kg N/ha. Rozdíl v nejvyšším odběru dusíku slámou mezi oběma stanovišti představuje 1,43 Kg N/ha.

5.2.5.1 Praha Suchdol

Na kontrolní variantě tvořil odběr dusíku slámou 11,6 kg N/ha. Hnojenou variantu s nejmenším odběrem dusíku slámou zde představuje varianta Hnůj, kde odběr představoval 14,3 kg N/ha. Oproti kontrolní variantě se jedná o nárůst odběr 2,7 kg N/ha. Druhý nejmenší odběr činil 28,8 kg N/ha a nacházel se na variantě Kal. Další varianty s nižšími hodnotami odběru jsou varianty Hnůj ½ + N a NPK. Odběr u varianty Hnůj ½ + N tvoří 36,3 kg N/ha a u varianty NPK dosahuje hodnoty 41,3 kg N/ha. Mezi těmito variantami se jedná o nárůst

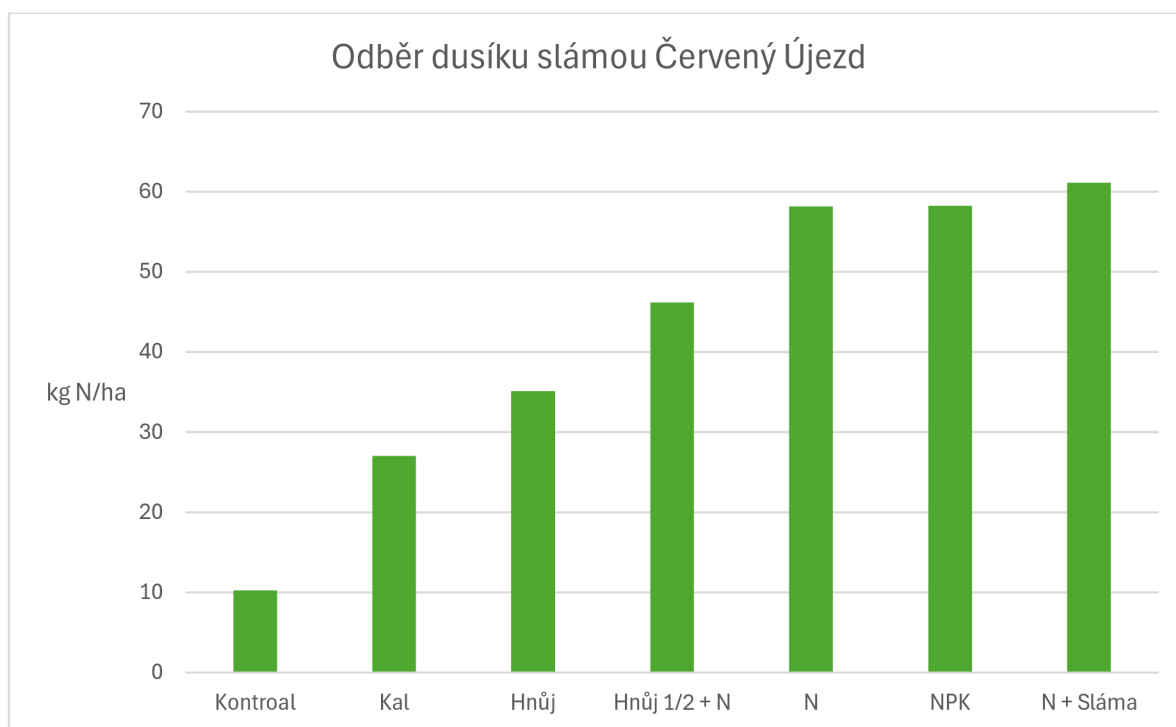
odběru 4,96 kg N/ha. Nejvyšší odběr dusíku slámou na stanovišti Praha Suchdol je na variantě N + sláma, kde bylo odebráno 59,7 kg N/ha. Rozdíl v odběru dusíku slámou mezi kontrolní variantou a variantou N + sláma je 48,1 kg N/ha a jedná se o nárůst odběru 80,53 %. Z grafu číslo 14 je zřejmé, že druhý nejvyšší odběr dusíku slámou byl zaznamenán na variantě N a činil 54,4 kg N/ha.



Graf č.14: Odběr dusíku slámou (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.2.5.2 Červený Újezd

Na kontrolní variantě byl naměřen odběr dusíku slámou 10,3 kg N/ha. Nejnižší odběr na hnojených variantách představoval 27 kg N/ha a nacházel se na variantě Kal. Druhý nejnižší odběr se nacházel na variantě Hnůj a činil 35,1 kg N/ha. Rozdíl v odběru dusíku slámou mezi variantami tvoří 8,1 kg N/ha. Další variantou s nižším odběrem dusíku byl zjištěn na variantě Hnůj ½ + N a představoval 46,2 kg N/ha. Nejvyšší naměřený odběr dusíku slámou činil 61,1 kg N/ha a byl naměřen na variantě N + sláma. Rozdíl v odběru dusíku mezi kontrolní variantou a variantou N + sláma činil 50,9 kg N/ha a jedná se o nárůst 83,22 %. Varianty N a NPK představují druhý a třetí nejvyšší odběr dusíku slámou. Z grafu číslo 15 je zřejmé, že se jedná o velmi obdobné hodnoty. U varianty N odběr dusíku slámou dosahuje 58,17 kg N/ha a u varianty činil 58,24 kg N/ha a jedná se tak o nárůst pouze 0,07 kg N/ha.



Graf č.15: Odběr dusíku slámou (v %) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

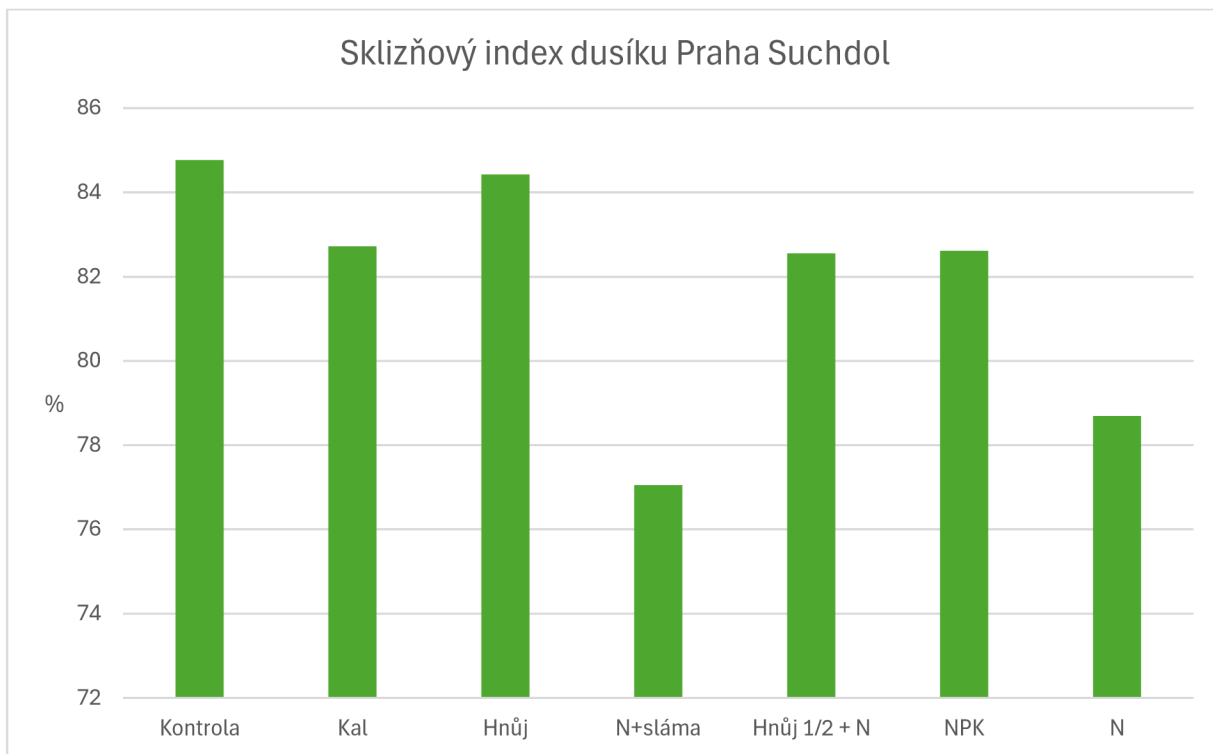
5.2.6 Sklizňový index DUSÍKU

U sklizňového indexu dusíku byly shodně na obou stanovištích zjištěny nejvyšší naměřené hodnoty podílu zrna na celkové biomase u varianty Kontrola. Úplně nejvyššího indexu dusíku bylo dosaženo na stanovišti Červený Újezd, kde u varianty Kontrola bylo naměřeno 86,93 % podílu zrna na celkové biomase. Nejnižší index dusíku z obou stanovišť byl také naměřen na Červeném Újezdě u varianty hnojené NPK. Zde bylo dosaženo pouze 73,52 % podílu zrna na celkové biomase. Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším sklizňovým indexem představuje 13,41 %. Na stanovišti Praha Suchdol bylo nejvyššího indexu dusíku dosaženo na kontrolní variantě, kde podíl zrna na celkové biomase představoval 84,72 %. U varianty s nejmenším sklizňovým indexem dusíku se stanoviště liší. Na Praze Suchdol se jednalo o variantu N + sláma a index dusíku zde dosahoval pouze 77,05 %.

5.2.6.1 Praha Suchdol

Na Kontrolní variantě byl naměřen nejvyšší podíl zrna z celkové biomasy o hodnotě 84,72 %. Nejnižší podíl zrna byl na tomto stanovišti zjištěn u varianty N + sláma. S hodnotou indexu dusíku 77,05 % se jedná o rozdíl 7,67 %. Z hnojených variant pak dosahuje nejvyššího podílu zrna varianta hnojená hnojem s hodnotou 84,43 %. S podílem zrna 82,72 % představuje

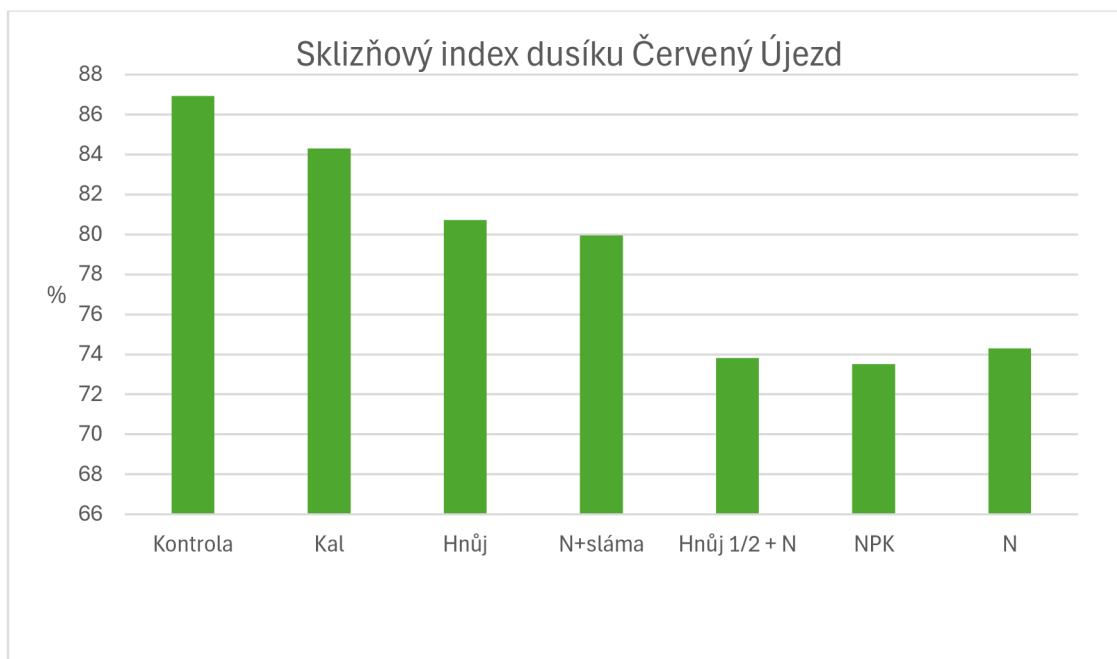
varianta hnojená kalem třetí nejvyšší naměřenou hodnotu na tomto stanovišti. Varianty NPK s hodnotou 82,61 % a Hnůj ½ + n s hodnotou 82,55 % představují poměrně vyrovnaný podíl zrna. U varianty hnojené pouze dusíkem dosáhl podíl zrna 78,69 % a jedná se tak o druhou nejmenší naměřenou hodnotu.



Graf č.16: Sklizňový index dusíku (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol

5.2.6.2 Červený Újezd

Jak již bylo řečeno, na tomto stanovišti bylo dosaženo nejvyššího podílu zrna také na variantě Kontrola a zde dosáhla indexu 86,93 %. Stejně tak na tomto stanovišti byl naměřen nejnižší index dusíku, který představoval pouze 73,52 %. Jedná se tak o rozdíl 13,41 %. Podobná hodnota byla naměřena na variantě hnojené čistým dusíkem, kde podíl zrna představoval 74,3 %. Varianta Hnůj ½ + N dosáhla velmi podobného výsledku. Zde podíl zrna představoval 73,82 %. Z hnojených variant byl naměřen nejvyšší podíl zrna na variantě hnojené čistírenským kalem, kde byla naměřena hodnota 84,3 %. Varianty Hnůj a N + sláma byly ve výsledcích velmi podobné. Varianta, na které byl aplikován hnůj bylo dosaženo podílu zrna 80,72 %. Na variantě N + sláma bylo naměřeno 79,95 % podílu zrna na celkové biomase.



Graf č.17: Sklizňový index dusíku (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd

5.2.7 Bilance dusíku

Na obou stanovištích se bilance dostala do záporných hodnot, protože odběry nabývaly vyšších hodnot než dodané dávky živin. Varianty NPK, N + sláma a Hnůj 1/2 + N byl odběr dusíku vyšší na stanovišti Červený Újezd. Zbylé varianty dosahovaly vyššího odběru na stanovišti Praha Suchdol. Nejvyšší odběr dusíku byl naměřen na variantě Hnůj na stanovišti Červený Újezd, kde bylo odebráno o 149,17 kg N/ha více než bylo dodáno dávkou dusíku. Naopak nejnižší odběr dusíku byl zjištěn na stanovišti Praha Suchdol u varianty Hnůj. Zde odběr dusíku převažoval dodanou dávkou živin pouze o 59,11 kg N/ha. Nejnižší a nejvyšší odběr dusíku z obou stanovišť se tak nachází na variantě Hnůj.

5.2.7.1 Praha Suchdol

Nejnižší rozdíl mezi dodanou dávkou dusíku a odebraným dusíkem rostlinou se nachází na variantě Hnůj. Z tabulky číslo 3 je patrné, že bilance dusíku zde představuje -59,11 kg N/ha, zároveň se jedná o nejmenší hodnotu bilance na obou stanovištích. Naopak nejvyšší hodnota bilance dusíku byla naměřena na variantě Hnůj 1/2 + N, kde dosahovala -124,12 kg N/ha. Rozdíl mezi těmito dvěma bilancemi představuje 65,01 kg N/ha.

Varianta	Dávka živin	Odběr	Bilance
Kontrola	0	76,3	-76,3
Kal	49,5	166,74	-117,24
Hnůj	33	92,11	-59,11
Hnůj ½ + N	136	260,12	-124,12
N	140	208,24	-68,24
NPK	140	237,43	-97,43
N + sláma	140	255,35	-115,35

Tabulka č.4: Bilance dusíku Praha Suchdol

5.2.7.2 Červený Újezd

Nejnižší zjištěná bilance dusíku se na stanovišti Červený Újezd nacházela na variantě Kontrola a představovala -78,5 kg N/ha. Z tabulky číslo 4 vyplývá, že nejvyšší rozdíl mezi dodanou dávkou živin a odběrem dusíku rostlinou byl naměřen na variantě Hnůj. Zde tato bilance dusíku představovala -149,17 kg N/ha. Jedná se o nejvyšší naměřenou bilanci na obou stanovištích. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší bilancí na tomto stanovišti tvoří 70,67 kg N/ha.

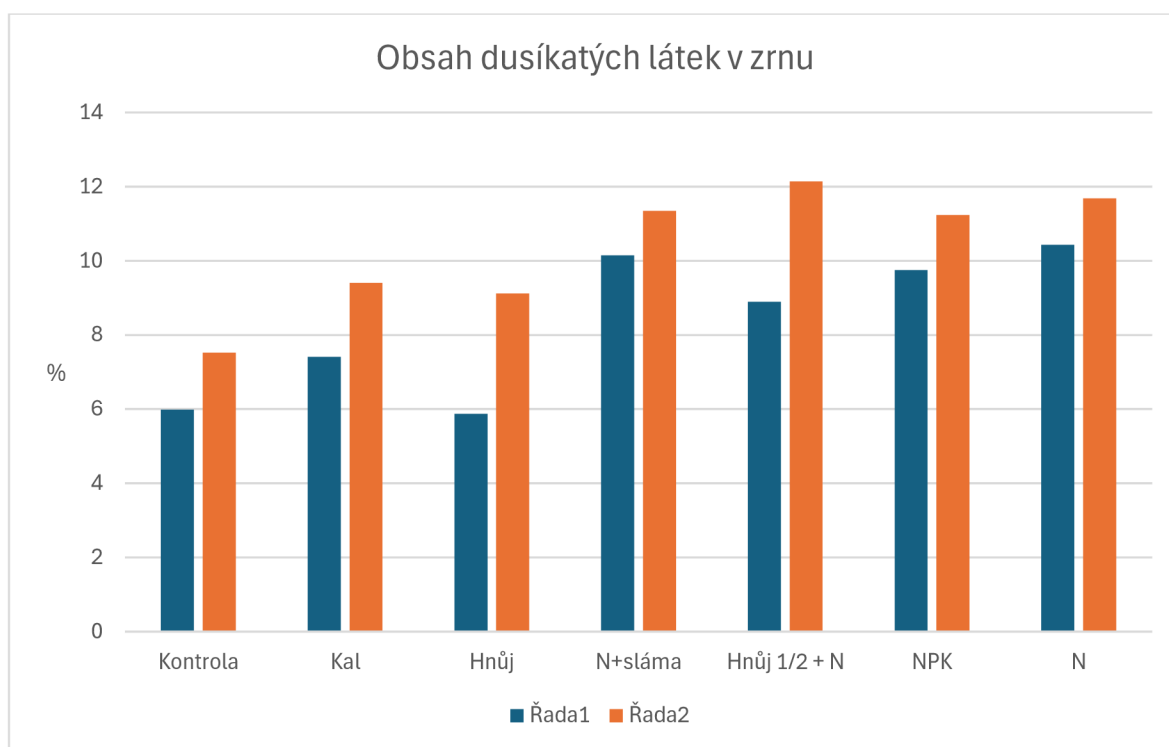
Varianta	Dávka živin	Odběr	Bilance
Kontrola	0	78,5	-78,5
Kal	49,5	169,26	-119,75
Hnůj	33	182,171	-149,17
Hnůj ½ + N	136	230,24	-94,24
N	140	222,18	-82,18
NPK	140	219,98	-79,98
N + sláma	140	237,87	-97,87

Tabulka č.5: Bilance dusíku Červený Újezd

5.2.8 Obsah dusíkatých látek v zru

Z grafu číslo 18 je zřejmé, že varianty s vyšším obsahem dusíkatých látek v zru se nacházely na stanovišti Červený Újezd. Lze si také povšimnout, že nejvyšší obsahy dusíkatých látek se nachází na variantách, kde se dusík dodával formou pouze minerálních hnojiv nebo ve spojení minerálních a organických hnojiv. Obsah dusíkatých látek v zru ozimé pšenice určuje, zda se tato pšenice může využít jako potravinářská. Podle norem ČSN lze jako potravinářskou pšenici využít pouze pokud obsah dusíkatých látek v zru dosáhne 11,5 % a více. Ze všech

variant tak lze označit jako potravinářskou pšenici pouze dvě varianty na stanovišti Červený Újezd. Jedná se o variantu Hnůj ½ + N, kde obsah dusíkatých látek v zru tvořil 12,14 % a jedná se tak i o nejvyšší naměřený obsah na obou stanovištích. Druhá varianta s potravinářskou pšenici byla varianta N, kde obsah dusíkatých látek představoval 11,69 %. Na stanovišti Praha Suchdol bylo dosaženo nejvyššího obsahu dusíkatých látek na variantě N a činil 10,43 %. Do uznání za potravinářskou pšenici tak na této variantě chybělo 1,07 % dusíkatých látek v zru. Nejnižší obsah dusíkatých látek naměřený na stanovišti Praha Suchdol na variantě Hnůj a obsah dusíku činil 5,87 %. Jedná se o nejnižší obsah dusíkatých látek na obou stanovištích. Na stanovišti Červený újezd byl zjištěn nejmenší obsah dusíkatých látek v zru u varianty Kontrola, kde dosáhl 7,52 %.



Graf č.18: Obsah dusíkatých látek (%) v zru ozimé pšenici na stanovištích Praha Suchdol a Červený Újezd

6 Diskuze

6.1 Výnos

Podle českého statistického úřadu byl průměrný výnos pšenice ozimé v Praze 7,19 t/ha a ve Středočeském kraji 6,74 t/ha. Z výsledků jasně vyplývá, že všechny výnosy mimo nehnojené varianty byly poměrně vysoko nadprůměrné. Tím byl potvrzen pozitivní vliv aplikace dusíkatých hnojiv na výnos ozimé pšenice. Na všech variantách hnojených dusíkatými hnojivy jak ve formě minerální, tak ve formě organické byl zaznamenán nárůst výnosu oproti kontrolním variantám, kde nebyla aplikována žádná hnojiva. Tyto nehnojené varianty byly v porovnání s průměrným republikovým výnosem podprůměrné. Z grafů číslo 4 a 5 můžeme vidět, že u všech variant kromě varianty Hnůj bylo dosaženo vyšších výnosů na stanovišti Praha Suchdol.

Nejvyšších výnosů zrna na stanovišti Praha Suchdol bylo dosaženo na variantách hnojených minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv. Zatímco na stanovišti Červený Újezd byly nejvyšší výnosy zaznamenány na variantách hnojených organickými hnojivy a kombinací obou hnojiv.

Jak je tedy patrné, kombinací minerálních a organických hnojiv bylo na obou stanovištích dosaženo vysokých výnosů. Stanoviště Červený Újezd se nachází na méně úrodných půdách oproti Praze Suchdol. Tudíž organická část těchto hnojiv, především hnůj, díky pravidelné aplikaci zvyšuje obsah kvalitní organické hmoty a má zlepšující vliv na řadu dalších faktorů, které působí pozitivně na půdní úrodnost (Vaněk et. al 2016).

Aplikací minerálních dusíkatých hnojiv pak lze rostlinám dodat dusík do půdy v době, kdy bude rostlinou nejlépe využít při tvorbě výnosotvorných prvků. Na základě těchto faktorů lze říci, proč dosáhly varianty hnojené kombinací obou hnojiv na stanovišti Červený Újezd tak vysokých výnosů. Kunzová et al. (2022) na základě provedených pokusů tvrdí, že používání kombinací minerálních a organických hnojiv, lze v horších půdně-klimatických podmínkách dosahovat vyšších výnosů, což dokládá i výsledek této bakalářské práce. Vliv použití kombinace organických a minerálních hnojiv na zvýšení výnosu a jeho kvalitu zmiňuje i Vaněk et. al (2016). Na stanovišti Praha Suchdol bylo na variantách hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv dosaženo nejvyšších výnosů, vyjma varianty hnojené pouze NPK. Tohoto výsledku bylo podle mého názoru dosaženo stejnými faktory jako na stanovišti Červený Újezd. To, že na Praze Suchdol byly na těchto variantách výnosy vyšší, než na

Červeném Újezdě přisuzují fakt, že stanoviště Praha Suchdol se nachází v místě, kde jsou úrodnější půdy.

Hooper et. al (2015) na základě vlastních pokusů navrhuje aplikovat dělené dávky dusíkatých hnojiv. Tento postup se kladně projevil na stanovišti Praha Suchdol. Zde bylo díky rozdělení dávek minerálních hnojiv dosaženo velmi vysokých výnosů narozdíl od variant hnojených pouze organickými hnojivy jako hnůj nebo kaly z čistírny odpadních vod, kde byl všechn dusík aplikován pouze před výsadbou předplodiny. Nicméně s tvrzením Hoopera et. al (2015) jsou v rozporu výnosy na stanovišti Červený Újezd, kde varianty hnojené organickými hnojivy dosáhly vyšších výnosů než varianty, na kterých byla aplikována dělená dávka minerálních hnojiv. Zde se jedná o největší rozdíl výnosů mezi oběma stanovišti.

Na stanovišti Červený Újezd bylo na variantách hnojených pouze organickým hnojivem dosaženo druhých nejvyšších výnosů hned po variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv. Zatímco na stanovišti Praha Suchdol bylo u těchto variant zaznamenán nižší výnos, vůči jinak hnojeným variantám na tomto stanovišti. Především varianta hnojená hnojem zaznamenala velký propad a mimo kontrolní varianty se jedná o nejnižší dosažený výnos na obou stanovištích. Takové výsledky byly zřejmě způsobeny rozdílnými teplotami, kdy v loňském roce bylo poměrně chladné jaro, a tím došlo ke zpomalení mineralizace dusíku z organické hmoty. Především na stanovišti Praha Suchdol se vyskytly nižší teploty, a tudíž se vytvořili nepříznivé podmínky pro mineralizaci dusíku z organických látek. Z tohoto důvodu nebyl potřebný dusík dodán rostlinám v době jejich potřeby, což negativně ovlivnilo tvorbu výnosu. Z grafů číslo 4 a 5 lze vidět, že na variantě hnojené hnojem byl na stanovišti Červený Újezd výnos vyšší o 1,64 t/ha. Na tomto stanovišti tedy byly podmínky pro průběh mineralizace vlídnější, kdy mohlo mineralizaci příznivěji ovlivnit kromě teploty také pH nebo obsah organické hmoty v půdě. Díky dobrému průběhu mineralizace tak mohly rostliny dostat dostačující množství dusíku v době potřeby, a tím mohlo být dosaženo vyššího výnosu než na Praze Suchdol.

Černý et al. (2010) uvádějí, že u variant hnojených pouze organickými hnojivy docházelo vždy k nižším výnosům. Toto tvrzení se neshoduje s výsledky této bakalářské práce na stanovišti Červený Újezd. Výnosy na tomto stanovišti u organicky hnojených variant přesáhly varianty hnojené pouze minerálními dusíkatými hnojivy a u variant s kombinací obou těchto hnojiv mají poměrně vyrovnané výsledky. Domnívám se, že za tyto neshody ve výsledcích na stanovišti Červený Újezd jsou zodpovědné již zmiňované teplotní rozdíly.

Černý et. al (2010) vyhodnocoval průměrné hodnoty za dobu 12 let od roku 1997 do roku 2008 ze stejných dlouhodobých pokusů, které prováděli na stejných stanovištích v rámci

pokusů KVAR. Nicméně se liší odrůda pěstované pšenice, kdy Černý et al. (2010) používal odrůdu Alana, zatímco v pokusech, kterým se věnuje tato bakalářská práce byla zasetá odrůda RTG Reform.

Dalším faktorem vedoucím ke sporům ve výsledcích těchto pokusů bylo pozorování, že podmínky zimy během pěstování pšenice pro tuto bakalářskou práci výrazně přispěly k rozvoji kořenového systému a tvorbě odnoží. I přes chladné jaro si pšenice byla schopná tyto již dobře rozvinuté části uchovat. To se kladně projevilo při tvorbě vyšších výnosů, oproti pšenici z pokusů Černého et al. (2010), která byla pěstována během výrazně deštivějších let.

6.2 Obsah dusíkatých látek v zrně

Duscaj & Ložek (2014) vycházejí ze svých pokusů s tím, že při aplikaci 140 kg N/ha je pozitivně ovlivněna tvorba dusíkatých látek v zrně ozimé pšenice. Toto tvrzení koreluje s výsledky této bakalářské práce. Z grafu číslo 18 můžeme jasně vidět, že na variantách hnojených minerálními hnojivy, kterými byla pšenici dodána dávka dusíku 140 kg N/ha dosahují obsahy dusíkatých látek v zrně vyšších hodnot než u variant hnojených pouze organickými hnojivy, kde byla dávka dusíku 330 kg N/ha dodána k předplodině. Z obou stanovišť dosáhly potravinářské kvality pouze pšenice z variant N a Hnůj $\frac{1}{2}$ + N. Obě varianty se nacházely na stanovišti Červený Újezd. Varianta Hnůj $\frac{1}{2}$ + N dosáhla o 0,45 pb vyššího obsahu dusíkatých látek v zrně než varianta N. To, že nejvyššího obsahu dusíku v zrně bylo dosaženo na variantě hnojené kombinací organických a minerálních hnojiv, a tudíž bylo k pšenici aplikováno pouze 110 kg N/ha přisuzuji stejnému důvodu, kterým jsem odůvodnil vyšší výnos zrna u této varianty. Důvodem takto vysokého obsahu dusíku v zrně by tedy pravděpodobně mohlo být způsobeno poměrně příznivými podmínkami, které umožnily mineralizaci dusíku z organických látek v dostatečné míře. K tomuto uvolněnému dusíku se poté přičetla dávka 110 kg N/ha z aplikovaných minerálních hnojiv, která se aplikovala až k pšenici. Pokud bylo z organických látek uvolněno dostatečné množství dusíku, mohlo tak dojít k překonání dávky 140 kg N/ha, a to by vedlo k velmi vysokým hodnotám na této variantě.

U varianty hnojené hnojem, která se nacházela na stanovišti Praha Suchdol došlo jako u jediné varianty z obou stanovišť k propadu obsahu dusíkatých látek v zrně. Tento jev pravděpodobně lze vysvětlit malým odběrem dusíku vůči poměrně vysokému výnosu, kdy i přes snahu rostlin transportovat co nejvíce dusíku do zrna, nebylo možné dosáhnout vyššího obsahu dusíkatých látek v zrně.

Abrham et. al (nedatováno) na základě jejich experimentu uvádějí, že obsah proteinu v zrně ozimé pšenice může být až z 53 % ovlivněn systémem hnojení. Z menší poloviny je pak obsah dusíkatých látek ovlivňován podmínkami daného ročníku. Významným faktorem je zde úhrn srážek během vegetačního období. Genotyp pěstované pšenice má ovšem nemalý vliv na tvorbu obsahu dusíkatých látek v zrně.

Černý et al. (2020) uvádí, že při dostatečném úhrnu srážek je možné udržet aplikaci kvalitativní dávky dusíku až do doby kvetení, dokonce až do doby po odkvětu. Dostatek srážek je pro aplikaci kvalitativní dávky dusíku důležitý, protože pokud je dusík aplikován za suchého období, rostliny ho nebudou moci dobře přijmout. Kvalitativní hnojení dusíkem má největší vliv na tvorbu dusíkatých látek v zrně pšenice. To je potřeba brát v úvahu u pěstování potravinářských odrůd pšenice, kde aplikace pozdější vyšší dávky dusíku ovlivňuje utváření dusíkatých látek v zrně ozimé pšenice.

6.3 Sklizňový index dusíku

Nejvyšších hodnot sklizňových indexů dusíku na obou stanovištích bylo dosaženo na nehnojených variantách oproti variantám hnojených organickými nebo minerálními dusíkatými hnojivy. Tyto výsledky bakalářské práce korelují s výsledky práce Zhanga et. al (2021), kteří ve své práci došli stejným výsledkům, kdy nehnojené varianty dosáhly nejvyšších indexů dusíku oproti hnojeným variantám. Zhang et. al (2021) připisují hlavní vliv počasí, zejména pak úhrnu srážek. Tento faktor má zajisté svůj vliv na výsledný index dusíku. Avšak po srovnání sklizňového indexu dusíku (grafy číslo 16, 17) a obsahem dusíku v zrně (grafy číslo 12, 13) a ve slámě (grafy číslo 14, 15) z výsledků této bakalářské práce lze vidět, že poměr mezi obsahem dusíku v zrně a ve slámě pšenice má také výrazný vliv. Na obou stanovištích je u nehnojených variant vidět, že obsah dusíku v zrně je větší oproti hnojeným variantám, kde se rozdíl mezi obsahem dusíku v zrně a slámě zmenšuje. Mezi variantami hnojenými organickými hnojivy a variantami hnojenými pouze minerálními hnojivy se tento jev objevuje také. U variant hnojených organickými hnojivy je oproti variantám s minerálními hnojivy dosaženo vyšších rozdílů mezi obsahem dusíku v zrně a ve slámě. Z těchto výsledků se tedy domnívám, že na hodnoty sklizňového indexu dusíku má značný vliv obsah dusíku v zrně.

Zimolka et al. 2005 zmiňuje, že po odkvětu se odběr dusíku z půdy poměrně snižuje. Děje se tak zejména proto, že rostliny začnou transportovat dusík do zrna z ostatních částí rostlin. Tak se obsah dusíku v zrně zvyšuje na úkor obsahu dusíku ve slámě.

7 Závěr

V této bakalářské práci byl zkoumán vliv různých hnojiv na výnos a obsah dusíku v rostlinách ozimé pšenice. Byly porovnávány výsledky ze stanovišť Praha Suchdol a Červený Újezd. Na každém stanovišti se zkoumaly účinky sedmi organických a minerálních hnojiv.

- Kombinace organických a minerálních hnojiv vedly k vyšším výnosům zrna než aplikace samotných minerálních nebo organických hnojiv
- Odběr dusíku zrnem byl vyšší než odběr dusíku slámou
- Pravidelnou aplikací organických hnojiv je zlepšována půdní úrodnost a na méně úrodných stanovištích je dosahováno vyrovnanějších výnosů
- Pro dosažení požadované potravinářské kvality pšenice je zapotřebí vyšší dávky než 140 kg N/ha
- Při aplikaci minerálních hnojiv bylo dosaženo vyšších odběrů dusíku než při aplikaci pouze organických hnojiv
- Aplikace organických hnojiv má vyšší vliv odběr dusíku zrnem, zatímco minerální hnojiva působí více na odběr dusíku slámou
- Sklizňový efekt je vyšší při aplikaci organických hnojiv
- Aplikace organických nebo minerálních hnojiv pozitivně působí na tvorbu výnosu a obsahu dusíkatých látek

Hypotézy:

1. Jednotlivé varianty budou mít rozdílný sklizňový index dusíku.

Hypotéza byla jednoznačně potvrzena. Na obou stanovištích dosáhl sklizňový index dusíku vyšších hodnot na kontrolních variantách a na variantách hnojených organickými hnojivy, oproti variantám hnojených minerálními hnojivy.

2. Hnojení dusíkem pozitivně ovlivňuje obsah dusíkatých látek v pšeničném zrně.

Tato hypotéza byla na Stanovišti Červený Újezd potvrzena, neboť všechny hnojené varianty dosáhly vyššího obsahu dusíkatých látek v pšeničném zrně. Na stanovišti Praha Suchdol nelze hypotézu jednoznačně potvrdit. Zde hypotézu potvrzuje většina variant až na variantu hnůj, která vykazuje propad obsahu dusíkatých látek v zrně vůči kontrole.

3. Na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy bude dosahováno vyšších výnosů než na variantách hnojených pouze organickými hnojivy.

Tato varianta byla potvrzena na stanovišti Praha Suchdol, kde varianty hnojené pouze minerálními hnojivy dosáhly vyšších výnosů než varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Na stanovišti Červený Újezd byla tato hypotéza vyvrácena, když varianta hnojená hnojem dosáhla vyššího výnosu, než varianty hnojené NPK a čistým dusíkem. Oproti variantě hnojené čistým dusíkem dosáhla vyššího výnosu i varianta hnojená čistírenským kalem.

8 Literatura

- Abrham Z, Vach M, Hlisnikovský L. Nedatováno. Vliv aplikace hnojiv na výnosy, jakost a ekonomiku pšenice ozimé. Výzkumný ústav zemědělské techniky v. v. i., Praha.
- Balík J, Černý J, Kulhánek M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. ISBN: 978-80-213-2329-2.
- Balík J, Černý J, Pavlíková D. 2012. Systém dusíkaté výživy CULTAN u travních a jetelotravních porostů: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. ISBN 978-80-213-2330-8.
- Bittner V. 2009. Škodlivé organismy pšenice. Kurent, České Budějovice. ISBN: 978-80-8711-117-8
- Balík J. 2007. Konference Uplatnění inhibitorů nitrifikace při aplikaci hnojiv. In Bouma D. 2007. Jak uplatnit inhibitory nitrifikace. Úroda. Dostupné z: <https://uroda.cz/jak-uplatnit-inhibitory-nitrifikace/>
- Buchholz D. Nedatováno. Nitrogen in the plant. Extension University of Missouri. Dostupné z: https://extension2.missouri.edu/wq259?fbclid=IwAR1uUOs6wJnc0jKabQctDI919w4ju_TATZ_q4p5w77I7xwYyfBrrvl-Ci8. (accessed September 2023)
- Cakmak I, Yazici AM. 2010. Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. Better Crops.
- Ciaffi M, Paolacci AR, D'Aloisio E, Marabottini R, Tanzarella OA, Porceddu E. 2005. Molecular aspects of the sulfur nutrition in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Planta* **222**:389-395.
- Curtis BC, Rajaram S, Macpherson H. 2002. Bread wheat improvement and production. Food and agriculture organization of the united nations, Rome. ISBN 92-5-104809-6.
- Černý J. 2009. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. České sdružení pro biomasu. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/projekty/konference-racionalni-pouziti-hnojiv-2009> (accessed February 2024)
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Časová K, Nedvěd V. 2010. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant, Soil and Environment* **56**:28-36.
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O, Vašák F. 2016. Význam boru ve výživě rostlin. *Agromanual*. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyznam-boru-ve-vyzive-rostlin> (accessed January 2024).
- Černý J, Sedlář O, Kulhánek M, Balík J, Šiler D. 2020. Hnojení ozimé pšenice dusíkem podle vývoje porostu a vědeckých poznatků. *Agromanual*. Dostupné z <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-ozime-psenice-dusikem-podle-vyvoje-porostu-a-vedeckych-poznatku> (accessed April 2024)
- Černý et al. 2020. Vhodná dávka síry a termín aplikace při jarním hnojení ozimé pšenice. *Agromanual*. Dostupné z <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vhodna-davka-siry-a-termin-aplikace-pri-jarnim-hnojeni-ozime-psenice> (accessed February 2024)

- Černý J, Vaněk V, Kozlovský O. 2011. Hnojení dusíkem. specifika a aplikace. Profi Press. Zemědělec.
- Černý J, Shejbalová Š, Kovařík J, Kulhánek M. 2014. Předset'ové a podzimní hnojení pšenice ozimé. Agromanuál. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-astimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed October 2023).
- Davidson EA, Janssens IA. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* **440**:165-173.
- Ducsay L, Provazník M. 2018. Výživa a hnojenie ozimnej pšenice na jeseň. Agromanuál. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyziva-ahnojenie-ozimnej-psenice-na-jesen> (accessed October 2023).
- Ducsay L, Ložek O. 2004. Effect of topdressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain. *Plant, Soil and Environment* **50**:309–314
- Faměra O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, Praha.
- Fecenko J, Ložek O. 2000. Výživa a hnojenie polných plodín. SPU v Nitre.
- Font-Palma C. 2019 Methods for the Treatment of Cattle Manure—A Review. *C*. Dostupné z <https://doi.org/10.3390/c5020027> (accessed January 2024)
- Gärdenäs AI, Ågren GI, Bird JA, Clarholm M, Hallin S, Ineson P, Kätterer T, Knicker H, Nilsson SI, Näsholm T, Ogle S, Paustian K, Persson T, Stendahl S. 2011. Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions - From molecular to global scale. *Soil Biol Biochem* **43**: 702–717.
- Gonzalez-Lopez J, Gonzalez-Martinez A. 2021. Nitrogen Cycle: Ecology, Biotechnological Applications and Environmental Impacts. CRC Press, Boca Raton.
- Hafsi Ch, Debez A, Abdely Ch. 2014. Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiol Plant* **36**:1055–1070.
- Harrison JA. 2003. The Nitrogen Cycle: Of Microbes and Men. Visionlearning, Inc. Dostupné z: <https://www.visionlearning.com/en/library/Earth-Science/6/The-Nitrogen-Cycle/98> (accessed June 2023).
- Hawkesford MJ, De Kok LJ. 2006. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell & Environment* **29**:382-395.
- Heřmanská A, Kůst F. 2023. Situační a výhledová zpráva obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Hooper P, Zhou Y, Coventry DR, McDonald GK. 2015. Use of Nitrogen Fertilizer in a Targeted Way to Improve Grain Yield, Quality, and Nitrogen Use Efficiency. *Agronomy Journal* **107**:903-915.
- Chaloupský R, Šnobl J, Krivánek J, Vavera R. 2004. Vliv utužení půdy na sledované výnosové ukazatele pšenice ozimé a ječmene jarního. Sborník Řepářství a sladovnický ječmen. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

- Inglett PW, Reddy KR, Corstanje R. 2005. Anaerobic Soil. Pages 72-77 in Hillel D, Hatfield JL, Powlson DS, Rosenzweig C, Scow KM, Singer MJ, Sparks DL, editors. Encyclopedia of soils in the environment. Academic Press, New York.
- Jacobsen JS, Westermann RL. 1988. Nitrogen Fertilization in Winter Wheat Tillage Systems. Journal of Production Agriculture. 1(3), 235–239.
- Karamanos RE, Goh TB. 2004. Effect of rate of copper application on the yield of hard red spring wheat. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **35**:2037–2047.
- Konvalina P, Capouchová I, Stehno Z, Moudrý J, Moudrý J. jr. 2010. Volba druhu a odrůdy pšenice v ekologickém zemědělství. Metodika pro praxi. JU v Českých Budějovicích.
- Kozlovský O, Balík J, Černý J, Kulhánek M, Kos M, Prášilová M. 2009. Influence of nitrogen fertilizer injection (CULTAN) on yield, yield components formation and quality of winterwheat grain. Plant, Soil and Environment **55**:536–543.
- Kejř L. 2007. Ověření účinnosti stupňovaných dávek dusíku při konstantních hladinách fosforu a draslíku. Ústřední kontrolní ústav zemědělský v Brně, Planá nad Lužnicí.
- Kubík L. 2009. Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV). České sdružení pro biomasu. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov> (accessed January 2024)
- Kunzová E, Hlisnikovský L, Menšík L. 2022 Vliv hnojení statkovými a minerálními hnojivy na výnos a kvalitu pšenice ozimé na stanovištích Ivanovice na Hané a Lukavec v letech 2015–2018. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha. Dostupné z <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vliv-hnojeni-statkovymi-a-mineralnimi-hnojivy-na-vynos-a-kvalitu-psenice-ozime-na-stanovistich-ivano> (accessed March 2024)
- Křen J. 2021. Výnosotvorné prvky pšenice. Page 47 in Horáková V., Dvořáčková O., editors. Seznam doporučených odrůd 2021. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.
- Matula J. 1997. Výživa a hnojení dusíkem. Agro ochrana a výživa rostlin **07**:44
- Marschner P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.
- Mikanová O, Šimon T. 2013. Alternativní výživa rostlin dusíkem. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Näsholm T, Huss-Danell K, Högberg P. 2000. Uptake of organic nitrogen in the field by four agriculturally important plant species. Ecology **81**:1155–1161.
- Pazderů K, Bečka D, Capouchová I, Dvořák P, Procházka P, Urban J. 2018. Pěstování rostlin – cvičení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Pazdera J, Bečka D, Capouchová I, Dvořák P, Křivánek J, Kuchtová P, Štolcová M, Urban J. 2006. Pěstování rostlin – cvičení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Ryant P, Antošovský J, Škarpa P. 2017. Hnojení pšenice ozimé na jaře. Agromanual. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojenipsenice-ozime-na-jare> (accessed October 2023).

Saquee FS, Diakite S, Kavhiza NJ, Pakina E, Zargar M. 2023. The Efficacy of Micronutrient Fertilizers on the Yield Formulation and Quality of Wheat Grains. *Agronomy* **13**:566.

Schimel J, Bennett J. 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology* **85**:591-602.

Smith KA, Ball T, Conen F, Dobbie KE, Massheder J, Rey A. 2011. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* **62**:135-149.

Stein LY, Klotz MG. 2016. The nitrogen cycle. *Current Biology Magazine* **26**:94-98.

Šarapatka B, Urban J. (2006). *Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO, Svaz ekologických zemědělců Šumperk.*

Škarpa P, Ryant P, Antošovský J. 2016. Základní hnojení pšenice ozimé. *Agromanual*. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-pšenice-ozime> (accessed October 2023).

Šnobl J, Purkrábek J. 2007. *Základy rostlinné produkce. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze, Praha.*

Vance CP, Uhde-Stone C, Allan DL. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*.

Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha.*

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin. ProfiPress, Praha.*

Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin. ProfiPress, Praha.*

Vaněk V, Pavlíková D, Balík J, Tlustoš P. 1997. Dusík v půdě a jeho přeměny. *Agris.cz*. Dostupné z: <http://www.agris.cz/clanek/118806> (accessed June 2023)

Wang C, Van den Ende W, Tillberg JE. 2000. Fructan accumulation induced by nitrogen deficiency in barley leaves correlates with the level of sucrose:fructan 6-fructosyltransferase mRNA. *Planta* **211**.

Yanai Y, Toyota K, Okazaki M. 2005. Effects of temperature and moisture on net nitrogen mineralization in forest floors. *Soil Science Society of America Journal* **69**:1844-1853.

Zhang P, Qi Y, Wang H, He J, Li R, Liang W. 2021. Optimizing nitrogen fertilizer amount for best performance and highest economic return of winter wheat under limited irrigation conditions. *Plos one*. Dostupné z

https://www.researchgate.net/publication/356619445_Optimizing_nitrogen_fertilizer_amount_for_best_performance_and_highest_economic_return_of_winter_wheat_under_limited_irrigation_conditions/citations (accessed April 2024)

Zimolka J, Edler S, Hřivna L, Jánský J, Kraus P, Mareček J, Novotný F, Richter R, Říha K, Tichý F. 2005. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, Praha.*

9 Seznam tabulek a grafů

9.1 Grafy

1. Odběr živin výnosem zrna (kg/t)	23
2. Průměrná měsíční teplota během vegetace Praha Suchdol	40
3. Měsíční úhrny srážek během vegetace Praha Suchdol	40
4. Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	44
5. Výnos zrna (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	45
6. Výnos slámy (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	46
7. Výnos slámy (t/ha) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	47
8. Obsah dusíku v zrně (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	48
9. Obsah dusíku v zrně (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	49
10. Obsah dusíku ve slámě (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	50
11. Obsah dusíku ve slámě (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	51
12. Odběr dusíku zrnem (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	52
13. Odběr dusíku zrnem (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	53
14. Odběr dusíku slámou (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	54
15. Odběr dusíku slámou (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	55
16. Sklizňový index dusíku (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Praha Suchdol	56
17. Sklizňový index dusíku (%) ozimé pšenice z jednotlivých variant na stanovišti Červený Újezd	57
18. Obsah dusíkatých látek (%) v zrně ozimé pšenice na stanovištích Praha Suchdol a Červený Újezd	59

9.2 Tabulky

1. Průměrné odběry živin ozimou pšenicí vztažené na 1 t výnosu zrna a průměrný celkový odběr celkový odběr při výnosu 6 t/ha	16
2. Dávky dusíku k základnímu hnojení pšenice ozimé podle N_{min} v půdě	24
3. Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu	39
4. Bilance dusíku Praha Suchdol	58
5. Bilance dusíku Červený Újezd	58

9.3 Obrázky

1. Schéma koloběhu dusíku	28
---------------------------------	----