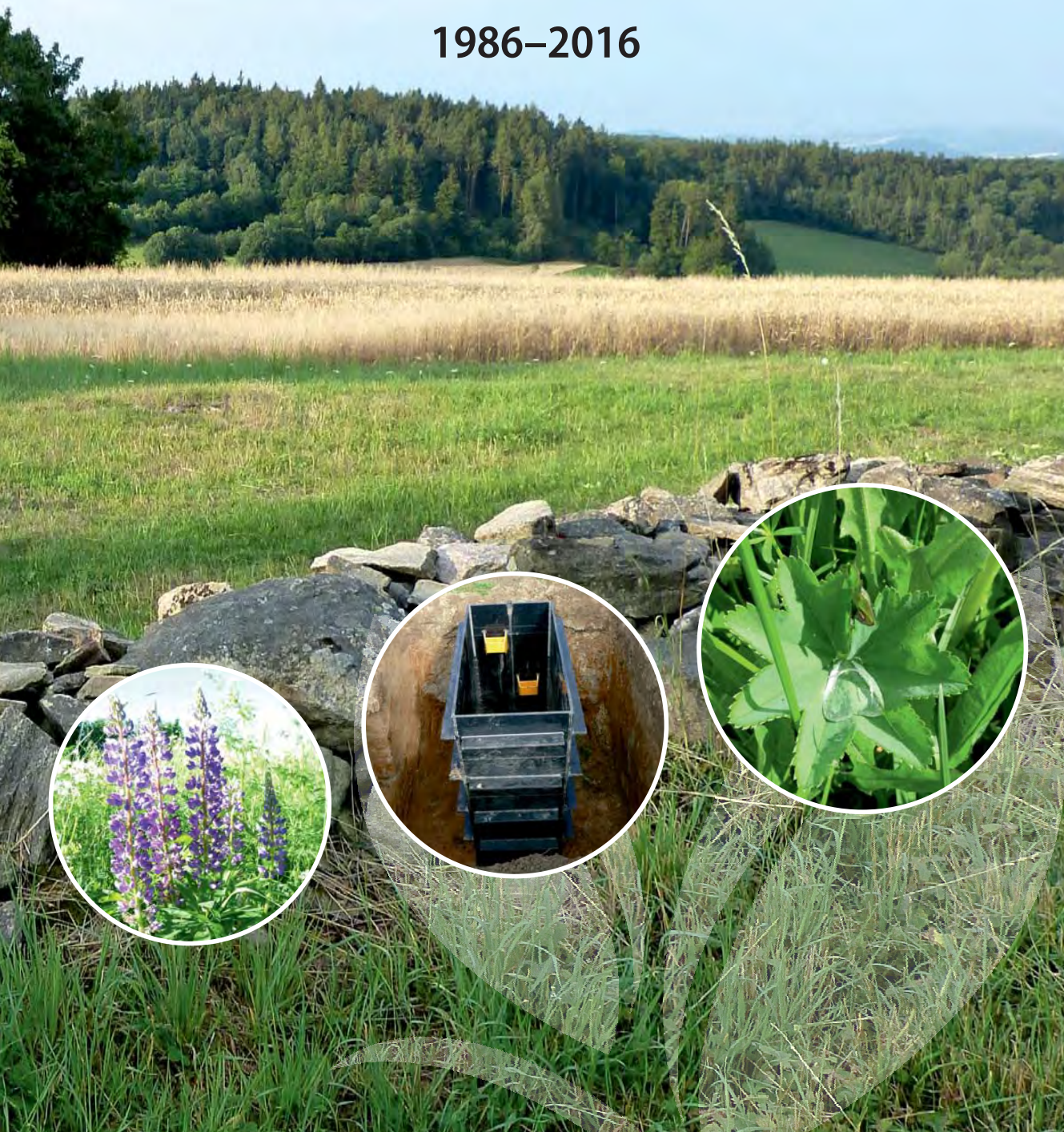




Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

LYZIMETRICKÁ SLEDOVÁNÍ

1986–2016





Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Sekce zemědělských vstupů

Oddělení výživy rostlin

Hroznová 2, 656 06 Brno

LYZIMETRICKÁ SLEDOVÁNÍ

Bilance a vyplavování živin během 30 let lyzimetrických sledování ÚKZÚZ
(1986–2016)

Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.

Ing. Renáta Prchalová

Ing. Vladimír Klement, CSc.

Brno 2018

Obsah

1.	Úvod	5
2.	Literární přehled	6
2.1.	Lyzimetrická zařízení	6
2.2.	Bilance živin	6
2.3.	Výpočet a hodnocení bilance živin	7
3.	Cíle sledování	9
4.	Materiál a metodika	10
4.1.	Popis lyzimetru	10
4.2.	Umístění lyzimetru	11
4.2.1.	Sledování pohybu živin v půdě a bilance živin	12
4.2.2.	Lyzimetrická sledování vlivu stupňovaných dávek živin na bilanci a vyplavování živin	14
4.2.3.	Lyzimetrická sledování rozdílně obhospodařovaných travních porostů Závišín	14
4.2.4.	Lyzimetrická sledování v rámci pokusu „Porovnání různých systémů hnojení v podmínkách ekologického zemědělství“	15
4.2.5.	Lyzimetrická sledování pohybu a dynamiky dusíku v půdě po aplikaci kejdy a digestátu	16
4.3.	Sledované parametry	17
4.4.	Vyhodnocení sledovaných parametrů	19
5.	Výsledky	20
5.1.	Pohyb živin v půdě na vybraných stanovištích ÚKZÚZ v ČR	20
5.1.1.	Promyvnost půd	20
5.1.2.	Vstupy živin atmosférickými srážkami	21
5.1.3.	Ztráty živin vyplavováním	22
5.2.	Bilance dusíku v půdě	22
5.2.2.	Bilance dusíku na lyzimetrických stanovištích	22
5.3.	Vliv úrovně hnojení na bilanci a vyplavování živin	35
5.4.	Vliv obhospodařování travního porostu na bilanci živin	36
6.	Závěr	39
7.	Použitá literatura	40

1. Úvod

Lyzimetrická sledování představují důležitý zdroj poznatků o využití živin v agroekosystému. Umožňují dlouhodobé shromažďování co nejpodrobnějších údajů nejen o obsahu živin v půdě, ale i o vstupech, výstupech a celkové bilanci živin. Důležitou položkou bilance živin jsou atmosférické vstupy a také vyplavování živin. Srážková voda prosakující půdou rozpouští živiny a napomáhá jejich pohybu půdním profilem. Ve vodě rozpustné živiny, které se pohybují s protékající vodou mohou být využity kořeny rostlin. Pokud je ale pohyb živin příliš rychlý, ať už v důsledku vysoké koncentrace živin v půdě, nebo jako následek zasakování velkého objemu vody, živiny jsou z půdy často vyplavovány do spodních vod.

Lyzimetr je zařízení k zachycování vody, která protéká půdním profilem. Obsah živin ve vodě zachycené v lyzimetru může být analyticky stanoven a výsledky využity k výpočtu množství živin, které bylo z jednotlivých horizontů půdního profilu vyplaveno. První polní lyzimetry byly na vybraných zkušebních stanicích ÚKZÚZ založeny v roce 1985. Jejich hlavním cílem bylo získávání poznatků o ztrátách živin vyplavením. Postupně byly zakládány další lyzimetry, a tak byla vytvořena síť stanovišť s odlišným vodním režimem. Sledování bylo dále doplněno o měření vnosu živin do půdy dešťovými srážkami, údaji o výnosech plodin a sledování minerálního dusíku v různých hloubkách, ve třech termínech v průběhu roku, což umožňuje hodnotit nejen ztráty vyplavováním, ale také bilanci živin v půdě. Dlouhodobé sledování umožňuje zaznamenat nejen aktuální stav, ale i změny a trendy sledovaných parametrů. Za 30 let provozu lyzimetrů bylo shromážděno velké množství údajů, které jsou důležitým zdrojem informací.



2. Literární přehled

2.1. Lyzimetrická zařízení

Termín „lyzimetr“ vznikl spojením řeckých slov „luis“ (roztok) a „metron“ (měření). Jedná se o zařízení, které v definované hloubce zachycuje vodu prosakující půdním profilem na vymezené ploše půdy. Podle konstrukce rozlišujeme dva základní typy lyzimetrických zařízení:

- **lyzimetr** – kdy půda je hydrologicky izolována od okolní země. Tento typ lyzimetru může být osazen buď půdním monolitem (neporušenou zeminou odřezanou z terénu), nebo zeminou rozrušenou (sypané půdní horizonty).
- **průsakový sběrač** (SWS – seepage water sampler) je zařízení zachycující přímo vertikální pohyb vody, nedochází zde k porušení půdní struktury. Tímto způsobem jsou konstruována všechna lyzimetrická zařízení ÚKZÚZ. Sběrač perkolující půdní vody se instaluje do vyhloubené dutiny v půdním profilu. Velkou výhodou tohoto typu lyzimetru je možnost získat lyzimetrickou vodu z jakékoli hloubky půdního profilu.

Voda zachycená v lyzimetru se hromadí ve sběrných nádobách, ve kterých lze odečítat objem nahromaděné vody a odebírat vzorky k analýzám. Ve vzorcích vody je stanovován obsah rozpuštěných živin, ale může být také zjišťován obsah pesticidů a další parametry.

2.2. Bilance živin

Jedním z hlavních cílů lyzimetrických sledování je získávání údajů pro výpočet bilance živin. Bilance živin znamená rozdíl mezi vstupy do půdy a výstupy z půdy (Pokorný a Denešová, 1998; Trávník, 1999). V zemědělských ekosystémech je hlavní položkou vstupů hnojení a hlavním výstupem sklizeň. Lyzimetrická sledování umožňují navíc zjistit vstupy ve srážkové vodě a ztráty vyplavováním. Bilancování živin a sledování jejich účinnosti je vhodným prostředkem pro diagnostiku úrovně hospodaření se živinami v agroekosystému a je vhodnou pomůckou, jak předcházet negativním jevům, především nadměrným vstupům a ztrátám živin.

Hlavní pozornost během lyzimetrických sledování byla věnována bilanci dusíku. Dusík je prvek, jehož přeměny jsou velmi dynamické a je velmi pohyblivý v půdě (Richter a Hlušek, 1994). Proto jsou lyzimetrická měření důležitá pro pochopení koloběhu dusíku a jejich výsledky představují cenný zdroj informací využitelných pro management hnojení dusíkem i ochranu prostředí před negativními dopady reaktivních forem dusíku. Současně je ale velmi obtížné bilanci dusíku stanovit. Významná část vstupů a výstupů je ve formě plynů, jejichž toky je technicky obtížné měřit (Šimek, 2003). Proto zpravidla zjišťujeme některé klíčové vstupy a výstupy. Mezi nejdůležitější procesy koloběhu dusíku patří fixace N_2 , kterou pro potřeby bilance zpravidla odhadujeme na základě dříve odvozených údajů. Také změny v obsahu organického dusíku a plynné ztráty do atmosféry lze jen těžko stanovit. Bilance dusíku je tak zpravidla spíše odhad rozdílu mezi měřitelnými vstupy a měřitelnými výstupy, než skutečný rozdíl mezi reálnými vstupy a výstupy.

Přestože je dusík živinou, která limituje výnos, je častým problémem intenzivního zemědělství jeho nadbytek. Aplikací vysokých dávek hnojiv může být do půdy vnášeno více dusíku, než je spotřeba na tvorbu výnosu a výsledkem je kladná bilance. Do jisté míry

může být kladná bilance přínosem pro růst úrodnosti a dusík může být ukládán v podobě organické hmoty, ale množství dusíku, které je agroekosystém schopen pojmout je omezené (Körschens et al., 2013). Proto nadbytečný dusík vede k přehnojení s mnoha škodlivými dopady. Vstupy dusíku by proto měly být udržovány na úrovni odpovídající úrovni výstupů. Určitý bilanční přebytek dusíku, na pokrytí tzv. neodstranitelných ztrát, způsobených přirozenou promyvností půd nebo výměnou plynů mezi půdou a ovzduším, nelze při současné úrovni hnojení příliš regulovat, zvláště v oblastech s vlhčím klimatem a lehčími půdami. Omezení nezbytného hnojení totiž většinou vede ke snižování výnosů plodin. Přitom se často současně snižuje i obsah N na jednotku produkce, takže výsledek bilance může být nakonec stejný, jako při vyšších, ale optimálně aplikovaných dávkách N-hnojiv. Nedostatečné hnojení dusíkem může současně znamenat, že rostliny čerpají dusík z půdních zásob v podobě organické hmoty, které nejsou dostatečně doplňovány a výsledkem je ochuzování půdy o humus.

Kromě bilance dusíku je pro úrodnost půdy klíčová také bilance ostatních živin. Při nevyváženém hnojení mohou být z půdy exportovány v poměrně značných množstvích buď vyplavováním, nebo také ve sklizených produktech. Vyplavování může půdu ochuzovat zejména o síru a vápník. V případě fosforu a draslíku je situace jiná – dlouhodobý bilanční deficit je způsoben jejich nadměrným odběrem sklizní. Čerpání živin z půdy při omezených vstupech ve formě hnojiv postupně snižuje její úrodnost. Nedostatky v hospodaření se živinami vedou k jejich ztrátám, ohrožujícím jak ekonomiku zemědělského podniku, tak životní prostředí. K optimalizaci managementu živin významně přispívají také poznatky získané studiem lyzimetru.

Bilancování dusíku, zejména při stanovování dávek hnojiv k jednotlivým plodinám je rovněž nezbytné při uplatňování zásad hnojení, zahrnutých v Nitrátové směrnici EU (91/676/EEC). Tyto zásady musí být uplatněny v prováděcích směrnících jednotlivých zemí, včetně nově přijímaných členských států. Výsledky regionálních bilancí dusíku a fosforu a jejich časový vývoj jsou rovněž jedním z podkladů při vymezování tzv. zranitelných oblastí.

2.3. Výpočet a hodnocení bilance živin

K výpočtu bilancí, ať již na úrovni pole, stáje, či farmy, je třeba mít co nejpodrobnější údaje o vstupech a výstupech. Jako vstupy jsou započítávány především živiny v minerálních a organických hnojivech, dále fixace N_2 a atmosférická depozice. Vstupy živin v hnojivech lze vypočítat na základě dávky hnojiva a obsahu živin v hnojivu. U minerálních hnojiv je obsah živin zpravidla deklarován výrobcem, u hnojiv organických je však obsah živin velmi variabilní. Proto musí být stanoven analyticky, nebo vypočítán na základě tabulkových hodnot obsahu živin. Největší nejistotou je zatížen odhad množství dusíku z biologické fixace N_2 . Měření fixace N_2 je metodicky velmi obtížné a pro praktické použití v zemědělství nemožné. Proto se k výpočtu využívají tabulkové údaje publikované v metodikách hnojení a dalších informačních zdrojích. Údaje o atmosférických spadech mohou být získány analýzou srážkových vod, nebo lze využít např. údajů nejbližší stanice ČHMÚ či jiných organizací provozujících monitoring (ÚKZÚZ, výzkumné ústavy) anebo počítat s průměrnou celostátní hodnotou (Klír, 2000).

Zpravidla nejdůležitější položkou výstupů je odvoz živin sklizní pěstovaných plodin, který může být vypočítán z výnosu a obsahu živin ve sklizených produktech. Pomocí lyzimetřů může být dále stanoveno vyplavování živin na základě množství eluátu a koncentrace živin rozpuštěných v eluátu.

Za **vstupy** jsou u polní – pozemkové bilance považovány tyto položky:

- minerální hnojiva,
- exkrementy hospodářských zvířat podle druhů (skot, prasata, ovce, kozy, koně, drůbež) a kategorií (skupiny dle věku, pohlaví, užitkového směru), po odečtení ztrát živin ve stájích a skladištích stájových hnojiv,
- atmosférické depozice (mokrú depozice srážkami)
- biologická fixace dusíku (symbiotická fixace, volně žijící fixátoři)
*u luskovin 80 kg N.ha⁻¹,
u jetele a vojtěšky 240 kg N.ha⁻¹,
u jetelo – nebo vojtěškotrav, příp.
u dalších leguminóz 25 kg N.ha⁻¹*
- recyklace organické hmoty (např. kaly ČOV, průmyslové komposty)
- osivo a sadba



Výstupy bilance jsou:

- sklizené plodiny (hlavní produkt a vedlejší produkt odvážený z pole), včetně krmiv, přičemž u pastvin se počítá s využitím jejich produkce ve výši 70 %,
- ztráty dusíku vyplavováním,
- plynné ztráty dusíku – denitrifikací, volatilizací.

K hodnocení vypočítané bilance existuje celá řada přístupů. Živiny nevyužité sklizní jsou zpravidla považovány za riziko pro životní prostředí - zejména dusík a fosfor jsou významnými polutanty vody a vodních ekosystémů. Naopak, záporný výsledek bilance znamená nadměrné čerpání živin z půdy. Proto by bilance živin měla být pokud možno vyrovnaná a vstupy by měly odpovídat výstupům. V řadě metodik jsou uváděny limity nedostatku nebo přebytku zjištěné bilance živin. Jedním z nich je návrh metodiky Svazu německých zkušebních a výzkumných ústavů (LUFA), který v kritériích zemědělského hospodaření zohledňujícího životní prostředí udává s ohledem na stanovištní podmínky maximální mezní tolerance. Za přijatelnou hodnotu je považována bilance dusíku v rozpětí $\pm 50 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ N}$, fosforu $\pm 25 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}$ a draslíku $\pm 50 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ K}$ (Metodický návod pro hnojení rostlin, Trávník 2012).

3. Cíle sledování

Většina sítě lyzimetrů, rozmístěných v různých oblastí ČR, je určena především ke **sledování vstupů a ztrát živin a jejich pohybu v půdním profilu s cílem získat údaje pro výpočet bilance živin**. Tato síť lyzimetrů je doplněna lyzimetrem na stanici Horažďovice, ve kterém je sledována **bilance živin při zvýšené úrovni hnojení**.

Na stanovišti Závišín jsou lyzimetry součástí pokusu s rozdílně obhospodařovanými plochami trvalého travního porostu, ve kterém je hodnocen **vliv intenzity využití na vyplavování živin z půdy**.

V roce 2014 byl na stanovišti Lípa zrušen lyzimetr na TTP a na podzim téhož roku byl na orné půdě nově vybudován lyzimetr zaměřený na **porovnání různých systémů hnojení v podmínkách ekologického zemědělství**.

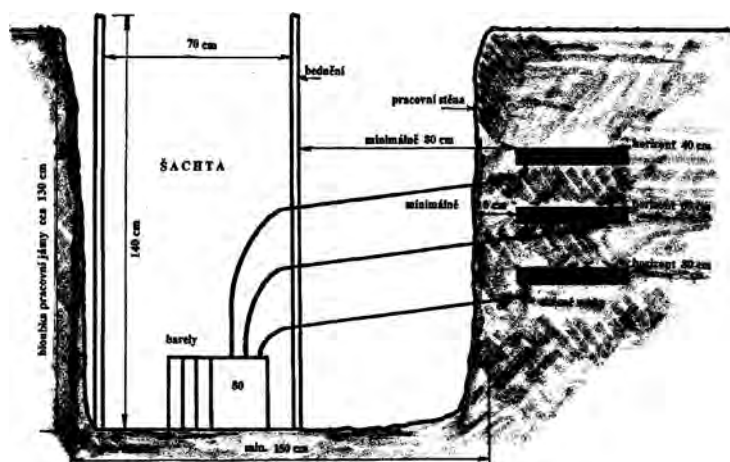
Čtyři nově založené lyzimetry v Hradci nad Svitavou jsou určeny ke sledování **vlivu aplikace organických hnojiv na vyplavování dusíku z půdy**, které bylo zahájeno v roce 2013.



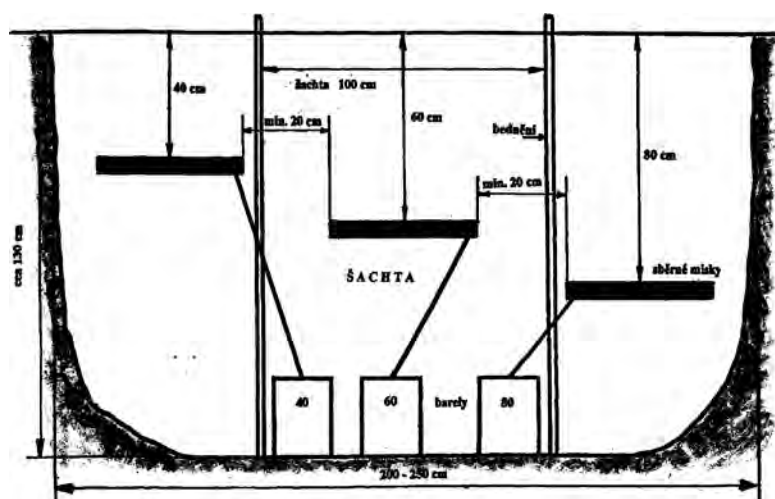
4. Materiál a metodika

4.1. Popis lyzimetru

Zařízení lyzimetru se skládá ze sběrných misek, které jsou zasazeny do stěny pracovní jámy bez narušení půdní struktury nad miskou (obr. 1, obr. 2). Z půdy nad miskou prosakuje do misek srážková voda, která je hadicí odváděna do kanystru, kde se hromadí. Kanystry jsou umístěny v šachtě oddělené bedněním od pracovní jámy, která je po instalaci zařízení lyzimetrů zasypána. Z kanystrů v šachtě jsou v pravidelných intervalech odebírány vzorky zachycené vody, eluátu. Lyzimetry na orné půdě mají sběrné misky umístěny v hloubkách 40, 60 a 80 cm pod povrchem půdy. Lyzimetry v trvalých travních porostech mají misky v hloubkách 20, 40, 60 a 80 cm pod povrchem. Všechny lyzimetry jsou umístěny tak, aby sběrná oblast lyzimetru mohla být obdělávána s využitím veškeré potřebné mechanizace.



Obrázek 1.
Bokorys lyzimetru



Obrázek 2.
Čelní pohled na lyzimetr



4.2. Umístění lyzimetrů

Lyzimetry byly umístěny na vybrané pokusné plochy ÚKZÚZ. Základní charakteristika ploch s lyzimetry na jednotlivých stanicích je uvedena v tabulce 1, způsob hnojení a využití půdy u jednotlivých lyzimetrů jsou uvedeny v tabulkách 2, 3, 4, 5 a 6. Na stanicích Pusté Jakartice, Hradec nad Svitavou, a Krásné Údolí, uvedených v tab. 1 bylo sledování ukončeno v roce 2011, na stanici Libějovice v roce 2007. Výsledky byly publikovány v předchozí zprávě „Lyzimetrická sledování za 25 let trvání sledování“ a proto tyto stanice nejsou dále uváděny. Dle využití výsledků sledování můžeme lyzimetry rozdělit na 5 skupin:

1. Sít lyzimetrů, sloužící ke sledování pohybu živin v půdě a bilance živin
2. Lyzimetrické sledování vlivu stupňovaných dávek živin na bilanci a vyplavování živin na stanici Horažďovice
3. Lyzimetry v Závišíně, využívané jako součást pokusu s různě obhospodařovaným travním porostem
4. Lyzimetry na stanici Lípa, které jsou součástí pokusu zaměřeného na porovnání různých systémů hnojení v podmínkách ekologického zemědělství
5. Lyzimetry na stanici Hradec nad Svitavou jsou umístěny pod parcelami hnojenými kejdou, digestátem a inhibitory nitrifikace a jsou určeny ke sledování dynamiky minerálního dusíku v půdě a vyplavování dusíku z půdy.

Tabulka 1: Přehled lyzimetrických stanovišť

Stanoviště	Výrobní oblast	Nadm. výška	Průměrné roční		Půdní typ	Půdní druh
			srážky	teploty		
Lednice	kukuřičná	170	461	9,1	černozem	hlinitá
Uherský Ostroh	řepařská	196	525	8,8	hnědozem	hlinitá
Věrovany	řepařská	207	562	8,5	černozem	hlinitá
Žatec	řepařská	285	451	8,3	černozem	hlinitá
Pusté Jakartice	řepařská	290	650	8,0	hnědozem	hlinitá
Chrastava	bramborářská	345	798	7,1	hnědozem	písčitohlinitá
Jaroměřice	bramborářská	425	481	8,0	hnědozem	hlinitá
Hradec n. Svit.	bramborářská	481	624	6,5	kambizem	písčitohlinitá
Horáždovice	bramborářská	470	575	7,8	kambizem	hlinitopísčitá
Lípa	bramborářská	505	629	7,6	kambizem	písčitohlinitá
Vysoká	bramborářská	580	599	7,4	luvizem	hlinitá
Krásné Údolí	bramborářská	642	605	6,1	kambizem	písčitohlinitá
Závišín	bramborářská	750	702	6,4	kambizem	písčitohlinitá

4.2.1. Sledování pohybu živin v půdě a bilance živin

Lyzimetry byly umísťovány na různých variantách polního pokusu „Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, agrochemické vlastnosti půdy a bilanci živin“, nebo na běžně obdělávaných provozních plochách pokusných stanic. Dávky živin aplikované v polním pokusu jsou uvedeny v tabulce 3, dávky živin na běžně obdělávaných plochách dosahují úrovně N2P2K2.

Tabulka 2: Přehled způsobu obhospodařování jednotlivých lyzimetrických stanovišť

Stanoviště	Plocha	Varianta hnojení	Horizonty záchytu eluátu v hloubce (cm)
Horáždovice	Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, agrochemické vlastnosti půdy a bilanci živin ¹⁾	N1P1K1	0-40, 40-60, 60-80
		N3P3K3	0-40, 40-60, 60-80
		N2P2K2	0-40, 40-60, 60-80
Jaroměřice n. R			
Uh. Ostroh			
Lednice	L1 pod pokusem se Závlahou ²⁾	Hnůj	0-40, 40-60
	L2 pod pokusem se Závlahou ²⁾	Hnůj + N1P1K1	0-40, 40-60
	L3 pod pokusem se Závlahou ²⁾	Hnůj + N2P2K2	0-40, 40-60
	L4 pod pokusem se Závlahou ²⁾	Hnůj + N3P3K3	0-40, 40-60
	L5 běžně obdělávaná plocha	Hnůj + N1P1K1	0-40, 40-60, 60-80
Vysoká	Provozní běžně obdělávané plochy	Hnojení na úrovni N2P2K2	0-40, 40-60, 60-80
Žatec			0-40, 40-60, 60-80
Chrastava			0-40, 40-60, 60-80
Věrovany			0-40, 40-60, 60-80

Poznámka:

¹⁾ Hnojení v souladu s pokusem „Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin a agrochemické vlastnosti půd“

²⁾ Hnojení v souladu s pokusem „Sledování vlivu různých intenzit hnojení na půdní úrodnost a změny agrochemických vlastností půdy v podmínkách závlahy“

Tabulka 3: Průměrné roční dávky minerálních živin v pokusu „Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, agrochemické vlastnosti půdy a bilanci živin“

Dodané živiny	Úroveň hnojení v pokusu (kg.ha ⁻¹)		
	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
N (kg.ha ⁻¹)	58	87	117
P (kg.ha ⁻¹)	13	26	52
K (kg.ha ⁻¹)	33	66	133
Hnůj (t.ha ⁻¹) 2x za osevní sled	40	40	40

Živiny dodané v hnoji každý čtvrtý rok na obě varianty (kg č.ž. . ha⁻¹): N – 200, P – 35, K – 199, Ca – 119.



4.2.2. Lyzimetrická sledování vlivu stupňovaných dávek živin na bilanci a vyplavování živin

Na stanovišti v Horažďovicích jsou **sledovány ztráty prvků promyvem při aplikaci stupňovaných dávek minerálních hnojiv**. Dva tříhorizontové polní lyzimetry byly instalovány na podzim roku 1987. Sběrné misky jsou uloženy pod variantami N1P1K1 a N3P3K3 stacionárního výživářského pokusu (tabulka 2). V roce 1988 bylo toto stanoviště zařazeno do sítě sledování ÚKZÚZ, s plnohodnotným sledováním ve všech parametrech předepsaných metodikou. Rok 2016 byl dvacátým devátým rokem sledování.

4.2.3. Lyzimetrická sledování rozdílně obhospodařovaných travních porostů Závišín

Čtyřhorizontový polní lyzimetr v Závišíně byl na bývalé pastvině instalován na podzim roku 1995. Rok 2016 byl dvacátým prvním rokem řádného sledování.

Plocha bývalé pastviny byla původně rozdělena do tří částí, z nichž první se sklízí jednou ročně koncem července, druhá se jen seká (s ponecháním posekané píce na pokose) a třetí zůstává bez zásahu. Na první z částí byla navíc vytýčena parcela o výměře 10 x 10 m, která se hnojí a dvakrát za rok sklízí. **Cílem je zjistit, kolik živin využije, případně propustí hnojený a využívaný trvalý travní porost v porovnání s nehnojenou sklizenou plochou, s plochou nehnojenou sečenou (nesklizenou) a s plochou bez zásahu.** Přehled variant uvádí tabulka 4.



Tabulka 4: Přehled variant lyzimetrických sledování v Závišíně

Varianta	Způsob obhospodařování	Horizonty záchytu eluátu (cm)
1. INTENZITA	hnojení ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$): 160 N, 31 P, 100 K, vápnění 1 za 3 roky sklizeň 2x ročně	0-40, 40-60, 60-80
2. EXTENZITA	sklizeň 1x ročně, píče se odváží	0-40, 40-60, 60-80
3. ÚTLUM	1x ročně se seká, posekaná hmota se nechává ležet na ploše	0-40, 40-60, 60-80
4. ÚHOR	plocha bez jakéhokoliv zásahu	0-40, 40-60, 60-80



Šachta varianty Útlum

4.2.4. Lyzimetrická sledování v rámci pokusu „Porovnání různých systémů hnojení v podmínkách ekologického zemědělství“

Lyzimetr byl umístěn v roce 2014 pod vybranými variantami polního pokusu „**Porovnání různých systémů hnojení v podmínkách ekologického zemědělství**“ na stanici Lípa v horizontech 30 a 60 cm. Cílem pokusu je zjistit, zda je možné cíleným využíváním agrotechnických prostředků a obnovitelných zdrojů udržet půdní úrodnost při omezení spotřeby neobnovitelných zdrojů živin. Jsou sledovány varianty hnojení v systémech vycházejících z čistě rostlinné produkce a varianty, které využívají navazující produkci živočišnou, která poskytuje statková hnojiva. Cílem lyzimetrických sledování bylo zjistit, jak bude pohyb dusíku v půdě ovlivněn statkovými hnojivy, obnovitelnými vnějšími vstupy a intenzifikačními vstupy. Hodnocené varianty lyzimetrických sledování (parcel) jsou uvedeny v tabulce 5. Získané výsledky byly publikovány ve výročních zprávách a vzhledem ke krátké době trvání pokusu nebyl dlouhodobý vývoj hodnocen.

Tabulka 5: Varianty pokusu „Porovnání různých systémů hnojení v podmínkách EZ“

Varianta	Způsob obhospodařování	Horizonty záchyty eluátu (cm)
1. Nehnojená kontrola	Bez hnojení	0-30, 30-60
3. Zelené hnojení + obnovitelné vnější vstupy	Hnojení založené na obnovitelných vnějších vstupech	0-30, 30-60
4. Zelené hnojení + obnovitelné vnější vstupy + intenzifikační vstupy	Hnojení založené na obnovitelných vnějších vstupech a intenzifikačních vstupech	0-30, 30-60
6. Zelené hnojení + statková hnojiva + intenzifikační vstupy	Hnojení založené na využití statkových hnojiv a intenzifikačních vstupů	0-30, 30-60

4.2.5. Lyzimetrická sledování pohybu a dynamiky dusíku v půdě po aplikaci kejdy a digestátu

Lyzimetr byl instalován v roce 2013 v bezprostřední blízkosti pokusu „**Sledování vlivu stupňovaných dávek**“ na výživářské bázi stanice Hradec nad Svitavou. Cílem je zjistit využití dusíku plodinami, jeho pohyb půdním profilem při minerálním a organickém hnojení (kejda a digestát) a jeho vyplavování. Plodina je v daném roce shodná s plodinou na pokusu „Sledování vlivu stupňovaných dávek“. Varianty lyzimetrických sledování jsou uvedeny v tabulce 6. Výsledky byly publikovány ve výročních zprávách a vzhledem ke krátké době trvání nebyl dlouhodobý vývoj celkově hodnocen.

Tabulka 6: Varianty lyzimetrických sledování pohybu a dynamiky dusíku v půdě po aplikaci kejdy a digestátu

Varianta	Způsob obhospodařování
1. Minerální hnojení (LAV 27 % N)	Hnojení v dávce 40 kg N.ha ⁻¹
2. Nehnojená kontrola	Bez hnojení
3. Kejda	Hnojení kejdou v dávce 40 kg N.ha ⁻¹
4. Digestát	Hnojení digestátem v dávce 40 kg N.ha ⁻¹



4.3. Sledované parametry

Pro každé lyzimetrické stanoviště byly jednorázově zjištěny základní, dlouhodobě neměnné parametry a každoročně jsou shromažďovány průběžné parametry. Všechny jsou zpracovány v podobě „Výroční zprávy o provozu lyzimetru“ dle jednotného vzoru.

Základní parametry:

- a) výrobní typ, půdní typ a substrát
- b) klimatická charakteristika (nadmořská výška, normál měsíčních a ročních srážek a teplot)
- c) objemová hmotnost suché půdy v hloubce (10), 20, 50, 70 cm
- d) maximální kapilární vodní kapacita v hloubce (10), 20, 50, 70 cm

Průběžně sledované parametry a odběry vzorků:

- a) meteorologické údaje – měsíční průměr teplot a měsíční suma srážek jsou pravidelně zjišťovány na zkušební stanici, případně na nejbližší stanici Hydrometeorologického ústavu.
- b) pěstovaná plodina – ve výroční zprávě (zápisníku) jsou průběžně zaznamenávány údaje a data o plodině, odrůdě, hnojení organickými hnojivy (v t.ha⁻¹), minerálními hnojivy (v t.ha⁻¹ N, P, K) a vápnění (v t.ha⁻¹ CaO), údaje o setí a sázení a sklizni plodiny.
- c) množství a složení eluátu – obsah sběrné nádoby se nejprve homogenizuje protřepáním. Poté se odměrným válcem změří objem eluátu a při tom se odebere 0,5 l vzorku do PET láhve k laboratorním analýzám. Zbytek eluátu se vylije mimo sběrnou oblast lyzimetru. Pokud je objem eluátu menší než 300 ml, odběr se odloží a eluát se ponechá dále ve sběrné nádobě. Eluát byl zachycován ve 3–4 půdních horizontech.
- d) množství a složení srážkové vody – z jímací nádoby se po každé dešťové srážce voda slévá do sběrné nádoby ukládané v lednici, či na temném a chladném místě. Na konci měsíce se z celkového objemu po homogenizaci protřepáním odebere vzorek 0,5 l do PET láhve. Je to průměrný měsíční vzorek kontaminovaný atmosférickým spadem. Vzorek se co nejdříve dopraví do příslušné laboratoře k analýzám. Z jímací nádoby se průběžně odstraňuje spad neatmosférického původu (hmyz, listí). V měsíčních intervalech se nádoba důkladně vyčistí a vypláchne destilovanou či deionizovanou vodou.
- e) dynamika minerálního dusíku (N_{min}) v půdě – vzorky půdy pro stanovení obsahu N_{min} se odebírají ze všech horizontů lyzimetru v termínech brzy na jaře, po sklizni plodiny a před zámrzem. Půdní vzorky se odebírají holandskou sondýrkou, hrotem Edelmanna combi o průměru 4 cm, minimálně 5 vpichů v okolí sběrné oblasti lyzimetru tak, aby vzorek obsahoval cca 0,5 kg čerstvé půdy. Půda z jednotlivých horizontů odběru se odebírá do PVC sáčků. Po odběru se sáčky vzduchotěsně uzavřou a půdní vzorky se ihned laboratorně zpracují, nebo se zmrazí a do laboratoře se dopraví co nejdříve.
- f) obsah přístupných živin – pro zjišťování obsahu přístupných živin se neodebírají zvláštní vzorky. Analýza se provádí z jarního odběru vzorků na stanovení N_{min} . Po této analýze se zbytek vzorků vysuší na vzduchu a upraví na jemnozeme, ve kterém se stanoví obsah přístupných živin.
- g) stanovení výnosu plodiny pro výpočet odběru živin: provádí se sklizní parcely 1 m² z průměrného porostu poblíže sběrné oblasti lyzimetru. Sklízí a váží se hlavní i vedlejší produkt. Vzorky rostlin (hlavní i vedlejší produkt) se zasílají k analýzám.

Ve vzorcích odebíraných průběžně dle uvedeného schématu jsou stanovovány vybrané parametry dle platných norem nebo Jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ:

- a) ve vzorcích eluátu, srážkové a závlahové vody je stanovován obsah NH_4^+ a NO_3^- , Cl^- , P, K, Mg, Ca, Na, SO_4^{2-} a hodnota pH.
- b) ve vzorcích půdy jsou stanovovány agrochemické vlastnosti půdy metodou platnou pro agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP), dusík minerální jako součet NO_3^- -N a NH_4^+ -N.
- c) ve vzorcích hlavního i vedlejšího produktu pěstovaných plodin je stanovován obsah sušiny, N, P, K, Ca, Mg.



4.4. Vyhodnocení sledovaných parametrů

Vyhodnocením sledovaných parametrů byly získány informace o vybraných vlastnostech půd:

a) promyvnost půdy

Promyvnost půdy udává, do jaké míry srážková voda proniká do hlubších vrstev. Promyvnost půdy byla charakterizována na základě množství eluátu zachyceného v odběrové vrstvě 80 cm. Tato hloubka je již mimo zónu hlavního příjmu živin kořenovým systémem většiny polních plodin, proto voda protékající do této hloubky není dále využita rostlinami a odtéká do spodních vod. Z hlediska vodního režimu rozlišujeme půdy na lyzimetrických stanovištích s promyvným vodním režimem, kdy množství srážkové vody překračuje výpar a schopnost půdy vodu zadržovat a voda prosakuje půdou do hlubších vrstev. Naopak, v půdě s nepromyvným vodním režimem zůstává srážková voda v půdě a hlouběji neproniká.

b) vyplavování živin z jednotlivých půdních horizontů

Na základě objemu eluátu a obsahu živin v eluátu byla zjištěna hmotnost živin v eluátu v přepočtu na čisté prvky. Vypočítané množství bylo přepočítáno na jednotku plochy na základě známé plochy lyzimetru.

c) ztráty živin vyplavováním

Ztráty živin byly stanoveny jako množství živin zachycené v hloubce 80 cm. V této hloubce jsou mimo dosah většiny kořenů a pohybují se s prosakující vodou do spodních vod.

d) dynamika minerálního dusíku

Obsah minerálního dusíku ($N_{\min}$) v mg.kg^{-1} půdy je součtem obsahu dusíku v nitrátové formě (NO_3^-) v mg.kg^{-1} a dusíku v amoniakální formě (NH_4^+) v mg.kg^{-1} půdy. Obsah N v půdě je přepočítáván na jednotku plochy (kg N.ha^{-1}) vynásobením objemovou hmotností suché půdy, stanovenou pomocí fyzikálních válečků pro hmotnostní podíl ornice ve vrstvě 10 cm. Tento koeficient je nutno upravit dle mocnosti příslušných horizontů. Pro horizont 0–40 cm je to čtyřnásobek, pro horizonty 40–60 a 60–80 cm pak dvojnásobek. Při neznalosti hodnoty objemové hmotnosti suché půdy je možno dočasně používat koeficient 1,5.

e) odběr živin sklizní

Odběr sklizní byl vypočítán na základě výnosu a obsahu živin ve sklizených produktech.

f) bilance dusíku

Pro posouzení bilance dusíku v půdě byly použity výsledky lyzimetrických stanovišť na orné půdě. Do sledování byla zařazena data od roku 1996. Z důvodů co největší četnosti bilancí byla do hodnocení zařazena veškerá získaná data. Základními údaji pro zpracování bilance byly vstupy dusíku z minerálních a organických hnojiv a výstupy dusíku sklizní hlavního a vedlejšího produktu. Z lyzimetrických sledování byl do vstupů zařazen dusík dodaný dešťovými srážkami. Do výstupů byla zařazena ztráta dusíku vyplavením z hloubky 80 cm. Bilance jsou předkládány v základní podobě, bez korekce na biologickou fixaci dusíku u jetelovin (240 kg N.ha^{-1}) a luskovin (80 kg N.ha^{-1}).

5. Výsledky

5.1. Pohyb živin v půdě na vybraných stanovištích ÚKZÚZ v ČR

5.1.1. Promyvnost půd

Na stanovištích Chrastava a Vysoká byl zachycen eluát jednou i vícekrát ročně téměř ve všech sledovaných letech (tabulka 7). Průsak do hloubky 80 cm představuje až 20 % z průměrné roční sumy srážek. Vodní režim byl proto klasifikován jako **promyvný**. Tato stanoviště jsou charakterizována propustnějšími písčitohlinitými půdami v horší bramborářské oblasti, s vysokými srážkami, v průměru nad 600 mm ročně (tabulka 5). Promyvný režim mají také půdy na stanovištích s trvalými travními porosty (Závišín). Průsak vody je ve většině případů také spojen s významným vyplavováním živin. Výjimku tvoří lyzimetr v Závišíně, kde jsou ztráty živin nízké i při promyvném vodním režimu.

U další skupiny stanovišť (Žatec, Uherský Ostroh, Jaroměřice) byl zaznamenán průsak v méně než polovině sledovaných let a množství zachyceného eluátu odpovídá 1 až 8 % z průměrné roční sumy srážek. Tato stanoviště s vodním **režimem periodicky promyvným** reprezentují kvalitní hlinité půdy v úrodnějších oblastech.

Do poslední skupiny stanovišť patří Věrovany a Lednice, kde je průsak do hlubších vrstev půdy minimální, nebo žádný a **vodní režim je nepromyvný**. Stanoviště je možno charakterizovat teplejším, sušším klimatem a těžšími černozemními půdami. Vzhledem k minimálnímu průsaku nedochází v těchto půdách ke ztrátám živin vyplavováním.

Tabulka 7: Průměrné roční množství zachyceného eluátu a jeho podíl ze srážek ve vrstvě 80 cm

Stanoviště	Sledované období	Srážky (mm)	% srážek z dlouhodobého normálu	Počet let sledování	Zachycený eluát (počet let)	% eluátu ze sumy srážek
Chrastava	1989-2016	762	103,3	28	28	19,2
Vysoká	1989-2016	653	106,8	28	27	21,9
Horažďovice	1988-2016	548	93,8	29	19	1,4
Jaroměřice	1989-2016	515	107,1	28	10	1,5
Žatec	1988-2016	536	122,2	29	14	8,0
Uh. Ostroh	1989-2016	549	105,3	28	9	4,7
Věrovany	1989-2016	506	100,7	28	3	0,1
Lednice	1986-2016	457	99,2	31	0	0
Závišín	1995-2016	744	105,8	21	21	7,6

5.1.2. Vstupy živin atmosférickými srážkami

Srážková voda obsahuje malé, ale nezanedbatelné množství živin (tabulka 8). Roční přísun nitrátového dusíku na sledovaných stanovištích dosahuje v průměru téměř 13 kg na hektar ročně. O něco nižší je přísun amonného dusíku a vápníku. Relativně vysoké je množství síry v síranové formě (14 kg.ha⁻¹). Naopak téměř zanedbatelné jsou ve srážkové vodě obsahy fosforu a ani dotace draslíku a hořčíku nejsou na většině stanovišť významné.

Tabulka 8: Průměrný roční vstup živin ve srážkové vodě v kg.ha⁻¹

Stanoviště	Srážky mm	pH	NO ₃ ⁻ - N	NH ₄ ⁺ - N	P	K	Mg	Ca	SO ₄ ²⁻ - S
Chrastava	762	5,2	13,1	11,2	2,8	6,2	3,1	13,4	23,4
Závišín	744	5,5	5,8	4,8	0,8	5,3	1,3	7,6	13,0
Vysoká	653	5,1	8,8	10,3	0,5	2,7	1,1	3,6	12,4
Uh. Ostroh	549	5,8	18,9	8,7	2,5	10,1	5,4	17,1	17,0
Horažďovice	548	5,5	3,8	7,8	0,4	2,9	0,9	5,7	5,3
Žatec	536	6,3	8,9	12,2	2,4	6,4	6,2	14,7	17,6
Jaroměřice	515	6,0	18,7	6,6	1,0	2,6	2,5	8,5	23,0
Věrovany	506	5,7	6,3	10,7	2,7	9,0	1,7	13,5	9,4
Lednice	457	5,9	22,3	5,7	1,1	2,6	6,0	13,2	13,8
Průměr		5,7	12,9	9,1	1,6	5,9	3,1	10,7	14,4



5.1.3. Ztráty živin vyplavováním

Ztráty vyplavováním jsou nejvyšší v půdách s promyvným režimem a téměř nulové v půdách s režimem nepromyvným. Z půd s promyvným, nebo periodicky promyvným režimem jsou vyplavovány především NO_3^- , Ca a SO_4^{2-} (tabulka 9). Určitý význam může mít také vyplavování Mg. V případě P a K jsou ztráty zanedbatelné bez ohledu na vodní režim. Z porovnání údajů v tabulkách 8 a 9 zároveň vyplývá, že ztráty NO_3^- a SO_4^{2-} jsou do značné míry kompenzovány atmosférickými vstupy.

Tabulka 9: Průměrné roční ztráty živin v $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ v odběrové vrstvě 80 cm

Stanoviště	Srážky mm	Průsak eluátu ze srážek %	pH	$\text{NO}_3^- \text{ - N}$	$\text{NH}_4^+ \text{ - N}$	P	K	Mg	Ca	$\text{SO}_4^{2-} \text{ - S}$
Vysoká	653	21,9	6,6	12,5	0,2	0,2	4,2	12,8	18,9	9,4
Chrastava	762	19	7,3	17,2	0,5	1,9	5,4	11,5	65,4	12,3
Horáždovice	548	1,4	6,7	7,2	0,0	0,0	0,3	1,2	20,6	4,7
Promyvný režim				12,3	0,2	0,7	3,3	8,5	35,0	8,8
Žatec	536	8	7,6	6,4	0,1	0,1	1,0	4,1	22,7	2,3
Uh. Ostroh	549	4,7	7,8	20,3	0,1	0,1	0,9	2,1	43,8	9,6
Jaroměřice	515	1,5	7,7	9,8	0	0	0,3	4	12,5	6,8
Periodicky promyvný režim				12,2	0,1	0,1	0,7	3,4	26,3	6,2
Věrovary	506	0,1	7,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	1,6	0,4
Lednice	457	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nepromyvný režim				0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,8	0,2
Závišín	744	7,6	7,2	0,79	0,10	0,08	0,28	2,21	9,99	3,2
TTP				0,79	0,1	0,08	0,28	2,21	9,99	3,2

5.2 Bilance dusíku v půdě

5.2.2. Bilance dusíku na lyzimetrických stanovištích

Údaje o vstupech dusíku, jeho vyplavování a obsahu v půdě byly použity k výpočtu bilance dusíku. Bilanci dusíku lze definovat jako rozdíl mezi vstupy dusíku do půdy a výstupy. Na rozdíl od ostatních živin, jejichž bilanci lze stanovit relativně spolehlivě, je bilancování dusíku zatíženo značnou mírou nejistoty. Metodicky je velmi obtížné stanovit fixaci N_2 a také plynné ztráty v podobě N_2 , oxidů dusíku a dalších plynů. Bilance tak představuje spíše rozdíl mezi měřitelnými vstupy a výstupy, než reálnou bilanci. V tabulce 10 je vypočítána bilance živin jednotlivých pokusných stanic za období 1996–2016. Na straně vstupů bylo započítáno hnojení dusíkem a vstupy dusíku ve srážkové vodě. Jako výstupy byly zahrnuty odběr sklizní a vyplavování v hloubce 80 cm. Bilance jsou předkládány v základní podobě, bez korekce na biologickou fixaci dusíku u jetelovin a luskovin.

Tabulka 10: Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizni	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizní	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Horažďovice N1P1K1	139,0	140,0	8,0	129,0	0,0	19,0	113,0	okopanina
1997	Horažďovice N1P1K1	101,0	70,0	6,0	90,0	0,0	-14,0	87,0	obilnina jarní
1998	Horažďovice N1P1K1	183,0	40,0	9,0	90,0	0,0	-41,0	96,0	obilnina jarní
1999	Horažďovice N1P1K1	83,0	0,0	6,7	330,7	1,2	-325,2	82,4	jetelovina
2000	Horažďovice N1P1K1	93,1	60,0	6,2	134,8	3,4	-72,0	100,8	obilnina ozim
2001	Horažďovice N1P1K1	121,5	240,0	8,1	61,5	10,9	175,7	249,3	okopanina
2002	Horažďovice N1P1K1	310,0	60,0	3,4	199,3	5,9	-141,8	89,2	obilnina ozim
2003	Horažďovice N1P1K1	70,0	40,0	7,0	74,0	5,0	-32,0	48,1	obilnina jarní
2004	Horažďovice N1P1K1	99,0	429,0	9,0	119,0	6,0	313,0	110,8	okopanina
2005	Horažďovice N1P1K1	130,0	30,0	8,0	114,2	7,9	-84,1	65,9	obilnina jarní
2006	Horažďovice N1P1K1	34,7	40,0	8,0	217,8	13,1	-182,9	69,2	obilnina jarní
2007	Horažďovice N1P1K1	331,7	0,0	9,5	380,8	0,3	-371,6	47,1	jetelovina
2008	Horažďovice N1P1K1	97,9	60,0	6,1	145,4	2,6	-81,9	13,4	obilnina ozim
2009	Horažďovice N1P1K1	63,5	286,0	10,1	110,3	15,1	170,7	59,2	okopanina
2010	Horažďovice N1P1K1	85,2	60,0	9,6	157,1	0,0	-87,5	10,0	obilnina ozim
2011	Horažďovice N1P1K1	65,4	40,0	5,1	107,3	4,8	-67,0	109,2	obilnina jarní
2012	Horažďovice N1P1K1	176,0	80,0	12,2	214,3	3,0	-125,1	172,8	okopanina
2013	Horažďovice N1P1K1	86,6	30,0	6,6	55,6	14,5	-33,5	53,3	obilnina jarní
2014	Horažďovice N1P1K1	85,2	40,0	9,1	85,2	0,0	-36,1	86,2	jetelovina
2015	Horažďovice N1P1K1	72,2	0,0	9,9	127,2	2,3	-119,6	131,3	jetelovina
2016	Horažďovice N1P1K1	132,4	60,0	12,7	225,7	4,7	-157,7	124,3	obilnina ozim
Průměr		121,9	86,0	8,1	150,9	4,8	-61,6	91,4	
Minimum		34,7	0,0	3,4	55,6	0,0	-371,6	10,0	
Maximum		331,7	429,0	12,7	380,8	15,1	313,0	249,3	
Směr. odchylka		75,4	106,5	2,2	84,7	4,9	152,8	52,8	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdí	N _{min} po sklizení	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizení	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Horažďovice N3P3K3	127,0	160,0	8,0	178,0	0,0	-10,0	106,0	okopanina
1997	Horažďovice N3P3K3	120,0	110,0	6,0	102,0	0,0	14,0	81,0	obilnina jarní
1998	Horažďovice N3P3K3	234,0	80,0	9,0	109,0	0,0	-20,0	110,0	obilnina jarní
1999	Horažďovice N3P3K3	94,9	0,0	6,7	324,4	1,0	-318,7	87,6	jetelovina
2000	Horažďovice N3P3K3	68,0	120,0	6,2	175,4	1,2	-50,4	103,1	obilnina ozim
2001	Horažďovice N3P3K3	104,6	320,0	8,1	46,5	0,4	281,2	158,5	okopanina
2002	Horažďovice N3P3K3	143,0	120,0	3,4	262,9	4,4	-143,9	86,2	obilnina ozim
2003	Horažďovice N3P3K3	101,0	80,0	7,0	89,0	0,0	-2,0	48,0	obilnina jarní
2004	Horažďovice N3P3K3	76,0	509,0	9,0	177,0	0,0	341,0	116,9	okopanina
2005	Horažďovice N3P3K3	99,1	60,0	8,0	144,1	0,9	-77,0	50,4	obilnina jarní
2006	Horažďovice N3P3K3	39,4	80,0	8,0	258,2	6,4	-176,6	69,9	obilnina jarní
2007	Horažďovice N3P3K3	190,0	0,0	9,5	407,1	0,0	-397,6	41,1	jetelovina
2008	Horažďovice N3P3K3	62,7	120,0	6,1	198,1	0,0	-72,0	15,3	obilnina ozim
2009	Horažďovice N3P3K3	95,0	366,0	10,1	152,9	8,0	215,2	103,5	okopanina
2010	Horažďovice N3P3K3	95,5	120,0	9,6	188,8	9,7	-68,9	7,7	obilnina ozim
2011	Horažďovice N3P3K3	82,6	80,0	5,1	123,9	2,9	-41,7	50,0	obilnina jarní
2012	Horažďovice N3P3K3	132,0	160,0	12,2	253,1	0,0	-80,9	231,0	okopanina
2013	Horažďovice N3P3K3	107,1	60,0	6,6	82,3	7,0	-22,7	116,5	obilnina jarní
2014	Horažďovice N3P3K3	107,5	80,0	9,1	106,9	0,0	-17,8	121,3	jetelovina
2015	Horažďovice N3P3K3	89,6	0,0	9,9	121,2	0,0	-111,3	147,0	jetelovina
2016	Horažďovice N3P3K3	183,9	120,0	12,7	268,8	0,4	-136,5	105,0	obilnina ozim
Průměr		112,0	130,7	8,1	179,5	2,0	-42,7	93,1	
Minimum		39,4	0,0	3,4	46,5	0,0	-397,6	7,7	
Maximum		234,0	509,0	12,7	407,1	9,7	341,0	231,0	
Směr. odchylka		45,5	124,7	2,2	89,4	3,1	169,4	50,7	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizni	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizní	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Chrastava	89,0	0,0	45,0	50,0	23,0	-28,0	63,0	luskovina
1997	Chrastava	62,0	80,0	20,0	76,0	14,0	10,0	65,0	obilnina ozim
1998	Chrastava	53,0	140,0	27,0	109,0	16,0	42,0	58,0	obilnina ozim
1999	Chrastava	35,9	134,0	12,0	126,3	6,4	13,3	76,2	obilnina jarní
2000	Chrastava	85,9	70,0	6,9	162,8	2,4	-88,3	42,4	obilnina jarní
2001	Chrastava	155,2	0,0	7,8	124,0	11,5	-127,7	91,3	obilnina ozim
2002	Chrastava	62,0	100,0	7,4	90,3	3,6	13,5	67,3	obilnina ozim
2003	Chrastava	41,0	130,0	21,0	101,0	5,0	45,0	68,3	okopanina
2004	Chrastava	26,0	93,0	10,0	117,0	3,0	-17,0	16,8	okopanina
2005	Chrastava	43,2	60,0	5,8	79,6	4,7	-18,5	101,0	obilnina jarní
2006	Chrastava	23,1	70,0	6,7	57,3	3,5	15,9	57,0	obilnina jarní
2007	Chrastava	64,1	0,0	5,8	104,6	18,1	-116,9	81,9	luskovina
2008	Chrastava	14,6	90,0	3,1	93,1	4,3	-4,3	39,5	obilnina ozim
2009	Chrastava	35,5	130,0	1,6	96,4	13,5	21,7	45,6	okopanina
2010	Chrastava	57,2	90	2,81	93,4	32,1	-32,7	7,2	obilnina ozim
2011	Chrastava	36,9	64	12,48	73,7	6,6	-3,8	39,8	obilnina jarní
2012	Chrastava	24,0	70,0	5,0	48,6	18,9	7,5	52,8	obilnina jarní
2013	Chrastava	37,5	0,0	5,5	46,3	20,0	-60,8	84,9	luskovina
2014	Chrastava	28,4	90,0	3,9	94,0	0,7	-0,8	39,0	obilnina ozim
2015	Chrastava	39,3	160,0	8,7	97,1	5,8	65,8	18,5	řepka
2016	Chrastava	55,2	90,0	3,7	144,1	75,4	-125,8	127,2	obilnina ozim
Průměr		51,0	79,1	10,6	94,5	13,7	-18,6	59,2	
Minimum		14,6	0,0	1,6	46,3	0,7	-127,7	7,2	
Maximum		155,2	160,0	45,0	162,8	75,4	65,8	127,2	
Směr. odchylka		31,0	47,7	10,2	30,6	16,4	55,6	29,1	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizni	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizni	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Jaroměřice n. R.	66,0	180,0	38,0	174,0	3,4	40,6	138,0	okopanina
1997	Jaroměřice n. R.	87,0	94,0	25,0	114,0	3,0	2,0	55,0	obilnina jarní
1998	Jaroměřice n. R.	67,0	60,0	20,0	135,0	0,0	-55,0	80,0	obilnina jarní
1999	Jaroměřice n. R.	32,4	0,0	28,5	283,7	0,0	-255,2	64,2	jetelovina
2000	Jaroměřice n. R.	117,4	90,0	27,6	159,8	4,7	-46,9	147,8	obilnina ozim
2001	Jaroměřice n. R.	95,0	167,4	19,0	37,1	0,0	149,3	164,5	okopanina
2002	Jaroměřice n. R.	75,0	162,0	16,5	165,7	0,0	12,8	94,7	obilnina ozim
2003	Jaroměřice n. R.	54,0	120,0	13,0	74,0	0,0	59,0	100,9	obilnina jarní
2004	Jaroměřice n. R.	100,0	154,0	15,0	82,0	0,0	87,0	303,0	okopanina
2005	Jaroměřice n. R.	149,9	45,0	14,7	132,7	0,0	-73,0	61,4	obilnina jarní
2006	Jaroměřice n. R.	52,7	60,0	20,8	157,7	42,1	-119,0	30,4	obilnina jarní
2007	Jaroměřice n. R.	31,0	0,0	18,0	211,1	0,0	-193,1	94,2	jetelovina
2008	Jaroměřice n. R.	16,0	150,0	17,3	168,1	0,0	-0,8	81,3	obilnina ozim
2009	Jaroměřice n. R.	56,2	154,0	20,5	126,1	48,6	-0,2	126,0	okopanina
2010	Jaroměřice n. R.	90,2	90,0	17,0	182,0	70,0	-145,0	17,8	obilnina ozim
2011	Jaroměřice n. R.	88,7	60,0	11,8	93,2	0,0	-21,4	52,4	obilnina jarní
2012	Jaroměřice n. R.	235,0	180,0	17,6	151,3	0,0	46,3	37,4	okopanina
2013	Jaroměřice n. R.	83,1	79,0	19,1	108,9	0,0	-10,8	59,8	obilnina jarní
2014	Jaroměřice n. R.	53,4	60,0	18,6	240,5	0,0	-161,9	47,8	jetelovina
2015	Jaroměřice n. R.	54,0	0,0	19,4	184,5	0,0	-165,1	138,1	jetelovina
2016	Jaroměřice n. R.	32,0	200,0	6,7	188,5	0,0	18,2	70,2	obilnina ozim
Průměr		77,9	100,3	19,2	150,9	8,2	-39,6	93,6	
Minimum		16,0	0,0	6,7	37,1	0,0	-255,2	17,8	
Maximum		235,0	200,0	38,0	283,7	70,0	149,3	303,0	
Směr. odchylka		47,9	63,3	6,5	57,1	19,6	101,7	62,8	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizení	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizení	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Lednice	58,0	30,0	34,0	85,0	0,0	-21,0	39,0	obilnina jarní
1997	Lednice	73,0	140,0	70,0	204,0	0,0	6,0	94,0	okopanina
1998	Lednice	80,0	64,0	24,0	92,0	0,0	-4,0	33,0	okopanina
1999	Lednice	86,5	125,0	27,0	59,9	0,0	92,1	105,1	okopanina
2000	Lednice	130,5	94,0	44,7	160,8	0,0	-22,1	88,6	obilnina ozim
2001	Lednice	130,5	34,2	28,7	115,2	0,0	-52,3	36,9	jetelovina
2002	Lednice	43,2	0,0	21,6	430,8	0,0	-409,2	60,5	jetelovina
2003	Lednice	160,0	60,0	19,0	119,0	0,0	-40,0	143,4	obilnina ozim
2004	Lednice	94,0	30,0	13,0	128,0	0,0	-85,0	63,8	obilnina jarní
2005	Lednice	105,4	114,0	21,0	116,6	0,0	18,4	61,9	okopanina
2006	Lednice	40,9	72,0	16,9	90,8	2,6	-4,5	32,0	obilnina jarní
2007	Lednice	68,3	50,0	10,3	119,1	7,2	-66,0	47,0	obilnina jarní
2008	Lednice	111,0	40,0	22,7	181,9	0,0	-119,2	86,0	obilnina ozim
2009	Lednice	36,6	0,0	12,4	133,3	0,0	-120,9	138,5	obilnina jarní
2010	Lednice	56,6	0,0	11,3	145,9	0,0	-134,6	13,9	luskovina
2011	Lednice	64,16	20	18,2	257,8	0,0	-219,6	59,0	obilnina ozim
2012	Lednice	168,0	30,0	19,4	104,0	0,0	-54,6	79,6	obilnina jarní
2013	Lednice	114,2	80,0	19,6	215,8	0,0	-116,2	61,1	kukuřice siláž
2014	Lednice	70,5	30,0	22,9	181,2	0,3	-128,6	60,6	obilnina jarní
2015	Lednice	70,2	113,0	14,1	109,9	0,0	17,2	95,0	obilnina jarní
2016	Lednice	80,4	54,0	6,1	123,2	0,0	-63,1	126,0	luskovina
Průměr		87,7	56,2	22,7	151,2	0,5	-72,7	72,6	
Minimum		36,6	0,0	6,1	59,9	0,0	-409,2	13,9	
Maximum		168,0	140,0	70,0	430,8	7,2	92,1	143,4	
Směr. odchylka		37,0	41,8	13,8	80,1	1,6	103,6	35,5	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizni	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizení	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Uherský Ostroh	88,0	143,0	35,0	366,0	0,0	-188,0	48,0	okopanina
1997	Uherský Ostroh	72,0	90,0	53,0	100,0	0,0	43,0	65,0	obilnina jarní
1998	Uherský Ostroh	100,0	80,0	0,0	179,0	5,0	-104,0	65,0	obilnina jarní
1999	Uherský Ostroh	71,7	31,6	0,0	326,0	2,7	-297,2	51,2	jetelovina
2000	Uherský Ostroh	70,4	90,0	25,0	137,4	1,2	-23,6	61,8	obilnina ozim
2001	Uherský Ostroh	64,1	184,0	20,9	99,7	0,0	105,2	161,7	okopanina
2003	Uherský Ostroh	96,0	60,0	36,0	121,0	0,0	-25,0	178,7	obilnina jarní
2004	Uherský Ostroh	166,0	159,0	53,0	292,0	0,0	-80,0	42,7	obilnina jarní
2005	Uherský Ostroh	61,2	122,0	10,7	98,1	0,0	34,6	59,2	obilnina jarní
2006	Uherský Ostroh	46,2	60,0	7,9	147,5	136,9	-216,5	88,3	obilnina jarní
2007	Uherský Ostroh	36,2	0,0	5,1	281,5	0,0	-276,4	43,9	jetelovina
2008	Uherský Ostroh	113,2	60,0	11,8	221,4	0,0	-149,6	42,1	obilnina ozim
2009	Uherský Ostroh	34,0	186,0	12,6	180,5	256,2	-238,1	54,2	okopanina
2010	Uherský Ostroh	34,6	162,0	18,7	151,4	48,5	-19,2	9,1	obilnina ozim
2011	Uherský Ostroh	56,5	60,0	17,6	137,2	0,0	-59,6	35,4	obilnina jarní
2012	Uherský Ostroh	84,0	149,0	18,4	240,4	0,0	-73,0	24,9	okopanina
2013	Uherský Ostroh	64,9	110,9	17,9	98,1	68,6	-37,9	26,9	obilnina jarní
2014	Uherský Ostroh	48,5	60,0	13,7	225,7	7,5	-159,5	23,7	jetelovina
2015	Uherský Ostroh	15,0	0,0	11,0	252,4	0,9	-242,3	64,8	jetelovina
2016	Uherský Ostroh	54,2	90,0	3,2	231,7	18,8	-157,3	61,5	obilnina ozim
Průměr		68,8	99,9	18,6	194,4	27,3	-108,2	60,4	
Minimum		15,0	0,0	0,0	98,1	0,0	-297,2	9,1	
Maximum		166,0	186,0	53,0	366,0	256,2	105,2	178,7	
Směr. odchylka		33,6	52,7	15,3	81,2	63,6	113,3	41,9	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizení	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizení	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Věrovany	79,0	160,0	20,0	145,0	1,0	34,0	52,0	okopanina
1997	Věrovany	96,0	40,0	6,0	114,0	0,0	-68,0	52,0	obilnina jarní
1999	Věrovany	66,2	40,0	4,0	154,4	0,0	-110,4	63,2	obilnina ozim
2000	Věrovany	50,7	99,2	1,9	121,3	0,0	-20,2	64,7	obilnina ozim
2001	Věrovany	47,2	140,0	10,6	90,7	0,0	59,9	38,1	okopanina
2002	Věrovany	118,1	0,0	6,9	92,4	0,0	-85,5	44,0	obilnina jarní
2003	Věrovany	82,0	0,0	6,0	221,0	1,0	-216,0	103,2	luskovina
2004	Věrovany	167,0	90,0	4,0	161,0	1,0	-68,0	58,7	obilnina ozim
2005	Věrovany	166,6	90,0	4,2	160,5	0,0	-66,3	58,4	obilnina ozim
2006	Věrovany	39,7	170,0	13,6	69,8	0,0	113,8	46,5	okopanina
2007	Věrovany	113,0	37,7	22,6	65,0	0,0	-4,7	83,6	obilnina jarní
2008	Věrovany	76,8	0,0	19,3	110,8	0,0	-91,5	89,1	obilnina jarní
2010	Věrovany	45,0	100,0	12,4	94,7	1,2	16,5	17,1	obilnina ozim
2011	Věrovany	54,6	189,0	19,6	117,6	0,0	91,0	47,4	okopanina
2012	Věrovany	65,9	40,0	17,0	90,7	0,0	-33,7	25,7	obilnina jarní
2013	Věrovany	53,3	82,0	28,2	113,3	0,0	-3,1	54,3	hořčice
2014	Věrovany	53,3	56,0	21,2	126,2	0,0	-49,0	43,0	obilnina ozim
2015	Věrovany	28,7	103,3	17,2	134,7	0,0	-14,2	80,3	obilnina ozim
2016	Věrovany	46,9	40,0	21,5	134,7	0,0	-73,2	69,4	luskovina
Průměr		76,3	77,7	13,5	122,0	0,2	-31,0	57,4	
Minimum		28,7	0,0	1,9	65,0	0,0	-216,0	17,1	
Maximum		167,0	189,0	28,2	221,0	1,2	113,8	103,2	
Směr. odchylka		39,9	57,4	7,9	36,9	0,4	76,6	21,4	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizni	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizení	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Vysoká	124,0	0,0	22,0	112,0	7,2	-97,2	33,0	jetelovina
1997	Vysoká	33,0	0,0	19,0	324,0	1,8	-306,8	19,0	jetelovina
1998	Vysoká	54,0	25,0	0,0	384,0	13,4	-372,4	41,0	jetelovina
1999	Vysoká	61,7	88,0	22,6	117,1	23,6	-30,1	65,2	obilnina ozim
2000	Vysoká	26,7	70,0	23,2	82,9	40,8	-30,5	66,9	obilnina ozim
2001	Vysoká	28,1	128,0	12,8	110,6	31,6	-1,4	113,1	okopanina
2002	Vysoká	97,7	87,0	12,9	114,1	46,9	-61,1	45,7	obilnina ozim
2003	Vysoká	80,0	170,0	17,0	129,0	0,0	58,0	182,3	okopanina
2004	Vysoká	62,0	0,0	14,0	168,0	18,9	-172,9	52,5	luskovina
2005	Vysoká	94,7	93,0	14,9	215,1	19,3	-126,4	49,8	obilnina ozim
2006	Vysoká	40,3	133,0	17,3	207,1	18,1	-74,9	122,2	obilnina ozim
2007	Vysoká	96,4	62,0	21,4	93,3	29,8	-39,7	53,8	obilnina jarní
2008	Vysoká	126,0	60,0	10,3	120,3	41,4	-91,4	123,1	obilnina ozim
2009	Vysoká	42,0	160,0	14,6	131,4	12,7	30,5	110,7	okopanina
2011	Vysoká	101,5	153,0	10,9	154,5	33,3	-23,9	120,1	obilnina ozim
2013	Vysoká	103,6	65,0	13,7	98,4	32,0	-51,7	149,6	obilnina jarní
2014	Vysoká	68,1	130,0	19,4	99,8	7,2	42,4	138,1	obilnina ozim
2015	Vysoká	304,2	120,0	18,1	108,8	4,4	24,9	106,9	obilnina ozim
2016	Vysoká	65,5	0,0	18,8	75,7	11,7	-68,6	237,8	luskovina
Průměr		84,7	81,3	15,9	149,8	20,7	-73,3	96,4	
Minimum		26,7	0,0	0,0	75,7	0,0	-372,4	19,0	
Maximum		304,2	170,0	23,2	384,0	46,9	58,0	237,8	
Směr. odchylka		61,5	57,2	5,5	81,7	14,2	111,0	56,7	

Tabulka 10 (pokračování): Roční dusíková bilance lyzimetrických stanovišť (kg N.ha⁻¹)

Rok	Stanoviště	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozdíl	N _{min} po sklizení	Plodina
			hnojení	srážky	odběr sklizení	ztráty pod 80 cm	A - B		
1996	Žatec	89,0	46,0	36,0	92,0	0,0	-10,0	31,0	obilnina ozim
1997	Žatec	58,0	12,0	6,0	41,0	0,0	-23,0	58,0	obilnina jarní
1998	Žatec	77,0	70,0	14,0	79,0	0,0	5,0	58,0	obilnina ozim
1999	Žatec	30,5	92,0	11,6	151,1	0,0	-47,5	193,8	okopanina
2000	Žatec	164,5	106,5	6,7	185,8	3,2	-75,8	74,5	obilnina ozim
2001	Žatec	87,3	125,0	6,4	153,5	19,7	-41,8	63,8	obilnina ozim
2002	Žatec	81,1	230,0	6,4	173,0	0,0	63,4	45,2	okopanina
2003	Žatec	53,0	115,0	12,0	148,0	0,0	-21,0	66,4	obilnina ozim
2004	Žatec	231,0	28,0	9,0	140,0	0,0	-103,0	20,2	obilnina jarní
2005	Žatec	35,2	0,0	5,2	119,9	0,0	-114,7	39,8	luskovina
2006	Žatec	166,0	138,0	7,9	111,4	18,1	16,4	209,8	obilnina ozim
2007	Žatec	112,0	98,0	7,3	66,3	0,0	39,0	643,6	obilnina ozim
2008	Žatec	229,0	0,0	7,3	80,8	3,1	-76,6	57,2	obilnina ozim
2009	Žatec	32,3	69,0	9,7	96,9	0,0	-18,2	47,5	obilnina jarní
2010	Žatec	64,0	161,0	18,0	106,5	14,0	58,5	11,7	obilnina ozim
2011	Žatec	155,9	82,0	27,5	81,3	498,0	-469,8	53,9	obilnina jarní
2012	Žatec	118,3	117,0	21,4	102,5	15,3	20,6	66,4	okopanina
2013	Žatec	195,1	205,5	17,3	145,2	17,8	59,8	45,3	obilnina jarní
2014	Žatec	61,9	192,0	31,7	214,9	5,7	3,1	182,3	obilnina ozim
2015	Žatec	142,5	13,5	34,8	130,3	10,4	-92,4	74,0	obilnina ozim
2016	Žatec	119,4	60,0	17,8	144,6	6,2	-73,0	86,5	luskovina
Průměr		109,7	93,4	15,0	122,1	29,1	-42,9	101,4	
Minimum		30,5	0,0	5,2	41,0	0,0	-469,8	11,7	
Maximum		231,0	230,0	36,0	214,9	498,0	63,4	643,6	
Směr. odchylka		61,9	66,7	9,9	42,7	107,7	111,8	135,5	

Z výsledků je patrné, že na většině stanic jsou vstupy menší, než výstupy a roční bilance dusíku je tedy záporná. Rozhodující položkou výstupů je odběr dusíku sklizní hlavního i vedlejšího produktu. Podíl ztrát vyplavením na celkových výstupech dusíku je zpravidla nižší.

Přestože jsou ztráty vyplavováním dávány do souvislosti s obsahem minerálního dusíku, nebyl zaznamenán vztah mezi obsahem $N_{\min}$ v půdě a vyplavováním. Zvýšený obsah minerálního dusíku sám o sobě nemusí vždy znamenat jeho vyplavování, kromě infiltrace a obsahu nitrátu v půdě záleží také na odběru sklizní a imobilizaci v půdě. Nitrát může být také redukován na plynné formy dusíku (N_2 , N_2O), které nelze použitými metodami zaznamenat.

V tabulce 11 je uvedena **průměrná roční dusíková bilance v průběhu let 1996–2016**. Získané hodnoty ukazují, že v orných půdách ČR existuje na začátku vegetace zásoba minerálního dusíku v průměru kolem 85 kg N.ha^{-1} . Zásoba $N_{\min}$ je však proměnlivá z roku na rok (vzhledem k průběhu počasí a souboru pěstovaných plodin) v rozpětí $\pm 40 \text{ kg}$. Minerálním a organickým hnojením je do půdy dodáváno ročně asi 85 kg N a dešťovými srážkami dalších 15 kg N.ha^{-1} . Průměrný odběr sklizní (142 kg N.ha^{-1}) odpovídá produkci asi 6 t obilí . Ztráty vyplavením jsou variabilní podle ročníků, jejich průměrná hodnota činí asi 13 kg N.ha^{-1} . Zhruba 80 kg N.ha^{-1} také zůstává po sklizni v půdě. Výsledkem je záporná roční bilance dusíku na úrovni $-56,1 \text{ kg N.ha}^{-1}$. Průměrná hodnota dlouhodobé bilance dusíku je na většině stanic záporná i po započítání běžně uváděných hodnot fixace N_2 a hodnot N ve srážkové vodě. Zhruba vyrovnaná bilance byla pozorována na stanicích Horažďovice, Chrástava a Jaroměřice. Dlouhodobě záporná bilance by se měla projevit postupným poklesem dostupnosti dusíku v půdě a také snížením odběru sklizní. Nicméně z údajů v tabulkách 10 a 11 vyplývá, že dlouhodobé změny sledovaných parametrů v čase jsou poměrně malé. Vstupy i výstupy dusíku a obsah $N_{\min}$ v půdě značně kolísají, ale pohybují se v určitém rozmezí a trend poklesu nebyl zaznamenán. Je pravděpodobné, že vstupy dusíku jsou o něco vyšší, než by odpovídalo naměřeným hodnotám. Možným zdrojem jsou atmosférické vstupy, které nelze používanými metodami stanovit. V literatuře se uvádí atmosférický vstup na úrovni 50 kg N.ha^{-1} (Weigel et al., 2000), což by zhruba vysvětlovalo pozorovaný rozdíl.

Tabulka 11: Průměrná roční dusíková bilance (kg N.ha⁻¹) v období 1996–2016

Rok	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstup		rozdíl A-B	N _{min} po sklizni
		hnojení	srážky	odběr sklizní	ztráty pod 80 cm		
1996	91,5	87,4	29,8	144,1	4,3	-31,3	64,6
1997	73,1	65,8	25,6	132,9	2,4	-43,9	61,9
1998	87,7	68,4	13,4	152,6	4,9	-75,6	61,6
1999	58,5	63,8	14,1	193,7	4,2	-120,0	87,7
2000	92,4	85,0	17,8	143,2	7,0	-47,4	80,9
2001	91,1	127,3	14,3	99,0	9,2	33,4	114,8
2002	112,4	91,3	10,7	180,8	8,1	-86,8	63,8
2003	79,5	86,9	16,4	123,4	1,4	-21,5	111,4
2004	118,1	122,9	15,9	150,9	3,6	-15,7	83,6
2005	98,3	69,3	10,6	129,6	4,0	-53,8	62,2
2006	55,5	92,9	12,4	132,4	29,3	-56,5	81,9
2007	106,6	31,0	12,5	165,2	6,9	-128,7	136,9
2008	98,1	57,5	12,2	140,2	6,4	-76,9	66,5
2009	48,2	130,6	11,4	129,0	43,3	-30,3	74,0
2010	61,8	94,7	12,8	133,0	23,7	-49,1	12,4
2011	78,0	83,5	15,4	127,8	67,8	-96,8	64,7
2012	124,5	95,1	15,9	136,0	5,3	-30,3	65,7
2013	92,3	81,6	16,0	110,2	19,1	-31,8	66,9
2014	57,9	82,3	17,6	158,4	2,7	-61,3	77,6
2015	90,8	72,8	16,7	143,1	3,0	-65,7	88,6
2016	73,3	84,9	11,3	158,5	14,6	-87,6	112,9
Průměr	85,2	84,5	15,4	142,1	12,9	-56,1	78,1

Rozdíly v bilanci dusíku mezi **bramborářskou a řepářskou výrobní oblastí** ukazuje tabulka 12. V obou výrobních oblastech byla zaznamenána negativní bilance. V řepářské i bramborářské výrobní oblasti byl pozorován téměř shodný obsah minerálního dusíku v půdě v termínu „brzy na jaře“ a vnos N ze srážek. V ŘVO byl zjištěn vyšší (+11 kg N.ha⁻¹) odběr sklizní a nižší obsah N v termínu „po sklizni“.

Tabulka 12: Bilance dusíku na stanovištích v BVO a ŘVO (kg N.ha⁻¹) za období 1996–2016

Stanoviště		N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		rozíl	N _{min} po sklizni
			hnojení	srážky	odběr sklizní	ztráty pod 80 cm	A - B	
BVO	Horažďovice N1P1K1	121,9	86,0	8,1	150,9	4,8	-61,6	90,8
	Chrastava	51,0	79,1	10,6	94,5	13,7	-18,6	59,2
	Jaroměřice	77,9	100,3	19,2	150,9	8,2	-39,6	93,6
	Vysoká	87,8	101,6	16,0	144,6	52,5	-84,4	105,3
	Průměr BVO	84,7	91,7	13,5	135,2	19,8	-51,1	87,2
ŘVO	Lednice	87,7	56,2	22,7	151,2	0,5	-72,7	72,6
	Uherský Ostroh	68,7	99,9	18,6	194,4	27,3	-108,2	64,1
	Věrovany	76,5	70,3	14,2	131,1	2,4	-49,0	54,4
	Žatec	109,7	93,4	15,0	122,1	29,1	-42,9	101,4
	Průměr ŘVO	85,7	80,9	17,8	149,4	14,7	-66,4	72,7

Velký vliv na bilanci živin mají také pěstované plodiny. Bilance dusíku byla proto stanovena pro **jeteloviny, luskoviny, jařiny, ozimy a okopaniny** (tabulka 13). Z výsledků vyplývá, že odběr značně převyšuje vstupy u většiny plodin. Výsledkem je výrazně negativní bilance. Nicméně, pozorovaný deficit dusíku může být u jetelovin a luskovin do značné míry vyrovnáván biologickou fixací N₂, která může převyšovat skutečný odběr, takže reálná bilance jetelovin je spíše kladná. U obilnin byl zjištěn různě vysoký deficit dusíku, který dosahuje 50–60 kg N.ha⁻¹. Kladná bilance u okopanin je způsobena především vysokými vstupy dusíku v organických hnojivech, které zvyšují také obsah N_{min} po sklizni a ztráty.

Výsledky naznačují, že přes určité výkyvy bilance dusíku jsou půdy schopny být poměrně stabilním zdrojem dusíku pro pěstované plodiny. Při vyrovnaném osevním postupu a pravidelným organickým hnojením si agroekosystém udržuje schopnost efektivně hospodařit se živinami.

Tabulka 13: Průměrná bilance N podle plodin osevního sledu (kg N.ha⁻¹) 1996–2016

Plodina	N _{min} jaro	A - vstupy		B - výstupy		Rozdíl	N _{min} po sklizni
		hnojení	srážky	odběr sklizní	ztráty pod 80 cm	A - B	
jeteloviny	76,4	15,7	14,2	252,7	2,2	-225,9	62,7
luskoviny	69,7	17,7	15,5	115,0	27,7	-111,0	81,9
jařiny	83,4	59,8	15,3	111,9	20,8	-57,6	66,4
ozim	97,2	92,3	13,9	140,5	12,1	-46,4	81,4
okopaniny	81,0	171,2	18,3	133,1	23,7	32,6	108,4

5.3. Vliv úrovně hnojení na bilanci a vyplavování živin

Bilance a ztráty prvků promyvem při aplikaci zvýšené dávky minerálních hnojiv jsou sledovány na stanovišti v Horažďovicích. Dva tříhorizontové polní lyzimetry jsou instalovány pod variantami N1P1K1 a N3P3K3 stacionárního výživářského pokusu. Obě varianty představují dvě hladiny NPK hnojení, průměrné roční dávky živin za osevní sled jsou pro obě varianty hnojení uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14: Průměrné roční dávky minerálních živin ve variantách pokusu „Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, agrochemické vlastnosti půdy a bilanci živin“

Živiny kg.ha ⁻¹	N1P1K1	N3P3K3
N	58	117
P	13	52
K	33	133
Hnůj (t.ha ⁻¹) 2x za osevní sled	40	40

Živiny dodané v hnoji každý čtvrtý rok na obě varianty (kg č.č. .ha⁻¹): N – 200, P – 35, K – 199, Ca – 119.

Z výsledků hodnocených pokusů byla vypočítána bilance živin jako rozdíl mezi vstupy a výstupy (tabulka 15). Jako vstupy jsou započítány živiny dodané do půdy v chlěvském hnoji, minerálních hnojivech a srážkách, jako výstupy živiny odčerpané výnosy pěstovaných plodin (hlavní i vedlejší produkt) a vyplavené v eluátu z hloubky 80 cm (tabulka 16). Podrobné výsledky lyzimetrických sledování na stanovišti Horažďovice jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 15: Bilance čistých živin za období let 1988–2016 (kg.ha⁻¹)

Horažďovice		výnos sušiny kg.ha ⁻¹	Výstupy - B				Vstupy - A			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
N1P1K1	Odběr sklizní / Hnojení	8438	147,4	23,2	134,6	13,7	108	32	107	10
	Vyplavení / Atm. srážky		10,2	0,0	0,4	4,7	10	1	3	1
	Σ		157,6	23,2	135,0	18,4	118	33	110	11
	Bilance A - B		-40	9	-25	-8				
N3P3K3	Odběr sklizní / Hnojení	9393	179,7	28,7	173,6	15,1	167	59	181	10
	Vyplavení/ Atm. srážky		2,2	0	0,2	1,3	9,7	0,5	3	0,7
	Σ		182	29	174	16	177	60	184	11
	Bilance A - B		-5	31	10	-6				

Z tabulky 15 vyplývá, že při nižší úrovni hnojení byly vstupy dusíku, draslíku a hořčíku výrazně nižší než jejich export sklizní. Jejich bilance proto byla negativní. Zhruba vyrovnaná byla jenom bilance fosforu. Zvýšená dávka hnojiv zvýšila vstupy, ale současně se zvýšil výnos sušiny a spolu s ním také odběr živin. Dávky hnojiv byly dostatečné k vyrovnání bilance dusíku, bilance draslíku však byla stále negativní i při vyšších vstupech. Také bilance hořčíku

byla negativní. Chybějící draslík i hořčík jsou čerpány z půdních zásob, což nepochybně vede k postupnému ochuzování půdy o tyto živiny. V případě dusíku mohla být bilance navyšována biologickou fixací N_2 .

Sledování pohybu živin v půdě (tabulka 16) ukazuje zhruba srovnatelný průsak eluátu při obou úrovních hnojení v hloubce 40 a 60 cm. Eluáty v obou variantách hnojení obsahují hlavně vápník, sírany a nitrátový dusík. Nízký je obsah draslíku i hořčíku, fosfor a amonný dusík nebyl v eluátech vůbec zachycen. Průsak eluátu i množství vyplavovaných živin se obecně snižovalo s hloubkou odběru a v dosahu kořenů byly živiny i voda intenzivně odčerpávány rostlinami. Výrazný pokles množství eluátu a také množství vyplavovaného nitrátu v hloubce 80 cm byly zaznamenány při vyšší úrovni hnojení. Pozorovaný pokles by mohl být vysvětlen zvýšenými nároky hnojených rostlin na vodu i živiny, které byly čerpány z půdy a tím bylo omezeno jejich vyplavování. I při zvýšené úrovni vstupů jsou rostliny zřejmě schopny využívat dodané živiny ke zvýšení výnosu

Z výsledků sledování na stanovišti v Horažďovicích vyplývá, že výnos pěstovaných plodin je při nižší úrovni hnojení limitován dostupností živin. Zvýšené vstupy jsou proto efektivně využívány plodinami k produkci biomasy a ztráty vyplavováním jsou nízké i při poměrně vysokých dávkách NPK hnojiv.

Tabulka 16: Průsak eluátu a průměrné roční hodnoty vyplavování živin ($kg \cdot ha^{-1}$)

Horizont cm	Varianta	Průsak eluátu mm	$NO_3^- - N$	$NH_4^{+} - N$	P	K	Mg	Ca	$SO_4^{2-} - S$
40	N1P1K1	15,9	11,0	0,0	0,0	1,0	3,8	24,0	5,0
	N3P3K3	15,6	10,6	0,0	0,0	1,6	4,0	27,3	6,0
60	N1P1K1	12,0	7,4	0,0	0,0	0,3	3,0	17,3	3,7
	N3P3K3	8,4	6,4	0,0	0,0	0,4	2,5	18,0	4,4
80	N1P1K1	10,3	6,8	0,0	0,0	0,3	3,1	19,7	4,5
	N3P3K3	4,1	1,7	0,0	0,0	0,2	0,9	6,0	1,9

5.4. Vliv obhospodařování travního porostu na bilanci živin

Cílem lyzimetických sledování v Závišíně je zjistit, do jaké míry jsou vstupy živin využity a kolik živin ztrácí vyplavováním hnojený a využívaný trvalý travní porost v porovnání s nehnojenou sklízenou plochou, s plochou nehnojenou sečenou (nesklízenou) a s plochou bez zásahu. Přehled variant uvádí tabulka 17.



Tabulka 17: Přehled variant lyzimetrických sledování v Závišíně

Varianta	Způsob obhospodařování
1. INTENZITA	hnojení ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$): 160 N, 31 P, 100 K, vápnění jednou za tři roky (1995, 1998, 200, 2004, 2007, 2010, 2013, 2016), sklizeň 2x ročně
2. EXTENZITA	sklizeň 1x ročně, píce se odváží
3. ÚTLUM	1x ročně se seká, posekaná hmota se nechává ležet na pokose
4. ÚHOR	plocha bez jakéhokoliv zásahu

Vodní režim na stanovišti je promyvný a do hloubky pod 80 cm prosakuje významné množství eluátu. Podobně jako na orné půdě obsahují eluáty na plochách TTP především vápník, síru a nitrátový dusík (tabulka 18). Největší množství eluátu bylo zachyceno na variantě s útlumem a úhorem. V těchto dvou případech představoval průsak do hloubky 80 cm v průměru 7–10 % ročních srážek. Na intenzivně a extenzivně obhospodařované ploše bylo množství zachyceného eluátu výrazně nižší (do 5 % ze sumy srážek). Na plochách s útlumem a úhorem bylo vyšší také vyplavování Ca a SO_4^{2-} . Při intenzivnějším využití rostliny pravděpodobně čerpaly více vody i pohyblivých živin a vyplavování tím bylo omezováno. Naopak, při nižší intenzitě se živiny vracely do půdy, jejich spotřeba je nižší a proto se v půdě mohou hromadit a následně mohou být ve větší míře vyplavovány. Hodnoty vyplavování nitrátového dusíku byly nízké při všech způsobech obhospodařování. Příčinou může být intenzivní odběr dusíku kořeny rostlin nebo půdními mikroorganismy, které výrazně snižují pohyb do hlubších vrstev i při nejvyšší úrovni vstupů.



Tabulka 18: Množství eluátu a průměrné roční ztráty živin stanoviště Závišín v kg.ha⁻¹ v 80 cm

Varianta	Průsak eluátu mm	pH	NO ₃ ⁻ N	NH ₄ ⁺ N	P	K	Mg	Ca	SO ₄ ²⁻ S
Intenzita	39,2	7,0	0,5	0,1	0,1	0,3	1,6	7,2	3,1
Extenzita	48,6	7,1	0,3	0,0	0,1	0,1	2,0	7,6	3,6
Útlum	89,4	7,3	0,8	0,0	0,1	0,4	3,3	15,7	7,6
Úhor	62,2	7,0	2,1	0,1	0,1	0,4	1,8	9,5	5,2

Extenzivně obhospodařovaná varianta nebyla hnojena a bilance všech živin je proto negativní. Chybějící živiny mohou být čerpány z půdní zásoby a částečně i z atmosférických spadů (tabulka 19). Dusík může být navíc doplňován různými formami biologické fixace atmosférického N₂.

U intenzivně obhospodařované varianty je hnojení dusíkem dostatečné a dávky dusíku jsou vyšší, než odběr sklizní. V nadbytku je dodáván také fosfor. Současně ale zvýšený výnos zvyšuje odběr draslíku a jeho bilance je negativní. Hnojení také zvyšuje odběr hořčíku, který není dodáván v hnojivech, což prohlubuje jeho negativní bilanci.

Z výsledků lyzimetrických sledování na stanovišti Závišín vyplývá, že sledovaný travní porost efektivně využívá aplikované vstupy a ztráty živin jsou nízké. Současně však hnojení zvyšuje export živin, především K a Mg sklizní, což vyvolává jejich nedostatek a čerpání z půdních zásob. Režim útlumu nebo úhoru může zvyšovat vyplavování Ca a S, nebylo však pozorováno zvýšené vyplavování N, přestože lze předpokládat hromadění živin v půdě při rozkladu nesklizené biomasy.

Tabulka 19: Průměrná bilance čistých živin v průběhu let 1996–2016 v kg.ha⁻¹

Závišín		Výnos sušiny kg.ha ⁻¹	Výstupy - B				Vstupy - A			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Intenzita	Odběr sklizní / Hnojení	6 653	120,8	18,1	113,1	18,5	160	32	100	
	Vyplavení / Atm. srážky		0,7	0,1	0,4	1,9	12,5	0,4	4,4	1,9
	Σ		121,5	18,2	113,5	20,4	172,5	32,4	104,4	1,9
	Bilance A - B		50,9	14,2	-9,1	-18,4				
Extenzita	Odběr sklizní / Hnojení	2 795	39,1	6,2	40,1	12,2				
	Vyplavení/ Atm. srážky		0,3	0,1	0,3	3,0	12,5	0,4	4,4	1,9
	Σ		39,4	6,3	40,4	15,2	12,5	0,4	4,4	1,9
	Bilance A - B		-26,9	-5,9	-36,0	-13,3				

6. Závěr

Dlouhodobé sledování zaznamenalo nezanedbatelné množství živin, které do půdy vstupuje srážkovou vodou. Tyto vstupy jsou však menší ve srovnání se vstupy v podobě hnojiv. Průsak srážkové vody přispívá k exportu živin vyplavováním. Vyplavování živin je ovlivněno především vodním režimem půd. V půdách s promyvným režimem je průsak srážkové vody největší, a proto zde dochází k významným ztrátám rozpustných živin vyplavováním. Ztráty jsou nižší v půdách s periodicky promyvným režimem a nevýznamné při vodním režimu nepromyvném.

Z analýz eluátu vyplývá, že z půdy jsou pod zónu kořenů rostlin vyplavovány zejména NO_3^- , Ca^{2+} a SO_4^{2-} . Současně jsou jejich ztráty v různé míře vyrovnávány atmosférickými vstupy. Vstupy a pohyb P a K půdním profilem byly menší a jejich bilance mohou být hodnoceny na základě údajů o výnosu a hnojení. Podrobně je problematika bilance P, K, Mg a Ca zpracována např. ve zprávách z polních pokusů ÚKZÚZ.

Výsledky lyzimetrických sledování byly použity k výpočtu bilance dusíku. Celkový obsah minerálního N v půdě dosahuje v průměru $60\text{--}120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Hnojením je do půdy dodáváno $30\text{--}130 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ a významné množství N je také ve srážkách, které ročně dodávají do půdy až $20 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odběr dusíku sklizní je v rozmezí $100\text{--}180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ztráty vyplavováním dosahují od nuly do $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Všechny sledované parametry jsou velmi variabilní, ale na jednotlivých lokalitách se dlouhodobě udržují v určitém rozmezí hodnot a nebyl zaznamenán jednoznačný trend naznačující pokles nebo nárůst během 30 let sledování.

Odběr dusíku často převyšuje vstupy a z dlouhodobého hlediska je jeho bilance na řadě stanic negativní i při započítání fixace N_2 a dusíku ve srážkách. Roční ztráty N z půdy dosahují na většině stanic $20\text{--}100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Možným zdrojem chybějícího dusíku může být humus, který je tímto vyčerpáván, asymbiotická fixace vzdušného dusíku, nebo nezapočítaná depozice dusíku v atmosférickém spadu.

Zvýšení dávky živin na orné půdě i na trvalém travním porostu zvýšilo výnos a odběr živin a nebyly pozorovány zvýšené ztráty. Sledované agroekosystémy jsou schopné využívat zvýšené dávky dusíku k produkci biomasy.

Bilancování živin a sledování jejich účinnosti je vhodným prostředkem pro diagnostiku situace v hospodaření se živinami a mělo by se proto stát základním nástrojem trvale udržitelného rozvoje v zemědělství, tak aby nedocházelo k vyčerpávání půdy a na druhé straně k nadměrnému zatěžování ekosystémů přebytkem živin.

7. Použitá literatura

1. http://www.lysimeter.at/HP_EuLP/index.html.
2. Klír, J., 2000. The OECD soil surface nutrient balance in Czech Republic.
3. Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, D., Baumecker, D., Behle-Schalk, L., Bischoff, R., Čergan, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffman, S., Hofman, B., Kismanyoky, T.,
4. Kubát, J., Klír, J., 1999. Estimation of the effect of legumes on the nitrogen balance in long-term field experiments. *Zeszyty Probl.Postep.Nauk Rolnicz.*, Zeszyt 465, 113–122
5. Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., Merbach, I., Merbach, W., Pardor, M. T., Rogasik, J., Rühlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W., 2013. Effect of mineral and organic fertilization on crop field, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59, 1017–1040.
6. Pokorný, E., Denešová, O., 1998. Bilancování živin v zemědělských podnicích. *Agro* 3, 86–91.
7. Richter, R., Hlušek, J., 1994. Výživa a hnojení rostlin (I. obecná část). VŠZ v Brně, 177 s. ISBN 80-7157-138-5
8. Šimek, M: Základy nauky o půdě 3: Biologické procesy a cykly prvků. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, 2003, 131 s.
9. Trávník, K., 1999. Bilance živin v půdě. *Agrární noviny, příloha Zemědělec*, VII, č. 49.
10. Trávník, K., 2005. Poznatky z dlouhodobého sledování lyzimetrů ÚKZÚZ. Brno.
11. Trávník, K., 2012. Metodický návod pro hnojení plodin. ÚKZÚZ, Brno.
12. Vaněk, V., Balík, J., Němeček, R., Pavlíková, D., Tlustoš, P., 1998. Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. *Farmář-Zemědělské listy*, Praha, 124 s. ISBN 80-902413-7-9
13. Weigel, A., Russow, R., Körschens, M., 2000. Quantification of airborne N-input in long-term field experiments and its validation through measurements using ¹⁵N isotope dilution. *Journal of plant Nutrition and Soil Science* 163, 261–265.

Poznámky:

Poznámky:

Poznámky:

LYZIMETRICKÁ SLEDOVÁNÍ

Bilance a vyplavování živin během 30 let
lyzimetrických sledování ÚKZÚZ (1986–2016)

- Zpracoval: **Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.**
Ing. Renáta Prchalová
Ing. Vladimír Klement, CSc.
- Vydal: **Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský**
Sekce zemědělských vstupů
Oddělení výživy rostlin
- Náklad: 100 ks
- Vydání: první
- Rok vydání: 2018
- Počet stran: 44
- Tisk: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Hroznová 2, 656 06 Brno, tel.: 543548111,
e-mail: vyzivarostlin@ukzuz.cz

ISBN 978-80-7401-154-2

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou

