

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Ing. Šárka Buráňová**

katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

**Využití dusíku z hnojiv jarním ječmenem a ozimou pšenicí**  
Nitrogen use from fertilizers applied to spring barely and winter wheat  
.....  
**autoreferát doktorské disertační práce**

Studijní program: Fytotechnika

Studijní obor: Obecná produkce rostlinná

Školitel: **prof. Ing. Jiří Balík, CSc., dr. h. c.**  
katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Konzultant **Ing. Jindřich Černý, Ph.D.**  
katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Oponenti: prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.  
Ing. Jan Haberle, CSc.  
prof. Ing. Otto Ložek, CSc.

Obhajoba doktorské disertační práce se koná dne: .....  
v .....hod. na: Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze

S doktorskou disertační prací je možno se seznámit na děkanátě FAPPZ ČZU v Praze.

**P r a h a 2 0 1 7**

# Obsah

1. Summary.....	3
2. Literární rešerše.....	5
2.1. Využití dusíku z hnojiv.....	5
2.2 Využitelnost dusíku při hnojení obilnin.....	7
2.3 Bilance N v agroekosystému.....	8
3. Hypotézy a cíle práce.....	9
4. Metodika pokusu.....	10
4.1 Charakteristika pokusů.....	10
4.2 Dávky živin a hnojiv.....	11
4.3 Sklizeň a odběr vzorků.....	12
4.4 Analýzy rostlinného materiálu a hodnocení kvalitativních parametrů.....	13
4.5 Výpočty.....	14
5. 5. Publikované výsledky a sumární diskuze.....	15
5.1 Pšenice ozimá.....	17
5.1.1 Výnos zrna.....	17
5.1.2 Obsah dusíkatých látek v zrně.....	19
5.1.3 Ukazatele využití N z hnojiv.....	20
5.1.4 Kvalitativní parametry.....	24
5.2 Jarní ječmen.....	25
5.2.1 Výnos zrna.....	25
5.2.2 Obsah dusíkatých látek v zrně.....	26
5.2.3 Ukazatele využití N z hnojiv.....	27
6. Závěr .....	31
7. Seznam použité literatury .....	34
8. Seznam publikací k řešené problematice.....	39

## 1. Summary

The influence of different organic and mineral fertilizers and different sites conditions on the nitrogen balance and its utilization from applied fertilizers to the spring barley (*Hordeum vulgare* L.) and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) were studied at long-term field experiments carried out by the Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition. The experiments were established at four locations in the Czech Republic with different soil and climatic conditions in 1996. Six treatments were evaluated: unfertilized control, sewage sludge, farmyard manure, nitrogen as mineral fertilizer, NPK as mineral fertilizer, nitrogen as mineral fertilizer + spring barley straw. Calcium ammonium nitrate was used for mineral nitrogen fertilization. The whole experiment was based on the same nitrogen rate of 330 kg N ha<sup>-1</sup> to crop rotation.

Less fertile locations with worse soil and climatic conditions (Lukavec, Humpolec) confirmed higher impact of fertilization on yield in comparison with more favorable localities - this was documented by parameters of nitrogen use efficiency as well. The 11.5% limit required for food wheat was achieved for no treatments at the Lukavec site, since the applied dose was not sufficient for the site's mineralization potential which is lower than at the Suchdol site. On the contrary, at Suchdol site, high quality wheat grains were obtained with an average of 12.0% protein content. While the difference between nitrogen use efficiency from sewage sludge and farmyard manure differed by an average of 14 kg kg<sup>-1</sup> in Suchdol, it was already 43 kg kg<sup>-1</sup> in Lukavec. The average value of agronomic efficiency in Lukavec was 16% higher than in Suchdol. We already observed positive nitrogen balances of mineral fertilized treatments at the less fertile Lukavec site in the last evaluated years. The growth of the nitrogen balance was much slower at the more fertile Suchdol site, so the differences between the compared localities grew.

The statistically significant difference of grain yield was found between the treatments with mineral fertilizers and the other treatments in Humpolec and between the control treatment and all fertilized treatments in Červený Újezd. There was no significant difference between treatments of sewage sludge and farmyard manure at both sites. Nitrogen content of the grain complies with the malting quality requirements for all treatments at both sites. The recovery efficiency of applied nitrogen was fairly balanced among the mineral treatments, but it differed at the comparison sites, as it was 11% higher in Humpolec than in Červený Újezd.

When comparing total nitrogen balances of barley at the Humpolec and Červený Újezd sites, a different development was observed in the second decade of the experiment. Although the same fertilizer system was used at both sites, the difference between unfertilized control and mineral fertilized treatments increased over time in Humpolec. Steady decrease of the nitrogen balance was observed also in the mineral fertilized treatments at the Červený Újezd site, even in the second decade of the experiment - because mineralization potential of the location has not reduced yield yet. Applied nitrogen doses, however, do not correspond to yield and long-term negative nitrogen balances increase the risk of lowering the site's mineralization potential.

## 2. Literární rešerše

### 2.1 Využití dusíku z hnojiv

Dusík je jednou z nejdůležitějších živin pro tvorbu výnosu plodin a zároveň nejvíce aplikovanou živinou v hnojivech (Keeney et Hatfield, 2001; Gallais et Hirel, 2004). K pokrytí značné potřeby dusíku aplikují zemědělci po celém světě každý rok na zemědělskou půdu okolo 90 milionů tun dusíkatých hnojiv (Firoz et al., 2011).

Avšak i přes téměř 200 let, které uplynuly od doby, kdy byly zjištěny přínosy dávek minerálních hnojiv, je pouze zřídka využíván plný genetický potenciál rostlin pro maximální výnos. Vlivem negativních faktorů jako jsou nedostatek vody nebo malá mobilita živin potřebných pro růst rostlin, nemusí některé plodiny dostatečně reagovat na doplnění živin (Kennedy et al., 2004).

Mnohé studie dokumentují, že z aplikovaných minerálních hnojiv je bezprostředně přijato plodinami pouze 30 – 50 % dodaného N (Tilman et al., 2002; Delin et al., 2005; Dobermann, 2005; Fageria et al., 2005; Firoz et al., 2011), proto je zvýšení účinnosti využití dusíku důležité pro snížení vstupních nákladů a omezení negativního vlivu na životní prostředí (Delogu et al., 1998; Fageria et al., 2005; Dobermann, 2007; Snyder, 2009; Basso et al., 2010; Maselaux-Daubresse et al., 2010; Shi et al., 2012). Godinot et al. (2016) se zabývali využíváním dusíku v zemědělství jednotlivých členských států EU v letech 2000 až 2008. Z jejich sledování vyplývá, že minerální hnojiva byla hlavním vstupem ve 24 z 27 členských zemích, s průměrnou dávkou 60 kg N/ha zemědělské půdy.

Největší spotřeba minerálních hnojiv na hektar zemědělské půdy je již dlouhodobě evidována v Nizozemí a Německu. Česká republika se v roce 2013 vyskytovala na třetím místě ve spotřebě dusíku na hektar zemědělské půdy (97 kg N/ha) v rámci EU, v roce 2014 s 113 kg N/ha již dokonce na místě druhém (Kulhánek et al., 2015).

Zvyšující se používání dusíkatých hnojiv za účelem produkce plodin vyžaduje hodnocení využití dusíku z hnojiv, aby se zabránilo nedostatečnému hnojení nebo naopak přehnojení a nepříznivému účinku na výživu rostlin a kvalitu životního prostředí. Hodnocení parametrů efektivity využití N je tedy nezbytné pro lepší odhad potřeby hnojiv (Rasmussen et al., 1998).

Efektivita využití N je definována jako výnos zrna na jednotku přístupné živiny (z půdy a/nebo z hnojiv) a může být rozdělena na dvě části: 1. efektivita odběru N, což je schopnost rostlin přijmout N z půdy a 2. efektivita využití N, což je schopnost rostlin transportovat N do

zrna, kde je dále přítomen převážně jako bílkovina (Goyal et al., 2005; Lea et Azevedo, 2006; Foulknes et Murchie, 2011). Často se využívá i výpočtu efektivity využití N jako podílu výnosu sušiny a odběru N plodinou (Moll et al., 1982).

Efektivita využití dusíku je ovlivněna příjmem N z půdy, asimilací N v rostlině a distribucí N z vegetativních částí do zrna (Tivy, 1987; Andersson et Holm, 2011). Využití dusíku z hnojiv je určováno i půdní texturou, klimatickými podmínkami, interakcí mezi půdou a mikrobiálními procesy, původem organických nebo anorganických zdrojů N a ztrátami N z půdy (Bøckman et Ofs, 1998; Hirel et al., 2007).

Účinné využití dusíku z hnojiv má zásadní význam pro udržitelnou produkci potravin (Sylvester-Bradley et Kindred, 2009). V praxi je možné pro zjištění efektivity využití dusíku počítat s různými agronomickými ukazateli. V polních studiích jsou tyto indexy buď vypočteny na základě rozdílů ve výnosu plodin a celkového odběru N nadzemní biomasou mezi hnojenými variantami a nehnojenou kontrolou („metoda rozdílů“), nebo je užito  $^{15}\text{N}$  značené hnojivo, díky kterému je možné sledovat účinnost remobilizace z aplikovaného N (Dobermann, 2005). Metoda rozdílů poskytuje vyšší hodnoty účinnosti hnojiv, než je tomu u metody izotopové. Oba způsoby mají svá omezení a jejich vhodnost závisí na systému hospodaření s N a podmínkách okolního prostředí (Nannen et al., 2011).

U izotopové metody se aplikují hnojiva obohacená o izotop  $^{15}\text{N}$ , což nám umožňuje zjistit využití dusíku z hnojiv rostlinou pomocí poměru méně zastoupeného izotopu  $^{15}\text{N}$  a hojně se vyskytujícího izotopu  $^{14}\text{N}$  (Stevenson et Cole, 1999; Zehr et Montoya, 2007).

Využívání metody  $^{15}\text{N}$  je nákladnější a interpretace výsledků může být zkreslena např. nejednotným značením hnojiv. Metoda rozdílů je levnější a jednodušší a může být přímo aplikována u materiálů, které nejsou homogenní a byl by tedy problém s jejich značením (např. hnůj) (Breland et Hansen, 1998). Jedním z ukazatelů efektivity využití N je tzv. agronomická efektivita aplikovaného N, jež je definována jako rozdíl výnosu na hnojené variantě a výnosu na nehnojené variantě ve vztahu k dávce dusíku na hnojené variantě.

Nejen při aplikaci minerálních hnojiv dochází ke ztrátám živin, i při pečlivém hospodaření se stájovými hnojivy dochází k určitým ztrátám živin (nejvíce dusíku), a připočteme-li k nim živiny v prodaných výrobcích, je zřejmé, že koloběh živin je ochuzován a u většiny z nich je výsledná bilance negativní (Černý et al., 2010).

V hnoji je dusík obsažen ze 70 % ve formě organické a ze 30 % ve formě minerální, z čehož 29 % tvoří forma amoniakální a pouhé 1 % forma nitrátová. Výhodou minerální formy

dusíku je její přímá dostupnost rostlinám, avšak hrozí zde riziko ztrát a následné ohrožení životního prostředí (Černý et al., 2013). Pro omezení těchto ztrát je nezbytné včasné zaorání hnoje po jeho aplikaci, neboť v závislosti na podmínkách, může být z povrchově aplikovaného hnoje více než 85 % z celkového  $\text{NH}_4^+$  ztraceno během 24 hodin (Maguire et al., 2011). V prvním roce aplikace se průměrné využití dusíku z hnoje pohybuje kolem 25 % z celkového obsahu a s každým následujícím rokem klesá - 2. rok po aplikaci 15 %, 3. rok 5 % (Černý et al., 2013).

V případě čistírenských kalů jsou dostupné výsledky dlouhodobých pokusů, které popisují příznivý vliv jejich aplikace na výnos plodin, ale také na půdní vlastnosti (vyšší vododržnost půd, vyšší retenční kapacitu, zvýšení agregace půd, zvýšení aerace, vyšší propustnost a infiltrace, snížení tvorby půdního škraloupu, vyšší sorpční schopnost půd). Aplikace čistírenských kalů výrazně ovlivňuje činnost mikroorganismů, rychlost mineralizace a z dlouhodobého hlediska také obsah organické hmoty v půdě (Černý et al., 2010)

## 2.2 Využitelnost dusíku při hnojení obilnin

Gilland (2015) uvádí průměrný světový výnos pšenice vzrostl z 1,2 t/ha v roce 1956 na 3,3 t/ha v roce 2013. V roce 2014 byla průměrná světová dávka dusíku k obilninám 87 kg/ha, přičemž průměrný výnos činil 3,8 t/ha. Pro rok 2050 je odhadována průměrná dávka dusíku k obilninám již na 108 kg/ha při průměrném výnosu 4,3 t/ha.

Hodnoty využití dusíku (NUE), tedy poměru výnosu k aplikované dávce dusíku, se v různých částech světa liší. Průměrné hodnoty NUE u obilnin v letech 1999-2003 byly publikovány Dobermannem et Cassmanem (2005) a nacházely se v rozpětí od těch nejnižších ve východní Asii (32 kg/kg) přes průměrné v severní Americe (45 kg/kg), Oceánii (46 kg/kg) a jižní Americe (55 kg/kg) až po nejvyšší ve východní Evropě, střední Asii (90 kg/kg) a Africe (123 kg/kg).

Pro určování účinnosti N slouží - výnos zrna, obsah N v zrnu, celkový příjem N, sklizňový index dusíku - a vztahy mezi těmito proměnnými (Barraclough, 2010).

Obecně je známo, že nejvíce dusíku přijmou obilniny v období intenzivního růstu. Jelikož jsou dusíkatá hnojiva většinou aplikována na povrch, je nezbytné počítat s určitou dobou pro jeho transport ke kořenům a následně podmínkami pro jeho příjem a využití. Z tohoto důvodu je důležité sledovat nejen průběh počasí a vývoj nadzemní vegetace, ale také stav půdy a kořenů. Především pak teplotu a vlhkost půdy, tedy zda tyto podmínky umožňují pohyb vody (a živin v půdním roztoku) a také růst kořenů. Podle těchto faktorů se pak rozhodujeme o dávce

dusíku pro regenerační a produkční přihnojení, případně upravujeme poměr těchto dávek, tak abychom dosáhli celkové potřebné výše aplikovaného dusíku (Černý et al., 2016b).

### **2.3 Bilance N v agroekosystému**

Východiskem pro pochopení cyklu N v agroekosystému je podrobná hmotnostní bilance dusíku (Baker et al., 2001; Krug et Winstanley, 2002; Liu et al., 2008), neboť poskytuje informace o tocích N a jeho koloběhu (Öborn et al., 2003).

Bilance N je definována jako rozdíl mezi vstupy (v minerálních a organických hnojivech, biologicky fixovaném N a atmosférické depozici) a výstupy (především odběrem živin ve sklizených plodinách) do a z půdy (Slak et al., 1998; Grignani et al., 2007).

Přebytek nebo deficit je měřítkem čistého ochuzení (výstupy > vstupy) nebo obohacování (výstupy < vstupy) systému, případně se může jednat o ztráty N (Dobermann, 2005).

Bilance musí být pozitivní pro kompenzaci nevyhnutelných ztrát do okolního prostředí, ale měla by být udržována na co nejnižší možné úrovni, aby nedocházelo ke ztrátám emisemi (Watson et Atkinson, 1999; Ju et al., 2006; Wang et al., 2008) nebo nadměrnému hromadění živin v půdě (Vos et Putten, 2000; Spiess, 2011). Podle Spiess (2011) biologické fixace a atmosférické depozice N nejvíce přispívají k nepřesnostem při výpočtu bilance živin. Také však procesy přeměn N, které se dají obtížně kvantifikovat, pokud nejsou sledovány jednotlivé faktory, které je ovlivňují.

Vstupy minerálních a statkových hnojiv a výstupy sklizenými plodinami jsou obvykle hlavní faktory ovlivňující bilanci dusíku zemědělských oblastí (Bechmann et al., 1998; Wang et al., 2008). Proto je třeba věnovat zvýšenou pozornost racionálnímu použití organických hnojiv a zohlednit i aplikaci hnojiv minerálních (Bučiene et al., 2003). Pokud odběr jednotlivých živin převyšuje jejich vstupy do půdy, tak během několika let dochází k poklesu výnosů plodin i úrodnosti půdy (Nátr, 1998).



### 3. Hypotézy a cíle práce

Předpokládá se, že různá organická a minerální hnojiva budou mít rozdílný vliv na výnosotvorné a kvalitativní parametry ječmene a pšenice, zároveň se také očekávají významné rozdíly mezi jednotlivými lokalitami.

Předpokládá se, že využití dusíku z aplikovaných hnojiv se bude na stanovištích lišit dle varianty hnojení a bude tedy možné pro jednotlivé plodiny vyhodnotit účinnost aplikace těchto hnojiv a použitých dávek pro konkrétní stanoviště.

Předpokládá se, že vývoj bilancí dusíku se na jednotlivých stanovištích bude v dlouhodobém časovém intervalu měnit, díky čemuž bude možné predikovat, zda v budoucnu bude na daném stanovišti hrozit spíše nedostatek či přebytek dusíku z aplikovaných hnojiv, či zda bude bilance vyrovnaná.

Pro potvrzení hypotéz byly při řešení doktorské disertační práce stanoveny následující cíle:

- vyhodnocení vlivu jednotlivých hnojiv a stanoviště na výnos plodin a obsah dusíku v hlavním a vedlejším produktu
- vyhodnocení vlivu hnojení a stanoviště na vybrané kvalitativní a výnosotvorné parametry plodin
- výpočet odběru dusíku hlavním a vedlejším produktem a výpočet obsahu dusíkatých látek
- výpočet vybraných ukazatelů využití dusíku a vyhodnocení vlivu hnojení a stanoviště na využití dusíku z aplikovaných hnojiv
- výpočet bilancí dusíku a posouzení dlouhodobého vlivu odlišných hnojiv a půdně-klimatických podmínek stanoviště na tyto bilance při pěstování ječmene a pšenice

## 4. Metodika pokusu

### 4.1 Charakteristika pokusů

Tab. 1: Půdní a klimatická charakteristika pokusných stanovišť

Stanoviště	Humpolec	Lukavec	Červený Újezd	Praha - Suchdol
GPS souřadnice	49°33'16''N, 15°21'2''E	49°33'23''N, 14°58'39''E	50°4'22''N, 14°10'19''E	50°7'40''N, 14°22'33''E
Nadmořská výška (m n. m.)	525	610	400	286
Průměrná roční teplota (°C)	7,0	7,7	7,7	9,1
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	665	666	493	495
Půdní typ	kambizem	kambizem	hnědozem	černozem
Půdní druh	písčito-hlinitá	hlinito-písčitá	hlinitá	hlinito-písčitá
KVK (mmol(+)/kg) <sup>1</sup>	90	45	118	262
C <sub>ox</sub> (%) <sup>2</sup>	1,24	1,09	1,01	1,76
pH <sub>KCl</sub>	4,9	5,2	6,6	7,2
P (mg/kg) <sup>3</sup>	103 – 146	187 – 204	117 – 174	63 – 96
K (mg/kg) <sup>3</sup>	178 – 221	277 – 326	166 – 214	218 – 257
Mg (mg/kg) <sup>3</sup>	104 – 162	73 – 93	99 – 144	171 – 201

<sup>1</sup> metoda dle Gillmana (Gillman, 1979)

<sup>2</sup> modifikovaná metoda Walkley-Black (Walkley et Black, 1934)

<sup>3</sup> metoda Mehlich 3 (Mehlich, 1984)

V disertační práci byl posuzován vliv rozdílných organických a minerálních hnojiv a vliv stanoviště na bilance a využití dusíku z aplikovaných hnojiv při pěstování jarního ječmene (*Hordeum vulgare* L.) a pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.) v dlouhodobých přesných polních pokusech katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Hodnoceny byly výsledky ze čtyř stanovišť v ČR s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami (tabulka č. 1). Pokusy byly založeny na podzim roku 1996, první sklizeň plodin se uskutečnila v roce 1997.

Jednoduchý osevnický postup má tuto rotaci plodin: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen, přičemž každý rok byly pěstovány všechny plodiny (tabulka č. 2). Na lokalitě Červený Újezd byla z agrotechnických důvodů pěstována místo brambor silážní kukuřice. Pro účely disertační práce bylo hodnoceno šest variant hnojení: Kontrola, Kal, Hnůj, N, NPK, N+sláma.

**Tab. 2: Rotace plodin v jednotlivých letech**

	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
<b>Blok 1</b>	ječmen	brambory	pšenice	ječmen
<b>Blok 2</b>	brambory	pšenice	ječmen	brambory
<b>Blok 3</b>	pšenice	ječmen	brambory	pšenice

## 4.2 Dávky živin a hnojiv

K plodinám byla v tříletém cyklu aplikována jednotná dávka 330 kg N/ha. Organická hnojiva (čistírenský kal, hnůj, ječná sláma) byla aplikována na podzim, a to pouze k bramborám a silážní kukuřici.

Minerální dusíkatá hnojiva (ledek amonný s vápencem) byla aplikována u brambor a ječmene před založením porostu v jedné dávce. U pšenice byla dávka rozdělena do dvou aplikací, jako regenerační a produkční hnojení. Dávky dusíku k jednotlivým plodinám, tedy 120 kg N k bramborám, 140 kg N k pšenici a 70 kg N k ječmeni byly stanoveny dle odběrových normativů a předpokládaných výnosů těchto plodin v období při založení pokusů. Fosforečná hnojiva (trojitý superfosfát) a draselná hnojiva (draselná sůl 50 % K) byla u varianty NPK aplikována ke všem plodinám na podzim. Množství aplikovaných živin je uvedeno v tabulce č. 3. Plochy pokusných parcel měly v Hněvčevsi, Humpolci a Lukavci 60 m<sup>2</sup>, na Suchdole 60,5 m<sup>2</sup> a v Červeném Újezdě 80 m<sup>2</sup>.

**Tab. 3: Dávky živin N-P-K (kg/ha) během rotace plodin**

Varianta	Brambory/Silážní kukuřice	Pšenice ozimá	Ječmen jarní
Kontrola	-	-	-
Kal <sup>1</sup>	330-207-44	-	-
Hnůj <sup>1</sup>	330-117-421	-	-
N <sup>2</sup>	120-0-0	140-0-0	70-0-0
NPK <sup>2</sup>	120-30-100	140-30-100	70-30-100
N <sup>2</sup> +sláma <sup>1,3</sup>	138-6-47	140-0-0	70-0-0

<sup>1</sup> průměrné dávky podle obsahu P a K v organických hnojivech

<sup>2</sup> minerální hnojiva: N - ledek amonný s vápencem (27 % N), P – trojitý superfosfát (21 % P), K - draselná sůl (50 % K)

<sup>3</sup> 5 t/ha slámy z ječmene

Vzhledem k rozmanitosti podmínek na experimentálních stanovištích jsou odrůdy pěstovaných plodin vybírány především vzhledem k jejich plastičnosti. Během jednotlivých let byly odrůdy obměňovány dle množení odrůd v ČR. V prvních třech vegetačních obdobích byla pěstována odrůda ozimé pšenice Samanta, od roku 2000 do roku 2015 pak odrůda Alana. U jarního ječmene byla v letech 1997 až 2004 pěstována odrůda Akcent, následovaná odrůdou Calgary (2005 - 2011) a od roku 2012 do roku 2015 byla pěstována odrůda Xanadu.

### 4.3 Sklizeň a odběr vzorků

Sklizeň byla realizována pomocí maloparcelkové sklízecí mlátičky. Vzorky zrna a slámy byly odebrány po sklizni v období zralosti. Zrno bylo vyčištěno od nečistot na laboratorním pneumatickém tříděči K 293 (Petkus). Vzorky byly sušeny na vzduchu s řízenou ventilací a pro chemické analýzy následně homogenizovány na laboratorním střížném mlýně SM 100 (Retsch, Německo) o velikosti síta <1 mm.

#### 4.4 Analýzy rostlinného materiálu a hodnocení kvalitativních parametrů

**Výnos zrna (t/ha)** byl stanoven přímo z hmotnosti zrna z jednotlivých sklizňových parcel z dílčích průseků. Vážení bylo provedeno přesnými mostovými váhami. Výsledky byly přepočteny na t/ha vyjádřeny v sušině 100 %.

**Výnos slámy (t/ha)** byl stanoven přímo z hmotnosti slámy sklizené z dílčích průseků jednotlivých parcel. Vážení bylo provedeno přesnými mostovými váhami. Výsledky byly přepočteny na t/ha vyjádřeny v sušině 100 %.

**Stanovení obsahu dusíku v zrně a slámě (%)** bylo realizováno pomocí metody dle Dumase na přístroji LECO v letech 1997-2005, metodou dle Kjeldahla na přístroji KJELTEC AUTO 1030 ANALYZER (Tecator, Švédsko) v letech 2006-2008, od roku 2009 na přístroji Vapodest 50s (Gerhardt GmbH & Co. KG, Německo).

**Hmotnost tisíce zrn (g)** byla změřena odpočítáním 2 x 500 zrn pšenice pomocí elektronického čítače zrn (DIPOS, SP JZD Libuň) a následným zvážením.

**Objemová hmotnost (kg/hl)** zrna pšenice byla zjištěna pomocí laboratorního měřiče vzor 1938 (Meopta, Česká republika).

**Číslo poklesu (s)** bylo stanoveno z namletého zrna pšenice na přístroji PSY MP40 (Mezos, Czech Republic) o velikosti síta 0,8 mm pomocí přístroje Falling number 1400 (Perten, Švédsko) dle ČSN EN ISO 3093.

**Počet odnoží** byl počítán ze čtyř čvrtmetrovek, **počet zrn v klasu** byl počítán ze dvaceti klasů a **podíl předního zrna** u ječmene byl stanoven na sítu 2,5 x 2,2 mm prosévacím přístrojem Swing 160 (Mezos, Česká republika).

## 4.5 Výpočty

Z analýz rostlinného materiálu byly vypočítány následující ukazatele využití dusíku z aplikovaných hnojiv:

**Obsah dusíkatých látek** byl vypočten z procentuálního obsahu celkového dusíku v zrně stanoveného Kjeldahlovou metodou a vynásobeného koeficientem 6,25 pro ječmen a koeficientem 5,7 pro potravinářskou pšenici dle ČSN 46 1011–18.

**Odběr dusíku zrnem v době sklizně (kg N/ha)** = výnos zrna (kg/ha, 100 % sušina) x obsah celkového dusíku v zrně (%).

**Odběr dusíku slámou v době sklizně (kg N/ha)** = výnos slámy (kg/ha, 100 % sušina) x obsah celkového dusíku ve slámě (%).

**Sklizňový index (%), HI – Harvest index** = výnos zrna (kg/ha, 100 % sušina) / (výnos zrna (kg/ha, 100 % sušina) + výnos slámy (kg/ha, 100 % sušina)) (Donald, 1962).

**Sklizňový index odběru dusíku (%), NHI – Nitrogen harvest index** = odběr dusíku zrnem (kg/ha) / (odběr dusíku zrnem (kg/ha) + odběr dusíku slámou (kg/ha)) (Delogu et al., 1998).

**Využití dusíku (kg/kg, NUE – Nitrogen use efficiency)** = výnos zrna (kg/ha, 100 % sušina) / aplikovaná dávka dusíku (kg/ha) (Moll et al., 1982).

**Účinnost využití dusíku (kg/kg, NUtE – Nitrogen utilization efficiency)** = výnos zrna (kg/ha, 100 % sušina) / odběr dusíku zrnem (kg/ha) (Moll et al., 1982).

**Účinnost remobilizace dusíku (%), RE<sub>N</sub> – Recovery efficiency of applied nitrogen** = (odběr dusíku zrnem (kg/ha) na hnojené variantě – odběr dusíku zrnem na nehnojené variantě (kg/ha)) / dávka dusíku na hnojené variantě (kg/ha) (Dobermann, 2005).

**Agronomická efektivita aplikovaného dusíku (%), AE<sub>N</sub> – Agronomic efficiency of nitrogen** = (výnos zrna na hnojené variantě (kg/ha) – výnos zrna na nehnojené variantě (kg/ha)) / dávka dusíku na hnojené variantě (kg/ha) (Dobermann, 2005).

**Bilance aplikovaného - odebraného dusíku (kg N/ha, ΔN – Nitrogen input - output balance)** = dávka dusíku (kg/ha) - (odběr dusíku zrnem (kg/ha) + odběr dusíku slámou (kg/ha)) (Liu et al., 2010).

**Statistické vyhodnocení** bylo provedeno v programu STATISTICA 12,0 (StatSoft, Tulsa, USA) za pomoci analýzy rozptylu (ANOVA) s následným podrobnějším vyhodnocením Tukeyho testem na hladině významnosti  $\alpha < 0,05$ . Koeficienty korelace (r) hodnocených vlastností byly uvedeny v korelační matici.

## 5. Publikované výsledky a sumární diskuze

Výsledky řešení disertační práce byly publikovány jako dva příspěvky v časopisech s IF a dva recenzované příspěvky:

**Shejbalová, Š. (Buráňová), Černý, J., Vašák, F., Kulhánek, M., Balík, J. (2014). Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. *Plant, Soil and Environment*, 7. 291-296**

V článku byl hodnocen jarní ječmen v pokusných letech 1997 – 2012 na stanovištích Humpolec a Červený Újezd. Zpracovány byly výsledky následujících parametrů: výnos zrna (t/ha), výnos slámy (t/ha), obsah dusíku v zrně (%), obsah dusíku ve slámě (%), odběr dusíku zrnem (kg/ha), odběr dusíku slámou (kg/ha). Efektivita využití dusíku byla zjišťována pomocí NUtE (kg/kg), RE<sub>N</sub> (%) a AE<sub>N</sub> (kg/kg). Sumární bilance dusíku byly zpracovány pro kontrolní variantu a varianty s minerálním hnojením.

**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 (2). 257-271**

V článku byla zpracována data ze stanovišť Lukavec a Suchdol z pokusných let 1997 - 2012. U pšenice ozimé byl hodnocen výnos zrna (t/ha), obsah dusíku v zrně (%) a odběr dusíku zrnem (kg/ha). Pro detailnější upřesnění hodnocených parametrů byl počítán sklizňový index (%) a sklizňový index odběru dusíku (%). Pro zjištění efektivity využití dusíku bylo počítáno s následujícími ukazateli: NUE (kg/kg), NUtE (kg/kg), RE<sub>N</sub> (%) a AE<sub>N</sub> (kg/kg). Na všech variantách byly zjišťovány bilance aplikovaného – odebraného dusíku (kg N/ha).

**Černý, J., Buráňová, Š., Sedlář, O., Kovářík, J., Kulhánek, M., Mužík, J. (2015). Vliv hnojení a stanoviště na výnos jarního ječmene. *Úroda*, 4. 42-48**

Na stanovištích Suchdol a Červený Újezd byly v článku porovnávány dva pokusné roky – 2013 a 2014. U jarního ječmene byl hodnocen počet odnoží, počet zrn v klasu, výnos zrna, obsah dusíku v nadzemní biomase a v zrně. Posuzován byl také vliv průběhu počasí a půdních podmínek.

**Buráňová, Š., Černý, J., Mitura, K., Lipińska, K. J., Kovářík, 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**

V článku byly porovnávány dva pokusné roky – 2013 a 2014 na stanovištích Lukavec a Suchdol. U pšenice ozimé byl vyhodnocen výnos zrna (t/ha) a hmotnost tisíce zrn (g), z kvalitativních parametrů pak objemová hmotnost (g/l), dusíkaté látky v zrně (%) a číslo poklesu (s).

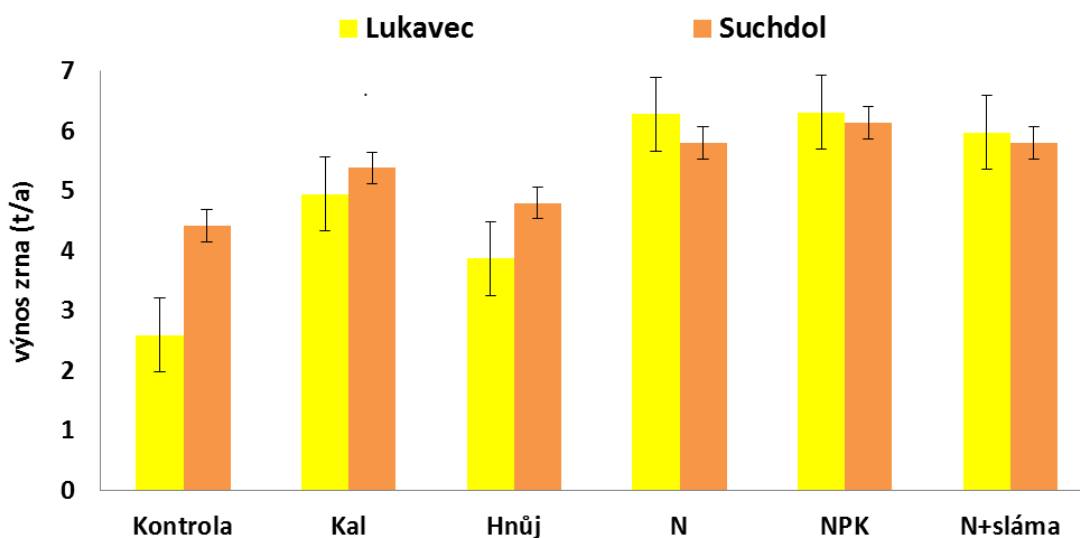


## 5.1 Pšenice ozimá

### 5.1.1 Výnos zrna

Výnos zrna byl významně ovlivněn jednotlivými variantami hnojení na obou sledovaných stanovištích (graf 1). Varianty s minerálním dusíkem dosahovaly vyšších výnosů ve srovnání s organicky hnojenými variantami i nehnojenou kontrolou. Statisticky průkazné rozdíly mezi těmito variantami byly zjištěny na stanovišti Lukavec, tedy na lokalitě s horšími půdně-klimatickými podmínkami (kambizem). Nejvyšších výnosů dosahovalo minerální hnojení dusíkem, fosforem a draslíkem na variantě NPK, průměrný výnos zde činil 6,31 t/ha, což bylo o 144 % více, než na nehnojené kontrole (2,59 t/ha). Na úrodnějším Suchdole, kde byl dusík pšenici odebrán spíše z půdní zásoby, byl zaznamenán nejvyšší průměrný výnos 6,13 t/ha také na variantě NPK, což bylo o 39 % více ve srovnání s kontrolní variantou (4,42 t/ha). Významně větší vliv dusíkatého hnojení na výnos na méně úrodném stanovišti byl způsoben vyšším využitím dusíku přímo aplikovaného v hnojivech, než je tomu na úrodných stanovištích, kde k tvorbě výnosu přispívá především dusík z půdní zásoby. Tomu odpovídají i stanovené parametry efektivity využití N (kapitola 5.1.3). Vaněk et al. (2001) uvádí, že na úrodných půdách se více uplatňuje hnojení v obnově půdní úrodnosti a v udržení stability výnosů a kvality produkce.

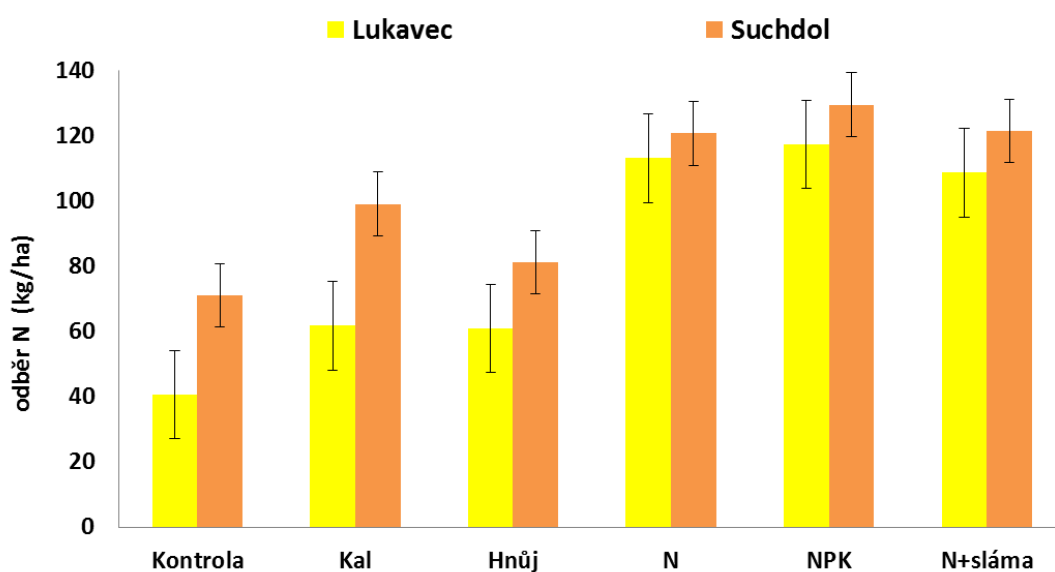
Graf č. 1: Výnos (t/ha) zrna pšenice na stanovištích Lukavec a Suchdol



Na Suchdole je limitujícím faktorem množství srážek (495 mm/rok), které je podstatně nižší než na výše položeném Lukavci (666 mm/rok), a které vedlo k celkově nižšímu průměrnému výnosu pšenice na minerálně hnojených variantách. Ke stejnému závěru došli v pokusech s hnojením ozimé pšenice i Hlisnikovský et al. (2015). Shledávají také do budoucna, vzhledem k předpokládanému zvyšujícímu se nedostatku vody, stanoviště s vyšší nadmořskou výškou a tudíž i vyšším úhrnem srážek jako perspektivní pro produkci pšenice, neboť zvláště v extrémně suchých letech budou schopna zajistit stabilní výnosy, na rozdíl od níže položených, a tedy srážkově slabších, oblastí.

Při porovnání výnosů organicky hnojených variant je u pšenice ozimé zřejmé, že statisticky průkazně vyšších výnosů na Lukavci dosahovala v porovnání s variantou hnůj varianta kal: 4,94 t/ha (o 28 % více než varianta hnůj). Na Suchdole byly rozdíly ve výnosech mezi oběma variantami statisticky neprůkazné, výnos na variantě kal (5,38 t/ha) zde byl o 12 % vyšší než na variantě hnůj.

**Graf č. 2: Odběr N (kg/ha) zrnem pšenice na stanovištích Lukavec a Suchdol**



Pšenice ozimá dosáhla vyšších odběrů dusíku a následně i výnosů po aplikaci kalu ve srovnání s hnojem (graf 2). Na vyšší odběr N po aplikaci čistírenských kalů oproti variantě s hnojem měla pravděpodobně vliv skutečnost, že organická hmota čistírenských kalů je v porovnání s hnojem rychleji mineralizovatelná a živiny z kalů jsou tak rostlinám rychleji přístupné, což potvrzují i Černý et al. (2014c). Na vyšší výnosy varianty kal oproti hnoji měl

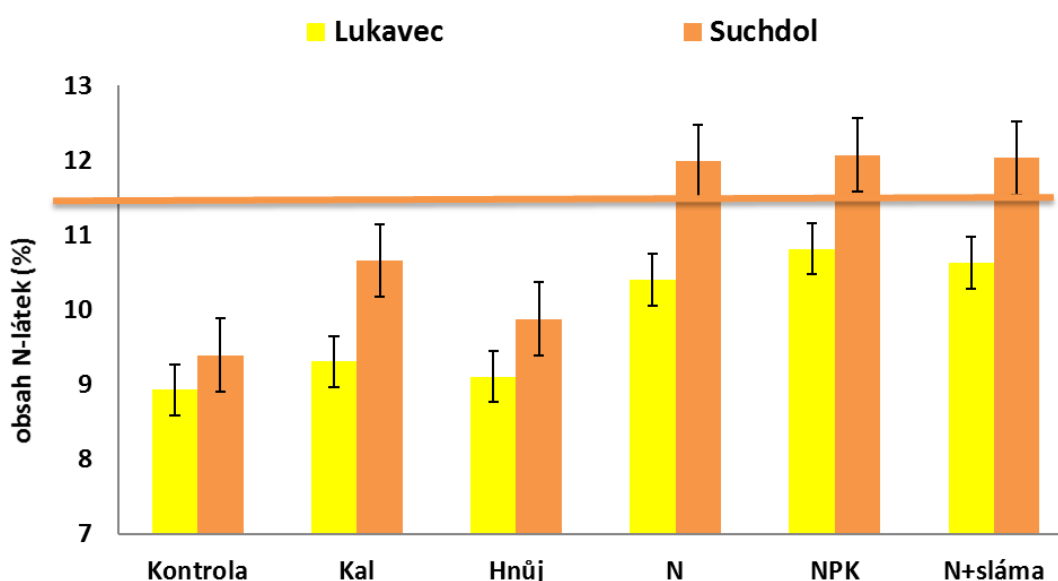
zřejmě vliv i větší obsah přístupného fosforu (Vašák, 2016) a síry (Kulhánek et al., 2016) v půdě po dlouhodobé aplikaci čistírenského kalu.

Na lokalitě Suchdol je možné pozorovat podstatně vyšší odběry dusíku zejména u organicky hnojených variant než na Lukavci. Lokalita Suchdol, náležející do řepařské výrobní oblasti, není pro pěstování brambor, které byly předplodinou ozimé pšenice, vhodná, v prvním roce tedy nebylo sklizní odebráno tolik dusíku, jako na Lukavci, který se nachází v bramborářské výrobní oblasti.

### 5.1.2 Obsah dusíkatých látek v zru

Z výše uvedených důvodů byly na variantách s organickým hnojením zaznamenány obdobně nízké hodnoty dusíku v zru jako na nehnojené kontrole. V Lukavci nebylo dosaženo minimální hodnoty dusíkatých látek pro zru potravinářské pšenice, kterou ČSN 46 1011–18 (2003) stanoví na 11,5 %, u žádné z variant hnojení (graf 3), tedy ani přímá aplikace 140 kg/ha minerálního dusíku na stanovišti s nízkou půdní úrodností nezajistila požadovanou kvalitu. Minerálním hnojením jsme na tomto stanovišti sice dosáhli výrazného zvýšení výnosu, ale kvalita sklizeného produktu neodpovídá požadavkům. Pro pěstování potravinářské pšenice na tomto stanovišti by bylo nutné přizpůsobit dávku a termín aplikace hnojiv mineralizačnímu potenciálu stanoviště, který je nižší než na Suchdole.

Graf č. 3: Obsah N-látek (%) v zru pšenice na stanovištích Lukavec a Suchdol

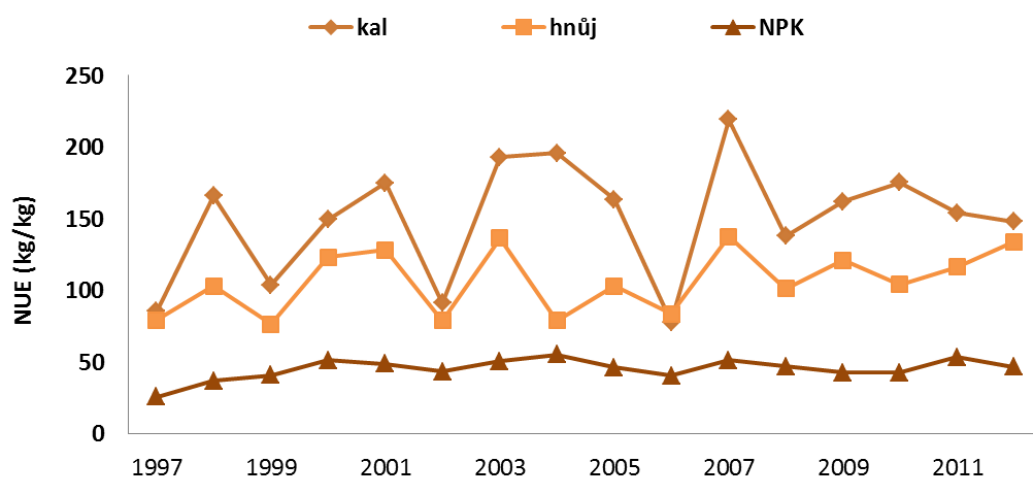


Na Suchdole byl průměrný obsah dusíkatých látek v zrně u variant s minerálním hnojením 12 %. Ani zde však nevyhověly požadavkům na minimální obsah dusíkatých látek v zrně potravinářské pšenice varianty s organickým hnojením (10,6 % varianta kal, 9,8 % varianta hnůj) a nehnojená kontrolní varianta (9,3 %). Sklizňový index odběru dusíku na Lukavci byl u pšenice nejvyšší na variantách s minerálním hnojením, průměrně 84,6 %, 80 % po aplikaci organických hnojiv a 73,9 % na kontrole. Na Suchdole byl nejvyšší sklizňový index odběru dusíku zjištěn na kontrole (87,2 %), avšak rozdíly mezi jednotlivými variantami zde nebyly statisticky průkazné.

### 5.1.3 Ukazatele využití N z hnojiv

Z grafů 4 a 5 je patrné, že využití dusíku (NUE) vyjádřené poměrem výnosu zrna a aplikované dávky dusíku bylo u pšenice ozimé nejvyšší na organicky hnojených variantách. Na Suchdole bylo za sledované roky 1997 – 2012 vypočteno nejvyšší hodnoty NUE z hnoje, a to téměř 150 kg/kg. Avšak je třeba zohlednit, že přímá aplikace organických hnojiv byla prováděna již k předplodině, takže bylo počítáno s druhým rokem uvolňování dusíku z těchto hnojiv, s 11 % u hnoje (Eghball et al., 2002), u anaerobně stabilizovaného kalu pak bylo počítáno s 10 % z aplikované dávky N (Mininni et al., 1987).

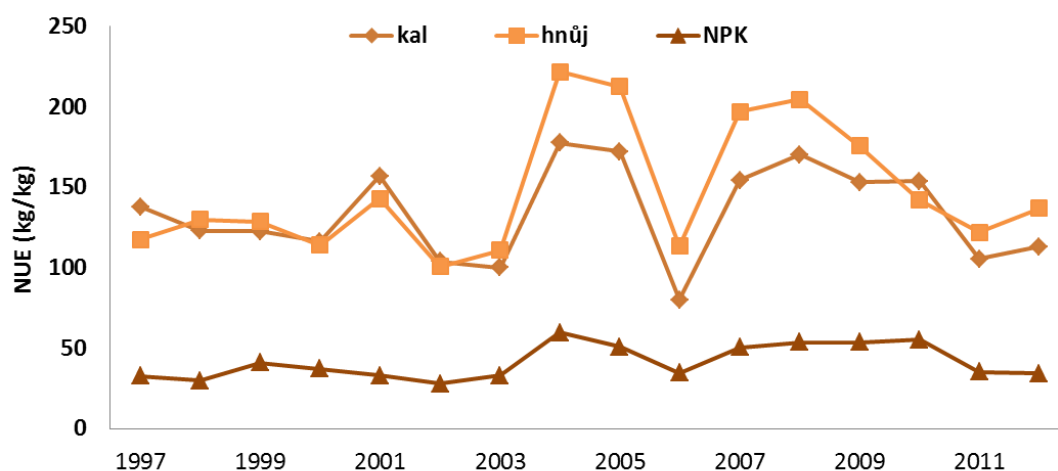
Graf č. 4: NUE (kg/kg) na stanovišti Lukavec



U statkových hnojiv využití živin rostlinami závisí výrazně na podmínkách pro jejich mineralizaci. Obdobně vysoké hodnoty NUE bylo na Lukavci po hnojení kalem. U minerálně hnojených variant bylo u pšenice počítáno s aplikovanou dávkou 140 kg N/ha. V Lukavci se

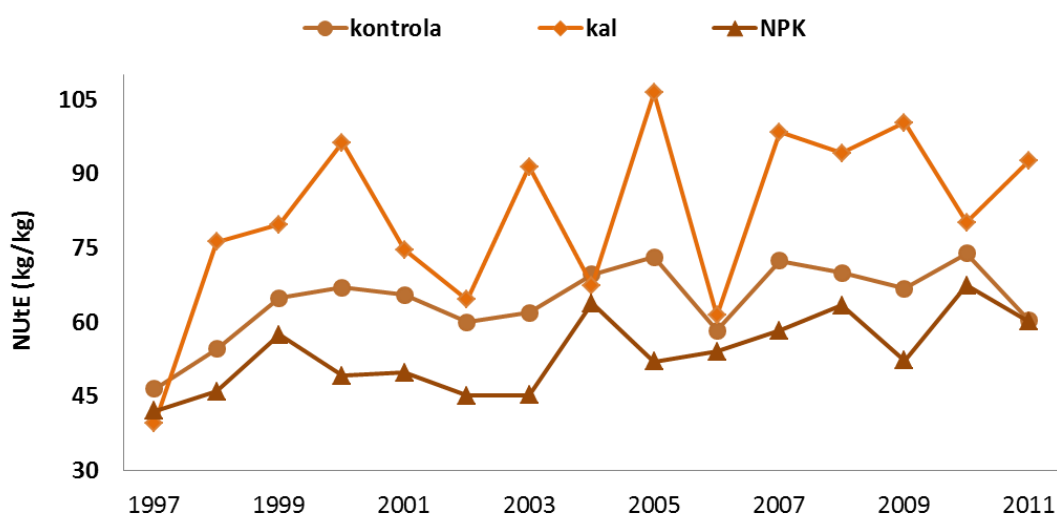
průměrné hodnoty NUE na variantách s minerálním N pohybovalo okolo 44 kg/kg, na Suchdole bylo průměrné využití 40 kg/kg, nejnižší NUE bylo na variantě N (34 kg/kg).

**Graf č. 5: NUE (kg/kg) na stanovišti Suchdol**



Účinnost využití dusíku (NUE) stanovená jako poměr výnosu zrna a odběru dusíku zrnem je závislá na plodině, případně odrůdě, ale také agromanagementu u dané plodiny. Nepostihuje však vliv stanoviště a možnosti pro zlepšení výnosu a odběru dusíku porostem, ale má informativní charakter, zda odběr dusíku odpovídá danému výnosu (Černý et al., 2014b).

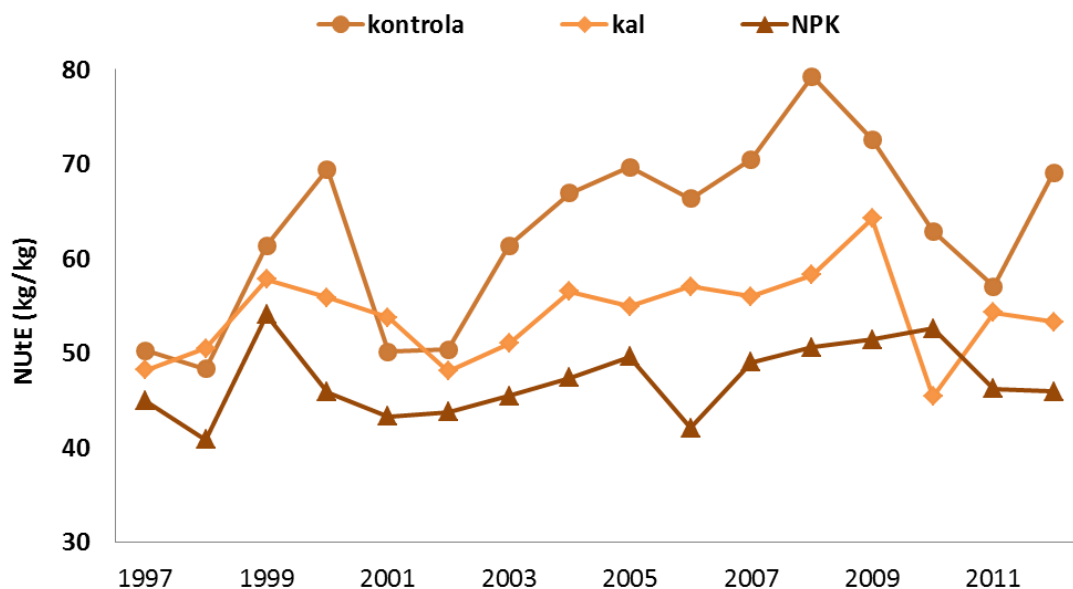
**Graf č. 6: NUtE (kg/kg) na stanovišti Lukavec**



Při porovnání hodnot NUtE znázorněných v grafech 6 a 7 je zřejmé, že u pšenice ozimé byly celkově vyšší hodnoty zjištěny na méně úrodném stanovišti Lukavec. Na této lokalitě byla

významně vyšší na kontrole a organicky hnojených variantách v porovnání s minerálně hnojenými variantami, na Lukavci zejména pak po hnojení kalem (81 kg/kg).

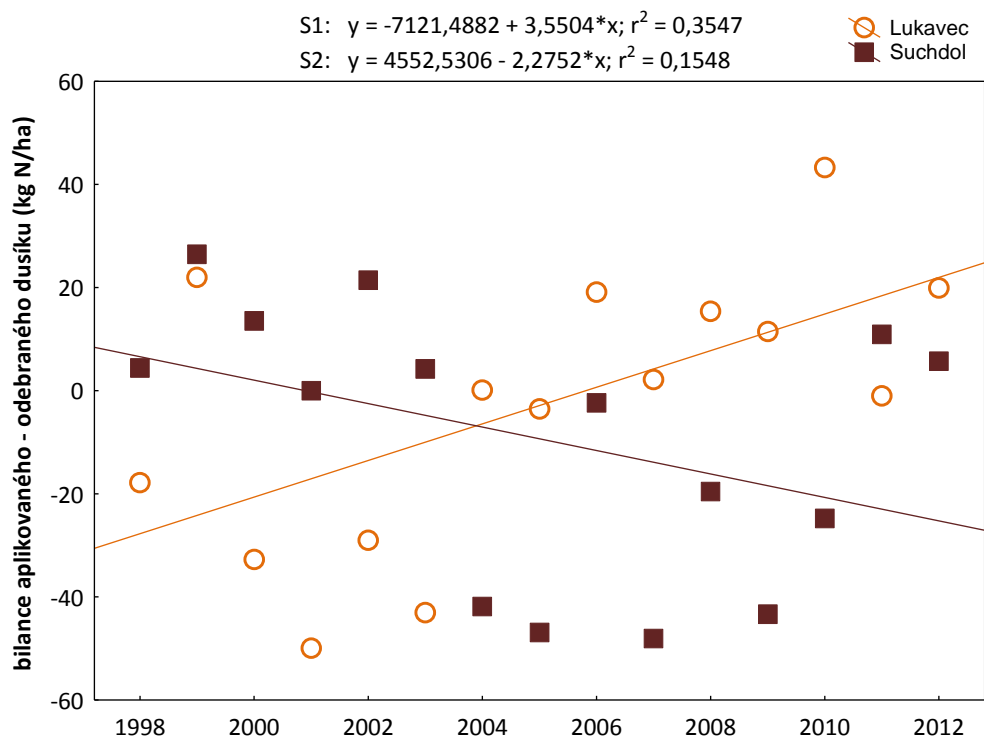
**Graf č. 7: NUtE (kg/kg) na stanovišti Suchdol**



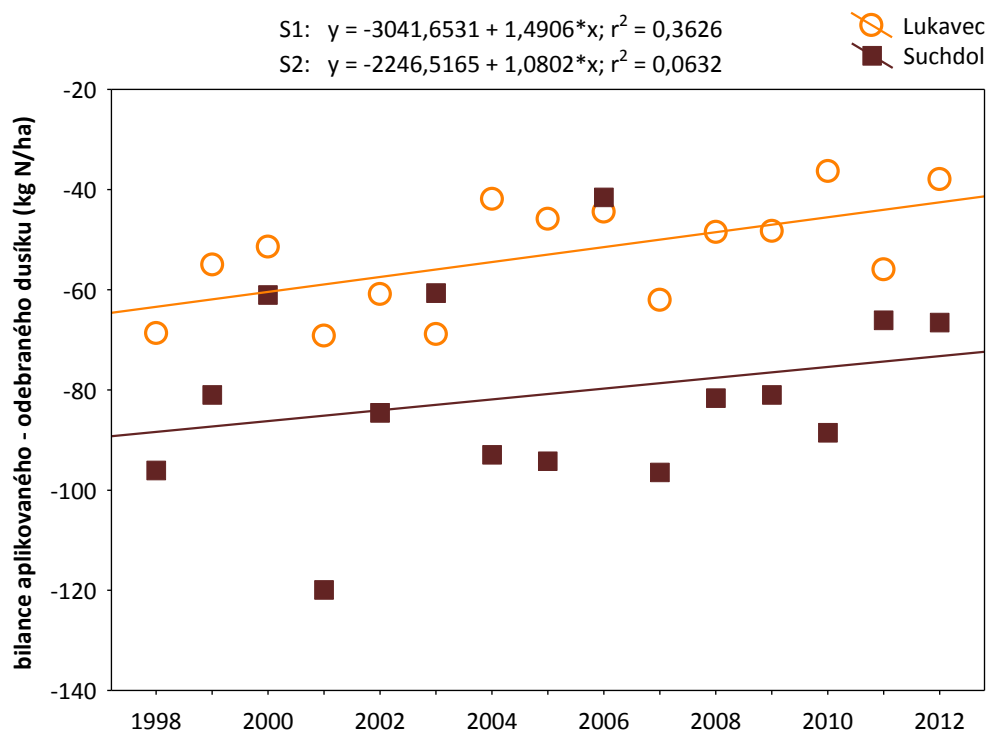
Bilance dusíku ( $\Delta N$ ) byly počítány jako rozdíl aplikovaného dusíku v hnojivech a odebraného dusíku sklizenými produkty (zrnem a slámou). U pšenice byl patrný prohlubující se pokles hodnot v první dekádě pokusu, který v posledních letech sledování ustává a bilance dusíku začíná pozvolna stoupat. Tato tendence je zřetelná zejména na méně úrodném stanovišti Lukavec. Je zde totiž pouze malý podíl látek s pufrací schopností (uhličitan, jílové minerály, kvalitní humus apod.), a tak změny pH ovlivňuje především sorpční schopnost půdy (Vašák et al., 2014a).

Zvyšování bilancí N lze vysvětlit snižující se schopností příjmu N plodinami (nižší obsah N v zrnu, nižší výnosy) způsobené poklesem pH půdy. Dle sledování Vašáka et al. (2014b) z let 1996 až 2010 na tomto stanovišti docházelo k poklesu hodnot pH, a to zejména na minerálně hnojených variantách a variantě kontrolní.

**Graf č. 8: Bilance N (kg N/ha) u varianty NPK na stanovištích Lukavec a Suchdol**



**Graf č. 9: Bilance N (kg N/ha) u kontrolní varianty na stanovištích Lukavec a Suchdol**



Rozdíly v  $\Delta N$  mezi úrodnými a méně úrodnými stanovišti se tedy v druhé dekádě pokusu zvětšují. V posledních letech sledování byly u variant s minerálním hnojením již v kladných

bilancích, a to zejména na Lukavci (graf 8). Zatímco u kontroly se stále drží v záporných hodnotách (graf 9).

#### 5.1.4 Kvalitativní parametry

Limit objemové hmotnosti 760 g/l pro zrna potravinářské pšenice požadované ČSN 461100-2 (2001) nebyl dosažen na lokalitě Suchdol ve sledovaných letech 2013 a 2014 pouze u kontrolní varianty, na Lukavci odpovídaly normě výsledky u všech pokusných variant (tab. 4). Statisticky průkazně nejvyšších hodnot bylo na Lukavci dosaženo u variant s minerálním dusíkem. Celkově nižší hodnoty objemové hmotnosti byly na Suchdole zjištěny v roce 2013, zatímco na Lukavci v roce 2014. I zde nejlépe dopadlo minerální hnojení, varianty měly průměrně o 24,5 g/l více než kontrola ve sledovaném roce 2013 a dokonce o 32,1 g/l více v roce 2014. Rozdíly mezi minerálně hnojenými variantami nebyly průkazné.

**Tab. 4: Objemová hmotnost (g/l) zrna pšenice na stanovištích Lukavec a Suchdol**

Varianta	Lukavec		Suchdol	
	2013	2014	2013	2014
Kontrola	784,5 <sup>a</sup>	777,7 <sup>a</sup>	755,8 <sup>a</sup>	759,5 <sup>a</sup>
Kal	785,4 <sup>a</sup>	768,9 <sup>b</sup>	769,4 <sup>b</sup>	780,4 <sup>b</sup>
Hnůj	787,3 <sup>a</sup>	773,4 <sup>c</sup>	764,0 <sup>ab</sup>	781,8 <sup>b</sup>
N	797,5 <sup>b</sup>	785,1 <sup>d</sup>	783,8 <sup>c</sup>	791,0 <sup>c</sup>
NPK	793,2 <sup>b</sup>	784,7 <sup>d</sup>	778,8 <sup>c</sup>	792,4 <sup>c</sup>
N+sláma	804,8 <sup>b</sup>	796,1 <sup>e</sup>	778,3 <sup>c</sup>	791,3 <sup>c</sup>

Dalším hodnoceným kvalitativním parametrem bylo číslo poklesu (s). V jednotlivých letech a na sledovaných lokalitách bylo velmi různorodé (tab. 5), neboť bylo značně ovlivněno podmínkami stanoviště a především počasím v době sklizně. Minimální požadavek 220 s pro potravinářskou pšenici byl však vyšší na všech variantách včetně kontroly, a to ačkoli odrůda Alana patří do skupiny potravinářských pšenic se silnou náchylností k porůstání, u kterých v případě dešťových srážek v době sklizně je vysoké riziko porůstání zrna v klasu a tím snížení hodnoty čísla poklesu pod 200 s (Hubík et Mareček, 2002). Zvláště pak na Lukavci v roce 2014 byly díky nízkému úhrnu srážek ve sklizňovém období získány vysoké hodnoty od 314 s na variantě s hnojem po 393 s u varianty s minerálním dusíkem a slámou.



Tab. 5: Číslo poklesu (s) zrna pšenice na stanovištích Lukavec a Suchdol

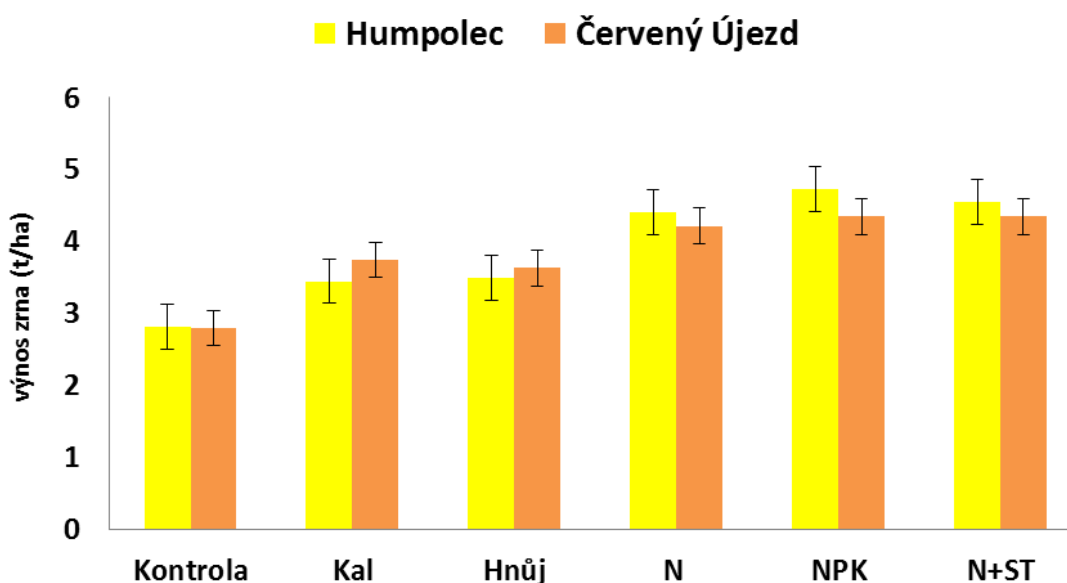
Varianta	Lukavec		Suchdol	
	2013	2014	2013	2014
Kontrola	261 <sup>a</sup>	322 <sup>ab</sup>	246 <sup>a</sup>	242 <sup>a</sup>
Kal	307 <sup>b</sup>	314 <sup>a</sup>	273 <sup>b</sup>	275 <sup>ab</sup>
Hněj	315 <sup>bc</sup>	336 <sup>ab</sup>	264 <sup>ab</sup>	266 <sup>ac</sup>
N	318 <sup>bc</sup>	357 <sup>abc</sup>	271 <sup>b</sup>	298 <sup>ab</sup>
NPK	310 <sup>b</sup>	365 <sup>b</sup>	270 <sup>b</sup>	333 <sup>bc</sup>
N+sláma	334 <sup>c</sup>	393 <sup>c</sup>	270 <sup>b</sup>	339 <sup>b</sup>

## 5.2 Jarní ječmen

### 5.2.1 Výnos zrna

Hodnoty výnosů zrna ječmene na obou stanovištích uvádí graf č. 10. Statisticky průkazný rozdíl mezi průměry výnosu zrna z let 1997 – 2012 byl zjištěn mezi variantami s minerálním hnojením a ostatními variantami v Humpolci a mezi kontrolní variantou a všemi hnojenými variantami na Červeném Újezdě.

Graf č. 10: Výnos (t/ha) zrna ječmene na stanovištích Humpolec a Červený Újezd

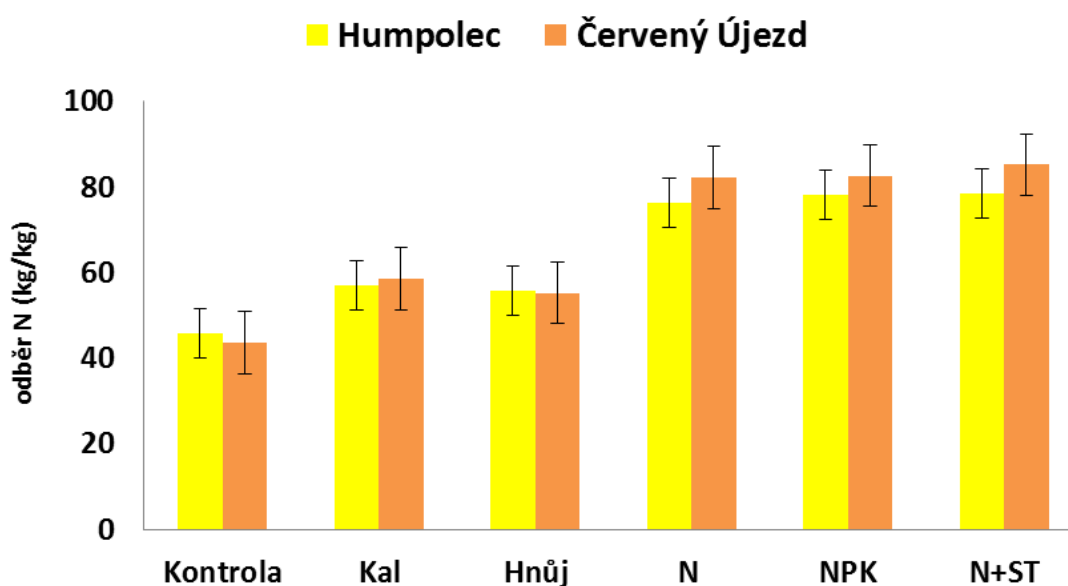


Rozdíly ve výnosech zrna varianty hněj (3,49 t/ha) a kal (3,45 t/ha) v porovnání s kontrolou (2,81 t/ha) byly na Humpolci neprůkazné, na Červeném Újezdě byl prokázán

statistický rozdíl mezi kontrolou (2,78 t/ha) a variantou hnůj (3,63 t/ha) i kal (3,75 t/ha). Mezi variantami kal a hnůj nebyl zjištěn průkazný rozdíl ani na jednom stanovišti.

Odběry N na variantách s minerálním N byly na Červeném Újezdě o 40 kg/ha vyšší než na nehnojené kontrole (43,7 kg/ha) a u variant s organickým hnojením se pohybovaly mezi 55,3 – 58,6 kg/ha na obou stanovištích (graf 11).

**Graf č. 11: Odběr N (kg/ha) zrnem ječmene na stanovištích Humpolec a Červený Újezd**

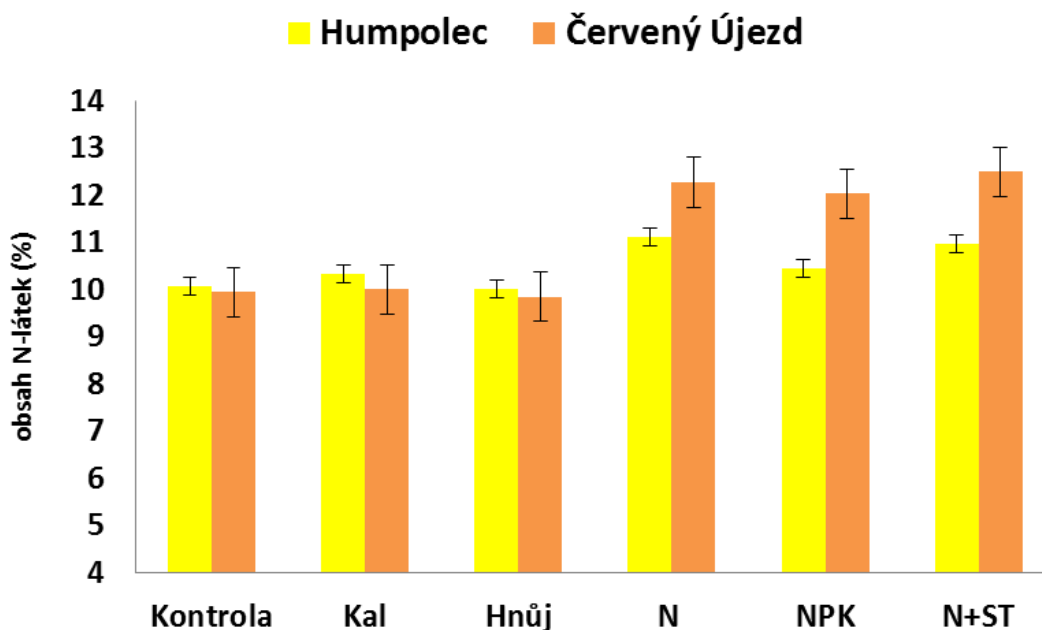


### 5.2.2 Obsah dusíkatých látek v zrně

ČSN 46 1100–5 (2006) požaduje pro sladovnický ječmen obsah dusíkatých látek v zrně v rozmezí 10 – 12 %, z pohledu technologie sladování by se měl obsah dusíkatých látek pohybovat v rozpětí 9,5 – 11,7 % s optimem v oblasti 10,2 – 11,0 % (Prugar et al., 2008).

V Humpolci za sledované období let 1997 až 2012 nepřekročila průměrná hodnota obsahu dusíkatých látek v zrně 11,1 % (varianta N), zároveň však i nejnižší hodnota 10 % u kontrolní varianty byla stále vyhovující pro sladovnickou kvalitu (graf 12). S ohledem na obsah dusíkatých látek v zrně sladovnického ječmene na této lokalitě byla odpovídající jak každoroční 70 kilogramová aplikace dusíku v minerální formě (což přibližně odpovídá odběru dusíku porostem při zohlednění množství potenciálně mineralizovatelného dusíku na stanovištích), tak pěstování v osevním sledu třetí rok po přímém hnojení kalem a hnojem k bramborám.

Graf č. 12: Obsah N-látek (%) v zrně ječmene na stanovištích Humpolec a Červený Újezd

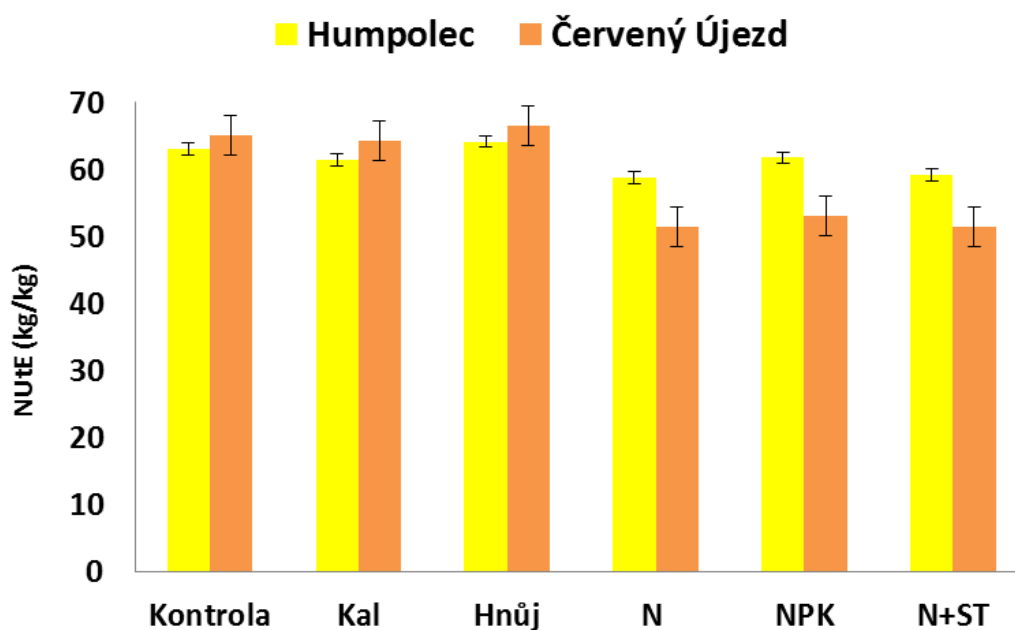


Na lokalitě Červený Újezd byly průměrné obsahy dusíku v zrně u kontroly a organicky hnojených variant obdobné jako v Humpolci, tedy okolo spodní hranice 10 %. Na variantách s minerálním hnojením došlo vlivem vyšší mineralizace půdního dusíku k navýšení obsahu až na 12,5 %.

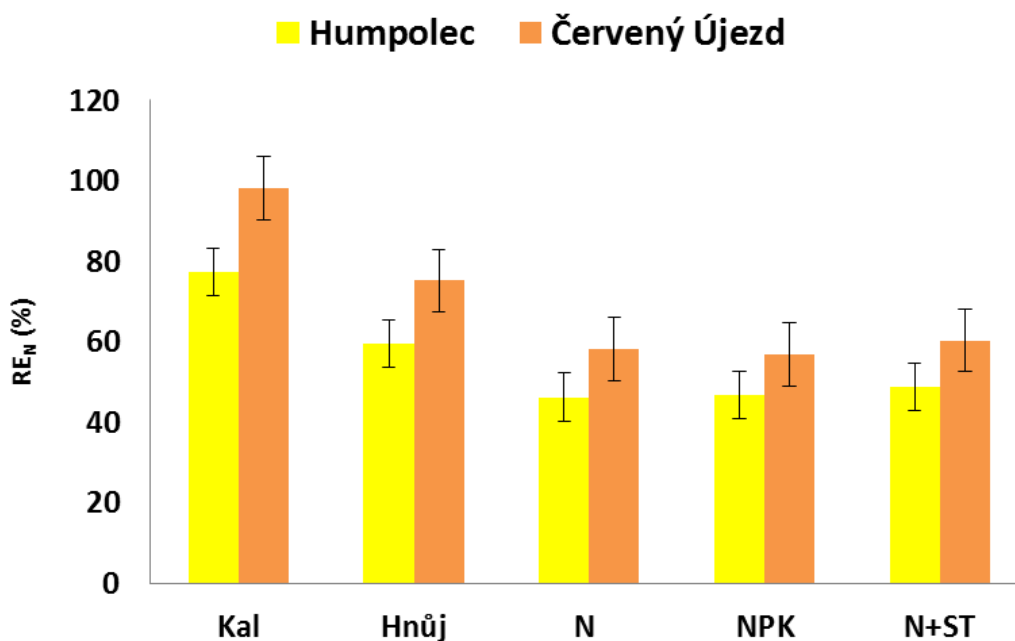
### 5.2.3 Ukazatele využití N z hnojiv

Nejnižší hodnota NUtE byla zaznamenána na všech stanovištích u variant minerálně hnojených. Průměrné hodnoty NUtE se dle Dobermann (2007) pohybují v rozmezí 30 - 90 kg/kg, přičemž optimální rozsah při vyvážené výživě činí 55 - 65 kg/kg. Tomuto rozmezí v našem pokuse neodpovídaly pouze minerálně hnojené varianty na Suchdole s 47,5 kg/kg.

Graf č. 13: NUtE (kg/kg) na stanovištích Humpolec a Červený Újezd

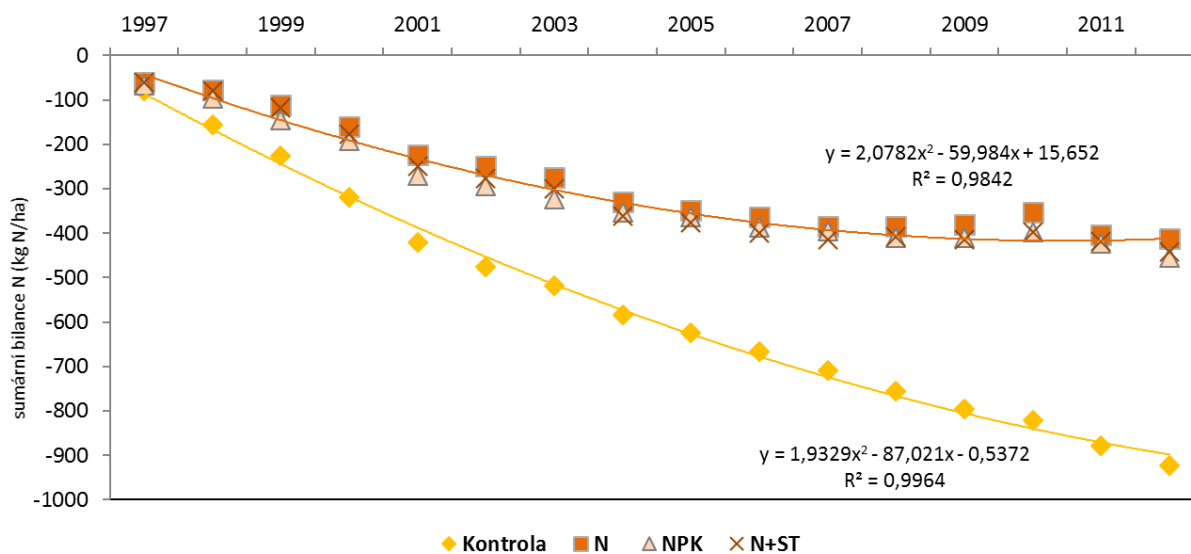


Graf č. 14: RE<sub>N</sub> (%) na stanovištích Humpolec a Červený Újezd



Účinnost remobilizace dusíku (RE<sub>N</sub>) umožňuje posoudit kolik procent dusíku je z aplikovaného hnojiva přímo využito porostem. Průměrné hodnoty na jednotlivých stanovištích se u variant s minerálním dusíkem pohybovaly v rozmezí od 46,2 % (N) do 60,3 % (N se slámou), přičemž Růžek (1997) udává, že využití dusíku při hnojení obilnin v našich půdně-klimatických podmínkách je v průměru jen 35 - 55 %.

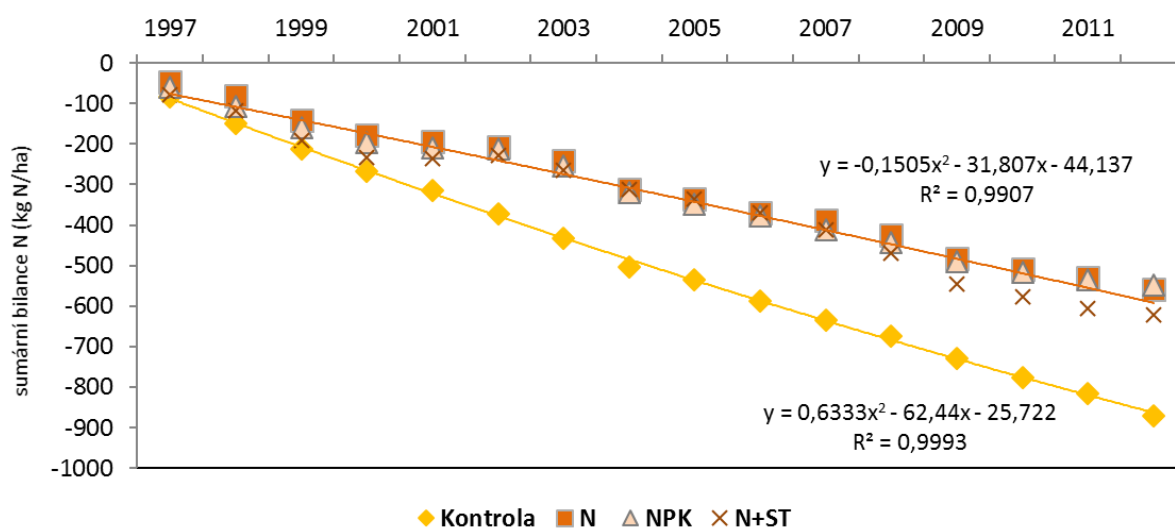
**Graf č. 15: Sumární bilance N (kg N/ha) na stanovišti Humpolec**



V pokuse byl u ječmene sledován vývoj sumárních bilancí v čase u kontroly a variant s minerálním hnojením. V roce 1997 započala sumární bilance na stanovišti Humpolec na -81 kg N/ha u kontroly a -60 kg N/ha u variant N a N se slámou až -66 kg N/ha u varianty NPK. V posledním hodnoceném roce 2012 zde činila sumární bilance dusíku -922 kg N/ha u kontrolní varianty a -413 až -455 kg N/ha u variant s minerálním hnojením. U nehnojené kontroly je možné pozorovat setrvalé prohlubování negativní bilance dusíku.

Na Červeném Újezdě započala bilance dusíku na -83 kg N/ha u kontroly a -47, -59 až -79 kg N/ha pro N, NPK a N+ST. Na konci sledování dosáhla sumární bilance hodnot -870 kg N/ha u kontrolní varianty, -557, -549 a -621 kg N/ha pro N, NPK a N+ST. Na stanovišti Červený Újezd bylo možné pozorovat podstatně nižší hodnoty bilance dusíku než na lokalitě Humpolec, a to i u minerálně hnojených variant. Na Červeném Újezdě jsou díky mineralizačnímu potenciálu stanoviště stále vyšší odběry dusíku, než je tomu na Humpolci, a proto jsou hodnoty sumárních bilancí nižší právě na tomto stanovišti. Vaněk et al. (2016) uvádějí průměrný odběr 110 kg N u jarního ječmene s výnosem okolo 5 t zrna. Průměrný výnos byl u minerálně hnojených variant na stanovišti Červený Újezd 4,30 t/ha, odpovídající dávka dusíku by tedy byla přibližně 95 kg N. Dávka dusíku aplikovaná v pokusu tedy není vzhledem k výši výnosů dostatečná a v budoucnu zde hrozí ztráta mineralizačního potenciálu stanoviště.

**Graf č. 16: Sumární bilance N (kg N/ha) na stanovišti Červený Újezd**



Na sumy bilancí dusíku měl vliv i jiný osevň sled, kdy je na Červeném Újezdě v prvním roce zařazena kukuřice místo brambor. Ke stejnému poznatku zde dospěl i Vašák (2016) při hodnocení bilance draslíku. Při porovnání odběru dusíku sklizní u minerálně hnojených variant v porovnání se vstupy je patrné, že převyšují aplikovanou dávku dusíku na obou stanovištích a hrozí tak deficit této živiny v půdě. Potvrzuje se tedy nezbytnost dlouhodobých polních pokusů, jak ji popisují například Körschens (2006) nebo Lipavský et al. (2010), neboť až po více než desetiletí sledování se ukazuje rozdílný vývoj bilancí dusíku na těchto dvou stanovištích.

## 6. Závěr

Na méně úrodných stanovištích s horšími půdně-klimatickými podmínkami (Lukavec, Humpolec) byl potvrzen vyšší vliv hnojení na výnos než na lokalitách s příznivějšími podmínkami, což bylo doloženo i parametry efektivity využití dusíku. Na variantě NPK bylo v Lukavci dosaženo velmi vysokého 144% (6,31 t/ha) nárůstu výnosu zrna ozimé pšenice oproti nehnojené kontrolní variantě (2,59 t/ha). S tím souvisel i nejvyšší zaznamenaný odběr dusíku zrnem, který byl o 189 % vyšší u NPK varianty než na kontrole. Na Suchdole byl díky přirozené úrodnosti půdy vyšší výnos i na kontrolní variantě 4,42 t/ha, na NPK již 6,13 t/ha (nárůst 39 %). Odběr dusíku zrnem u NPK varianty zde byl o 82 % vyšší ve srovnání s kontrolou.

V Humpolci vzrostl výnos jarního ječmene na NPK variantě o 68 % (4,73 t/ha) ve srovnání s kontrolou (2,81 t/ha). Výnos jarního ječmene na Červeném Újezdě byl nejvyšší u kombinace minerálního dusíku a slámy, a to o 55 % (4,34 t/ha) vyšší než výnos kontrolní varianty (2,78 %). Výnosy organicky hnojených variant byly na obou stanovištích srovnatelné: v Humpolci 3,45 t/ha u kalu, 3,49 t/ha u hnoje; na Červeném Újezdě 3,75 t/ha u varianty kal a 3,63 t/ha u hnoje.

Obsah dusíkatých látek v zrna pšenice na stanovišti Lukavec po hnojení NPK zvýšil o 21 % oproti kontrole (8,93 %). Limit 11,5 % požadovaný pro potravinářskou pšenici zde nebyl dosažen žádnou z variant hnojení, neboť aplikovaná dávka neodpovídala výnosu, odběru dusíku porostem a mineralizačnímu potenciálu stanoviště. Naopak na lokalitě Suchdol bylo dosaženo parametrů potravinářské kvality zrna pšenice s průměrnými 12,0 % dusíkatých látek.

V dlouhodobém průměru na variantách s organickým hnojením na Suchdole pšenice nevyhověla obsahem dusíkatých látek, avšak při detailnějším rozboru vybraných let byly zjištěny velmi dobré výsledky u varianty kal: 12,0 % v roce 2013 a 11,5 % v roce 2014, zatímco varianta hnůj byla i v těchto letech pod požadovaným limitem (10,3 % a 10,8 %), ačkoli v těchto hnojivech byla aplikována stejná dávka dusíku. Bylo to způsobeno rozdílnou rychlostí mineralizace dusíku z kalu a hnoje.

V Humpolci za celé sledované období nepřekročila průměrná hodnota dusíkatých látek v zrna jarního ječmene 11,1 % (varianta N). Z hlediska sladovnické kvality zde vyhověla dokonce i kontrolní varianta, kal a hnůj s 10 % dusíkatých látek. Stejných výsledků na těchto variantách bylo dosaženo i na Červeném Újezdě. Avšak díky mineralizačnímu potenciálu stanoviště zde minerálně hnojené varianty měly obsah dusíkatých látek až 12,5 %.

NUE z hnojiv bylo u pšenice nejvyšší u variant s organickým hnojením. U organicky hnojených variant však v druhém roce pokusu bylo počítáno pouze s 11 % z celkové dávky N u hnoje a s 10 % u kalu, tedy s 36,3 kg/ha N z hnoje a 33 kg N z kalu. Nejvyšší NUE, téměř 150 kg/kg, bylo zjištěno u varianty kal na Lukavci a u varianty hnůj na Suchdole. Zatímco na Suchdole se rozdíl mezi NUE z kalu a hnoje lišil v průměru o 14 kg/kg, na Lukavci byl mezi kalem a hnojem rozdíl již 43 kg/kg.

I nejvyšší NUtE 80,98 kg/kg bylo u pšenice na stanovišti Lukavec dosaženo na variantě s kalem, tato hodnota výrazně převyšovala všechny ostatní varianty na obou stanovištích. Varianta hnůj byla na Lukavci s 63,80 kg/kg srovnatelná s nehnojenou kontrolou (64,90 kg/kg).  $AE_N$  byla podstatně vyšší na stanovišti Lukavec ve srovnání se Suchdolem. Nejvyšší hodnota byla zjištěna po aplikaci kalu (76,44 % Lukavec, 31,75 % Suchdol).

Nejvyšší NUtE se u ječmene prokázalo na obou stanovištích po použití hnoje (64,2 kg/kg Humpolec, 66,5 kg/kg Červený Újezd), u kalu bylo o něco málo nižší, než na variantě kontrolní (63,0 kg/kg Humpolec, 65,1 kg/kg Červený Újezd).

NUE z minerálních hnojiv bylo u pšenice na Lukavci i Suchdole poměrně vyrovnané a pohybovalo se v rozmezí 41,48 – 45,08 kg/kg, s výjimkou samostatného hnojení dusíkem na Suchdole, kde bylo zaznamenáno nejnižší NUE 34,29 kg/kg. I NUtE u minerálních hnojiv byla na obou lokalitách vyrovnaná mezi variantami, na Lukavci průměrných 55,0 kg/kg, na Suchdole o 2,5 kg/kg méně. U minerálního hnojení nebyly rozdíly v  $AE_N$  u pšenice mezi variantami, pozorovatelná je neprůkazně vyšší hodnota u varianty NPK (28,07 % Lukavec, 12,50 % Suchdol), kde byla zjištěna i nejvyšší  $RE_N$  z minerálně hnojených variant (61,69 % Lukavec, 40,85 % Suchdol). Patrný je však rozdíl mezi stanovišti, neboť průměrná hodnota agronomické efektivity využití dusíku na Lukavci byla o 16 % vyšší než na Suchdole.

Průměr NUtE u ječmene u minerálně hnojených variant činil 59,9 kg/kg na Humpolci. Nejvyšší NUtE z minerálních variant bylo zjištěno na obou stanovištích u NPK varianty (58,7 kg/kg Humpolec, 51,4 kg/kg Červený Újezd).  $RE_N$  u ječmene byla mezi minerálními variantami dosti vyrovnaná, lišila se však mezi porovnávanými stanovišti, neboť na Červeném Újezdě byla o 11 % vyšší, než na Humpolci.  $AE_N$  byla na Humpolci u minerálně hnojených variant průměrně o 4 % vyšší, než na Červeném Újezdě.

U všech hnojených variant můžeme s postupem času pozorovat rozdílnou tendenci vývoje bilancí dusíku v čase. Na méně úrodném Lukavci se v posledních hodnocených letech u variant minerálně hnojených dostáváme již do kladných bilancí. Zvyšování bilancí N na tomto



stanovišti bylo ovlivněno snižující se schopností příjmu N plodinami způsobené poklesem pH půdy, což vedlo ke snížení obsahu N v zrnu i k nižším výnosům posledních let sledování. Na úrodnějším Suchdole je nárůst bilancí mnohem pomalejší, a tak rozdíly mezi srovnávanými lokalitami rostou. Do vyrovnaných či dokonce kladných bilancí dusíku se zatím nedostala žádná z variant na tomto stanovišti.

Při porovnání sumárních bilancí dusíku u ječmene na stanovištích Humpolec a Červený Újezd byl zjištěn odlišný vývoj ve druhé dekádě pokusu. Ačkoli byl na obou lokalitách použit stejný systém hnojení, v Humpolci se s postupem času zvětšuje rozdíl mezi nehnojenou kontrolou a minerálně hnojenými variantami. V roce 2012 zde suma bilancí dusíku na kontrole byla již o 509 kg N/ha nižší ve srovnání s variantou hnojenou minerálním dusíkem. Na Červeném Újezdě činil rozdíl mezi nehnojenou variantou na konci sledování, tedy po 12 letech hnojení, a variantou N 313 kg N/ha, u varianty se slámou dokonce jen 249 kg N/ha. Na lokalitě Červený Újezd byl pozorován i v druhé dekádě pokusu setrvalý pokles bilancí dusíku i u minerálně hnojených variant, neboť díky mineralizačnímu potenciálu stanoviště zde zatím nedošlo ke snižování výnosů. Aplikované dávky dusíku však výnosům neodpovídají a dlouhodobě negativní bilance dusíku zvyšuje riziko snížení mineralizačního potenciálu stanoviště.

Objemová hmotnost byla z hlediska potravinářské kvality na Lukavci vyhovující u všech variant včetně kontroly, přičemž vyšší hodnoty byly zaznamenány v roce 2013 v porovnání s rokem 2014. Na obou stanovištích byla průkazně vyšší objemová hmotnost u minerálně hnojených variant. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány na Lukavci na variantě s kombinací minerálního dusíku a slámy (804,8 g/l v roce 2013, 796,1 g/l v roce 2014).

Číslo poklesu bylo nad požadovaným limitem 220 s ve všech případech sledování. V obou hodnocených letech bylo na Lukavci nejvyšších hodnot dosaženo na variantě minerálního dusíku se slámou: 334 s v roce 2013, 393 s v roce 2014, což bylo o 73 s, respektive 71 s více v porovnání s nehnojenou kontrolou. Celkově nižší hodnoty byly zjištěny na stanovišti Suchdol. Výsledky kontrolní varianty (246 s v roce 2013, 242 s v roce 2014) a variant s organickým hnojením byly v porovnávaných letech velmi vyrovnané.

## 7. Seznam použité literatury

Andersson, A., Holm, L. 2011. Effects of mild temperature stress on grain quality and root and straw nitrogen concentration in malting barley cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197. 466-476.

Baker, L. A., Hope, D., Xu, Y., Edmonds, J., Lauver, L. 2001. Nitrogen Balance for the Central Arizona–Phoenix (CAP) Ecosystem. *Ecosystems*. 4. 582-602.

Basso, B., Cammarano, D., Troccoli, A., Chen, D., Ritchie, J. T. 2010. Long-term wheat response to nitrogen in a rainfed Mediterranean environment: Field data and simulation analysis. *European Journal of Agronomy*. 33. 132-138.

Barracough, P. B., Howarth, J. R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C. E., Hawkesford, M. J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy*. 33. 1-11.

Bechmann, M., Eggestad, H. O., Vagstad, N. 1998. Nitrogen balances and leaching in four agricultural catchments in southeastern Norway. *Environmental Pollution*. 102. 493-499.

Bøckman, O. Ch., Olf, H. W. 1998. Fertilizers, agronomy and N<sub>2</sub>O. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52. 165-170.

Breland, T. A., Hansen, S. 1998. Comparison of the difference method and <sup>15</sup>N technique for studying the fate of nitrogen from plant residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*. 26. 164-168.

Bučiene, A., Švedas, A., Antanaitis, Š. 2003. Balances of the major nutrients N, P and K at the farm and field level and some possibilities to improve comparisons between actual and estimated crop yields. *European journal of Agronomy*. 20. 53-62.

Černý, J., Balík, J., Sedlář, O., Kulhánek, M., Vašák, F. 2016b. Hnojení ozimých obilnin na jaře. *Úroda*. 3. s. 73-76.

Černý J., Shejbalová Š., Kulhánek M., Vašák F. 2013. Využití živin ze statkových hnojiv. *Zemědělec. Profi Press*. 38. s. 10 - 13.

Černý, J., Vaněk, V., Kulhánek, M. 2010. Vliv hnojení na výnos a úrodnost půdy. *Zemědělec*. 28. s. 10-12.

ČSN 46 1100-5 (2006): Obiloviny potravinářské - Část 5: Ječmen sladovnický. Český normalizační institut, 8 s.

ČSN 46 1011–18 (2003): Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin. Část 18: Zkoušení obilovin: Stanovení obsahu dusíkatých látek. Český normalizační institut, 8 s.

ČSN EN ISO 3093 (2010): Pšenice, žito a pšeničná a žitná mouka, pšenice tvrdá (durum) a semolina z pšenice tvrdé – Stanovení čísla poklesu podle Hagberga-Pertena. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 24 s.

Delin, S., Lindén, B., Berlund, K. 2005. Yield and protein response to fertilizer nitrogen in different parts of a cereal field: potential of site-specific fertilization. *European Journal of Agronomy*. 22. 325-336.

Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., Falcis, D. D., Maggiore, T., Stanca, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 9. 11-20.

Dobermann, A. R. 2005. Nitrogen Use Efficiency-State of the Art. University of Nebraska. USA.

Dobermann, A. R. 2007. Nutrient use efficiency, measurement and management. In: IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels. Belgium. International Fertilizer Industry Association.

Dobermann, A. R., Cassman, K. G. 2005. Cereal area and nitrogen use efficiency are drivers of future nitrogen fertilizer consumption. *Science in China Series C: Life Sciences*. 48. 745-758.

Donald, C. M. 1962. In search of yield. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 28. 171-178.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Advances in Agronomy*. 88. 97-185.

Firoz, A., Siddiqui, M. H., Salem, S. A., Al-Whaibi, M. H., Abhishek, C. 2011. Nitrogen use-efficiency and crop production – a mini review. *Environment & We an International Journal of Science & Technology*. 6. 167-174.

Foulkes, M. J., Murchie, E. H. 2011. Optimizing canopy physiology traits to improve the nutrient utilization efficiency of crops. In: Hawkesford, M. J., Barraclough, P. (eds.). *The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops*. John Wiley and Sons. UK. p. 65-82. ISBN: 0-8138-1992-X.

Gallais, A., Hirel, B. 2004. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *Journal of Experimental Botany*. 55 (396). 295-306.

Gilland, B. 2015. Nitrogen, phosphorus, carbon and population. *Science Progress*. 98 (4). 379-390.

Gillman, G. P. 1979. A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. *Australian Journal of Soil Research*. 17 (1). 129 – 139.

Godinot, O., Leterme, P., Vertés, F., Carof, M. 2016. Indicators to evaluate agricultural nitrogen efficiency of the 27 member states of the European Union. *Ecological Indicators*. 66. 612–622.

Goyal, S. S., Tischner, R., Basra, A. S. (eds.) 2005. Enhancing the efficiency of nitrogen utilization in plants. Food Products Press. USA. ISBN: 1-56022-141-0.

Grignani, C., Zavattaro, L., Sacco, D., Monaco, S. 2007. Production, nitrogen and carbon balance of maize-based forage systems. *European Journal of Agronomy*. 26. 442-453.

Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*. 58 (9). 2369-2387.

Ju, X. T., Kou, C. L., Zhang, F. S., Christie, P. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*. 143. 117-125.

Keeney, D. R., Hatfield, J. L. 2001. The nitrogen cycle, historical perspective, and current and potential future concerns. In: Follett, R. F., Hatfield, J. L. (eds.). *Nitrogen in the environment: sources, problems, and management*. Elsevier. Netherlands. p. 3-16. ISBN: 0-444-50486-9.

Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., Kecskés, M. L. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology & Biochemistry*. 36. 1229-1244.

Krug, E. C., Winstanley, D. 2002. The need for comprehensive and consistent treatment of the nitrogen cycle in nitrogen cycling and mass balance studies: I. Terrestrial nitrogen cycle. *The Science of the Total Environment*. 293. 1-29.

Kulhánek, M., Černý, J., Vaněk, V., Balík, J., Budňáková, M. 2015. Příklad živin v minerálních hnojivech a jejich bilance. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. s. 61-67.

Lea, P. J., Azevedo, R. A. 2006. Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. *Annals of Applied Biology*. 149. 243-247.

Liu, Ch., Watanabe, M., Wang, Q. 2008. Changes in nitrogen budgets and nitrogen use efficiency in the agroecosystems of the Changjiang River basin between 1980 and 2000. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 80. 19-37.

Maguire, R. O., Kleinman, P. J. A., Dell, C. J., Beegle, D. B., Brandt, R. C., McGrath, J. M., Ketterings, Q. M. 2011. Manure Application Technology in Reduced Tillage and Forage Systems: A Review. *Journal of Environmental Quality*. 40. 292-301.

Maselaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., Suzuki, A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*. 105. 1141-1157.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 15(12), 1409 -1416.

Moll, R. H., Kamprath, E. J., Jackson, W. A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*. 74 (3). p. 562-564.

Nannen, D. U., Herrmann, A., Loges, R., Dittert, K., Taube, F. 2011. Recovery of mineral fertiliser N and slurry N in continuous silage maize using the <sup>15</sup>N and difference methods. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 89. 269-280.

Nátr, L. 1998. *Rostliny, lidé a trvale udržitelný život člověka na zemi*. Karolinum. Praha. 135 s. ISBN: 80-7184-681-3.

Öborn, I., Edwards, A. C., Witter, E., Oenema, O., Ivarsson, K., Withers, P. J. A., Nilsson, S. I., Richert Stinzing, A. 2003. Element balances as a tool for sustainable nutrient management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. *European Journal of Agronomy*. 20. 211-225.

Rasmussen, P. E., Douglas, JR. C. L., Collins, H. P., Albrecht, S. L. 1998. Long-term cropping system effects on mineralizable nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 30. 1829-1837.

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 rice-wheat rotation. *Field Crops Research*. 127. 241-247.

Slak, M. F., Commagnac, L., Lucas, S. 1998. Feasibility of national nitrogen balances. *Environmental Pollution*. 102. 235-240.

Snyder, C. S. 2009. Nitrogen use efficiency: global challenges, trends and the future. Nutrient use efficiency. XVIII Latin American Congress of Soil Science. p. 10-17. 16-20 November 2009. Costa Rica.

Spieß, E. 2011. Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 91. 351-365.

Stevenson, F. J., Cole, M. A. 1999. Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients. John Wiley and Sons. p. 427. ISBN: 0-471-32071-4.

Sylvester-Bradley, R., Kindred, D. R. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany*. 60 (7). 1-13.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418. 671-677.

Tivy, J. 1987. Nutrient cycling in agro-ecosystems. *Applied Geography*. 7. 93-113.

Vos, J., Putten, P. E. L. 2000. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and offtake of nitrogen, phosphorus and potassium. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 56. 87-97.

Walkley, A., Black, I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37. 29-38.

Wang, H. J., Huang, B., Shi, X. Z., Darilek, J. L., Yu, D. S., Sun, W. X., Zhao, Y. C., Chang, Q., Öborn, I. 2008. Major nutrient balances in small-scale vegetable farming systems in peri-urban areas in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 81. 203-218.

Watson, C. A., Atkinson, D. 1999. Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 53. 259-267.

Zehr, J. P., Montoya, J. P. 2007. Measuring N<sub>2</sub> fixation in the field. In: Bothe, H., Ferguson, S. J., Newton, W. E. *Biology of the Nitrogen Cycle*. Elsevier. The Netherlands. p. 193-205. ISBN: 978-0-444-52857-5.

## 8. Seznam publikací k řešené problematice

### Vědecké publikace s IF:

**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 (2). 257-271

**Shejbalová, Š.** (Buráňová), Černý, J., Vašák, F., Kulhánek, M., Balík, J. 2014. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. *Plant, Soil and Environment*, 7. 291-296

Vašák, F., Černý, J., **Buráňová, Š.**, Kulhánek, M., Balík, J. 2015. Soil pH changes in long-term field experiments with different fertilizing systems. *Soil and Water Research*, 10 (1): 19-23

### Recenzované vědecké publikace:

**Buráňová, Š.**, Černý, J., Mitura, K., Lipińska, K. J., Kovářík, 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

Černý, J., **Buráňová, Š.**, Sedlář, O., Kovářík, J., Kulhánek, M., Mužík, J. 2015. Vliv hnojení a stanoviště na výnos jarního ječmene. *Úroda*, 4. 42-48

Vašák, F., Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Kulhánek, M., Balík, J. 2014. Porovnání půdní reakce v dlouhodobých polních pokusech. *Úroda*, 10: 44-47

### Odborné publikace a konference:

**Shejbalová, Š.**, Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Balík, J. 2012. Nitrogen fertilizing using different fertilizers to the spring barley, *Sborník z konference: Challenges For Plant Nutrition in Changing Environments*. Uni Bonn, s. 111 – 112

**Shejbalová, Š.**, Černý, J., Vašák, F., Kulhánek, M., Balík, J. 2013. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment in the Czech Republic, *Sborník z konference: Long-term Field Experiments and Their Contribution to Environmentally Balanced Agriculture*, VÚRV, Praha, s. 45

**Shejbalová, Š.**, Černý, J., Mitura, K., Lipińska, K. J., Kovářík, J., Balík, J. 2014. The influence of nitrogen fertilization on quality of winter wheat grain. *MendelNet*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 105-109

**Shejbalová, Š.**, Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Balík, J. 2012. Vliv hnojení na obsah dusíku v zrně a slámě jarního ječmene. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin, ČZU, Praha, s. 170 – 175

**Shejbalová, Š.**, Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Balík, J. 2013. Hodnocení dynamiky minerálního dusíku v půdě při dlouhodobé aplikaci minerálních a organických hnojiv, Sborník z konference: Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku vápníku a vápnění, ČZU, Praha, s. 149-152

**Shejbalová, Š.**, Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Balík, J. 2014. Odběr dusíku silážní kukuřicí po aplikaci organických hnojiv. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv zaměřené na zdroje živin a využití odpadních látek v zemědělství, ČZU, Praha, s. 108-111

Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Kulhánek, M., Vašák, F., Vaněk, V. 2013. Ztráty dusíku při produkci a aplikaci stájových hnojiv. Úroda, 3: 63-66

Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Kulhánek, M., Vašák, F. 2013. Využití živin ze statkových hnojiv. Zemědělec, Profi Press, 38: 10-13

Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Kulhánek, M., Vašák, F., Kovářík, J. 2014. Jak hodnotit využití dusíku rostlinami. Zemědělec, 18: 13-19

Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Kovářík, J., Kulhánek, M. 2014. Předseťové a podzimní hnojení pšenice ozimé. Agromanuál, 8: 64-66

Černý, J., Kulhánek, M., **Shejbalová, Š.**, Vašák, F. 2013. Základní hnojení ozimých obilnin. Úroda, 7: 48-52

Černý, J., Kulhánek, M., **Shejbalová, Š.**, Peklová, L. 2012. Efektivita využití dusíku u ozimé řepky. Semináře pro pěstitele olejnin -rentabilní technologie při dodržení zásad Cross-compliance. Sborník vzdělávacích materiálů pro účastníky seminářů v rámci Programu rozvoje venkova České republiky, SPZO, Praha, s. 33-36

Kovářík, J., Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Holečková, Z., Mítura, K., Lipínska, K. J., Balík, J. 2014. Dynamika obsahu minerálního dusíku v půdě při různém hnojení dusíkem, Sborník z konference: Racionální použití hnojiv, ČZU, Praha, s. 92-95

Vašák F., Černý J., **Shejbalová Š.**, Kulhánek M., Balík J. 2013. Změny půdního pH v dlouhodobých polních pokusech s rotací plodin. Sborník abstraktů konference: 16. Pedologické dny 2013. Mendelova univerzita v Brně, Brno, s 28



Vašák, F., Černý, J., **Shejbalová, Š.**, Kulhánek, M., Balík, J. 2013. Soil reaction changes in long-term field experiments with different fertilizing system, Sborník z konference: Long-term Field Experiments and Their Contribution to Environmentally Balanced Agriculture, VÚRV, Praha, s. 50

Černý, J., Sedlář, O., Kulhánek, M., **Shejbalová, Š.** 2015. Hnojení ozimé pšenice na jaře. Agromanuál, 2: 78-80

Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., **Shejbalová, Š.** 2013. Půdní reakce faktor půdní úrodnosti. Zemědělec, Profi Press, 17: 11-13

Černý, J., Kovářík, J., Kulhánek, M., **Shejbalová, Š.** 2014. Aplikace organických hnojiv v podzimním období. Úroda, 8: 66-70

Černý, J., Kulhánek, M., Vašák, F., **Shejbalová, Š.**, Kovářík, J. 2014. Základní hnojení - aplikace na strniště. Zemědělec, 28: 19-20

Černý, J., Vašák, F., Kulhánek, M., **Shejbalová, Š.**, Balík, J. 2013. The effect of nitrogen fertilization on nutrients uptake of silage maize. Sborník z konference: Long-term Field Experiments and Their Contribution to Environmentally Balanced Agriculture, VÚRV, Praha, s. 23

Kulhánek, M., Černý, J., Balík, J., **Shejbalová, Š.**, Vašák, F. 2012. Winter wheat and winter rape yield after N-S fertilizer application, Sborník z konference: Challenges For Plant Nutrition in Changing Environments, Uni Bonn, s. 101 - 102

Kulhánek, M., Černý, J., Vašák, F., **Shejbalová, Š.**, Kovářík, J. 2014. Jak dlouhodobě udržet půdní úrodnost. Zemědělec, 37: 18-19

Vašák, F., Černý, J., Kulhánek, M., **Shejbalová, Š.**, Balík, J. 2012. Porovnání půdního pH na variantách s různou dávkou dusíku na dlouhodobém polním pokusu. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin, ČZU, Praha, s. 182 - 185

Sedlář, O., Kozlovský, O., Peklová, L., Kubešová, K., **Shejbalová, Š.** 2011. Influence of locally applied nitrogen fertilizers on grain yield and its formation of spring barely, Soil, Plant and Food Interactions, Mendelova univerzita v Brně, s. 427 – 432

Černý, J., Balík, J., Peklová, Z., Peklová, L., **Shejbalová, Š.**, Kulhánek, M. 2013. Vliv hnojení na využití N ozimou řepkou. Sborník Hluk, Praha, s. 140-145.

Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Sedlář, O., Kovářík, J., **Buráňová, Š.** 2017. Hnojení jarních obilnin. Úroda, 1: 42-45

Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Peklová, L., Sedlář, O., **Shejbalová, Š.** 2012. The effect of mineral N fertiliser dose on nitrogen efficiency of silage maize. Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Nitrogen Workshop. Ireland, s. 242 – 243