

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Vliv hnojení na výnos ozimé pšenice

Bakalářská práce

Autor práce: Lukáš Šístek

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

Konzultant: Ing. Jakub Kovářík

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv hnojení na výnos 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 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Černému, Ph. D. za vstřícnost, trpělivost, poskytnutí cenných informací a odborných konzultací a za čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

Vliv hnojení na výnos ozimé pšenice

Souhrn

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv hnojení na odlišných stanovištích s různými půdně-klimatickými podmínkami na výnos a výnosotvorné parametry ozimé pšenice.

Pšenice je nejrozšířenější obilninou v České republice. V osevních postupech zaujímá téměř polovinu všech pěstovaných obilnin a tvoří asi 30 % celkové oseté plochy. Jejimi výhodami při pěstování jsou relativně stabilní úroveň výnosů a kvalita.

Dlouhodobé stacionární pokusy s rotací plodin byly založeny na podzim roku 1996 na pěti stanovištích ČR s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami (Červený Újezd, Hněvčevy, Humpolec, Lukavec a Praha - Suchdol). V pokusu se střídají tři plodiny ve sledu: brambory, pšenice a ječmen. V pokusu byly porovnávány varianty hnojené organicky, minerálně a kombinace organického a minerálního hnojení v lokalitách Červený Újezd, Humpolec a Suchdol. Pro potřeby pokusu je využíván kal z ÚČOV Praha. Hnůj a sláma se používá z jednotlivých pokusných stanovišť. Jako dusíkaté hnojivo se využívá ledek amonný s vápencem, fosforečným hnojivem je trojitý superfosfát a draselným hnojivem je draselná sůl.

Z výsledků pokusu lze jednoznačně vyvodit, že nejnižších hodnot všech sledovaných parametrů bylo dosahováno na variantách hnojených pouze organicky. Po přidání minerálního dusíkatého hnojiva se úroveň sledovaných parametrů značně změnila a došlo tak k nárůstu těchto parametrů oproti nehnojené kontrole. Nejvyšší výsledky ve vztahu k výnosu a kvalitě ozimé pšenice byly zjištěny v lokalitě Červený Újezd a nejnižších hodnot bylo dosahováno v lokalitě Humpolec. Nejvyšší výnos zrna pšenice byl zjištěn v lokalitě Červený Újezd na variantě N ($12,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejnižší výnos zrna pšenice byl dosažen v lokalitě Humpolec na variantě Hnůj ($3,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Na stanovišti Humpolec však byla zaznamenána nejvyšší reakce na hnojení dusíkatými hnojivy. Nejnižší nárůst výnosu zrna oproti kontrole byl 207 % a výnosu slámy 333 %. Nejvyšší využití dusíku bylo stanoveno na stanovišti Červený Újezd, kde pšenice odebrala většinu dusík z dodaných dusíkatých hnojiv.

Klíčová slova: dlouhodobý pokus, dusík, draslík, fosfor, příjem živin, pšenice ozimá, výnos

The effect of fertilization on winter wheat yield

Summary

The aim of this work was to evaluate the effect of fertilization on different sites with different soil and climatic conditions on the yield and productivity parameters of winter wheat.

Wheat is the most widespread cereal in the Czech Republic. In the crop rotations it occupies almost half of all grain grown and about 30% of the total sown area. Its advantages, when cultivating, are the relatively stable level of yield and quality.

Long-term stationary experiments with crop rotation were established in the fall of 1996 at five sites of the Czech Republic with different soil and climatic conditions (Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec and Prague - Suchdol). In an experiment there are three crops grown in sequence: potatoes, wheat and barley. In a trial there were compared organic fertilized, mineral fertilized and combined organic with mineral fertilized plots in Červený Újezd, Hupolec and Suchdol sites. For purposes of the experiment is used sludge from WWTP in Prague. Manure and straw are used from each experimental sites. As a nitrogenous fertilizer is used ammonium nitrate with limestone, phosphorus fertilizer is triple superphosphate and potassium fertilizer is potassium salt.

From the experimental results can be clearly inferred that the lowest values of all monitored parameters were achieved on the plots fertilized only with organic fertilizers. After the addition of mineral nitrogen fertilizer the levels of monitored parameters has changed significantly and thus was achieved an increase in these parameters compared to unfertilized control plot. The highest results in relation to the winter wheat yield and quality were found in Červený Újezd and the lowest in Humpolec. The highest yield of wheat grain was found in Červený Újezd on N fertilized plot (12.28 t ha^{-1}). The lowest yield of wheat grain was achieved in Humpolec on manure fertilized plot (3.9 t ha^{-1}). However, the highest response to nitrate fertilization was found in Humpolec. The lowest increase in grain yield was 207 % and 333 % increase in yield of straw compared to the control plot. The highest use of nitrogen was determined at Červený Újezd station, where the wheat consumed most of the nitrogen supplied by nitrogen fertilizers.

Keywords: Long-term experiment, nitrogen, potassium, phosphorus, nutrient intake, winter wheat, yield

Obsah

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Cíl práce a hypotézy..... | 2 |
| 3 | Literární rešerše..... | 3 |
| 3.1 | Význam obilnin..... | 3 |
| 3.1.1 | Význam pšenice v České republice | 3 |
| 3.2 | Botanická charakteristika | 4 |
| 3.3 | Anatomická stavba..... | 5 |
| 3.3.1 | Vegetativní orgány..... | 5 |
| 3.3.1.1 | Kořenová soustava | 5 |
| 3.3.1.2 | Listy..... | 6 |
| 3.3.1.3 | Stéblo..... | 6 |
| 3.3.2 | Generativní orgány | 6 |
| 3.3.2.1 | Květenství pšenice | 6 |
| 3.3.2.2 | Stavba obilky..... | 7 |
| 3.4 | Půdně-klimatické požadavky pro pěstování pšenice | 7 |
| 3.5 | Výnos a výnosotvorné prvky | 9 |
| 3.6 | Výživa rostlin..... | 11 |
| 3.6.1 | Rostlinné živiny | 12 |
| 3.6.2 | Rozdělení živin | 12 |
| 3.6.3 | Příjem živin..... | 12 |
| 3.6.3.1 | Příjem živin kořeny rostlin..... | 13 |
| 3.6.3.2 | Mimokořenová výživa..... | 13 |
| 3.6.4 | Funkce jednotlivých živin v rostlině..... | 15 |
| 3.6.4.1 | Dusík | 15 |
| 3.6.4.2 | Fosfor | 21 |
| 3.6.4.3 | Draslík..... | 22 |
| 3.7 | Hnojení ozimé pšenice..... | 24 |
| 3.7.1 | Hnojení pšenice minerálním dusíkem..... | 24 |
| 3.7.1.1 | Dusíkatá hnojiva..... | 27 |
| 3.7.2 | Hnojení pšenice minerálním fosforem..... | 28 |
| 3.7.2.1 | Fosforečná hnojiva | 28 |
| 3.7.3 | Hnojení pšenice minerálním draslíkem | 29 |
| 3.7.3.1 | Draselná hnojiva..... | 29 |
| 3.7.4 | Hnojení organickými hnojivy | 30 |
| 3.7.4.1 | Aplikace organických hnojiv | 30 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.7.4.2 | Stájová hnojiva..... | 30 |
| 3.7.4.3 | Rostlinná organická hnojiva..... | 31 |
| 3.8 | Jakost potravinářské pšenice | 31 |
| 3.8.1 | Objemová hmotnost..... | 33 |
| 3.8.2 | Obsah dusíkatých látek | 33 |
| 4 | Materiály a metody | 34 |
| 4.1 | Polní pokus..... | 34 |
| 4.1.1 | Hnojení jednotlivých variant | 34 |
| 4.1.2 | Charakteristika pokusných lokalit | 36 |
| 4.2 | Laboratorní zpracování..... | 37 |
| 4.2.1 | Stanovení objemové hmotnosti..... | 37 |
| 4.2.2 | Stanovení obsahu dusíku | 37 |
| 5 | Výsledky..... | 38 |
| 5.1 | Výnos | 38 |
| 5.1.1 | Výnos zrna | 38 |
| 5.1.2 | Výnos slámy | 39 |
| 5.2 | Objemová hmotnost | 41 |
| 5.3 | Obsah dusíku | 42 |
| 5.3.1 | Dusík v zrn..... | 42 |
| 5.3.2 | Dusík ve slámě..... | 43 |
| 5.4 | Odběr dusíku | 45 |
| 5.4.1 | Odběr zrnem | 45 |
| 5.4.2 | Odběr slámou..... | 46 |
| 5.5 | Bilance dusíku..... | 48 |
| 6 | Diskuze..... | 50 |
| 6.1 | Výnos a jakost..... | 50 |
| 7 | Závěr | 55 |
| 8 | Seznam literatury..... | 57 |
| 9 | Seznam příloh..... | 67 |

1 Úvod

Obilniny patří k nejdůležitějším zdrojům výživy, které lidstvo pěstuje uvědomělou a systematickou činností. Obilniny jsou plodiny, které doprovází lidstvo prakticky od jeho vývoje a díky své genetické rozmanitosti zajišťují výživu lidí v různých zeměpisných polohách. Obilniny se využívají k mnoha účelům. Ze zrna se například vyrábí mouka, pivo a líh. Dále se zrno používá k úpravě samostatných pokrmů, jako příloha (rýže, pohanka) a jako krmivo pro hospodářská zvířata. Sláma se jako vedlejší produkt může využívat jako krmivo, stelivo a pro energetické účely. V dnešní době se sláma, kvůli nedostatku statkových hnojiv, hojně využívá jako organické hnojivo.

Pšenice je nejrozšířenější obilninou v České republice. V osevních postupech zaujímá téměř polovinu všech pěstovaných obilnin a tvoří asi 30 % celkové oseté plochy. Při pěstování představuje produkční jistotu díky své relativně stabilní úrovni výnosů a kvality. Asi 30 % pšeničného zrna se v České republice používá v potravinářství, 10 % jako osivo a zbývajících cca 60 % se využívá na krmiva, na průmyslové využití a na export.

Nejdůležitější živinou v koloběhu látek v přírodě je spolu s uhlíkem dusík, protože dusík má nezastupitelnou roli ve všech živých soustavách. Je součástí všech struktur a funkcí většiny složek přírody. V živých organismech je součástí rozmanitých sloučenin jako jsou například aminokyseliny, nukleové kyseliny a chlorofyl.

Pro dosažení vysokých výnosů a kvality je nutné zajistit správnými agrotechnickými zásahy (příprava půdy, setí, hnojení a ochrana rostlin před škůdci a chorobami) vhodné pěstební podmínky, které je nutné správně načasovat jako například dusíkaté hnojení, které by se mělo orientovat hlavně na růstové fáze pšenice. Optimální hnojení neboli výživa rostlin je nejdůležitějším předpokladem pro zdárný růst a vývoj rostlin, protože při nedostatku živin klesá výnos i kvalita. Nejdůležitější roli ve výživě rostlin má dusík. Používáním dusíkatých hnojiv bez ostatních živin však není možné docílit efektivních výsledků, protože pro rostliny, stejně jako pro všechny živočichy, je důležitý dostatek všech živin v optimálním množství. Pro dosažení maximálního agronomického i ekonomického účinku dusíkatého hnojení je nutné znát obsah dusíku v půdě a brát ohledy na požadavky rostlin. Nadměrné hnojení může působit i negativně, například omezováním klíčení, nadměrnou produkcí vegetativní hmoty na úkor tvorby semen, zvyšováním náchylnosti k polehnutí, omezováním příjmu jiných živin nebo může nadbytek živin působit až fyto toxicky.

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bude vyhodnotit vliv hnojení na odlišných stanovištích na výnos a výnosotvorné parametry ozimé pšenice.

Hypotézy

1) Na všech variantách hnojených dusíkem bude pšenice vytvářet vyšší výnosy než na nehnojené kontrole, přičemž přírůstek výnosu bude na jednotlivých stanovištích rozdílný. Předpokládá se tak, že vliv hnojení dusíkem bude závislý na půdně-klimatických podmínkách stanoviště a průběhu počasí.

2) Varianta hnojená pravidelně hnojem s přidavkem minerálního dusíkatého hnojiva bude dosahovat nejvyšších výnosů zrna ze všech variant hnojení.

3) Hnojení hnojem bude mít za následek zvýšení výnosu vůči variantě hnojené minerálním dusíkatým hnojivem a slámou.

4) Pšenice hnojená N, P a K bude dosahovat vyšších výnosů zrna v porovnání s variantou hnojenou pouze dusíkatým hnojivem.

3 Literární rešerše

3.1 Význam obilnin

Obilniny patří mezi nejdůležitější zdroj potravy, který lidé získávají svou uvědomělou a systematickou činností z přírody. Obilniny provázejí člověka prakticky po celou dobu vývoje. Vhodně zpracované obiloviny jsou v celosvětovém měřítku nejvýznamnějším zdrojem energie ve formě sacharidů. Jsou však zdrojem i jiných důležitých látek, které bývají sice v jiných potravinách obsaženy i ve vyšší koncentraci, ale nevyrovnají se spotřebou obilovinám (Prugar et al., 2008). Tvoří asi polovinu výživy lidstva a jsou to například pšenice, rýže, kukuřice, ječmen, proso, čiroky, žito a oves. Obilniny tedy zajišťují výživu lidí v různých zeměpisných polohách. To souvisí i s velkou genetickou rozmanitostí a s jejich neobyčejnou schopností využívat širokou škálu vnějších podmínek. Tato vlastnost se u dnešních odrůd zachovala. Obilniny reagují relativně nejvíce na intenzifikační faktory a tím pádem i největším zvyšováním výnosů (Petr et al., 1983).

Obilniny tvoří klíčovou složku polních plodin v rostlinné výrobě. Jejich postavení je natolik dominantní, že tvoří hlavní energetickou složku ve výživě lidí. Přibližně 25% produktů je spotřebováno v lidské výživě, přičemž největší plochy pěstovaných obilnin zaujímá pšenice (Kováč et al., 1998).

3.1.1 Význam pšenice v České republice

Pšenice zaujímá zhruba polovinu plochy obilnin v osevních postupech a díky své relativně stabilní úrovni výnosů a vysoké kvality představuje produkční jistotu ve všech oblastech České republiky (Palík et al., 2009).

Mezi tradičně pěstované druhy patří pšenice setá. Její domestikace započala již před deseti tisíci lety v oblasti dnešního Iráku, Íránu, Sýrie a Jordánska. Při svém rozšiřování po světě se postupně měnila a adaptovala na nové klimatické podmínky a pěstitelské technologie, nejprve neuvědomělým a později cíleným výběrem prvních zemědělců (Konvalina et al., 2010). Nejvíce se ze všech druhů pěstuje pšenice obecná. Pokrývá asi 80 - 90 % celkové pěstované plochy oseté druhem pšenice (Špaldon et al., 1986).

V České republice se roční produkce pšenice pohybuje okolo 4 000 tis. tun. Spotřeba na osivo činí zhruba 190 tis. tun, na potravinářské výrobky asi 1 200 tis. tun a zbývající

množství, cca 2 600 tis. tun, se využívá například na krmiva, průmyslové využití a export (Palík et al., 2009).

Význam pšenice v České republice vyplývá z jejího postavení v osevních postupech, kde sama tvoří asi 30 % z celkové plochy. Dochází však k meziročnímu kolísání osevních ploch a při výkyvech ročníkových podmínek i v objemu celkové produkce zrna. Ačkoliv se největší podíl produkce (asi 60 %) zkrmuje, větší část ploch osetých pšenicí je využívána s cílem dosažení potravinářské kvality, která je lépe finančně ohodnocena. Asi 35 % z celkové produkce se využívá pro mlynářsko-pekárenské zpracování. Nadbytečné objemy pšenice v potravinářské kvalitě se poté využívají na nepotravinářské využití, jako je například výroba bioethanolu (Prugar et al., 2008).

3.2 Botanická charakteristika

Rod pšenice (*Triticum* L.) patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) a zahrnuje několik druhů a mnoho forem a odrůd. Hlavními druhy jsou pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.) a pšenice tvrdá (*Triticum durum* Desf.) (Špaldon et al., 1986).

Pšenice je jednoletá bylina (jarní i ozimá) s květenstvím staženým v lichoklas. Klas vznikl zkrácením květních stopek, takže květy jsou přisedlé a umístěné na článcích klasového větene. Klas se skládá z jednotlivých klásků, které jsou dvou až pětikvěté, většinou bezosinné. Plodem je obilka. Kořeny jsou svazčité, tvořené z adventivních kořínků. Stonkem je nevětvené, duté, článkované stéblo. Listy jsou úzce čárkovité, přisedlé (Novák et Skalický, 2012).

Základní chromozomové číslo rodu *Triticum* je $n = 7$, dle počtu chromozomů se dále dělí na tři skupiny. První skupinou jsou pšenice diploidní ($2n = 14$), druhou pšenice tetraploidní ($2n = 28$) a třetí jsou pšenice hexaploidní ($2n = 42$).

Do skupiny diploidních pšenic patří kulturní pšenice jednozrnka (*Triticum monoccocum* L.). Je spíše jarním druhem. Její klas je úzký a méně rozpadavý než u nekulturních druhů. U dvoukvětých klasů dozrává pouze jedna obilka.

Pěstitelsky významnější jsou však pšenice tetraploidní, kam se řadí pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoceum* Schrank) pšenice Timofejevova (*Triticum timopheevi*), pšenice naduřelá (*Triticum turgidum* L.), pšenice polská (*Triticum polonicum*) a pšenice tvrdá (*Triticum durum*).

Pšenice tvrdá má nelámavý klas, s dlouhými osinami, většinou delšími než samotný klas. Plevy jsou téměř stejně velké jako pluchy. Obilka je sklovitá, trojhranná a ochmýřená

s vpadlým klíčkem. Její lepek je vhodný pro výrobu těstovin. V hlavních oblastech jejího pěstování se pěstují jarní odrůdy, zatímco v Evropě se pěstují i ozimé formy.

Pěstitelsky nejvýznamnější jsou pšenice ze skupiny hexaploidů. Řadí se sem pšenice špalda (*Triticum spelta* L.) a pšenice setá (*Triticum aestivum* L.). Pšenice špalda má lámavý, dlouhý a velmi řídký klas. Klásky jsou čtyřkvěté, z nichž pouze dva kvítky jsou plodné. Obilky jsou pevně uzavřené v pluchách. Je vhodná k výrobě těstovin a její nedozrálé obilky se používají jako přísada do polévek.

Celosvětově nejrozšířenějším a nejpěstovanějším druhem je pšenice setá, která má nelámavý klas, osinatý i bezosinný, různě hustý. Plevy i pluchy jsou vejčitého či podlouhle vejčitého tvaru se zřetelným kýlem. Obilky jsou nahé s mírně vystouplým klíčkem a na druhé straně ochmýřené. Pšenice setá pravděpodobně vznikla z pšenice špaldy a vyskytuje se ve čtyřech varietách:

- *Lutescens* s bezosinným či osinatým klasem bílé barvy, které převažují v ČR,
- *Milturum* s bezosinným či osinatým klasem červené barvy,
- *Erythrospermum* s osinatým klasem bílé barvy,
- *Ferrugineum* s osinatým klasem červené barvy (Zimolka et al., 2005).

3.3 Anatomická stavba

3.3.1 Vegetativní orgány

3.3.1.1 Kořenová soustava

Kořeny jsou důležité orgány, které dodávají vodu, živiny, hormony a poskytují rostlině mechanickou oporu (ukotvení). Zdravý a rozvinutý kořenový systém je důležitý pro správný růst a vývoj rostlin (Fageria et Moreira, 2011).

Při klíčení obilky proniká radikula oplodím, čímž vzniká primární kořínek. Téměř ve stejnou dobu vznikají i adventivní kořínky. Všechny následné kořeny vyrůstají z odnožovacího uzlu nebo z nadzemního kolénka. Po objevení se koleoptile na povrchu půdy vlivem světla zastaví svůj růst. Naopak u prvního zeleného listu, který je uložen uvnitř, dojde k intenzivnímu růstu. Ze spodní báze vzrostného vrcholu se dále tvoří další listy. Po vytvoření prvních listů se pod povrchem půdy zakládá odnožovací uzel. Z odnožovacího uzlu se vytváří sekundární odnože. Každá z nich tvoří další kořeny, které vyrůstají ze sekundárního meristému, které představují hlavní podíl svazčitého kořenového systému pšenice (Zimolka et al., 2005).

Rostliny ozimé pšenice na strukturních půdách zasahují kořenovým systémem do 0,7 až 1,0 m. Převážná většina kořenů se však nachází v hloubce 0,4 m (Hřivna, 2012).

3.3.1.2 Listy

Listy jsou přisedlé a pochvou objímají stéblo. Pochva přechází v úzce čárkovitou čepel se souběžnou žilnatinou. Na místě přechodu pochvy a čepele je blanitý jazýček. Okraje listové pochvy vybíhají v ouška (Novák et Skalický, 2012). Jazýček je u pšenice krátký a po okraji vroubkovaný. Ouška jsou malá, často řídké obrvená trichomy nebo lysá. Ouška nejsou u prvních listů vyvinutá a u posledních bývají zaschlá, proto se sledují spíše u ostatních listů (Zimolka et al., 2005).

3.3.1.3 Stéblo

Stéblo pšenice je duté, tvořené z pravidla pěti články (internodia) oddělenými kolénky. Stéblo se směrem k vrcholu zužuje. Nejkratším článkem je internodium bazální a nejdelší je internodium pod klasem. Z kolének vyrůstají listy, jejichž pochva objímá stéblo a tím jej částečně zpevňuje. Kolénka stébla reagují geotropně, což znamená, že při polehnutí porostu, za předpokladu dlouhivého růstu stébla, se mohou stébla částečně znovu vzpřímit (Zimolka et al., 2005). Síla stébla podmiňuje odolnost pšenice k poléhání. Je rozdělené kolénky na 5 - 6 článků. Jeho délka závisí na genetických předpokladech odrůdy, ale také na úrodnosti půdy a hnojení (Špaldon et al., 1986). Tvorba a růst stébla signalizuje přechod rostliny z vegetativní fáze růstu do generativní. Na vzrostném vrcholu se vytváří kláskové hrbolky (Zimolka et al., 2005).

3.3.2 Generativní orgány

3.3.2.1 Květenství pšenice

Květenstvím pšenice je složený klas, jehož osou je vřeteno, na které přisedají jednotlivé klásky. Na vřetenu klasu se také rozlišují kolénka a články. U pšenice náleží na každý článek klasového vřetene jeden vícekvětý klásek (Zimolka et al., 2005). Každý klásek je tvořen dvěma listeny, které se nazývají plevy, a kvítky, které jsou obaleny z vnější strany pluchou a z vnitřní strany pluškou (Novák et Skalický, 2012). Mezi kláskovými plevami jsou taškovitě umístěné květy. Květy pšenice jsou oboupohlavné a jednodomé. Pšenice patří mezi samosprašné druhy. Mezi pluchou a pluškou jsou umístěny pestíky a tři tyčinky. Klásek mívá dva až pět, ale i více květů. Jeden až dva horní kvítky bývají obvykle sterilní (Špaldon et al., 1986). U osinatých klasů vyrůstá z klasu osina. Pestík se skládá ze

dvou pětiovitých blizen, pod nimiž se nachází semeník. Pod semeníkem jsou dvě pleny, které zajišťují otevírání kvítku pro opylení. Ze semeníku vyrůstají tyčinky, které se skládají z nitky a prašníků, každý se dvěma pouzdry vyplněnými pylem (Zimolka et al., 2005).

3.3.2.2 Stavba obilky

Plodem pšenice je zrno botanicky známé jako obilka (*caryopsis*). Obilka je 4 - 8 mm dlouhá, přičemž záleží na druhu pšenice a na celkové kondici porostu. Barva obilky je podmíněna látkami v oplodí (perikarpu) (Cornell et Hoveling, 1998).

Obilka se skládá ze tří částí: z obalů, endospermu (jádru) a embrya (zárodku). Obilka je obalena oplodím a osemením, které k sobě těsně přilínají. Pod osemením se nachází vrstva aleuronových buněk, která přiléhá k endospermu. Buňky endospermu nabývají tvaru nepravidelného trojúhelníku až mnohoúhelníku a jsou vyplněny škrobem. Na hřbetní straně obilky je uložen zárodek krytý oplodím a osemením, který štítkem přiléhá k endospermu. Na apikální straně se nachází vegetační vrchol s listy, na protilehlé straně se nachází hypokotyl a základy kořínků. Mezi hypokotylem a bází koleoptile se tvoří první internodium tzv. mezokotyl. V zárodku se nachází 3 - 5 kořínků, z nichž prostřední, zvaný radikula, je základem budoucího primárního kořínku a je krytý kořenovou čepičkou (koleorhyzou). Vzrostlý vrchol je krytý koleoptile (Zimolka et al., 2005).

V endospermu je obsažen škrob, ze kterého se následně vyrábí mouka. Je tvořen škrobovými zrny obsaženými v matrici proteinů. Proteiny jsou tvořeny albuminy, globuliny, gliadiny a gluteniny. Kombinace gliadinů a gluteninů je označována jako komplex lepku a je považován za zásobní protein (Cornell et Hoveling, 1998).

3.4 Půdně-klimatické požadavky pro pěstování pšenice

Pšenice je plodinou pro mírné, teplejší podnebí nížinných a podhorských oblastí, přesto dokáže snášet teploty $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nároky na teplotu se během roku mění. V období vzcházení a odnožování je ideální teplota $12 - 14\text{ }^{\circ}\text{C}$, před příchodem zimy jsou vhodné teploty mezi $10 - 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ s nočními teplotami okolo $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a méně, kvůli procesu otužování. Na jaře v období sloupkování vyžaduje pšenice teplotu nepřekračující $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, při metání a kvetení je optimální teplota $18 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ maximálně $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. V období nalévání zrna nejsou žádoucí teploty nad $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, protože za současně nízké vlhkosti se vytvářejí malá zrna. Při dozrávání jsou nejpříznivější teploty $22 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, protože vyšší teploty mají negativní vliv na formování zrna a tím způsobují snižování výnosu (Špaldon et al., 1986).

Pro vysoké výnosy jsou požadavky pšenice na vodu mezi 450 - 650 mm za rok v závislosti na klimatu a dále vegetační doby. Výnos zrna je ovlivňován délkou a intenzitou vodního deficitu, který má však rozdílný vliv během různých růstových fází. Citlivost na vodní deficit je pro ozimou pšenici vyšší na jaře po přezimování. Pro většinu vysoce produkčních odrůd platí, že brzká jarní vlaha značně podporuje výnos. I drobné vodní deficity během vegetačního období mají vliv na vývoj plodiny a mohou způsobit i dřívější dozrávání. Kvůli suchu je značně omezena efektivita hnojení a při tvorbě klasu může docházet k násadě malého počtu klásků a kvítků. Deficit vody v období tvorby výnosu má za následek snížení hmotnosti zrna. Dá se říci, že největší vliv na výnos pšenice má deficit vody na počátku sloupkování, při diferenciaci klasu a v období nalévání zrna (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2015).

V sušších oblastech je dusíkaté hnojení značně finančně riskantní kvůli silné interakci mezi příjmem dusíku a dostupností vody. V pokusech bylo zjišťováno, zda dělená aplikace dusíku cílená na konkrétní růstové fáze bude mít vliv na zvýšení výnosů zrna ozimé pšenice, na obsah proteinů v zrnu a na efektivitu využití dusíku ve dvou letech s podprůměrnými úhrny srážek. Aplikace byla rozdělena na sedm částí a skutečně byl prokázán částečný nárůst všech sledovaných hodnot oproti kontrole během suchých let (Hooper et al., 2015). Efektivita využití dusíku a fosforu v produkci biomasy a zrna je přímo úměrné dostupnosti vody (Clarke et al., 1990). Dusík a srážky jsou hlavním limitujícím faktorem (Shengli et al., 2012). V pokusech bylo prokázáno, že nedostatek vody v půdě značně snížil výnos zrna ozimé pšenice a ovlivnil pekárenskou kvalitu mouky ve srovnání s kontrolními variantami (Kocoň et Podolska, 2008).

Světlo má pozitivní vliv již na počátku vegetace v období odnožování pšenice na tvorbu krátkých a silných dolních internodií a na tvorbu produktivních odnoží. Sluneční světlo spolu s teplem pomáhá intenzifikovat fotosyntézu a má vliv na formování a tvorbu zrn (Špaldon et al., 1986).

Z dlouhodobých pokusů vyplývá výrazný vliv stanoviště a ročníku, které ovlivňují výnos z 25 %. Počasí má mnohem větší vliv na výnosy nežli půdní typ a půdní druh, i když se ozimá pšenice vyznačuje vyšší náročností na půdní podmínky z pěstovaných plodin. Pro pěstování jsou vhodné strukturní, hlubší, hlinité a jílovitohlinité půdy s dobrou vodní kapacitou, dobře vyživené a s neutrálním až slabě kyselým pH (6,2 - 7,0). Nevhodné jsou naopak půdy písčité, trvale zamokřené a kyselé. V České Republice se ozimá pšenice pěstuje ve všech výrobních oblastech, které však velmi působí na výši dosahovaných výnosů i na kvalitu produkce. Z hlediska vhodnosti půdně-klimatických podmínek se schopností zaručit

potravinářskou kvalitu zrna lze území republiky rozdělit do čtyř oblastí, z nichž jsou nejvhodnější oblasti dostatečně teplé, suché, s průměrnou roční teplotou v jarním a letním období mezi 14 - 17 °C (Zimolka et al., 2005).

3.5 Výnos a výnosotvorné prvky

Výnos je u pšenice tvořen třemi základními složkami, neboli výnosotvornými prvky. Výnosové prvky u pšenice jsou počet zrn v klasu, počet klasů.m⁻² a hmotnost tisíce zrn (HTZ). Tyto prvky se navzájem ovlivňují, ale jsou také schopny se navzájem kompenzovat. Přestože jsou tyto složky výnosu patrné až v jarním období, jsou ovlivňovány již v období před založením porostů a na počátku vegetace v podzimním období. Jsou ovlivněné agrotechnickými opatřeními, výživou a hnojením, které by měli být prováděny tak, aby byl zajištěn optimální poměr všech výnosových prvků (Černý et al., 2014).

Různé odrůdy pšenice se mohou lišit podle významu jednotlivých výše uvedených prvků. Rozlišujeme odrůdy tvořící výnos produktivitou klasu (větší počet zrn v klasu, větší hmotnost tisíce zrn), počtem klasů.m⁻² (mají menší nebo střední počet zrn v klasu, ale vyznačují se větší odnožovací schopností), počtem zrn.m⁻² (tvoří dostatečné množství klasů se středním až vysokým počtem zrn, ale mají nižší hodnotu HTZ) a kompenzační typ (zde se na výnosu rovnoměrně podílejí všechny tři výnosové parametry nebo se navzájem kompenzují) (Horáková et al., 2015).

Přesné pozorování potřeby dusíku pro růst rostlin může pomoci optimalizovat výnosy zrna, zvýšení zemědělských zisků a efektivitu využití dusíku, a tím snižovat nebezpečí znečišťování životního prostředí (Zhao et al., 2014).

V minulosti docházelo ke zvyšování výnosového potenciálu pšenice spíše zvyšováním sklizňového indexu než zvyšováním nárůstu biomasy. Další nárůsty v indexu sklizně jsou již nepravděpodobné, ale existuje možnost zvyšování množství produktivní biomasy a skliditelného zrna. Největšími překážkami zvyšování výnosů je kapacita a účinnost fotosyntézy (Parry et al., 2011).

Postupné pokroky ve výzkumu plodin mají potenciál zvýšit genetické zisky pšenice. Například zlepšení fotosyntézy využitím přirozeného kolísání katalytické vazby enzymu RUBISCO nebo změnu metabolismu na C4 by mohlo zvýšit základní úroveň výnosů o 50 % i více. Nicméně je nutné, aby bylo využito plné kapacity fotosyntézy v průběhu života rostlin. Zvýšením využití slunečního záření se zvyšuje množství asimilátů dostupných pro lepší růst vegetačního vrcholu, čímž je ovlivněn počet zrn (Reynolds et al., 2009).

Ruisi et al. (2015) tvrdí, že pro zvýšení udržitelnosti pěstebních systémů méně závislých na pomocných vstupech je důležitý výběr takového genotypu rostlin pšenice, který bude mít schopnost vysokého příjmu dusíku z půdy a zároveň vysokou konkurenceschopnost v příjmu živin oproti plevelům.

Asplund et al. (2016) v polním pokusu zjistili, že množství chlorofylu v listech pozitivně koreluje s efektivitou využití dusíku rostlinou a celkovým dusíkem v rostlině. Při nízké úrovni dusíkatého hnojení také dochází k předčasnému stárnutí praporcového listu. Tvrdí, že zvyšování obsahu chlorofylu v listech by mohlo být další cestou pro zlepšování efektivitu využití dusíku.

Moderní kultivary pšenice jsou oproti starým tzv. pionýrským kultivarům účinnější ve využívání dusíku a jsou schopny lépe tolerovat nižší koncentraci živin. Porovnávány byly odrůdy z roku 1940 a 2009. Pro vývoj odrůd pšenice s vyšším využitím dusíku by měli šlechtitelé pšenic upřednostňovat genotypy s vyšším příjmem dusíku a efektivností jeho využití (Beche et al., 2014).

Brennan et al. (2014) zkoumali vliv zpracování půdy na výnos a využití dusíku ozimou pšenicí v chladném podnebí Atlantiku, v centru Irska. Porovnával vliv konvenčního zpracování půdy a minimálního zpracování půdy bez využití slámy předchozí plodiny. Vyšší průměrný výnos vykazovalo konvenční zpracování půdy, ale efekt orby se v každém roce lišil. Aplikace dusíku zvyšovala výnos u obou variant. Při konvenčním zpracování půdy bylo zjištěno efektivnější využití dusíku pšenice, ale při minimálním zpracování půdy byl naměřen vyšší obsah dusíku v půdě. Konvenční i minimální zpracování poskytuje podobné výnosy zrna.

Významným činitelem je počasí, které může ovlivňovat mnoho aspektů rostlinné výroby. Klimatické faktory jsou rozhodující pro výnos pšenice. Výkyvy ve výnosech v různých ročnících jsou v zásadě způsobeny klimatickými faktory, především nedostatkem srážek. Naopak srážky v květnovém období souvisí s intenzitou tvorby listových chorob. Počasí ovlivňuje růstové fáze a výskyt padlí a rzí. Fungicidní ošetření ozimé pšenice je převládající ze všech chemických ošetření a doporučuje se jej provádět téměř rutinně (Vári et Máriaš, 2013).

Chemická ochrana pšenice patří do každého pěstebního systému a je téměř jejím základem. Choroby napadají celé tělo pšenice, od kořenů až po klas, a jsou schopny významně ovlivňovat výnos zrna i jeho kvalitu (Horčíčka et al., 2012).

3.6 Výživa rostlin

Výživa je základní biologický proces, který umožňuje rostlinám růst a vyvíjet se. Základem rostlinného života je fotosyntéza, kde je využíván oxid uhličitý, voda a světlo k přeměně minerálních látek na organické sloučeniny (Kalina, 2005).

Úkolem výživy a hnojení rostlin je poskytnout rostlinám optimální podmínky pro růst a vývoj tak, aby byl zajištěn co nejvyšší výnos při požadované kvalitě produktu (Hřivna, 2012).

Rostlina, která je vystavována stresům, jako nadbytku nebo nedostatku živin, je často náchylnější na choroby, než rostlina optimálně vyživovaná (Kováčik, 2009).

Výživa rostlin zahrnuje procesy příjmu, vedení a využití minerálních látek ve formě iontů anorganických solí, které jsou nezbytné pro růst a vývoj rostliny. Primárním zdrojem živin je pro rostliny pevná fáze půdy, hlavně jílové nebo humusové částice, které nesou na svém povrchu elektrický náboj a jsou tudíž schopny na sebe vázat ionty (Benešová et al., 2003).

Správná vyvážená výživa rostlin v množství i poměru látek je předpokladem pro vytvoření mohutného kořenového systému a přiměřený rozvoj nadzemní biomasy. Mohutný kořenový systém umožňuje pšenici lépe odolávat zimním mrazům, výkyvům teplot a přísuškům během roku (Špaldon et al., 1986). Výživa se podílí ze 35 % na realizaci genetického potenciálu rostliny a tím ovlivňuje výnosové parametry pěstované plodiny. Znamená to, že i přes neustále rostoucí ceny hnojiv je výživa rostlin jedním z nejvýznamnějších faktorů určujících výšku a kvalitu výnosu (Kováčik, 2009). Pšenice patří mezi plodiny, které nejvíce reagují na hnojení (Vári et Máriaš, 2013).

Na ovlivňování výživy rostlin se značně podílí i organické látky spolu s půdními mikroorganismy, které mohou zabudovávat látky do mikrobiální biomasy (imobilizace) a může docházet k jisté konkurenci mezi rostlinami a půdními organismy. Naopak vlivem mineralizace dochází k uvolňování některých živin např. dusíku, fosforu a síry (Kalina, 2005).

V průběhu vegetace dochází u všech rostlin k vývojovým změnám, které se na rostlině projevují morfologicky a anatomicky. Vnější neboli morfologické změny popisuje tzv. makrofenologická stupnice. Organogenezi popisuje mikrofenologická stupnice podle stupně vývoje vzrostného vrcholu. Některé agrotechnické zásahy, jako je například hnojení dusíkem se odvíjí od růstové fáze rostliny. Nástup růstové fáze se udává tehdy, když 50 - 70 % rostlin v porostu dosáhlo dané růstové fáze (Faměra, 1993).

3.6.1 Rostlinné živiny

Pod pojem „živiny“ řadíme takové látky, které organismy přijímají a potřebují je k projevu všech svých životních funkcí. U rostlin jsou živiny anorganického původu a většinou se stávají živinami až v iontových formách (Vaněk et al., 2007).

I když je základním stavebním prvkem rostlinného těla uhlík, vyžadují rostliny i další látky, které jsou převážně čerpány z půdy ve formě iontů rozpuštěných ve vodě (Šarapatka et al., 2010).

Mezi znaky živin patří nezbytnost, nezastupitelnost a přímé zapojení do metabolismu rostliny. Nezbytnost neboli nepostradatelnost živiny znamená, že při její absenci nemohou rostliny dokončovat svůj životní cyklus. Nenahraditelnost je takovým znakem, kdy nemůže být využita jiná živina k určité funkci namísto té chybějící (Vaněk et al., 2012).

3.6.2 Rozdělení živin

Rostlinné živiny se z hlediska obsahu v rostlině rozdělují na makroprvky s obsahem v rostlině od několika desetin do desítek procent s mikroprvky vyskytující se v rostlině maximálně do pěti setin procenta. Obsahy mikroprvků jsou většinou uváděny v ppm. Poslední skupinou jsou prvky užitečné, které se mohou v rostlině vyskytovat i ve vyšších hodnotách, ale hlavním jejich charakteristickým znakem je, že je nepotřebují všechny rostliny (Vaněk et al., 2012). Živiny podle jejich kvantitativního zastoupení dělíme na makroelementy a mikroelementy. Mezi makroelementy řadíme uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor, draslík, síru, vápník a někdy sem bývá řazeno i železo. Jsou to prvky tvořící skupinu hlavních živin rostlin. Mezi mikroelementy patří železo, mangan, zinek, měď, bór, molybden, chlór a nikl (Nováček, 2008).

3.6.3 Příjem živin

Příjem živin je značně ovlivňován mnoha faktory. Jsou to faktory vnitřní a vnější. Vnitřní faktory jsou nejvíce určeny genetickým základem rostliny, který je specifický pro každý rostlinný druh nebo i odrůdu. Geneticky je řízen rozvoj kořenového systému rostliny a tím i příjmová kapacita rostlin. Mezi vnější podmínky patří podmínky daného stanoviště určené polohou, povětrnostními a půdními podmínkami (Kalina, 2005).

Obecně platí, že rostlina rychleji přijímá malé molekuly než ty velké, nenabitě molekuly lépe než nabitě (ionty), jednomocné ionty lépe než dvojmocné nebo trojmocné, kationty lépe než anionty (Raimanová et Trčková, 2010).

3.6.3.1 Příjem živin kořeny rostlin

Rostliny přijímají většinu živin kořeny z vodního roztoku v půdě ve formě iontů. Je jasné, že rostliny mohou přijímat jen ty živiny, které se nacházejí v blízkosti kořenů. Jedná se o vzdálenost několika milimetrů (Vaněk et al., 2012). Pro výživu rostlin jsou nejvýznamnější živiny, které jsou rozpuštěné v půdním roztoku a ty které jsou sorbovány v pevné fázi půdy (v půdním sorpčním komplexu, v chemických sloučeninách a nebo na organické hmotě půdy) a mohou vcelku rychle půdní roztok doplňovat (Kalina, 2005).

Proces příjmu živin rostlinami lze rozdělit do několika fází:

- přísun živin do rhizosféry
- průnik živin do mezibuněčných prostor
- vstup živin do buněk přes plasmalemu do cytoplasmy
- transport živin v rostlině (Vaněk et al., 2007).

Heterogenním rozložením živin můžeme upravovat růst kořenů a využívání vody. Obohacením povrchové vrstvy půdy živinami podpoříme tvorbu hlubokého kořenového systému, tím zvýšíme příjem vody a výnos v podmínkách s omezeným příjmem vody (Jin et al., 2015).

3.6.3.2 Mimokořenová výživa

Rostliny jsou schopny přijímat živiny všemi svými orgány, tedy i listy, stonky, květy a u stromů i větvemi a kmenem. Pro působení živin je však důležité, aby roztok zasáhl co největší plochu rostliny a zůstal na ní co nejdéle (Kalina, 2005).

Proces příjmu živin nadzemními orgány je podobný příjmu kořeny. Příjem nadzemními orgány je však složitější, neboť živiny musí překonávat kutikulu, jejíž hlavní funkce je ochrana rostliny před vnějšími vlivy (Vaněk et al., 2012). Mezi vnějším prostředím a vnitřním prostředím listů se nachází pokožka (epidermis), která je pokryta kutikulou. Kutikula se skládá z biopolymeru kutinu, polymeru kutanu a z kutikulárních vosků, které jsou podle současných poznatků hlavní bariérou při příjmu živin (Raimanová et Trčková, 2010). Vytváření kutikuly je kromě genetických předpokladů značně ovlivňováno vnějšími podmínkami. Rostliny vytváří silnější kutikulu v sušších a dobře osvětlených podmínkách. Vlhkostní podmínky mohou ovlivňovat stav povrchu listů a tím i stav kutikuly. Při déle trvajících srážkách může docházet k porušení kutikuly a tím i snazšímu průniku živin. (Vaněk et al., 2007).

Průnik živin do listu je pasivní proces a probíhá po koncentračním spádu. Předpokládá se, že látky pronikají kutikulou dvěma cestami v závislosti na své chemické formě, tzv. lipofilní nebo polární cestou. Zároveň se předpokládá, že hydrofilní látky pronikají výrazně pomaleji než látky lipofilní. Voda a nepolární molekuly (např. močovina) mohou využívat obě cesty. Naproti tomu iontové látky (většina používaných hnojiv) využívají pouze polární cestu. Jsou obaleny hydratačním obalem a pro svůj průnik přes kutikulu využívají polární póry, které jsou vyplněny vodou a procházejí kutikulou. Proces listové výživy lze rozdělit do několika fází:

- ovlhčení listů roztokem hnojiva
- průnik do buňky přes kutikulu a epidermis
- vstup do mezibuněčných prostor
- aktivní příjem živin do buňky
- distribuce živin v rostlině.

Účinnost foliárního hnojení se snižuje se stářím listů, které je doprovázeno snížením metabolické aktivity, dále pak dochází ke tvorbě vyšší vrstvy kutikuly (Raimanová et Trčková, 2010).

Mimokořenová výživa by se neměla považovat za náhradu výživy kořenů. Jedná se spíše o doplněk výživy rostlin a měla by být chápána jako opatření pro eliminaci nepříznivých podmínek pro příjem živin kořeny při nevyhovujících půdních podmínkách (Kalina, 2005). Mimokořenová aplikace živin spočívá hlavně v ovlivnění výživného stavu rostlin. Tento způsob aplikace hnojiv je významný především jako výživa rostlin mikroprvky. Často dochází k příznivému ovlivnění metabolismu rostlin a může docházet i k omezení stárnutí pletiv a tím se prodlouží vegetační doba (Vaněk et al., 2012). Hlavní výhodou mimokořenové výživy je rychlost působení hnojiva a lze toto hnojení použít v kombinaci s přípravky na ochranu rostlin, což znamená snížení nákladů na aplikaci. Při mimokořenové výživě je dobře vstřebáván dusík, hořčík a některé stopové prvky, naopak fosfor a molybden je přijímán zvláště obtížně (Kalina, 2005).

Je důležité zohledňovat srážkové poměry před i po aplikaci hnojiva. Vlivem vlhkostních poměrů dochází sice k porušení kutikuly, což usnadňuje příjem živin, ale na druhé straně je větší možnost poškození rostlin. Abychom předešli poškození rostlin, je za takových podmínek vhodné používat nižší koncentrace aplikovaných roztoků (Vaněk et al., 2007).

3.6.4 Funkce jednotlivých živin v rostlině

Funkce živiny v rostlině určuje projevy jejího nedostatku. Nedostatky prvků, které se v rostlinném těle pohybují relativně snadno, se projevují nejprve na starších orgánech a nedostatek prvků těžce se pohybujících se projevuje na nejmladších orgánech rostliny. V počátečních fázích nedostatku živin dochází k růstu kořenů, teprve později se začínají nedostatky projevovat na rostlině. Dochází k přesunu asimilátů ze starších orgánů do mladších, jako následek pokusu rostliny vytvořit semena. Na listech se toto stádium projevuje chlorózami až nekrotizací a dřívějším přechodem do generativní fáze. Delší nedostatky živin vedou k odumírání kořenů a celých rostlin (Kováčik, 2009).

3.6.4.1 Dusík

Dusík a uhlík jsou nejdůležitější prvky v koloběhu látek v přírodě. Mají nezastupitelné postavení ve všech živých soustavách a značně ovlivňují životní prostředí (Vaněk et al., 2012). Dusík a jeho sloučeniny jsou využívány ve všech živých soustavách k tvorbě rozmanitých sloučenin, jako jsou například aminokyseliny, nukleové kyseliny, bílkoviny a chlorofyl (Balík et al., 2012).

3.6.4.1.1 Koloběh dusíku v přírodě

Nejvíce je na naší planetě dusík zastoupen v pevné formě v litosféře, kde je asi 98 % celkového dusíku. Zbývající asi 2 % dusíku jsou v atmosféře v plynné formě, kde lehce podléhá přeměnám. Půdní pevný dusík je nejstabilnější a je nejvíce obsažen ve vrchní vrstvě půdy. Většina celkového dusíku v půdě je pevně vázána a asi 2,5 % je v přístupné formě. Atmosférický dusík je ve formě N_2 a snadno podléhá přeměnám. Dalším důležitým zdrojem dusíku je organická hmota v půdě a v ekosystémech je hlavním zdrojem dusíku. Rostliny nedokážou přijímat organické formy dusíku, a proto je zpřístupňován rozkladnými procesy organické hmoty (Balík et al., 2012).

Přísun dusíku do půdy je částečně zajišťován fixací vzdušného dusíku volně žijícími mikroorganismy (nitrogenními organismy), ale nejdůležitější je biologická fixace, na které se podílí i oceány a pevnina, nejvíce však rostliny a to hlavně plochy bobovitých rostlin se symbiotickými hlízkovými bakteriemi, dále pak lesní a travní porosty (Vaněk et al., 2012). Předpokládá se, že v budoucnu bude biologická fixace dusíku hrát velkou roli v pěstebních systémech. Při pokusech ve Švýcarsku získal hrách více než $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ biologickou fixací za svou vegetaci (Buchi et al., 2015). Kvalitní porosty jetel a vojtěšky jsou schopny za rok fixovat $200 - 250 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ a jednoleté bobovité $40 - 80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Vaněk et al., 2007).

Naopak bývá u luskovin symbiotická fixace potlačována vysokými dávkami dusíkatých hnojiv. Avšak není zatím zjištěno prahové množství dusíku, které inhibuje symbiotickou fixaci. Je třeba nutně mít znalosti o optimální výši hnojení dusíkem, které podporuje tvorbu hálek. Z toho vyplývá, že dusíkaté hnojení je důležité pro dlouhodobě udržitelné zemědělské hospodaření (Habinshuti et al., 2015). Mezi volně žijící nitrogenní organismy patří hlavně bakterie. Tento druh fixace však poutá jen nepatrné množství dusíku (asi 2,5 kg N.ha⁻¹). Důležitější jsou symbiotické mikroorganismy žijící v symbióze především s bobovitými rostlinami. Jsou to tzv. hlízkové bakterie a jedná se především o druh *Rhizobium*. Hlízkové bakterie infikují kořeny bobovitých rostlin a vytvoří na nich háčky (hlízký), ve kterých přežívají a poutají vzdušný dusík. Rostlina poskytuje mikroorganismům živiny a ty jí předávají velkou část fixovaného dusíku (Vaněk et al., 2012).

3.6.4.1.2 Dusík v půdě

V koloběhu dusíku v půdě můžeme pozorovat dva různé procesy. Jedním je mineralizace, kdy vznikají minerální formy dusíku z organických látek, a druhým je imobilizace, což je antagonistický proces mineralizace. Při imobilizaci jsou anorganické formy dusíku zabudovávány do organických sloučenin, hlavně těl mikrobů (Vaněk et al., 2007).

Stanovení obsahu dusíku v půdě je důležité pro pochopení procesů přeměn a pro určení dávek vlastního dusíkatého hnojení, aby nedocházelo k degradaci půdní organické hmoty a byla tím zachována úrodnost půd (Balík et al., 2012). Lepší pochopení transformací dusíku v zemědělských půdách je důležité pro rozvoj trvale udržitelného a ekologicky šetrného používání dusíkatých hnojiv (Ge et al., 2015).

Obsah dusíku v půdě se pohybuje okolo 0,1 - 0,2 %. Převážnou část půdního dusíku tvoří půdní organická hmota, jako jsou rostlinné a živočišné zbytky, biomasa mikrobů, různé metabolity organismů a humusové látky. Dusík v organických formách je pro rostliny nedostupný (Vanek et al., 2012). Mineralizace probíhá zejména v půdách s dobrou propustností a optimálním poměrem vody a vzduchu a vede k oxidaci organických látek na jednoduché sloučeniny. Účastní se jí převážně aerobní bakterie, dále pak fyzikální a chemické procesy. Při rozkladu bílkovin vznikají až anorganické ionty (NH₄⁺, NO₃⁻). Po přidání organické hmoty do půdy ji kolonizují půdní mikroorganismy, které se množí. Po dosažení maxima mikrobiální aktivity postupně ustává, mikroorganismy hynou a obohacují půdu o organickou hmotu (Šarapatka, 2014). Mineralizace dusíku je hlavním způsobem přeměny organického dusíku na minerální formy a je jedním z klíčových procesů v koloběhu dusíku

v půdě. Dusík hraje důležitou roli při růstu rostlin během vegetační doby. Myslelo se, že při zamrznutí půdy přes zimu dochází k úbytku půdních mikroorganismů a tím se i oslabuje mineralizace dusíku. V poslední době ukazují více a více studií, že během zimního období vykazují půdní mikroorganismy stále velkou mineralizační aktivitu (Jinling et al., 2013). Dusík v půdě podléhá mnohým přeměnám v mineralizačních procesech, kde dochází k přeměně snadno rozložitelných organických látek, jako jsou aminokyseliny, amidy nebo odumřelé biomasy mikroorganismů, a dále i postupným rozkladem složitých organických látek, je uvolňován NH_3 v procesu amonizace. Proces amonizace spočívá v odštěpení amoniaku z aminokyseliny, případně z amidů a může probíhat v anaerobním a aerobním prostředí (Vaněk et al., 2012). Dusík ve formě amonných iontů pak může být částečně vázán na půdní sorpční komplex, v malé míře přímo využit rostlinami, a nebo je oxidován na nitráty (Šarapatka et al., 2010).

Amonný dusík je v procesu nitrifikace postupně oxidován autotrofními organismy až na nitrátový dusík. Tento proces probíhá ve dvou stupních a nitrifikační mikroorganismy prvního (tzv. nitritační, rody *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*) a mikroorganismy druhého (tzv. nitratační, především zástupci rodu *Nitrobacter*) využívají kromě samotného dusíku i energii uvolněnou při oxidaci. Nitrifikace je silně ovlivňována vnějšími podmínkami a je závislá na přístupu vzduchu (Vaněk et al., 2012). Nitrifikační procesy jsou ovlivňovány biologickými, chemickými a fyzikálními faktory, jako jsou například růst a aktivita půdních mikrobů, dostupnost dusíku, teplota půdy a dostupnost vody (Wu et al., 2015). Během studií se ukázalo, že ve vlhkých obdobích je intenzita nitrifikace až 1,64 krát větší nežli v suchých obdobích (Ge et al., 2015). V poslední době prokázalo mnoho studií existenci bakterií, které jsou schopny heterotrofní nitrifikace a mají i schopnost denitrifikovat své vlastní nitrifikační produkty za aerobních podmínek (Yang et al., 2015).

Denitrifikace je redukčním procesem, kdy jsou nitráty v přítomnosti organických látek přeměňovány na oxidy dusíku a až na molekuly N_2 , které následně unikají do atmosféry. Jedná se o plynné ztráty. V našich podmínkách je denitrifikace způsobována převážně fakultativně anaerobními mikroorganismy, které při rozkladu nitrátů využívají jejich kyslík (Vaněk et al., 2012). Podmínkou denitrifikace je nedostatek kyslíku v půdě, dále pak přítomnost nitrátů a lehce rozložitelných organických sloučenin. Denitrifikací vznikají velké ztráty dusíku z půdy. Abychom omezili tyto ztráty, je nutné, aby v půdě nebyl vysoký obsah nitrátů v mimo vegetačním období, kdy může navíc docházet ke ztrátám dusíku vyplavováním (Vaněk et al., 2007).

3.6.4.1.3 Dynamika obsahu dusíku v půdě

Nitrátová forma dusíku je v půdním roztoku vcelku mobilní a může docházet k jejímu posunu (vyplavování) půdním profilem z dosahu kořenového systému rostliny. V průběhu roku se však obsah minerálního dusíku značně mění. Maximálních hodnot dosahuje obsah dusíku v jarním období, kdy se otepluje půda a mikroorganismy obnovují svou činnost. V průběhu vegetace se obsah dusíku postupně snižuje, kvůli odběru dusíku rostlinami a postupným poklesem intenzity činnosti mikroorganismů. Po sklizni plodiny a na podzim při vhodných vláhových a teplotních podmínkách se mineralizací posklizňových zbytků začíná obsah dusíku opět zvyšovat. Následně se snižuje v zimě, kdy ustává činnost mikroorganismů. Znalosti o dynamice obsahu dusíku v půdě je dobré znát, využívat v praktické výživě rostlin a určovat podle ní dávky dusíkatých hnojiv ke konkrétním zemědělským plodinám (Balík et al., 2012).

3.6.4.1.4 Dusík v rostlinách

Dusík by se dal považovat za nejdůležitější živinu u pšenice, protože koncentrace proteinů v zrně určuje konečné využití vypěstovaného zrna. Dusík a fosfor jsou široce využívány při produkci pšenice a značně zvyšují náklady agronomů a šlechtitelů (Clarke et al., 1990). Obsah dusíku v rostlinách pšenice je důležitým ukazatelem při hodnocení kvality produkce. U pšenice obsah dusíku úzce souvisí s obsahem bílkovin, nebo například u jarního ječmene je ukazatelem kvality pro sladovnické účely. Dále je obsah dusíku v rostlinách důležitý pro posouzení toku dusíku v agroekosystémech. Obsah není ovlivněn pouze hnojením, ale také zde působí i významný vliv ročníku (Balík et al., 2012).

Efektivita využívání dusíku z hnojiv je u obilovin asi 33 %. Zbýlých 67 % činí ztráty uvolňováním plynů z rostlin, půdní denitrifikací, povrchovým odtokem, výparem. Zvyšování efektivity využívání dusíku z hnojiv je jedním z předpokladů uživení rostoucí světové populace (Raun et Johnson, 1998).

Dusík je rostlinami přijímán ve formě iontů, a to kationtem amonného (NH_4^+) nebo aniontu nitrátového (NO_3^-). Na příjem obou iontů má vliv nejen rostlina, ale značný vliv vykazuje i pH prostředí. V kyselejších prostředí převažuje příjem NO_3^- a v neutrálním až alkalickém je příjem iontů vyrovnán nebo lehce převažuje příjem NH_4^+ . Dále má vliv na příjem iontů teplota. Při nižší teplotě se snižuje příjem i využití NO_3^- . Amonný dusík je v biologicky aktivních půdách poměrně rychle oxidován na nitrátový dusík a převažuje jeho příjem. Nitrátový dusík je v půdě navíc lépe pohyblivý, tudíž se snadněji dostává hmotovým tokem do rhizosféry a je k dispozici rostlinám (Vaněk et al., 2012).

Přijatý minerální dusík rostliny postupně využívají ke tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Rostliny jsou schopny NH_4^+ okamžitě využívat k syntéze aminokyselin, naopak nitrátový dusík musí být nejprve redukován na amonný dusík (Vaněk et al., 2007). Z dusíkatých sloučenin vznikají aminokyseliny, ze kterých se podle genetického kódu dalšími syntézami vytváří bílkoviny, které obsahují 15 - 18,9 % dusíku. Bílkoviny jsou nezbytnou součástí všech živých buněk a pletiv rostlin. Jsou obsaženy zejména v mladých orgánech rostlin, dělivých pletivech, enzimech a nukleoproteinech, které se podílejí na růstu rostlin a na celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetace se tvoří zásobní bílkoviny v semenech. U obilnin většinou okolo 10 %. Dále je dusík významnou součástí chlorofylu a nukleotidů (Vaněk et al., 2012).

Dusík ovlivňuje a výrazně rozšiřuje celkovou listovou plochu (LAI) a hustotu listové plochy (LAD). S tvarem listové plochy úzce souvisí počet rostlin.m⁻² plodiny. Bylo zjištěno, že nejnižší hodnoty LAI byly měřeny na variantách nehnojené dusíkem. Podstatný nárůst listové plochy vykazovala pšenice hnojená 80 kg N.ha⁻¹ a nejvyšší hodnoty byly dosaženy při hnojení na úrovni 160 a 240 kg N.ha⁻¹ (Vári et Máriaš, 2013). Xue et al. (2014) prokázali, že dostatek dusíku v půdě pozitivně působí na délku kořenů, povrchovou plochu kořenů a hmotnost sušiny kořenů pšenice. Optimální zásobení rostliny dusíkem spolu se šlechtěním na tvorbu většího kořenového systému je možností, jak zlepšit schopnost pšenice přijímat ostatní živiny. Rasmussen et al. (2015) ve svém pokusu naměřil maximální hloubku kořenové soustavy u pšenice 1,5 m. Současně zjistil, že hnojení dusíkem nemá vliv na hloubku kořenů, ale na hustotu kořenů. Vliv dusíku se projevil až v hloubkách nad 0,5 m a současně se hustota zvyšovala maximálně do dávky 150 kg N.ha⁻¹. Dále zjistil, že dávky nad 150 kg N.ha⁻¹ nezvyšovali obsah N-látek v zrně v době sklizně, ale zvýšilo se množství dusičnanů v půdě.

Fageria et Moreira (2011) tvrdí, že hmotnost sušiny kořenů více souvisí s výnosem plodin než délka nebo hustota kořenové soustavy.

3.6.4.1.5 Projevy nedostatku dusíku

Deficit dusíku se v polních podmínkách projevuje až po přechodu z výživy ze semena na výživu pomocí kořenů (Kováčik, 2009). Nedostatek dusíku již od počátku vegetace má za následek sníženou tvorbu stavebních a funkčních bílkovin. U rostliny se nedostatek projevuje omezením růstu rostlin a tvorby orgánů. V podstatě jsou porosty slabší a nižší, často nevyrovnané a světlejší (Vaněk et al., 2012). Dusík je v rostlinách dobře pohyblivý, a proto se jeho nedostatek objevuje nejprve na starších orgánech. V závislosti na nedostatku přechází zbarvení listů od světle zelené přes žlutou až do hnědožluté, oranžově hnědé

a červené barvy. Listy pomalu odumírají a opadávají. Barevné změny jsou způsobeny postupným úbytkem chlorofylu (Kováčik, 2009).

Omezená tvorba listů a také chlorofylu má za následek snížení fotosyntézy a tím i tvorbu biomasy. Dochází však také k omezení růstu kořenů a energetického zásobování, čímž je snížena příjmová kapacita kořenů a druhotně je tím omezen i příjem dalších živin. Porosty s omezenou dusíkatou výživou mají obecně kratší vegetační dobu a rychlejším dozráváním dochází ke snížení výnosu (Vaněk et al., 2007).

U pšenice se v době odnožování při nedostatku dusíku redukuje počet odnoží, vegetační vrchol a klas je krátký s malým počtem zrn. U zrna se nedostatek projevuje sníženou hmotností a výrazně zhoršenými technologickými parametry (Zimolka et al., 2005).

3.6.4.1.6 Projevy nadbytku dusíku

Nadbytek dusíku je méně častý a projevuje se spíše latentní formou. Amonná forma dusíku může omezovat vzcházivost rostlin, je tedy nutné dodržovat zásady hnojení dusíkem a vyvarovat se vysokých jednorázových dávek. Na podzim a v předjaří je vyšší obsah dusíku nežádoucí v povrchových vrstvách půdy. Dochází ke zvýšenému větvení kořenů v oblastech vyšší koncentrace dusíku a je omezen růst hlavního a vedlejších kořenů. Následkem je zhoršené prokořenění půdního profilu a tím snížení příjmové kapacity kořenů pro vodu a jiné živiny. V pozdějších růstových fázích dochází k akumulaci dusíkatých látek jako zásobních pro pozdější intenzivní růst. Během podmínek omezujících růst může vyšší obsah dusíku v rostlině ovlivňovat nutriční hodnoty produktů, zvláště zeleniny a krmných produktů (Vaněk et al., 2007). Dále pak při nadbytku dusíku rostliny produkují více vegetativní hmoty. Listy mají tmavě zelenou barvu a jsou velké. Dochází také k pozdějšímu nástupu generativní fáze. V pletivech se tvoří více parenchymatických pletiv než sklerenchymatických, což snižuje pevnost stébel a zvyšuje náchylnost rostlin k poléhání. Rostliny jsou dále méně odolné k nemocem, mají sníženou mrazuvzdornost a chladuvzdornost. Při toxickém nadbytku dusíku dochází až ke vzniku hnědých nekrot (Kováčik, 2009).

Například obilniny reagují na nadbytek dusíku tvorbou hustšího porostu s bohatým olistěním. Hustší porosty omezují uvnitř porostu světelné podmínky a zvyšují vlhkost, vytváří tedy vhodné podmínky pro napadení rostlin houbovými chorobami. Při výrazném nadbytku dochází k nekrotám a zasychání okrajů listů. Přijatý dusík je transportován do okrajů listů, kde se hromadí a po překročení toxické hladiny, jsou pletiva poškozována. Vyšší toxicitu vykazuje amonný dusík než nitrátový, ale projevy poškození jsou stejné pro obě formy (Vaněk et al., 2007).

3.6.4.2 Fosfor

Fosfor je jedním ze základních makrobiogenních prvků. Je nezbytný pro všechny metabolické procesy růstu a vývoje rostlin a je jedním z faktorů ovlivňujících výnos (Mikanová et Šimon, 2011).

Nejvýznamnější období z hlediska nároků pšenice na fosfor je na počátku vegetace, protože fosfor podporuje tvorbu kořenové soustavy a současně zvyšuje odolnost rostlin proti nízkým teplotám při přezimování (Špaldon et al., 1986).

3.6.4.2.1 Příjem fosforu rostlinou

Pro příjem fosforu je důležitým předpokladem vytvoření bohatého kořenového systému, protože fosfor je málo obsažen v půdním roztoku. Fosfor je přijímán ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, a to ve formě HPO_4^{2-} a H_2PO_4^- . Kritickým obdobím pro všechny rostliny je období po vyčerpání zásob ze semene, kdy rostlina přechází na autotrofní způsob výživy a nemá zatím dostatečně vyvinutý kořenový systém. Příznivý vliv na příjem fosforu má vlhkost půdy, příznivá hodnota pH (5,5 - 7,0), dostatek organických látek v půdě a obsah přijatelného fosforu v půdě (Vaněk et al., 2007). Příjem fosforu rostlinou je během vegetace nerovnoměrný. Nejvyšší spotřebu fosforu vykazují rostliny v období kvetení a zrání plodů (Mikanová et Šimon, 2011).

Jelikož, přihnojování fosforem během vegetace na zlepšení stavu výživy fosforem není zdaleka tak účinné jako přihnojování dusíkem a zásoby fosforu v semenech jsou vcelku rychle vyčerpatelné, je nutné, abychom dostatečně zabezpečili příjem fosforu již pro klíčící rostliny (Kováčik, 2009).

3.6.4.2.2 Fosfor v rostlinách

Fosfor se v rostlině vyskytuje především v generativních orgánech rostlin a v semenech. V semenech je fosfor vázán ve sloučenině fytinu, který je dále tvořen hořčíkem.

V rostlinách se fosfor vyskytuje ve formě organofosfátů (estery cukrů) a tvoří část nukleotidů ve formě fosforečných esterů heteroglykosidů. Například nukleosidpolyfosfáty jsou přenašeči energie v biologických systémech (nejvýznamnější je adenosintrifosfát - ATP). Fosfor má tedy důležité postavení při metabolických procesech a při přenosu energie. Při jeho omezeném příjmu dochází k narušení významných procesů v rostlinách, hlavně fotosyntézy, což souvisí se snížením výnosů a kvality produktů (Vaněk et al., 2007). Dále má fosfor vliv na odnožování rostlin, na celkovou listovou plochu, na zakládání generativních orgánů. Při

nedostatku může docházet k oddalování kvetení, snižuje se počet fertálních klásků. Na konci vegetace je fosfor ukládán do semen (Černý et al., 2014).

3.6.4.2.3 Projevy nedostatku fosforu

Projevy nedostatku fosforu nejsou časté a spíše se projevují latentně. Pouze při dlouhotrvajícím výrazném nedostatku fosforu se objevují viditelné příznaky (Vaněk et al., 2007).

Příznaky nedostatku fosforu se nejprve projevují na nejstarších částech rostlin a až později na nejmladších (Kováčik, 2009). Rostliny jsou při nedostatku malé a zakrslé, starší listy jsou šedozelené až namodralé a předčasně opadávají. Květy se špatně opylují a plody hůře dozrávají (Kalina, 2005). Kvůli nedostatku fosforu v rostlinách, jako akumulátora energie, se snižuje proteosyntéza, čímž vzniká v rostlině více sacharidů, které způsobují zvýšenou tvorbu anthokyanového barviva. Kombinací chlorofylu a anthokyanu vzniká modrozelené až fialové zbarvení, které se šíří od okrajů listů (Kováčik, 2009).

U obilnin dochází k méně intenzivnímu odnožování, vytvářejí se krátká a slabě vyvinutá stébla. Listy jsou úzké a vzpřímené. Paty stébel bývají červenofialově zbarvené (Zimolka et al., 2005).

3.6.4.2.4 Projevy nadbytku fosforu

S nadbytkem fosforu se setkáváme velmi zřídka, neboť je v půdě dobře sorbován a jeho obsah nedosahuje vysokých hodnot, aby ve velkém množství přecházel do půdního roztoku (Vaněk et al., 2007).

Nadbytek fosforu se může v rostlině projevit omezeným příjmem zinku a železa (Kalina, 2005). Fosforečnany s těmito kovy vytváří v půdě nerozpustné sloučeniny a tím krátkodobě blokují jejich příjem (Vaněk et al., 2007).

3.6.4.3 Draslík

Draslík je v půdě obsažen převážně v anorganické formě. Jeho zdrojem jsou primární minerály, především živce a slídy, ze kterých se draslík uvolňuje zvětráváním, a současně vznikají sekundární minerály, ve kterých je draslík součástí mřížky těchto minerálů. Sekundárním minerálem je například illit, ze kterého se draslík postupně uvolňuje (Vaněk et al., 2007).

Nejvyšší odběr draslíku ozimou pšenicí je v období intenzivního růstu a vrcholí v období metání. Při dozrávání je draslík ukládán ve stéble a malá část je transportována do zrna (Černý et al., 2014).

3.6.4.3.1 Příjem draslíku rostlinami

Rostliny přijímají draslík ve formě kationtu draslíku K^+ . Vyšší obsahy draslíku jsou typické pro malé rostliny či pro mladé orgány rostlinného těla. Stárnutím orgánů se snižuje jeho obsah. Draslík je v rostlině velmi dobře pohyblivý a může být z pletiv při dešťových srážkách vymýván (Vaněk et al., 2007).

3.6.4.3.2 Draslík v rostlinách

Draslík v rostlinách je důležitý pro své fyziologické působení v metabolismu a má vliv na transport asimilátů, což ovlivňuje například tvorbu kořenové soustavy. Dále draslík ovlivňuje pevnost stébel a zvyšuje odolnost k poléhání. Bylo prokázáno, že draslík má příznivý vliv například na zvyšování objemové hmotnosti zrna (Černý et al., 2014). V rostlinách dále draslík ovlivňuje osmotický tlak a tím i turgor buněk, který souvisí s hospodařením rostlin s vodou. Podporuje příjem vody, její vedení v rostlině a také snižuje transpiraci. Přítomnost draslíku ve svěracích buňkách ovlivňuje zavírání a otevírání průduchů, což umožňuje rostlině využít vodu lépe. Je také významný při dlouhivém růstu rostlin (Vaněk et al., 2007).

3.6.4.3.3 Projevy nedostatku draslíku

U ozimých obilnin se nedostatek projevuje při chladném a vlhkém počasí v jarním období. Rostliny jsou pak snadněji poškozovány chladem, po zimě hůře regenerují a jsou snadněji poškozovány mrazem (Vaněk et al., 2007).

Nedostatek draslíku se nejprve projevuje na nejstarších listech, které se začnou kroutit, uvadat a od špičky žloutnout a zasychat (Kalina, 2005). Při nedostatku draslíku dochází k omezení tvorby sklerenchymatických pletiv, což má za následek ztenčení buněčných stěn a následně se zvyšuje náchylnost k poléhání a snižuje se odolnost proti houbovým chorobám (Kováčik, 2009). Rostliny tvoří pouze krátké stéblo a vytváří velké množství odnoží. (Zimolka et al., 2005)

3.6.4.3.4 Nadbytek draslíku

Nadbytek draslíku způsobuje jeho zvýšený příjem, kterému se říká luxusní příjem. Luxusní příjem draslíku má za následek zpomalení příjmu hořčíku, vápníku a manganu (Zimolka et al., 2005).

3.7 Hnojení ozimé pšenice

3.7.1 Hnojení pšenice minerálním dusíkem

Hnojení dusíkem je jedním z nejdůležitějších agronomických opatření k dosažení kvalitního i kvantitativního výnosu pšenice. Je však nutné vzít v potaz, že dusík působí rozdílně na různých stanovištích, na jednotlivých pozemcích, ale často i na jejich částech. Dále je nutné si uvědomit, že na méně úrodných půdách je vliv dusíkatého hnojení největší a na úrodných půdách nejmenší. Na úrodných půdách využívají rostliny většinu potřebného dusíku z půdní zásoby (asi 85 %) a zbytek z hnojiv, kdežto na méně úrodných je využití hnojiv vyšší (asi 40 %) (Balík et al., 2012).

Pšenice ozimá přijímá dusík v průběhu celé vegetace, proto je hnojení dusíkem orientované na růstovou fázi, ve které se rostlina nachází (Hřivna, 2012). Ozimou pšenici hnojíme dusíkatým hnojivem tak, aby byl vždy dostatek dusíku pro příjem rostlinami v průběhu celého vegetačního období, hlavně v těch etapách organogeneze, které se podílejí na tvorbě výnosu zrna. Hnojení zvyšuje podstatně výkonnost ozimé pšenice, u které například zvětšuje délku klasu, zvyšuje počet zrn v klasech, velikost zrn atd. (Špaldon et al., 1986). Pro zajištění vhodné výživy pšenice dusíkem je nutné zohledňovat také biologické vlastnosti odrůd, půdní úrodnost, průběh počasí a stav porostu. Po zohlednění všech podmínek je zapotřebí správně stanovit dávku dusíku v minerálních hnojivech a správný termín aplikace. Minerální hnojiva bychom měli vždy aplikovat s časovým předstihem (Vaněk et al., 2007).

S ohledem na to, že došlo k úbytku dobytka a že pšenice má vysoký podíl v osevních postupech, má velký vliv i předplodina. V podmínkách s dostatkem srážek je nejvhodnější předplodinou vojtěška, jetel a luskoviny. Význam vhodných předplodin spočívá v tom, že pozitivně ovlivňují půdní vlastnosti důležité pro růst pšenice a formování výnosotvorných prvků a kvality zrna. Například bobovité rostliny zanechávají v půdě velké množství posklizňových zbytků a redistribuují fosfor draslík, vápník, hořčík a síru z hlubších půdních vrstev do ornice (Zimolka et al., 2005).

Při výpočtu celkové dávky dusíku vycházíme z celkové potřeby dusíku jednotlivými plodinami. Podle předpokládaného výnosu a normativu odběru na jednotku sklizně vypočteme celkový odběr dusíku. Po zohlednění využitelného dusíku z organických hnojiv, předplodiny a dalších zdrojů vypočítáme potřebnou dávku dusíku v minerálních hnojivech. Odběrové normativy se však mění vlivem stanoviště i ročníku, ale i tak je to jeden z nejpřesnějších a nejvýznamnějších ukazatelů. Odběr ozimé pšenice na 1 t zrna činí 22 kg dusíku (Vaněk et al., 1997).

Vysoká pohyblivost minerálního dusíku v půdě a s tím související možnosti ztrát dusíku neumožňují jednorázové dávky dusíkatých hnojiv (Vaněk et al., 2007). Při hnojení pšenice dusíkem vycházíme z principu dělení dávek, přičemž rozeznáváme základní hnojení, regenerační hnojení, produkční hnojení a kvalitativní hnojení (Špaldon et al., 1986). Dělené dávky dusíku jsou ekonomicky efektivní, protože jimi dosahujeme vyššího využití této živiny rostlinou a cílené aplikování na růstové fáze více ovlivňuje výnosotvorné prvky (Zimolka et al., 2005). Navíc jsou, při použití jednorázové dávky dusíku před setím, ztráty dusíku 60 a více procent (Kováčik, 2009). Alcoz et al. (1992) v polních pokusech zjistili, že dělená dávka dusíku poskytuje mnohem větší výnosy než dávka nedělená a zároveň, že při aplikaci 75 kg N.ha⁻¹ v dělené dávce byla vyšší efektivnost využití dusíku než při dávce 150 kg N.ha⁻¹ a zároveň při dávce 150 kg N.ha⁻¹ byla vyšší koncentrace dusíku v půdě než při dávce 75 kg N.ha⁻¹.

A. Základní hnojení dusíkem

Základní hnojení je hnojení realizované nejpozději do období setí (Vaněk et al., 2007). Toto hnojení se však realizuje pouze, když je pšenice pěstována po předplodině, která zanechává posklizňové zbytky se širokým poměrem C:N a když se pěstuje na půdách slabě zásobených dusíkem (Kováčik, 2009). Dusíkem tedy před založením porostů nehnojíme, pokud není stanovený obsah minerálního dusíku v půdě menší než 10 mg.kg⁻¹ zeminy. Když v osevním postupu následuje pšenice po hnojem hnojené předplodině či jetelovinách, hnojení rovněž vynecháváme. Pouze při suchém podzimu lze vzešlé porosty přihnojit dusíkem v dávce od 20 - 30 kg N.ha⁻¹ (Zimolka et al., 2005).

Pšenice tvoří většinu kořenového systému v hloubce 0,4 m. Pro přezimování je nutné, aby rostliny přijaly dostatek živin v průběhu podzimní vegetace a vytvořily si tak dostatečné energetické zásoby na zimní období. Nedostatek živin snižuje metabolickou aktivitu rostlin. Výsledkem jsou rostliny slabé a špatně odnožené, které v zimě často vymrzají (Hřivna, 2012).

B. Hnojení dusíkem v průběhu vegetace

Hnojení v průběhu vegetace dělíme na regenerační hnojení, produkční hnojení a kvalitativní hnojení. U každé odrůdy a jejich využití je rozdělení dávky a stanovení množství aplikovaného dusíku rozdílné. U odrůd tvořících výnos produktivností klasu je třeba posílit produkční hnojení a naopak u odrůd, které tvoří výnos hustotou porostu a počtem odnoží je třeba posílit regenerační hnojení (Zimolka et al., 2005).

- **Regenerační hnojení**

Regenerační hnojení je uskutečňováno po přezimování brzy na jaře. Hnojí se, jakmile to dovolí půdní a povětrnostní podmínky a rostliny začínají obnovovat svou činnost (Vaněk et

al., 2007). Toto hnojení provádíme s cílem vylepšit zdravotní stav špatně přezimovaných rostlin (Špaldon et al., 1986).

Regenerační hnojení spolu s produkčním nejvíce ovlivňují výšku a kvalitu výnosu pšenice (Kováčik, 2009). Brzkým jarním hnojením ovlivňujeme rychlost nastartování růstu pšenice. Je nutné zajistit rychlý růst kořenů, s čímž souvisí i následná obnova nadzemní biomasy po zimě. Dávka dusíku se orientuje podle agrobiologické kontroly porostu po přezimování (počet rostlin na m², počet odnoží, zdravotní stav porostu). Obvykle se dávka regeneračního hnojení pohybuje mezi 40 - 60 kg N.ha⁻¹ (Zimolka et al., 2005). Podle Vaněk et al. (2007) se dávka dusíku pohybuje v rozmezí 20 - 60 kg N.ha⁻¹.

Na regenerační hnojení používáme dusičnan amonný (DA), močovinu (MO), ledek amonný s vápencem (LAV) nebo dolomitem (LAD). Dále například na půdách s nižším obsahem síry je vhodné dodat také síru v hnojivu DASA. Po přezimování jsou rostliny často poškozené mrazem, není tedy vhodné používat kapalná hnojiva. Po správně provedeném regeneračním hnojením dochází k regeneraci porostu, což se na jaře projevuje intenzivní tvorbou a růstem odnoží (Zimolka et al., 2005).

- **Produkční hnojení dusíkem**

Provádí se v době po odnožení na počátku sloupkování (Kováčik, 2009). V této růstové fázi dochází k diferenciaci vegetačního vrcholu (zakládání počtu zrn v klasu). Při sloupkování dochází k velkému nárůstu biomasy a je třeba dodat dostatek živin pro tvorbu založených stébel při odnožování. Dostatečný počet zrn v klasu souvisí s vysokou produkcí zrna (Vaněk et al., 2007).

Produkčním hnojením bezprostředně působíme na velikost klasu, podporujeme růst odnoží a listové plochy. Dávka dusíku vychází z chemických analýz rostlin. K tomuto hnojení používáme například LAD, LAV, LA nebo kapalný dusičnan amonný s močovinou (DAM 390). Pokud by vypočtená dávka dusíku přesahovala 60 kg N.ha⁻¹ je nutné dávku rozdělit na dvě. Druhou dávkou aplikujeme s odstupem 2 - 3 týdnů (Zimolka et al., 2005).

- **Kvalitativní hnojení dusíkem**

Provádí se v době těsně před metáním nebo krátce po něm (Vaněk et al., 2007). U slabších porostů, kde je potřeba posílit asimilaci a udržet co nejvyšší počet produktivních odnoží, se porosty hnojí již v období, kdy se objevuje praporcový list (Zimolka et al., 2005).

Kvalitativním hnojením ovlivňujeme hlavně technologickou jakost pšenice. Zvyšuje se obsah lepkové bílkoviny, ale také se může zvyšovat hmotnost tisíce semen (Špaldon et al., 1986). Při realizaci kvalitativního hnojení se málo kdy zvýší výnos. Vliv je spíše na obsah

bílkovin a mokrého lepku v zrně. Své opodstatnění má spíše na lehkých půdách, v suchých letech nebo v letech s intenzivními srážkami (Kováčik, 2009).

Běžně se aplikují dávky 20 - 30 kg N.ha⁻¹, ale účinnost toho hnojení je značně závislá na průběhu počasí. Z hnojiv se používá LV nebo LAV (Vaněk et al., 2007).

Využití kapalných hnojiv je možné při použití nízkoprocentních roztoků. Při používání koncentrovaných hnojiv je nutné použití speciálních aplikačních nástavců, jinak dochází k popálení porostů (Zimolka et al., 2005).

Za suchého počasí je kvalitativní přihnojení zcela neefektivní, neboť nejsou předpoklady pro příjem dusíku. Za vlhka je nebezpečí, že se tímto pozdním přihnojením podpoří výskyt houbových chorob, což může mít za následek i pokles výnosu (Vaněk et al., 2007).

Na celkové fotosyntéze se v tomto období podílejí 4 listy z 57 % a samotný poslední (praporcový) list z 35 %. Pro dosažení vysokého výnosu je tedy nutné držet tyto listy zdravé pomocí fungicidní ochrany (Zimolka et al., 2005).

3.7.1.1 Dusíkatá hnojiva

Dusíkatá hnojiva dělíme podle formy dusíku na:

- Dusík ledkový - patří sem hnojiva běžně označovaná jako ledky, například ledek vápenatý, která jsou dobře rozpustná ve vodě. Aniont NO₃⁻ není v půdě sorbován a vyskytuje se v půdním roztoku, proto jsou tato hnojiva vhodná k přihnojování během vegetace.
- Dusík amonný - tato hnojiva jsou pravým opakem ledkových hnojiv. Poskytují rostlinám dusík ve formě NH₄⁺, který je sorbován v půdě, je v půdě málo pohyblivý a jeho působení závisí na intenzitě nitrifikace. Využití těchto hnojiv spočívá ve vyhnojení pozemků před zakládáním porostu. Mezi amonná hnojiva řadíme například síran amonný.
- Dusík amidový a kyanamidový.
- Dvě a více forem dusíku - Tato hnojiva zaujímají na trhu 70 % podíl. Nejdůležitější z nich je ledek amonný (NH₄NO₃) a hnojiva z něj odvozená. Mezi hnojiva obsahující tři a více forem dusíku patří hnojivo DAM (Vaněk et al., 2012).

Ledek vápenatý

Je šedé až bílé granulované hnojivo, které je velmi dobře rozpustné ve vodě. Používá se k přihnojování rostlin během vegetace. Vhodný je také k plodinám náročným na vápník.

Velkou nevýhodou jsou problémy při skladování volným uložením. Ledek vápenatý se působením vzdušné vlhkosti postupně roztéká (Neuberg, 1998).

Ledek amonný

Ledek amonný neboli dusičnan amonný je hnojivo, které obsahuje dvě formy dusíku. Je zde polovina dusíku nitrátového a druhá polovina je amonná forma dusíku. Obě formy jsou dobře využitelné rostlinami, a proto je toto hnojivo považováno za univerzální. Nevýhodou tohoto hnojiva je jeho hygroskopičnost a spékavost. Je dokonce charakterizováno jako hořlavina či výbušnina. Dusičnan amonný dále slouží pro výrobu ledků amonný s přidanou látkou. Nejčastěji se přidává vápenec, dolomit nebo síran vápenatý (Vaněk et al., 2012).

3.7.2 Hnojení pšenice minerálním fosforem

Fosfor je v půdě velmi málo pohyblivý, a proto není přihnojování během vegetace příliš efektivní. Nejvhodnější je aplikace hnojiv před zpracováním půdy a setím ozimé pšenice, aby byla zapravena do půdy nejlépe rovnoměrně do celého orničního profilu (Černý et al., 2014).

Aplikace fosforečných hnojiv je zpravidla zkombinována s aplikací draselných hnojiv buď jako směs jednosložkových hnojiv nebo ve vícesložkových hnojivech. Dávka fosforu vychází z obsahu přístupného fosforu v půdě a podle předpokládaného výnosu. Při vysokém až velmi vysokém obsahu fosforu v půdě, nehnojíme fosforem po dobu tří let (Zimolka et al., 2005).

Odběr fosforu na 1 t zrna pšenice je okolo 5 kg (Vaněk et al., 2007).

Při volbě hnojiv bychom měli preferovat hnojiva s vysokým obsahem vodorozpustného fosforu, jako je například trojitý nebo jednoduchý superfosfát (Zimolka et al., 2005).

3.7.2.1 Fosforečná hnojiva

Podle Vaněk et al. (2012) se fosforečná hnojiva dělí podle rozpustnosti na:

- Fosforečná hnojiva rozpustná ve vodě (Amofos, superfosfáty) a rozpustná v kyselině citronové (většina NPK hnojiv).
- Fosforečná hnojiva nerozpustná (mleté fosfáty).

Kalina (2005) uvádí, že lze mleté fosfáty používat pouze na kyselých půdách.

Superfosfát jednoduchý

Převážná část fosforu v tomto hnojivu je ve vodorozpustné formě. Jsou to univerzální hnojiva ke všem plodinám při předset'ové přípravě. Účinnost superfosfátu je možné zvýšit

kombinací s organickým hnojením. V hnojivu je navíc velké množství sádry, a proto je vhodná k řešení nedostatku síry v půdě. Superfosfáty, by se neměly používat na kyselých půdách, kde fosfor celkem rychle přechází na formy pro rostliny málo přijatelné (Kalina, 2005).

3.7.3 Hnojení pšenice minerálním draslíkem

Při hnojení draslíkem je třeba vycházet ze stejných principů jako při hnojení fosforem. Pšenice má však oproti fosforu celkově vyšší příjem draslíku. Hnojení probíhá před předseťovou úpravou pozemku, ale přítomnost draslíku u klíčících rostlin je důležitější než přítomnost fosforu, protože draslík není obsažen ve velkém množství v zásobních látkách semene (Černý et al., 2014).

Při stanovení dávky draselného hnojiva vycházíme z obsahu přístupného draslíku v půdě s ohledem na půdní druh, odběr draslíku rostlinou, ale je nutné také zohlednit, jak byly využity rostlinné zbytky předchozí plodiny, které bývají zpravidla bohatá na draslík (Zimolka et al., 2005).

Odběr draslíku na jednu tunu zrna je okolo 19 kg (Vaněk et al., 2007).

Dále při výpočtu dávky hnojiva je nutné zohlednit vlastnosti použitých organických hnojiv. Draslík z kapalných organických hnojiv je pro rostliny rychle přístupný, ale dusík ze slámy se uvolňuje postupně a v době jeho potřeby by vznikl nedostatek. Obecně platí, že by se hnojení draslíkem nemělo vyloučit nikdy a při pěstování bez organických hnojiv je použití minerálních hnojiv samozřejmostí. Z minerálních hnojiv jsou vhodné draselné soli, popřípadě další hnojiva s obsahem síry a hořčíku (Černý et al., 2014).

3.7.3.1 Draselná hnojiva

Draslík se v draselných hnojivech vyskytuje ve formě chloridu nebo síranu. Při používání chloridových hnojiv se musí brát v potaz citlivost některých rostlin na přísun chloridů. Přestože se chloridy z půdy celkem rychle vyplavují, doporučuje se k rostlinám citlivým na chlór hnojit minimálně tři týdny před přípravou půdy nebo nejlépe ještě na podzim (Kalina, 2005).

Draselné soli

Draselné soli (DS) se dělí podle obsahu draslíku na DS 40 %, 50 % a 60 %. Jsou to směsi bílých, šedých a načervenalých krystalků, které jsou dobře rozpustné ve vodě. Draslík má v tomto hnojivu chloridovou formu, proto není vhodné jej používat k přímému hnojení

rostlin citlivých na chlór. Používají se spíše k základnímu hnojení, popř. u rostlin méně citlivých na chlór (Neuberg, 1998).

Síran draselný a Patenkali

Obě hnojiva obsahují síranovou formu draslíku a jsou proto vhodné pro hnojení rostlin citlivých na chlór. Navíc Patenkali pokrývá potřebu hořčíku rostlinami. Nejvhodnější aplikace je při předseťové přípravě. Síran draselný se dá použít i během vegetace pro listovou výživu (Kalina, 2005).

Síran draselný obsahuje cca 42 % draslíku a 17 - 18 % síry. Patenkali obsahuje 23,5 % draslíku, 6 % hořčíku, 18 % síry a 3 % chlóru (Vaněk et al., 2012).

3.7.4 Hnojení organickými hnojivy

Organická hnojiva tvoří základ půdní úrodnosti a nedají se ničím nahradit. Přivádějí do půdy organickou hmotu, mikroorganismy a živiny. Nepřímo také ovlivňují přijatelnost živin, které jsou již v půdě obsaženy (Kalina, 2005)

Tato hnojiva můžeme rozdělit podle původu na hnojiva stájová (hnůj, močůvka, kejda), hnojiva rostlinného původu (sláma, zelené hnojení) a komposty (Vaněk et al., 2012).

Organická hnojiva působí v půdě pozvolně a dlouhodobě. Kvůli pozvolnému působení není možné rostliny přehnojit. Živiny se z organických forem uvolňují procesem mineralizace. Mineralizace probíhá přibližně za stejných podmínek jako růst rostlin a tím dochází k souladu mezi zpřístupňováním živin a jejich spotřebou (Neuberg, 1998).

3.7.4.1 Aplikace organických hnojiv

Organická hnojiva aplikujeme na podzim těsně před hlubokým zpracováním půdy. Je vhodné, aby byla zapravena do celého orničního profilu. Podzimní aplikace je nejvhodnější proto, aby se půda přes zimu slehla, aby co nejdříve začala mineralizace a část živin se již v prvním vegetačním období po aplikaci hnojiv stala přijatelnými a v neposlední řadě proto, že některé plodiny vyloženě nesnášejí přímé organické hnojení (Neuberg, 1998).

3.7.4.2 Stájová hnojiva

Chlévský hnůj

Chlévský hnůj vzniká uzráním chlévské mrvy. Chlévská mrva je směs tuhých a tekutých výkalů a steliva (Kalina, 2005). Při uložení mrvy na hnojišti dochází k rozkladným biologicko-chemickým procesům, mezi které patří kvašení, tlení a hnití, které na sebe navzájem navazují a prolínají se. Souhrnně se tyto procesy nazývají zrání. Nejvyšší intenzita

rozkladu organických látek je za přístupu vzduchu, proto je důležité zamezit přístup vzduchu a tím tyto ztráty omezit. Vytěsnění vzduchu lze docílit vrstvením hnoje na zpevněném hnojišti do výšky 3 m. Při takovémto postupu by ztráty neměly překročit 30 %. Naopak při sklápění jednotlivých návěsů vedle sebe a při často používané technologii nezpevněných hnojišť dosahují ztráty organických látek 50 - 60 %. Navíc dochází i ke ztrátám živin. Ztráty dusíku z celkového množství v chlévské mrvě činí 30 - 40%, fosforu asi 5 % a draslíku 10 - 20 % (Vaněk et al., 2012).

Po zapravení hnoje do půdy dochází k intenzivní mineralizaci. Rychlost mineralizace závisí na teplotě, půdní vlhkosti, půdních vlastnostech, kvalitě použitého hnoje a mikrobiální aktivitě. Hnůj v půdě působí pozvolně a několik let a je proto vhodnější k plodinám s delší vegetační dobou. V prvním roce se hnůj v půdě využívá z 15 - 25 %, v dalších letech jeho využití klesá, v druhém roce po aplikaci na 10 - 15 % ve třetím na 5 % (Černý et al., 2013). Stejně hodnoty využití dusíku z hnoje uvádějí také Vaněk et al. (2012). Schwartz et al. (2002) tvrdí, že orba zvyšuje rychlost mineralizace organických látek z hnoje a umožňuje tak lepší využití dusíku z hnoje.

3.7.4.3 Rostlinná organická hnojiva

Zaorávka slámy

Sláma je v současné době důležitým zdrojem organických látek, kvůli nedostupnosti stájových hnojiv (Vaněk et al., 2012). O efektivitě hnojení slámou rozhoduje kvalita rozdrčení a rozprostření slámy po pozemku.

Po zapravení je vhodné upravit poměr C:N v půdě. Na 1 t slámy je nutné aplikovat 4 - 6 kg N. (Černý et al., 2013). Přednostně by se na rozklad slámy měla využívat organická hnojiva, jako například močůvka. Při nedostatku organických hnojiv je třeba použít minerálních dusíkatých hnojiv s amidovou nebo amonnou formou. K tomuto účelu je nejvhodnější močovina, dále síran amonný nebo DAM 390 (Vaněk et al., 2012).

3.8 Jakost potravinářské pšenice

Fyzikální a chemické vlastnosti zrna určují kvalitu potravinářské pšenice (Palík et al., 2009). Sklizené zrna pšenice by na trhu mělo dosahovat určitých ukazatelů jakosti podle zaměření na další zpracování (Faměra, 1993).

Pojmem jakost se rozumí ekonomický termín a vyjadřuje úroveň naplnění určitých znaků vůči danému standardu. Je třeba na kvalitu pohlížet z mnoha hledisek, protože každý ze zpracovatelů a spotřebitelů může mít jiné požadavky (Zimolka et al., 2005).

Zimolka et al. (2005) dělí odrůdy pšenice podle užitného směru na:

- potravinářská pekárenská pšenice pro výrobu kynutých těst
- potravinářská pečivářská pšenice pro výrobu sušenek a keksů
- krmná pšenice
- pšenice pro výrobu škrobu
- pšenice pro výrobu bioethanolu.

Pekárenská jakost je základním užitkovým směrem, který se sleduje u všech registrovaných odrůd. Podle úrovně sledovaných znaků jakosti se odrůdy zařazují do tříd jakosti:

- Kategorie E - nejkvalitnější pšenice, ve všech znacích vynikající
- Kategorie A - kvalitní pšenice, ve všech parametrech vyhovující
- Kategorie B - chlebová pšenice, některý z parametrů může být na hranici, v některých ročnících nesplňuje parametry pekárenské pšenice
- Kategorie C - odrůdy nevhodné pro pekárenské využití

Pro zařazení odrůdy do kategorie je rozhodující znak, ve kterém dosahuje odrůda nejnižší hodnoty. Pro zařazování odrůdy je rozhodujících šest parametrů: Objemová výtěžnost, obsah dusíkatých látek, Zeleného sedimentační test, číslo poklesu, objemová hmotnost a vaznost mouky (Prugar et al., 2008). Zařazení každé odrůdy do kategorie umožňuje pěstiteli i spotřebiteli zvolit vhodnou odrůdu pro daný užitkový směr. Minimální požadavky pro zařazení odrůd do skupin uvádí tabulka 1.

Tabulka 1: Minimální hodnoty pro zařazení do skupin

| Jakostní skupina | E – elitní | A - kvalitní | B - chlebová |
|----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Objemová výtěžnost (ml) | 549 | 513 | 477 |
| Obsah hrubých bílkovin (%) | 12,6 | 11,8 | 11,1 |
| Test Zelený (ml) | 47 | 33 | 19 |
| Číslo poklesu (s) | 240 | 200 | 160 |
| Objemová hmotnost (g/l) | 790 | 780 | 760 |
| Vaznost mouky (%) | 58,7 | 55,5 | 53,9 |

(Zimolka et al., 2005)

Rozbicki et al. (2015) zkoumali vlivy působící na kvalitu zrna, mouky a těsta a tvrdí, že kvalita zrna pšenice je ovlivňována více faktory vnějšího prostředí nežli genetickým založením. Kvalitu pšeničného zrna ovlivňuje odrůda, která dominantně ovlivňuje některé

znaky jakosti, a za druhé jsou to agroekologické vlivy, které v některých ročnících a při nedodržení vhodných pěstitelských postupů mohou výrazně negativně ovlivnit výslednou jakost (Zimolka et al., 2015).

3.8.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je ukazatelem mlynářské jakosti a koreluje s výtěžností mouky. Není však považována za objektivní měřítko kvality zrna, protože vliv faktorů na objemovou hmotnost není jednoznačný (Prugar et al., 2008).

Objemová hmotnost závisí na ročníku, pěstitelských podmínkách, odrůdě, zdravotním stavu a polehlosti porostu. Při deštivém počasí dochází k rychlému poklesu objemové hmotnosti zralého zrna, proto je kvůli tomuto parametru důležité správné načasování sklizně (Zimolka et al., 2005).

3.8.2 Obsah dusíkatých látek

Různý obsah dusíkatých látek má za následek změny zpracovatelských vlastností zrna. Pro pekárenské využití je rozhodující, že obsah dusíkatých látek v zrně pozitivně souvisí s obsahem lepku (Palík et al., 2009). Stoupající obsah dusíkatých látek kladně působí na chování pečiva při pečení. Má vliv na jakost těsta a objem pečiva. Naopak nízký obsah dusíkatých látek snižuje obsah lepku a tím i tažnost těsta (Zimolka et al., 2005).

Na obsah dusíkatých látek má vliv zejména dusíkaté hnojení, teplotní podmínky prostředí, ročník a předplodina (Prugar et al., 2008).

4 Materiály a metody

4.1 Polní pokus

Bakalářská práce byla vypracovávána při dlouhodobém pokusu s rotací plodin, katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, který byl založen na podzim roku 1996 na pěti stanovištích ČR s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami. Jedná se o stanoviště Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec (u Pacova) a Praha - Suchdol. V pokusu se střídají tři plodiny ve sledu: brambory, pšenice a ječmen. Na stanovišti Červený Újezd je kvůli agrotechnickým možnostem pracoviště využívána silážní kukuřice místo brambor.

Hodnoceno bylo sedm variant na pokusných stanovištích Červený Újezd, Humpolec a Praha - Suchdol. 1. je nehnojená varianta (**kontrola**), 2. jsou čistírenské kaly (**Kal**), 3. chlévský hnůj (**Hnůj**), 4. varianta hnojená poloviční dávkou hnoje s přihnojením dusíkem v minerálním dusíkatém hnojivu (**Hnůj ½ + N**), 5. hnojení dusíkatým minerálním hnojivem (**N**), 6. hnojení minerálními hnojivy N, P a K (**NPK**) a 7. varianta sláma předplodiny a přihnojení dusíkatým minerálním hnojivem (**N + sláma**).

Pro potřeby pokusu jsou využívány kaly z ÚČOV Praha, hnůj a sláma z jednotlivých pokusných stanovišť. Použitým dusíkatým hnojivem v pokusu je ledek amonný s vápencem (27 % N), fosforečným hnojivem je trojitý superfosfát (21 % P) a draselným hnojivem je draselná sůl (50 % K).

Pokusné parcelky mají na stanovišti Červený Újezd velikost 80 m², na stanovišti Humpolec 60 m² a na stanovišti Praha - Suchdol 60,5 m².

4.1.1 Hnojení jednotlivých variant

Dávky živin aplikovaných v hnojivech v tříletém cyklu pokusu znázorňuje tabulka 2. Obsah živin, sušiny a průměrné dávky sušiny za rok na hektar aplikované v organických hnojivech popisuje tabulka 3.

Varianta Kontrola

Jedná se o nehnojenou variantu zajišťující možnost porovnávání efektivity hnojiv použitých u ostatních variant.

Varianta N

Hnojení minerálními dusíkatými hnojivy je k bramborám aplikováno v dávce 120 kg N.ha⁻¹, k ječmeni 70 kg N.ha⁻¹ a k pšenici se aplikuje 140 kg N.ha⁻¹. Brambory a ječmen jsou dusíkem hnojeny na jaře před založením porostu a u ozimé pšenice je dávka

dusíku rozdělena na polovinu. První je aplikována jako regenerační hnojení a druhá jako hnojení produkční.

Varianta NPK

Hnojení dusíkem je stejné jako u varianty N. Minerální fosforečná a draselná hnojiva jsou ke všem plodinám aplikována na podzim. Dávka fosforečných minerálních hnojiv ke všem plodinám odpovídá 30 kg P.ha⁻¹ a draselných hnojiv odpovídá dávce 100 kg K.ha⁻¹.

Varianta Kal a Hnůj

Čistírenské kaly a chlévský hnůj jsou aplikovány na podzim po sklizni ječmene před zpracováním půdy v dávce, která odpovídá 330 kg N.ha⁻¹. Pšenice se v pokusu nachází ve druhé trati od všech organických hnojiv. Dávka fosforu a draslíku je odvozena od obsahu živin v aplikovaných organických hnojivech.

Varianta Hnůj ½ + N

Aplikace poloviční dávky hnoje je aplikována stejně jako ve variantě Hnůj. V této variantě je snížená dávka chlévského hnoje kombinována s aplikací dusíkatých minerálních hnojiv k pšenici a ječmenu, která odpovídá způsobu hnojení varianty N s jinou dávkou živin. K pšenici se aplikuje 110 kg N.ha⁻¹ a k ječmenu 55 kg N.ha⁻¹. Fosfor a draslík je dodáván pouze v dávce hnoje.

Varianta N + sláma

Ječná sláma je aplikována jako všechna organická hnojiva na podzim. Dávka dusíku v minerálním hnojivu odpovídá dávce ve variantě Hnůj, přičemž je k bramborám zaoráno 5 t.ha⁻¹ ječné slámy, která odpovídá 18 kg N.ha⁻¹, 6 kg P.ha⁻¹ a 47 kg K.ha⁻¹.

Tabulka 2: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

| Varianta | Brambory | | | Pšenice | | | Ječmen | | |
|------------|----------|-----|-----|---------|----|-----|--------|----|-----|
| | N | P | K | N | P | K | N | P | K |
| Kontrola | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Kal | 330 | 201 | 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hnůj | 330 | 118 | 374 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hnůj ½ + 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 3: Průměrné dávky sušiny, sušina a obsahy živin v organických hnojivech

| Hnojivo | Dávka | Sušina | Obsah živin | | |
|----------------------|----------|--------|-------------|------|------|
| | t/ha/rok | % | N | P | K |
| Kal | 9,00 | 30,6 | 3,66 | 2,23 | 0,61 |
| Hnůj Červený Újezd | 14,48 | 30,3 | 2,48 | 0,81 | 2,14 |
| Hnůj Humpolec | 14,92 | 24,6 | 2,28 | 0,72 | 2,24 |
| Hnůj Praha - Suchdol | 16,83 | 34,2 | 2,05 | 0,76 | 1,94 |
| Sláma | 5,00 | 95,0 | 0,35 | 0,11 | 0,93 |

4.1.2 Charakteristika pokusných lokalit

Červený Újezd

Červený Újezd se nachází západně od Prahy na souřadnicích 50° 4' 22" N a 14° 10' 19" E v nadmořské výšce 410 m n. m a patří do řepařské výrobní oblasti. Průměrná roční teplota je 7,7 °C a průměrné roční srážky 493 mm. Půdním druhem je půda hlinitá a půdním typem je luvizem s pH 6,5.

Humpolec

Humpolec je město, které leží v okrese Pelhřimov v kraji Vysočina, severozápadně od Jihlavy. Výzkumná stanice se nachází na souřadnicích 49° 33' 16" N a 15° 21' 2" E v nadmořské výšce 525 m n. m a patří do bramborářské výrobní oblasti. Průměrná roční teplota je 7,0 °C a průměrné roční srážky 665 mm. Půda je zde písčito-hlinitá a půdním typem je kambizem s pH 5,1.

Praha - Suchdol

Suchdol je městská čtvrť rozkládající se na severu Prahy na levém břehu Vltavy. Výzkumná stanice se nachází na souřadnicích 50° 7' 40" N a 14° 22' 33" E v nadmořské výšce 286 m n. m a patří stejně jako Červený Újezd do řepařské výrobní oblasti. Oproti Červenému Újezdu je zde vyšší průměrná roční teplota, nižší úhrn srážek a jiná půda. Průměrná roční teplota je 9,1 °C a průměrné roční srážky 495 mm. Na tomto stanovišti je půdním druhem půda hlinitá a půdním typem je černozem s pH 7,5.

Obsah živin v půdě byl hodnocen metodou Mehlich III. Obsahy jednotlivých živin v půdě jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 4: Obsah živin v půdě a kationtová výměnná kapacita v jednotlivých lokalitách

| | Červený Újezd | Humpolec | Praha - Suchdol |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|------------------------|
| P (mg.kg ⁻¹) | 100 | 90 | 91 |
| K (mg.kg ⁻¹) | 80 | 190 | 230 |
| Mg (mg.kg ⁻¹) | 110 | 100 | 240 |
| Ca (mg.kg ⁻¹) | 3600 | 1300 | 9000 |
| KVK (mmol(+).kg ⁻¹) | 145 | 159 | 230 |

4.2 Laboratorní zpracování

Skližené vzorky se v laboratoři nejprve suší na konstantní vlhkost při 40 °C. Následuje jejich zpracování na střížném mlýnu Retsch SM 100 struhadlem s průměrem ok 1 mm. Zpracované vzorky dále putují na analýzu.

4.2.1 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost je podle ČSN ISO 7971-2 definována jako hmotnost jednoho litru zrna nasypného podle předepsaného postupu vyjádřená v gramech.

Stanovení se provádí podle ČSN ISO 7971-2 a postup je následující. Vzorek se vysype do jednolitrové odměrné nádoby, která se potom zváží. Postup se opakoval třikrát a získané hodnoty byly zprůměrovány.

4.2.2 Stanovení obsahu dusíku

Obsah dusíkatých látek se stanovuje metodou podle Kjeldahla. Metoda stanoví celkový obsah dusíku v zrně.

Celý proces se skládá se tří fází - mineralizace, destilace a titrace. K mineralizaci se odváží vzorek o hmotnosti 0,5 g. Mineralizace probíhala 120 minut v koncentrované kyselině sírové za přítomnosti směsného katalyzátoru při teplotě 420 °C. V této fázi probíhá var s kyselinou sírovou a převedení dusíku na anorganickou formu. Druhou fází je destilace vodní párou, kde dochází k uvolnění anorganicky vázaného dusíku v podobě amoniaku, který je jímán v přebytku titračního roztoku kyseliny borité. Zpětnou acidobazickou titrací přebytku kyseliny borité byl stanoven skutečný obsah dusíku.

Stanovení obsahu dusíku bylo uskutečněno na automatickém přístroji Vapodest 50S, kde byla prováděna destilace a titrace.

5 Výsledky

K vyhodnocení pokusu byly použity výsledky z dlouhodobého stacionárního pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin České Zemědělské Univerzity v Praze z agronomického roku 2014/2015.

5.1 Výnos

5.1.1 Výnos zrna

Výnosy zrna na lokalitách Červený Újezd, Humpolec a Suchdol znázorňuje graf 1. Na žádném ze sledovaných stanovišť nedošlo k poklesu výnosu zrna jednotlivých variant vůči kontrole. Nejnižší zjištěné výnosy zrna na všech lokalitách byly u varianty Hnůj. Celkově nejvyšší výnos zrna byl zjištěn v lokalitě Červený Újezd na variantě N ($12,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a nejnižší v lokalitě Humpolec na variantě Hnůj ($3,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Z grafu je patrná pozitivní reakce pšenice na hnojení minerálním dusíkem u variant Hnůj 1/2 +N, N, NPK a N+ sláma zvýšením výnosu zrna. Nejvíce ze všech lokalit reagovala pšenice na hnojení na stanovišti Humpolec.

Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd dosáhla kontrola výnosu zrna $4,23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejnižší výnos zrna byl zjištěn na variantě Hnůj ($8,69 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), oproti kontrole je zde nárůst výnosu o 105,4 %. Druhý nejnižší výnos zrna byl zjištěn na variantě Kal, kde byl dosažen výnos zrna $9,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, který odpovídá nárůstu 113 % oproti kontrolní variantě. Nejvyššího výnosu zrna dosáhla varianta N ($12,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Přírůstek výnosu zrna na variantě N oproti kontrole činil 190,3 %.

Humpolec

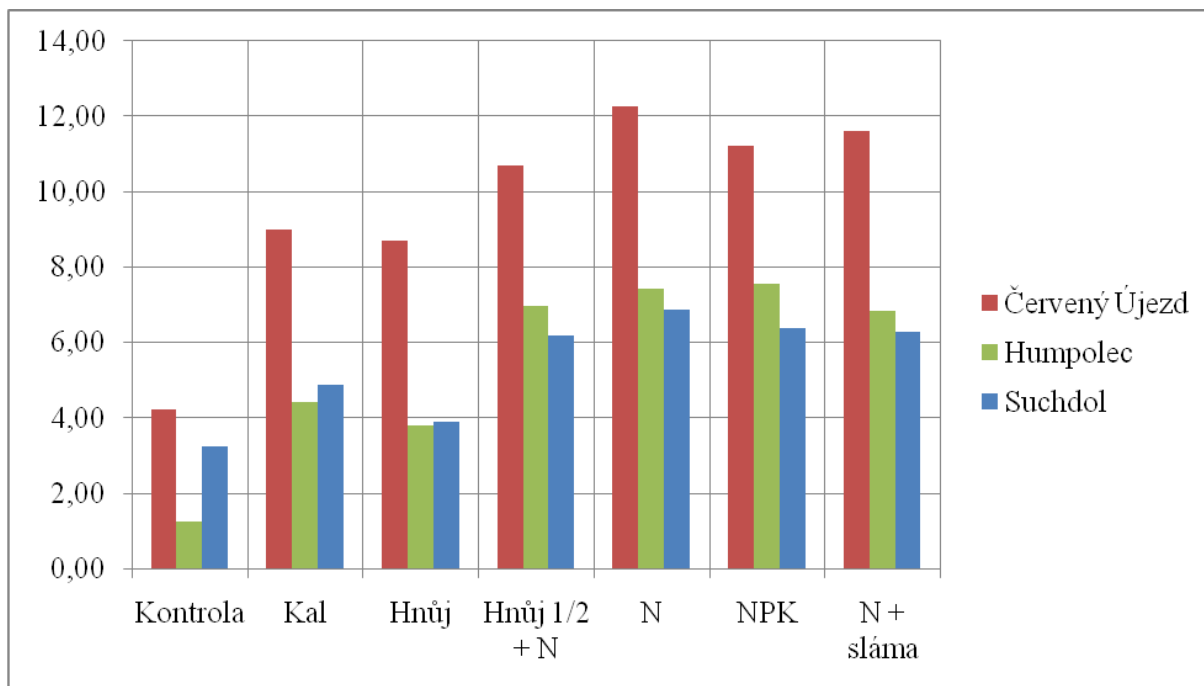
Na pokusném pozemku v Humpolci dosáhla kontrola nejnižšího výnosu zrna ($1,23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze všech lokalit, ale došlo k nejvyšší reakci na hnojení a nejvyšším nárůstům výnosů zrna u všech variant oproti kontrole, jak je patrné z grafu 1. Nejnižšího výnosu zrna bylo dosaženo na variantě Hnůj ($3,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). V porovnání s kontrolou však činil přírůstek výnosu 207,3 %. Nejvyšší výnos zrna byl zjištěn u varianty NPK ($7,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Jedná se o nárůst výnosu zrna oproti kontrole o 513 %. Druhý nejvyšší výnos zrna dosáhla varianta N ($7,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Oproti kontrole činil nárůst výnosu zrna 504,1 %.

Suchdol

Kontrola na stanovišti Suchdol dosáhla výnosu zrna $3,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejnižší výnos zrna byl změřen na variantě Hnůj ($3,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), kde byl přírůstek oproti nehnojené kontrole pouze

20 %. Nejvyšší výnos zrna byl na variantě N (6,87 t.ha⁻¹). Nárůst výnosu zrna zde činil 111,4 % oproti kontrole.

Graf 1: Výnos zrna při 100 % sušíně (t.ha⁻¹)



5.1.2 Výnos slámy

Výnosy slámy na sledovaných lokalitách zobrazuje graf 2. Výnos slámy na stanovišti Suchdol u variant Kontrola, Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N, NPK a N+ sláma byl vyšší než výnos zrna. Na ostatních stanovištích byl výnos slámy nižší než zrna. Nejvyšší výnos slámy byl zjištěn u varianty N + sláma (11,12 t.ha⁻¹) na stanovišti Červený Újezd a nejnižší byl zaznamenán na stanovišti Humpolec u varianty Hnůj (2,25 t.ha⁻¹). Stejně jako u výnosu zrna je patrná pozitivní reakce na hnojení minerálními hnojivy u variant Hnůj 1/2 + N, N, NPK a N + sláma. Největší reakce na hnojení minerálními i organickými dusíkatými hnojivy byla zaznamenána na stanovišti Humpolec, kde došlo k nejvyšším přírůstkům výnosu slámy ze všech stanovišť oproti nehnojené kontrole.

Červený Újezd

V Červeném Újezdu dosáhl výnos slámy kontroly 3,25 t.ha⁻¹. Nejnižší výnos slámy byl na variantě Kal (8,21 t.ha⁻¹), kterému odpovídal nárůst výnosu slámy oproti kontrole o 152,6 % a na variantě Hnůj (8,35 t.ha⁻¹) o 156,9 %. Nejvyšší přírůstek výnosu slámy oproti kontrole byl zjištěn u varianty N + sláma (242,2 %), která dosáhla nejvyššího výnosu slámy

(11,12 t.ha⁻¹). Druhý nejvyšší výnos slámy byl stanoven u varianty N (11,06 t.ha⁻¹) s přírůstkem 240,3 % oproti kontrole.

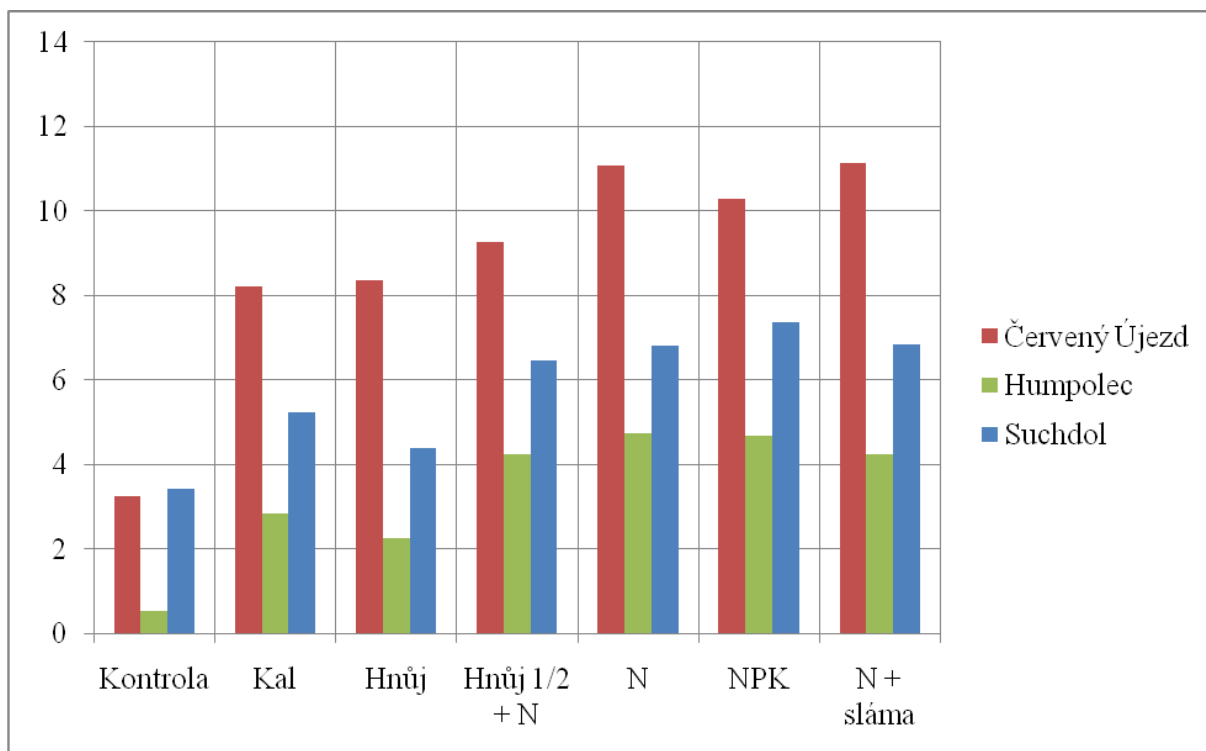
Humpolec

Na stanovišti Humpolec dosáhla kontrola výnosu slámy pouze 0,52 t.ha⁻¹. Varianty N + sláma a Hnůj 1/2 + N dosáhly stejného výnosu slámy (4,25 t.ha⁻¹). U těchto variant došlo ke zvýšení výnosu slámy o 717,3 % oproti nehnojené kontrole. Nejnížší výnos slámy poskytla varianta Hnůj (2,25 t.ha⁻¹), kterému však připadal přírůstek výnosu slámy 332,7 %. Nejvyšší výnos slámy byl zjištěn na variantě N (4,74 t.ha⁻¹). Nárůst výnosu slámy na variantě N se rovnal 811,5 % oproti kontrole. Téměř stejně vysoký výnos slámy poskytla varianta hnojená N, P, K hnojiv (4,68 t.ha⁻¹) s nárůstem výnosu slámy oproti kontrole o 800 %.

Suchdol

V lokalitě Suchdol dosáhla nehnojená varianta výnosu slámy 3,41 t.ha⁻¹, což byl nejvyšší dosažený výnos slámy z kontrol ze všech stanovišť. Nejnížší výnos slámy byl zjištěn u varianty Hnůj (4,39 t.ha⁻¹). Oproti kontrole to znamenalo zvýšení výnosu slámy o 28,7 %. Naopak nejvyššího výnosu slámy bylo dosaženo u varianty NPK (7,36 t.ha⁻¹). V porovnání s kontrolou se jednalo o přírůstek výnosu slámy o 115,8 %.

Graf 2: Výnos suché slámy (t.ha⁻¹)



5.2 Objemová hmotnost

Zjištěnou objemovou hmotnost znázorňuje graf 3. U objemové hmotnosti došlo k poklesům oproti kontrole na stanovištích Červený Újezd a Humpolec. V Červeném Újezdu došlo k poklesu oproti nehnojené kontrole na variantě Hnůj a v Humpolci na variantách Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N a N+ sláma. Na stanovišti Suchdol nedošlo ani na jedné variantě k úbytku objemové hmotnosti vůči nehnojené kontrole. Na všech stanovištích byla zjištěna nejnižší objemová hmotnost u varianty Hnůj. Nejvyšší objemová hmotnost ze všech sledovaných lokalit a hnojených variant byla naměřena u varianty N (829,3 g.l⁻¹) na stanovišti Humpolec a nejnižší byla zaznamenána u varianty Hnůj v Červeném Újezdu (774,2 g.l⁻¹).

Červený Újezd

Na kontrolní variantě v Červeném Újezdu byla naměřena objemová hmotnost 777,8 g.l⁻¹. U varianty Hnůj, u které byla zjištěna nejnižší objemová hmotnost 774,2 g.l⁻¹, došlo k úbytku objemové hmotnosti o 0,5 % v porovnání s kontrolou. Nejvyšších hodnot objemové hmotnosti nabývala varianta N + sláma (817,5 g.l⁻¹), které odpovídal přírůstek oproti kontrole o 5,1 %.

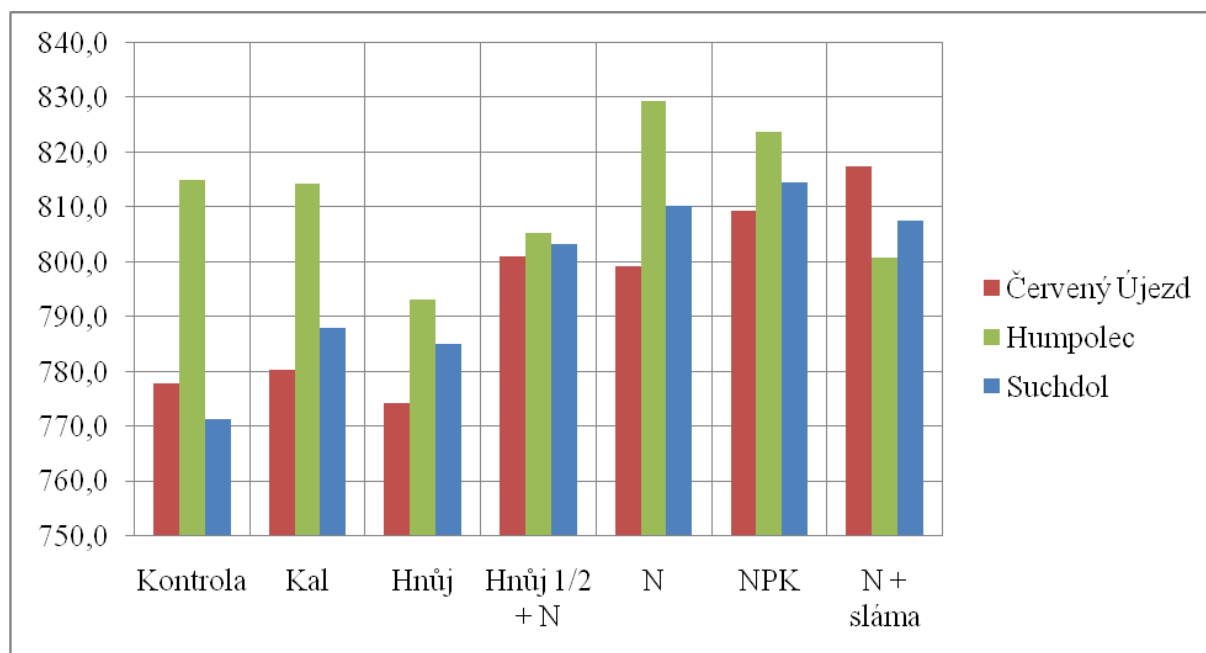
Humpolec

Na stanovišti Humpolec měla kontrolní varianta nejvyšší objemovou hmotnost ze všech kontrol na sledovaných stanovištích (815,1 g.l⁻¹). Nejnižší hodnoty objemové hmotnosti byly stanoveny na variantě Hnůj, kde byla objemová hmotnost 793,1 g.l⁻¹ a to znamenalo pokles objemové hmotnosti o 2,7 % vůči kontrole. Naopak nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti byly naměřeny na variantě N (829,3 g.l⁻¹), u které byla naměřena nejvyšší objemová hmotnost ze všech sledovaných lokalit. Nárůst objemové hmotnosti na této variantě činil 1,7 % oproti kontrole.

Suchdol

V lokalitě Suchdol na kontrolní variantě byla stanovena objemová hmotnost 771,3 g.l⁻¹. Nejnižší objemová hmotnost byla zjištěna u varianty Hnůj (780 g.l⁻¹), což i tak znamenalo navýšení oproti kontrole o 1,8 %. Nejvyšších hodnot objemové hmotnosti nabývala varianta NPK (814,5 g.l⁻¹). Oproti kontrole došlo k přírůstku o 5,6 %.

Graf 3: Objemová hmotnost pšenice (g.l⁻¹)



5.3 Obsah dusíku

5.3.1 Dusík v zrně

Obsah dusíku v zrně dokumentuje graf 4. Na stanovišti Humpolec došlo k poklesu obsahu dusíku v zrně oproti nehněnožené variantě na variantách Kal a Hnůj. Na ostatních dvou stanovištích k poklesům oproti kontrole nedocházelo. Nejnížší obsah dusíku v zrně byl zjištěn u varianty Kal na stanovišti Suchdol (1,28 %) a nejvyšší obsah byl stanoven na variantě N + sláma (2,2 %) v lokalitě Červený Újezd.

Červený Újezd

V Červeném Újezdu byl zaznamenán obsah dusíku v zrně u kontrolní varianty 1,41 %. Nejnížší obsah dusíku v zrně byl zjištěn u varianty Kal (1,52 %). Oproti kontrolní variantě došlo relativně k navýšení obsahu dusíku v zrně o 7,8 %. Druhý nejnížší obsah dusíku v zrně byl zjištěn u varianty Hnůj (1,54 %), kde došlo ke zvýšení obsahu dusíku v zrně oproti kontrole relativně o 9,2 %. Nejvyšší obsah dusíku v zrně byl stanoven u varianty N + sláma (2,2 %) s nárůstem obsahu dusíku v zrně oproti kontrole relativně o 56 %. U varianty N byl naměřen obsah dusíku v zrně 2,17 % (navýšení oproti kontrole relativně o 53,9 %).

Humpolec

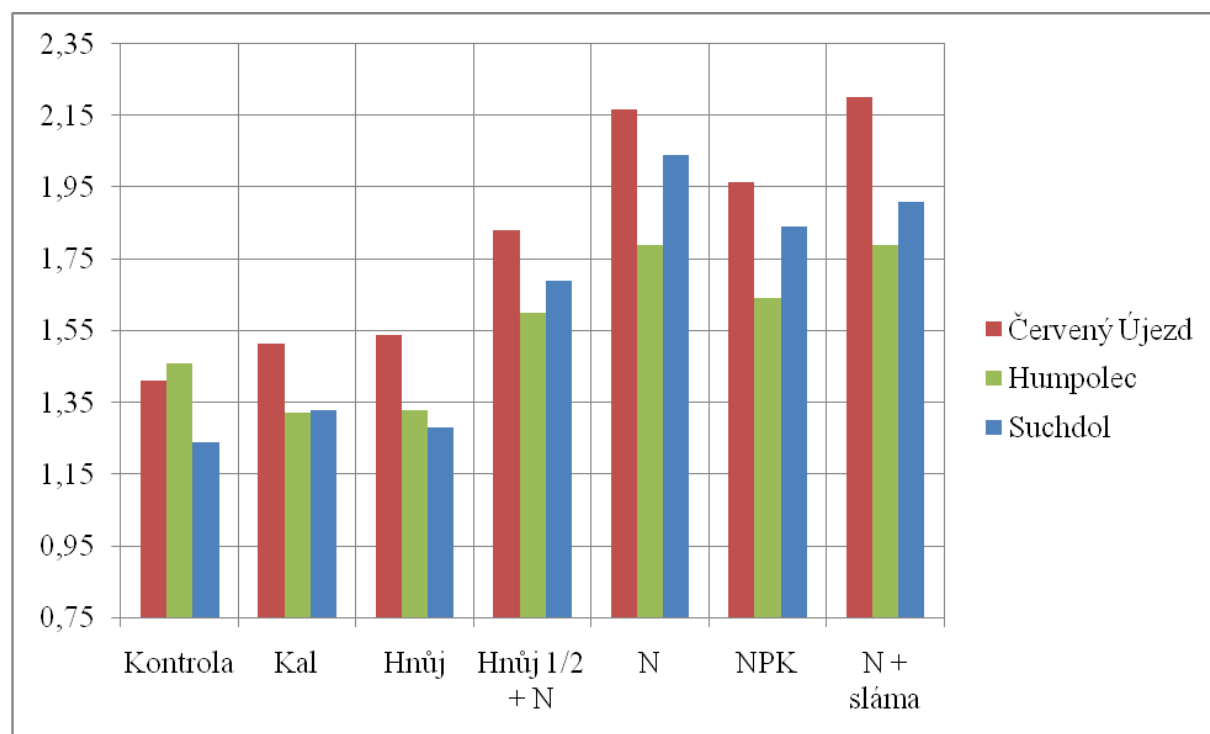
Kontrolní varianta v Humpolci obsahovala 1,46 % dusíku v zrně. Nejnížší obsah dusíku v zrně byl naměřen na variantě Kal (1,32 %), kde došlo dokonce ke snížení obsahu dusíku v zrně vůči kontrole relativně o 9,6 %. Varianta Hnůj však dosáhla podobně nízkého

obsahu dusíku v zrně (1,33 %) s relativním snížením obsahu dusíku v zrně oproti kontrole o 8,9 %. Stejný a i nejvyšší obsahy dusíku v zrně byly zjištěny u variant N a N + sláma (1,79 %). Obsah dusíku v zrně byl relativně o 22,6 % vyšší než u kontrolní varianty.

Suchdol

Na stanovišti Suchdol byl u kontrolní varianty naměřen nejnižší obsah dusíku v zrně ze všech kontrolních variant (1,24 %). Nejnižší obsah dusíku v zrně byl stanoven u varianty Hnůj (1,28 %). U varianty Hnůj došlo relativně ke zvýšení obsahu dusíku v zrně oproti nehnojené kontrole o 3,2 %. Nejvyšší obsah dusíku v zrně byl zaznamenán u varianty N (2,04 %), což znamenalo nárůst obsahu dusíku v zrně oproti kontrolní variantě relativně o 64,5 %.

Graf 4: Obsah dusíku v zrně (%)



5.3.2 Dusík ve slámě

Obsah dusíku ve slámě na jednotlivých stanovištích a variantách zobrazuje graf 5. K poklesům obsahu dusíku ve slámě oproti kontrolní variantě došlo na všech stanovištích. V Červeném Újezdu to bylo na variantách Kal a Hnůj, v Humpolci na variantách Kal a Hnůj 1/2 + sláma a v Suchdole jen na variantě Kal. V lokalitě Červený Újezd byl stejný obsah dusíku ve slámě na variantách N a N + sláma (0,38 %). Nejnižší obsah dusíku ve slámě

vykazovala varianta Kal (0,23 %) na stanovišti Humpolec a nejvyšší obsah dusíku ve slámě byl stanoven u varianty N + sláma (0,39 %) také na stanovišti Humpolec.

Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd byl na kontrolní variantě stanoven obsah dusíku ve slámě 0,31 %. Stejný obsah dusíku ve slámě jako u kontroly byl naměřen na variantě Hnůj 1/2 + N. Nejnižší obsah dusíku ve slámě a dokonce i nižší než u kontrolní varianty vykazovaly varianty Hnůj (0,26 %), kde relativně došlo ke snížení obsahu dusíku ve slámě o 16,1% vůči kontrole, a Kal (0,27 %), kde se obsah dusíku ve slámě snížil o 12,9 % oproti kontrole. Nejvyšší obsah dusíku ve slámě byl na variantách N a N + sláma (0,38 %), které měly obsah dusíku ve slámě stejný. Oproti nehnojené kontrole došlo ke zvýšení obsahu dusíku ve slámě relativně o 22,6 %.

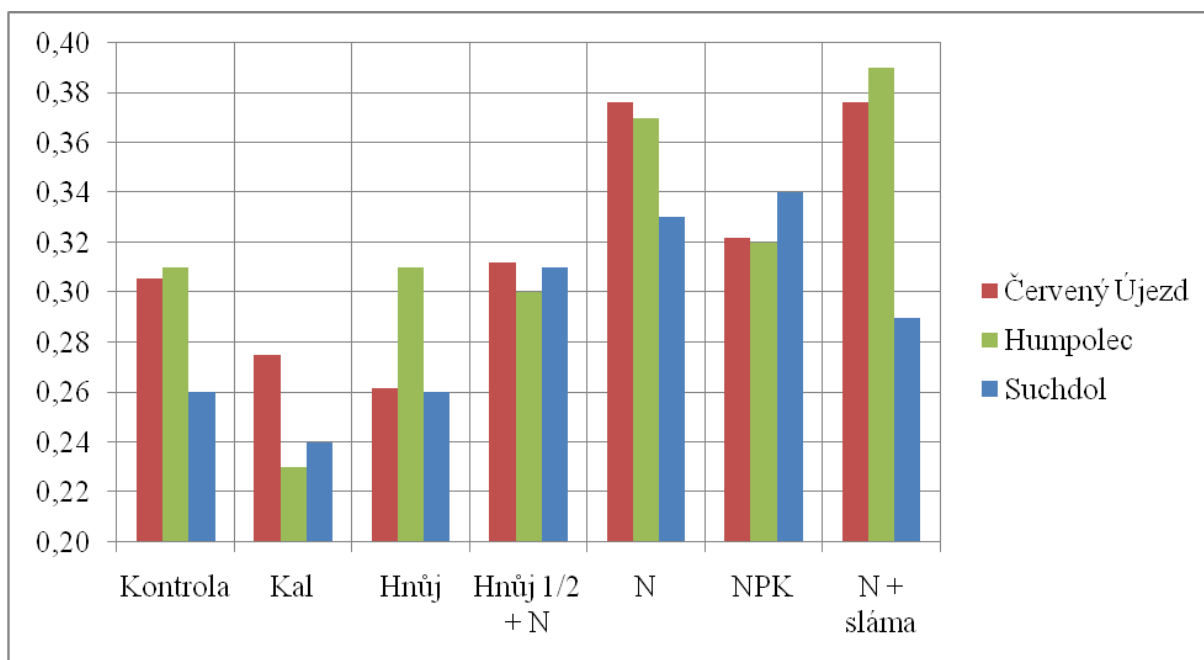
Humpolec

V Humpolci byl u kontrolní varianty zjištěn obsah dusíku ve slámě 0,31 %. Varianta Hnůj zde dosáhla stejného obsahu dusíku ve slámě jako nehnojená kontrolní varianta (0,31 %). Nejnižší obsah dusíku ve slámě (0,23 %) byl změřen u varianty Kal, kde relativně došlo ke snížení obsahu dusíku ve slámě o 25,8 %. Nejvyšší obsah dusíku ve slámě vykazovala varianta N + sláma (0,39 %), kde došlo k navýšení obsahu dusíku ve slámě relativně o 25,8 % oproti kontrole.

Suchdol

V lokalitě Suchdol byl zjištěn nejnižší obsah dusíku ve slámě na kontrolní variantě ze všech sledovaných lokalit (0,26 %). Stejný obsah dusíku ve slámě jako u kontrolní varianty byl stanoven na variantě Hnůj (0,26 %). Nejnižší obsah dusíku ve slámě vykazovala varianta Kal (0,24 %). U varianty Kal došlo ke snížení obsahu dusíku ve slámě relativně o 7,7 % oproti nehnojené kontrole. Nejvyšší obsah dusíku ve slámě byl naměřen u varianty NPK (0,34 %), což relativně znamenalo zvýšení obsahu dusíku ve slámě o 30,8 % oproti kontrole. Podobného výsledku dosáhla varianta N (0,33 %) s nárůstem obsahu dusíku ve slámě oproti kontrole relativně o 27 %.

Graf 5: Obsah dusíku ve slámě (%)



5.4 Odběr dusíku

5.4.1 Odběr zrnem

Odběr dusíku zrnem dokumentuje graf 6. U žádné z hnojených variant na vybraných stanovištích nebyl zjištěn nižší odběr dusíku zrnem než u kontrolní nehnojené varianty. Nejvyšší odběr dusíku zrnem byl zjištěn u varianty N ($266,3 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) na stanovišti Červený Újezd a naopak nejnižší byl stanoven u varianty Hnůj ($49,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) na stanovišti Suchdol.

Červený Újezd

V Červeném Újezdu byl zjištěn nejvyšší odběr dusíku zrnem ze všech kontrolních variant na vybraných stanovištích ($59,7 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejnižší odběr dusíku zrnem představovala varianta Hnůj s odběrem dusíku $133,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, ale oproti kontrole byl odběr dusíku zrnem o 123,8 % vyšší. Podobný odběr dusíku zrnem byl zaznamenán u varianty Kal ($136,5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), kde byl tento odběr vyšší o 128,6 % oproti kontrolní variantě. Nejvyšší odběr dusíku zrnem byl změřen na variantě N ($266,3 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Odběr dusíku zrnem byl na této variantě vyšší o 346,1 % než u kontrolní varianty.

Humpolec

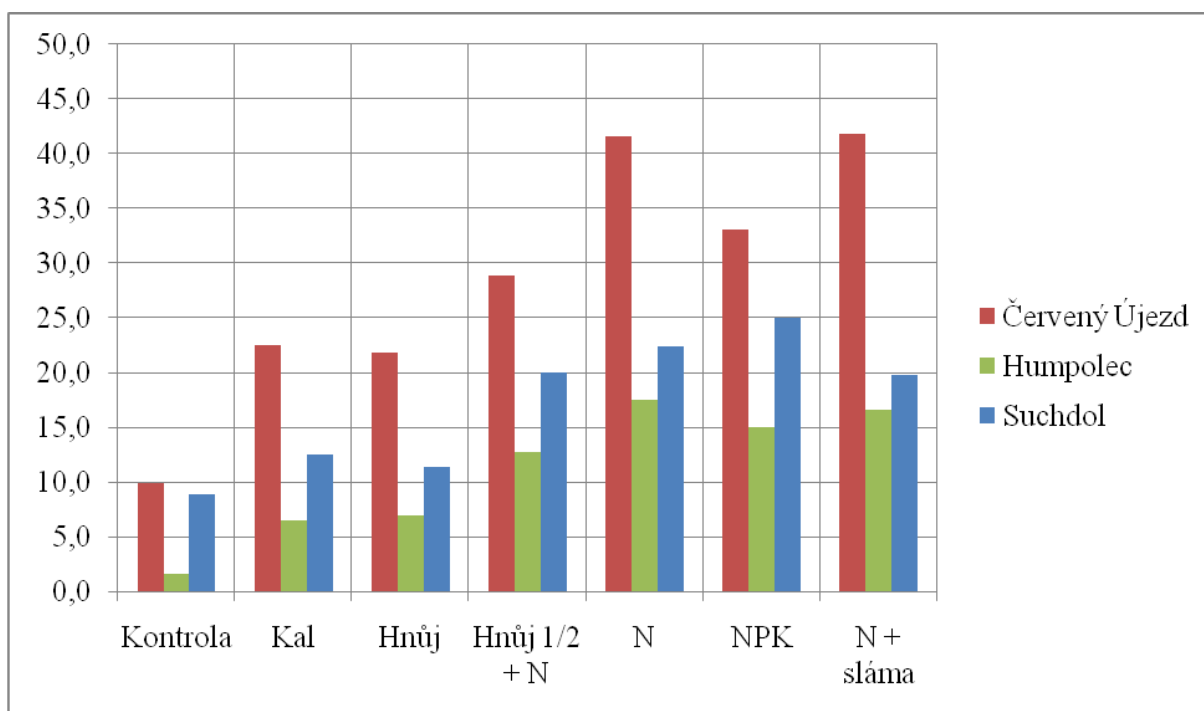
U kontrolní varianty v Humpolci byl nejnižší odběr dusíku zrnem ze všech stanovišť ($18 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Navzájem si podobný odběr dusíku zrnem byl zjištěn u variant N + sláma ($122,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a NPK ($123,7 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Oproti nehnojené kontrole byl odběr dusíku zrnem

u varianty N + sláma vyšší o 581,1 % a u varianty NPK o 587,2 %. Nejnižší odběr dusíku zrnem byl zaznamenán u varianty Hnůj (50,3 kg N.ha⁻¹). Ale i u nejnižšího odběru dusíku zrnem z hnojených variant, byl tento odběr o 179,4 % vyšší než u kontroly. Nejvyšší odběr dusíku zrnem byl změřen na variantě N (133 kg N.ha⁻¹), což představuje odběr dusíku zrnem o 638,9 % vyšší než má nehnojená kontrola.

Suchdol

U kontrolní varianty v Suchdole byl zjištěn odběr dusíku zrnem 40,3 kg N.ha⁻¹. U varianty NPK (117,6 kg N.ha⁻¹) a N + sláma (119,8 kg N.ha⁻¹) byl zjištěn podobný odběr dusíku zrnem. U varianty N + sláma došlo k navýšení odběru dusíku zrnem o 197,3 % a u varianty NPK o 191,8 % vůči kontrolní variantě. Nejnižší odběr dusíku zrnem byl zaznamenán na variantě Hnůj (49,9 kg N.ha⁻¹), který oproti kontrolní variantě znamenal nárůst o 23,9 %. Nejvyšší odběr dusíku zrnem byl stanoven u varianty N (140 kg N.ha⁻¹). Oproti kontrole se zde jednalo o nárůst odběru dusíku zrnem o 247,5 %.

Graf 6: Odběr dusíku zrnem (kg.ha⁻¹)



5.4.2 Odběr slámou

Odběr dusíku slámou znázorňuje graf 7. U žádné varianty nebyl zaznamenán nižší odběr dusíku slámou než u kontrolní varianty. Nejnižší průměrný odběr dusíku slámou byl zaznamenán na stanovišti Humpolec (12,6 kg N.ha⁻¹) a nejvyšší na stanovišti Červený Újezd (31,6 kg N.ha⁻¹). Nejnižší odběr dusíku slámou byl stanoven na stanovišti Humpolec

u varianty Kal ($6,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a naopak nejvyšší byl zjištěn na stanovišti Červený Újezd u varianty N + sláma ($41,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Červený Újezd

U kontrolní varianty v Červeném Újezdu byl naměřen nejvyšší odběr dusíku slámou ze všech kontrolních variant na vybraných stanovištích ($9,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejnižší odběr dusíku slámou byl zaznamenán na variantě Hnůj ($21,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), ale vůči kontrolní variantě byl odběr dusíku slámou o 120,3 % vyšší. Nejvyšší odběr dusíku slámou byl změřen na variantě N + sláma ($41,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a to znamenalo zvýšení odběru dusíku slámou oproti kontrolní variantě o 322,2 %. Druhý nejvyšší odběr dusíku slámou byl stanoven u varianty N ($41,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), kde byl tento odběr vyšší o 320,2 % než u kontrolní varianty.

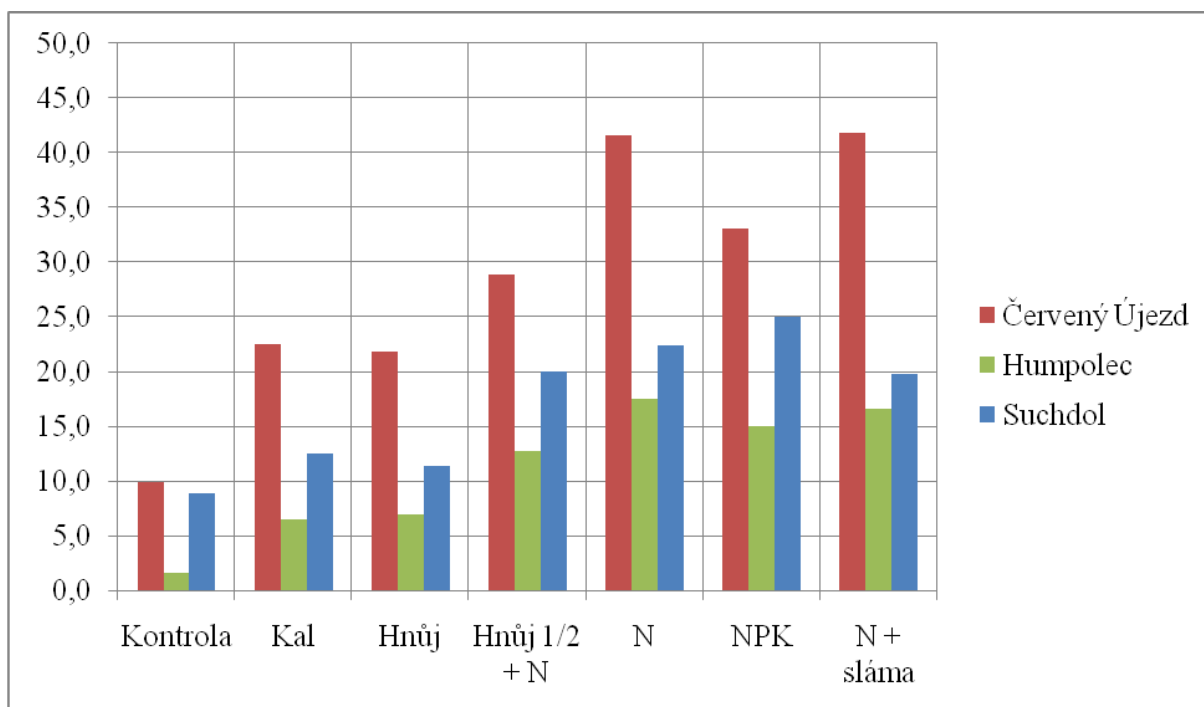
Humpolec

Na stanovišti Humpolec byl odběr dusíku na vytvořené množství slámy pouze $1,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z hnojených variant byl nejnižší odběr dusíku slámou u varianty Kal ($6,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Odběr dusíku byl zde však o 312,5 % vyšší než u kontrolní varianty. Druhý nejnižší odběr dusíku slámou byl stanoven u varianty Hnůj ($7 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), ale oproti kontrolní variantě byl odběr dusíku slámou o 337,5 % vyšší. Nejvyšší odběr dusíku slámou byl naopak zjištěn u varianty N ($17,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), což představuje odběr o 993,8 % vyšší vůči kontrole.

Suchdol

V lokalitě Suchdol, u kontrolní varianty, byl zjištěn odběr dusíku slámou $8,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejnižší odběr dusíku slámou byl zaznamenán u varianty Hnůj ($11,4 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), což představovalo nárůst odběru dusíku slámou oproti nehnojené kontrole o 28,1 %. Nejvyšší odběr dusíku slámou byl zaznamenán na variantě NPK ($25 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), kde bylo výsledkem navýšení odběru dusíku slámou o 180,9 % oproti kontrolní nehnojené variantě.

Graf 7: Odběr dusíku slámou ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)



5.5 Bilance dusíku

Bilanci dusíku v systému hnojení ozimé pšenice dokumentuje tabulka 5. Pouze v lokalitě Červený Újezd byla zjištěna negativní bilance dusíku u všech variant. Bilance dusíku zde dosahovala nejvyšších negativních hodnot ze všech stanovišť a zároveň byla bilance dusíku u všech variant hnojení více záporná než u nehnojené kontroly. U ostatních dvou stanovišť byla stanovena i pozitivní bilance dusíku. Na stanovišti Humpolec byla pozitivní bilance dusíku u variant Hnůj 1/2 + N, NPK a N + sláma a v Suchdole u variant Hnůj 1/2 + N a N+ sláma. Ostatní varianty na stanovištích Humpolec a Suchdol měly bilanci dusíku méně negativní než jejich kontrolní varianty. Nejvyšších záporných hodnot bilance dusíku nabývala varianta N na stanovišti Červený Újezd ($-167,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). V lokalitách Humpolec a Suchdol byla zjištěna stejná pozitivní bilance dusíku na variantě Hnůj 1/2 + N ($10,5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), která jako jedna z mála dosáhla pozitivních hodnot.

Červený Újezd

U kontrolní varianta v Červeném Újezdu byla nejvyšší zápornou bilanci dusíku z kontrolních variant ($-69,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Navzájem si podobná bilance dusíku byla u variant Hnůj ($-106 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Kal ($-109,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejvyšší záporná bilance dusíku byla

zaznamenána na variantě N (-167,9 kg N.ha⁻¹). Nejnižší negativní bilance dusíku byla zjištěna na variantě Hnůj 1/2 + N (-89,9 kg N.ha⁻¹).

Humpolec

V Humpolci byla stanovena nejnižší negativní bilance dusíku ze všech kontrolních variant (-19,6 kg N.ha⁻¹), ale oproti hnojeným variantám byla nejvíce negativní na stanovišti. Nejvyšších pozitivních hodnot bilance dusíku dosahovala varianta Hnůj 1/2 (10,5 kg N.ha⁻¹). Pozitivní hodnoty bilance dusíku byly stanoveny také u variant NPK (1,4 kg N.ha⁻¹) a N + sláma (2,6 kg N.ha⁻¹). Kromě kontrolní varianty byla nejvíce negativní hodnota bilance dusíku zaznamenána u varianty Kal (-15,1 kg N.ha⁻¹).

Suchdol

V lokalitě Suchdol u kontrolní varianty byla stanovena bilance dusíku -49,2 kg N.ha⁻¹. Nejvíce negativní bilance dusíku byla zjištěna u varianty Hnůj (-27,7 kg N.ha⁻¹). Pozitivní hodnota bilance dusíku byla pozitivní bilance zaznamenána u varianty Hnůj 1/2 + N (10,5 kg N.ha⁻¹) a N + sláma (2,2 kg N.ha⁻¹).

Tabulka 5: Bilance dusíku (kg N.ha⁻¹)

| Bilance dusíku (kg N.ha⁻¹) | | | |
|--|---------------|----------|---------|
| Varianta | Červený Újezd | Humpolec | Suchdol |
| Kontrola | -69,6 | -19,6 | -49,2 |
| Kal | -109,6 | -15,1 | -27,7 |
| Hnůj | -106,0 | -7,8 | -11,8 |
| Hnůj 1/2 + N | -89,9 | 10,5 | 10,5 |
| N | -167,9 | -10,5 | -22,5 |
| NPK | -113,4 | 1,4 | -2,6 |
| N + sláma | -155,6 | 2,6 | 2,2 |

6 Diskuze

6.1 Výnos a jakost

Podle MZe (2015) byl v roce 2015 celostátní průměrný výnos zrna pšenice $6,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. V lokalitě Červený Újezd měly všechny hnojené varianty vyšší výnos zrna než je celostátní průměr. V Humpolci dosáhly vyššího výnosu než celostátního průměru varianty Hnůj 1/2 + N, N, NPK a N + sláma a na stanovišti Suchdol pouze varianta N.

Z výsledků lze vyčíst jednoznačné rozdíly mezi jednotlivými lokalitami (viz. tabulka 4 a kapitola 3.1.2) a variantami hnojení (viz tabulka 2). Výkyvy ve výnosech jsou podle mého názoru nejvíce ovlivněny průběhem počasí v druhé polovině vegetace pšenice, kdy byly nízké nebo žádné úhrny srážek doprovázeny vysokými teplotami, dále pak způsobem hnojení a půdními podmínkami stanoviště. Vári et Máriás (2013) ve své studii uvádějí, že výkyvy ve výnosech jsou způsobeny v zásadě jen klimatickými faktory a Trnka et al. (2012) tvrdí, že by klima mohlo mít podíl na variabilitě výnosů až ze 60 %. Podle Zimolky et al. (2005) má počasí větší vliv na tvorbu výnosu než půdní druh nebo typ. Jones et Popham (1997) uvádějí, že malé množství srážek a vysoká evaporace je limitující pro tvorbu výnosu a podle Jamal et al. (1996) se vodním stresem snižuje sklizňový index a dochází ke zvyšování obsahu dusíku v zrně, především vlivu vodního stresu v období kvetení. Suché počasí je v přímé korelaci s přijatelností dusíku, jak tvrdí Hooper et al. (2015) a hlavně proto za suchého počasí dochází ke snižování výnosů, jak tvrdí Clarke et al. (1990). Alcoz et al. (1992) ve svém pokusu, kde zkoumali čtyři různé způsoby dusíkatého hnojení, zjistili, že úroveň dusíkatého hnojení a jeho načasování má menší vliv na výnos a obsah dusíku v zrně než vliv ročníku. Schwart et al. (2002) uvádějí, že obsah dusíku v zrně pšenice je vyšší u variant se zpracováním půdy než při technologii setí do nezpracované půdy. Donaldson et al. (2001) dodávají, že vliv ročníku je vyšší než vliv agrotechniky.

Velký vliv na výnos má i způsobu hnojení jednotlivých variant. Výsledky hnojení se mohou však v jednotlivých ročnících lišit, neboť je využitelnost a přijatelnost živin závislé na srážkách (Vaněk et al., 2012). Z grafu 1 je patrné, že byla reakce na hnojení minerálními hnojivy vyšší než na hnojení hnojivy organickými a výnosy minerálně hnojených variant znatelně převýšili výnosy organicky hnojených variant (Kal, Hnůj) k předplodině. Největší nárůst výnosu byl zaznamenán v Humpolci na variantě N, kde byl výnos slámy ($4,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) o 811,5 % vyšší než výnos kontrolní varianty ($0,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), jak dokumentuje graf 2. Nejvyšších nárůstů výnosu zrna bylo také dosaženo v Humpolci na minerálně hnojených

variantách,

jak poukazuje graf 1. Vysoké nárůsty výnosů v Humpolci přisuzují především půdním podmínkám, protože na méně úrodných půdách bývá reakce na hnojení vyšší.

Výnos zrna na organicky hnojených variantách byl zřejmě nejvíce ovlivněn průběhem počasí, kdy během suchého počasí nedocházelo k uvolňování dostatečného množství živin, ale Yang et al. (2006) dosáhli ve svém pokusu vyššího výnosu zrna organicky hnojených porostů pšenice než minerálně hnojených o 20,5 %.

V lokalitě Suchdol nebylo dosaženo výraznějších rozdílů mezi nehnojenou variantou a organicky hnojenými variantami Kal a Hnůj, což je způsobeno vysokým obsahem živin v půdě (viz tabulka 4) na této lokalitě. Podobného výsledku dosáhli Schwartz et al. (2002), kterým v jejich pokusu vyšel téměř stejný výnos variant hnojených hnojem a kompostem jako nehnojená kontrolní varianta v suchém prostředí. Pokus probíhal v prostředí s jílovito-hlinitou půdou. Založeny byly varianty bez zpracování půdy a varianty se strniskovým zpracováním půdy. Hnojení probíhalo jednou ročně. Použitá hnojiva byly hnůj skotu a kompostovaný hnůj. Dávka dusíku v organických hnojivech odpovídala 134 kg N.ha^{-1} . Heitkamp et al. (2009) také dosáhli vyššího výnosu zrna na minerálně hnojených variantách než na variantách hnojených organicky. Porovnávalo bylo šest variant. Tři varianty hnojené minerálně s různými dávkami dusíku a tři hnojené organicky. Dávky dusíku byly aplikovány ve třech úrovních vysoké, střední a nízké dávky. Množství aplikovaného dusíku bylo stejné u minerálního a organického hnojení. V pokusu byla rotace plodin jarní pšenice-brambory-ozimé žito-jetel. Vysoké dávky dusíku byly 140 kg N.ha^{-1} v minerálním hnojivu a 100 kg N.ha^{-1} v hnoji + 40 kg N.ha^{-1} v močůvce. Střední dávky dusíku odpovídaly 100 kg N.ha^{-1} v minerální formě a 80 kg N.ha^{-1} v močůvce. Ve variantách hnojených nízkými dávkami bylo aplikováno 60 kg N.ha^{-1} v minerálním hnojivu a 60 kg N.ha^{-1} v hnoji.

Vyšší výnos slámy než zrna na stanovišti Suchdol u variant Kal, Hnůj, Hnůj 1/2 + N, NPK, N + sláma je následkem počasím v době aplikace produkčního hnojení. Produkční hnojení se aplikuje v době, kdy se diferencuje vzrostný vrchol a dochází k zakládání počtu zrn v klasu. V této době dochází k intenzivnímu růstu a je třeba dodání dostatečného množství živin. Aplikace hnojiva je orientována na přechod růstových fází odnožování a sloupkování a právě po této růstové fázi bylo sucho a nebyl tak zabezpečen dostatečný příjem dusíku na tvorbu zrn. Přijatý dusík totiž pšenice spotřebovala na tvorbu stébla. Larsen et al. (2012) však tvrdí, že vysokými výnosy slámy není ohrožen vysoký výnos zrna. Ve svém experimentu se snažili dosáhnout vysokého výnosu slámy, kvůli narůstajícímu využití slámy jako bioenergie. Pokus probíhal na lehkých písčito-hlinitých půdách. Porovnávali výnos slámy ozimého žita,

ozimého ječmene, tritikale a ozimé pšenice. Výnos slámy je ovlivněn dostupností vody (Jamal et al., 1996 a Engel et al., 2003), dostupností dusíku (Thomsen et al., 2003), odrůdou a setím (Donaldson et al., 2001). A Powlson et al. (2011) uvádějí, že odebírání slámy z polí má negativní vliv na celkový obsah uhlíku v půdě a to má ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy, rychlost infiltrace vody a její zpracovatelnost.

Nízké výnosy v Humpolci souvisí převážně s charakteristikou stanoviště. Pokusná stanice v Humpolci se nenachází v oblasti vhodné pro pěstování ozimé pšenice. Průměrný roční úhrn srážek je 665 mm. Podle Food and Agricultural Organization of the United Nations (2015) je vhodný průměrný roční úhrn srážek 450 - 650 mm. Půda v Humpolci je písčito-hlinitá Kambizem s pH 5,1, které jsou podle Tomáška (2007) méně úrodné, jsou mělké, skeletovité, mají méně kvalitní složení humusu, a proto jsou tyto půdy vhodné spíše pro pěstování brambor nebo méně náročných obilnin, jako je například žito a oves. Němeček et al. (2001) navíc uvádějí, že jsou kambizemě nejčastějšími půdami ve střední Evropě. Zimolka et al. (2005) uvádějí, že nejvhodnější půdy pro pěstování pšenice jsou půdy hlinité a jílovito-hlinité s pH neutrálním až slabě kyselým (6,2 - 7,0). Kanchikerimath et Singh (2001) zjistili ve svém pokusu, že na kambizemi bylo dosaženo vysokého nárůstu výnosu a celkového dusíku v půdě a zrně po aplikaci minerálních hnojiv, ale po aplikaci hnoje spolu s anorganickými hnojivy zaznamenali ještě vyšší nárůst těchto parametrů, kvůli vyrovnané výživě. Při jejich pokusu, s rotací plodin kukuřice-pšenice-vigna čínská, zkoumali varianty NPK s dávkou 130 kg N.ha⁻¹ (tato hodnota je podobná množství dusíku aplikovanému v pokusu bakalářské práce, ale autoři uvádí, že je toto pouze 50 % potřebná dávka), NPK s dávkou 260 kg N.ha⁻¹ (100 % dávka), NPK (150 % dávka) dále kombinace NPK a hnoje a varianta N (100 % dávka). U jejich varianty NPK + hnůj stanovili i nejvyšší množství mineralizovaného dusíku, tedy přístupného.

Na stanovišti Suchdol je půda naopak slabě zásaditá (pH 7,5) černozem. Nejvhodnější podmínky pro pěstování pšenice jsou v lokalitě Suchdol. Tomášek (2007) tvrdí, že černozemě, které jsou půdním typem na stanovišti Suchdol, jsou nejhodnotnějšími zemědělskými půdami ČR, které jsou vhodné pro pěstování pšenice. Černozemě mají mocný humusový horizont s humusem vysoké kvality, který se vyznačuje vodostálou strukturou. Vaněk et al. (2012) navíc uvádějí, že v suchých letech mohou černozemě trpět nedostatkem vody. V Suchdole přitom nebylo dosaženo nejvyšších výnosů ze sledovaných lokalit. Vinnu přisuzují vlivu suchého počasí během jarního období a proto ani černozem není úplně schopna kompenzovat vliv ročníku. Vári et Máriás (2013) uskutečnili pokus s pšenicí v tříplodinovém osevním postupu v Maďarsku za podobných podmínek jako jsou na stanovišti Suchdol. Pokus

probíhal v agronomickém roce 2011/2012, který byl podle tamního dlouhodobého normálu podprůměrně suchý a nadprůměrně teplý. Na jejich pokusném stanovišti je půdním druhem také černozem. Pokus se skládal z variant kontrola, $N_{50}P_{35}K_{40}$ a $N_{150}P_{105}K_{120}$. Použili hnojivo ledek amonný a na variantě $N_{150}P_{105}K_{120}$ dosáhli výnosů od 6, 5 - do 8,5 t.ha⁻¹. Výsledky jejich pokusu se vcelku neliší od výnosů minerálně hnojených variant dosažených v lokalitě Suchdol.

Tvrzení Tomáška (2007) úplně nekoresponduje s dosaženými výnosy, neboť nejvyšších výnosů bylo dosaženo v Červeném Újezdu, kde je luvizem. Luvizem je přitom podle Tomáška (2007) zemědělsky podstatně nižší kvality než černozem. Má střední kvalitu humusu, kyselou půdní reakci a v porovnání s půdami na jiných stanovištích značně zhoršené sorpční vlastnosti. Hejzman et al. (2012) navíc uvádějí, že luvizemě mají povrchový horizont ochuzený o jíl a podpovrchový horizont s naakumulovaným množstvím jílu a vysokou nasyceností, a že se nacházejí v přechodné oblasti mezi černozeměmi a kambizeměmi. U luvizemí dochází k jevu známým jako oglejení. Oglejení je jev, kdy dochází k zadržování srážkové vody vlivem utuženého jílu v půdním horizontu, který se tak stává málo propustný. Právě tomuto jevu připisují dosažení nejvyšší výnosové úrovně v Červeném Újezdu oproti ostatním stanovištím, neboť díky oglejení došlo k zadržování vody v půdním profilu, která byla následně k dispozici pro pšenici. Naproti tomu Hejzman et al. (2012) uvádějí, že jsou luvizemě a černozemě nejurodnějšími půdami Evropy.

Na stanovišti Červený Újezd byla zaznamenána nejnižší objemová hmotnost zrna, která také souvisí s průběhem počasí. Kvůli schopnosti luvizemí poutat vodu byl v jarním období dostatek vláhy a pšenice tak mohla přijímat dusík v době diferenciaci vzrostného vrcholu. Luxusní příjem dusíku měl za následek nasazení velkého počtu velkých zrn a v době nalévání zrn neměla již pšenice dusík k dispozici, protože se snížila jeho přijatelnost kvůli suchému počasí. Rasmussen et al. (1997) ve své práci tvrdí, že vyšší hnojení dusíkem mělo za následek zvýšení počtu zrn a jejich velikost, ale došlo ke snížení hmotnosti zrna. Food and Agricultural Organization of the United Nations (2015) navíc uvádí, že snížení hmotnosti zrna je následkem deficitu vody v období tvorby výnosu, což je na počátku sloupkování, při diferenciaci klasu a v období nalévání zrna.

Relativně vysoké výnosy kontrolní varianty na stanovištích Červený Újezd a Suchdol jsou odrazem úrodnosti stanoviště, která se částečně postupně zvyšuje kvůli rotaci plodin. Kunzová et Hejzman (2009) v dlouhodobém pokusu s rotací plodin v Ivanovicích na černozemi zaznamenali nárůst výnosu zrna ozimé pšenice nehnojené kontrolní varianty ze 3 t.ha⁻¹ v roce 1950 na 5 t.ha⁻¹ v roce 2000. Pokus se skládal z 12 variant ve 4 opakováních.

Na všech variantách bylo použito organické hnojivo, které bylo na většině variant doplněno o minerální hnojivo. Celková dávka dusíku aplikovaná na varianty se pohybovala v rozmezí 20 - 114 kg N.ha⁻¹. Na dlouhodobém pokusu s rotací plodin v Čáslavi na šedozezi došlo také ke zvýšení výnosu zrna kontrolní varianty ze 3 t.ha⁻¹ v roce 1950 na 4 t.ha⁻¹ v roce 2000 (Kunzová et Hejzman, 2010). Dlouhodobý pokus v Čáslavi je obdobný pokusu v Ivanovicích jen s tím rozdílem, že je aplikováno nepatrně nižší množství živin v organických hnojivech a více v minerálních. Naproti tomu Hejzman et Kunzová (2010) publikovali, že na písčito-hlinité kambizezi v Lukavci nebylo zaznamenáno zvýšení výnosu zrna u 50 let nehnojené kontrolní varianty. Tento dlouhodobý pokus je shodný s předešlými, ale oproti nim je zda aplikováno ještě méně živin v organických hnojivech a více v průmyslových hnojivech. Snížení výnosu zrna kontrolní varianty bylo zaznamenáno například v USA, kde se snížil výnos zrna kontrolní varianty z 0,8 t.ha⁻¹ (data z let 1890 - 1905) na 0,5 t.ha⁻¹ (data z let 1975 - 1985) (Edmeades, 2003). Zvyšování výnosů podle Hejzman et al. (2012) naznačuje vysokou míru šlechtitelského pokroku během posledních 50 let, které spolu s vysokou přirozenou úrodností černozemí a šedozezi umožnili zvýšení výnosu na nehnojené kontrolní variantě.

7 Závěr

Bakalářská práce se zabývala vlivem různých způsobů hnojení na výnos, objemovou hmotnost zrna, obsah dusíku, odběr dusíku a bilanci dusíku ozimé pšenice. Z výsledků pokusu lze vyvodit:

- vliv stanoviště na pěstitelskou praxi je vysoký a ani stejnými dávkami hnojiv nelze dosáhnout stejných výnosů na méně vhodných stanovištích pro pěstování ozimé pšenice jako na stanovištích vhodných
- hnojení dusíkatými hnojivy má vliv na zvyšování výnosů a obsah dusíku v zrnu a slámě
- vyšších výnosů zrna pšenice se dosahuje minerálním hnojením nebo kombinací minerálního a organického hnojení
- samotné organické hnojení je neefektivní pro dosažení vysokých výnosů pšenice ozimé
- na úrodnějších stanovištích je poměr výnosu slámy:zrna užší než na stanovištích méně úrodných
- při suchém počasí je vyšší využití dusíku z minerálních hnojiv než z organických
- efektivita hnojení dusíkem je vyšší na lehčích, písčito-hlinitých půdách než na půdách těžších, hlinitých
- při vysokém výnosu zrna je dosažena nižší objemová hmotnost než u výnosů průměrných
- odběr dusíku ozimou pšenicí se zvyšuje dusíkatým hnojením
- odběr dusíku na půdách s nižší schopností zadržovat vodu je nižší než na půdách vysýchavých
- obsah dusíku v zrnu i slámě je vyšší na minerálně hnojených variantách než na organicky hnojených
- vzhledem k bilanci dusíku a dosaženým výnosům je hnojení $140 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ nedostatečné

Hypotéza 1)

Hypotéza 1) o vytváření vyšších výnosů zrna hnojených variant vůči nehnojené kontrole byla pokusem potvrzena. U všech hnojených variant došlo k navýšení výnosů oproti nehnojené kontrole, přičemž byl výnos a přírůstek výnosů na jednotlivých stanovištích

rozdílný, tedy hnojení dusíkem bylo závislé na půdně-klimatických podmínkách jednotlivých stanovišť.

Hypotéza 2)

Hypotéza 2) o nejvyšším výnosu varianty hnojené hnojem s přidavkem dusíkatého hnojiva byla pokusem vyvrácena. Varianta Hnůj 1/2 + N nedosáhla ani na jednom stanovišti nejvyšších výnosů. Nejvyšších výnosů zrna dosahovala varianta N na stanovištích Červený Újezd a Suchdol a varianta NPK na stanovišti Humpolec.

Hypotéza 3)

Výnos zrna varianty Hnůj byl na všech stanovištích nejnižší a výnos varianty N + sláma byl tak pokaždé vyšší. Hypotéza 3) o zvýšení výnosů varianty Hnůj vůči variantě N + sláma tak byla pokusem vyvrácena.

Hypotéza 4)

Hypotéza 4) o vyšším výnosu varianty NPK vůči variantě N byla potvrzena pouze na stanovišti Humpolec, kde byl výnos varianty NPK nejvyšším dosaženým výnosem. V ostatních lokalitách dosahovala nejvyššího výnosu varianta N.

8 Seznam literatury

Asplund, L., Bergkvist, G., Weih, M. 2016. Functional traits associated with nitrogen use efficiency in wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*. 66 (2). 153 - 169.

Alcoz, M. M., Hons, F. M., Haby, V. A. 1992. Nitrogen Fertilization Timing Effect on Wheat Production, Nitrogen Uptake Efficiency, and Residual Soil Nitrogen. *Agronomy Journal*. 85 (6). 1198 - 1203.

Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 40 s. ISBN: 978-80-213-2329-2.

Benešová, M., Hamplová, H., Knotová, K., Lefnerová, P., Sáčková, I., Satrapová, H. 2003. *Odmaturuj z biologie*. Didaktis. Brno. 224 s. ISBN: 978-80-86285-67-2.

Beche, E., Benin, G., Bornhofen, E., Dallo, S. C., Sassi, L. H. S., de Oliveira, R. 2014. Nitrogen use efficiency of pioneer and modern wheat cultivars. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 49 (12). 948 - 957.

Brennan, J., Hackett, R., McCabe, T., Grant, J., Fortune, R. A., Forristal, P. D. 2014. The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. *European Journal of Agronomy*. 54. 61 - 69.

Buchi, L., Gebhard, CA., Liebisch, F., Sinaj, S., Ramseier, H., Charles, R. 2015. Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant and Soil*. 393 (1 - 2). 163 - 175.

Clarke, J. M., Campbell, C. A., Cutforth, H. W., DePauw, R. M., & Winkleman, G. E. 1990. Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Canadian Journal of Plant Science*. 70 (4). 965 - 977.

Cornell H. J., Hovelings A. W. 1998. Wheat: Chemistry and utilization. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster. 421 p. ISBN: 1-56676-348-7.

Černý, J., Shejbalová, Š., Kovářik, J., Kulhánek, M. Předset'ové a podzimní hnojení ozimé pšenice [online]. Agromanuál. 27. srpna 2014 [cit. 2015-11-03]. Dostupné z <<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime.html>>

Černý, J., Shejbalová, Š., Kulhánek, M., Vašák, F. Využití živin ze statkových hnojiv [online]. Zemědělec. 13. září 2013 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z <<http://zemedelec.cz/vyuziti-zivin-ze-statkovych-hnojiv-2/>>

Donaldson, E., Schillinger, W. F., Dofing, S. N. 2001. Straw production and grain yield relationship in winter wheat. Crop Science. 41. 100 - 106.

Edmeades, D. C. 2003. The long-term effect of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 66. 165 - 180.

Engel, R. E., Long, D. S., Carlson, G. R. 2003. Predicting straw yield of hard red spring wheat. Agronomy Journal. 95. 1454 - 1460.

Fageria, N. K., Moreira, A. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. Advances in Agronomy. 110. 251 - 331.

Faměra, O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství ČR. Praha. 51 s. ISBN: 80-7105-045-8.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. Crop Water Information [online]. 2015 [cit. 2015-10-05]. Dostupné z <http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_wheat.html>.

Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Davies, W. J., Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R., Martre, P., Calderini, D. F., Griffiths, S., Reynolds, M. P. 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. Journal of Experimental Botany. 62 (2). 469 - 486.

Ge, S.F., Jiang, Y.M., Wei, S.C. 2015. Gross Nitrification Rates and Nitrous Oxide Emissions in an Apple Orchard Soil in Northeast China. *Pedosphere*. 25 (4). 622 - 630.

Habinshuti, S. J., Maseko, S. T., Dakora, F. D. 2015. Effect of N-fertilizer application on the symbiotic N₂ fixation by field-grown common bean (*phaseolus vulgaris* L.) in Eastern Cape Province. *South African Journal of Botany*. 98. 179 - 179.

Heitkamp, F., Raupp, J., Ludwig, B. 2009. Impact of fertilizer type and rate on carbon and nitrogen pools in a sandy Cambisol. *Plant Soil*. 319. 259 - 275.

Hejcman, M., Kunzová, E. 2010. Sustainability of winter wheat production on sandy-loamy Cambisol in the Czech Republic: results from a long-term fertilizer and crop rotation experiment. *Field Crops Research*. 115. 191 - 199.

Hejcman, M., Kunzová, E., Šrek, P. 2012. Sustainability of winter wheat production over 50 years of crop rotation and N, P and K fertilizer application on illimerized luvisol in the Czech Republic. *Field Crops Research*. 139. 30 - 38.

Hooper, P., Zhou, Y., Coventry, D. R., & McDonald, G. K. (2015). Use of Nitrogen Fertilizer in a Targeted Way to Improve Grain Yield, Quality, and Nitrogen Use Efficiency. *Agronomy Journal*. 107 (3). 903 - 915.

Horáková, V., Dvořáčková, O., Mezlík, T. 2015. Seznam doporučených odrůd 2015: Pšenice ozimá, ječmen jarní, ješmen ozimý, tritikale ozimé, oves setý, hrách polní. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Národní odrůdový úřad. Brno. 195 s. ISBN: 978-80-7401-108-5.

Horčíčka, P., Čapek, J., Kocourková, Z., Bížová, I., Veškrna, O., Bláha, T., Skala, R., Sedláček, T., 2012. Pšenice s jistotou: Pěstební doporučení k odrůdám ozimé pšenice. Kurent s. r. o. České Budějovice. 37 s. ISBN: 978-80-87111-31-4.

Hřivna, L. Výživa a hnojení ozimé pšenice [online]. Družstvo vlastníků odrůd - Šlechtitelské listy. 2012 [cit. 2015-10-26]. Dostupné z

<http://www.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_psenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf>.

Jamal, M., Nazir, M. S., Shah, S. H., Ahmed, N. 1996. Varietal response of wheat to water stress at different growth stages. III. Effect on grain yield, straw yield, harvest index and protein content in grain. *Rachis*. 15 (1 - 2). 38 - 45.

Jin, KM., Shen, JB., Ashton, R. W., White, R. P., Dodd, I. C., Parry, M. A. J., Whalley, W. R. 2015. Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a water-limited environment. *Plant and Soil*. 386 (1 - 2). 77 - 88.

Jinling, L., Fuzhong, W., Wanqin, Y., Peili, S., AO, W., Yulian, Y., Zhichao, W. 2013. Effect of seasonal freeze-thaw cycle on net nitrogen mineralization of soil organic layer in the subalpine/alpine forests of western Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*. 33 (1). 32 - 37.

Jones, O. R., Popham, T. W. 1997. Cropping and tillage systems for dryland grain production in the southern high plains. *Agronomy Journal*. 89 (2). 222 - 232.

Kalina, M. 2005. *Hnojení v zahradě*. Grada Publishing, a. s. Praha. 116 s. ISBN: 80-247-1275-X.

Kanchikerimath, M., Singh, D. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 86 (2). 155 - 162.

Kocoň, A., Podolska, G. 2008. The effect of water deficiency in soil on yield and grain quality of chosen winter wheat cultivars. *Fragmenta Agronomica*. 25 (1). 167 - 176.

Konvalina, P., Capouchová, I., Stehno, Z., Moudrý, J. jr., Moudrý J. 2010. *Volba druhů a odrůd pšenice v ekologickém zemědělství: certifikovaná metodika*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. České Budějovice. 41 s. ISBN: 978-80-7394-230-4.

- Kováč, K., Ďudák, J., Halás, L., Herzová, E., Gromová, A., Ložek, O., Kubinec, S., Stehlo, P. 1998. Pestovanie ozimnej pšenice a pôdoochránárske technológie pestovania obilnín. Výskumný ústav rastlinnej výroby. Piešťany. 66 s. ISBN: 80-88790-10-7.
- Kováčik, P. 2009. Výživa a systémy hnojení rostlin. Kurent. České Budějovice. 109 s. ISBN: 978-80-87111-16-1.
- Kunzová, E., Hejcman, M. 2009. Yield development of winter wheat over 50 years of FYM, N, P and K fertilizer application on black earth soil in the Czech Republic. *Field Crops Research*. 111 (3). 226 - 234.
- Kunzová, E., Hejcman, M. 2010. Yield development of winter wheat over 50 years of nitrogen, phosphorus, and potassium application on greyic Phaeozem in the Czech Republic. *European Journal of Agronomy*. 33 (3). 166 - 174.
- Larsen, S. U., Bruun, S., Lindedam, J. 2012. Straw yield and saccharification potencial for ethanol in cereal species and wheat cultivars. *Biomass and Bioenergy*. 45. 239 - 250.
- Mikanová, O., Šimon, T. 2011. Alternativní výživa rostlin fosforem: metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 25 s. ISBN: 978-80-7427-080-2.
- Ministerstvo Zemědělství (MZe). 2015. Situační a výhledová zpráva Obiloviny. Ministerstvo Zemědělství. Praha. 111 s. ISBN: 978-80-7434-225-7. Dostupné také z <http://eagri.cz/public/web/file/445783/SVZ_Obiloviny_12_2015.pdf>
- Neuberg, J. 1998. Hnojení a výživa rostlin na zahradě. Grada Publishing, spol s. r. o. Praha. 152 s. ISBN: 80-7169-496-7.
- Němeček, J., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita. Praha. 79 s. ISBN: 80-238-8061-6.
- Nováček, F. 2008. Fytochemické základy botaniky. Fontána. Olomouc. 284 s. ISBN: 978-80-7336-457-1.

Novák, J., Skalický, M. 2012. Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika. Powerprint. Praha. 336 s. ISBN: 978-80-87415-53-5.

Palík, S., Burešová, I., Edler, S., Sedláčková, I., Tichý, F., Váňová, M. 2009. Metodika pěstování ozimé pekárenské pšenice. Agrotest fyto, s. r. o. Kroměříž. 68 s. ISBN: 978-80-86888-07-1.

Parry, M. A., Reynolds, M., Salvucci, M. E., Raines, C., Andralojc, P. J., Zhu, X. G., Condon A. G., Furbank, R. T. 2011. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *Journal of Experimental Botany*. 62 (2). 453 - 467.

Petr, J., Beránek, V., Gross, S., Homola, V., Hosnedl, V., Kohout, V., Kvěch, O., Malěj, J., Malý, J., Novák, J., Pařízek P., Pawlica, R., Řezáč, A., Ryglevicz, J., Stibral, J., Suškevič, M., Šimon, J., Štráfelda, J., Táborský, V., Trnka, M., Vrkoč, F. 1983. *Intentivní obilnářství*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 377 s. ISBN: 07-061-83.

Powelson, D. S., Glendining, M. J., Coleman, K., Whitmore, A. P. 2011. Implications for Soil Properties of Removing Cereal Straw: Results from Long-Term Studies. *Agronomy Journal*. 103 (1). 279 - 287.

Prugar, J., Baranyk, P., Bárta, J., Bjelková, M., Bradová, J., Burešová, I., Capouchová, I., Cuhra, P., Čepička, J., Čepl, J., Diviš, J., Dostálová, J., Doucha, J., Dušek, K., Ehrenbergerová, J., Faměra, O., Hajšlová, J., Hamouz, K., Hanišová, A., Horáková, V., Horčíčka, J., Hrubý, J., Hrušková, M., Hřivna, L., Jůzl, M., Kalač, P., Kalinová, J., Kocourková, B., Kolovrat, O., Kopec, K., Koprna, R., Kořen, J., Krofta, K., Kučerová, J., Lachman, J., Mezulianik, M., Moudrý, J., Nedělník, J., Němcová, A., Novotný, F., Pelikán, M., Perlín, C., Petr, J., Polišínská, I., Psota, V., Pulkrábek, J., Schulzová, V., Smotlacha, M., Sýkorová, S., Šetlík, I., Škopec, B., Štěrba, Z., Štolcová, M., Švachula, V., Vacek, J., Vaculová, K., Zahradníček, J., Zukalová, H. 2008. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV. Praha. 327 s. ISBN: 978-80-86576-28-2.

Raimanová, I., Trčková, M. Problematika výživy rostlin v roce 2010 [online]. Zemědělec. 29. dubna 2010 [cit. 2015-10-19]. Dostupné z < <http://zemedelec.cz/problematika-vyzivy-listy-v-roce-2010/>>.

Rasmussen, I. S., Dresbøll, D. B., Thorup-Kristensen, K. 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization - Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 68. 38 - 49.

Rasmussen, P. E., Rickman, R. W., Klepper, B. L. 1997. Residue and fertility effects on yield of no-till wheat. *Agronomy Journal*. 89 (4). 563 - 567.

Raun, W. R., Johnson, G. V. 1998. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agronomy Journal*. 91 (3). 357 - 363.

Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A. J., Snape, J. W., Angus, W. J. 2009. Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*. 60 (7). 1899 - 1918.

Rozbicki, J., Ceglińska, A., Gozdowski, D., Jakubczak, M., Cacak-Pietrzak, G., Madry, W., Golba, J., Piechociński, M., Sobczyński, G., Studnicki, M., Drzazga, T. 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *Journal of Cereal Science*. 61. 126 - 132.

Ruisi, P., Frangipane, B., Amato, G., Frenda, A. S., Plaia, A., Giambalvo, D., Saia, S. 2015. Nitrogen uptake and nitrogen fertilizer recovery in old and modern wheat genotypes grown in the presence or absence of interspecific competition. *Frontiers in Plant Science*. 6. Article 185.

Schwartz, R. C., Bumhardt, R. L., Dao, T. H. 2002 Tillage and beef cattle manure effects on soil nitrogen in dryland rotation. *Great Plains Soil Fertility Conference Proceedings*. 9.

Shengli, G., Hanhua, Z., Tinghui, D., Jinshui, Wu., Wenzhao, L., Mingde, H., Yong, L., Syers, J. K. 2012. Winter wheat grain yield associated with precipitation distribution under

long-term nitrogen fertilization in semiarid Loess Plateau in China. *Geoderma*. 189 - 190. 442 - 450.

Shi, J.C., Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Wang, L.C., Zuo, Q. 2013. Characterizing root nitrogen uptake of wheat to simulate soil nitrogen dynamics. *Plant and Soil*. 363 (1-2). 139 - 155.

Šarapatka, B. 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 232 s. ISBN: 978-80-244-3736-1

Šarapatka, B., Abrahamová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, M., Křen, J., Kuras, T., Laštůvka, Z., Lososový, Z., Pokorný, E., Pokorný, J., Pokorný, R., Salašová, A., Tkadlec, E., Tuf, I. H., Vácha, M., Zámečník, V., Zeidler, M., Žalud, Z. 2010. *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Bioinstitut, o. p. s. Olomouc. 440 s. ISBN: 978-80-87371-10-7.

Špaldon, E., Andraščík, M., Bechyně, M., Belej, J., Fric, V., Fuciman, L., Hruška, L., Krausko, A., Petr, J., Rybáček, V., Škula, K., Váša, F., Votoupal, B., Vrzalová, J. 1986. *Rostlinná výroba*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 720 s. ISBN: 4029-07-124-86.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. *Profi Press, s. r. o. Praha*. 176 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.

Thomsen, I. K., Djurhuus, J., Christensen, B. T. 2003. Long continued applications of N fertilizer to cereals on sandy loam: grain and straw response to residual N. *Soil Use and Management*. 19 (1). 57 - 64.

Tomášek, M. 2007. *Půdy České republiky*. Česká geologická služba. Praha. 67 s. ISBN: 978-80-7075-688-1.

Trnka, M., Brázdil, R., Olesen, J. E., Eitzinger, J., Zahradníček, P., Kocmánková, E., Dobrovolný, P., Štěpánek, P., Možný, M., Bartošová, L., Hlavinka, P., Semerádová, D., Valášek, H., Havlíček, M., Horáková, V., Fischer, M., Žalud, Z. 2012. Could the changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agricultural and Forest Meteorology*. 166 - 167. 62 - 71.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 568 s. ISBN: 978-80-200-2147-2.

Vaněk, V., Balík, J., Trávník, K., Hodanová, J. Zásady racionálního hnojení dusíkem [online]. Agris. 27. listopadu 1997 [cit. 2015-10-19]. Dostupné z <
<http://www.agris.cz/clanek/118814>>.

Vári, E., Máriás, K. 2013. The Impact of Crop Rotation and N Fertilisation on the Leaf Area Index, Leaf Disease and Yield of Winter Wheat. International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agriculture Engineering. 7 (11). 693 - 696.

Wu, L., Rees, R. M., Tarsitano, D., Zhang, X., Jones, S. K., Whitmore, A. P. 2015. Simulation of nitrous oxide emissions at field scale using the SPACSYS model. Science of the Total Environment. 530. 76 - 78.

Xue, YF., Zhang, W., Liu, DY., Yue, SC., Cui, ZL., Chen, XP., Zou, CQ. 2014. Effects of nitrogen management on root morphology and zinc translocation from root to shoot of winter wheat in the field. Field Crops Research. 161. 38 - 45.

Yang, L., Ren, YX., Liang X., Zhao, SQ., Wang, JP., Xia, ZH. 2015. Nitrogen removal characteristics of a heterotrophic nitrifier *Acinetobacter junii* YB and its potential application for the treatment of high-strength nitrogenous wastewater. Bioresource Technology. 193. 227 - 233.

Yang, ShM., Malhi, S. S., Song, JR., Xiong, YC, Yue, WY., Lu, L. L., Wang, JG., Guo, TW. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 76 (1). 81 - 94.

Zhao, B., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., Ata-Ul-Karim, S. T., Ni, J., Cao, WX., Zhu, Y. 2014. New critical nitrogen curve based on leaf area index for winter wheat. Agronomy Journal. 106 (2). 379 - 389.

Zimolka, J., Edler, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., Říha, K., Tichý, F. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, s. r. o. Praha. 179 s. ISBN: 80-86726-09-6.

9 Seznam příloh

Seznam tabulek

Tabulka 1: Minimální hodnoty pro zařazení do skupin

Tabulka 2: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

Tabulka 3: Průměrné dávky sušiny, sušina a obsahy živin v organických hnojivech

Tabulka 4: Obsah živin v půdě a kationtová výměnná kapacita v jednotlivých lokalitách

Tabulka 5: Bilance dusíku ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Seznam grafů

Graf 1: Výnos zrna při 100 % sušiny ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 2: Výnos suché slámy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 3: Objemová hmotnost pšenice ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

Graf 4: Obsah dusíku v zrně (%)

Graf 5: Obsah dusíku ve slámě (%)

Graf 6: Odběr dusíku zrnem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 7: Odběr dusíku slámou ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)