

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Vliv hnojení a stanoviště na výnos ozimé pšenice

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Lukáš Šístek

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

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv hnojení a stanoviště na výnos ozimé pšenice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové 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 diplomové práce Ing. Jindřichu Černému, Ph. D. za vstřícnost, trpělivost, poskytnutí cenných informací a odborných konzultací a za čas, který mi věnoval při vypracovávání této práce.

Vliv hnojení a stanoviště na výnos ozimé pšenice

Souhrn

Pšenice je nejvíce pěstovanou obilninou světa i České republiky. Patří mezi nejdůležitější zdroje potravy pro lidskou populaci, a proto je snaha co nejvíce zvyšovat její produkci. Pravděpodobně nejdůležitějším opatřením pro dosažení vysokých výnosů a potravinářské kvality zrna je hnojení.

V rámci diplomové práce byly použity výsledky dlouhodobého stacionárního pokusu katedry agronenvironmentální chemie a výživy rostliny ČZU ze tří stanovišť s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami (Červený Újezd, Humpolec a Praha - Suchdol). V pokusu se v osevním sledu střídali tři plodiny v pořadí: brambory, ozimá pšenice, jarní ječmen. Porovnávány byly varianty hnojené organicky, minerálně a kombinací organického a minerálního hnojení. Jako dusíkaté hnojivo byl použit ledek amonný s vápencem, fosforečným hnojivem byl trojitý superfosfát a draselným hnojivem byla draselná sůl. Organická hnojiva byla aplikována jen k předplodině. Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv hnojení na odlišných stanovištích na výnos ozimé pšenice a efektivitu využití dusíku z aplikovaných hnojiv.

Ze stanovených výsledků byly nejnižší výnosy zrna hnojených variant zpravidla zjištěny na organicky hnojených variantách. Na výši výnosu zrna mělo výrazný vliv především minerální dusíkaté hnojení, jelikož nejvyšší výnosy zrna byly stanoveny především na minerálně hnojených variantách. Celkově nejnižší výnos zrna byl zjištěn na stanovišti Humpolec v roce 2015 na variantě Hnůj ($3,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a nejvyšší také na stanovišti Humpolec v roce 2016 na variantě N ($10,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Dále byl z výsledků pokusu patrný značný vliv stanoviště i ročníku na výnos zrna ozimé pšenice. Vlivem ročníku docházelo ke kolísání výnosu mezi jednotlivými ročníky, přičemž nejmenší rozdíly ve výnosu zrna mezi ročníky byly stanoveny na stanovišti Suchdol a největší na stanovišti Humpolec. Vliv stanoviště se projevil především reakcí na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní nehnojené variantě, přičemž nejvyšší přírůstek výnosu byl zaznamenán na stanovišti Humpolec v roce 2015 na variantě NPK, kde byl výnos o 513 % vyšší než výnos kontrolní varianty.

Klíčová slova: pšenice ozimá, výnos, dusík

The effect of fertilization and locality on winter wheat yield

Summary

Wheat is the most cultivated cereal in the world and in the Czech Republic. It is one of the most important sources of food for the human population and therefore there is an effort to increase its production as much as possible. Probably the most important measure for achieving high yields and grain quality is fertilization.

The results of the long-term stationary experiment of the department of agro-environmental chemistry and plant nutrition of CULS from three sites with different soil-climatic conditions (Červený Újezd, Humpolec and Praha - Suchdol) were used in the thesis. Crop rotation included three crops in the order: potatoes, winter wheat, spring barley. Variants fertilized with organic, mineral and combination of organic and mineral fertilizers were compared. As a nitrogen fertilizer, calcium ammonium nitrate was used, the phosphate fertilizer was a triple superphosphate and potassium fertilizer was a potassium chloride. Organic fertilizers were applied only to the pre-crop. The aim of this work was to evaluate the influence of fertilization on different localities on yield of winter wheat and efficiency of nitrogen utilization of applied fertilizers.

From the determined results, the lowest grain yields of fertilized plots were generally found on organically fertilized treatments. Grain yields were particularly affected by the mineral nitrogen fertilizers, as the highest grain yields were determined primarily on these treatments. Overall, the lowest grain yield was found at the Humpolec site in 2015 on the manure fertilized treatment (3,78 t.ha⁻¹) and the highest also at the Humpolec site in 2016 on N treatment (10,04 t.ha⁻¹). In addition, the results showed a considerable impact of the site and the year on the grain yield of winter wheat. Due to year, there were variations in grain yields between years, with the lowest differences in grain yield between grades being determined at Suchdol site and highest at Humpolec site. The impact of the site was mainly reflected by the response to fertilization by increasing the yield of the grain compared to the control treatment, the highest being recorded at the Humpolec site in 2015 on the NPK treatment where the yield was 513 % higher than the yield of the control treatment.

Keywords: winter wheat, yield, nitrogen

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	4
3.2	Půdně-klimatické požadavky pro pěstování pšenice a jejich vliv na výnos	4
3.3	Výnosotvorné prvky	7
3.4	Výživa rostlin	7
3.4.1	Dusík	7
3.4.1.1	Příjem dusíku	8
3.4.1.2	Dusík v rostlinách	10
3.4.1.3	Projevy nedostatku dusíku	13
3.4.1.4	Projevy nadbytku dusíku.....	13
3.4.2	Fosfor	14
3.4.2.1	Příjem fosforu rostlinou	15
3.4.2.2	Fosfor v rostlinách.....	16
3.4.2.3	Projevy nedostatku fosforu.....	16
3.4.3	Draslík.....	17
3.4.3.1	Příjem draslíku rostlinami	17
3.4.3.2	Draslík v rostlinách	18
3.4.3.3	Projevy nedostatku draslíku	20
3.5	Hnojení ozimé pšenice.....	21
3.5.1	Hnojení pšenice dusíkem	21
3.5.2	Hnojení pšenice fosforem	27
3.5.3	Hnojení pšenice draslíkem.....	29
4	Metodika	30
4.1	Polní pokus.....	30
4.1.1	Charakteristika pokusných lokalit	30
4.1.2	Hnojení pokusu	31
4.2	Laboratorní zpracování.....	33
4.2.1	Stanovení objemové hmotnosti.....	33
4.2.2	Stanovení obsahu dusíku	33
4.2.3	Odběr dusíku.....	34
4.2.4	Bilance dusíku.....	34
5	Výsledky.....	35

5.1	Výnos zrna	35
5.1.1	Červený Újezd	35
5.1.2	Humpolec	36
5.1.3	Suchdol	37
5.1.4	Porovnání výnosu zrna hodnocených stanovišť	39
5.2	Objemová hmotnost zrna	40
5.2.1	Červený Újezd	40
5.2.2	Humpolec	41
5.2.3	Suchdol	43
5.2.4	Porovnání objemové hmotnosti zrna hodnocených stanovišť	45
5.3	Obsah dusíku v zrnu	45
5.3.1	Červený Újezd	45
5.3.2	Humpolec	46
5.3.3	Suchdol	48
5.3.4	Porovnání obsahu dusíku v zrnu hodnocených stanovišť	49
5.4	Odběr dusíku nadzemní biomasou	50
5.4.1	Červený Újezd	50
5.4.2	Humpolec	51
5.4.3	Suchdol	52
5.4.4	Porovnání odběru dusíku nadzemní biomasou hodnocených stanovišť ...	53
5.5	Bilance dusíku.....	54
5.5.1	Červený Újezd	54
5.5.2	Humpolec	55
5.5.3	Suchdol	57
5.5.4	Porovnání bilance dusíku hodnocených stanovišť	58
6	Diskuze	59
6.1	Výnos zrna	59
6.1.1	Vliv stanoviště na výnos zrna	59
6.1.2	Vliv variant hnojení na výnos zrna	64
6.1.3	Vliv ročníku na výnos zrna	67
6.2	Obsah dusíku v zrnu	70
6.3	Odběr dusíku nadzemní biomasou	72
7	Závěr	76
8	Seznam literatury	78
9	Přílohy	100
10	Seznam grafů a tabulek	107

1 Úvod

Obilniny mají velký význam pro výživu lidí a hospodářských zvířat. Kvůli své plasticitě a variabilitě se pěstují v různých zeměpisných polohách a celosvětově tvoří klíčovou složku rostlinné výroby, přičemž nejpěstovanější obilninou je pšenice, která je pěstována na více než 220 milionech hektarů ročně. Průměrné výnosy zrna se v jednotlivých oblastech světa značně liší a pohybují se od 0,9 t.ha⁻¹ (Kazachstán) až po 9 t.ha⁻¹ (Irsko). V České republice zaujímá přes 30 % orné půdy a je nejpěstovanější obilninou. V roce 2015 byl průměrný výnos zrna ozimé pšenice 6,5 t.ha⁻¹.

Jelikož lidská populace a její poptávka po potravinách stále roste, je nutné stále zvyšovat výnosy zrna pšenice k jejímu uživení. Pravděpodobně nejdůležitějším opatřením pro dosažení vysokých výnosů a potravinářské kvality produkce je hnojení, které by mělo být vyvážené z pohledu všech potřebných živin, přičemž nejdůležitější je aplikace dusíkatých hnojiv. Dusík je považován za jeden z nejdůležitějších prvků v koloběhu látek a je klíčovým prvkem v zemědělství, značně zvyšuje náklady na pěstování, při nevhodném používání dusíkatých hnojiv uniká do prostředí a stává se značným polutantem, avšak při jeho nedostatku je nejvíce limitující živinou.

Dusíkaté hnojení má vliv nejen na nárůst nadzemní biomasy, ale i na růst kořenů, náchylnost rostlin k chorobám a škůdcům, poléhavost stébel a délku vegetační doby. Proto je důležité co nejvíce hnojení dusíkem optimalizovat, což může být problematické, jelikož je ovlivněno půdně-klimatickými podmínkami především dostupností srážek. Hnojení dusíkem by se nemělo používat paušálně, ale mělo by se používat cíleně na vývojová stadia, ve kterých se nejvíce ovlivňuje růst, utváření výnosových prvků a kvalita. Z tohoto hlediska se dusíkaté hnojení dělí na základní, regenerační, produkční a kvalitativní. Dávky hnojiv by měly být stanoveny především podle potřeb pšenice. Měly by však být zohledňovány i sorpční vlastnosti a přirozená úrodnost půdy. Dostupnost minerálního dusíku v půdě je ovlivněna úrodností půdy a intenzitou mineralizace.

V období sloupkování vykazuje pšenice nejvyšší intenzitu příjmu dusíku. Po metání a dozrávání se příjem dusíku pšenicí snižuje. Aby byla zajištěna dostatečná výživa generativních orgánů dochází k reutilizaci živin z vegetativních částí. Reutilizovaný dusík u pšenice tvoří 59 - 80 % celkového dusíku v zrna. Množství reutilizovaného dusíku značně závisí na vláhových podmínkách, dostupnosti dusíku v půdě a na počtu míst, do kterých má být dusík distribuován.

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bude vyhodnotit vliv hnojení na odlišných stanovištích na výnos ozimé pšenice a efektivitu využití dusíku z aplikovaných hnojiv.

Hypotézy

1) Minerální i organická hnojiva zvýší výnos sklizených produktů pšenice oproti nehnojené kontrolní variantě, avšak efektivita jejich působení bude závislá na půdně-klimatických podmínkách stanoviště.

2) Předpokládá se, že vyšší efektivita hnojení a větší přírůstek výnosu zrna pšenice bude na méně úrodných stanovištích ve srovnání s úrodnějšími.

3) Pšenice hnojená N, P, K bude dosahovat vyšších výnosů zrna než pšenice hnojená pouze dusíkem.

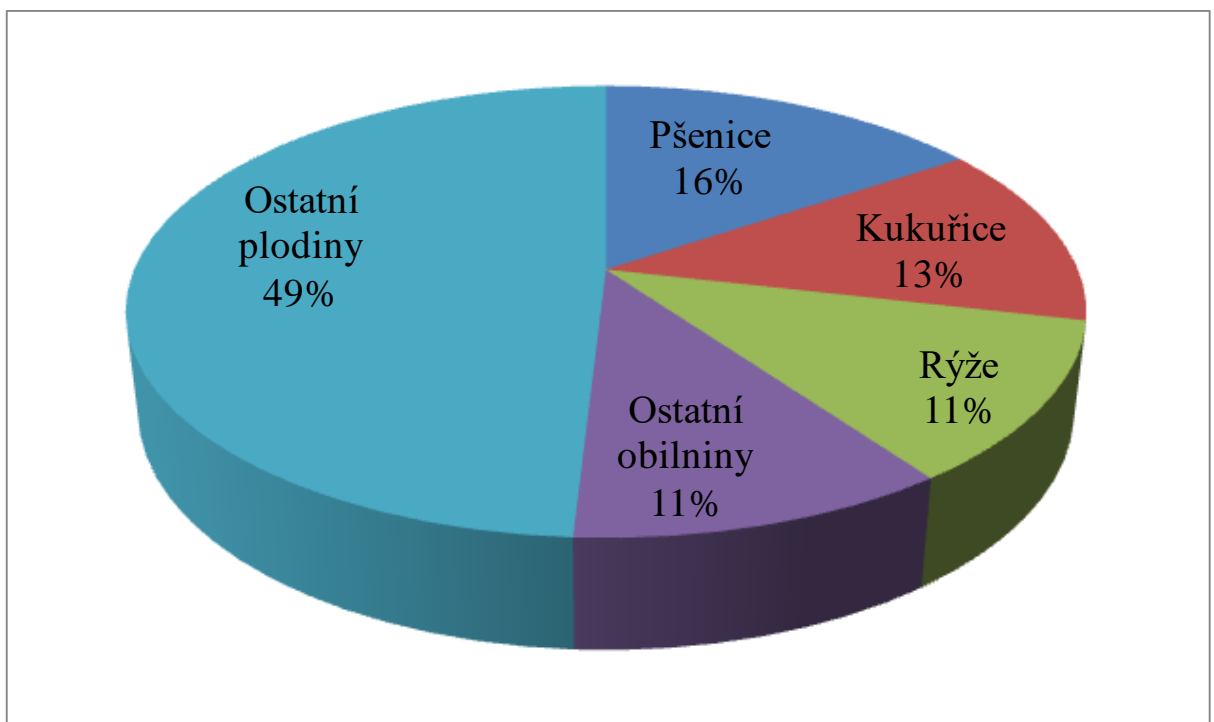
4) Při stejné dávce dusíku bude dosaženo vyšších výnosů zrna pšenice při kombinaci hnojení minerálními dusíkatými hnojivy a hnojem než při samotném hnojení hnojem.

3 Literární rešerše

3.1 Význam obilnin

Obilniny patří mezi nejdůležitější zdroj potravy, který lidé získávají svou uvědomělou a systematickou činností z přírody (Prugar et al., 2008). Zajišťují asi polovinu výživy lidí po celé planetě, což souvisí s jejich schopností adaptace a plasticitou. Základními druhy jsou pšenice, rýže, kukuřice, ječmen, žito, oves, proso a čirok (Petr et al., 1983). Obilniny tvoří klíčovou složku polních plodin v rostlinné výrobě, přičemž největší plochy zaujímá pšenice (Kováč et al., 1998). Podíl obilnin ze světové orné půdy zobrazuje graf 1.

Graf 1: Podíl obilnin ze světové orné půdy v roce 2014 (FAOstat, 2018)



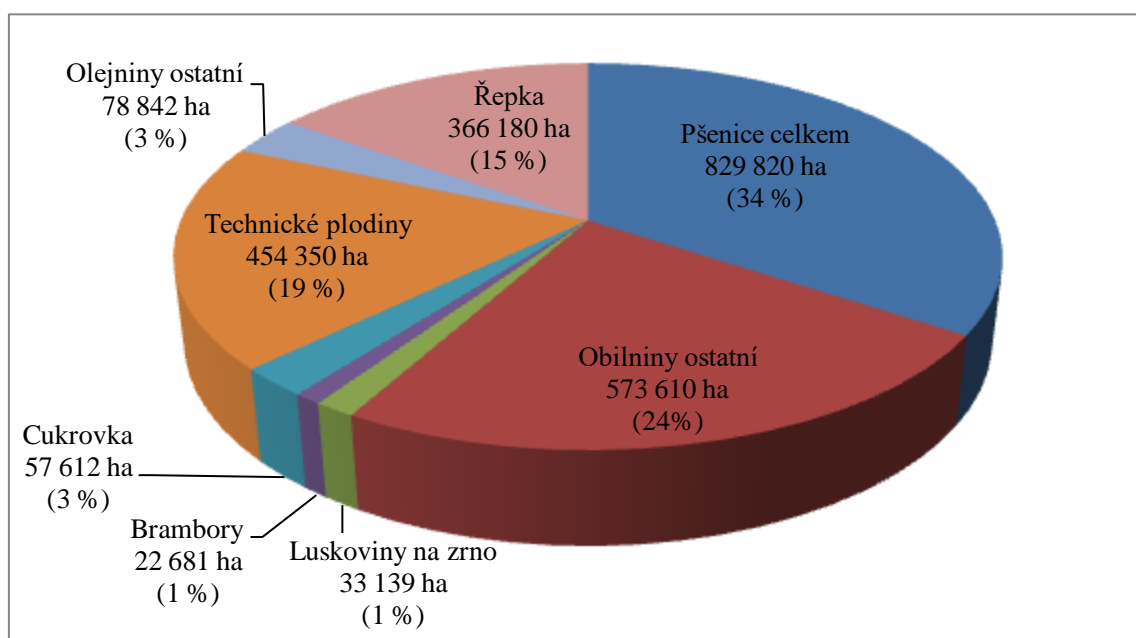
Pšenice je jednou z nejvýznamnějších obilnin s celosvětovým rozšířením (Nuttall et al., 2017). Dnes je nejrozšířenější obilninou i plodinou na světě s více než 220 miliony hektarů ročně (FAOstat, 2018), osetymi v širokém rozmezí klimatických podmínek a v mnoha geografických oblastech. Každoročně se sklídí asi 670 milionů tun zrna (Shiferaw et al., 2013). Ozimá pšenice patří mezi plodiny, které nejvíce reagují na hnojení (Vári et Máriaš, 2013). Průměrné výnosy se v různých zemích liší. Od 0,9 t.ha⁻¹ v Kazachstánu po 9 t.ha⁻¹ v Irsku, Belgii a Nizozemí (Dixon et al., 2008).

3.1.1 Význam pšenice v České republice

Význam pšenice v České republice je odrazem jejího postavení v osevních postupech (Prugar et al., 2008), ve kterých tvoří asi 30 % z celkové oseté plochy, jak zobrazuje graf 2, a z obilnin pěstovaných v České republice zaujímá více jak polovinu plochy oseté obilninami (Agrární komora České republiky, 2015). V roce 2015 byla pěstována na 829,8 tis. ha, z čehož bylo 778,2 tis. ha ozimé a 51,6 tis. ha jarní, průměrný výnos ozimé pšenice byl $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a bylo vyprodukováno 5 054,6 tis. t zrna (Kůst et Stehlíková, 2016). Podle Palíka et al. (2009) představuje produkční jistotu ve všech oblastech České republiky, a to zejména kvůli své relativně stabilní a vysoké úrovni výnosů a kvality produkce.

Graf 2: Struktura plodin na orné půdě ČR v roce 2015

(Agrární komora České republiky, 2015)



Většina ploch osetých pšenicí je využívána s cílem dosažení potravinářské kvality, která je lépe finančně ohodnocena. Asi 35 % z celkové produkce se využívá pro potravinářské účely (Prugar et al., 2008).

3.2 Půdně-klimatické požadavky pro pěstování pšenice a jejich vliv na výnos

Při pěstování rostlin je významným činitelem klima, které může ovlivňovat mnoho aspektů rostlinné výroby (Vári et Máriás, 2013). Z dlouhodobých pokusů vyplývá výrazný vliv stanoviště a ročníku, které ovlivňují výnos z 25 % (Zimolka et al., 2005). Klimatické faktory jsou rozhodující pro výnos pšenice (Nuttall et al., 2017; Vári et Máriás, 2013) a mají větší vliv než půdní faktory, i když se ozimá pšenice vyznačuje relativní náročností na půdní

podmínky (Zimolka et al., 2005). Výkyvy ve výnosu v různých ročnících jsou však způsobeny především rozložením nebo nedostatkem srážek. Naopak přílišné srážky zejména v květnovém období podporují tvorbu a šíření listových chorob (Vári et Máriaš, 2013), které mohou spolu s ostatními patogeny způsobovat až 28 % ztráty na výnosu (Oerke, 2006).

Pšenice je rostlinou mírného podnebného pásu. Pěstuje se především v teplejších nížinných a podhorských oblastech. I přesto je schopná snášet teploty až - 20 °C. Nároky na teplotu jsou v různých fenologických fázích jiné. V období vzcházení a odnožování je pro mladé rostliny ideální teplota 12 - 14 °C, před příchodem zimy jsou vhodné teploty mezi 10 - 12 °C s nočními teplotami okolo 0 °C a méně, kvůli procesu otužování. Na jaře v období sloupkování vyžaduje pšenice teploty nepřekračující 25 °C (Porter et Gawith, 1999), při metání a kvetení je optimální teplota 18 - 20 °C a maximálně 25 °C (Špaldon et al., 1986). Podle Semenov et Shewry (2011) jsou vysoké teploty během kvetení mimořádně nebezpečné pro výnos pšenice. Vysoké teploty po odkvětu mohou způsobit změnu v kvalitě produkce. Může docházet k redukci tvrdosti zrna, velikosti zrna a výnosu mouky při mletí (Nuttall et al., 2017). Při tvorbě zrna jsou nejpříznivější teploty 22 - 25 °C, přičemž nejsou žádoucí teploty nad 30 °C, protože za současně nízké vlhkosti mají negativní vliv na formování zrna (Špaldon et al., 1986). Teplotní stres během zrání zrna může mít až destruktivní dopad na potenciál rostliny. Při vyšších teplotách, i přestože rostoucí teplota by měla zvyšovat rychlost fotosyntézy a s tím i zásobu asimilátů, nedochází k úplné kompenzaci zkrácené doby ukládání škrobu (Nuttall et al., 2017) a vytváří se malá zrna (Špaldon et al., 1986). Vyšší teploty snižují jejich hmotnost o 20 - 30 % (Wardlaw et al., 2002). Při dostatku vody je rostlina méně náchylná na zvýšenou okolní teplotu (Shiferaw et al., 2013). Přiměřený přísun vody tepelně namáhaným rostlinám pomáhá udržovat rychlost fotosyntézy a prodlužuje dobu trvání plnění zrn (Altenbach et al., 2003). I krátkodobé extrémní zvýšení teploty o 5 - 10 °C v uvedených vývojových fázích může mít katastrofální účinky na výnos (Wassmann et al., 2009). Ovlivňuje pšenici zejména tak, že způsobuje sterilitu pylu (Hurkman et al., 2003) narušením meiózy a gametogeneze (Barnabas et al., 2008), dehydrataci rostlinných pletiv, negativně ovlivňuje efektivitu asimilace a zvyšuje fotorespiraci (Hurkman et al., 2003). Při nízkých úrovních úrodnosti půdy může stres z tepla a sucha navíc vést i ke zintenzivnění nedostatků živin (Bagci et al., 2007).

Pro dosažení vysoké úrovně produkce jsou nároky pšenice na vodu 450 - 650 mm za rok v závislosti na klimatu a délce vegetační doby, přičemž existuje vysoká variabilita v efektivitě využití vody i mezi jednotlivými odrůdami (Dixon et al. 2008). Podle Oberholzer et al. (2017) je dostupnost vody jedním z rozhodujících faktorů, které určují vývoj plodin

a jejich následný výnos. Nejdůležitější je však délka a intenzita vodního deficitu. Jeho vliv je rozdílný během vegetace. Vysoce citlivá je ozimá pšenice na jaře po přezimování a pro většinu odrůd platí, že časně jarní srážky značně stimulují výnos (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2015). Pšenice typicky vykazuje lineární snižování úrovně výnosu se snižující se dostupností vody, pokud nedojde ke kombinaci s jinými stresy, přičemž produktivita může klesnout drasticky (Shiferaw et al., 2013). Rostliny reagují na vodní deficit tím, že snižují rychlost transpirace, čímž snižují míru fixace uhlíku a růst. Extrémní deficit vody vede k dehydrataci pletiv, což může mít za následek poškození fotosyntetického aparátu, metabolických procesů (Hsiao, 2003) a může docházet i k předčasnému dozrání (Shiferaw et al., 2013), což má za následek relativní změnu počtu zrn na čtvereční metr (Jianwen et al., 2014). Nedostatek vody je zvláště škodlivý pro reprodukční růst. Vede totiž k pylové sterilitě nebo k nedostatečné míře asimilace k udržení růstu semen (Barnabas et al., 2008), jež se projeví snížením hmotnosti zrna (Shiferaw et al., 2013). Dá se tedy konstatovat, že největší vliv má vodní deficit během sloupkování, při diferenciaci klasu a v období nalévání zrn (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2015). Kocón et Podolska (2008) v pokusech prokázali, že nedostatek vody v půdě značně snižuje výnos zrna ozimé pšenice a ovlivňuje i pekárenskou kvalitu.

Na dostupnosti srážek přímo závisí i efektivita využití dusíku a fosforu (Clarke et al., 1990). Kvůli suchu je značně omezena efektivita hnojení a při tvorbě klasu může docházet k násadě malého počtu klásků a kvítků (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2015). Při nízké úrovni dusíkatého hnojení také dochází k předčasnému stárnutí praporcového listu (Asplund et al., 2016). V sušších oblastech je dusíkaté hnojení značně finančně riskantní kvůli silné interakci mezi příjmem dusíku a dostupností vody (Hooper et al., 2015). Dusík a jeho interakce se srážkami jsou jedněmi z hlavních limitujících faktorů rostlinné produkce (Shengli et al., 2012; Zhong et Shangguan, 2014). Ali et al. (2012) ve svém pokusu zaznamenali, že v letech s ročními úhrny srážek nižšími než 165 mm pšenice vůbec nereaguje na dusíkaté hnojení. Lepší porozumění interakcím mezi srážkami, hnojením a produkcí plodin je nezbytné pro efektivní používání hnojiv a pro udržitelnou produkci (Fan et al., 2005).

Pšenici vyhovují především strukturní, hluboké, hlinité až jílovitohlinité půdy s dobrou vodní kapacitou, které jsou dobře zásobené živinami a mají neutrální až slabě kyselé pH nejlépe v rozmezí 6,2 - 7,0. Nevhodné jsou však půdy písčité nebo trvale zamokřené a kyselé.

Z hlediska vhodnosti půdně-klimatických podmínek jsou pro pšenici nejvhodnější oblasti dostatečně teplé a sušší (Zimolka et al., 2005).

3.3 Výnosotvorné prvky

Potenciál výnosu je určen třemi faktory: 1) počtem plodných stébel na jednotku plochy, 2) počtem zrn v klasu a 3) hmotností tisíce zrn (HTZ) (Černý et al., 2014; Buráňová et al., 2016). Podle Orloff et al. (2012) je z nich zdaleka nejvýznamnější počet plodných stébel na plochu a nejméně výnos ovlivňuje 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. Ovlivňují je agrotechnická opatření, výživa rostlin a hnojení, 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 (na výnosu se rovnoměrně podílejí všechny tři výnosové parametry nebo se navzájem kompenzují) (Horáková et al., 2015).

3.4 Výživa rostlin

Výživa rostlin by měla být vyvážená a dostatečná z hlediska všech živinových prvků, aby byl co nejvíce podpořen růst a vývoj rostlin a zároveň minimalizováno riziko snižování výnosu (Öborn et al., 2005) a znečištění životního prostředí (Salvagotti et al., 2009).

3.4.1 Dusík

Dusík je jeden z nejdůležitějších prvků v koloběhu látek v přírodě. Má nezastupitelné postavení ve všech živých soustavách a značně ovlivňuje životní prostředí (Vaněk et al., 2012). Dusík je klíčový vstupní prvek v zemědělství (Zhao et al., 2016) a základní makroživina (Efretuei et al., 2016; Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017), která je nepostradatelná pro růst a rozmnožování rostlin (Roberts et Slaton, 2014). Neexistuje důležitější živina (Orloff et al., 2012), která by zajistila vysoké výnosy zrna (Shi et al., 2012) a vysoký obsah bílkovin (Pan et al., 2005), což je důležitý ukazatel při hodnocení kvality

produkce (Balík et al., 2012), který určuje konečné užití zrna (Clarke et al., 1990). Produkce zrna obilovin s dostatečně vysokými koncentracemi minerálních živin má velký význam pro výživu lidí a hospodářských zvířat. A z pohledu fyziologie rostlin je dostatečné množství živin v semenech důležité pro vývoj a životaschopnost embrya (Hamnér et al., 2017). Dusík je zároveň však nejvíce limitující živinou při jeho nedostatku (Roberts et Slaton, 2014). Hnojení dusíkem značně zvyšuje náklady při pěstování (Clarke et al., 1990), ale na druhou stranu se jedná o jeden z nejrentabilnějších vstupů (Yara, 2015).

Potřeby dusíku rostlinami pšenice se v průběhu vegetace výrazně mění (Orloff et al., 2012). Dynamika příjmu dusíku přímo souvisí s dynamikou a intenzitou tvorby biomasy (Clarke et al., 1990; Drinkwater et Snapp, 2007; Niu et al., 2013; Hamnér et al., 2017). Pšenice během počátečních fází růstu od vzcházení až po odnožování přijímá dusík pomalu (Orloff et al., 2012). Při odnožování se odběr dusíku pšenicí zvyšuje (Vaněk et al., 2016) a to zejména po přerušení vegetačního klidu po zimě (Bamber et al., 2016). Nejvyšší potřebu dusíku vykazuje pšenice během sloupkování, kdy dochází k nejrychlejší akumulaci sušiny (Hooper et al., 2015). Do fáze naduřování listové pochvy pšenice akumuluje většinu potřebného dusíku (Orloff et al., 2012). Akumulace dusíku pšenicí vrcholí obdobím kvetení (Vaněk et al., 2016), do kdy podle Clarke et al. (1990) přijme pšenice 67 - 100 % potřebného dusíku. Podíl celkového dusíku v listech během stárnutí klesá, zatímco ve stéblech se zvyšuje až do doby kvetení (Clarke et al., 1990). V pozdějších růstových fázích se intenzita příjmu dusíku snižuje (Orloff et al., 2012). Po odkvětu stále probíhá příjem a asimilace dusíku (Guttieri et al., 2017), ale dochází především k jeho reutilizaci z listů, stébel (Orloff et al., 2012), případně i z kořenů pšenice do zrna (Clarke et al., 1990).

3.4.1.1 Příjem dusíku

Zdrojem dusíku na rozdíl od ostatních prvků není matečná hornina. Do půdy přichází ze vzduchu (Mikanová et Šimon, 2013), biologickou fixací nebo rozkladem organické hmoty (Ju et Zhang, 2017). Nejdůležitějšími zdroji dusíku pro výživu rostlin je však aplikace minerálních a organických hnojiv a fixace vzdušného dusíku (Mikanová et Šimon, 2013; Ju et Zhang, 2017). V půdě se dusík vyskytuje ve formě minerální, ale především organické, která tvoří 90 - 99 % půdního dusíku (Vaněk et al., 2016). Rostliny jsou schopné přijímat dusík kořeny i listy (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017) a využívají především anorganické formy dusíku (Bloom, 2015) ve formě iontů amonných (NH_4^+) a nitrátových (NO_3^-) (Vaněk et al., 2016). Příjem dusíku pšenicí je přímo úměrný dostupnosti vody

(Clarke et al., 1990) a snižuje se s její klesající dostupností (Hooper et al., 2015), a proto by se podle Tegeder et Masclaux-Daubresse (2017) měly rostliny v období na počátku léta při dozrávání spoléhat na jeho reutilizaci (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017). Na příjem obou iontů má vliv i rostlina, která je schopna si sama regulovat příjem i transport dusíku (Fan et al., 2017). Značný vliv vykazuje i pH a teplota půdy. V kyseljším prostředí převažuje příjem NO_3^- a v neutrálním až alkalickém je příjem iontů vyrovnán nebo lehce převažuje příjem NH_4^+ . Při nižších teplotách se snižuje příjem i využití nitrátů (Vaněk et al., 2012). Největší význam ve výživě rostlin má nitrátový dusík, který je aktivně přijímán s vodou a narozdíl od amonného není vázán na půdní koloidy (Mikanová et Šimon, 2013). Rostliny jsou však schopny NH_4^+ okamžitě využívat k syntéze, zatímco nitrátový dusík musí být nejprve redukován na amonný dusík (Vaněk et al., 2012). Dusík v organických formách je pro rostliny nedostupný (Vaněk et al., 2016), ale podle Rentsch et al. (2007) a Bloom (2015) jsou rostliny schopny přijímat i některé organické sloučeniny dusíku, jako jsou peptidy, proteiny a aminokyseliny.

Dusík v půdě podléhá mnohým přeměnám, z nichž jsou dvěma základními a antagonistickými procesy mineralizace a imobilizace (Vaněk et al., 2016). Mineralizace dusíku je nejdůležitější způsob konverze (Jinling et al., 2013) organických sloučenin až na anorganické ionty (NH_4^+ , NO_3^-) (Efretuei et al., 2016) v důsledku činnosti mikroorganismů (Orloff et al., 2012), který probíhá během celého vegetačního období (Efretuei et al., 2016). Díky ní se takto může v půdě uvolnit 5 - 40 % celkového dusíku potřebného pro růst pšenice (Orloff et al., 2012). Nejprve v procesu amonizace odštěpením například od aminokyseliny vzniká molekula NH_3 (Vaněk et al., 2012), která může být přímo využita rostlinami, vázána na půdní sorpční komplex (Šarapatka, 2014) nebo podléhá nitrifikaci, ve které je oxidována až na nitráty (Vaněk et al., 2012). Nitrifikační procesy jsou ovlivňovány například růstem a aktivitou půdních mikrobů, dostupností dusíku, teplotou půdy a půdní vlhkostí (Wu et al., 2015), přičemž se intenzita nitrifikace snižuje se snižující se dostupností vody (Ge et al., 2015). Při imobilizaci jsou anorganické formy dusíku zabudovávány do organických sloučenin, hlavně těl mikrobů (Vaněk et al., 2007).

Obsah minerálního dusíku v půdě se značně mění (Balík et al., 2012) podle stanovištních podmínek, biologické činnosti mikroorganismů, hnojení a odběru rostlinami a většinou dosahuje dvou maxim (Vaněk et al., 2016). Po sklizni plodiny při vhodných vláhových a teplotních podmínkách se mineralizací posklizňových zbytků začíná obsah dusíku zvyšovat a dosahuje prvního maxima. V podzimním období se postupně snižuje, kvůli odběru rostlinami a postupným poklesem intenzity činnosti mikroorganismů,

který v zimním období ustává (Balík et al., 2012). Jinling et al. (2013) však oponují, že již mnoho studií dokazuje, že půdní mikroorganismy během zimního období vykazují stále velkou mineralizační aktivitu. Druhé maximum obsahu minerálního dusíku dosahuje půda v jarním období (Vaněk et al., 2016), kdy se teplota půdy zvyšuje, obnovuje se činnost mikroorganismů a intenzita mineralizace roste (Balík et al., 2012).

Za důvody, které způsobují sníženou dostupnost dusíku jsou považovány: (1) nízká úrodnost půdy vedoucí k nízké retenční kapacitě N (Guo et al., 2010), což se týká především lehkých nebo písčitých půd a půd s nízkým obsahem organické hmoty (Yara, 2015), a vysoká míra mineralizace vedoucí k vysoké ztrátě N prostřednictvím vyplavování dusičnanů; (2) nesprávné vedení porostů, které vede k relativně nízkému příjmu dusíku; a (3) nesprávné aplikace N hnojiv vedoucí k vysokým plynným ztrátám ve formě NH_3 (Ju et Zhang, 2017). Jelikož je pohyblivost dusíku, především nitrátové formy (Clarke et al., 1990; Orloff et al., 2012; Vaněk et al., 2012), v půdě vysoká (Balík et al., 2012) a je v silné interakci s půdní vlhkostí (Hooper et al., 2015) dochází k jeho ztrátám v důsledku vyplavování pod kořenovou zónu (Li et al., 2016) nebo povrchovým odtokem (Ju et al., 2009). Vyplavování dusičnanů je ovlivněno obsahem dusičnanů, vody (Dai et al., 2016) a organické hmoty v půdě (Yara, 2015) a může se takto ztratit až $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Mikanová et Šimon, 2013). Bývá výraznější na lehkých, písčitých půdách a na podzim, zejména tedy v době, kdy rostliny pšenice mají malý kořenový systém a zatím nemají vysokou schopnost dusík zachytávat (Yara, 2015). Dalšími ztrátami dusíku z půdy jsou denitrifikace (únik ve formě plynného N_2) a imobilizace (příjem a využití půdními mikroorganismy) (Orloff et al., 2012). Takovéto ztráty mohou činit až 67 % z celkového dusíku v aplikovaném hnojivu (Raun et Johnson, 1998).

3.4.1.2 Dusík v rostlinách

Dusík se vyskytuje ve všech živých soustavách a je využíván k tvorbě rozmanitých sloučenin (Balík et al., 2012). Přijatý minerální dusík rostliny postupně využívají k syntéze organických dusíkatých sloučenin (Vaněk et al., 2012), která probíhá v chloroplastech (Weber et Tegeder, 2006), jako jsou například aminokyseliny (Roberts et Slaton, 2014), nukleové kyseliny, bílkoviny (Balík et al., 2012) a chlorofyl (Yara, 2015), ve kterém je podle Rodriguez et al., (2006) obsaženo až 75 % celkového dusíku rostliny.

Přijatý minerální dusík je xylémem dopravován do fotosynteticky aktivních listů (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017), díky transpiraci (Bailey & Leegood, 2016), jenž způsobuje hydrostatický tlakový gradient, který se zvyšuje směrem ke kořenům

(Tyree, 2003). Xylém nejen zprostředkovává okamžité přivádění dusíku do fotosynteticky aktivních listů pro fyziologické účely (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017), ale také akumuluje dusík pro tvorbu zásobních míst v kořenech, stoncích a hlavních žilách listů (Zhao et al., 2014), kde může být relativně vysoké množství N krátkodobě nebo i dlouhodobě skladováno (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017). Nitrátový dusík je skladován ve vakuolách (Borisjuk et al., 2003), když je jeho koncentrace v cytosolu vysoká, a je znovu využíván při jeho začínajícím nedostatku pro asimilaci. Aby se zabránilo buněčné toxicitě přebytečného amonného dusíku (Loque et al., 2005) je jeho příjem přísně regulován (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017) a je skladován ve vakuolách (Loque et al., 2005). Jeho množství je vyšší ve starších a rozvíjejících se listech, ve srovnání s rozvinutým asimilujícími listy, v důsledku katabolismu aminokyselin (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017). Jakmile jsou v listech asimiláty využity pro metabolismus, jsou transportovány (Havé et al., 2016), především ve formě aminokyselin (White et al., 2016), buď do zásobních míst (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017) nebo do míst nejvyšší spotřeby (Barneix, 2007), jako jsou rostoucí mladé orgány. Během reprodukční fáze se hlavním příjemcem dusíku stává vegetační vrchol nebo později zrno. Kvůli nízké rychlosti transpirace cílových orgánů (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017) probíhá transport asimilátů symplasticky přes plasmodesmy nebo na delší vzdálenosti apoplasticky floémem (Rennie et Turgeon, 2009).

Jelikož jsou rostliny statické organismy, jejich přežití pak spoléhá na jejich schopnost přijímat minerální živiny dostupné ve své rhizosféře a účinně je metabolizovat, reutilizovat a šetřit po celou dobu své životnosti (Avila-Ospina et al., 2014). Reutilizace živin znamená „znovuvyužití“ zdrojů, které jsou již v rostlině přítomné (Masclaux-Daubresse et al., 2017). Reutilizace dusíku je zajišťována autofagií (Havé et al., 2016), jenž je univerzální mechanismus, který prostřednictvím metodické degradace nejen nežádoucích organel či proteinů (Guiboileau et al., 2013), ale i toxických a poškozených cytoplazmatických složek (Masclaux-Daubresse et al., 2017) umožňuje reutilizaci živin. Vyskytuje se v reakci na stresy a během vývojového stárnutí (Havé et al., 2017) a intenzivněji probíhá při nedostatku dostupných živin (Guiboileau et al., 2012), kdy může v případě potřeby vyvolat degradaci i zdravých buněčných složek (Masclaux-Daubresse et al., 2017). Spočívá v tvorbě dvojitých membránových vezikul (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017), nazývaných autofagosomy (Masclaux-Daubresse et al., 2017), které sekvestrují cytosolové složky a přivádí je do lytických vakuol (Avila-Ospina et al., 2016), ve kterých se nachází hydrolázy a proteázy, a kde jsou degradovány na aminokyseliny a další sloučeniny vhodné pro neosyntézu

(Masclaux-Daubresse et al., 2017). Po vakuolární proteolýze se aminokyseliny uvolňují zpět do cytosolu a opouštějí list floémem (Havé et al., 2016).

Degradace makromolekul pro reutilizaci dusíku se obvykle vyskytuje u senesujících orgánů, které již nejsou pro rostlinu užitečné kromě toho, že představují zdroj živin (Masclaux-Daubresse et al., 2017). Během stárnutí se listy stávají zvláště silnými zdroji dusíku (White et al., 2016).

Aby byla zajištěna dostatečná výživa generativních orgánů (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017), dochází u pšenice k reutilizaci dusíku z vegetativních částí do klasu po etapě metání (Zhao et al., 2014), kde mohou být některé dusíkaté látky uloženy ve vakuolách, ale většina N je použita pro metabolismus semen a akumulaci zásobních proteinů (Tegeder et Rentsch, 2010). Dusík naakumulovaný v zrně pochází z dusíku ze zásobních míst v listech, stéblech nebo kořenech (Masclaux-Daubresse et al., 2010), přijímaného a asimilovaného po odkvětu a reutilizovaného z vegetativních částí rostliny (Guttieri et al., 2017). Dochází k indukci genů GS1 (Diaz et al., 2008), které jsou exprimovány v buňkách v okolí floému (Lothier et al., 2011). U obilovin bylo potvrzeno, že aktivita GS1 pozitivně koreluje s množstvím remobilizovaných dusíkatých látek z vegetativních částí rostliny na semena (Kichey et al., 2007).

Reutilizace dusíku má tedy silný vliv na výnos (Chardon et al., 2012) a kvalitu zrna (Masclaux-Daubresse et al., 2017), stále však probíhá příjem a asimilace dusíku, dokud je jeho koncentrace v půdě dostatečná (Dechorgnat et al., 2011; Taulemesse et al., 2016). Množství reutilizovaného dusíku při plnění zrna závisí na vláhových podmínkách (Clarke et al., 1990), dostupnosti dusíku v půdě a na počtu míst, do kterých má být dusík distribuován (Tegeder et Masclaux-Daubresse, 2017) a zdá se, že transportní proteiny lokalizované v plazmatických membránách buněk (Fan et al., 2017) do určité míry také ovlivňují množství dusíkatých látek přenášených do semen (Tan et al., 2010; Zhang et al., 2015). Pokud má rostlina možnost pokračovat v efektivní asimilaci i po odkvětu, pak translokuje méně dusíku z vegetativních částí než za suchých podmínek. U ozimé pšenice 59 (Clarke et al., 1990) až 80 % (Bogard, 2010), podle Kichey et al. (2007) až 95 % dusíku v zrně pochází z reutilizovaných živin z vegetativních částí rostliny, přičemž se tyto hodnoty mezi odrůdami příliš neliší (Clarke et al., 1990). Kichey et al. (2007) ale oponují, že se množství reutilizovaných živin podle odrůd liší. Translokace dusíku však neprobíhá jen při reprodukční fázi. Během vegetace dochází k translokaci dusíku ze starších listů do mladších ve vrchní vrstvě porostu, aby byla zajištěna maximální efektivita fotosyntézy (Zhao et al., 2014).

3.4.1.3 Projevy nedostatku dusíku

Nedostatek dusíku je nejčastější ze všech nedostatků živin (Snowball et Robson, 1991), ale u pšenice pěstované intenzivním způsobem se téměř neobjevuje (Bittner, 2009). Deficit dusíku se v polních podmínkách projevuje po vyčerpání zásob ze semen a přechodu na výživu pomocí kořenů (Kováčik, 2009). Příznaky nedostatku dusíku u pšenice se mohou vyskytnout v jakékoliv fázi vegetačního období (Roberts et Slaton, 2014).

Dusík je v rostlinách dobře pohyblivý, a proto se jeho nedostatek objevuje nejprve na starších orgánech (Yara, 2015). V závislosti na nedostatku přechází zbarvení listů od světle zelené až po červenou barvu (Bittner, 2009). Listy pomalu odumírají a opadávají (Kováčik, 2009). Barevné změny jsou způsobeny postupným úbytkem chlorofylu (Snowball et Robson, 1991). Při déle trvajícím nedostatku postupuje žloutnutí nebo chloróza na rostlině i na mladší listy. Listy vykazující nedostatek dusíku začnou nekrotizovat. Nekróza začíná na špičce listu a postupuje podél žilek až k bázi (Roberts et Slaton, 2014).

Nedostatek dusíku již od počátku vegetace má za následek sníženou tvorbu stavebních a funkčních bílkovin (Vaněk et al., 2016). V porostech se nedostatek projevuje omezenou tvorbou listové plochy (Yara, 2015), která má za následek snížení efektivity fotosyntézy (Vaněk et al., 2016) a tím dojde i k omezení růstu rostlin (Roberts et Slaton, 2014). V podstatě jsou porosty slabší a nižší, často nevyrovnané a světlejší (Vaněk et al., 2012). Dochází však také k omezení růstu kořenů, čímž je snížena příjmová kapacita kořenů a druhotně je tím omezen i příjem dalších živin (Vaněk et al., 2016). Porosty trpící na nedostatek dusíku mají kratší vegetační dobu. Předčasně kvetou a dozrávají (Yara, 2015). Rychlejším dozráváním dochází ke ztrátám na výnosu (Vaněk et al., 2007).

U pšenice se v době odnožování při nedostatku dusíku redukuje počet odnoží (Zimolka et al., 2005), stébla jsou krátká a tenká, klas je krátký, nedovyvinutý s malým počtem zrn (Bittner, 2009). U zrn se nedostatek projevuje sníženou hmotností a výrazně zhoršenými technologickými parametry (Zimolka et al., 2005). Především se jedná o obsah lepku a dusíkatých látek (Bittner, 2009).

3.4.1.4 Projevy nadbytku dusíku

Nadbytek dusíku je neobvyklý a málo kdy se dá zpozorovat. Amonná forma dusíku může omezovat vzcháživost rostlin. Je nutné dodržovat zásady hnojení dusíkem a vyvarovat se vysokých jednorázových dávek. Na podzim a v předjaří může docházet ke zvýšenému větvení kořenů v místech s vyšší koncentrací dusíku na úkor růstu hlavního a ostatních

vedlejších kořenů. Tím dochází ke zhoršenému prokořenění půdního profilu a snížení příjmové kapacity kořenů pro vodu a jiné živiny (Vaněk et al., 2016).

Rostliny jsou při nadbytku dusíku méně odolné vůči chorobám. Při nadměrném příjmu dusíku se stimuluje nadměrný vegetativní růst, který je příznivý pro napadení chorobami a hmyzem (Yara, 2015). V hustých porostech je vyšší vlhkost, která podporuje vznik houbových chorob (Zimolka et al., 2005). V rostlině se tvoří více parenchymu než sklerenchymu, čímž se snižuje pevnost pletiv (Kováčik, 2009). Dále se snižuje množství přirozeně se vyskytujících antifungálních sloučenin v rostlině, což také zvyšuje riziko infekce. (Yara, 2015). Vedle stimulace růstu, může vysoká míra dusíku způsobit zhoršení kvality glutenu v zrna zvýšením podílu nízkomolekulárního gliadinu (Wooding et al., 2000).

Při snížené pevnosti pletiv se zvyšuje náchylnost rostlin k poléhání a snižuje se u nich chladuvzdornost a mrazuvzdornost. Listy bývají větší než obvykle s tmavě zelenou barvou. Rostliny dále přecházejí později do generativní fáze (Kováčik, 2009).

Při výrazném nadbytku dochází k nekrotickým 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).

3.4.2 Fosfor

Fosfor je velmi důležitou živinou (Roberts et Slaton, 2014) a makrobiogenním prvkem, který má řadu významných funkcí v rostlinách (Rastija et al., 2014) a podle Ali et al. (2014) je druhým nejdůležitějším prvkem po dusíku. Je nezbytný pro všechny metabolické procesy růstu a vývoje rostlin (Mikanová et Šimon, 2011) a často se jedná o nedostatkovou živinu, která patří mezi hlavní omezující faktory výnosu plodin (Rastija et al., 2014).

Kritickým obdobím v zajišťování výživy fosforem je pro všechny rostliny počátek vegetace, kdy dojde k vyčerpání zásob ze semene, rostlina přechází na autotrofní způsob výživy a zatím nemá dostatečně vyvinutý kořenový systém (Mikanová et Šimon, 2011). Zajištění jeho dostatku v půdě pro vyvíjející se rostliny, je důležitým krokem pro zajištění vysokých výnosů (Roberts et Slaton, 2014).

Pšenice má vysoký požadavek na fosfor zejména v raných fázích růstu (Ali et al., 2014), kdy podporuje tvorbu kořenové soustavy (Rastija et al., 2014), což je důležité pro efektivní příjem dalších živin (Yara, 2015), a zvyšuje odolnost rostlin proti nízkým teplotám, jenž jsou základními aspekty pro přezimování (Špaldon et al., 1986) a následně

i pro tvorbu výnosu (Ali et al., 2014). Požadavek na fosfor na jaře není tak vysoký, jako je na draslík (Yara, 2015). Křivka dynamiky příjmu fosforu je víceméně lineární se slabým nárůstem narozdíl od draslíku, jehož příjem se v jarním období intenzivně zvyšuje (Vaněk et al., 2016), ale je stále důležité, aby plodina byla dostatečně zásobována fosforem kvůli jeho úloze při vývoji kořenů (Yara, 2015). Později fosfor podporuje odnožování (Rastija et al., 2014). U odnoží vyšších řádů podporuje jejich udržení a fertilitu (Fioreze et al., 2011). Zvyšuje distribuci kořenů, což rostlinám umožňuje čerpat živiny a vodu i z hlubších vrstev půdy (Dai et al., 2016).

3.4.2.1 Příjem fosforu rostlinou

Pro příjem fosforu je důležitým předpokladem vytvoření bohatého kořenového systému (Bushong et al., 2014), který je důležitý pro růst a vývoj rostlin (Fageria et Moreira, 2011), protože fosfor je málo pohyblivý v půdním roztoku (Yara, 2015) a na rozdíl od jiných makroživin je v půdě jeho obsah často velmi nízký (Rastija et al., 2014). Fosfor rostliny přijímají ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, a to ve formě HPO_4^{2-} a H_2PO_4^- (Vaněk et al., 2007). Jeho příjem rostlinou není během vegetace rovnoměrný. Nejvyšší spotřebu fosforu vykazují rostliny v období kvetení a zrání plodů (Mikanová et Šimon, 2011). Na konci vegetace je fosfor ukládán do semen (Černý et al., 2014).

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují dostupnost fosforu pro rostliny (Mosali et al., 2006), avšak pH půdy je nejdůležitější, protože rozpustnost sloučenin fosforu přímo souvisí s pH půdy. Dostupnost fosforu je omezena jak v kyselé, tak alkalické půdě (Rastija et al., 2014). Kyselá, alkalická a těžká jílovitá půdy mají fixační vlastnosti, které činí fosfor nedostupný (Yara, 2015). V kyselé půdě je fosfor adsorbován pomocí Al^{3+} , Fe^{3+} a Mg^{2+} a v alkalických půdách se P adsorbuje uhličitanem vápenatým (Ali et al., 2014). Většina studií potvrzuje, že mobilita fosforu je nejvyšší mezi pH 6,0 až 6,5 (Rastija et al., 2014), ale Vaněk et al. (2007) uvádějí, že příznivá hodnota pH pro příjem fosforu je 5,5 - 7,0. Vedle pH, dostupnost fosforu závisí na řadě dalších faktorů, jako je obsah organické hmoty, obsah jílu a těžkých kovů, teplota půdy, vztahy mezi vodní a vzdušnou frakcí půdy a mikrobiální aktivita (Rastija et al., 2014). Příznivý vliv na příjem fosforu má vlhkost půdy (Bushong et al., 2014). Sucho, nedostatek kyslíku a zvláště nízké teploty mohou snižovat příjem (Rastija et al., 2014) a pohyblivost fosforu (Roberts et Slaton, 2014). Dalším důležitým faktorem je také obsah přijatelného fosforu v půdě (Vaněk et al., 2007). Podle některých odhadů má 5,7 miliardy hektarů světové orné půdy nedostatečné množství dostupného fosforu k udržení optimální produkce rostlin (Rastija et al., 2014).

3.4.2.2 Fosfor v rostlinách

Přijatý fosfor je rychle zabudováván do organických sloučenin a transportován do míst nejvyšší spotřeby jako jsou mladé listy, vegetační vrchol, později květy a semena. Vyskytuje se především v generativních orgánech rostlin a v semenech. V semenech je fosfor vázán ve sloučenině fytinu, který je dále tvořen hořčíkem (Vaněk et al., 2016).

V rostlinách se fosfor vyskytuje ve formě organofosfátů (estery cukrů) a tvoří část nukleotidů ve formě fosforečných esterů heteroglykosidů. Je důležitý pro přenos, ukládání (Yara, 2015) a budování energie pro metabolismus růstu rostlin prostřednictvím ATP a ADP (Ali et al., 2014) již od raných období růstu, a proto je životně důležitý. Velmi důležitý je zejména během období rychlého růstu (Yara, 2015). V rostlinách se fosfor ukládá ve vakuole ve formě polyfosfátů (Ali et al., 2014). 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).

3.4.2.3 Projevy nedostatku fosforu

Nedostatek fosforu nebývá u pšenice viditelný (Bittner, 2009), je málo častý a projevuje se spíše latentně. Pouze při dlouhotrvajícím výrazném nedostatku fosforu se objevují viditelné příznaky (Vaněk et al., 2007). Symptomy nedostatku fosforu se mohou objevit již krátce po vzejití pšenice a v případě, že jsou nedostatky těžké, zůstávají viditelné až do dospělosti (Roberts et Slaton, 2014).

Na kyselějších půdách, kde dojde k zablokování příjmu fosforu (Bittner, 2009), se kvůli nedostatku fosforu v rostlinách, jako akumulátora energie, snižuje proteosyntéza, čímž vzniká v rostlině více sacharidů, které způsobují zvýšenou tvorbu anthokyanového barviva. Kombinací chlorofylu a anthokyanu (Kalina, 2005) vzniká modrozelené až fialové zabarvení (Bittner, 2009; Roberts et Slaton, 2014), které se šíří od okrajů listů (Yara, 2015). Tato změna barvy je nejznámějším příznakem nedostatku P, avšak není indikátorem deficitu fosforu, který by limitoval výnos. Při silném růstu v raném období za vlhka a chladna mohou rostliny sami vyvolávat tuto změnu barvy. Některé odrůdy mají tendenci vykazovat intenzivnější fialovění listů během chladných a mokřých podmínek než jiné, přestože jsou úrovně P adekvátní (Roberts et Slaton, 2014). Toto červenofialové zbarvení se může přechodně objevovat i na listových pochvách. Obvykle ale v průběhu vegetace zmizí (Bittner, 2009).

Vzhledem k pohyblivosti fosforu v rostlinách se příznaky jeho nedostatku nejprve projevují na nejstarších částech rostlin (Yara, 2015) a až později na nejmladších (Kováčik, 2009). Rostliny jsou navíc malé a zakrslé se špatným a omezeným růstem kořenů (Yara, 2015). Listy jsou šedo zelené až namodralé (Kalina, 2005) úzké a vzpřímené (Zimolka et al., 2005) a předčasně opadávají (Kalina, 2005). Slabý nedostatek P omezuje odnožování, což způsobuje, že porost pšenice vypadá velmi řídko (Roberts et Slaton, 2014; Zimolka et al., 2005). Nedostatek fosforu by tedy mohl omezit výnos pšenice tím, že se sníží počet klasů na plochu kvůli špatné tvorbě odnoží (Rastija et al., 2014)

Pšenice vytváří krátká (Roberts et Slaton, 2014) a slabě vyvinutá stébla. Paty stébel bývají červenofialově zbarvené (Zimolka et al., 2005). Dále má fosfor vliv na velikost listové plochy a na zakládání generativních orgánů (Černý et al., 2014). Rostliny mívají řídkší olistění a zpozděně metají (Roberts et Slaton, 2014). Může docházet i k oddalování kvetení a snižuje se počet fertálních klásků (Černý et al., 2014). Květy se špatně opylují (Kalina, 2005).

3.4.3 Draslík

Draslík je jednou ze základních živin (Niu et al., 2013), která ovlivňuje většinu biochemických a fyziologických procesů (Min et al., 2013) a je nejrozšířenějším anorganickým kationtem v rostlinách. Při dostatečné výživě může tvořit až 6 % sušiny. Je jedinečný, jelikož se v rostlinách vyskytuje ve formě volných iontů (Römhled et Kirkby, 2010). Draslík může být částečně nahrazován sodíkem (Rengel et Damon, 2008).

Na jaře, kdy obiloviny odnožují a začíná období intenzivního růstu, se dramaticky zvyšují požadavky na draslík (Yara, 2015). Toto období vysokého odběru draslíku pšenicí vrcholí metáním (Černý et al., 2014) a pšenice je schopna do této doby přijmout až 200 kg K.ha⁻¹. Pokud je nízký obsah draslíku v půdě nebo byl omezen růst kořenů, například nedostatkem fosforu, může dojít k nedostatečnému příjmu draslíku (Yara, 2015).

3.4.3.1 Příjem draslíku rostlinami

Draslík je jedním z hlavních půdních kationtů (Bushong et al., 2014). Lze jej v půdě rozdělit do tří skupin na draslík nevýměnný (Römhled et Kirkby, 2010), který se nachází v primárních a sekundárních minerálech (Yara, 2015) jako jsou slídy a živce (Römhled et Kirkby, 2010) a v mezivrstvách jílových částic, ze kterých může přecházet do výměnné formy. Výměnný draslík, který je vázán na půdní sorpční komplex a může se nacházet na povrchu koloidních micel, na hranách i v mezivrstvách jílových částic, může být rychle

vyměněn jiným a stává se přístupným rostlinám. A vodorozpustný draslík, který se nachází ve formě K^+ (Vaněk et al., 2016) v půdním roztoku a je okamžitě přijatelný pro rostliny. V půdním roztoku je znovu doplňován z nevýměnného a výměnného, kteří jsou hlavními přispěvateli k výživě rostlin draslíkem. (Römheld et Kirkby, 2010).

Jeho přítomnost v půdě je z velké části určována půdní strukturou. Půdy s nízkým obsahem jílu jsou náchylné na vyplavování draslíku (Yara, 2015), které může být velmi vysoké zvláště po silných srážkách (Römheld et Kirkby, 2010). Takto může být z ornice vyplaveno až 50 % draselných iontů (Yara, 2015). A naopak u jílovitých půd dochází k fixaci draslíku na jílové částice, kde se stává nedostupným pro rostliny. Fixace draslíku je intenzivnější za sucha (Vaněk et al., 2016).

Příjem draslíku je vysoce účinný proces (Schachtman et Shin, 2004). Rostlina jej přijímá ve formě kationtů draslíku (Vaněk et al., 2007) z půdního roztoku (Römheld et Kirkby, 2010). Příjem i pohyb draslíku v půdě je zprostředkováván difuzí (Zheng et Brown, 2000; Jungk, 2001). Koncentrace kationtů K^+ v půdním roztoku se v důsledku příjmu rostlinou sníží a dojde ke vzniku gradientu (Zheng et Brown, 2000). Příjem probíhá především kořenovým vlášením. Přítomnost kořenového vlášení značně zvyšuje plochu kořenů. Může tvořit až 70 % celkového povrchu kořenů, který dále zvyšuje gradient koncentrace draslíku mezi půdou a kořenovým systémem, který vede k vyššímu difuznímu pohybu draslíku směrem ke kořenům (Jungk, 2001).

Příjem draslíku z půdy je závislý na četných fyzikálních a chemických půdních faktorech, které mohou do značné míry určovat i růst a prostorové rozložení kořenů, kvůli čemuž se snižuje schopnost přijímat živiny. Půdní faktory omezující růst kořenů jsou akutní deficit bóru, zhutnění půdy, zasolení, sucho, ale i třeba toxicita některých prvků (Römheld et Kirkby, 2010). Přiměřený nebo zvýšený obsah půdní vlhkosti typicky vede ke zvýšení dostupnosti draslíku (Zheng et Brown, 2000) zrychlení růstu kořenů a difuzního toku K^+ ke kořenům (Bushong et al., 2014; Zheng et Brown, 2000). Dostupnost draslíku může být rovněž snížena tam, kde je pH půdy nízké nebo kde je vysoký obsah hořčíku v půdě kvůli interakci mezi těmito dvěma živinami (Yara, 2015).

3.4.3.2 Draslík v rostlinách

Nejvyšší koncentrace draslíku se vyskytují v mladých rozvíjejících se pletivech a reprodukčních orgánech rostlin (Römheld et Kirkby, 2010). Stárnutím orgánů se postupně snižuje jeho obsah (Vaněk et al., 2016). Draslík je v rostlině velmi dobře pohyblivý (Römheld et Kirkby, 2010) a může být z pletiv při dešťových srážkách vymýván (Vaněk et al., 2007).

Vliv draslíku spolu s fosforem je především souhrnem funkcí, které hrají živiny při snižování negativních účinků biotických a abiotických stresů (Ma et al., 2006). Draslík v rostlinách je důležitý pro své fyziologické působení v metabolismu (Černý et al., 2014), má řadu funkcí při růstu rostlin (Yara, 2015), je významný při dlouhivém růstu rostlin (Vaněk et al., 2007), kořenů (Min et al., 2013) a odolnosti vůči patogenům (Holzmueller et al., 2007; Ma et al., 2006). Hlavním určujícím faktorem růstu a předpokladem pro vysoké výnosy u většiny plodin na orné půdě je rychlá expanze listové plochy. Dusík je hlavním hnacím motorem expanze listové plochy, která je dosažena zvýšením buněčného dělení a expanzí buněk (Niu et al., 2013), tj. počtu buněk a objemu buněk, což také vyžaduje odpovídající příjem draslíku pro udržení turgoru a pevnosti buněk (Römheld et Kirkby, 2010; Niu et al., 2013). Dostatek draslíku podporuje tvorbu delších klasů, větší počet zrn na klas, zvyšuje hmotnost zrn, pomáhá udržovat sekundární odnože (Baque et al., 2006; Niu et al., 2013) a zvyšuje koncentraci fenolu, který hraje rozhodující roli v rezistenci rostlin proti patogenům (Prasad et al., 2010).

Draslík aktivuje řadu enzymů (Amtmann et al., 2008), které ovlivňují energetický metabolismus, syntézu bílkovin a transport asimilátů (Römheld et Kirkby, 2010), a je nezbytný pro jejich výkon, což ovlivňuje například tvorbu kořenové soustavy (Min et al., 2013) a kvalitu produktů. Během reprodukčních fází rostlin hrají K a Mg rozhodující roli nejen při zajišťování dostatečného zásobování sacharózou, ale také při dodávání K, Mg, N, S a P do plodů při zrání (Römheld et Kirkby, 2010). Bylo prokázáno, že draslík má příznivý vliv na zvyšování objemové hmotnosti zrna (Černý et al., 2014). Ovlivňuje také strukturu metabolitů. Dochází ke snížení koncentrace sloučenin s nízkou molekulovou hmotností v rostlinných pletivech, jako jsou rozpustné cukry, organické kyseliny, aminokyseliny a amidy. Tyto sloučeniny jsou důležité pro vývoj infekcí (Min et al., 2013). Při biosyntéze bílkovin je draslík nepostradatelnou složkou. Jeho nedostatek vede k poklesu množství proteinu produkovaného rostlinou a zvyšuje obsah neproteinového dusíku v rostlině, jehož přítomnost podporuje vznik chorob (Gaj et al., 2013). Dále je draslík nezbytný pro syntézu celulózy, která je součástí buněčných stěn. Zesílením buněčných stěn (Yara, 2015) se zvyšuje pevnost stébel a s tím se zvyšuje odolnost k poléhání (Černý et al., 2014) a zesiluje se funkce buněčné stěny jako mechanické bariéry proti vniku infekcí (Yara, 2015). V rostlinách dále draslík ovlivňuje stabilitu membrány (Min et al., 2013) a tím i turgor buněk (Yara, 2015), který souvisí s hospodařením rostlin s vodou (Min et al., 2013). Podporuje příjem vody, její vedení v rostlině a také snižuje transpiraci (Vaněk et al., 2007). Přítomnost

draslíku ve svěracích buňkách stomat ovlivňuje jejich zavírání a otevírání (Min et al., 2013). Draslík má tedy vliv i na samotnou fotosyntézu (Römheld et Kirkby, 2010).

3.4.3.3 Projevy nedostatku draslíku

Nedostatek volně dostupného draslíku je klasickým problémem většiny našich půd (Bittner, 2009). Mírným nedostatkem K nevznikají okamžitě viditelné příznaky, kvůli vysoké míře redistribuce draslíku mezi tkáněmi (Römheld et Kirkby, 2010). Pšenice spíše reaguje na nedostatky dusíku a fosforu (Roberts et Slaton, 2014). Deficit draslíku omezuje příjem a transport dusíku v rostlinách (Gaj et al., 2013).

U ozimých obilnin se nedostatek projevuje v obdobích sucha (Bittner, 2009) a při chladném, vlhkém počasí v jarním období. Rostliny jsou snadněji poškozovány chladem a po zimě hůře regenerují (Vaněk et al., 2007).

Zpočátku dochází pouze k poklesu rychlosti růstu (Römheld et Kirkby, 2010). Nedostatek draslíku se nejprve projevuje na nejstarších listech jako okrajová chloróza, v těžkých případech i nekrotizují (Yara, 2015). Začnou se kroutit, uvadat a zasychat (Kalina, 2005). Tyto příznaky začínají na špičkách a okrajích listů a postupují směrem k listové bázi (Römheld et Kirkby, 2010; Roberts et Slaton, 2014; Bittner, 2009; Vaněk et al., 2016).

V podmínkách deficitu draslíku je fotosyntéza depresivní v důsledku akumulace sacharózy v listech a jejího vlivu na genovou expresi (Hermans et al., 2006). Deprese fotosyntézy způsobuje nadměrnou akumulaci světelné energie a fotoreduktantů v chloroplastech, což vede k aktivaci molekulárního kyslíku, tvorbě reaktivních druhů kyslíku a poškození chloroplastů (Cakmak, 2005).

Rostliny mají tendenci více vykazovat známky vadnutí v horkých, slunečných dnech, i když nejsou vidět žádné další příznaky (Yara, 2015). Dochází k poklesu turgoru. Rostliny jsou povadlé a to zejména během poledne (Römheld et Kirkby, 2010). Dále je omezena tvorba sklerenchymatických pletiv, což má za následek snížení pevnosti pletiv. S tím 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). Podle Römheld et Kirkby (2010) však nedochází ke změnám struktur nadzemních i podzemních orgánů.

Klíčem k řešení je dostatečné zásobení půd draslíkem, případně lze částečně řešit akutní situace aplikací listových hnojiv s obsahem draslíku (Bittner, 2009)

3.5 Hnojení ozimé pšenice

3.5.1 Hnojení pšenice dusíkem

Hnojení pšenice dusíkem je jedním z nejdůležitějších agronomických postupů (Basso et al., 2013) a hraje důležitou roli v produkci nadzemní, ale i podzemní biomasy (Sharma et al., 2008). Dusíkaté hnojení má výrazný pozitivní vliv na výši i stabilitu výnosu a kvality produkce pšenice (Balík et al., 2012; Vaněk et al., 2016) a značně se v nich odráží (Bushong et al., 2014). Tento efekt má však jen do dávky $140 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, přičemž se již příjem dusíku postupně snižuje (Ali et al., 2012). Je také dobře známé pro zlepšování kvality půdy (Hai et al., 2010; Malhi et al., 2011; Erisman et al., 2008), ale efektivita dusíkatého hnojení je silně závislá na povětrnostních podmínkách (Turner et Asseng, 2005), jako jsou teplota a množství srážek, které by se měli zohledňovat při výběru dusíkatého hnojiva (Roberts et Slaton, 2014).

Podle Heisey et Norton (2007) se při hnojení pšenice každoročně použije 18,1 % celkové světové roční spotřeby hnojiv. Zemědělci většinou používají jednotnou míru hnojení bez zohledňování variability půdy nebo rozložení dešťových srážek (Saseendran et al., 2004), což může vést k nadměrnému nebo nedostatečnému hnojení (Basso et al., 2013). Vysoká míra dusíkatého hnojení může inhibovat hlubší růst kořenů, a tím snížit potenciální využití hlouběji se nacházejících půdních nitrátů a vodních rezerv (Ali et al., 2012). Tím se snižuje schopnost využití dusíku. Snížená schopnost využívání aplikovaného dusíku rostlinami má za následek obrovské plýtvání zdroji a hospodářské ztráty, ale může také negativně ovlivnit životní prostředí (Godfray et al., 2010) v důsledku vyplavování dusičnanů (Dai et al., 2016), které jsou hlavním polutantem podzemních vod (Wakida et Lerner, 2005), volatilizací čpavku, emisí oxidu dusného a okyselování půdy (Chen et al., 2008).

Kvůli variabilitě pozemků je však vhodné počítat s tím, že dusík působí rozdílně na různých stanovištích, ale často i na jednotlivých pozemcích i jejich částech (Balík et al., 2012). Podle Basso et al. (2011) mohou farmáři rozdělením pozemků na homogenní zóny podobného chování zvýšit účinnost dusíkatého hnojení, maximalizovat odběr dusíku a minimalizovat ztráty dusíku. Takovéto rozdělení by bylo možné provést pomocí rozborů rostlin nebo snímek porostu na obsah chlorofylu (Rodriguez et al., 2006). Vliv dusíkatého hnojení na výnos ozimé pšenice je vyšší na méně úrodných půdách než na půdách úrodných (Buráňová et al., 2015). Půda může totiž dodat značné množství dusíku v důsledku mineralizace půdní organické hmoty (Efretuei et al., 2016), jejíž obsah je jedním z ukazatelů

kvality půdy a právě spolu s hnojením minerálním dusíkem zvyšuje úrodnost půdy (Cederlund et al., 2014).

Na úrodných půdách pšenice využívá většinu potřebného dusíku z půdní zásoby (asi 85 %) a zbytek z hnojiv (Balík et al., 2012). Když nejsou dusíkatá hnojiva používána efektivně, pšenice z nich využije jen 41 % dusíku (Fageria et Baligar, 2005; Chen et al., 2008). Obsah dusíku v půdě je za normálních okolností dostatečný k zajištění potřeb plodiny v podzimním období. Ale v jarním období, kdy se obnovuje vegetace, není již půdní zásoba dusíku dostatečná, aby pokryla potřeby pšenice. Pokud nebude dusík doplňován hnojivy, bude růst a s tím i výnos pšenice omezen (Efretuei et al., 2016).

Ozimou pšenici hnojíme dusíkatými hnojivy tak, aby byl vždy dostatek dusíku pro příjem rostlinami po celé vegetační období (Špaldon et al., 1986), protože pšenice ozimá přijímá dusík v průběhu celé vegetace (Hřivna, 2012), ale potřeby dusíku se v průběhu vegetace výrazně mění. Pro dosažení vysokého výnosu je rozhodující zajištění přiměřené zásoby dusíku v půdě (Orloff et al., 2012) hlavně v těch etapách organogeneze, které se podílejí na tvorbě výnosu zrna (Špaldon et al., 1986). Při odnožování dusík ovlivňuje počet odnoží. Při sloupkování je důležitý kvůli jeho vlivu na počet zrn v klasu. Míra výnosu je ovlivněna příjmem dusíku až do fáze naduřování listové pochvy. Dále pak má dusík vliv spíše na obsah bílkovin v zrně. Pozdní příjem dusíku však může nepatrně podpořit výnos zrna tím, že může zvýšit HTZ (Orloff et al., 2012).

Pro optimalizaci výživy pšenice dusíkem je nutné zohlednit biologické vlastnosti odrůd, půdní úrodnost, stav porostu (Vaněk et al., 2007) a interakce mezi dešťovými srážkami, stanovištěm a vlastnostmi půdy (Basso et al., 2013). Dalším důležitým faktorem je i předplodina, která by měla v půdě zanechávat dostatek živin. Takovými předplodinami jsou bobovité rostliny a jeteloviny, které zanechávají v půdě velké množství kvalitních posklizňových zbytků a svým hlubokým kořenovým systémem ovlivňují půdní strukturu, ale především redistribuují hlouběji uložené živiny do orniční vrstvy (Zimolka et al., 2005). Podle (McDonald, 1989) je zvýšení výnosu pšenice zařazené po luskovině znatelné, přičemž není negativně ovlivněn výnosem luskoviny.

Po zohlednění všech podmínek je zapotřebí správně stanovit dávku dusíku a správný termín aplikace. Nicméně správné načasování a stanovení dávky dusíkatých hnojiv je problematické (Basso et al., 2013). Načasování aplikace hnojiv má vliv na efektivitu dusíkatého hnojení a je klíčové (Orloff et al., 2012) pro vývoj odnoží, zvýšení počtu klasů.m⁻² a pro zachování plodných odnoží až k tvorbě zrna (Simpson et al., 2016). Orloff et al. (2012) dodávají, že je načasování zvláště důležité, pokud se jedná o zvyšování obsahu bílkovin

v zrna. Při výpočtu celkové dávky dusíku tedy vycházíme z celkové potřeby dusíku jednotlivými plodinami, která se stanoví podle středního odběru na jednotku produkce (normativu) a předpokládaného výnosu (Vaněk et al., 2016). Mělo by se však počítat i se zbytkovým dusíkem v půdě a s dusíkem mineralizovatelným během vegetace z půdní organické hmoty případně z organických hnojiv (Orloff et al., 2012). Podle Roberts et Slaton (2014) jsou dalšími důležitými faktory předplodina a půdní struktura. Potřeba dusíku pšenice se však může měnit vlivem stanoviště, ročníku, odrůdové skladby, ale především podle výnosu hlavního a vedlejšího produktu. Záleží také na tom, zda se vedlejší produkt odváží z pozemku nebo na něm zůstává. Odběrový normativ je jeden z nejpřesnějších a nejvýznamnějších ukazatelů pro výpočet předpokládané potřeby dusíku. Odběr ozimé pšenice na produkci 1 t zrna činí 24 kg dusíku. Při průměrném hektarovém výnosu 8,8 t zrna pak pšenice odebere okolo 210 kg N.ha⁻¹ (Vaněk et al., 2016).

Vysoká pohyblivost minerálního dusíku v půdě (Vaněk et al., 2016) a s tím související možnosti ztrát dusíku (Orloff et al., 2012) neumožňují jednorázové dávky dusíkatých hnojiv před setím (Vaněk et al., 2007). Při použití jednorázové dávky dusíku před setím mohou být ztráty dusíku z použitého hnojiva 60 a více procent (Kováčik, 2009). Dělené dávky dusíku jsou ekonomicky efektivní, protože se jimi zvyšuje příjem a využití této živiny rostlinou (Simpson et al., 2016). Cílené aplikování na růstové fáze také více ovlivňuje výnosotvorné prvky (Zimolka et al., 2005) a podporuje tvorbu mnohem vyšších výnosů než u nedělené dávky (Alcoz et al., 1992; Ali et al., 2012). Hooper et al. (2015) ve svém pokusu prokázali vyšší efektivitu dělených dávek dusíkatých hnojiv cílených na konkrétní růstové fáze nárůstem obsahu proteinů v zrna, zvýšením efektivitu využití dusíku a výnosu zrna ozimé pšenice oproti kontrolní variantě hnojené jednorázovou dávkou. Hnojení pšenice dusíkem se z časového hlediska rozděluje na základní, regenerační, produkční a kvalitativní (Špaldon et al., 1986).

A. Základní hnojení dusíkem

Základní hnojení se provádí nejpozději do období setí (Vaněk et al., 2007).

Osivo pšenice obecně nepotřebuje použití dusíkatých hnojiv pro vzejití a založení porostu (Roberts et Slaton, 2014), a proto se na většině stanovišť před setím nehnojí (Vaněk et al., 2016). Předset'ové hnojení dusíkatými hnojivy může pomoci při zakládání porostu pšenice za zvláštních podmínek, nevhodnému střídání plodin (Roberts et Slaton, 2014), na půdách slabě zásobených dusíkem (Kováčik, 2009) a při zaorávce většího množství posklizňových zbytků (Vaněk et al., 2016), ale mělo by být použito jen podle potřeby (Roberts et Slaton, 2014), kdy se aplikuje dávka do 40 kg N.ha⁻¹ (Vaněk et al., 2016). Jednou z možností

používání dusíkatých hnojiv před setím je aplikace na rozklad posklizňových zbytků předplodiny (Roberts et Slaton, 2014) se širokým poměrem C:N (Kováčik, 2009), avšak poslední údaje naznačují, že aplikovaný dusík nemusí být tak přínosný, jak se kdysi myslelo a může potenciálně podporovat vznik houbových chorob (Roberts et Slaton, 2014). Dusíkem se před založením porostů nehnojí, pokud je stanovený obsah minerálního dusíku v půdě vyšší než 10 mg.kg^{-1} zeminy, nebo když v osevním postupu následuje pšenice po hnojem hnojené předplodině či jetelovinách (Zimolka et al., 2005).

B. Hnojení dusíkem v průběhu vegetace

Pro posouzení případné potřeby přihnojení (Orloff et al., 2012), je vhodné využívat podklady o stavu porostu, potřebách dusíku pšenice v jednotlivých růstových fázích (Zhao et al., 2014), průběhu povětrnosti a rozbory půd (Vaněk et al., 2016) a rostlin (Orloff et al., 2012). K rychlému odhadu obsahu dusíku v rostlinách se dá využít například snímání obsahu chlorofylu (Rodriguez et al., 2006). S rostoucím množstvím chlorofylu v listech se zvyšuje celkový obsah dusíku v rostlině (Asplund et al., 2016), který má vliv na intenzitu zeleného zbarvení listové plochy (Rodriguez et al., 2006). Takovouto optimalizací přihnojení je možné zvýšit výnosy zrna, rentabilitu produkce a efektivitu využití dusíku, a tím snížit nebezpečí znečištění životního prostředí (Zhao et al., 2014).

1) Hnojení na podzim

Po kvalitně hnojených předplodinách je v půdě k dispozici dostatek dusíku pro pšenici (Roberts et Slaton, 2014), která na podzim obecně nemá vysoké požadavky na dusík (Vaněk et al., 2016). Při vláhově slabém podzimu lze slabší porosty přihnojit dusíkem v dávce od $20 - 30 \text{ kg N.ha}^{-1}$ (Zimolka et al., 2005). Problém může vzniknout v případě raného setí nebo dlouhého vegetačně příznivého podzimu, kdy pšenice přerůstá, může tak dojít k vyčerpání dusíku z kořenové zóny a může nastat jeho nedostatek (Bittner, 2009). V tomto případě doporučují Roberts et Slaton (2014) přihnojit pšenici asi $30 - 60 \text{ kg N.ha}^{-1}$ podle předplodiny. Podzimní aplikace dusíku podporuje tvorbu biomasy, ale má jen malý vliv na konečné výnosy u dobře založených a řádně ošetřovaných porostů. Vzhledem k malým potřebám dusíku mladých rostlin pšenice v podzimním období a možností ztrát dusíku (Vaněk et al., 2016) je využití použitého dusíkatého hnojiva obecně nízké a v důsledku toho nemá tato aplikace příliš vysokou účinnost. Minerální dusík pocházející z hnojiv či vzniklý mineralizací organické hmoty, podléhá biologické imobilizaci a hladiny aplikovaného minerálního dusíku v půdě tak klesají relativně rychle (během dvou až tří týdnů po aplikaci hnojiva) (Efretuei et al., 2016). Podle Ruisi et al. (2015) je důležité šlechtit nové odrůdy pšenice na vyšší schopnost příjmu dusíku z půdy, aby tím byla zajištěna co nejvyšší

konkurenceschopnost vůči plevelům. Kvůli nízké schopnosti příjmu dusíku mladých rostlin (Vaněk et al., 2016), i když jsou podle Beche et al. (2014) dnešní odrůdy oproti starým efektivnější ve využívání dusíku, a vlivem různých ztrát dusíku dochází ke snižování účinku aplikovaných hnojiv. Mnoho studií prokazuje snížené využití dusíku aplikovaného při odnožování ve srovnání s aplikací v pozdějších růstových fázích (Efretuei et al., 2016).

Příjem dostatečného množství dusíku včetně ostatních živin během podzimní vegetace je důležité kvůli vytvoření energetických zásob a následnému přezimování rostlin. Nedostatek živin snižuje metabolickou aktivitu rostlin a výsledkem jsou slabé a špatně odnožené rostliny, které v zimě často vymrzají (Hřivna, 2012). Naopak nadbytek dusíku v ornici má inhibiční vliv na růst kořenů a tím se snižuje využitelnost a příjem hlouběji uloženého dusíku i vláhy (Ali et al., 2012). Zvyšuje se obsah kyseliny abscisové a dochází k omezení růstu kořenů. Rostliny tak mají méně kořenů s nižší příjmovou kapacitou pro živiny a vodu a hůře odolávají nepříznivým podmínkám jako je například chlad (Vaněk et al., 2016). Správnou mírou dusíkatého hnojení je možné v raném období stimulovat růst kořenů, což zvyšuje odběr vody z půdního profilu, efektivitu využívání vody a příjem živin. To je přínosné zejména pro živiny, které jsou v půdě špatně pohyblivé, jako například fosfor a draslík (Bushong et al., 2014). Kořeny pšenice mohou dosahovat hloubky až 1,5 m, ale asi 70 % podzemní biomasy se nachází v hloubce do 0,5 m (Orloff et al., 2012).

2) Hnojení v průběhu jarní vegetace

Hnojení dusíkem v průběhu druhé poloviny vegetace dělíme na regenerační, produkční a kvalitativní. Během těchto termínů se aplikuje většina dusíkatých hnojiv (Vaněk et al., 2016). Takto dělené jarní aplikace dusíkatých hnojiv zvyšují efektivitu využití dusíku, snižují ztráty dusíku z půdy vyplavováním a denitrifikací (Roberts et Slaton, 2014) a tím zvyšují množství reutilizovaného dusíku v zrnu (Bushong et al., 2014). Načasování dělených aplikací dusíkatých hnojiv se řídí podle stádia růstu pšenice a podle teplotních podmínek nikoliv podle kalendáře (Roberts et Slaton, 2014). Volí se zpravidla taková období, ve kterých se ovlivňuje utváření výnosových prvků (Vaněk et al., 2016).

Jednotlivé odrůdy mají rozdílnou potřebu dusíku v různých vývojových stádiích z pohledu tvorby výnosu. U odrůd tvořících výnos produktivitou klasu je vhodné zintenzivnit 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 se provádí po přezimování brzy na jaře (Vaněk et al., 2007). Aplikace dusíkatých hnojiv se realizuje jakmile to půdní a povětrnostní podmínky dovolí

a dusík by měl být pro rostliny přístupný nejlépe těsně před obnovou růstu po zimě (Roberts et Slaton, 2014).

Toto hnojení se provádí především s cílem podpořit zdravotní stav přezimovaných rostlin (Špaldon et al., 1986). Brzkým jarním hnojením se zkracuje doba nutná pro obnovu růstu pšenice (Zimolka et al., 2005), podporuje se tvorba odnoží (Vaněk et al., 2016) a zajistí se rychlý růst kořenů (Fageria et Moreira, 2011), s čímž souvisí i následná obnova nadzemní biomasy po zimě, která se projevuje intenzivní tvorbou a růstem odnoží (Zimolka et al., 2005). Regenerační hnojení, které je podle Roberts et Slaton (2014) nejdůležitějším termínem dusíkatého hnojení, spolu s produkčním nejvíce ovlivňují výšku a kvalitu výnosu pšenice (Kováčik, 2009). Avšak intenzivní stimulace růstu příliš vysokou dávkou dusíkatých hnojiv během regeneračního hnojení zvyšuje náchylnost rostlin na mrazová poškození a má zvýšený potenciál pro ztráty dusíku zvláště při chladném a vlhkém počasí (Roberts et Slaton, 2014).

Dávka dusíku se orientuje podle pozorování porostu po přezimování pomocí agrobiologické kontroly. Obvykle se dávka regeneračního hnojení pohybuje mezi 40 - 60 kg N.ha⁻¹ (Zimolka et al., 2005). Vaněk et al. (2007) udávají širší rozmezí dávky dusíkatých hnojiv a to 20 - 60 kg N.ha⁻¹. Po přezimování bývají rostliny poškozené mrazem, není tedy příliš vhodné používat kapalná hnojiva (Zimolka et al., 2005).

- **Produkční hnojení dusíkem**

Provádí se v době po odnožení na počátku sloupkování (Kováčik, 2009). Efreteui et al. (2016) ve svém pokusu dospěli k závěru, že za účelem maximalizace výnosu a efektivity využití dusíku by měla být dusíkatá hnojiva aplikována na ozimou pšenici nejdéle na počátku sloupkování a že zpoždění dusíkatého hnojení může vést ke snížení výnosu ve srovnání s výnosem získaným při dřívější aplikaci.

Načasování produkčního dusíkatého hnojení je proto velmi důležité (Roberts et Slaton, 2014), protože v tomto období dochází k diferenciaci vegetačního vrcholu (Vaněk et al., 2016) neboli zakládání klasů a s k utváření některých výnosotvorných prvků. Jsou to počet klasů na plochu a počet zrn v klasu (Roberts et Slaton, 2014). V tomto období je nutné zajistit rostlinám dostatek živin pro růst stébel založených při odnožování. Spolu s dostatečným počtem zrn v klasu to je předpoklad vysokého výnosu (Vaněk et al., 2016). Sloupkování je počáteční fází, kdy pšenice vykazuje maximální rychlost příjmu dusíku, která končí kvetením (Roberts et Slaton, 2014) a dochází k velkému nárůstu biomasy (Vaněk et al., 2007).

Produkčním hnojením tedy bezprostředně působíme na velikost klasu, podporujeme růst odnoží a listové plochy. Dávka dusíku vychází z chemických analýz rostlin (Zimolka et al., 2005), obsahu dusíku v půdě a povětrnosti. Dávka se zpravidla pohybuje v rozmezí

20 - 60 kg N.ha⁻¹ (Vaněk et al., 2016). Roberts et Slaton (2014) uvádějí dávku 90 - 120 kg N.ha⁻¹. 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; Roberts et Slaton, 2014).

- **Kvalitativní hnojení dusíkem**

Tato aplikace by se měla směřovat do období naduřování listové pochvy až maximálně do doby 2 týdnů po kvetení. Nejvyšší účinnost má však v době květu (Orloff et al., 2012). U slabších porostů, kde je nutné ještě posílit asimilaci a udržet co nejvyšší počet produktivních odnoží, se porosty hnojí již v období, kdy se objevuje praporcový list (Zimolka et al., 2005). Podle Vaněk et al., (2016) by se mělo toto hnojení aplikovat v období okolo metání. Aplikace během metání totiž ještě částečně podporuje výnos (Roberts et Slaton, 2014).

Kvalitativním hnojením ovlivňujeme především kvalitu zrna a HTZ (Vaněk et al., 2016; Špaldon et al., 1986). Při realizaci kvalitativního hnojení se málo kdy zvýší výnos (Kováčik, 2009; Vaněk et al., 2016). Své opodstatnění má spíše na lehkých půdách, v suchých letech nebo v letech s intenzivními srážkami (Kováčik, 2009). Za suchého počasí však nejsou předpoklady pro příjem dusíku a při vlhčím počasí může toto hnojení působit na vyšší výskyt houbových chorob, což se bez chemické ochrany může projevit poklesem výnosu a zhoršením kvality zrna (Vaněk et al., 2016). Na celkové fotosyntéze se v tomto období podílejí čtyři 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).

Běžně se aplikují dávky 20 - 30 kg N.ha⁻¹, ale účinnost tohoto hnojení je značně závislá na průběhu počasí (Vaněk et al., 2012). Při vysokém výnosovém potenciálu je podle Orloff et al. (2012) možné aplikovat dávku 30 - 50 kg N.ha⁻¹ kvůli zajištění kvality a podle Roberts et Slaton (2014) dávku až do 60 kg N.ha⁻¹ při navíc zjištěném nedostatku dusíku.

V této době je možné využít tuhá i kapalná hnojiva, ale Zimolka et al. (2005) varují, že je nutné dávat pozor, aby nedošlo k popálení porostu. Proto by měli být aplikovány nízkoprocentní roztoky nebo koncentrovaná hnojiva nejlépe pomocí speciálních aplikačních nástavců.

3.5.2 Hnojení pšenice fosforem

Hnojení fosforem je velmi důležitým faktorem pro dosažení vysokého výnosu (Lott et al., 2011). Podle Rastija et al. (2014) se zvyšuje výnos zrna pšenice až o 13 %.

Efektivita využití fosforu z hnojiv se však považuje za velmi špatnou, kvůli jeho chování v půdě (Ali et al., 2014). Až 80 % fosforu z aplikovaného hnojiva není k dispozici pro rostliny (Mosali et al., 2006), protože je fixován a adsorbován na částice půdy (Rastija et al., 2014) a přeměny mezi dostupným a nedostupným fosforem v půdě jsou velmi pomalými procesy (Ali et al., 2014). Bushong et al. (2014) tvrdí, že více záleží na množství již fixovaného fosforu v půdě než na jeho přísunu v hnojivech.

Odběr fosforu na 1 t zrna pšenice činí asi 5 kg. Celková dávka fosforu při výnosu zrna 8,8 t.ha⁻¹ tak může být 45 kg.ha⁻¹ (Vaněk et al., 2016). Pro optimalizaci dávky fosforečných hnojiv je vhodné využít rozborů půd na stanovení obsahu fosforu (Bushong et al., 2014) a odběr rostlinami dle předpokládaného výnosu. Při vysokém obsahu fosforu v půdě se hnojení vynechává (Zimolka et al., 2005).

Jelikož je fosfor v půdě málo pohyblivý (Černý et al., 2014), není přihnojování během vegetace příliš efektivní (Kováčik, 2009). Nejvhodnějším způsobem je aplikovat fosforečná hnojiva před zpracováním půdy a setím ozimé pšenice, aby došlo k jejich zapravení do půdy (Černý et al., 2014). Zapravení hnojiv do půdy podporuje hloubkový růst kořenů (Min et al., 2013). Mnoho studií potvrdilo, že účinky hnojení fosforem jsou pod velkým vlivem počasí. V letech charakterizovaných dostatečným zásobováním srážkami lze očekávat vyšší efektivitu hnojení, stejně jako výnos a pečárskou kvalitu pšenice (Pepó, 2007), ale na rozdíl od dusíku není reakce na fosforečné či draselné hnojení vždy znatelná (Bushong et al., 2014).

Půdy se sklonem k fixaci fosforu potřebují vyšší množství fosforečných hnojiv. Zlepšení technologie hnojení nebo aplikace vyšších dávek fosforu může zlepšit úrodnost půd s nedostatkem fosforu, zvýšit výnosy plodin (Petošić et al., 2003), efektivitu využití a příjem dusíku. Vhodné hnojení fosforem podporuje příjem dusíku (Dai et al., 2016) a tím snižuje množství zbytkových dusičnanů v půdě až o 39 % (Zhou et al., 2016). Vysoké dávky fosforu již výnos nezvyšují (Antunović et al., 2012) a mohou dokonce způsobovat snížení výnosu (Dai et al., 2016), ale pozitivně ovlivňují kvalitu zrna a obsah bílkovin (Antunović et al., 2012). Podle Roberts et Slaton (2014) je v zásaditých půdách s vyšším obsahem CaCO₃ a nízkým obsahem fosforu lepší využít kapalných fosforečných hnojiv, která se zapravují do půdy. Ty totiž zvyšují příjem a translokaci fosforu do zrna (McBeath et al., 2011), efektivitu jeho využití o 28 % (Ali et al., 2014) a s tím i výnos zrna (McBeath et al., 2011) ve srovnání s tuhými fosforečnými hnojivy aplikovanými před setím. Zrychluje se i metabolismus fosforu v rostlině (Ali et al., 2014)

3.5.3 Hnojení pšenice draslíkem

Velké plochy zemědělské půdy na světě mají nedostatek draslíku (Tan et al., 2012). Problém nastává, když je z pozemku odvážen i vedlejší produkt, který je používán například jako topivo. Při dozrávání se totiž většina draslíku zůstává ve slámě. V takovém případě je návratnost draslíku do půdy draselnými hnojivy jen 35 %. V půdách s nízkým obsahem draslíku může dojít k rychlému vyčerpání zásob, když není draslík doplňován hnojivy a pokud jsou odváženy posklizňové zbytky z pozemku (Römheld et Kirkby, 2010).

Se zvyšující se dávkou draslíku se zvyšuje výnos plodin (Baque et al., 2006) až o 20 % (Niu et al., 2013), avšak jen do určité míry. Vyšší dávky draslíku mohou inhibovat růst rostlin v počátečních vývojových stádiích (Bushong et al., 2014) a dokonce snižovat efektivitu využití draslíku (Niu et al., 2013).

Při hnojení draslíkem se vychází ze stejných principů jako při hnojení fosforem (Černý et al., 2014). Pšenice má na draslík však vyšší požadavky než na fosfor. Odběr draslíku na tunu zrna je okolo 19 kg. Celková dávka se pak pohybuje okolo 170 kg K.ha⁻¹ (Vaněk et al., 2016).

Při výpočtu dávky draselného hnojiva se vychází z obsahu přístupného draslíku v půdě (Roberts et Slaton, 2014) s ohledem na půdní druh a odběru draslíku rostlinou dle předpokládaného výnosu (Niu et al., 2013). K výživě plodin draslíkem částečně přispívá i nevyměnitelný draslík (Prasad, 2009), avšak na ni nemá velký vliv. Stanovuje se pouze obsah výměnného draslíku v půdě, který je pro výživu rostlin důležitější (Römheld et Kirkby, 2010). Dalším faktorem, který hraje určitou roli je využití rostlinných zbytků předplodiny, které bývají bohaté na draslík (Zimolka et al., 2005).

Aplikace draselných hnojiv se realizuje před předseťovou přípravou pozemku. Přítomnost draslíku je pro klíčící rostliny důležitější než fosforu, protože draslík není ve velkém množství obsažen v zásobních látkách semene (Černý et al., 2014). Dostatečná vlhkost půdy zvyšuje účinnost použití draselných hnojiv (Bushong et al., 2014). Pěstuje-li se však pšenice v oblastech s lehkými půdami a s intenzivními srážkami doporučují Römheld et Kirkby (2010) dávku draslíku rozdělit a zbytek aplikovat během vegetace. Tímto způsobem se sníží množství vyplaveného draslíku, zvýší se účinnost použitých hnojiv a je vhodný i z hlediska přihnojení pšenice v době intenzivního růstu a vyšší potřeby draslíku v jarním období (Yara, 2015).

4 Metodika

4.1 Polní pokus

Diplomová 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 místo brambor využívána silážní kukuřice.

Hodnoceno bylo sedm variant na pokusných stanovištích Červený Újezd, Humpolec a Praha - Suchdol: nehnojená varianta (**kontrola**), organicky hnojené varianty: čistírenské kaly (**Kal**) a chlévský hnůj (**Hnůj**), minerálně hnojené varianty: hnojení minerálními hnojivy N, P a K (**NPK**) a hnojení dusíkatým minerálním hnojivem (**N**) a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv: poloviční dávka hnoje s přihnojením minerálním dusíkatým hnojivem (**Hnůj ½ + N**) a ječná sláma s přihnojením 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 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 hnědozem 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, podobný 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 1.

Tabulka 1: 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

4.1.2 Hnojení pokusu

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 pšenici aplikováno v dávce 140 kg N.ha⁻¹. Dávka dusíku je rozdělena na polovinu. První je aplikována jako regenerační hnojení a druhá jako hnojení produkční.

Varianta NPK

Hnojení dusíkem je stejné jako u varianty N a odpovídá dávce 140 kg N.ha⁻¹. 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 snižená dávka chlévského hnoje kombinována s aplikací dusíkatých minerálních hnojiv, která odpovídá způsobu hnojení varianty N s jinou dávkou živin. K pšenici se aplikuje 110 kg N.ha⁻¹. Fosfor a draslík je dodáván pouze v dávce hnoje.

Varianta N + sláma

V této variantě je využívána ječná sláma, která je aplikována jako všechna organická hnojiva na podzim v dávce 5 t.ha⁻¹ před zpracováním půdy k bramborům, která odpovídá 18 kg N.ha⁻¹, 6 kg P.ha⁻¹ a 47 kg K.ha⁻¹. K pšenici se aplikuje minerálním dusíkatým hnojivem 140 kg N.ha⁻¹. Hnojení minerálním dusíkem odpovídá variantě N.

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

4.2 Laboratorní zpracování

Sklizená biomasa byla v laboratoři nejprve vysušena na konstantní vlhkost při 40 °C. Vysušená biomasa byla zpracována na střížném mlýnu Retsch SM 100 se sítím o průměru ok 1 mm a následně byly zpracované vzorky podrobeny chemické analýze.

4.2.1 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost je podle ČSN ISO 7971-2 definována jako hmotnost jednoho litru zrna nasypaného podle předepsaného postupu vyjádřená v gramech. K měření objemové hmotnosti zrna byl použit obilní zkoušeč Meopta 1 l Vzor 1938. Vzorek byl vysypán do jednolitrové odměrné nádoby, která byla následně zvážena. Měření každého vzorku bylo třikrát opakováno a získané hodnoty byly zprůměrovány.

4.2.2 Stanovení obsahu dusíku

Obsah dusíku se stanovuje metodou podle Kjeldahla. Celý proces se skládal ze tří fází - mineralizace, destilace a titrace. K mineralizaci byl navážen 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 dochází k varu s kyselinou sírovou a dusík je takto převeden na anorganickou formu. Dále byl vzorek destilován vodní párou, tak došlo k uvolnění anorganicky vázaného dusíku v podobě amoniaku, který byl následně jímán v přebytku titračního roztoku kyseliny borité. Zpětnou acidobazickou titrací přebytku kyseliny borité byl stanoven skutečný obsah dusíku.

Stanovení obsahu dusíku bylo uskutečněno na automatických přístrojích značky Gerhardt. Mineralizace byla provedena na přístroji Kjeldatherm a destilace s následnou titrací na přístroji Vapodest 50S.

4.2.3 Odběr dusíku

Na základě zjištěných výnosů a stanovených obsahů dusíku zrna i slámy byl vypočítán odběr dusíku pšenicí na hodnocených variantách v každém ročníku vybraných stanovišť.

4.2.4 Bilance dusíku

Na základě hnojení a odběru dusíku pšenicí byla vypočtena bilance dusíku pro každou variantu hnojení a ročník v každé sledované lokalitě.

5 Výsledky

K vyhodnocení pokusu byly použity výsledky z dlouhodobého stacionárního pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin České Zemědělské Univerzity v Praze. Z důvodu změny používané odrůdy pšenice byly použity čtyřleté výsledky z agronomických let 2013/14 a 2014/15 (Alana), 2015/16 a 2016/17 (Reform).

5.1 Výnos zrna

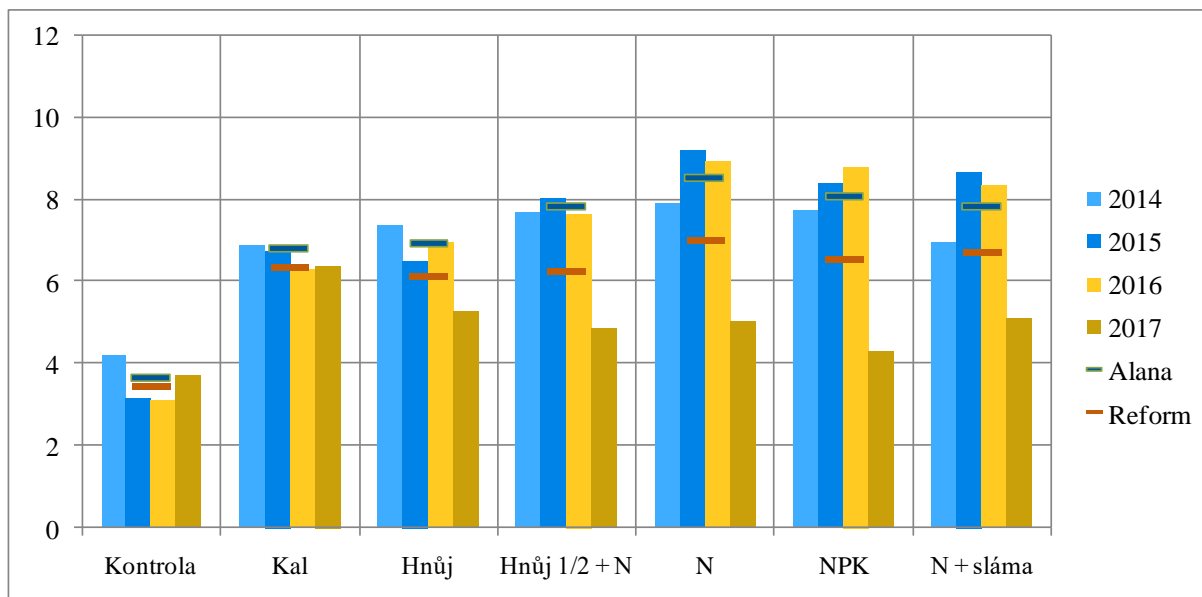
5.1.1 Červený Újezd

Výnos zrna na stanovišti Červený Újezd dokumentuje graf 3. Na uvedeném stanovišti se výnos zrna minerálně hnojených variant pohyboval v intervalu 4,32 - 9,2 t.ha⁻¹, organicky hnojených variant v intervalu 5,28 - 7,36 t.ha⁻¹ a variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 4,88 - 8,69 t.ha⁻¹. Nejvyšších výnosů bylo v Červeném Újezdě dosaženo většinou na minerálně hnojených variantách, u kterých zejména v ročnících 2015 a 2016 byla zjištěna nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě. V roce 2017 byla však reakce především na minerální hnojení minimální a dosažené výnosy byly nejnižší. Nejvyšší výnos zrna byl v letech 2014 (7,9 t.ha⁻¹), 2015 (9,2 t.ha⁻¹) a 2016 (8,93 t.ha⁻¹) zjištěn na variantě N a v roce 2017 na variantě Kal (6,37 t.ha⁻¹), které byly o 88,1 %, 190,7 %, 186,9 % a 70,2 % vyšší než výnos zrna kontrolní varianty daného roku.

Nejnižší výnosy zrna hnojených variant byly v každém roce zaznamenány na organicky hnojených variantách. Oproti ostatním ročníkům byly výnosy zrna v roce 2017 na variantách hnojených minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv nejnižší. Nejnižší výnos zrna hnojených variant byl v roce 2014 zaznamenán na variantě Kal (6,88 t.ha⁻¹), v roce 2015 na variantě Hnůj (6,51 t.ha⁻¹), v roce 2016 na variantě Kal (6,32 t.ha⁻¹) a v roce 2017 na variantě NPK (4,32 t.ha⁻¹), které byly o 63,9 %, 105,7 %, 103,1 % a 15,4 % vyšší než výnos zrna kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Červený Újezd dosahovala vyšších výnosů zrna odrůda Alana. Alana měla mezi ročníky na všech variantách vyrovnanější výnosy než odrůda Reform a zpravidla u ní nedocházelo k výraznému kolísání. U odrůdy Reform byly zjištěny velké rozdíly ve výnosu zrna mezi hodnocenými ročníky na variantách Hnůj 1/2 + N, N, NPK a N + sláma. Tyto rozdíly činily 57 %, 76,8 %, 103,7 % a 62,9 %. Zatímco u odrůdy Alana byl nejvyšší rozdíl o 24,9 % zjištěn u varianty N + sláma. Jen na variantě Kal byly obě odrůdy vyrovnané a nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mezi ročníky.

Graf 3: Výnos zrna při 100 % sušíně na stanovišti Červený Újezd ($t \cdot ha^{-1}$)



5.1.2 Humpolec

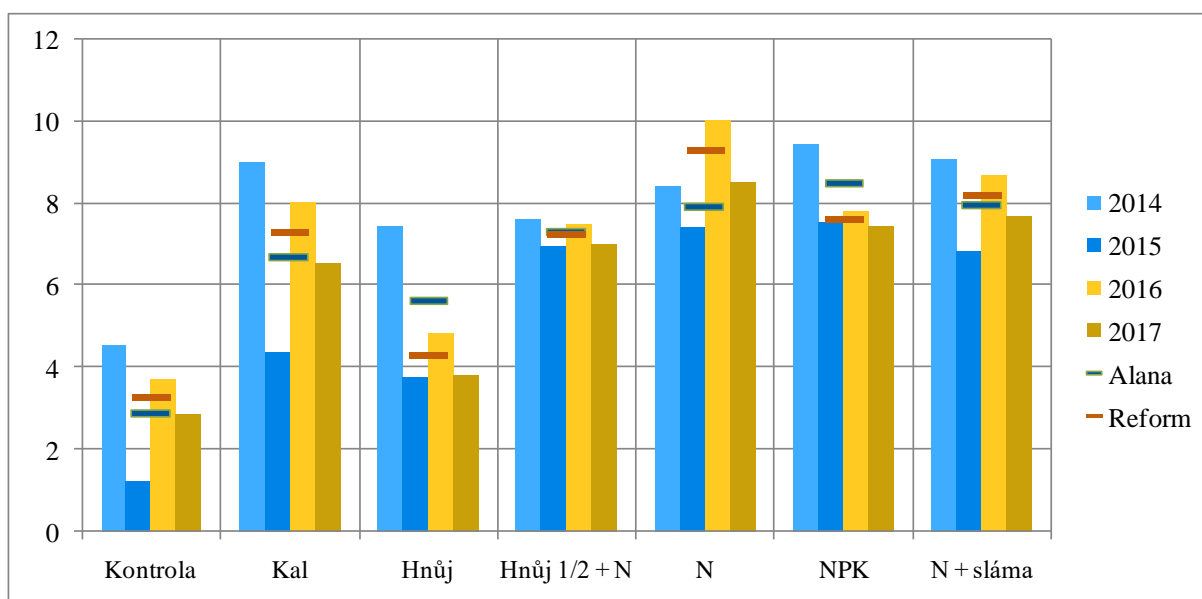
Výnos zrna na stanovišti Humpolec znázorňuje graf 4. Na uvedeném stanovišti se výnos zrna minerálně hnojených variant pohyboval v intervalu $7,43 - 10,04 t \cdot ha^{-1}$, organicky hnojených variant v intervalu $3,78 - 8,99 t \cdot ha^{-1}$ a variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí $6,85 - 9,1 t \cdot ha^{-1}$. Nejvyšších výnosů zrna bylo dosahováno na variantách hnojených minerálními hnojivy a kombinací minerálních a organických hnojiv. Organicky hnojené varianty byly oproti ostatním nejméně vyrovnané a mezi ročníky kolísavé. Při porovnání ročníků byly nejvyšší výnosy na většině variant zaznamenány v roce 2014. Výjimkou byla pouze varianta N, na které byl v roce 2016 výnos vyšší. Vzhledem k nejnižšímu výnosu kontrolní varianty v roce 2015 ($1,23 t \cdot ha^{-1}$) oproti ostatním byla zaznamenána nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě ze všech sledovaných ročníků. Tato reakce byla nejvíce patrná na variantách hnojených minerálními hnojivy a kombinací minerálních a organických hnojiv. Nejvyšší výnos zrna v roce 2014 ($9,45 t \cdot ha^{-1}$) a 2015 ($7,54 t \cdot ha^{-1}$) byl zjištěn na variantě NPK, v roce 2016 ($10,04 t \cdot ha^{-1}$) a 2017 ($8,51 t \cdot ha^{-1}$) na variantě N, které byly o 108,9 %, 513 %, 169,8 % a 198,2 % vyšší než výnos zrna kontrolní varianty daného roku.

Oproti ostatním ročníkům byly v roce 2015 na všech variantách hnojení zaznamenány nejnižší výnosy zrna. Nejnižší výnosy zrna hnojených variant byly v každém roce zaznamenány na variantě Hnůj, který v roce 2014 byl $7,46 t \cdot ha^{-1}$, v roce 2015 byl $3,78 t \cdot ha^{-1}$, v roce 2016 byl $4,84 t \cdot ha^{-1}$ a v roce 2017 byl $3,79 t \cdot ha^{-1}$, které byly o 65 %, 207,3 %, 30 % a 32,8 % vyšší než výnos zrna kontrolní varianty daného roku. Druhá organicky hnojená

varianta (Kal) v ročnících 2014, 2016 a 2017 dosahovala srovnatelných výnosů zrna s variantami hnojenými minerálně nebo kombinací minerálních a organických hnojiv.

Odrůda Reform dosáhla vyššího výnosu na variantách Kal, N a N + sláma, zatímco odrůda Alana měla vyšší výnos na variantách Hnůj a NPK. Na variantě Hnůj 1/2 + N byly obě odrůdy vyrovnané a nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mezi ročníky. Na stanovišti Humpolec byla vyrovnanější odrůda Reform, u které byly zjištěny nižší rozdíly mezi ročníky než u odrůdy Alana. U obou odrůd byl největší meziroční rozdíl zaznamenán na variantě Kal. U odrůdy Reform rozdíl činil 22,3 % a u Alany činil 104,3 %.

Graf 4: Výnos zrna při 100 % sušině na stanovišti Humpolec ($t \cdot ha^{-1}$)



5.1.3 Suchdol

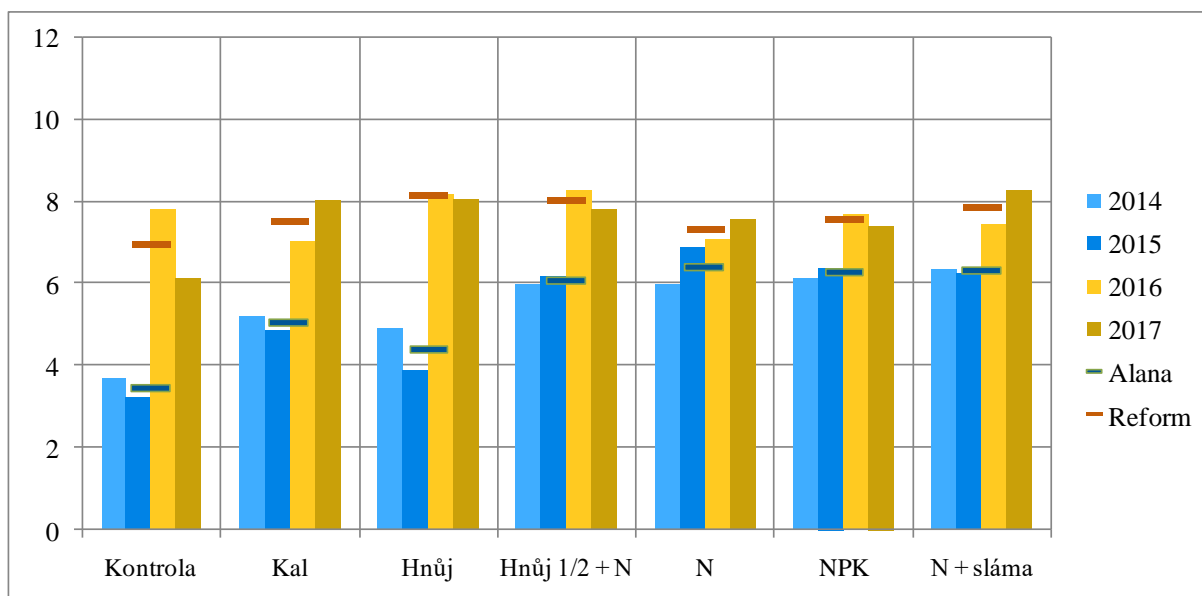
Výnos zrna na stanovišti Suchdol zobrazuje graf 5. Na uvedeném stanovišti se výnos zrna minerálně hnojených variant pohyboval v intervalu 5,98 - 7,71 $t \cdot ha^{-1}$, organicky hnojených variant v intervalu 3,9 - 8,19 $t \cdot ha^{-1}$ a variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 5,96 - 8,29 $t \cdot ha^{-1}$. Nejvyšších výnosů zrna bylo většinou dosahováno na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv. Nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě byla zjištěna v roce 2015 u variant Hnůj 1/2 + N (o 89,9 %), N (o 111,2 %), NPK (o 96,6 %) a N + sláma (o 92,8 %). Na stanovišti Suchdol v roce 2016 byly zaznamenány nižší výnosy zrna u variant Kal (7,02 $t \cdot ha^{-1}$), N (7,09 $t \cdot ha^{-1}$), NPK (7,71 $t \cdot ha^{-1}$) a N + sláma (7,45 $t \cdot ha^{-1}$) než nehnojené kontrolní varianty (7,82 $t \cdot ha^{-1}$), které byly o 10,2 %, 9,3 %, 1,4 % a 4,7 % nižší. Při porovnání ročníků bylo nejvyšších výnosů dosahováno v letech 2016 a 2017, mezi kterými nebyly zjištěny výrazné rozdíly a výnos všech hnojených variant byl velmi podobný. Nejvíce

vyrovnaný výnos byl stanoven na variantách N a NPK, kde docházelo k nejnižšímu kolísání mezi ročníky. Nejvyšší výnos zrna byl v roce 2014 dosažen na variantě N + sláma ($6,35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), v roce 2015 na variantě N ($6,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), v roce 2016 na variantě Hnůj 1/2 + N ($8,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a v roce 2017 na variantě N + sláma ($8,29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), které byly o 73,1 %, 111,2 %, 5,6 % a 35,1 % vyšší než výnos zrna kontrolní varianty daného roku.

Ve srovnání s ostatními ročníky byly nejnižší výnosy zrna zaznamenány v ročnících 2014 a 2015. Nejnižší výnosy zrna hnojených variant v letech 2014 ($4,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a 2015 ($3,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byly zaznamenány na variantě Hnůj, v roce 2016 na variantě Kal ($7,02 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a v roce 2017 na variantě NPK ($7,41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), které byly o 34,5 %, 19,8 %, -10,2 % a 20,8 % vyšší než výnos kontrolní varianty daného roku.

Z grafu je patrný výrazný rozdíl především mezi odrůdami, které se na stanovišti Suchdol značně lišily. Odrůda Alana dosahovala na všech variantách nižších výnosů než odrůda Reform a byla mezi ročníky méně vyrovnaná. Největší rozdíl byl u Alany zaznamenán na variantě Hnůj a činil 26,4 %, zatímco u odrůdy Reform byl nejvyšší rozdíl na variantě Kal a činil 12,5 %. U Alany byla zjištěna vyšší reakce na hnojení především minerálními nebo kombinací minerálních a organických hnojiv. Její reakce na organické hnojení byla nízká a dosahovala tak na variantách Kal a Hnůj nejnižších výnosů. Nejvyšších výnosů dosahovala na minerálně hnojených variantách. U odrůdy Reform byly zaznamenány vysoké výnosy kontrolní varianty. Výnos zrna odrůdy Reform se mezi jednotlivými variantami hnojení téměř nelišil.

Graf 5: Výnos zrna při 100 % sušíně na stanovišti Suchdol (t.ha⁻¹)



5.1.4 Porovnání výnosu zrna hodnocených stanovišť

Jednotlivá stanoviště se od sebe lišila především reakcí na jednotlivé varianty hnojení. Na stanovišti Červený Újezd byly nejvyšší výnosy zrna zaznamenány především na minerálně hnojených variantách, na stanovišti Humpolec na variantách hnojených minerálně či kombinací minerálních a organických hnojiv. Na stanovišti Suchdol byly všechny varianty nejvíce vyrovnané. Nejvyšší výnosy zrna byly zpravidla zjištěny na stanovišti Červený Újezd přes to, byl celkově nejvyšší výnos zrna stanoven na stanovišti Humpolec na variantě N (10,04 t.ha⁻¹), na kterém však byly výnosy zpravidla nejnižší a mezi jednotlivými variantami i ročníky nejméně vyrovnané. Nejnižší výnosy hnojených variant byly nejčastěji zjištěny na organicky hnojených variantách, ale na stanovišti Suchdol u odrůdy Reform naopak na minerálně hnojených variantách, přičemž u nich byly zaznamenány minimální rozdíly oproti ostatním variantám hnojení. Celkově nejnižší výnos hnojené varianty byl zjištěn na stanovišti Humpolec v roce 2015 na variantě Hnůj (3,78 t.ha⁻¹), ale ve srovnání s ostatními stanovišti byly na většině variant obecně nejnižší výnosy zrna zjištěny na stanovišti Suchdol v letech 2014 a 2015. Pšenice na stanovišti Humpolec však nejvíce reagovala na hnojení zvýšením výnosu oproti nehnojené kontrolní variantě a to především v roce 2015, ve kterém byl zaznamenán velmi nízký výnos kontrolní varianty (1,23 t.ha⁻¹) a výnos nejvýnosnější varianty NPK tak byl o 513 % vyšší. Naopak na stanovišti Suchdol došlo k výraznější reakci na hnojení jen u odrůdy Alana a to na variantách hnojených minerálně nebo kombinací minerálního a organického hnojení.

Z pohledu odrůd dosahovala vyšších průměrných výnosů na všech variantách na stanovišti Červený Újezd odrůda Alana a na stanovišti Suchdol odrůda Reform. V Humpolci byly obě odrůdy značně rozdílné mezi jednotlivými variantami hnojení. Celkově z pohledu výnosu na stanovištích Suchdol a Humpolec byla vyrovnanější odrůda Reform. Odrůda Alana byla stabilnější v Červeném Újezdu, ale v Humpolci byly meziroční rozdíly značné především na organicky hnojených variantách.

5.2 Objemová hmotnost zrna

5.2.1 Červený Újezd

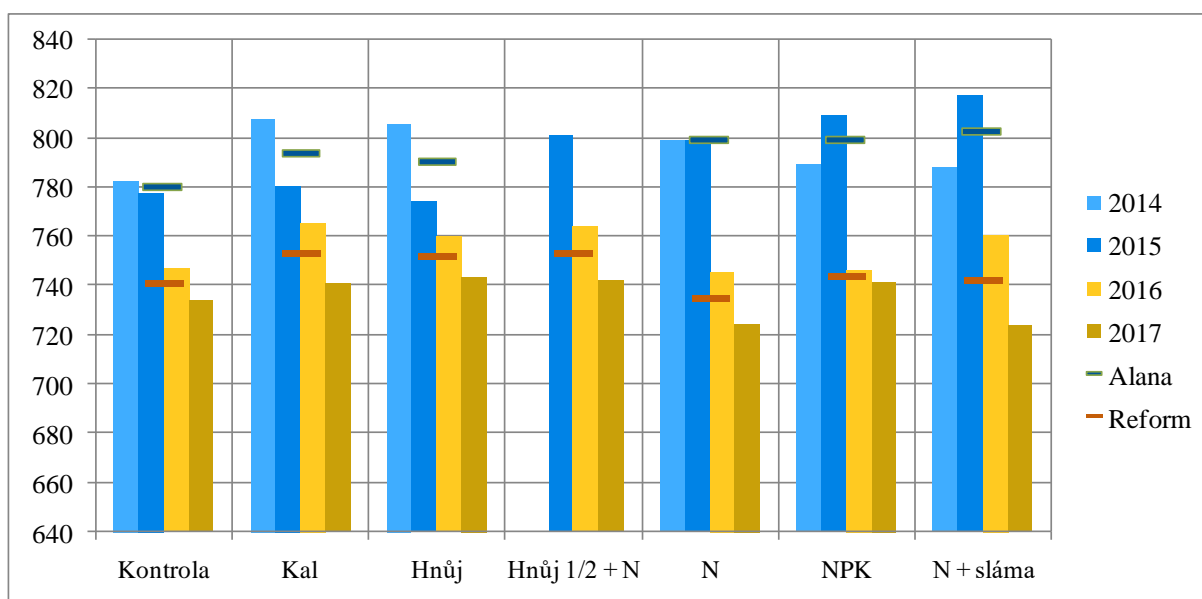
Objemovou hmotnost zrna na stanovišti Červený Újezd dokumentuje graf 6. Na uvedeném stanovišti se objemová hmotnost minerálně hnojených variant pohybovala v intervalu 725 - 809 g.l⁻¹, organicky hnojených variant v intervalu 741 - 808 g.l⁻¹ a variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 724 - 818 g.l⁻¹. Na stanovišti Červený Újezd byly zaznamenány nižší hodnoty objemové hmotnosti hnojených variant než kontroly v roce 2015 u varianty Hnůj (774 g.l⁻¹), v roce 2016 u variant N (746 g.l⁻¹) a NPK (747 g.l⁻¹) a v roce 2017 u variant N (725 g.l⁻¹) a N + sláma (724 g.l⁻¹), které byly o 0,5 %, 0,3 %, 0,1 %, 1,3 % a 1,5 % nižší. Při porovnání ročníků bylo nejvyšších hodnot objemové hmotnosti dosahováno v letech 2014 a 2015, ve kterých byla zaznamenána i nejvyšší reakce na hnojení zvýšením objemové hmotnosti zrna oproti kontrolní variantě, která byla v roce 2014 na variantě Kal (o 3,21 %) a v roce 2015 na variantě N + sláma (o 5,1 %). V roce 2014 byla objemová hmotnost zrna nejvyšší na variantách hnojených organickými hnojivy, v roce 2015 na variantě N a N + sláma, v roce 2016 opět na variantách hnojených organickými hnojivy a v roce 2017 na variantě Hnůj a Hnůj 1/2 + N. Mezi jednotlivými ročníky jsou z grafu patrné značné rozdíly na většině hnojených variant. V roce 2014 byly hodnoty nejvíce vyrovnány oproti ostatním ročníkům, jelikož byly zaznamenány relativně malé rozdíly mezi jednotlivými variantami hnojení. Nejvyšší hodnota objemové hmotnosti byla v roce 2014 zjištěna na variantě Kal (808 g.l⁻¹), v roce 2015 na variantě N + sláma (818 g.l⁻¹), v roce 2016 na variantě Kal (766 g.l⁻¹) a v roce 2017 na variantě Hnůj (744 g.l⁻¹), které byly o 3,2 %, 5,1 %, 2,4 % a 1,3 % vyšší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

Ve srovnání s ostatními ročníky byly nejnižší hodnoty objemové hmotnosti zrna na všech variantách hnojení stanoveny v roce 2017. Kromě roku 2015 byly nejnižší hodnoty objemové hmotnosti zrna hnojených variant zjištěny na variantách hnojených minerálními

hnojivy a na variantě N + sláma. Nejnižší hodnota objemové hmotnosti byla v roce 2014 změřena na variantě N + sláma (788 g.l⁻¹), v roce 2015 na variantě Hnůj (774 g.l⁻¹), v roce 2016 na variantě N (746 g.l⁻¹) a v roce 2017 na variantě N + sláma (724 g.l⁻¹), které byly o 0,7 %, -0,5 %, -0,3 % a -1,5 % vyšší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

Mezi odrůdami jsou z grafu patrné značné rozdíly v objemové hmotnosti zrna, kterou měla odrůda Alana výrazně vyšší než odrůda Reform na každé hnojené variantě včetně kontrolní nehnojené varianty. V roce 2014 byly stanoveny nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti na variantách hnojených organickými hnojivy, zatímco v roce 2015 na variantě N + sláma a NPK. Odrůda Reform v obou ročnících (2016 a 2017) dosahovala nejvyšších hodnot na organicky hnojených variantách. Odrůda Reform byla navíc méně vyrovnaná mezi ročníky a největší meziroční rozdíl byl u ní zjištěn na variantě N + sláma a činil 5,1 %, zatímco největší rozdíl u odrůdy Alana byl na variantě Hnůj a činil 4,12 %.

Graf 6: Objemová hmotnost zrna na stanovišti Červený Újezd (g.l⁻¹)



5.2.2 Humpolec

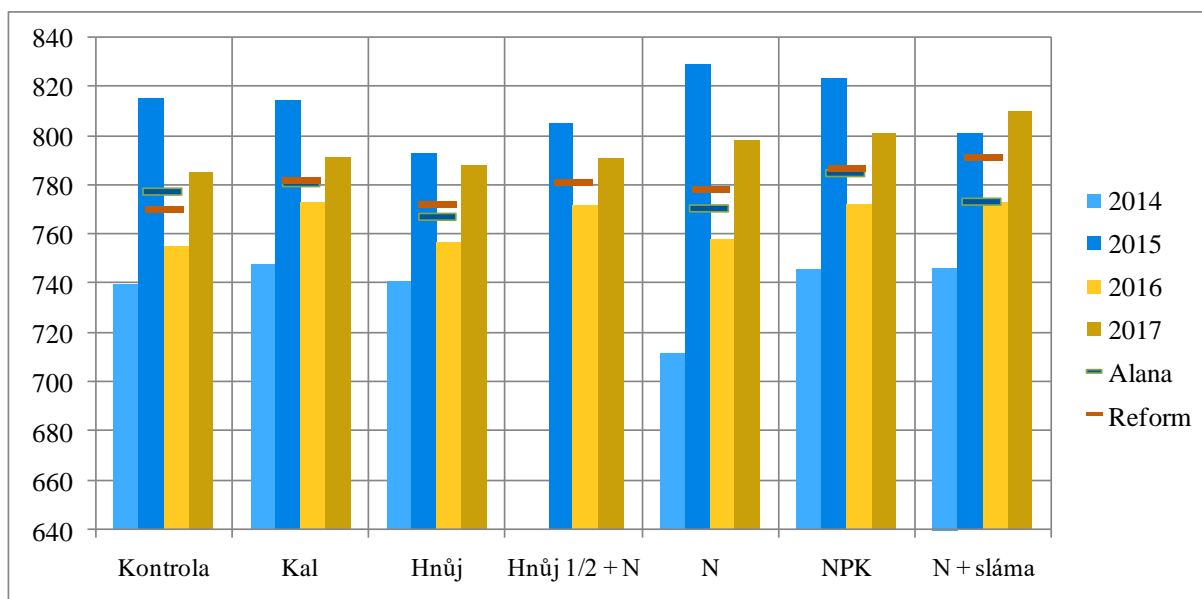
Objemovou hmotnost zrna na stanovišti Humpolec zobrazuje graf 7. Na uvedeném stanovišti se objemová hmotnost minerálně hnojených variant pohybovala v intervalu 712 - 829 g.l⁻¹, organicky hnojených variant v intervalu 741 - 814 g.l⁻¹ a variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 746 - 810 g.l⁻¹. Na stanovišti Humpolec byly zaznamenány nižší hodnoty objemové hmotnosti hnojených variant než kontroly v roce 2014 u varianty N (712 g.l⁻¹) a v roce 2015 u variant Kal (814 g.l⁻¹), Hnůj (793 g.l⁻¹), Hnůj 1/2 + N (805 g.l⁻¹) a N + sláma (801 g.l⁻¹), které byly o 3,8 %, 0,1 %, 0,1 %, 0,1 % a 0,1 % nižší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

2,7 %, 1,2 % a 1,8 % nižší. Nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti byly zaznamenány na každé variantě hnojení především v roce 2015, které však neznamenal nejvyšší reakci na hnojení zvýšením objemové hmotnosti oproti kontrolní variantě. Ta byla zjištěna na variantě N + sláma (o 3,12 %) v roce 2017. V jednotlivých ročnících byly nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti stanoveny na různých variantách hnojení. V roce 2014 se jednalo především o varianty Kal, NPK a N + sláma, v roce 2015 především o minerálně hnojené varianty, v roce 2016 i 2017 především o variantu N + sláma. Z grafu jsou patrné značné rozdíly mezi jednotlivými ročníky na všech variantách hnojení. V roce 2017 byly hodnoty objemové hmotnosti mezi variantami hnojení nejvíce vyrovnané. V roce 2014 i 2015 byly rozdíly mezi variantami hnojení výraznější. Nejvyšší hodnota objemové hmotnosti byla v roce 2014 zjištěna na variantě Kal (748 g.l^{-1}), v roce 2015 na variantě N (829 g.l^{-1}), v roce 2016 na variantě N + sláma (773 g.l^{-1}) a v roce 2017 také na variantě N + sláma (810 g.l^{-1}), které byly o 1,1 %, 1,7 %, 2,4 % a 3,1 % vyšší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

Ve srovnání s ostatními ročníky byly nejnižší hodnoty na všech variantách hnojení stanoveny v roce 2014. Nejnižší hodnota objemové hmotnosti hnojených variant byla v roce 2014 stanovena na variantě N (712 g.l^{-1}), v letech 2015 (793 g.l^{-1}), 2016 (757 g.l^{-1}) i 2017 (788 g.l^{-1}) byly zaznamenány na variantě Hnůj. Tyto hodnoty byly o -3,8 %, -2,7 %, 0,2 % a 0,4 % vyšší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Humpolec dosahovala nejvyšších hodnot objemové hmotnosti odrůda Alana a to především v roce 2015. Odrůda Reform měla vyšší objemovou hmotnost jen na variantě N + sláma v roce 2017 oproti Alaně. U Alany však byly zaznamenány značné rozdíly mezi ročníky a proto byla odrůda Reform jednoznačně vyrovnanější. U obou odrůd byl největší rozdíl stanoven na variantě N. U Alany činil 16,5 %, zatímco u odrůdy Reform činil 5,2 %.

Graf 7: Objemová hmotnost zrna na stanovišti Humpolec (g.l^{-1})



5.2.3 Suchdol

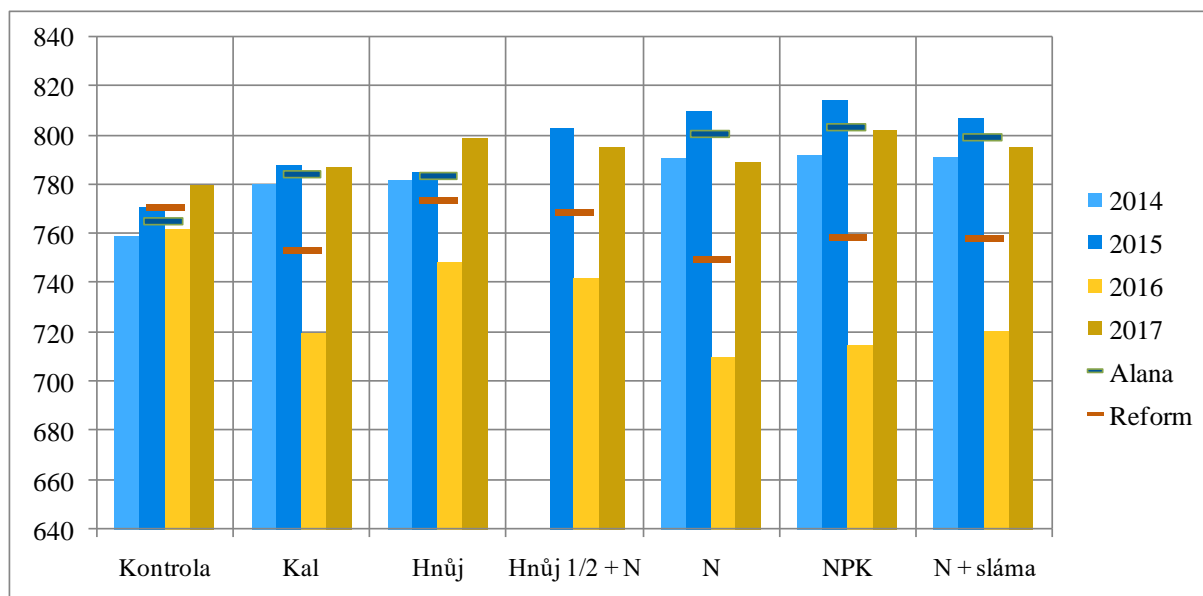
Objemovou hmotnost zrna na stanovišti Suchdol znázorňuje graf 8. Na uvedeném stanovišti se objemová hmotnost minerálně hnojených variant pohybovala v intervalu $711 - 815 \text{ g.l}^{-1}$, organicky hnojených variant v intervalu $720 - 799 \text{ g.l}^{-1}$ a variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí $721 - 808 \text{ g.l}^{-1}$. Při porovnání ročníků bylo nejvyšších hodnot objemové hmotnosti dosahováno především v roce 2015, ve kterém byla i oproti ostatním stanovištím zaznamenána nejvyšší reakce na hnojení zvýšením objemové hmotnosti zrna oproti kontrolní variantě a to především na variantách hnojených minerálními hnojivy a kombinací minerálních a organických hnojiv. Nejvyšší však byla na variantě NPK (o 5,6 %). Kromě roku 2016 byly v každém ročníku nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti stanoveny na minerálně hnojených variantách a variantě N + sláma. V roce 2016 byla nejvyšší hodnota objemové hmotnosti stanovena na kontrolní variantě. Jedná se o jediný ročník na stanovišti Suchdol, ve kterém byly zaznamenány nižší hodnoty objemové hmotnosti všech variant hnojení oproti kontrolní variantě. Objemová hmotnost byla nižší u variant Kal o 5,6 %, Hnůj o 1,8 %, Hnůj 1/2 + N o 2,7 %, N o 6,8 %, NPK o 6,2 % a N + sláma o 5,5 %. Až na ročník 2016, ve kterém byla objemová hmotnost velmi nízká, nebyly mezi jednotlivými ročníky výrazné rozdíly. Nejvíce vyrovnané hodnoty byly stanoveny v roce 2017, ve kterém jsou rozdíly mezi jednotlivými variantami hnojení malé. Nejvyšší hodnota objemové hmotnosti byla v roce 2014 (792 g.l^{-1}) i 2015 (815 g.l^{-1}) zjištěna na variantě NPK, v roce 2016 na variantě Hnůj (749 g.l^{-1}) a v roce 2017 také

na variantě NPK (802 g.l⁻¹), které byly o 4,3 %, 5,6 %, -1,8 % a 2,87 % vyšší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Suchdol byly nejnižší hodnoty objemové hmotnosti hnojených variant zjištěny především na variantách hnojených organickými hnojivy. Výjimku tvořil rok 2016, ve kterém měla varianta Kal srovnatelnou objemovou hmotnost s ostatními variantami hnojení a nejnižších hodnot dosahovala spíše varianta N. Při porovnání ročníků byla na každé variantě hnojení stanovena nejnižší hodnota objemové hmotnosti v roce 2016, který se od ostatních ročníků značně lišil. Nejnižší hodnota objemové hmotnosti byla v roce 2014 změřena na variantě Kal (780 g.l⁻¹), v roce 2015 na variantě Hnůj (785 g.l⁻¹), v roce 2016 na variantě N (711 g.l⁻¹) a v roce 2017 na variantě Kal (787 g.l⁻¹), které byly o 2,8 %, 1,8 %, -6,8 % a 0,9 % vyšší než objemová hmotnost kontrolní varianty daného roku.

Vyšších hodnot objemové hmotnosti zrna na stanovišti Suchdol dosahovala odrůda Alana, která byla i vyrovnanější mezi ročníky. U Alany je patrný vyšší vliv minerálního hnojení na objemovou hmotnost zrna. Na organicky hnojených variantách dosahovala v obou letech nižších hodnot než na variantách hnojených minerálně nebo kombinací minerálního a organického hnojení. Reform byl v roce 2017 mezi variantami hnojení vcelku vyrovnaný, ale byly zaznamenány vysoké rozdíly mezi ročníky. V roce 2016 byly zaznamenány nejnižší hodnoty objemové hmotnosti oproti ostatním stanovištím i ročníkům. U obou odrůd byl největší meziroční rozdíl zjištěn na variantě NPK. U odrůdy Alana činil 2,7 % a u odrůdy Reform 12,2 %.

Graf 8: Objemová hmotnost zrna na stanovišti Suchdol (g.l⁻¹)



5.2.4 Porovnání objemové hmotnosti zrna hodnocených stanovišť

Jednotlivá stanoviště se od sebe velmi lišila především mezi ročníky. Na všech stanovištích byly sice nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti stanoveny především v roce 2015, ale nejnižší byly v Červeném Újezdu zjištěny v roce 2017, v Humpolci v roce 2014 a v Suchdole v roce 2016. Na stanovišti Suchdol byla dokonce nejvyšší hodnota objemové hmotnosti v roce 2016 stanovená na kontrolní nehnojené variantě. Při porovnání stanovišť byly obecně nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti naměřeny na stanovišti Červený Újezd a nejnižší na stanovišti Humpolec i přesto, že celkově nejvyšší hodnota objemové hmotnosti zrna byla stanovená v Humpolci v roce 2015 na variantě N (829,3 g.l⁻¹) a nejnižší byla zjištěna v roce 2016 na stanovišti Suchdol na variantě N (710,5 g.l⁻¹).

Z pohledu odrůd dosahovala odrůda Alana, která se pěstovala v letech 2014 a 2015, na stanovištích Červený Újezd a Humpolec vyšších hodnot objemové hmotnosti než odrůda Reform. Na stanovišti Červený Újezd byl rozdíl mezi odrůdami největší. Na stanovišti Humpolec byl Reform stabilnější než Alana, u které byly zjištěny vysoké rozdíly v objemové hmotnosti, které byly způsobeny nízkou objemovou hmotností na všech variantách hnojení v roce 2014. V Suchdole naopak byl vysoký rozdíl stanoven u odrůdy Reform, kvůli nízkým hodnotám objemové hmotnosti u všech variant hnojení v roce 2016.

5.3 Obsah dusíku v zrně

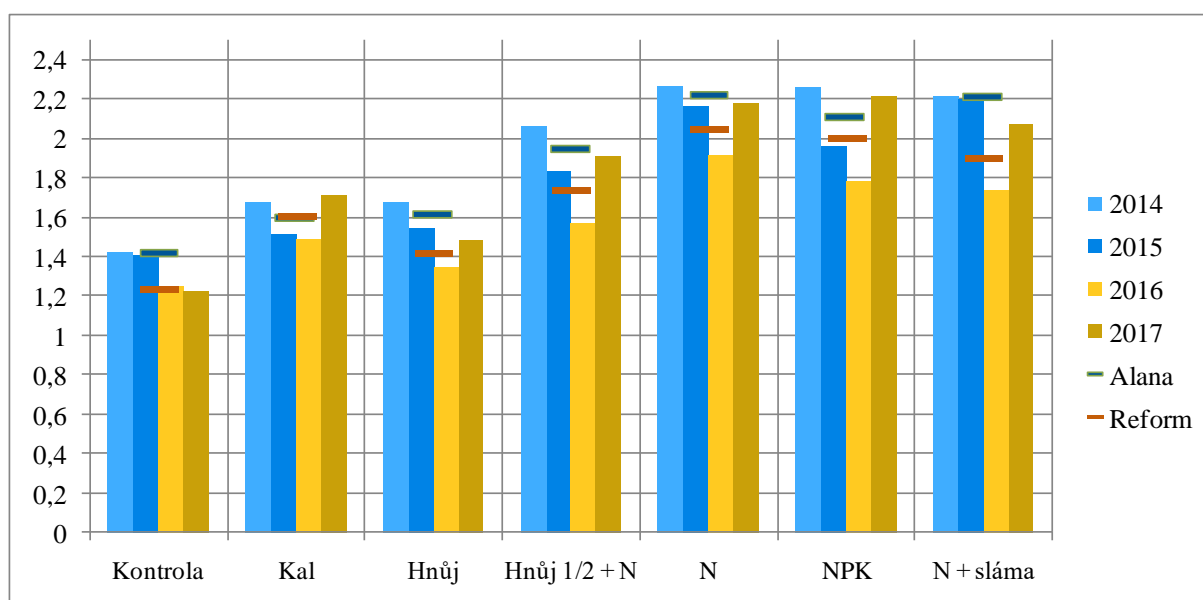
5.3.1 Červený Újezd

Výsledky analýz obsahu dusíku v zrně na stanovišti Červený Újezd dokumentuje graf 9. Na uvedeném stanovišti se minerálně hnojené varianty pohybovaly v intervalu 1,78 - 2,27 %, organicky hnojené varianty v intervalu 1,35 - 1,71 % a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 1,57 - 2,22 %. Na stanovišti Červený Újezd byly nejvyšší hodnoty obsahu dusíku v zrně obecně naměřeny především na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy. Oproti ostatním stanovištím byla zjištěna nejvyšší reakce na hnojení zvýšením obsahu dusíku v zrně především u minerálně hnojených variant oproti nehnojené kontrolní variantě. Nejvyšších hodnot obsahu dusíku bylo na všech variantách dosaženo především v roce 2014 oproti ostatním ročníkům. Nejvyšší obsahy dusíku v zrně byly v letech 2014 (2,27 %), 2015 (2,17 %) a 2016 (1,92 %) zjištěny na variantě N a v roce 2017 na variantě NPK (2,22 %), které byly o 59,5 %, 53,9 %, 53,6 % a 80,5 % vyšší než obsah dusíku v zrně kontrolní varianty daného roku.

Nejnižší hodnoty obsahu dusíku byly v každém sledovaném roce zjištěny na organicky hnojených variantách. Oproti ostatním ročníkům byly výsledky obsahu dusíku v zrně nejnižší v roce 2016 na všech hnojených variantách. Nejnižší obsah dusíku hnojených variant byl v roce 2014 zaznamenán na variantách Kal (1,68 %) a Hnůj (1,68 %), v roce 2015 na variantě Kal (1,54 %), v roce 2016 na variantě Hnůj (1,35 %) a v roce 2017 také na variantě Hnůj (1,48 %), které byly o 18,1 %, 7,8 %, 8 % a 20,3 % vyšší než obsah dusíku v zrně kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Červený Újezd byl zjištěn u odrůdy Alana vyšší obsah dusíku v zrně na všech variantách hnojení, kromě varianty Kal, na které byl v roce 2017 vyšší u odrůdy Reform. Při srovnání odrůd mezi ročníky byla vyrovnanější odrůda Alana, u které byl nejvyšší meziroční pokles o 14,7 % zaznamenán na variantě NPK. U odrůdy Reform byl nejvyšší meziroční pokles o 24,7 % zjištěn také na variantě NPK.

Graf 9: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Červený Újezd (%)



5.3.2 Humpolec

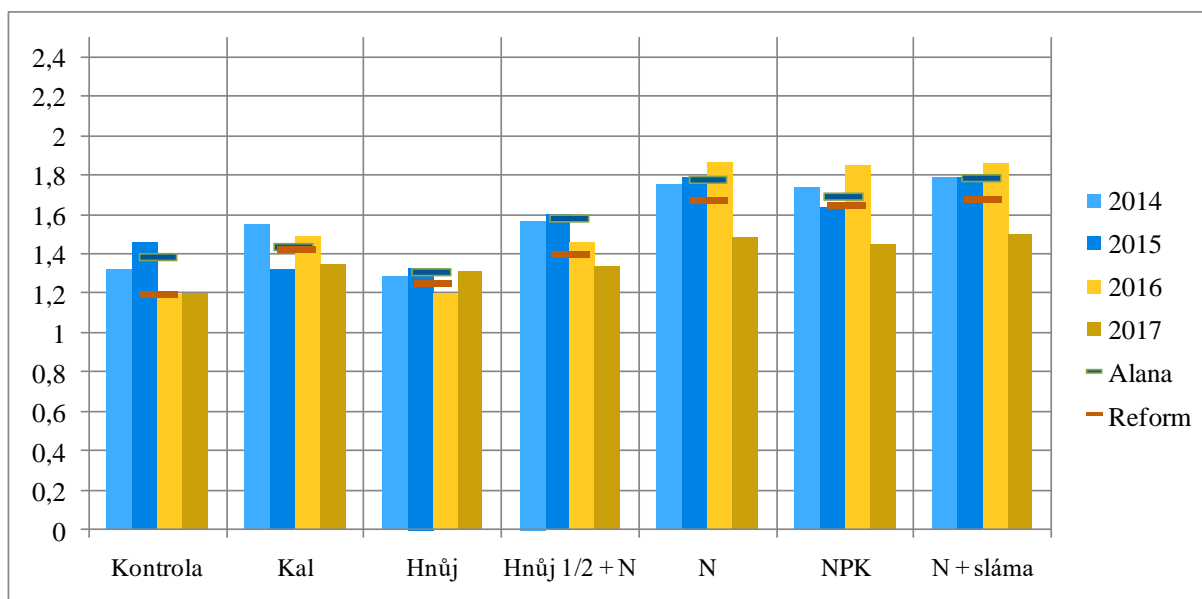
Obsah dusíku v zrně na stanovišti Humpolec znázorňuje graf 10. Na uvedeném stanovišti se minerálně hnojené varianty pohybovaly v intervalu 1,48 - 1,87 %, organicky hnojené varianty v intervalu 1,2 - 1,6 % a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 1,34 - 1,86 %. Jednotlivé varianty nevykazovaly vysoké kolísání obsahu dusíku v zrně mezi jednotlivými ročníky až na ročník 2017, ve kterém bylo množství dusíku v zrně zřetelně nejnižší na variantách N, NPK a N + sláma než u ostatních ročníků. Oproti stanovišti Červený Újezd a Suchdol nebyla reakce na hnojení zvýšením obsahu dusíku v zrně oproti kontrolní variantě výrazná. Výraznější byla jen v roce 2016

především na minerálně hnojených variantách a variantě N + sláma. V každém sledovaném ročníku byly nejvyšší hodnoty na stanovišti Humpolec zaznamenány na variantách hnojených minerálními hnojivy a na variantě N + sláma, které v každém roce dosahovaly podobných hodnot. Výjimku tvořil pouze ročník 2015, ve kterém byl stanovený obsah dusíku v zrně na variantě NPK o něco nižší než u variant N a N + sláma. Nejvyšších hodnot obsahu dusíku bylo zpravidla dosahováno v roce 2016. Nejvyšší obsah dusíku v roce 2014 byl zjištěn na variantě N + sláma (1,79 %), v roce 2015 na variantách N a N + sláma (1,79 %), v roce 2016 na variantě N (1,87 %) a v roce 2017 na variantě N + sláma (1,5 %), které byly o 35,6 %, 22,6 %, 57,1 % a 25 % vyšší než obsah dusíku v zrně kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Humpolec v letech 2014 u varianty Hnůj (1,29 %) a 2015 u variant Kal (1,32 %) a Hnůj (1,33 %) byl zaznamenán nižší obsah dusíku v zrně o 2,3 %, 9,6 % a 8,9 % než u kontrolní varianty. Na ostatních stanovištích nebyly v žádném roce zaznamenány nižší hodnoty obsahu dusíku oproti kontrole. Nejnižší hodnoty obsahu dusíku byly v každém roce zjištěny na organicky hnojených variantách. Pouze v roce 2014 a 2016 byly hodnoty obsahu dusíku v zrně na variantě Kal podobné výsledkům varianty Hnůj 1/2 + N. Oproti ostatním ročníkům byly výsledky obsahu dusíku v zrně nejnižší v roce 2017 na všech hnojených variantách. Nejnižší obsah dusíku v zrně hnojených variant byl v roce 2014 zaznamenán na variantě Hnůj (1,29 %), v roce 2015 na variantě Kal (1,32 %), v roce 2016 na variantě Hnůj (1,2 %) a v roce 2017 také na variantě Hnůj (1,31 %), které byly o -2,3 %, -9,6 %, 0,8 % a 9,2 % vyšší než obsah dusíku v zrně kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Humpolec byl u odrůdy Alana stanoven vyšší průměrný obsah dusíku v zrně na všech variantách hnojení kromě varianty Hnůj, kde byl mezi odrůdami vyrovnán. Odrůda Alana dosahovala relativně stabilnějších hodnot obsahu dusíku v zrně oproti odrůdě Reform, u které byl meziroční rozdíl zjištěn především na variantách N, NPK a N + sláma o 20,9 %, 21,6 % a 19,4 %. Zatímco u odrůdy Alana byl nejvyšší meziroční rozdíl obsahu dusíku v zrně o 14,8 % zjištěn na variantě Kal.

Graf 10: Obsah dusíku v zrna na stanovišti Humpolec (%)



5.3.3 Suchdol

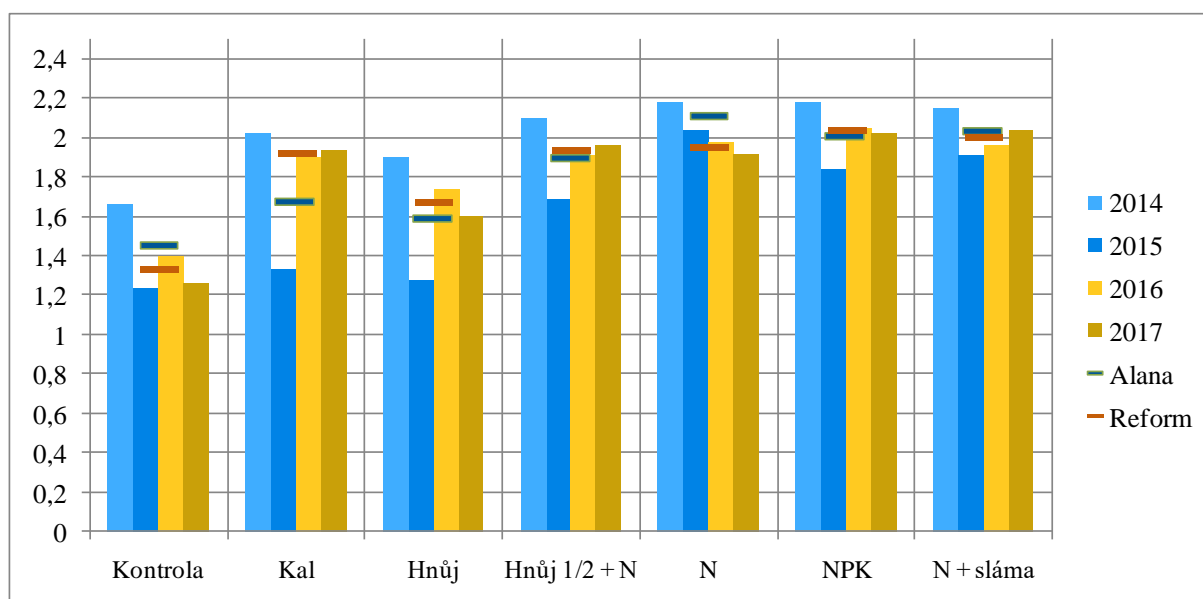
Obsah dusíku v zrna ze stanoviště Suchdol zobrazuje graf 11. Na uvedeném stanovišti se minerálně hnojené varianty pohybovaly v intervalu 1,84 - 2,18 %, organicky hnojené varianty v intervalu 1,28 - 2,02 % a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 1,69 - 2,15 %. Z grafu je patrné jisté zvýšení obsahu dusíku u všech variant oproti kontrolní variantě, avšak s výjimkou variant Kal (1,33 %) a Hnůj (1,28 %) z roku 2015, u kterých byla reakce na hnojení zvýšením obsahu dusíku v zrna minimální (o 7,3 % a o 3,2 %). Oproti ostatním stanovištím nebyl na stanovišti Suchdol zjištěn tak výrazný rozdíl mezi jednotlivými variantami, přičemž k výraznějšímu kolísání došlo jen v roce 2015 u variant Kal a Hnůj. Nejvyšší hodnoty obsahu dusíku v zrna byly na každé z hnojených variant naměřeny v roce 2014. V roce 2014 byl zjištěn nejvyšší obsah dusíku v zrna na variantě N a NPK (2,18 %), v roce 2015 na variantě N (2,04 %), v roce 2016 na variantě NPK (2,05 %) a v roce 2017 na variantě N + sláma (2,04 %), které byly o 31,3 %, 64,5 %, 46,4 % a 61,9 % vyšší než obsah dusíku v zrna kontrolní varianty daného roku..

V roce 2015 byl u všech hnojených variant kromě varianty N zaznamenán nejnižší obsah dusíku oproti ostatním ročníkům. Nejnižší hodnota obsahu dusíku v zrna byla v každém sledovaném ročníku naměřena na variantě Hnůj. V roce 2014 byla 1,9 %, v roce 2015 byla 1,28 %, v roce 2016 byla 1,74 % a v roce 2017 byla 1,6 %, které byly o 14,5 %, 3,2 %, 24,3 % a 27 % vyšší než obsah dusíku v zrna kontrolní varianty daného roku..

Průměrný obsah dusíku byl u odrůdy Alana vyšší jen na variantě N, zatímco u odrůdy Reform byl vyšší na variantách Kal, Hnůj a Hnůj 1/2 + N. Na variantách NPK a N byl

stanovený obsah dusíku v zrně u obou odrůd podobný. Oproti ostatním stanovištím byla podle zjištěných výsledků mezi ročníky stabilnější odrůda Reform, u které dosahovaly jednotlivé varianty v každém roce podobných hodnot obsahu dusíku na rozdíl od odrůdy Alana, u které byly největší meziroční rozdíly zjištěny na variantě Kal (o 34,2 %) a Hnůj (o 32,6 %). Zatímco byl stanovený obsah dusíku v roce 2015 a 2017 na kontrolních variantách podobný, u odrůdy Reform (2017) byla zaznamenána vyšší reakce na hnojení zvýšením obsahu dusíku v zrně na téměř všech hnojených variantách než u odrůdy Alana (2015).

Graf 11: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Suchdol (%)



5.3.4 Porovnání obsahu dusíku v zrně hodnocených stanovišť

Nejvyšších hodnot obsahu dusíku v zrně bylo na všech stanovištích ve všech ročnících dosahováno především na variantách N, NPK a N + sláma. Celkově nejvyšší obsah dusíku v zrně byl zjištěn na stanovišti Červený Újezd na variantě N v roce 2014 (2,27 %), na kterém byly obecně naměřeny nejvyšší hodnoty obsahu dusíku. Nejnižší obsahy dusíku v zrně byly na všech stanovištích zpravidla naměřeny na organicky hnojených variantách, přičemž byly na stanovišti Humpolec vždy nejnižší oproti ostatním stanovištím a k výraznější reakci na hnojení nárůstem obsahu dusíku v zrně oproti nehnojené kontrole došlo jen v roce 2016 na variantách N (o 57,1 %), NPK (o 55,5 %) a N + sláma (o 56,3 %). Naopak nejvýraznější byla zaznamenána na stanovišti Červený Újezd v roce 2017 na variantách N (o 77,2 %), NPK (o 80,5 %) a N + sláma (o 68,3 %). Na stanovišti Suchdol byla nejvyšší reakce na hnojení zvýšením obsahu dusíku v zrně oproti kontrolní variantě zjištěna v roce

2015 na variantě N (o 64,5 %) a v roce 2017 na variantě N + sláma (o 61,9 %). V Humpolci byly zjištěné hodnoty nejvíce vyrovnány mezi jednotlivými variantami hnojení i ročníky.

Téměř ve všech sledovaných letech a na všech stanovištích byl obsah dusíku v zrna u odrůdy Alana vyšší a zároveň u ní nedocházelo k výraznějším výkyvům mezi ročníky oproti odrůdě Reform. Odrůda Reform byla vyrovnanější než Alana jen na stanovišti Suchdol.

5.4 Odběr dusíku nadzemní biomasou

5.4.1 Červený Újezd

Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Červený Újezd zobrazuje graf 12. Na uvedeném stanovišti se odběr dusíku pšenice na minerálně hnojených variantách pohyboval v intervalu 138,3 - 230,8 kg N.ha⁻¹, na organicky hnojených variantách v intervalu 98 - 140,1 kg N.ha⁻¹

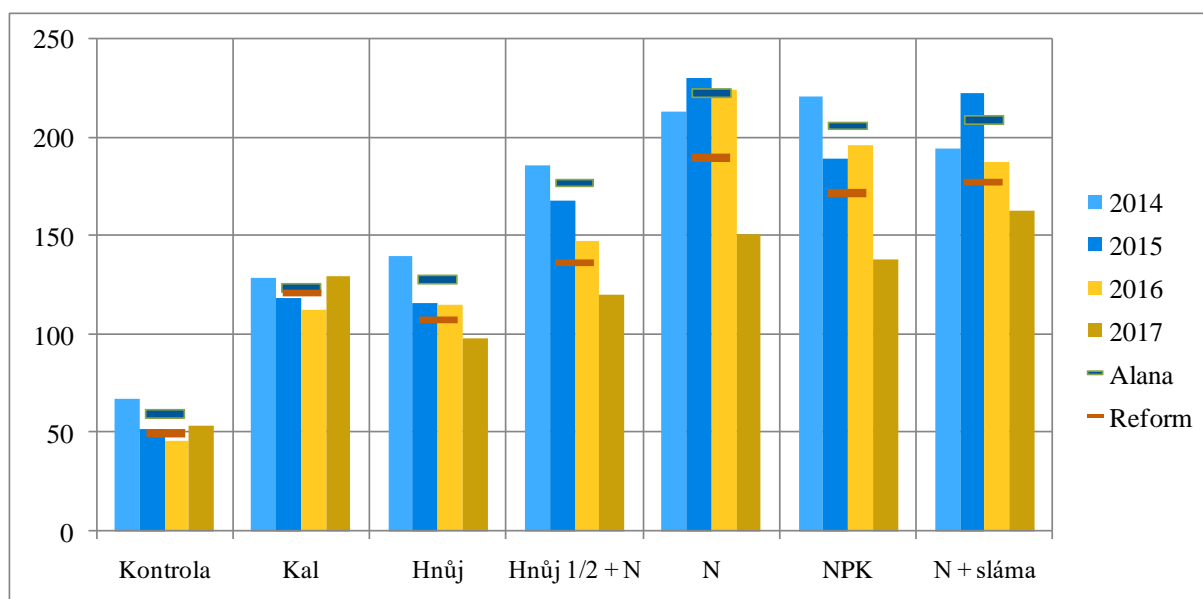
a na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 119,9 - 222,5 kg N.ha⁻¹. Při porovnání ročníků byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku pšenice zaznamenány v letech 2014 a 2015. V každém sledovaném ročníku byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku zjištěny především na variantách hnojených minerálně a na variantě N + sláma. Nejvyšší odběr dusíku pšenice byl v roce 2014 stanoven na variantě NPK (221,4 kg N.ha⁻¹), v roce 2015 (230,8 kg N.ha⁻¹) a 2016 (224,5 kg N.ha⁻¹) na variantě N a v roce 2017 na variantě N + sláma (162,9 kg N.ha⁻¹), které byly o 229,4 %, 344,9 %, 387,3 % a 204,1 % vyšší než odběr dusíku kontrolní varianty daného roku.

Nejnižší odběr dusíku pšenice byl každoročně stanoven na organicky hnojených variantách. V roce 2017 byly zjištěny nízké hodnoty odběru dusíku na variantách hnojených minerálně nebo kombinací minerálního a organického hnojení. Oproti ostatním ročníkům byl odběr dusíku pšenice nejnižší na většině variant, kromě varianty Kal, v roce 2017. V roce 2014 byl nejnižší odběr dusíku pšenice stanoven na variantě Kal (128,6 kg N.ha⁻¹), v roce 2015 na variantě Hnůj (116,3 kg N.ha⁻¹), v roce 2016 na variantě Kal (112,6 kg N.ha⁻¹) a v roce 2017 na variantě Hnůj (98 kg N.ha⁻¹), které byly o 91,4 %, 124,1 %, 144,4 % a 82,9 % vyšší než odběr dusíku kontrolní varianty daného roku.

Na stanovišti Červený Újezd byly vyšší hodnoty odběru dusíku zjištěny u odrůdy Alana. Odrůda Alana měla mezi sledovanými ročníky stabilnější odběr dusíku a nebyly u ní zjištěny výrazné rozdíly. U odrůdy Reform byl odběr dusíku v roce 2016 podobný odběru Alany, ale v roce 2017 byly u Reformu zjištěny velmi nízké odběry dusíku oproti ostatním

ročníkům. Tento meziroční rozdíl byl nejvíce patrný na variantách N a NPK, u kterých činil 48,7 % a 41 %. U Alany byl největší meziroční rozdíl zjištěn u varianty Hnůj (o 20,5 %).

Graf 12: Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Červený Újezd (kg N.ha⁻¹)



5.4.2 Humpolec

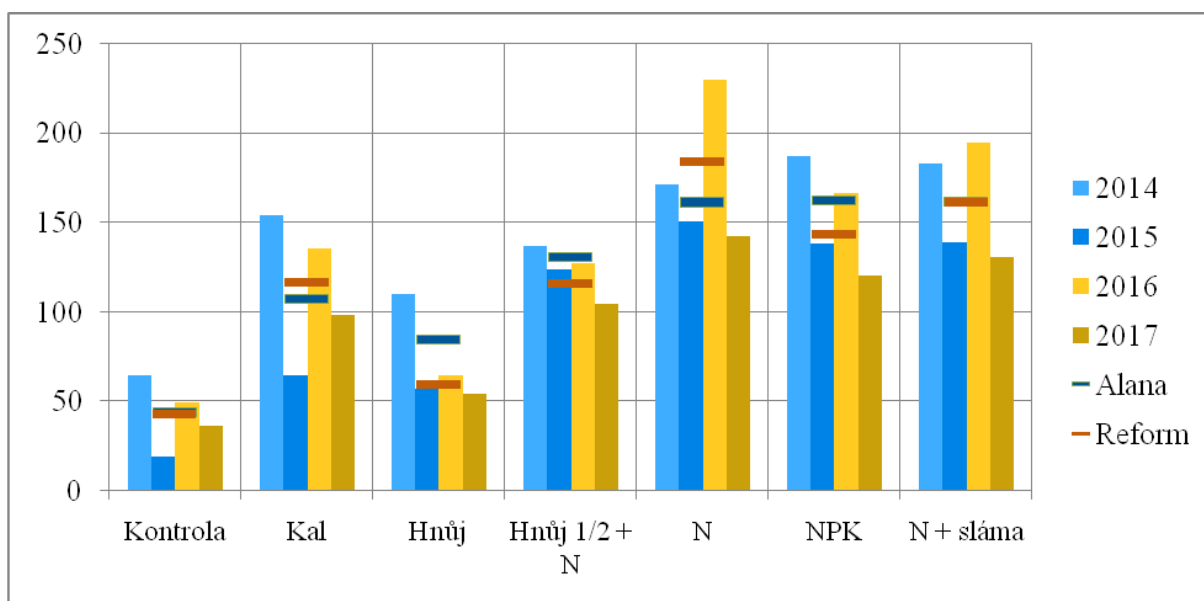
Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Humpolec dokumentuje graf 13. Na uvedeném stanovišti se odběr dusíku pšenice na minerálně hnojených variantách pohyboval v intervalu 120,7 - 229,8 kg N.ha⁻¹, na organicky hnojených variantách v intervalu 54,4 - 154,6 kg N.ha⁻¹ a na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 104,7 - 194,8 kg N.ha⁻¹. Při porovnání ročníků byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku pšenice zaznamenány na většině variant v roce 2014, vyšší hodnoty byly zjištěny jen na variantách N a N + sláma v roce 2016. V každém sledovaném ročníku byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku zjištěny především na variantách hnojených minerálně a na variantě N + sláma. Nejvyšší odběr dusíku pšenice byl v roce 2014 stanoven na variantě NPK (187,2 kg N.ha⁻¹), v roce 2015 (150,5 kg N.ha⁻¹), 2016 (229,8 kg N.ha⁻¹) a 2017 (142,9 kg N.ha⁻¹) na variantě N, které byly o 188,9 %, 669,2 %, 364,2 % a 292,9 % vyšší než odběr dusíku kontrolní varianty daného roku.

Nejnižší odběr dusíku byl v každém sledovaném ročníku stanoven především na variantě Hnůj. U varianty Kal byl v roce 2014 a 2016 zaznamenán vyšší odběr dusíku než u varianty Hnůj 1/2 + N. Oproti ostatním ročníkům byl odběr dusíku pšenice nejnižší na téměř všech variantách v roce 2017. Nejnižší odběr dusíku pšenice byl každoročně stanoven na variantě Hnůj a v roce 2014 byl 110,2 kg N.ha⁻¹, v roce 2015 byl 57,2 kg N.ha⁻¹,

v roce 2016 byl 64,4 kg N.ha⁻¹, v roce 2017 byl 54,4 kg N.ha⁻¹, které byly o 70 %, 192,5 %, 30,1 % a 49,4 % vyšší než odběr dusíku kontrolní variantou daného roku.

Na stanovišti Humpolec byly vyšší hodnoty odběru dusíku stanoveny u odrůdy Alana v roce 2014 než u odrůdy Reform až na varianty Kal, N a N + sláma v roce 2016. Odrůda Alana byla mezi ročníky na variantách hnojených minerálně a kombinací minerálních a organických hnojiv stabilnější. U Alany byl nejvýraznější meziroční pokles zjištěn na variantách hnojených organicky a především u varianty Kal a činil 139,3 %. U odrůdy Reform byl meziroční rozdíl na organicky hnojených variantách nižší než u Alany a největší meziroční rozdíl byl zjištěn na variantě N a činil 60,8 %.

Graf 13: Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Humpolec (kg N.ha⁻¹)



5.4.3 Suchdol

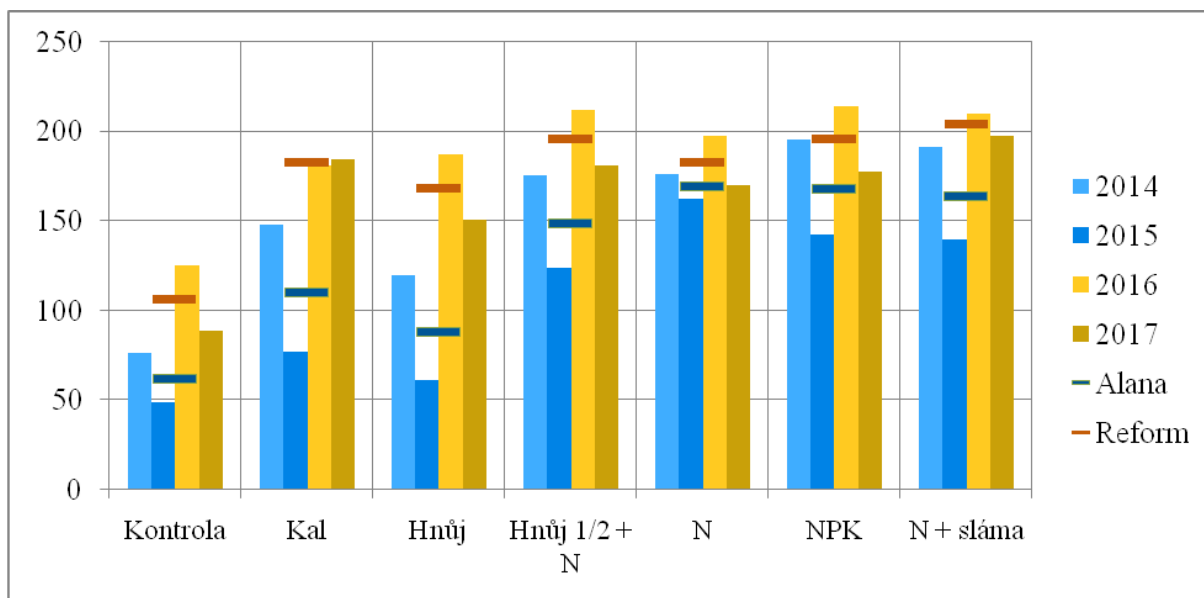
Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Suchdol znázorňuje graf 14. Na uvedeném stanovišti se odběr dusíku pšenice na minerálně hnojených variantách pohyboval v intervalu 142,6 - 214,1 kg N.ha⁻¹, na organicky hnojených variantách v intervalu 61,3 - 187,2 kg N.ha⁻¹ a na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 124,3 - 212,2 kg N.ha⁻¹. Při porovnání ročníků byl nejvyšší odběr dusíku pšenice na téměř všech variantách stanoven v roce 2016. V každém sledovaném ročníku byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku stanoveny na variantách hnojených minerálně nebo kombinací minerálního a organického hnojení. Nejvyšší odběr dusíku byl v roce 2014 zjištěn na variantě NPK (195,7 kg N.ha⁻¹), v roce 2015 na variantě N (162,5 kg N.ha⁻¹), v roce 2016 na variantě NPK (214,1 kg N.ha⁻¹) a v roce 2017 na variantě N + sláma (197,8 kg N.ha⁻¹), které byly

o 155,9 %, 230,4 %, 70,4 % a 122,4 % vyšší než odběr dusíku kontrolní variantou daného ročníku.

Až na ročník 2017 byly stanoveny nejnižší hodnoty odběru dusíku na organicky hnojených variantách. Oproti ostatním ročníkům byly na všech variantách hnojení stanoveny nejnižší hodnoty odběru dusíku v roce 2015. V roce 2017 byl u varianty Kal (184,4 kg N.ha⁻¹) zjištěn druhý nejvyšší odběr dusíku, který však byl téměř shodný s rokem 2016 (181,1 kg N.ha⁻¹). Nejnižší odběr dusíku pšenice byl v letech 2014 (119,5 kg N.ha⁻¹), 2015 (61,3 kg N.ha⁻¹) a 2017 (151,1 kg N.ha⁻¹) stanoven na variantě Hnůj a v roce 2016 na variantě Kal (181,1 kg N.ha⁻¹), které byly o 56,3 %, 24,6 %, 69,9 % a 44,1 % vyšší než odběr dusíku kontrolní varianty daného ročníku.

Na stanovišti Suchdol byly vyšší hodnoty odběru dusíku pšenice stanoveny u odrůdy Reform, která byla mezi ročníky stabilnější než odrůda Alana. U odrůdy Reform byl největší meziroční rozdíl zjištěn na variantě Hnůj a činil 23,9 %, zatímco u odrůdy Alana byly nejvyšší meziroční rozdíly zjištěny u variant N + sláma (o 37,5 %) a NPK (o 37,2 %). U Alana je z grafu patrný i výraznější rozdíl mezi organicky hnojenými variantami a variantami hnojenými minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv v jednotlivých ročnících. Odrůda Reform vykazovala vysoké odběry dusíku i na organicky hnojených variantách ve srovnání s odrůdou Alana.

Graf 14: Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Suchdol (kg N.ha⁻¹)



5.4.4 Porovnání odběru dusíku nadzemní biomasou hodnocených stanovišť

V žádném ročníku na sledovaných stanovištích nebyla zjištěna nižší hodnota odběru dusíku pšenice na hnojených variantách oproti kontrolní variantě. Na všech hodnocených

stanovištích byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku stanoveny především na minerálně hnojených variantách a nebo na variantě N + sláma. Rozdíl byl na těchto variantách zaznamenán spíše mezi jednotlivými ročníky. Na stanovištích Humpolec a Suchdol byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku stanoveny především v roce 2016, zatímco na stanovišti Červený Újezd v roce 2014 nebo 2015. Na stanovišti Suchdol a Červený Újezd nebyly zjištěny tak výrazné rozdíly mezi ročníky oproti stanovišti Humpolec. Na stanovišti Červený Újezd v roce 2017, ve kterém byly na tomto stanovišti na variantách hnojených minerálně nebo kombinací minerálních a organických hnojiv stanoveny nejnižší hodnoty odběru dusíku pšenice oproti ostatním ročníkům, byl rozdíl výrazný. Na stanovišti Suchdol byly všechny varianty nejvíce vyrovnané oproti ostatním stanovištím a výraznější rozdíl byl zaznamenán v roce 2015, ve kterém byl stanoven nejnižší odběr dusíku pšenice oproti ostatním ročníkům. Oproti ostatním stanovištím byly nejvyšší hodnoty odběru dusíku obecně stanoveny na stanovišti Červený Újezd, ve kterém byla zjištěna i celkově nejvyšší hodnota odběru dusíku a to na variantě N ($230,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) v roce 2015. Nejnižší hodnoty odběru dusíku pšenice byly na všech stanovištích stanoveny na organicky hnojených variantách, přičemž byly nejnižší hodnoty odběru dusíku obecně zjištěny na stanovišti Humpolec. V některých ročnících byl odběr dusíku u varianty Kal srovnatelný s ostatními variantami hnojení a jednalo se o rok 2014 v Humpolci ($154,6 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a ročníky 2016 ($181,1 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a 2017 ($184,4 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) na stanovišti Suchdol.

Z pohledu odrůd byly u odrůdy Alana stanoveny vyšší hodnoty odběru dusíku na stanovišti Červený Újezd a u odrůdy Reform na stanovišti Suchdol. Na stanovišti Humpolec byly v roce 2016 u odrůdy Reform na variantách N a N + sláma stanoveny nejvyšší hodnoty odběru dusíku, ale na ostatních variantách hnojení byly zjištěny vyšší hodnoty odběru dusíku oproti ostatním ročníkům v roce 2014 u odrůdy Alana.

5.5 Bilance dusíku

5.5.1 Červený Újezd

Výslednou bilanci dusíku na stanovišti Červený Újezd zobrazuje tabulka 4. Na stanovišti Červený Újezd byla nejvíce negativní bilance dusíku stanovena nejčastěji na minerálně hnojených variantách nebo na variantách hnojených organickými hnojivy. Při srovnání ročníků byla nejvíce negativní bilance zjištěna na většině variant hnojení především v roce 2014. V roce 2014 byla nejvíce negativní bilance dusíku stanovena

na variantě Hnůj (-90,6 kg N.ha⁻¹), v roce 2015 (-90,8 kg N.ha⁻¹) a 2016 (-84,5 kg N.ha⁻¹) na variantě N a v roce 2017 na variantě Kal (-80 kg N.ha⁻¹).

Oproti kontrolní variantě byla stanovena méně negativní bilance dusíku v roce 2014 na variantách Hnůj 1/2 + N a N + sláma, v roce 2015 na variantách Hnůj 1/2 + N a NPK, v roce 2016 jen na variantě Hnůj 1/2 + N a v roce 2017 na všech variantách hnojení kromě varianty Kal, což znamená, že efektivita využití dusíku z aplikovaných hnojiv byla nízká. Nejméně negativní bilance byla každoročně stanovena na variantě Hnůj 1/2 + N. Oproti ostatním ročníkům byla bilance dusíku v roce 2017 na téměř všech variantách hnojení nejméně negativní, jen na variantě Kal byla bilance oproti ostatním ročníkům nejvyšší. V roce 2014 byla -51,2 kg N.ha⁻¹, v roce 2015 byla -33 kg N.ha⁻¹, v roce 2016 byla -12,9 kg N.ha⁻¹ a v roce 2017 byly dokonce zaznamenány dvě varianty s kladnou bilancí dusíku. Jedná se o varianty Hnůj 1/2 + N (14,9 kg N.ha⁻¹) a NPK (1,7 kg N.ha⁻¹).

Odrůda Alana měla na téměř všech variantách hnojení více negativní bilanci dusíku než odrůda Reform. U Alany byla nejvíce negativní bilance dusíku zaznamenána na variantách hnojených minerálně a kombinací minerálních a organických hnojiv, zatímco odrůda Reform měla nejvíce negativní bilanci dusíku na variantách hnojených organicky. U Alany nedocházelo k tak výrazným meziročním rozdílům jako u odrůdy Reform. Odrůda Reform měla více negativní bilanci dusíku než Alana jen na variantě Hnůj z roku 2017. U Alany byl největší meziroční rozdíl zaznamenán na variantě NPK (o 39,8 %) a u Reformu na variantě N (o 87 %). U odrůdy Reform bylo zjištěno více kladných hodnot bilance dusíku oproti odrůdě Reform.

Tabulka 4: Bilance dusíku na stanovišti Červený Újezd (kg N.ha⁻¹)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	-67,2	-51,9	-46,1	-53,6
Kal	-79,1	-69,4	-63,1	-80
Hnůj	-90,6	-66,8	-65,7	-48,5
Hnůj 1/2 + N	-51,2	-33	-12,9	14,9
N	-73,4	-90,8	-84,5	-11
NPK	-81,4	-49	-56,2	1,7
N + sláma	-52,6	-80,8	-45,2	-21,2

5.5.2 Humpolec

Bilanci dusíku na stanovišti Humpolec znázorňuje tabulka 5. Na stanovišti Humpolec byla nejvíce negativní bilance dusíku stanovena na organicky hnojených variantách

a to především na variantě Kal. Při srovnání ročníků byla nejvíce negativní bilance zjištěna na většině variant hnojení především v roce 2014. V roce 2014 (-105,1 kg N.ha⁻¹) a 2015 (-15,1 kg N.ha⁻¹) byla nejvíce negativní bilance stanovena na variantě Kal, v roce 2016 na variantě N (-89,8 kg N.ha⁻¹) a v roce 2017 opět na variantě Kal (-48,8 kg N.ha⁻¹).

Při porovnání ročníků byly nejméně negativní hodnoty bilance dusíku zjištěny v roce 2017. Méně negativní bilance dusíku než bilance dusíku kontrolní varianty byla na stanovišti Humpolec v roce 2014 stanovena na všech variantách hnojení kromě varianty Kal, v roce 2015 na všech variantách, v roce 2016 na všech variantách kromě variant Kal a N, v roce 2017 na všech kromě varianty Kal. Na tomto stanovišti byla kladná bilance dusíku stanovena v roce 2015 na variantě Hnůj 1/2 + N (10,5 kg N.ha⁻¹), NPK (1,4 kg N.ha⁻¹) a N + sláma (2,6 kg N.ha⁻¹), v roce 2016 na variantě Hnůj 1/2 + N (7,2 kg N.ha⁻¹) a v roce 2017 na variantách Hnůj 1/2 + N (30,1 kg N.ha⁻¹), NPK (19,3 kg N.ha⁻¹) a N + sláma (10,9 kg N.ha⁻¹), což znamená, že efektivita využití dusíku z aplikovaných hnojiv byla nízká. Nejméně negativní bilance dusíku byla jako na stanovišti Červený Újezd každoročně stanovena na variantě Hnůj 1/2 + N. V roce 2014 byla -2,2 kg N.ha⁻¹, v roce 2015 byla 10,5 kg N.ha⁻¹, v roce 2016 byla 7,2 kg N.ha⁻¹ a v roce 2017 byla 30,1 kg N.ha⁻¹.

Alana dosahovala nejvíce negativních hodnot bilance dusíku na variantách hnojených organicky a na variantě NPK a N + sláma, zatímco odrůda Reform v roce 2016 na variantě Kal a N a v roce 2017 jen na variantě Kal. U obou odrůd byly mezi ročníky zjištěny relativně vysoké rozdíly. U odrůdy Alana byl největší meziroční rozdíl zjištěn na variantě Kal a činil 85,6 %, zatímco odrůda Reform měla největší meziroční rozdíl na variantě N a činil 96,7 %. U odrůdy Reform bylo stanoveno více kladných hodnot bilance dusíku než u odrůdy Alana.

Tabulka 5: Bilance dusíku na stanovišti Humpolec (kg N.ha⁻¹)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	-64,8	-19,6	-49,5	-36,4
Kal	-105,1	-15,1	-86,4	-48,8
Hnůj	-60,7	-7,7	-14,9	-4,9
Hnůj 1/2 + N	-2,2	10,5	7,2	30,1
N	-31,8	-10,5	-89,8	-2,9
NPK	-47,2	1,4	-26,8	19,3
N + sláma	-41,4	2,6	-53,1	10,9

5.5.3 Suchdol

Bilanci dusíku na stanovišti Suchdol dokumentuje tabulka 6. V Suchdole byla nejvíce negativní hodnota bilance dusíku stanovena každoročně na variantě Kal. Ze všech sledovaných ročníků byly na všech variantách hnojení nejvíce negativní hodnoty bilance dusíku zjištěny v roce 2016. V ročnících 2014 ($-98,9 \text{ kg N.ha}^{-1}$), 2015 ($-27,6 \text{ kg N.ha}^{-1}$) a 2017 ($-134,9 \text{ kg N.ha}^{-1}$) byla stanovena nejvíce negativní hodnota bilance dusíku na variantě Kal, v roce 2016 byla na variantě Hnůj ($-137,7 \text{ kg N.ha}^{-1}$) a varianta Kal ($-131,6 \text{ kg N.ha}^{-1}$) tento rok měla druhou nejvíce negativní hodnotu.

Při porovnání ročníků byly nejméně negativní hodnoty zjištěny v roce 2015. Ze sledovaných variant byly nejméně negativní hodnoty dusíku téměř v každém roce stanoveny na minerálně hnojených variantách nebo na variantě Hnůj 1/2 + N. Méně negativní bilance dusíku než bilance dusíku kontrolní varianty byla na stanovišti Suchdol v roce 2014 stanovena na všech variantách hnojení kromě varianty Kal, v roce 2015 na všech variantách hnojení, v roce 2016 i 2017 na všech variantách hnojení kromě variant Kal a Hnůj. Na stanovišti Suchdol byly zaznamenány kladné hodnoty bilance dusíku jen v roce 2015 a to u variant Hnůj 1/2 + N ($10,5 \text{ kg N.ha}^{-1}$) a N + sláma ($2,3 \text{ kg N.ha}^{-1}$), což znamená, že efektivita využití dusíku z aplikovaných hnojiv byla nízká. Nejméně negativní hodnota bilance dusíku byla v roce 2014 zjištěna na variantě N ($-36,5 \text{ kg N.ha}^{-1}$), v roce 2015 na variantě Hnůj 1/2 + N ($10,5 \text{ kg N.ha}^{-1}$), v roce 2016 na variantě N ($-57,6 \text{ kg N.ha}^{-1}$) a v roce 2017 také na variantě N ($-30,2 \text{ kg N.ha}^{-1}$).

Odrůda Reform měla téměř na všech variantách hnojení více negativní hodnoty bilance dusíku než odrůda Alana. U obou odrůd byly nejvíce negativní hodnoty obsahu dusíku zjištěny na organicky hnojených variantách. Na stanovišti Suchdol byly menší meziroční rozdíly zjištěny především u odrůdy Reform. Největší meziroční rozdíl byl u odrůdy Alana zjištěn na variantě Kal a činil 72,1 %, zatímco u odrůdy Reform byl na variantě NPK a činil 48,9 %. U odrůdy Alana bylo stanoveno více kladných hodnot bilance dusíku oproti odrůdě Reform.

Tabulka 6: Bilance dusíku na stanovišti Suchdol (kg N.ha⁻¹)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	-76,5	-49,2	-125,6	-89
Kal	-98,9	-27,6	-131,6	-134,9
Hnůj	-70	-11,8	-137,7	-101,6
Hnůj 1/2 + N	-40,9	10,5	-77,5	-46,4
N	-36,5	-22,5	-57,6	-30,2
NPK	-55,7	-2,6	-74,1	-37,9
N + sláma	-50,1	2,3	-68,3	-56,1

5.5.4 Porovnání bilance dusíku hodnocených stanovišť

Jednotlivá stanoviště se od sebe lišila v bilanci dusíku mezi jednotlivými ročníky a také mezi variantami hnojení. Na stanovišti Červený Újezd byly nejvíce negativní hodnoty stanoveny v roce 2014 a 2015 a v jednotlivých ročnících především na variantách hnojených organicky a minerálně. V Humpolci byly nejvíce negativní hodnoty zjištěny v roce 2014 a 2016 a v jednotlivých ročnících především na variantě Kal a N. Na stanovišti Suchdol byly nejvíce negativní hodnoty bilance dusíku stanoveny v roce 2016 a 2017 a zároveň se jednalo o nejvíce negativní hodnoty oproti ostatním stanovištím i ročníkům. V Suchdole v jednotlivých ročnících byly nejvyšší negativní hodnoty bilance dusíku zjištěny na organicky hnojených variantách. Nejvíce negativní hodnoty bilance dusíku byly obecně vypočítány na stanovišti Suchdol a nejméně negativní na stanovišti Humpolec. Celkově nejvíce negativní bilance dusíku byla stanovena na stanovišti Suchdol na variantě Hnůj (-137,7 kg N.ha⁻¹) a nejméně negativní na stanovišti Humpolec v roce 2017 na variantě Hnůj 1/2 + N (30,1 kg N.ha⁻¹). Na všech stanovištích byly nejméně negativní hodnoty většinou stanoveny na variantách hnojených minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv. Při porovnání ročníků byly nejméně negativní hodnoty bilance dusíku na stanovištích Červený Újezd a Humpolec stanoveny především v roce 2017, zatímco na stanovišti Suchdol v roce 2015.

U odrůdy Alana byly stanoveny více negativní hodnoty bilance dusíku na všech stanovištích především v roce 2014, zatímco u odrůdy Reform v roce 2016. U odrůdy Reform bylo na stanovištích Červený Újezd a Humpolec zjištěno více kladných hodnot bilance dusíku, zatímco u Alany jen na stanovišti Suchdol.

6 Diskuze

6.1 Výnos zrna

V roce 2014 byl průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice $5,67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Kůst et Stehlíková, 2016). Ve srovnání s celostátním průměrem byl na všech hnojených variantách v roce 2014 na stanovišti Červený Újezd a Humpolec zjištěn vyšší výnos. Na stanovišti Suchdol v roce 2014 nebyl stanoven vyšší výnos zrna pšenice na variantách Kal ($5,22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Hnůj ($4,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) než byl celostátní průměr. V roce 2015 byl průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice $6,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Kůst et Stehlíková, 2016). V roce 2015 na lokalitě Červený Újezd měla pšenice na téměř všech hnojených variantách vyšší výnos zrna, než byl celostátní průměr. Nejnižší výnos zrna byl stanoven na variantě Hnůj ($6,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), který však byl roven státnímu průměru. V Humpolci v roce 2015 nebyl dosažen vyšší výnos, než celostátní průměr u variant Kal ($4,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Hnůj ($3,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na Suchdole také v roce 2015 u variant Kal ($4,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Hnůj ($3,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). V roce 2016 byl průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice $6,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Kůst et Stehlíková, 2016). V roce 2016 byl na stanovišti Suchdol dosažen vyšší výnos zrna pšenice, než byl celostátní průměr na všech variantách hnojení. Na stanovišti Červený Újezd na variantě Kal ($6,32 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na stanovišti Humpolec na variantě Hnůj ($4,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl v roce 2016 zjištěn výnos nižší než průměrný státní výnos. V roce 2017 byl průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice $5,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Zemědělský svaz České republiky, 2017). V Červeném Újezdu v roce 2017 byl dosažen vyšší výnos zrna, než je celostátní průměr jen na variantě Kal ($6,37 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). V Humpolci v roce 2017 nebyla úroveň celostátního průměru dosažena na variantě Hnůj ($3,79 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Na stanovišti Suchdol byl v roce 2017 zjištěn vyšší výnos zrna pšenice na všech variantách hnojení, než byl celostátní průměr.

6.1.1 Vliv stanoviště na výnos zrna

Pšenice je vysoce náročná plodina na stanovištní podmínky i na výživu. Nejvhodnější jsou pro ni hluboké, hlinité až jílovito-hlinité půdy s dobrou vodní kapacitou a strukturou, které jsou dobře zásobené živinami a mají neutrální až slabě kyselé pH (6,2 - 7,0) (Zimolka et al., 2005).

Na stanovišti Červený Újezd je půdním typem hnědozem, která, jak uvedl Tomášek (2007) patří do skupiny půd zvané luvisoly. Luvisoly podle Hejčman et al. (2012) patří do přechodné oblasti mezi půdním typem černozem a kambizem. Charakteristickým rysem

luvisolů je výrazná strukturní diferenciacie půdního profilu na eluviální horizont, který často bývá ochuzený o jílnaté částice (Świtoniak et al., 2016), a na podpovrchový iluviální horizont s vysokou nasyceností (Hejzman et al., 2012). Vertikální kontrast jednotlivých horizontů podle Świtoniak (2008) vznikl z matečné horniny a byl zvýšen ochuzením vrchního půdního horizontu o jílové koloidy v procesu eluviace. Ve srovnání s černozemí, která je půdním typem na stanovišti Suchdol, je hnědozem podle Tomáška (2007) méně zemědělsky kvalitní, což by odpovídalo i stanoveným obsahům živin a kationtové výměnné kapacitě na stanovišti Červený Újezd oproti stanovišti Suchdol (tabulka 1). Podle těchto tvrzení, by na hnědozemě měly být dosahovány podstatně nižší hladiny výnosu i horší kvalita zrna oproti černozemím na Suchdole, což ale neodpovídá dosaženým výsledkům v pokusu, neboť výnosy zrna pšenice v ročnících 2014, 2015 a 2016 (graf 3), hodnoty objemové hmotnosti v ročnících 2014 a 2016 (graf 6) a obsahu dusíku v roce 2014, 2015 a 2017 (graf 9) byly na stanovišti Červený Újezd vyšší než na stanovišti Suchdol (graf 5, 8 a 11). Tato zjištění spíše odpovídají tvrzení Hejzman et al. (2012), podle kterých jsou obecně luvisoly spolu s černozeměmi nejúrodnějšími půdami Evropy, což podle mého názoru pravděpodobně souvisí i s jevem zvaným oglejení, který se vyskytuje ve vrchním eluviovaném půdním horizontu. Vlivem srážek dochází k utužení jílu v podpovrchovém půdním horizontu, díky čemuž se stává málo propustný a dochází k vyššímu zadržování vody v půdním profilu. Díky oglejení je pak půda schopna déle držet vodu, která je následně déle k dispozici rostlinám oproti například více vysýchavé kambizemi na stanovišti Humpolec. Na druhou stranu při vysokých srážkách může půda zůstat dlouhodobě přemokřená a tím by v ní mohl nastat nedostatek kyslíku. V Červeném Újezdu je pH půdy 6,5. Tato hodnota se nachází v optimálním rozmezí pro pěstování pšenice, kterou uvedli Zimolka et al. (2005).

Z pohledu půdních podmínek je podle mého názoru vzhledem k tvrzení Zimolky et al. (2005) nejméně vhodným stanovištěm Humpolec, ve kterém je půda písčito-hlinitá kambizem. Kambizemě jsou nejčastější půdní typ ve střední Evropě (Němeček et al., 2001). V České republice jsou dominantním půdním typem a tvoří 58 % zemědělské půdy (Hejzman et Kunzová, 2010). Podle Jordanova (2017) a Świtoniak et al. (2016) se jedná o horské půdy, které jsou podle Hejzman et Kunzová (2010) nevhodné pro pěstování ozimé pšenice a je u nich důležité při hnojení dodávat dostatek a dobrý poměr dusíku, fosforu a draslíku. Tomášek (2007) tvrdí, že nepatří mezi vysoce úrodné půdy a často bývají mělké, skeletovité, mají nižší obsah humusu, který má i méně kvalitní složení, oproti černozemím a jsou vhodnější spíše pro pěstování méně náročných obilnin, jako je například žito či oves. Podle (Świtoniak et al., 2016) jsou však vzhledem ke své relativně dobré úrodnosti oproti jiným

půdním typům základem zemědělské činnosti. Kambizemě mají téměř stejnou strukturu celého profilu. Jednou z jejich nejdůležitějších charakteristik je absence znatelného podílu iluviovaného horizontu, který je běžně obohacený o půdní koloidy (Świtoniak et al., 2016), což znamená, že mají nižší schopnost zadržovat živiny a bývají více vysychavé. Kambizemě pak mívají hrubší strukturu a zrnitostním složením většinou odpovídají středním až lehkým půdám (Świtoniak, 2008). Předností v některých případech by mohla být její nižší sléhavost, s čímž souvisí vyšší provzdušněnost půdního profilu a rychlejší zvyšování teploty oproti například hnědozemí, která je půdním typem na stanovišti Červený Újezd. Stanoviště Humpolec je také charakterizované vyššími úhrny srážek a nižší průměrnou teplotou oproti stanovištím Suchdol a Červený Újezd. Jelikož se jedná o lehčí půdu, může docházet k jejímu rychlému vysychání, což by se v některých ročnících mohlo značně projevit na dosažených výnosech i kvalitě produkce. Během sucha dochází k omezení mineralizace dusíku, neboť je závislá na dostupnosti vody a teplotě půdy (Wu et al., 2015), a dále může být omezena množstvím a kvalitou humusových látek v půdě (Vaněk et al., 2016). Podle těchto skutečností, by tedy měly být na stanovišti Humpolec stanoveny nejnižší výnosy zrna ve všech ročnících oproti ostatním stanovištím, což ve většině z hodnocených ročníků potvrzují grafy 3 - 5. V roce 2014 byl však výnos hnojených i kontrolní varianty oproti ostatním stanovištím nejvyšší. Na tomto stanovišti je hodnota pH 5,1. Takováto hodnota půdní reakce není vhodná pro pěstování pšenice (Zimolka et al., 2005) a pravděpodobně může mít vliv na rostliny pšenice, neboť podle Vaněk et al. (2016) se v půdě při nevhodném pH zhoršují podmínky pro růst kořenů, příjem vody a živin a tím i pro celkový růst rostlin, čímž dochází k ovlivnění výnosu a kvality produkce. Z pohledu příjmu živin by pak mohl být nejvíce ovlivněn příjem fosforu, protože Rastija et al. (2014) uvádějí, že dostupnost fosforu je v kyselém prostředí značně snižena, protože bývá fixován pomocí Al^{3+} , Fe^{3+} a Mg^{2+} (Ali et al., 2014) a stává se tak pro rostliny nedostupný. Hodnota pH má však vliv i na sorpci v půdě, jak uvádějí Vaněk et al. (2016). V kyselém prostředí je omezena především biologická sorpce, také se snižuje KVK půdy a sorpční kapacita humusových látek, vlivem čehož může docházet k vyplavování živin z orničního profilu.

Podle mého názoru jsou nevhodnější podmínky pro pěstování pšenice na stanovišti Suchdol, jelikož půdním typem je zde černozem s pH 7,5. Černozemě představují nejúrodnější půdy střední Evropy (Labaz et al., 2018), proto jsou intenzivně zemědělsky využívány a často i s dlouhodobou historií (von Suchodoletz et al., 2017). Podle Vysloužilová et al. (2015) jsou přímo symbolem úrodnosti a Tomášek (2007) dodává, že jsou nejhodnotnějšími půdami ČR, což by mohl být například důvod vyšších výnosů kontrolních

nehnojených variant oproti ostatním stanovištím (grafy 3 - 5), a jsou vhodné pro pěstování pšenice. Černoze země bývají nejčastěji hlinité (Eckmeier et al., 2007), strukturní (Vysloužilová et al., 2015), vysoce nasycené půdy s hloubkou ornice minimálně 40 cm a s vysokou biologickou aktivitou (Altermann et al., 2005) a mívají mocný humusový horizont (Tomášek, 2007) s vysokým obsahem vysoce kvalitního humusu (Vysloužilová et al., 2015), který se vyznačuje vodostálou strukturou (Vaněk et al., 2012) a je vysoce stabilní, v jehož složení převažují huminové kyseliny nad fulvokyselinami (Němeček et al., 2001). Obsah humusu se u černoze země obvykle velmi málo snižuje s rostoucí hloubkou půdního profilu (Vysloužilová et al., 2015). Pravděpodobně vlivem vysokého obsahu vodostálého a kvalitního humusu u černoze země obvykle nedochází k dlouhodobému zamokření, jelikož nejsou sléhavé, či k vysychání půdního profilu, což podle Vysloužilová et al. (2015) zaručuje správnou půdní vlhkost a zásobování rostlin vodou během vegetačního období. Vaněk et al. (2012) ale uvádějí, že v suchých letech mohou černoze země trpět nedostatkem vody. Avšak podle Górka-Kostrubiec et al. (2016) může vlivem nadměrných srážek docházet ke značné degradaci půdních agregátů. Jelikož se černoze země vyvíjí na vápenatých matečných horninách (obvykle spraších) a obsahují vápenatý horizont, který nejčastěji začíná v hloubce 50 cm (Vysloužilová et al., 2015), bývají značně nasyceny ionty Ca^{2+} a Mg^{2+} , jejichž obsah v půdě je na stanovišti Suchdol vyšší oproti ostatním stanovištím (tabulka 1), jejich pH se tak nejčastěji pohybuje okolo hodnoty 7 (Altermann et al., 2005). Hodnota pH na tomto stanovišti je 7,5, což by mohlo ovlivňovat přijatelnost fosforu, neboť nejvyšší mobilita fosforu v půdě je při pH 6,0 - 6,5 (Rastija et al., 2014). V alkalických půdách může být fosfor adsorbován uhličitánem vápenatým (Ali et al., 2014) a stává se tak nepřijatelný pro rostliny.

Podle mého názoru se vliv jednotlivých lokalit způsobený půdními podmínkami, které byly zmíněny výše, odráží především v reakci na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě a mírou kolísání výnosu mezi ročníky. Podle Zimolky et al. (2005) z dlouhodobých pokusů vyplývá výrazný vliv stanoviště na výnos i kvalitu zrna pšenice. Govaerts et al. (2006) uvádějí, že struktura půdy včetně jejích vlastností, jako je například vyšší stabilita půdních agregátů, podle Blanco-Canqui et al. (2006) ještě teplota půdy, kapacita zadržování vody a podle Liu et al. (2014) ještě obsah přístupného dusíku, mikrobiální hmoty a půdní reakce jsou hlavními determinanty výnosu zrna pšenice. Podle těchto skutečností by tedy stanoviště Suchdol mělo mít na výši výnosů mezi ročníky nejvyšší vliv a nemělo by tak docházet k velkému kolísání mezi ročníky a zároveň oproti ostatním stanovištím by neměla být zaznamenána nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě, což bylo pokusem potvrzeno. Na stanovišti Suchdol byly nejvyšší

rozdíly zaznamenány především mezi použitými odrůdami (Alana 2014 a 2015, Reform 2016 a 2017). Alana měla na všech variantách hnojení nižší výnos než odrůda Reform. Výnosy zrna v rámci každé odrůdy byly vyrovnané (graf 5). Odrůda Alana je šlechtitelsky starší odrůdou oproti odrůdě Reform, což může vysvětlovat vyšší výnosy v ročnících 2016 a 2017 oproti ročníkům 2014 a 2015, neboť podle Hejcman et al. (2012) je šlechtitelský pokrok ve šlechtění pšenic znatelný a projevuje se postupným zvyšováním výnosu zrna. Nižší kolísání hodnot na stanovišti Suchdol by podle mého názoru mohlo být také způsobeno vyšší kompenzační vlivu ročníku díky vyšší úrodnosti půdy oproti ostatním stanovištím. Na ostatních dvou stanovištích hodnoty mezi ročníky více kolísaly.

Vlivu půdních podmínek na sledovaných stanovištích přisuzuji i reakci na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě. Na stanovišti Humpolec byly nejnižší výnosy zaznamenány v roce 2015 (graf 4), ve kterém ale byly zjištěny nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti (graf 7), a oproti ostatním stanovištím a všem ročníkům i nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě na variantách hnojených minerálně a kombinací minerálního a dusíkatého hnojení. V roce 2015 byl na stanovišti Humpolec zaznamenán velice nízký výnos kontrolní varianty (1,23) a výnosy u hnojených variant tak byly až o 513 % (varianta NPK) vyšší než výnos kontroly. Naopak na stanovišti Suchdol byla v každém roce zaznamenána nejnižší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě, což bylo patrné především na variantách hnojených organicky, což bylo způsobeno vyšší úrodností a obsahem živin v půdě (tabulka 1) oproti ostatním stanovištím. Nejvyšší reakce na hnojení na stanovišti Suchdol byla zaznamenána v roce 2015 na variantě N (6,87) a byla vyšší o 111,2 % oproti kontrolní variantě. Podle Buráňové et al. (2015) je vliv dusíkatého hnojení na výnos ozimé pšenice vyšší na méně úrodných půdách, než na půdách úrodných, u kterých může půda dodat značné množství dusíku v důsledku mineralizace půdní organické hmoty (Efretuei et al., 2016). Vyšší reakci na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě na méně úrodných stanovištích, než na stanovištích úrodných potvrzuje i výzkum Shejbalová et al. (2014). Balík et al. (2012) dodávají, že je na méně úrodných půdách vyšší využití živin z hnojiv. Kanchikerimath et Singh (2001) ve své studii zkoumali změny v půdní organické hmotě a biologických vlastnostech vlivem dlouhodobé aplikace hnoje a minerálních hnojiv s rotací plodin kukuřice-pšenice-vigna čínská. Na sledovaném stanovišti byla půdním typem kambizem. Všechny varianty byly hnojené hnojem a dusíkatými hnojivy s různými dávkami a kombinacemi živin (NPK, NPK+S, NPK+Zn, NP, atd.). Ve svém pokusu autoři zaznamenali vysokou reakci na hnojení zvýšením výnosu zrna. Buráňová et al. (2015) ve svém pokusu zjišťovali dlouhodobý vliv

hnojení organickými a minerálními hnojivy na efektivitu využívání dusíku na dvou stanovištích s různými půdními typy. Na prvním stanovišti byla půdním typem kambizem, na které autoři zaznamenali vyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna pšenice, zatímco druhým byla černozem, na které byla reakce na hnojení nižší. Tuto skutečnost potvrzuje i výzkum Tlustoš et al. (2018), kteří zkoumali vliv minerálních a organických hnojiv na výnos a kvalitu ozimé pšenice a na obsah živin v půdě v dlouhodobém pokusu, který byl založen roku 1956 na stanovištích Lukavec (kambizem), Čáslav (černice) a Ivanovice (černozem). Založeny měly tři varianty hnojení (kontrolní nehnojená varianta, varianta hnojená hnojem a varianta hnojená kombinací hnoje a minerálních NPK hnojiv) ve čtyřech opakováních na každém stanovišti. Kontrola nebyla hnojena po celou dobu pokusu, hnůj byl aplikován jednou za 4 roky v dávce $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, která odpovídala $38 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok, a NPK hnojiva byla aplikována každoročně spolu s hnojem dávka odpovídala $73 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Autoři v pokusu zjistili, že na stanovišti Lukavec (kambizem) zaznamenali nejvyšší reakci na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě a naopak na stanovišti Ivanovice (černozem) nejnižší.

6.1.2 Vliv variant hnojení na výnos zrna

Vysoký vliv na výnos má i způsob hnojení jednotlivých variant. Tento vliv se však může značně lišit vlivem ročníku, neboť je využitelnost a především příjem živin ovlivněn dostupností vody (Clarke et al., 1990; Shengli et al., 2012; Zhong et al., 2014; Hooper et al., 2015).

Z výsledků pokusu je patrné, že nejnižší výnosy, reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě i kvalita zrna byly nejčastěji v každém hodnoceném ročníku a na každém stanovišti stanoveny na organicky hnojených variantách, přičemž byly tyto parametry na variantě Kal většinou vyšší, než na variantě Hnůj. Tlustoš et al. (2018) a Kachikerimath et al. (2001) také ve svých studiích, které již byly popsány výše, zaznamenali nejnižší výnos zrna na organicky hnojených variantách oproti ostatním variantám hnojení. Ale Yang et al. (2006) ve svém pokusu stanovili vyšší výnosy zrna pšenice na organicky hnojených variantách oproti variantám hnojeným minerálně. Nejnižší výnosy, zjištěné v rámci diplomové práce byly zjištěny na organicky hnojených variantách, což bylo zřejmě způsobeno nižší dostupností dusíku oproti minerálně hnojeným variantám, neboť dusík, aby byl pro rostliny dostupný, musí být nejprve uvolněn z organické hmoty procesem mineralizace (Vaněk et al., 2016), která je podle Jinling et al. (2013) nejdůležitějším způsobem konverze dusíku. Jelikož se živiny z hnoje uvolňují postupně (Guo et al., 2016)

a v druhém roce po aplikaci, ve kterém se pšenice v pokusu nachází, se uvolní okolo 10 - 15 % dusíku (Černý et al., 2013), což odpovídá asi 33 - 50 kg N.ha⁻¹, je množství využitelného dusíku pro rostliny nižší, než na minerálně hnojených variantách, na kterých dávky dusíku odpovídají 140 kg N.ha⁻¹, který je pro rostliny okamžitě dostupný a je aplikován na přesně cílené růstové fáze, což je podle mého názoru nejpravděpodobnějším důvodem nižších výnosů zrna pšenice na organicky hnojených variantách oproti ostatním variantám hnojení, jelikož dusík mohl v době nejvyšší potřeby, která je podle Hooper et al. (2015) v období sloupkování (vliv na počet zrn v klasu), chybět. Navíc mohla být ovlivněna i samotná mineralizace organické hmoty hnojiva, jelikož podle Černý et al. (2013) závisí rychlost a intenzita mineralizace na teplotě a vlhkosti půdy, půdních vlastnostech, kvalitě použitého organického hnojiva a na mikrobiální aktivitě půdy, která je podle Jinling et al. (2013) vyšší při vyšších teplotách a podle Wu et al. (2015) ještě při vyšší vlhkosti půdy. Jinling et al. (2013) dodávají, že činnost mikroorganismů přes zimu neustává, jak se vždy předpokládalo. Na druhou stranu, jak uvedli Balík et al. (2012), využívá pšenice většinu dusíku z půdní zásoby. Při aplikaci organického hnojiva je do půdy přiváděna organická hmota a mikroorganismy, které by měly zvyšovat intenzitu mineralizace půdní organické hmoty (Kalina, 2005). Zároveň se jedná o komplexní hnojiva, která obsahují řadu živin, což by se mělo podle mého názoru projevit na vyšším výnosu organicky hnojených variant oproti například variantě N, která je hnojena jen dusíkem.

Na stanovišti Suchdol nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mezi výnosem kontrolní varianty a organicky hnojenými variantami, což bylo pravděpodobně způsobeno vysokou úrodností tamní půdy, jelikož půdním typem je černozem, které mívají vysoký obsah organických látek a sorpci živin. Téměř stejného výnosu zrna na kontrolní variantě a na variantách hnojených hnojem nebo kompostovaným hnojem dosáhli i Schwartz et al. (2002), jejichž pokus probíhal na jílovito-hlinité půdě. Ke hnojení každoročně autoři používali uvedená organická hnojiva v dávce, která odpovídala 130 kg N.ha⁻¹, což byla vyšší dávka než v rámci pokusu diplomové práce.

I přes to, že byla obě organická hnojiva aplikována v dávce, která odpovídá 330 kg N.ha⁻¹, byly zpravidla vyšší výnosy stanoveny u varianty Kal než u varianty Hnůj, což bylo pravděpodobně způsobeno vyšším obsahem ostatních živin v kalech než v hnoji. Podle obsahu živin v kalech (tabulka 2) se upravenými kaly do půdy dodává vyšší množství fosforu oproti hnoji a podle Vaněk et al. (2016) obsahují kaly oproti hnoji více organické hmoty, vápníku i hořčíku. A jelikož je většina organické hmoty tvořena odumřelými těly mikroorganismů, kteří se podílejí na biologickém čištění vody, je dobře a rychle rozložitelná,

což ale může způsobovat vysoké ztráty dusíku. (Bamber et al., 2016) a Evanylo (2003) dodávají, že se ztráty zvyšují se snižující se schopností půdy dusík poutat, která souvisí především se zrnitostí. Lehtinen et al. (2017) porovnávali 12 variant hnojení: hnojené minerálním dusíkatým hnojivem o různých dávkách dusíku (40, 80, 120 kg N.ha⁻¹), organicky hnojené varianty (kompost z komunálního odpadu, kompost ze zelené hmoty, kompostované kaly a hnůj skotu) v dávce 175 kg N.ha⁻¹, a varianty s uvedenými organickými hnojivy (175 kg N.ha⁻¹) v kombinaci s minerálním dusíkatým hnojivem (80 kg N.ha⁻¹) a ve svém pokusu zaznamenali vyšší výnos na variantě hnojené hnojem než kalem nebo minerálními dusíkatými hnojivy. V pokusu diplomové práce byl výnos zrna na variantě Kal na stanovišti Humpolec v roce 2014 a 2016 (graf 4) a na stanovišti Suchdol v roce 2017 (graf 5) jedněmi z nejvyšších v daném ročníku. Debiase et al. (2016) založili pokus s variantami hnojenými minerálně, kompostem z komunálního odpadu a čistírenskými kaly se čtyřmi opakováními a z jejich výsledků zjistili, že byl výnos na variantách hnojených kaly a minerálními hnojivy téměř bez rozdílu.

Nejvyšší výnosy by podle mého názoru měly být dosahovány na kombinaci organických a minerálních hnojiv, jelikož jsou na těchto variantách dodávány všechny živiny (včetně organické hmoty), které by tak neměly být pro růst a vývoj pšenice limitující. Tento efekt se však projevil jen na stanovišti Humpolec v roce 2017. Guo et al. (2016) ve svém pokusu zkoumali vliv zvyšování dávky organických hnojiv na výnos, půdní vlastnosti a biologické aktivity půdy. Autoři založili experiment se 6 variantami hnojení, ve kterých byl rozdílný poměr organických a N, P, K hnojiv, s dávkami dusíku odpovídajícími 375 kg N.ha⁻¹ a zjistili, že výnos byl na kombinaci organických hnojiv s minerálními vyšší, než pouze při minerálním hnojení. Stejného výsledku dosáhli i Kato et Yamagishi (2011). A Tlustoš et al. (2018) a Kachikerimath et Singh (2001) ve svých pokusech zaznamenali vyšší výnos zrna na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv oproti organicky hnojeným variantám. Nejvyššího výnosu zrna však bylo v rámci pokusu diplomové práce na všech stanovištích ve všech ročnících zpravidla dosahováno na variantách hnojených pouze minerálně. Blackshaw et al. (2005) ve svém pokusu hodnotili reakci pšenice a vybraných plevelů v porostech na minerální dusíkaté hnojení, čerstvý hnůj a kompostovaný hnůj s různými způsoby aplikace těchto hnojiv. Autoři ve svém pokusu zaznamenali vyšší výnos zrna pšenice na variantě hnojené jen minerálním dusíkatým hnojivem, než na variantách hnojených organicky. A Heitkamp et al. (2009) ve svém pokusu porovnávali výnos zrna pšenice na třech minerálně hnojených variantách a třech organicky hnojených variantách s různými dávkami dusíku. Dávky dusíku byly shodné u organicky

i minerálně hnojených variant a byly rozděleny na tři úrovně. Vyšší výnos zrna stanovili na minerálně hnojených variantách, než na variantách hnojených organicky.

6.1.3 Vliv ročníku na výnos zrna

Přes to, že je vliv stanoviště a variant hnojení z výsledků pokusu patrný, je výnos zrna podle mého názoru nejvíce ovlivněn klimatickými faktory, což je důvodem rozdílů ve výnosech mezi jednotlivými ročníky na hodnocených stanovištích. Podle Nuttall et al. (2017) jsou klimatické faktory pro výnos pšenice rozhodující. Významný vliv ročníku uvádějí i Balík et al. (2012). 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. Rozdíly ve výnosu v různých ročnících jsou pak způsobeny především nedostatkem srážek (Vári et Máriaš, 2013), který se na jednotlivých parametrech projeví podle toho, v jakém období nastane. Obelholzer et al. (2017) tvrdí, že dostupnost vody je jedním z rozhodujících faktorů, které určují vývoj plodin a jejich následný výnos. Sucho má vysoký vliv na růst a vývoj pšenice a s tím i na následný výnos a kvalitu. Shiferaw et al. (2013) ve své studii uvedli, že pšenice vykazuje lineární snižování výnosu se snižující se dostupností vody. Při nedostatku vody se snižuje efektivita fotosyntézy a rychlost transpirace (Hsiao, 2003). Mimo přímého vlivu na rostliny, ovlivňuje nedostatek srážek například i přijatelnost živin (Vaněk et al., 2016) a to zejména dusíku, neboť jak tvrdí Hooper et al. (2015), přijatelnost dusíku koreluje s dostupností vody a to je podle Clarke et al. (1990) důvodem, proč dochází ke snižování výnosů zrna. Kocón et Podolska (2008) ve svém nádobovém pokusu zjišťovali vliv nedostatku vody na výnos a kvalitu zrna pšenice hnojené různými hladinami minerálního dusíku. Autoři prokázali, že nedostatek vody v půdě způsobil nižší výnosy zrna, ale naopak pozitivně ovlivnil kvalitu pšenice.

Nejsušší byl z hodnocených ročníků ročník 2015, což se projevilo na výnosech zrna na stanovišti Suchdol a Humpolec. Právě v tomto roce byly zaznamenány nejnižší výnosy zrna i slámy oproti ostatním ročníkům, což bylo způsobeno především průběhem počasí v jarní části vegetace pšenice. Na stanovišti Červený Újezd byl naopak v roce 2015 výnos zrna nejvyšší ze všech sledovaných ročníků. V tomto roce byly oproti ostatním ročníkům zjištěny nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti zrna na všech hodnocených stanovištích. Vliv počasí v roce 2015 je patrný zejména z výnosu zrna kontrolních variant na jednotlivých stanovištích, které byly oproti ostatním ročníkům nejnižší. V tomto roce však také byly zaznamenány na všech stanovištích nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolním variantám. Předjaří v roce 2015 bylo charakterizováno vyššími teplotami

a nízkými úhrny srážek oproti dlouhodobému normálu. V březnu, dubnu a do poloviny května (druhá polovina odnožování až sloupkování) byly teploty i úhrny srážek sice nižší, ale relativně podobné normálu. Ke konci května se na porostech začal projevovat nedostatek srážek. Nízký úhrn srážek byl navíc umocněn tropickými teplotami, které byly naměřeny až do poloviny června. V druhé polovině června se ochladilo k normálu a přišly srážky, avšak v červenci bylo opět sucho a horko (ČHMÚ, 2018). Výnos zrna v roce 2015 pravděpodobně nebyl ovlivněn v období zakládání klasu, jelikož se počasí blížilo normálu, ale až v období sloupkování, což by souviselo i se zjištěnými výsledky v pokusu, neboť v tomto roce byly včetně nejnižších výnosů zrna zároveň stanoveny i nejnižší výnosy slámy na stanovištích Humpolec (graf 16) a Suchdol (graf 17) oproti ostatním ročníkům. V tomto období mohlo vlivem nedostatečného příjmu živin a vody dojít k ukončení výživy některých odnoží, čímž by se snížil počet klasů.m⁻² nebo mohla být omezena délka klasů, což by mohlo mít za následek snížení počtu zrn na klas. Avšak Larsen et al. (2012) se ve své studii pokoušeli dosáhnout vysokého výnosu slámy ozimého žita, ozimé pšenice, ozimého ječmene a tritikale a tvrdí, že úroveň výnosu slámy není ovlivněn výnos zrna. Nízký výnos mohl být podle mého názoru způsoben také kombinací sucha a vysokých teplot v období kvetení, během kterého mohlo dojít k poškození reprodukčních orgánů nebo pylu a nedošlo tak k dostatečnému opylení. Tuto skutečnost podporuje tvrzení Barnabas et al. (2008), kteří uvedli, že sucho během kvetení vede ke sterilitě pylu, vlivem čehož podle mého názoru došlo ke hluchosti některých klásků a ve vývoji tak pokračovalo jen malé množství zrna. Podle Wang et Huang (2004) má kombinace sucha a horkého počasí mnohem vyšší vliv na růst a produktivitu rostlin, než oba stresy zvlášť. Bagci et al. (2007) ve svém pokusu studovali vliv sucha a nedostatku zinku na výnos zrna pšenice. Autoři porovnávali pšenici zavlažovanou pouze dešťovými srážkami nebo umělým zavlažováním a zjistili, že během velmi suchého a horkého počasí došlo ke hluchosti mnoha klásků v klasech a zároveň, že je vliv sucha na výnos zrna značný. Vlivem sníženého počtu zrn na klas byla zajištěna výživa jednotlivých zrn, a proto v tomto roce byly zaznamenány nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti zrna na všech stanovištích oproti ostatním ročníkům. Dalším možným důvodem může být tvrzení Nuttal et al. (2017), kteří ve své práci konstatovali, že vlivem vysokých teplot je zkrácena doba, po kterou probíhá ukládání škrobu do zrna a dochází tak ke snížení hmotnosti zrna.

V roce 2016 došlo na všech stanovištích k polehnutí porostu na variantách hnojených minerálně a na variantě Kal. Nejvíce se polehnutí porostu projevilo na stanovišti Suchdol, na kterém byly zaznamenány nižší hodnoty objemové hmotnosti zrna na všech variantách

hnojení a nižší výnosy zrna na variantách Kal, N, NPK a N + sláma oproti kontrolní variantě hnojení, jak dokumentují grafy 5 a 8. K polehnutí porostu došlo i přes to, že odrůda Reform má mít nízkou náchylnost k poléhání, což pravděpodobně způsobilo nižší objemovou hmotnost i výnosy zrna. Oproti ostatním ročníkům byla objemová hmotnost na všech variantách hnojení nejnižší, ale výnosy zrna byly spolu s výnosy v roce 2017, ve kterém již byl použit regulátor růstu a porosty nepolehly, nejvyššími na tomto stanovišti.

Podle Berry et al. (2004) je poléhání jeden z omezujících faktorů výnosu i kvality zrna pšenice. Jedel et al. (1991) konstatují, že výnos zrna může být při polehnutí porostu snížen o 20 - 40 %, ale zároveň dodávají, že vliv na výnos dosti záleží na odrůdě a růstové fázi. Poměrně vysoké výnosy zrna v roce 2016 byly pravděpodobně zajištěny vysokým počtem zrn.m⁻² a hustotou porostu. Nebyl však zřejmě dosažen výnosový potenciál daného ročníku. Toto tvrzení podporují i výsledky analýz obsahů dusíku ve slámě (graf 20), které byly v roce 2016 na stanovišti Suchdol značně vyšší oproti ostatním ročníkům, což ale podle Clarke et al. (1990) může být způsobeno stále vhodnými podmínkami pro efektivní asimilaci, protože pšenice pak do zrna translokují méně živin, a také vysoký výnos kontrolní varianty (graf 5). Kvůli polehlému stéblu, ale mohlo dojít k porušení vodivých pletiv a byla omezena transpirace a s ní pak efektivita příjmu a vedení vody v rostlině a s tím i transport nově syntetizovaných a reutilizovaných živin z vegetativních částí rostliny na klas. Pravděpodobně tedy nedošlo k dostatečnému transportu živin do klasu. Tímto způsobem byl omezen výnos zrna oproti kontrolní variantě, na které porost nepolehl a nebyl tedy dosažen výnosový potenciál daného ročníku. Podle Kichey et al. (2007) tvoří reutilizovaný dusík až 95 % celkového dusíku v zrnu, který má však jen malý vliv na výši výnosu zrna a ovlivňuje spíše jeho kvalitu. Chardon et al. (2012) ale ve své studii tvrdili, že míra reutilizace dusíku má na výnos vysoký vliv. Berry et al. (2000) ve svém výzkumu uvedli, že k poléhání porostu dochází v důsledku interakcí mezi rostlinami, větrem, deštěm a půdou. Na stanovišti Suchdol byly relativně silné deště zaznamenány na přelomu května a června. Negativní vliv větru a deště na odolnost proti poléhání může být navíc podpořen aplikací produkčního hnojení v období sloupkování, kdy mohlo dojít k okamžitému nadbytku dusíku, jenž způsobuje intenzivní růst, nižší tvorbu sklerenchymatických pletiv a stébla jsou pak méně pevná, jak tvrdí Kováčik (2009). Stanoviště Suchdol má navíc oproti ostatním stanovištím vyšší obsah živin v půdě i KVK (viz tabulka 1), což by mohl být důvod, proč byla závažnost polehnutí porostů na ostatních dvou stanovištích nižší. Mingwei et al. (2017) ve svém pokusu zkoumali účinky různých hladin a poměrů dusíku na morfologické, anatomické a chemické vlastnosti stébel ozimé pšenice a snažili se stanovit optimální techniku hnojení dusíkem

k dosažení vysokého výnosu zrna a odolnosti vůči poléhání. V pokusu byly použity tři hladiny hnojení (180, 225 a 270 kg N.ha⁻¹), které ještě byly rozděleny do různých poměrů aplikace na: 1) 7:1:2:0, 2) 5:1:2:2 a 3) 3:1:3:3, které byly aplikovány ve čtyřech růstových fázích. První aplikace proběhla před setím, druhá při odnožování, třetí ve fázi sloupkování a čtvrtá ve fázi metání. Autoři zjistili, že se s rostoucí dávkou dusíku značně zvyšuje riziko polehnutí porostu a zároveň i s vyšší základní dávkou (7:1:2:0). Porosty nejčastěji poléhaly ve fázi kvetení. Nejvyšší výnos zrna zaznamenali na variantách hnojených 225 kg N.ha⁻¹ s poměrem 5:1:2:2, ale nejnižší stupeň poléhavosti na variantách s poměrem 3:1:3:3. A také zjistili, že se s vyšší dávkou dusíkatých hnojiv snižuje pevnost stébel. Tripathi et al. (2003) ve své studii tvrdí, že odolnost vůči poléhání pozitivně koreluje s pevností stébla.

6.2 Obsah dusíku v zrně

Obsah dusíku v zrně je ovlivněn dostupností dusíku, odrudou, načasováním aplikace dusíkatých hnojiv a dostupností vody během plnění zrna a především klimatickými faktory (Buráňová et al., 2016). Vlivy působící na kvalitu zrna zkoumali Rozbicki et al. (2015) a z výsledku svého pokusu vyvodili, že kvalita zrna pšenice je ovlivňována spíše faktory vnějšího prostředí nežli genetickým založením.

Obsah dusíku byl koeficientem 5,7 převeden na obsah N-látek v zrně (%), který zobrazují tabulky 7 - 9 v příloze. Podle Zimolky et al. (2005), kteří vycházeli z ČSN 46 1011-18: Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin - Část 18: Zkoušení obilovin - Stanovení obsahu dusíkatých látek, je obsah N-látek jedním z kvalitativních parametrů pšenice a minimální hodnota obsahu N-látek pro potravinářskou pšenicí je 11,5 %. Na stanovišti Červený Újezd by toto minimum splňovala pšenice na variantách Hnůj 1/2+N, N, NPK a N + sláma v roce 2014, v roce 2015 na variantách N a N + sláma, v roce 2016 na žádné z variant hnojení a v roce 2017 na variantách N, NPK a N + sláma. Na stanovišti Humpolec nebylo stanovené minimum dosaženo na žádné z variant hnojení. Na stanovišti Suchdol byla vyšší hodnota N-látek stanovena v roce 2014 na variantách Kal, Hnůj 1/2 + N, N, NPK a N + sláma, v roce 2015 jen na variantě N, v roce 2016 jen na variantě NPK a v roce 2017 na variantách NPK a N + sláma.

Podle některých zjištěných výsledků se dá konstatovat, že se hodnota obsahu dusíku v zrně zvyšovala s vyšší výnosu slámy a naopak snižovala s vyšší výnosu zrna. Například na stanovišti Suchdol byl v roce 2014 na všech variantách hnojení stanoven nejvyšší výnos slámy a zároveň obsah dusíku, ale také relativně nízký výnos zrna, který byl na variantách N a NPK nejnižší oproti ostatním ročníkům. Kocón et Podolska (2008) ve svém nádobovém

pokusu zjišťovali vliv nedostatku vody na výnos a kvalitu zrna pšenice hnojené různými hladinami minerálního dusíku. Autoři prokázali, že nedostatek vody v půdě způsobil nižší výnos zrna, jak již bylo zmíněno výše, ale zároveň pozitivně ovlivnil kvalitu pšenice. Vyšší výnos slámy má podle mého názoru vliv především na reutilizaci dusíku, jenž ovlivňuje kvalitu zrna, jak uvádějí Masclaux-Daubresse et al. (2017). Jelikož pšenice ukládá živiny do vegetativních částí před generativní fází růstu (Zhao et al., 2014), byla pak díky vyšší tvorbě slámy schopna naakumulovat a následně reutilizovat vyšší množství živin, které byly využity pro tvorbu zrna a zásobních látek. Vyšší tvorba slámy pak souvisí především s množstvím odnoží na rostlinu a s příjmem živin a průběhem počasí během sloupkování.

Navzdory nízkému výnosu zrna v roce 2015 nebyly v tomto roce zaznamenány nejnižší hodnoty obsahu dusíku v zrně oproti ostatním ročníkům (grafy 9 - 11), což bylo pravděpodobně způsobeno průběhem srážek během roku a půdními podmínkami. Pouze na stanovišti Suchdol byl obsah dusíku v zrně v roce 2015 oproti ostatním ročníkům nejnižší na téměř všech variantách hnojení. Průběh počasí v roce 2015 již byl popsán výše. Vlivem srážek v druhé polovině června nebyla omezena transpirace a s ní i reutilizace dusíku, a tak byla zřejmě zajištěna tvorba zrna. Jelikož je stanoviště Humpolec charakterizováno vyššími ročními úhrny srážek (viz kapitola 1.1.2) a nachází se ve vyšší nadmořské výšce oproti ostatním stanovištím, nebylo zde takové sucho a vysoké teploty oproti ostatním stanovištím. Vývoj zrna tak probíhal bez omezení, což potvrzuje i graf 10, na kterém je vidět, že nebyly stanoveny vysoké rozdíly v obsahu dusíku v zrně mezi jednotlivými ročníky. Nižší průměrný úhrn srážek je však charakteristický pro stanoviště Červený Újezd a Suchdol, jejichž hodnoty se téměř neliší. Rozdíly mezi těmito stanovišti byl pravděpodobně způsoben především půdními podmínkami. Na Červeném Újezdu nebyl obsah dusíku v zrně v roce 2015 nejnižším z hodnocených ročníků (graf 9) a zároveň zde byly dosaženy nejvyšší výnosy zrna, což bylo podle mého názoru způsobeno oglejením půdy, které souvisí s vysokou schopností tamní půdy zadržovat vodu, a proto i přes extrémní počasí koncem května a začátkem června, které již byly diskutovány výše, nedošlo k ovlivnění výnosu nebo kvality produkce. Nejnižší hodnoty obsahu dusíku na tomto stanovišti byly stanoveny v roce 2016, které zřejmě souvisely s mírným polehnutím porostu. Na stanovišti Suchdol je sice vysoce úrodná půda, ale oproti stanovišti Humpolec je charakterizováno nižším průměrným úhrnem srážek a oproti stanovišti Červený Újezd zde nedochází k oglejení půdy, vlivem čehož pšenice zřejmě trpěla nedostatkem vody, který byl navíc umocněn vysokými teplotami v průběhu června, které mohou podle Nuttall et al. (2017) značně ovlivňovat kvalitu zrna. Podle mého názoru pšenice na stanovišti Suchdol oproti ostatním stanovištím více trpěla teplotním

stresem vlivem nižších srážek, neboť, jak uvádějí Shiferaw et al. (2013), je pšenice zásobená dostatkem vody méně náchylná na zvýšenou teplotu.

Nejnižší hodnoty obsahu dusíku v zrně byly na všech stanovištích zjištěny především na variantách hnojených organicky, což je podle mého názoru důsledek nedostatečného množství živin v období potřeby, neboť je dostupnost živin z organických hnojiv závislá na mineralizaci a oproti minerálním dusíkatým hnojivům, kterými je do půdy aplikován okamžitě dostupný dusík, nemůže být přímo využit rostlinami, jak uvedli Vaněk et al. (2016). Hlisnikovský et al. (2015) ve svém pokusu, který založili na třech stanovištích ČR (Ivanovice, Čáslav, Lukavec) porovnávali vliv organického a kombinace organického a minerálního hnojení na obsah dusíku v zrně a v jejich pokusu stanovili vyšší hodnoty obsahu dusíku v zrně na kombinaci minerálního a organického hnojení. Buráňová et al. (2016) ve svém pokusu porovnávali varianty hnojené organicky, minerálně a kombinací minerálního a organického hnojení. Nejnižší hodnoty obsahu dusíku zaznamenali na variantách hnojených organicky a nejvyšší na minerálně hnojených variantách. Bouacha et al. (2014) z výsledků svého pokusu vyvodili, že minerální dusíkatá hnojiva značně zvyšují obsah bílkovin v zrně.

6.3 Odběr dusíku nadzemní biomasou

Podle Vaněk et al. (2016) odebere pšenice na 1 t produkce okolo 24 kg dusíku. Klír et al. (2008) uvádějí, že pšenice na 1 t zrna průměrně odebere 22 kg dusíku. Uvedenému odběrovému normativu v zásadě s určitými výjimkami odpovídaly na stanovišti Suchdol (tabulka 12) a Červený Újezd (tabulka 10) varianty hnojené minerálně nebo kombinací minerálních a organických hnojiv. Na stanovišti Humpolec (tabulka 11) byl odběr dusíku na těchto variantách okolo 20 kg N.t⁻¹. Odběr na 1 t produkce byl na variantách hnojených organicky nižší a pohyboval se okolo 18 kg N.t⁻¹ a na stanovišti Humpolec dokonce okolo 15 kg N.t⁻¹, jen na stanovišti Suchdol na variantě Kal byl odběr dusíku na 1 t produkce shodný s variantami hnojenými minerálně a kombinací minerálních a organických hnojiv. V některých ročnících (2014 a 2016 na stanovišti Suchdol, v roce 2014 a 2017 na stanovišti Červený Újezd) byly odběry dusíku na 1 t produkce vyšší než uvedený odběrový normativ. Tyto vypočtené odběry pšenice na produkci 1 t zrna v rámci diplomové práce však vycházejí pouze z odběru dusíku nadzemní biomasou a nezahrnují dusík obsažený v kořenech. Jak uvádějí Allard et al. (2013), tento postup výpočtu využívá většina studií, avšak autoři upozorňují, že odběr dusíku podzemní biomasou se mění s jejím množstvím, a ve které po období dozrávání zrna zůstává 10 - 20 % z původního obsahu dusíku, což může mít značný

vliv například na obsah dusíku v zrna. Toto široké rozmezí může mít značný vliv na výnos a kvalitu zrna ozimé pšenice a podle Allard et al. (2013) se množství zbytkového dusíku v kořenech liší mezi odrůdami a příliš se nemění vlivem různých variant hnojení. Takovéto široké rozmezí pak může způsobovat nepřesnosti při výpočtech odběru dusíku na produkci 1 t zrna, pokud nebylo stanoveno množství vyprodukované podzemní biomasy a zároveň nebyly provedeny přesné rozbory obsahu dusíku. Vypočtené hodnoty by tak měly být vyšší.

Ali et al. (2012) ve své studii uvedli, že dávky dusíku do 140 kg N.ha^{-1} mají výrazný vliv na výši výnosu i kvalitu zrna a s vyšší dávkou dusíku se již jeho příjem postupně snižuje. Jelikož se dávky dusíkatého hnojení orientují především podle potřeby pšenice, nekoresponduje toto tvrzení se zjištěnými výsledky v rámci pokusu diplomové práce, neboť na všech stanovištích a většině variant hnojení byl odběr dusíku pšenicí vyšší než hodnota, kterou uvedli Ali et al (2012), a to zejména na minerálně hnojených variantách, které byly hnojeny dávkou dusíku, která odpovídala 140 kg N.ha^{-1} , z čehož se dá soudit, že pšenice přijímala dusík intenzivně i po přijetí dávky, kterou uvedli Ali et al (2012). Nejvyšší hodnota odběru dusíku byla stanovena na stanovišti Červený Újezd na variantě N a činila $230,8 \text{ kg N.ha}^{-1}$ (graf 12), z čehož vyplývá, že byl patrně využit všechen dusík z aplikovaného hnojiva a zbytek dusíku pšenice přijala z půdní zásoby. Zhang et al. (2018) se ve své studii snažili stanovit optimální dávku dusíku pro výnos pšenice z hlediska příjmu dusíku, kvůli možnému znečištění prostředí, a pro hladinu výnosu s maximálními ekonomickými zisky. Z hlediska výnosu zrna z výsledků svého pokusu autoři vyvodili, že optimální dávka dusíku je 277 kg.ha^{-1} a z ekonomického hlediska potom 253 kg N.ha^{-1} , která odpovídala výnosu 7 t.ha^{-1} zrna.

Nižší odběry dusíku na organicky hnojených variantách oproti ostatním variantám hnojení byly pravděpodobně způsobeny nižším přísunem dusíku v organických hnojivech, který odpovídá asi 50 kg N.ha^{-1} . Vlivem stanovištních podmínek pak byl zbytek dusíku čerpán z půdní zásoby, která se projevila především v odběru dusíku pšenicí na kontrolní nehnojené variantě hnojení, což byl pravděpodobně důvod relativně vysokých hodnot odběru dusíku na organicky hnojených variantách na stanovištích Suchdol a Červený Újezd. Naopak na stanovišti Humpolec byly odběry dusíku oproti ostatním stanovištím nejnižší.

Hooper et al. (2015) ve své studii uvedli, že je příjem dusíku pšenicí přímo úměrný dostupnosti vody a snižuje se s její klesající dostupností. Toto tvrzení by korespondovalo s výsledky pokusu diplomové práce pouze na stanovišti Suchdol, na kterém byl odběr dusíku pšenicí nejnižší v roce 2015, který byl nejsušším rokem, oproti ostatním ročníkům. Na stanovišti Červený Újezd se jednalo o jedny z nejvyšších zjištěných hodnot, příjem dusíku

tedy nebyl zřejmě výrazně ovlivněn průběhem počasí, což bylo pravděpodobně způsobeno oglejením půdy, jak již bylo diskutováno výše. Na stanovišti Humpolec byly odběry dusíku v roce 2015 na hnojených variantách vyšší než v roce 2017 a zároveň téměř stejné jako na stanovišti Suchdol v roce 2015, což bylo pravděpodobně způsobeno půdně-klimatickými vlivy. Patrně vlivem horších půdních podmínek byl odběr dusíku na stanovišti Humpolec oproti ostatním stanovištím nejnižší a na druhou stranu zřejmě vlivem klimatických podmínek v této lokalitě nebyl efekt sucha a vysokých teplot tolik intenzivní, jak bylo diskutováno výše, a proto nebyl odběr dusíku tolik redukován a vyrovnal se odběru dusíku na stanovišti Suchdol.

Z výsledků je možné vyvodit, že se odběr dusíku pšenicí zvyšoval s výší výnosu zrna a slámy. Vysoký odběr dusíku však nemusí být vlivem ročníku zárukou vysoké kvality a výnosu zrna, jak vyplývá z výsledků pokusu. Důležitějšími ukazateli se spíše zdály výše výnosu zrna a poměr odběru dusíku zrnem z celkového odběru (grafy 21 - 23), což je odrazem míry reutilizace dusíku z vegetativních částí. Příkladem byl rok 2016 na stanovišti Suchdol, ve kterém byly zaznamenány vysoké hodnoty odběru dusíku pšenicí, avšak nebyla vlivem polehnutí dosažena vysoká kvalita produkce. Výnosy zrna na hnojených variantách sice patřily k nejvyšším na daném stanovišti, ale byly na některých variantách hnojení nižší než výnos zrna kontrolní varianty, jak již bylo diskutováno výše. Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru se v tomto roce pohyboval okolo 70 %. Odběr dusíku pšenicí v roce 2014 na stanovišti Suchdol byl na všech variantách znatelně nižší než v roce 2016 a podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru se také většinou pohyboval okolo 70 %. Oproti roku 2016 byly výnosy zrna nižší, avšak byly v tomto roce stanoveny nejvyšší hodnoty obsahu dusíku v zrně. Xu et al. (2018) ve svém tříletém pokusu zkoumali rozdíly ve výnosech a využití dusíku. Ve svém pokusu autoři zaznamenali výnosy zrna ozimé pšenice v rozmezí 7,3 - 9,3 t.ha⁻¹ a stanovili vysoké odběry dusíku, které se pohybovaly v rozmezí 218 - 328 kg N.ha⁻¹, ale podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru dusíku se pohyboval okolo 77 %. V pokusu stanovili i vysokou kvalitu pšenice s vysokými obsahy N-látek, které se pohybovaly v rozmezí 12,5 - 14,5 %.

Vysvětlením nižšího podílu odběru dusíku z celkového odběru pšenicí by mohlo být tvrzení Clarke et al. (1990), kteří uvedli, že pšenice translokuje méně dusíku po odkvětu z vegetativních částí do klasu, pokud má vhodné podmínky pro efektivní asimilaci. Vlivem sucha by mohl nastat nedostatek dusíku, neboť je jeho příjem závislý na srážkách (Hooper et al., 2015), což by mohlo vysvětlovat vyšší podíly odběru dusíku zrnem z celkového v roce 2015 na všech stanovištích a hnojených variantách oproti ostatním ročníkům. Guiboileau et

al. (2012) dodávají, že reutilizace dusíku intenzivněji probíhá za nedostatku živin, což by mohlo být vysvětlení, proč byl nejvyšší podíl odběru dusíku zrnem vůči celkovému odběru zaznamenán na kontrolních variantách hnojení a při porovnání hodnocených stanovišť na stanovišti Humpolec, kde byl nejvyšší stanoven na variantě Hnůj v roce 2017 a činil 91,4 % z celkového odběru dusíku pšenicí.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit vliv hnojení na odlišných stanovištích na výnos ozimé pšenice a efektivitu využití dusíku z aplikovaných hnojiv.

Z výsledků pokusu lze vyvodit, že výnos ozimé pšenice byl značně ovlivněn půdně-klimatickými podmínkami pěstování a hnojením dusíkem.

Zatímco byly v některých případech vysoké výnosy zrna stanoveny i na méně úrodném stanovišti, nejvyšší výnosy zrna byly stanoveny především na úrodnějších stanovištích. Vliv stanoviště se odrážel především v reakci na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě hnojení a rozdíly mezi jednotlivými ročníky. Z výsledků vyplývá, že na více úrodných stanovištích se v zásadě dají každoročně očekávat stále téměř stejně vysoké výnosy zrna, zatímco na méně úrodných stanovištích není výše výnosu tolik vyrovnaná mezi ročníky. Na méně úrodných stanovištích bylo dusíkaté hnojení více efektivní, což se projevilo ve zvýšení výnosu zrna hnojených variant oproti kontrolní variantě hnojení, bez něho by byly výnosy zrna značně redukovány. Na úrodnějších stanovištích nebylo zvýšení výnosu zrna oproti kontrolní variantě tak výrazné a dalo by se tedy počítat s nižším ekonomickým efektem dusíkatého hnojení, což by však mohlo být nahrazeno vyšší meziroční stabilitou výnosů.

Nejvyšší vliv na růst a vývoj ozimé pšenice a na její následný výnos zrna měl průběh počasí. Ani vysoce úrodná stanoviště nebyla zcela schopna kompenzovat negativní vlivy ročníku, jako byl nedostatek vody a vysoké teploty v roce 2015 nebo přívalové deště a vysoká rychlost větru v roce 2016, které měly za následek polehnutí porostu.

Vliv hnojení a formy hnojiva na výnos zrna ozimé pšenice byl značný, přičemž byl vliv minerální formy dusíku vyšší než organické, protože nejnižší výnosy zrna byly stanoveny na organicky hnojených variantách a po aplikaci minerálního dusíkatého hnojiva se výnosy zrna značně zvýšily. Nejvyšší výnosy zrna byly stanoveny na variantách hnojených minerálně případně na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv. Dá se tedy soudit, že pšenice více reagovala na minerální dusíkatá hnojiva než na organická, a že pouze samotné organické hnojení pro dosažení vysokých výnosů zrna pšenice nebylo příliš efektivní, a zároveň je využití dusíku z minerálních hnojiv vyšší než z hnojiv organických. Dále se dá konstatovat, že vzhledem k hladinám dosažených výnosů bylo hnojení $140 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ nedostatečné zejména pro zajištění potravinářské kvality produkce a bylo by nutné dávku zvýšit o kvalitativní přihnojení aplikované v období metání.

Hypotézy

První hypotéza byla pokusem potvrzena, neboť na všech hodnocených stanovištích ve všech ročnících byly dosaženy vyšší výnosy zrna hnojených variant oproti nehnojené kontrolní variantě, jen na stanovišti Suchdol byly výnosy variant Kal, N, NPK a N + sláma nižší než výnos zrna kontrolní varianty. Druhá hypotéza byla také potvrzena, jelikož byla v každém sledovaném ročníku nejvyšší reakce na hnojení zvýšením výnosu zrna oproti kontrolní variantě hnojení zaznamenána na nejméně úrodném stanovišti Humpolec a nejnižší reakce na hnojení na nejvíce úrodném stanovišti Suchdol. Třetí hypotéza nebyla potvrzena jen na stanovišti Červený Újezd, na kterém byl výnos varianty N v každém sledovaném ročníku vyšší než výnos varianty NPK. Na stanovišti Humpolec byl zaznamenán vyšší výnos varianty NPK oproti variantě N v ročnících 2014 a 2015 a na stanovišti Suchdol v ročnících 2014 a 2016. Čtvrtá hypotéza nebyla pokusem vyvrácena, poněvadž byl u varianty Hnůj 1/2 + N, kromě roku 2017 na stanovištích Červený Újezd a Suchdol, vyšší výnos zrna než u varianty hnojené pouze hnojem.

8 Seznam literatury

Agrární komora České republiky. Soupis ploch osevů - 2015 [online]. 13. 7. 2015 [cit. 2018-01-31]. Dostupné z <http://www.apic-ak.cz/data_ak/15/k/Stat/SoupisPlochOsevu2015.pdf>.

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.

Ali, A., Khaliq, T., Ahmad, A., Ahmad, S., Malik, A. U., Rasul, F. 2012. How wheat responses to nitrogen in the field? A review. *Crop and Environment*. 3 (1 - 2). 71 - 76.

Ali, M. S., Sutradhar, A., Edano, M. L., Edwards, J. T., Girma, K. 2014. Response of Winter Wheat Grain Yield and Phosphorus Uptake to Foliar Phosphite Fertilization. *International Journal of Agronomy*. 2014. 1 - 8.

Allard, V., Martre, P., Le Gouis, J. 2013. Genetic variability in biomass allocation to roots in wheat is mainly related to crop tillering dynamics and nitrogen status. *European Journal of Agronomy*. 46. 68 - 76.

Altenbach, S. B., DuPont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L., Lieu D. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science*. 37 (1). 9 - 20.

Altermann, M., Rinklebe, J., Merbach, I., Körschens, M., Langer, U., Hofmann, B. 2005. Chernozem-Soil of the Year 2005. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168 (6). 725 - 740.

Amtmann, A., Troufflard, S., Armengaud, P. 2008. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*. 133. 682 - 691.

Anonym. Crop Water Information [online]. Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2017 [cit. 2017-09-05]. Dostupné z <<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/wheat/en/>>.

Anonym. Crops [online]. FAOstat. 2018 [cit. 2018-02-05]. Dostupné z <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>.

Anonym. Sekce: Historická data [online]. Český hydrometeorologický ústav. [cit. 2018-03-29]. Dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>>.

Anonym. Postup sklizně obilovin a řepky k 28. 8. 2017 [online]. Zemědělský svaz České republiky. 28.8.2017 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z <<https://www.zscr.cz/clanek/postup-sklizne-obilovin-a-repky-k-28-8-2017-3223>>.

Antunović, M., Rastija, M., Sudarić, A., Varga, I., Jović, J. 2012. Response of soybean to phosphorus fertilization under drought stress conditions. *Növénytermelés*. 61 (2). 117 - 120.

Avila-Ospina, L., Moison, M., Yoshimoto, K., Masclaux-Daubresse, C. 2014. Autophagy, plant senescence, and nutrient recycling. *Journal of Experimental Botany*. 65. 3799 - 3811.

Avila-Ospina, L., Marmagne, A., Soulay, F., Masclaux-Daubresse, C. 2016. Identification of barley (*Hordeum vulgare* L.) autophagy genes and their expression levels during leaf senescence, chronic nitrogen limitation and in response to dark exposure. *Agronomy*. 6 (1). 15.

Bagci, S. A., Ekiz, H., Yilmaz, A., Cakmak, I. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 193. 198 - 206.

- Bailey, K. J., Leegood, R. C. 2016. Nitrogen recycling from the xylem in rice leaves: dependence upon metabolism and associated changes in xylem hydraulics. *Journal of Experimental Botany*. 67 (9). 2901 - 2911.
- 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.
- Bamber, K. W., Evanylo, G. K., Thomason, W. E. 2016. Importance of Soil Properties on Recommended Biosolids Management for Winter Wheat. *Soil Science Society of America Journal*. 80 (4). 919 - 929.
- Baque, A., Karim, A., Hamid, A., Tetsushi, H. 2006. Effects of Fertilizer Potassium on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Wheat (*Triticum aestivum*) under Water Stress Conditions. *South Pacific Studies*. 27 (1). 25 - 35.
- Barnabas, B., Jager, K., Feher, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment*. 31. 11 - 38.
- Barneix, A. J. 2007. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *Journal of Plant Physiology*. 164 (5). 581 - 590.
- Basso, B., Ritchie, J.T., Cammarano, D., Sartori, L. 2011. A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. *European Journal of Agronomy*. 35. 215 - 222.
- Basso, B., Cammarano, D., Fiorentino, C., Ritchie, J. T. 2013. Wheat yield response to spatially variable nitrogen fertilizer in Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*. 51. 65 - 70.
- 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.

Berry, P. M., Griffin, J. M., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K., Spink, J. H., Baker, C. J., Clare, R. W. 2000. Controlling plant form through husbandry to minimise lodging in wheat. *Field Crops Research*. 67 (1). 59 - 81.

Berry, P. M., Sterling, M., Spink, J. H., Baker, C. J., Sylvester-Bradley, R., Mooney, S. J., Tams, A. R., Ennost, R. 2004. Understanding and reducing lodging in cereals. *Advances in Agronomy*. 84 (4). 215 - 269.

Bittner, V. 2009. Škodlivé organizmy pšenice. Kurent. České Budějovice. 82 s. ISBN: 978-80-87111-17-8.

Blackshaw, R. E., Molnar, L. J., Larney, F. J. 2005. Fertilizer, manure and compost effects on weed growth and competition with winter wheat in western Canada. *Crop Protection*. 24 (11). 971 - 980.

Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W. M., Owens, L. 2006. Changes in long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch. *Agronomy Journal*. 98. 1128 - 1136.

Bloom, A. J. 2015. The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. *Current Opinion in Plant Biology*. 25. 10 - 16.

Bogard, M., Allard, V., Brancourt-Hulmel, M., Heumez, E., Machet, J-M., Jeuffroy, M-H., Gate, P., Martre, P., Le Gouis, J. 2010. Deviation from the grain protein concentration-grain yield negative relationship is highly correlated to post-anthesis N uptake in winter wheat. *Journal of Experimental Botany*. 61 (15). 4303 - 4312.

Borisjuk, L., Rolletschek, H., Wobus, U., Weber, H. 2003. Differentiation of legume cotyledons as related to metabolic gradients and assimilate transport into seeds. *Journal of Experimental Botany*. 54 (382). 503 - 512.

Bouacha, O. D., Nouaigui, S., Rezgui, S. 2014. Effects of N and K fertilizers on durum wheat quality in different Environments. *Journal of Cereal Science*. 59. 9 - 14.

- Buráňová, Š., Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Balík, J. 2015. Influence of mineral and organic fertilizers on yield and nitrogen efficiency of winter wheat. *International Journal of Plant Production*. 9. 257 - 271.
- Buráňová, Š., Černý, J., Mitura, K., Lipińska, K. J., Kovářik, J., Balík, J. 2016. Effect of Organic and Mineral Fertilizers on Yield Parameters and Quality of Wheat Grain. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 47 (2). 47 - 53.
- Bushong, J. T., Arnall, D. B., Raun, W. R. 2014. Effect of preplant irrigation, nitrogen fertilizer application timing, and phosphorus and potassium fertilization on winter wheat grain yield and water use efficiency. *International Journal of Agronomy*. 2014 (6). 12 pages.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168. 521 - 530.
- Cederlund, H., Wessén, E., Enwall, K., Jones, Ch. M., Juhanson, J., Pell, M., Philippot, L., Hallin, S. 2014. Soil carbon quality and nitrogen fertilization structure bacterial communities with predictable responses of major bacterial phyla. *Applied Soil Ecology*. 84. 62 - 68.
- Chardon, F., Noël, V., Masclaux-Daubresse, C. 2012. Manipulating NUE in Arabidopsis and crop plants to improve yield and seed quality. *Journal of Experimental Botany*. 63. 3401 - 3412.
- Chen, D., Suter, H., Islam, A., Edis, R., Freney, J. R., Walker, C. N. 2008. Prospects of improving efficiency of fertiliser nitrogen in Australian agriculture: a review of enhanced efficiency fertilisers. *Australian Journal of Soil Research*. 46. 289 - 301.
- 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.

Černý, J., Shejbalová, Š., Kulhánek, M., Vašák, F. Využití živin ze statkových hnojiv [online]. *Zemědělec*. 13. 9. 2013 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z <<http://zemedelec.cz/vyuziti-zivin-ze-statkovych-hnojiv-2/>>.

Černý, J., Shejbalová, Š., Kovářik, J., Kulhánek, M. Předset'ové a podzimní hnojení ozimé pšenice [online]. *Agromanuál*. 27. 8. 2014 [cit. 2017-09-08]. Dostupné z <<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime.html>>.

Dai, J., Wang, Z., Li, M., He, G., Li, Q., Cao, H., Wang, S., Gao, Y., Hui, X. 2016. Winter wheat grain yield and summer nitrate leaching: Long-term effects of nitrogen and phosphorus rates on the Loess Plateau of China. *Field Crops Research*. 196. 180 - 190.

Debiase, G., Montemurro, F., Fiore, A., Rotolo, C., Farrag, K., Miccolis, A., Brunetti, G. 2016. Organic amendment and minimum tillage in winter wheat grown in Mediterranean conditions: Effects on yield performance, soil fertility and environmental impact. *European Journal of Agronomy*. 75. 149 - 157.

Dechorgnat, J., Nguyen, C. T., Armengaud, P., Jossier, M., Diatloff, E., Filleur, S., Daniel-Vedele, F. 2011. From the soil to the seeds: the long journey of nitrate in plants. *Journal of Experimental Botany*. 62 (4). 1349 - 1359.

Diaz, C., Lemaitre, T., Christ, A., Azzopardi, M., Kato, Y., Sato, F., Morot-Gaudry, J. F., Le Dily, F., Masclaux-Daubresse, C. 2008. Nitrogen recycling and remobilization are differentially controlled by leaf senescence and development stage in *Arabidopsis* under low nitrogen nutrition. *Plant Physiology*. 147 (3). 1437 - 1449.

Dixon, J., Braun, H. J., Crouch, J. H. 2008. Overview: transitioning wheat research to serve the future needs of the developing world. CIMMYT. Mexico. 44 p.

Drinkwater, L.E., Snapp, S. S. 2007. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Advances in Agronomy*. 92. 163 - 186.

- Eckmeier, E., Gerlach, R., Gehrt, E., Schmidt, M. W. I. 2007. Pedogenesis of Chernozems in Central Europe - A review. *Geoderma*. 139 (3-4). 288 - 299.
- Efretuei, A., Gooding, M., White, E., Spink, J., Hackett, R. 2016. Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 55 (1). 63 - 73.
- Erismann, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*. 1. 636 - 639.
- Evanylo, G.K. 2003. Effects of biosolids application timing and soil texture on nitrogen availability for corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34 (1-2). 125 - 143.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Advances in Agronomy*. 88. 97 - 185.
- Fageria, N. K., Moreira, A. 2011. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. *Advances in Agronomy*. 110. 251 - 331.
- Fan, T. L., Stewart, B. A., Wang, Y. G., Luo, J. J., Zhou, G. Y. 2005. Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dry land of Loess Plateau in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106. 313 - 329.
- Fan, X., Naz, M., Fan, X., Xuan, W., Miller, A. J., Xu, X. 2017. Plant nitrate transporters: from gene function to application. *Journal of Experimental Botany*. 68 (10). 2463 - 2475.
- Fioreze, S. L., Castoldi, G., Pivetta, L. A., Pivetta, L. G., Fernandes, D. M, Büll, L. T. 2011. Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. *Acta Scientiarum*. 34 (3). 331 - 338.
- Gaj, R., Górski, D., Przybyl, J. 2013. Effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *Journal of Elementology*. 18 (1). 55 - 67.

- 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.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 327. 812 - 818.
- Górka-Kostrubiec, B., Teisseyre-Jeleńska, M., Dytłowski, S. K. 2016. Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena*. 138. 91 - 102.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*. 87. 163 - 174.
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W., Vitousek, P. M., Zhang, F. S. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*. 327 (5968). 1008 - 1010.
- Guiboileau, A., Yoshimoto, K., Soulay, F., Bataille, M., Avice, J. C., Masclaux-Daubresse, C. 2012. Autophagy machinery controls nitrogen remobilization at the whole-plant level under both limiting and ample nitrate conditions in *Arabidopsis*. *New Phytologist*. 194 (3). 732 - 740.
- Guo, L., Wu, G., Li, Y., Li, C., Liu, W., Meng, J., Liu, H., Yu, X., Jiang, G. 2016. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China. *Soil and Tillage Research*. 156. 140 - 147.
- Guiboileau, A., Avila-Ospina, L., Yoshimoto, K., Soulay, F., Azzopardi, M., Marmagne, A., Lothier, J., Masclaux-Daubresse, C. 2013. Physiological and metabolic consequences of autophagy deficiency for the management of nitrogen and protein resources in *Arabidopsis* leaves depending on nitrate availability. *New Phytologist*. 199 (3). 683 - 694.

- Guttieri, M. J., Frels, K., Regassa, T., Waters, B. M., Baenziger, P. S. 2017. Variation for nitrogen use efficiency traits in current and historical great plains hard winter wheat. *Euphytica*. 213 (4).
- 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.
- Hai, L., Li, X. G., Li, F. M., Suo, D. R., Guggenberger, G. 2010. Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under a wheat-wheat-maize cropping system in an arid region of China. *Soil Biology and Biochemistry*. 42. 253 - 259.
- Hamner, K., Weih, M., Eriksson, J., Kirchmann, H. 2017. Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field Crops Research*. 213. 118 - 129.
- Havé, M., Marmagne, A., Chardon, F., Masclaux-Daubresse, C. 2016. Nitrogen remobilisation during leaf senescence: lessons from Arabidopsis to crops. *Journal of Experimental Botany*. 68 (10). 2513 - 2529.
- Havé, M., Marmagne, A., Chardon, F., Masclaux-Daubresse, C. 2017. Nitrogen remobilization during leaf senescence: lessons from Arabidopsis to crops. *Journal of Experimental Botany*. 68 (10). 2513 - 2529.
- Heisey, P. W., Norton, G. 2007. Fertilizers and other farm chemicals. *Handbook of Agricultural Economics*. 3. 2741 - 2777.
- Heitkamp, F., Raupp, J., Ludwig, B. 2009. Impact of fertilizer type and rate on carbon and nitrogen pools in a sandy Cambisol. *Plant and Soil*. 319 (1 - 2). 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 (2). 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.

Hermans, C., Hammond, J. P., White, P. J., Verbruggen, N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science*. 11. 610 - 617.

Holzmueller, E. J., Jose, S., Jenkins, M. A. 2007. Influence of calcium, potassium, and magnesium on *Cornus florida* L. density and resistance to dogwood anthracnose. *Plant and Soil*. 290. 189 - 199.

Hlisnikovský, L., Kunzová, E., Hejcman, M., Dvořáček, V. 2015. Effect of fertilizer application, soil type, and year on yield and technological parameters of winter wheat (*Triticum aestivum*) in the Czech Republic. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 61 (1). 33 - 53.

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.

Hřivna, L. Výživa a hnojení ozimé pšenice [online]. Družstvo vlastníků odrůd - Šlechtitelské listy. 2012 [cit. 2017-09-15]. Dostupné z <http://www.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_psenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf>.

Hurkman, W. J., McCue, K. F., Altenbach, S. B., Korn, A., Tanaka, C. K., Kothari, K. M., Johnson, E. L., Bechtel, D. B., Wilson, J. D., Anderson, O. D., DuPont F. M. 2003. Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Science*. 164. 873 - 881.

- Hsiao, T. C. 2003. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24. 519 - 570.
- Jianwen, X., Xurong, M., Hui, J., Yingchun, L., Qin, L., Jianying, Y. 2014. Simulation of Winter Wheat Yield in Response to Irrigation Level at Critical Growing Stages in the Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Agronomica Sinica*.
- 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.
- Jordanova, N. 2017. *Soil Magnetism: Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*. Academic Press. London. 445 p. ISBN: 978-0-12-809239-2.
- Ju, XT., Xing, GX., Chen, XP., Zhang, SL., Zhang, LJ., Liu, XJ., Cui, ZL., Yin, B., Christie, P., Zhu, ZL., Zhang FS. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106 (9). 3041 - 3046.
- Ju, XT., Zhang, Ch. 2017. Nitrogen cycling and environmental impacts in upland agricultural soils in North China: A review. *Journal of Integrative Agriculture*. 16 (12). 2848 - 2862.
- Jungk, A. 2001. Root hairs in the acquisition of plant nutrients from soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 164. 121 - 129.
- 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.

- Kato, Y., Yamagishi, J. 2011. Long-term effects of organic manure application on the productivity of winter wheat grown in a crop rotation with maize in Japan. *Field Crops Research*. 120 (3). 387 - 395.
- Kichey, T., Hirel, B., Heumez, E., Dubois, F., Le Gouis, J. 2007. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crop Research*. 102 (1). 22 - 32.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. 2008. Metodika pro praxi: Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 52 s. ISBN: 978-80-87011-61-4.
- Kocón, 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.
- Kováč, K., Ďudák, J., Halás, L., Herzová, E., Gromová, A., Ložek, O., Kubinec, S., Stehlo, P. 1998. Pestovanie ozimnej pšenice a pôdoochranárske 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.
- Kůst, F., Stehlíková, J. 2016. Situační a výhledová zpráva - obiloviny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 112 s. ISBN: 978-80-7434-343-8.
- Labaz, B., Musztyfaga, E., Waroszewski, J., Bogacz, A., Jezierski, P., Kabala, C. 2018. Landscape-related transformation and differentiation of Chernozems - Catenary approach in the Silesian Lowland, SW Poland. *Catena*. 161. 63 - 76.
- Lehtinen, T., Dersch, G., Söllinger, J., Baumgarten, A., Schlatter, N., Aichberger, K., Spiegel, H. 2017. Long-term amendment of four different compost types on a loamy silt Cambisol: impact on soil organic matter, nutrients and yields. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 63 (5). 663 - 673.

- Loque, D., Ludewig, U., Yuan, L.X., von Wiren, N. 2005. Tonoplast intrinsic proteins AtTIP2;1 and AtTIP2;3 facilitate NH₃ transport into the vacuole. *Plant Physiology*. 137 (2). 671 - 680.
- Li, Y., Liu, H. J., Huang, G. H., Zhang, R. H., Yang, H. Y. 2016. Nitrate nitrogen accumulation and leaching pattern at a winter wheat: summer maize cropping field in the North China Plain. *Environmental Earth Sciences*. 75 (2). 1 - 12.
- Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., Liang, G., Wang, X., Sun, J., Ai, C. 2014. Soil quality assessment of acid sulfate paddy soils with different productivities in Guangdong Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 1. 177 - 186.
- Lothier, J., Gaufichon, L., Sormani, R., Lemaitre, T., Azzopardi, M., Morin, H., Chardon, F., Reisdorf-Cren, M., Avice, J. C., Masclaux-Daubresse, C. 2011. The cytosolic glutamine synthetase GLN1;2 plays a role in the control of plant growth and ammonium homeostasis in *Arabidopsis* rosettes when nitrate supply is not limiting. *Journal of Experimental Botany*. 62 (4). 1375 - 1390.
- Lott, J. N. A., Kolasa, J., Batten, G. D., Campbell, L. C. 2011. The critical role of phosphorus in world production of cereal grains and legume seeds. *Food Security*. 3. 451 - 462.
- Ma, Q., Niknam, S.R., Turner, D.W. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57. 221 - 226.
- Malhi, S., Nyborg, M., Goddard, T., Puurveen, D. 2011. Long-term tillage, straw management and N fertilization effects on quantity and quality of organic C and N in a Black Chernozem soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 90 (2). 227 - 241.
- Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., Suzuki, A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*. 105 (7). 1141 - 1157.

- Masclaux-Daubresse, C., Chen, Q. W., Havé, M. 2017. Regulation of nutrient recycling via autophagy. *Current Opinion in Plant Biology*. 39. 8 - 17.
- McBeath, T. M., McLaughlin, M. J., Noack, S. R. 2011. Wheat grain yield response to and translocation of foliar-applied phosphorus. *Crop and Pasture Science*. 62 (1). 58 - 65.
- McDonald, G. K. 1989. The contribution of nitrogen fertiliser to the nitrogen nutrition of rainfed wheat crops in Australia: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 29 (3). 455 - 481.
- 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.
- Mikanová, O., Šimon T. 2013. Alternativní výživa rostlin dusíkem: metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 30 s. ISBN: 978-80-7427-143-4.
- Min, W., Qingsong, Z., Qirong, S., Shiwei, Guo. 2013. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences*. 14 (4). 7370 - 7390.
- Mingwei, Z., Hui, W., Yuan, Y., Jinfeng, D., Min, Z., Chunyan, L., Wenshan, G., Chaonian, F., Xinkai, Z. 2017. Effect of nitrogen levels and nitrogen ratios on lodging resistance and yield potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS ONE*. 12 (11). e0187543.
- Mosali, J., Desta, K., Teal, R. K., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J. W., Raun, W. 2006. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 29 (12). 2147 - 2163.
- 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.
- Niu, J., Zhang, W., Ru, S., Chen, X., Xiao, K., Zhang, X., Assaraf, M., Imas, P., Magen, H., Zhang, F. 2013. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. *Field Crops Research*. 140. 69 - 76.

Nuttall, J. G., O'Leary, G. J., Panozzo, J. F., Walker, C. K., Barlow, K. M., Fitzgerald, G. J. 2017. Models of grain quality in wheat—A review. *Field Crops Research*. 202. 136 - 145.

Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*. 144. 31 - 43.

Oberholzer, S., Prasuhn, V., Hund, A. 2017. Crop water use under Swiss pedoclimatic conditions - Evaluation of lysimeter data covering a seven-year period. *Field Crops Research*. 211. 48 - 65.

Öborn, I., Andrist-Rangle, Y., Askegaard, M., Grant, C.A., Watson, C.A., Edwards, A.C. 2005. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use and Management*. 21. 102 - 112.

Orloff, S., Wright, S., Ottman, M. 2012. Nitrogen management impacts on wheat yield and protein. In *Proceedings, California Alfalfa & Grains Symposium. Sacramento, CA. December. 11 - 12*. 103 - 109.

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

Pan, J., Zhu, Y., Jiang, D., Dai, T., Li, Y., Cao, W. 2005. Modelling plant nitrogen uptake and grain nitrogen accumulation in wheat. *Field Crops Research*. 97. 322 - 336.

Pepó, P. 2007. The role of fertilization and genotype in sustainable winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Cereal Research Communications*. 35 (2). 917 - 920.

Petošić, D., Kovačević, V., Josipović, M. 2003. Phosphorus availability in hydromorphic soils oh Eastern Croatia. *Plant, Soil and Environment*. 49 (9). 394 - 401.

Petr, J., Beránek, V., Gross, S., Homola, V., Hosnedl, V., Kohout, V., Kvěch, O., Malěš, 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.

Porter, J. R., Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*. 10 (1). 23 - 36.

Prasad, R. 2009. Potassium fertilization recommendations for crops need rethinking. *Indian Journal of Fertilisers*. 5. 31 - 33.

Prasad, D., Singh, R., Singh, A. 2010. Management of sheath blight of rice with integrated nutrients. *Indian Phytopathology*. 63. 11 - 15.

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., Škopek, B., Štěrba, Z., Štolcová, M., Švachula, V., Vacek, J., Vaculová, K., Zahradníček, J., Zupalová, H. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. Praha. 327 s. ISBN: 978-80-86576-28-2.

Rastija, M., Jurica, J., Dario, I., Vlado, K. and Domagoj, R. 2014. Response of winter wheat to ameliorative phosphorus fertilization. 49th Croatian and 9th International Symposium on Agriculture. Dubrovnik Croatia. 412 - 415.

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

Rengel, Z., Damon, P. M. 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiologia Plantarum*. 133. 624 - 636.

Rennie, E. A., Turgeon, R. 2009. A comprehensive picture of phloem loading strategies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106 (33). 14162 - 14167.

- Rentsch, D., Schmidt, S., Tegeder, M. 2007. Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. *FEBS Letters*. 581 (12). 2281 - 2289.
- Roberts, T. L., Slaton, N. A. 2014. Wheat Fertilization and Liming Practices. *Division of Agriculture*. 3. 1 - 20.
- Rodriguez, D., Fitzgerald, G. J., Belford, R., Christensen, L. K. 2006. Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-physiological concepts. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57. 751 - 789.
- Rousk, J., Brookes, P. C., Bååth, E. 2009. Contrasting Soil pH Effects on Fungal and Bacterial Growth Suggest Functional Redundancy in Carbon Mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*. 75 (6). 1589 - 1596.
- Römheld, V., Kirkby, E. A. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant and Soil*. 335 (1 - 2). 155 - 180.
- 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.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., Pedrol, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113 (2). 170 - 177.
- Saseendran, S. A., Nielsen, D. C., Ma, L., Ahuja, L. R., Halvorson, A. D. 2004. Modelling nitrogen management effects on winter wheat production using RZWQM and CERES-wheat. *Agronomy Journal*. 96. 615 - 630.
- Schachtman, D. P., Shin, R. 2007. Nutrient sensing and signaling: NPQS. *Annual Review of Plant Biology*. 58. 47 - 69.
- Semenov, M. A., Shewry, P. R. 2011. Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe. *Scientific Reporter*. 1. 1 - 6.

Sharma, K. L., Grace, J. K., Mandal, U. K., Gajbhiye, P. N., Srinivas, K., Korwar, G. R., Bindu, V. H., Ramesh, V., Ramachandran, K., Yadav S. K. 2008. Evaluation of long-term soil management practices using key indicators and soil quality indices in a semi-arid tropical Alfisol. *Australian Journal of Soil Research*. 46 (4). 368 - 377.

Shejbalová, Š., Černý, J., Vašák, F., Kulhánek, M., Balík, J. 2014. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. *Plant, Soil and Environment*. 60. 291 - 296.

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, Z., Li, D., Jing, Q., Cai, J., Jiang, D., Cao, W., Dai, T. 2012. Effects of nitrogen applications on soil nitrogen balance and nitrogen utilization of winter wheat in a ricewheat rotation. *Field Crops Res*. 127. 241 - 247.

Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H. J., Duveiller, E., Reynolds, M., Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*. 5. 291 - 317.

Simpson, N. L., Brennan, R. F., Anderson, W. K. 2016. Grain yield increases in wheat and barley to nitrogen applied after transient waterlogging in the high rainfall cropping zone of western Australia. *Journal of Plant Nutrition*. 39 (7). 974 - 992.

Snowball, K., Robson, A. D. 1991. *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Wheat: A Guide for Field Identification*. CIMMYT. Mexico. 76 p. ISBN: 968-6127-48-8.

von Suchodoletz, H., Tinapp, Ch., Lauer, T., Glaser, B., Stäuble, H., Kühn, P., Zielhofer, Ch. 2017. Distribution of Chernozems and Phaeozems in Central Germany during the Neolithic period. *Quaternary International* [online]. Dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.10.041>>.

Świtoniak, M. 2008. Classification of young glacial soils with vertical texture-contrast using WRB system. *Agrochimija i Gruntoznawstwo*. 69. 96 - 101.

Świtoniak, M., Mroczek, P., Bednarek, R. 2016. Luvisols or Cambisols? Micromorphological study of soil truncation in young morainic landscapes - Case study: Brodnica and Chełmno Lake Districts (North Poland). *Catena*. 137. 583 - 595.

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

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.

Tan, QM., Zhang, LZ., Grant, J., Cooper, P., Tegeder, M. 2010. Increased phloem transport of S-methylmethionine positively affects sulfur and nitrogen metabolism and seed development in pea plants. *Plant Physiology*. 154 (4). 1886 - 1896.

Tan, D., Jin, J., Jiang, L., Huang, S., Liu, Z. 2012. Potassium assessment of grain producing soils in North China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 148. 65 - 71.

Taulemesse, F., Le Gouis, J., Gouache, D., Gibon, Y., Allard, V. 2016. Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) grain protein concentration is related to early postflowering nitrate uptake under putative control of plant satiety level. *PLoS ONE*. 11 (2). e0149668.

Tegeder, M., Rentsch, D. 2010. Uptake and partitioning of amino acids and peptides. *Molecular Plant*. 3 (6). 997 - 1011.

Tegeder, M., Masclaux-Daubresse, C. 2017. Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. *New Phytologist*. 217 (1). 35 - 53.

Tlustoš, P., Hejman, M., Kunzová, E., Hlisnikovský, L., Zámečníková, H., Száková, J. 2018. Nutrient status of soil and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to long-term

farmyard manure application under different climatic and soil physicochemical conditions in the Czech Republic. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 64 (1). 70 - 83.

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

Tripathi, S. C., Sayre, K. D., Kaul, J. N., Narang, R. S. 2003. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) culms and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and ethephon. *Field Crops Research*. 84 (3). 271 - 290.

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.

Turner, N. C., Asseng, S. 2005. Productivity, sustainability, and rainfall-use efficiency in Australian rainfed Mediterranean agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56. 1123 - 1136.

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

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., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press s. r. o. Praha. 220 s. ISBN: 978-80-86726-79-3.

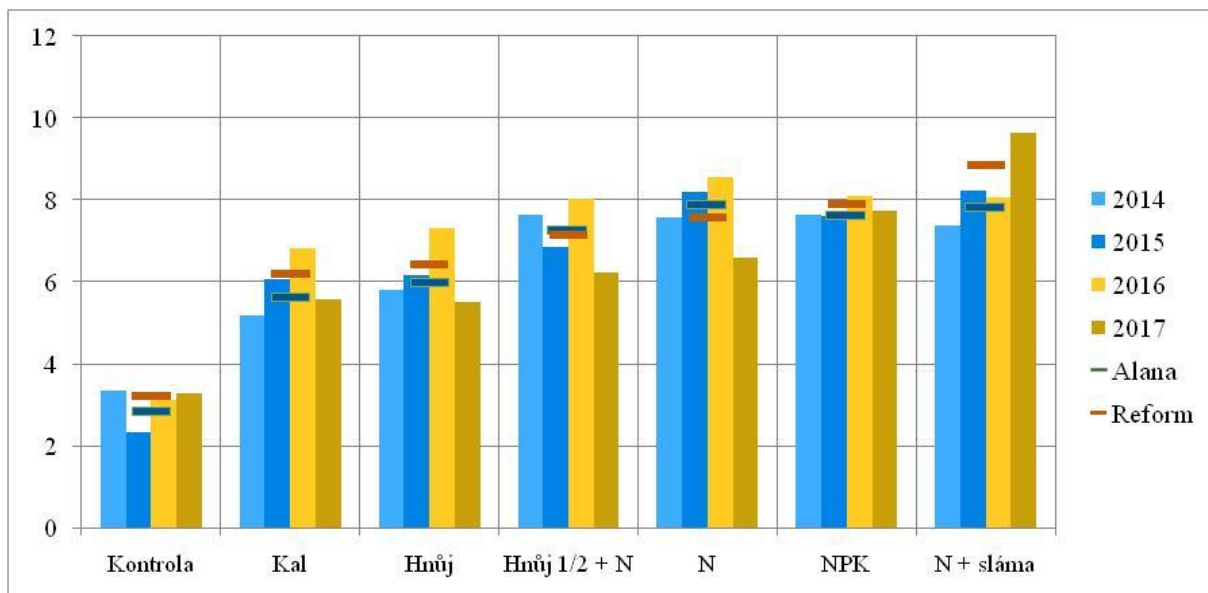
Vári, E., Máriás, K. 2013. The Impact of Crop Rotation and N Fertilisation on the Leaf Area Index, Leaf Disease and Yield of Winter Wheat. *International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agriculture Engineering*. 7 (11). 693 - 696.

- Vysloužilová, B., Ertlen, D., Schwartz, D., Šefrna, L. 2015. Chernozem - From concept to classification: a review. *AUC Geographica*. 51 (1). 85 - 95.
- Wakida, F. T., Lerner, D. N. 2005. Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. *Water Research*. 39 (1). 3 - 16.
- Wang, Z., Huang, B. 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science*. 44. 1729 - 1736.
- Wardlaw, I. F., Blumenthal, C. S., Larroque, O., Wrigley, C. W. 2002. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology*. 29. 25 - 34.
- Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Heuer, S., Ismail, A., Redona, E., Serraj, R., Singh, R. K., Howell, G., Pathak, H., Sumfleth, K. 2009. Climate change affecting rice production. The physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies. *Advances in Agronomy*. 101. 59 - 122.
- White, A. C., Rogers, A., Rees, M., Osborne, C. P. 2016. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. *Journal of Experimental Botany*. 67 (1). 31 - 45.
- Wooding, A. R., Kavale, S., Macritchei, F., Stoddard, F. L., Wallace, A. 2000. Effect of nitrogen and sulphur fertilizer on protein composition, mixing requirements and dough strength of four wheat cultivars. *Cereal Chemistry*. 77. 798 - 807.
- 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 Total Environment*. 530. 76 - 78.
- Xu, H., Dai, X., Chu, J., Wang, Y., Yin, L., Ma, X., Dong, S., He, M. 2018. Integrated management strategy for improving the grain yield and nitrogen-use efficiency of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 17 (2). 315 - 327.

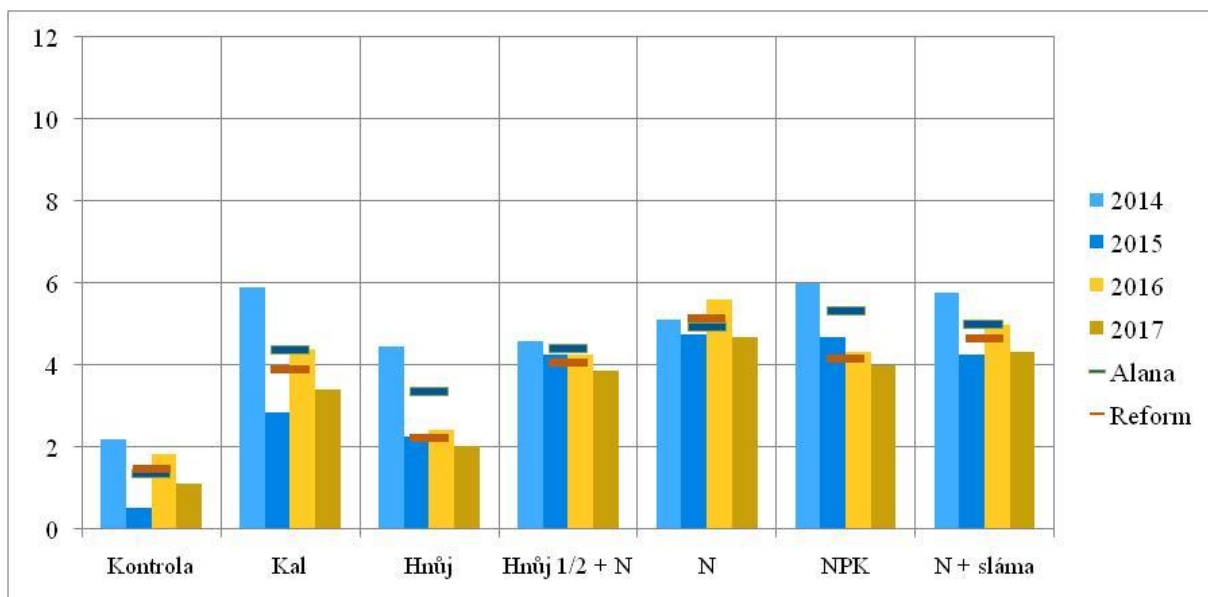
- Yara. 2015. The Nutrition of Winter Cereals. Yara UK Limited. Grimsby. 24 p.
- Zhao, B., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., Ata-Ul-Karim, S. T., Ni, J., Cao, WX., Zhu, Y. 2014. New critical nitrogen curve based on leaf area index for winter wheat. *Agronomy Journal*. 106 (2). 379 - 389.
- Zhao, B., Ata-Ul-Karim, S. T., Yao, X., Tian, YC., Cao, WX., Zhu, Y., Liu, XJ. 2016. A new curve of critical nitrogen concentration based on spike dry matter for winter wheat in eastern China. *PloS one*. 11 (10). e0164545.
- Zhang, LZ., Garneau, M. G., Majumdar, R., Grant, J., Tegeder, M. 2015. Improvement of pea biomass and seed productivity by simultaneous increase of phloem and embryo loading with amino acids. *Plant Journal*. 81 (1). 134 - 146.
- Zhang, Y., Wang, H., Lei, Q., Luo, J., Lindsey, S., Zhang, J., Zhai, L., Wu, S., Zhang, J., Liu, X., Ren, T., Liu, H. 2018. Optimizing the nitrogen application rate for maize and wheat based on yield and environment on the Northern China Plain. *Science of The Total Environment*. 618. 1173 - 1183.
- Zheng, Q., Brown, P. H. 2000. Soil potassium mobility and uptake by corn under differential soil moisture regimes. *Plant and Soil*. 221 (2). 121 - 134.
- Zhong, Y., Shanguan, Z. 2014. Water Consumption Characteristics and Water Use Efficiency of Winter Wheat under Long-Term Nitrogen Fertilization Regimes in Northwest China. *Plos One*. 9 (6). e98850.
- Zhou, J. Y., Gu, B. J., Schlesinger, W. H., Ju, X. T. 2016. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands. *Scientific Reports*. 6. 1 - 8.
- 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 Přílohy

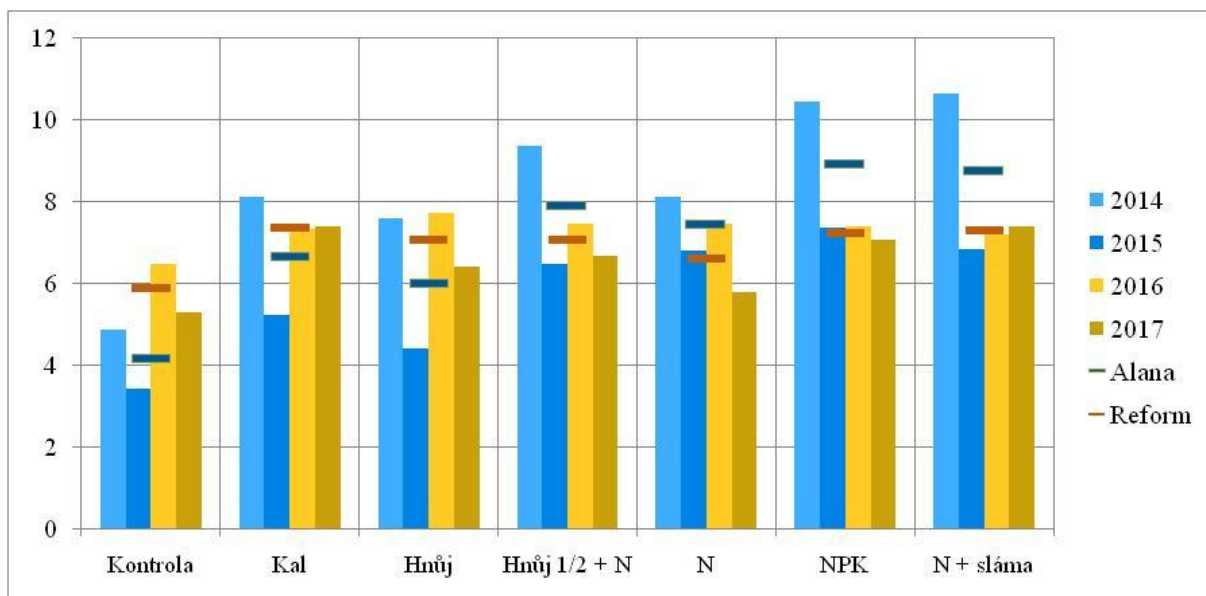
Graf 15: Výnos slámy při 100 % sušině na stanovišti Červený Újezd (t.ha⁻¹)



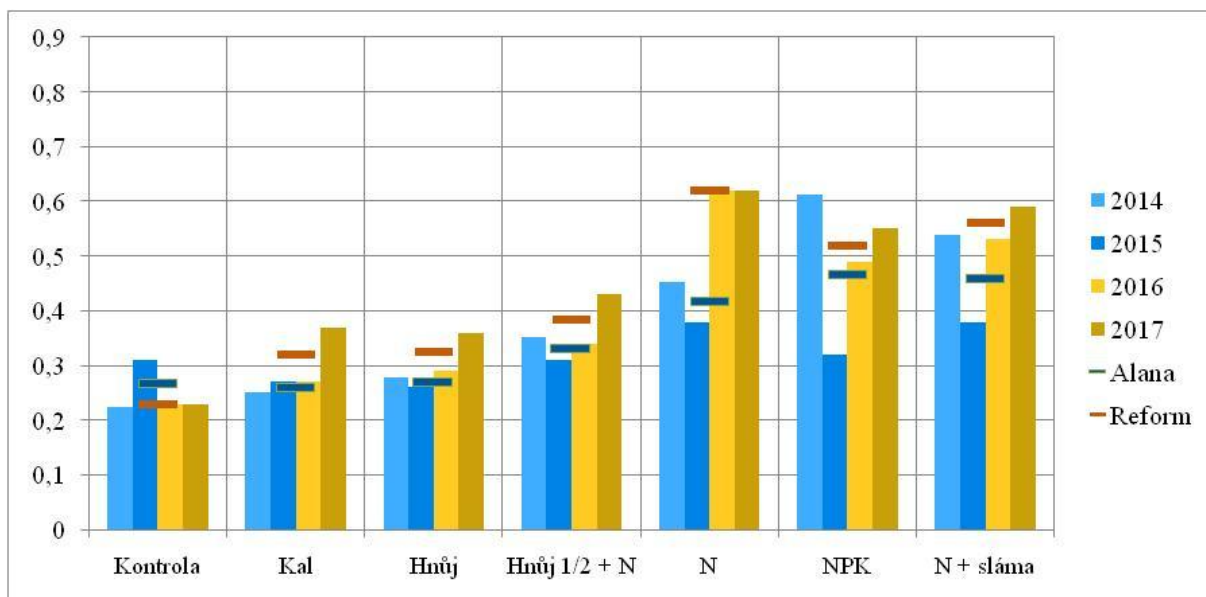
Graf 16: Výnos slámy při 100 % sušině na stanovišti Humpolec (t.ha⁻¹)



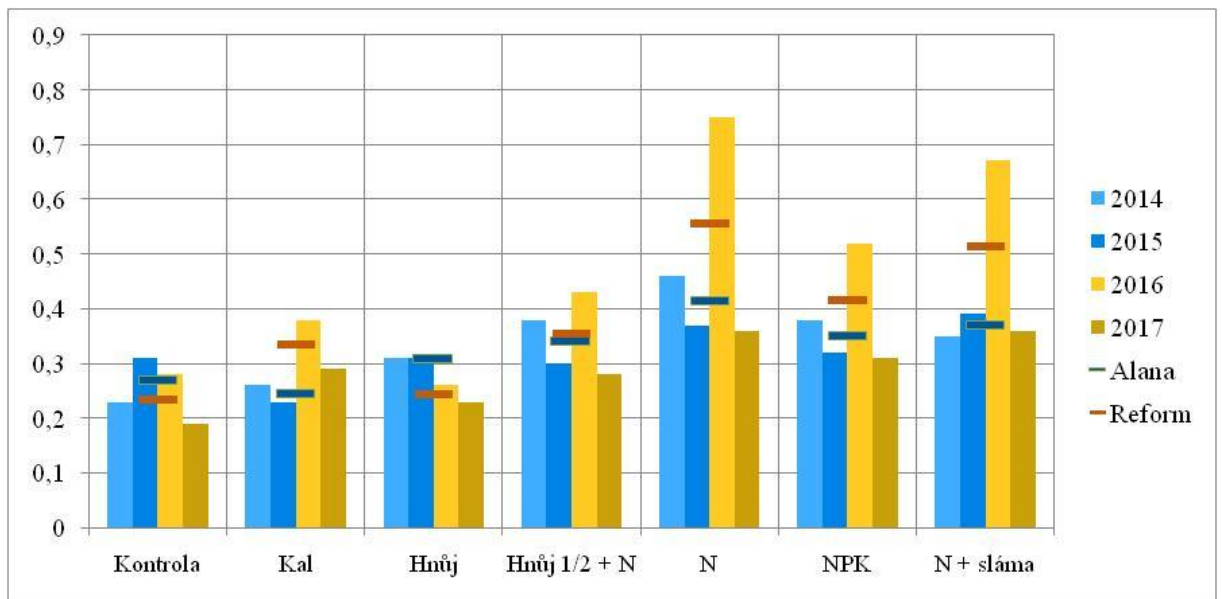
Graf 17: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Suchdol ($t \cdot ha^{-1}$)



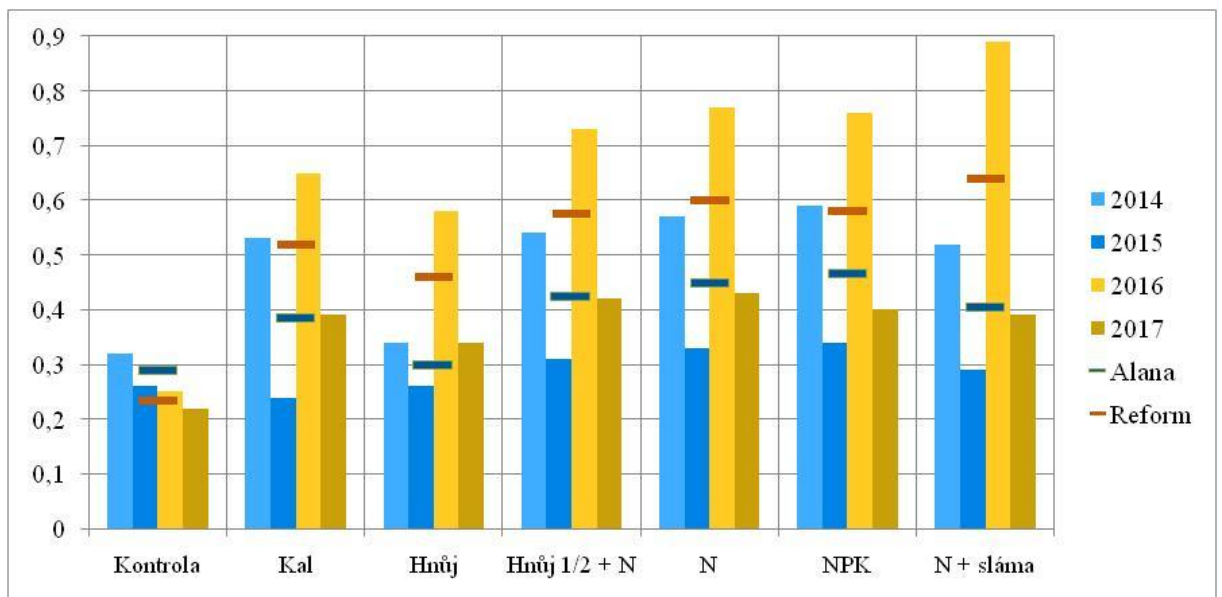
Graf 18: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Červený Újezd (%)



Graf 19: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Humpolec (%)



Graf 20: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol (%)



Tabulka 7: Obsah N-látek v zrně na stanovišti Červený Újezd (%)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	8,1	8,0	7,1	7,0
Kal	9,6	8,7	8,5	9,7
Hněj	9,6	8,8	7,7	8,4
Hněj 1/2 + N	11,8	10,4	8,9	10,9
N	12,9	12,4	10,9	12,4
NPK	12,9	11,2	10,1	12,7
N + sláma	12,7	12,5	9,9	11,8

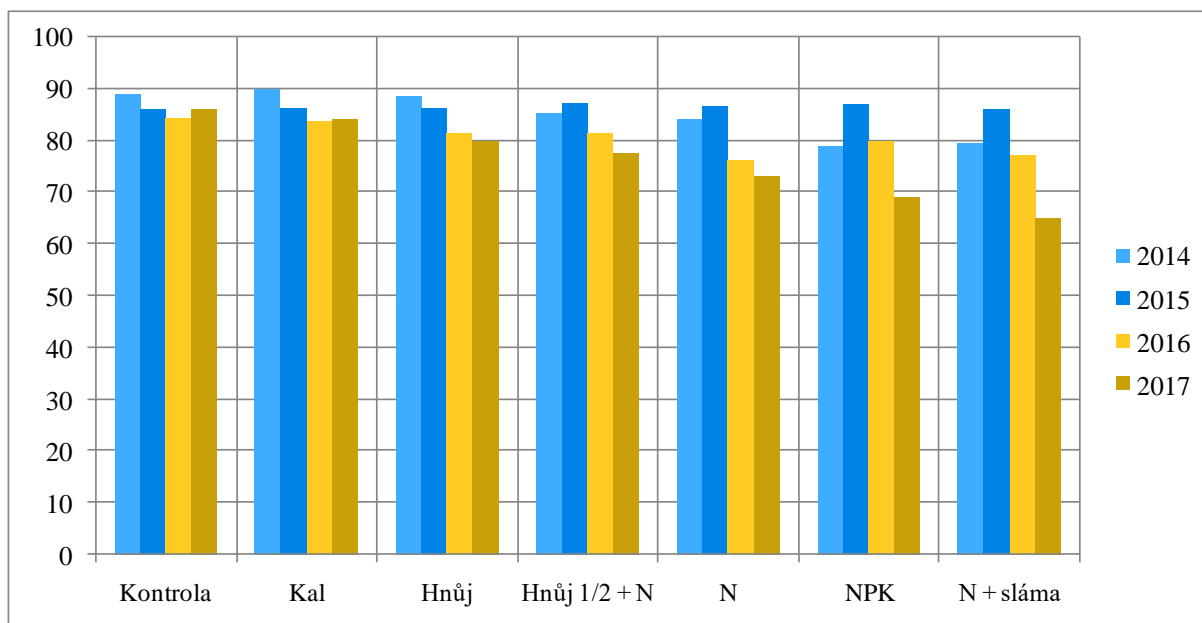
Tabulka 8: Obsah N-látek v zrně na stanovišti Humpolec (%)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	7,5	8,3	6,8	6,8
Kal	8,8	7,5	8,5	7,7
Hněj	7,4	7,6	6,8	7,5
Hněj 1/2 + N	8,9	9,1	8,3	7,6
N	10,0	10,2	10,7	8,4
NPK	9,9	9,3	10,5	8,3
N + sláma	10,2	10,2	10,6	8,6

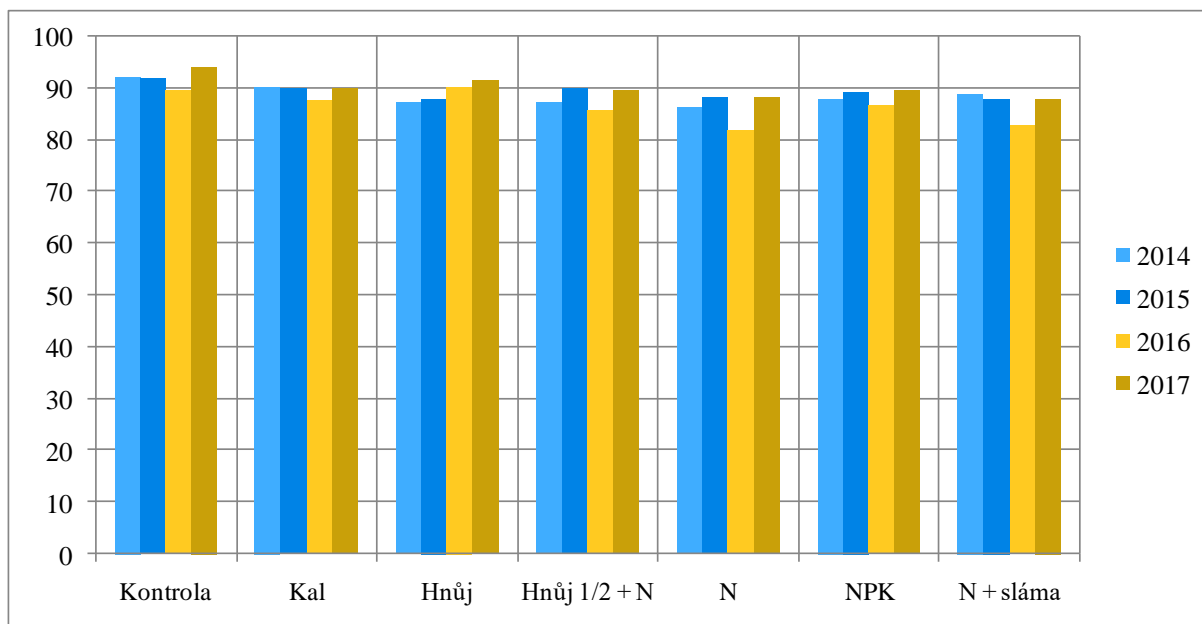
Tabulka 9: Obsah N-látek v zrně na stanovišti Suchdol (%)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	9,5	7,1	8,0	7,2
Kal	11,5	7,6	10,8	11,1
Hněj	10,8	7,3	9,9	9,1
Hněj 1/2 + N	12,0	9,6	10,9	11,2
N	12,4	11,6	11,3	10,9
NPK	12,4	10,5	11,7	11,5
N + sláma	12,3	10,9	11,2	11,6

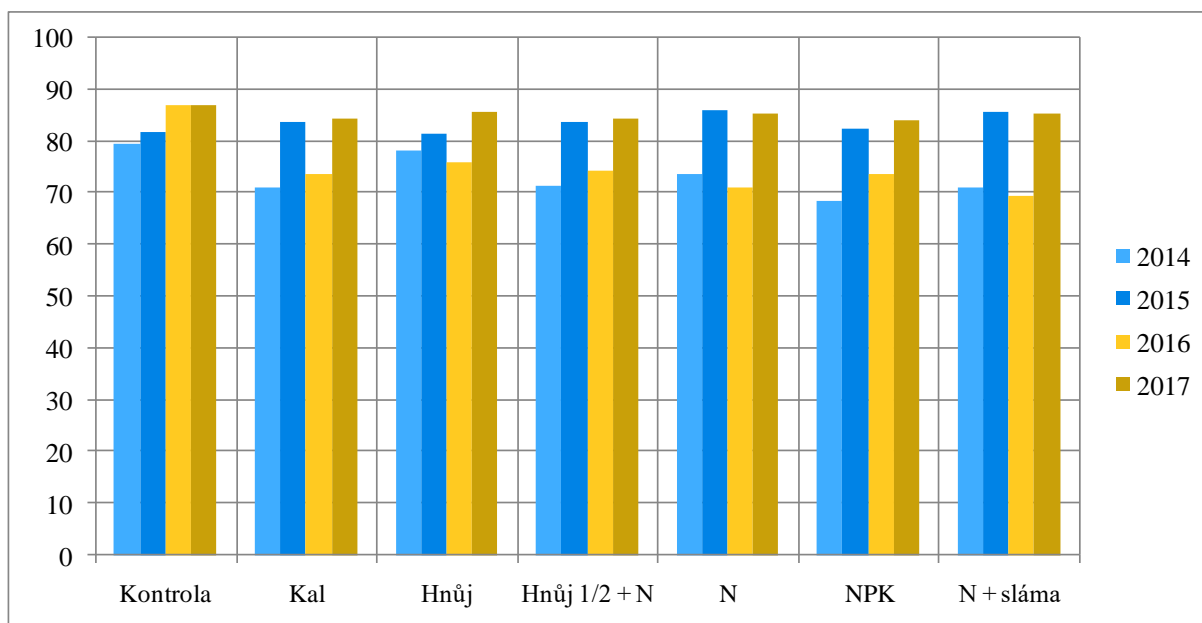
Graf 21: Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru na stanovišti Červený Újezd (%)



Graf 22: Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru na stanovišti Humpolec (%)



Graf 23: Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru na stanovišti Suchdol (%)



Tabulka 10: Odběr dusíku na 1 t produkce na stanovišti Červený Újezd (kg)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	16	16	15	14
Kal	19	18	18	20
Hnůj	19	18	17	19
Hnůj 1/2 + N	24	21	19	25
N	27	25	25	30
NPK	29	22	22	32
N + sláma	28	26	23	32

Tabulka 11: Odběr dusíku na 1 t produkce na stanovišti Humpolec (kg)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	14	16	13	13
Kal	17	15	17	15
Hnůj	15	15	13	14
Hnůj 1/2 + N	18	18	17	15
N	20	20	23	17
NPK	20	18	21	16
N + sláma	20	20	22	17

Tabulka 12: Odběr dusíku na 1 t produkce na stanovišti Suchdol (kg)

	2014	2015	2016	2017
Kontrola	21	15	16	15
Kal	28	16	26	23
Hnůj	24	16	23	19
Hnůj 1/2 + N	29	20	26	23
N	30	24	28	22
NPK	32	22	28	24
N + sláma	30	22	28	24

10 Seznam grafů a tabulek

Graf 1: Podíl obilnin ze světové orné půdy v roce 2014

Graf 2: Struktura plodin na orné půdě ČR v roce 2015

Graf 3: Výnos zrna při 100 % sušiny na stanovišti Červený Újezd ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 4: Výnos zrna při 100 % sušiny na stanovišti Humpolec ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 5: Výnos zrna při 100 % sušiny na stanovišti Suchdol ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 6: Objemová hmotnost zrna na stanovišti Červený Újezd ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

Graf 7: Objemová hmotnost zrna na stanovišti Humpolec ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

Graf 8: Objemová hmotnost zrna na stanovišti Suchdol ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

Graf 9: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Červený Újezd (%)

Graf 10: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Humpolec (%)

Graf 11: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Suchdol (%)

Graf 12: Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Červený Újezd ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 13: Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Humpolec ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 14: Odběr dusíku nadzemní biomasou na stanovišti Suchdol ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 15: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Červený Újezd ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 16: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Humpolec ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 17: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Suchdol ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Graf 18: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Červený Újezd (%)

Graf 19: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Humpolec (%)

Graf 20: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol (%)

Graf 21: Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru na stanovišti Červený Újezd (%)

Graf 22: Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru na stanovišti Humpolec (%)

Graf 23: Podíl odběru dusíku zrnem z celkového odběru na stanovišti Suchdol (%)

Tabulka 1: Obsah živin v půdě a kationtová výměnná kapacita v jednotlivých lokalitách

Tabulka 2: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

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

Tabulka 4: Bilance dusíku na stanovišti Červený Újezd ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)

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

Tabulka 6: Bilance dusíku na stanovišti Suchdol ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Tabulka 7: Obsah N-látek v zrně na stanovišti Červený Újezd (%)

Tabulka 8: Obsah N-látek v zrně na stanovišti Humpolec (%)

Tabulka 9: Obsah N-látek v zrně na stanovišti Suchdol (%)

Tabulka 10: Odběr dusíku na 1 t produkce na stanovišti Červený Újezd (kg)

Tabulka 11: Odběr dusíku na 1 t produkce na stanovišti Humpolec (kg)

Tabulka 12: Odběr dusíku na 1 t produkce na stanovišti Suchdol (kg)