

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**



**Jiří Balík, Jindřich Černý, Martin Kulhánek**

# **BILANCE DUSÍKU V ZEMĚDĚLSTVÍ**

**CERTIFIKOVANÁ METODIKA**

**Praha 2012**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



## **Bilance dusíku v zemědělství**

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Prof. Ing. Jiří Balík, CSc.  
Ing. Jindřich Černý, Ph.D.  
Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

Praha 2012

## **Bilance dusíku v zemědělství (certifikovaná metodika)**

### **Autoři**

prof. Ing. Jiří Balík, CSc.  
Ing. Jindřich Černý, Ph.D.  
Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

### **Oponenti metodiky**

prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc. – Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Ing. Michaela Budňáková – Ministerstvo zemědělství ČR

Certifikovaná metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR – Odborem rostlinných komodit pod č.j. 192935/2012-17221.

Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení projektu NAZV č. QH 91081.

© Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012

PRAHA 2012

**ISBN 978-80-213-2329-2**

## Obsah

Obsah.....	3
1. Cíl metodiky.....	5
2. Vlastní popis metodiky.....	5
2.1. Hodnocení bilance živin.....	5
2.2. Koloběh dusíku.....	10
2.3. Dusík v půdě.....	11
2.3.1. Celkový dusík.....	12
2.3.2. Mineralizovatelné formy dusíku.....	13
2.4. Vliv hnojení dusíkem na výnos plodin.....	15
2.5. Vliv hnojení dusíkem na obsah dusíku v rostlinách.....	17
2.6. Odběr dusíku a porovnání se vstupy.....	20
2.7. Výsledná bilance dusíku.....	21
2.8. Vyplavování dusíku.....	22
2.9. Ztráty do atmosféry.....	24
2.10. Další postupy v bilancích dusíku.....	24
2.10.1. Efektivita využití dusíku.....	27
3. Srovnání novosti postupů.....	34
4. Popis uplatnění metodiky.....	34
5. Ekonomické aspekty.....	34
6. Seznam související literatury.....	37
7. Seznam publikací, které předcházely metodice.....	38
Příloha č. 1. Charakteristika pokusných stanovišť.....	39



## 1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je poskytnout nové informace pro hodnocení hnojení polních plodin dusíkem (N) s ohledem na druh použitého hnojiva (organické, minerální), využití N porostem a vliv hnojení na výnos, při zohlednění půdně-klimatických podmínek stanoviště. V metodice jsou popsány specifika koloběhu dusíku v agroekosystému formy dusíku v půdě na základě stanovení obsahu N v půdě s využitím moderních analytických postupů a uplatnění těchto poznatků pro optimalizaci hnojení polních plodin dusíkem. Popsány jsou možnosti k výpočtu vstupů a výstupů v zemědělství a uvedeny jsou způsoby hodnocení bilance N a jeho efektivity s ohledem na výnos polních plodin a jejich odběr N.

Metodika vznikla za finanční podpory NAZV a je výstupem řešení projektu NAZV QH 91081 „Bilance dusíku při organickém a minerálním hnojení s využitím nových hodnot stanovených moderními analytickými metodami“ na České zemědělské univerzitě v Praze, příp. dalších národních či mezinárodních projektů řešených ve spolupráci s dalšími organizacemi a subjekty.

## 2. Vlastní popis metodiky

### 2.1. Hodnocení bilance živin

Pro vypracování metodiky byly využity výsledky sledování z dlouhodobých polních pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin (KAVR) ČZU v Praze. Využity byly nejen výsledky sledování během řešení projektu NAZV č. QH 91081, ale shrnuty byly i výsledky předchozích let trvání pokusů. Pro hodnocení bilance dusíku a jeho přeměn v půdě tak byla vytvořena časová řada výsledků, ze které lze správně vyvodit využití dusíku z aplikovaných hnojiv. (Charakteristika pokusů je uvedena v Příloze 1 této metodiky).

Publikované výsledky ukazují, že vliv hnojení na výnos může být rozdílný, neboť půdní podmínky, a průběh počasí v jednotlivých letech výrazně ovlivňují tvorbu výnosu (Benjamin et al., 2003, Cai et Quin, 2006), a proto jsou v tomto případě potřebná dlouhodobá sledování. Lokálně specifické vlivy polních pokusů jsou však často omezující podmínkou pro vyvození správných závěrů. Krátkodobý vliv může být často v nesouladu s výsledky dlouhodobých sledování. Polní pokusy jsou nejdůvěryhodnějším zdrojem těchto informací a mohou pomoci vyřešit nesrovnalost výstupů např. z nádobových pokusů (Leikam et al., 1983). Výhodou dlouhodobých pokusů je zajištění lepší kontroly nad zásobou živin a jejich cyklem a kvantifikace změn, ke kterým dochází v řádu desítek let, a jejich využití především pro hodnocení vzájemných vztahů na úrovni půda-živiny, jejich sorpce, koloběh v půdě a dále ve vztahu živiny-rostlina, jejich odběr a také ztráty do atmosféry a vyplavování z půd. Dlouhodobé pokusy umožňují pochopit cykly živin a následně ovlivňovat efektivnost využití živin a vyhodnotit jejich bilance.

Pro studium bilance živin v půdě existuje několik přístupů. Nejvhodnější přístup je výrazně řízený cíli a souvislostmi územního měřítka. Bilance živin vychází z rozdílů mezi vstupy a výstupy. Rozdílné produkční systémy mohou vést k rozdílným formám nerovnováhy, způsobující problémy zcela rozdílného charakteru. Zemědělské postupy s vysokými externími vstupy (např. v Evropě) mohou vést ke kladné bilanci živin v půdách, které přispívají ke znečištění vod, ovzduší apod. Naopak zemědělské postupy s nízkými vnějšími vstupy způsobují ochuzení zásoby živin v půdě se skutečně hrozcím omezením zemědělské produkce v budoucnosti.

Bilance živin v půdách je kvantifikována rozdílnými toky živin. Hlavní vstupy a hlavní výstupy jsou uvedeny v tabulce 1. Čistá bilance živin může být vypočtena z rozdílů mezi vstupy a výstupy integrovaná určitou oblastí a časem (Stoorvogel a Smaling, 1998):

$$\text{čistá bilance živin v půdě} = \int_{\text{oblast}} \int_{\text{čas}} \left( \sum_{i=1}^5 \text{In}_i - \sum_{j=1}^5 \text{Out}_j \right)$$

Tabulka 1: Hlavní parametry pro stanovení bilance živin.

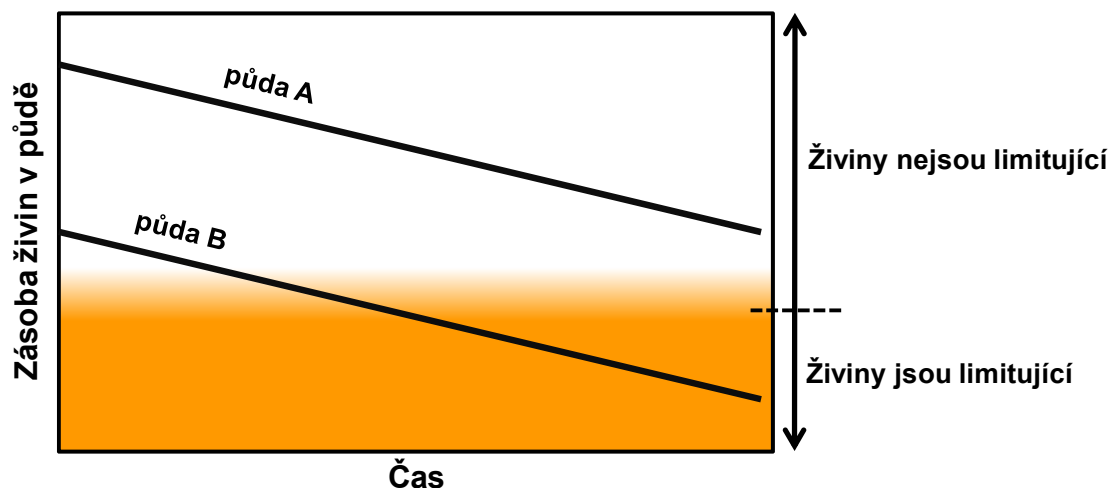
Vstupy (In)		Výstupy (Out)	
1	Minerální hnojiva	1	Odběr hlavními produkty
2	Organická hnojiva	2	Odběr vedlejšími produkty
3	Mokrá a suchá depozice	3	Vyplavování
4	Fixace (N)	4	Plynné ztráty
5	Sedimentace	5	Povrchový smyv a eroze

Stanovení jednotlivých toků bilance živin v půdě (tj. vstupů a výstupů) vyžaduje rozdílné přístupy. Hodnoty vstupů závisí významně na míře rozborů a dostupnosti dat. Snadno stanovitelná jsou například data výnosu plodin, obsahu živin ve sklizených produktech, ale méně dostupné jsou výsledky např. vyplavování živin, spady, fixace dusíku apod. Některá tato data ale mohou být stanovena s využitím převodních funkcí.

Bilance dusíku, na rozdíl od jiných živin však mohou být daleko složitější, s ohledem na různé důvody a metody aplikace dusíkatých hnojiv. Komplexnější analýza bilancí kvantifikuje relativní vliv jednotlivých vstupů a výstupů N, jejich distribuci, transformaci a toky dusíku mezi vnitřními a vnějšími složkami jeho koloběhu. Toto je nezbytné pro pochopení chování daného ekosystému. Nedostatečná hodnocení pak mohou limitovat využití takových postupů, jako je hodnocení hnojařských systémů a strategií, využití nových hnojiv, nebo jiných postupů a technologií.

Je nezbytné však upozornit, že například úbytek, nebo přebytek živin vypočtený jako čistá bilance jako taková, není dostačující pro popsání udržitelnosti daného hnojařského systému. Na obrázku 1 je schematicky znázorněn vliv obdobného stupně ochuzování půdy o živiny na úrodné půdě (A) a méně úrodné půdě (B). Stínovaná část představuje zásobu živin v půdě s obsahem živin, který se stává limitující pro růst plodin a poskytnutí požadovaného výnosu. Ačkoliv je u obou půd stejný pokles živin, půda B dosáhne limitní hranice obsahu živin v budoucnu dříve, než půda A, při stejném limitním obsahu živin pro rostliny.

Obr. 1: Vliv rychlosti úbytku živin na úrodných (A) a neúrodných půdách (B) (Bindraban et al., 2000)



Bilance dusíku jsou často využívány při hodnocení úrovně systémů v efektivitě využití dusíku a pro pochopení cyklu dusíku porovnáním vstupů, akumulací a výstupu v rámci toku dusíku systémem. Výsledkem může být deficit N v systému (vstupy < výstupy), a dochází tak k jeho vyčerpávání, nebo přebytek (vstupy > výstupy), kdy nastává obohacení systému. Tento přístup je využíván ve výzkumných studiích, které se zaměřují na popis toho, co se děje s nadbytkem dusíku v systému, nebo odkud je dusík uvolňován v případě negativní bilance. Zároveň jsou vyhodnocovány dlouhodobá sledování toku dusíku a jeho vlivu na půdu, rostliny a životní prostředí v agroekosystémech, případně přirozených ekosystémech. Na rozdíl od mnoha charakteristik popisujících využití dusíku, je hodnocení bilancí dusíku také vhodné pro systémy, kde není relativní rovnováha, tj. systémy, ve kterých převažuje akumulace, nebo ztráty.

Určení správné bilance mezi živinami aplikovanými do půdy a živinami odebranými např. plodinami je nezbytné k zajištění optimálního využití zdrojů a zamezení možného znečištění životního prostředí, často spojené s hnojením dusíkem.

Především se jedná o následující znečištění:

Povrchové vody: podíl na eutrofizaci, která ovlivňuje biodiverzitu, narušuje využití vody pro pitné účely a rekreační využití.

Spodní vody: vysoká koncentrace především nitrátů může znehodnocovat zdroje pitné vody.

Vzduch: znečištění oxidy dusíku, především oxid dusný ( $N_2O$ ), který je skleníkovým plynem a amoniak ( $NH_3$ ).

Na druhou stranu, pokud jsou živiny dlouhodobě odebírány z půdy ve větší míře, než jsou aplikovány, dochází ke snižování půdní úrodnosti a poklesu výnosu. Je proto důležité spočítat bilanci dusíku pro určení jeho nadbytku, nebo nedostatku v určité sledované oblasti.

Bilance dusíku může být vypočtena pro rozdílné časové období v jakémkoliv rozsahu od jednotlivých polí (půdních bloků), přes agronomický management a faremní bilance až po národní měřítko. Stupeň hodnocení závisí na účelu bilancí a na zdrojích dostupných ke sběru informací. Například dílčí bilance, které nezahrnují všechny vstupy, mohou být využity pro stanovení například potřeby hnojení, avšak za předpokladu, že jsou dostupné potřebné informace pro určení hlavních položek bilancí a do výpočtu jsou započítány. Zvláště v bilancích dusíku je řada položek, jejichž množství, s ohledem na probíhající procesy, je obtížné kvantifikovat. Denitrifikace, těkání amoniaku a oxidů dusíku, vyplavení živin, eroze, povrchový odtok, jsou přírodní procesy vyskytující se v ekosystému, ale jsou ovlivněny řadou faktorů, které i v dnešní době jsou v dlouhodobém výhledu obtížně předpověditelné, zvláště v lokálním měřítku. Jedná se například o množství srážek (nejen průměrné, ale především jejich rozložení během vegetace), teplota (nejen vzduchu, ale pro průběh přeměn v půdě pak především teplota půdy) apod. Je nezbytné si uvědomit, že ztráty způsobené těmito procesy jsou při hospodaření neodstranitelné, avšak je lze některými opatřeními minimalizovat. Dále je nezbytné v bilancích dusíku zvažovat jeho přeměny v půdě, které jsou rychlé a krátkodobé (přeměna mineralizovatelných forem N, obrat mikrobiální biomasy apod.), anebo dlouhodobé a pomalé (humifikační procesy).

Bilance počítané za účelem agronomických doporučení, nebo vládních politik jsou často založeny pouze na jednoduchých bilancích. Tyto jednoduché bilance a sledování jejich účinnosti jsou vhodným prostředkem pro rychlou diagnostiku situace v hospodaření se živinami na různých úrovních agroekosystému. Avšak zjištěné hodnoty nemohou dát odpověď na otázky o využití živin, ani o povaze probíhajících procesů, jsou pouze základem pro další sledování, doporučení změn technologie, výzkumná řešení či politická rozhodnutí.



Při zjišťování bilančních odhadů se používají následující hlavní typy bilancí:

**povrchová bilance** („soil surface balance“),

**faremní bilance** („farm balance“),

**bilance na jednotlivé pozemky** („field balance“).

### Povrchová bilance

Příkladem povrchové bilance je bilance živin podle metodiky Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD, Agriculture Directorate, Environment Division), jako součást systému agro-environmentálních indikátorů. Tzv. „soil surface balance“ je kalkulace, jejímž výsledkem je roční diference mezi vstupy živin do půdy a výstupy opouštějícími půdu. Při jejím použití **na celostátní úrovni a na úrovni krajů** jsou používány tyto položky a zdroje:

<b>Položky bilance</b>	<b>Zdroj údajů v ČR</b>
<b>Vstupy živin</b>	
Minerální hnojiva	statistika MZe ČR
Organická, příp. organominerální hnojiva	odhad spotřeby
Upravené kaly, sedimenty	odhad spotřeby na základě údajů o produkci kalů a jejich využití v zemědělství, podobně u sedimentů
Statková hnojiva	výpočet přívodu živin na základě údajů o stavech zvířat podle statistiky ČSÚ
Symbiotická fixace dusíku	výpočet podle ploch luskovin a jetelovin dle statistiky ČSÚ
Fixace N volně žijícími organismy	odhad 5 kg N/ha
Spady živin ve srážkách	průměrně 22 kg N/ha
Osivo a sadba	výpočet podle osetých nebo osázených ploch podle statistiky ČSÚ
<b>Výstupy živin</b>	
Odběr živin – hlavní produkt	výpočet podle sklizní dle statistiky ČSÚ
<i>Odběr živin – vedlejší produkt</i>	<i>na regionální úrovni se nehodnotí</i>

Rozdíl při bilancování na úrovni regionů a podniků je zejména v přístupu k hodnocení vstupů živin ve statkových hnojivech. V celostátní nebo regionální bilanci je ve vstupech započítán přívod živin jen ve statkových hnojivech živočišného původu. Tento přívod je vyjádřen v exkrementech, tedy bez steliva, po odpočtu ztrát živin ve stájích a při skladování statkových hnojiv. V souladu s tím pak není na straně výstupů započítán export živin ve vedlejších rostlinných produktech, které zůstávají buď na pozemku jako statková hnojiva rostlinného původu (sláma apod.), nebo se vracejí do půdy jako stelivo ve hnoji. Na úrovni podniku jsou potřebné údaje k dispozici, takže výpočet bilance může být přesnější. Přitom se musí zohlednit, jestli se vedlejší rostlinné produkty z pozemků odváží, nebo jsou zapravovány do půdy, příp. ponechávány na jejím povrchu.

Na úrovni podniku jsou používány tyto položky a zdroje:

<b>Položky bilance</b>	<b>Zdroj údajů</b>
<b>Vstupy živin</b>	
Minerální hnojiva	evidence hnojení
Organická, příp. organominerální hnojiva	evidence hnojení
Upravené kaly, sedimenty	evidence hnojení
Statková hnojiva	evidence hnojení
Symbiotická fixace dusíku	výpočet podle ploch luskovin a jetelovin
<i>Fixace dusíku volně žijícími organismy</i>	<i>na úrovni podniku se nehodnotí</i>
<i>Spady živin ve srážkách</i>	<i>na úrovni podniku se nehodnotí</i>
<i>Osivo a sadba</i>	<i>na úrovni podniku se nehodnotí</i>
<b>Výstupy živin</b>	
Odběr živin hlavním produktem	podniková evidence
Odběr živin vedlejším produktem	podniková evidence

Kladný výsledek bilance dusíku, tedy jeho bilanční přebytek, představuje ztráty. V přebytku jsou ještě zohledněny ztráty, vzniklé vlivem výše uvedených přeměn dusíků v půdě a procesy s přeměnami souvisejícími (denitrifikace, volatilizace, vyplavování apod.). Tyto tzv. „nevyhnutelné ztráty“ jsou v půdně-klimatických podmínkách a systémech hospodaření ČR uvažovány v průměrné výši 50 kg N/ha za rok. Přibližně 2/3 přebytku N tvoří ztráty do vod a 1/3 ztráty do ovzduší. V různých podmínkách hospodaření může hodnota i podíl uvedených ztrát kolísat, v závislosti na půdně-klimatických podmínkách stanoviště a průběhu počasí.

### **Bilance na jednotlivých pozemcích**

Tento způsob hodnocení přihlíží ke vstupům a výstupům dusíku na konkrétních pozemcích (půdních blocích). Z hlediska výpočtu bilance je tento způsob přesnější, neboť jsou posuzovány přesné vstupy a výstupy na každý pozemek, případně je možné zohlednit půdní vlastnosti ve vztahu k přeměnám dusíku v půdě, případně jeho ztráty. Vhodným doplňkem jsou výpočty efektivity dusíkatých hnojiv na konkrétním pozemku ve vztahu k výnosu pěstovaných plodin a odběru dusíku.

### **Faremní bilance**

V případě výpočtu faremní bilance je hodnocenou jednotkou farma, zemědělský podnik, příp. ve větším měřítku region, stát apod. Započítány jsou všechny toky živin vstupující do farmy a vystupující z farmy. Do vstupů je zahrnován dusík vstupující do jednotky v podobě hnojiv mimo zemědělský podnik (minerální hnojiva, jiné zdroje hnojiv – např. čistírenské kaly apod.), ale také dusík v krmných směsích a dalších materiálech do zemědělského podniku vstupujících. V exportu je zahrnován dusík v prodaných komoditách (plodiny, produkty živočišné výroby). Obvykle se přitom využívá běžných údajů, jež podnik vykazuje v účetnictví. Výhodou této bilance je, že se nemusí sledovat jednotlivé dílčí toky živin uvnitř farmy (stáj – pole, stáj – atmosféra, pole – stáj atd.). Bilančními položkami jsou:

VSTUPY	VÝSTUPY
nakoupená krmiva	tržní produkce živočišná
nakoupená minerální hnojiva	tržní produkce rostlinná
nakoupená statková hnojiva	prodaná statková hnojiva
nakoupená organická hnojiva	prodaná organická hnojiva
nakoupená zvířata	ztráty do ovzduší
nakoupené osivo a sadba	ztráty vyplavením

## 2.2. Koloběh dusíku

Dusík a jeho sloučeniny mají nezastupitelné postavení ve všech živých soustavách. Je využíván živými organismy k tvorbě mnoha rozličných organických látek, jako jsou aminokyseliny, bílkoviny, nukleové kyseliny, aminocukry, chlorofyl a mnohé další. Dusík má však také značný vliv na životní prostředí.

Celkové množství dusíku na naší planetě je odhadováno na 1,68.10<sup>17</sup> t (tab. 2).

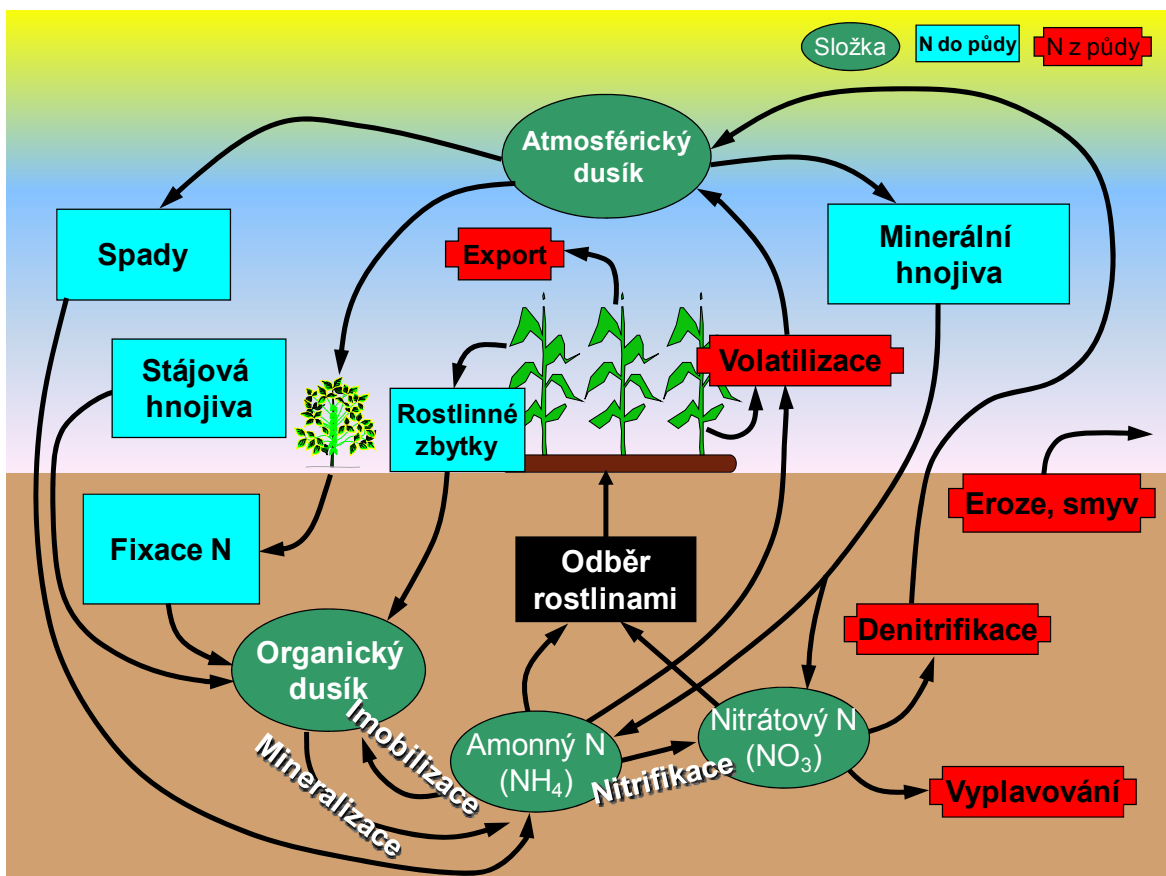
Tabulka 2: Celkové a přístupné množství dusíku (t N) v hlavních složkách naší planety

Složky	Celkový N		Přístupný N	
	t N	%	t N	%
Litosféra	1,64.10 <sup>17</sup>	97,63	4,50.10 <sup>14</sup>	10,39
<b>Atmosféra</b>	<b>3,86.10<sup>15</sup></b>	<b>2,30</b>	<b>3,86.10<sup>15</sup></b>	<b>89,07</b>
Hydrosféra	2,30.10 <sup>13</sup>	0,01	2,30.10 <sup>13</sup>	0,53
Biosféra	2,80.10 <sup>11</sup>	0,0001	4,60.10 <sup>11</sup>	0,01
Celkem	1,68.10 <sup>17</sup>	100,00	4,30.10 <sup>15</sup>	100,00

Pevná forma dusíku je nejstabilnější a nejvíce zastoupena v celkové bilanci N na Zemi. Litosféra obsahuje necelých 98 % celkového množství N, zbylá 2 % N jsou obsažena v atmosféře a pouze velmi málo N je obsaženo v hydrosféře a biosféře (Stanford, 1982). Nejvíce N v litosféře je koncentrováno ve svrchní vrstvě půdy (0-15 cm), kde se nachází asi jedna třetina celkového N. Většina celkového N na naší planetě je velmi pevně vázána a pouze cca 2,5 % N je v přístupných formách, ve kterých může velmi snadno podléhat přeměnám a být hromaděn živými organismy. Do přístupného N je v bilanci započítán i atmosférický dusík. Tato zásoba dusíku, která může podléhat přeměnám (z tohoto důvodu je označován často jako „reaktivní N“), se vyskytuje ve formě plynu (převážně N<sub>2</sub>). Množství atmosférického dusíku je zhruba milionkrát větší, než celkový obsah dusíku obsažený ve všech živých organismech. Další významný zdroj dusíku je organická hmota v půdě. Organická hmota je ve většině ekosystémů hlavní zdroj dusíku v jeho koloběhu. Organické formy N jsou však většinou pro rostliny nepřijatelné a dusík je zpřístupňován až rozkladnými procesy organické hmoty. Zde má význam především mineralizace a nitrifikace. Kromě toho může být na přijatelné formy N částečně využíván vzdušný N při fixaci mikroorganismy. Významnější je v našich podmínkách fixace symbiotickými bakteriemi (v symbióze s bobovitými rostlinami), v porovnání s fixací volně žijícími mikroorganismy v půdě. Do koloběhu dále vstupuje dusík obsažený ve srážkách (mokrý depozice), a v prachu (suchá depozice). Dále se dusík do půdy vrací z odumřelých zbytků rostlin a mikroorganismů. Do koloběhu dusíku patří také ztráty do atmosféry, které vznikají při mikrobiálních přeměnách v půdě (mineralizací, denitrifikací), nebo do vod vyplavováním dusíku z půdního profilu.

V zemědělství je přirozený koloběh dusíku narušen odvozem organické hmoty v podobě hlavních, případně vedlejších produktů pěstovaných plodin a na druhou stranu aplikací hnojiv s dusíkem (organických a minerálních) – obr. 2.

Obr. 2: Schéma koloběhu dusíku



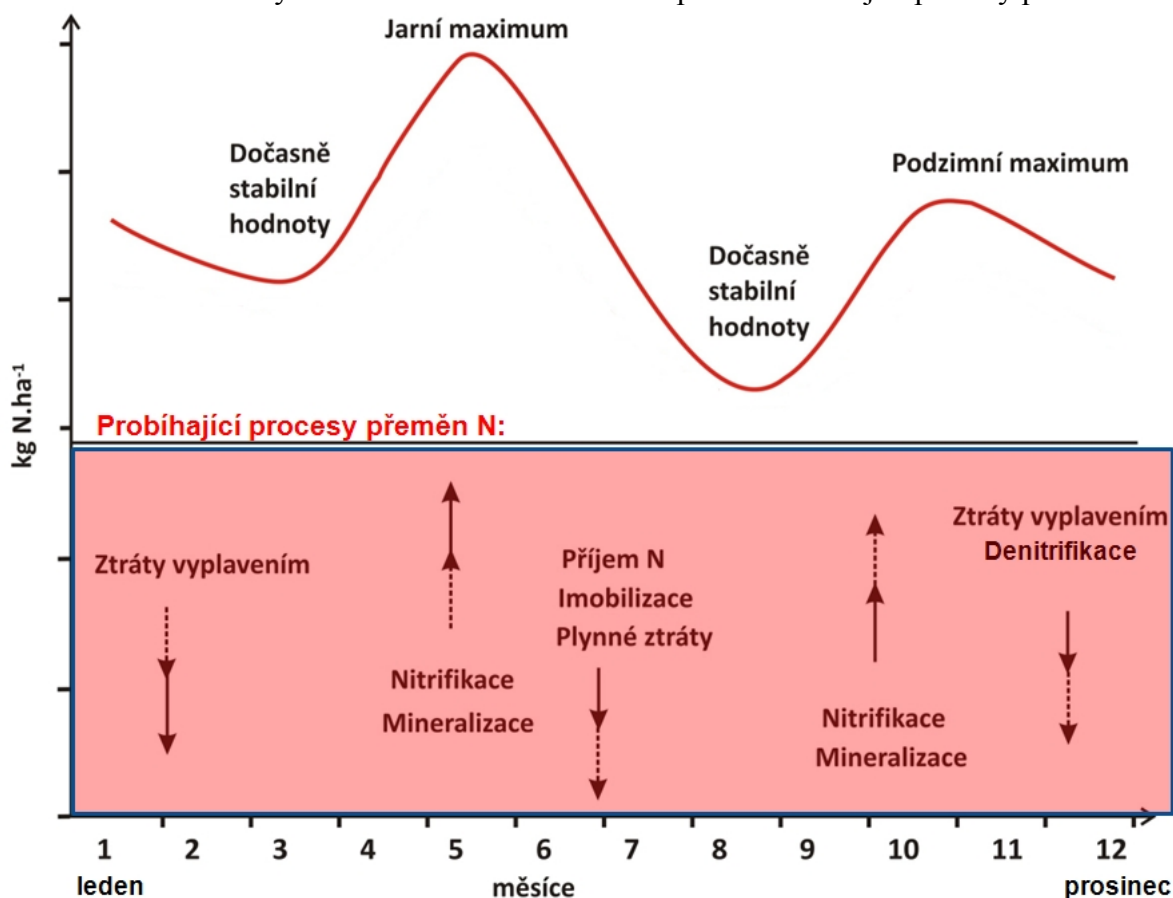
### 2.3. Dusík v půdě

Stanovení obsahu N a jeho forem je důležité pro pochopení dynamiky a přeměn dusíku v půdě a pro určení hnojení dusíkatými hnojivami tak, aby nedocházelo k degradaci půdní organické hmoty a byla zachována trvale udržitelná úrodnost orných půd.

Hlavní podíl dusíku je v organických dusíkatých sloučeninách (biomasa mikroorganismů, metabolity organismů žijících v půdě, rostlinné a živočišné zbytky, stabilní organické sloučeniny apod.), jejichž dusík je až na výjimky rostlinám nedostupný. Z celkového množství N jsou pouze 1–2 % rostlinám dostupné ve formách amonné ( $\text{NH}_4^+$ ), a nitrátové ( $\text{NO}_3^-$ ), souhrnně označovaných jako minerální dusík ( $\text{N}_{\text{min}}$ ). Nejvíce přístupného dusíku se běžně nalézá v ornici, kde se dusík uvolňuje mineralizací organických látek. S ohledem na mobilitu nitrátové formy v půdním roztoku se určité množství dusíku postupně posunuje profilem (především v mimoporostním období), a v konečném důsledku je vyplavován z dosahu kořenů plodin. V průběhu roku dochází ke značným změnám v obsahu minerálního dusíku v půdě (obr. 3). V jarním období, v dubnu až květnu, se v důsledku oteplování půdy zvyšuje činnost mikroorganismů a obsah minerálního dusíku dosahuje maximální hodnoty (tzv. jarní maximum). V průběhu vegetace se odběrem dusíku rostlinami, i postupným snižováním intenzity mineralizace, obsah minerálního dusíku v půdě snižuje až na relativně stabilní hodnotu, která je těsně před sklizní a po sklizni (letní minimum). Při příznivých vlhkostních a teplotních podmínkách se v podzimním období začíná obsah  $\text{N}_{\text{min}}$  v půdě zvyšovat mineralizací posklizňových zbytků (podzimní maximum) a následně před zimou opět klesá, protože v důsledku poklesu teplot se snižuje aktivita mikroorganismů. Tuto velkou sezónní variabilitu minerálního dusíku v půdě je třeba respektovat a využívat v praktické

výživě rostlin při určování dávek dusíku ke konkrétním zemědělským plodinám před založením porostů, ale i při přihnojování v průběhu vegetace.

Obr. 3: Sezónní změny obsahu minerálního dusíku v půdě a související procesy přeměn



### 2.3.1. Celkový dusík

Celkový obsah dusíku v ornici dosahuje průměrných hodnot 0,1 – 0,2 %, může však kolísat ve značném rozmezí 0,03 – 0,5 %, především v závislosti na stanovišti, genetickém vzniku půdy a s ohledem na dlouhodobý průběh hospodaření. Lze vypočítat, že v orniční vrstvě je asi 3000 – 9000 kg N/ha. Toto potvrzují výsledky sledování v dlouhodobých pokusech KAVR. Obsahy dusíku stanovené na rozdílných stanovištích jsou uvedeny v tabulce 3 a přepočítaná hmotnost je uvedena v tabulce 4. Hmotnost byla přepočítána podle hloubky odběru (30 cm) a podle objemové hmotnosti půdy na konkrétním stanovišti. Vliv hnojení na obsah celkového dusíku se projevuje řádově v desítkách let. Jak je patrné z grafu 1 u obsahu celkového dusíku byly stanoveny jen malé změny mezi jednotlivými způsoby hnojení, které byly stanoveny po 12 letech trvání pokusů (čtyři rotace plodin). Při používání organických hnojiv, jako je hnůj, nebo čistírenské kaly, je vyšší v porovnání s kontrolou o 3 %, na variantě NPK o 2 % a na ostatních variantách o 1 procento. Tyto změny jsou způsobeny především výraznějším poklesem obsahu celkového dusíku na kontrolní variantě ve srovnání s počátkem sledovaného období vzhledem k výrazné záporné bilanci dusíku. Na variantách s hnojem a kalem byl nižší odběr dusíku sklizenými produkty ve srovnání s variantami s aplikovaným dusíkem v minerálních hnojivech (viz kap. 2.6.). Přestože změny v obsahu celkového dusíku jsou pomalé, znalost obsahu celkového dusíku v půdě však umožňuje lepší hodnocení přeměn a bilanci N.

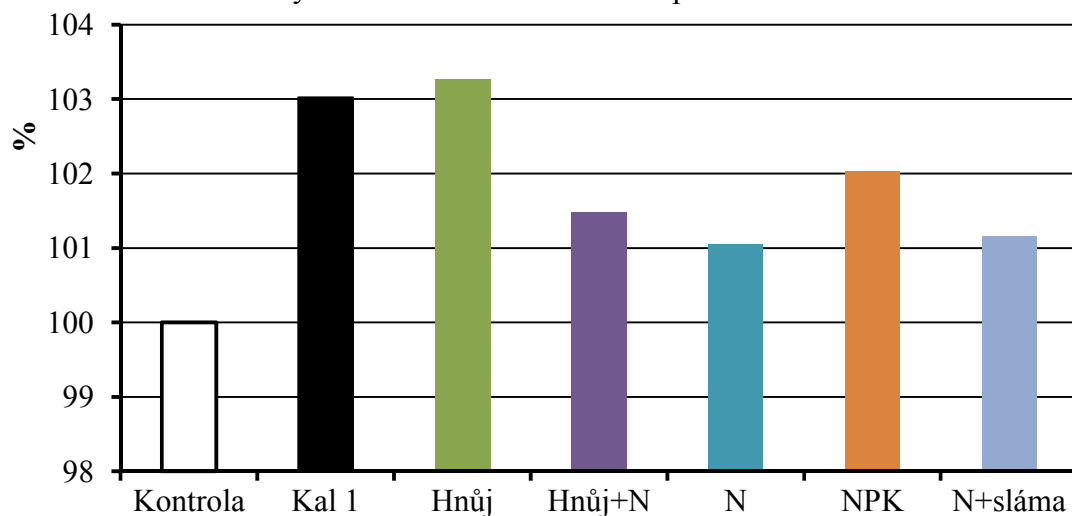
Tabulka 3: Průměrný obsah celkového dusíku  $N_t$  (%) v ornici

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	0,191	0,170	0,216	0,221	0,242
Kal 1	0,201	0,175	0,219	0,236	0,239
Hnůj	0,195	0,177	0,226	0,234	0,241
Hnůj+N	0,196	0,173	0,216	0,225	0,245
N	0,195	0,166	0,216	0,235	0,240
NPK	0,196	0,169	0,217	0,237	0,243
N+sláma	0,207	0,163	0,219	0,224	0,239

Tabulka 4: Průměrný obsah celkového dusíku  $N_t$  (kg/ha) v ornici

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	8022	7140	8424	8155	9801
Kal 1	8442	7350	8541	8708	9680
Hnůj	8190	7434	8814	8635	9761
Hnůj+N	8232	7266	8424	8303	9923
N	8190	6972	8424	8672	9720
NPK	8232	7098	8463	8745	9842
N+sláma	8694	6846	8541	8266	9680

Graf 1: Relativní změny obsahu celkového dusíku v půdě



### 2.3.2. Mineralizovatelné formy dusíku

Pro výživu rostlin je však rozhodující dusík, který je ze stabilních dusíkatých, především organických sloučenin v půdě uvolňován mineralizací. Během mineralizačních procesů tak vznikají formy dusíkatých látek, které jsou snadno detekovatelné moderními analytickými postupy, a jejich stanovení bývá poměrně jednoduché. Obecně jsou označovány, jako tzv. lehce mineralizovatelné formy N. Změny v obsahu mineralizovatelného N jsou mnohem více ovlivněné zemědělskou činností než obsahy celkového dusíku. Z podílu celkového dusíku v půdě tvoří sice malý podíl, ale výrazně se podílejí na výživě rostlin a také přeměnách mikrobiální biomasy. Mezi tyto složky patří např. horkou vodou extrahovatelný dusík ( $N_{hwe}$ ), dusík mikrobiální biomasy ( $N_{bio}$ ), dusík stanovený inkubačními testy ( $N_{ink}$ ), extrahovatelný organický dusík ( $N_{org}$ ). Nejčastěji se v zemědělské praxi využívá stanovení minerálního dusíku ( $N_{min}$ ). Zde je však důležité, jaké extrakční činidlo je využíváno. V ČR je

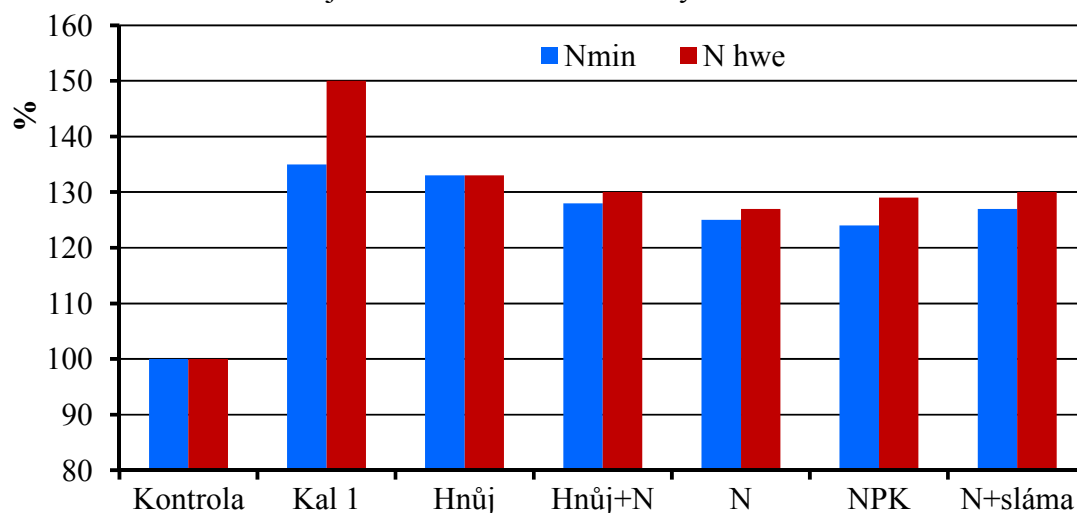
to 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, ale často se také využívá 0,2 M KCl, 0,05 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, nebo destilovaná voda. Extrahovatelný podíl se liší na jednotlivých stanovištích. Na stanovištích s horší kvalitou organické hmoty (např. Lukavec) je extrahován větší podíl horkou vodou, ale zároveň jsou zde horší podmínky pro přirozený průběh mineralizačních procesů, tak je stanoveno méně minerálního dusíku (N<sub>min</sub>) ve srovnání s úrodnějšími stanovišti, jako je např. Suchdol, nebo Hněvčeves. Obsah dusíku stanovený inkubačními testy ukazuje, kolik N ještě může být mineralizováno (potenciálně mineralizovatelný N – N<sub>pot</sub>) v případě optimálních podmínek pro průběh mineralizačních procesů (N<sub>pot</sub> = N<sub>ink</sub> - N<sub>min</sub>).

Tabulka 5: Průměrný podíl extrahovatelných forem N z Nt (%) a přepočítaný na 1 ha ornice.

Stanoviště	Extrahovatelný podíl z Nt (%)			Extrahovatelný podíl z Nt (kg/ha)		
	N <sub>hwe</sub>	N <sub>min</sub>	N <sub>ink</sub>	N <sub>hwe</sub>	N <sub>min</sub>	N <sub>ink</sub>
Suchdol	5,18	0,88	1,78	446	76	153
Č. Újezd	5,21	0,63	1,55	448	54	133
Hněvčeves	4,94	0,77	1,92	400	62	155
Lukavec	7,02	0,67	2,11	660	63	198
Humpolec	6,34	0,66	2,21	615	64	215

U mineralizovatelných forem dusíku se projevuje větší vliv hnojení, ale i dalších agrotechnických opatření na jejich obsah. V grafu 2 je znázorněn vliv jednotlivých variant hnojení na relativní obsah vybraných mineralizovatelných forem dusíku. Výsledky jsou vedeny jako průměr všech stanovišť, neboť přestože se jedná o rozdílné lokality, relativní vliv působení hnojiv byl na všech pokusech podobný.

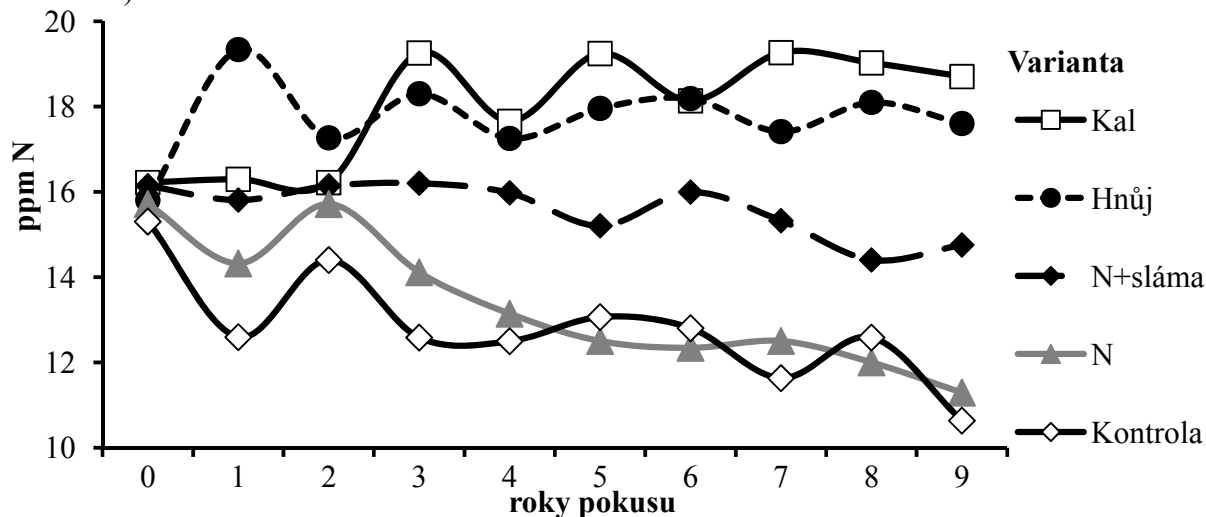
Graf 2: Relativní vliv hnojení na obsah extrahovatelných forem dusíku



Významnou složkou lehce mineralizovatelných forem dusíku v půdě je mikrobiální biomasa. Mikrobiální biomasa tvoří přibližně polovinu organických látek z podílu extrahovaného horkou vodou. Mikrobiální biomasa na jednu stranu vytváří poměrně velkou zásobu potenciálně mineralizovatelných organických látek, na druhou stranu také představuje konkurenci ve výživě pro rostliny, zvláště u významných biogenních prvků, jako jsou N, P, S. Mikrobiální biomasa je v těsné korelaci s mineralizovatelnou organickou hmotou a již v krátkém časovém rozmezí mohou být detekovány změny v bilancích organické hmoty a živin, které s její transformací úzce souvisí (především C, N, příp. S). Graf 3 ukazuje na změny dusíku mikrobiální biomasy při používání různých forem dusíkatých hnojiv. Patrné je

výrazné počáteční kolísání, po určité době však v systému dochází k ustanovení rovnováhy. Tyto změny pak mohou lépe popsat podmínky pro průběh mineralizačně/imobilizačních procesů v půdě.

Graf 3: Změny v obsahu dusíku mikrobiální biomasy v průběhu 9 let pokusů (průměr stanovišť)



## 2.4. Vliv hnojení dusíkem na výnos plodin

Hnojení dusíkem je jedním z významných agronomických opatření, které ovlivňuje výnos a kvalitu pěstovaných plodin. Je však nezbytné si uvědomit, že působení dusíku je rozdílné na různých stanovištích, ale i na jednotlivých polích, či dokonce jeho částech, s ohledem na variabilitu pozemků. Největší vliv hnojení dusíkem je na méně úrodných stanovištích, naopak poměrně malý přímý vliv aplikovaných dusíkatých hnojiv je na úrodných stanovištích. V úrodných půdách rostliny k tvorbě výnosu využívají 84 – 88 % dusíku z půdy a jen zbytek z hnojiv (12 – 16 %). Na méně úrodných půdách se dusík z půdní zásoby podílí na tvorbě výnosu 56 – 60 %. Toto dobře dokumentují výsledky dlouhodobých pokusů (průměr za 15 let trvání pokusů).

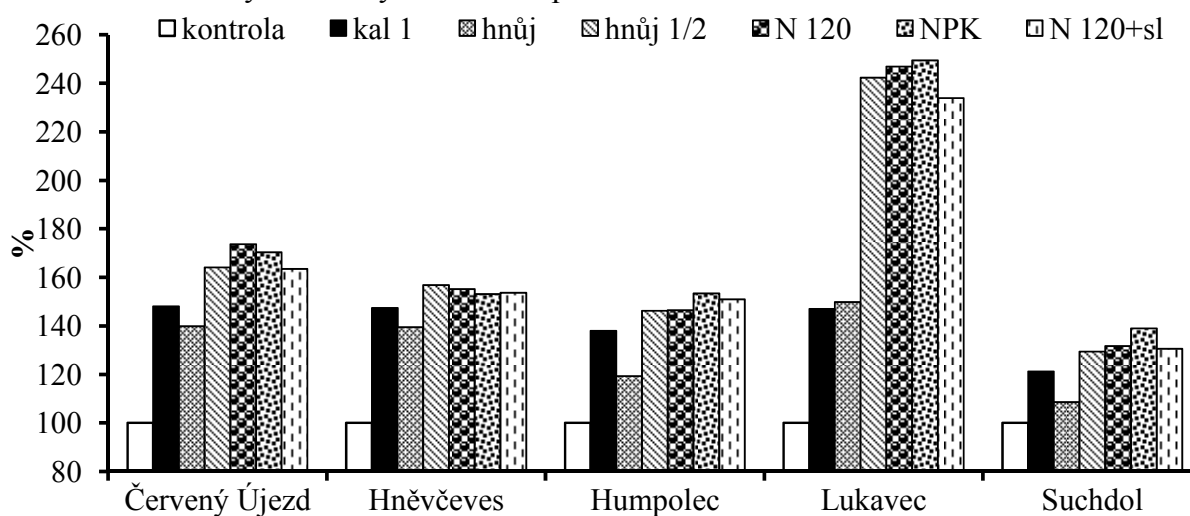
V tabulkách 6–8 jsou uvedeny výnosy jednotlivých sledovaných plodin a v grafech 4–6 relativní výnos při porovnání s nehnojenou kontrolou (100 %). Nejnižší výnos zrna ozimé pšenice je přirozeně na nejméně úrodném stanovišti Lukavec, kde je dlouhodobě průměrný výnos 2,5 t/ha. Při používání organických hnojiv jako hnůj a čistírenský kal byl výnos vyšší o 50 % ve srovnání s kontrolou a na variantách s aplikovaným minerálním dusíkatým hnojením až o 140 % oproti kontrole. Na úrodných stanovištích, jako je například Suchdol, nebo Hněvčevy byl na variantách s organickým hnojením o 9 % – 50 % vyšší výnos ve srovnání s kontrolou a na variantách s minerálním hnojením byl vyšší výnos pouze o 30 % – 57 %. Výnosy na variantách s minerálním dusíkatým hnojením se od sebe výrazně nelišily na jednotlivých stanovištích, avšak velký vliv na relativní výnosy měl rozdílný výnos na kontrolních variantách. Této skutečnosti je možno využít při hodnocení efektivity dusíkatých hnojiv (viz kap. 2.10.1). Obdobný vliv je u jiných plodin, avšak u nich již nebyly rozdíly výnosů mezi hnojenými variantami a kontrolou tak výrazné, jako na stanovišti Lukavec u ozimé pšenice. Přírůstek výnosu činil 25 % – 66 %, na stanovišti Lukavec až 87 %. U brambor (kukuřice), kde byla organická hnojiva aplikována přímo před tyto plodiny, byl vyšší vliv na výnos (přírůstek 20 % - 53 %), avšak i v tomto případě byly vyšší výnosy na variantách s minerálním dusíkatým hnojením, a to o 11 % - 67 %.



Tabulka 6: Průměrný výnos sušiny zrna ozimé pšenice (t/ha)

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	3,40	4,75	4,54	2,49	4,46
Kal 1	5,03	7,01	6,27	3,65	5,41
Hnůj	4,75	6,63	5,42	3,72	4,84
Hnůj+N	5,57	7,45	6,64	6,02	5,77
N	5,90	7,38	6,65	6,14	5,87
NPK	5,78	7,28	6,96	6,20	6,20
N+sláma	5,55	7,30	6,86	5,81	5,82

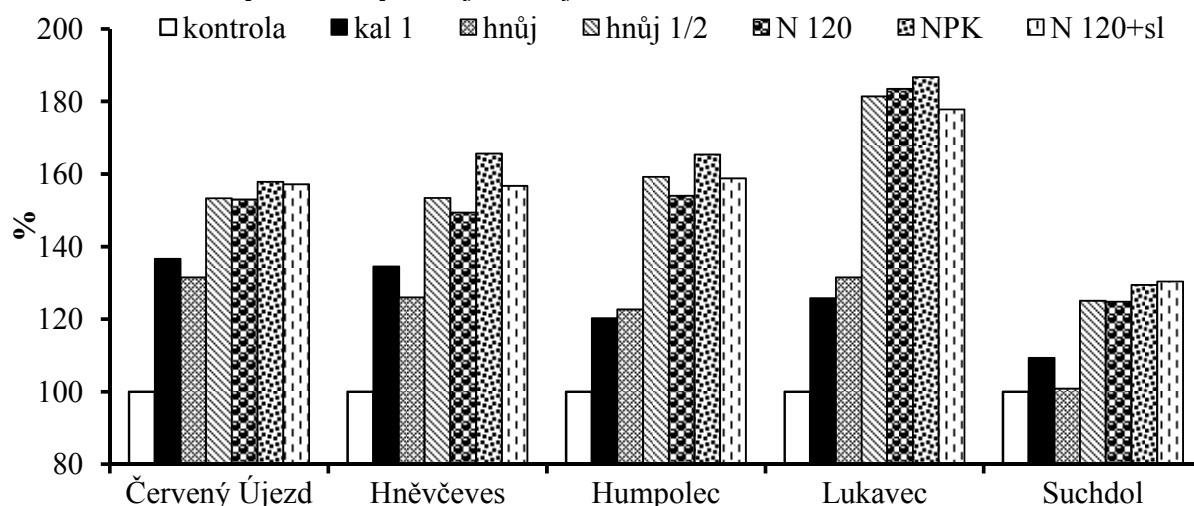
Graf 4: Relativní výnos sušiny zrna ozimé pšenice



Tabulka 7: Průměrný výnos sušiny zrna jarního ječmene (t/ha)

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	2,78	3,19	2,79	1,91	3,49
Kal 1	3,80	4,29	3,36	2,40	3,81
Hnůj	3,66	4,02	3,43	2,51	3,52
Hnůj+N	4,26	4,89	4,45	3,47	4,36
N	4,25	4,76	4,30	3,51	4,36
NPK	4,39	5,28	4,62	3,57	4,51
N+sláma	4,37	5,00	4,44	3,40	4,55

Graf 5: Relativní výnos sušiny zrna jarního ječmene

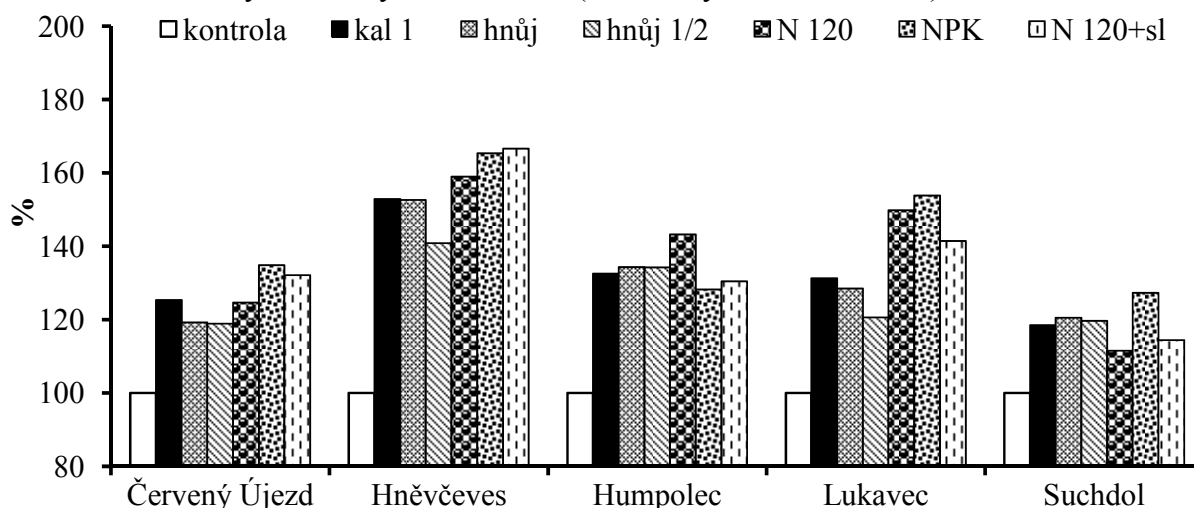


Tabulka 8: Průměrný výnos sušiny hlíz brambor (\* biomasy silážní kukuřice) (t/ha)

	Červený Újezd*	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	11,55	4,98	6,48	6,31	5,03
Kal 1	14,48	7,62	8,59	8,28	5,97
Hnůj	13,77	7,61	8,70	8,11	6,06
Hnůj+N	13,73	7,02	8,69	7,60	6,02
N	14,40	7,92	9,28	9,45	5,61
NPK	15,58	8,24	8,30	9,70	6,41
N+sláma	15,26	8,30	8,45	8,92	5,76

Průměrná sušina hlíz brambor byla 22%, biomasy silážní kukuřice 33 %

Graf 6: Relativní výnos sušiny hlíz brambor (\* biomasy silážní kukuřice)

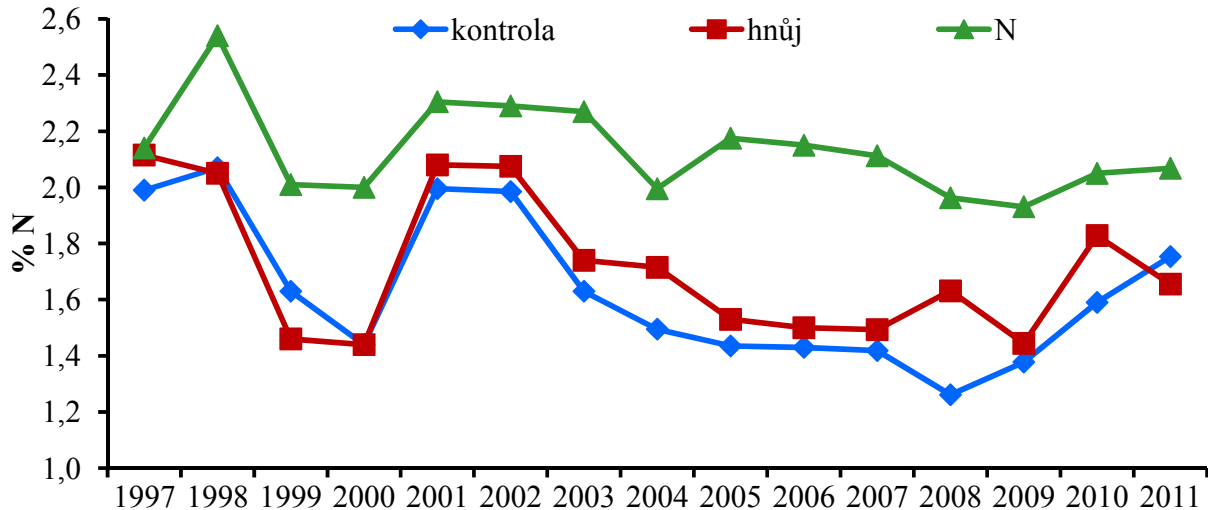


## 2.5. Vliv hnojení dusíkem na obsah dusíku v rostlinách

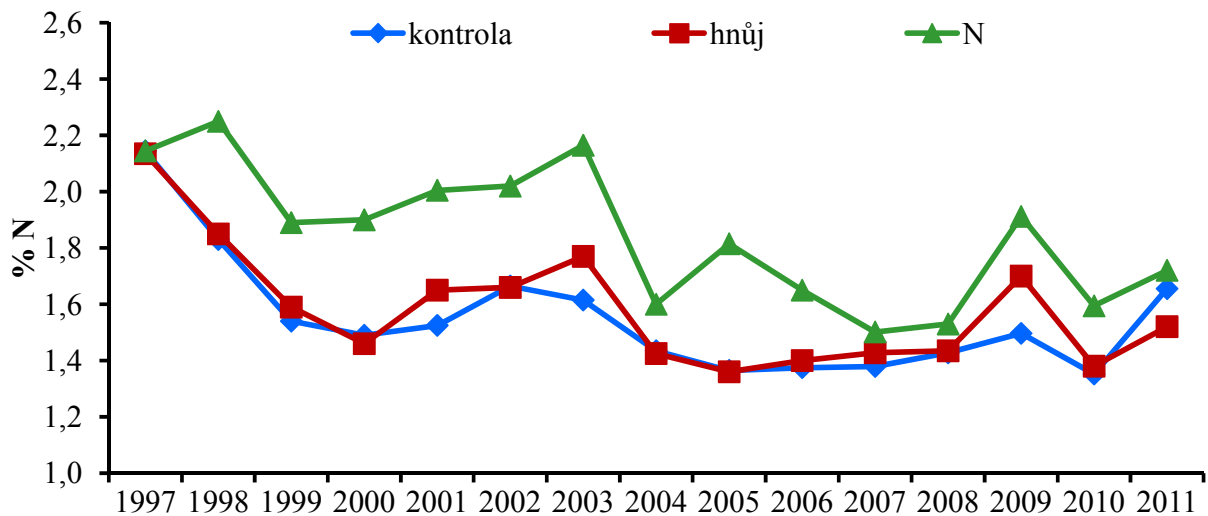
Obsah dusíku v rostlinách je významným ukazatelem při hodnocení kvality pěstovaných plodin. Například obsah N v zrna ozimé pšenice je v úzké korelaci s obsahem bílkovin, obsah dusíkatých látek zrna jarního ječmene je ukazatel kvality u sladovnického ječmene, ale také výrazně ovlivňuje kvalitu krmného ječmene. Hodnocení obsahu dusíku ve

sklizených produktech je však také důležité pro posouzení toku dusíku v agroekosystémech. Obsah dusíku je ovlivněn nejen hnojením, ale významný vliv zde má i vliv ročníku. Průběh obsahu dusíku v jednotlivých letech je ale v úzké korelaci mezi různě hnojenými variantami na určitých stanovištích. Jak je dokumentováno v grafech 7 a 8 na stanovištích Suchdol a Lukavec. Hodnocení obsahu dusíku ve sklizených produktech lze využít při posouzení ukazatelů využitelnosti dusíku z aplikovaných hnojiv (viz kap. 2.10.1.)

Graf 7: Průběh obsahu dusíku v zrna ozimé pšenice na stanovišti Suchdol



Graf 8: Průběh obsahu dusíku v zrna ozimé pšenice na stanovišti Lukavec

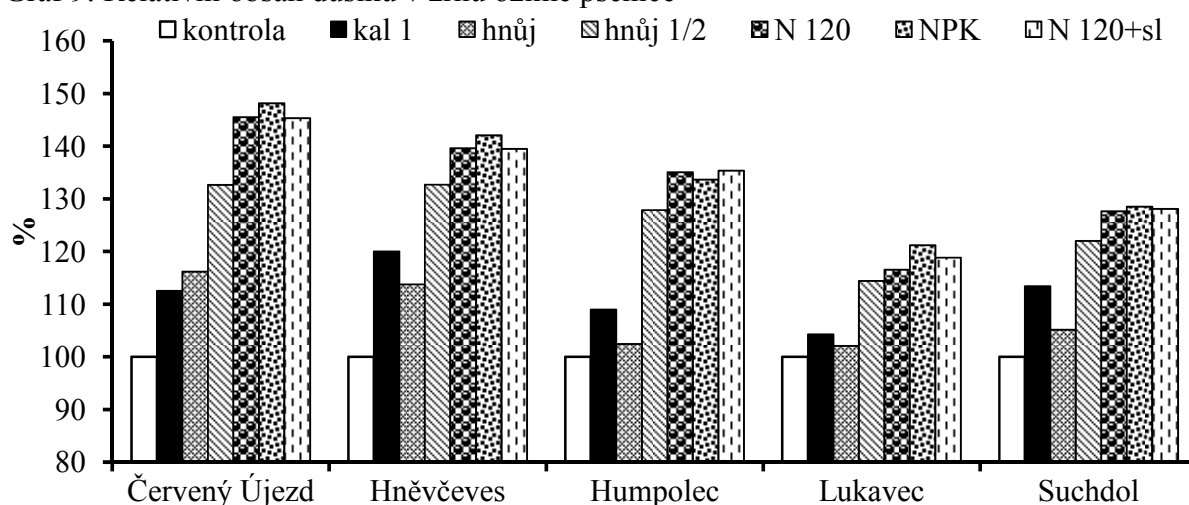


Obsah dusíku ovlivňuje tedy nejen hnojení, ročník, ale také jednotlivá stanoviště a plodiny, případně odrůdy. V tabulce 9 je uveden průměrný obsah N u ozimé pšenice na všech sledovaných stanovištích a variantách hnojení a v grafu 9 je znázorněn relativní rozdíl v porovnání s nehnojenou kontrolou.

Tabulka 9: Průměrný obsah dusíku v zrně ozimé pšenice (%)

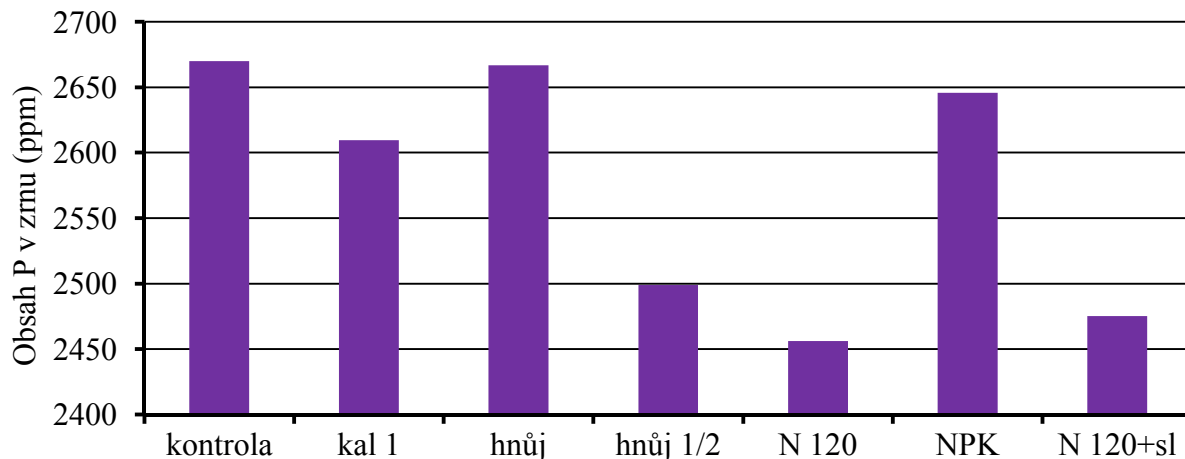
	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	1,57	1,54	1,59	1,57	1,65
Kal 1	1,77	1,85	1,73	1,63	1,87
Hněj	1,82	1,75	1,63	1,60	1,73
Hněj+N	2,08	2,04	2,03	1,79	2,01
N	2,28	2,15	2,14	1,82	2,10
NPK	2,33	2,19	2,12	1,90	2,12
N+sláma	2,28	2,15	2,15	1,86	2,11

Graf 9: Relativní obsah dusíku v zrně ozimé pšenice

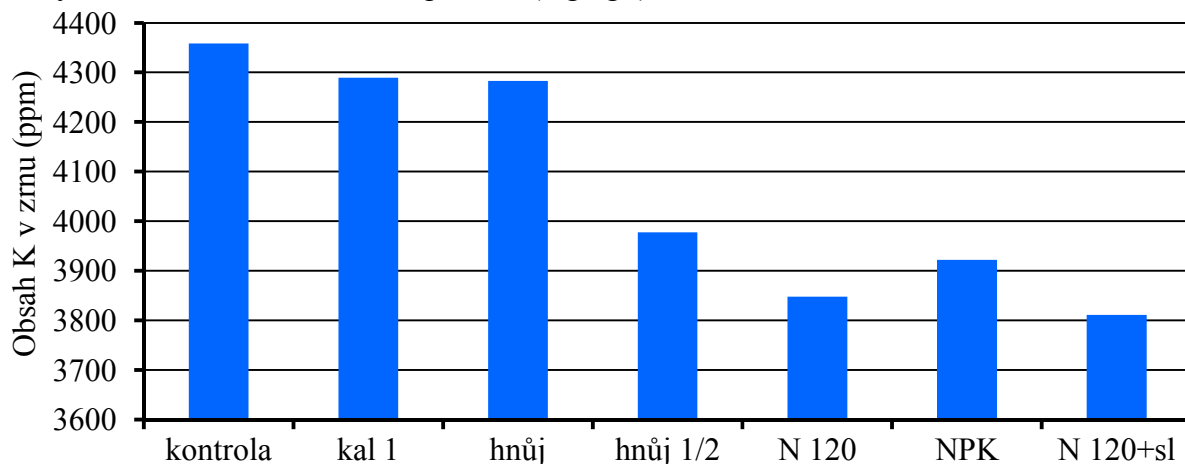


Obdobně jako u výnosů je pozorován na jednotlivých stanovištích odlišný vliv také na obsah dusíku ve sklizených produktech. Zde se však již více odráží odlišná schopnost plodin využít živin z hnojiv a půdní zásoby a toto se pak projevuje na celkové schopnosti zabudovat živiny do organických vazeb. Na stanovišti Lukavec byl na všech hnojených variantách průkazně nižší obsah dusíku ve sklizených hlavních produktech, ve srovnání s ostatními lokalitami. Na tomto stanovišti byl již v relativně krátkém období sledován pokles obsahu také ostatních živin v zrně, především na variantách s vysokým výnosem, podpořeným hnojením minerálními dusíkatými hnojivy. Nižší obsah byl sledován u živin, které se v aplikovaných hnojivech nedodávají (P, K, Mg) a vlivem zvýšeného výnosu dochází k rychlejšímu odběru přijatelných forem těchto živin z půdních zásob (grafy 10 – 12). Tyto výsledky odpovídají závěrům i jiných prací (Goulding et al., 2000; Ming-Sheng et al., 2008). Z výsledků tedy vyplývá, že ačkoliv hnojení dusíkatými minerálními hnojivy výrazně zvyšuje výnos, zvláště na méně úrodných stanovištích, je na druhou stranu snížena kvalita produkce.

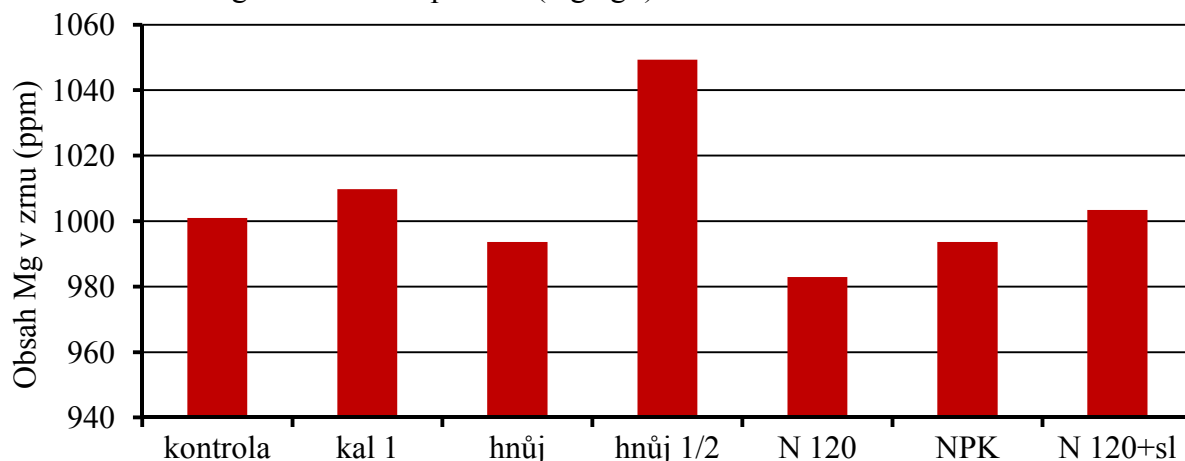
Graf 10: Obsah P v zrnú ozimé pšenice ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) na stanovišti Lukavec



Grafy 11: Obsah K v zrnú ozimé pšenice ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) na stanovišti Lukavec



Graf 12: Obsah Mg v zrnú ozimé pšenice ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) na stanovišti Lukavec

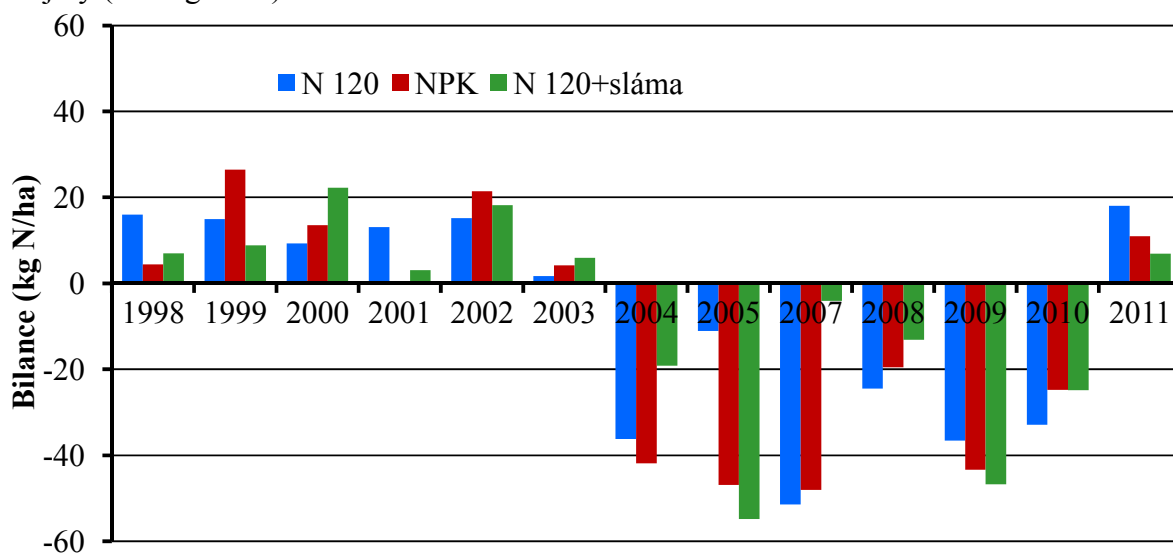


## 2.6. Odběr dusíku a porovnání se vstupy

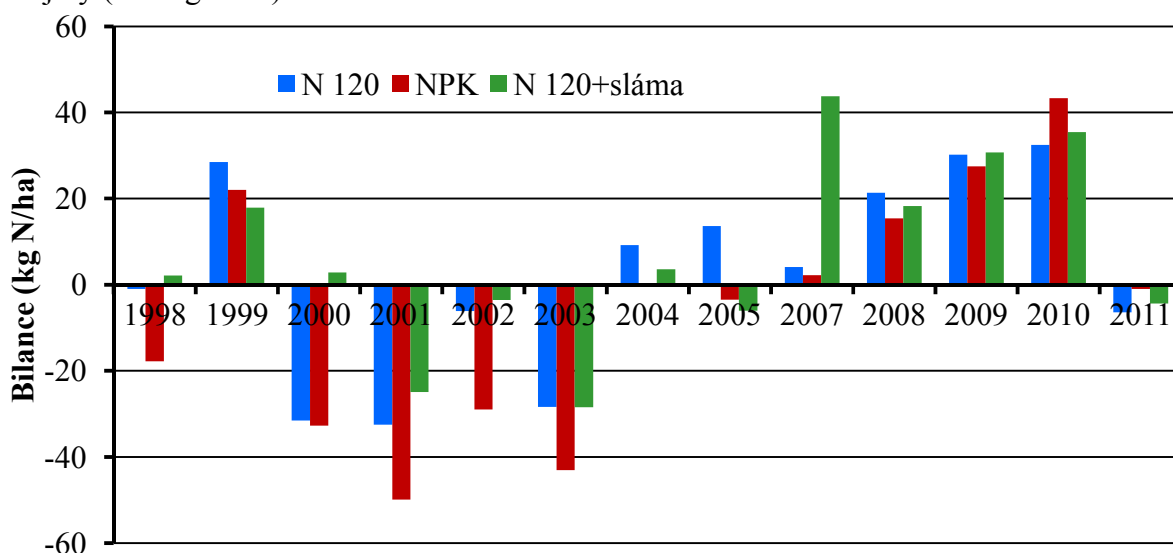
Odběr dusíku sklizenými produkty je výsledkem jejich výnosu a množství dusíku v nich obsažených. S ohledem na uvedené kolísání obsahu dusíku a ročníkové variability výnosů dochází k rozdílům v skutečném odběru dusíku v jednotlivých letech. Hodnocením odběru dusíku pak lze postihnout přebytek dusíku v půdě (pokud při aplikované dávce byly

stanoveny malé odběry), nebo naopak deficit dusíku v půdě, (pokud byl vyšší odběr dusíku, než aplikované množství). Výsledná bilance však v jednotlivých letech může být odlišná na různých stanovištích. Jako příklad uvádíme roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha/rok) na stanovišti Suchdol a Lukavec. Při pěstování stejné odrůdy a stejném systému hnojení na obou stanovištích vychází roční bilance dusíku na obou stanovištích zcela rozdílně.

Graf 13: Roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha) na stanovišti Suchdol



Graf 14: Roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha) na stanovišti Lukavec



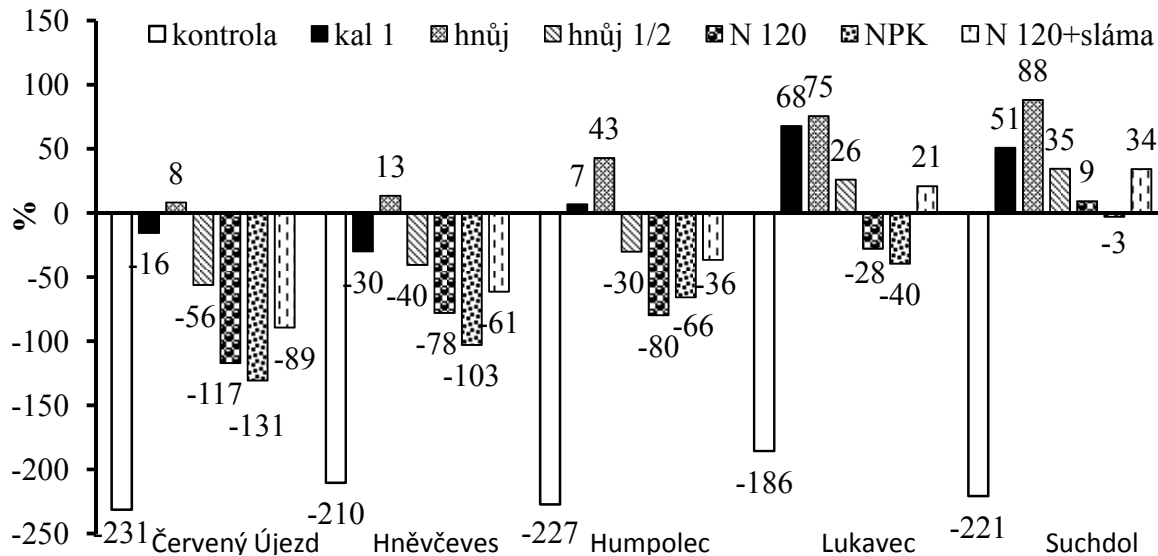
## 2.7. Výsledná bilance dusíku

Pro správné hodnocení agrotechnických opatření nestačí z výše uvedených důvodů provádět pouze roční, nebo krátkodobá sledování, ale je nezbytné provádět hodnocení v určitém cyklu (např. osevní postup), nebo za delší období.

V dlouhodobých polních pokusech KAVR byly tyto bilance hodnoceny za 15 let trvání polních pokusů a souhrnné výsledky jsou uvedeny v grafu 15. Výrazně záporná bilance byla

vypočtena na všech stanovištích na nehnojené kontrolní variantě. Na ostatních variantách, kde bylo v tříletém cyklu aplikováno 330 kg N/ha, což představuje 1650 kg N/ha za 15 let byla stanovena kladná bilance na všech stanovištích na variantě hnůj. Bilance na ostatních variantách byla již více ovlivněna stanovištěm, a také pěstovanými plodinami. Například na stanovišti Červený Újezd, kde byla v rotaci zařazena místo brambor silážní kukuřice, byl na hnojených variantách výrazně vyšší odběr, a tím také záporná bilance, ve srovnání se stanovišti, kde byly pěstovány brambory.

Graf 15: Průměrná bilance dusíku za tříletý cyklus rotace plodin na jednotlivých pokusných stanovištích



Zajímavé je také stanovení bilance na stanovišti Lukavec a Suchdol. Ačkoliv jsou bilance v jednotlivých pokusných letech na těchto stanovištích odlišné, souhrnná průměrná bilance má na obou stanovištích obdobný trend, zvláště na variantách, kde byla aplikována organická hnojiva (kal, hnůj, hnůj + N a sláma). Z těchto výsledků je zřejmé, že při hodnocení bilancí dusíku je nezbytné porovnávat jak roční rozdíly, tak souhrnná hodnocení. Některé metodiky ve svých šetřeních využívají pouze souhrnná data, čímž je možné zařadit určité oblasti do stejné kategorie, avšak jak je zřejmé, dílčí projevy bilance dusíku jsou značně odlišné.

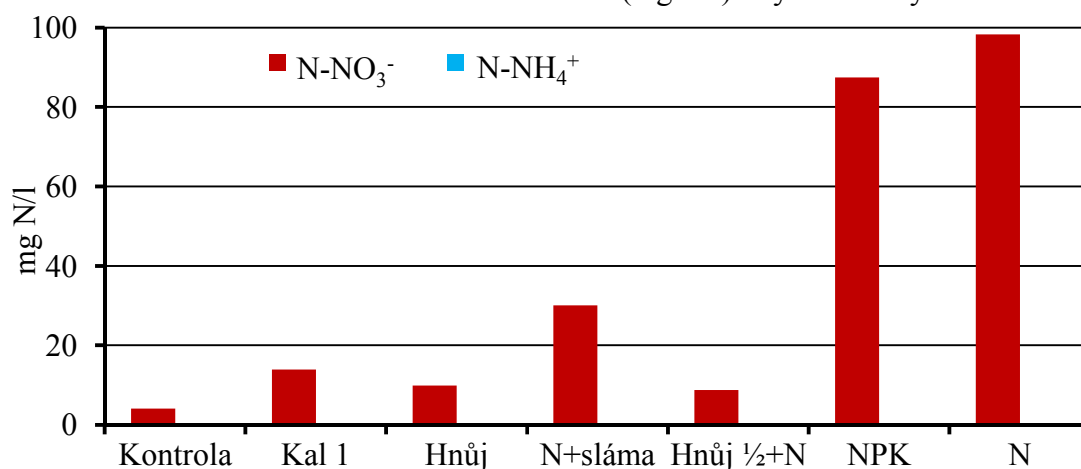
## 2.8. Vyplavování dusíku

Jelikož na většině variant na stanovišti Suchdol byla stanovena kladná bilance, bylo součástí sledování také hodnocení vyplavování dusíku z půdy pomocí lyzimetrů. Lyzimetry jsou umístěny na všech variantách hnojení v hloubce 60 cm. Na každé variantě jsou založeny 2 lyzimetry. Lyzimetry jsou o rozměrech 0,2 × 1 m (0,2 m<sup>2</sup>). Zachycená voda je jímána do 20 litrových nádob umístěných pod sběrnou částí lyzimetru. Lyzimetrická voda je na stanovišti každoročně odčerpána vakuovou pumpou. V laboratoři byl stanoven obsah živin obsažených ve vodě. Pro tuto část byly vyhodnoceny výsledky obsahu dusíku v lyzimetrických vodách. Stanoven byl obsah nitrátového (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a amonného dusíku (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

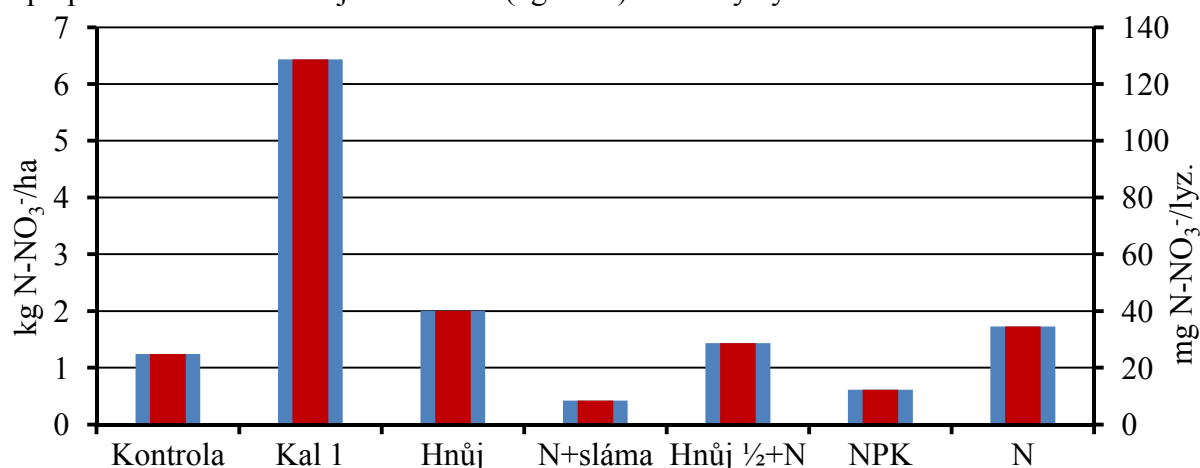
Při hodnocení obsahu dusíku byl v lyzimetrických vodách stanoven především nitrátový dusík. Obsah amonného dusíku byl do 0,2 mg N/l a nebyly stanoveny výrazné rozdíly mezi jednotlivými variantami. U nitrátového dusíku byl nejnižší obsah stanoven na kontrolní variantě, v průměru 4 mg N/l. Na variantách hnojených organickými hnojivy byl

průměrný obsah 9 mg N/l na variantách s aplikací hnoje a 14 mg N/l na variantě kal. Výrazně vyšší obsah nitrátového dusíku byl stanoven na variantách s aplikací pouze minerálních dusíkatých hnojiv, kde bylo stanoveno 87 mg N/l na variantě NPK a 98 mg N/l na variantě N.

Graf 16: Obsah nitrátového a amonného dusíku (mg N/l) v lyzimetrických vodách



Graf 17: Množství vyplaveného nitrátového dusíku v průměru jednoho lyzimetru (mg N/lyz.) a přepočtené množství na jeden hektar (kg N/ha) za tříletý cyklus



Tyto obsahy tak téměř dvojnásobně překračují hodnotu 50 mg N/l, která je limitem při hodnocení obsahu dusičnanů ve vodách. Nelze však pouze přihlížet k obsahu nitrátového dusíku ve vodě, ale také k možnému riziku jeho vyplavení. Na jednotlivých variantách je také sledováno množství zachycené vody v lyzimetrech. Ze sledování bylo zjištěno, že výrazně větší množství vody bylo zachyceno na variantách s aplikací organických hnojiv. Toto potvrzuje vliv organických hnojiv na lepší infiltraci srážek v půdě. Po přepočtu obsahu dusíku v lyzimetrických vodách na množství dusíku na lyzimetr bylo vypočteno větší množství dusíku v lyzimetrech pod variantami s čistírenskými kaly, než na lyzimetrech na ostatních variantách. Na základě plochy lyzimetru pak byly vypočteny možné ztráty N z půdního profilu do hloubky 60 cm. Na variantě kal 1 toto množství představovalo za tříletý cyklus 6 kg N/ha, na ostatních variantách nebylo stanoveno větší množství, než 2 kg N/ha.

Přestože byla stanovena kladná bilance dusíku, ke ztrátám vyplavováním zde nedocházelo.

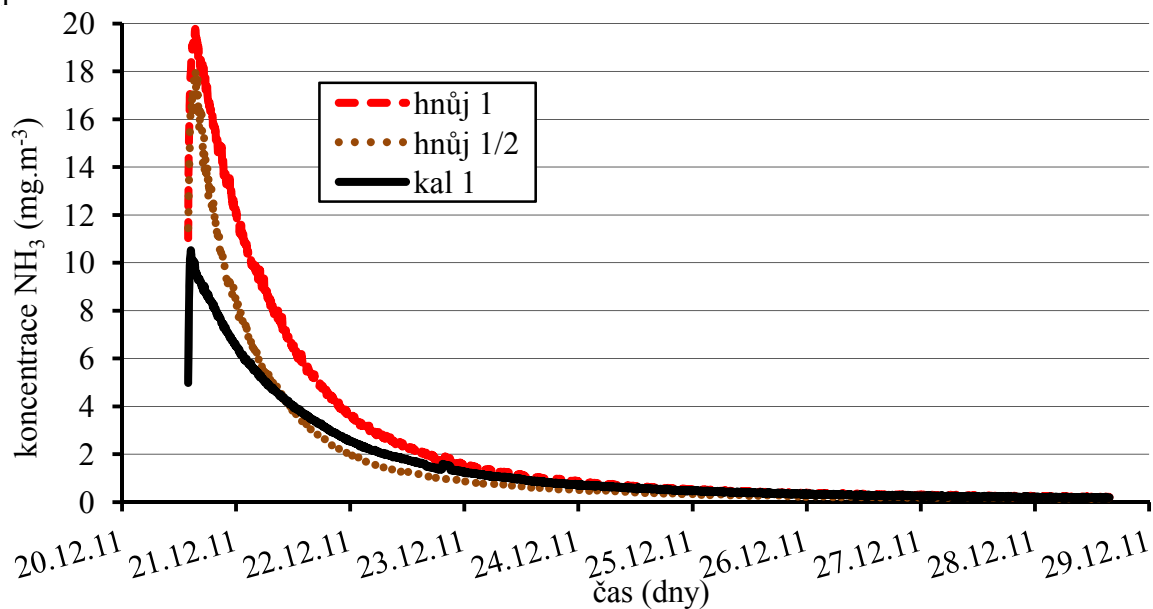


## 2.9. Ztráty do atmosféry

Dalším možným zdrojem ztrát z aplikovaných hnojiv jsou ztráty do atmosféry, zvláště z organických hnojiv, nebo minerálních hnojiv, které podléhají na povrchu půdy přeměně (močovina, DAM apod.). Tyto ztráty často do bilancí nejsou započítávány, neboť jejich stanovení pro dané podmínky může být obtížné. Měly by být však alespoň zahrnuty přibližné ztráty, aby výsledné bilance dusíku v půdě byly správně pochopeny. Bilance, které s přeměnami N a jeho tokem do atmosféry nepočítají, pak mohou vycházet výrazně kladné, ačkoliv dusík nebyl rostlinami využit.

Významné jsou zejména ztráty volatilizací amoniaku z organických hnojiv, při jejich povrchové aplikaci a pozdním zapravení. K největším ztrátám však dochází těsně po aplikaci organických hnojiv. V polních a laboratorních podmínkách byly měřeny ztráty amoniaku těkáním u organických hnojiv používaných v dlouhodobých pokusech (kal a hnůj) v dávce dusíku odpovídající množství aplikované do pokusů (330 kg N/ha na var. kal a hnůj a 165 kg N/ha na variantě hnůj 1/2). Z průběhu měření (graf 18) byly vypočteny ztráty N.

Graf 18: Koncentrace  $\text{NH}_3$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) po aplikaci různých dávek hnojiv v laboratorních podmínkách



V základní dávce N byly stanoveny odpovídající ztráty u hnoje 15 % z dodaného N a u kalu 18 %, což při přepočtu na 1 ha představuje 51, resp. 60 kg N/ha do 24 hodin po aplikaci, pokud hnojivo zůstane na povrchu. V případě poloviční dávky hnoje představovaly ztráty 19 % z dodaného množství již za 13,5 hodiny po aplikaci. Přestože podle legislativy by tuhá organická hnojiva měla být zapravena do 24 hodin, je nezbytné jejich zapravení provádět mnohem rychleji.

## 2.10. Další postupy v bilancích dusíku

Ačkoliv v jednoduchých bilancích jsou hodnoceny pouze vstupy a výstupy, není často v těchto výpočtech zachycen podíl minerálního dusíku před sledováním a na konci sledování. Jelikož je však tento vliv více ovlivněn průběhem jednotlivých let, je vhodné tuto bilanci počítat každoročně a zjistit tak přebytek/úbytek dusíku a jeho potřebu hnojení pro následující plodiny.

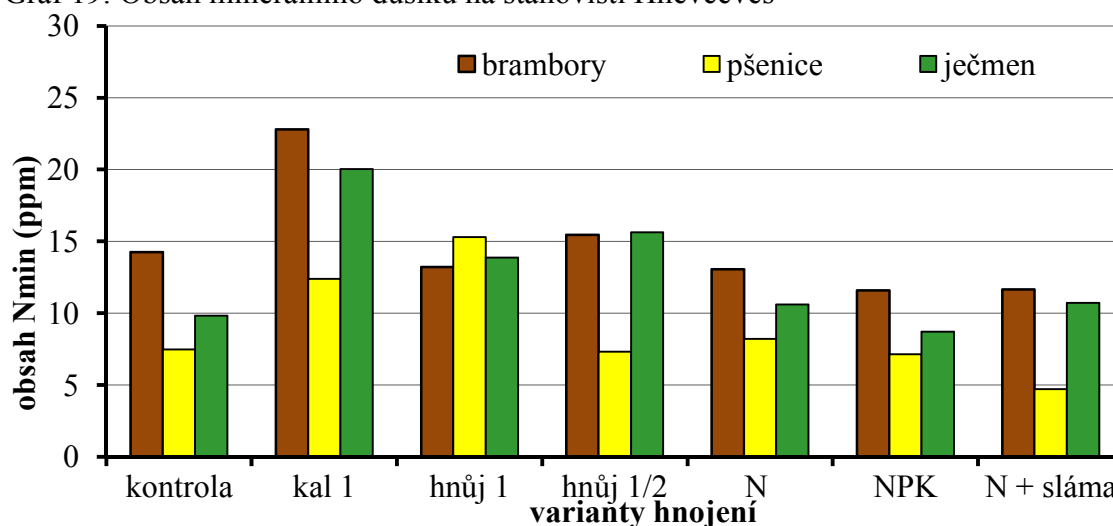
**Bilance dusíku v půdě = (počáteční obsah minerálního dusíku v půdě (kg/ha) + dávka dusíku v hnojivech (kg/ha)) – (reziduální zbytek minerálního dusíku po sklizni (kg/ha) + odběr dusíku rostlinami (kg/ha))**

Z výsledků našich dlouhodobých sledování i s porovnáním s publikovanými výsledky je v jednotlivých letech výraznější rozdíl vlivu stanoviště a hnojení na obsah minerálního dusíku v půdě po sklizni plodin, než na počátku vegetace. Výsledky také ukazují, že v jarním období je pro každé stanoviště (pozemek, nebo jeho část) charakteristický určitý obsah minerálního dusíku v půdě (Černý, 2002; Šilha, 2006; Vaněk et al., 2008).

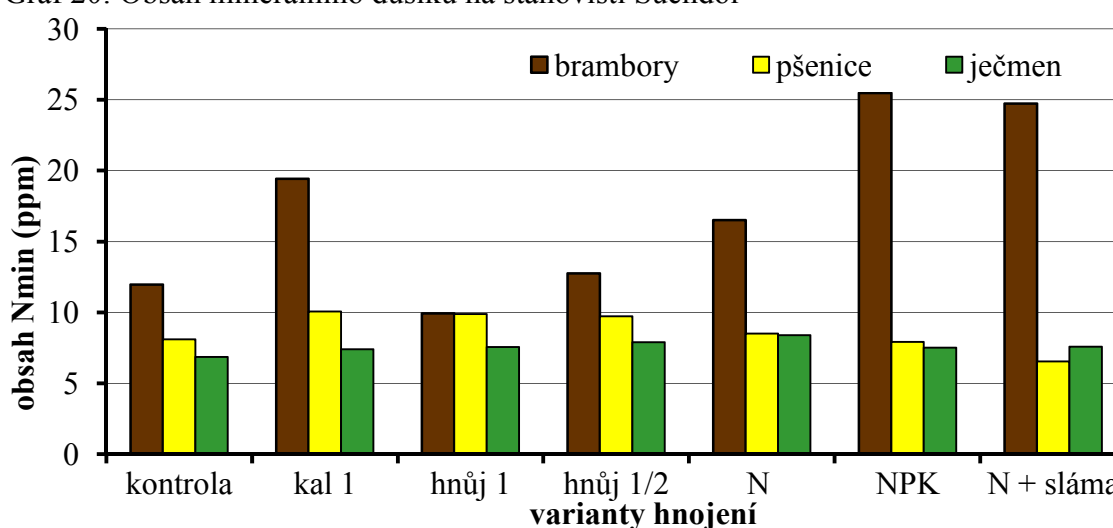
Podle této bilance je pak možné počítat potřebu hnojení např. pro podzimní hnojení dusíkem ozimých plodin, hnojení strniskových meziplodin, případně jejich pěstování pro snížení ztrát zbytkového dusíku v půdě. Zbytkový dusík představuje především nitrátová forma (cca 80 % z obsahu minerálního dusíku), a tak tento dusík nelze započítávat při zaorávce slámy, neboť mikroorganismy tuto formu při rozkladu slámy výrazněji nevyužívají.

Význam tohoto postupu je dokumentován ve výsledcích z dlouhodobých pokusů z roku 2009, kdy byly stanoveny výrazně odlišné obsahy minerálního dusíku po jednotlivých plodinách na různých stanovištích. Pro ukázkou bylo vybráno stanoviště Hněvčeves a Suchdol. V grafech 19 a 20 je znázorněn obsah minerálního dusíku po sklizni sledovaných plodin.

Graf 19: Obsah minerálního dusíku na stanovišti Hněvčeves



Graf 20: Obsah minerálního dusíku na stanovišti Suchdol



Výpočet bilance je uveden v následujících tabulkách 10 a 11.

Tabulka 10: Bilance dusíku na stanovišti Hněvčeves (kg N/ha)  
[B=brambory, P=pšenice, J=ječmen]

	Dávka N v hnojivech			Odběr dusíku			Bilance bez N <sub>min</sub>		
	B	P	J	B	P	J	B	P	J
N	120	140	70	121	149	99	-1	-9	-29
NPK	120	140	70	155	148	111	-35	-8	-41
N + sláma	120	140	70	111	142	100	9	-2	-30

	Obsah N <sub>min</sub> na začátku vegetace			Obsah N <sub>min</sub> na konci vegetace			Bilance s využitím N <sub>min</sub>		
	B	P	J	B	P	J	B	P	J
N	21	22	24	55	34	45	76	48	39
NPK	23	26	24	49	30	37	37	48	20
N + sláma	20	20	18	49	20	45	77	37	33

	Rozdíl bilancí		
	B	P	J
N	<b>76</b>	<b>56</b>	<b>68</b>
NPK	<b>72</b>	<b>56</b>	<b>61</b>
N + sláma	<b>68</b>	<b>40</b>	<b>63</b>

Tabulka 11: Bilance dusíku na stanovišti Suchdol (kg N/ha)  
[B=brambory, P=pšenice, J=ječmen]

	Dávka N v hnojivech			Odběr dusíku			Bilance bez N <sub>min</sub>		
	B	P	J	B	P	J	B	P	J
N	120	140	70	92	191	81	28	-51	-11
NPK	120	140	70	124	188	71	-4	-48	-1
N + sláma	120	140	70	104	144	86	16	-4	-16

	Obsah N <sub>min</sub> na začátku vegetace			Obsah N <sub>min</sub> na konci vegetace			Bilance s využitím N <sub>min</sub>		
	B	P	J	B	P	J	B	P	J
N	28	28	27	69	36	35	125	12	51
NPK	28	29	27	107	33	32	130	14	58
N + sláma	27	28	28	104	27	32	147	51	43

	Rozdíl bilancí		
	B	P	J
N	97	64	62
NPK	135	62	59
N + sláma	131	55	59

### 2.10.1. Efektivita využití dusíku

Z dalších postupů, které jsou při hodnocení bilance využívány lze počítat ukazatele efektivity využití dusíku.

**Agronomická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N)** je počítána jako rozdíl z přírůstku výnosu na hnojené variantě v porovnání s výnosem na nehnojené variantě a ve vztahu k aplikované dávce dusíku.

$$\text{AE-N} = (\text{výnos na hnojené variantě} - \text{výnos na nehnojené variantě}) / \text{dávka N na hnojené variantě}$$

V tabulkách 12 – 14 jsou vypočteny průměrné přírůstky sušiny hlavních produktů oproti kontrolní variantě (výnos na hnojené variantě/výnos na nehnojené variantě), vyjádřeno v kg sušiny/ha.

Tabulka 12: Přírůstek výnosu sušiny hlíz brambor (\*kukuřice) oproti nehnojené kontrole (kg/ha)

	Červený Újezd*	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	2928	2830	2108	1973	1300
Hněj	2494	2622	2221	2198	1562
Hněj+N	2744	2033	2408	1683	1175
N	3418	2938	2800	3736	998
NPK	4424	3836	2011	3790	1622
N+sláma	4437	3321	2122	2902	872

Tabulka 13: Přírůstek výnosu sušiny zrna ozimé pšenice oproti nehnojené kontrole (kg/ha)

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	1630	2421	1725	1267	1034
Hněj	1353	2205	1022	1344	1000
Hněj+N	2175	2696	2342	3536	1416
N	2502	2622	2110	3650	1552
NPK	2386	2524	2637	3713	1739
N+sláma	2311	2547	2596	3327	1595

Tabulka 14: Přírůstek výnosu sušiny zrna jarního ječmene oproti nehnojené kontrole (kg/ha)

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	1017	1099	688	632	604
Hněj	950	1025	633	670	529
Hněj+N	1483	1973	1654	1556	1215
N	1474	1855	1629	1596	1338
NPK	1608	2389	1826	1659	1395
N+sláma	1728	2051	1643	1488	1458

Jak již bylo patrné z hodnocení v předchozích kapitolách, nejnižší přírůstek výnosu byl z plodin u jarního ječmene. Ze stanovišť byl nejnižší přírůstek vypočítán na Suchdole.

Na základě těchto výsledků, ve vztahu k aplikované dávce hnojiva byla vypočítána agronomická efektivita aplikovaného dusíku, tzn., o kolik se zvýší přírůstek sušiny hlavního produktu (v kg) po aplikaci jednoho kilogramu N (tab. 15).

Tabulka 15: Agronomická efektivita AE-N (kg/kg) v tříletém cyklu

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	16,90	19,24	13,70	11,74	8,90
Hnůj	14,54	17,73	11,75	12,77	9,37
Hnůj+N	19,40	20,31	19,41	20,53	11,53
N	22,40	22,47	19,81	27,22	11,78
NPK	25,51	26,51	19,62	27,76	14,42
N+sláma	25,69	24,00	19,28	23,38	11,89

Těmito výpočty je možno určit nejen vliv dusíkatého hnojení, ale i případná další opatření. Jak je z výsledků patrné, největší agronomická efektivita byla na všech stanovištích (s výjimkou Humpolce) vypočtena na variantě NPK, což ukazuje na lepší využití N při vyrovnané výživě, v porovnání s jednostranným hnojením N. Naopak nejmenší vliv na tvorbu výnosu je na většině stanovišť pozorován při aplikaci pouze hnoje.

Vliv aplikovaného dusíku je možné v bilancích dále přesněji sledovat při posouzení aplikovaného dusíku v hnojivech a odběrem dusíku ve sklizených produktech. Tímto způsobem je možné vyhodnotit podíl přímého působení dusíku z aplikovaných hnojiv. Zbývající část dusíku prochází přes mineralizačně-imobilizační koloběh dusíku v půdě.

Tato **efektivita využití („znovuzískání“) dusíku (Recovery Efficiency - RE-N)** je počítána jako rozdíl z odběru dusíku na hnojené variantě v porovnání s odběrem N na nehnojené variantě a ve vztahu k aplikované dávce dusíku.

$$\text{RE-N} = (\text{odběr N na hnojené variantě} - \text{odběr na nehnojené variantě}) / \text{dávka N na hnojené variantě}$$

U minerálních hnojiv jsou do výpočtu zahrnuty průměry v jednotlivých letech, pokud každoročně byla dusíkatá hnojiva aplikována. U organických hnojiv je počítán součet za jednotlivé roky, neboť tato organická hnojiva nejsou aplikována každoročně. Jak však vyplývá z výsledků, efektivita využití dusíku z organických hnojiv výrazně klesá s odstupem od jejich aplikace (tab. 17).

Tabulka 16: Efektivita využití dusíku (%) z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech za tříletý cyklus

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	36	47	30	25	27
Hnůj	29	34	19	25	18
Hnůj+N	47	48	44	41	28
N	65	60	55	57	36
NPK	69	69	52	58	37
N+sláma	66	65	54	51	36

Tabulka 17: Efektivita využití dusíku (%) z dávky dusíku v aplikovaných organických hnojivech v jednotlivých letech.

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Hnůj 1. rok	12	12	9	13	8
Hnůj 2. rok	11	16	6	6	7
Hnůj 3. rok	5	7	4	5	3
Kal 1. rok	17	17	13	15	10
Kal 2. rok	13	21	13	7	11
Kal 3. rok	5	9	4	3	5

Při výpočtu působení dusíku aplikovaných v organických hnojivech je často obtížné určit přímé působení dusíku a reziduální působení v jednotlivých letech. Organická hnojiva představují rozmanitý zdroj dusíku v zemědělství. Jednotlivá organická hnojiva se od sebe liší jednak obsahem dusíku, podílem jednotlivých forem dusíku (organicky vázaný dusík, minerální dusík  $\text{N-NO}_3^-$  a  $\text{N-NH}_4^+$ ) a dále využitelností dusíku pro rostliny z krátkodobého a dlouhodobého hlediska. V bilancích je u organických hnojiv počítán veškerý aplikovaný dusík, avšak vliv na výnos plodin je často odlišný. Živiny z některých organických hnojiv často vykazují malý vliv na výnos plodin v prvním roce aplikace hnojiv. Dochází však k obohacení půdní zásoby a působení v následujících letech (reziduální, nebo kumulativní působení). Z našich výsledků je zřejmý klesající vliv dusíku z organických na jeho využití rostlinami. Stanovení však může být zatíženo chybou vlivu plodin, neboť v prvním roce po aplikaci jsou v našich pokusech pěstovány brambory, avšak např. na stanovišti Suchdol a Hněvčeves nejsou pro tuto plodinu optimální podmínky. Vyšší využití N je na těchto lokalitách až ve druhém roce, kdy je v osevním postupu zařazena ozimá pšenice. Obdobné výsledky, které uvádíme, stanovili například Mallory et al. (2010), ačkoliv často je pro hnůj skotu počítáno následující využití: 25 % v prvním roce; 12 % v druhém roce; 5 % ve třetím roce (Ketterings et al., 2005).

### Organická hnojiva

V některých výpočtech pro organická hnojiva je vypočítáván tzv. **ekvivalenty minerálních hnojiv (MFE – „Mineral-fertilizer-N equivalents“)**. Tento výpočet slouží pro určení vlivu organických hnojiv v prvním roce, případně i dalších letech, ve srovnání s aplikací minerálních hnojiv.

Výpočet se v bilancích dusíku provádí následujícím způsobem:

$$\text{MFE} = (\text{odběr N na variantě hnojené organickými hnojivy} - \text{odběr N na kontrolní variantě}) / (\text{odběr N na variantě hnojené minerálními hnojivy} - \text{odběr N na kontrolní variantě}) \times 100$$

V tabulce 18 jsou uvedeny hodnoty využití N u vybraných hnojiv v porovnání s působením minerálních hnojiv v prvním roce aplikace.

Tabulka 18: Využití N u statkových a dalších vybraných hnojiv v porovnání s působením minerálních hnojiv v prvním roce aplikace (Gutser et al., 2005)

Hnojivo	Obsah N	Sušina (%)	Obsah amonného N- z celkového N (%)	Poměr C:N	Ekvivalent minerálních hnojiv* (%)
Kompost	6 kg/m <sup>3</sup>	60	0-15	13-20	0-20
Chlévský hnůj	6 kg/t	25	5-20	12-15	10-20
Čistírenské kaly	4-5 kg/t	25	5-20	6-8	15-30
Lihovarnické výpalky	3 kg/m <sup>3</sup>	6	0-5	8-10	30-35
Zelené hnojení	1-3 kg/t	10	0-10	10-30	10-40
Kejda skotu	4 kg/m <sup>3</sup>	7,5	40-60	8	35-45
Digestát z rostlinné biomasy	2-3 kg/m <sup>3</sup>	8	35-60	5-8	40-60
Digestát z kejdy z kofermentace	3-15 kg/m <sup>3</sup>	5	45-70	2-5	50-70
Rohovina	130 kg/t	95	0-5	3-4	50-70
Drůbeží výkaly	30 kg/t	55	5-30	5	60-70
Kejda drůbeže	10 kg/m <sup>3</sup>	15	60-80	4	70-85
Moč / močůvka	4 kg/m <sup>3</sup>	2	80-90	1-2	90-100

\* *Příklad: ekvivalent minerálních hnojiv = 30 %, tzn. aplikací 100 kg N/ha v organickém hnojivu je dosažen v krátkodobém působení stejný efekt, jako při dávce 30 kg N v minerálních hnojivech.*

Výše uvedené postupy jsou velice často využívány pro hodnocení vlivu hnojení v pokusech s výživou rostlin, při řešení výzkumných projektů apod. V zemědělské výrobě však využití těchto výpočtů je omezené, neboť zde chybí srovnání s nehnojenou variantou. Pěstitelé však tyto informace využívají k porovnání vlivu hnojení dusíkem na jejich stanovištích, případně si někteří část pozemku nechají jako srovnávací bez hnojení, nebo využijí některé nehnojené okraje pozemků např. u zdrojů povrchových vod.

Pro agronomickou interpretaci vlivu hnojení dusíkem při výpočtech jeho bilancí lze využít postupy bez započítání kontrolní varianty. V těchto případech je však nutné si uvědomit, že v daném roce hodnocení, případně pro dané stanoviště není počítán vliv půdních podmínek (např. podíl N uvolněný mineralizací na nehnojených variantách).

**Využití dusíku (Utilization of Nitrogen U-N)**. Je počítán jako podíl dusíku, který byl odebraný porostem a aplikované dávky dusíku.

$$U-N (\%) = \text{množství N odebrané porostem (kg/ha)} / \text{aplikované množství N (kg/ha)}$$

Výsledek je možné vyjádřit v absolutních hodnotách, nebo v procentech.

Pokud je vypočítaná hodnota (vyjádřená v %) větší než 100, je při pěstování plodin využíván ještě jiný zdroj dusíku (dusík ze spadů, mineralizace půdní organické hmoty apod.), než z dodaných hnojiv. Čistá bilance je v tomto případě záporná. V případě, že vypočtená hodnota je nižší, než 100 %, dochází k akumulaci N v půdě, a výsledná bilance je kladná. V tomto případě může docházet ke ztrátám N z půdy.

Při porovnání využití dusíku u jednotlivých variant hnojení bylo i při tomto jednoduchém způsobu bilancování potvrzeno největší využití N na variantách NPK, avšak zde je patrné, že v běžném systému hospodaření by bylo nezbytné zvýšit dávku N, neboť z dlouhodobého hlediska zde bude největší deficit. Při použití organických hnojiv je poměrně

nízké využití dusíku z organických hnojiv, především z hnoje, zvláště na stanovištích Lukavec a Suchdol. U těchto stanovišť, vycházejí hodnoty využití dusíku podobně, přestože se jedná o zcela rozdílná stanoviště, jak vyplynulo z výše uvedených šetření. Nepřesností při použití tohoto bilančního postupu je tedy to, že podle něj nedokážeme určit, zda skutečně ke ztrátám N dochází, nebo jaký je průběh transformačních procesů v půdě.

Tabulka 19: Využití dusíku plodinami U-N (%) v průměru rotace plodin

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	105	109	98	80	85
Hnůj	98	96	87	77	73
Hnůj+N	117	112	109	92	90
N	135	124	124	108	97
NPK	140	131	120	112	101
N+sláma	136	128	120	103	99

Dalším možným hodnocením je srovnání reakce plodin na aplikovaná dusíkatá hnojiva a využití dusíku porostem. Z podílu výnosu a odběru dusíku pěstovanou plodinou lze vypočítat tzv. **vnitřní efektivitu utilizace N („Internal Utilization Efficiency“ IE-N).**

$$\text{IE-N (kg/kg)} = \text{výnos sušiny (kg/ha)} / \text{odběr N (kg/ha)}$$

Tato charakteristika je závislá na dané plodině, případě odrůdě, ale také agromanagementu u dané plodiny. Nepostihuje však vliv stanoviště a možné podmínky pro zlepšení výnosu a odběru dusíku porostem, ale má pouze informativní charakter, zda obsah dusíku odpovídá danému výnosu. Jelikož obsah živin a výnos plodin bývají často v úzké korelaci, je možné tento výpočet využít i u jiných živin, u kterých můžeme na daném stanovišti předpokládat deficit. Hodnota IE pro dusík (**IE-N**) se pohybuje v rozsahu 30-90 kg/kg, optimální rozsah při vyvážené výživě je 55-65 kg/kg (Dobermann 2007). Vysoké hodnoty IE-N značí deficit dané živiny, nízké hodnoty ukazují nízkou konverzi živiny vlivem jiných faktorů (nedostatek živin, vláhový deficit, toxicita apod.).

Pokud porovnáme vnitřní efektivitu utilizace u plodin z dlouhodobých pokusů, je zřejmé, že odpovídající hodnota byla stanovena u brambor a jarního ječmene, naopak nízké hodnoty byly vypočteny u pšenice na většině variant s minerálním hnojením a u kukuřice na Červeném Újezdě (tabulky 20 – 22).

Tabulka 20: Vnitřní efektivita utilizace N IE-N (kg/kg) u brambor (\*silážní kukuřice)

	Červený Újezd*	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	101,90	77,06	77,69	79,58	69,41
Kal 1	84,88	62,88	68,19	64,75	64,80
Hnůj	89,38	73,84	76,78	68,64	74,67
Hnůj+N	87,88	76,32	80,77	74,57	76,77
N	79,72	66,95	65,47	65,07	65,57
NPK	80,28	67,34	65,47	67,15	68,20
N+sláma	82,72	67,36	68,36	65,58	66,10



Tabulka 21: Vnitřní efektivita utilizace N IE-N (kg/kg) u ozimé pšenice

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	62,01	65,98	62,47	63,19	59,79
Kal 1	56,08	54,18	57,34	61,03	53,27
Hnůj	54,27	57,47	60,88	62,34	57,78
Hnůj+N	47,99	49,08	49,48	56,23	49,94
N	43,90	46,96	46,55	55,45	47,73
NPK	43,15	46,19	47,86	53,11	47,37
N+sláma	44,00	47,07	47,12	53,71	47,46

Tabulka 22: Vnitřní efektivita utilizace N IE-N (kg/kg) u jarního ječmene

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kontrola	63,45	68,02	58,91	63,98	65,76
Kal 1	63,59	60,40	59,05	64,83	65,55
Hnůj	65,11	63,24	60,91	63,64	67,46
Hnůj+N	56,53	58,84	57,94	63,42	62,87
N	51,41	56,25	55,52	62,48	57,97
NPK	52,28	55,70	59,00	65,53	60,47
N+sláma	50,71	56,94	56,06	63,38	58,99

Jedním z nejjednodušších postupů v bilancování dusíku a vlivu hnojení na výnos je výpočet **dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku PFP-N (Partial Factor Productivity)**

**PFP-N (kg/kg) = výnos (kg/ha) / aplikované množství N (kg/ha)**

Tento výpočet je pro pěstitele jedním z nejzajímavějších, jelikož do výpočtu začleňuje obě důležité informace, tj. výnos a aplikovanou dávku dusíku. Při hodnocení ve výživářských pokusech je použit postup se zahrnutím nehnojené kontrolní varianty.

**PFP-N (kg/kg) = (výnos na kontrolní variantě (kg/ha) / aplikované množství N (kg/ha)) + AE-N (agronomická efektivita aplikovaného N (kg/kg))**

V tomto postupu je ve srovnání s předchozím výpočtem IE-N zahrnut i vliv stanoviště. Při používání minerálních dusíkatých hnojiv je rozsah PFP-N od 40 do 80 kg/kg. Hodnoty nad 60 kg/kg jsou na úrodných stanovištích s vyšším podílem dusíku z mineralizace organické hmoty v půdě nebo v systémech s dobrým systémem hospodaření (Dobermann 2007). U organických hnojiv, kde je započítán jenom podíl dusíku využitelný v daném roce (viz RE-N), jsou hodnoty vyšší, než 100 kg/kg. Avšak i v tomto případě platí, že využití dusíku z aplikovaných hnojiv, nebo z půdy je vyšší, čím vyšší hodnota PFP-N je vypočtena. V tabulce 23 jsou uvedeny průměrné hodnoty PFP-N u jarního ječmene. V tomto výpočtu se projevuje nejen vliv hnojiv, ale také vliv stanoviště. Pokud srovnáme stanoviště Lukavec a stanoviště Suchdol, je patrný vyšší faktor produktivity na stanovišti Suchdol.

Tabulka 23.: Průměrný dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku PFP-N (kg/kg) u jarního ječmene

	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Kal 1	230,11	259,85	203,49	145,71	231,06
Hněj	221,59	243,61	207,63	152,37	213,19
Hněj+N	67,40	77,34	70,30	54,84	68,98
N	60,76	68,06	61,45	50,12	62,22
NPK	62,69	75,46	65,97	51,01	64,49
N+sláma	62,42	71,42	63,36	48,57	64,98

### Souhrn

Výše uvedené postupy hodnocení efektivity hnojení dusíkatého hnojení je možno provést pro jednotlivé pozemky zemědělského podniku. Takto lze mezi nimi sledovat rozdíly a na základě výsledků upravit používaný systém hnojení dusíkem. Dávky dusíku jsou často jednotně počítány podle odběru dusíku a předpokládaného výnosu plodiny, avšak bez přihlídnutí k využití N na daném pozemku. Pokud budou současně pro dané pozemky vyhodnoceny rozborů půd a stanoveny některé z mineralizovatelných forem dusíku, bude možné upřesnit potřebu hnojení dusíkem a optimalizovat tak vstupy, které jsou právě u hnojení dusíkem poměrně vysoké.

### 3. Srovnání novosti postupů

Bilance živin obecně je v zemědělství doposud málo využívána v praxi. Je tomu tak především z neznalosti možných používaných metod, nebo na druhou stranu pracovní náročnosti, pokud je bilance počítána komplexně. Nedostatek analytických dat a některé nedostatky bilančních metod vyvolávají potřebu hledat další, nové, analyticky nenáročné a pokud možno jednoduché možnosti pro stanovení a prognózu transformačních procesů dusíku v půdě, především těch složek, které jsou zapojeny v mineralizačně-imobilizačním koloběhu dusíku. V současné době jsou však při výpočtu bilancí s dusíkem počítány často odhady, bez použití konkrétních údajů pro dané stanoviště. Na druhou stranu jsou mnohdy dusíkatá hnojiva používána nevhodně, bez ohledu na možné ztráty N z hnojiv po jejich aplikaci, nebo skutečné využití dusíku porostem, případně bilance dusíku v osevním postupu. Tato metodika je založena na výsledcích rozborů půd z dlouhodobých polních pokusů na pěti různých stanovištích v ČR, hodnocení výsledků sklizní a odběrů dusíku porostem. Uvedeny jsou postupy, které jsou používány zvl. v zahraničí pro výpočet bilancí N v zemědělské praxi a ukazují na efektivitu aplikovaného dusíku v různých typech hnojiv. Postupy jsou vhodné jak pro zemědělskou praxi, tak i při řešení výzkumných projektů.

### 4. Popis uplatnění metodiky

Metodika shrnující nové poznatky v oblasti bilance dusíku obilnin bude poskytnuta široké odborné veřejnosti a subjektům poradenské služby. Její využití by mělo přispět k lepšímu využití dusíku z aplikovaných hnojiv a správné stanovení potřeby dusíkatého hnojení pro určité stanoviště, případně pozemek. To v konečném důsledku povede ke zvýšení výnosu a kvality plodin, snížení znečištění životního prostředí a úspoře vynaložených finančních prostředků.

### 5. Ekonomické aspekty

Jedním z důležitých úkolů v současném období je zvýšení efektivnosti aplikovaného dusíku z minerálních, případně organických hnojiv a snížení ztrát dusíku do okolních zdrojů. Jak je z uvedených výsledků patrné, využití aplikovaného dusíku se pohybuje mezi 36 – 69, avšak v celosvětovém průměru představuje u zrnin efektivita využití dusíku pouze 33 %. Využití dusíku je výrazně ovlivněno průběhem počasí, plodinami a jejich systémem pěstování. Při použití postupů uvedených v metodice je možné je možné stanovit následné ekonomické aspekty:

#### **Vyčíslení nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice:**

Pro hodnocení bilancí dusíku je nezbytné správně stanovit hlavní položky koloběhu dusíku.

##### **1) Hodnocení obsahu dusíku ve sklizených produktech**

Stanovení celkového obsahu dusíku (pokud nejsou tyto charakteristiky součástí hodnocení např. při výkupu) je nezbytné pro výpočet odběru ve sklizených produktech a následně exportu dusíku v produktech odvážených z pole. S ohledem na ročníkovou variabilitu je vhodné tyto analýzy provádět každoročně a pro jednotlivé roky zpřesnit bilanci dusíku s ohledem na množství N aplikovaného k dané plodině a množství N odebraného

porostem a exportovaného z pole. Podle bilančního rozdílu je pak možné upřesnit potřebu N k následující plodině (snížení dávky při přebytku N, zvýšení dávky při odčerpání N).

Počet vzorků je ovlivněn možnostmi zemědělského subjektu, je však vhodné přizpůsobit počet sledovaných vzorků velikosti pozemku, případně možné variabilitě pozemku. Průměrný vzorek by měl zahrnout rozlohu 3-5 ha.

Průměrná cena laboratorního stanovení celkového obsahu N (metodou podle Kjeldahla, nebo modifikovanou metodou podle Dümase) je 300 Kč/jeden vzorek.

Pro zemědělský podnik při výměře 1000 ha při odběru 1 vzorek/5 ha představují náklady na analýzy celkového N **60 tis Kč/rok**.

## 2) Hodnocení minerálních forem dusíku

Stanovení minerálních forem dusíku je vhodné pro upřesnění hnojení dusíkem na počátku vegetace, pro přihnojení během vegetace, nebo pro stanovení obsahu reziduálního dusíku na konci vegetace. Menší ročníková variabilita obsahu minerálního dusíku je na jaře, vyšší pak během vegetace, nebo na konci vegetace (s ohledem na průběh počasí, využití dusíku porostem, pohyb dusíku v půdě a jeho transformaci). S ohledem na ročníkovou variabilitu je vhodné tyto analýzy provádět každoročně zvláště během vegetace, ale také na konci vegetace a upřesnit postupy v agromanagementu pro větší využití přijatelných forem N z půdy během vegetace, nebo další opatření na konci vegetace (zařazení zeleného hnojení apod.). Počet vzorků je ovlivněn možnostmi zemědělského subjektu, je však vhodné přizpůsobit počet sledovaných vzorků velikosti pozemku, případně možné variabilitě pozemku. Průměrný vzorek by měl zahrnout rozlohu 3-5 ha.

Průměrná cena laboratorního stanovení obsahu minerálního N (extrahovatelné formy N v 0,01 M CaCl<sub>2</sub>) je 100 Kč/jeden vzorek.

Pro zemědělský podnik při výměře 1000 ha při odběru 1 vzorek/5 ha představují náklady na analýzy minerálního N **20 tis Kč/rok**.

## Vyčíslení ekonomického přínosu pro uživatele (v tis. Kč)

Při správném posouzení bilance dusíku lze stanovit následující přínosy:  
(výpočty jsou počítány pro průměrnou dávku 100 kg N/ha v minerálních hnojivech)

### 1) Zvýšení efektivity využití N

Vlivem zlepšení synchronizace dostupnosti N a jeho odběru porostem lze zvýšit efektivitu využití N o 5-20 % (Raun a Johnson, 1999)

Při zvýšení efektivity využití N o 5 % může zemědělský podnik o výměře 1000 ha snížit roční spotřebu aplikace dusíku o 5000 kg N, což při průměrné ceně 28 Kč/kg N představuje úspory **140 tis. Kč**;

*nebo*

při zachování stejné dávky aplikovaného dusíku dojde ke zvýšení produkce o 100 t (při průměrné agronomické efektivitě 20 kg přírůstku sušiny na 1 kg aplikovaného N). Na základě ocenění dané komodity (např. při ceně obilnin 4000 Kč/t) je ekonomický přínos pro uživatele až **400 tis. Kč**.

## 2) Snížení ztrát N

a) Při hodnocení obsahu minerálního dusíku na konci vegetace v některých letech (v závislosti na výše popsáných vlivech), může zůstat v půdě 50 – 150 kg N/ha. Pokud by byla zvýšena využitelnost tohoto reziduálního dusíku vhodnými agroekologickými postupy (využití meziplodin, využití N následnou ozimou plodinou apod.) lze snížit spotřebu přímé aplikace N hnojiv k následné plodině, nebo jako v předchozím případě počítat vyšší produkci pěstovaných plodin. Ekonomický přínos pro uživatele (při stejných předpokladech jako v předchozích výpočtech) je **180 – 460 tis. Kč/rok**. Je nezbytné však připomenout, že tento přínos je variabilní s ohledem na průběh jednotlivých vegetačních období.

b) Jak bylo uvedeno v metodice, významné ztráty N mohou vznikat po aplikaci organických hnojiv, zvláště při jejich pozdním zapravení. Pokud by byl průměrný přísun N v organických hnojivech na úrovni 20 kg N/ha za rok, představovala by aplikovaná dávka N pro výše zvažovaný zemědělský subjekt 20 000 kg aplikovaného N/rok. Při pozdním zapravení organických hnojiv může docházet ke ztrátám přes 15 % z aplikovaného množství N, což by představovalo ztráty až 3 000 kg N. Při snížení ztrát o 10 % představuje ekonomický přínos pro uživatele až **56 tis. Kč/rok**. Je však nezbytné počítat s nižší efektivitou aplikovaného dusíku v organických hnojivech v porovnání s minerálními hnojivy.

Při využití postupů uvedených v metodice tak může uživatel získat podrobnější přehled pro hodnocení využití N na jednotlivých honech, půdních blocích či pozemcích. V dlouhodobém sledování lze pak přesněji stanovit jednotlivé položky bilancí dusíku, zvláště s ohledem na ročníkovou variabilitu faktorů ovlivňujících využití dusíku plodinami. Podle toho lze pak lépe předpovídat termíny, dávky, případně formy dusíku aplikované pro jednotlivé plodiny. Ročníková variabilita také bude ovlivňovat skutečný ekonomický přínos pro uživatele.

## 6. Seznam související literatury

- Benjamin J.G., Nielsen D.C., Vigil M.F. (2003). Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*, 116:137–148.
- Bindraban (2000). Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81:103–112.
- Cai Z.C., Qin S.W. (2006). Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Geoderma*, 136:708–715.
- Černý J. (2002). Transformace dusíku v půdách, obsah organického dusíku a dusíku mikrobiální biomasy. [Doktorská disertační práce] Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Dobermann A.R. (2007). Nutrient use efficiency – measurement and management. In: IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices, 7–9th March, 2007, Brussels.
- Goulding K.W.T., Poulton P.R., Webster C.P., Howe M.T. (2000). Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use Management*, 16:244–250.
- Gutser R., Ebertseder Th., Weber A., Schraml M., Schmidhalter U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168:439–446.
- Ketterings Q.M., Albrecht G., Czymmek K., Bossard S. (2005). Nitrogen credit from manure. Fact Sheet 4. Cornell University Cooperative extension, Ithaca.
- Leikam D.F., Murphy L.S., Kissel D.E., Whitney D.A., Moser H.C. (1983). Effects of nitrogen and phosphorus application method and nitrogen source on winter wheat grain yield and leaf tissue phosphorus. *Soil Science Society American Journal*, 47:530–535.
- Mallory B.E., Griffin T.S., Porter G.A. (2010). Seasonal Nitrogen availability from current and past applications of manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 88:351–360.
- Ming-Sheng F., Fang-Jie Z., Fairweather J.S., Poulton R.P., Dunham J.S., McGrath P. S. (2008). Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22:315–324.
- OECD and EOROSTAT (2007). Gross nitrogen balances. Handbook. <http://www.oecd.org/greengrowth/sustainableagriculture/40820234.pdf>.
- Raun W.R., Johnson G.V. (1999): Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91:357–363.
- Stanford G. (1982). Assessment of soil nitrogen availability. In: Stevenson F. J. (ed.): Nitrogen in agricultural soils. *Agronomy*, 22:651–688.
- Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A. (1998). Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 50:153–160.
- Šilha J. (2006). Hnojení dusíkem v precizním zemědělství. [Doktorská disertační práce] Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Vaněk V., Balík J., Šilha J., Černý J. (2008): Spatial variability of total soil nitrogen and sulphur content at two conventionally managed fields. *Plant, Soil and Environment*, 54:413–419.
- Vaněk V., Šilha J., Němeček R. (2003): The level of soil nitrate content at different management of organic fertilizers application. *Plant, Soil and Environment*, 49:197–202.

## 7. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Černý J., Balík J., Kulhánek M., Časová K., Nedvěd V. (2010). Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant, Soil and Environment*, 56:28–36.
- Černý J., Balík J., Kulhánek M., Vašák F., Peklová L., Sedlář O. (2012). The effect of mineral N fertiliser and sewage sludge on yield and nitrogen efficiency of silage maize. *Plant, Soil and Environment*, 58:76–83.
- Černý J., Balík J., Kulhánek M. (2010). Vliv aplikace čistírenských kalů na výnos polních plodin. *Úroda*, 8:43–48.
- Černý J., Balík J., Kulhánek M., Nedvěd V. (2008). The changes in microbial biomass C and N in long-term field experiments. *Plant, Soil and Environment*, 54:212–218.
- Nedvěd V., Balík J., Černý J., Kulhánek M., Balíková M. (2008): The changes of soil nitrogen and carbon contents in a long-term field experiment under different systems of nitrogen fertilization *Plant, Soil and Environment*, 54:463–470.

## Příloha č. 1. Charakteristika pokusných stanovišť

Pro vypracování metodiky byly využity výsledky sledování z dlouhodobých polních pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin (KAVR) ČZU v Praze.

Dlouhodobé polní pokusy byly založeny na pěti stanovištích ČR s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami: Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec, Praha (tab. 2.1.). Pokusy byly založeny v roce 1996.

V rámci pokusu jsou střídány tři plodiny ve sledu: brambory (kukuřice), ozimá pšenice, jarní ječmen. Hodnoceno bylo sedm pokusných variant: **1.** bez hnojení jako **kontrola**, **2.** čistírenské kaly (**kal 1**), **3.** chlévský hnůj (**hnůj**), **4.** poloviční dávka chlévského hnoje + dusík v minerálních dusíkatých hnojivech (**hnůj**  $_{1/2+N}$ ), **5.** minerální dusíkaté hnojení (N), **6.** N, P a K v minerálních hnojivech (NPK), **7.** sláma jarního ječmene a dusík v dusíkatých minerálních hnojivech (N+sláma).

Hodnocení bilance dusíku je založeno na jednotné dávce 330 kg N/ha za tříletou rotaci, mimo varianty 1 (0 kg N/ha). K jarním plodinám jsou minerální dusíkatá hnojiva aplikována před založením porostu v dávce 120 kg N/ha u brambor a 70 kg N/ha u ječmene; u ozimé pšenice je dávka dusíku rozdělena na dvě poloviny. První je aplikována jako regenerační přihnojení (70 kg N/ha) a druhá jako produkční přihnojení (70 kg N/ha) (tab. 2.2.). Organická hnojiva – čistírenské kaly, chlévský hnůj a sláma jsou aplikována vždy na podzim v říjnu pod brambory (kukuřici). Na variantě NPK jsou minerální fosforečná a draselná hnojiva aplikována ke každé plodině na podzim. Dávka P ke všem plodinám je 30 kg P/ha (trojitý superfosfát), dávka K 100 kg K/ha (60% draselná sůl). Na ostatních variantách je dávka P a K odvozena od obsahu živin v aplikovaných organických hnojivech (tab. 2.3.). Pokusy jsou uspořádány tak, aby bylo možné v každém roce pěstovat současně všechny sledované plodiny a zohlednit tak ročníkovou variabilitu.

Výsledky uvedené v metodice jsou tak podloženy sériemi 1575 dat nepřetržité časové řady (7 variant  $\times$  3 plodiny  $\times$  5 stanovišť  $\times$  15 let). Analýzy půd a rostlin byly vždy prováděny minimálně ve dvou opakováních.

Tabulka 2.1.: Charakteristika pokusných stanovišť

Stanoviště	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Lokalizace	50°4'22"N, 14°10'19"E	50°18'46"N, 15°43'3"E	49°33'16"N, 15°21'2"E	49°33'23"N, 14°58'39"E	50°7'40"N, 14°22'33"E
Výrobní oblast	ŘVO	ŘVO	BVO	BVO	ŘVO
Nadmořská výška (m n. m.)	410	265	525	610	286
Průměrná roční teplota (°C)	7,7	8,2	7,0	7,7	9,1
Průměrné roční srážky (mm)	493	573	665	666	495
Půdní typ	luvizem	luvizem	kambizem	kambizem	černozem
Půdní druh	hlinitá	jílovito- hlinitá	písčito- hlinitá	písčito- hlinitá	hlinitá
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6,5	5,9	5,1	4,3	7,5
Cox (%)	1,7	1,6	2,3	1,7	2,6
KVK (mmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	145	179	159	128	230
P* (mg.kg <sup>-1</sup> )	100	84	90	124	91
K* (mg.kg <sup>-1</sup> )	80	150	190	213	230
Mg* (mg.kg <sup>-1</sup> )	110	130	100	80	240
Ca* (mg.kg <sup>-1</sup> )	3600	3600	1300	1100	9000

\* Mehlich 3 1:10 w/v



Tabulka 2.2.: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

Varianta	brambory			pšenice			ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Kontrola	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kal 1	330 <sup>1)</sup>	201 <sup>2)</sup>	55 <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0
Hnůj	330 <sup>1)</sup>	118 <sup>2)</sup>	374 <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0
Hnůj+N <sup>3)</sup>	165 <sup>1)</sup>	59 <sup>2)</sup>	187 <sup>2)</sup>	110	0	0	55	0	0
N	120	0	0	140	0	0	70	0	0
NPK <sup>3)</sup>	120	30	100	140	30	100	70	30	100
N+sláma	138	6 <sup>2)</sup>	47 <sup>2)</sup>	140	0	0	70	0	0

1) celkový dusík v organických hnojivech;

2) průměrná dávka podle obsahu živin v hnojivech (tabulka 2.3.),

3) Minerální hnojiva: N – Ledek amonný s vápencem (LAV 27 %N)

P – Trojitý superfosfát (TSP 21 %P), K – Draselná sůl (DS60 50 % K)

Tabulka 2.3.: Průměrný obsah živin v aplikovaných organických hnojivech a jejich dávky v tříletém cyklu

	Dávka sušiny	Obsah sušiny	Obsah živin (% sušiny)				
	t/ha	%	N	P	K	Ca	Mg
Čistírenské kaly 1	9,11	30,9	3,54	2,23	0,61	3,00	0,78
Hnůj-Červený Újezd	14,36	30,7	2,49	0,81	2,14	2,28	0,58
Hnůj-Hněvčeves	16,83	25,7	2,15	0,75	2,49	2,51	0,59
Hnůj-Humpolec	15,02	24,9	2,28	0,72	2,24	1,55	0,62
Hnůj-Lukavec	17,63	26,0	1,98	0,63	2,72	1,71	0,51
Hnůj-Suchdol	16,33	34,2	2,09	0,76	1,94	2,20	0,60
Sláma	5,00	95,0	0,38	0,11	0,93	0,49	0,04



Název:	Bilance dusíku v zemědělství (certifikovaná metodika)
Vydala:	Česká zemědělská univerzita v Praze
Autoři:	Prof. Ing. Jiří Balík, CSc. Ing. Jindřich Černý, Ph.D. Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.
Oponenti:	Prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc. Ing. Michaela Budňáková
Tisk:	Powerprint, Praha
Náklad:	50 výtisků
Počet stran:	40
Rok vydání:	2012
Vydání:	první
Doporučená cena:	neprodejné
ISBN:	978-80-213-2329-2