

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Obsah minerálního dusíku v půdě při různých systémech hnojení**

Bakalářská práce

**Autor práce: Kryštof Stýblo**

**Obor studia: Rostlinná produkce**

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

**Konzultant: Ing. Tomáš Javor, DiS.**

© 2018 ČZU v Praze

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichovi Černému Ph.D. za trpělivost a pomoc při její tvorbě, dále bych chtěl vyjádřit velké díky svému konzultantovi Ing. Tomášovi Javorovi, DiS. za odborné vedení, cenné rady, tipy, poskytnuté informace, připomínky, ochotu a vstřícnost spolupracovat při zpracování své práce. Také bych chtěl rád poděkovat zaměstnancům firmy AGROEKO Žamberk s.r.o., kteří mě kromě studijní podpory pomohli při tvorbě této práce a umožnili uskutečnit interpretované pokusy.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Obsah minerálního dusíku v půdě při různých systémech hnojení“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne: .....

Podpis: .....

Kryštof Stýblo  
autor bakalářské práce

## Souhrn

Cílem práce bylo monitorovat a vyhodnotit dynamiku obsahu minerálního dusíku ( $N_{\min.}$ ) v půdách hnojenými různými typy hnojiv s obsahem dusíku, tedy použitím organických a průmyslově vyrobených minerálních dusíkatých hnojiv a výživný stav rostlin dusíkem na vybraných stanovištích sledovaných plodin. Pro naplnění cíle byly vybrány odlišné testované plodiny ozimá pšenice (*Triticum aestivum L.*) a kukuřice setá (*Zea mays L.*) z pohledu nároků na výživu dusíkem. Úkolem bylo zjistit vliv dávky a formy hnojiva na obsah  $N_{\min.}$  v půdě a jeho vliv na výživný stav rostlin dusíkem. Rovněž bylo úkolem zjistit vliv odlišných systémů zpracování půdy na dynamiku  $N_{\min.}$ . Monitoring pro stanovení vlivu systému hnojení na obsah  $N_{\min.}$  probíhal celkem na 6 stanovištích ozimé pšenice a kukuřice seté na 4 stanovištích východočeského regionu každý rok za léta 2015, 2016 a 2017. Vyhodnocení vlivu zpracování půdy bylo provedeno z výsledků poloprovozních pokusů.

Výsledky laboratorních analýz byly hodnoceny podle diagnostických metod a obsahy  $N_{\min.}$  v půdě podle kritérií stupně zásoby v půdě. Hodnocení výživného stavu rostlin ozimé pšenice bylo podle koncentračních křivek pro různé modelové výnosy. V případě kukuřice podle pracovních postupů firmy AGROEKO Žamberk s.r.o. Bylo zjištěno, že obsah minerálního dusíku v půdě se měnil podle použité dávky a formy hnojiva, podle příjmové schopnosti a podle aktuálních vláhových podmínek. Obsah  $N_{\min.}$  v půdě v porostech pšenice byl převážně ovlivněn regenerační dávkou než dávkou produkční. V případě kukuřice byly zjištěny nejvyšší zásoby  $N_{\min.}$  v půdě po 6. týdnech od aplikace organických a minerálních hnojiv ve fázi BBCH 16 – 17. Výživové stavy sledovaných plodin dusíkem za déletrvajících období beze srážek klesaly, obdobně jako mineralizace  $N_{\min.}$  v půdě a také se ukázalo, že hlavní úlohou v odběru N z půdy jsou kořeny. Dle výsledků poloprovozních pokusů na různé způsoby zapravení hnoje a zpracování půdy jsou zásoby  $N_{\min.}$  v půdě ovlivňovány.

Klíčová slova: minerální dusík, hnojení, zpracování půdy, dlouhodobé polní pokusy

## Summary

The aim of the thesis was to monitor and evaluate the dynamics of mineral nitrogen content ( $N_{\min.}$ ) in soils fertilized with various types of fertilizers containing nitrogen, with the use of organic and industrially produced mineral nitrogen fertilizers and the nutritional state of the plants by nitrogen at selected sites of the monitored crops. For this work, winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) were selected. The task was to determine the effect of the dose and the form of the fertilizer on the  $N_{\min.}$  content in the soil and its effect on the nutritional status of the plants by nitrogen. Monitoring was carried out on 6 sites of winter wheat and 4 sites of maize in the Eastern Bohemian Region each year in 2015, 2016 and 2017. The assessment of the effect of the soil treatment was based on the results of pilot experiments.

Results of laboratory analyzes were evaluated according to diagnostic methods and  $N_{\min.}$  content in soil according to the criteria of the stock level in the soil. The assessment of the nutritional status of winter wheat plants was based on the concentration curves for different model yields. In the case of maize according to the working procedures of AGROEKO Žamberk s.r.o. It has been found that the mineral nitrogen content of the soil has varied according to the doses used and the fertilizer forms, according to the intake capacity and according to the actual conditions. Content  $N_{\min.}$  in soil in wheat fields was predominantly affected by the regeneration dose rather than the production dose. In the case of maize, the highest stocks of  $N_{\min.}$  were found in the soil after 6 weeks of application of organic and mineral fertilizers in the BBCH phase 16-17. The nutritional values of the nitrogen crops monitored for a longer period without precipitation decreased, similarly to the mineralization  $N_{\min.}$  in the soil, and it has also been shown that the main role in the N collection from the soil is the roots. According to the results of pilot experiments on different manure processing and soil treatment, there are  $N_{\min.}$  stocks in the soil affected.

Key words: mineral nitrogen, fertilization, long-term field experiments

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Dusík jako živina</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Dusík v půdě</b> .....	<b>5</b>
3.2.1	Organický dusík.....	6
3.2.2	Minerální dusík .....	7
3.2.3	Zdroje dusíku .....	7
3.2.4	Přeměny dusíku v půdě a jejich faktory.....	9
3.2.5	Mineralizace .....	10
3.2.6	Imobilizace.....	12
3.2.7	Denitrifikace .....	13
3.2.8	Volatilizace.....	14
3.2.9	Vyplavování .....	15
<b>3.3</b>	<b>DUSÍK V ROSTLINĚ</b> .....	<b>15</b>
3.3.1	Význam a využití dusíku rostlinami.....	15
3.3.2	Zdroje a přijatelnost dusíku rostlinami .....	17
3.3.3	Faktory ovlivňující příjem dusíku rostlinami .....	18
3.3.4	Poruchy při nedostatku nebo nadbytku dusíku v rostlinách .....	19
3.3.5	Diagnostické metody výživy rostlin .....	20
3.3.6	Diagnostika výživného stavu rostlin .....	20
3.3.7	Diagnostika výživného stavu rostlin ozimé pšenice .....	22
3.3.8	Diagnostika podmínek výživy rostlin .....	22
<b>3.4</b>	<b>POŽADAVKY SLEDOVANÝCH PLODIN NA PROSTŘEDÍ</b> .....	<b>23</b>
3.4.1	Požadavky ozimé pšenice na prostředí.....	23
3.4.2	Požadavky kukuřice seté na prostředí .....	24
3.4.3	Výživa a hnojení sledovaných plodin .....	24
3.4.4	Nároky ozimé pšenice na výživu .....	24
3.4.5	Nároky kukuřice na výživu .....	26
3.4.6	Použití organických a statkových hnojiv .....	27
3.4.7	Použití minerálních hnojiv .....	29
3.4.8	Hnojení dusíkem .....	31
3.4.9	Vliv zpracování půdy na živinný režim .....	32
<b>4</b>	<b>METODIKA</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Charakteristika zájmového území kontrolních stanovišť</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Hnojení porostů kontrolních stanovišť</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Zpracování a hnojení půdy v poloprovozních pokusech</b> .....	<b>41</b>
4.3.1	Charakteristika půdně-klimatických podmínek .....	41
4.3.2	Charakteristika tuhého statkového hnojiva.....	41
<b>4.4</b>	<b>Vliv meziřádkové kultivace na obsah dusíku v půdě a jeho příjem</b> .....	<b>42</b>
4.4.1	Charakteristika půdně-klimatických podmínek .....	42
<b>4.5</b>	<b>Odběr vzorků a použité diagnostické metody</b> .....	<b>42</b>
4.5.1	Postup při odběru vzorků půdy na obsah minerálního dusíku ( $N_{min.}$ ).....	42
4.5.2	Postup při odběru vzorků nadzemních částí rostlin .....	43
4.5.3	Chemické analýzy .....	44
4.5.4	Vyhodnocení výsledků .....	44

<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>45</b>
5.1	<b>Vliv systému hnojení a intenzity pěstování plodin na obsah <math>N_{min}</math> v půdě .....</b>	<b>45</b>
5.1.1	Pšenice ozimá .....	45
5.1.2	Kukuřice .....	47
5.2	<b>Vliv způsobů zpracování půdy na dynamiku obsahu <math>N_{min}</math> .....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Vliv odlišné základní přípravy půdy na dynamiku obsahu $N_{min}$ .....	49
5.3	<b>Vliv meziřádkové kultivace na obsah <math>N_{min}</math> v půdě, příjem dusíku a výnos píče kukuřice .....</b>	<b>51</b>
5.3.1	Vliv kultivace a přihnojení dusíkem na výnos píče .....	52
5.4	<b>Vztah mezi obsahem <math>N_{min}</math> v půdě a příjem N rostlinami ozimé pšenice a silážní kukuřice .....</b>	<b>53</b>
5.4.1	Pšenice ozimá .....	54
5.4.2	Kukuřice .....	56
5.5	<b>Vliv výživného stavu rostlin N na výnos sledovaných plodin .....</b>	<b>59</b>
5.5.1	Pšenice .....	59
5.5.2	Kukuřice .....	60
<b>6</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>66</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>70</b>

# 1 ÚVOD

Výjimečnost pěstování pšenice (*Triticum aestivum L.*) v České republice vyplývá především z jejího zastoupení ve struktuře pěstovaných obilnin i plodin pěstovaných na orné půdě, kde v obou případech je na prvním místě obdobně jako v celosvětovém měřítku. K roku 2017 v ČR je pšenice ozimá pěstována na cca 800 tis. hektarech z celkových bezmála 2,5 mil. hektarů oseté orné půdy. Ke stejnému roku nejpěstovanější čtvrtou, avšak obdobně významnou obilninou v ČR je kukuřice se svými cca 85 tis. ha oseté plochy, jejíž pěstování za posledních 20 let značně meziročně kolísá od 79 tis. až po 121 tis. osetých hektarů. Obě obilniny se (spolu s rýží, která se v ČR nepěstuje) staly nejdůležitějšími obilninami pro výživu lidí.

Dosahované šlechtitelské pokroky spolu s inovativními pěstebními technologiemi přinesly s sebou celou řadu příznivých vlastností. Šlechtěním rostlin se dosahuje nových a výkonných odrůd, kterými je sortiment pšenice a kukuřice každoročně obohacován. S příchodem nových a výkonných odrůd je za potřebí znát komplexní informace o odrůdách a respektovat jejich výrobní, půdní a klimatické podmínky.

Pšenice ozimá je primárně pěstována na zrno, které z větší části putuje do méně finančně příznivých krmných fondů a druhá část osetých ploch je pěstována s cílem produkce zrna potravinářské kvality. Úpravou zrna pšenice pekařské jakosti se získává mouka a zde má pšenice z hlediska obsahu bílkovin (především lepku) nenahraditelný význam. Význam kukuřice v ČR je zřejmý a relativně obdobně veliký. Je dobrým a zároveň levným zdrojem vitamínu skupiny B a ze zrna za studena lisovaný olej, podporuje snižování cholesterolu, díky správnému a dobrému poměru mastných kyselin. Dnes, kromě výživy lidí, vyniká svojí významností především jako energetická, průmyslová a krmná plodina. Patří nejen mezi neproduktivnější obilniny, ale ve srovnání s rýží a pšenicí poskytuje zároveň nejlepší předpoklady pro další růst svých výnosů. Kdyby se kukuřice totiž pěstovala v podmínkách jako rýže (uměle zavlažována), dosahovala by její celková sklizeň přibližně ke dvojnásobku.

Obliba silážní kukuřice stále roste, neboť dokáže zajistit sklizeň velkého množství živin z hektaru a celoroční krmnou dávku a její pěstování je ekonomické díky komplexní mechanizaci. Kukuřice se ve světě pěstuje především na zrno. Podstatná část zrna (více než 70 % celosvětové produkce) se spotřebuje do krmných směsí, kde je nezbytným komplementem pro výživu prasat a drůbeže, pouze 20 % pro výživu lidí, asi 5 % k průmyslovému zpracování a 2 % jako osivo. Kukuřičné zrno nahrazuje pšenici, která není vhodná pro monogastry (lepek snižuje využitelnost živin v krmivu).

Ocenění produkce obilnin je v průměru na trhu s komoditami ve srovnání s ostatními



ekonomicky ustálené s minimálními meziročními výkyvy, ale rentabilita prvovýroby není plně dosahována, neboť zdaleka není využit výnosový potenciál pěstovaných druhů a odrůd. Proto, aby byla dosahována rentabilita pěstovaných plodin je vyžadována správná rajonizace, agrotechnika, a především jejich dostatečná a harmonická výživa všemi makro- a mikro-biogenními živinami, přičemž limitující živinou je především dusík. Nedostatek dusíku má za následek poruchy růstu rostlin a tvorby všech podstatných orgánů, které bezprostředně negativně ovlivňují výnos a kvalitu produkce. Dusíkatý deficit se projevuje nevyrovnaným a světlejším zbarvením porostu. Naopak nadbytek dusíku je méně častý a projevuje se většinou latentní formou.

Spotřeba průmyslových hnojiv za posledních 20 let vzrůstá, zvláště spotřeba hnojiv dusíkatých, jakožto rozhodující element pro nárůst biomasy. V zemědělské praxi se vyskytuje tendence přehnojování produkčních stanovišť hnojivy s obsahem dusíku za účelem dosažení vysoké úrodnosti, ovšem často bez ohledu na předpis Evropské unie o ochraně vod před znečištěním způsobené dusičnany (nitráty) ze zemědělských zdrojů, nazýván jako Nitrátová směrnice. Z tohoto důvodu je zapotřebí efektivně využívat diagnostické metody ke stanovení obsahu živin v půdě (zejména diagnostika půdní zásoby  $N_{min.}$ ) a výživného stavu rostlin pomocí chemických analýz na jejichž základě, lze stanovit úroveň a potřebu hnojení s cílem omezit případné nadměrné (zbytečné) přehnojování produkčních polí nitráty a tím znečištění pitné vody a životního prostředí. Efektivní dostatečnou a harmonickou výživou lze zajistit celkovou optimalizaci výživy rostlin, především s ohledem využití organických zdrojů dusíku a jejich následné racionální použití.

## HYPOTÉZY

- 1) Obsah minerálních forem dusíku ( $N_{\min.}$ ) v půdě ovlivňuje druh aplikovaných hnojiv.
- 2) Výživný stav rostlin dusíkem ovlivňuje aktuální obsah minerálního dusíku ( $N_{\min.}$ ) v půdě.
- 3) Výživa rostlin dusíkem působí na tvorbu výnosu.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem práce je monitorovat a vyhodnotit dynamiku obsahu minerálního dusíku ( $N_{\min.}$ ) v půdě a také výživný stav rostlin dusíkem v rostlinách ozimé pšenice a kukuřice seté na vybraných stanovištích na území východních Čech. Dále také monitorovat a vyhodnotit vliv výživy rostlin ozimé pšenice a kukuřice seté dusíkem na tvorbu výnosu.

### 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Literární přehled pojednává o problematice koloběhu dusíku v přírodě, jeho zastoupení v atmosféře, v rostlině, včetně jeho příjmu, zdrojů a využití. Pojednává o problematice požadavků ozimé pšenice a kukuřice seté na půdně-klimatické podmínky, problematiku systému hnojení sledovaných plodin a problematiku transformace dusíku v půdě se zvýšenou pozorností na minerální dusík. V přehledu jsou dále zahrnuty a popsány hlavní diagnostické metody výživy rostlin použitelné při optimalizaci hnojení dusíkem.

#### 3.1 Dusík jako živina

Celkové množství dusíku na naší planetě je odhadováno na  $1,68 \cdot 10^{17}$  tun (Balík, 2012; Vaněk a kol., 2016). Z toho přibližně 98 % připadá na litosféru, přibližně necelá 2,5 % na atmosféru a pouze minimální podíl obsahu dusíku na Zemi 0,01 % je součástí hygrosféry, součástí biosféry je podíl dusíku ještě méně, přesněji 0,0001 %, viz tabulka č. 1. Většina dusíku je soustředěna hlavně v litosféře, avšak pro jeho koloběh v přírodě má největší význam atmosférický dusík (Richter a Hlušek, 2006).

Tab. č. 1: Celkové a přípustné zastoupení dusíku (N) v přírodě (Balík, 2012)

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

Dusík je nepostradatelnou rostlinnou živinou. Rostlinné živiny jsou prvky, které jsou nezbytné pro růst a normální vývoj rostliny, přičemž nejsou ve svých funkcích nahraditelné jinými chemickými prvky (Richter a Hlušek, 1999). Pro růst a vývoj zemědělských plodin má dusík (N) nezastupitelnou úlohu, patří totiž mezi hlavní živiny a je naprosto nezbytný pro tvorbu biomasy a řízení životně důležitých buněčných funkcí všech živých organismů (Šimek, 2000). Dusík je významnou živinou nejen pro rostliny, ale i pro půdní mikroflóru. Vedle uhlíku (C), kyslíku (O) a vodíku (H) je dusík základním stavebním prvkem, který tvoří podstatnou část živé hmoty a je nepostradatelný pro výživu většiny zemědělských plodin a půdních mikroorganismů v porovnání s ostatními prvky. Dusík je pro mnoho půdních mikroorganismů

klíčovým limitujícím faktorem pro vegetativní růst a zvětšování populace (Edwards a Merrick, 1995).

Dusík dále patří k základním stavebním prvkům nejdůležitějších sloučenin živé hmoty, a sice bílkovin. Bílkoviny tvoří podstatnou část všech živých buněk a pletiv. Rostlinné bílkoviny obsahují 15 – 18,9 % N (Vaněk, 2012). Kromě aminokyselin a bílkovin je dusík obsažen také v nukleových kyselinách, chlorofylu, alkaloidech, chitinu, koenzymech a enzymech a v dalších látkách (Baier a Baierová, 1985). Je také nezbytnou součástí výživy rostlin, kde plní hned několik funkcí, např. stavební, transportní, metabolickou, ale i zásobní funkci. Množství dusíku v sušině rostlin se v průměru pohybuje v rozmezí 1 – 3 %. Je živinou, která nejvíce limituje rostlinou produkci, a proto je do zemědělských půd aplikován ve velkém množství. Nedostatek dusíku u rostlin způsobuje omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, jejichž postupná absence se projevuje radikální depresí růstu, následně snížením výnosu a většinou i zhoršením kvality produkce. Výrazným znakem stavu rostlin, u nichž byl diagnostikován deficitní dusík, je světlejší zbarvení, které je způsobeno omezenou tvorbou chlorofylu a všech základních životních pochodů rostliny (Matula, 1977; Vaněk a kol., 2012; Mikanová a Šimon, 2013).

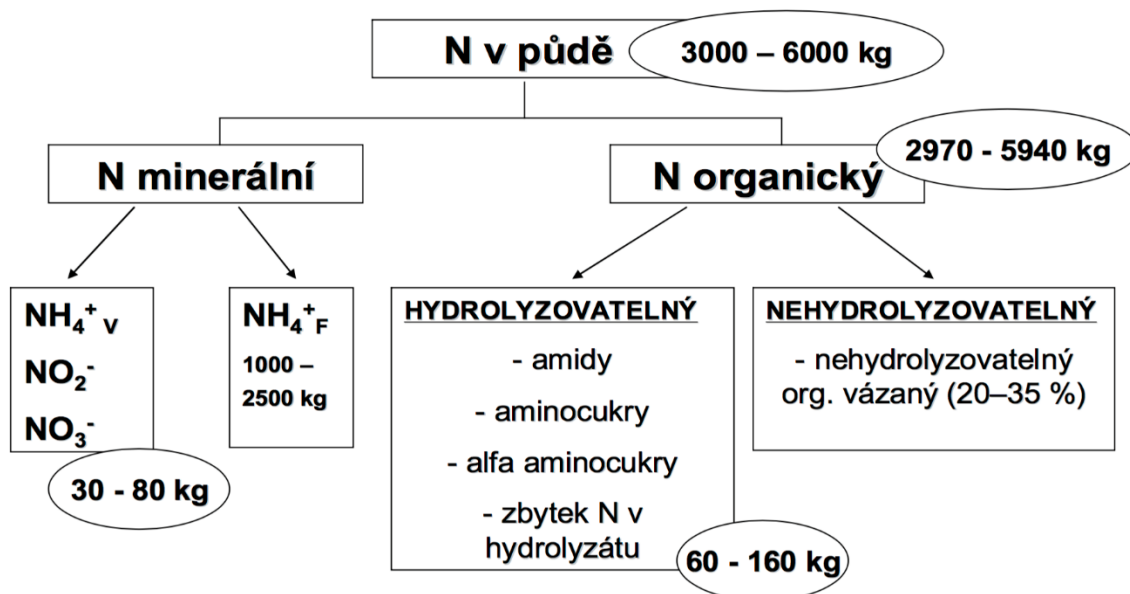
### 3.2 Dusík v půdě

Celkový obsah dusíku v půdě se může pohybovat v širokém rozmezí mezi 0,05 – 0,3 %. Lze vypočítat, že v orniční vrstvě je obsaženo mezi 1500 – 9000 kg celkového dusíku (Richter a Hlušek, 2006). Celkové množství dusíku je v půdě tvořeno dvěma složkami. Organická složka obsahuje mezi z 98 – 99 % celkového obsahu dusíku v půdě, který je vázán v organických sloučeninách a je pro rostliny nedostupný (Richter a Hlušek, 2006). Zbylou část 1 – 2 % tvoří v půdě samotný anorganický neboli minerální dusík, který je přijatelný pro rostliny. Jen toto množství je rostlinám dostupné a vyskytuje se ve formách  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  případně  $\text{NO}_2^-$  (Rosochatecká, 1992). V každé půdě se nejvíce dusíku soustřeďuje v kulturním horizontu ornice (Fecenko a Ložek, 2000).

Celkové množství  $N_{\text{min}}$  v orniční vrstvě může být 5 – 10 %, je to však převážně nevýměnně sorbovaný  $\text{NH}_4^+$  iont, fixovaný v jílových minerálech (Černý, 2017). Celkový dusík v půdě má poměrně stálý obsah a tvoří těžce chemicky i mikrobiologicky rozložitelné struktury, ve kterých je dusík navázán na aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin a huminů. Uvolnitelnost dusíku z organických (uhlíkatých) sloučenin je často vyjadřována poměrem obsahu uhlíku ( $C_{\text{ox}}$ ) a celkového dusíku (Fecenko a Ložek, 2000). Lošák a kol. (2014) píší, že v půdách ČR je uváděna průměrná hodnota poměru C : N 10 – 12 : 1. Černý (2017) ve své

publikaci uvádí, že za dostatečné zásobování půdy dusíkem lze uvažovat poměr C : N do 15 - 18 : 1, nejužší poměr C : N 10 : 1 mají půdy s vysokou biologickou aktivitou, např. černozemě, rendziny. Tento poměr je aplikací organických hnojiv výrazně pozitivně ovlivňován, v pětiletém pokuse pěstování kukuřice způsobem monokultury, který byl uskutečněn v Červeném Újezdě zjistil, že v ornici na nehnojené kontrole byl poměr C : N 13,2, na hnojené variantě s DAM 390 C : N 12,1 : 1 a na var. hnojené hnojem pak poměr C:N 10,2 : 1. Za 5 let pěstování tvořila na kontrole negativní bilance -653 kg N/ha, u var. s DAM 390 -183 kg N/ha a pouze u varianty, kde byl aplikován chlěvský hnůj byla bilance pozitivní +592 kg N/ha. Následující schéma (obr. č. 1) znázorňuje rozložení dusíku v půdě a konkrétní frakce dusíku jsou uvedeny v příloze č. 1

**Obr. č. 1: Formy dusíku v půdě** (Richter a Hlušek, 2006).



### 3.2.1 Organický dusík

Organický dusík ( $N_{org.}$ ) se dělí na tzv. hydrolyzovatelný a na tzv. nehydrolyzovatelný. Hydrolyzovatelný dusík zahrnuje rostlinné a živočišné zbytky, biomasu mikroorganismů, jejich metabolity a všechny druhy organických hnojiv (Fecenko a Ložek, 2000).

Organický dusík je pro rostliny nedostupný, musí proto přejít v procesech mineralizace na minerální formy, které jsou již pro rostliny dostupné, ale kromě rostlin je také využívají pro výživu mikroorganismy podílející se na procesech přeměn (Vaněk a kol., 2007). Jedná se o dusík v amonné formě ( $NH_4^+$ ) a o dusík s nitrátovou nebo také dusičnanovou ( $NO_3^-$ ) formou (Young a Aldag, 1982). V půdě se nitráty tvoří díky činnosti mikroorganismů přes amonné

sloučeniny, které jsou produktem rozkladu organické hmoty a jsou v této formě rostlinami přijímány (Prugar a kol., 2008). Nehydrolyzovatelný zbytek tvoří stabilnější humusové látky, kde je dusík zabudován složitějšími chemickými vazbami a jeho dostupnost pro rostliny je velmi malá (Bremner, 1965).

### 3.2.2 Minerální dusík

Zbylá část dusíku z celkového množství dusíku v půdě je anorganický (minerální) dusík,  $N_{\min.}$ , který jsou rostliny schopny přijímat hlavně v  $\text{NO}_3^-$  nebo případně  $\text{NH}_4^+$  formě (Vostal, 1980). Právě tento dusík je z hlediska výživy rostlin rozhodující a je v půdě uvolňován (zpřístupňován) procesem mineralizace (Balík, 2012). Na mineralizaci organického dusíku se podílí amonizační a nitrifikační bakterie. Amonizačními procesy vzniká  $\text{NH}_4^+$ , který nitrifikačními procesy (nitritací a nitratací) je přeměněn na  $\text{NO}_3^-$ , který je v půdě velmi pohyblivý (Baier a Baierová, 1985). Minerální dusík je dále reprezentován nitritovými ( $\text{NO}_2^-$ ) ionty a přechodně se v půdě vyskytují i další oxidy ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) dusíku (Fecenko a Ložek, 2000). Obsah  $N_{\min.}$  v půdách se během vegetace mění v závislosti na hnojení, obsahu primární organické hmoty v půdě, hydrotermických podmínkách i na dynamice odběru rostlinami (Vaněk, 2012). Šilha (2002) uvádí, že obsah  $N_{\min.}$  ( $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ ) je adekvátní jejího importu dusíkatými hnojivy, exportu úrodou, intenzitě uvolňování z organických sloučenin, ztrátám v plynné, nebo v kapalně formě a dalších faktorech, které se uplatňují při procesech mineralizace, imobilizace a denitrifikace.

### 3.2.3 Zdroje dusíku

#### Biologická fixace dusíku v půdě

Zatímco u ostatních živin je jejich přirozeným zdrojem matečná hornina, dusík se do půdy dostává zejména ze vzduchu. Primárním zdrojem dusíku je atmosféra obsahující 75,51 % (78,08 % obj.), a to převážně ve formě elementárního plynného ( $\text{N}_2$ ) dusíku. Ve vzduchu se nad každým kilometrem zemského povrchu nachází zhruba 8 miliónů  $\text{N}_2$  dusíku a z pohledu jeho obsahu v půdě se přívod z ovzduší stává nejvýznamnějším zdrojem (Petr, 1987; Vaněk a kol., 2012). Atmosférický dusík se do půdy dostává činností specifických mikroorganismů fixujících půdní dusík nebo při bouřkách v podobě kyseliny dusičné nebo dusité a rozkladem organické hmoty. Mikroorganismy, které mají schopnost se podílet na fixaci  $\text{N}_2$ , lze rozdělit na dvě základní skupiny: Symbiotické a volně žijící mikroorganismy (Vaněk a kol., 2012). Biologická fixace dusíku je nejvýraznějším zdrojem dusíku v biosféře, na kterém se podílejí všechny formace pevniny i oceány, nejvíce plochy bobovitých rostlin a dále lesní a travní porosty.

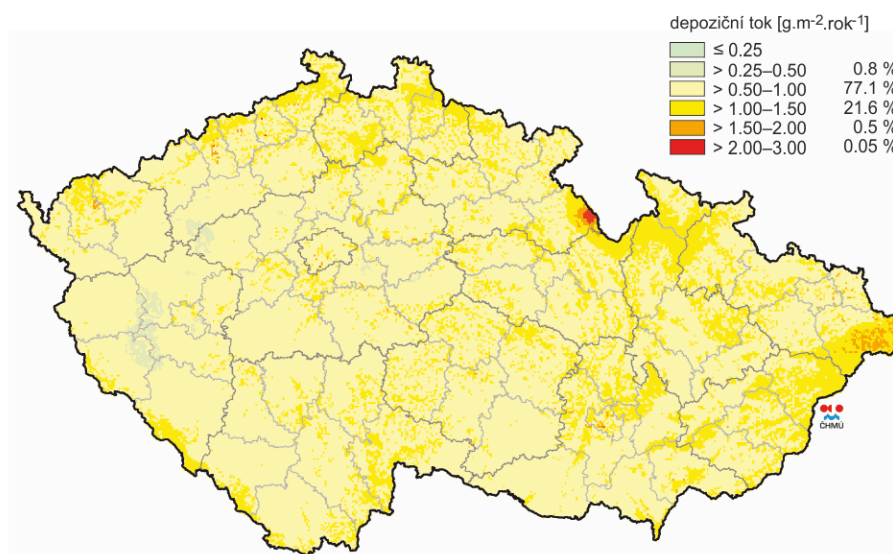
Zemědělsky největší význam má fixace vzdušného dusíku symbiotickými mikroorganismy neboli hlízkovými bakteriemi rodu *Rhizobium* (*Rhizobium leguminosarum*, *Rhizobium trifolii* apod.), jejichž specifické druhy žijí v hlízkách kořenů bobovitých rostlin (jeteloviny a luskoviny) a poutaný dusík je předáván hostitelské rostlině. Principem fixace dusíku z ovzduší je symbióza s těmito druhy píceňin, kdy rostliny pro hlízkové bakterie zajišťují energetický potenciál a živiny, a ty jim předávají většinu fixovaného dusíku ve formě amoniaku ( $\text{NH}_3$ ). Amoniakální forma dusíku činnost hlízkových bakterií prakticky neovlivňuje, avšak nitrátová forma jejich činnost brzdí (Baier a Baierová, 1985). Zatímco jednoleté bobovité rostliny půdu obohatí o 40 - 80 kg N/ha za rok, tak kvalitní porosty vojtěšky a jetele jsou schopny fixovat 200 - 250 kg N/ha za rok (Baier a Baierová, 1985; Vaněk, 2012; Vaněk a kol., 2016).

Dalším zdrojem dusíku v půdě je nesymbiotická fixace elementárního vzdušného dusíku volně žijícími bakteriemi rodu *Azotobacter*, které mohou tímto způsobem obohatit půdu o 5 - 15 kg N/ha. Při používání organických hnojiv (hnůj, kompost, zaorávka slámy), neutrálním pH, vyšší teplotě a vlhkosti půdy může být tato fixace navýšena až na 30 kg N/ha. Vedle podpory je možné těmito prospěšnými bakteriemi přímo inokulovat půdu nebo osivo před setím. Naopak aplikace vysokých dávek minerálních dusíkatých hnojiv působí na výskyt a počet bakterií rodu *Azotobacter* negativně a potlačuje jejich schopnost fixovat dusík z ovzduší (Mikanová a Šimon, 2013).

#### Ostatní (vedlejší) zdroje dusíku

Dále se v atmosféře nachází řada oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ), včetně dusíku amonného (Mikanová a Šimon, 2013). Ovšem dusík není v plynné elementární formě bez předchozí ionizace (přeměny) přijatelný. Ionizace může proběhnout například při bouřce, kdy je elektrickým výbojem oxidován  $\text{N}_2$  na oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), případně až na slabou kyselinu dusičnou. Intenzitou podle regionu je dále mokrou depozicí dusík dopraven do půdy při množství 10 - 40 kg N/ha (Richter, 1956). Podle Vaňka a kol. (2012), lze do bilanční položky přísunu dusíku uvažovat i o dusíku, který je obsažen ve srážkách a pevných spadech (depozice), které za rok dohromady činí 15 kg N/ha a v silněji zatížených oblastech i přes 20 kg N/ha. Pokud však uvážíme pravidelný přísun dusíku srážkami a spadem během celého roku, zvláště potom v mimovegetačním období, tak je pochopitelné, že ho na obhospodařované půdě nelze využít. Pole celkové roční depozice dusíku v České republice znázorňuje obrázek č. 2.

**Obr. č. 2: Pole celkové roční depozice dusíku (\*0,1 = kg N/ha) roku 2015 (Zdroj: ČHMÚ)**



### 3.2.4 Přeměny dusíku v půdě a jejich faktory

Na přeměnách dusíku v půdě se podílí pestrá škála půdních mikroorganismů. Jejich nároky na teplotu a vlhkost půdy jsou často velmi rozdílné (Petr a kol., 1987). V půdě lze sledovat dva základní protichůdné procesy a sice mineralizaci a imobilizaci (Fecenko a Ložek, 2000). Dusík je nejvíce citlivá živina, která podléhá různými transformacemi ovlivňující jeho dostupnost pro rostliny a do těchto transformací dusíku v půdě kromě mineralizace a imobilizace lze zahrnout i nitrifikaci, která je součástí mineralizace a denitrifikaci, stejně jako vyluhování a vypařování (volitalizace) amoniaku (Moeller a Stinner, 2009). Dusík cirkuluje mezi půdou, atmosférou a živými organismy, jehož fixace je zpravidla prováděna různými procesy. O uvolňování (oxidaci) dusíku v půdě se stará mikrobiologická činnost iniciující různé chemické procesy (Fecenko a Ložek, 2000). Hartmann a kol. (2014) pozorovali v oblasti severní čínské planiny na statickém terénním experimentu dynamiku N v půdě během intenzivního pěstování pšenice ozimé a kukuřice, včetně významu N mineralizace. Experiment zahrnoval 3 varianty, z nichž na dvou bylo aplikováno N ošetření a třetí byla varianta běžné zemědělské praxe (BZP). První varianta byla hnojena močovinou, druhá ledkem amonným se sírou, třetí varianta sloužila pro porovnání efektu aplikace N hnojiv. N ošetření vykazovalo po sklizni výrazně nižší obsah  $N_{\min}$  v půdním horizontu od 0 do 90 cm (113 kg N/ha) ve srovnání s BZP (293 kg N/ha). Mineralizace N, která probíhá hlavně během jarní vegetace ozimé pšenice a během letního vegetačního období kukuřice, hraje významnou roli v zásobování těchto plodin dusíkem, stejně jako pro jeho ztrátu v letních vegetačních obdobích.

Na změny dusíku v půdě má vliv i intenzita a způsob zpracování půd, který v důsledku způsobuje jeho množstevní pokles v půdě (Moeller a Stinner, 2009).



### 3.2.5 Mineralizace

Mineralizace je proces, ve kterém se účastní řada fyziologicky velmi odlišných heterotrofních mikroorganismů rozkládající organické sloučeniny pro získání energie. První částí mineralizace je proces amonizace, neboť jeho produktem je amonný dusík. Druhou důležitou částí mineralizace je nitrifikace, při které vzniká z amonné formy nitrátová forma dusíku ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ ). V první fázi biochemickými reakcemi uvolněný amonný dusík se stává přímým zdrojem dusíku pro rostliny nebo je výměně sorbován na půdní sorpční komplex, biologicky vázán mikroorganismy, fixován do jílových minerálů, anebo přechází v aerobních podmínkách a za dostatečné teploty půdy do druhé fáze, tedy je vlivem specifické mikrobiální činnosti nitrifikován (Jenkinson, 2001, Černý 2017). Mineralizace organických látek probíhá rozkladem dusíkatých organických látek (primární organické hmoty a humusových látek) proteolytickými enzymy vylučovanými různými skupinami mikroorganismů na polypeptidy. Ty jsou pak rozkládány na peptidy, aminokyseliny a působením enzymů deamináz až na amoniak (Richter a Hlušek, 2006). V procesech mineralizace jsou ze snadněji rozložitelných organických látek aminokyseliny, amidy, amidocukry a organické látky biomasy odumřelých mikroorganismů. Složitější látky jsou pak rozložitelné postupným rozkladem (např. z polypeptidů na peptidy až aminokyseliny). Z těchto látek je v procesu amonizace uvolňován  $\text{NH}_3$ , který je zdrojem dusíku pro mikroflóru a může být využíván i rostlinami (Vaněk, 2012). Je možné také rozlišit mineralizaci na chemickou a biologickou. Chemická mineralizace je rozklad organických látek chemickými sloučeninami, které vznikají v půdě činností mikroorganismů, rostlin (kořenovými exsudáty) a látek dostávající se do půdy antropogenní činností, prostřednictvím hnojiv. Biologická mineralizace probíhá působením (aerobní a anaerobní bakterie, plísňe a aktinomicety) půdního edafonu (Lošák a kol., 2014).

#### Amonizace

Hlavní význam má biologická mineralizace, která se skládá ze dvou fází (aminizace a amonizace). Amonizace je v podstatě trojstupňový rozklad organických látek pomocí mikroorganismů a probíhá zde nejprve aminizace, následně amonizace a vytvořený amonný dusík je nitrifikačními bakteriemi nitrifikován (Fecenko a Ložek, 2000). Při aminizaci dochází k rozkladu bílkovin na aminy a aminokyseliny prostřednictvím proteolytických enzymů a heterotrofních mikroorganismů a ty jsou v druhé fázi rozloženy pomocí deaminizačních enzymů a dalších skupin heterotrofních mikroorganismů na amoniak, dle kterého se nazývá tato fáze, a sice amonifikace nebo také amonizace (Bielek 1984; Vaněk a kol., 2012; Lošák a kol. 2014). Využití takto vzniklého amoniaku může být různé. Může být zdrojem N pro rostliny

(vyšší rostliny), mikroorganismy (biologická fixace – nitrifikační procesy), část může být fixována do mezivrstevných prostor sekundárních jílových minerálů (Fecenko a Ložek, 2000).

### Nitrifikace

Nitrifikace je oxidační proces, kdy amonný dusík vytvořený procesem amonizace je postupně oxidován autotrofními mikroorganismy až na dusík nitrátový (Lošák a kol. 2014). Tento proces probíhá ve dvou stupních. V prvním procesu nazývaném nitrifikací, se s využitím činnosti bakterií rodů *Nitrosomonas* a *Nitrosocystis* oxiduje amoniak na dusitaný (nitrity). Ve druhém procesu nazývaném nitratací, jsou pak vzniklé nitrity oxidovány na dusičnany (nitráty), proces zabezpečují bakterie rodu *Nitrobacter* (Švehla, 2004; Lošák a kol. 2014). Obě skupiny organismů jsou chemolitotrofní a jako zdroj uhlíku potřebují oxid uhličitý (Švehla, 2004). Nitráty jsou pak přijímány kořenovým systémem rostlin (Fecenko a Ložek, 2000). Nitrifikace je proces velmi citlivý na vnější podmínky, kterými je výrazně ovlivňována. Rozhodující vliv a rychlost nitrifikace je ovlivněna především (Vaněk, 2012):

- Teplotou, jejichž optimální rozmezí je 25 - 30 °C. Při nižších teplotách je nitrifikace značně omezena a pod 5 °C téměř ustává.
- Dostatkem vzduchu a vody v půdě. Dostatek vzduchu, a tím i kyslíku (O<sub>2</sub>) je předpokladem oxidačních procesů a vždy souvisí s obsahem vody, tedy s vyplněním pórů plynnou a kapalnou složkou. Optimální vlhkost se pohybuje většinou okolo 70 % maximální vodní kapacitou, proto při jiných poměrech vzduchu a vody je nitrifikace omezena a v suché půdě téměř neprobíhá.
- pH prostředí. Vyhovující jsou podmínky slabě kyselé až zásadité reakce, nitrifikace je značně omezena při pH <5,5.
- Aplikovaným hnojivem. Vliv doprovodných iontů hnojiv a pH hnojiva.

Pro omezení průběhu nitrifikace jsou vyráběny tzv. inhibitory nitrifikace, kdy je snahou zpomalit tvorbu nitrátů, a tím prodloužit působení dusíkatého hnojiva. Inhibitory nitrifikace omezují činnost mikroorganismů první fáze nitrifikace (oxidaci amoniaku na nitrity). Cílem inhibitorů je snížení rizika ztráty dusíku případným proplavením nitrátů do spodních horizontů a znečištění kolektorů podzemních vod a ochrana nitrátů před ztrátou denitrifikací. (Vaněk a kol., 2016).

Mineralizace je značně ovlivňována řadou faktorů, kromě obsahem vody a teplotou půdy, také pH půdního prostředí, vzdušný režim půdy a přítomnost bakterií (Fecenko a Ložek, 2000; Černý, 2017). Bylo zjištěno, že ve středně humózních půdách při 60 - 70 % objemové vlhkosti probíhá mineralizace nejintenzivněji. Negativně se projevuje, jak vzestup, tak pokles

vlhkosti (Kolář, 1987), ale zvyšuje se, když se období sucha a vlhka střídá, což lze vysvětlit, odumřelou mikrobiální biomasou, novými povrchy organických látek, které jsou uvolňovány od pevných půdních agregátů v důsledku jejich smršťování a tvorbou nízkomolekulárních sloučenin. Dále je mineralizace výrazně ovlivňována teplotou půdy, kdy při nízkých teplotách (kolem 0 °C) je rychlost nízká a naopak s rostoucí teplotou se její rychlost zvyšuje, především v oblasti 30 – 40 °C (Černý, 2017).

Rychlost mineralizace organicky vázaného dusíku je silně podmíněna poměrem C : N. Čím je tento poměr užší, tím rychleji se dusík uvolňuje (Baier a Baierová, 1985). Nejnížší intenzita mineralizace organického dusíku je u půd nehnojených a zasolených, střední intenzitu vykazují kambizemě, luvizemě, pseudogleje a rendziny a vysoká intenzita mineralizace dusíku se projevuje u černozemě, hnědozemě a fluvizemě (Bielek, 1984). Teesalu a kol. (2006) v dlouhodobém polním pokuse studovali závislost obsahu organického uhlíku a celkového dusíku v hlinitopísčité půdě v rámci trojhonného osevního postupu (brambory – jar. pšenice – jar. ječmen) za roky 1993, 1996, 1999. Experiment se skládal ze tří variant, z nichž 1. varianta byla bez organického hnojiva, na 2. variantě byl aplikován chlěvský hnůj (60 t/ha), na 3. byly zanechány nebo dodány vedlejší produkty plodin (řepný chrást + sláma; kal + sláma; obilná sláma) + aplikace minerálních hnojiv s dusíkem se stupňovanou dávkou N. Zjistili, že průměrný obsah organického uhlíku v půdě byl výrazně ovlivněn používáním organických hnojiv, včetně aplikace dusíkatých hnojiv. Poměr C : N (hodnota 9,8) odráží změny v obsahu organického uhlíku v půdě, rovněž i celkový dusík v půdě. Hamid a Ahmad (1993) experimentem zjistili, že aplikací dusíkatého hnojiva do půdy (ledek amonný, 34 % N) stimuluje (vyvolá) vyšší intenzitu mineralizace organického dusíku v půdě. Tento vztah nazývají „priming efektem“. Dávka 20 kg N/ha v ledku amonném měla přímý vliv na tento podpůrný efekt a autory byla naměřena nejvyšší hodnota u ozimé pšenice 11,4 kg N/ha, díky tomuto podpůrnému efektu. Vaněk a kol. (2012) tento jev také popisuje, kdy po hnojení N hnojivy se uvolní více  $N_{min}$ , než na nehnojených pozemcích.

### 3.2.6 Imobilizace

V půdě současně probíhají i opačné procesy. Imobilizace je v podstatě opačný redukční děj k mineralizaci (Vaněk a kol., 2007), kdy dochází k syntéze organických sloučenin z minerálních forem dusíku (především  $NH_4^+$ ), tedy k zabudování dusíku z nitrátového a amonného dusíku do bílkovin mikroorganismů (pro výstavbu biomasy) a humusových látek. Obecně řečeno se zde jedná o přeměnu minerálního dusíku na dusík organický a pro rostliny se stává nedostupným (Fecenko a Ložek, 2000; Vaněk a kol., 2012). V našich půdách převládá

tzv. biologická imobilizace, tj. spotřebovávání dusíku mikroorganismy (Richter a Hlušek 2003; Vaněk a kol., 2007).

Podle intenzity těchto procesů je v půdě více či méně  $N_{\min.}$ , při vysoké imobilizaci  $N_{\min.}$  mikroorganismy se omezí množství dostupného dusíku pro rostliny a mikroorganismy tak mohou rostlinám konkurovat. Vyšší imobilizace nastává po hnojení amonnou formou dusíku nebo N hnojiv, z nichž se  $NH_3$  uvolňuje (Vaněk a kol., 2012). Významným způsobem jsou tyto procesy ovlivňovány obsahem uhlíku a jeho formami v půdě, dále poměrem C : N (Vaněk a kol., 1997), nastává to podle Vaňka a kol. (2012) hlavně při zvýšené nabídce lehceji hydrolyzovatelných organických materiálů se širokým poměrem C : N a souhlasně spolu s Vaňkem a kol. (1997) při celkově dobrých podmínkách pro rozvoj mikroorganismů (oxidačně-redukčními podmínkami; vlhkostními a teplotními poměry). Imobilizace rostlinami je složitý proces, kdy rostliny přijímají minerální formy dusíku a následně dochází v rostlině k jejich biochemické transformaci. Takto rostlinami přijatý dusík je vázaný dlouhodoběji a k jeho uvolnění dochází většinou až po odumření rostlin (Bielek, 1984).

V půdě může nastat dynamická rovnováha mezi imobilizací a mineralizací a v důsledku této rovnováhy neprobíhá syntéza ani rozklad dusíkaté organické hmoty v půdě (Bielek, 1984). Pokud je imobilizace větší než mineralizace, dusík se spotřebovává, je prakticky pro rostliny nedostupný a následně může dojít k dusíkaté depresi a deficitu ve výživě rostlin dusíkem. Naopak, pokud je imobilizace slabší než mineralizace, tak se obsah  $N_{\min.}$  v půdě zvyšuje (Richter a Hlušek, 2003).

### **3.2.7 Denitrifikace**

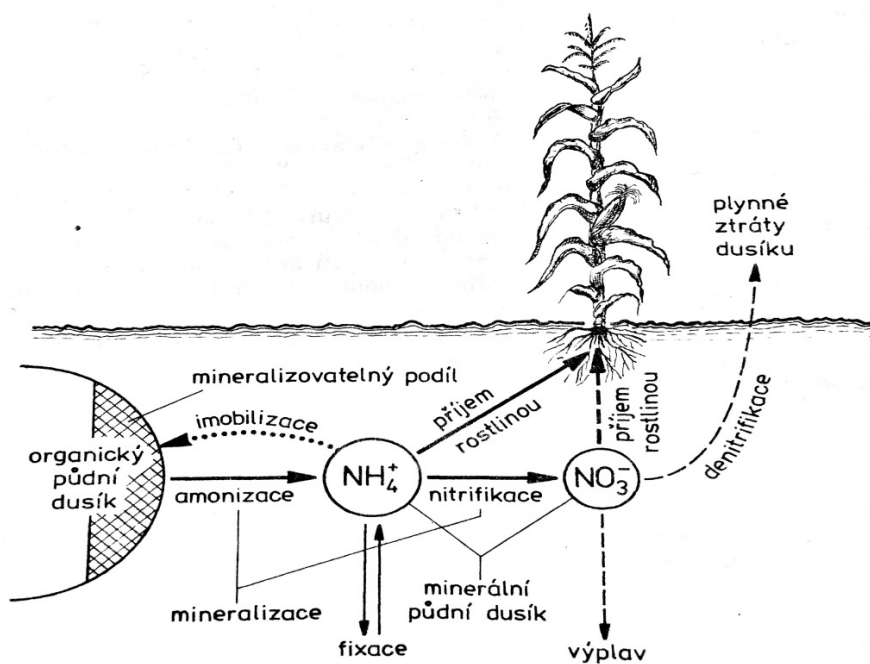
Denitrifikace je označení pro biochemickou redukci nitrátů a nitritů působením denitrifikačních bakterií postupně až na atmosférický dusík. V našich podmínkách převažuje denitrifikace mikrobiální (biologická) prostřednictvím fakultativně anaerobními mikroorganismy, které během rozkladu využívají kyslík nitrátů. Rychleji probíhá v neutrálním až alkalickém prostředí (Švehla, 2004). Denitrifikací mohou nastávat poměrně značné ztráty dusíku a pro jejich omezení je žádoucí, aby nebylo v půdě přítomno větší množství nitrátů v mimo vegetačním období, kdy je kromě ztrát denitrifikací i zvýšené nebezpečí vyplavení nitrátů z ornice (Vaněk 2012).

Podmínkou průběhu denitrifikace je kromě přítomnosti nitrátů i nedostatečné množství kyslíku v půdě a dostatek lehce dostupných organických látek (oxidují se na oxid uhličitý a uvolňuje se energie) a řada dalších podmínek (vyšší hodnoty pH, redox potenciál půd a podobně.)

Mohou denitrifikací nastávat výrazné ztráty dusíku, mající za následek snížení efektivnosti aplikace statkových a průmyslových hnojiv i negativní ovlivnění životního prostředí zvýšením koncentrace obsahu nitrátů. Zvláště potom koncem vegetace a v mimovegetačním období, kdy je také zvýšené nebezpečí vyššího obsahu vody v půdě, a tím omezený obsah kyslíku. Je proto žádoucí aplikovat dávky dusíku přiměřené potřebě pěstovaných plodin a vlastní hnojení dusíkatými hnojivy realizovat převážně na počátku a v průběhu vegetace. Znalosti podmínek o průběhu denitrifikace nám umožňují usměrnění hnojařských a dalších agrotechnických zásahů tak, aby tyto ztráty byly nízké (přiměřené) a větší část minerálních forem N byla využita rostlinami (Vaněk, 1997).

Přeměna z formy organické do minerální (i obráceně) je proces závislý na mikrobiální činnosti půdy, které je ovlivněné nejenom fyzikálním a chemickým stavem půdy, ale i povětrnostními podmínkami. V níže uvedeném obrázku č. 3 je schematicky znázorněna dynamika přeměn dusíku v půdě.

**Obr. č. 3: Zjednodušené schéma dynamiky dusíku v půdě** (Baier a Baierová, 1985).



### 3.2.8 Volatilizace

Volatilizace neboli ztráty (těkáním) v plynné formě mohou docházet u amonného dusíku po přeměně na amoniak, která zejména nastává na povrchu půd bohatých na vápník, popř. se slabší sorpcí, zejména při vyšších teplotách (Baier a Baierová, 1985). Kromě těkání amoniakálního dusíku na zásaditých půdách, probíhá volatilizace intenzivněji ve vyšších polohách (Bielek, 1984). Několik studií prokázalo, že dusíkatým hnojením může docházet až

k 60% ztrátám dusíku vypařováním a při nesprávné aplikaci močoviny a bezvodného amoniaku ztráty až 80 %. Proto je velmi důležitý způsob aplikace dusíkatých hnojiv, především hloubka zapravení hnojiv do půdy. Amoniak znečišťuje ovzduší, může reagovat se sloučeninami síry a má vliv na vznik skleníkového efektu (Lošák a kol., 2014).

### 3.2.9 Vyplavování

K výraznějším ztrátám dusíku z vegetačního profilu může dojít vyplavováním nitrátového dusíku z vegetačního profilu do spodiny a podzemních vod, zvláště potom na lehčích půdách v humidnějších podmínkách. Nejvíce dusíku je z půdy vyplavováno v období, kdy půda není pokryta vegetací (Baier a Baierová, 1985).

Dusíkaté ztráty ze zemědělských systémů prostřednictvím vyluhování dusičnanů, denitrifikace a těkání amoniaku do ovzduší snižují zásoby N v půdě využitelné pro rostliny a současně mohou ohrozit udržitelnost. (Moeller a Stinner, 2009). Průměrné roční ztráty N vyplavením činí 5 – 55 kg N/ha. Množství vyplaveného dusíku se odvíjí od půdního druhu, dávek aplikovaného dusíku hnojivy a pěstované plodiny (Fecenko a Ložek, 2000).

## 3.3 DUSÍK V ROSTLINĚ

Obsah dusíku v rostlinách se s nárůstem sušiny během vegetace snižuje, ale z hlediska celkového přijatého množství se s růstem nadzemních a podzemních částí rostlinné biomasy zvyšuje, zpravidla až do doby dozrávání (Baier, Baierová, 1985).

### 3.3.1 Význam a využití dusíku rostlinami

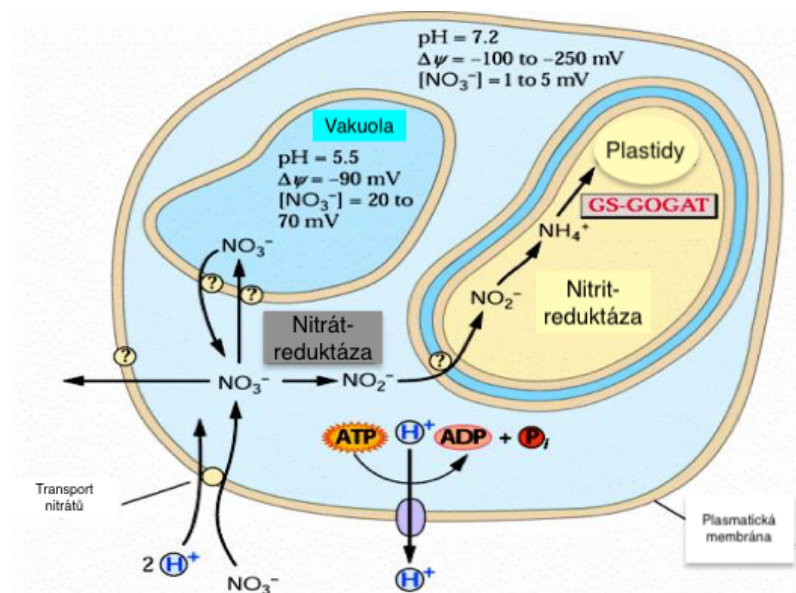
Dusík se řadí mezi nejdůležitější základní živiny a je součástí bílkovin, nukleových kyselin a chlorofylu. Příjem jednotlivých iontů a jejich využití v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů. Zvláštností dusíku je, že rostlina jej může přijímat ve formě kationtu v amonné formě ( $\text{NH}_4^+$ ) a i aniontu ( $\text{NO}_3^-$ ) a je tedy dost významně ovlivňována iontová rovnováha mezi kationty a anionty v rostlině (Vaněk, 2012). Matula (1977) tvrdí, že je to z důvodů jeho potřeby v největším množství, může být přijímán jako aniont nebo kationt a jeho iontová forma je po jeho příjmu měněna při využití v metabolismu.

Dusík je sice přijímán v amonné formě, ale za běžných podmínek přijímají rostliny převážně nitrátovou formu. O tom, která z obou forem je přednostně přijímána, rozhoduje nejenom jejich obsah v půdním roztoku, ale i požadavky druhu plodiny a ekologické podmínky. Je to způsobeno tím, že amonná forma dusíku ( $\text{NH}_4^+$ ) je z velké části poutána na půdní sorpční komplex a ve výsledku je ho v půdním roztoku malé množství. Nitrátový dusík není poután na

sorpční komplex a téměř ani do jílových minerálů, tedy je ho v půdě přítomno mnohem větší množství než amonného dusíku. To je jeden z mnoha důvodů, proč rostliny častěji přijímají nitrátový dusík (Baier a kol., 1988). V celém procesu utilizace N je limitující redukce nitrátů nitrátoreduktázou, která je regulována, především množstvím přijatého nitrátu (Bielek 1984). Redukce nitrátů probíhá v rostlinných pletivech, hlavně v listech za pomoci enzymů, nejprve nitrátoreduktázy na nitrity, které jsou následně redukovány přes hyponitrit a hydroxylamin až na  $\text{NH}_3$ , za předpokladu dostatečného množství energie zabezpečující ostatní živiny (Mo, Fe, Cu, Mn, Mg). Za vzniku aminokyselin je  $\text{NH}_3$  vázán na organické (oxokyseliny) kyseliny (Vaněk a kol., 2012). Podobným způsobem je zabudován i  $\text{NH}_3$  přijatý rostlinou z venkovního prostředí (Fecenko a Ložek 2000).

Při jednostranné výživě  $\text{NO}_3^-$  nastává v rostlině zvýšená tvorba organických aniontů, a tím je metabolicky zvýšen rostlinou příjem kationtů, hlavně draslíku, vápníku a hořčíku. Při převažujícím příjmu  $\text{NH}_4^+$  převládá nižší příjem ostatních kationtů. Zatímco amonný iont mohou rostliny bezprostředně využít k syntéze aminokyselin, nitrátový dusík musí být nejprve převeden (redukován) na amonný iont a posléze až zabudován do organických vazeb (Vaněk, 2007). Příjem N rostlinou a jeho enzymové reakce spojené s redukcí nitrátů znázorňuje obrázek č. 4. Redukce nitrátů probíhá v nadzemní i podzemní části v závislosti na rostlinném druhu a na aktuálních ekologických podmínkách.

**Obr. č. 4: Enzymová reakce redukce nitrátů v rostlinné buňce (Tylová, 2017)**



### 3.3.2 Zdroje a přijatelnost dusíku rostlinami

Příjem dusíku rostlinou probíhá především z půdního prostředí. Tam se dostává jednak vlastní aplikací hnojiv, mineralizací v půdě, posklizňovými zbytky a případně atmosférickými depozicemi (Baier a kol., 1988). Příklady zdrojů N ze současného sortimentu minerálních hnojiv jsou uvedeny v tab. č. 2.

Rostliny však mohou přijímat dusík a další živiny mimo kořenově, nadzemními orgány. V případě, že je omezen nebo zcela znemožněn (sucho, poškození kořenů) příjem živin kořeny, lze tohoto příjmu využívat při přihnojování během vegetace kapalnými hnojivy pomocí postřiku na list (mimokořenová výživa). Rostliny z čeledi bobovitých, jejichž významnými představiteli jsou jeteloviny a luskoviny, přijímají dusík ze vzduchu prostřednictvím hlízkových bakterií rodu *Rhizobium*, které žijí na kořenech rostlin v symbióze. Tím je zabezpečena téměř celá potřeba dusíku těmito rostlinami (Vostal, 1994).

V minulosti byly rostliny hlavně odkázány na obsah nitrátů v půdě, jakožto výsledku mineralizačních pochodů organického půdního materiálu, a protože dusík v půdě a v této formě není sorbován a je v půdní vláze velmi mobilní, většina rostlin se proto přizpůsobila přijímat  $\text{NO}_3^-$  formu dusíku jako hlavní zdroj této živiny (Matula, 1977). Rostliny přijímají zvýšeně  $\text{NH}_4^+$  za nižších teplot půdy a vzduchu a v podmínkách zhutněných nebo biologicky málo činných půd. Příjem je však ve srovnání s nitrátovou formou většinou krátkodobý (Richter a Hlušek, 2006; Vaněk, 2007). Velký význam ovlivňující přijatelnost dusíku je vliv ročníku, tzn. průběhem počasí a jeho množství spadných srážek a jejich rozdělení, tedy vlhkost půdy a dále teplota. Také intenzita osvětlení zasahuje do příjmu živin, nejvíce ovlivňuje tvorbu biomasy a tím i obsah vápníku a draslíku v rostlině, zvláště při nižší teplotě (Vaněk a kol., 2012). Půdní a povětrnostní podmínky zasahují do příjmu živin tak výrazně, že mnohdy působí výrazněji než samotné hnojařské nebo agrotechnické zásahy (Vaněk a kol., 2007). Přijatelnost živin je ovlivňována také stupněm zhutnění půdy.

**Tab. č. 2: Zdroje dusíku z minerálních dusíkatých hnojiv** (Vaněk a kol., 2007; 2012)

Hnojivo	Označení	Chemický vzorec	Zastoupení (%)			N celkem
			$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_2^-$	
Ledek amonný s vápencem	LAV	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	50	50	-	27
Ledek amonný s dolomitem	LAD	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	50	50	-	27
Močovina	MO	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	-	-	100	46



Hnojivo	Označení	Chemický vzorec	Zastoupení (%)			N celkem
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	
Dusičnan amonný s močovinou	DAM 390	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	25	25	50	39
Síran amonný	SA	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100	-	-	21
síran amonný s močovinou	SAM	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .CO-(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	20	20	60	18
Amofos	AF	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100	-	-	12

### 3.3.3 Faktory ovlivňující příjem dusíku rostlinami

Na příjem živin včetně dusíku působí mnoho vnějších (ekologických), ale i vnitřních (biologických) faktorů, také i sama rostlina (Vostal, 1994; Baier a kol., 1988; Vaněk, 2007).

Podle jejich působení a možností je ovlivňovat v soustavě hnojení, je členíme do těchto skupin:

- Živiny v půdní zásobě,
- Živiny dodané hnojivy,
- Ostatní ekologické faktory (povětrnostní a půdní vlivy a vlivy vyvolané technickými zásahy),
- Interferenční vlivy při příjmu živin a příjmová kapacita rostlin.

Uvedené vlivy spolu úzce souvisejí, popřípadě na sebe navazují a v některých případech se i vzájemně prolínají. Z půdních činitelů, které nejvíce působí na příjem dusíku je především sorpční a fixační činnost, půdní reakce (pH), biologická činnost (spektrum a početnost mikroorganismů), zrnitost (půdní druh) a provzdušenost (zpracování půdy) a další (Baier a kol., 1988).

Živiny v půdní zásobě působí na příjem svým množstvím, přístupností a přijatelností. Potenciál příjmu je dán objemem tzv. přístupných živin, kdežto vlastní příjem je podmíněn obsahem živin v půdním roztoku. Ovšem obojí výrazně ovlivňuje tzv. stará půdní síla, vytvořená systematickým zúrodňováním půdy a hnojením. Živiny, které jsou dodané hnojivy působí na příjem nejen svým množstvím, ale i svojí mobilitou (rozpuštěností). Dodaná hnojiva ovlivňují příjem živin bezprostředně tzn. v roce hnojení, ale i následně. Zvláště potom u organických a fosforečných hnojiv (Vostal, 1994). Například z dusíkatých minerálních hnojiv rostliny v 1. roce přijmou 50 - 60 % a z organických hnojiv jako je hnůj, přijmou v 1. roce 20 - 30 % N. Z technických zásahů kromě hnojení působí na příjem živin jednak opatření meliorační (odvodnění, závlahy, rekultivace), jednak pěstitelská jako je sled pěstovaných

plodin a hustota porostů, ale i agrotechnická (zpracování půdy, ošetřování porostů, regulace zaplevelení, chorob a škůdců) opatření. Dále je příjem živin ovlivňován příjmovou kapacitou rostlin, která je dána nejen kvantitou a kvalitou kořenového systému, ale i vnitřními podmínkami výživy (nedostatek jedné z živin) rostlin (Baier a kol., 1988).

Příjem živin, konkrétně dusíku výrazně ovlivňuje pH prostředí. V kyselém prostředí převažuje příjem  $\text{NO}_3^-$  a v neutrálním až alkalickém prostředí se příjem obou iontů vyrovnává, popřípadě je vyšší příjem  $\text{NH}_4^+$ . Výjimkou není vliv teploty půdy a vzduchu, která zasahuje do příjmu těchto iontů. Při nižších teplotách klesá příjem a využití  $\text{NO}_3^-$  (Vaněk, 2007).

### **3.3.4 Poruchy při nedostatku nebo nadbytku dusíku v rostlinách**

Nedostatek dusíku v rostlinách již od počátku vegetace má za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, jejichž deficit se projeví radikální depresí růstu rostlin a tvorby všech jejich podstatných orgánů (listů, stébel apod.) Rostliny vypadají vizuálně nezdravě, jsou slabší, nižšího vzrůstu a porosty jsou často nevyrovnané a světlejší, dochází k specifickým chlorózám (žloutnutí) směrem od špiček listů. Omezená je i tvorba chlorofylu, která vede ke snížení fotosyntézy, a tím k menší tvorbě produkce biomasy. V důsledku snížení tvorby nadzemních orgánů rostliny se omezí i tvorba kořenů a jejich energetické zásobování. Spolu s tím dochází ke snížení příjmové kapacity kořenů a obecně snížení příjmu ostatních živin (Matula, 1977; Baier a kol., 1988; Vaněk, 2016).

Nadbytek dusíku, též nemá pozitivní vliv na správný růst a vývoj rostlin. Nadbytečná výživa dusíkem se zpočátku projevuje bujným růstem, sytě zelenou barvou listů (Matula, 1994). Dochází k nekrotickým a zasychání listů, což může vést až k úplnému odumření listu. Projev obou přijatelných forem dusíku ( $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ ) je stejný, ale amonná forma dusíku vykazuje vyšší toxicitu a právě tato forma způsobuje i omezení vzcházivosti a negativní ovlivnění růstu mladých rostlinek (Vaněk, 2016).

U rostlin pšenice a kukuřice ve vztahu k výživě při deficienci dusíku v půdním prostředí se obsah dusíku v rostlině silně snižuje a podle stupně jeho deficitu se barva nejstarších listů postupně mění od bledě zelené po žlutou, konkrétně u kukuřice s typickým „véčkem“ směřujícím k bazální části listu. V přímém důsledku je snížený výnos vlivem snížení výnosových prvků (počet zrn v palici a klasu a hmotnost tisíce zrn). Naopak při přehnojení dusíkem jsou porosty kukuřice tmavě zelené, ale nastupují do produkční fáze později (prodloužení vegetace) a výrazně se tím také snižuje klíčivost semen v případě pěstování kukuřice na produkci osiva (Zimolka a kol., 2005 a 2008). Deficience dusíku v rostlinách pšenice ozimé se projevuje v době odnožování snížením počtu odnoží, ve sloupkování snížením

počtu zrn v klase a v závěru vegetace se snižuje velikost zrna, což se projevuje sníženou hmotností (ukazatel HTZ) a zároveň se zhoršují technologické parametry (pekařská jakost) vlivem sníženého obsahu dusíkatých látek v zrně (Zimolka a kol., 2005).

### 3.3.5 Diagnostické metody výživy rostlin

Z hlediska diagnostiky výživy rostlin je sledování příjmu živin výchozím kritériem pro posouzení výživného stavu, jeho vegetačního vývoje a působících faktorů, které na jeho utváření působily. Přijatými živinami jsou živiny, které rostliny přijaly a ve svůj prospěch (tvorbu biomasy), transportovaly a zabudovaly do svých těl (Baier a kol., 1988). Účelem diagnostických metod je indikace a předcházení disharmonie ve výživě porostů. Diagnostiku výživy rostlin dělíme podle jejího účelu a poslání na (1) diagnostiku podmínek výživy rostlin a na (2) diagnostiku výživného stavu rostlin (Matula, 1977; Baier a kol., 1988). Komplexní diagnostické metody využívají odběru reprezentativních vzorků půd a rostlin, podrobení chemickým analýzám a vyhodnocení výsledků pomocí sofistikovaných diagnostických nástrojů. V tab. č. 3 jsou pak uvedeny kritéria pro vyhodnocení minerálního dusíku v půdě při 100% sušině zeminy. Vyhodnocení zohledňuje vegetační a zdravotní stav porostů. Získané výsledky jsou používány optimalizaci hnojení, co do dávky a termínu aplikace dusíku pro produkční přihnojení včetně její korekce při nevyrovnaném poměru ostatních živin. Metody slouží také k dohnojení porostů sírou, hořčíkem a draslíkem nebo pro určení potřeby hnojení mikroprvky aplikací postřikem na list (Trčková a kol., 2009).

**Tab. č. 3: Kritéria hodnocení  $N_{min}$  v půdě (Baier a kol., 1988)**

Obsah	Hodnocení	Označení
Do 5 mg N/kg	velmi malá	VM
5 – 10 mg N/kg	malá	M
10 – 20 mg N/kg	střední	S
20 – 40 mg N/kg	dobrá	D
Nad 40 mg N/kg	velmi dobrá	VD

### 3.3.6 Diagnostika výživného stavu rostlin

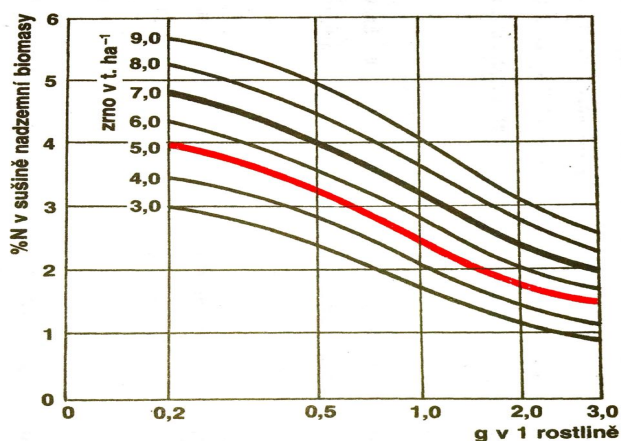
Diagnostika výživného stavu rostlin se zabývá zjišťováním obsahu živin v rostlinách během vegetace (popř. jejich frakcí), jejich vzájemným poměrem, přijatým množstvím, stupněm utilizace přijatých živin, popřípadě jejich rozmístěním v orgánech důležitých pro asimilaci, jakož i vnitřní faktory, které příjem a využití ovlivňují (Baier a kol., 1988). Pro účely diagnostiky byla vypracována řada metod. Na podzim a před nástupem jarní vegetace se pro účely předseťového a regeneračního hnojení hojně využívá metody stanovení minerálního dusíku v půdě, který vyjadřuje okamžitý stav  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$  dusíku přijatelného rostlinami.

Velmi významnou, nejspolehlivější a dosud nejpoužívanější metodou pro stanovení výživného stavu rostlin jsou chemické rozborů rostlin (tzv. bodová diagnostika), neboť rostliny svým chemickým složením během vegetace ukazují sumu všech faktorů, které působí na příjem živin a jejich využití pro tvorbu výnosu (Vaněk, 1989; Trčková a kol., 2009). Principem bodové diagnostiky výživného stavu rostlin je stanovení obsahu živin v sušině v určité fázi vývoje a růstu a také ve vyhodnocení a klasifikaci získaných hodnot podle kritérií vzájemné relace nebo obsahu živin. Slouží k objektivizaci hnojařských opatření běžně prováděných v určitých obdobích vegetace. Například je využívána metoda dohnojování ozimé pšenice podle chemických (anorganických) rozborů rostlin na začátku tvorby 6. listu (Baier a Baierová, 1985).

Další metodou stanovení může být na základě určitých časových intervalech v průběhu vegetace, tzv. průběžná diagnostika stavu výživy rostlin, kterou používáme k vymezení odchylek od optimálního stavu výživy, k prognóze výnosového potenciálu a k určení vhodných korekčních opatření (Baier a kol., 1988). Je využívána metoda modelových koncentračních křivek, které slouží nejen k průběžné bonitaci výživného stavu během vegetace, ale i k vymezení limitujících živin, popř. dalších existenčních faktorů (voda, teplo, světlo, mikroelement) či agroekologických bariér (Vaněk, 1989). Model koncentračních křivek dusíku pro různé hladiny výnosů ozimé pšenice znázorňuje obr. č. 5, kde na ose x je vynesena sušina 1 rostliny v gramech v logaritmickém měřítku a na ose y obsah N v sušině nadzemní biomasy.

Pro praktické použití je hodnocení výživného stavu na základě chemické analýzy celých rostlin nebo jednotlivých orgánů dostatečně přesné, ale relativně drahé, časově náročné, a tedy i málo operativní. Důsledkem byl proto vývoj senzorů, které jako součást aplikační techniky snímají barvu horních pater porostu (tzv. N senzor) a na základě bezprostředně vyhodnocených výsledků regulují dávku aplikovaných dusíkatých hnojiv, avšak za předpokladu správné kalibrace zařízení (Trčková a kol., 2009).

**Obr. č. 5: Modelové koncentrační křivky dusíku pro různé výnosové hladiny ozimé pšenice (Baier a kol., 1988)**



Podle hmotnosti sušiny nadzemní biomasy 1 rostliny a koncentrace živin v sušině lze určit výnosový potenciál. Např. při hmotnosti 0,4 g sušiny nadzemní biomasy a koncentraci dusíku 4,0 % je výnosový potenciál nižší než 7 t (Baier a kol., 1988).

### **3.3.7 Diagnostika výživného stavu rostlin ozimé pšenice**

Diagnostiku výživy u rostlin ozimé pšenice lze zvolit metodu bodové diagnostiky nebo průběžnou s periodickým monitoringem výživného stavu pomocí kontrolního stanoviště (Baier a Baierová 1985, Baier a kol., 1988; Vaněk, 1989). U této plodiny jsou obě metody hojně využívány a důkladně několikaletým výzkumem propracované. Diagnostika výživy rostlin metodou modelových koncentračních křivek (viz obr. č. 5) slouží k vyhodnocení výsledků chemických rozborů rostlin a není zpracována pouze pro hlavní vývojové období, nýbrž jde o model znázorňující koncentraci N v sušině podle nárůstu sušiny biomasy rostlin během vegetace pro různé výnosové hladiny 3 - 9 t/ha zrna (Baier a kol., 1988). Principem odběrů vzorků rostlin ozimé pšenice bodovou nebo periodickou metodou je odběr celých nadzemních částí rostlin, bez kořenů, rovněž zbavených různých příměsí zeminou a podobně. V čerstvém stavu jsou pak tyto vzorky podrobeny laboratorní analýze (Baier a kol., 1988; Vaněk, 1989).

### **3.3.8 Diagnostika podmínek výživy rostlin**

Diagnostika podmínek výživy rostlin se zabývá nejen zjišťováním obsahu živin a jejich forem v prostředí (především v půdě), které rostlina může přijmout a využít, ale i vnějšími faktory, které příjem a využití živin ovlivňují (Baier a kol., 1988). Hlavní, nejrozšířenější a nejvíce využívanou metodou pro stanovení podmínek výživy rostlin v našem zemědělství, jsou agrochemické rozborů půd. Právě tato metoda se z řady metod, sloužících ke stanovení potřeby hnojení na základě obsahu živin v půdě nejvíce prosadili. Směřují ke stanovení onoho objemu živin, o němž se dá předpokládat, že bude v průběhu jedné vegetace rostlinám k dispozici (Baier a Baierová, 1985; Baier a kol., 1988).

Chemické analýzy vzorků půdy se zde stávají hlavním prostředkem pro stanovení obsahů přijatelných živin s předpokladem jejich dostupnosti pro rostliny během jedné celé vegetace. Pro zjištění podmínek výživy rostlin je stěžejní  $N_{\min}$ . Půdní vzorky pro podrobení analýz se odebírají pomocí sondovací tyče z orničního profilu do 30 cm, eventuálně z podorničí z hloubky 30-60 cm (Baier a kol., 1988; Miransari a Mackenzie, 2010). Také Hoegen a Werner (1991) doporučují využití  $N_{\min}$  metody pro stanovení obsahu  $N_{\min}$  v půdě pro účel optimalizaci hnojení dusíkem, zvláště na organicky hnojených a biologicky činných půdách. Obdobně uvádějí také Miransari a Mackenzie (2010), jež tuto metodu označují jako užitečný nástroj pro stanovení dávek dusíku v půdách s přiměřeným přísunem organické hmoty.

### 3.4 POŽADAVKY SLEDOVANÝCH PLODIN NA PROSTŘEDÍ

Pro sledování obsahu  $N_{\min.}$  v půdě, výživného stavu rostlin dusíkem a faktorů na ně působících, byly zvoleny dvě plodiny, každá však z jiné skupiny obilnin, rozdělené podle morfologických a fyziologických vlastností. Obilniny na výživu poměrně náročné (zejména na dusík), náročné také na půdně-klimatické podmínky a botanicky blízké polní plodiny a takové, které jsou tradičně a často zařazovány do osevních postupů, tedy vyskytujících se na českých polích. Za jednoletou obilninu přezimujícího charakteru byla zvolena pšenice ozimá (*Triticum aestivum L.*) a opakem obilnina nepřezimujícího, tedy jarního charakteru kukuřice setá (*Zea mays L.*)

#### 3.4.1 Požadavky ozimé pšenice na prostředí

Přestože jsou požadavky ozimé pšenice na půdně-klimatické podmínky z obilnin nejvyšší, pěstuje se pro nutričně-minerální hodnoty ve všech výrobních oblastech, včetně podhorských. Výnosovou variabilitu ovlivňuje větší měrou průběh počasí než půdní typ a půdní druh, i přestože pšenice se z pěstovaných obilnin vyznačuje vyšší náročností na půdní podmínky. Z hlediska vhodnosti půdně-klimatických podmínek pro dosahování potravinářské kvality pšenice lze území České republiky rozdělit do čtyř oblastí (Zimolka a kol., 2005):

##### 1) Oblasti s velmi dobrými podmínkami

Jde o oblasti velmi teplé, převážně suché, s průměrnou teplotou v jarním a letním období 14 - 17 °C, nízkým úhrnem srážek 250 – 350 mm, zahrnuje kukuřičnou a teplou sušší řepařskou výrobní oblast, převažující půdním typem bývají nivní půdy, černozemě, hnědozemě, rendziny.

##### 2) Oblasti s převážně vyhovujícími podmínkami

Jsou to oblasti poměrně až dostatečně teplé, podoblasti mírně suché až převážně suché. Průměrná jarní teplota je 13 - 15 °C, úhrn srážek na Moravě 350 – 400 mm, v Čechách do 350 mm. Zahrnuje obilnářskou a řepařskou oblast, z půdních typů jsou zastoupeny hnědozemě, nivní půdy a rendziny, v Čechách černozemě.

##### 3) Oblasti s převážně nevyhovujícími podmínkami

Do těchto oblastí patří oblasti mírně teplé až poměrně teplé s podoblastmi mírně vlhkými až mírně suchými. Průměrná jarní a letní teplota je 12 - 14 °C, úhrn srážek na Moravě 400 – 500 mm a v Čechách i méně. Převládají zde půdy podzolové, v nižších polohách i hnědozemě, obecně v této oblasti se dobrá pekařská jakost dosahuje jen ve zvlášť příznivých letech.

##### 4) Oblasti s nevhodnými podmínkami

Do této skupiny oblastí patří oblasti chladné a vlhčí, s průměrnou jarní a letní teplotou

11 - 13 °C a srážkovým úhrnem nad 500 mm. Většina půd v těchto oblastech je podzolových.

### **3.4.2 Požadavky kukuřice seté na prostředí**

Kukuřice je teplomilnou plodinou (klíčí při teplotě půdy 7 - 8 °C), která se přes její tropický původ pěstuje v rozmanitých klimatických podmínkách. Tato skutečnost byla umožněna rozvojem šlechtění, jehož výsledkem je používání výhradně hybridní odrůd (Vrzal a kol., 1995). Za nejvhodnější oblast pěstování kukuřice na zrno je možné označit lokality s průměrnou roční teplotou 9 - 10 °C, z toho za hlavní vegetační období duben – září s průměrnou teplotou 16,5 - 17 °C. V těchto vhodných oblastech je vyhovující roční úhrn srážek nad 500 mm, z toho alespoň 300 mm během vegetace kukuřice (Zimolka a kol., 2008).

### **3.4.3 Výživa a hnojení sledovaných plodin**

Rostliny pro svůj růst a vývoj potřebují kromě základních faktorů tepla, světla, vzduchu a vody, také dostatek přístupných živin v půdě (Hrůza, 2010). Základem úspěšného pěstování rostlin je zajištění optimálního obsahu makro- i mikrobiogenních prvků v půdě a zároveň respektovat jejich vzájemné poměry, tedy harmonickou výživu rostlin (Lošák, 2008).

### **3.4.4 Nároky ozimé pšenice na výživu**

Pšenice ozimá se pěstuje ve všech výrobních oblastech a v důsledku dosahuje rozdílných výnosů zrna, které jsou ovlivňovány různou kvalitou stanovištních podmínek a různou intenzitou uplatňované agrotechniky (Faměra, 1993).

Pšenice ozimá je ze všech pěstovaných obilnin nejnáročnější na pěstování (na půdní podmínky a živiny), a proto se vysévá na nejúrodnější pozemky v klimaticky příznivých oblastech (Šašková a Štolfa, 1993). Nejvhodnější jsou střední až těžší půdy (písčitohlinité, hlinité a jílovitohlinité) s neutrální až slabě kyselou půdní reakcí (pH 6,2 - 7,0). Naopak nevhodné jsou půdy velmi lehké, písčité (vysýchavé), kyselé a zamokřené. Pšenice využívá živiny z půdní zásoby, takže je nutné je do půdy pravidelně dodávat v různých formách, a sice v minerálních a organických hnojivech (Faměra, 1993; Zimolka a kol. 2005).

Pšenice začíná svůj vývoj již při klíčení, kdy dochází vlivem enzymatické činnosti k rozkladu složitých organických látek na látky jednoduché, které zárodek (embryo) využívá pro svůj růst. Na chemickém složení obilky závisí tvorba kořenového systému a přechod rostlin na výživu z půdy. Podíl odebraného dusíku z celkového odběru nepřesahuje v období podzimu a zimy 12 %, aplikovat vysoké dávky před setím je zbytečné a zároveň neekologické. Odběr dusíku, totiž začne vrcholit v období jara, kdy rostliny po zimě musí obnovit biomasu (Zimolka a kol., 2005).

**Tab. č. 4: Normativní potřeba živin pro pšenici** (Zimolka a kol. 2005; Vaněk a kol., 2007)

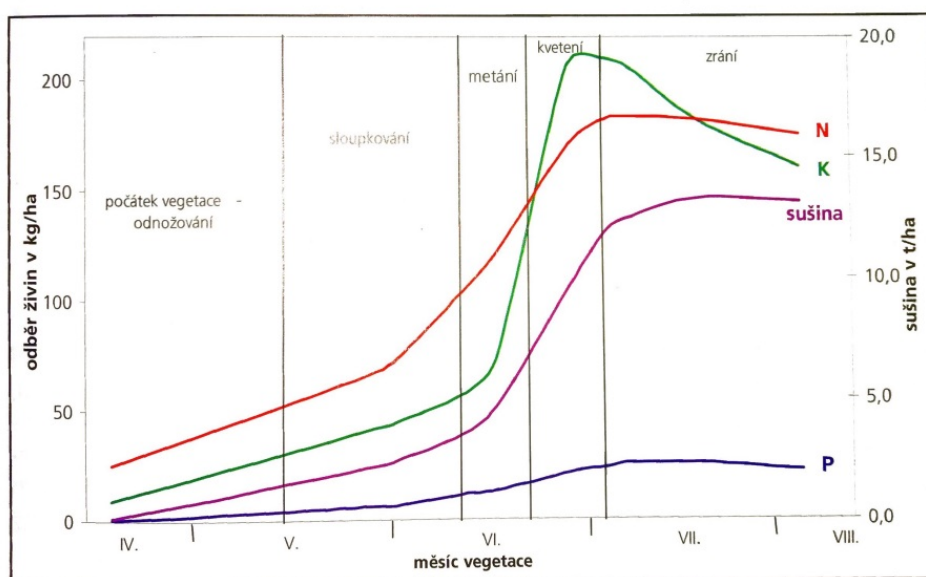
Produkt	Odběr živin (kg/t)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
zrno	22,0 – 26,0	4,4 – 6,2	16,6 – 21,0	2,8 – 5,7	1,2 – 3,0	4,3
sláma	4,0 – 5,0	0,4 – 0,7	4,6 – 5,4	0,7 – 1,1	0,2 – 0,5	4,0

Tabulka č. 4 uvádí, že při výnosu okolo 6 tun hlavního produktu (zrna) pšenice ozimé a přibližně stejném výnosu vedlejšího produktu (sláma), zároveň při středním odběru dusíku 24 kg na tunu je celková potřeba dusíku okolo 144 kg, dále pak až 30 kg P, 108 kg K, 24 kg Ca, 12 kg Mg a 20 kg S/ha. Rostliny pšenice ozimé přijímají většinu živin v krátkém časovém úseku a je potřeba vytvořit takové podmínky, aby rostliny měly potřebné živiny k dispozici, mohly je přijmout a využít v produkci.

Dynamika odběru makroživin ozimou pšenici a s tím i nárůst sušiny v období mezi IV. - VIII. měsícem je znázorněn v grafu č. 1. V podzimním období přijímají rostliny ozimé pšenice relativně málo živin, v podstatě se během zimy jejich příjem živin prakticky zastaví. Na jaře se intenzita odčerpávání dusíku a ostatních makroživin začne postupně zvyšovat již od března (III. měsíce) a vrcholí na konce června (VI. měsíce) v době kvetení. Po odkvětu (VII. měsíc) se požadavky na dusík relativně snižují, neboť se z ostatních částí rostliny dobře přemísťuje (retranslokuje) do generativních orgánů (zrna). Využití N na tvorbu zrna je často v našich podmínkách negativně ovlivňováno nízkým obsahem síry, fosforu, draslíku a hořčíku viz graf č. 1 (Zimolka a kol., 2005; Vaněk a kol., 2007).

**Graf č. 1: Dynamika odběru živin ozimou pšenicí a nárůst sušiny**

(Zimolka a kol., 2005); (Vaněk a kol., 2007)





### 3.4.5 Nároky kukuřice na výživu

Kukuřice nemá výrazně vyhraněné požadavky na kvalitu půdy. Větší výnosovou jistotou poskytují půdy středně těžké až těžké s půdní reakcí mezi pH 5,6 – 7,0 (Zimolka a kol., 2008). Počátek vegetace (do vývoje 8. – 9 listu) je u kukuřice charakterizován velmi pomalým růstem s nízkým odběrem živin. Následuje však období velmi intenzivního růstu a příjmu živin včetně dusíku. Za 35 - 45 dní (asi 10 - 15 dní před objevením laty) přijme kukuřice 70 - 75 % všech živin (Balík a kol., 2001; Prokeš, 2009).

**Tab. č. 5: Normativní potřeba živin pro kukuřici (Vaněk a kol., 2007; Prokeš, 2009).**

Produkt	Odběr živin (kg/t)				
	N	P	K	Ca	Mg
zrno + sláma	22,0 – 26,0	4,4 – 6,6	21,0 – 33,0	4,3 – 7,1	4,0 – 6,0
silážní hmota	3,5 – 4,0	0,7 – 0,9	2,9 – 3,7	0,9 – 1,3	0,3 – 0,6
Při 8 t/ha zrna	190,0	25,0	120,0	45,0	35,0
při 60 t/ha silážní hm.	245,0	56,0	144,0	46,0	34,0

Kukuřice vyžaduje vyváženou výživu porostu stejně jako jakákoliv jiná zemědělská plodina (viz tab. č. 5). Při intenzivním pěstování kukuřice na zrno výnosem 8 t/ha zrna a příslušného množství slámy se odčerpá z 1 ha 380 - 430 kg čistých živin včetně dusíku. V grafu č. 2 je znázorněna vysoká intenzita příjmu dusíku a ostatních živin mezi VI. a VIII. měsícem. U dusíku po odkvětu stagnuje příjem a znovu stoupá v období mléčně-voskové zralosti zrna a do období plné zralosti (Zimolka a kol., 2008; Prošek, 2009). Vaněk (2007) uvádí, že kukuřice má vysoké nároky na teplo, a proto jisté výnosy poskytuje v nejteplejších oblastech. Kritické období růstu i příjmu živin je na počátku vegetace (IV. měsíc), kdy je kukuřice citlivá k nižším teplotám a má malou konkurenční schopnost. Podle Proška (2009), lze při výšce porostu 40 - 50 cm a hmotnosti rostlin kolem 50g (v sušině) počítat s odběrem 132 kg N, 15,4 kg P, 184 kg K a 17,6 kg Ca a 10,1 kg Mg/ha.

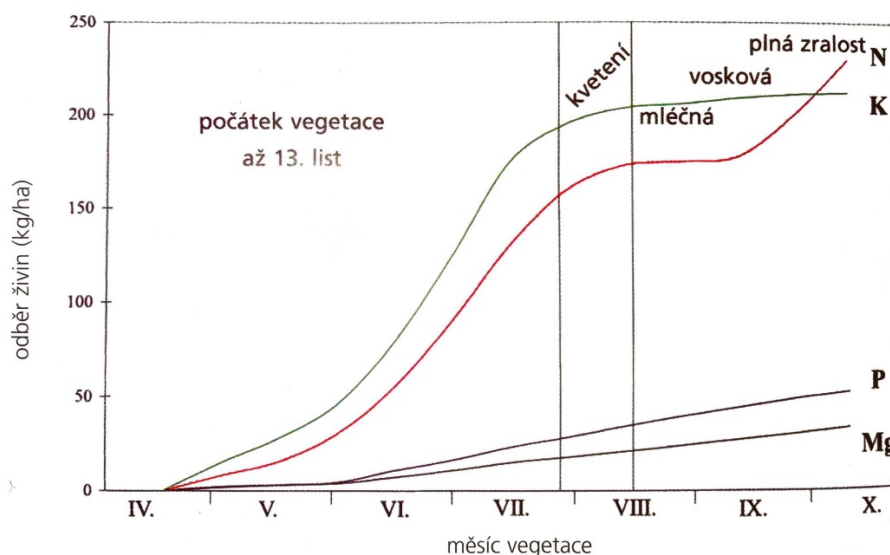
K výživě porostu kukuřice je potřeba brát ohled i na výživu mikroživinami, zejména pak zinek. Hnojení zinkem (Zn) je z důvodu na možné interakce v půdě výhodnější jeho mimokořenová (listová) aplikace (Zimolka a kol., 2008). Orientačně lze uvažovat o odběru Zn kukuřicí ve výši 0,3 – 0,4 kg (Šuk a kol., 1998). Fecenko a Ložek (1996) ve svém experimentu prokázali pozitivní vliv N a Zn na výnos u varianty 160 kg N + 1,5 kg Zn/ha. Zvýšení výnosu ve srovnání s variantou, kde zinek nebyl aplikován se během tří let dosáhlo nárůstu až o 14,3 %. Také Dun-Yi a kol. (2017) ve svém tříletém terénním experimentu v Číně prokázali pozitivní vliv aplikace zinku s variantami 0, 25, 50, 100, 150 kg ZnSO • 7 H<sub>2</sub>O/ha. V každém z těchto

případů aplikace Zn snížila počet sterilních zrn ve špičce palice, významně zvýšila koncentraci Zn v rostlině a v půdě, počet zrn v palici a celkový výnos biomasy.

Mikroživinami hnojíme jen tehdy, jestliže je na stanovišti zjištěn jejich výrazný deficit (Vaněk a kol., 2012).

### Graf č. 2: Dynamika odběru živin kukuřicí při výnosu 6 - 7 t zrna/ha

(Vaněk a kol., 2007; Zimolka a kol., 2008)



Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že rostliny přijmou převážnou část živin v období červen (VI.) - červenec (VII.), což z časového hlediska znamená, že během tohoto období musí být tyto živiny již na stanovišti (v půdě) a v dostatečném množství (Vaněk a kol., 2007). Kukuřice je vysoce produktivní plodina, která pro dosažení výnosu zrna 10 - 12 t/ha, při minimálním podílu palic 40 %, potřebuje velmi dobře zásobenou půdu živinami. Na vyprodukování uvedeného množství hmoty je zapotřebí dodat 120 - 180 kg N, 30 - 45 kg P a 80 - 160 kg K/ha. Jednorázová aplikace průmyslových hnojiv před setím má za důsledek až 50% ztráty na živinách a jejich následný nedostatek v období intenzivního růstu (Vrzal a kol., 1995). Zimolka (2008) doporučuje hnojit kukuřici spolu organickými hnojivy na podzim těsně před orbou.

#### 3.4.6 Použití organických a statkových hnojiv

Statková nebo organická hnojiva jsou vyráběna přímo v zemědělském podniku, jejichž složení a obsah živin je z velké části odrazem živinného režimu půd dané oblasti a způsobu ošetřování (Vaněk, 2012). Statková hnojiva jsou objemná, mají nízkou koncentraci živin a jsou dodavatelem nejen živin, ale především humusotvorných látek (Baier a Baierová, 1985). Organická hnojiva mohou představovat např. močůvku, hnůj, kompost, odpadní kal nebo

účelné pěstování plodin pro zapravení do půdy tzv. zelené hnojení (Wessolek, 2008). Primárním zdrojem humusotvorného materiálu jsou na zemědělské půdě především exkrementy (exsudáty) kořenů, posklizňové a kořenové zbytky rostlin (Vostal, 1994). Průměrný obsah jednotlivých živin a organických látek podle druhu organického hnojiva znázorňuje tabulka č. 6.

Je důležité do půdy pravidelně dodávat organickou hmotu, nezbytnou pro tvorbu půdního humusu. Na těžkých půdách vylepšuje organická hmota především půdní strukturu a na lehkých půdách zlepšuje sorpci živin a hospodaření s vodou (Neuberg a kol., 1995). Organické látky spolu s mikroorganismy v půdě tvoří významnou složku ovlivňující výživu rostlin a vlivem mineralizačních procesů může docházet k uvolňování živin, zejména N, P, ale i síry (Vaněk a kol., 2012).

Organická hmota také slouží pro udržení dobré struktury půdy, podmínkou pro její udržení, kromě dostatečného množství organické hmoty je úprava půdní reakce (Šabatka, 2017). Zlepšují provzdušenost půdy, zvyšuje teplotu půdy, podílejí se na vytváření půdních agregátů a působí jako chrániče minerálních koloidů. Organická hnojiva také zvyšují biologickou aktivitu půdy, což se v konečném důsledku projevuje i zvýšením využití živin z minerálních hnojiv. Zvýšení činí 12 - 15 % v závislosti na vlastnostech půd (Vostal, 1994). Bez organické hmoty v půdě by nebyl život, nedocházelo by mimo jiné k pufraci dusíku a též k rychlejšímu odbourávání pesticidů (Šabatka, 2017). Souhrnně jsou organickými hnojivy do půdy dodávány (Vaněk a kol., 2007):

- Organické látky, mikroorganismy,
- Rostlinné živiny – makroprvky i mikroprvky,
- Látky stimulační, růstové a hormonální.

**Tab. č. 6: Průměrné složení organických a statkových hnojiv**

(Zimolka a kol., 2005; Vaněk a kol., 2016)

Druh	Sušina	Obsah v čerstvém stavu (%)					
		OL	N	P	K	Ca	Mg
Hnůj skotu	24,0	17,0	<b>0,48</b>	0,11	0,52	0,37	0,08
Koňský hnůj	25,0	20,0	<b>0,65</b>	0,13	0,52	0,21	0,11
Ovčí hnůj	25,0	20,0	<b>0,85</b>	0,14	0,66	0,25	0,12
Kejda skotu	7,8	6,0	<b>0,32</b>	0,07	0,40	0,14	0,04
Kejda prasat	6,8	5,3	<b>0,50</b>	0,13	0,19	0,24	0,04
Kejda drůbeže	11,8	8,1	<b>0,96</b>	0,28	0,32	0,94	0,06
Močůvka	2,4	2,0	<b>0,25</b>	0,02	0,44	0,007	0,01
Sláma pšeničná	86,0	82,0	<b>0,45</b>	0,09	0,79	0,24	0,06
Sláma kukuřičná	85,0	80,0	<b>0,48</b>	0,16	1,26	0,32	0,14
digestát	6,5	6,9	<b>0,89</b>	0,37	0,76	-	0,09

Hnojem se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v přijatelné formě. Hnůj působí v půdách více let, většinou se počítá s působením 3 - 5 let, kdy v lehčích půdách kratší dobu, zatímco v těžších půdách působí delší období (Vaněk, 2012). Tuhá statková hnojiva aplikujeme na podzim, tekutá i v předjaří a dalším průběhu vegetace plodin (Vrzal a kol., 1995).

Pravidelné doplňování organických látek do půdy je základem úspěšného hospodaření. Kukuřice patří k plodinám, které velmi dobře reagují na organické hnojení a z hlediska agrotechniky vykazuje vlastnosti okopaniny. Proto se k ní doporučuje aplikovat statková hnojiva. Nejčastěji je na podzim ke kukuřici aplikován hnůj, jehož optimální dávky se pohybují v rozpětí 30 - 40 t/ha (Šuk a kol., 1998). Doporučené dávky zároveň zohledňují průměrnou bilanční potřebu organických látek pro orné půdy. Na jaře před setím nebo během vegetace se hnojí zejména tekutými statkovými hnojivy (kejda) a digestátem (organické hnojivo z bioplynových stanic s vyšším obsahem amonného dusíku). Osvědčily se i aplikátory s povrchovou podlistovou aplikací (např. systém vlečených hadic), které umožňují hnojit tekutými statkovými hnojivy na začátku a během vegetace s dávkami (dle obsahu N) 10 - 20 t/ha. Tekutá statková a organická hnojiva, lze aplikovat na podzim k meziplodinám (hořčice, svazenka aj.), které předchází pěstování kukuřice (Zimolka, 2008). Ve výši hnojení mezi kukuřicí na zrno a kukuřicí na siláž není rozdíl. U kukuřice lze zvýšit pouze dávku dusíku za účelem vytvoření více bílkovin. V závislosti na výnosu by dávky živin na 1 ha měly být na úrovni 100 - 160 kg N, 45 - 65 kg P a 120 - 210 kg K (Šuk a kol., 1998).

#### **3.4.7 Použití minerálních hnojiv**

Minerální (průmyslová) hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu, zejména v případě dusíkatých hnojiv. Vyznačují se vyšším obsahem živin, proto se těmto hnojivům také říká koncentrovaná, tyto hnojiva mohou mít jednu nebo více živin (Vaněk, 2016). Jsou vyráběna z přírodních surovin jako jsou fosfáty, draselné minerály, vápence a dolomity. Dusík je však vyráběn přímou syntézou dusíku a vodíku (H), při kterém vzniká amoniak (NH<sub>3</sub>) jako zdroj dusíku (Vaněk, 2007). Průmyslová hnojiva jsou nezbytnou podmínkou intenzifikace zemědělské výroby, jejichž vlivem došlo ke vzestupu výnosů zemědělských plodin. Podílely se na zvýšení rostlinné produkce od 2. poloviny 20. století asi ze 40 - 60 %. Minerální hnojiva však nemohou nahradit půdně zúrodnovací vliv organických hnojiv, ale jsou nezbytné pro doplňování a rozšiřování zdrojů pro rostliny (Baier a Baierová, 1985).

Minerální hnojiva rozdělujeme do několika skupin podle obsahu hlavní živiny (Vaněk a kol., 2012; 2016):

- Dusíkatá: s dusíkem amonným, nitrátovým, amidovým a ve dvou a více formách
- Fosforečná: s fosforem rozpustným ve vodě
- Draselná: s chloridovým nebo síranovým typem
- Hořečnatá: síranového nebo oxidového typu
- Vápenatá: s uhličitanovou formou pro regulaci půdní reakce
- Vícesložková: vícesložková (kombinovaná) a vícesložková pozvolna působící hnojiva
- Speciální hnojiva: hnojiva s mikroprvky

Cílem použití minerálních hnojiv je zajistit pěstovaným plodinám optimální množství živin pro zajištění tvorby a stability výnosů a zároveň udržet nebo zvýšit úrodnost daného stanoviště. Z dusíkatých hnojiv se k základnímu hnojení do půdy na podzim i na jaře používají hnojiva obsahující formu dusíku amidickou (močovina –  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{CaCN}_2$  aj.) a amonnou (síran amonný –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Naopak k přihnojování se používají spíše ledkové, nitrátové formy. Nejrozšířenějším takovým hnojivem je ledek amonný ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), který pro chemickou stabilizaci je obohacován o vápenec nebo dolomit (Neuberg a kol., 1995).

Předpokladem dobré účinnosti fosforečného hnojení je nasycený sorpční komplex, a tedy příznivé pH (slabě kyselá až neutrální) půd a také hnojením pozemků před nebo současně s aplikací organických hnojiv. Půdní reakci (pH), lze upravit vápenatými hnojivy např. dolomitickým vápencem, kterým kromě vápníku do půdy dostaneme i hořčík a aplikace probíhá s dostatečným předstihem před hnojením fosforečných hnojiv. Při hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem se uplatňuje zásada hnojení pouze půdy a také především podle výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) stanovující vyluhovatelné formy živin metodou Melich 3 (Richter a Hlušek, 2003; Vaněk a kol., 2012). Fosforečná a draselná hnojiva hnojíme koncem léta nebo na podzim, kdy lze hnojiva dobře orbou zapravit do půdy. Čím je půda méně úrodná, tím vyšší jsou nároky na volbu druhu a stanovení dávky, doby a způsobu zapravení hnojiva (Vostal, 1994; Vaněk a kol., 2012). Na rozdíl od dusíku a draslíku je využití fosforu z minerálních hnojiv rostlinou poměrně malé. Hnojení půdy fosforem se neprovádí každoročně, nýbrž do půdní zásoby a jeho využití v roce aplikace se pohybuje nejčastěji od 10 - 20 % a v následujících letech se počítá s příjmem 1 – 2 % po dobu 20 – 50 let (Zimolka a kol., 2005; 2008; Vaněk a kol., 2012). V důsledku nedostatečné úrovně hnojení kukuřice fosforem jsou často hledána alternativní řešení při zajišťování výživy touto živinou, a sice hnojení tzv. pod patu (zapravení hnojiva se současným setím o 3-4 cm hlouběji). Kukuřice odčerpává fosfor průběžně během celé vegetace až do sklizně, ovšem v půdním profilu se pohybuje velmi pomalu a při nízkých koncentracích v půdním roztoku (rovněž i nízkými

teplotami) dochází k omezování tvorby kořenového systému. Nezbytný fosfor dodáme hnojením Amofosem, trojitým nebo jednoduchým superfosfátem, případně dusík a zajistíme tak rozvoj kořenového systému (Zimolka a kol., 2005; 2008). Dostál a Javor (2017) zkoumali účinnost využití atraktivních živin (N, P) při různém způsobu uložení hnojiva a zpracování půdy. Základní zpracování půdy dlátovým kypřičem se semiparabolickou slupicí umožnilo podpovrchovou aplikaci (přesné uložení hnojiva do půdního profilu) N-P hnojiv (Amofos, Polidap) do půdního profilu a zjistili, že po dlátovém kypření vzešlo v průměru o 7 % a s aplikací N-P hnojiva v průměru o 11 % více jedinců ve srovnání s orbou, kde uložení hnojiva bylo rozptýlené. V důsledku uložení atraktivních živin pod patu, kukuřice vykazovala vyvinutější kořenovou soustavu, která urychlovala intenzivní nárůst sušiny rostlin po dlátovém kypření v průměru o 32 % a po souběžné aplikaci N-P hnojiva dokonce o 51 %, ve srovnání s orbou.

Ozimá pšenice a kukuřice jsou plodiny značně citlivé k vyšší půdní kyselosti a úpravu pH provádíme vápněním (při nedostatku hořčíku dolomitickým vápencem) již k předplodinám nebo ihned po jejich sklizni (Zimolka a kol., 2005; 2008). Odpovídající pH půdy je zejména důležité pro udržení půdní struktury. V případě kukuřice na slévavých půdách (vliv struktury půdy) trpí nedostatkem vzduchu a je omezena tvorba kořenů, proto je doporučována meziřádková kultivace, ovšem s rizikem mechanického porušení kořenů. V závislosti na půdním druhu, lze doporučit tyto hodnoty pH/KCl: lehká půda pH 6,0; střední půda pH 6,5; těžká půda pH 7,0 (Šuk a kol., 1998).

Dávky živin pšenice ozimé a kukuřice jsou určovány podle zásoby živiny v půdě a podle průměrného odběru rostlinami (Zimolka a kol., 2005; 2008; Vaněk a kol., 2012)

### **3.4.8 Hnojení dusíkem**

Dusík je „motorem“ růstu a plodiny ho potřebují v průběhu celé ontogeneze ve značném množství (Neuberg a kol., 1995). I Takatoshi (2016) uvádí, že dostupnost dusíku je hlavním faktorem růstu a produktivity rostlin.

Hnojení dusíkem je v porovnání s ostatními živinami vždy cíleno k plodině. I když se na výnosu významně podílí obsah minerálních forem ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) dusíku v půdě (půdní dusík), je přímé dusíkaté hnojení plodiny významným faktorem dosaženého výnosu a stability kvality produkce. Minerální dusík, zejména pak  $\text{NO}_3^-$  a také dusík z hnojiv je v půdách dobře pohyblivý a v důsledku toho může při vyšší koncentraci (zvláště v mimovegetačním období) docházet ke ztrátám vyplavením nebo v půdách zamokřených denitrifikací. Celkovou potřebu dusíku pro plodiny stanovíme podle středního odběru živin na jednotku produkce a podle přepokládaného

výnosu (Vaněk, 2012). Lze celkovou potřebu dusíku stanovit jak na základě odběrových normativů živin, tak i podle normativu dusíku pro jednotlivá stanoviště (Vostal, 1994).

### **3.4.9 Vliv zpracování půdy na živinný režim**

Zpracováním půdy je ovlivňován vodní, vzdušný a tepelný režim půdy, její biologická aktivita a v neposlední řadě i uvolňování živin a jejich využití rostlinami. Z hlavních rostlinných živin má zpracování půdy nejvýznamnější vliv na dusíkatý režim v půdě (Šilha a kol., 2002). Jakýkoliv výraznější obdělávání půdy či meliorační zásah snižuje obsah minerálního dusíku v půdě. Hnojivý zapravený dusík do půdy může při mělkém zpracování půdy v plynné formě prostřednictvím převážně formou amoniaku volatilizovat (Moeller a Stinner, 2009).

## **4 METODIKA**

V této kapitole je popsán postup vedoucí k naplnění cíle této bakalářské práce. Zde je popsána charakteristika zájmového území (tab. č. 7 - 9), zohledňující půdně-klimatickou charakteristiku, včetně průběhu počasí v letech 2015, 2016, 2017. Dále je popsán způsob odebrání vzorků, použité laboratorní analýzy a postup zpracování výsledků měření. V další části metodiky jsou popsány uskutečněné polní pokusy, jejichž cílem bylo ověřit vliv odlišné základní přípravy půdy a meziřádkové kultivace na dynamiku  $N_{\min}$  v půdě.

Zájmové území kontrolních stanovišť s porosty ozimé pšenice a kukuřice se bezprostředně rozléhá v regionu Východních Čech. Podle Baiera a kol. (1988) kontrolní stanoviště jsou 1 ha plochy umístěné na provozních honech, které reprezentují agroekologické podmínky sledování území při vhodně volených agrotechnických, hnojařských a ochranařských opatřeních.

Pro hodnocení obsahu  $N_{\min}$  v půdě a výživného stavu rostlin a celkové dynamiky dusíku v půdě během pěstování rostlin ozimé pšenice a kukuřice, byly zvoleny dvě půdně-klimaticky odlišné lokality. Jedná se zde o lokalitu v Pardubickém kraji rozléhající se na okraji Svitav a Litomyšle (nadmořská výška 385 - 438 m n. m.) a o lokalitu v podhůří Orlických hor rozléhající se na okresech Ústí nad Orlicí a Rychnov nad Kněžnou v nadmořské výšce 375 – 435 m n. m.

### **4.1 Charakteristika zájmového území kontrolních stanovišť**

Kontrolní stanoviště pšenice ozimé se nacházejí ve 3 okresech

Okres Svitavy (SY): Trstěnice, Opatovec a Čistá u Litomyšle

Okres Ústí nad Orlicí (ÚO): Lukavice a Žichlínek

Okres Rychnov nad Kněžnou (RK): Lukavice

### Kontrolní stanoviště kukuřice seté se nacházeli ve 3 okresech

Okres Svitavy (SY): Trstěnice, Opatov a Morašice

Okres Ústí nad Orlicí (ÚO): Dolní Dobrouč

Klimatické podmínky zájmového území, kde se nacházely kontrolní stanoviště sledovaných plodin, lze zahrnout do rozhraní klimatických regionů 3 - 8:

- Klimatický region s číselným popisem 3 je teplý, mírně vlhký s průměrným ročním úhrnem srážek 550 – 650 mm s průměrnou roční teplotou 8 – 9 °C, sumou teplot nad 10 °C 2400 – 2800, výskyt suchých vegetačních období mezi 10 - 60 %, reliéf terénu rovinný až mírně zvlněný,
- Klimatický region s číselným popisem 8 je mírně chladný, vlhký s průměrným ročním úhrnem srážek více než 700 mm, průměrnou roční teplotou 5 – 6 °C, suma teplot nad 10 °C je pod 2200, výskyt suchých vegetačních období do 5 % a reliéf terénu horizontálně členitý s vysokou svažitostí.

Oblast Svitavy a Litomyšl se nachází v klimatickém regionu mezi 3 – 8 a oblast Ústeckoorlicka a Rychnovska v klimatickém regionu 5 – 8.

Půdní podmínky kontrolních stanovišť ozimé pšenice a kukuřice jsou z hlediska půdního druhu písčitohlinité až jílovitohlinité s různým stupněm skeletovitostí. Skeletovitost zájmového území je střední až slabá, s hlubokou až středně hlubokou půdou.

Pro měření a zajištění průběhu meteorologických a povětrnostních podmínek na sledovaných stanovištích v letech 2015, 2016, 2017 byly pro sledování porostů ozimé pšenice a kukuřice přiřazeny nejbližší meteorologické stanice z portfolia provozovaných firmou AGROEKO Žamberk spol. s.r.o., na kterých se denně měří srážkové a teplotní údaje. Meteorologické stanice jsou umístěny na okrese Ústí nad Orlicí ve dvou lokalitách (Svatý Jiří a Žamberk), jejichž umístění se nachází v nadmořských výškách 380 m n. m. (Svatý Jiří) 411 m n. m. (Žamberk). Srážkové a teplotní poměry v průběhu sledovaného období jsou graficky znázorněny v přílohách č. 7 – 8.



**Tab. č. 7: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť ozimé pšenice a kukuřice v roce 2015**

Zájmové území	Výměra (ha)	Nadmořská výška (m. n. m.)	Výrobní oblast a podoblast	Klimatický region		Půdní typ a subtyp	Půdní druh	Meteostanice
				kód	popisné označení			
<b>Pšenice ozimá</b>								
Trstěnice	23,28	522	O2	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	písčitohlinitá	Žamberk
Lukavice RK	9,93	400	O3	5	mírně teplý, mírně vlhký	kambizem modální	písčitohlinitá	Žamberk
Lukavice ÚO	13,57	396	O4	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	jílovitohlinitá	Svatý Jiří
Opatovec	61,99	458	O1	7	mírně teplý, vlhký	hnědozem luvická	hlinitá	Žamberk
Čistá	54,74	485	R5	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	písčitohlinitá	Žamberk
Žichlínek	96,61	364	O2	7	mírně teplý, vlhký	pseudoglej pelická	jílovitohlinitá	Svatý Jiří
<b>Kukuřice</b>								
Trstěnice	42,70	423	O2	8	mírně chladný, vlhký	kambizem modální	jílovitohlinitá	Žamberk
Opatov	71,62	438	O3	8	mírně chladný, vlhký	pseudoglej pelická	hlinitá	Žamberk
Morašice	51,34	355	R3	5	mírně teplý, mírně vlhký	luvizem modální	hlinitá	Svatý Jiří
Dolní Dobrouč	13,81	365	O4	8	mírně chladný, vlhký	kambizem litická	hlinitopísčitá	Svatý Jiří

**Tab. č. 8: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť ozimé pšenice a kukuřice v roce 2016**

Zájmové území	Výměra (ha)	Nadmořská výška (m. n. m.)	Výrobní oblast a podoblast	Klimatický region		Půdní typ a subtyp	Půdní druh	Meteostanice
				kód	popisné označení			
<b>Pšenice ozimá</b>								
Trstěnice	22,19	438	R4	5	mírně teplý, mírně vlhký	kambizem modální	hlinitá	Žamberk
Lukavice RK	24,67	351	O2	7	mírně teplý, vlhký	kambizem litická	písčitohlinitá	Žamberk
Lukavice ÚO	13,55	370	O3	7	mírně teplý, vlhký	pseudoglej modální	jílovitá	Svatý Jiří
Opatovec	87,74	497	O3	7	mírně teplý, vlhký	luvizem modální	hlinitá	Žamberk
Čistá	95,59	513	R4	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	písčitohlinitá	Žamberk
Žichlínek	121,04	365	O2	7	mírně teplý, vlhký	luvizem modální	jílovitohlinitá	Svatý Jiří
<b>Kukuřice</b>								
Trstěnice	54,45	491	O2	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	jílovitohlinitá	Žamberk
Opatov	32,69	505	O3	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	hlinitopísčitá	Žamberk
Morašice	33,00	348	R3	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	hlinitá	Svatý Jiří
Dolní Dobrouč	10,05	389	O3	7	mírně teplý, vlhký	fluvizem glejová	hlinitá	Svatý Jiří

**Tab. č. 9: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť ozimé pšenice a kukuřice v roce 2017**

Zájmové území	Výměra (ha)	Nadmořská výška (m. n. m.)	Výrobní oblast a podoblast	Klimatický region		Půdní typ a subtyp	Půdní druh	Meteostanice
				kód	popisné označení			
<b>Pšenice ozimá</b>								
Trstěnice	42,25	505	O2	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	hlinitá	Žamberk
Lukavice RK	19,10	415	O3	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	písčitohlinitá	Žamberk
Lukavice ÚO	11,74	430	O4	7	mírně teplý, vlhký	kambizem modální	jílovitohlinitá	Svatý Jiří
Opatovec	10,74	455	O1	5	mírně teplý, mírně vlhký	hnědozem luvická	hlinitá	Žamberk
Čistá	54,83	426	R5	5	mírně teplý, mírně vlhký	luvizem modální	písčitohlinitá	Žamberk
Žichlínek	70,32	370	O2	7	mírně teplý, vlhký	hnědozem modální	jílovitohlinitá	Svatý Jiří
<b>Kukuřice</b>								
Trstěnice	13,72	498	O2	5	mírně teplý, mírně vlhký	kambizem modální	hlinitá	Žamberk
Opatov	56,30	492	O2	5	mírně teplý, mírně vlhký	luvizem modální	jílovitohlinitá	Žamberk
Morašice	16,00	348	R3	3	teplý, mírně vlhký	luvizem modální	hlinitá	Svatý Jiří
Dolní Dobrouč	10,01	384	O4	7	mírně teplý, vlhký	luvizem glejová	hlinitopísčitá	Svatý Jiří

## 4.2 Hnojení porostů kontrolních stanovišť

Hnojení porostů kontrolních stanovišť je nezbytnou součástí pro zhodnocení využití dusíku rostlinami pšenice ozimé a kukuřice. Pro tyto účely byly u vedoucích agronomů jednotlivých podniků za léta 2015, 2016, 2017 zjišťovány údaje o výživě sledovaných plodin, předplodinách z pohledu posklizňových zbytků, údaje o přímém organickém a minerálním hnojení, z jejichž nutričního složení byla následně vypočtena celková dávka dusíku aplikována na dané stanoviště. Charakteristiku hnojení jednotlivých kontrolních stanovišť uvádějí níže uvedené tabulky číslo 10 až 15. Při stanovení celkové dávky dusíku byla zohledněna zaorávka posklizňových zbytků předplodiny sledovaných plodin, rovněž aplikace organických a statkových hnojiv, jakožto zdroje organických látek, respektive dusíku pro podporu mineralizace.

Podle nároků odrůd, užitkového směru pěstování a přepokládaného výnosu byly porosty ozimé pšenice a kukuřice hnojeny za korekce podle doporučení firmy AGROEKO Žamberk spol. s.r.o. vyplývajícího z periodického sledování (monitoringu) výživy během vegetace. Aplikace organických hnojiv se k porostům ozimé pšenice na stanovištích prakticky neprovádělo, především aplikace minerálních hnojiv. Ve většině případů však dusíkem nebo kombinovanými hnojivy. Na některé stanoviště byly aplikovány hnojiva se sírou (SAM) a hořčíkem (LAD) vykazující jejich deficit.

Na rozdíl od pšenice ozimé se ke kukuřici organické hnojení provádělo. V roce 2015 byl na podzim aplikován digestát a kejda skotu. Více než na podzim byl v letech 2015, 2016 a 2017 na stanoviště aplikován digestát na jaře, jakožto vedlejší produkt bioplynových stanic, spolu s močovinou před setím kukuřice. Podle Zimolky (2008) z pohledu agrotechniky kukuřice vykazuje vlastnosti okopaniny, a proto se k ní doporučuje aplikovat organická a statková hnojiva, neboť ve srovnání s pšenici ozimou na to velmi dobře reaguje.

Organická hnojiva (digestát a kejda skotu) byla aplikována na podzim po sklizni předplodiny s následným zapravením do půdy klasickou střední orbou. U kukuřice se bez minerálních hnojiv během vegetace hnojení také neobešlo a na stanoviště byly aplikovány zejména hnojiva s dusíkem (Močovina) nebo kombinovaná NP hnojiva, tzv. Amofos.

Tab. č. 10: Předplodina a použitá dusíkatá hnojiva na kontrolních stanovištích ozimé pšenice v roce 2015

Kontrolní stanoviště	Předplodina	Statková, organická hnojiva (podzim)		Minerální dusíkatá hnojiva									Celkem dávka N (kg/ha)
		druh	dávka (t/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	
<b>Pšenice ozimá</b>													
Trstěnice	jetel luční	posklizňové zbytky	1,2	21	SH 24 – 12 S	48	31	DAM 390	57	50	-	-	105
Lukavice RK	řepka ozimá	sláma	-	21	LAD 27	54	31	LAD 27	54	50	LOVODAM	42	150
Lukavice ÚO	vojtěška	posklizňové zbytky	2,0	22	LAV 27	54	30	LAV 27	49	45	DAM	45	148
Opatovec	řepka ozimá	sláma	-	21	LAV 27	41	31	DAM 390	60	50	Síran amonný	22	123
Čistá	pšenice ozimá	-	-	22	LAD	54	30	močovina	69	49	LAD	54	177
Žichlínek	řepka ozimá	sláma	-	22	LAV	46	30	DAM 390	70	51	AmisaN	37	153

Tab. č. 11: Předplodina a použitá dusíkatá hnojiva na kontrolních stanovištích ozimé kukuřice v roce 2015

Kontrolní stanoviště	Předplodina	Statková, organická hnojiva (podzim)		Statková, organická hnojiva (před setím)		Minerální dusíkatá hnojiva					Celkem dávka N (kg/ha)	
		druh	dávka (t/ha)	druh	dávka (t/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	druh	dávka (kg N/ha)		
<b>Kukuřice</b>												
Trstěnice	pšenice oz.	-	-	digestát	30	00	močovina	115	Amofos	12	145	
Opatov	ječmen jarní	digestát	40	-	-	00	močovina	115	Amofos	12	127	
Morašice	pšenice oz.	kejda skotu	30	-	-	00	močovina	92	Amofos	12	114	
Dolní Dobrouč	pšenice oz.	-	-	digestát	40	00	DAM 390	78	Amofos	12	90	

Tab. č. 12: Předplodina a použitá dusíkatá hnojiva na kontrolních stanovištích ozimé pšenice v roce 2016

Kontrolní stanoviště	Předplodina	Statková, organická hnojiva (podzim)		Minerální dusíkatá hnojiva									Celkem dávka N (kg/ha)
		druh	dávka (t/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	
<b>Pšenice ozimá</b>													
Trstěnice	řepka ozimá	sláma	-	21	SH 24 – 12 S	48	30	DAM 390	60	51	Amisan	31	139
Lukavice RK	peluška jarní + řepka ozimá	řepková sláma	-	21	LAD 27	55	30	LAD 27	59	51	LOVODAM	36	150
Lukavice ÚO	vojtěška sečná	posklizňové zbytky	-	21	LAV 27	55	30	LAV 27	55	50	DAM 390	45	155
Opatovec	řepka ozimá	sláma	-	21	LAV 27	38	31	NP 26-14	26	49	LAV 27	38	102
Čistá	mák setý	posklizňové zbytky	-	22	LAD	60	31	DAM 390	55	51	LAD	35	150
Žichlínek	řepka ozimá	sláma	-	22	LAV	54	30	DAM 390	78	50	SAM	23	155

Tab. č. 13: Předplodina a použitá dusíkatá hnojiva na kontrolních stanovištích kukuřice v roce 2016

Kontrolní stanoviště	Předplodina	Statková, organická hnojiva (podzim)		Statková, organická hnojiva (před setím)		Minerální dusíkatá hnojiva			Celkem dávka N (kg/ha)
		druh	dávka (t/ha)	druh	dávka (t/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	
<b>Kukuřice</b>									
Trstěnice	jetel luční	-	-	digestát	30	00	Amofos	12	42
Opatov	pšenice oz.	-	-	digestát	40	00	Močovina	115	155
Morašice	pšenice oz.	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolní Dobrouč	kukuřice	-	-	digestát	40	00	Amofos	12	52

Tab. č. 14: Předplodina a použitá dusíkatá hnojiva na kontrolních stanovištích ozimé pšenice v roce 2017

Kontrolní stanoviště	Předplodina	Statková, organická hnojiva (podzim)		Minerální dusíkatá hnojiva									Celkem dávka N (kg/ha)
		druh	dávka (t/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	
<b>Pšenice ozimá</b>													
Trstěnice	jetel luční semeno	poskl. zbytky	-	21	SH 24 - 12S	48	30	DAM 390	60	51	Amisan	31	139
Lukavice RK	kukuřice	digestát	15	21	LAV 27	41	30	LAV 27	68	51	LAV 27	41	150
Lukavice ÚO	vojtěška	poskl. zbytky	-	21	LAV 27	55	30	LAV 27	55	50	DAM 390	45	155
Opatovec	řepka ozimá	sláma	-	21	LAV 27	41	30	LAV 27	68	51	LAV 27	41	150
Čistá	řepka ozimá	sláma	-	22	LAD	60	31	DAM 390	55	51	LAD	35	150
Žichlínek	kukuřice	-	-	22	LAV	54	30	DAM 390	78	50	SAM	23	155

Tab. č. 15: Předplodina a použitá dusíkatá hnojiva na kontrolních stanovištích kukuřice v roce 2017

Kontrolní stanoviště	Předplodina	Statková, organická hnojiva (podzim)		Statková, organická hnojiva (před setím)		Minerální dusíkatá hnojiva			Celkem dávka N (kg/ha)
		druh	dávka (t/ha)	druh	dávka (t/ha)	fáze DC	druh	dávka (kg N/ha)	
<b>Kukuřice</b>									
Trstěnice	pšenice ozimá	-	-	digestát	30	00	Amofos	12	12
Opatov	ječmen jarní	sláma	-	digestát	40	00	Močovina	115	115
Morašice	pšenice ozimá	kejda skotu	-	digestát	30	00	Močovina+amofos	115+12	127
Dolní Dobrouč	kukuřice	-	-	digestát	40	00	Amofos	12	12

### **4.3 Zpracování a hnojení půdy v poloprovozních pokusech**

Monitoring vlivu zpracování půdy na dynamiku obsahu  $N_{\min}$  v půdě byl proveden u kukuřice na pokusu se zaměřením na ověření účinnosti zapravení hnoje a stanovení hnojivého působení v půdě v technologii hlubokého dlátového kypření. Cílem pokusu bylo stanovit schopnost zapravení tuhých statkových hnojiv (hnoje skotu) do půdy inovativním základním zpracováním půdy hlubokým dlátovým kypřením (dlátovým pluhem) a porovnat účinnost zapravení s běžným zapravením těchto hnojiv do půdy orbou (radličným pluhem). Zároveň bylo cílem pokusu stanovit a porovnat s orbou po zapravení hnoje hlubokým dlátovým kypřením intenzitu uvolnění živin (hnojivého působení) v půdě. Parametry základního zpracování půdy je tabulárně znázorněn v příloze č. 2. V příloze č. 3 se nachází fotodokumentace zapravení hnoje radličným a dlátovým pluhem.

#### **4.3.1 Charakteristika půdně-klimatických podmínek**

Tento pokus se nacházel v lokalitě katastrálního území Dlouhá Ves u Rychnova nad Kněžnou na vyčleněné ploše dílu půdního bloku LPIS ČR č. 9102/7, v nadmořské výšce 354 m n. m.

Zájmová lokalita pokusu se nacházela v oblasti mírně teplého, vlhkého klimatického regionu s průměrnou roční teplotou vzduchu 6-7 °C a s průměrným ročním úhrnem srážek 650-750 mm. Podle taxonomické klasifikace půd ČR se na zájmové ploše nacházel půdní typ ze skupiny kambizemí (KA) vytvořených na slínovcích a jílovcích, v podorničí středně těžké až převážně těžké, se slabou příměsí skeletu a přechodně až silně skeletovité. Monitorovaná plocha se nacházela na rovinaté až mírně sklonité části pozemku. Konkrétní průběh počasí na pokuse je popsán v příloze č. 4.

Pro vyhodnocení schopnosti zapravení tuhých statkových hnojiv do půdy inovativním základním zpracováním půdy dlátovým kypřením v porovnání s běžným zapravením těchto hnojiv radličným pluhem byla plocha pokusu rozčleněna do 6-ti dílčích částí se stupňovanou aplikační dávkou hnoje 20, 40 a 80 t hnoje na 1 ha. Stupňované aplikační dávky hnoje a způsob zapravení bylo provedeno podle navrženého schématického členění plánu pokusu (viz příloha č. 5).

#### **4.3.2 Charakteristika tuhého statkového hnojiva**

Pro ověření účinnosti zapravení tuhého statkového nebo organického hnojiva dlátovým kypřením do půdy (viz příloha č. 6) bylo zvoleno nejrozšířenější hnojivo hnůj skotu (z denního odkluzu chlévské mrvy ze stáje býků na hnojiště) po jeho řádné 6 měsíční fermentaci na zpevněném hnojišti.



## 4.4 Vliv meziřádkové kultivace na obsah dusíku v půdě a jeho příjem

Další možností zvýšení vegetačního komfortu kukuřice je meziřádková kultivace. Cílem pokusu bylo ověření vlivu meziřádkové kultivace na zpracování půdy a přírůstek zásoby  $N_{\min}$  v půdě. Převážnou část meziřádkových kypřičů tvoří pasivní pracovní orgány v uskupení několika radliček do šípovitého tvaru na pružných nebo pevných slupicích. Tato koncepce umožňuje mělké kypření s intenzivním rozrušováním a drobením půdy do hloubky 10 cm. Součástí plečky bylo aplikační zařízení ukotvené na zadní straně slupice, jejíž vedení vedlo přímo do brázdy vytvořené radličkou a umožňující bezprostřední vpravení (injektáž) kapalných N hnojiv do blízkosti kořenové zóny kukuřice při souběžné kultivaci porostu meziřádku. Na tomto pokusu probíhal monitoring dynamiky obsahu  $N_{\min}$ , pro porovnání na dvou variantách a sice varianta bez injektáže (kontrola) a s injektáží kapalného dusíkatého hnojiva DAM 390. Po zasetí bylo celkem aplikováno 200 kg N/ha z toho 105 kg N/ha síranu amonného a těsně po zasetí 95 kg N/ha v DAM 390.

### 4.4.1 Charakteristika půdně-klimatických podmínek

Tento pokus se nacházel v lokalitě katastrálního území Křičeň v Pardubickém kraji na vyčleněné ploše dílu půdního bloku LPIS ČR č. 4001/3, v nadmořské výšce 237 m n. m. Půda půdního bloku vykazovala dobré fyzikální a agrochemické vlastnosti. Jednalo se o půdu degradovaných hnědozemí klasifikována jako pararendzina modální. Půda byla hlinitá až jílovito-hlinitá a vykazující dobré vláhové poměry. V provedeném pokuse s těžkou půdou byl na podzim aplikován hnůj v dávce 40 t/ha, který poskytl zdroj snadno rozložitelné organické hmoty.

## 4.5 Odběr vzorků a použité diagnostické metody

Odběr půdních vzorků za účelem stanovení minerálních forem dusíku v půdě bylo postupem dle vyhlášky č. 275/1998 Sb. pro agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP), transport a uchování vzorků do laboratoře podle Baiera a kol. (1988), včetně odběrů vzorků nadzemních částí rostlin za účelem stanovení obsahu dusíku v rostlině, respektive úroveň jejich výživného stavu.

### 4.5.1 Postup při odběru vzorků půdy na obsah minerálního dusíku ( $N_{\min}$ )

Během odběru půdních vzorků byla dodržována zásada jejich reprezentativnosti, který charakterizoval stav vývoje a zásobenosti plodiny živinami, jaký byl na celém honu. K takovému to vzorku se docílí pomocí sondovací tyčí s minimálně 30 dílčími vpichy na ploše

kontrolního stanoviště, to představuje odběr cca. 200 až 300 g zeminy v definované hloubce ornice 0 - 30 cm. Před vlastním odběrem půdního vzorku bylo dbáno na to, aby byly odstraňovány posklizňové zbytky a zhruba 1 cm vrchní vrstvičky půdy a také zjišťována přítomnost hnojiva v podobě granulí. Následně odebraný vzorek půdy byl vložen do uzavíratelných igelitových sáčků s bezprostředním vytěsněním vzduchu ze sáčku a s nezbytnými popisky označující dané stanoviště, plodinu a datum odběru. Směr vlastního odběru byl veden kolmo až úhlopříčně pojezdu zemědělské techniky při ošetřování porostu (např. hnojení) a po převažujícím zastoupení genetického půdního typu a úrovně skeletovitosti (na převlhčených místech se půdní vzorky neodebíraly aj.).

Na některých stanovištích bylo nutné individuálně posuzovat další nespecifické nepříznivé vlivy na reprezentativnost půdního vzorku pro stanovení obsahu dusíku v půdě a tyto vlivy respektovat. Jednalo se o dodržení časového odstupu 3 - 4 týdnů od posledního organického a minerálního hnojení porostu, vzdálenosti od polního složiště a časového odstupu okolo 3 dnů od vydatnějších srážek apod. Vzorek zeminy se při transportu do laboratoře uchovával v přenosném chladícím boxu při teplotě 2 – 4 °C. Bezprostředně v den oděru se tyto vzorky podrobily homogenizaci a sušení.

Odběr půdních vzorků za účelem stanovení půdního minerálního dusíku ( $N_{\min.}$ ) byl u pšenice ozimé a kukuřice prováděn standardně 3x během vegetace v období fenologické fáze BBCH 17 – 50, což z tohoto pohledu v případě pšenice ozimé odpovídá vývojovému období počátku odnožování (6. – 7. pravých listů) a u kukuřice v období 6. – 7. pravých listů až počátku metání.

#### **4.5.2 Postup při odběru vzorků nadzemních částí rostlin**

Metoda odběru vzorků nadzemních částí rostlin (NČR) ozimé pšenice vycházela zejména z návodů uvedených v literatuře Baiera a kol. (1988) a v případě kukuřice podle pracovních postupů a kritérií firmy AGROEKO Žamberk spol. s.r.o. Tímto způsobem je míněn odběr vzorků rostlin jako celé nadzemní části (celých rostlin), avšak bez kořenů (odříznutí kořenů nad odnožovacím uzlem; u kukuřice v oblasti kořenového krčku), bezprostředně spolu je počítán počet odebraných rostlin ve vzorku (pro stanovení sušiny 100 rostlin, respektive 1 rostliny) a očištěním od zeminy a jiných nežádoucích příměsí.

Vzorky nadzemní části rostlin ozimé pšenice (PO) byly odebírány a prováděny pravidelně v průběhu vegetace od jejího nástupu do počátku kvetení a u kukuřice (KUK) od jejího nástupu do objevení 1. kolénka. Začátek odběrů vzorků nadzemní části rostlin PO lze kalendářně definovat jako od 24. března v roce 2015, 27. března v roce 2016 a 29. března v roce

2017, tj. období jarní regenerace až do období hmatatelného 1. kolénka každý týden v pondělí a od 1. kolénka 1x za 14 dní až do počátku kvetení. U KUK odběr vzorků nadzemní části rostlin začal v roce 2015 od 18. května., v r. 2016 od 23. května a v r. 2017 od 29. května.

V období sklizně ozimé pšenice, tedy v době plné zralosti byly odebírány vzorky rostlin za účelem stanovení výnosu při sklizni z 1 m<sup>2</sup> (4x 0,25 m<sup>2</sup>), které se nechaly přirozeně usušit a následně byly podrobeny laboratornímu výmlatu, rovněž jako u kukuřice, včetně hmotnosti vzorku.

#### **4.5.3 Chemické analýzy**

Pro chemické (anorganické) analýzy vzorků NČR a vzorků půdy byla využita nejbližší zemědělská akreditovaná laboratoř firmy EKO-LAB Žamberk s.r.o. (akreditována ČIA pod registračním číslem 1254). Rozbor nadzemních částí rostlin je akreditován pro standardní operační postup (metodika f. LECO), vzorky ozimé pšenice a kukuřice byly analyzovány na hmotnost sušiny 1 rostliny a přepočteny na 100 rostlin. Součástí každého měření sušiny ze vzorku NČR byla provedena analýza obsahu základních živin a sice N, P, K, Ca a Mg. Vlastní rozbor vzorků zeminy na obsah N<sub>min.</sub> je akreditován pro standardní operační postup (SOP) 251 a 252 (metoda JPP ÚKZÚZ Brno, 2004, analýzy půd III). Tyto odebrané vzorky půdy byly rozborovány spektrofotometricky na obsah minerálních forem dusíku v půdě.

#### **4.5.4 Vyhodnocení výsledků**

Po provedení chemických analýz byly výsledky seřazeny do tabulek, kde k jednotlivým stanovištím byly přiřazeny data týkající se předplodiny sledovaných plodin, aplikace organických a minerálních hnojiv. Na jednotlivé stanoviště byly navázané údaje o obsahu minerálních forem dusíku v půdě a výživný stav rostlin dusíkem.

Obsah dusíku v rostlině (výživný stav rostlin) byl vyjádřen v procentech v sušině a sušina byla vyjádřena hmotnostně v gramech. V obou případech sledovaných plodin byla sušina 100 rostlin přepočtena na sušinu 1 rostliny v gramech.

Též pro obě sledované plodiny byly prostřednictvím tabulek zpracovány výsledky monitoringu obsahu N<sub>min.</sub> v půdě a vyjádřena okamžitá zásoba přijatelného N podle kritérií Baiera a kol. (1988) za roky 2015, 2016 a 2017. Ke konkrétním obsahům N<sub>min.</sub> pak ve fenologické fázi BBCH 22 - 24, BBCH 30 - 31 a ve BBCH 49 - 51 byly na jednotlivých stanovištích uvedeny druhy použitých hnojiv, jejich celkové dávky a zhodnocen tak vliv hnojení na obsah N<sub>min.</sub> v půdě a výživný stav rostlin.

Podle originálního grafického znázornění koncentračních křivek pro různé výnosové hladiny (viz obr. č. 5) dle Baiera a kol. (1988) se hodnotila úroveň výživy rostlin dusíkem.

Vyhodnocení vztahu mezi výživářským modelovým výnosem a výnosem sklizňovým bylo uskutečněno metodou experimentálně statistických výpočtů korelace a regrese pomocí grafů v programu Microsoft Excel 2017. Také byl posouzen vliv průběhu počasí na výživný stav rostlin.

## **5 VÝSLEDKY**

V této části závěrečné práce jsou zahrnuty výsledky měření, získané v rámci monitoringu obsahu minerálního dusíku v půdě a rovněž monitoringu výživného stavu rostlin pšenice ozimé a kukuřice na kontrolních stanovištích ve východočeském regionu v letech 2015, 2016 a 2017. Hodnocení monitoringu bylo zaměřeno na obsah  $N_{\min}$  v půdě a jeho ovlivňování ročníkem (počasí) a dále výživný stav rostlin N.

V další části výsledků je vyhodnocen vliv způsobů zpracování půdy, resp. odlišného základního zpracování půdy a meziřádková kultivace silážní kukuřice se současnou aplikací kapalného dusíkatého hnojiva DAM 390 na dynamiku  $N_{\min}$ .

### **5.1 Vliv systému hnojení a intenzity pěstování plodin na obsah $N_{\min}$ v půdě**

Nutnou součástí vyhodnocení vlivu systému hnojení a intenzity pěstování plodin na dynamiku  $N_{\min}$  v půdě byly odběry půdních vzorků ke stanovení jeho obsahu v půdě krátce po zimě, před vlastním prvním dusíkatým hnojením ve sledovaných letech 2015, 2016 a 2017.

#### **5.1.1 Pšenice ozimá**

Obsah minerálního dusíku se během pěstování ozimé pšenice v ornici v hloubce 0-30 cm krátce po zimě pohyboval v rozmezí 3,59 – 12, 26 mg N na 1 kg zeminy. Hodnoty vyšší než maximum rozhraní se vyskytovaly na stanovištích, kde se z agroekologických, technických a organizačních důvodů spěchalo s hnojením těchto stanovišť. Jedná se konkrétně o stanoviště nacházející se v okresech Rychnova nad Kněžnou (Lukavice) v roce 2015, Ústí na Orlicích (Lukavice) v r. 2016 a v okrese Svitavy v r. 2017 na stanovištích v Opatovci a v Čisté u Litomyšle. Zásoby  $N_{\min}$  v ornici (0 - 30 cm) po zimě jsou znázorněny v tab. č. 16

**Tab. č. 16: Obsah N<sub>min.</sub> v půdě v hloubce 0 - 30 cm v období regenerace porostu pšenice**

Kontrolní stanoviště	Hloubka (cm)	2015	2016	2017
		N <sub>min.</sub> (mg/kg)	N <sub>min.</sub> (mg/kg)	N <sub>min.</sub> (mg/kg)
Trstěnice	0-30	5,48	3,64	6,92
Lukavice RK	0-30	29,33	12,26	11,48
Lukavice UO	0-30	5,77	21,17	8,92
Opatovec	0-30	9,88	4,59	7,16
Čistá	0-30	4,14	4,58	4,92
Žichlínek	0-30	3,59	4,53	5,21

Monitoring obsahu N<sub>min.</sub> v půdě byl proveden za vegetace porostů ozimé pšenice a kukuřice ve třech letech, tj. za vegetace roku 2015, 2016 a 2017. V obou sledovaných plodinách se pro sledování dynamiky obsahu N<sub>min.</sub> v půdě odebíraly půdní vzorky z ornice (0 - 30 cm) a u kukuřice pak z hlubších vrstev půdy, tedy podorničí (30 - 60 cm) celkem v 10 porostech. Ve znázorněných tabulkách 17 – 19 písmenko „n“ vyjadřuje počet stanovišť (počet měření), kde na dané kontrolní stanoviště bylo aplikováno dané hnojivo. Monitoringem bylo zjištěno, že celková dynamika N<sub>min.</sub> v půdě v porostech pšenice ozimé, kterou znázorňují tabulky č. 17 a 18, byla ovlivněna dávkou a formou hnojiva při přihnojování porostů během vegetace. Dále také intenzitou mineralizace organické hmoty v půdě, např. aplikovaných statkových hnojiv nebo nepřímo posklizňovými zbytky předplodiny.

**Tab. č. 17: Vliv aplikace regenerační dávky dusíku v minerálních hnojivech na obsah N<sub>min.</sub> v půdě v porostech ozimé pšenice**

Rok	Hnojivo	Před hnojením (BBCH 22-24)			14. den po hnojení (BBCH 30)		
		n	obsah N <sub>min.</sub> (mg/kg)	hodnocení (kategorie)	n	obsah N <sub>min.</sub> (mg/kg)	hodnocení (kategorie)
2015	LAV 27	3	7,69±3,7	M	3	14,62±4,38	S
	LAD	2	16,74±17,8	S	2	18,48±3,7	S
	SH 24 - 12S	1	5,48	VM	1	21,37	S
2016	LAV 27	3	10,19±7,9	S	3	19,71	S
	LAD	2	8,42±5,4	M	2	16,75±13,4	S
	SH 24 - 12S	1	7,93	M	1	5,88	VM
2017	LAV 27	4	38,82±15,49	D	4	28,9±14,62	D
	LAD	1	10,43	M	2	10,52±0,1	M
	SH 24 - 12S	1	35,3	D	1	9,85	M

Z výše uvedené tabulky č. 17 je zřejmé, že po aplikaci různých dusíkatých minerálních hnojiv po 14 dnech jejich aplikace ve fázi prvního kolénka se v obsahu N<sub>min.</sub> v půdě projevilo

pozitivně. K výraznějšímu zvýšení obsahu  $N_{\min}$  v půdě během regenerace porostů pšenice ozimé došlo v případech, kde byla aplikována hnojiva s obsahem  $NO_3^-$  a přídavkem vápníku (LAV), uvolněný z uhličitanu vápenatého ( $CaCO_3$ ). Pouze v roce 2015, 14 dní po aplikaci hnojiva SH 24 – 12 S došlo k majoritnímu zvýšení obsahu  $N_{\min}$  v půdě, zatímco v roce 2017 došlo k přesnému opaku. Kromě LAV i Ledek amonný s přídavkem dolomitického vápence (LAD) se ve všech letech kromě roku 2016 ukázal, že jeho aplikace během vegetace má poměrně příznivý vliv na obsah  $N_{\min}$  v půdě a následná jeho přijatelnost rostlinami.

V rámci monitoringu dynamiky obsahu  $N_{\min}$  v půdě během aplikace produkční dávky dusíku v minerálních hnojivech se provedly odběry půdních vzorků ve fázi 1. kolénka, před vlastní aplikací produkčního hnojení a posléze po 21. dnech hnojivového působení ve fázi kvetení.

**Tab. č. 18: Vliv aplikace produkční dávky dusíku v minerálních hnojivech na obsah  $N_{\min}$  v půdě v porostech ozimé pšenice**

Rok	Hnojivo	Před hnojením (BBCH 30 - 31)			21. den po hnojení (BBCH 49-51)		
		n	obsah $N_{\min}$ (mg/kg)	hodnocení (kategorie)	n	obsah $N_{\min}$ (mg/kg)	hodnocení (kategorie)
2015	LAV 27	1	17,72	S	1	14,33	S
	LAD	1	21,09	S	1	23,24	S
	DAM 390	3	12,33±5,6	S	3	7,9±1,3	M
	Močovina	1	15,87	S	1	9,89	M
2016	LAV 27	1	19,71	S	1	10,45	S
	LAD	1	26,21	D	1	23,22	D
	DAM 390	3	11,27±8,2	S	3	5,9±2,0	VM
	NP 24-16	1	19,22	S	1	8,24	M
2017	LAV 27	1	15,44	S	1	13,23±3,2	S
	DAM 390	3	37,45±7,8	D	3	11±5,4	S

Z výše uvedené tabulky č. 18 je patrné, že aplikace různých dusíkatých minerálních hnojiv (granulované, kapalné a různé N formy) má vliv na obsah  $N_{\min}$  v půdě. Ve všech případech za sledované období se po aplikaci produkční dusíkaté dávky zásoba  $N_{\min}$  v půdě snížila. Nejvíce se však obsah  $N_{\min}$  v půdě snížil tam, kde na stanoviště bylo aplikováno kapalné hnojivo DAM 390, kde také ovšem kromě způsobu aplikace a volba vhodných (DAMových) trysek, hraje do určité míry velkou roli aktuální počasí.

### 5.1.2 Kukuřice

Odběry půdních vzorků pro stanovení obsahu  $N_{\min}$  v půdě po zimě, resp. na jaře předcházejely prvním vlastnímu hnojení a setí silážní kukuřice. U kukuřice se odběry provedly

z ornice (0-30 cm) a z podorničí (30-60 cm) z důvodu mohutnější a hlubší architektury kořenové soustavy ve srovnání s pšenicí a možnost, tak porovnat dynamiku  $N_{min.}$  i v hlubších vrstvách půdy. Ve vrchních vrstvách půdy (ornice) se obsah  $N_{min.}$  pohyboval v rozmezí 5,87 – 12,58 mg N a v podorničí 5,09 – 16,39 mg N na 1 kg zeminy. V roce 2015 bylo v Opatově na podzim zapraven digestát v dávce 40 t/ha, ale neprojevil se v obsahu  $N_{min.}$ . Zatímco zapravení aplikační dávky kejdy skotu 30 t/ha na podzim se v Morašicích téhož roku pozitivně a výrazně projevilo na jeho obsahu v ornici (36,94 mg/kg) a v podorničí (40,28 mg/kg). Tabulka č. 19 ukazuje zásobu  $N_{min.}$  v půdě po zimě v různých hloubkách podle kontrolního stanoviště.

**Tab. č. 19: Obsah  $N_{min.}$  v půdě před setím kukuřice v hloubkách 0-30 cm a 30-60 cm**

Kontrolní stanoviště	Hloubka (cm)	2015	2016	2017	Hloubka (cm)	2015	2016	2017
		$N_{min.}$ (mg/kg)	$N_{min.}$ (mg/kg)	$N_{min.}$ (mg/kg)		$N_{min.}$ (mg/kg)	$N_{min.}$ (mg/kg)	$N_{min.}$ (mg/kg)
Trstěnice	0-30	8,98	11,05	10,16	30-60	6,75	16,39	9,68
Opatov	0-30	7,48	6,15	9,45	30-60	9,59	9,32	8,12
Morašice	0-30	36,94	5,87	59,09	30-60	40,28	5,09	22,61
Dolní Dobrouč	0-30	12,58	6,59	16,65	30-60	9,07	6,66	11,78

**Tab. č. 20: Vliv aplikace organických hnojiv spolu minerálními hnojivy na obsah  $N_{min.}$  v půdě v porostech silážní kukuřice**

Rok	Hnojivo	BBCH 14-15 (30 dní po hnojení)			BBCH 16-17 (45 dní po hnojení)			BBCH 19-31 (60 dní po hnojení)		
		n	obsah $N_{min.}$ (mg/kg)	H <sup>*</sup>	n	obsah $N_{min.}$ (mg/kg)	H <sup>*</sup>	n	obsah $N_{min.}$ (mg/kg)	H <sup>*</sup>
2015	digestát a amofos + močovina	1	31,36	D	1	33,17	D	1	42,86	VD
	digestát a amofos + DAM390	1	60,18	V D	1	122,04	VD	1	190,86	VD
2016	digestát + močovina	1	30,15	D	1	61,14	VD	1	58,5	VD
2016	digestát a amofos	3	32,37 ±2,6	D	2	54,75 ±7,9	VD	2	36,51 ±8,3	D
2016	nebyla aplikována žádná hnojiva	1	71,67	V D	1	54,67	VD	1	10,54	M
2017	digestát a amofos	3	35,99 ±17,9	V D	2	51,99 ±12,0	D	1	58,52	VD
2017	nebyla aplikována žádná hnojiva	3	79,04 ±47,8	V D	2	84,49 ±54,3	VD	1	20,48	D

H<sup>\*</sup>) – kritéria hodnocení  $N_{min.}$  v půdě podle Baiera a kol. (1988)

Tabulkou č. 20 jsou znázorněny systémy hnojení organického a minerálního hnojení a jejich následný vliv na dynamiku zásoby  $N_{\min}$  v půdě během vývoje a růstu porostů silážní kukuřice. Měření dohromady probíhalo ve třech fázích, ve fázi 4. – 5. vyvinutého pravého listu (BBCH 14 – 15), 6. – 9. vyvinutého pravého listu (BBCH 16 – 17) a ve fázi vyvinutého 9. pravého listu, počátku prodlužovacího růstu až do viditelného 1. kolénka (BBCH 19 – 31).

Hnojení digestátem ve většině případů bylo na stanoviště provedeno 5 – 7 dní před setím silážní kukuřice. V době vlastního setí se prostřednictvím secí kombinace do půdy vpravilo, kromě osiva kukuřice i dusíkato-fosforečné hnojivo pod obchodním názvem Amofos, a to tzv. pod patu. Hnojivo je tak uloženo v těsné blízkosti zasetého semínka. Způsobem hnojení pod patu mají semena k dispozici dostatečné množství nejdůležitějších živin, potřebné ke startu biochemických procesů (spolu s půdní vláhou), a tím vyklíčení semene a zvýšení vzcházivosti porostů. Tento způsob hnojení se na obsahu  $N_{\min}$  v půdě poměrně velmi dobře odrazil. Samotná aplikace digestátu a následné zasetí se současným hnojením Amofosem, došlo v průběhu vývoje a růstu ve fázi 6. – 9. pravého listu k výraznému navýšení jeho zásoby v půdě v letech 2016 z 32,37 na 54,75 mg/kg a v roce 2017 z 35,99 mg/kg se zásoba v této fázi růstu zvýšila na 51,99, což lze v obou případech hodnotit jako velmi dobrá zásoba  $N_{\min}$  v půdě. V Roce 2015 byla tato kombinace obohacena ještě o jedno hnojení navíc a sice hnojivem DAM 390 v podobě postřiku ve výšce porostu 30 cm. Zde se obsah minerálního dusíku v půdě majoritně zvýšil z 60,18 na 122,04 mg/kg a ve fázi prodlužovacího růstu se v půdě se nacházelo ještě více  $N_{\min}$ , 190,86 mg/kg.

## **5.2 Vliv způsobů zpracování půdy na dynamiku obsahu $N_{\min}$ .**

Zde je vyhodnocen vliv odlišného základního zpracování půdy dlátovým pluhem spolu s porovnáním účinnosti zapravení hnoje radličným pluhem, resp. orbou stupňovité dávky hnoje skotu na dynamiku obsahu minerálního dusíku v půdě.

### **5.2.1 Vliv odlišné základní přípravy půdy na dynamiku obsahu $N_{\min}$ .**

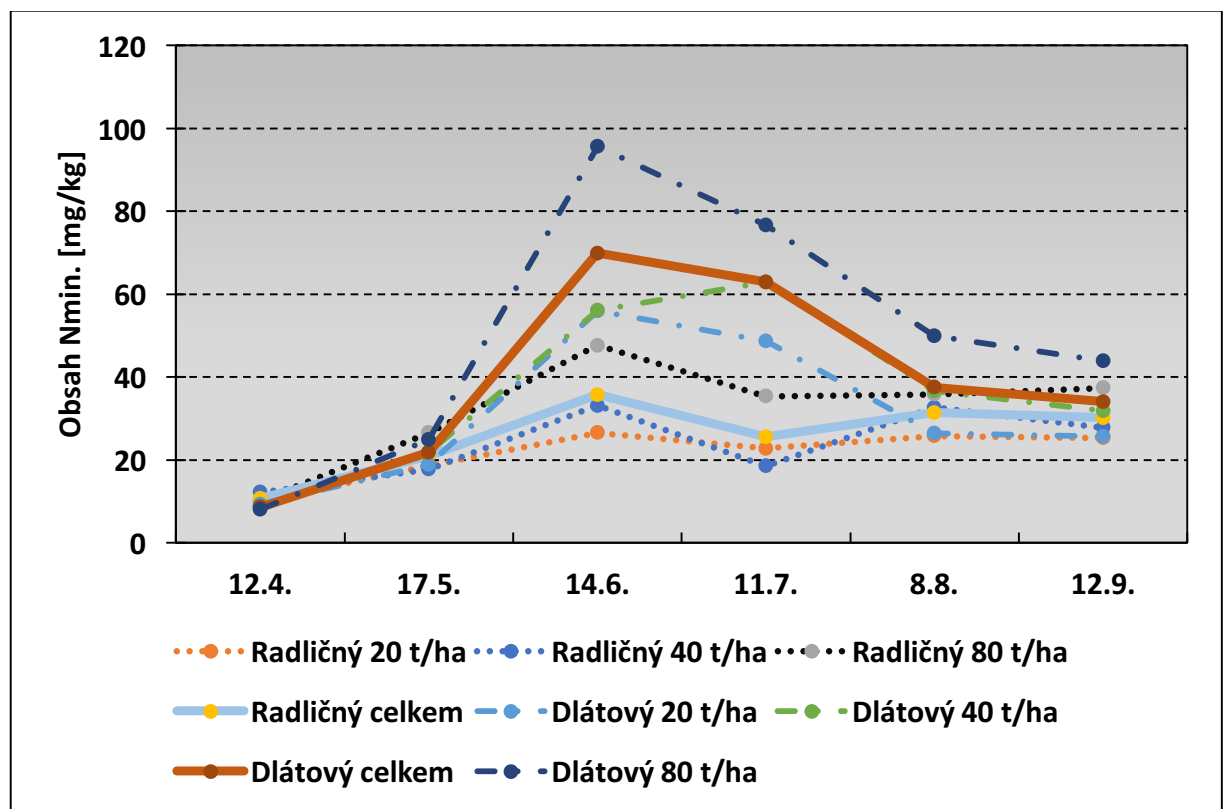
Zorání hnoje radličným pluhem docházelo (viz graf č. 3) při všech zvolených aplikačních dávkách (20, 40 a 80 t/ha) k významně nižšímu uvolnění minerálních forem dusíku ( $N_{\min}$ ) v půdě, oproti jeho zpřístupnění po zapravení hnoje dlátovým kypřením. Nástup mineralizace a uvolnění  $N_{\min}$  v půdě byl zpočátku po 35 dnech po aplikaci a okamžitým zapravení pozvolný a vykazoval zanedbatelné rozdíly mezi orbou (v průměru 30 kg/ha) a dlátovým kypřením (v průměru 36 kg/ha). Později po 63 dnech po aplikaci však po lepším prohřátí více provzdušněné půdy po dlátovém kypření, nastoupila zřejmě očekávaná intenzivní



mineralizace a výrazný přírůstek obsahu  $N_{min.}$  v půdě dosahoval bezmála v průměru 230 kg/ha a pro porovnání v méně provzdušněné půdě po orbě se zvýšil obsah  $N_{min.}$  jen v průměru o 96 kg/ha. Po 90 dnech po zapravení hnoje pokračoval trend zvýšené mobilizace  $N_{min.}$  v půdě a přírůstek dosahoval v průměru 216 kg/ha. Po orbě nastal trend poklesu (přírůstek pouze v průměru 57 kg/ha), obsah  $N_{min.}$  v půdě se mineralizací nezvyšoval a došlo tak pravděpodobně k posunu labilních forem  $N_{min.}$  infiltrací srážkami. Dne 8. 8., tedy po 118 dnech po aplikaci a zapravení, vykazoval přírůstek obsahu  $N_{min.}$  v půdě po dlátovém kypření rovněž vyšší hodnotu (v průměru 120 kg/ha), než po klasickém zapravení hnoje orbou (v průměru 86 kg/ha). V posledním sledovaném období po 153 dnech dosahoval přírůstek obsahu  $N_{min.}$  v půdě v průměru 80 kg/ha po dlátovém kypření a v průměru 65 kg/ha po orbě.

Nejvyšší zvýšení obsahu  $N_{min.}$  v půdě bylo po dlátovém kypření (v průměru o 196 kg/ha) při nejvyšší dávce hnoje 80 t/ha a naopak nejnižší zvýšení obsahu  $N_{min.}$  v půdě (v průměru o 46 kg/ha) nastalo po střední, v praxi obvyklé dávce hnoje 40 t/ha zapravené orbou.

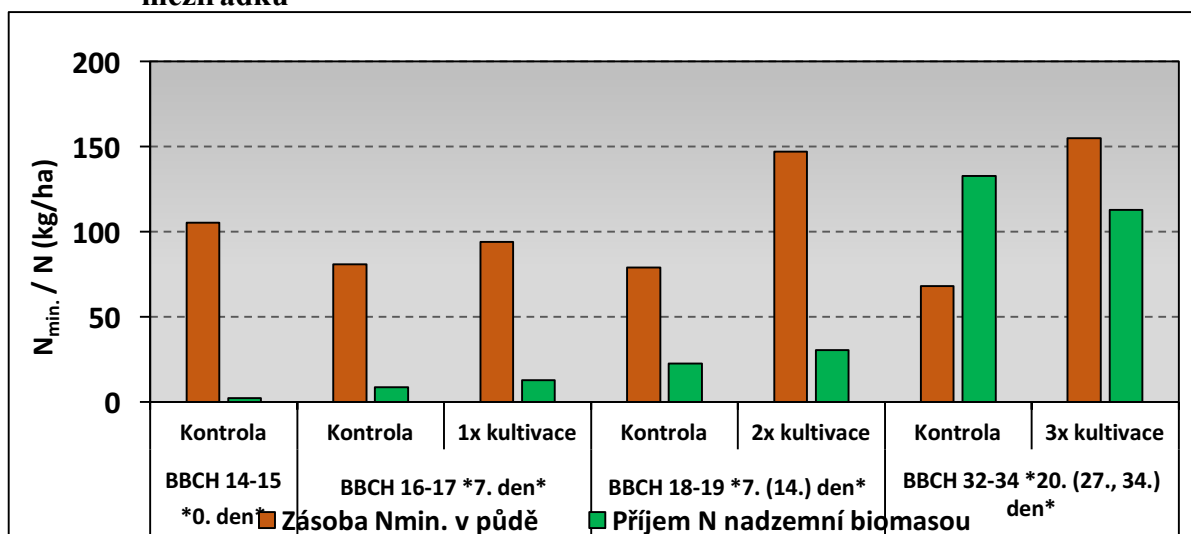
**Graf. č. 3: Dynamika mobilizace  $N_{min.}$  v půdě (0 – 30cm) po odlišném způsobu zapravení stupňové dávky hnoje skotu do půdy**



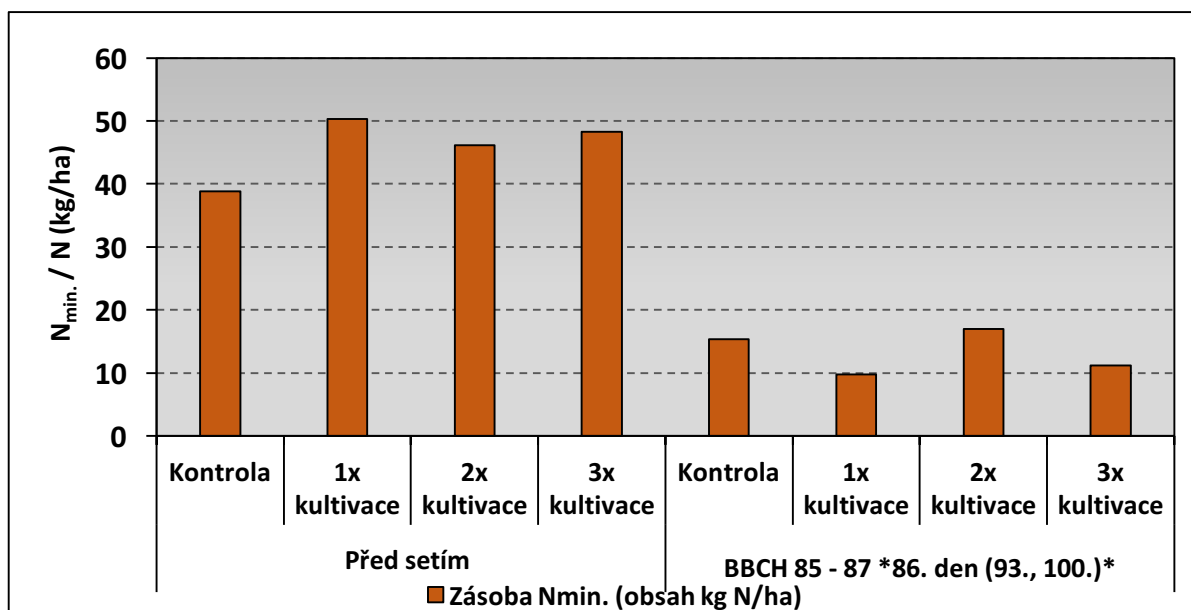
### 5.3 Vliv meziřádkové kultivace na obsah $N_{\min.}$ v půdě, příjem dusíku a výnos píce kukuřice

Po kultivaci kukuřice se významně zvyšoval obsah  $N_{\min.}$  v půdě (viz. graf č. 4). V časném termínu dne 30. 5. byla provedena první kultivace ve vyvinutém 4 – 5. listu kukuřice (BBCH 14 – 15). Následně 7. den, kdy porosty vyvinuly 6. – 7. list (BBCH 16 – 17), vykazovala kultivovaná půda v meziřádku o 13 kg/ha vyšší zásobu  $N_{\min.}$  než nekultivovaná kontrola. Rovněž bylo patrné, že mladé rostliny reagovaly na provzdušnění a zpřístupnění  $N_{\min.}$  v půdě a zvýšily příjem dusíku o 4 kg/ha oproti nekultivované kontrole. V období vyvinutého 6. – 7. listu byla provedena 2. kultivace a porosty dosáhly po následujících 7 dnech vývoje 8. – 9. listu. Po druhé kultivaci se dostavila extrémně intenzivní mineralizace dostupných organických forem dusíku v půdě. Zpřístupněno bylo pro porost kukuřice opakovanou kultivací 68 kg  $N_{\min.}$  na 1 ha. Zároveň příjem dusíku nadzemní biomasou kukuřice se po kultivaci 2x zvýšil o 8 kg N/ha oproti kontrole. Výkon mikrobiální mineralizace byl v tuto dobu významně vyšší než příjmová a asimilační schopnost rostlin, ačkoliv převládaly příznivé povětrnostní podmínky. Následovalo provedení třetí kultivace (pozdní termín) v 8. – 9. listu kukuřice, které se projevilo za 20 dní v období vytvořeného 2. – 4. kolénka (BBCH 32 – 34) zpřístupněním 87 kg  $N_{\min.}$  na 1 ha. V tomto období intenzivního růstu nadzemní biomasy však nastal pokles příjmové schopnosti rostlin na vícekrát kultivované půdě oproti nekultivované kontrole. Zřejmě kultivací vytvořená velmi dobrá zásoba  $N_{\min.}$  (obsah 50 mg/kg zeminy) způsobila dočasnou toxicitu nebo neatraktivnost pro část kořenů umístěných v povrchovém profilu kultivované půdy. Určitý vliv na nižší příjem dusíku rostlinami po pozdní a v pořadí 3. kultivaci mělo také vyšší vysychání povrchu kultivované půdy. Zásoba  $N_{\min.}$  v půdě před založením porostu ukazuje graf č. 5.

**Graf č. 4: Zásoba  $N_{\min.}$  v půdě a příjem N nadzemní biomasou po různé intenzitě kultivace meziřádku**



**Graf č. 5: Porovnání zásoby  $N_{min.}$  v půdě před založením porostu kultivované kukuřice a po sklizni**



### 5.3.1 Vliv kultivace a přihnojení dusíkem na výnos píce

Kontrolní nekultivovaný porost kukuřice, bez rozrušení slévavého povrchu těžké půdy, poskytl výnos sušiny píce 17,9 t/ha (48,4 t/ha v zelené hmotě) při vyšším obsahu sušiny (37 %), která je hraniční pro konzervaci. Porost zároveň vykazoval nejnižší nasazení ozrněných palic na rostlině a nejnižší hmotnost (velikost) zrna. Po ošetření porostu kukuřice 1x inovovanou kultivací se zvýšil výnos píce o 27 % při žádoucím nižším obsahu sušiny (35,5 %), vyšším výnosu škrobu a vyšší hmotnosti tisíce zrn (HTZ) oproti kontrole. Po 2x provedené kultivaci byl výnos píce zvýšen o 9 % při nižším (optimálním) obsahu sušiny (33,1 %), vyšším výnosu škrobu a hmotnosti zrn oproti nekultivované kontrole. Inovovaná 3x provedená kultivace během vegetace však způsobila depresi v růstu a na závěr ve výnosu píce, který se snížil o 10 %, zejména vlivem poklesu délky rostlin (v průměru o 15 cm) oproti kontrole. Kultivace však zvyšovala asimilaci a příjem živin rostlinami, které vykazovaly optimální obsah sušiny (33,2 %). Zároveň po 3x kultivaci bylo ve sklizni u některých rostlin patrné poškození (regenerace) pozdním termínem kultivace. Výnosy sušiny píce a škrobu jsou znázorněny v níže uvedené tabulce č. 21.

**Tab. č. 21: Výnos píce a škrobu silážní kukuřice v Křični 2017**

Ošetření porostů	Výnos sušiny píce (t/ha)	Obsah sušiny (%)	Výnos škrobu (t/ha)	Obsah škrobu (%)	Struktura		
					Délka rostlin (cm)	Palice (ks/rostlina)	HTZ (g)
0x kultivace (kontrola)	<b>17,9</b>	37,0	<b>6,6</b>	37,3	272	0,98	427
1x kultivace	<b>22,7</b>	35,5	<b>7,8</b>	34,6	268	1,04	521
2x kultivace	<b>19,5</b>	33,1	<b>6,8</b>	29,8	258	1,13	526
3x kultivace	<b>16,1</b>	33,2	<b>4,9</b>	30,2	260	1,18	497
1x kultivace s 40 kg N/ha	<b>16,7</b>	31,0	<b>5,7</b>	34,2	255	1,15	551
2x kultivace s 40+40 kg N/ha	<b>16,3</b>	33,1	<b>5,8</b>	35,7	235	1,13	531
3x kultivace s 40+60+90 kg N/ha	<b>18,3</b>	32,1	<b>5,3</b>	29,2	255	1,26	548

Ve stejných termínech byly variantně zkoušeny inovativní postupy přihnojení kukuřice dusíkem při kultivaci. Bylo provedeno přihnojení porostů hnojivem DAM 390 (390 g N/l) injektáží do blízkosti kořenové soustavy za krajními dlátkovými radličkami. Po 1x kultivaci s aplikační dávkou 80 kg N/ha byl zjištěn pokles výnosu píce o 7 % a po 2x kultivaci s dávkou 2x 50 kg N/ha poklesl výnos o 9 % oproti nekultivované a nepřihnojené kontrole. Aplikace dusíku při kultivaci se příznivě projevila pouze při variantě zajištění majoritní výživy rostlin dusíkem z postupného 3x přihnojení (základně aplikováno jen 10 kg N/ha) v dávkách 40, 60 a 90 kg N/ha při kultivaci s odstupem 7 dní. Zajištění výživy dusíkem injektážním přihnojením kultivací (do hloubky 10 cm) zvýšilo výnos píce o 2 % oproti nekultivované kontrole hnojené dusíkem před setím. Je patrné, že přihnojení kukuřice dusíkem při kultivaci nemusí automaticky přinášet na organicky hnojených nebo úrodných mikrobiálně činných půdách očekávané pozitivní uplatnění ve tvorbě píčního výnosu.

#### **5.4 Vztah mezi obsahem $N_{min}$ v půdě a příjem N rostlinami ozimé pšenice a silážní kukuřice**

V rámci monitoringu obsahu  $N_{min}$  v půdě ve třech letech sledování (2015, 2016, 2017) byl proveden i monitoring výživného stavu rostlin dusíkem, jakož to limitujícím prvkem ve výživě rostlin, který se především podílí na tvorbu výnosotvorných prvků.

Vztah mezi obsahem  $N_{min}$  v půdě a příjmem N nadzemní částí rostlin sledovaných plodin byl vyhodnocen metodou experimentálních výpočtů korelace a regrese, pomocí grafů regresní funkce, vyjadřující těsnost (blízkost) bodu ke křivce. Tento vztah je v grafech č. 6 – 8 a 9 - 11 znázorněn za jednotlivé roky monitoringu ve všech růstových fázích dohromady.

### 5.4.1 Pšenice ozimá

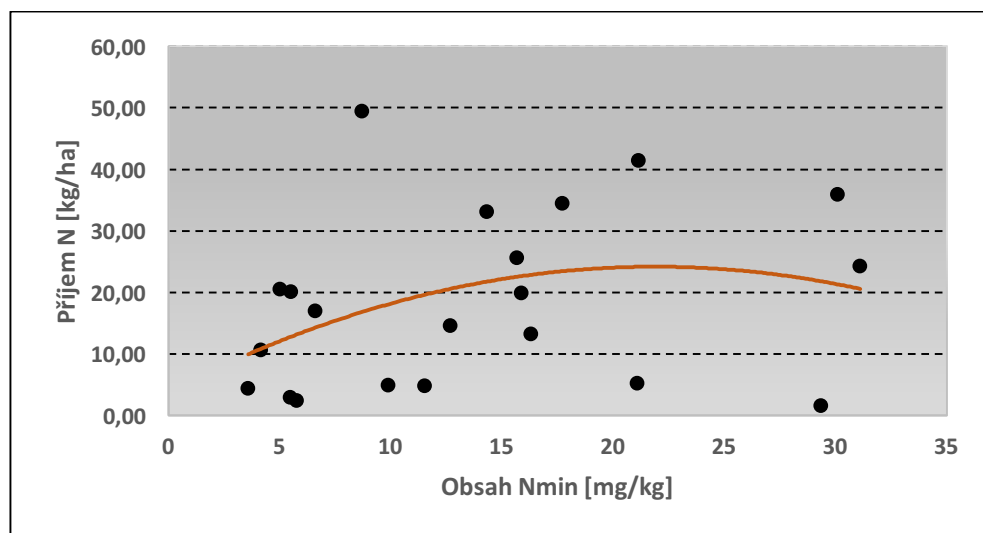
V předjaří (poslední dekáda března) byly odebírány vzorky zeminy, jejichž obsah  $N_{\min}$  v půdě byl hodnocen dle Baiera a kol. (1988) a v ten samý den byl porost pšenice ozimé ve fázi 17 – 21 (odnožování). Celkově bylo zjištěno, že v letech 2015 a 2016 se vyznačovali z pohledu tvorby  $N_{\min}$  a jeho dynamiky během vegetace velmi malými až malými zásobami  $N_{\min}$  v půdě, výjimkou stanovišť, kde vyšší koncentrace  $N_{\min}$  ve vzorku zeminy byl ovlivněn již aplikací regenerační dávky dusíku na porost. Biologický příjem dusíku rostlinami pšenice ozimé v letech 2015, 2016 a 2017 se nijak výrazně nelišil, v této fázi byl v rozmezí 4,48 – 4,68 kg N/ha.

Grafy č. 6 – 8 znázorňují dle roku, sledovaného tříletého období vztah mezi rozdílnými obsahy  $N_{\min}$  v půdě během celé vegetace a biologickým příjmem N nadzemní biomasy porostů pšenice ozimé. Jedná se o korelaci mezi  $N_{\min}$  v půdě a příjmem N rostlinami v jednotlivých letech, kde spojnice trendu ukazuje degeneraci (pád) nebo regresi (vzestup) polynomické křivky 2<sup>o</sup>.

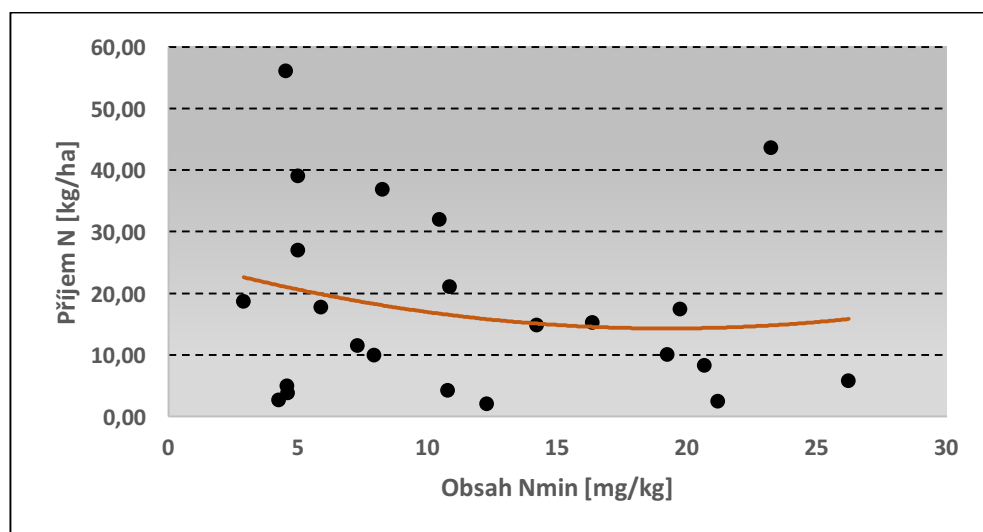
V roce 2015 byla v Lukavici RK zjištěna velmi dobrá zásoba  $N_{\min}$  v půdě ve výši 29,33 mg/kg, tento půdní vzorek byl kromě podzimního zapravení řepkové slámy, ovlivněn již ze spěchu regenerační dávkou 55 kg N/ha (LAD 27). V roce 2017 pak díky zaorání podzimní dávky digestátu ve výši 15 t/ha se na tomto stanovišti dostavila mírná mineralizace a zásoba  $N_{\min}$  vykazovala 49,41 mg/kg, tedy velmi dobrá. Vyšší obsahy  $N_{\min}$  v půdě vykazovalo v roce 2016 stanoviště v Lukavici ÚO, konkrétně 21,17 mg/kg, obsah, který byl ovlivněn (vliv leguminózou) kvalitní jetelovinou (vojtěška), jež žije v symbióze s hlízkovými bakteriemi fixujícími  $N_2$  a určité množství N zanechá pro následující plodinu v půdě. V posledním roce monitoringu (2017), byly zjištěny velmi dobré zásoby  $N_{\min}$  v půdě. Důvod velmi dobrých zásob (30,9 – 49 mg/kg) této živiny je nevhodný odběr půdních vzorků již po aplikaci regenerační dávky N. Takový to nevhodný odběr se týkalo všech stanovišť s pšenicí ozimou kromě stanoviště v Opatovci, kde na podzim před setím byla do půdy zapravena řepková sláma a zásoba  $N_{\min}$  na počátku vegetace činila 16 mg/kg (malá zásoba). Na počátku tvorby 1. hmatatelného kolénka (BBCH 30 – 31), tedy ve všech případech po aplikaci regenerační dávky byl zjištěn mírný vzestup obsahu  $N_{\min}$  v půdě a příjem N rostlinou byl v roce 2015 v průměru 19,45 kg/ha, v roce 2016 pouze 11,83 kg/ha a v posledním roce sledování příjem N rostlinou činil 15,17 kg/ha. V celém tříletém období se na téměř všech stanovištích nacházela střední zásoba  $N_{\min}$  v půdě. Velmi dobré obsahy  $N_{\min}$  v půdě byly zjištěny pouze v roce 2017 na stanovišti Žichlínek (39,08 mg/kg) a v Lukavici ÚO (44,68 mg/kg). Velmi dobrých zásob v Žichlínce se docílilo vhodnou hluboko-kořenicí předplodinou (kukuřice) a aplikací regenerační dávky dusíku LAD 27 v dávce 54 kg/ha a po přihnojení produkční dávkou dusíku

v podobě kapalného hnojiva DAM 390 s celkovou dávkou 55 kg N/ha. V Lukavici ÚO se této zásoby dosáhlo podzimní zaorávkou kvalitní legumiñozy (posklizňové zbytky vojtěšky) a regeneračním a produkčním hnojením N v hnojivu LAV 27 v celkové dávce 110 kg N/ha (55+55 kg/ha). V době sloupkování došlo k intenzivnímu růstu a vývoji porostu ozimé pšenice a bylo zjištěno, že tím koreluje i příjem N, které v roce 2015 činilo v průměru 49 kg/ha, v roce 2016 pak 42,93 kg/ha a v roce 2017, který byl v druhý polovině vegetace výrazněji srážkově vydatnější, rostliny pšenice přijaly 55,46 kg N/ha. Za celý tříletý monitoring v období nástupu metání (BBCH 47 – 50) byly zjištěny dobré zásoby  $N_{min}$  v půdě. Pouze v roce 2017, jedno stanoviště (Lukavice ÚO) vykazovalo velmi dobrou zásobou  $N_{min}$  v půdě. V souhrnu let, vyplývá, že obsah  $N_{min}$  v půdě a příjem N rostlinami pšenice ozimé je dominantně ovlivňován vláhovými poměry v půdě.

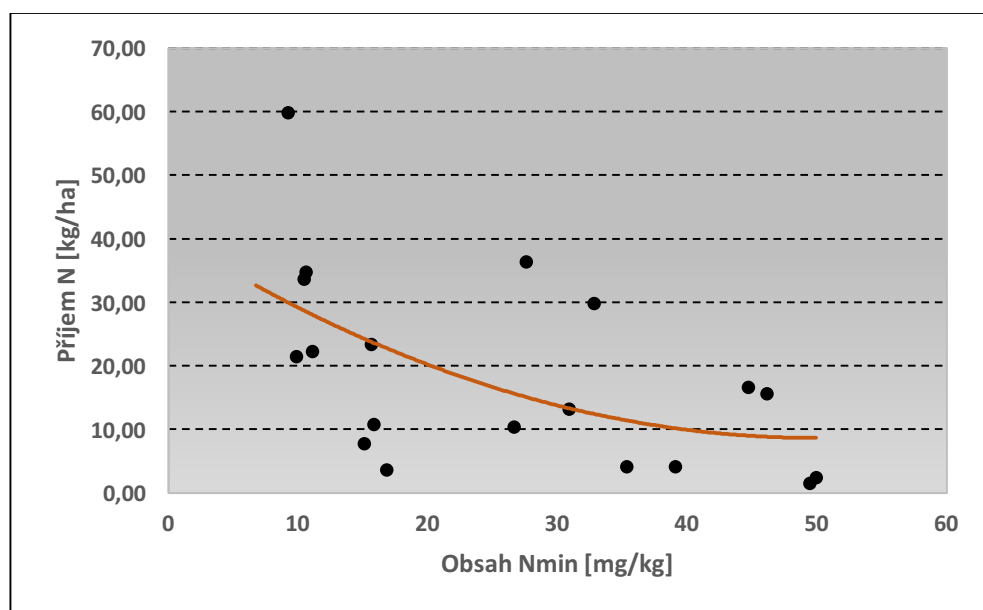
**Graf č. 6: Vztah obsahu  $N_{min}$  v půdě a příjem N rostlinami ozimé pšenice v roce 2015**



**Graf č. 7: Vztah obsahu  $N_{min}$  v půdě a příjem N rostlinami ozimé pšenice v roce 2016**



**Graf č. 8: Vztah obsahu  $N_{min}$  v půdě a příjem N rostlinami ozimé pšenice v roce 2017**



#### 5.4.2 Kukuřice

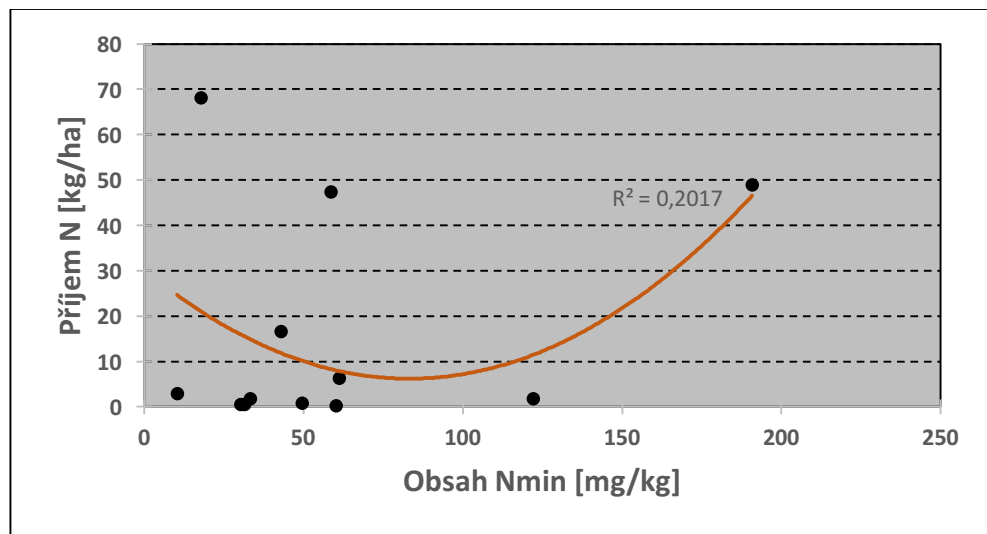
Kukuřice ve srovnání s pšenicí ozimou vytváří mohutný kořenový systém, který jí umožňuje dobře využívat živiny, především dusík z hlubších vrstev půdy. Hloubka půdního profilu, odkud dochází k odběru živin, včetně dusíku se během vegetace mění. Na jaře v letech 2015, 2016 a 2017 se před setím kukuřice na stanovištích v Trstěnicích, Opatově a Dolním Dobrouči zásoba  $N_{min}$  v ornici pohybovala v rozmezí 5,87 – 16,65 mg/kg. Pouze stanoviště v Morašicích (2015 a 2017) vykázalo velmi dobrou zásobu  $N_{min}$  v půdě, která byla ovlivněna zaoráním podzimní aplikace kejdy skotu v dávce 30 t/ha, což poskytlo mikroorganismům zprostředkovávající mineralizaci, zdroj rychle rozložitelné organické hmoty a zásobu zvýšila v rozmezí na 36,94 – 59,09 mg/kg. Na kontrolních stanovištích, kde byl aplikován digestát v dávce 30 – 40 t/ha byl následně diskovým kypřičem zapraven. Tato operace byla provedena na jaře cca 1 týden před vlastním setím kukuřice. Během vlastního setí byly prostřednictvím souběžné aplikace hnojiv pomocí secí kombinace použity i minerální hnojiva, jedná se o dusíkato-fosforečné hnojivo Amofos, které bylo aplikováno pod patu, tj. v blízkosti osiva v dávce 12 kg/ha. Na některých ze sledovaných stanovišť v tříletém období dále byla následně (těsně po zasetí nebo během vegetace ve výšce porostu 30 cm) aplikována močovina na povrch půdy v různých dávkách 78 – 115 kg/ha. V počátku vegetace 3. – 4. vyvinutého pravého listu (BBCH 13 – 14) vykazoval porost kukuřice na všech sledovaných kontrolních stanovištích velmi pomalý růst a vývoj, zároveň docházelo k nízkému odběru  $N_{min}$  v půdě, jehož obsah činil 30 – 60 mg/kg. Porosty kukuřice na stanovištích v roce 2015 (Opatov a Trstěnice) se zásobou  $N_{min}$  pohybující se kolem 30 mg/kg přijaly v průměru 0,54 kg N/ha a

v následujících letech pak v průměru 0,97 kg N/ha. V pokročilé fázi růstu v období vyvinutého 6. – 9. listu (BBCH 16 – 17), téhož roku byly zjištěny obsahy  $N_{\min}$  v půdě zdvojnásobené, tedy 60 – 120 mg N/kg. Na stanovišti v Opatově, kde byl obsah  $N_{\min}$  v půdě stanoven ve výši 61, 14 mg/kg byl příjem N rostlinou nejvyšší a sice 6,36 kg/ha. Na tomto stanovišti byl na podzim aplikován digestát v dávce 40 t/ha a na jaře močovina s Amofosem v celkové dávce dusíku 127 kg/ha. V Dolním Dobrouči byl zjištěn nejvyšší obsah  $N_{\min}$  v půdě, kde však zároveň příjem N rostlinou byl nejnižší (1,78 kg/ha), zatímco v roce 2016 a 2017 na témže stanovišti porost přijal více než 13 kg N/ha. Na stanovišti v Morašicích v roce 2015 byla stanovena velmi malá zásoba  $N_{\min}$  v půdě (10,32 mg/kg), kde byl na podzim zaorán pouze digestát v dávce 40 t/ha s jarním hnojením močoviny a Amofosu v porovnání s rokem 2017, jenž na podzim místo digestátu byla zaorána kejda skotu, dále také na jaře před setím aplikován digestát plus stejná dávka a druh minerálních hnojiv a obsah  $N_{\min}$  v půdě byl navýšen na 138,31 mg/kg, což lze hodnotit jako velmi dobrou (luxusní) zásobu. Ve fázi intenzivního růstu rostlin kukuřice, hmatatelného 1. kolénka (BBCH 31 – 32) byl zjištěn výrazně vyšší příjem N nadzemní biomasou, který v roce 2015 v průměru činil 45,26 kg/ha, v roce 2016 70 kg/ha a v roce 2017 pouhých 23 kg N/ha. V posledním roce sledování došlo v období této fáze ke spadu velkého množství srážek a díky nimž zásoba  $N_{\min}$  v půdě nekorespondovala s příjmem N rostlinou. Nejnižší biologický příjem N však vykazovalo stanoviště v Morašicích 13,31 kg/ha, zároveň byl ve stejné době stanoven i obsah  $N_{\min}$  v půdě ve výši 138,81 mg/ha. Na tomto místě mohlo v rhizosféře dojít k intoxikaci kořenů vysokým obsahem této živiny, díky které porosty kukuřice zásobu  $N_{\min}$  v půdě ve svůj prospěch dostatečně nevyužili.

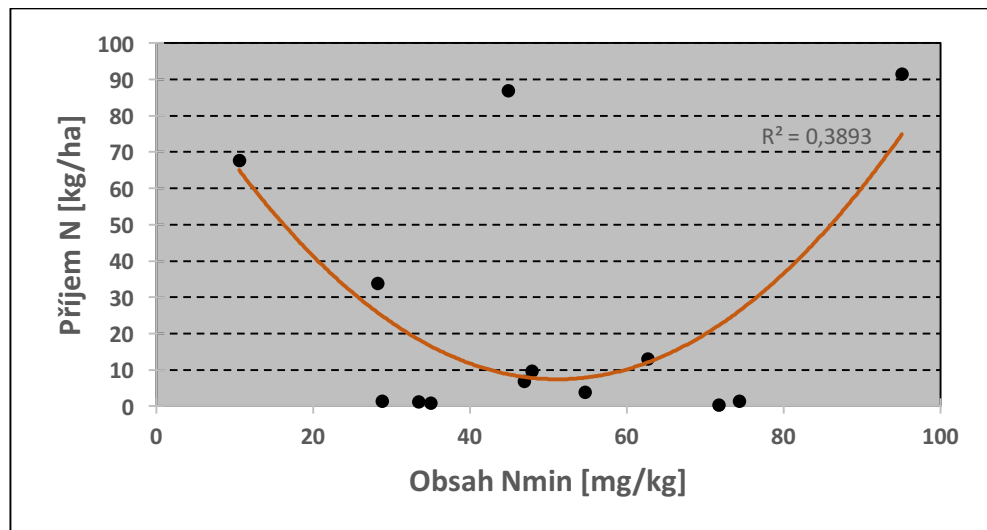
Souhrnem lze říci, že v roce 2015 vlivem nedostatku vody, potřebné kromě jiného pro dostatečné probíhání biochemických procesů v rostlině, nedocházelo k potřebnému osvojování  $N_{\min}$  v půdě z prostoru rhizosféry a důsledkem bylo jeho hromadění v půdě. Obdobně jako v roce 2017, ovšem nikoliv vlivem sucha, nýbrž naopak velkým množstvím spadáných srážek. Vztah  $N_{\min}$  v půdě během vegetace porostů kukuřice na biologický příjem N rostlinou je za tříleté období všech sledovaných kontrolních stanovišť znázorněn v grafech č. 9 – 11.



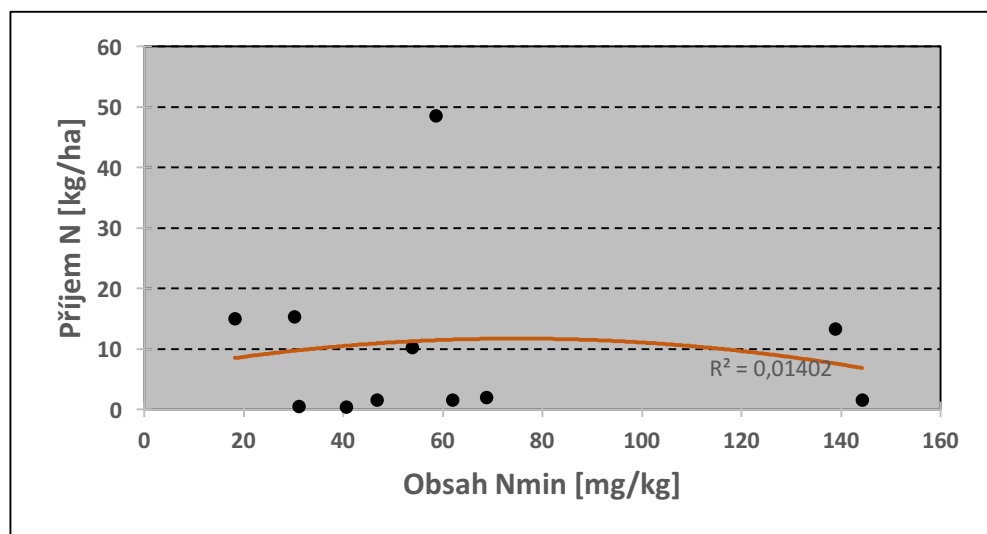
Graf č. 9: Vztah obsahu  $N_{min}$ . v půdě a příjem N rostlinami kukuřice v roce 2015



Graf č. 10: Vztah obsahu  $N_{min}$ . v půdě a příjem N rostlinami kukuřice v roce 2016



Graf č. 11: Vztah obsahu  $N_{min}$ . v půdě a příjem N rostlinami kukuřice v roce 2017



## 5.5 Vliv výživného stavu rostlin N na výnos sledovaných plodin

Zde je vyhodnocen vliv výživného stavu rostlin dusíkem na celkový výnos pšenice ozimé a silážní kukuřice za celý tříletý monitoring. Výnosy jednotlivých plodin v období sklizně byly u ozimé pšenice, tedy v době plné zralosti, odebírány vzorky rostlin za účelem stanovení výnosu při sklizni z 1 m<sup>2</sup> a následně byly podrobeny laboratornímu výmlatu, včetně hmotnostního parametru. Rovněž i u silážní kukuřice, která je sklizena podle nejideálnějšího obsahu sušiny (optimum 30 – 35 % sušiny), které je ovlivněno délkou vegetační doby, tedy volbou hybridu.

### 5.5.1 Pšenice

V době stanovování výnosu a po čase následného laboratorního výmlatu byly u pšenice ozimé stanoveny dva parametry a sice výnos hlavního produktu (HP) čili zrno a stanovení výnosu vedlejšího produktu (VP), který představuje v tomto případě slámu. V níže uvedené tabulce č. 22, jsou znázorněny výnosy hlavního a vedlejšího produktu jednotlivých kontrolních stanovišť za celé tříleté sledované období. Součástí tabulky je poslední měřený obsah dusíku v rostlinách v období fáze kvetení (v tab. jako „N ve fázi kvetení“). Ukázalo se, že i přes nepříznivý ročník 2015, byl na stanovištích výnos v průměru bez mála 8 t/ha zrna. Téhož roku v Trstěnici byly na podzim před zasetím pšenice ozimé, zaorány posklizňové zbytky jetele lučního, jehož kvalita a zanechání nafixovaného atmosférického dusíku v půdě hlízkovými bakteriemi, společně na jaře aplikovanými minerálními hnojivy (regenerační dávkou SH 24 – 12 S a dávkou produkční v hnojivu DAM 390) se pozitivně a rekordně odrazil na výnose zrna, který v daném roce činil 9,3 t/ha. Další rekordní výnosy byly stanoveny v roce 2017 na stanovišti v Opatovci s výnosem 9,9 t/ha a v Čisté u Litomyšle, kde výnos HP činil 11,1 t/ha. Lze také vidět, že vliv počasí ve všech letech pro výnos hlavního produktu nehrál příliš velkou měrou do jeho hmotnosti. Ovšem hustota porostu ve sledovaném tříletém období, tedy počet klasů na m<sup>2</sup> se výrazně lišil. Nejvyšší hustota klasů se nacházela na stanovištích s hlinitou až písčitohlinitou půdou v chladší lokalitě podhůří Orlických hor (Lukavice ÚO a RK) v počtu 648 - 700 ks/m<sup>2</sup> a v teplé oblasti Svitavska v Trstěnici v počtu 692 – 807 ks/m<sup>2</sup>. Na ostatních stanovištích téhož období bylo dosaženo v rozmezí 518 – 597 klasů na m<sup>2</sup>. Dále se vlivem ročníku a aplikovaného dusíkatého hnojiva lišila hmotnost tisíce semen (HTS). V roce 2015 byla dosažena HTS v průměru 39,8±7,5 g, v roce 2016 v průměru 35,2±4,8 a v roce 2017 byla stanovena HTS v průměru 39,5±7,3g. Hmotnost tisíce semen byla ve všech případech ovlivněna počtem klasů na m<sup>2</sup>, kdy jejich vyšší počet způsobilo redukcí HTS přímou měrou.

**Tab. č. 22: Výnosy hlavního (zrno) a vedlejšího (sláma) produktu pšenice ozimé za roky 2015, 2016 a 2017 Příjem dusíku v květu a výnos HP a HV**

Kontrolní stanoviště	2015 (sucho)			2016			2017		
	N ve fázi kvetení (kg/ha)	HP (t/ha)	VP (t/ha)	N ve fázi kvetení (kg/ha)	HP (t/ha)	VP (t/ha)	N ve fázi kvetení (kg/ha)	HP (t/ha)	VP (t/ha)
Trstěnice	205	9,30	5,8	690	6,49	3,3	644	7,5	4,1
Lukavice RK	243	7,43	4,0	153	6,28	4,0	234	6,9	4,9
Lukavice UO	305	7,10	5,0	320	3,90	3,9	298	5,8	3,6
Opatovec	700	7,49	3,0	369	9,20	3,0	223	9,9	5,8
Čistá 635	331	7,70	6,0	437	7,80	7,0	751	11,1	6,9
Žichlínek 9402/1	711	8,63	4,0	270	8,01	5,0	846	9,0	6,1

### 5.5.2 Kukuřice

Silážní kukuřice ve srovnání s pšenicí ozimou pro tvorbu své biomasy kromě živin, zejména pak dusíku, vyžaduje vyšší obsah půdní vláhy. V letech 2016 a 2017, které byly z hlediska srážkových poměrů příznivé se na jednotlivých kontrolních stanovištích dosahovalo dobrého průměrného výnosu 48 t píce na ha. Avšak vlivem nedostatečného množství srážek na všech stanovištích v roce 2015 se stěží dosáhlo podprůměrného výnosu píce, v průměru 27,5 t/ha (viz tab. č. 23). Na sledovaných stanovištích s kukuřicí byl často uplatňován tří stupňové hnojení před setím. Nejprve byl 1 týden před vlastním setím aplikován a následně zdiskován vedlejší produkt bioplynové stanice a sice digestát v dávkách 30 – 40 t/ha a následně Amofos pod patu a Močovinu na povrch půdy. Tento systém hnojení podpořil porost ve výživě dusíkem, jejichž dostatečný výživný stav touto živinou zabezpečil uspokojivý (40 t/ha) místy nadprůměrný výnos (52 t/ha).

**Tab. č. 23: Výnosy silážní kukuřice za léta 2015, 2016 a 2017**

Kontrolní stanoviště	2015 (sucho)		2016		2017	
	Výnos píce (t/ha)	sušina (%)	Výnos píce (t/ha)	sušina (%)	Výnos píce (t/ha)	sušina (%)
Trstěnice	30	37	52	34	41	40
Opatov	29	43	48	32	50	33
Morašice	30	39	47	33	52	33
Dolní Dobrouč	22	41	47	32	48	32

## 6 DISKUZE

Monitoring změn  $N_{\min.}$  v půdě a výživného stavu rostlin ozimé pšenice a kukuřice dusíkem byl uskutečněn v rámci agroekologického monitoringu vedeného metodou tzv. kontrolních stanovišť. Monitoring probíhal ve dvou oblastech s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami se zatížením zemědělské půdy živočišnou výrobou. Jedná se o chladnější oblasti podhůří Orlických hor (oblast ÚO a RK) a teplejší oblasti Hradeckopardubicka (SY).

Vedení monitoringu metodou tzv. kontrolních stanovišť, spočívá v 1 ha reprezentativní ploše, která byla zvolena na konvenčně obhospodařovaných pozemcích (půdního bloku podle systému evidence půdy LPIS) v provozech zemědělské prvovýroby. Na takovéto ploše byly odebírány vzorky zemin a rostlin, vždy ve stejné denní době a ve stejném odběrovém bodu. Tento způsob monitoringu výživy rostlin již popisuje také Baier a Baierová (1985); Baier a kol. (1988); Vaněk (1989); Zimolka a kol. (2005, 2008). Na základě aspektů výše uvedených autorů byly prezentované výsledky v této bakalářské práci tímto způsobem dosaženy.

Počátek sledovaného období monitoringu dynamiky změn obsahu  $N_{\min.}$  v půdě a dynamiku výživného stavu rostlin za vegetace, začalo rokem 2015 až do roku 2017. V rámci tohoto sledovaného ročního období, byly tyto zájmové prvky sledovány celkem na 6-ti stanovištích ozimé pšenice a celkem na 4 stanovištích silážní kukuřice.

Rok 2015 byl charakteristický velmi nepříznivým počasím v období pěstovaných plodin díky, kterému bylo nedostatečné množství spadných srážek a jejich následná infiltrace do půdy. Dalo by se předpokládat, že v důsledku extrémního sucha v tomto roce, nebudou z daleka dosaženy uspokojivé výnosy ozimé pšenice a silážní kukuřice. Ale i přes vliv nedostatečného množství vláhy pro porosty ozimé pšenice bylo dosaženo poměrně dobrých výnosů, v průměru 7,9 t/ha. Ovšem v případě silážní kukuřice, která potřebuje velké množství vody pro tvorbu nadzemní biomasy se vliv ročníku ve výnose píce velmi negativně odrazil. Ve srovnání s ostatními ročníky, bylo dosaženo výnosu píce v průměru 48 t/ha, zatímco vliv ročníku v roce 2015 umožnil sklídit ve výnosovém rozmezí pouhých 22 - 30 t/ha píce. Následující roky 2016 a 2017 byly v období vegetace sledovaných plodin srážkově vydatnější. Konkrétně rok 2017 v období druhé poloviny vegetace, byl výrazně srážkově vydatnější, což mohlo mít značný vliv na dosažené rekordní sklizňové výnosy ozimé pšenice, kde průměr sklizně činil 8,4 t/ha. Podprůměrných výnosů ozimé pšenice bylo dosaženo pouze v půdně-klimaticky horších stanovištích v podmínkách kambizemi v Ústí nad Orlicí v Lukavici v roce 2016 (3,9 t/ha) a 2017 (5,8 t/ha).

Z dosažených výsledků je zřejmé, že na obsahu  $N_{\min.}$  v půdě a jeho celkové dynamice

změn během vegetace se podílel vliv průběhu počasí v daném roce, forma a dávka použitého hnojiva a také sama pěstovaná plodina. Obsahy  $N_{\min.}$  v půdě po zimě se u pšenice ozimé pohybovaly celkem v přijatelných zásobách (5,87 – 11,05 mg/kg). V některých případech byla zásoba  $N_{\min.}$  na stanovištích až poměrně dobrá. V roce 2015 na Ústeckoorlicku, konkrétně v Lukavici byl zjištěn obsah  $N_{\min.}$  v půdě hodnocen jako střední (21,17 mg/kg) a na Rychnovsku v Lukavici zásoba  $N_{\min.}$  velmi dobrá (29,33 mg/kg). Obsah  $N_{\min.}$  v půdě mohl být ovlivněn již aplikovanou regenerační dávkou kvůli, které se z agroekologických, technických a organizačních důvodů spěchalo a v důsledku následně také vyšší výživný stav rostlin N na počátku vegetace. Z výsledků bylo patrné, že relevantní výsledek analýzy  $N_{\min.}$  v půdě byl zjištěn na těch stanovištích, kde vzorek půdy byl odebrán s časovým odstupem od posledního hnojení dusíkem, a to se konkrétně pozitivně projevilo v období regenerace porostu pšenice ozimé, zatímco ve srovnání produkční dávky N se jeho obsah v půdě nijak výrazně nezvýšil. Odstup od posledního hnojení při odběru půdních vzorků uvádějí také Baier a kol. (1988). Ti ve své publikaci doporučují provádět vlastní odběr min. 7 dní po použití minerálních hnojiv a 14 dní po aplikaci tekutých statkových hnojiv. Dále z pohledu použitých hnojiv se ukázalo, že vyšší úroveň obsahů  $N_{\min.}$  v půdě byly na stanovištích po kvalitních porostech leguminóz (jetele a vojtěšky) a organickém hnojení. Dynamika  $N_{\min.}$  a jeho celkové změny v půdě se po aplikaci různých druhů dusíkatých minerálních hnojiv lišily. Při podrobnější zhodnocení vlivu a dávek hnojiv bylo zjištěno, že při přihnojení porostů pšenice DAM 390 v každém roce nemělo ani v jednom případě vliv na obsah  $N_{\min.}$  v půdě. Domnívám se, že při optimálně zahoustlém porostu ozimé pšenice nedocházelo k transportu hnojiva na půdu. Po zjištění způsobu aplikace tohoto hnojiva se prokázalo, že ve většině případů bylo hnojivo aplikováno obvyklými tzv. nedamovými tryskami s přísádkou pesticidních látek, což mohlo způsobovat zachycení hnojiva na nadzemních částech rostlin a hnojivo se tak nedostalo v dostatečném množství na půdu a vlivem nedostavení se srážek mohlo dále docházet k volatilizaci  $NH_4^+$  složky hnojiva.

V případě silážní kukuřice po podzimní aplikaci statkových a organických hnojiv se na jaře obsah  $N_{\min.}$  pohyboval v rozmezí 5,87 – 12,58 mg/kg. V Opatově v roce 2015 byl aplikován digestát v dávce 40 t/ha a nejspíše kvůli jeho chudšímu složení v porovnání s ostatními organickými hnojivy, se co do živin obsah  $N_{\min.}$  v půdě výrazně nezvýšil. Pouze na stanovištích s hlinitou půdou v Morašicích, byl zjištěn vysoký (luxusní) obsah  $N_{\min.}$  v ornici v letech 2015 (36,94 mg/kg) a 2017 (59,09 mg/kg), kde na podzim byla aplikována kejda skotu v systému vlečných hadic, což mělo vliv na mineralizaci organické složky kejdy v půdě. Po aplikaci minerálních dusíkatých hnojiv se mohl dostavit priming efekt, tedy zintenzivnění mineralizace organické hmoty (Amofos a močovina). Tento možný jev také popisují Hamid a Ahmad (1993).

Dále se po zimě v těchto letech vyššího obsahu  $N_{\min.}$  v půdě nacházely na stanovištích, kde na podzim byla aplikována a následně zapravena do půdy statková a organická hnojiva.

Dále bylo monitoringem potvrzeno tvrzení Matuly (1977), který tvrdí, že o schopnosti a rychlosti příjmu dusíku rostlinami rozhoduje úroveň vyvinuté kořenové soustavy, dostatek vláhy a v neposlední řadě stupeň mineralizace dusíku ve které je nejdostupnější nitrátová forma dusíku.

Domnívám se, že pro hnojení plodin je nutné zohlednit poměr forem dusíku, respektive amonné ( $NH_4^+$ ) a nitrátové ( $NO_3^-$ ) formy v minerálních hnojivech. Pro přihnojování porostů během vegetace vzít v úvahu použití  $NO_3^-$  formy, kterou rostliny za dobrých vláhových podmínek v brzké době přijmou a podpoří tak jejich výživný stav dusíkem. Amonná forma by měla být určující zejména při stanovení základní dávky dusíku před založením porostů např. kukuřice, která je charakteristická pomalejším růstem a vývojem na počátku vegetace.

Z výsledků exaktního poloprovozního pokusu v Dlouhé vsi na účinnost zapravení hnoje odlišným základním zpracováním půdy a hnojivového působení stupňovité dávky hnoje skotu byl ověřen vliv na obsah  $N_{\min.}$  v půdě. Monitoringem bylo zjištěno, že po klasickém orebním způsobu zapravení hnoje došlo k významně nižší mobilizaci minerálních forem dusíku v půdě ve srovnání spolu se zapravením stejných dávek hnoje skotu dlátovým kypřičem. Po 35 dnech po aplikaci a okamžitém zapravení, zřejmě pozvolna nastávala mineralizace s nepatrnými rozdíly s v porovnání s orbou, ale po 63 dnech od aplikace však po lepším prohřátí více provzdušněné půdy dlátovým pluhem, nastoupila zřejmě očekávaná intenzivní mineralizace a výrazný přírůstek obsahu  $N_{\min.}$  (230 kg/ha) v porovnání s méně provzdušněnou půdou po orbě. Výrazný vliv teploty půdy na proces mineralizace také popisuje Černý (2017), který tvrdí, že při nízkých teplotách, kolem  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  je mineralizace nízká, zatímco s rostoucí teplotou se její rychlost zvyšuje, především v rozmezí  $30 - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

V rámci zpracování půdy způsobem meziřádkové kultivace porostu silážní kukuřice se souběžným přihnojením kapalného hnojiva byl zjištěn příznivý vliv na obsah  $N_{\min.}$  v půdě. Negativní vliv vysoké koncentrace dusíku v blízkosti kořenové soustavy na růst a vývoj rostlin nebyl pozorován a na jeho aktuální obsah v rýhách měl vliv počet aplikací, tedy četnost kultivace a schopnost příjmu rostlinami. Průběh počasí v daném roce (2017), charakteristický vydatnějšími srážkami, zřejmě snižoval koncentraci půdního roztoku a podporoval příjem dusíku. Vlhčí průběh počasí v intenzivním růstu kukuřice snižoval využitelnost dusíku z dodaného hnojiva přihnojením kultivací. Ukazuje se, že vliv prokypření zabezpečoval dostatečnou mineralizaci a uvolnění dusíku z půdní zásoby pro následné jeho využití rostlinami. Tuto problematiku vlivu zpracování půdy na živinný režim v půdě, zejména dusíku popisuje

také Šilha a kol. (2002). V období sklizně byly zjištěny zvýšené reziduální obsahy  $N_{\min}$  v půdě v prostoru středu meziřádku, a to poukazuje na malou efektivitu přihnojování porostů dusíkem při meziřádkové kultivaci.

## 7 ZÁVĚR

Na základě dosažených výsledků z tříletého monitoringu  $N_{\min}$  v půdě a výživného stavu rostlin dusíkem na území Východních Čech lze vyvodit následující závěry:

Počasí během vegetace mělo výrazný vliv na obsah  $N_{\min}$  v půdě a na příjem dusíku rostlinami. Dynamika zásoby  $N_{\min}$  v půdě výrazně korespondovala s vláhovými poměry. Na konci zimního zámruzu celého profilu ornice na počátku jarní vegetace byla zásoba  $N_{\min}$ , dle hodnocení Baiera a kol. (1988) dobrá až velmi dobrá.

Vnosy hnojiv zvyšovaly obsah  $N_{\min}$  v půdě a následně i příjem N rostlinami sledovaných plodin. Použití různého druhu minerálních a organických hnojiv, však nelze z dosažených výsledků vyvodit jednoznačný závěr.

Výživný stav rostlin dusíkem ovlivňuje aktuální obsah  $N_{\min}$  v půdě, které jsou ovlivňovány průběhem počasí, tedy množstvím spadáných srážek. Sucho způsobuje u sledovaných plodin snížení příjmu N a v opačném případě spadaného velkého množství srážek, vztah  $N_{\min}$  v půdě nehraje příliš velkou roli v příjmu N rostlinou.

Vliv výživného stavu porostů dusíkem pšenice ozimé na tvorbu výnosu, nebyl ve sledovaném tříletém období prokázán, zatímco u porostů silážní kukuřice vliv dusíkaté výživy působí na tvorbu výnosu.

Z dosažených výsledků poloprovozních pokusů na ověření účinnosti zapravení hnoje a hnojivého působení v technologii hlubokého kypření radličným a dlátovým pluhem v Dlouhé Vsi a meziřádkové kultivace silážní kukuřice v Křični a jejich vliv na obsah  $N_{\min}$  v půdě vyplývá:

Hnojivé působení aplikovaného hnoje v půdním prostředí bylo významně ovlivněno způsobem zapravení do půdy. Po zapravení hnoje dlátovým kypřením dříve započala a více než 100 dní probíhala intenzivnější mineralizace labilních organických látek v půdě s uvolněním  $N_{\min}$ .

Meziřádková kultivace více sekčním kypřičem příznivě působila na mobilizaci dusíku v půdě. Vlivem výrazného zpřístupnění půdních pórů pro vzduch, byla započata mikrobiální mineralizační činnost, jejímž výsledkem bylo uvolnění  $N_{\min}$  z organických vazeb v půdě.



## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Baier, J., Baierová, V. 1985. Abeceda výživy rostlin a hnojení. SZN. Praha. 364 s.
- Baier, J., Smetánková, M., Baierová, V. 1988. Diagnostika výživy rostlin. IVaV MZVŽ ČSR. Praha. 284 s.
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství (certifikovaná metodika). ČZU. Praha. s. 10. ISBN 978-80-213-2329-2
- Bielek, P. 1984. Dusík v pódě a jeho premeny. Příroda. Bratislava. 135 s.
- Bremner, J. M. 1965. Organic forms of nitrogen. In: Methods of soil analyses. 2<sup>nd</sup> Ed. Agronomy American Society of Agronomy. Wisconsin. 9. p. 1238-1255
- Dun-Yi, L., Wei, Z., Peng, Y., Xin-Ping, Ch., Fu-Suo, Z., Chun-Qin, Z. 2017. Soil application of zinc fertilizer could achieve high yield and high grain zinc concentration in maize. Plant and Soil. Vol. 411. Issue ½. p. 47-55. 9p.
- Dostál, J., Javor, T. 2017. Vliv technologií BEDNAR FMT na půdní vlastnosti, vegetační a výživný stav a výnos řepky a kukuřice. In: Sborník přednášek pro Zimní agrotechnické semináře. s. 9-34
- Edwards, R.A., Merrick M. J. 1995. Nitrogen control in bacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews. American Society of Microbiol. 59 p. 604-622.
- Faměra, O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. IVaV Mze ČR. Praha. 51 s. ISBN 80-7105-045-8
- Fecenko, J., Ložek, O. 2000. Výživa a hnojení polních plodín. Slovenská poľnohospodárska univerzita. Nitra. 442 s. ISBN 80-7137-777-5.
- Fecenko, J., Ložek, O. 1996. Agronomical Efficiency of Nitrogen – Zinc Fertilizer. Zestyzy problemowe postepów nauk rolniczych. s. 129-132. 434 s.
- Hamid, A., Ahmad, M. 1993. Priming effects of <sup>15</sup>N-labelled ammonium nitrate on uptake of soil N by wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. Biology and Fertility of Soils. 15 (4). 297-300.
- Hartmann, T. E., Yue, S., Schulz, R., Chen, X., Zhang, F., Müller, T. (2014). Nitrogen dynamics, apparent mineralization and balance calculations in a maize–wheat double cropping system of the North China Plain. Field Crops Research, 160, 22-30.
- Hoegen, B., W. Werner 1991. Chemische und mikrobiologische Charakterisierung des N-Haushalts langjährig begüllter bzw. mineralisch gedüngter Podsolflächen. VDLUFA-Schriftenreihe. 33. Kongressband. 263-268. ISBN: 3-922712-43-6.
- Hrůza, M. 2010. Podzimní aplikace minerálních hnojiv. In: Zemědělec - AgroFert NEWS. (18). 30. ISSN 1211-3816
- Jenkinson, D. S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. Plant Soil. 228 s. 3-15.

- Kolář, L. 1987. Výživa rostlin a hnojení (zvláštnosti vyšších poloh). Doplnkové skriptum. VŠZ. Praha. AF v Českých Budějovicích. 41 s. ISBN 978-80-7394-029-4
- Matula, J. 1977. Výživa rostlin. Institut výchovy a vzdělávání MZVŽ ČSR. Praha. 181 s.
- Mikanová, O., Šimon, T. 2013. Alternativní výživa dusíkem. VÚRV. Praha. 3 s. ISBN 978-80-7427-143-4.
- Miransari M., Mackenzie, A.F. 2010. Wheat grain nitrogen uptake, as affected by soil total and mineral nitrogen, for the determination of optimum nitrogen fertilizer rates for wheat production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 41 (13). 1644-1653.
- Moeller, K., Stinner, W. 2009. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*. 30 (1). p. 1-16
- Neuberg, J., Jedlička, J., Červená, H. 1995. Výživa a hnojení plodin. ÚZPI. VÚRV. Praha. 64 s. ISSN 0231-9470
- Lošák, T., Hlušek, J., Jůzl, M., Elzner, P., Musilová, L., Čepl, J., Kasal, P. 2014. Uplatnění dusíku a hnojiva s inhibitorem ureázy při hnojení brambor. *VÚBHB* 31 s. ISBN 978-80-86940-62-5
- Lošák, T., Hlušek, J., Žalud, Z., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M. 2008. Výživa rostlin v podmínkách měnícího se klimatu. In: *Bulletin sekce úřední kontroly. ÚKZÚZ*. Brno. 16 (1). S. 4-10. ISSN: 1212 – 5458
- Petr, J. (ed.) 1987. Počasí a výnosy. Státní nakladatelství. Praha. VÚRV. 368 s.
- Prokeš, K. 2009. „Kukuřice v praxi 2009“ - Sborník z odborného semináře. MZLU. Brno. 47 s. ISBN 978-80-7375-263-7
- Prugar, J. (ed.) 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. VÚPS. 326 s. ISBN 978-80-86576-28-2
- Richter, R., Hlušek, J. 1999. Výživa a hnojení rostlin – I. obecná část. Mendelova a lesnická univerzita. Brno. 171 s. ISBN 80-7157-138-5.
- Richter, R., Hlušek, J. 2003. Půdní úrodnost. ÚZPI. Praha. 44 s.
- Richter, R., Hlušek, J. 2006. Využití dusíku rostlinami z aplikovaných hnojiv. In: Sborník z konference „Nové trendy v používání dusíkatých hnojiv“. VÚRV. Praha. s. 5-14. ISBN 80-86555-96-8.
- Šabatka, J. 2017. Pohled na současné zemědělství oknem soukromého zemědělce, vývoj počasí a udržení struktury půdy a zadržení vody v půdě. In: Sborník přednášek pro Zimní agrotechnické semináře. s. 3-8
- Šašková, D., Štolfa, V. 1993. Trávy a obilí. Artia a Granit. Praha. 64 s. ISBN 80-85805-03-0.
- Šimek, M. 2000. Nitrifikace v půdě – terminologie a metodologie (studie). In: *Rostlinná výroba*. 46 (9). 385 – 395.

- Šilha, J., Vaněk, V., Štípek, K., Bazalová, M. 2002. Prostorová a časová heterogenita minerálního dusíku v půdě. In: Sborník z 8. mezinárodní konference „Racionální použití hnojiv“. ČZU. Praha. s. 128 – 132. 149 s. ISBN 80-213-0957-1
- Švehla, P., Tlustoš, P., Balík, J. 2004. Odpadní vody. PowerPrint. Praha. 46 s. ISBN 80-213-1169-X
- Takatoshi K., Krapp, A. 2016. Release Characteristics of Release controlled Nitrogen Fertilizer in Winter Wheat on Dry Land. *Plant Cell Physiology*. Vol. 57 Issue 4, p707-714. 8p (50). s. 714. ISSN 0032-0781
- Teesalu, T., Kulldkeep, P., Toomsoo, A., Laidvee, T. 2006. Content of organic carbon and total nitrogen in Stagnic Albeluvisols depending on fertilization. *Archives of Agronomy & Soil Science*. Vol. 52 Issue 2, p193-200 8p ISSN 0365-0340
- Tesař, S., Vaněk, V. 1992. Výživa rostlin a hnojení. VŠZ. Praha. SPS Agronomické fakulty. 151 s. ISBN 80-85467-99-2.
- Trčková, M., Raimanová, I., Svoboda, P. 2009. Listová výživa obilnin. VÚRV. Praha. 39 s. ISBN 978-80-7427-030-7.
- Šuk, J., Balík, J., Jakobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998. Kukuřice – kolektiv autorů. VP AGRO spol. s.r.o. Praha. 131 s. ISBN 80-86153-99-1
- Vaněk, P. 1989. Výsledky a využití kontrolních stanovišť diagnostiky výživy pšenice ozimé v podnicích okresu Semily. Pob. ČSVTS při Agropodniku – SP Lomnice nad Popelkou. 65 s.
- Vaněk, V. (ed.) 2007. Výživa a hnojení polních a zahradních plodin. Profí Press. Praha. 176 s. ISBN 976-80-86726-25-0
- Vaněk, V. (ed.) 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. 570 s. ISBN 978-80-200-2147-2.
- Vaněk, V. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profí Press. Praha. 224 s. ISBN 978-80-86726-79-3.
- Vaněk, V., Pavlíková, D., Balík J., Tlustoš, P. 1997. Dusík v půdě a jeho přeměny. Odborné konference. [online]. Agrární www portál. 27. listopadu 1997. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: <<http://www.agris.cz/clanek/118806/dusik-v-pude-a-jeho-premeny>>
- Vostal, J. (ed.) 1980. Přeměny a dynamika v půdách vybraných stanovišť. Závěrečná zpráva. Praha. 42 s.
- Vostal, J. 1994. Základy výživy a hnojení hlavních plodin. Agrofert. Praha. 94 s.
- Vrzal, J., Novák, D. 1995. Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceň. IVaV MZe ČR. Praha. s. 3 ISBN 80-7105-097-0
- Wessolek, G., Kaupenjohann, M., Dominik, P., Llig, K., Schmitt, A. 2008. Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17. Technische fakulta. Berlín. 162 s.

Young, J. L., Aldag, R. W. 1982. Inorganic forms of nitrogen in soil. In: Soil Nitrogen. American Society of Agronomy. s. 43-46.

Zimolka, J. (ed.) 2005. Pšenice - pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press. Praha. 180 s. ISBN 80-86726-09-6.

Zimolka J. (ed.) 2008. Kukuřice - hlavní směry a alternativní užitkové směry. Profi Press. Praha 5. 200 s. ISBN 978-80- 86726-31-1.

### **Normy a zákony**

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, v plném znění.

### **Internetové zdroje**

Balík, J., Černý, J., Tlustoš, P. Principy hnojení kukuřice. [online]. Úroda. 14. listopadu. 2001. [cit. 2017-11-24]. Dostupné z: <<http://uroda.cz/principy-hnojeni-kukurice/>>

Černý, J., Balík, J., Tlustoš, P., Němeček, R. Minerální a organický dusík v půdě. Odborné konference. [online]. Agrární www portál. 27. listopadu 1997. [cit. 2017-04-7]. Dostupné z: <<http://www.agris.cz/clanek/118821/mineralni-a-organicky-dusik-v-pude>>

ČHMÚ. Grafická ročenka, depozice dusíku na území České republiky. [online]. (cit. 2017-11-06). Dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/png/oIX10.png>>

Tylová, E. 2017. Minerální výživa rostlin. Elektronické výukové skriptu. Docplayer 25. dubna 2017. Cit [2018-03-21]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/47111070-Mineraln-prijem-asimilace-a-funkce-mineraln-lnich-prvku.html>.

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Frakce dusíku v půdě

Příloha č. 2 – Parametry základního zpracování půdy

Příloha č. 3 – Fotodokumentace zapravení hnoje radličným pluhem a dlátovým pluhem

Příloha č. 4 – Průběh počasí na pokuse ověření účinnosti zapravení hnoje dlátovým kypřením  
a vliv na dynamiku obsahu  $N_{\min.}$  v půdě

Příloha č. 5 - Schéma pokusné plochy ověření účinnosti zapravení hnoje a hnojivého působení

Příloha č. 6 – Přívod organické hmoty hnojem do půdy (složení hnoje)

Příloha č. 7 – Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období 2015, 2016

Příloha č. 8 – Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v roce 2017

### Příloha č. 1: Frakce dusíku v půdě

Frakce N	% celkového N
<b>I. Minerální dusík</b> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1-10
<b>II. Organický dusík (podle hydrolýzy v 6 mol/L HCl)</b>	90-99
<b>Organický dusík nehydrolyzovatelný</b> (N velmi těžko uvolnitelný chemicky i mikrobiologicky, často vázaný na aromatická jádra huminových kyselin apod.)	20-35
<b>Organický dusík hydrolyzovatelný</b>	65-80
NH <sub>3</sub> v hydrolyzátu (NH <sub>4</sub> – N uvolněný během hydrolýzy z amidů, aminokyselin a aminocukrů)	20-35
N alfa-aminokyselin (N ninhydrin pozitivních aminokyselin)	30-45
N aminocukrů	5-10
Zbytek N z hydrolyzátu (N purinových a pyrimidinových derivátů, N aminů. Cholinu aj.)	10-20

### Příloha č. 2: Parametry základního zpracování půdy

Pluh	Profil zpracování	Hloubka (cm)	Rychlost (km/h)	Záběr (cm)	Tažný prostředek
Radličný	Horizontální	25 - 27	10 - 11	280	Kolový traktor JOHN DEERE 8230 (230 k)
Dlátový	Vertikální	42 - 45	10 - 11	300	

### Příloha č. 3: Zapravení hnoje (dávka 40 t/ha) radličným (vlevo) a dlátovým (vpravo) pluhem (dávka 80 t/ha)



### Příloha č. 4: Průběh počasí na pokuse ověření účinnosti zapravení hnoje dlátovým kypřením a vliv na dynamiku obsahu N<sub>min.</sub> v půdě

Po celou dobu aplikace hnoje a následného zapravení převažovalo příhodné oblačné až mlhavé počasí s průměrnou denní teplotou vzduchu 7,6 °C (v 8 h = 8,4 °C, v 15 h = 11,2 °C, ve 22 h = 5,3 °C) a maximální denní teplotou 14,1 °C. Vlhkost vzduchu dosahovala celé dopoledne plného nasycení vodní párou, v 15 h poklesla vlhkost na 85 %. Teplota půdy dosahovala v době zapravení hnoje v 10 cm hloubce 7,8 °C a ve 30 cm hloubce 7,4 °C. Průběh povětrnostních podmínek byl zaznamenáván v období následného monitoringu pokusu,

odběrem vzorků zemin z profilu půdy pro stanovení agrochemických a vybraných fyzikálních vlastností, pro zájmovou lokalitu z nejbližší agrometeorologické stanice sítě firmy AGROEKO Žamberk spol. s r.o. z lokality Žamberk (393 m n. m.).

**Příloha č. 5: Schéma pokusné plochy ověření účinnosti zapravení hnoje a hnojivého působení**

Po aplikaci hnoje skotu bylo bezprostředně provedeno jeho zapravení orbou a následně dlátovým kypřením v časové prodlevě 0,25-1,5 hodiny od aplikace. Pracovní orgán otočného radličného pluhu byl vybaven standardní kulturní Dlátový pluh (kypřič) pro hluboké kypření byl vybaven standardním sériovým dlátem a přidavně byl na slupici namontován prototyp límce, zvyšující mísicí (zapravovací) činnost dláta na „semi“ parabolické slupici.

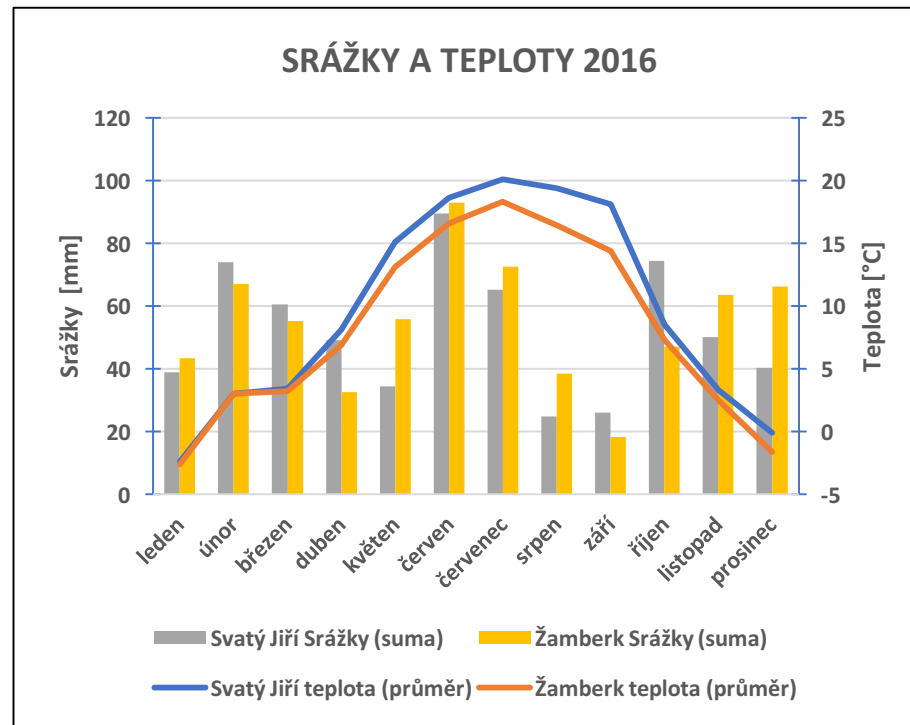
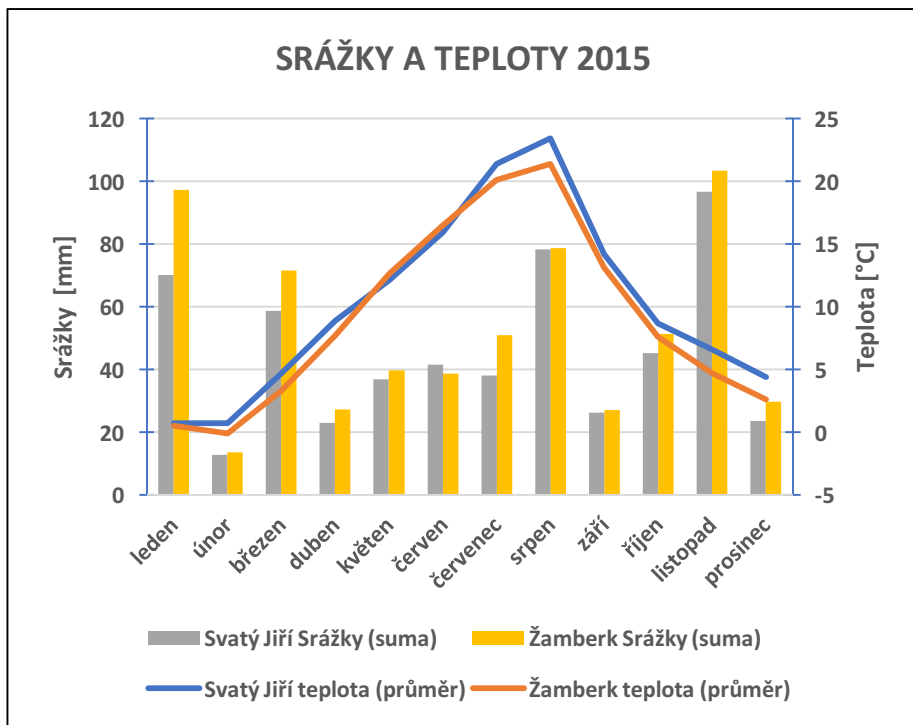
<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>1a</b>	<b>1b</b>	<b>3a</b>	<b>3b</b>	<i>50 m</i>
<b>Radličný pluh</b>	<b>Dlátový pluh</b>	<b>Radličný pluh</b>	<b>Dlátový pluh</b>	<b>Radličný pluh</b>	<b>Dlátový pluh</b>	
<b>40 t/ha</b>	<b>40 t/ha</b>	<b>20 t/ha</b>	<b>20 t/ha</b>	<b>80 t/ha</b>	<b>80 t/ha</b>	
<i>10 m</i>	<i>10 m</i>	<i>10 m</i>	<i>10 m</i>	<i>10 m</i>	<i>10 m</i>	

**Příloha č. 6: Přívod organické hmoty hnojem do půdy**

Hnojivo	Obsah (%)							pH
	Sušina	Organické látky	Popel	N <sub>tot.</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Hněj skotu (býků)	16,4	12,4	4,0	0,52	0,095	0,24	0,64	8,0
<b>Přívod sušiny (t/ha), organických látek (t/ha), popelovin (t/ha) a živin (kg/ha)</b>								
Dávka 20 t/ha	3,3	2,5	0,8	104	19	48	128	-
Dávka 40 t/ha	6,6	4,9	1,6	208	38	96	256	-
Dávka 80 t/ha	13,1	9,9	3,2	416	76	192	512	-

Hněj vykazoval obsah organické sušiny 75 %, což svědčilo o kvalitní fermentaci za vzniku stabilnějších organických látek. Hněj vykazoval co do normativu složení pouze 75 % obsahu sušiny, 80 % celkového dusíku (N<sub>tot.</sub>), 60 % fosforu (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a 84 % obsahu draslíku (K<sub>2</sub>O).

**Příloha č. 7: Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období 2015, 2016**





**Příloha č. 8: Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období 2017**

