

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Bilance dusíku v zemědělském podniku

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Richard Škala

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Bilance dusíku v zemědělském podniku" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 4. 2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jindřichovi Černému Ph.D. za vedení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Alexandrovi Ottovi za poskytnutí podkladových údajů k práci a dobrou spolupráci.

Bilance dusíku v zemědělském podniku

Souhrn

Bilance dusíku v zemědělských podnicích se stává významným nástrojem pro hodnocení využití dusíku z hlediska ekonomických faktorů, ale také z faktorů legislativních. Od roku 2022 platí povinnost ze zákona vypočítávat bilanci dusíku za kalendářní rok pro celý zemědělský podnik. Bilance dusíku může sloužit zemědělským podnikům k lepšímu využívání spotřebovaného dusíku při zemědělské činnosti a tím přispět ke zlepšení úrovně životního prostředí a ekonomické situace.

V experimentální části diplomové práce byly v zemědělském podniku na vybraných půdních blocích sledovány vstupy dusíku a výstupy dusíku. V letech 2019 a 2020 byly předmětem sledování tyto plodiny: ječmen ozimý, ječmen jarní, pšenice ozimá, silážní kukuřice a řepka ozimá. Vstupy dusíku k obilninám dosahovaly hodnot od 29 do 141 kg N/ha, u silážní kukuřice se vstupy dusíku pohybovaly od 175 do 211 kg N/ha a k řepce ozimé bylo dodáno 228 až 266 kg N/ha. Ze zjištěných údajů byla vypočtena bilance dusíku pro jednotlivé půdní bloky. Bilance dusíku jednotlivých plodin se lišily. Odlišnost byla pozorována v rámci plodin mezi půdními bloky a roky sledování, kdy byla bilance dusíku nejvíce ovlivňována vstupy dusíku a výnosem, který byl ovlivněn vnějšími faktory (průběh počasí, agrotechnika). Obilniny dosahovaly průměrných hodnot od - 81 do + 5 kg N/ha. Silážní kukuřice nabývala průměrných hodnot od + 1 do + 18 kg N/ha. Kladná bilance dusíku byla zaznamenána u řepky ozimé, kdy průměrné hodnoty bilance dusíku dosahovaly hodnot od + 80 do + 117 kg N/ha. Spolu s bilancí dusíku bylo vypočítáváno i využití dusíku aplikovaného k plodinám. Nejvyšších průměrných hodnot dosahoval ječmen jarní (213 až 319 %), a naopak nejnižších hodnot dosahovala řepka ozimá (54 až 95 %). Sledované plodiny vykazovaly předpokládané odlišné předplodinové hodnoty s ohledem na bilanci dusíku. Při srovnávání způsobu hnojení sledovaných plodin byly zjištěny možné nedostatky např. u ječmene jarního, u kterého byly zaznamenány významné ekonomické ztráty. V diskusi je uveden návrh možného zlepšení přístupu ke hnojení, který by mohl vylepšit ekonomickou stránku hnojení v zemědělském podniku.

Klíčová slova: bilance, dusík, hnojení

The nitrogen balance on the farm

Summary

Nitrogen balance in agricultural enterprises is becoming an important tool for evaluating the use of nitrogen in terms of economic factors, but also in terms of legislation. Since 2022, the obligation to calculate the nitrogen balance for a calendar year for the entire agricultural holding has been in force by law. Nitrogen balance can serve farms to make better use of the nitrogen consumed in their agricultural activities and thus contribute to improving the level of the environment and the economic situation.

In the experimental part of the master thesis, nitrogen inputs and nitrogen outputs were monitored on the farm in selected soil blocks. In 2019 and 2020, the following crops were monitored: winter barley, spring barley, winter wheat, silage maize and winter rape. Nitrogen inputs to cereals ranged from 29 to 141 kg N/ha, for silage maize, nitrogen inputs ranged from 175 to 211 kg N/ha and 228 to 266 kg N/ha were delivered to winter rape. The nitrogen balance for individual soil blocks was calculated from the obtained data. Nitrogen balances of the individual crops varied. Differences were observed within crops between soil blocks and monitoring years, when the nitrogen balance was most affected by nitrogen inputs and yield, which were influenced by external factors (weather, agrotechnics). Cereals reached average values from - 81 to + 5 kg N/ha. Silage maize acquired average values from + 1 to + 18 kg N/ha. The positive nitrogen balance was recorded for winter oilseed rape, when the average values of the nitrogen balance reached values from + 80 to + 117 kg N/ha. Along with the nitrogen balance, the use of nitrogen applied to crops was also calculated. The highest average values were reached by spring barley (213 to 319 %), while the lowest values were reached by winter rape (54 to 95 %). The monitored crops showed expected different pre-crop values with respect to the nitrogen balance. When comparing the method of fertilization of the monitored crops, possible shortcomings were found, for example, in spring barley, for which significant economic losses were recorded. The discussion suggests a possible improvement in access to fertilization, which could improve the economics of fertilization on the farm.

Keywords: balance, nitrogen, fertilization

1 Obsah

2 Úvod	9
3 Vědecká hypotéza a cíle práce	10
4 Literární řešerše	11
4.1 Dusík.....	11
4.1.1 Dusík jako živina	11
4.2 Bilance dusíku	12
4.3 Vstupy dusíku.....	15
4.3.1 Hnojení dusíkem	15
4.3.2 Biologická fixace	17
4.3.3 Dusík ze závlahové vody	19
4.3.4 Dusík z atmosférických srážek	19
4.4 Výstupy dusíku	19
4.4.1 Odběr dusíku plodinou	20
4.4.2 Procesy vedoucí ke ztrátám dusíku.....	22
4.4.3 Lyzimetrické měření	23
4.4.4 Výhody vedení bilance dusíku.....	24
4.5 Efektivita využití dusíku.....	25
4.6 Typy bilancí dusíku.....	26
4.6.1 Povrchová bilance.....	26
4.6.2 Faremní bilance	26
4.6.3 Bilance na jednotlivých pozemcích (polní bilance).....	27
4.7 Nitrátová směrnice	28
5 Metodika	29
5.1 Představení podniku AG Produkt a. s.	29
5.2 Meteorologické údaje.....	29
5.3 Použité zdroje a materiály.....	30
5.3.1 Program Agronom	31
5.4 Postup zpracování dat	32
5.4.1 Získávání dat z programu Agronom	32
5.4.2 Zapisování a výpočet dat v programu Excel.....	32
5.4.3 Výpočet vstupů dusíku	33
5.4.4 Výpočet výstupů dusíku	33
5.4.5 Výpočet bilance dusíku.....	33
5.4.6 Výpočet využití dusíku	33
5.4.7 Výpočet dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku (PFP-N).....	33
5.4.8 Výpočet v programu Statistica.....	34

6	Výsledky	35
6.1	Vstupy dusíku k ječmeni ozimému	35
6.2	Výstupy dusíku u ječmene ozimého.....	35
6.3	Bilance dusíku u ječmene ozimého	36
6.4	Využití dusíku ječmenem ozimým	36
6.5	Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu ozimému v letech 2019 a 2020.....	38
6.6	Vstupy dusíku k pšenici ozimé	38
6.7	Výstupy dusíku u pšenice ozimé	38
6.8	Bilance dusíku u pšenice ozimé.....	39
6.9	Využití dusíku pšenicí ozimou.....	40
6.10	Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k pšenici ozimé v letech 2019 a 2020.....	40
6.11	Bilance dusíku u pšenice ozimé - skutečný obsah dusíku v zrn.....	42
6.12	Využití dusíku pšenicí ozimou - skutečný obsah dusíku v zrn.....	42
6.13	Vstupy dusíku u ječmene jarního	43
6.14	Výstupy dusíku u ječmene jarního	44
6.15	Bilance dusíku u ječmene jarního.....	44
6.16	Bilance dusíku u ječmene jarního - skutečný obsah dusíku v zrn v roce 2019	44
6.17	Využití dusíku ječmenem jarním.....	46
6.18	Porovnání využití dusíku ječmenem jarním při výpočtu dle normativu a dle skutečného obsahu dusíku v zrn v roce 2019.....	46
6.19	Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu jarnímu v letech 2019 a 2020.....	46
6.20	Vstupy dusíku k řepce ozimé	48
6.21	Výstupy dusíku u řepky ozimé.....	48
6.22	Bilance dusíku u řepky ozimé	48
6.23	Využití dusíku řepkou ozimou	50
6.24	Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k řepce ozimé v roce 2019 a 2020.....	50
6.25	Vstupy dusíku k silážní kukuřici	51
6.26	Výstupy dusíku u silážní kukuřice.....	51
6.27	Bilance dusíku u silážní kukuřice	52
6.28	Využití dusíku silážní kukuřicí	53
6.29	Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k silážní kukuřici v letech 2019 a 2020.....	53
6.30	Porovnání bilance dusíku u sledovaných plodin v letech 2019 a 2020	55
6.30.1	Bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019	55
6.30.2	Bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020	55
6.31	Porovnání využití dusíku sledovanými plodinami v letech 2019 a 2020 ...	56
6.31.1	Využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019	56
6.31.2	Využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020	56

6.32	Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v letech 2019 a 2020	58
6.32.1	Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodin v roce 2019	58
6.32.2	Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2020	58
7	Diskuze	60
7.1	Vstupy dusíku ke sledovaným plodinám	60
7.2	Bilance dusíku u sledovaných plodin	63
7.3	Využití dusíku plodinami	65
7.4	Strategie hnojení v zemědělském podniku.....	67
7.5	Návrh řešení pro optimalizaci hnojení dusíkem v zemědělském podniku	68
8	Závěry a doporučení pro zemědělský podnik	70
9	Literatura.....	71
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	76
11	Samostatné přílohy	I
11.1	Statistická vyhodnocení	I
11.1.1	Statistická vyhodnocení pro ječmen ozimý	I
11.1.2	Statistická vyhodnocení pro pšenici ozimou	III
11.1.3	Statistická vyhodnocení pro ječmen jarní	VI
11.1.4	Statistická vyhodnocení pro řepku ozimou.....	VIII
11.1.5	Statistická vyhodnocení pro silážní kukuřici	X
11.1.6	Statistická vyhodnocení bilance dusíku u sledovaných plodin v letech 2019 a 2020	XII
11.1.7	Statistická vyhodnocení využití dusíku sledovanými plodinami v letech 2019 a 2020	XIV
11.2	Seznam aplikovaných hnojiv na sledovaných půdních blocích	XVIII
11.3	Charakteristika sledovaných půdních bloků.....	XIX
11.4	Seznam tabulek	XX
11.5	Seznam grafů	XXI

2 Úvod

Dusík patří k hlavním živinám, které zajišťují výnosy zemědělských produktů. Ať už se jedná o živiny v živočišné nebo rostlinné výrobě. V této práci se zaměřím na dusík jako živinu v rostlinné produkci. Dusík je nejvýznamnější prvek ve výživě rostlin, jelikož díky němu mohou rostliny růst a optimálně se vyvíjet. Jak již bylo zmíněno, dusík je hlavní živinou ve výživě rostlin, a proto se v zemědělské produkci spotřebuje největší množství dusíku, ze všech prvků, které se ve výživě rostlin využívají. Spotřeba dusíkatých hnojiv je v zemědělství nejvyšší ze všech hnojiv, proto je potřeba dusíkatá hnojiva správně využívat. Bilanci dusíku si můžeme zjednodušeně popsat jako rozdíl mezi příjmy a výdaji dusíku v daném systému. V tomto případě se jedná o bilanci dusíku v zemědělském podniku, tudíž se bude práce zabývat hnojením a výnosy pěstovaných plodin. Bilance dusíku slouží k tomu, aby se zabránilo plýtvání s dusíkatými hnojivy, které při přebytku v životním prostředí způsobují znečištění. Dalším důvodem je to, že se dusíkatá hnojiva musejí průmyslově vyrábět, a i přes relativně dobře fungující Haber – Boschovu reakci (výroba dusíkatých hnojiv), je tato výroba ekologicky náročná. Pro představu uvedu příklad. Na výrobu 1 kg čistého dusíku je spotřebováno 1,5 i více litrů nafty. V budoucnosti by tedy výroba dusíkatých hnojiv mohla mít problém, a to tehdy pokud by došla ropa, která ubývá a podle některých odhadů ložiska ropy na Zemi budou vyčerpány do konce 21. století. I proto je zapotřebí bilancovat s dusíkem. Částečně by se minerální dusíkatá hnojiva dala nahradit vhodnými předplodinami, které fixují vzdušný dusík z atmosféry a jejich biomasa obsahuje vyšší podíl dusíku. Dusíkatá minerální hnojiva by se také mohla nahradit statkovými hnojivy, ale ty jsou bohužel na ústupu, jelikož hospodářských zvířat v ČR ubývá a do budoucna je možné, že úbytky hospodářských zvířat budou narůstat, a to zejména skot. Důvod je prostý značná část chovaných hospodářských zvířat jsou přežvýkavci, kteří při trávení potravy produkují metan, což je jeden z nejhorších skleníkových plynů. V současné době je v zájmu zpomalení globálního oteplování snižovat emise, již zmiňovaného metanu. Tím nechci tvrdit, že by tyto alternativy měly zcela nahradit průmyslově vyráběná dusíkatá hnojiva. Jen je potřeba rozumně využívat dusík, který máme k dispozici, například v atmosféře a zbytečně s ním neplýtvat, protože nadbytečné hnojení dusíkatými hnojivy způsobuje znečišťování spodních vod, půd a ovzduší. Nehledě na to, že je to neekonomické a tyto promrhané náklady, by se daly využít například na hnojení živinami, které jsou v minimu podle Liebigova zákona minima, jako bývají například mikroprvky nebo fosfor, o kterém víme, že jeho zásoby na Zemi docházejí.

3 Vědecká hypotéza a cíle práce

H1: Pšenice ozimá, ječmen ozimý, ječmen jarní, silážní kukuřice a řepka ozimá se dle výnosu hlavního produktu vyznačují odlišnou efektivitou využití dusíku.

H2: Pěstované plodiny se vyznačují odlišnou předplodinovou hodnotou s ohledem na bilanci dusíku.

Cíl práce: Cílem práce bude popsat a vyhodnotit bilanci dusíku v zemědělském podniku na základě posouzení hlavních vstupů a výstupů v koloběhu dusíku, s přihlédnutím k podmínkám hospodaření a systému hnojení. Na základě výsledků bilance bude vyhodnocena efektivita využití dusíku a vypracován návrh řešení pro optimalizaci hnojení v zemědělském podniku. V rámci diplomové práce bude zpracována literární rešerše, která se bude zabývat problematikou různých způsobů bilancování dusíku (hospodářská a faremní bilance, povrchová bilance apod.). Popsán bude přímý vliv působení dusíku z aplikovaných hnojiv, ale i dlouhodobé působení v závislosti na podmínkách hospodaření, hnojených plodinách apod. Zdůrazněn bude rozdíl mezi jednotlivými hnojivy a také odlišnost využití jednotlivých forem dusíku.

4 Literární řešerše

4.1 Dusík

Poprvé pojmenoval dusík francouzský vědec Jean Claude Chaptal. Stalo se, tak v roce 1790 (Smil 2001). Důležitost dusíku pro růst rostlin poprvé popsalskotský chemik G. K. Rutherford v roce 1872 (Faderia et al. 1997).

Dusík je nejdůležitějším dodávaným prvkem pro veškeré plodiny, které jsou pěstovány za účelem produkce. Polovina světové populace je závislá přímo nebo nepřímo na potravinách, které jsou hnojeny dusíkatými hnojivy (Yadav et al. 2017).

4.1.1 Dusík jako živina

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 (Balík et al. 2012). Stanford (1982) uvádí, že celkové množství dusíku na naší planetě je odhadováno na $1,68 \cdot 10^{17}$ t. Z tohoto množství se 2,3 % dusíku nachází v atmosféře. Atmosférický dusík je nejlépe přístupný pro rostliny, a to z 89,07 %. Oproti litosférickému dusíku je atmosférický dusík téměř devítinásobně přístupnější (Tabulka 1) (Balík et al. 2012).

Tabulka 1: Celkové a přístupné množství dusíku (t N) v hlavních složkách naší planety

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

Dusík je hlavní živina aplikována v zemědělství ve velkém množství, za účelem udržení zemědělské produktivity a kvality plodin. Zároveň je potřeba hnojení dusíkem správně využívat, jelikož nadměrné používání hnojiv může mít škodlivé účinky na kvalitu půdy a životní prostředí, jako je okyselování půd, vyplavování nitrátů z půdy, těkání amoniaku a dalších dusíkatých plynů do ovzduší, z nichž oxid dusný je vysoce účinný skleníkový plyn, který přispívá ke globálnímu oteplování (Sainju 2017).

Rostliny přijímají dusík ve formě amonného kationtu (NH_4^+), nebo nitrátového aniontu (NO_3^-). O příjmu obou iontů rozhodují hlavně vnější podmínky, ale i sama rostlina. Značný vliv na příjem dusíku má pH prostředí. V kyslejších oblastech rostlina spíše přijímá nitrátový dusík a v neutrálním až alkalickém prostředí je příjem vyrovnaný, nebo převažuje příjem amonného dusíku. Dále rozhoduje teplota, kdy je při nižších teplotách snížen příjem i využití nitrátového dusíku. Rostliny přijatý minerální dusík postupně využívají k tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Amonný dusík mohou rostliny přímo využívat k syntéze aminokyselin, naopak nitrátový dusík musí být nejprve přeměněn na amonný dusík. Pro tuto přeměnu jsou důležité některé prvky (Mo, Fe, Cu, Mn a Mg). Vznikající amoniak je vázán na organické kyseliny (oxokyseliny) za vzniku aminokyseliny.

Aminokyseliny jsou základní stavební jednotkou peptidů a polypeptidů (bílkovin). Bílkoviny tvoří podstatnou součást všech živých buněk a pletiv rostlin. Rostlinné bílkoviny obsahují 15-18,9 % N. Jsou obsaženy zvláště v mladých orgánech, dělivých pletivech, enzymech, nukleoproteidech a dalších látkách, které se významně podílejí na vlastním růstu rostliny a tvorbě nejdůležitějších orgánů a celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetace se tvoří větší množství zásobních bílkovin v semenech (obilniny nad 10 %, hrách okolo 22 %). Významnými dusíkatými látkami v rostlinách jsou také heterocyklické sloučeniny, kde je kromě uhlíku v uzavřeném cyklu vázán dusík. Patří sem např. pyridin, pirimidin, pyrol a imidazol (Vaněk et al. 2016). Dusík je primární složkou nukleotidů a proteinů, a proto je nezbytný pro život. Biologicky dostupný dusík je navíc ve většině suchozemských ekosystémech nedostatkovou živinou. Dostupnost dusíku omezuje růst rostlin a primární produkci, což zásadně ovlivňuje strukturu a funkci většiny ekosystémů. Nikde není dusík důležitější než v zemědělských systémech. Dodáním dusíku podporujeme udržování a zvyšování výnosů plodin, což je základním znakem moderního hospodaření s plodinami. Dodávaný dusík umožňuje zemědělcům nahrazovat plodiny poutající vzdušný dusík, také mění strukturu mikrobiálního společenstva, které ovlivňuje rozklad a další ekosystémové procesy, jako je nitrifikace a denitrifikace (Robertson & Vitousek 2009). Během raných fází vývoje rostlin fungují listy jako zásobárna dusíku, který je pak remobilizován pro tvorbu semen. K remobilizaci pro potřebu semen dochází během stárnutí rostliny. Remobilizovaný dusík se vyskytuje většinou ve formě aminokyselin. Většina dusíku (cca 80 %) obsaženého v semenech pochází z listů (Kichey et al. 2007). Silný a správně fungující kořenový systém, který zajišťuje příjem dusičnanů, funguje jako prevence proti rychlému vyplavování dusičnanů z půdy, zejména v průběhu tvorby semen (Foulkes et al. 2009).

4.2 Bilance dusíku

Bilance dusíku je rozdíl mezi vstupy dusíku, výstupy dusíku a změnami obsahu celkového dusíku v půdě (Sainju 2017). Bilance živin jsou jednoduché kalkulace, založené na zákonu o zachování hmoty (Klír 1999). Bilance dusíku vychází z rozdílů mezi vstupy dusíku a výstupy dusíku (Balík et al. 2012).

Ross et al. (2008) uvádějí, že dusíková bilance je citlivým ukazatelem výkonnosti agroekosystému a kvality životního prostředí, zejména z dlouhodobého hlediska. Bilance dusíku napomáhá lepšímu hospodaření s dusíkem, které je nezbytné k dosažení udržitelné rovnováhy mezi produkcí potravin, jiné biomasy a nežádoucími účinky dusíku na znečištění vody, emise skleníkových plynů, zhoršování biologické rozmanitosti a lidské zdraví (Dalgaard et al. 2012). Sainju (2017) uvádí, že při rozbořech půdy, které jsou součástí bilance dusíku, je důležitá hloubka odběrů půdy, jelikož pak hrají významnou roli tyto faktory: technologie zpracování půdy, oseední postupy a klimatické podmínky. Například v bezorebných systémech může dojít k uvolňování dusíku těsně pod povrchem půdy, kdežto v systémech využívající orbu se dusík uvolňuje v hlubších vrstvách. V důsledku značné prostorové a časové variability mohou vznikat chybné výsledky, proto je vhodné vypočítávat bilanci dusíku z dlouhodobého hlediska (5 let a více). Bilance živin je v půdách kvantifikována rozdílnými toky živin.

Hlavní vstupy a hlavní výstupy jsou uvedeny v tabulce 2. Čistá bilance živin může být vypočtena z rozdílů mezi vstupy a výstupy integrovaná určitou oblastí a časem (Stoorvogel & Smaling 1998).

Tabulka 2: 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

Bilance dusíku se také využívá při hodnocení úrovně systémů v efektivitě využití dusíku a pro pochopení cyklu dusíku. Výsledkem bilance dusíku může být deficit dusíku 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 uvolňován v případě negativní bilance. Určení správné bilance mezi živinami aplikovanými do půdy a živinami odebranými např. plodinami je nezbytné k zajištění optimálního využití zdrojů živin 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 (N₂O), který je skleníkovým plynem a amoniak (NH₃) (Balík et al. 2012).

Existuje mnoho podob pro výpočet bilance dusíku, vždy záleží, s jakými údaji počítáme a které máme k dispozici. Například 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 (Balík et al. 2012).

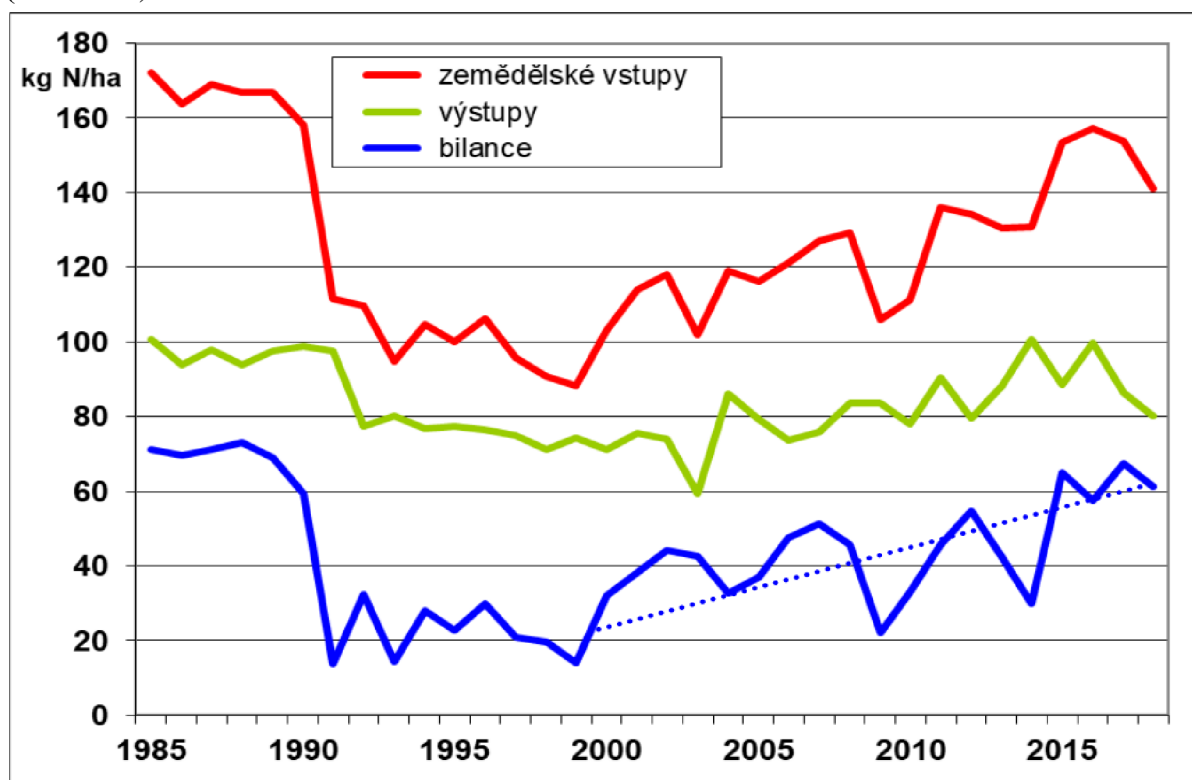
Balík et al. (2012) uvádějí, že pro správné hodnocení agrotechnických opatření ve vztahu k bilanci dusíku nestačí provádět pouze roční, nebo krátkodobá sledování, ale je nezbytné provádět hodnocení v určitém cyklu (např. osevni postup), nebo za delší časové období.

Při bilancování živin se stanovuje plocha, na které je počítána bilance. Jedná se o zemědělskou půdu, kam patří orná půda, louky a pastviny, sady, zahrady, vinice a chmelnice. Dále se stanovuje hodnocené období. Ty mohou být následující: kalendářní rok (1. 1. - 31. 12. běžného roku), hospodářský rok (1. 7. - 30. 6. následujícího roku), osevni postup (délka rotace sledu plodin) a tři až pětileté období (např. podle cyklů agrochem. zkoušení půd) (Klír 1999).

Výsledek bilance dusíku je výrazně ovlivněn půdními a klimatickými podmínkami a agrotechnikou (Sainju 2017). Výsledkem bilance dusíku je zpravidla přebytek

(může být rovněž i deficit) dusíku, kterým je povrchová bilance propojena s bilancí dusíku v půdě (akumulace), vodě (vyplavení) a ovzduší (denitrifikace, volatilizace). Vzhledem k tomu, že obsah celkového dusíku v půdě závisí na obsahu a kvalitě organických látek v půdě, nelze očekávat, zejména v podmínkách sníženého přísunu organických hnojiv, výraznější akumulaci dusíku v půdě. Pravděpodobnější jsou tedy ztráty dusíku vyplavením nebo únikem do ovzduší (Klír 1999).

Graf 1 znázorňuje vývoj zemědělské bilance dusíku v ČR během let 1985-2018. Z grafu 1 je patrné, že na počátku sledování byly velmi vysoké vstupy dusíku a díky průměrným výstupům byl značně kladný výsledek bilance. Mezi lety 1990 a 2000 přišel značný pokles vstupů a jelikož výstupy klesly pouze mírně, tak došlo k výraznému poklesu bilance dusíku pod hodnoty 20 kg N/ha. Od roku 2000 se pozvolna zvyšovaly vstupy a v roce 2018 se zastavily na 140 kg N/ha. Hodnoty výstupů kolísaly od 60 do 100 kg N/ha, proto se bilance dusíku pohybovala mezi hodnotami 20 až 60 kg N/ha. Při pohledu na graf 1 také vidíme, že v posledních letech měly vstupy dusíku a bilance dusíku vzestupnou tendenci (Klír 2019).



Graf 1: Vývoj zemědělské bilance dusíku (1985-2018) (převzato od Klír 2019)

Některé parametry používané pro výpočet bilance dusíku jsou obtížně měřitelné, proto se parametry, jako jsou biologická fixace, spád dusíku z atmosférických srážek, denitrifikace, vyplavování, povrchový odtok a eroze půdy musí pouze odhadovat. Tyto odhadované parametry mohou zapříčinit nepřesnost při výpočtech bilance dusíku (Sainju 2017).

Při výpočtu dusíkové bilance, která byla vypočtena následujícím vzorcem, bilance dusíku (kg N/ha) = celkové vstupy N - celkové výstupy N - ztráty N z půdy,

může bilance nabývat kladných hodnot, a to značí přebytek dusíku a záporná hodnota značí deficit dusíku v agroekosystému (Sainju et al. 2016).

Sainju et al. (2016) zjistili, že odběr dusíku plodinou závisí na osevním sledu, agrotechnických opatřeních a klimatických podmínkách. Například při vyšších srážkových průměrech za vegetační období daného roku se odběr dusíku zvyšoval. Vhodná regulace plevelů také v některých případech zvyšovala odběr dusíku.

Sainju et al. (2016) uvádějí, že osevní sledy bez zařazení luskovin mohou snížit ztráty dusíku ve srovnání s osevními sledy se zařazením luskovin. Při zapravování rostlinných zbytků po sklizni je dusík více vrácen do půdy, když je v osevním sledu zařazena řepka a luskovina. Zároveň poukázali na vhodnost zařazování luskovin a olejnin do osevních sledů, z důvodu vyšší produktivity a možnosti snižování hnojení dusíkem, ve srovnání s osevními sledy zahrnující výhradně obilniny.

4.3 Vstupy dusíku

Dle Sainju (2017) se mezi vstupy dusíku počítá veškeré hnojení organickými i minerálními hnojivy, symbiotická fixace dusíku, vázaný vzdušný dusík, závlahová voda, dusík dodaný s osivem a nesymbiotická fixace dusíku.

4.3.1 Hnojení dusíkem

Dle Manning et al. (2001) je hnojení dusíkem první a nejdůležitější krok v koloběhu dusíku v agroekosystému. Dusík je dodáván v organické a minerální formě. Častěji je využíván dusík ve formě minerální (minerální hnojiva), jelikož rychleji uvolňují dusík pro plodiny. Zatímco z organických forem se dusík uvolňuje pomaleji. Mezi zdroje živin organického dusíku se řadí organická hnojiva (hnůj, kejda, močůvka), rostlinné zbytky a biologická fixace dusíku. K minerálním vstupům patří minerální hnojiva. Plodiny bývají obvykle hnojeny, tak aby dosahovaly výnosů, které budou ekonomicky ziskové, ačkoliv nemusí jít o maximální výnosy. Míra hnojení dusíkem závisí na pěstovaných plodinách, odběru plodin v průběhu vegetace a na půdních a klimatických podmínkách lokality, kde plodiny pěstujeme. Hnojení dusíkem se dále řídí podle konkrétních nároků jednotlivých odrůd, obsahu dusíku v půdě a mineralizačního potenciálu půd. Přičemž se hodnotí půda v hloubce 60 cm, jelikož se předpokládá, že kořeny rostlin obvykle dorůstají do této hloubky a přijímají zde dusík.

Plodiny reagují na hnojení podle obsahu dostupného dusíku pro plodiny v půdě během vegetačního období. Proto je nutné, aby se prováděly rozbory na obsah dusíku v půdě a podle výsledků je potřeba optimalizovat dávku, aby se předcházelo ztrátám dusíku do životního prostředí (Sainju et al. 2017).

Sainju (2017) dodává, že je relativně snadné pomocí chemické analýzy změřit obsah dusíku v půdě, ale je často obtížné změřit potenciál mineralizace dusíku. Na maximální dosažitelný výnos mají vliv půdní podmínky, klimatické podmínky, přísun živin a konkurence plevelů a škůdců.

Organický dusík je v půdě přítomen ve formě peptidů, aminokyselin, bílkovin a močoviny. Předtím než rostlina přijme organický dusík musí půdní mikroorganismy přeměnit peptidy a proteiny na aminokyseliny (Miller & Cramer 2005).

Janzen et al. (2003) uvádějí, že plodiny obvykle odebírají 50–60 % aplikovaného dusíku a nevyužitý dusík zůstává v půdě po sklizni plodin v podobě nitrátových a amonných iontů. Z toho vyplývá, že se zbylý dusík může dostávat do životního prostředí prostřednictvím denitrifikace, vyplavováním, erozí půdy nebo tékáním do ovzduší. Takovými ztrátami můžeme zabránit využíváním vhodných technologií hospodaření.

Beegle et al. (2008) zjistili, že z aplikovaného hnoje je rostlinám k dispozici pouze 60 až 70 % dusíku během vegetačního období. Zbytek dusíku je přeměněn na organický dusík nebo se vytrácí volatilizací, denitrifikací, vyplavováním, povrchovým odtokem a erozí půdy.

Při hnojení dusíkem můžeme minimalizovat ztráty, tím že budeme znát zbytkový dusík v půdě a hodnoty potenciálně mineralizovatelného dusíku v půdě. Studie ukazují, že každý rok je mineralizováno přibližně 1-2 % organického dusíku v hloubce půdy 0 až 30 cm (Schepers et al. 1991).

Sainju et al. (2019) uvádějí, že vyvážené hnojení dusíkem vyžadují některé plodiny více než ostatní. Příkladem může být jarní ječmen, u kterého sledujeme obsah dusíkatých látek, aby bylo zajištěno bezproblémové využití pro sladování. Zde se výsledky některých studií rozcházejí. Birch & Long (1990) uvádějí, že je koncentrace bílkovin v zrnu nižší než 130 g/kg při dávce 168-200 kg N/ha. Naopak jiná studie uvádí, že zvýšená koncentrace bílkovin se vyskytuje již při hnojení v dávkách pod 150 kg N/ha (Weston et al. 1993).

Hejnák et al. (1999) zkoumali v letech 1997 a 1998 vliv pH půdy na bilanci dusíku hnojiva při pěstování ječmene jarního. Při vyhodnocení pokusu došli k závěru, že celková bilance dusíku hnojiva s ^{15}N po dvou letech od aplikace ukazuje, že na zemině s neutrálním pH ($\text{pH} > 6,5$) využil jarní ječmen v prvním roce 41-46 % a ve druhém roce odebral 3-4 % ^{15}N , v zemině zůstalo 15-18 % dusíku hnojiva a ztráty činily 32-40 %. Na kyselé zemině ($\text{pH} < 4,5$) jarní ječmen odebral v prvním roce 33-37 % a ve druhém roce 1-2 % ^{15}N , po druhém roce od aplikace zůstalo v zemině 11-13 % a ztráty dosáhly 50-55 %.

Mahler & Harder (1984) upozorňují, že se při aplikaci hnojiv na bázi amoniaku může okyselovat půda v důsledku uvolňování iontů vodíku během hydrolyzy.

Sainju et al. (2015) uvádějí, že se při každoroční aplikaci dusíkatých hnojiv a obděláváním půdy po dobu 30 let snížilo pH v horní vrstvě půdy (0-7,5 cm) z 6,30 na 5,73. Tento pokles byl zaznamenán na variantě, kdy se na pozemku střídala pšenice ozimá s černým úhorem. Podobný pokles pH půdy ve stejné hloubce při každoročním hnojení zaznamenal také Aase et al. (1995).

Motloch (2021) uvádí, že je rozhodující použití vhodného hnojiva. Výběrem správného minerálního hnojiva a správné formy dusíku, jako je dusičnan amonný a produkty na bázi dusičnanu amonného, mohou zemědělci výrazně přispět ke snížení ztrát dusíku do ovzduší. Ve srovnání s jinými široce využívanými formami dusíku na bázi močoviny, téměř nevznikají škodlivé emise amoniaku při použití dusičnanu amonného. U dusičnanu amonného se emise amoniaku pohybují okolo 1,5 %, kdežto u močoviny byly naměřeny emise amoniaku okolo 13 %. V posledních letech je močovina v zemědělství hojně využívána. Během posledních 10 let vzrostlo využití močoviny o 76 % a zjištěné výsledky poukazují na zhoršující se ovzduší. Nahrazením hnojiv na bázi močoviny hnojivy na bázi dusičnanu amonného by mohlo zabránit 63 % celkových ztrát amoniaku z aplikovaných hnojiv v Evropě.

Reziduální a potenciálně mineralizovatelný dusík v půdě může přispět k přihnojení plodin během vegetace. Proto je vhodné hodnotit tyto vstupy dusíku, aby bylo možné upravovat míru hnojení tak, aby byla dávka dusíku k plodině optimální a nedocházelo ke ztrátám dusíku (Sainju et al. 2016).

Wang et al. (2014) dodává, že je ročně mineralizováno asi 1-2 % organického dusíku v hloubce 30 cm půdy. Mineralizaci ovlivňuje teplota půdy, obsah vody, přítomnost posklizňových zbytků a obsah organické hmoty v půdě. Půdy s vyšším obsahem jílu poutají více dusíku a snižují ztráty, zatímco písčité půdy poutají méně dusíku a existuje větší riziko ztrát dusíku. Tuto skutečnost je třeba brát v úvahu při stanovování dávky dusíku k plodině.

Při hnojení dusíkem se zvýšením dávky dusíku zvětšuje odběr ostatních živin (P a K), naopak, je-li aplikováno menší nebo žádné množství dusíku, odběr ostatních živin (P a K) se snižuje (Janssen 2011).

Merbach et al. (2013) uvádějí, že vliv na tvorbu výnosu má množství dodaného dusíku a forma (anorganický a organický). Dále zjistili, že dávka minerálního hnojení v podobě hnojiva NPK (200 kg N/ha) vytváří podobný výnos jako hnojení kombinované (100 kg N/ha NPK a 100 kg N/ha hnoje).

4.3.2 Biologická fixace

Biologická fixace dusíku je přeměna (redukce) N_2 na NH_3 a jeho využití mikroorganismy (bakterie, sinice a mikromycety) a jejich symbionty. Zmíněná redukce probíhá pomocí enzymu nitrogenáza. Syntézu lze vyjádřit: $N_2 + 8 H^+ + 8 e^- \rightarrow 2 NH_3 + H_2$. Vlastní redukce vyžaduje přívod energie ve formě ATP. Je uváděno, že na redukci N_2 je zapotřebí okolo 28 molekul ATP, což představuje potřebu energie na 1 kg N cca 30 MJ, tedy necelou polovinu energie, potřebné při průmyslové výrobě dusíkatých hnojiv (Vostal & Matousch 1988). Díky tomu je biologická fixace dusíku nejvýznamnějším zdrojem dusíku v biosféře. Celosvětově je ročně fixováno přibližně 175 miliónů tun dusíku a toto množství více jak čtyřnásobně převyšuje celkovou průmyslovou výrobu dusíkatých hnojiv za stejné období. Význam biologické fixace jako zdroje dusíku pro zemědělské plodiny je znám, již více než 100 let (Mikanová & Šimon 2013).

Mikroorganismy fixující N_2 jsou volně žijící a symbiotické. Volně žijící mikroorganismy jsou zastoupeny hlavně bakteriemi, z aerobních to jsou *Azotobacter chroococcum*, *Azotomonas insolita* a z anaerobních *Bacillus amylobacter*, *Clostridium pasteurianum* aj. K fixaci potřebují dostatek energetického materiálu, např. nejznámější *Azotobacter* váže na 1 g energetického materiálu (glukózy) 9-20 mg N a u ostatních rodů je to ještě méně, takže celkové množství poutaného N na jednotku plochy za rok není vysoké a je značně závislé na stanovištních podmínkách, mezi které se řadí pH, dostatek organických látek, vhodný vzdušný a vodní režim, obsah minerálního N v půdě aj. Vyšší množství přijatelného N v půdě výrazně snižuje fixaci N_2 . Mikroorganismy využívají snadněji dostupný minerální N (Vaněk et al. 2016).

Je známo, že luskoviny fixují maximální množství dusíku, když je hodnota minerálního dusíku v půdě nízká (Phillips & DeJong 1984).

Biologická fixace u symbiotických systémů využívá energii získanou rostlinnou fotosyntézou a u volně žijících organismů z organických látek v půdě. S ohledem na poměrně vysokou energetickou náročnost biologické fixace je jasné, že rozhodujícím činitelem intenzity fixace je dostatečný přísun energeticky bohatých látek (Vostal & Matousch 1988).

Symbiotická fixace dusíku je zprostředkovávána především bakteriemi, které žijí v symbióze nejčastěji s bobovitými rostlinami. Je to především rod *Rhizobium radicola* a jeho specifické rasy (Vaněk et al. 2016).

Marečková (1983) uvádí, že vojtěška průměrně nafixuje za rok 184 kg N/ha, jetel 183 kg N/ha, bob 210 kg N/ha, hrách 65 kg N/ha a sója 60 kg N/ha.

Mikanová & Šimon uvádějí, že luskoviny jsou schopné symbiotickou fixací navázat 50 až 200 kg N/ha a pícniny (vojtěška a jetel) 200 až 300 kg N/ha.

Pieri et al. (2011) uvádějí, že množství fixace dusíku se obvykle odhaduje podle příjmu dusíku luskovinami, který je vynásoben koncentrací dusíku v nadzemní biomase. Přesnost této metody je 10-20 % z dusíku obsaženého v luskovinách.

Jsou zvažovány možnosti uplatnění symbiotické fixace i u dalších plodin, založené na genetické manipulaci genů odpovědných za tuto činnost. Nejsou však plně vyřešeny složité vztahy mezi hostitelskou rostlinou a symbiotickými organismy. Také existuje skutečnost, že jen některé rostliny jsou schopny poskytovat dostatek živin a energie pro tvorbu hlízek a vlastní fixaci N₂ (Vaněk et al. 2016).

Nesymbiotická fixace dusíku znamená, že poutání vzdušného dusíku zajišťují volně žijící mikroorganismy. Tento druh fixace má zvláštní postavení v koloběhu dusíku v přírodě, protože probíhá prakticky na celém území, kde je zemský povrch pokryt zeminou. Nesymbiotická fixace je výrazně ovlivňována podmínkami prostředí. Tato spontánní fixace nelze mnoho ovlivňovat a často je její význam, zvláště v našich podmínkách dosti omezený a mnohdy neprávem zcela opomíjen. Množství fixovaného dusíku se pohybuje od několika kilogramů na hektar za rok až po 40 kg N/ha. Pro naše podmínky to je nejspíše 5-15 kg N/ha v závislosti na podmínkách stanoviště. Hlavní volně žijící mikroorganismus, který se podílí na fixaci vzdušného dusíku je *Azotobacter*. Tento mikroorganismus je citlivý k nízkému pH půd (Vostal & Matousch 1988).

Azotobacter se vyskytují především v orných půdách s neutrálním pH a vyšším obsahem organických látek. Dokáží fixovat až 30 kg N/ha/rok z atmosféry, ale jen při vyšší vlhkosti a teplotě půdy a při vyšším zásobení půdy organickou hmotou (Mikanová & Šimon 2013).

Stevenson (1982) uvádí, že množství dusíku nesymbioticky fixovaného závisí na obsahu organické hmoty v půdě, minerálního dusíku v půdě, zásobě vody, pH a na obsazích fosforu a molybdenu v půdě. V agroekosystémech je nesymbiotická fixace slabá a pohybuje se od 3 do 7 kg N/ha/rok.

4.3.2.1 Nebiologická fixace

Jedná se o fixaci, která vzniká při elektrických výbojích v bouřkách nebo fotochemickou reakcí (sluneční záření). Konkrétně vznikají oxidy dusíku, které v atmosféře oxidují na kyselinu dusičnou, která se společně s amonnou formou dusíku dostává do půdy spolu s deštěm. K této fixaci výrazně přispívá svou činností i člověk prostřednictvím automobilové dopravy a spalováním fosilních paliv, čímž produkuje velké množství

oxidu dusíku. Tato fixace může do půdy dodat 5-50 kg N/ha, v průmyslových oblastech i více (Tůma 2015).

Nejvíce dusíku v biosféře obsahuje atmosféra, kde se dusík vyskytuje ve formě N_2 . Trojná vazba, která váže atomy dusíku v N_2 je výjimečně silná, rozbitná pouze několika procesy. Jedním z nich je průmyslový proces, kdy je vazba dusíku přerušena teplem a tlakem. Na Zemi je N_2 tímto způsobem nyní více fixován než biologickými procesy. Důvodem převládání nebiologické fixace nad biologickou je využívání Haber-Boschovi reakce, kde dochází ke spalování zemního plynu. Přitom vzniká vodík, který pak reaguje s N_2 za vysoké teploty a velmi vysokého tlaku. Z této reakce vzniká amoniak (Robertson & Vitousek 2009).

4.3.3 Dusík ze závlahové vody

Dusík se dodává k plodinám také závlahovou vodou. Koncentrace dusíku v závlahové vodě se mění podle zdroje a doby aplikace. Množství aplikovaného dusíku dodaného zavlažovací vodou vypočteme vynásobením celkové koncentrace dusíku v závlahové vodě a množstvím vody, kterou jsme zavlažovali. Přesnost měření se pohybuje od 5 do 15 %. Měření může být neprůkazné z důvodu nestálé koncentrace dusíku v závlahové vodě. Můžeme konstatovat, že s dusíkem ze závlahové vody můžeme počítat pouze v systémech pěstování, kde je využívána závlaha (Sainju 2017).

4.3.4 Dusík z atmosférických srážek

Dusík se na pozemek může dostávat i atmosférickými srážkami (déšť a sníh). Koncentrace dusíku ve srážkách může být vyšší v oblastech se zdrojem amoniaku, jako jsou výkrmny skotu nebo drůbežárny. Například v USA se množství dodaného dusíku ze srážek pohybuje od 2 do 15 kg/ha/rok. Pro přesné měření lze stanovit hodnotu vynásobením průměrné koncentrace dusíku ve srážkové vodě celkovým ročním úhrnem srážek v dané oblasti (Blake & Hartge 1986).

V ČR obsahuje srážková voda malé, ale nezanedbatelné množství dusíku. Roční přísun nitrátového dusíku na sledované lokalitě Horažďovice dosahuje 3,8 kg N/ha/rok. Vyšší přísun vykazuje dusík amonný, kterého spadne v průměru 7,8 kg N/ha/rok. Celkem se tedy z atmosférických srážek v dané lokalitě dodá 11,6 kg N/ha/rok. V porovnání s průměrem ČR jsou horažďovické hodnoty opačné. To znamená, že na většině území ČR z atmosférických srážek spadne více nitrátového dusíku než amonného (Hynšt et al. 2018).

4.4 Výstupy dusíku

Sainju (2017) řadí mezi výstupy dusíku odběr dusíku plodinou, ztráty denitrifikací, ztráty volatilizací, ztráty dusíku při stárnutí plodin, ztráty plynného dusíku (jiná než těkání amoniaku), ztráty povrchovým odtokem, ztráty vyluhováním dusíku a ztráty půdní erozí.

4.4.1 Odběr dusíku plodinou

Odběr živin sklizní neboli plodinou je u většiny živin nejvýznamnější položkou celkového odběru a tím i úbytku živin z půdy. Proto je odběr živin rostlinami základní údaj pro plánování potřeby živin a hnojiv s přihlédnutím k dalším podmínkám i pro vlastní hnojení. Pro přesné stanovení odběru dusíku sklizenou plodinou je zapotřebí znát údaje o sklizni a také obsah dusíku ve sklizených produktech. Protože většinou nejsou známy přesné údaje o obsahu dusíku v rostlinné produkci, používá se hodnot středního odběru dusíku v přepočtu na jednotku hlavního produktu (normativ odběru). Je nutno počítat s určitým kolísáním hodnot a také s tím, že při vyšších výnosech střední odběr dusíku na jednotku hlavního produktu klesá. Největší vliv na odběrový normativ dusíku má průběh povětrnostních podmínek v jednotlivých letech a výše výnosu plodin. (Vostal et al. 1989).

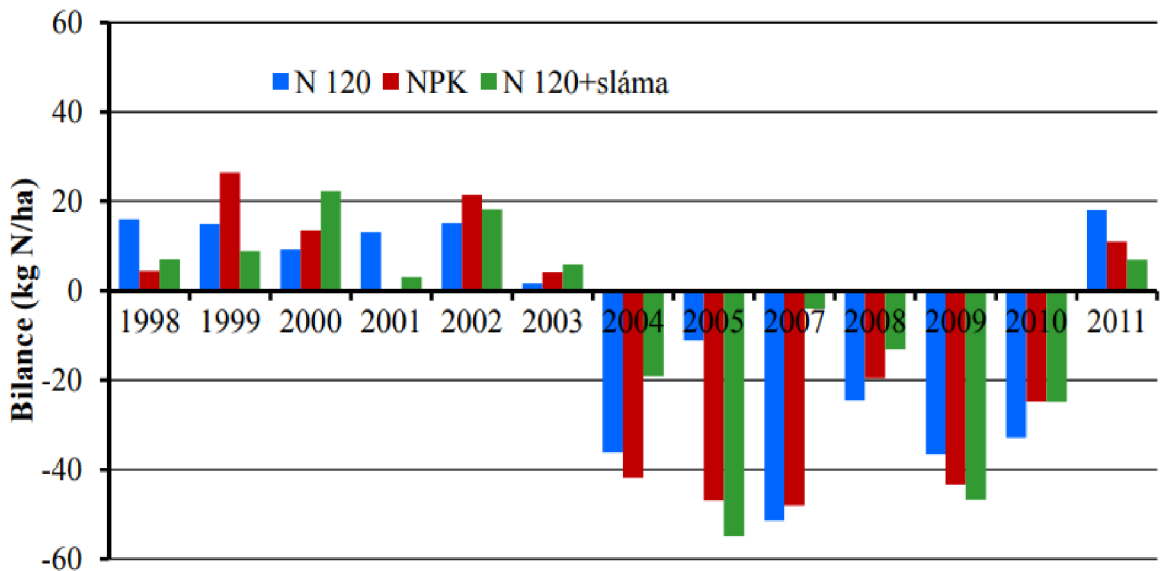
Balík et al. (2012) uvádějí, že výsledná bilance dusíku může být v jednotlivých letech odlišná na různých stanovištích, i přesto že byla pěstována stejná odrůda a byl využit stejný systém hnojení. Grafy 2 a 3 zobrazují porovnání bilancí dusíku ze dvou lokalit (Suchdol a Lukavec) za období od roku 1998 až 2011, kdy byla pěstována stejná odrůda a byl využit stejný systém hnojení. V jednotlivých letech jsou vidět značné rozdíly, kdy se bilance dusíku na Suchdole pohybovala od -55 kg N/ha do 5-25 kg N/ha. Takhle značné rozdíly vznikaly vlivem mnoha faktorů např. průběhem počasí, osevním sledem a půdními podmínkami. Grafy 2 a 3 také ukazují rozdílné hodnoty mezi variantami hnojení v rámci jednoho ročníku. I varianty hnojení jsou silně závislé na faktorech ovlivňující bilanci dusíku. Při srovnání obou grafů je zřejmý významný rozdíl mezi hodnotami v jednotlivých letech, kdy na lokalitě Suchdol byla bilance dusíku během prvních šesti let kladná, zatím co na lokalitě Lukavec byla bilance dusíku během prvních šesti let záporná. V následujících letech pokusu vycházely bilance naopak. Z toho lze usoudit, že významnou roli hraje sled plodin a lokalita, kde byla bilance dusíku prováděna.

Vostal et al. (1988) provedli pokus na ozimé pšenici, kde je názorně vidět, že odběrový normativ závisí na ročníku a výnosu (Tabulka 3).

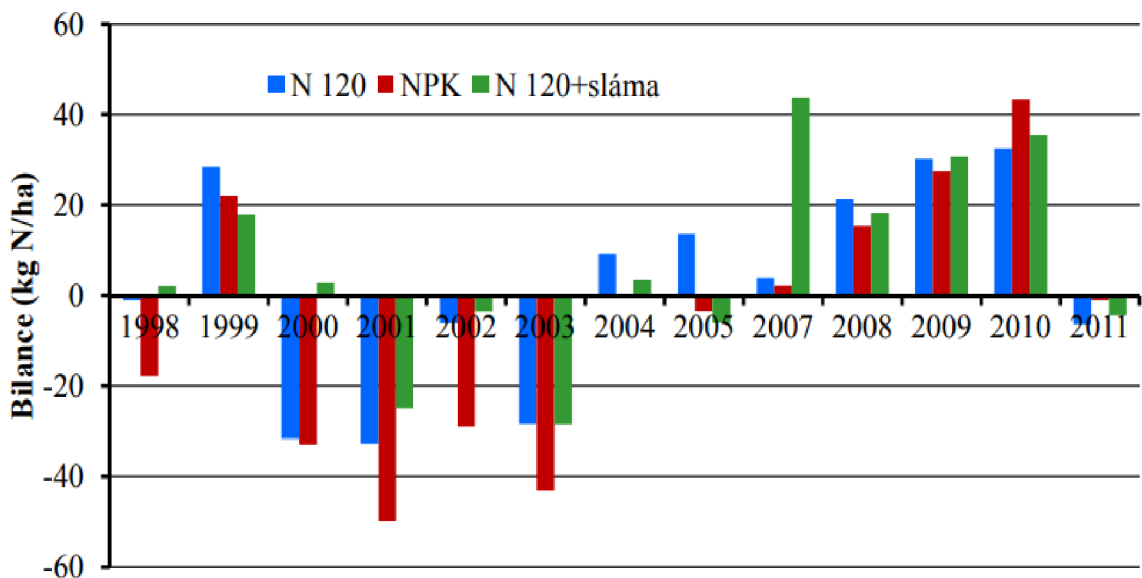
Tabulka 3: Výsledky pokusu vlivu ročníku na odběrový normativ

Pokusný rok	Průměrný výnos (t/ha)		Odběrový normativ (kg N/1t zrna)
	zrno	sláma	
1984	7,1	10,0	26,8
1985	7,5	16,0	31,8
1986	5,0	4,7	23,8
Průměr	6,5	10,2	27,5

Odběr dusíku plodinou se může stanovovat například tak, že vynásobíme mezi sebou výnos plodiny a obsah dusíku ve sklizeném produktu. Obsah dusíku ve sklizeném produktu můžeme stanovit například, tím že vzorek ze sklizeného produktu vysušíme při teplotě 65 °C po dobu 3-7 dní. Vysušený vzorek se rozele na částice menší než 1 mm a následně se stanoví obsah dusíku obdobnými metodami jako pro půdní vzorky. Odchylka tohoto výpočtu se pohybuje od 15 do 25 % (Bremer 1996).



Graf 2: Roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha) na stanovišti Suchdol (převzato od Balík et al. 2012)



Graf 3: Roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha) na stanovišti Lukavec (převzato od Balík et al. 2012)

4.4.2 Procesy vedoucí ke ztrátám dusíku

4.4.2.1 Denitrifikace

Denitrifikace je mikrobiálně zprostředkovaná redukce dusičnanů na plynné formy (NO , NO_2 a N_2) za anaerobních podmínek (Bolan & Hedley 2003).

Denitrifikace se nejvíce vyskytuje na podmáčených půdách, kde je nedostatek kyslíku. Narůstá zde počet mikroorganismů, které jsou schopné přeměnit dusičnany na dusík a oxid dusný, kteří se uvolňují do atmosféry (Fageria 2002).

Robertson & Vitousek (2009) uvádějí, že denitrifikace odvádí dostupný dusík ze zemědělských ekosystémů, jelikož se většina dusíku vrací do atmosféry v podobě N_2 , jsou důsledky denitrifikace na životní prostředí neškodné. Ideální případ by byl, kdyby touto cestou prošel veškerý přebytečný aplikovaný dusík. Je však potřeba zmínit, že malý podíl dusíku z denitrifikace přechází do atmosféry v podobě NO_x a N_2O . Příslušná množství nejsou velká vzhledem k celkovým ztrátám dusíku ze zemědělských systémů, ale významně přispívají ke globálním emisím NO_x . Denitrifikace je v zemědělství technicky obtížně kvantifikovaná. Ztráty denitrifikací se nejčastěji odhadují nebo modelují.

4.4.2.2 Volatilizace

Volatilizace je proces, kterému předchází přeměna amonného iontu na amoniak, který následně těká do atmosféry (Yadav et al. 2017).

Bolan & Hedley (2003) zjistili, že tento mechanismus ztráty dusíku probíhá spíše tam, kde se organická hnojiva a minerální dusíkatá hnojiva obsahující amonný iont aplikují plošně.

Hutchinson et al. (2003) uvádějí, že povrchová aplikace močoviny, která není ihned zapravená do půdy je náchylná k volatilizaci, zejména na zásaditých půdách a v teplých slunných podmínkách.

Blake & Hartge (1986) uvádějí, že ztráta z hnoje volatilizací se pohybuje od 2 do 35 % aplikovaného množství, v závislosti na druhu hnoje a způsobu zapravení.

Balík et al. (2012) uvádějí, že ztráty volatilizací nejsou často započítávány do bilance dusíku, jelikož je stanovení ztrát volatilizací obtížné. Dále upozorňují, že by tyto ztráty měly být zahrnuty alespoň přibližně, jelikož bilance, které nepočítají se ztrátami volatilizací, mohou vycházet výrazně kladné, ačkoliv dusík nebyl rostlinami využit.

Balík et al. (2012) zjistili, že při aplikaci hnoje v dávce 330 kg N/ha dochází ke ztrátám, které dosahují hodnot 51 kg N/ha, volatilizací během 24 hodin po aplikaci na povrch půdy.

Ke ztrátám amoniaku do atmosféry může docházet i přímo z rostlin, zejména během stárnutí (Schjoerring et al. 1998)

4.4.2.3 Vyplavení dusíku

K vyplavování dusíku dochází zejména po sklizni plodin, protože v půdním profilu zůstává přebytečný minerální dusík (NH_4^+ , NO_3^-), který nebyla plodina schopna přijmout (Varvel & Peterson 1990). K vyplavení dusíku dochází ve chvíli, kdy jsou v půdě volné dusičnany, které se vlivem silných dešťů nebo dlouhodobějšího vlhka odplavují do spodních vod. Dusičnany se tedy vyplavují nejvíce ve vlhkých oblastech (Fageria 2002).

Pang et al. (1998) uvádějí, že na písčítých půdách dochází k vyplavování snadněji než na půdách jílovitých. Je to kvůli velkému počtu makropórů na písčítých půdách.

Vyplavování dusičnanů je typické pro podzimní, zimní a jarní období na severní polokouli, z důvodu nízké evapotranspirace, absence poutání dusíku plodinou, která na pozemku není nebo má zanedbatelný příjem a množství srážek, které překračují hranici, kdy je půda schopna zadržovat vodu (Meisinger et al. 1991).

Dle Keeney & Olson (1986) se ztráty dusíku vyplavením mohou pohybovat od 5 do 50 % z aplikovaného množství dusíku. Blake & Hartge (1986) zjistili, že ztráta dusíku vyplavením může nabývat hodnot od 12 do 75 kg N/ha, v závislosti na pěstovaných plodinách, systému pěstování (závlahový, bez závlahový), struktuře půdy, míře hnojení dusíkem a klimatických podmínkách. V ČR se průměrné roční ztráty dusíku vyplavením pohybují okolo 12 kg N/ha. Z půdy se vyplavují, zejména dusičnany. K vyplavení amonných kationtů téměř nedochází. Na lokalitě Horažďovice, která je charakterizována jako promyvná, se vyplavilo v podobě dusičnanů 7,2 kg N/ha/rok. K vyplavování amonného dusíku nedocházelo (Hynšt et al. 2018).

Vyplavení dusíku lze měřit pomocí lysimetrů, odběrů půdních vzorků z půdního profilu a odběrů půdního roztoku. Tato měření vyžadují podrobné studium a opakování v průběhu několika let (Keeney & Olson 1986).

Vyplavování dusíku z půdy lze omezit vysetím meziplodin nebo optimalizací hnojení dle potřeb plodin (Sainju 2017). Dalším ze způsobů, jak omezit vyplavování dusíku je možnost zohlednit podíl mineralizovatelného dusíku z organické hmoty v půdě během vegetačního období plodin anebo před setím plodiny zjistit hodnotu přístupného dusíku pro rostliny v půdě (Schepers & Moiser 1991).

4.4.3 Lyzimetrické měření

Termín „lyzimetr“ vznikl spojením řeckých slov „luisis“ (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: 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 (Hynšt et al. 2018).

Balík et al. (2012) prováděli lyzimetrické měření následujícím způsobem. Na měřené variantě měli umístěny 2 lyzimetry v hloubce 60 cm. Lyzimetry měly rozměry $0,2 \times 1$ m ($0,2$ m²). Zachycená voda byla jímaná do 20 litrových nádob umístěných pod sběrnou částí lyzimetru. Lyzimetrická voda je každoročně odčerpána vakuovou pumpou. V laboratoři se stanoví obsah živin obsažených ve vodě. Stanovuje se obsah nitrátového a amonného dusíku. Výsledky byly následující. Obsah amonného dusíku byl do $0,2$ mg N/l, s tím že mezi variantami nebyly významné rozdíly. U nitrátového dusíku byl nejnižší obsah na kontrolní (nehnojené) variantě. V průměru to bylo 4 mg N/l. Naopak nejvyšších hodnot se dosahovalo na variantách hnojených minerálními dusíkatými hnojivy. Hodnoty dosahovaly až 98 mg N/l. Tyto hodnoty přesahují téměř dvojnásobně 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. Přestože bilance dusíku byla stanovena jako kladná, tak k vyplavování dusíku nedocházelo.

Hynšt et al. (2018) sledovali výsledky lyzimetrických měření na stanicích ÚKZUZ po dobu 30 let. Průměrné roční množství zachyceného eluátu na lokalitě Horažďovice bylo $1,4$ % ze sumy srážek. Naměřené množství srážek odpovídalo 548 mm, což bylo $93,8$ % z dlouhodobého normálu.

4.4.4 Výhody vedení bilance dusíku

Pokud je bilance dusíku vedena správně, tak může být snadno ověřitelná a dokáže rychle reagovat na případné změny, jako je například kolísání počasí (Lord et al. 2002).

Balík et al. (2012) poukazují na úsporu minerálních hnojiv, kterou by měla bilance dusíku zajistit. Při správném posouzení bilance dusíku lze stanovit následující přínosy (výpočty jsou počítány pro průměrnou dávku 100 kg N/ha v minerálních hnojivech):

Zvýšení efektivity využití dusíku - vlivem zlepšení synchronizace dostupnosti dusíku a jeho odběru porostem lze zvýšit efektivitu využití dusíku o $5-20$ %. Při zvýšení efektivity využití dusíku od 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 $140\ 000$ Kč.

Snížení ztrát dusíku - při hodnocení obsahu minerálního dusíku na konci vegetace v některých letech, může zůstat v půdě $50-150$ kg N/ha. Pokud by byla zvýšena využitelnost tohoto reziduálního dusíku vhodnými agroekologickými postupy, jako jsou využití meziplodin, využití dusíku následnou ozimou plodinou apod. Lze snížit spotřebu přímé aplikace dusíkatých hnojiv k následné plodině. Ekonomický přínos pro uživatele (při stejných předpokladech jako v předchozích výpočtech) je $180\ 000-460\ 000$ Kč/rok. Je nezbytné připomenout, že tento přínos je variabilní s ohledem na průběh jednotlivých vegetačních období.

4.5 Efektivita využití dusíku

Účinnost využití dusíku, definována jako výnos plodiny nebo příjem dusíku plodinou na jednotku aplikovaného dusíkatého hnojiva, je vhodným ukazatelem účinnosti hnojení dusíkem na výnosy plodin (Varvel & Peterson 1990). Zvýšení efektivity využití dusíku může maximalizovat výnos plodin a příjem dusíku plodinami s omezeným využitím dusíkatých hnojiv a ochranou životního prostředí (Eickhout et al. 2006).

Varvel & Peterson (1990) upozorňují, že při nadměrném hnojení dusíkem se snižuje schopnost plodin efektivně využívat dusík. Dále uvádějí konkrétní příklad na kukuřici a čiroku, kdy tyto plodiny odebraly 50 % aplikovaného dusíku při nízkých dávkách hnojiva a při vysokých dávkách hnojiva odebraly pouze 20-30 % dusíku. Vostal & Matousch (1988) uvádí, že rostlina využije pouze 50 % dodaného dusíku minerálními hnojivy. Zbýlých 50 % hnojiva se ze 30 % váže v půdě, 15 % jsou ztráty denitrifikací a těkáním amonného iontu a 5 % se z půdy vymývá. Balík et al. (2012) uvádějí, že využití aplikovaného dusíku se pohybuje mezi 36-69 %, avšak ve světovém měřítku představuje efektivita využití dusíku zrninami pouze 33 %.

V zemědělství existuje několik možností pro hodnocení efektivity využití dusíku. Existují dva hlavní způsoby výpočtu efektivního využití dusíku. Prvním způsobem je využití hnojiva se stabilním izotopem dusíku ^{15}N , který se z hnojiv dostane až do plodiny, a tím je možné určit množství přijatých hnojiv. Druhým způsobem je porovnání množství odebraného dusíku plodinou ku množství dusíku dodaného. Nejrozšířenější je metoda, která hodnotí výnos podle množství aplikovaného dusíku (Robertson & Vitousek 2009).

Efektivita využití dusíku závisí na fyziologii rostliny. C_4 rostliny (kukuřice) mají lepší využití dusíku než C_3 rostliny (pšenice, rýže), protože C_4 rostliny mají vyšší rychlost fotosyntézy, což má za následek vyšší produkci biomasy, a tím i větší množství uloženého dusíku (Cassman et al. 2002).

Mezi faktory ovlivňující efektivitu využití dusíku patří nedostatečné zásobení dusíkem, nevhodný vodní režim stanoviště, poškození škůdci a nedostatek ostatních živin. Tyto faktory mohou zapříčinit snížení tvorby biomasy rostlinou, a tím se snižuje množství přijatého dusíku (Cassman et al. 2002). Hodge et al. (2000) uvádějí, jako ovlivňující faktory efektivního využití dusíku půdní typ, podmínky prostředí pěstovaných plodin a druh plodiny.

Efektivita využití dusíku má za cíl snižování dávek dusíku dodávaných plodinám za udržení současných výnosů. Snižování dávek dusíkatých hnojiv snižuje náklady na pěstování plodin, což je v zemědělství žádoucí. Na efektivitu využití dusíku plodinou má značný vliv dostupnost přijatelného dusíku pro plodiny v době, kdy jsou potřebné pro plodiny (Cassman et al. 2002).

Pro zvýšení efektivity využití dusíku je vhodné využívat půdních rozborů, které mohou zásadně upravit dávku dusíku, zejména pokud jsou v osevním sledu pěstovány luskoviny (Robertson & Vitousek 2009). Andraski & Bundy (2002) zjistili, že půdní rozbor dusičnanů před aplikací dusíku může snížit doporučenou dávku dusíku o 92-102 kg N/ha/rok pro systémy, kde se aplikuje hnůj nebo se pěstují luskoviny během předchozích tří let, aniž by došlo ke ztrátě očekávaného výnosu.

Pravděpodobně nejvíce hrozí nadměrné ztráty dusíku při pěstování rostlin, když je v nesouladu načasování dostupnosti dusíku s potřebou plodin.

V ideálním případě by měl být aplikován dusík ve více malých dávkách, když je potřeba plodiny největší. Toto se zajišťuje velmi složitě, jelikož častější aplikace je náročná na pracovní sílu, dostupnost aplikačních zařízení a v neposlední řadě rozhoduje průběh počasí (Robertson & Vitousek 2009).

Jelikož se zpomaluje růst výnosů pšenice, kukuřice a sóji, kterého bylo dosahováno pomocí šlechtění, je nutné se zaměřovat na efektivitu využívání dusíku plodinami (Ranjan & Yadav 2019).

I když je ekonomické hodnocení efektivity využití dusíku poměrně složité, tak i přes to studie odhalila, že zlepšení efektivity využití dusíku o 1 % uspoří přibližně 2,3 miliardy amerických dolarů (Raun & Johnson 1999).

Neznalost míry imobilizace a mineralizace dusíku v agroekosystémech je hlavním omezením při zvyšování efektivity využití dusíku. Využitelnost dusíku lze zvýšit vhodným načasováním hnojení, správným způsobem aplikace a vhodnou dávkou aplikovaného dusíku (Fageria & Baligar 2005). Nelson et al. (2014) dodává, že využitelnost dusíku lze zvýšit, také použitím inhibitoru nitrifikace a hnojiv s pomalým uvolňováním dusíku.

I když bylo dosaženo pokroku v optimalizaci hnojení dusíkem, tak se stále více než polovina aplikovaného dusíku na světě ztrácí do prostředí (Lassaletta et al. 2014).

4.6 Typy bilancí dusíku

4.6.1 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. Povrchová bilance 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 položky a zdroje, které jsou uvedené v Tabulce 4 (Balík et al. 2012).

4.6.2 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, jako jsou 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 živ. 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.). Bilanční položky jsou uvedené v tabulce 5 (Balík et al. 2012).

Tabulka 4: Položky bilance a zdroje údajů v ČR

Položky bilance	Zdroj údajů v ČR
Vstupy živin	
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/ha
Spady živin ve srážkách	průměrně 22 kg N/ha
Osivo a sadba	výpočet podle osetých nebo osazených ploch podle statistiky ČSÚ
Výstupy živin	
Odběr živin – hlavní produkt	výpočet podle sklizní dle statistiky ČSÚ
Odběr živin – vedlejší produkt	na regionální úrovni se nehodnotí

Tabulka 5: Vstupy a výstupy při faremní bilanci

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

4.6.3 Bilance na jednotlivých pozemcích (polní bilance)

Jde o sledování a kvantifikování toků živin do systému a ze systému půda-rostlina. Hranice sledovaného systému mohou být vymezeny na různých úrovních - pole, výměra zemědělské půdy podniku, regionu nebo státu. Z časového hlediska se nejčastěji využívá období jednoho roku (kalendářního či hospodářského), případně délka jedné rotace osevního sledu. Vstupy se počítají na povrchu půdy (porostu) a představují hnojiva, spady a fixaci dusíku. Výstupy jsou pak živiny ve sklizených produktech a ztráty (volatilizace čpavku, denitrifikace, vyplavení, povrchový odtok a eroze), které jsou např. u dusíku v některých bilancích považovány za ekvivalentní bilančnímu

přebytku. Položky faremní bilance jsou uvedeny v tabulce 6 (Klír 1999). 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 (Balík et al. 2012).

Tabulka 6: Položky faremní bilance

Vstupy	Výstupy
Aplikovaná minerální hnojiva	Sklizené produkty
Aplikovaná organická hnojiva	Eroze a povrchový odtok
Osivo a sadba	Denitrifikace
Atmosférická depozice	Vyplavení
Biologická fixace dusíku	Únik plynů (čpavek, oxidy dusíku)

4.7 Nitrátová směrnice

Nitrátová směrnice je předpis Evropské unie (Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů) vytvořený pro ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělství. Plnění nitrátové směrnice je povinné ve zranitelných oblastech, které jsou vymezeny v hranicích katastrálních území. Zranitelné oblasti jsou oblasti, kde se vyskytují vody znečištěné dusičnany ze zemědělských zdrojů. Zemědělské hospodaření ve zranitelných oblastech dále upravuje akční program nitrátové směrnice (Ministerstvo zemědělství ČR 2022)

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu je dokument, který navazuje na nitrátovou směrnici. Toto nařízení bylo změněno Nařízením vlády č. 277/2020 Sb. Toto nařízení stanovuje zranitelné oblasti, období zákazu hnojení, užívání dusíkatých hnojiv, bilanci dusíku, skladování dusíkatých hnojiv, střídání plodin ve zranitelných oblastech, hospodaření na svažitých zemědělských pozemcích a hospodaření na zemědělských pozemcích sousedících s útvary povrchových vod. Toto nařízení nově udává jako povinnost zemědělskému podnikateli zpracovat bilanci dusíku do 31. prosince za období od 1. července do 30. června následujícího kalendářního roku. Způsob výpočtu bilance dusíku je uveden v tomto nařízení. Dále stanovuje, že hodnota bilance dusíku nesmí 3 po sobě následující hospodářské roky v průměru překročit 70 kg N/ha zemědělské půdy obchodního závodu. Do bilance dusíku se nezapočítávají plochy hnojení a výnosy ve školkách, ovocných sadech, vinicích, chmelnicích, sklenicích, fóliovnících, pařeništích a porostech jahod, okrasných rostlin, rychle rostoucích dřevin a vánočních stromků. Bilance dusíku se nepočítá pro obchodní závod, který po odečtení plochy podle předchozí věty obhospodařuje méně než 30 ha zemědělské půdy. Povinnost zpracovat bilanci dusíku se nevztahuje na výkaly a moč uvedené v § 7 odstavec 13.

Toto nařízení uvádí průměrné odběry živin ve sklizených produktech, poměr hlavního produktu k vedlejšímu produktu a dodaný dusík plodinou vázající vzdušný dusík pro plodinu následující (Nařízení vlády č. 277/2020 Sb.).

5 Metodika

V diplomové práci byl zpracován literární přehled k problematice bilance dusíku v zemědělství. Byly charakterizovány hlavní vstupy a výstupy dusíku hodnocené v bilancích a případné ztráty.

V experimentální části byla vypočtena bilance dusíku ve vybraných systémech hnojení na základě údajů z evidence hnojení, údajů o odběru a exportu dusíku s ohledem na výnos sklízených produktů. Posouzena byla také efektivita hnojení dusíkem a byl vypracován návrh řešení pro optimalizaci hnojení v zemědělském podniku.

5.1 Představení podniku AG Produkt a. s.

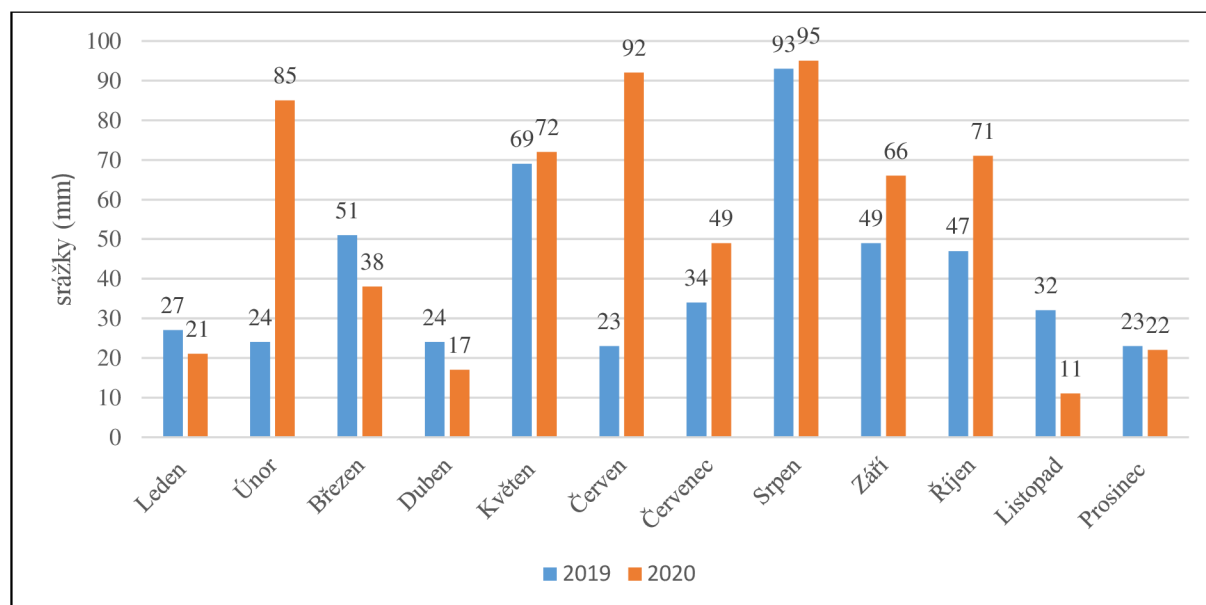
Zemědělský podnik hospodaří na pozemcích cca 10 km na jih od Plzně. V současné době obdělává 1584 ha orné půdy a 324 ha trvalých travních porostů. Podnik zaměstnává 44 zaměstnanců, kteří pracují v rostlinné výrobě, živočišné výrobě a přidružené výrobě (truhlárně). V živočišné výrobě chovají pouze skot i když v minulých letech měli také prasata. Živočišná výroba podniku zajišťuje pravidelné hnojení organickými hnojivy. Díky tomu, že podnik spadá pod společnost Tekro, spol. s r. o., která vlastní podnik s chovem prasat nedaleko AG Produktu, má podnik k dispozici kromě hnoje skotu, také kejdu prasat, o kterou podnik přišel v minulých letech zrušením chovu prasat.

Klimatické podmínky, ve kterých podnik hospodaří, by se daly popsat jako velmi rozmanité. Půdní bloky mají zastoupení písčitých, hlinitých i hlinitojílovitých půd. Co se týče průměrné nadmořské výšky půdních bloků, tak ta se pohybuje od 350 do 500 m. n. m. Nejvíce zastoupené půdní typy jsou pseudogleje, luvizemě a kambizemě. Klimatický region je dle hodnocení BPEJ mírně teplý a mírně vlhký. Suma teplot nad 10 °C činí 2200-2500. Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 7 a 8 °C. Průměrný roční úhrn srážek je stanoven na 550 až 650 mm. Pravděpodobnost suchých vegetačních období je 15-30 %.

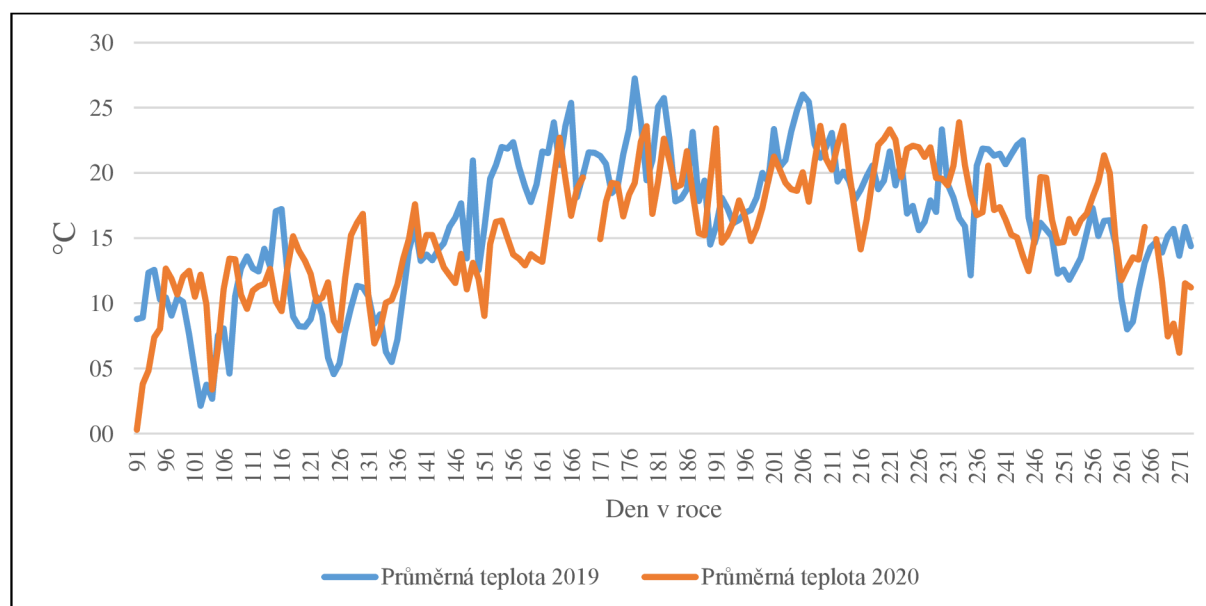
5.2 Meteorologické údaje

Meteorologické údaje pocházejí z vlastního měření podniku (srážky) a ze stanice rodiny Pittnerových (teploty), která provozuje stanici v Blovicích (Plzeňský kraj, 417 m n. m.) Graf 4 zobrazuje rozložení srážek ve sledovaném období. V roce 2019 byl celkový úhrn srážek 496 mm. Celkový úhrn srážek v roce 2020 činil 639 mm. V některých měsících roku 2020 oproti roku 2019 výrazně převažovaly srážky i proto byl rozdíl mezi roky 2019 a 2020 143 mm. Největší rozdíl byl zaznamenán v únoru a červnu. Graf 5 zobrazuje porovnání průběhu průměrných denních teplot ve vegetačním období (rok 2019 a 2020).

Z grafu 5 jsou patrné odlišnosti v jednotlivých měsících v roce, kdy v roce 2020 byla první polovina května chladnější v porovnání s rokem 2019. Naopak rok 2019 měl teplejší druhou polovinu května a celý červen.



Graf 4: Měsíční úhrn srážek v období 2019 a 2020



Graf 5: Průběh průměrných denních teplot ve vegetačním období v letech 2019 a 2020

5.3 Použité zdroje a materiály

K získání podkladů pro výpočet výsledků bylo využito programu Agronom od firmy AG Info s. r. o. Tento program využívá sledovaný podnik jako agronomickou evidenci. Jak přibližně vypadá program, ze kterého byly čerpány údaje pro diplomovou práci, můžeme vidět na obrázku 1. Zjištěné podklady byly zapisovány do tabulky v Excelu, kde byly prováděny výpočty výnosů hlavního a vedlejšího produktu, spotřebovaných hnojiv,

dodaného čistého dusíku, bilance dusíku, využitelnost dusíku a dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku.

Pro přesnější výsledky (obsah dusíkatých látek v zrně) u pšenice ozimé a ječmene jarního bylo využito rozborů semen, které prováděly laboratoře, kam byly uvedené komodity prodávány. Dále byl využíván eKatalog BPEJ pro zjištění půdních typů na půdních blocích a portál LPIS, ve kterém byly vyhledávány hodnoty BPEJ a průměrná nadmořská výška půdních bloků.

5.3.1 Program Agronom

Program Agronom je od firmy AG Info s. r. o., která sídlí v Jičíně a zabývá se vývojem softwaru pro zemědělství. Agronom je program, který má za úkol zjednodušit veškeré činnosti spojené s agronomickou evidencí. Tento program umožňuje evidenci osevů, hnojení, ochrany, sklizně a provedené práce. Tyto zásahy dokáže třídit podle plodin nebo vybraných půdních bloků. Upozorňuje na případné porušení „nitratové směrnice“. Kontroluje registrace přípravků na ochranu rostlin a jejich maximální dávku. Pomáhá dodržovat ochranná pásma u vody nebo obyvatel. Dokáže vypočítat potřebné množství daných přípravků na ochranu rostlin, tak aby nevznikaly nechtěné zásoby chemických přípravků. V neposlední řadě umožňuje program vedení skladové evidence.

The screenshot shows the 'Produkcni bloky (96)' window. The top table lists various blocks with columns for 'Mapa', 'Blok', 'Díl', 'Název dílu bloku', 'Ctverec', 'Hon', 'Parcela', 'Výmera', 'Kult', 'Uživatel', 'Stredisko', and 'Datum'. The selected block is '6202 17 díly popkuzi' with a date of '15/01/2020'.

The bottom table shows the fertilization history for the selected block, with columns for 'Datum', 'Hosp. rok', 'Hnojivo', 'Název přípravku', 'Plodina', 'Název plodiny', 'Odruda', 'Název odrudy', and 'Výmera [m] / ha'. Two entries are visible: one from 01/03/2019 with fertilizer 'LAD 27' and another from 25/09/2018 with fertilizer 'NPK 15-15-15'.

Obrázek 1: Pracovní okno v programu Agronom

5.4 Postup zpracování dat

Bylo vybráno 39 půdních bloků, které podnik obhospodařuje. Půdní bloky byly vybrány tak, aby byly zastoupeny téměř všechny rozdílné podmínky podniku. Z 39 půdních bloků byly vybrány půdní bloky, na kterých byly pěstovány sledované plodiny. Získaná data z programu Agronom byla zpracovávána v tabulkách programu Excel. Kde bylo vypočteno množství dodaných dusíkatých a organických hnojiv. Z těchto údajů byl následně vypočten čistý dodaný dusík. Tyto hodnoty následně sloužily k vypočtení bilancí dusíku na jednotlivých půdních blocích. Pro výpočet výnosu vedlejšího produktu plodin byly využity koeficienty, které jsou zakotvené v Nařízení vlády č. 277/2020 Sb. které mění nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programem, ve znění pozdějších předpisů. Výsledkem byly hodnoty výnosů vedlejšího produktu (sláma). Výnosy hlavního a vedlejšího produktu byly násobeny průměrnými odběry dusíku pro jednotlivé plodiny a tím byly získány výstupy dusíku odebrané plodinou. Koeficienty pro vedlejší produkt a průměrný odběr dusíku plodinami byly čerpány z Nařízení vlády č. 277/2020 Sb. Pro pšenici ozimou a ječmen jarní byl vypočítán skutečný odběr dusíku plodinou, jelikož byly k dispozici rozbor zrn. U ječmene jarního byl k dispozici rozbor zrn pouze z roku 2019.

5.4.1 Získávání dat z programu Agronom

Pro získání informací o půdním bloku, hnojení a osevním sledu byl využit program Agronom. V tomto programu byly získány následující data: dávky hnojiv, aplikovaná hnojiva a předplodiny na sledovaných půdních blocích.

5.4.2 Zapisování a výpočet dat v programu Excel

Zjištěné údaje z programu Agronom a výnosy z evidence byly zapisovány do vytvořené tabulky v programu Excel. Základní údaje byly pomocí výpočtů doplněné o další hodnoty. Pro výpočet produkce vedlejšího produktu (sláma) byly výnosy násobeny legislativními koeficienty (viz. Vyhláška č. 377/2013 Sb.). Dávky hnojiv byly násobeny příslušným obsahem dusíku daného hnojiva. Obsahy dusíku v hnojivech jsem čerpal z formuláře pro výpočet bilance dusíku (Klír 2021). Těmito výpočty byly získány údaje, kolik bylo dodáno čistého dusíku určitou dávkou hnojiva. Aplikovaný čistý dusík byl sečten pro jednotlivé půdní bloky a výsledkem byl výsledný aplikovaný čistý dusík čili vstupy dusíku. Tento postup byl aplikován na všechny sledované půdní bloky. Pro výpočet odebraného dusíku plodinou neboli výstupy dusíku byly násobeny výnosy hlavních produktů a vedlejších produktů příslušnými odběrovými normativy, které jsou stanovené legislativou (viz. Vyhláška č. 377/2013 Sb.). Z vypočtených odběrů hlavním a vedlejším produktem byly součtem vytvořeny celkové hodnoty odebraného dusíku plodinami. Tyto hodnoty byly potřebné pro vypočtení bilance dusíku. U půdních bloků, kde nebyla odvážena sláma byla započítávána do bilance dusíku pouze hodnota odebraného dusíku zrnem, jelikož živiny ve slámě zůstávaly na půdním bloku. Bilance dusíku byla získávána odečtením hodnoty odebraného dusíku plodinou od aplikovaného čistého dusíku k plodině. Do bilance dusíku nebyl započítáván dusík z organických hnojiv dodávaných k předplodině, jelikož byla bilance dusíku počítána v souladu s Nařízením vlády č. 277/2020 Sb. Výsledné hodnoty bilance dusíku nabývaly kladných

i záporných hodnot. Při výpočtu využitelnosti dusíku bylo postupováno tak, že množství odebraného dusíku porostem bylo vyděleno množstvím aplikovaného čistého dusíku. Tento výpočet byl převzat z metodiky bilance dusíku (Balík et al. 2012).

5.4.3 Výpočet vstupů dusíku

K výpočtu vstupů dusíku byly využity podklady z programu Agronom, kdy byly dávky aplikovaných hnojiv násobeny obsahy dusíku v daném hnojivu. Obsah živin pro jednotlivá hnojiva byl převzat z formuláře pro výpočet bilance dusíku (Klír 2021). Obsah dusíku u hnojiv, které nebyly součástí formuláře, byly doplněny z Registru hnojiv. U minerálních hnojiv bylo počítáno se 100 % dusíku z aplikované dávky dusíku, zatímco u organických hnojiv bylo počítáno s podílem využitelného dusíku pro hnůj 30 % a pro kejdu prasat 70 % a do vstupů byl započten dusík dodaný dusík vázající předplodinou (Nařízení vlády č. 277/2020 Sb.).

5.4.4 Výpočet výstupů dusíku

Výpočet výstupu dusíku byl proveden vynásobením zjištěných výnosů plodin (výnos hlavního i vedlejšího produktu) na jednotlivých půdních blocích s odběrovými normativy, které byly převzaty z Nařízení vlády č. 277/2020 Sb. U pšenice ozimé a ječmene jarního byl dostupný rozbor dusíkatých látek, který byl využit pro výpočet skutečného odběru dusíku. Pro přepočtení dusíkatých látek pšenice ozimé bylo využito koeficientu 5,7 (Černý et al. 2020a). U ječmene jarního bylo postupováno obdobně. Rozdíl byl v koeficientu, který má pro ječmen jarní hodnotu 6,25 (Černý et al. 2020b). Pro výpočet celkových výstupů dusíku byly sečteny výstupy dusíku v hlavním produktu a výstupy dusíku v produktu vedlejším. Na půdních blocích, ze kterých nebyly odvezeny posklizňové zbytky (vedlejší produkt), se do celkových výstupů dusíku nezapočítávaly výstupy vedlejších produktů.

5.4.5 Výpočet bilance dusíku

Bilance dusíku byla vypočtena dle postupů, které upravuje Nařízení vlády č. 277/2020 Sb., tudíž nebylo počítáno s dusíkem dodaným v organických hnojivech v dalších letech.

5.4.6 Výpočet využití dusíku

Využití dusíku bylo vypočteno podle následujícího vztahu: využití dusíku (%) = (množství odebraného dusíku porostem (kg/ha) / aplikované množství N (kg/ha)) × 100 (Balík et al. 2012).

5.4.7 Výpočet dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku (PFP-N)

Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku (Partial Factor Productivity - PFP-N) byl vypočten podle následujícího vztahu: dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku (kg/kg) (PFP-N) = výnos (kg/ha) / aplikovaný dusík (kg/ha) (Balík et al. 2012).

5.4.8 Výpočet v programu Statistica

Pro výpočet existence statisticky významných rozdílů mezi ročníky a plodinami byl využit program Statistica 12. Statisticky byly vyhodnoceny bilance plodin, využitelnost dusíku a dílčí faktory aplikovaného dusíku. Byla využita statistická metoda analýza rozptylu (ANOVA), s hladinou významnosti $\alpha=0,05$. Konkrétně byla využita jednofaktorová ANOVA, jelikož byl hodnocen pouze jeden faktor (vliv ročníku, plodina). Pro podrobnější hodnocení byl využit Tukeyův HSD test.

6 Výsledky

6.1 Vstupy dusíku k ječmeni ozimému

Tabulka 7 zobrazuje vstupy dusíku u ječmene ozimého za rok 2019 a 2020. V roce 2019 bylo dodáno stejné množství dusíku na téměř všechny vybrané půdní bloky. Toto množství činilo 118 kg N/ha. Kromě bloku 32, kde bylo aplikováno 112 kg N/ha. V roce 2020 se aplikovaná dávka dusíku shodovala na všech sledovaných půdních blocích. Byla to dávka 111 kg N/ha. Veškerý aplikovaný dusík byl dodán minerálními hnojivy v obou letech.

Tabulka 7: Vstupy dusíku u ječmene ozimého za rok 2019 a 2020

2019		2020	
Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg)	Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg)
4.	118	3.	111
17.	118	15.	111
22.	118	34.	111
23.	118	24.	111
32.	112	39.	111
38.	118	-	-

Tabulka 8: Výstupy dusíku u ječmene ozimého za rok 2019 a 2020

2019				2020			
Číslo pozemku	Odebraný N v zrně (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)	Číslo pozemku	Odebraný N v zrně (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)
4.	130	31	161	3.	125	30	155
17.	139	33	172	15.	155	37	192
22.	130	31	161	34.	132	32	164
23.	133	32	165	24.	143	34	177
32.	140	34	174	39.	150	36	186
38.	121	29	150	-	-	-	-

6.2 Výstupy dusíku u ječmene ozimého

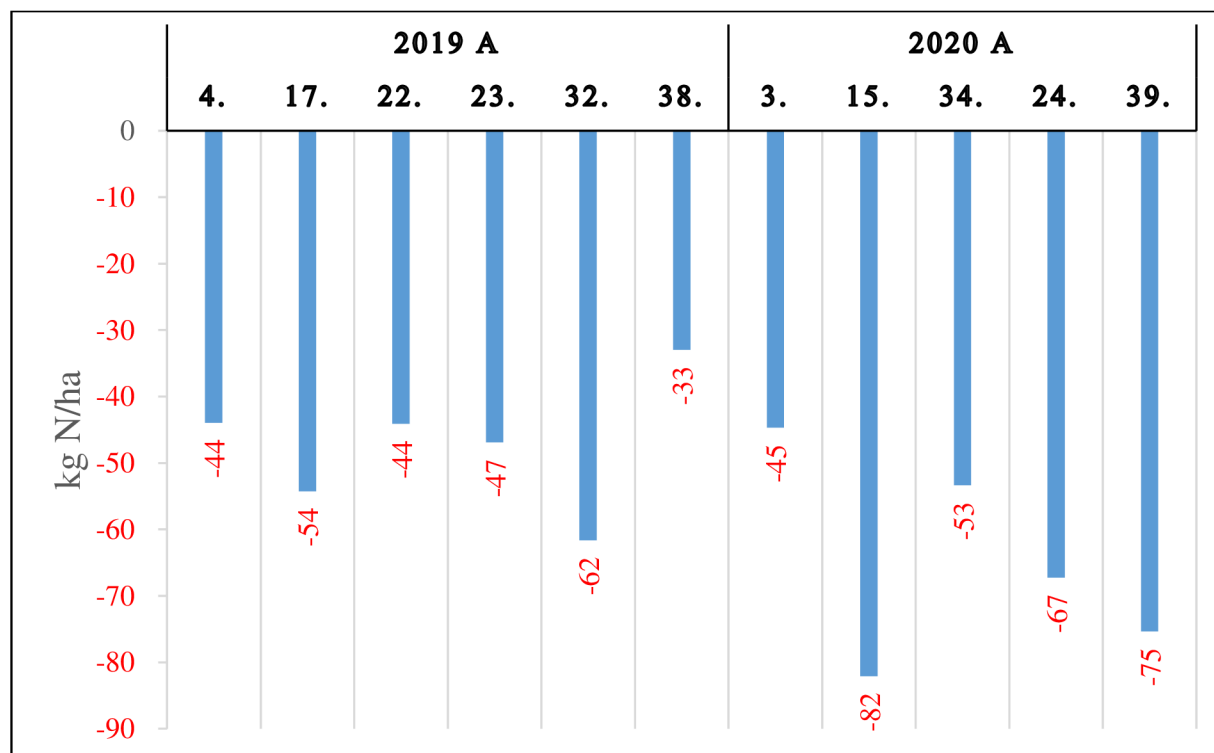
Tabulka 8 dokládá výsledky výstupů dusíku u ječmene ozimého. Hodnoty odebraného dusíku v zrně v roce 2019 se pohybovaly od 121 do 140 kg N/ha. Hodnoty odebraného dusíku slámou se pohybovaly od 29 do 34 kg N/ha. Sběr slámy proběhl

na všech sledovaných půdních blocích. Celkový odběr dusíku nabýval hodnot od 151 do 174 kg N/ha.

V roce 2020 se hodnoty odebraného dusíku zrnem pohybovaly od 125 do 155 kg N/ha. Dusík odebraný slámou nabýval hodnot od 30 do 37 kg N/ha. Sláma byla odvezena ze všech sledovaných půdních bloků. Celkový odběr dusíku dosahoval hodnot od 155 do 192 kg N/ha. Na celkový odebraný dusík měl vliv zejména výnos zrna a ten byl v roce 2020 vyšší v průměru o 0,5 t/ha než v roce 2019.

6.3 Bilance dusíku u ječmene ozimého

Graf 6 zobrazuje porovnání bilancí dusíku u ječmene ozimého na sledovaných půdních blocích. Graf 6 je rozdělen na rok 2019 a 2020. Z grafu 6 je patrné, že všechny půdní bloky vykazovaly záporné hodnoty bilance. Tudíž lze konstatovat, že množství odebraného dusíku vždy převýšilo dusík dodaný k ječmenu ozimému (viz Tabulka 7 a 8). To znamená, že bylo využito množství dusíku, které se shodovalo s aplikovanou dávkou dusíku, navíc bylo odebráno z půdní zásoby množství dusíku, které je uvedeno u všech půdních bloků. Nejnižší hodnota bilance byla zjištěna na půdním bloku 15 v roce 2020. Naopak nejvyšší hodnota bilance byla zjištěna na půdním bloku 38 v roce 2019.

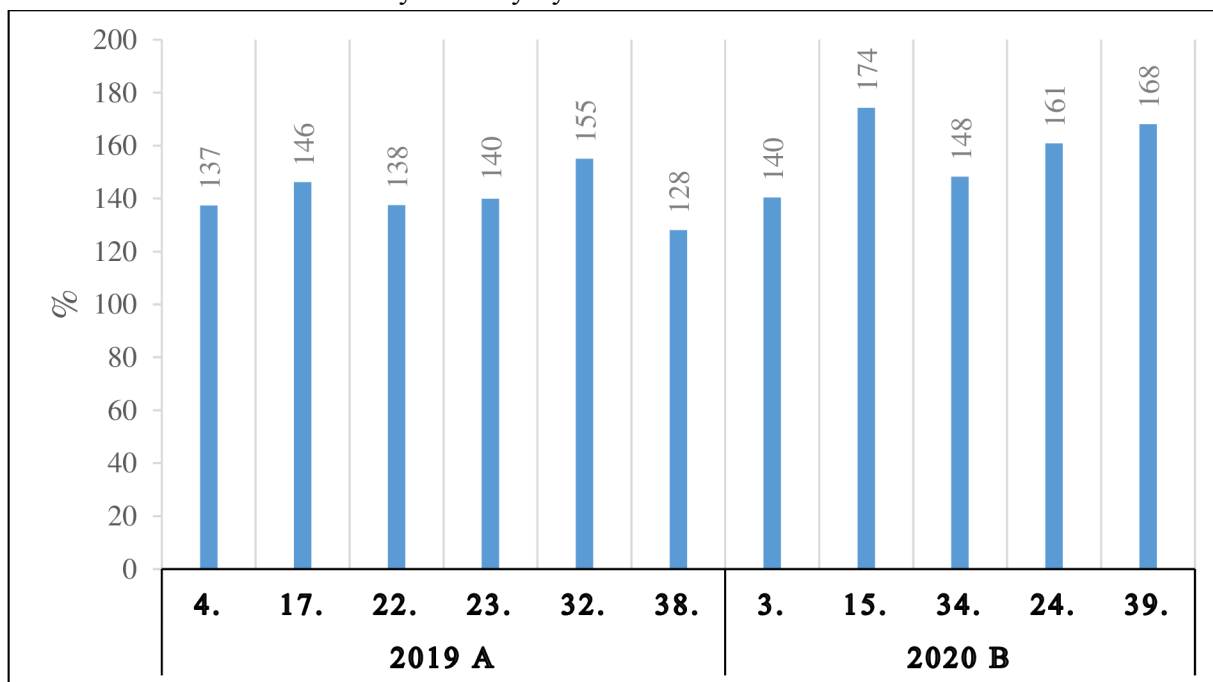


Graf 6: Bilance dusíku ječmene ozimého, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

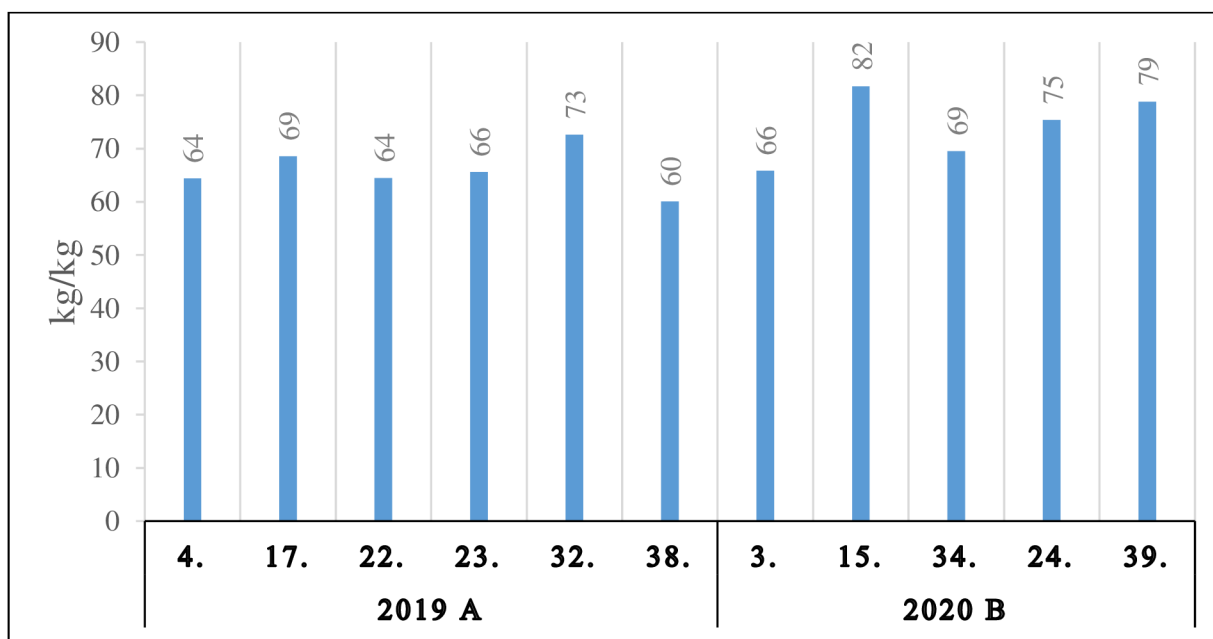
6.4 Využití dusíku ječmenem ozimým

Graf 7 zobrazuje porovnání využití dusíku na sledovaných půdních blocích v letech 2019 a 2020. Z grafu 7 je patrné, že všechny sledované půdní bloky vykazovaly více než 100% využitelnost dusíku. To znamená, že hodnoty odebraného dusíku ječmenem ozimým

přesahovaly dávky aplikovaného dusíku. V roce 2019 využití dusíku nabývalo hodnot od 128 do 155 %. V roce 2020 kolísaly hodnoty využití dusíku od 140 do 174 %.



Graf 7: Využití dusíku ječmene ozimého, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)



Graf 8: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu ozimému, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.5 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu ozimému v letech 2019 a 2020

Graf 8 zobrazuje srovnání dílčích faktorů produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu ozimému na sledovaných půdních blocích v letech 2019 a 2020. V roce 2019 kolísaly hodnoty od 60 do 73 kg/kg. Tyto hodnoty udávají to, že ječmen ozimý vytvořil 60 až 73 kg zrna z 1 kg aplikovaného N. V roce 2020 PFP-N ječmene ozimého nabýval hodnot od 66 do 82 kg/kg. V roce 2020 porosty vytvářely z 1 kg aplikovaného N 66 až 82 kg výnosu zrna.

6.6 Vstupy dusíku k pšenici ozimé

Tabulka 9 zachycuje vstupy dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020. V roce 2019 byly aplikovány na jednotlivé půdní bloky dávky dusíku v rozmezí od 109 do 141 kg N/ha. Dávka 109 kg N/ha byla aplikována na půdní blok 26. 126 kg N/ha bylo aplikováno na půdní bloky 11 a 33. Půdní bloky 7 a 14 byly hnojeny dávkou 137 kg N/ha. Na ostatní půdní bloky (1, 8, 10, 12, 15, 27 a 28) byla aplikována dávka 141 kg N/ha. V roce 2020 bylo dodáno na sledované půdní bloky stejné množství dusíku. Tato dávka činila 109 kg N/ha. Veškerý aplikovaný dusík byl dodán v minerálních hnojivech.

Tabulka 9: Vstupy dusíku u pšenice ozimé za rok 2019 a 2020

2019		2020	
Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg/ha)	Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg/ha)
1.	141	5.	109
7.	137	6.	109
8.	141	9.	109
10.	141	13.	109
11.	126	21.	109
12.	141	25.	109
14.	137	29.	109
15.	141	-	-
26.	109	-	-
27.	141	-	-
28.	141	-	-
33.	126	-	-

6.7 Výstupy dusíku u pšenice ozimé

Tabulka 10 zobrazuje výstupy dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020. Pro výpočet výstupů dusíku byla využita hodnota odběrového normativu 20,4 kg N/t, což po přepočtu odpovídalo obsahu NL v zrně 11,6 %. V roce 2019 se celkový odebraný dusík

na sledovaných půdních blocích pohyboval mezi hodnotami 92 a 192 kg N/ha. V roce 2020 nabývaly hodnoty celkového odebraného dusíku na sledovaných půdních blocích od 152 do 206 kg N/ha. Na půdním bloku 21 byla vypočtena nejnižší hodnota 152 kg N/ha. Bylo to z toho důvodu, že z pozemku nebyla odvezena sláma. Na všech ostatních sledovaných půdních blocích byla odvezena sláma. Nižší hodnoty celkového odebraného dusíku v jednotlivých letech, zejména v roce 2019, způsoboval snížený výnos. Rozdíly v roce 2020 způsobil na půdním bloku 21 již zmiňovaný odvoz slámy a na půdním bloku 9 nižší výnos (6,8 t/ha).

Tabulka 10: Výstupy dusíku u pšenice ozimé za rok 2019 a 2020

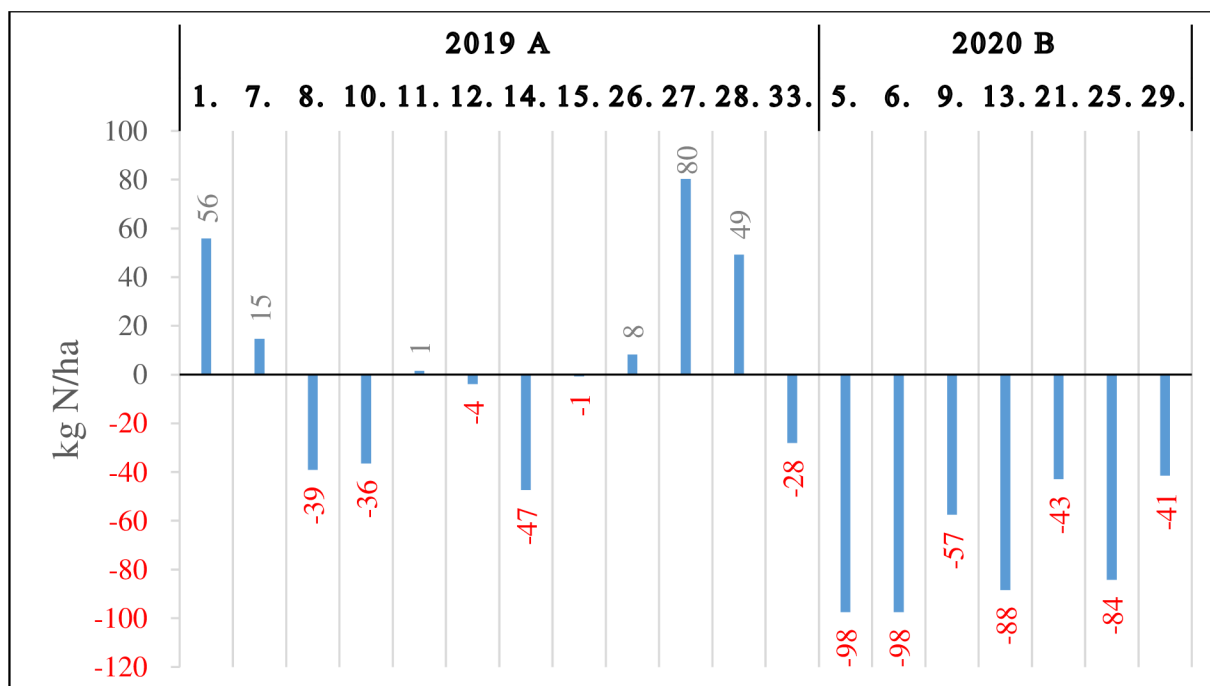
2019				2020			
Číslo pozemku	Odebraný N v zrnu (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)	Číslo pozemku	Odebraný N v zrnu (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)
1.	112	23	135	5.	171	35	206
7.	143	30	173	6.	171	35	206
8.	149	31	180	9.	138	29	167
10.	147	31	178	13.	163	34	197
11.	103	21	124	21.	152	31	152
12.	120	25	145	25.	160	33	193
14.	153	32	185	29.	166	34	200
15.	159	33	192	-	-	-	-
26.	83	17	100	-	-	-	-
27.	92	19	111	-	-	-	-
28.	76	16	92	-	-	-	-
33.	128	27	155	-	-	-	-

6.8 Bilance dusíku u pšenice ozimé

Graf 9 zobrazuje výsledky bilance dusíku u pšenice ozimé za roky 2019 a 2020. Jsou zřejmé značné rozdíly mezi roky. Kdy v roce 2019 bilance dusíku nabývala hodnot od - 47 do + 80 kg N/ha. Velký rozdíl mezi jednotlivými půdními bloky vycházel, protože na půdních blocích 1, 7 a 27 byly pěstovány předplodiny vázající dusík, díky kterým se v bilanci dusíku počítá s 50 kg N/ha navíc. Půdní blok 7 měl oproti půdním blokům 1 a 27 nižší bilanci dusíku. Důvodem byl vyšší odběr dusíku a nižší dávka aplikovaného dusíku oproti odběrům půdních bloků 1 a 27 (viz. Tabulka 9 a 10). V roce 2020 vycházela bilance dusíku na veškerých sledovaných půdních blocích záporná a kolísání hodnot bylo nižší oproti roku 2019. Bilance dusíku v roce 2020 nabývaly hodnot od - 98 do - 28 kg N/ha. Na všech sledovaných půdních blocích, kromě p. b. 21, byla odvezena sláma.

6.9 Využití dusíku pšenicí ozimou

Graf 10 zobrazuje využití dusíku pšenicí ozimou v letech 2019 a 2020 na sledovaných půdních blocích. V roce 2019 bylo využití nižší než v roce 2020. Využití dusíku pšenicí ozimou se pohybovalo od 65 do 136 %. Využitelnost dusíku nižší než 100 % v roce 2019 způsobovaly výnosy, které pohybovaly od 3,7 do 5,5 t/ha v závislosti na aplikované dávce dusíku. V roce 2020 využití dusíku pšenicí ozimou dosahovalo hodnot od 139 do 190 %. Lze si všimnout, že některé půdní bloky dosahovaly téměř 200% využití dusíku. Téměř dvojnásobného využití dusíku dosahovaly půdní bloky 5 a 6, kde byl výnos shodný (8,4 t/ha). Vysokým hodnotám využití dusíku napomáhala nízká dávka aplikovaného dusíku (viz. Tabulka 9).

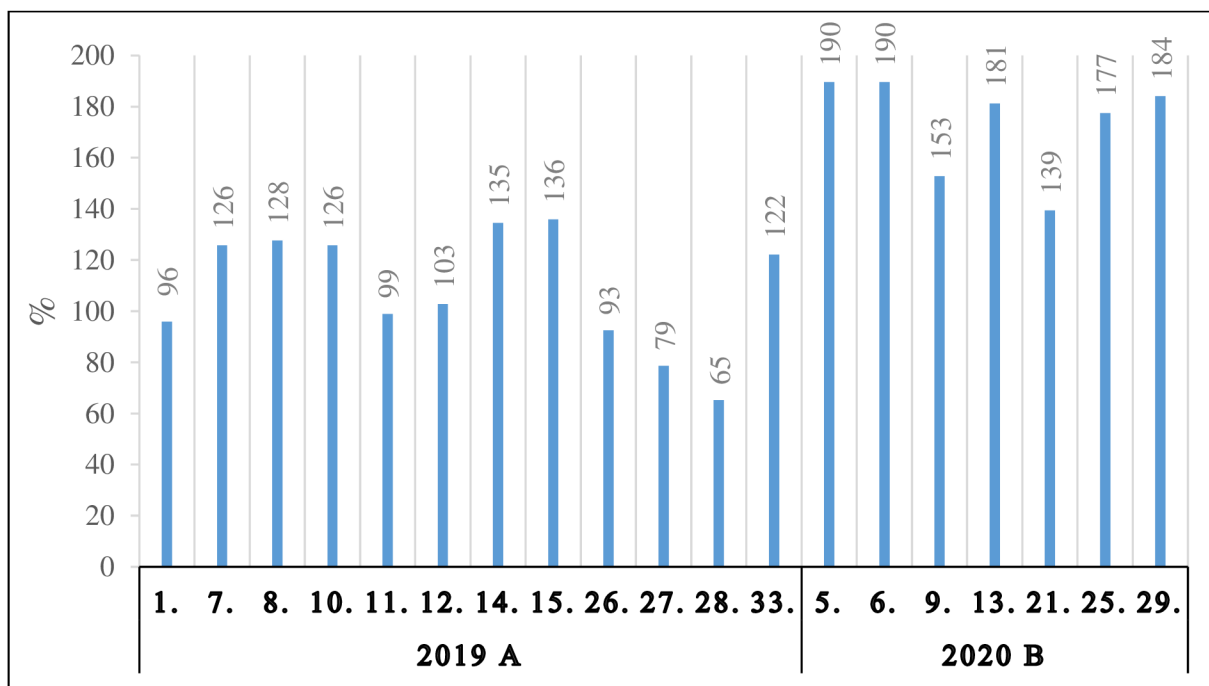


Graf 9: Bilance dusíku u pšenice ozimé, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

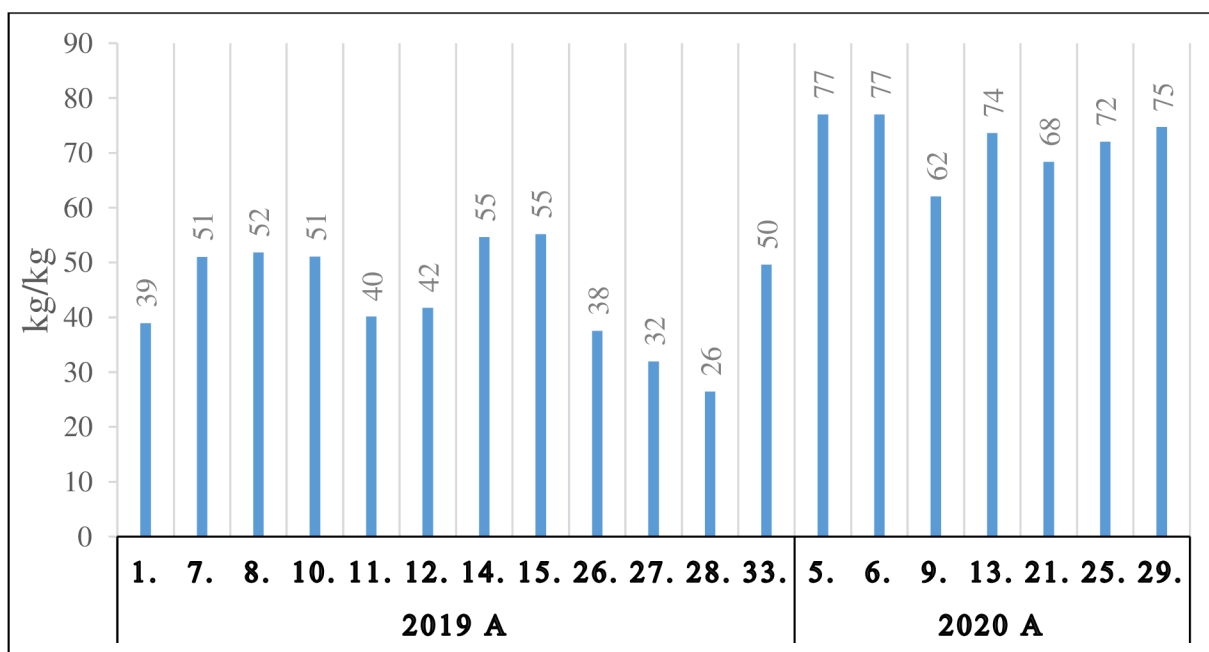
6.10 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k pšenici ozimé v letech 2019 a 2020

Graf 11 zobrazuje srovnání dílčích faktorů produktivity aplikovaného dusíku k pšenici ozimé v letech 2019 a 2020. Z grafu 11 je zřejmé, že v roce 2019 vypočtené hodnoty kolísaly od 26 do 55 kg/kg. Značné kolísání hodnot způsobily nevyrovnané odběry dusíku, které jsou zachyceny v Tabulce 10 a dávky dusíku, které nebyly jednotné (viz. Tabulka 9).

V roce 2020 byly hodnoty stabilní oproti roku 2019 a nabývaly hodnot od 62 do 77 kg/kg. V roce 2020 vycházely hodnoty vyrovnané díky tomu, že byla aplikována jednotná dávka dusíku (109 kg N/ha) a bylo dosahováno výnosů od 6,8 do 8,4 t/ha.



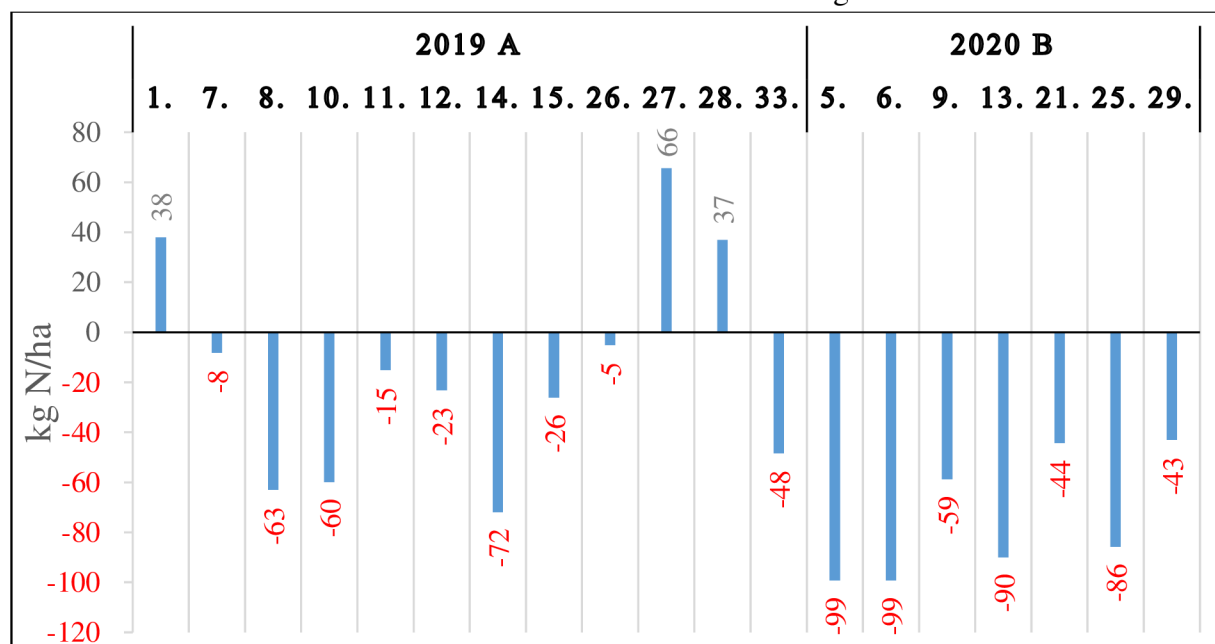
Graf 10: Využití dusíku pšenice ozimou, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)



Graf 11: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k pšenici ozimé, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.11 Bilance dusíku u pšenice ozimé - skutečný obsah dusíku v zrně

Graf 12 zobrazuje bilanci dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020, kdy byl vypočten obsah dusíku v zrně z výsledků rozborů zrn. V roce 2019 bylo zjištěno kolísání hodnot, ovšem v porovnání s rokem 2020 se výrazný rozdíl mezi bilancemi snížil. Bylo to z toho důvodu, že v roce 2019 byly sice nižší výnosy (3,7-7,8 t/ha), ale zrno obsahovalo více dusíkatých látek než zrno v roce 2020. V roce 2019 průměrný obsah dusíkatých látek v zrně činil 13,49 %. Zatímco v roce 2020 průměrný obsah dusíkatých látek v zrně byl 11,74 %. Hodnoty bilance dusíku v roce 2019 kolísaly od -72 do +66 kg N/ha. V roce 2020 dosahovala bilance dusíku hodnot od -43 do -99 kg N/ha.

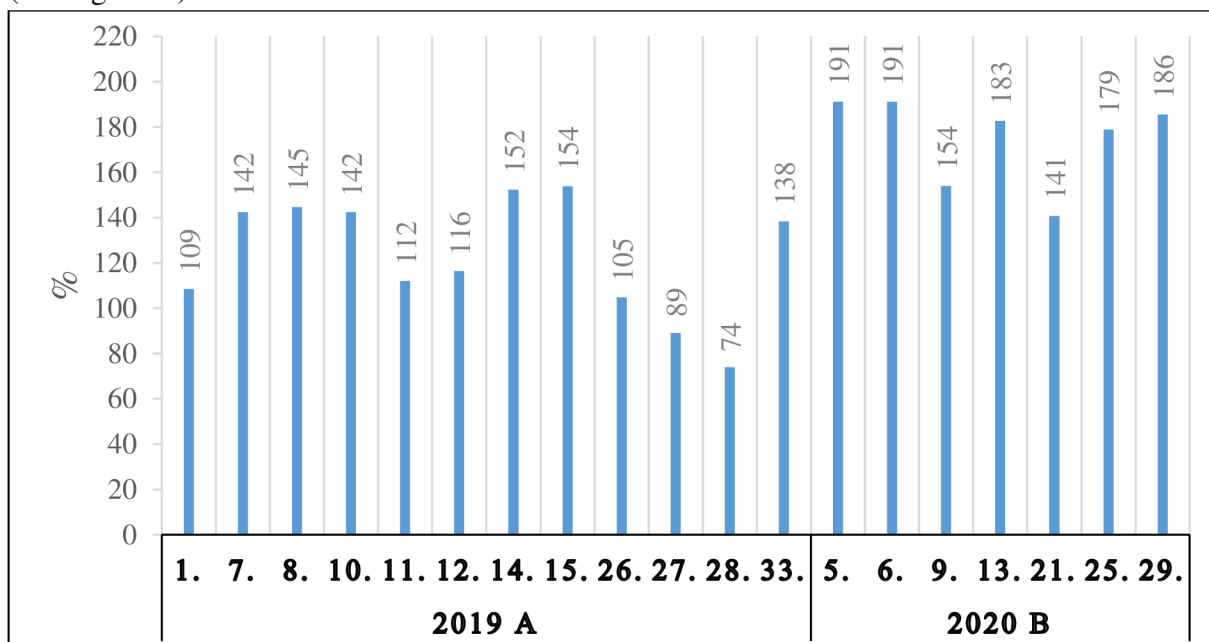


Graf 12: Bilance dusíku u pšenice ozimé - skutečný obsah dusíku v zrně, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.12 Využití dusíku pšenice ozimou - skutečný obsah dusíku v zrně

Graf 13 znázorňuje využití dusíku pšenice ozimou v letech 2019 a 2020, kdy byl vypočten obsah dusíku v zrně z výsledků rozborů zrn. Graf 13 zobrazuje skutečnost, že v roce 2019 využití dusíku kolísalo od 74 do 154 %. Toto kolísání zapříčinily nestabilní výnosy (3,7-7,8 t/ha) a nestejněmá dávka dusíku (126-141 kg N/ha).

V roce 2020 bylo vypočteno využití dusíku na 141 až 191 %. Vyšší využití dusíku v roce 2020 bylo díky vyšším výnosům (6,8-8,4 t/ha) a nižším dávkám dodaného dusíku (109 kg N/ha).



Graf 13: Využití dusíku pšenice ozimou (rozbor zrn), indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.13 Vstupy dusíku u ječmene jarního

V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty dodaného dusíku v letech 2019 a 2020. V roce 2019 bylo aplikováno od 41 do 55 kg N/ha. Dávka aplikovaného dusíku byla nastavena velmi nízko, jelikož sladovnický ječmen se hnojí méně kvůli požadavkům na nižší hodnoty dusíkatých látek v zrně. Navíc jako předplodina byla silážní kukuřice hnojená organickými hnojivy. Tudiž můžeme předpokládat uvolňování dusíku z aplikovaného hnoje i v roce, kdy je pěstován ječmen jarní. V roce 2020 byly dávky dodávaného dusíku nižší než v roce 2019. Osevní sled se nezměnil, tudiž i v roce 2020 byla předplodina pro ječmen jarní silážní kukuřice hnojená organickými hnojivy.

Tabulka 11: Vstupy dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020

2019		2020	
Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg)	Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg)
3.	55	16.	37
24.	41	31.	29
34.	55	35.	37
-	-	37.	37

6.14 Výstupy dusíku u ječmene jarního

Tabulka 12 zobrazuje množství odebraného dusíku ječmenem jarním na sledovaných půdních blocích v letech 2019 a 2020. Pro výpočet výstupů dusíku byla využita hodnota odběrového normativu 15,1 kg N/t, což po přepočtu odpovídalo obsahu NL v zrně 9,4 %. V roce 2019 celkem odebraný dusík nabýval hodnot od 93 do 111 kg N/ha. Nejvyšší odběr dusíku byl na půdním bloku 34, kde byl výnos 6 t/ha. Nejnižší odběr byl zaznamenán na půdním bloku 3, kde byl výnos 5 t/ha. V roce 2020 celkem odebraný dusík dosahoval hodnot od 99 do 121 kg N/ha. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána na půdním bloku 16, kde bylo dosaženo výnosu 6,5 t/ha. Naopak nejnižší výnos byl na půdním bloku 31, kde byl zaznamenán výnos 5,3 t/ha. Na všech sledovaných půdních blocích byla odvezena sláma a bylo využito pouze minerálních hnojiv.

Tabulka 12: Výstupy dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020

2019				2020			
Číslo pozemku	Odebraný N v zrně (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)	Číslo pozemku	Odebraný N v zrně (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)
3.	75	18	93	16.	98	23	121
24.	88	21	109	31.	80	19	99
34.	90	21	111	35.	90	21	111
-	-	-	-	37.	89	21	110

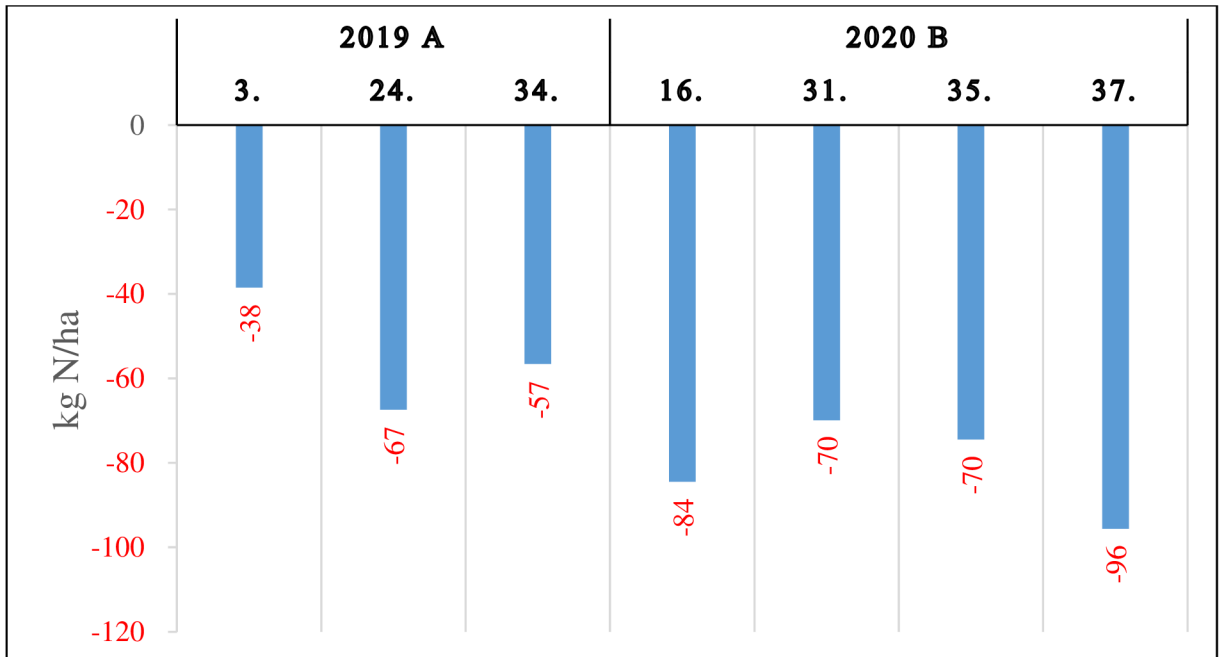
6.15 Bilance dusíku u ječmene jarního

Graf 14 zobrazuje bilanci dusíku na sledovaných blocích v letech 2019 a 2020. V roce 2019 nabývala hodnota bilance dusíku hodnot od - 67 do - 38 kg N/ha. V roce 2020 byla vypočtena bilance dusíku v rozmezí hodnot od - 96 do - 70 kg N/ha. Bilance dusíku byla v roce 2020 nižší než v roce 2019. Důvodem byly nižší dávky aplikovaného dusíku v roce 2020 (29-37 kg N/ha). V obou letech vycházely výrazně záporné hodnoty, a to z toho důvodu, že se sladovnický ječmen hnojil nízkými dávkami dusíku (viz. Tabulka 11), a navíc v bilanci dusíku nebylo počítáno s reziduálním dusíkem od silážní kukuřice, která byla hnojena hnojem.

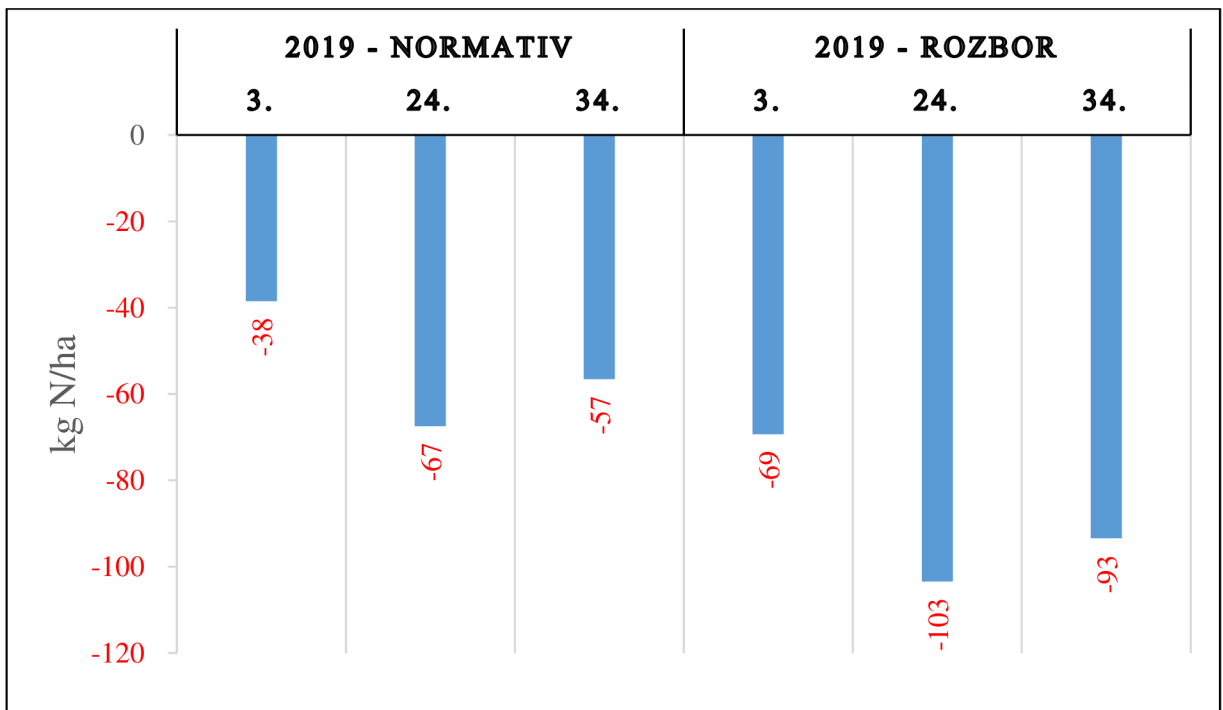
6.16 Bilance dusíku u ječmene jarního - skutečný obsah dusíku v zrně v roce 2019

Graf 15 znázorňuje bilanci dusíku u ječmene jarního v roce 2019, kdy byl zjišťován skutečný obsah dusíkatých látek v zrně. Grafu 15 zobrazuje porovnání bilanci dusíku ječmene jarního v roce 2019, kdy v levé části grafu bylo počítáno s legislativními odběrovými normativy a v pravé části grafu s hodnotami zjištěnými rozbořem. Pozorujeme, že rozdíl obou způsobů výpočtu činí v průměru 29 kg N/ha. Kdy varianta výpočtu s rozbořem zrn nabývala hodnot bilance dusíku od - 67 do - 38 kg N/ha. a varianta výpočtu dle legislativy

dosahovala hodnot bilance dusíku od - 103 do - 69 kg N/ha. Rozdíl vznikl díky tomu, že rozbor zrn odhalil vysoký obsah dusíkatých látek (NL) v zrně (13,3 % NL).



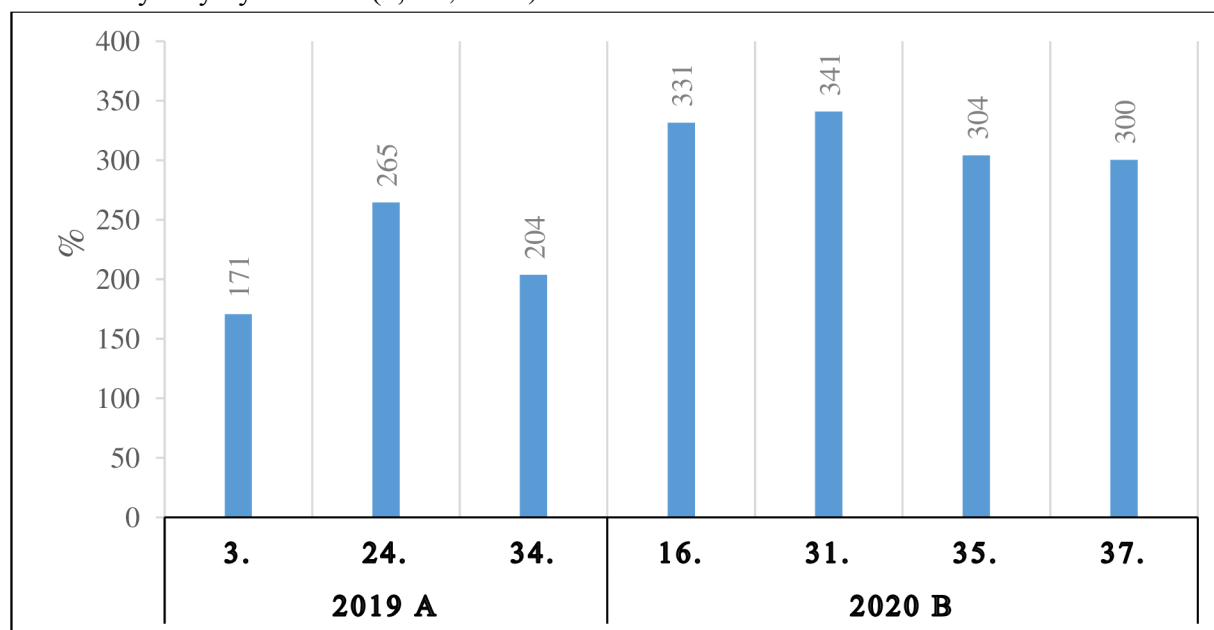
Graf 14: Bilance dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)



Graf 15: Bilance dusíku u ječmene jarního - skutečný obsah dusíku v zrně v roce 2019

6.17 Využití dusíku ječmenem jarním

Graf 16 zobrazuje výsledky využití dusíku ječmenem jarním v letech 2019 a 2020. V roce 2019 využití dusíku nabývalo hodnot od 171 do 265 %. Jde o poměrně vysoká čísla, která jsou vysvětlována aplikovanými nízkými dávkami dusíku (viz Tabulka 11) a vysokými výnosy (5-6 t/ha). Nejvyšší procento využití dusíku bylo zaznamenáno na půdním bloku 24. Nejnižší procento využití dusíku bylo vypočteno na půdním bloku 3. V roce 2020 bylo u využití dusíku zaznamenáno hodnot od 300 do 341 %. Vysoká procenta vycházela, protože byla aplikována velmi nízká dávka dusíku (viz Tabulka 11) a zároveň byl dosažen vysoký výnos zrna (5,3-6,5 t/ha).



Graf 16: Využití dusíku ječmenem jarním v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

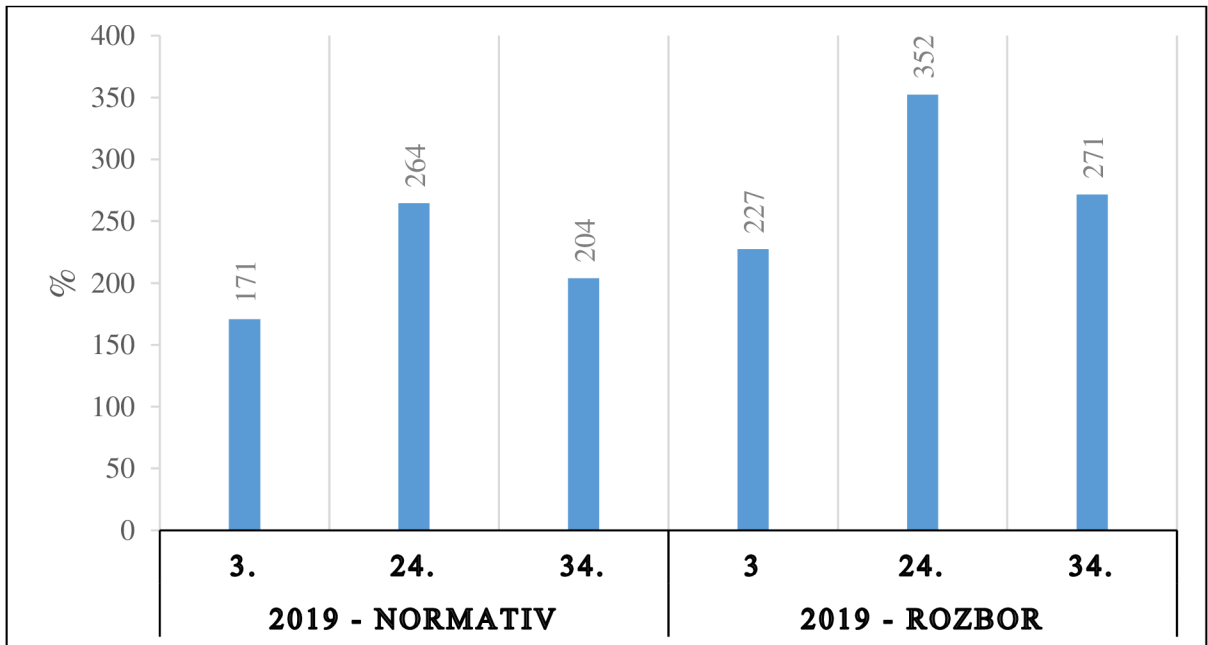
6.18 Porovnání využití dusíku ječmenem jarním při výpočtu dle normativu a dle skutečného obsahu dusíku v zrna v roce 2019

Graf 17 porovnává výsledky výpočtů využití dusíku ječmenem jarním v roce 2019. Kdy pozorujeme, že se při výpočtech podle rozboru zrn zvyšuje využití dusíku v průměru o 70 % oproti využití dusíku, který byl vypočten podle legislativního odběrového normativu. Výpočtem byl zjištěn značný rozdíl, jelikož výsledky rozboru zrn ukázaly vysoký obsah dusíkatých látek v zrnech ječmene jarního (13,3 % NL).

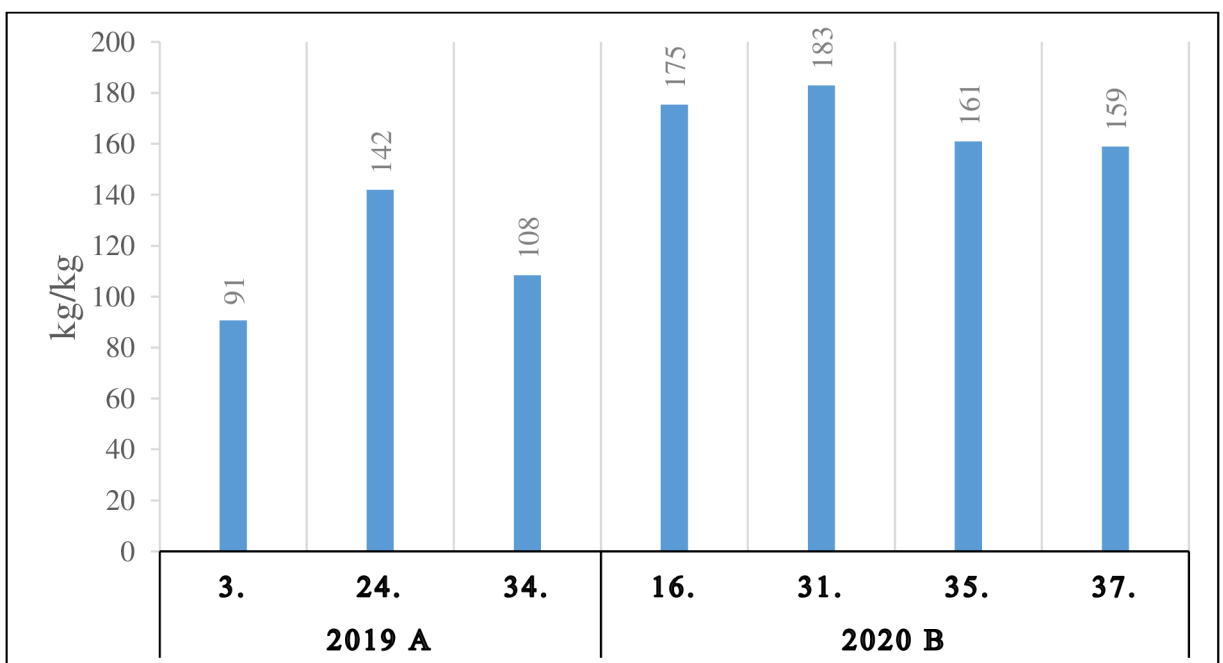
6.19 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu jarnímu v letech 2019 a 2020

Graf 18 zobrazuje srovnání dílčích faktorů produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu jarnímu v letech 2019 a 2020. Z grafu 18 je zřejmé, že v roce 2019 hodnoty kolísaly od 91 do 142 kg/kg. Nejvyšší hodnoty dosahoval půdní blok 24.

Naopak nejnižší hodnoty dosahoval půdní blok 3. Rok 2020 byl vyrovnanější a vypočtené hodnoty se pohybovaly od 159 do 183 kg/kg. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána na půdním bloku 31. Nejnižší hodnota byla vypočtena na půdním bloku 37. Rozdíl mezi roky způsobovala zejména odlišná dávka aplikovaného dusíku (viz Tabulka 11).



Graf 17: Porovnání využití dusíku ječmenem jarním při výpočtu dle normativu a dle skutečného obsahu dusíku v zrna v roce 2019



Graf 18: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu jarnímu v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.20 Vstupy dusíku k řepce ozimé

Tabulka 13 zobrazuje aplikovaný dusík k řepce ozimé v letech 2019 a 2020. V roce 2019 se na sledovaných půdních blocích dávky dusíku lišily. Tento rozdíl způsobila odlišná dávka hnoje nebo minerálních hnojiv. Aplikovaný dusík nabýval hodnot od 252 do 266 kg N/ha. Zastoupení dusíku z organických hnojiv v roce 2019 na sledovaných půdních blocích se pohybovalo od 24 do 26 % z celkového množství aplikovaného dusíku. V roce 2020 byly aplikované dávky na sledovaných půdních blocích vyrovnané kromě dvou půdních bloků (blok 22 a 32). Tento rozdíl způsobila rozdílná dávka hnoje. Aplikované dávky dosahovaly hodnot od 228 do 248 kg N/ha. V roce 2020 se podíl dusíku z organických hnojiv pohyboval od 13 do 20 % z celkové dávky aplikovaného dusíku.

Tabulka 13: Vstupy dusíku k řepce ozimé v letech 2019 a 2020

2019			2020		
Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg/ha)	Podíl dusíku z org. hnojiv (%)	Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg/ha)	Podíl dusíku z org. hnojiv (%)
5.	256.	24	4.	228	13
6.	266	26	22.	248	20
13.	252	24	23.	228	13
25.	252	24	27.	228	13
-	-		32.	248	20
-	-		38.	228	13

6.21 Výstupy dusíku u řepky ozimé

V tabulce 14 jsou zobrazeny výstupy dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020. V roce 2019 výstupy dusíku dosahovaly hodnot od 96 do 181 kg N/ha. Tento značný rozdíl se vytvořil kvůli tomu, že z pozemku 5. a 6. byla odvezena řepková sláma pro výrobu pelet. Nejvyššího odběru dusíku bylo dosaženo na půdním bloku 5. Naopak nejnižší odběr dusíku byl zaznamenán na půdním bloku 13. V roce 2020 dosahovaly hodnoty celkového odebraného dusíku 140 až 173 kg N/ha. V tomto roce nedocházelo k výraznému kolísání hodnot, jelikož nebyla odvážena sláma z žádného sledovaného půdního bloku. Zároveň si také můžeme všimnout výrazného rozdílu odebraného dusíku mezi roky. Tento rozdíl vznikl výrazně vyššími výnosy dusíku řepky ozimé v roce 2020. Výnosy byly v roce 2019 od 2,8 do 3,7 t/ha. Zaznamenané výnosy v roce 2020 dosahovaly hodnot od 4,1 do 5,1 t/ha.

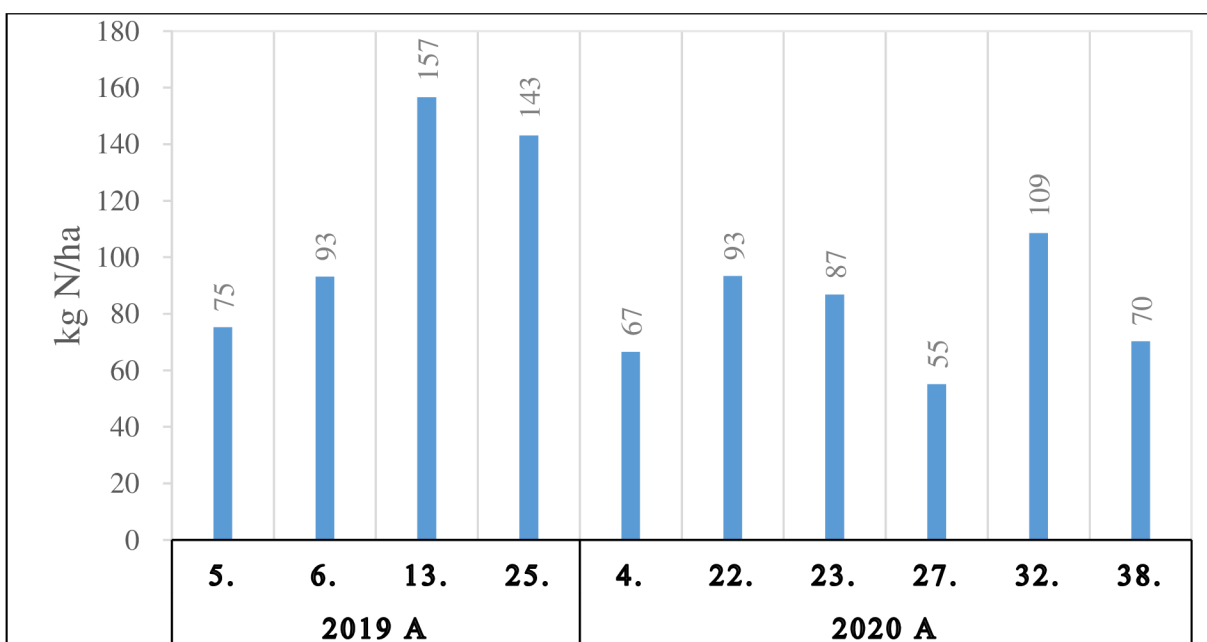
6.22 Bilance dusíku u řepky ozimé

Graf 19 zobrazuje bilanci dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020. Z grafu 19 je patrné, že hodnoty bilance dusíku v roce 2019 nabývaly hodnot od 75 do 157 kg N/ha. Všechny tyto hodnoty jsou kladné a to znamená, že na půdním bloku zůstává reziduální dusík.

Vysoká kladná bilance dusíku vznikla kvůli průměrným výnosům (2,8-3,7 t/ha), vysokým dávkám hnojiv (252-256 kg N/ha) a také kvůli tomu, že z půdních bloků nebyla odvážena sláma, vyjma půdních bloků 5 a 6. V roce 2020 se pohybovala bilance dusíku od 55 do 109 kg N/ha. Jde také o značně kladnou bilanci dusíku. Důvod je podobný jako v roce 2019. Na sledovaných půdních blocích zůstaly posklizňové zbytky a dávka dusíku byla vysoká (228-248 kg N/ha).

Tabulka 14: Výstupy dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020

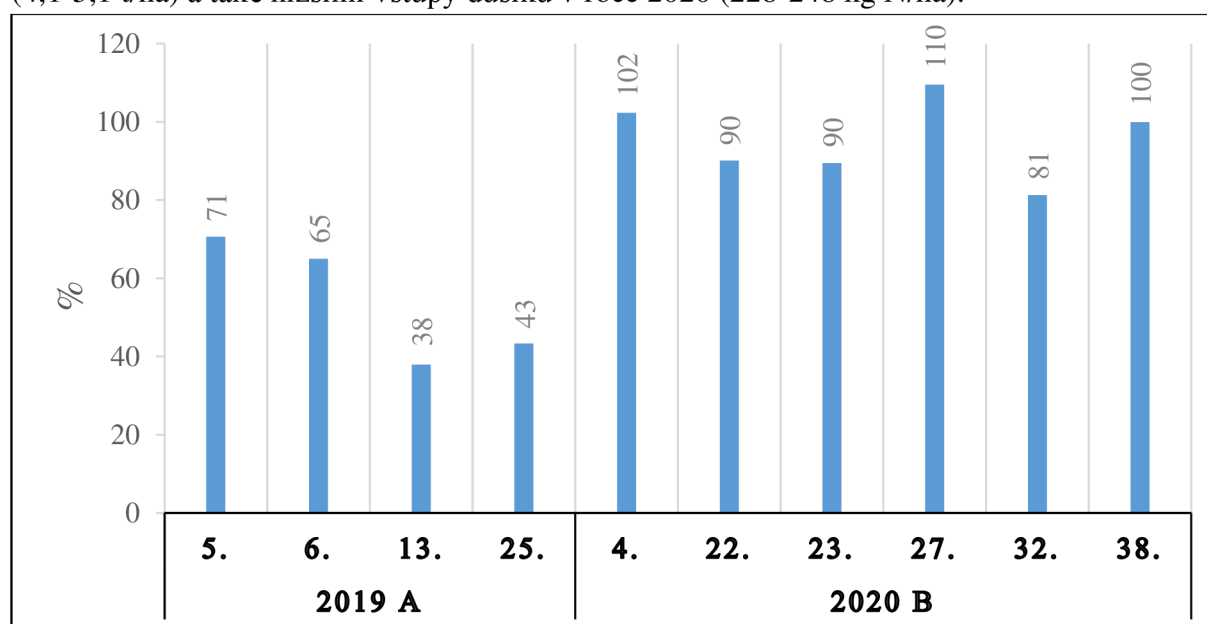
2019				2020			
Číslo pozemku	Odebraný N v zrně (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)	Číslo pozemku	Odebraný N v zrně (kg/ha)	Odebraný N ve slámě (kg/ha)	Odebraný N celkem (kg/ha)
5.	125	56	181	4.	162	72	162
6.	120	53	173	22.	155	69	155
13.	96	42	96	23.	141	63	141
25.	109	48	109	27.	173	77	173
-	-	-	-	32.	140	62	140
-	-	-	-	38.	158	70	158



Graf 19: Bilance dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.23 Využití dusíku řepkou ozimou

Graf 20 zobrazuje využití dusíku řepkou ozimou v letech 2019 a 2020. V roce 2019 využití dusíku nabývalo hodnot od 38 do 71 %. Nízké hodnoty zapříčinily průměrné výnosy (2,8-3,7 t/ha) oproti vysokým vstupům dusíku (viz Tabulka 13). Nejvyšší hodnota byla vypočtena na půdním bloku 5. Nejnižší hodnota byla vypočtena na půdním bloku 13. V roce 2020 se využití dusíku pohybovalo mezi 81 a 110 %. Na první pohled je vidět, že hodnoty jsou vyšší než v roce 2019. Nejvyšší procento využití dusíku bylo vypočteno na půdním bloku 27. Naopak nejnižší procento využití dusíku bylo zaznamenáno u půdního bloku 32. Rozdíl byl způsoben vyššími výnosy řepky ozimé (4,1-5,1 t/ha) a také nižšími vstupy dusíku v roce 2020 (228-248 kg N/ha).

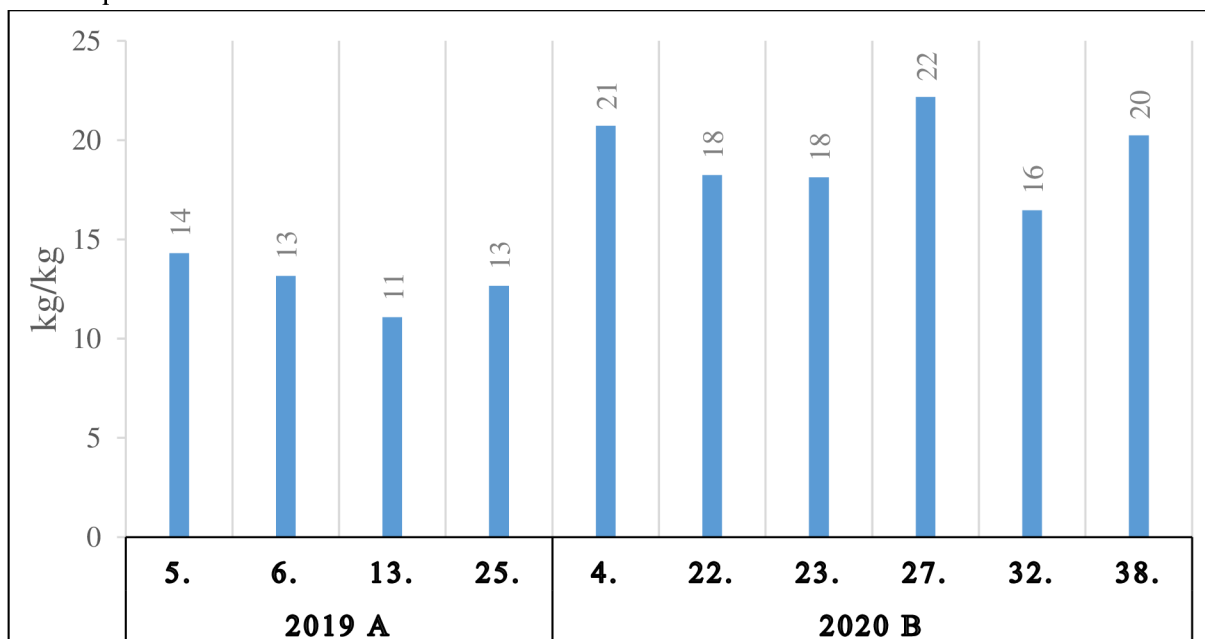


Graf 20: Využití dusíku řepkou ozimou v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.24 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k řepce ozimé v roce 2019 a 2020

Graf 21 zobrazuje srovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku v letech 2019 a 2020. V roce 2019 hodnoty PFP-N kolísaly od 11 do 14 kg/kg. Nejvyšší hodnotu PFP-N zaznamenal půdní blok 5. Nejnižší hodnota PFP-N byla vypočtena na půdním bloku 13. V roce 2020 nabýval PFP-N hodnot od 16 do 22 kg/kg. Nejvyšší hodnoty nabýval půdní blok 27. Naopak nejnižší hodnoty dosahoval půdní blok 32. V roce 2020 bylo PFP-N v průměru o 6 kg/kg vyšší než v roce 2019.

Znamená to tedy, že 1 kg aplikovaného dusíku vytvářel o 6 kg semene řepky navíc oproti roku 2019.



Graf 21: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k řepce ozimé, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.25 Vstupy dusíku k silážní kukuřici

Tabulka 15 zobrazuje vstupy dusíku a zastoupení organických hnojiv u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020. V roce 2019 bylo aplikováno na sledovaných půdních blocích od 176 do 211 kg N/ha. V roce 2019 byly na půdních blocích 19 a 37 aplikovány hnůj a kejda, tudíž na těchto půdních blocích bylo 100% zastoupení dusíku z organických hnojiv. U ostatních sledovaných půdních bloků bylo zastoupení dusíku z organických hnojiv 34 % a 38 % z celkové dávky aplikovaného dusíku. V roce 2020 byla na veškerých sledovaných půdních blocích aplikována stejná dávka dusíku. Tato dávka činila 195 kg N/ha. Zastoupení organických hnojiv ve vstupech dusíku bylo rovněž stejné. Zastoupení dusíku z organických hnojiv činilo 41 % z celkového aplikovaného dusíku.

6.26 Výstupy dusíku u silážní kukuřice

V tabulce 16 jsou zaznamenány výstupy dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020. V roce 2019 nabývaly hodnoty odebraného dusíku od 170 do 171 kg N/ha. Můžeme si všimnout téměř nulového rozdílu v odběrech dusíku. Tyto nízké rozdíly vycházely díky vyrovnaným výnosům na sledovaných půdních blocích. V roce 2020 byly hodnoty odebraného dusíku v rozsahu od 193 do 197 kg N/ha. Opět vidíme jen nepatrný rozdíl mezi odběry dusíku. Bylo to dáno znovu slabým kolísáním výnosů.

Při srovnání roků 2019 a 2020 vidíme rozdíl přes 20 kg N/ha. Tento rozdíl způsobily vyšší výnosy silážní kukuřice v roce 2020. Výnosy se v roce 2019 pohybovaly okolo 36 t/ha a výnosy v roce 2020 dosahovaly na úroveň 41 t/ha.

Tabulka 15: Vstupy dusíku k silážní kukuřici v letech 2019 a 2020

2019			2020		
Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg/ha)	Podíl dusíku z org. hnojiv (%)	Číslo pozemku	Aplikovaný č. N (kg/ha)	Podíl dusíku z org. hnojiv (%)
2.	185	38	20.	195	41
16.	185	38	30.	195	41
19.	211	100	33.	195	41
31.	176	34	36.	195	41
35.	176	34	-	-	
36.	176	34	-	-	
37.	211	100	-	-	

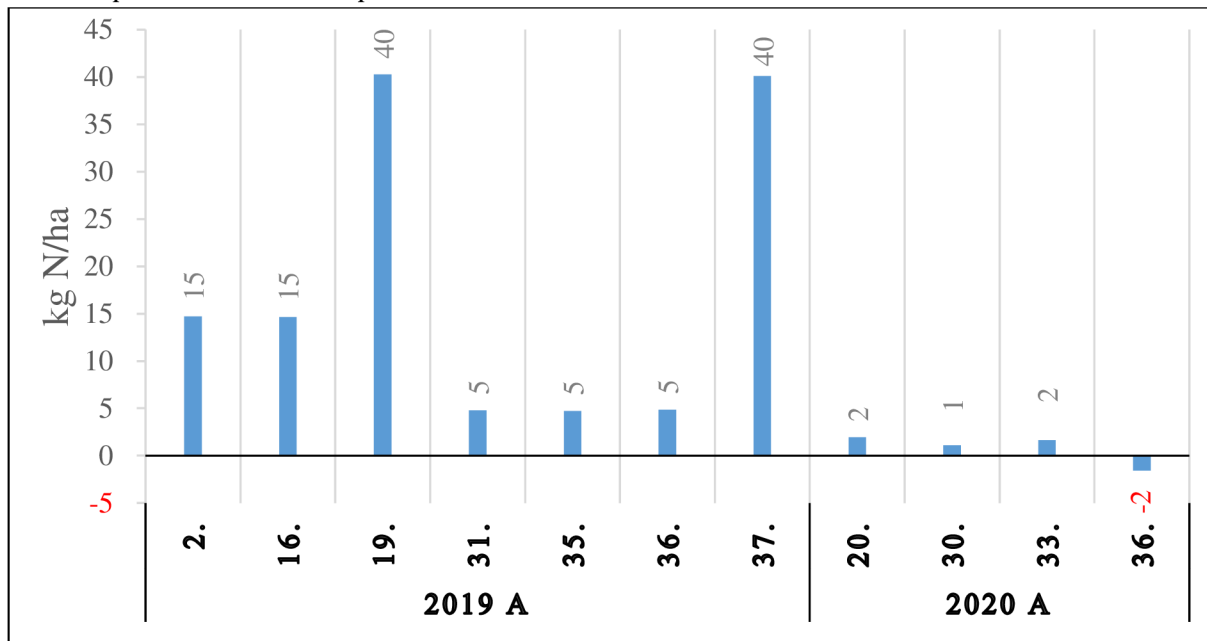
Tabulka 16: Výstupy dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020

2019		2020	
Číslo pozemku	Odebraný N celkem (kg/ha)	Číslo pozemku	Odebraný N celkem (kg/ha)
2.	171	20.	193
16.	171	30.	194
19.	171	33.	194
31.	171	36.	197
35.	171	-	-
36.	170	-	-
37.	171	-	-

6.27 Bilance dusíku u silážní kukuřice

Graf 22 zobrazuje výsledek bilance dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020. V roce 2019 bilance dusíku nabývala hodnot od 5 do 40 kg N/ha. Tento značný rozptyl způsobily odlišné dávky dusíku na sledovaných půdních blocích (viz Tabulka 15), kdy na půdních blocích 19 a 37, kde byla vypočtena nejvyšší bilance, byla aplikována nejvyšší dávka dusíku.

V roce 2020 bilance dusíku dosahovala hodnot od -2 do +2 kg N/ha. Tyto hodnoty blíží se nule naznačují, že silážní kukuřice odebrala množství dusíku, které odpovídá hodnotám aplikovaného dusíku.



Graf 22: Bilance dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

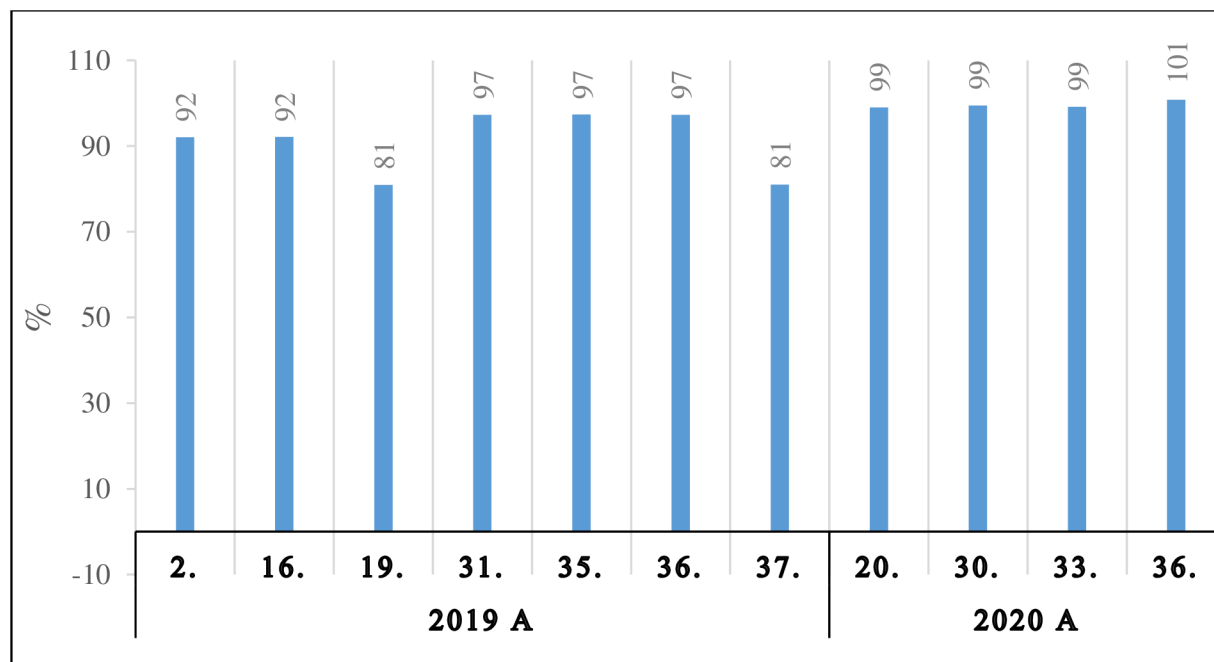
6.28 Využití dusíku silážní kukuřicí

Graf 23 zobrazuje využití dusíku silážní kukuřicí v letech 2019 a 2020. V roce 2019 využití dusíku kolísalo od 80 do 97 %. Hodnoty blíží se ke 100 % jsou žádoucí, jelikož to znamená, že silážní kukuřice odebrala množství dusíku, které odpovídá množství aplikovaného dusíku. Na půdních blocích 19 a 37 byly aplikovány vyšší dávky dusíku a silážní kukuřice neodebrala veškerý aplikovaný dusík. Nejvyšší procento využití dusíku zaznamenaly půdní bloky 31, 35 a 36. Nejnižšího využití dusíku dosahoval půdní blok 19 a 37. V roce 2020 se hodnoty využití dusíku pohybovaly od 99 do 101 %. Hodnoty blízké 100 % jsou žádoucí, jelikož na všech sledovaných blocích silážní kukuřice odebrala množství dusíku, které odpovídá množství celkového aplikovaného dusíku. Nejvyšší procento využití dusíku zaznamenal půdní blok 36. Ostatní sledované půdní bloky dosahovaly na 99% využití dusíku.

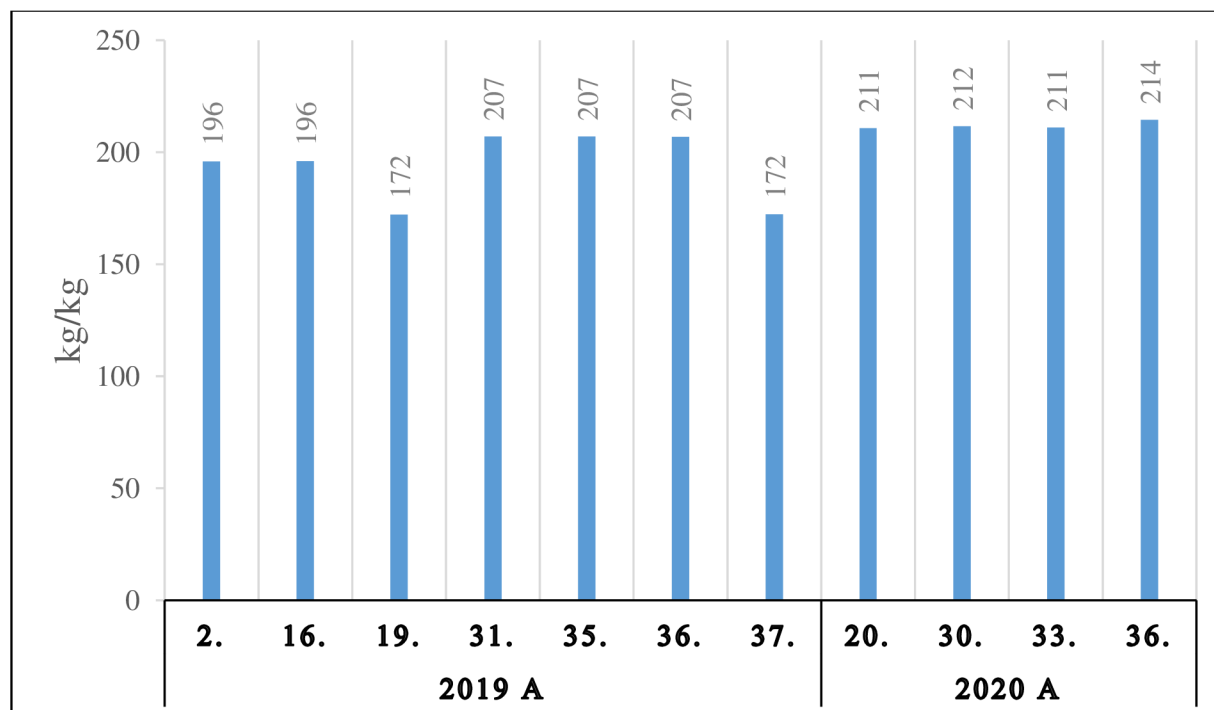
6.29 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k silážní kukuřici v letech 2019 a 2020

Graf 24 zobrazuje porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku k silážní kukuřici v letech 2019 a 2020. V roce 2019 nabýval PFP-N hodnot od 172 do 207 kg/kg. Rok 2020 přinesl menší rozdíly, když hodnoty kolísaly od 211 do 214 kg/kg. Na první pohled je zřejmé, že se hodnoty v jednotlivých letech výrazně nelišily. Mohli bychom se pozastavit nad velmi vysokými čísly. Ty vycházely proto,

že u silážní kukuřice bylo počítáno s výnosem sklizené čerstvé biomasy, tudíž ostatní plodiny (faktor počítán z výnosu zrna) v tomto faktoru mnohonásobně předstihla.



Graf 23: Využití dusíku silážní kukuřicí v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

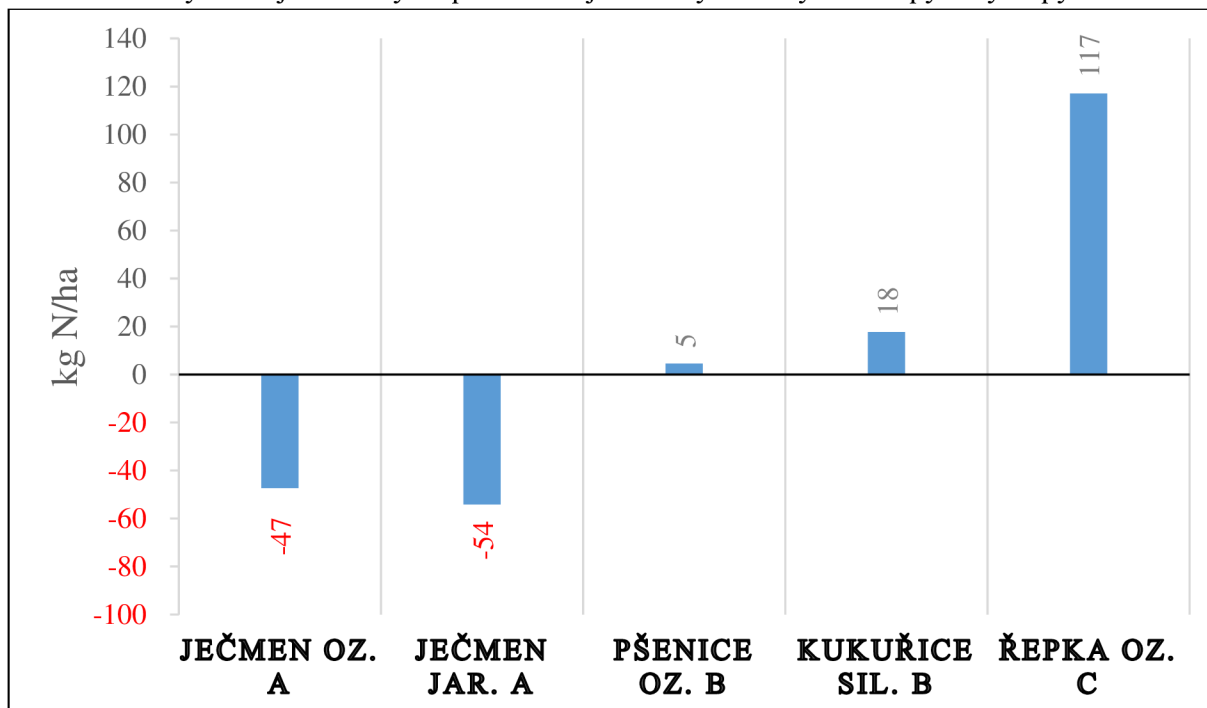


Graf 24: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k silážní kukuřici, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)

6.30 Porovnání bilance dusíku u sledovaných plodin v letech 2019 a 2020

6.30.1 Bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

Graf 25 zobrazuje porovnání průměrné bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019. U ječmene ozimého byla stanovena průměrná bilance dusíku na - 47 kg N/ha. Ječmen jarní měl průměrnou bilanci dusíku - 54 kg N/ha. Průměrná bilance dusíku pšenice ozimé byla + 5 kg N/ha. Silážní kukuřice měla průměrnou bilanci dusíku + 18 kg N/ha. Nejvyšší průměrné bilance dusíku dosahovala řepka ozimá (+ 117 kg N/ha). Značné rozdíly mezi jednotlivými plodinami jsou dány odlišnými vstupy a výstupy dusíku.

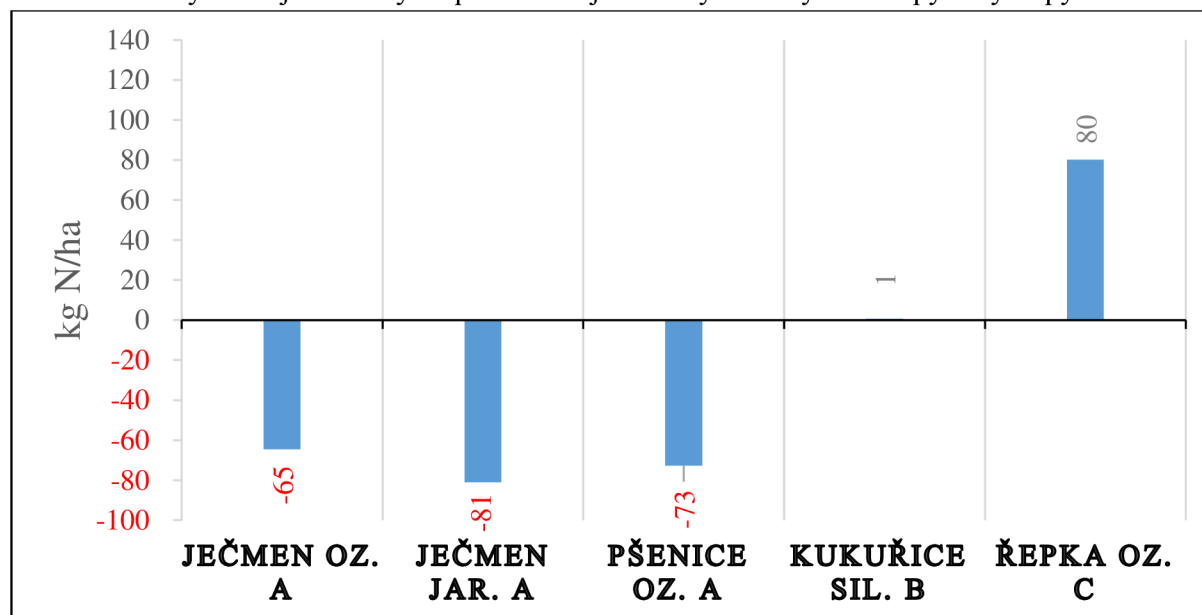


Graf 25: Porovnání průměrné bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)

6.30.2 Bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020

Graf 26 porovnává průměrné bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020. Ječmen ozimý měl průměrnou bilanci dusíku - 65 kg N/ha. Průměrná bilance dusíku u ječmene jarního byla - 81 kg N/ha. U ječmene jarního se jednalo o nejnižší bilanci. Průměrná bilance dusíku u pšenice ozimé dosáhla hodnoty - 73 kg N/ha.

+ 1 kg N/ha byla průměrná bilance dusíku u silážní kukuřice. Nejvyšší hodnotu průměrné bilance dusíku měla řepka ozimá, kdy její hodnota činila + 80 kg N/ha. Značné rozdíly mezi jednotlivými plodinami jsou dány odlišnými vstupy a výstupy dusíku.



Graf 26: Porovnání průměrné bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)

6.31 Porovnání využití dusíku sledovanými plodinami v letech 2019 a 2020

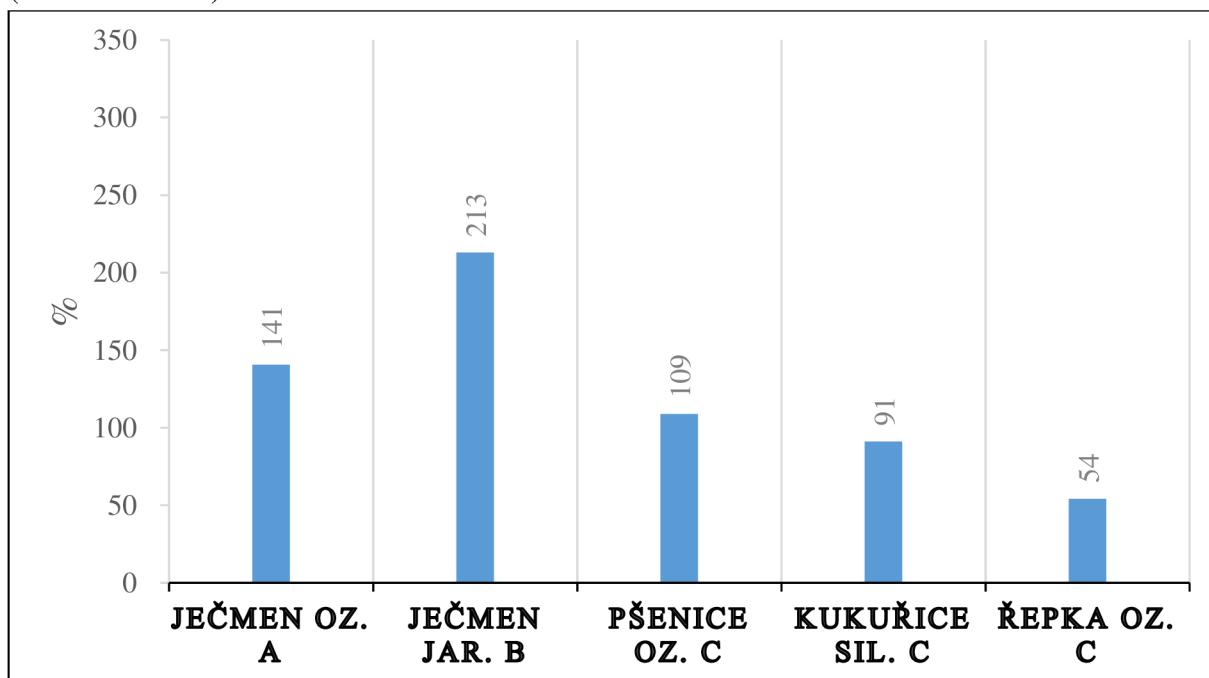
6.31.1 Využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019

Graf 27 zobrazuje průměrné využití dusíku sledovaných plodin v roce 2019. Můžeme si všimnout značných rozdílů mezi jednotlivými plodinami. Využití dusíku nabývalo hodnot od 54 do 213 %. Nejnižší využití dusíku vykazovala řepka ozimá. Tato nízká hodnota může být vysvětlována průměrným výnosem (2,8-3,7 t/ha) a vysokými vstupy (viz Tabulka 13). Naopak nejvyšší hodnoty využití dusíku dosahoval ječmen jarní. Tento výsledek lze vysvětlit tím, že ječmen jarní zaznamenal výnosy od 5 do 6 t/ha, ale dávka vstupů byla výrazně nižší oproti ostatním sledovaným plodinám (viz Tabulka 11).

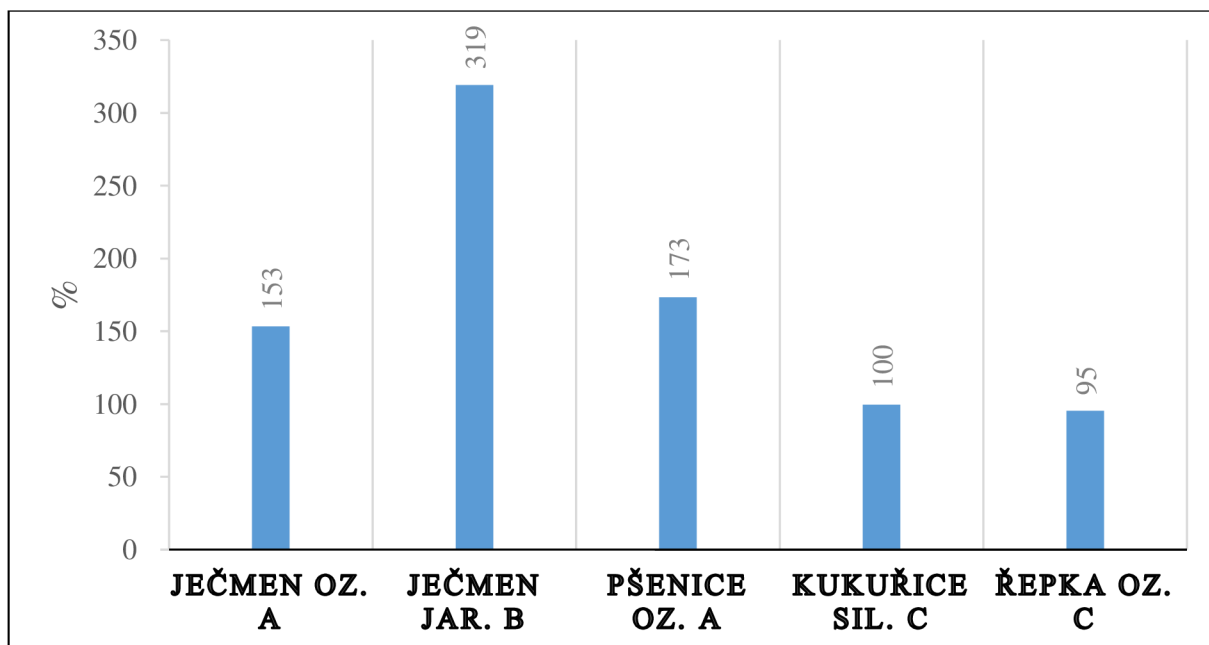
6.31.2 Využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020

Graf 28 znázorňuje porovnání průměrného využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020. Využití dusíku nabývalo hodnot od 95 do 319 %. Nejnižší průměrné využití dusíku vykazovala řepka ozimá. Naopak nejvyšší průměrné hodnoty dosáhl ječmen jarní.

U ječmene jarního bylo průměrné využití dusíku vysoké úrovni, jelikož bylo dosaženo nadprůměrného výnosu (5,3-6,5 t/ha) a bylo aplikováno malé množství dusíku (viz Tabulka 11).



Graf 27: Porovnání průměrného využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)

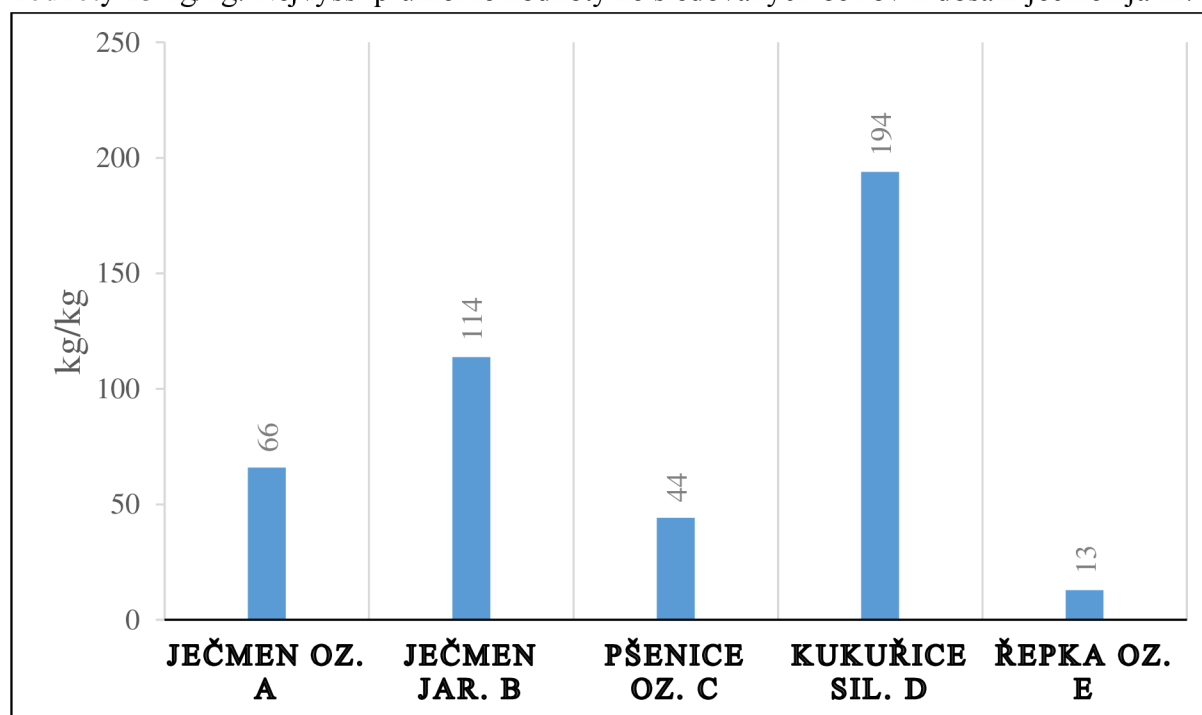


Graf 28: Porovnání průměrného využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)

6.32 Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v letech 2019 a 2020

6.32.1 Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2019

Graf 29 zobrazuje porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity dusíku u sledovaných plodin v roce 2019. Z grafu 29 je patrné, že nejvyšší průměrnou hodnotu PFP-N měla silážní kukuřice. Průměrná hodnota u silážní kukuřice činila 194 kg/kg. Nejnižší průměrnou hodnotu PFP-N zaznamenala řepka ozimá. Ta dosahovala průměrné hodnoty 13 kg/kg. Nejvyšší průměrné hodnoty ze sledovaných obilovin dosáhl ječmen jarní.

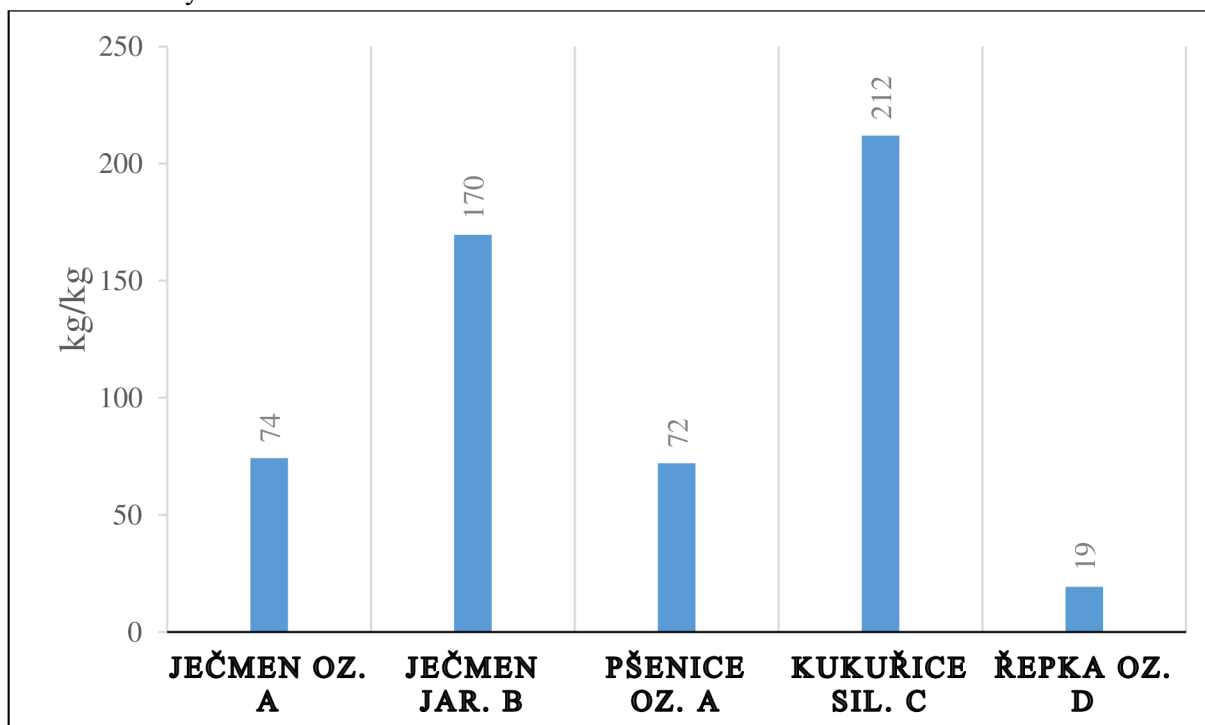


Graf 29: Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2019, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)

6.32.2 Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2020

Graf 30 zobrazuje porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2020. Z grafu 30 je zřejmé, že nejvyšších hodnot dosahovala silážní kukuřice. Konkrétně silážní kukuřice dosahovala průměrné hodnoty 212 kg/kg. Důvod byl stejný jako v roce 2019.

Nejnižších hodnot dosahovala řepka ozimá. Ta dosahovala hodnoty 19 kg/kg. Celkově se graf 30 podobá grafu 29 s tím rozdílem, že v roce 2020 bylo u sledovaných plodin dosahováno vyšších hodnot.



Graf 30: Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2020, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)

7 Diskuze

7.1 Vstupy dusíku ke sledovaným plodinám

Vstupy dusíku k ječmenu ozimému v této práci byly 112-118 kg N/ha v roce 2019. V roce 2019 byla využita následující hnojiva: DAM 390, NPK 15-15-15 a LAD. V roce 2020 činily vstupy 111 kg N/ha. Byly aplikovány následující druhy hnojiv: DAM 390, NPK S 8-19-29-3,5 a LAV. Míša (2001) uvádí, že ozimý ječmen má dobře vyvinutý kořenový systém a předpoklady pro dobré využití živin. Ozimý ječmen je méně odolný proti poléhání, proto by se celková dávka dusíku měla pohybovat mezi 60 a 100 kg N/ha. Je třeba podotknout, že v roce 2001 se průměrný výnos ječmene ozimého činil 4,45 t/ha (ČSÚ 2013). V zemědělském podniku tedy hnojí vyšší dávkou, než která je doporučována. Nicméně ječmen ozimý tvořil nadprůměrné výnosy (7,1-9 t/ha). Je vhodné hnojit ozimý ječmen již na podzim dávkou cca 30 kg N/ha (Míša 2001; Alley et al. 2009). Pro podzimní hnojení je vhodné hnojivo NPK. Můžeme konstatovat, že zemědělský podnik aplikuje dusík na podzim tak, jak uvádí studie s tím rozdílem, že na podzim je aplikována dávka nižší než 30 kg N/ha. V následujících hnojeních se doporučuje dávka 30-60 kg N/ha. Výše dávky se stanovuje dle stavu porostu a klimatických podmínek. Jako vhodná hnojiva pro regenerační hnojení se uvádí LAV nebo DAM 390 (Míša 2001). Opět můžeme konstatovat, že zemědělský podnik volil doporučená hnojiva.

Vstupy dusíku k pšenici ozimé v této práci byly 126-141 kg N/ha v roce 2019. Byla aplikována následující hnojiva: DAM 390, LAD a NPK 15-15-15. V roce 2020 bylo aplikováno k pšenici ozimé 109 kg N/ha. Byla použita tato hnojiva: DAM 390, NPK S 8-19-29-3,5 a LV. V obou sledovaných letech byla aplikována hnojiva před setím nebo při setí. Černý et al. (2020) uvádějí, že se hnojení pšenice ozimé na podzim většinou vynechává, z důvodu malého odběru pšenice ozimou, kdy odběr nově založeného porostu pšenice ozimé nepřesahuje 30 kg N/ha. Škarpa et al. (2016) uvádějí, že je možné hnojit ozimou pšenici na podzim v případě pozdě setých porostů. Celková dávka aplikovaného dusíku k pšenici ozimé se doporučuje 180 kg N/ha. Při porovnání s hnojením pšenice ozimé v zemědělském podniku je vidět, že bylo hnojeno méně o 39 až 71 kg N/ha. U pšenice ozimé nižší dávka aplikovaného dusíku na některých sledovaných půdních blocích v roce 2019 mohla snížit výnosy. Naopak v roce 2020 byly výnosy pšenice ozimé nadprůměrné. Snížená dávka aplikovaného dusíku a nadprůměrný výnos mohly snížit obsah NL (11,7 %) v zrna ozimé pšenice. Růžek et al. (2013) uvádějí, že pozdní přihnojení ozimé pšenice (konec sloupkování a metání) nezvyšuje hmotnost zrn, ale vytváří podmínky pro zvýšení obsahu dusíkatých látek v zrna. Jako vhodné hnojivo pro pozdní přihnojení uvádějí roztok močoviny, který má koncentraci do 13 %. Roztok močoviny je rostlinou přijímán přes listy a za vhodných podmínek může využití dusíku hnojiva dosahovat 80 %. Aplikace roztoku močoviny není vhodná za teplého, slunečného a větrného počasí, kdy se voda z roztoku na listech rychle odpařuje, močovina krystalizuje a vzniklé krystalky padají na povrch půdy a tím se snižuje využití dusíku hnojiva pod 40 %. Zemědělský podnik v technologii hnojení nevyužívá kvalitativní hnojení, a to může být důvodem proč nedosahují optimálních obsahů NL v zrna. Růžek et al. (2013) upozorňují na možné riziko popálení špiček praporcových listů při kvalitativním hnojení.

V praporcových listech může být obsaženo 30 i více kg N/ha a popálením listů bychom omezili transport již přijatého dusíku do zrna.

Zemědělský podnik využil v roce 2019 pro regenerační hnojení LAD v dávce 27-40 kg N/ha. Jako produkční hnojivo byl využit DAM 390 v dávce 82-86 kg N/ha. V roce 2020 bylo hnojivo LAD nahrazeno hnojivem LAV. Škarpa et al. (2016) ve svých pokusech dodali při regeneračním hnojení 60 kg N/ha (LAD) a pro produkční hnojení byla využita dělená dávka hnojení (40 kg N/ha LAD a 40 kg N/ha DAM 390).

Vstupy dusíku k ječmenu jarnímu v této práci byly 44-55 kg N/ha v roce 2019, kdy byla aplikována následující hnojiva: NP 14-34 a LAD. V roce 2020 se dodávaly dávky 29-37 kg N/ha. Byla použita následující hnojiva: NP 14-34 a LV. Černý et al. (2018) uvádějí, že pro výnos 5 t/ha ječmene jarního je potřeba aplikovat 110 kg N/ha. Zemědělský podnik aplikoval k ječmenu jarnímu dávky od 29 do 55 kg N/ha a dosahoval výnosů 5 až 6,5 t/ha. Nízké dávky aplikovaného dusíku byly aplikovány, protože předplodina pro ječmen jarní byla silážní kukuřice hnojená organickými hnojivy. To mohlo být důvodem pro vysoký obsah NL v zrně. Vysvětlení uvádějí Černý et al. (2018). Silážní kukuřice hnojená organickými hnojivy byla předplodinou pro ječmen jarní, proto v půdě mohl zůstat reziduální organický dusík, který se uvolňuje až v období tvorby zrna. Proto je důležité ječmen jarní podpořit správnou výživou, aby byl schopen vytvářet plodné odnože, klasy a klásky. Černý et al. (2018) dále uvádějí, že větší podíl (60-80 %) ze stanovené dávky dusíku je aplikován v základním hnojení a hnojivo je potřeba zapravit do půdy. V zemědělském podniku byla aplikována základní dávka 14 kg N/ha. Zbývající dávka by měla být aplikována dle zkušeností agronoma. Zemědělský podnik aplikoval pro regenerační hnojení LV a LAD v dávkách 15 až 40 kg N/ha.

Důvodem snížení vstupů dusíku k ječmenu jarnímu v roce 2020 mohl být vysoký obsah dusíkatých látek v zrně v minulém roce, proto se snížily dávky dusíku z 55 kg N/ha na hodnoty od 29 do 37 kg N/ha.

Birch & Long (1990) uvádějí, že je koncentrace bílkovin v zrně nižší než 13 % při dávce 168-200 kg N/ha. Jednalo se o pokus, který probíhal na Queenslandské univerzitě v režimu zavlažování. Byly pěstovány odrůdy Grimmett, Galleon a Corvette. Naopak Weston et al. (1993) ve své studii uvádějí, že zvýšená koncentrace bílkovin se vyskytuje již při hnojení v dávkách pod 150 kg N/ha. Tento pokus byl realizován v aridních podmínkách Severní Dakoty. Výsledky této práce ukazují, že dusíkaté látky překračují hranice optimálních hodnot i při nízkých dávkách dusíku, jako jsou dávky kolem 50 kg N/ha. Nutno však podotknout, že jako předplodina pro ječmen jarní byla silážní kukuřice hnojená organickými hnojivy. To znamená, že na obsah NL v zrně ječmene jarního nemá vliv pouze aplikovaný dusík.

Vstupy dusíku k řepce ozimé v této práci byly 252-256 kg N/ha v roce 2019 a aplikovala se následující hnojiva: hnůj, DAM 390, LAS a Eurofertil 49 NP 3-22-24-0,15. V roce 2020 bylo hnojeno 228-248 kg N/ha, kdy byla aplikována tato hnojiva: hnůj, DAM 390, DASA a Eurofertil 49 NP 3-22-24-0,15. Černý et al. (2018) uvádějí, že řepka ozimá reaguje na hnojení dobře vyžralým chlévským hnojem v dávce 20-30 t/ha (lepší růst a vyšší výnos). Zemědělský podnik aplikoval k ozimé řepce na sledované půdní bloky 15-35 t/ha hnoje. Vyšší dávka hnoje v roce 2019 neměla pozitivní přínos pro zvýšení výnosu. Je potřeba dodat, že nižší výnos v roce 2019 mohl zapříčinit vliv ročníku, kdy byly zaznamenávány nižší výnosy

a byl nižší úhrn srážek (Graf 4). Černý et al. (2018) upozorňují na zapravování aplikovaného hnoje, které musí být co nejdříve po aplikaci, jelikož již po osmi hodinách, co aplikovaný hnůj zůstává na povrchu půdního bloku, ztrácí 28 kg N/ha při dávce 25 t/ha a teplotě vzduchu 20 °C. Po 24 hodinách ztráta narůstá na 38 kg N/ha, což není zanedbatelné množství. Černý et al. (2016) uvádějí, že při jarním hnojení řepky ozimé dusíkem je potřeba respektovat tyto faktory: průběh počasí (množství srážek, teplota a teplota půdy), stav porostů, půdní vlastnosti a druhy aplikovaného hnojiva. Pro výnosy 4-5 t/ha by celková dávka hnojiv měla činit alespoň 200-250 kg N/ha. Je možné aplikovat široké spektrum hnojiv (DASA, LAV, LV, SA, močovina), ovšem každé hnojivo má své podmínky, při kterých je rostlinou vhodně využito. Běžně jsou pro jarní hnojení řepky používána hnojiva LAV a LAD. Zemědělský podnik pro jarní hnojení volil jako první hnojení po zimě LAS a DASA v dávce 72-76 kg N/ha. DAM 390 byl aplikován jako produkční hnojení v dělené dávce 78 a 39 kg N/ha.

Vstupy dusíku k silážní kukuřici v této práci byly 176-211 kg N/ha v roce 2019, kdy byla aplikována tyto hnojiva: hnůj, kejda a močovina. V roce 2020 byly vstupy dusíku k silážní kukuřici 195 kg N/ha, kdy byly využity následující hnojiva: hnůj a močovina. Na sledovaných půdních blocích nebyl zaznamenán rozdíl ve výnosu, i přes to, že v roce 2019 byla na půdní bloky 19 a 37 aplikována dávka dusíku pouze v organických hnojivech (hnůj + kejda). Ostatní sledované půdní bloky byly hnojeny na podzim hnojem (60-80 kg N/ha) a na jaře před setím močovinou (115 kg N/ha). Balík et al. (2001) uvádějí, že je pro přihnojení kukuřice vhodná kejda. Podle úrovně organického hnojení se dávky minerálních hnojiv pohybují od 80 do 200 kg N/ha.

Na produkci plodin se nepodílí pouze dusíkatá hnojiva, ale produkci zcela významně ovlivňuje počasí. Výsledky diplomové práce dokládají, že u všech sledovaných plodin, kromě silážní kukuřice byla v roce 2020 aplikována nižší dávka čistého dusíku, a přitom byly výnosy v roce 2020 u všech plodin vyšší. Důvodem mohl být mimo jiné i rozdílný úhrn srážek v letech 2019 a 2020, kdy v roce 2020 spadlo 639 mm, zatímco v roce 2019 jen 496 mm. Svoji roli hrálo také rozložení srážek v jednotlivých měsících (Graf 4).

Vstupy dusíku ke sledovaným plodinám téměř na všech půdních blocích překročily dávku 100 kg N/ha. Je proto zapotřebí hnojení dusíkem správně využívat (Sainju 2017). To znamená volit správné termíny aplikace, vhodné dávky dusíku, vhodné formy dusíkatých hnojiv, vypočítávat bilanci dusíku atd. Omezení spojená s aplikováním dusíku upravuje Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., které vymezuje oblasti, ve kterých je hnojení zakázáno nebo je omezená dávka a období celoplošného zákazu hnojení dusíkatými hnojivy. Toto opatření je zavedeno proto, aby nedocházelo k poškozování životního prostředí např. vyplavováním nitrátů do spodních vod, těkání amoniaku do atmosféry a dalším ztrátám (Sainju 2017).

Na sledovaných půdních blocích převažuje kyselější pH (Tabulka XXV). Tento fakt je potřeba zohlednit při výběru hnojiv, jelikož Vaněk et al. (2016) uvádějí, že v kyselějších oblastech rostlina spíše přijímá nitrátový dusík, v neutrálním až alkalickém prostředí je příjem vyrovnaný, nebo převažuje příjem amonného dusíku

Z výsledků této práce je patrné, že organická hnojiva byla dodávána pouze k řepce ozimé a silážní kukuřici Dle Manning et al (2001) je dusík dodáván častěji v minerálních hnojivech než ve hnojivech organických, protože minerální hnojiva mají rychleji dostupný dusík

pro plodiny. V této diplomové práci se toto tvrzení potvrdilo, jelikož většina sledovaných půdních bloků byla hnojena pouze minerálními hnojivy.

Výsledky této práce dokládají snížené vstupy u ječmene jarního v obou letech sledování (viz Tabulka 11). Výsledky rozborů zrn ječmene jarního v roce 2019 ukázaly, že průměrný obsah NL činil 13,3 %, což je pro sladovnický ječmen příliš vysoká hodnota. Vysoké hodnoty NL mohly být způsobeny tím, že předplodinou pro ječmen jarní byla na všech sledovaných půdních blocích organicky hnojená silážní kukuřice. Na skutečnost, že je ječmen jarní citlivější na hnojení dusíkem, než ostatní plodiny upozorňuje Sainju et al. (2019).

Mezi vstupy ke všem sledovaným plodinám by se mohl řadit dusík z atmosférických srážek, který je stanovován na pozorovacích stanicích. Nejbližše hodnocenému podniku je stanice Horažďovice, kde bylo zjištěno, že se z atmosférických srážek dostane 11,6 kg N/rok (Hynšt et al 2018). Není to zanedbatelné množství, jelikož tato dávka dusíku by mohla zvýšit např. výnos pšenice ozimé o 0,05 t/ha.

7.2 Bilance dusíku u sledovaných plodin

V této práci byla bilance dusíku vypočtena dle postupů, které stanovuje Nařízení vlády č. 277/2020 Sb. Nařízením vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění pozdějších předpisů. To znamená, že za vstup dusíku byl považován pouze dusík aplikovaný v hnojivech nebo dusík od předplodiny, která se řadí do skupiny dusík vázajících plodin. Do výstupů byly započteny odběry dusíku zrnem a slámou. Bilanční rovnice měla následující podobu: Bilance dusíku (kg N/ha) = vstupy dusíku (kg N/ha) - výstupy dusíku (kg N/ha). Mnohé studie v bilancích dusíku počítají mezi vstupy např. biologickou fixací dusíku, dusík dodaný osivem a sadbou a dusík dodaný atmosférickými srážkami nebo závlahovou vodou. Do výstupů dusíku je počítáno se ztrátami dusíku, jako jsou volatilizace, denitrifikace, vyplavování dusičnanů, povrchový odtok dusíku a úbytek dusíku erozí (Stoorvogel & Smaling 1998; Balík et al. 2012; Sainju 2017). Pro tuto práci byla zvolena jednodušší varianta výpočtu bilance dusíku, jelikož bylo dostupné omezené množství vstupních údajů.

U některých půdních bloků (obilniny) vycházela výrazně záporná bilance dusíku (Graf 6, 9, 14). Jednou z příčin bylo to, že výpočet bilance dusíku dle Nařízení vlády č. 277/2020 Sb. počítá s dodaným dusíkem z organických hnojiv pouze pro plodinu, ke které byla organická hnojiva aplikována. I když je známo, že aplikovaný organický dusík je přístupný pro rostliny i v následujících letech (Černý et al. 2013).

Záporná bilance dusíku u ječmene ozimého mohla vznikat tím, že na sledovaných půdních blocích byla odvezena sláma a výnos byl vyšší (7,1-9 t/ha) než očekávaný výnos, pro který byla dávka aplikovaného dusíku volena.

Bilance dusíku u pšenice ozimé nabývala vysokých záporných hodnot z toho důvodu, že odběry dusíku překračovaly dávku aplikovaného dusíku (viz. Tabulka 9 a 10) a ze sledovaných půdních bloků byla odvezena sláma.

Dle Sainju (2017) se mezi vstupy dusíku počítá veškeré hnojení organickými i minerálními hnojivy, symbiotická fixace dusíku, vázaný vzdušný dusík, závlahová voda,

dusík dodaný s osivem a nesymbiotická fixace dusíku. V této práci bylo za vstupy dusíku považováno pouze hnojení minerálními a organickými hnojivy, jelikož nebyly k dispozici ostatní parametry a do výpočtů by musely být započítány pouze odhadované hodnoty. Dalo by se uvažovat nad tím, zda absence těchto parametrů neovlivní konečnou bilanci dusíku. Samozřejmě ovlivní, ale ne tak zásadním způsobem, jako by bilanci dusíku ovlivnila absence hodnot hnojení minerálními a organickými hnojivy, jelikož organická a minerální hnojiva se pohybují v desítkách až stovkách kilogramů, zatímco nesymbiotická fixace dusíku, dusík z atmosférických srážek a dusík dodaný osivem se pohybuje v jednotkách kilogramů.

Pěstování dusík vázající plodiny v osevním sledu můžeme považovat za výhodu i nevýhodu. V této práci byla pěstována dusík vázající předplodina na čtyřech půdních blocích v roce 2019 a na jediném půdním bloku v roce 2020. V roce 2019 dosahovala bilance dusíku na půdním bloku 27 hodnoty + 80 kg N/ha. Což je v porovnání s ostatními půdními bloky nadprůměrné číslo (Graf 9). Můžeme říct, že to mohlo být vlivem nízkého výnosu a započteným dusíkem od předplodiny. Balík et al. (2012) uvádějí, že je vhodné zařazovat do osevního postupu dusík vázající plodiny, které po sklizni zanechávají v půdě dusík, který může využít následující meziplodina nebo plodina hlavní. Navázaný vzdušný dusík může být výhodou z důvodu ušetření nákladů na hnojivech, ale také nevýhodou, jelikož není pevně stanovena hodnota dusíku, která se v půdě nachází po skončení vegetace dusík vázající předplodiny.

Výsledky bilancí dusíku na jednotlivých půdních blocích dosahovaly širokého rozmezí hodnot u některých plodin. Například bilance dusíku u pšenice ozimé vycházela - 98 kg N/ha, ale také + 80 kg N/ha (Graf 9). Stoorvogel & Smaling (1998) uvádějí, že v důsledku značné prostorové a časové variability mohou vznikat chybné výsledky dusíkové bilance, proto je vhodné vypočítávat bilanci dusíku z dlouhodobého hlediska (5 let a více). Zmiňovaná variabilita byla výsledky potvrzena a lze říct, že pro reprezentativní bilanci dusíku na jednotlivých půdních blocích by bylo potřeba dlouhodobějšího sledování. Ovšem je třeba podotknout, že cílem diplomové práce bylo porovnat odlišnou předplodinovou hodnotu sledovaných plodin ve vztahu k bilanci dusíku, a ta byla výsledky práce potvrzena.

Jak již bylo zmíněno mezi jednotlivými plodinami vznikají obrovské rozdíly v bilanci dusíku. Proto bilanci dusíku z jedné sezóny nelze považovat za vypovídající. Výsledky bilance dusíku za jeden rok nám, ale poukazují na to, jak jednotlivé plodiny mohou ovlivňovat např. bilanci dusíku vypočítávanou za osevní postup.

Balík et al. (2012) uvádějí, že výsledkem bilance dusíku může být deficit dusíku v systému a dochází k jeho vyčerpávání nebo přebytek dusíku, kdy nastává obohacení systému. Dle výsledků obiloviny výrazně odčerpávají zásobní dusík z půdy (Graf 6, 9, 14), a naopak řepka ozimá zanechává velké množství dusíku na pozemku (Graf 19). Pro silážní kukuřici vycházela bilance dusíku neutrálně až na některé výjimky (Graf 22).

Výsledky této práce se ztotožňují s tvrzením Sainju et al. (2016), kteří uvádějí, že při zapravování rostlinných zbytků po sklizni je dusík více vrácen do půdy, když je v osevním sledu zařazena řepka a luskovina. Výsledky této práce dokládají, že bilance dusíku řepky vycházela i přes 100 kg N/ha (Graf 19). Řepka ozimá vykazovala kladnou bilanci dusíku, jelikož byla hnojena organickými i minerálními hnojivy. Řepka ozimá svým výnosem neodebrala množství dusíku, které by odpovídalo celkové dávce aplikovaného dusíku, a po sklizni řepky ozimé obvykle zůstávají na půdním bloku posklizňové zbytky, což znamená, že je odebráno méně dusíku z půdního bloku.

Nelze však předchozí tvrzení chápat, tak že by se řepka ozimá a luskoviny neměly zařazovat do osevních sledů. Sainju et al. (2016) publikovali výsledek studie, který ukázal na vhodnost zařazování luskovin a olejnin do osevních sledů, z důvodu vyšší produktivity a možnosti snižování hnojení dusíkem, ve srovnání s osevními sledy zahrnující výhradně obilniny. V této situaci, která dnes panuje ve světě je možné, že se v následujících letech budou zvyšovat plochy s plodinami vázající vzdušný dusík, jelikož se bude jednat o levnější variantu „hnojení“ půdy.

Na půdních blocích 7 (2019) a 29 (2020) byl jako předplodina pro pšenici ozimou hrách setý. Graf 9 dokládá, že půdní bloky 7 a 29 měly v porovnání s ostatními půdními bloky podobnou nebo výrazně kladnější bilanci dusíku. Tento rozdíl mohl být způsobený, tím že luskoviny poutají vzdušný dusík a poutají větší množství, než je porost schopný využít, tudíž v půdě zůstává přebytečný dusík. U luskovin se většinou také neodváží sláma z pozemku, a proto dusík zůstává na pozemku i ve formě posklizňových zbytků (Sainju et al. 2016).

Výsledky této práce poukazují na vhodnost stálého vedení bilance na jednotlivých půdních blocích, jelikož můžeme bilanci dusíku vhodně využít pro zvýšení produkce plodin či k úsporám dusíkatých hnojiv. Vedení bilance dusíku jsou nakloněni Sainju et al. (2016), kteří zjistili, že reziduální a potenciálně mineralizovatelný dusík v půdě může přispět k přihnojení plodin během vegetace.

Mikanová & Šimon (2013) uvádějí, že *Azotobacter*, což je mikroorganismus poutající vzdušný dusík, se vyskytuje především v orných půdách s neutrálním pH. Tabulka XXV zobrazuje pH sledovaných půdních bloků. Můžeme konstatovat, že veškeré půdní bloky mají pH spíše kyselějšího charakteru, a proto lze předpokládat, že na těchto půdních blocích bude poutání vzdušného dusíku na nízké úrovni.

Bilance dusíku nebyla doposud v zemědělském podniku vypočítávána, proto mohlo docházet na jednotlivých pozemcích ke zvolení nesprávného postupu hnojení. Balík et al. (2012) uvedli, že bilance živin je v zemědělství doposud málo využívaná v praxi. Je tomu tak, kvůli neznalosti možných používaných metod nebo kvůli pracovní náročnosti.

7.3 Využití dusíku plodinami

Pro výpočet využití aplikovaného dusíku byla využita metoda, která porovnává množství odebraného dusíku plodinou ku množství dusíku dodaného (Robertson & Vitousek 2009).

U sledovaných plodin byly zaznamenány hodnoty odběru dusíku od 92 (p. b. 28, pšenice ozimá, 2019) do 250 kg N/ha (p. b. 27, řepka ozimá, 2020). Janzen et al. (2003) uvádějí, že plodiny obvykle odebírají 50-60 % aplikovaného dusíku a nevyužitý dusík zůstává v půdě po sklizni plodin v podobě nitrátových a amonných iontů. Výsledky této práce dokládají, že na téměř všech půdních blocích přesahovala hodnota využití dusíku zmiňovaných 60 %. Výjimku tvořily půdní bloky 13 a 25, kde byla pěstována v roce 2019 řepka ozimá. Nelze však doložit tu skutečnost, že využitý dusík pocházel pouze z aplikovaného dusíku.

Vysoké hodnoty využití dusíku u ječmene ozimého, které přesáhly 100 %, lze vysvětlit tím, že v obou letech poskytl ječmen ozimý na všech sledovaných půdních blocích výnosy (7,1-9 t/ha), které odběrem dusíku překonaly vstupy dusíku (viz Tabulka 7).

Důvodem nižšího využití dusíku u pšenice ozimé byly v roce 2019 nižší výnosy (3,4-7 t/ha) a vyšší dávka aplikovaného dusíku (viz Tabulka 9 a 10).

V roce 2019 ječmen jarní dosahoval nižších hodnot využití dusíku a zrno mělo vysoký obsah dusíkatých látek. To mohlo být způsobeno suchem v období tvorby zrna (Graf 4), kdy se živiny, které mohly být v půdě přítomné nedostávaly ke kořenům a rostlina jej nemohla využívat. Problém dusíkatých látek mohl způsobit zředovací efekt, který vlivem nedostatku srážek neproběhl v dostatečné míře (Černý et al. 2018).

Ve výsledcích této práce se pohybovalo využití dusíku řepkou ozimou mezi 38 a 110 % (Graf 20). Jde o poměrně významný rozdíl, který mohl vzniknout vlivem průběhu počasí ve sledovaných letech. Schjoerring et al. (1995) publikovali výsledky výzkumu, který zjistil, že řepka ozimá dosahuje 30% využití aplikovaného dusíku. Při zavlažování porostů řepky se využití dusíku zvyšovalo až na 50 %. Lze tedy potvrdit, že rozdíl ve využití dusíku mezi sledovanými lety, kdy byla v zemědělském podniku pěstována řepka ozimá způsobil rozdílný úhrn srážek.

Využití dusíku řepkou ozimou je také ovlivňováno tím, kolik přijme a zabuduje rostlina řepky ozimé dusíku do své biomasy a jak je schopna ji dále během vegetace remobilizovat. Proto je důležité, aby řepka, ale i ostatní plodiny byly hnojeny menšími dávkami v častějších aplikacích (Rathke et al. 2006). Zemědělský podnik hnojl řepku ozimou na jaře hnojiv DASA a DAM 390. Dávky obou hnojiv jsou vhodně rozděleny na dvě, tak aby bylo zajištěno postupné dodávání dusíku. Díky tomu se využití dusíku řepkou ozimou pohybuje nad hodnotami, které uvádí studie Schjoerringa et al. (1995).

Využití dusíku silážní kukuřicí v zemědělském podniku v letech 2019 a 2020 dosahovalo hodnot od 81 do 101 %. Zemědělský podnik dodává celkovou dávku dusíku k silážní kukuřici před setím. Balík et al. (2001) uvádějí, že rozhodující část dusíku se aplikuje většinou před setím, ale vysoký příjem rostlinami je až v období intenzivního růstu, tedy asi za 8-10 týdnů. Snahy o přesun hnojení do vegetačního období jsou zcela oprávněně s ohledem na možné ztráty dusíku, ale běžné přihnojení dusíkatými hnojivy většinou vede k poškození porostu (popálení paždí listů). S ohledem na ekonomiku hnojení i ekologické aspekty je hnojení dusíkatými hnojivy nutné uskutečnit ve dvou termínech. Základním hnojením před setím dodáváme 70-120 kg N/ha. Výše dávky se řídí podle podmínek, kde je silážní kukuřice pěstována. V sušších podmínkách řepařské výrobní oblasti aplikujeme vyšší dávky, a naopak spodní hodnotu dávky aplikujeme v humidnějších oblastech na lehčích půdách. Před výsevem jsou pro aplikaci základní dávky vhodná hnojiva s amonným a amidickým dusíkem, jako jsou síran amonný, močovina a DAM 390. Pro docílení vyšších výnosů a vyššího využití dusíku hnojiv je potřeba přihnojovat porost během vegetace. Důležitá je technologie hnojení během vegetace, kdy je potřebné, aby aplikované hnojivo bylo ukládáno pod úroveň porostu. Takovou aplikaci lze zajistit pouze odstředivým rozmetadlem s možností připojení hadic (semenovodů). Při využití této technologie hnojení je vhodné využít hnojiva LAV a LV.

Varvel & Peterson (1990) upozorňují, že při nadměrném hnojení dusíkem se snižuje schopnost plodin efektivně využívat dusík. Z výsledků práce je patrné, že k žádné sledované plodině nebyly aplikovány enormní dávky. Nejvyšší dávky dusíku byly aplikovány k řepce ozimé, kde bylo možné zaznamenat průměrné využití dusíku v roce 2019 pouze 54 %.

Balík et al. (2012) uvádějí, že využití aplikovaného dusíku se pohybuje mezi 36 a 69 %. Výsledky ze zemědělského podniku dokazují, že téměř všechny sledované plodiny v obou letech překračují hranici 69 %.

Porovnání hodnot grafu 27 a 28 poukazuje na nižší efektivitu využití dusíku v roce 2019 oproti roku 2020. Cassman et al. (2002) uvádějí, že jedním z faktorů ovlivňující efektivitu využití dusíku je nevhodný vodní režim stanoviště. Graf 4, který zobrazuje průběh srážek během vegetačního období napovídá, že za nevhodný vodní režim stanoviště v roce 2019 nejspíš mohl nízký úhrn srážek.

Jak již bylo zmíněno plodiny lépe využívaly dusík v roce 2020. Kdy při nižší aplikované dávce dusíku bylo dosaženo vyšších výnosů. Bylo tak dosaženo cíle efektivního využití dusíku, které popisují Cassman et al. (2002). Ovšem je třeba podotknout, že rozdílovým faktorem efektivnosti využití dusíku mohl být průběh počasí, který z velké části zemědělskou produkci ovlivňuje.

Aby zemědělský podnik dosahoval ještě vyšších hodnot efektivnosti využití dusíku doporučují Robertson & Vitousek (2009) využívat půdní rozbor, které mohou zásadně upravit dávku dusíku, zejména pokud jsou v osevním sledu pěstovány luskoviny.

Zemědělský podnik hnojí plodiny hnojem a pěstuje luskoviny i jeteloviny, proto by bylo vhodné provádět půdní rozbor, aby byly zjištěné hodnoty dostupného dusíku na jednotlivých půdních blocích. Andraski & Bundy (2002) zjistili, že půdní rozbor na obsah dusíku v půdě, který je proveden před aplikací dusíku. Může snížit stanovenou dávku dusíku o 92 až 102 kg N/ha v podnicích, kde se aplikuje hnůj nebo jsou pěstovány luskoviny během předchozích tří let, aniž by došlo ke snížení očekávaného výnosu.

Výsledky práce dokládají rozdílné hodnoty průměrných hodnot PFP-N u sledovaných plodin. V roce 2019 dosahovaly obilniny průměrných hodnot od 44 do 114 kg/kg. Silážní kukuřice nabývala průměrné hodnoty 194 kg/kg. Ozimá řepka dosahovala průměrné hodnoty 13 kg/kg. V roce 2020 se vlivem vyšších výnosů hodnoty PFP-N u sledovaných plodin zvyšovaly. Černý et al. (2020b) uvádějí, že čím je hodnota PFP-N vyšší, tím vyšší je účinnost hnojení dusíkem. Pro jednotlivé plodiny jsou však hodnoty PFP-N odlišné. U obilnin se hodnoty PFP-N pohybují kolem 30-50 kg/kg. Pro každou plodinu lze optimální hodnotu PFP-N vypočítat. Na 1 t (1000 kg) zrna je potřeba hodnota odběrového normativu plodiny. Po vypočtení optimálních hodnot PFP-N (ječmen ozimý a pšenice ozimá 40 kg/kg, ječmen jarní 45 kg/kg, silážní kukuřice 200 kg/kg, řepka ozimá 20 kg/kg), lze konstatovat, že sledované plodiny, kromě řepky ozimé, přesahovaly v obou letech optimální hodnoty PFP-N a lze říct, že v roce 2020 byla vyšší účinnost hnojení dusíkem než v roce 2019 (Graf 29 a 30). Tyto hodnoty mohou být ovlivňovány zejména výnosem a dávkou aplikovaného dusíku. Na výnos mohly mít v roce 2019 negativní vliv srážky, kterých bylo méně než v roce 2020 (Graf 4).

7.4 Strategie hnojení v zemědělském podniku

Agronom zemědělského podniku (ústní sdělení 2022) uvádí, že se při volení dávky dusíku ke sledovaným plodinám řídil podle odhadovaného nebo předpokládaného výnosu (dle jeho zkušeností, v podniku je více než 15 let) a podle stavu porostu. Po špatných zkušenostech s NL v zrně (vysoké hodnoty za které byly uděleny srážky na výkupní ceně) jarních ječmenů

v roce 2019 začal zemědělský podnik provádět rozborů půdy (obsah mineralizovatelného dusíku) na plochách, kde byl pěstován ječmen jarní. Při hnojení organickými hnojivy je v celkových vstupech počítáno s dodávaným dusíkem organických hnojiv. Klír (2019) uvádí vhodný postup při stanovení plánu hnojení plodin dusíkem. Tento postup vypadá následovně. Potřeba N na tvorbu plánovaného výnosu je upravována vlivem stanoviště, obsahem využitelného N z dřívějšího organického hnojení, využitelností N z pozdní jarní mineralizace, požadavky na kvalitu produkce, využitelností N ze symbiotické fixace a vlivem předplodiny. Po těchto úpravách dojdeme k potřebné dávce hnojení. Tato dávka je korigována omezeními nitrátové směrnice a jinými omezeními (chráněné oblasti, dotace). Následuje rozhodování o rozdělení dávek, výběru hnojiv a způsobu aplikace. Toto rozhodování je ovlivněno obsahem minerálního N v půdě, vývojem počasí, podmínkami pro mineralizaci v půdě, obsahem N v rostlinách a stavem porostu (odnože, choroby aj.). Po provedení předchozích úprav dojdeme k upřesnění hnojení podle skutečných podmínek.

7.5 Návrh řešení pro optimalizaci hnojení dusíkem v zemědělském podniku

Na půdních blocích, kde je aplikována vyšší dávka organických hnojiv by se mohla vyšší dávka snížit a uspořené organická hnojiva využít pro vyhnojení většího množství půdních bloků. Tímto opatřením bychom dodali potřebnou organickou hmotu do větší výměry půdy, a tím si potenciálně zlepšili půdní úrodnost a vlastnosti. Zároveň bychom předešli možným ztrátám a vyššímu podílu reziduálního dusíku v půdě v následujících letech, který při absenci půdních rozborů není stanovován vůbec, anebo je jeho stanovení obtížné. Například když by dávka hnoje byla 25 t/ha na 20 ha velkém půdním bloku, tak při snížení dávky hnoje na 20 t/ha můžeme ušetřit až 100 t hnoje, který bychom mohli aplikovat na dalších 5 ha půdního bloku.

Možným řešením pro potenciální úspory v oblasti hnojení plodin jsou rozborů půd (obsah mineralizovatelného dusíku) a rostlin. Tyto rozborů odráží momentální obsah živin (dusíku) v půdě i rostlinách. Díky tomu můžeme regulovat přísun živin (dusíku). V podniku, ze kterého pochází údaje je problém s dusíkatými látkami v zrně zejména u sladovnického ječmene. Z údajů, které byly k dispozici byla vypočtena potenciální ztráta tržeb u ječmene jarního a pšenice ozimé, která byla způsobena nevhodnými jakostními parametry. Ječmen jarní měl v roce 2019 vysoké procento dusíkatých látek v zrně, a proto se snižovala výkupní cena. Z provedených výpočtů jsem došel k tomu, že ztráta z jedné tuny výnosu ječmene jarního činila necelých 1000 Kč. Podnik průměrně pěstuje 125 ha ječmene jarního, a to znamená že při průměrném výnosu 4 t/ha by celková ztráta činila 477 000 Kč. Tato poměrně vysoká suma naznačuje, že by bylo potřeba provádět rozborů a rostlin, aby bylo možné udržet dusíkaté látky ve stanovených limitech. Je možné oponovat tím, že prováděním vzorků vzrostou náklady. Tyto náklady by byly kompenzovány lepší efektivitou využití aplikovaného dusíku. Navíc rozborů půd a rostlin mohou snížit náklady vlivem snížených dávek hnojiv. Balík et al. (2012) uvádějí, že průměrný vzorek by měl zahrnout rozlohu 3-5 ha. Za laboratorní stanovení obsahu minerálního dusíku v roce 2020 zaplatil sledovaný podnik 390 Kč/vzorek. Jestliže má podnik cca 1600 ha, tak by jeho náklady

činily 124 800 Kč/rok. Ztráta pšenice ozimé nebyla, tak velká jako u ječmene jarního, ale není nezanedbatelná. Z množství prodané pšenice ozimé, u které byl proveden rozbor (601 t → při prům. výnosu 7 t/ha to odpovídá sklizeným 86 ha) byla vypočtena ztráta 150 000 Kč. V průměru byla ztráta 250 Kč/t. Balík et al. (2012) uvádí, že bilance dusíku by měla zajistit úsporu minerálních hnojiv. Zmiňované úspory byly vypočteny pro podnik, který hospodaří na 1000 ha. Při průměrné dávce minerálních hnojiv 100 kg N/ha bylo ušetřeno ročně 5000 kg N, což při průměrné ceně 28 Kč/kg N v roce 2012 představovalo úspory 140 000 Kč. V roce 2022 se již odhaduje průměrná cena 40 Kč/kg N, což by představovalo úspory 200 000 Kč. Balík et al. (2012) dále uvádějí, že při hodnocení obsahu minerálního dusíku na konci vegetace může v některých letech v půdě zůstat 50-150 kg N/ha. Pokud by byla zvýšena využitelnost tohoto reziduálního dusíku vhodnými agroekologickými postupy (využití meziplodin, využití dusíku následnou oz. plodinou apod.), lze snížit spotřebu přímé aplikace dusíkatých hnojiv k následné plodině. Ekonomický přínos pro podnik, který hospodaří na 1000 ha a průměrná dávka minerálních hnojiv činí 100 kg N/ha, je 180 000-460 000 Kč/rok. Je nezbytné připomenout, že tento přínos je variabilní s ohledem na průběh jednotlivých vegetačních období. Jestliže známe skutečnost, že podnik hospodaří na téměř 1600 ha, tak by se ekonomický přínos mohl pohybovat od 288 000 do 736 000 Kč/rok.

Dalším řešením by mohla být investice do rozmetadel průmyslových hnojiv s možností variabilního hnojení nebo investice do N-senzorů, které mohou aplikovat variabilní dávku dusíku podle aktuální potřeby rostlin. Jedná se o moderní technologie, které se využívají v rámci precizního zemědělství a do budoucna by se měly stát standardem v produkci plodin. Tyto technologie jsou poměrně drahé, ale investice na jejich pořízení se v následujících letech vyplatí, jelikož v dnešní době jsou ceny dusíkatých hnojiv na historických maximech. Proto je potřeba snažit se ušetřit každý kilogram hnojiva a zároveň maximalizovat využití dusíkatých hnojiv. Semrádová (2022) publikovala výsledky studie, která se zabývala variabilním hnojením. Studie dokázala prospěšnost využití variabilního hnojení u pšenice ozimé potravinářské, kdy díky variabilnímu hnojení bylo dosaženo o 9,57 % vyššího výnosu než na kontrolní variantě. Z ekonomického hlediska došlo k navýšení zisku o 4 940 Kč/ha. Kdybychom tedy přenesly tyto výsledky na sledovaný podnik, který pěstuje průměrně 90 ha/rok potravinářské pšenice ozimé, tak bychom přes jednoduchý výpočet došli k tomu, že zvýšení zisku by díky variabilnímu hnojení bylo 444 600 Kč.

8 Závěry a doporučení pro zemědělský podnik

- 1. Záporná bilance dusíku byla vypočtena u ječmene ozimého, ječmene jarního a pšenice ozimé v roce 2020. Průměrné hodnoty bilance dusíku se u ječmene ozimého pohybovaly od - 47 do - 65 kg N/ha, u ječmene jarního od - 54 do - 81 kg N/ha a u pšenice ozimé v roce 2020 (- 73 kg N/ha).
- 2. Kladná bilance dusíku byla vypočtena u řepky ozimé, silážní kukuřice a pšenice ozimé v roce 2019. Průměrné hodnoty bilance dusíku se u řepky ozimé pohybovaly od + 80 do + 117 kg N/ha, u silážní kukuřice od + 1 do + 18 kg N/ha a u pšenice ozimé v roce 2019 + 5 kg N/ha.
- 3. Využití dusíku nabývalo průměrných hodnot u ječmene ozimého 141 až 153 %, u ječmene jarního 213 až 319 %, u pšenice ozimé 109 až 173 %, u silážní kukuřice 91 až 100 % a u řepky ozimé 54 až 95 %.
- 4. Výsledky této práce potvrdily hypotézu H1. Pšenice ozimá, ječmen ozimý, ječmen jarní, silážní kukuřice a řepka ozimá se dle výnosu hlavního produktu vyznačují odlišnou efektivitou využití dusíku.
- 5. Výsledky této práce potvrdily hypotézu H2. Pšenice ozimá, ječmen ozimý, ječmen jarní, silážní kukuřice a řepka ozimá se vyznačují odlišnou předplodinovou hodnotou ve vztahu k bilanci dusíku.
- 6. Doporučení pro snížení dávek organických hnojiv na půdních blocích, kde byla organická hnojiva aplikována a kde vycházela bilance dusíku ve výrazně kladných hodnotách. Ušetřená organická hnojiva mohou být využita na více půdních bloků. Doporučení pro snížení dávky minerálních hnojiv na půdních blocích, kde vychází bilance dusíku výrazně kladná.
- 7. Vhodné využívání rozborů půd a rostlin za účelem ušetření na nákladech vydaných na hnojiva a také zlepšení jakostních ukazatelů ječmene jarního pro zvýšení výkupní ceny za účelem zvýšení tržeb.
- 8. Provádět pravidelný výpočet bilance dusíku na půdních blocích pro zjištění nedostatků ve výživě rostlin. Od letošního roku bude výpočet bilance dusíku povinností, ale pouze na úrovni podniku, která nedokáže odhalit problémy na jednotlivých půdních blocích.
- 9. Investice do moderních technologií (N senzory, N testery, rozmetadla hnojiv s funkcí variabilního hnojení) za účelem docílení preciznějšího hnojení rostlin. Úspora financí z ušetřených hnojiv by při správném využívání technologií měla během několika let investice splatit.
- 10. Změna osevního sledu, tak aby ječmen jarní nevycházel po silážní kukuřici, která je hnojena organickými hnojivy (kejda, hnůj), protože při hnojení ječmene jarního v následujícím roce nelze přesně zjistit, kolik bude dostupného dusíku v půdě pro ječmen jarní, pokud si neuděláme vzorky půdy.
- 11. Pokusit se zařazovat do osevního postupu meziplodiny, které jsou schopné vázat živiny v období, kdy není na půdním bloku hlavní plodina a dochází tak k jejich ztrátě.

9 Literatura

- Aase JK, Pikul LJ Jr. 1995. Crop and Soil Response to Long-Term Tillage Practices in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. **87**:652-656.
- Alley MM, Pridgen TH, Brann DE, Hammons JL, Mulford RL. 2009. Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech. Available from <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/56779/424-801.pdf?sequence=1>. (accessed March 2022).
- Andraski TW, Bundy LG. 2002. Using the presidedress soil nitrate test and organic nitrogen crediting to improve corn nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*. **94**:1411-1418.
- Balík J, Černý J, Tlustoš P. 2001. Úroda. ProfiPress s. r. o., Praha. Available from <https://uroda.cz/principy-hnojeni-kukurice/>. (accessed March 2022).
- Balík J, Černý J, Kulhánek M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita. Praha.
- Beegle DB, Kelling KA, Schmitt MA. Nitrogen from animal manures. *Nitrogen in agricultural systems*. **49**:823-881.
- Birch CJ, Long KE. 1990. Effect of nitrogen on the growth, yield and grain protein content of barley (*Hordeum vulgare*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*. **30**:237-242.
- Blake GR, Hartge KH. 1986. Bulk density. Pages 363-375 in Klute A, editor. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Soil Science of America.
- Bolan NS, Hedley MJ. 2003. Role of carbon, nitrogen and sulfur cycles in soil acidification. Pages 29-56 in Rengel Z, editor. *Handbook of Soil Acidity*. Marcek Dekker, Inc, New York.
- Bouchet AS, Laperche A, Bissuel-Belaygue C, Snowdon R, Nesi N, Stahl A. 2016. Nitrogen use efficiency in rapeseed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **36**:38.
- Bremer JM. 1996. Nitrogen-Total. Pages 1085-1121 in Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME, editors. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*. Soil Science Society of America, Inc.
- Cassman KG, Dobermann A, Walters DT. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. **31(2)**:132-140.
- Dalgaard T et al. 2012. Farm nitrogen balances in six European landscapes as an indicator for nitrogen losses and basis for improved management. *Biogosciences*. **9**:5303-5321.
- Černý J, Shejbalová Š, Kulhánek M, Vašák F. 2013. *Zemědělec*. ProfiPress s. r. o., Praha. Available from <https://zemedelec.cz/vyuziti-zivin-ze-statkovych-hnojiv-2/>. (accessed March 2022).
- Černý J, Balík J, Kovářik J, Kulhánek M. 2016. Hnojení ozimé řepky na jaře. *Agromanuál*. **11(3)**:86-88.
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O. 2018. Hnojení jarního ječmene. *Agromanuál*. **13(2)**:72-74
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O. 2018. Hnojení ozimé řepky před setím a na podzim. *Agromanuál*. **13(7)**:70-73.

- Černý J, Sedlár O, Kulhánek M, Balík J, Šiler D. 2020a. Hnojení ozimé pšenice dusíkem podle vývoje porostu a vědeckých poznatků. *Agromanuál*. **15(3)**:94-98.
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlár O. 2020b. Hnojení jarního ječmene dusíkem - co vše spolu může souviset a proč vždy hnojení „nefunguje“, jak si přejeme. *Agromanuál*. **15(2)**:98-100.
- Český statistický úřad. 2013. Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin - 2012. Česká republika. Available from <https://www.czso.cz/documents/10180/20543359/21021301.pdf/3a56744b-46e0-402b-9fe9-a807c396d45e?version=1.0>. (accessed April 2022).
- Eickhout B, Bouwman AP, Van Zeijts H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **116**:4-14.
- Fageria NK. 2002. Soil quality vs. environmentally based agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **33**:2301-2329
- Fageria NK, Baligar VC. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*. **88**:97-185.
- Foulkes MJ, Reynolds MP, Sylvester-Bradley R. 2009. Genetic improvement of grain crops: yield potential. *Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy*. 355-385.
- Hejnák V, Lippold H, Hnilička F. 1999. *Agris*. Česká zemědělská univerzita, Praha. Available from <http://www.agris.cz/clanek/106353>. (accessed March 2022).
- Hodge A, Robinson D, Fitter A. 2000. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen?. *Trends in Plant Science*. **5**:304-308.
- Hynšt J, Prchalová R, Klement V. 2018. Lyzimetrická sledování: Bilance a vyplavování živin během 30 let lyzimetrických sledování ÚKZÚZ (1986-2016). ÚKZÚZ. Brno.
- Janssen BH. 2011. Simple models and concepts as tools for the study of sustained soil productivity in long-term experiments. II. Crop nutrient equivalents, balanced supplies of available nutrients, and NPK triangles. *Plant Soil*. **339**:17-33.
- Janzen HH, Beauchemin KA, Bruinsma Y, Campbell CA, Desjardins RL, Ellert BH, Smith EG. 2003. The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. *Nutrient cycling in agroecosystems*. **67**:85-102.
- Keeney D, Olson RA. 1986. Sources of nitrate to ground water. *Critical Reviews in Environmental Control*. **16**:257-304.
- Kichey T, Hirel B, Heumez E, Dubois F, Le Gouis. 2007. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research*. **102**:22-32.
- Klír J. 2000. *Bilance rostlinných živin: Nutrient balances in agriculture*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha.
- Klír J. 2019. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha. Available from <https://www.kis-stredocesky.cz/attachments/Bilance-191031-2.pdf>. (accessed February 2022).
- Klír J. 2021. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha. Available from http://www.nitrat.cz/images/Bilance_v3_220206_RUGT_OH.xls. (accessed March 2022)

- Lassaletta L, Billen G, Grizzetti B, Anglade J, Garnier J. 2014. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*. **9**:105011
- Lord EI, Anthony SG, Goodlass G. 2002. Agricultural nitrogen balance and water quality in the UK. *Soil Use and Management*. **18**:363-369.
- Manning G, Fuller L, Eilers RG, Florinsky I. 2001. Soil moisture and nutrient variation within an undulating Manitoba landscape. *Canadian Journal of Soil Science*. **81**:449-458.
- Meisinger JJ, Hargrove WL, Mikkelsen RL, Williams JR, Benson VW. 1991. Effects of cover crops on groundwater quality. *Groundwater Impacts*. 57-68.
- Merbach W, Herbst F, Eissner H, Schmidt L, Deubel A. 2013. Influence of different long-term mineral organic fertilization on yield, nutrient balance and soil C and N contents of a sandy loess (Haplic Phaeozem) in middle Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*. **59**:1059-1071.
- Mikanová O, Šimon T. 2013. Alternativní výživa rostlin dusíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha.
- Miller AJ, Cramer MD. 2005. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil*. **274**:1-36.
- Ministerstvo zemědělství. 2012. Nařízení vlády č. 262 ze dne 27. 7. 2012 o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. Pages 3370-3424 in *Sbírka zákonů České republiky, 2012, částka 89*. Česká republika.
- Ministerstvo zemědělství. 2013. Vyhláška č. 377 ze dne 29. 11. 2013 o skladování a způsobu používání hnojiv. Pages 6694-6708 in *Sbírka zákonů České republiky, 2013, částka 149*. Česká republika.
- Ministerstvo zemědělství. 2020. Nařízení vlády č. 277 ze dne 19. 6. 2020, kterým se mění nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění pozdějších předpisů. Pages 2234-2320 in *Sbírka zákonů České republiky, 2020, částka 105*. Česká republika.
- Ministerstvo zemědělství. 2022. Nitrátová směrnice. Česká republika. Available from <https://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-vody/nitratova-smernice/>. (accessed April 2022).
- Míša P. 2001. Úroda. ProfiPress s. r. o., Praha. Available from <https://uroda.cz/zakladani-porostu-a-hnojeni-ozimeho-jecmene/>. (accessed March 2022).
- Moiser AR, Syers JK, Freney JR. 2004. Nitrogen Fertilizer: An Essential Component of Increased Food, Feed and Fiber Production. Pages 3-18 in Mosier AR, Syers JK, Freney JR, editors. *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Island Press, Washington.
- Motloch J. 2021. Agromanual.cz. Kurent s. r. o., České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/budoucnost-racionalni-vyzivy-rostlin-s-ohledem-na-zavadeni-eu-strategie-farm-to-fork> (accessed December 2021).
- Nelson KA, Motavalli PP, Nathan M. 2014. Nitrogen fertilizer sources and application timing affects wheat and inter-seeded red clover yields on claypan soils. *Agronomy*. **4**:497-513.

- Pang XP, Gupta SC, Moncrief JF, Rosen CJ, Cheng HH. 1998. Evaluation of Nitrate Leaching Potential in Minnesota Glacial Outwash Soils using CERES-Maize Model. *Journal of Environmental Quality*. **27**:75-85.
- Pathak H, Aggarwal PK, Roetter R, Kalra N, Bandyopadhyaya SK, Prasad S, Van Keulen H. 2003. Modeling the quantitative evaluation of soil nutrient supply, nutrient use efficiency, and fertilizer requirements of wheat in India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **65**:105-113.
- Pieri L, Ventura F, Vagnudelli M, Rossi P. 2011. Nitrogen balance in a hilly semi-agricultural watershed in Northern Italy. *Italian Journal of Agronomy* **6**:67-75.
- Phillips DA, DeJong TM. 1984. Dinitrogen fixation in leguminous crop plants. Pages 119-132 in Hauck RD, editor. *Nitrogen in crop production*. Soil Science Society of America, Inc.
- Ranjan R, Yadav R. 2019. Targeting nitrogen use efficiency for sustained production of cereal crops. *Journal of Plant Nutrition*. **42**:1086-1113.
- Rathke GW, Behrens T, Diepenbrock W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **117**:80-108
- Regmi AP, Ladha JK. 2006. Enhancing productivity of rice-wheat system through integrated crop management in the Eastern-Gangetic plains of South Asia. *Journal of Crop Improvement*. **15**:147-170.
- Robertson GP, Vitousek PM. 2009. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources*. **34**:97-125.
- Ross SM, Izaurralde RC, Janzen HH, Robertson JA, McGill WB. 2008. The nitrogen balance of three long-term agroecosystems on a boreal soil in western Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **127**:241-250.
- Růžek P, Kusá H, Vavera R. 2013. Pozdní přihnojení ozimé pšenice dusíkem po letošní zimě a pozdějším začátku jara. *Agromanuál*. **8(5)**:98-100.
- Sainju UM, Ghimire R, Pradhan GP. 2019. Nitrogen Fertilization I: Impact on Crop, Soil, and Environment. Pages 69-92 in Rigobelo EC, Pereira Serra A, editors. *Nitrogen fixation*. IntechOpen, London.
- Sainju UM, Lenssen AW, Allen BL, Stevens WB, Jabro JD. 2016. Nitrogen balance in response to dryland crop rotations and practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **233**:25-32.
- Sainju UM. 2017. Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *Methods X*. **4**:199-208.
- Sainju UM, Lenssen AW, Allen BL, Stevens WB, Jabro JD. 2017. Soil residual nitrogen under various crop rotations and cultural practices. *Journal of plant nutrition and soil science*. **180**:187-198.
- Semrádová M. 2022. *Agromanuál.cz*. Kurent s. r. o., České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/varistar-pripadova-studie-variabilni-aplikace-dusikatych-hnojiv>. (accessed March 2022)
- Schepers JS, Mosier AR. 1991. Accounting for Nitrogen in Nonequilibrium Soil-Crop Systems. Pages 125-138 in Follett RF, Keeney DR, Cruse RM, editors. *Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. Soil Science Society of America.

- Schjoerring JK, Bock JGH, Gammelvind L, Jensen CR, Mogensen VO. 1995. Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation. *Plant and Soil*. **177**:255-264.
- Schjoerring JK, Husted S, Mattsson M. 1998. Physiological parameters controlling plant-atmosphere ammonia exchange. *Atmospheric Environment*. **32**:491-498.
- Stanford G. 1982. Assessment of soil nitrogen availability. Pages 651-688 in Stevenson FJ, editor. *Nitrogen in agricultural soils*. Agronomy. Soil Science Society of America, Inc.
- Stevenson FJ. 1982. Origin and distribution of nitrogen in soil. *Soil Nitrogen*. **10**:1-42.
- Škarpa P, Ryant P, Antošovský J. 2016. Základní hnojení pšenice ozimé. *Agromanuál*. **11(8)**:58-60.
- Tůma I. 2015. *Mikrobiologie (pro zahradnické obory)*. Mendelova univerzita v Brně. Brno.
- Varvel GE, Peterson TA. 1990. Residual Soil Nitrogen as Affected by Continuous, Two-Year, and Four-Year Crop Rotation Systems. *Agronomy Journal*. **82**:958-962.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press s. r. o. Praha.
- Yadav MR, Kumar R, Parihar CM, Yadav RK, Jat SL, Ram H, Meena RK, Singh M, Birbal, Verma AP, Kumar U, Ghosh A, Jat ML. 2017. Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. *Agricultural Reviews*. **38**:29-40.
- Vostal J, Matousch O. 1988. *Bilance dusíku v zemědělství I. část - Aktivní složky*. Vysoká škola zemědělská Praha.
- Vostal J, Balík J, Tesař S. 1989. *Bilance dusíku v zemědělství II. část - Pasivní složky*. Vysoká škola zemědělská Praha.
- Wang Ch, Dannenmann M, Meier R, Butterbach-Bahl K. 2014. Inhibitory and side effects of acetylene (CH) and sodium chlorate (NaClO) on gross nitrification, gross ammonification and soil-atmosphere Exchange of NO and CH in acidic to neutral montane grassland soil. *European Journal of Soil Biology*. **65**:7-14.
- Weston DT, Horsley RD, Schwarz PB, Goos RJ. 1993. Nitrogen and Planting Date Effects on Low-Protein Spring Barley. *Agronomy Journal*. **85**:1170-1174.

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

ČSÚ - Český statistický úřad

DAM 390 - dusičnan amonný s močovinou

DASA - dusičnan amonný a síran amonný

Eurofertil 49 NP 3-22-24-0,15 - kombinované hnojivo (dusík, fosfor, síra, bór)

kg N/ha - kilogram dusíku na hektar

LAV - ledek amonný s vápencem

LAD - ledek amonný s dolomitem

LAS - ledek amonný se sírou

LV - ledek vápenatý

N - dusík

NL - dusíkaté látky

NP 14-34 - kombinované hnojivo (dusík, fosfor)

NPK 15-15-15 - kombinované hnojivo (dusík, fosfor, draslík)

NPK S 8-19-29-3,5 - kombinované hnojivo (dusík, fosfor, draslík, síra)

p. b. - půdní blok

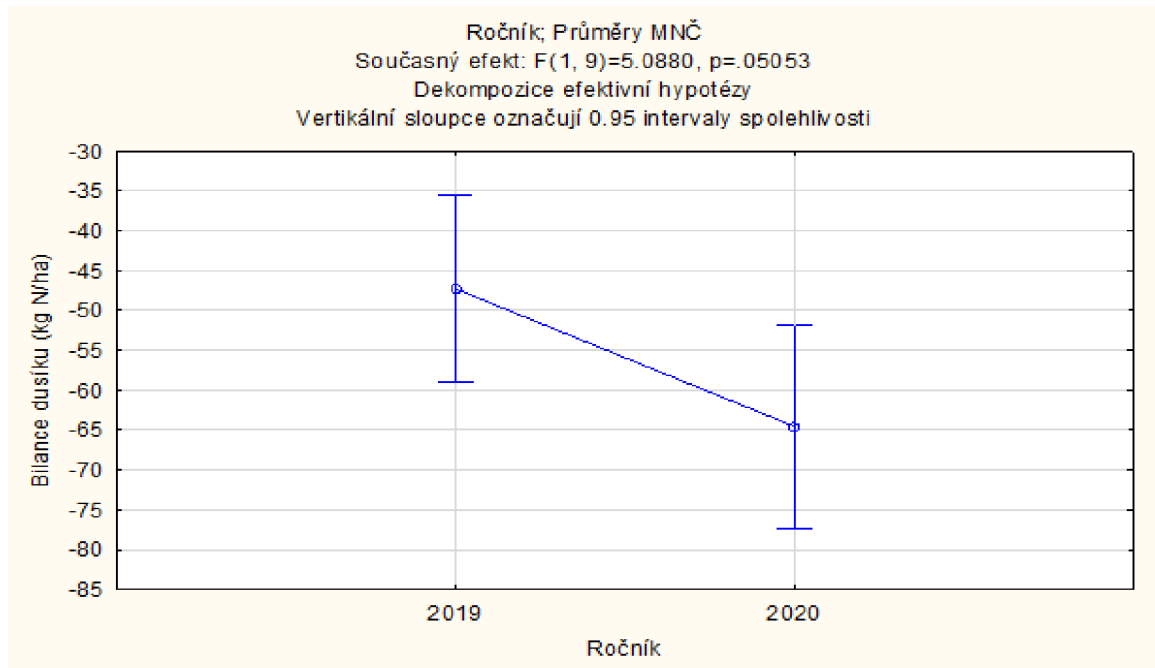
PPF-N - dílčí faktor využití aplikovaného dusíku

11 Samostatné přílohy

11.1 Statistická vyhodnocení

11.1.1 Statistická vyhodnocení pro ječmen ozimý

11.1.1.1 Bilance dusíku u ječmene ozimého

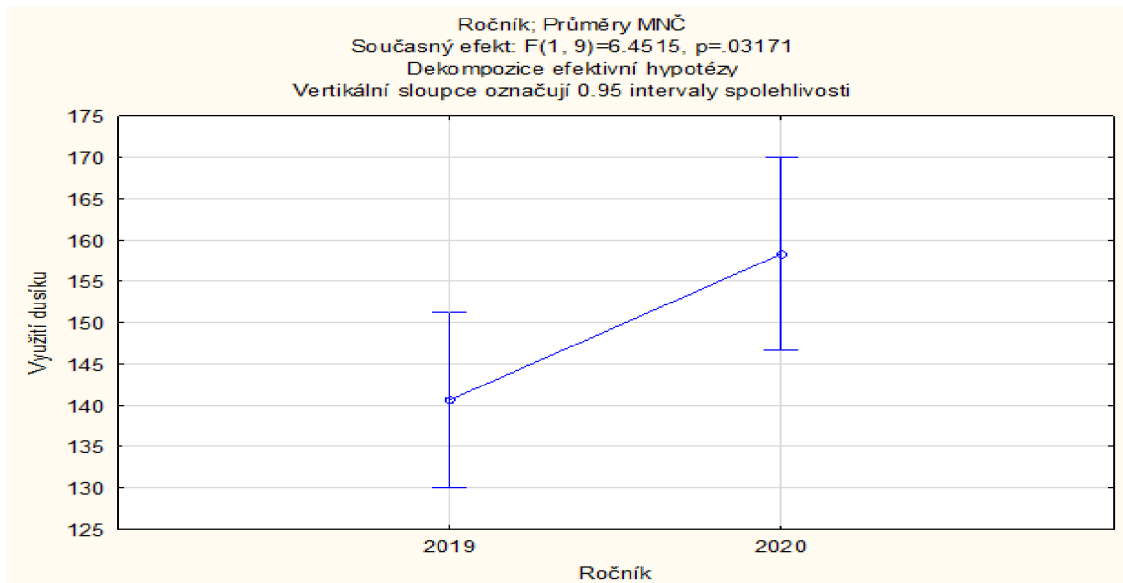


Graf I: Porovnání bilance dusíku u ječmene ozimého v letech 2019 a 2020

Tabulka I: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u ječmene ozimého v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka 13) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 159.36, sv = 9.0000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	-47.29	-64.53	0,050683
2	2020	0,050683		

11.1.1.2 Využití dusíku ječmenem ozimým

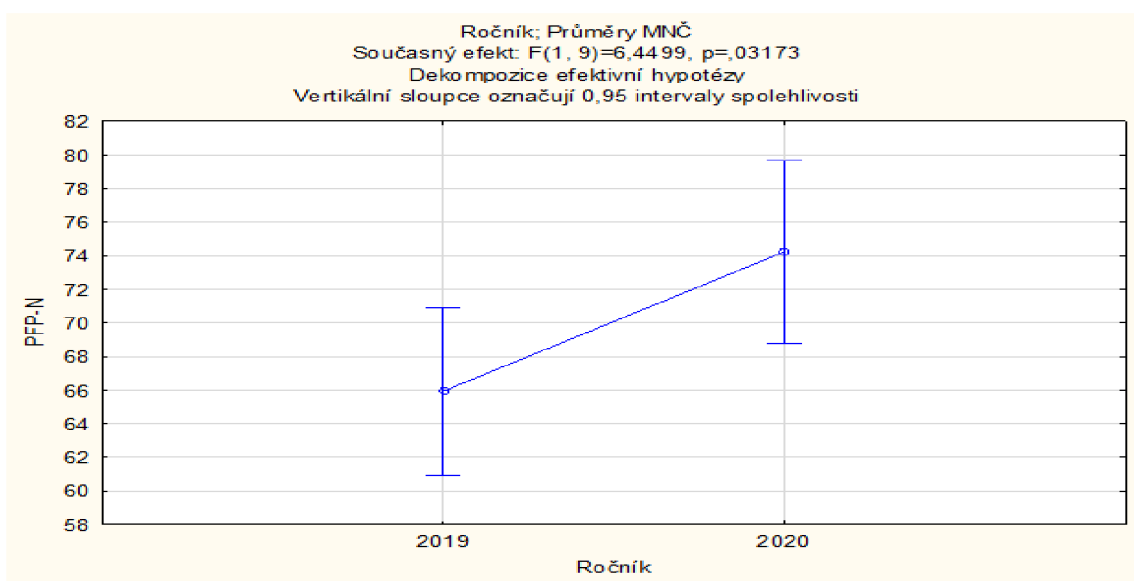


Graf II: Porovnání využití dusíku ječmenem ozimým v letech 2019 a 2020

Tabulka II: Statistické vyhodnocení využití dusíku ječmenem ozimým v letech 2019 a 2020

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (Tabulka61) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 132.66, sv = 9.0000	
	Ročník	{2}
1	2019	0,031867
2	2020	0,031867

11.1.1.3 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu ozimému



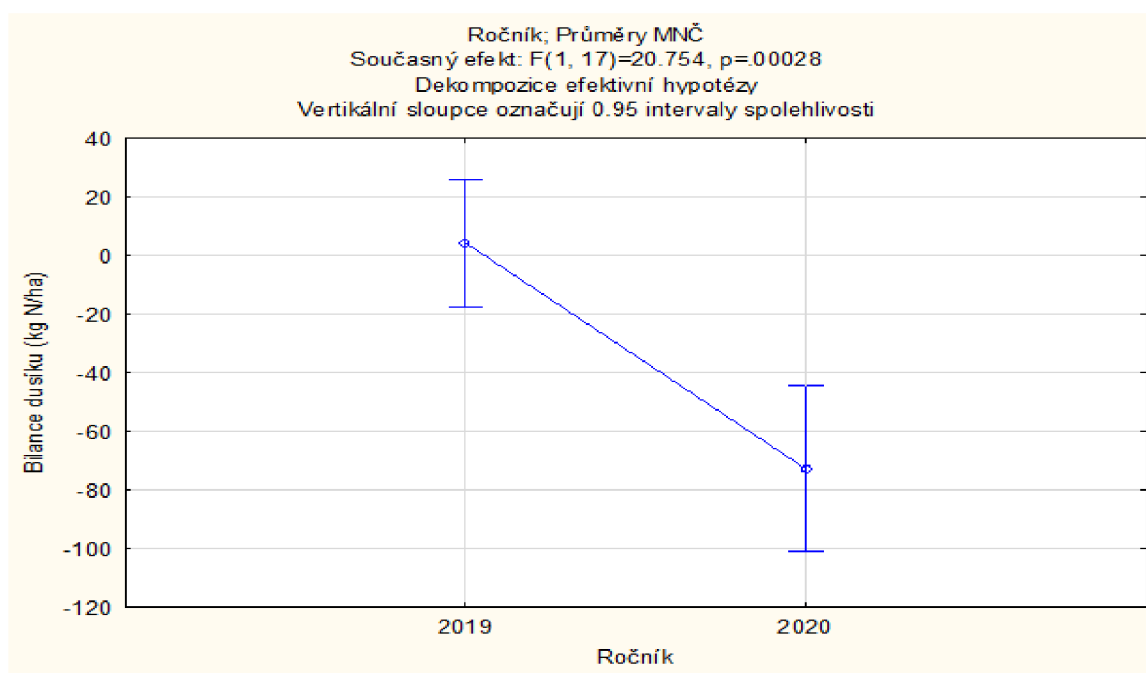
Graf III: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u ječmene ozimého v letech 2019 a 2020

Tabulka III: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u ječmene ozimého v letech 2019 a 2020

		Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka6) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 29,164, sv = 9,0000	
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}
1	2019	65,933	74,238
2	2020	0,031883	

11.1.2 Statistická vyhodnocení pro pšenici ozimou

11.1.2.1 Bilance dusíku u pšenice ozimé

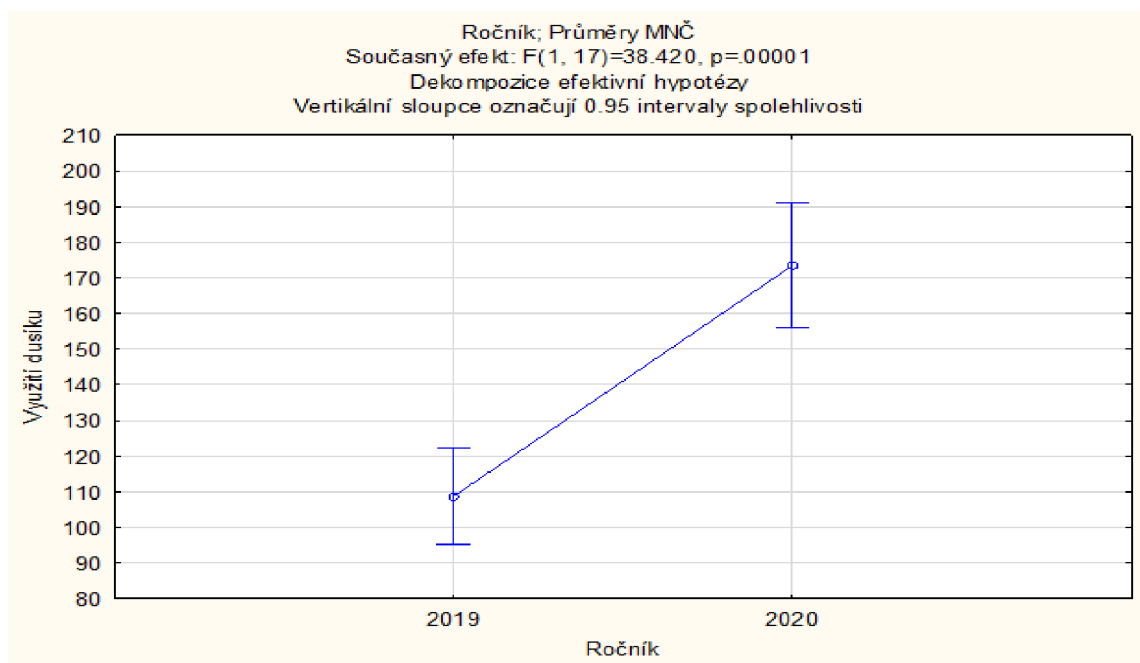


Graf IV: Porovnání bilance dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020

Tabulka IV: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020

		Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka19) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1272.2, sv = 17.000	
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}
1	2019	4.5105	-72.77
2	2020	0.000413	

11.1.2.2 Využití dusíku pšenice ozimou

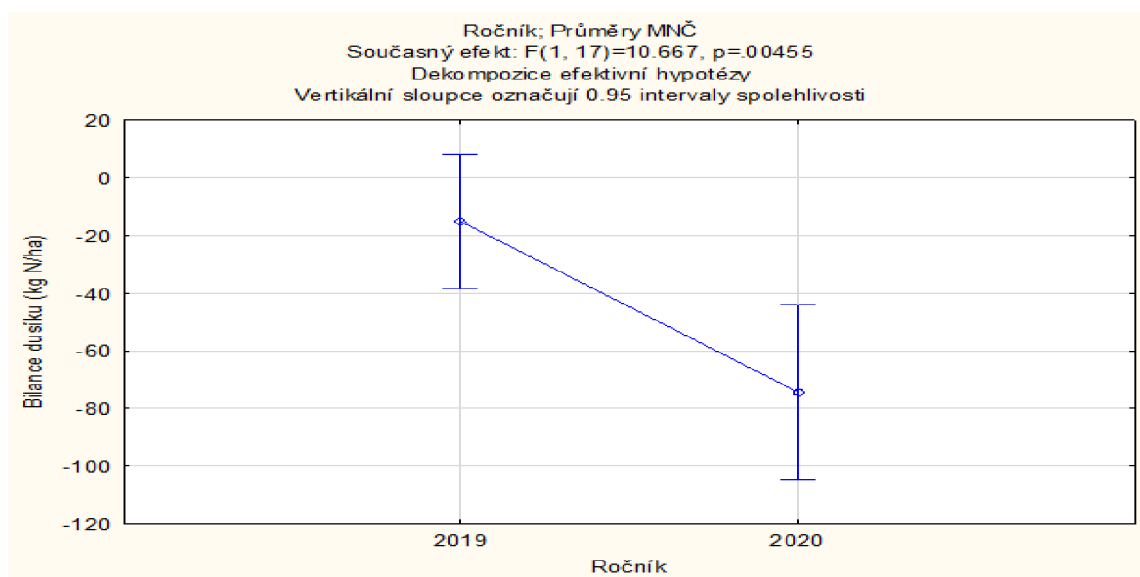


Graf V: Porovnání využití dusíku pšenice ozimou v letech 2019 a 2020

Tabulka V: Statistické vyhodnocení využití dusíku pšenice ozimou v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (Tabulka51) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 481.16, sv = 17.000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
		108.78	173.45	
1	2019		0.000158	
2	2020	0.000158		

11.1.2.3 Bilance dusíku u pšenice ozimé - rozbor zrn

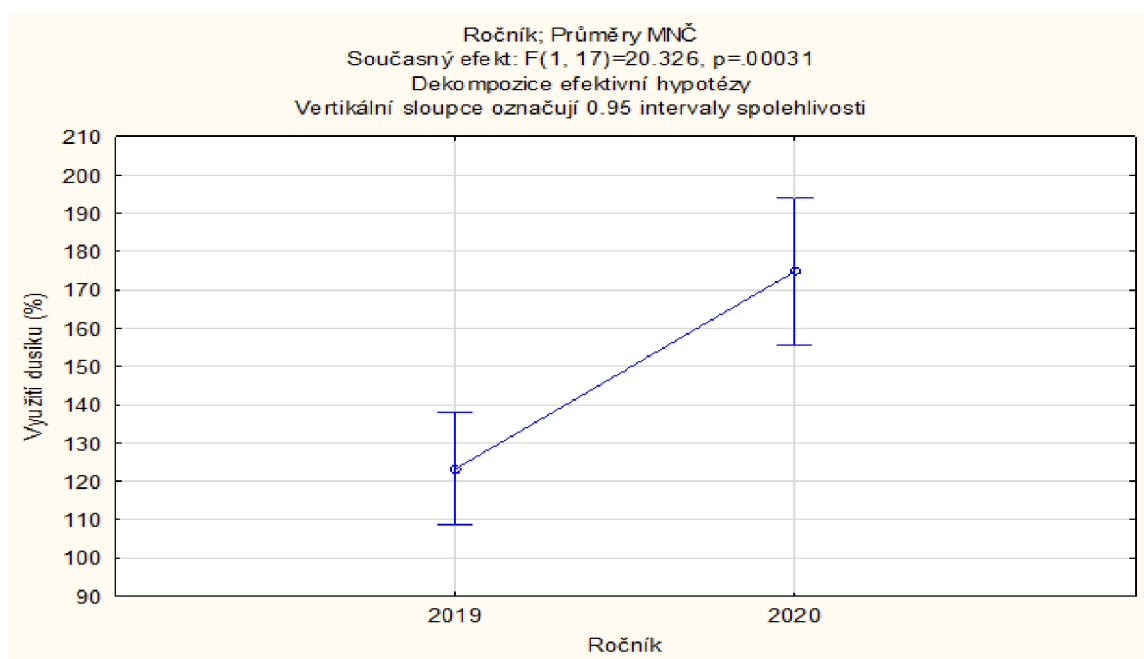


Graf VI: Porovnání bilance dusíku u pšenice ozimé (rozbor zrn) v letech 2019 a 2020

Tabulka VI: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u pšenice ozimé (rozbor zrn) v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka27) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1454.6, sv = 17.000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	-15.07	-74.31	0.004694
2	2020	0.004694		

11.1.2.4 Využití dusíku pšenicí ozimou - rozbor zrn

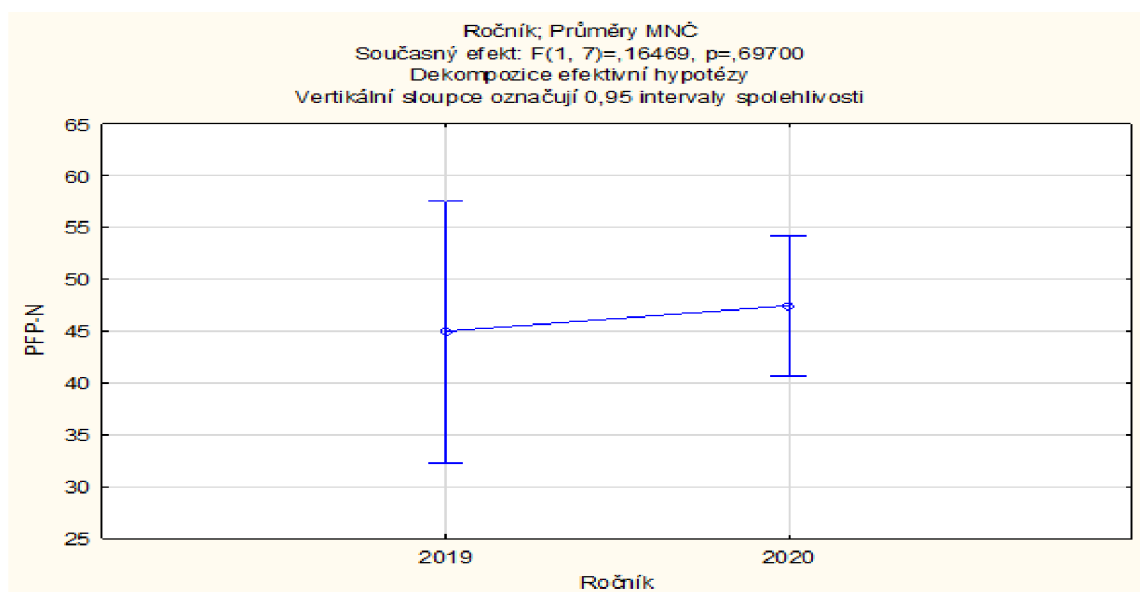


Graf VII: Porovnání využití dusíku pšenicí ozimou (rozbor zrn) v letech 2019 a 2020

Tabulka VII: Statistické vyhodnocení využití dusíku pšenicí ozimou (rozbor zrn) v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (%) (Tabulka32) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 580.28, sv = 17.000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	123.21	174.86	0.000442
2	2020	0.000442		

11.1.2.5 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku u pšenice ozimé



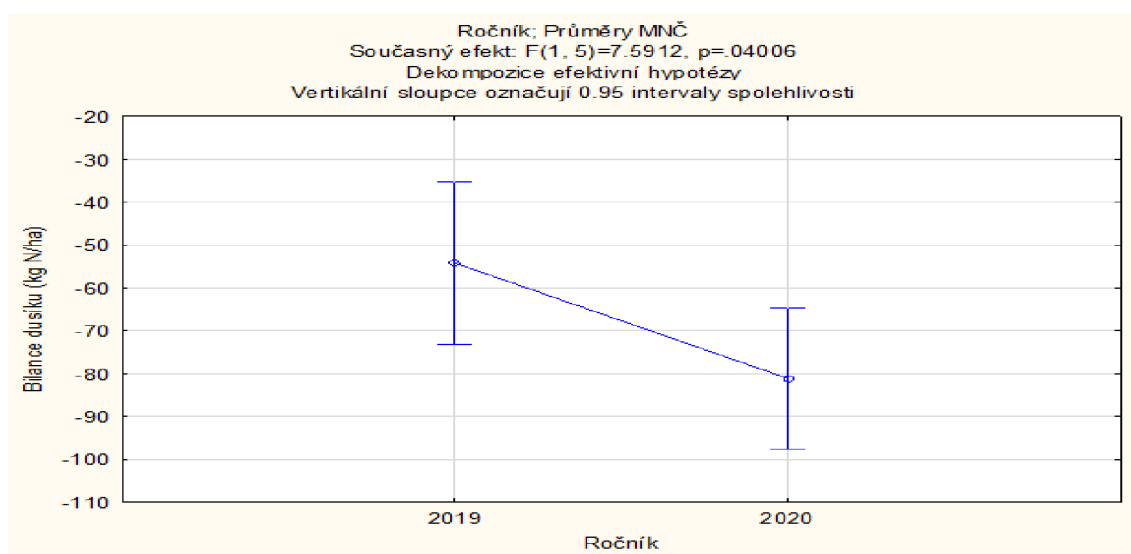
Graf VIII: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020

Tabulka VIII: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u pšenice ozimé v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 57,216, sv = 7,0000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	44,978	47,440	
2	2020	0,697162		0,697162

11.1.3 Statistická vyhodnocení pro ječmen jarní

11.1.3.1 Bilance dusíku u ječmene jarního

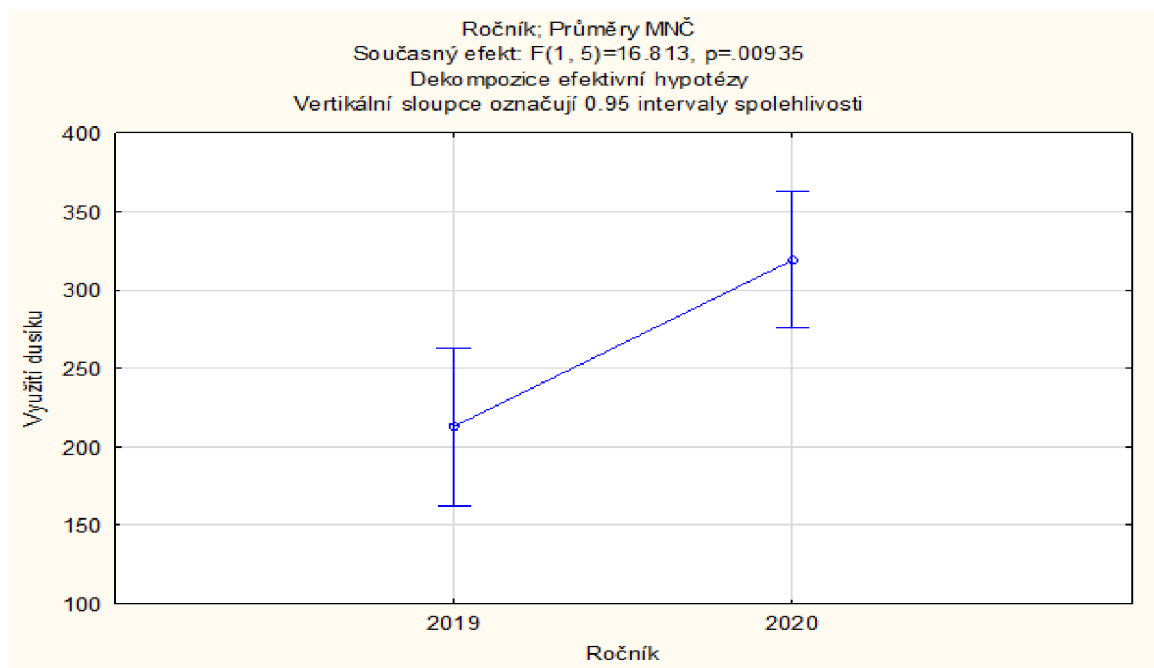


Graf IX: Porovnání bilance dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020

Tabulka IX: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka6) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 163.69, sv = 5.0000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	-54.17	-81.09	
2	2020	0.040247		0.040247

11.1.3.2 Využití dusíku ječmenem jarním

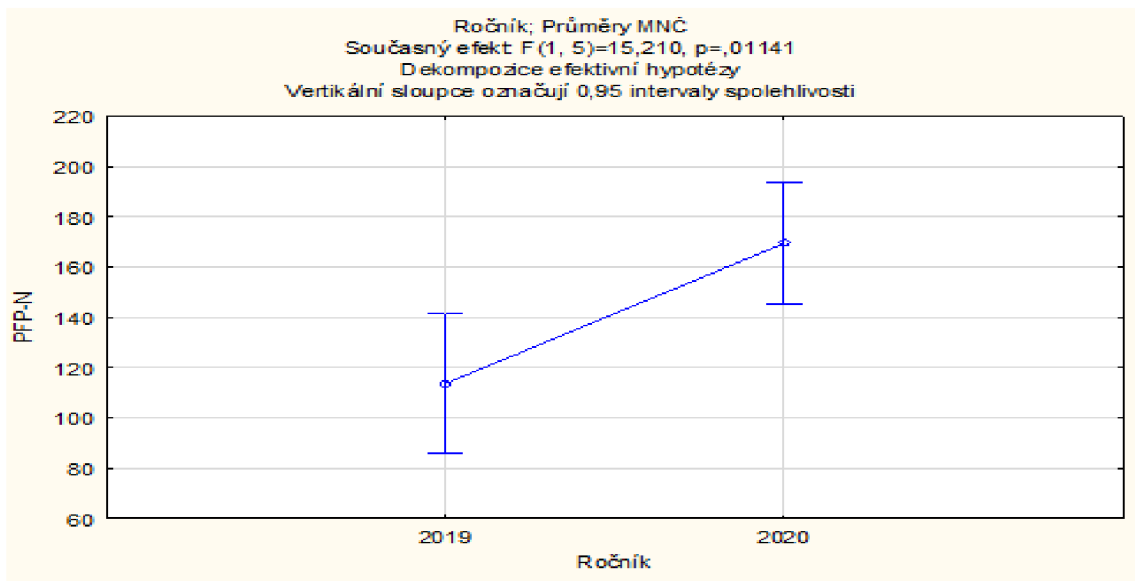


Graf X: Porovnání využití dusíku ječmenem jarním v letech 2019 a 2020

Tabulka X: Statistické vyhodnocení využití dusíku ječmenem jarním v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (Tabulka56) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1149.2, sv = 5.0000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	212.97	319.14	
2	2020	0.009527		0.009527

11.1.3.3 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku u ječmene jarního



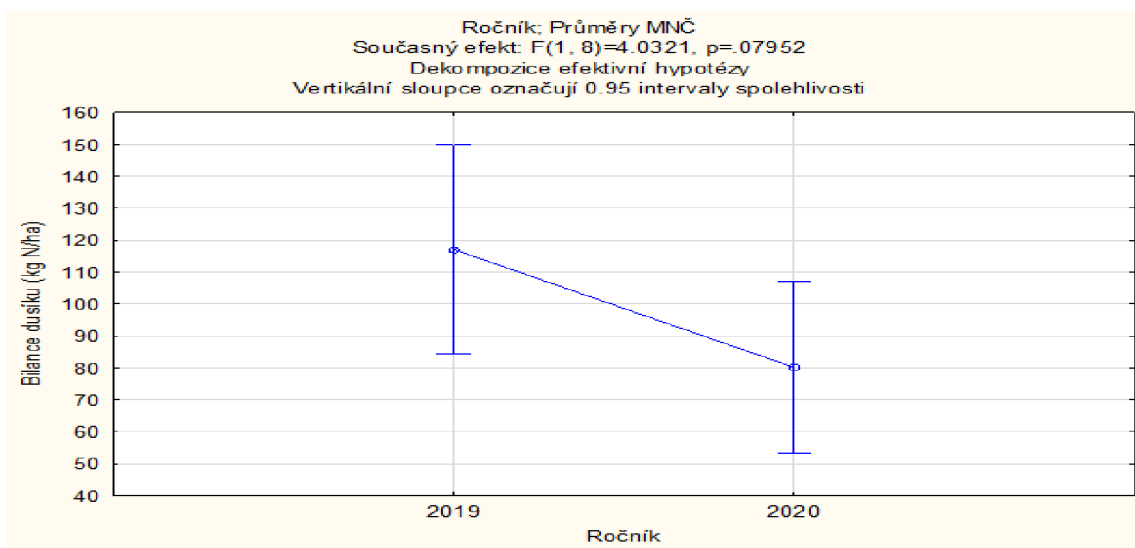
Graf XI: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020

Tabulka XI: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 351,38, sv = 5,0000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
1	2019	113,68	169,52	
2	2020	0,011590		

11.1.4 Statistická vyhodnocení pro řepku ozimou

11.1.4.1 Bilance dusíku u řepky ozimé

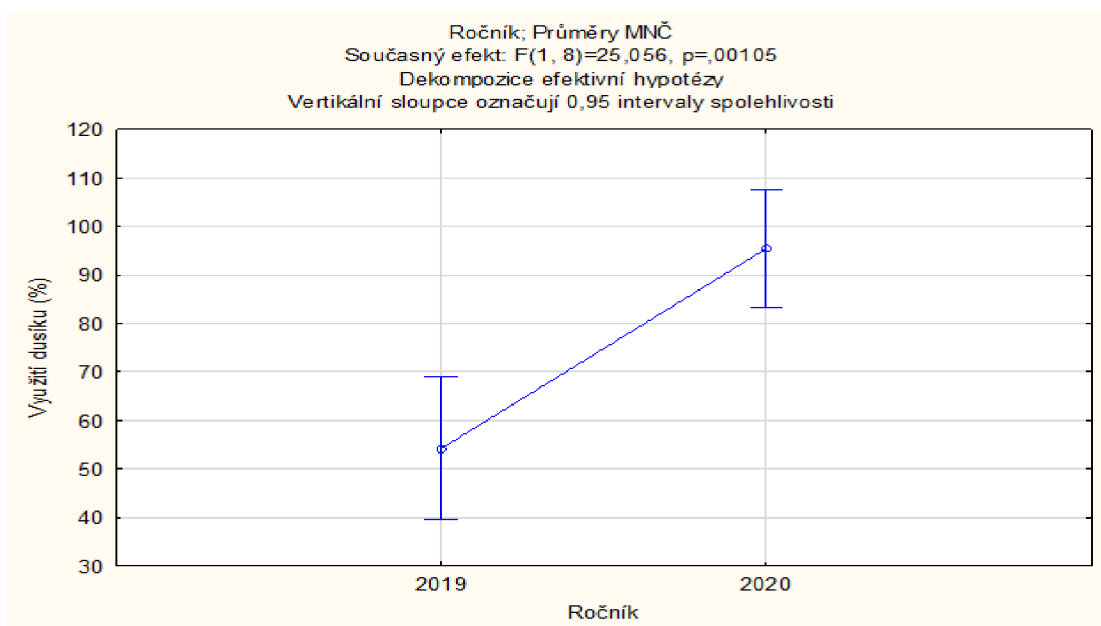


Graf XII: Porovnání bilance dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020

Tabulka XII: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 812,08, sv = 8,0000		
	Ročník	{1}	{2}
1	2019	117,04	80,107
2	2020	0,079681	0,079681

11.1.4.2 Využití dusíku řepkou ozimou

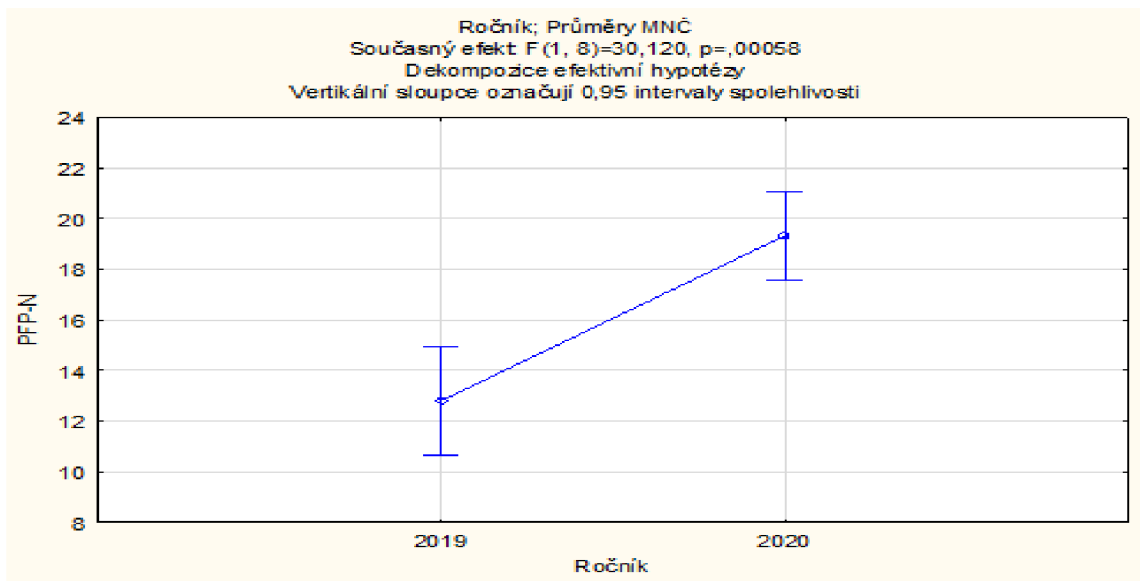


Graf XIII: Porovnání využití dusíku řepkou ozimou v letech 2019 a 2020

Tabulka XIII: Statistické vyhodnocení využití dusíku řepkou ozimou v letech 2019 a 2020

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (%) (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 162,65, sv = 8,0000		
	Ročník	{1}	{2}
1	2019	54,207	95,415
2	2020	0,001208	0,001208

11.1.4.3 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku



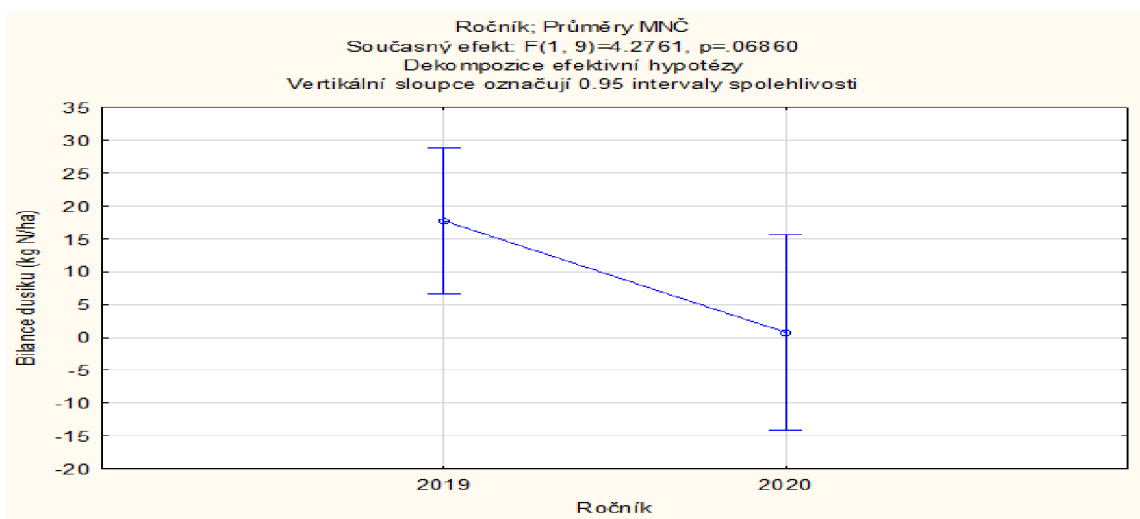
Graf XIV: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020

Tabulka XIV: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020

		Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka16) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 3,3876, sv = 8,0000	
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}
	1	2019	12,802
2	2020	0,000755	0,000755

11.1.5 Statistická vyhodnocení pro silážní kukuřici

11.1.5.1 Bilance dusíku u silážní kukuřice

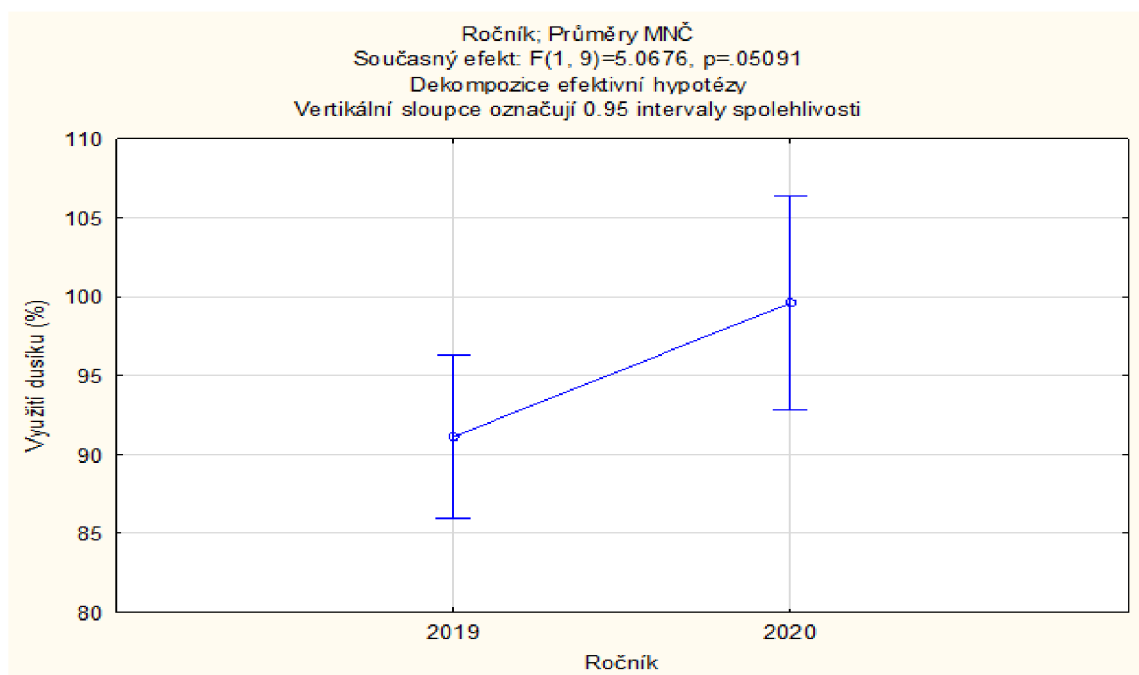


Graf XV: Porovnání bilance dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020

Tabulka XV: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 171.09, sv = 9.0000			
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}
1	2019	17.719	0.068760
2	2020	0.068760	.76591

11.1.5.2 Využití dusíku silážní kukuřicí

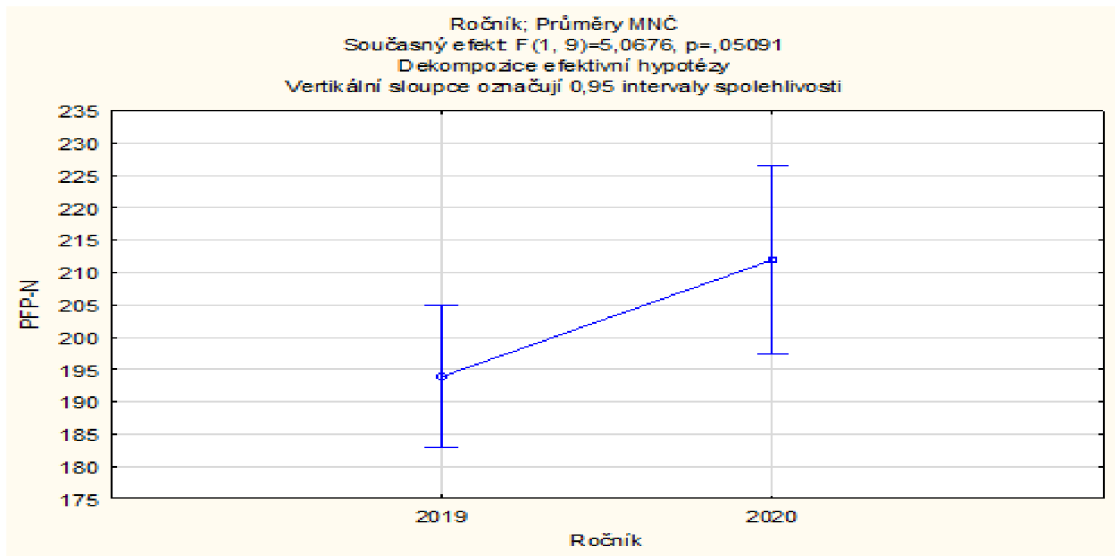


Graf XVI: Porovnání využití dusíku silážní kukuřicí v letech 2019 a 2020

Tabulka XVI: Statistické vyhodnocení využití dusíku silážní kukuřicí v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (%) (Tabulka6) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 36.146, sv = 9.0000			
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}
1	2019	91.125	0.051059
2	2020	0.051059	99.608

11.1.5.3 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku



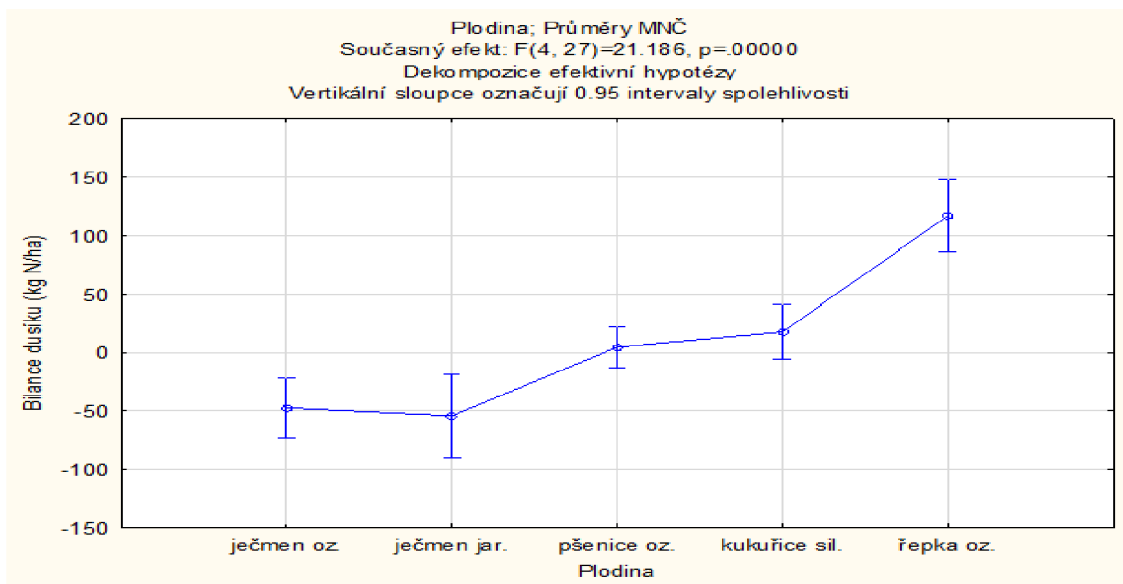
Graf XVII: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020

Tabulka XVII: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020

Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka21) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 163,63, sv = 9,0000				
Č. buňky	Ročník	{1}	{2}	
		193,88	211,93	
1	2019		0,051059	
2	2020	0,051059		

11.1.6 Statistická vyhodnocení bilance dusíku u sledovaných plodin v letech 2019 a 2020

11.1.6.1 Porovnání bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

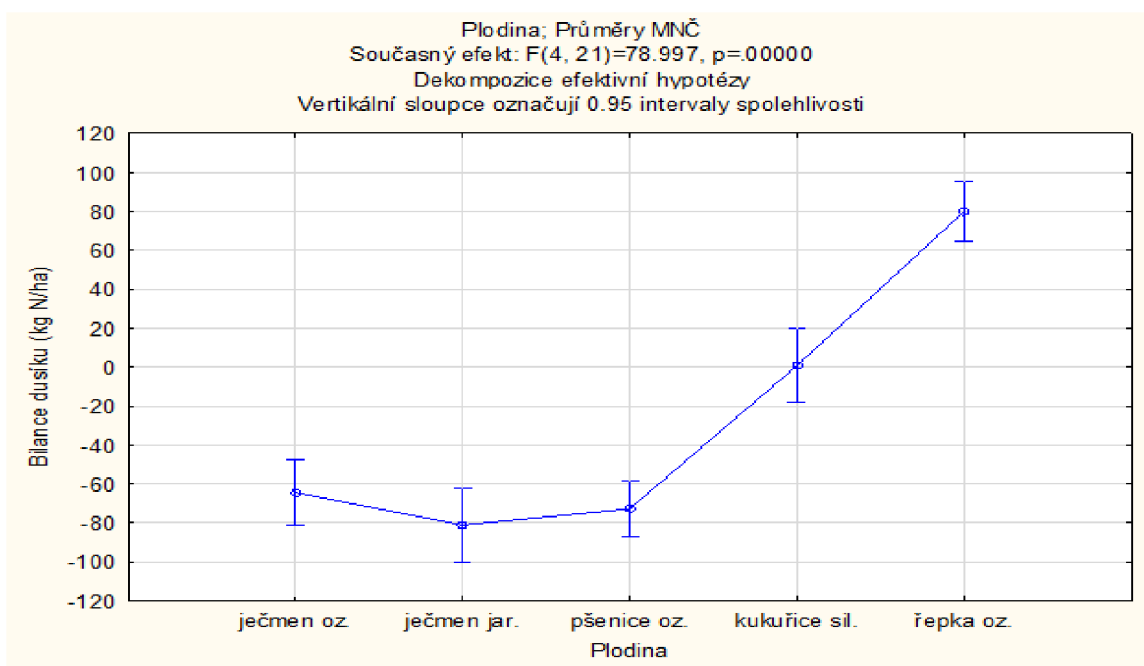


Graf XVIII: Porovnání bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

Tabulka XVIII: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

		Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka13) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 922.91, sv = 27.000				
Č. buňky	Plodina	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		-47.29	-54.17	4.5105	17.719	117.04
1	ječmen oz.		0.997617	0.016244	0.005632	0.000137
2	ječmen jar.	0.997617		0.042735	0.015531	0.000137
3	pšenice oz.	0.016244	0.042735		0.889011	0.000141
4	kukuřice sil.	0.005632	0.015531	0.889011		0.000281
5	řepka oz.	0.000137	0.000137	0.000141	0.000281	

11.1.6.2 Porovnání bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020



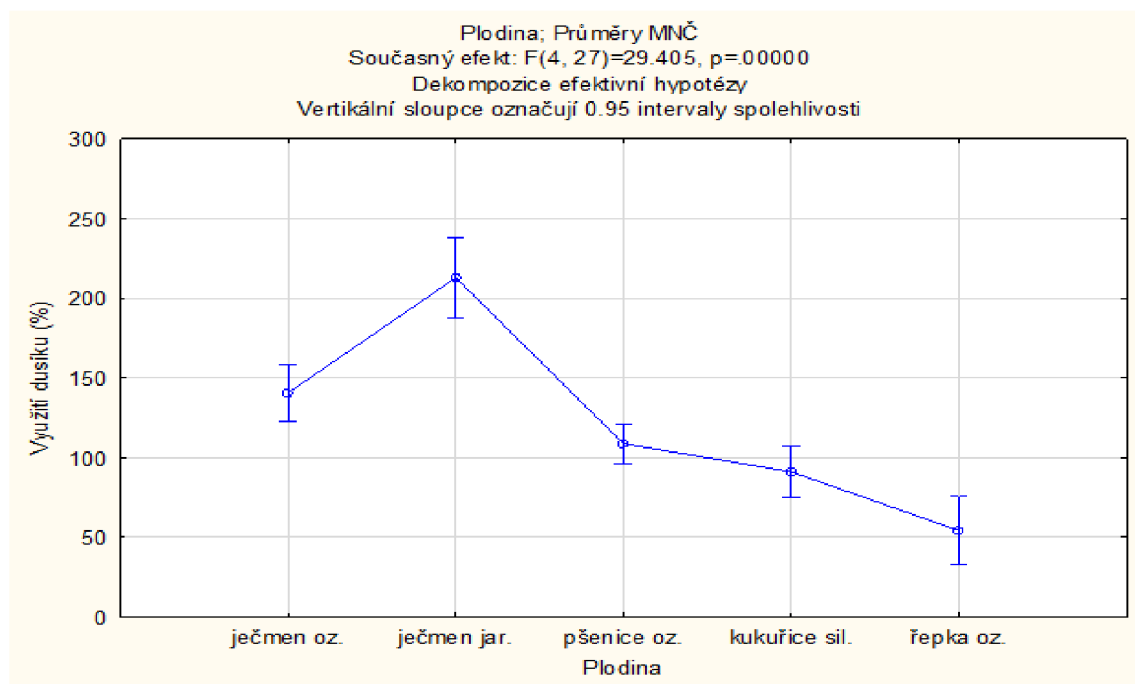
Graf XIX: Porovnání bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020

Tabulka XIX: Statistické vyhodnocení bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020

		Tukeyův HSD test; proměnná Bilance dusíku (kg N/ha) (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 333.22, sv = 21.000				
Č. buňky	Plodina	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		-64.53	-81.09	-72.77	.76591	80.107
1	ječmen oz.		0.663152	0.936390	0.000357	0.000128
2	ječmen jar.	0.663152		0.947680	0.000145	0.000128
3	pšenice oz.	0.936390	0.947680		0.000141	0.000128
4	kukuřice sil.	0.000357	0.000145	0.000141		0.000134
5	řepka oz.	0.000128	0.000128	0.000128	0.000134	

11.1.7 Statistické vyhodnocení využití dusíku sledovanými plodinami v letech 2019 a 2020

11.1.7.1 Porovnání využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019

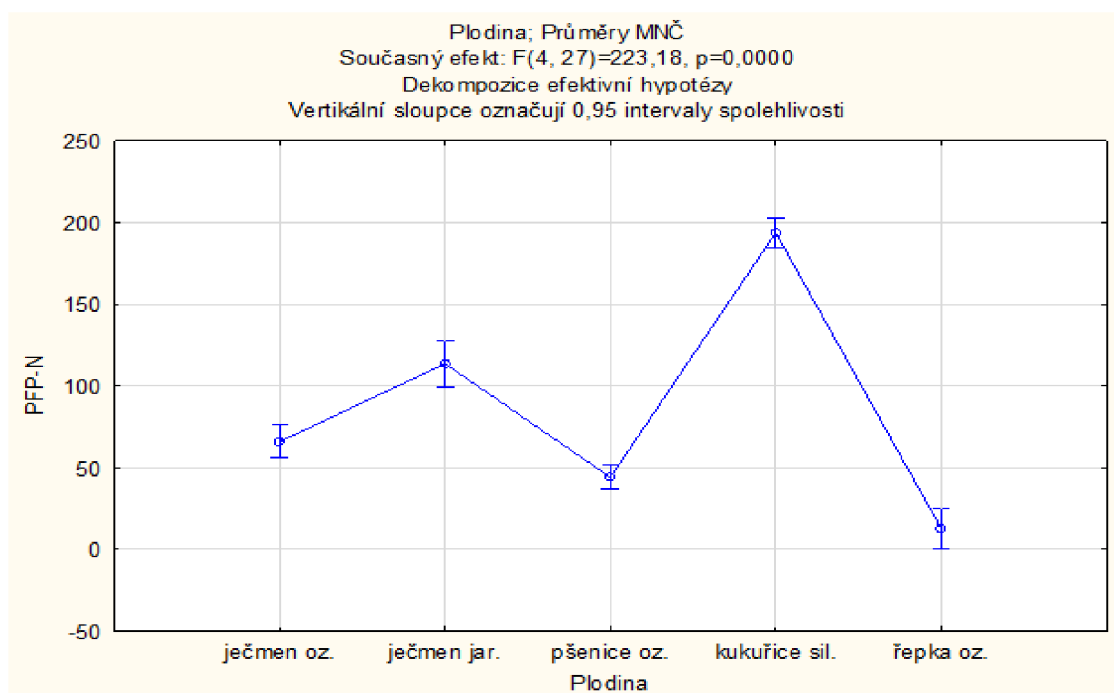


Graf XX: Porovnání využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019

Tabulka XX: Statistické vyhodnocení využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019

Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (%) (Tabulka1)						
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy						
Chyba: meziskup. PČ = 441.54, sv = 27.000						
Č. buňky	Plodina	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		140.63	212.97	108.78	91.125	54.207
1	ječmen oz.		0.000508	0.039148	0.002145	0.000141
2	ječmen jar.	0.000508		0.000137	0.000137	0.000137
3	pšenice oz.	0.039148	0.000137		0.412575	0.001148
4	kukuřice sil.	0.002145	0.000137	0.412575		0.064672
5	řepka oz.	0.000141	0.000137	0.001148	0.064672	

11.1.7.2 Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

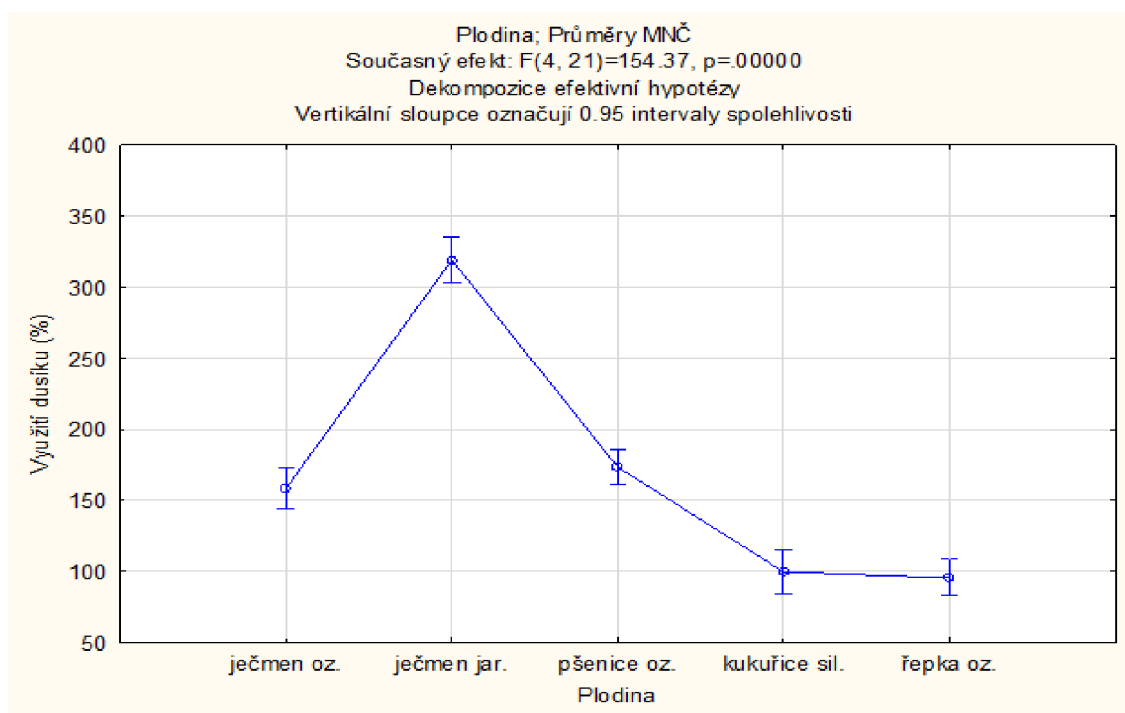


Graf XXI: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

Tabulka XXI: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u sledovaných plodin v roce 2019

Č. buňky	Plodina	Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka 1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 143,87, sv = 27,000				
		{1} 65,933	{2} 113,68	{3} 44,167	{4} 193,88	{5} 12,802
1	ječmen oz.		0,000178	0,009585	0,000137	0,000138
2	ječmen jar.	0,000178		0,000137	0,000137	0,000137
3	pšenice oz.	0,009585	0,000137		0,000137	0,001057
4	kukuřice sil.	0,000137	0,000137	0,000137		0,000137
5	řepka oz.	0,000138	0,000137	0,001057	0,000137	

11.1.7.3 Porovnání využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020

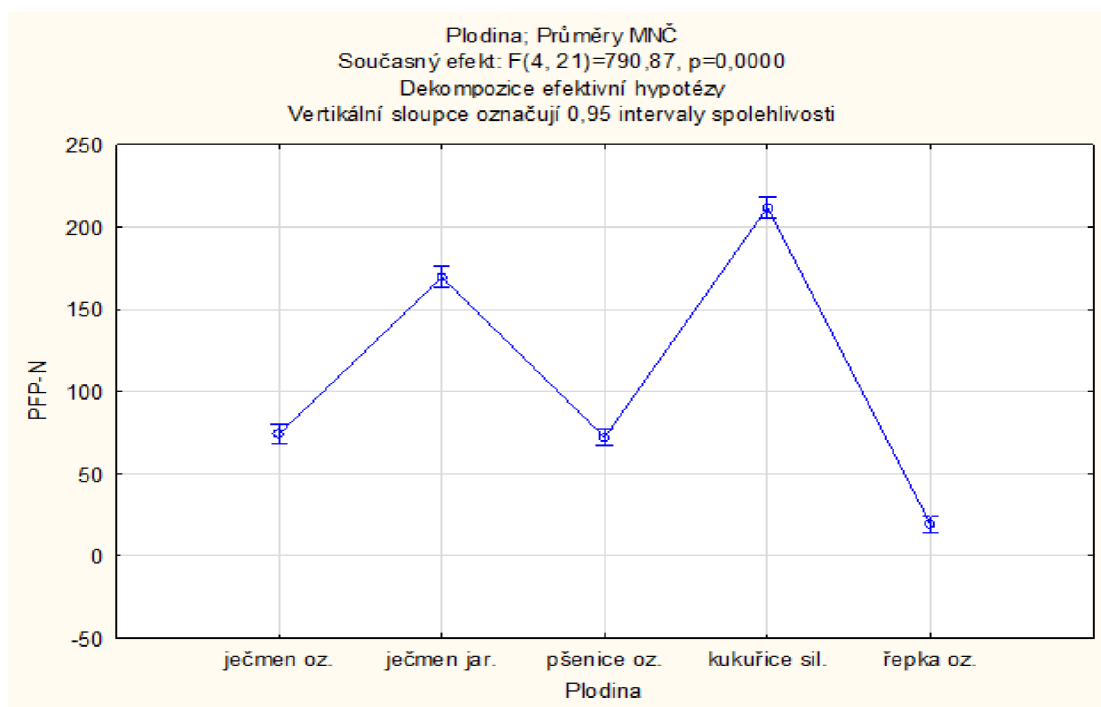


Graf XXII: Porovnání využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020

Tabulka XXII: Statistické vyhodnocení využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020

Tukeyův HSD test; proměnná Využití dusíku (%) (Tabulka20) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. $PC = 229.75, sv = 21.000$						
Č. buňky	Plodina	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		158.35	319.14	173.45	99.608	95.415
1	ječmen oz.		0.000128	0.454575	0.000206	0.000132
2	ječmen jar.	0.000128		0.000128	0.000128	0.000128
3	pšenice oz.	0.454575	0.000128		0.000128	0.000128
4	kukuřice sil.	0.000206	0.000128	0.000128		0.992489
5	řepka oz.	0.000132	0.000128	0.000128	0.992489	

11.1.7.4 Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u sledovaných plodin v roce 2020



Graf XXIII: Porovnání dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u sledovaných plodin v roce 2020

Tabulka XXIII: Statistické vyhodnocení dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku u sledovaných plodin v roce 2020

Č. buňky	Plodina	Tukeyův HSD test; proměnná PFP-N (Tabulka8) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 36,986, sv = 21,000				
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		74,238	169,52	72,098	211,93	19,323
1	ječmen oz.		0,000128	0,973445	0,000128	0,000128
2	ječmen jar.	0,000128		0,000128	0,000128	0,000128
3	pšenice oz.	0,973445	0,000128		0,000128	0,000128
4	kukuřice sil.	0,000128	0,000128	0,000128		0,000128
5	řepka oz.	0,000128	0,000128	0,000128	0,000128	

11.2 Seznam aplikovaných hnojiv na sledovaných půdních blocích

Tabulka XXIV: Seznam aplikovaných hnojiv na sledovaných půdních blocích

2019		2020	
Plodina	Aplikovaná hnojiva	Plodina	Aplikovaná hnojiva
Ječmen ozimý	DAM 390	Ječmen ozimý	DAM 390
	LAD		LAV
	NPK 15-15-15		NPK S 8-19-29-3,5
Ječmen jarní	LV	Ječmen jarní	LAD
	NP 14-34		NP 14-34
Pšenice ozimá	DAM 390	Pšenice ozimá	DAM 390
	LAD		LV
	NPK 15-15-15		NPK S 8-19-29-3,5
Kukuřice silážní	Hněj skotu	Kukuřice silážní	Hněj skotu
	Kejda prasat		Močovina
	Močovina		-
Řepka ozimá	Eurofertil 49 NP 3-22-24-0,15	Řepka ozimá	Eurofertil 49 NP 3-22-24-0,15
	DAM 390		DAM 390
	Hněj skotu		DASA
	LAS		Hněj skotu

11.3 Charakteristika sledovaných půdních bloků

Tabulka XXV: Charakteristika sledovaných půdních bloků

č. půdního bloku	Výměra (ha)	pH	Půdní typ	Průměrná nadmořská výška (m n. m.)
1.	15.75	5.3	pseudoglej	447
2.	11.78	5.2	luvizem	454
3.	33.97	5.6	kambizem	475
4.	20.90	6.1	kambizem	492
5.	27.92	5.1	pseudoglej	424
6.	16.00	5.1	pseudoglej	424
7.	25.00	5.6	luvizem	409
8.	20.88	5.7	pseudoglej	459
9.	9.37	5.5	pseudoglej	494
10.	16.94	5.6	pseudoglej	489
11.	13.19	5.3	pseudoglej	402
12.	7.53	5.6	pseudoglej	431
13.	7.74	5.7	pseudoglej	420
14.	27.15	5.2	luvizem	453
15.	7.62	5.7	glej	427
16.	28.68	5.3	luvizem	422
17.	35.90	5.6	kambizem	427
18.	23.15	5.2	pseudoglej	403
19.	27.70	6.0	pseudoglej	422
20.	8.00	6.3	luvizem	371
21.	14.06	6.3	kambizem	425
22.	28.84	5.8	luvizem	403
23.	20.00	5.8	hnědozem	365
24.	22.17	5.5	hnědozem	390
25.	12.70	6.0	pseudoglej	351
26.	32.91	5.8	luvizem	375
27.	22.58	5.9	kambizem	395
28.	11.39	5.3	kambizem	393
29.	20.04	5.4	pseudoglej	403
30.	15.76	6.0	luvizem	375
31.	18.41	6.1	hnědozem	377
32.	18.76	6.7	hnědozem	380
33.	24.42	5.7	hnědozem	369
34.	33.21	6.0	hnědozem	373
35.	29.37	5.9	hnědozem	379
36.	14.57	5.7	pseudoglej	362
37.	44.66	5.8	luvizem	371
38.	20.30	5.9	pseudoglej	439
39.	11.62	4.8	luvizem	463

11.4 Seznam tabulek

Tabulka 1: Celkové a přístupné množství dusíku (t N) v hlavních složkách naší planety	11
Tabulka 2: Hlavní parametry pro stanovení bilance živin	13
Tabulka 3: Výsledky pokusu vlivu ročníku na odběrový normativ	20
Tabulka 4: Položky bilance a zdroje údajů v ČR	27
Tabulka 5: Vstupy a výstupy při faremní bilanci	27
Tabulka 6: Položky faremní bilance	28
Tabulka 7: Vstupy dusíku u ječmene ozimého za rok 2019 a 2020	35
Tabulka 8: Výstupy dusíku u ječmene ozimého za rok 2019 a 2020	35
Tabulka 9: Vstupy dusíku u pšenice ozimé za rok 2019 a 2020	38
Tabulka 10: Výstupy dusíku u pšenice ozimé za rok 2019 a 2020	39
Tabulka 11: Vstupy dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020	43
Tabulka 12: Výstupy dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020	44
Tabulka 13: Vstupy dusíku k řepce ozimé v letech 2019 a 2020	48
Tabulka 14: Výstupy dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020	49
Tabulka 15: Vstupy dusíku k silážní kukuřici v letech 2019 a 2020	52
Tabulka 16: Výstupy dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020	52

11.5 Seznam grafů

Graf 1: Vývoj zemědělské bilance dusíku (1985-2018) (převzato od Klír 2019).....	14
Graf 2: Roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha) na stanovišti Suchdol (převzato od Balík et al. 2012)	21
Graf 3: Roční bilance dusíku u ozimé pšenice na variantách s minerálními dusíkatými hnojivy (140 kg N/ha) na stanovišti Lukavec (převzato od Balík et al. 2012)	21
Graf 4: Měsíční úhrn srážek v období 2019 a 2020	30
Graf 5: Průběh průměrných denních teplot ve vegetačním období v letech 2019 a 2020	30
Graf 6: Bilance dusíku ječmene ozimého, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	36
Graf 7: Využití dusíku ječmene ozimého, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	37
Graf 8: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu ozimému, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey).....	37
Graf 9: Bilance dusíku u pšenice ozimé, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	40
Graf 10: Využití dusíku pšenicí ozimou, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	41
Graf 11: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k pšenici ozimé, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	41
Graf 12: Bilance dusíku u pšenice ozimé - skutečný obsah dusíku v zrně, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	42
Graf 13: Využití dusíku pšenicí ozimou (rozběr zrn), indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	43
Graf 14: Bilance dusíku u ječmene jarního v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	45
Graf 15: Bilance dusíku u ječmene jarního - skutečný obsah dusíku v zrně v roce 2019	45
Graf 16: Využití dusíku ječmenem jarním v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	46
Graf 17: Porovnání využití dusíku ječmenem jarním při výpočtu dle normativu a dle skutečného obsahu dusíku v zrně v roce 2019	47
Graf 18: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k ječmenu jarnímu v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey).....	47
Graf 19: Bilance dusíku u řepky ozimé v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	49
Graf 20: Využití dusíku řepkou ozimou v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	50
Graf 21: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k řepce ozimé, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	51

Graf 22: Bilance dusíku u silážní kukuřice v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	53
Graf 23: Využití dusíku silážní kukuřicí v letech 2019 a 2020, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey)	54
Graf 24: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku k silážní kukuřici, indexy uvedené u roku dokumentují statisticky významný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey).....	54
Graf 25: Porovnání průměrné bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2019, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)	55
Graf 26: Porovnání průměrné bilance dusíku u sledovaných plodin v roce 2020, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)	56
Graf 27: Porovnání průměrného využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2019, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)	57
Graf 28: Porovnání průměrného využití dusíku sledovanými plodinami v roce 2020, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey)	57
Graf 29: Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2019, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey).....	58
Graf 30: Porovnání průměrného dílčího faktoru produktivity aplikovaného dusíku ke sledovaným plodinám v roce 2020, indexy umístěné za názvem plodiny dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey).....	59