

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Aplikace dusíkatých hnojiv v systému
precizního zemědělství**

Diplomová práce

Bc. Nikola Kojanová

Zemědělství a rozvoj venkova – Hospodaření v zemědělství

Ing. Pavel Hamouz, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Aplikace dusíkatých hnojiv v systému precizního zemědělství" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob

V Praze dne 21.4.2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Hamouzovi, Ph.D. a doc. Ing. Brantovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc s prací. Dále bych chtěla poděkovat panu Matěji Bretšnajderovi a ŠZP Lány, díky nimž jsem mohla provést polní pokus. V neposlední řadě bych ráda poděkovala rodině za jejich podporu.

Aplikace dusíkatých hnojiv v systému precizního zemědělství

Souhrn

Tato diplomová práce se věnuje aplikaci dusíkatých hnojiv v systému precizního zemědělství. V literární části byla shrnuta kapitola o koloběhu dusíku a systémy pro analýzu půdy a porostů, dále je shrnuta problematika hnojení N a výnosových map.

Cílem práce bylo ověřit, zda lepší distribuce hnojiva pomocí zón relativního výnosového potenciálu vede ke zvýšení výnosu nebo úspoře hnojiva. Byl proveden poloprovozní pokus na 2 pozemcích podniku Statky ČZU. Pokusy byly založeny na podzim roku 2022 s plodinou pšenice ozimá odrůda Julie, předplodinou byla v obou případech řepka ozimá. Mapy výnosového potenciálu se třemi zónami byly vytvořeny na platformě OneSoil Yield. V zónách s nízkým výnosovým potenciálem byla aplikována nižší dávka hnojiva (na Bora pravá o 15 %, na Dolíka spodní o 13 %) a v zónách s vysokým potenciálem naopak vyšší dávka (na Bora pravá o 12,8 %, na Dolíka spodní o 13 %). Základní celková dávka N pro střední potenciál a konstantní variantu pokusu byla na obou pozemcích 214 kg N/ha. Srovnávací variantou byla aplikace konstantní dávky bez ohledu na zóny. Varianty byly střídány v pásech o šířce 48 m. Variabilní aplikací dusíkatého hnojiva bylo oproti variantě s konstantním dávkováním dosaženo úspory 9 kg N/ha pro pozemek Bora pravá.

Na pozemku Dolíka spodní byl zjištěn vyšší dosažený výnos na variabilně hnojené variantě (8,26 t/ha) oproti konstantnímu dávkování (8,19 t/ha). Variabilní varianta dosáhla vyššího výnosu oproti konstantní variantě ve střední a vysoké produkční zóně, v nízké produkční zóně byl výnos konstantní varianty o 0,05 t/ha vyšší. Rozdíly ve výnosu v jednotlivých pásech a zónách byly statisticky nevýznamné.

Na pozemku Bora pravá bylo dosaženo mírně nižšího výnosu na variabilně hnojené variantě (7,13 t/ha) oproti konstantní variantě (7,17 t/ha), bylo zde však dosaženo významné úspory hnojiva. Ani zde však nebyl rozdíl statisticky průkazný. Zjištěné výnosy v tomto případě zcela neodpovídaly zónám výnosového potenciálu. Variabilní varianta prokázala nejvyšší výnos v nízké produkční zóně. To naznačuje, že stanovení produkčních zón pomocí satelitních snímků pravděpodobně neodpovídalo zcela skutečnému stavu. Výsledky práce mohly být negativně ovlivněny dalšími příčinami jako například polehnutím porostu s následným možným vlivem na výnos.

Výnosy na pozemku Bora pravá ve 3. produkční zóně neprokázaly nejvyšší potenciál. Je možné, že platforma OneSoil neprovedla správně vyhodnocení zón výnosového potenciálu. Rozdílnost výnosů linií pojezdu sklízecí mlátičky je patrná na vytvořených výnosových mapách.

Celkově lze konstatovat, že využitím variabilního hnojení dusíkem na základě produkčních zón došlo v obou experimentech k úspoře dusíkatého hnojiva bez významného vlivu na dosažený výnos zrna pšenice. Rozdíly mezi variantami byly poměrně malé

a dosažený ekonomický přínos je tak nízký. Je však třeba zohlednit také význam ekologický. V zónách s nízkým výnosem je vhodné zabránit nadbytečné aplikaci dusíku a jeho vyplavování do podzemních vod či jiné kontaminaci životního prostředí.

Klíčová slova: precizní zemědělství, cílená aplikace hnojiv, dusík, variabilita porostu, produkční zóny

Nitrogen fertilization in precision agriculture

Summary

This master thesis focuses on the application of nitrogen fertilizers in a precision farming system. In the literature section, the chapter on the nitrogen cycle and soil and crop analysis systems have been summarized, as well as N fertilization and yield maps.

The aim of the work was to test whether a better fertilizer distribution using zones of relative yield potential leads to an increase in yield or fertilizer savings. A semi-operational experiment was carried out on 2 plots of the Statky ČZU. The experiments were established in the autumn of 2022 with the winter wheat variety Julie, the pre-crop in both cases was winter rape. Yield potential maps with three zones were created on the OneSoil Yield platform. In the zones with low yield potential, a lower fertilizer rate was applied (15 % to Bora pravá, 13 % to Dolík lower), and in the zones with high potential, a higher rate was applied (12.8 % to Bora pravá, 13 % to Dolík lower). The base total N rate for the medium potential and constant variant of the experiment was 214 kg N/ha in both plots. The comparison variant was a constant dose application regardless of zones. Variants were rotated in 48 m wide strips. A saving of 9 kg N/ha was achieved for the Bora prava plot by variable application of nitrogen fertilizer compared to the constant rate variant.

On the plot of Dolíka spodní, a higher yield was found on the variable fertilized variant (8.26 t/ha) compared to the constant dosage (8.19 t/ha). The variable variant achieved a higher yield compared to the constant variant in the medium and high production zones, while in the low production zone the yield of the constant variant was 0.05 t/ha higher. The differences in yield between strips and zones were statistically insignificant.

On the Bora pravá plot, a slightly lower yield was achieved on the variable-fertilised variant (7.13 t/ha) compared to the constant variant (7.17 t/ha), but a significant fertiliser saving was achieved. However, even here the difference was not statistically significant. The yields observed in this case did not correspond completely to the yield potential zones. The variable variant showed the highest yield in the low production zone. This suggests that the determination of production zones using satellite imagery probably did not correspond entirely to the actual situation. The results of the work could have been adversely affected by other causes such as lodging with a consequent possible effect on yield.

Yields on the Bora pravá plot in production zone 3 did not show the highest potential. It is possible that the OneSoil platform did not properly evaluate the yield potential zones. The difference in yields of the harvester lines can be seen in the yield maps produced.

Overall, the use of variable nitrogen fertilization based on the production zones resulted in a saving of nitrogen fertilizer in both experiments with no significant effect on the

wheat grain yield achieved. The differences between the variants were relatively small and the economic benefit achieved is thus low. However, the ecological importance must also be taken into account. In low-yield zones, it is advisable to avoid excess nitrogen application and leaching into groundwater or other environmental contamination.

Keywords: precision agriculture, variable application of fertilizers, nitrogen, plant variability, production zones

Obsah

1 Úvod	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Precizní zemědělství	3
3.2 Koloběh N	4
3.2.1 Mineralizace organických látek	5
3.2.2 Nitrifikace	5
3.2.3 Denitrifikace	6
3.2.4 Volatilizace	6
3.3 Systémy pro analýzu půdy a porostů	6
3.3.1 Diagnostika živin v půdě	7
3.3.2 Destruktivní metody diagnostiky rostlin	8
3.3.3 Kontaktní metody diagnostiky rostlin	8
3.3.4 Bezkontaktní metody diagnostiky rostlin	9
3.3.4.1 Online metody	9
3.3.4.2 Bezkontaktní off-line metody diagnostiky rostlin	10
3.4 Hnojení plodin	13
3.4.1 Příjem živin rostlinami	13
3.4.2 Hnojení fosforem	13
3.4.3 Hnojení draslíkem	14
3.4.4 Hnojení hořčíkem	15
3.4.5 Hnojení vápníkem	15
3.5 Hnojení N	16
3.5.1 Princip hnojení N	16
3.5.2 Příjem N rostlinami	17
3.5.3 Nedostatek	17
3.5.4 Přebytek	18
3.5.5 Ztráty N	18
3.5.6 Stanovení potřeby a dávky hnojení	19
3.5.7 Stanovení dávky hnojení v systému precizního zemědělství	20
3.6 Výnosové mapy, mapy výnosového potenciálu	20
3.6.1 Využití výnosových map	20
3.6.2 Stanovení plánovaného výnosu a výnosové úrovně	21
3.6.3 Tvorba výnosových map	21
4 Metodika	23
4.1 Zemědělský podnik Statky ČZU	23

4.2	Analýza ploch výnosového potenciálu	24
4.3	Poloprovozní pokus	24
4.3.1	Charakteristika ročníku	24
4.3.2	Charakteristika stanovišť'	25
4.3.2.1	Pozemek Bora pravá	25
4.3.2.2	Pozemek Dolíka spodní.....	26
4.3.3	Agrotechnický postup	27
4.3.3.1	Bora pravá	27
4.3.3.2	Dolíka spodní	28
4.3.4	Aplikační mapy a tvorba variant.....	28
4.3.5	Sledování pozemků během růstu porostu	31
4.3.6	Tvorba výnosových map.....	33
4.3.7	Metody hodnocení	34
5	Výsledky.....	35
5.1	Analýza podílu produkčních zón na pozemcích podniku Statky ČZU	35
5.2	Poloprovozní pokus	37
5.2.1	Výsledky úpravy výnosových map.....	37
5.2.2	Bora pravá.....	39
5.2.2.1	Výnosová mapa.....	39
5.2.2.2	Data zjištěná dle pásů.....	39
5.2.2.3	Výnosy dle zón pro celé varianty	43
5.2.3	Dolíka spodní.....	46
5.2.3.1	Výnosová mapa.....	46
5.2.3.2	Data zjištěná dle pásů.....	47
5.2.3.3	Výnosy dle zón pro celé varianty	51
6	Diskuze.....	55
7	Závěr	57
8	Literatura.....	58

1 Úvod

Zemědělství v poslední době přechází do fáze revoluce v podobě precizního zemědělství, které se nazývá také zemědělství 4.0. Potýká se s nároky na udržitelné hospodaření a s rostoucími požadavky na zemědělskou produkci z důvodu nárůstu světové populace. Jde o protichůdné strany, jedna se snaží o maximalizaci zisku a co největší výnos, zatímco druhá strana chce minimalizovat vliv a celkový dopad na životní prostředí (Srisruthi et al. 2016). Dochází k postupné digitalizaci zemědělského sektoru a k nákupu moderních technologií, které vedou ke zvýšené efektivitě práce (Marios & Georgiou 2017).

Koloběh dusíku v půdě je složitý proces, který ovlivňuje mnoho faktorů, stejně jako je složitá dynamika příjmu N rostlinami. Dusík jakožto velmi proměnlivý prvek mění své formy na základě teploty či vlhkosti. Existuje mnoho moderních analytických postupů pro stanovení obsahu N v půdě, které jsou výborně využitelné pro optimalizaci hnojení N. Pouze okolo 2,5 % N na naší planetě je v přístupných formách, zbytek je velmi pevně vázaný v litosféře. 1–2 % dusíku v půdě jsou dostupné rostlinám, ty jsou označovány jako minerální forma (Balík et al. 2012).

Při variabilním hnojení N se využívají tři možnosti přístupů monitorování prostředí, kterými jsou satelitní snímky, *on-the-go* senzory a *in-situ* sensorika (Ayaz et al. 2019). V podmínkách České republiky je cílem variabilní aplikace šetrné hospodaření na pozemcích, zmírnění případného negativního působení na životní prostředí, vyrovnaná a levnější produkce, efektivní využití vstupů a snižování heterogenity půdní úrodnosti (Vaněk et al. 2000).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce bude návrh systému cílené aplikace dusíku na školním zemědělském podniku. Na vybraných pozemcích bude ověřován vliv cílené aplikace dusíkatých hnojiv na výnos obilnin. Vědecká hypotéza předpokládá, že lepší distribuce hnojiva při variabilní aplikaci povede k navýšení výnosu. v případě environmentálního efektu je předpokládáno, že při cílené aplikaci dusíku lze dosáhnout úspory hnojiva při zachování celkového výnosu z dané plochy.

3 Literární rešerše

3.1 Precizní zemědělství

Při volbě způsobu hospodaření je nezbytné vycházet z dlouhodobějšího plánu pěstování plodin. Ekonomické a vlastnické aspekty jsou bohužel mnohdy rozhodující, přestože by dobrý farmář měl dbát o dobrou půdní úrodnost a udržení správných parametrů. To nicméně není jednoduchá jednorázová činnost, ale naopak dlouhodobý a systematický cíl, který potřebuje dostatek prostředků s dlouhou návratností (Vaněk et al. 2000). V České republice je neustávajícím trendem úbytek zemědělské půdy, v letech 2002 až 2006 byl průměrný úbytek půd dokonce 10 ha za den (Kozák & Němeček 2009). I proto je potřeba starat se o půdní úrodnost (Vaněk et al. 2000).

Pokud dochází k nerovnováze ve vzcházení, zrání či výnosech rostlin v rámci konkrétního pozemku, přichází na řadu otázka, jak efektivně tyto rozdíly a problémy s nimi související řešit. Východiskem této situace by mohlo být vhodné hospodaření i na pozemcích s různým potenciálem. Cílem ale nemusí být dosažení stejného výnosu na celém prostoru (Lukas et al. 2010).

Precizní zemědělství je možné považovat za mezioborovou disciplínu, kde je potřeba skloubit novinky z technických, biologických i ekonomických věd. V praxi není výjimkou, že dochází k využití pouze některých prvků z komplexního systému, který zahrnuje např. navigace strojů, výnosové mapy, hnojení podle AZZP (Godwin & Kumhála 2017).

Všeobecně je možné systém precizního zemědělství chápat jako přirozený vývoj společnosti, kdy lze díky moderní technice částečně nahradit lidský faktor. Technika a moderní technologické prvky, které se využívají v precizním zemědělství, jsou dle Vaněk et al. (2000):

- počítačová technika, kam patří palubní počítače v aplikační technice, avšak řadí se do nich i stolní počítače a notebooky,
- geografické informační systémy (GIS) zajišťují úpravu, analýzu a zobrazení geografických informací,
- globální navigační systém,
- aplikační technika,
- senzorová technika.

K rozvoji precizního zemědělství dochází primárně ve vyspělejších zemích, ale celkově jde o celosvětový rostoucí trend. Největší využití zatím nachází v USA, což je možné vysvětlit jednak technologickou vyspělostí a zároveň i nemalou velikostí farem a jednotlivých pozemků. V porovnání se západní Evropou má ČR pro precizní zemědělství lepší předpoklady. Důvodem můžou být velké zemědělské podniky i pozemky, členitý terén nebo pestré geologické a klimatické podmínky. Zavádění nových technologií je bohužel omezeno ekonomickou situací, kdy spousta podniků na nové a často velmi drahé technologie nemá prostředky. Precizně se však nemusí hospodařit pouze na orné půdě. Objevují se i způsoby

precizního hospodaření v živočišné produkci, na TTP a v polním zelinářství. V péči o sportovní a rekreační trávníky dochází k využití variabilního ošetření porostů, stejně jako komunální služby využívají variabilní aplikace herbicidů při údržbě cest a chodníků (Lukas et al. 2010).

Zemědělci nemají dostatečné důvody pro zavedení způsobu precizního zemědělství, neberou však v úvahu možné zvýšení kvality produktů a menší riziko nižšího výnosu. Byl proveden pokus, kde se měřila kvalita potravinářské pšenice s porovnáním konstantního a variabilního hnojení. Kvalita potravinářské pšenice i ekonomika produkce byla lepší u pokusu s variabilním hnojením. Náklady na přesné hnojení byly vyšší, ale celkový ekonomický výsledek se tím nezměnil (Karatay & Meyer-Aurich 2020).

3.2 Koloběh N

Dusík představuje biogenní prvek na Zemi, hraje nezastupitelnou roli v životních procesech organismů. Nejvýznamnější podíl tvoří v atmosféře, kde převažuje a dosahuje 78 % objemových procent. Dusík je v atmosféře převážně ve formě dvouatomové molekuly N_2 (Kincl et al. 2006). Většina celkového dusíku na Zemi je pevně vázána a pouze přibližně 2,5 % je v přístupných formách, které mohou snadno podléhat přeměnám a být akumulované živými organismy. Atmosférický dusík, který existuje v plynné podobě (N_2), je také zahrnut v této bilanci a jeho obsah je mnohem vyšší než celkový obsah dusíku v živých organismech (Balík et al. 2012).

Organická hmota v půdě je dalším významným zdrojem dusíku v ekosystémech. I když jsou organické formy dusíku pro rostliny většinou nepřijatelné, dostává se k nim prostřednictvím rozkladných procesů organické hmoty, především mineralizace a nitrifikace (Balík et al. 2012). Fixace vzdušného dusíku mikroorganismy také přispívá k dostupným formám dusíku, přičemž symbiotické bakterie hrají v našem prostředí větší roli než volně žijící mikroorganismy v půdě (Kincl et al., 2003). Dusík dále vstupuje do koloběhu v podobě odumřelých zbytků rostlin a mikroorganismů, vliv má také vyplavování N z půdního profilu či mokrá a suchá depozice. V zemědělství dochází ke změně koloběhu dusíku kvůli odvozu organické hmoty ve formě hlavních či vedlejších produktů, z druhé strany se koloběh narušuje dodáním dusíkatých hnojiv (Balík et al. 2012).

V ornici se běžně vyskytuje největší množství přístupného dusíku, který je uvolňován mineralizací organických látek. Kvůli pohybu nitrátové formy v půdním roztoku se část dusíku postupně přesouvá půdním profilem, zejména během mimoporostního období, a nakonec je vyplavována mimo dosah kořenů plodin. Během roku dochází k významným změnám v obsahu N_{\min} v půdě. Za minerální formy dusíku, označované také jako N_{\min} , se považuje NH_4^+ a NO_3^- . V průběhu jarního období, v dubnu až květnu, zvyšuje oteplování půdy aktivitu mikroorganismů a obsah minerálního dusíku dosahuje vrcholu (tzv. jarní maximum). Během vegetačního období dochází k odběru dusíku rostlinami a postupnému útlumu intenzity mineralizace, což vede ke snížení obsahu minerálního dusíku v půdě na poměrně ustálenou hodnotu, ta nastává krátce před a po sklizni, kdy dosahuje letního minima. Při vhodných teplotních a vlhkostních podmínkách v podzimním období se obsah N_{\min} v půdě

začíná zvyšovat díky mineralizaci posklizňových zbytků, tato doba se nazývá podzimní maximum. Před zimou se poté znovu snižuje s poklesem teplot a nižší aktivitou mikroorganismů. Tato výrazná sezónní variabilita minerálního dusíku v půdě je důležitá při stanovení dávek dusíku pro konkrétní plodiny před založením porostů i během vegetace (Sylvia et al. 1998).

3.2.1 Mineralizace organických látek

Mineralizace je proces rozkladu organické hmoty na anorganické látky (Šimek & Cooper 2004). Jde o proces spotřebovávající energii, který probíhá hlavně v lehkých půdách, kde převažují nekapilární póry. Podléhají jí zejména bílkoviny, sacharidy a jednodušší produkty přeměn. Význam tohoto procesu je uvolnění živin z organických látek, produkce CO₂ a rozklad toxických látek (Kozák et al. 2008).

Primárním zdrojem převážné části půdního dusíku je atmosféra. Majoritní část půdního dusíku (95–99 %) je navázaná v organických látkách, především ve vazbě R-NH₂. Mineralizovaný dusík se přeměňuje primárně do amonné formy, ta je potom různými procesy transformována na další formy N (Šimek & Cooper 2004). Z tohoto důvodu se tento proces také může nazývat amonizace či amonifikace. Ve vegetačním období většinou půdy obsahují jednotky až desítky mg NH₄⁺/kg půdy a přibližně podobný obsah NO₃⁻, množství NO₂⁻ je podstatně nižší. Mineralizace probíhá ve všech typech půd především díky činnosti mikroorganismů a extracelulárních enzymů, které se vyskytují v půdě. Předpokládá se, že v zemědělských půdách je v každém gramu půdy trvale přítomno minimálně 10⁵ aktivně působících mikroorganismů, kteří se podílí na rozkladu organických látek. Tato aktivita může být v určitých situacích potlačena, např. při zmrzlé nebo vyschlé půdě (Šimek 2003).

Rychlost mineralizace dosahuje desítek až stovek kg N/ha/rok, může dosáhnout až 400 kg N/ha/rok v porovnání s roční spotřebou minerálních N hnojiv, která činí přibližně 100 kg N/ha obhospodařované zemědělské půdy. Zhruba stejné množství dusíku je imobilizováno v nově vytvořené biomase půdních organismů a nově se formující organické hmotě (Živa 2021).

3.2.2 Nitrifikace

Nitrifikace je proces přeměny amoniaku na nitrát. Byl prvně zaznamenán v roce 1856, ale až v roce 1890 došlo k izolování bakterie, která tento proces podmiňuje (Tan 1994). Nitrifikace je rozdělena do dvou částí. Prvním krokem je přeměna amoniaku na nitrit, ten proběhne pomocí skupiny obligátně autotrofních bakterií *Nitrosomonas*. Během druhé části dojde k přeměně nitritu na nitrát díky bakteriím *Nitrobacter*. Na druhém kroku se mohou podílet i některé heterotrofní bakterie, nicméně s mnohem nižší účinností (Lal 2006).

Na rozdíl od bakterií, které podmiňují amonifikaci, nitrifikační bakterie jsou citlivější na enviromentální podmínky (Paul & et al. 2015). Vyžadují přítomnost amonných iontů, nicméně jejich rychlý nárůst může být pro bakterie toxický. Optimální vlhkost je podobná jako pro většinu plodin, tedy okolo 60 %. Nejlepší podmínky pro nitrifikaci jsou při teplotě

pohybující se mezi 20 a 30 °C, při teplotě pod 5 °C se proces velmi zpomaluje. Při dostatku kationtů Ca^{2+} a Mg^{3+} dochází k velkému zrychlení (Weil & Brady 2017). Šimek (2019) uvádí, že pro nitrifikaci je důležitý dostatečný přísun kyslíku a správná rovnováha mezi obsahem vody a vzduchu v půdě, jelikož je těmito faktory zásadním způsobem ovlivněna. Mezi další kontrolní faktor patří půdní reakce. Při pH, které je nižší než 4, pravděpodobně neprobíhá autotrofní nitrifikace. Při zásadité půdní reakci je zpomalena oxidace nitritů na nitrát, tudíž se v půdě můžou kumulovat nitrity (Šimek 2019). Dle Stráalková et al. (2009) je statisticky významný rozdíl v potenciální nitrifikaci mezi konvenčním a ekologickým hospodařením. Dle výzkumu ekologický režim vykazoval sice stabilnější, ale nižší hodnoty.

3.2.3 Denitrifikace

Významem denitrifikace je redukce nitrátů na elementární dusík pomocí fyzikálně-chemických reakcí nebo biologických procesů. Jedná se o poslední krok z koloběhu dusíku, kterým se vrací zpět do atmosféry. Chemonitrifikace se uskutečňuje rozkladem nitritů v kyselém prostředí, dochází ke vzniku N_2 , NO a N_2O , na rozdíl od biologické denitrifikace se vyskytuje v podstatně menším rozsahu (Šimek 2019).

Za mikroaerofilních či anaerobních podmínek má tento proces roli v alternativní respiraci kyslíku pro bakterie. Řetězec reakcí je dělen do části periplasmatické a cytoplasmatické, součástí jsou enzymy nitrát reduktáza, nitrit reduktáza, NO -reduktáza a N_2O -reduktáza. Organismy zvládající denitrifikaci patří do skupin *Proteobacteria*, halofilních nebo hypertermofilních archeí a určitých zástupců hub rodu *Pseudomonas* a *Paracoccus*. Bakterie rodu *E. Coli* může provádět respiraci dusíkatých sloučenin, ale není schopná provést celou denitrifikaci (Kraft et al. 2011).

3.2.4 Volatilizace

Šimek (2019) uvádí, že v tomto procesu jde o vypařování plynného NH_3 , který se vyskytuje v půdě a vodě, do atmosféry. Běžným jevem je volatilizace amoniaku při hnojení močovinou, bezvodým čpavkem, hnojem, kejdou či močůvkou především v situaci, kdy nedojde k zapravení hnojiv do půdy. Vyskytuje se i v mokřadních ekosystémech, kde se rozkládá biomasa rostlin. Může dosáhnout až několik desítek kg N/ha/rok.

Na půdách, které jsou alkalické a vysychající, probíhá volatilizace intenzivněji. Vyšší teploty, nedostatek jílových částic nebo humusových látek jsou faktory, které proces podporují (Tobiášová 2013).

3.3 Systémy pro analýzu půdy a porostů

Analýzu půdy je možné provést pomocí odběru půdních vzorků nebo s využitím různých senzorů (Guerrero et al. 2021).

Technologické senzory umožňují účinné stanovení rozličnosti pozemku, to představuje impuls k implementaci metod precizního zemědělství. Senzory zastupují nebo doplňují tradiční postupy pro analýzu půd a hodnocení porostů, což vede k redukci nákladů,

zvýšení rychlosti provedení práce a ke snížení náročnosti. Mezi nejčastěji používané senzory hodnotící spektrální charakteristiku porostů zaměřené na výživový stav se řadí N-senzor, N-tester a metody družicového a leteckého snímkování. Pro určení hustoty porostů je možné využít CropMeter. Měření probíhají s využitím GNSS a data jsou analyzována v GIS. Ovládací prvky aplikace slouží k diferencovaným zásahům umožňující plynulé úpravy dávek hnojiva nebo postřiku, hloubky pracovního nářadí při úpravě půd a navigaci mechanizace po pozemku (Lukas et al. 2010).

Využívají se metody spektrální odrazivosti, to využívá dvou vlastností rostlin, odrazivosti a průchodnosti záření (Lukas 2012). V posledních letech zaznamenalo využití spektrální odrazivosti významný přínos v rostlinné produkci, především ve výživě plodin. Díky rychlému rozvoji sensorové techniky pro měření spektrální odrazivosti je možné kvantitativně vyhodnocovat parametry jako je množství biomasy, velikost listové plochy, výživový stav rostlin a jejich zásobenost vodou (Klem 2014).

Odrazivost rostlin se projevuje většími rozdíly než odrazivost půdy. Důvodem je to, že odrazivost rostlin ovlivňuje více faktorů. Příkladem je to úroveň výživy, odrůda, vegetační fáze, agrotechnika či půdní druh a typ. Zároveň rostliny mají různé spektrální vlastnosti v souvislosti s fází vývoje (Heege 2013). Základním prvkem využití spektrální odrazivosti je absorpce některých částí spektra rostlinnými barvivy. Chlorofyly a + b absorbují záření viditelného spektra. Množství absorbovaného záření je přímo úměrné obsahu chlorofylu. Obsah chlorofylu úzce souvisí i s výživou N a působením stresu (Klem 2014).

3.3.1 Diagnostika živin v půdě

Metody analýz půd můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Přímá metoda zahrnuje tradiční vzorkování půdy. Při této metodě je klíčové množství odebraných vzorků na pozemku a jejich správné rozmístění. Vyšší počet vzorků zajistí detailnější mapování s lokálními rozdíly, ale jsou s tím spojené i větší finanční náklady. Obecně se v precizním zemědělství využívá rozsahu jeden vzorek na 1–5 ha, rozmístění je náhodné nebo v pravidelné síti. Výzkumy ukazují, že rozdílné množství vzorků má vliv na výslednou mapu pH půdy. Nepřímé metody fungují na principu sensorového měření. Senzory sledují půdní vlastnosti, které je možné přepsat do elektronického záznamu (Lukas et al. 2011). Přístroje užívané během jízdy pracovního stroje jsou označovány jako *on-the-go*. Výhodou je vyšší hustota měření, nižší nákladovost a rychlost mapování. Mezi nevýhody je možné zmínit nižší přesnost těchto senzorů oproti laboratorním rozborům (Christy 2008).

Správné hnojení je kriticky důležité pro vyšší výnos, to nesouvisí pouze s dávkou, ale i s volbou správného hnojiva a vhodného času. Určení množství aplikovaného hnojiva je založené na půdních testech (Wieser 2020). Před vlastní analýzou je vhodné prošetřit starší rozbory, bonitace půd se provádí již od 60. let minulého století, výsledky jsou přístupné za poplatek ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy Praha-Zbraslav. Ústřední a kontrolní ústav zemědělský provádí agrochemické zkoušení půd, které obsahuje stanovení základních chemických vlastností půd. Stanovuje množství přístupných forem P, Mg či K a uvádí výměnnou půdní reakci (Šarapatka & Urban 2006).

On-the-go systémy zaměřené na variabilitu půdních podmínek je možné rozdělit podle principu měření na několik skupin dle Adamchuk et al. (2004):

- mechanické senzory zjišťující odpor půdy,
- akustické senzory,
- elektrické a elektromagnetické senzory,
- optické a radiometrické senzory,
- pneumatické senzory,
- elektrochemické senzory.

3.3.2 Destruktivní metody diagnostiky rostlin

Zde hrají velkou roli chemické rozborů rostlin prováděné v laboratoři. Díky anorganické analýze je možné zjistit obsah živin a jejich poměr, to úzce souvisí s vegetačním obdobím viz obrázek 1. Odběr vzorků se provádí především k upřesnění dávek dusíkatých hnojiv, po usušení by měl vážit 50–100 g suché hmoty. Hlavní myšlenkou rozborů je fakt, že správná koncentrace živin v rostlině je nezbytná pro růst a vývoj rostlin. Pokud odběrových míst bude na pozemku dostatečné množství, je možné z výsledků vytvořit mapu variabilní aplikace. Zároveň je možné využít poměrů N s P a N s S podle důležitosti živin pro konkrétní plodinu. Přesných postupů na rozbor rostlin byla popsána celá řada (Lukas 2012).



Obrázek 1 Dynamika obsahu živin u obilnin (Lukas 2012)

3.3.3 Kontaktní metody diagnostiky rostlin

Kontaktní metody diagnostiky rostlin jsou založené na senzorech. Jsou obvykle méně přesné než destruktivní metody, ale poskytují výsledek ihned. Mezi nejznámější využívané kontaktní metody měření patří přenosný chlorofylmetr. Dostupný je produkt N-tester od firmy Yara a produkt Chlorofyllmeter SPAD 502 od firmy Minolta. Oba přístroje fungují na principu rozdílné propustnosti záření dvou vlnových délek, infračerveného záření s 940 nm

a červeného světla s 650 nm. Chlorofyl pohlcuje červené, ale ne infračervené záření, díky tomu přístroje dokážou vyhodnotit celkový obsah N. Při dostatečném počtu měření na pozemku jde vytvořit mapu výživového porostu pomocí interpolačních metod. Na základě této mapy můžeme vytvořit předpisovou aplikační mapu pro hnojení N (Lukas 2012). Dle Zimolka et al. (2008) obsah chlorofylu v listech není podmíněn pouze obsahem N, nemalou roli zastupuje i optimální obsah fosforu, síry a hořčíku. Z tohoto důvodu se doporučuje nejprve chemický rozbor rostlin. Získat velký počet měření je časově náročné, proto se většinou používají jako reference k bezkontaktním měřením.

3.3.4 Bezkontaktní metody diagnostiky rostlin

3.3.4.1 Online metody

Bezkontaktní metody diagnostiky rostlin se rozdělují na online a offline metody. Díky online metodám diagnostiky je možné provádět měření, zpracování dat a jejich převedení do konkrétní aplikační mapy zároveň s provedením pracovní operace na pozemku, kdy informačním zdrojem jsou data ze senzorů umístěných na pojezdových prostředcích. Je několik druhů senzorů, mezi nejznámější můžeme řadit N-Senzor, GreenSeeker, Crop-meter, MiniVeg N, Isaria a CropSpec (Lukas 2012).

První verze Yara N-Senzor byla vyvinuta již v roce 2000. Má 4 optické senzory, které jsou umístěny na kabině traktoru. Detekuje odrazivost viditelného a NIR záření, z čehož identifikuje množství biomasy a obsah chlorofylu. Nevýhodou je, že je možné senzor využívat pouze ve chvílích dostatečného světla, během jarních měsíců jsou tedy pracovní operace omezeny na 6–8 hodin v průběhu dne. V dnešní době existuje i druhá generace s názvem Yara N-Senzor ALS. Hlavní inovací je možnost využití senzoru i za horších světelných podmínek díky xenonovým lampám (Neudert et al. 2015).

Colaço & Bramley (2018) uvádí, že s využitím senzorů může dojít k úspoře N hnojiv o 5 až 45 % bez vlivu na výšku výnosu. Průměrný nárůst zisku je okolo 30 dolarů na ha, nicméně ani negativní výsledek není výjimkou.



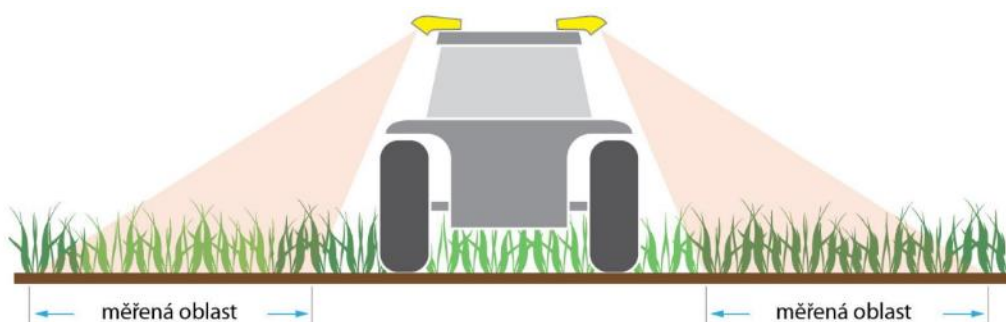
Obrázek 2 N-Senzor (Lukas 2012)

Senzor Isaria od firmy Fritzmeier využívá 4 vlnové délky a vyhodnocuje 2 parametry, IBI (index biomasy) a IRMI (odběr N podle zabarvení biomasy). Toto zařízení najde využití i v aplikaci růstových regulátorů a desikantů. Výhodou je, že senzor není potřeba kalibrovat, díky tomu dochází k úspoře času (Kubík 2016).



Obrázek 2 Senzor Isaria (Lukas 2012)

CropSpec je senzor od společnosti Topcon, je tvořen dvěma jednotkami, každá se instaluje na jednu stranu střechy kabiny traktoru, kde je menší riziko jeho poškození. u tohoto senzoru je možné využití nejen při online přihnojování, ale i pouze mapování variability porostů s nahráváním informací do systému. Princip měření je stejný jako u N-senzoru (CropSpec Crop monitoring technology 2017).



Obrázek 3 Senzor CropSpec (Lukas 2012)

3.3.4.2 Bezkontaktní off-line metody diagnostiky rostlin

Offline způsoby fungují prostřednictvím dálkového průzkumu Země (DPZ). Je to skupina metod, která získává informace o místech či objektech díky leteckému nebo satelitnímu snímkování, méně často se využívají i drony, vrtulníky či balóny. Důležitá je výška pohybu nosiče, ta úzce souvisí s oblačností, a tedy se schopností snímkovat v horších povětrnostních podmínkách. Hnojení s využitím map z DPZ je považováno za offline metodu, protože kroky (mapování, zpracování dat, aplikace hnojiva) jsou rozděleny. Díky tomu je možné zohlednit další doprovodné faktory. DPZ pracuje, stejně jako velké množství online senzorů, na základě spektrálního měření (Lukas 2012).

Rostliny se vyznačují specifickou odrazivostí. Zatímco červená a modrá část záření se ve velké míře upotřebí v procesu fotosyntézy, zelené záření je ve větší míře odraženo. To je

důvod, proč lidé rostliny vnímají rostliny jako zelené. Tyto informace je možné využít a zpracovat pro zjištění stavu vegetace. Z agronomického pohledu patří mezi nejdůležitější sledované vlastnosti hustota porostu, stav zaplevelení, výživný stav rostlin a jejich poškození. Dalo by se říci, že odrazivost viditelného záření informuje o schopnosti rostliny fotosyntetizovat a NIR informuje o množství biomasy. Vegetačních indexů je několik, mezi nejčastěji využívanými se řadí index NDVI (Klem 2014).

Heege et al. (2008) uvádí, že pro hodnocení obsahu N v porostu je množství biomasy spolehlivějším indikátorem než koncentrace chlorofylu v listech. Za nejlepší ukazatel obsahu N považuje red edge index. Všechny systémy, které pracují na základě odrazivosti generují chyby, když se do záběru senzoru dostane holá půda. Pro systémy s fluorescenčním snímáním toto neplatí, holá půda výsledky nezkrusuje a jsou proto využitelné v rannějším růstovém stádiu rostlin. Fluorescenční snímání zohledňuje pouze koncentraci chlorofylu, ale ne obsah biomasy. Žádná z těchto metod nicméně nezaručí 100% spolehlivost.

NDVI neboli normalizovaný diferenční vegetační index byl původně vytvořen ke stanovení dynamických dějů vegetace pomocí širokopásmových satelitních snímků. Normovaným výpočtem se zredukuje rušivé prvky v obraze, mezi ně se řadí rozdíly v osvětlení, stíny a vlivy atmosféry. Ke srovnání snímků vytvořených v různých světelných podmínkách je nutné využít radiometrickou korekci. Výpočty jsou dva, pro širokopásmové a úzkopásmové senzory (Lukas 2012).

Rovnice 1 NDVI z širokopásmových senzorů (Tucker 1979)

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$$

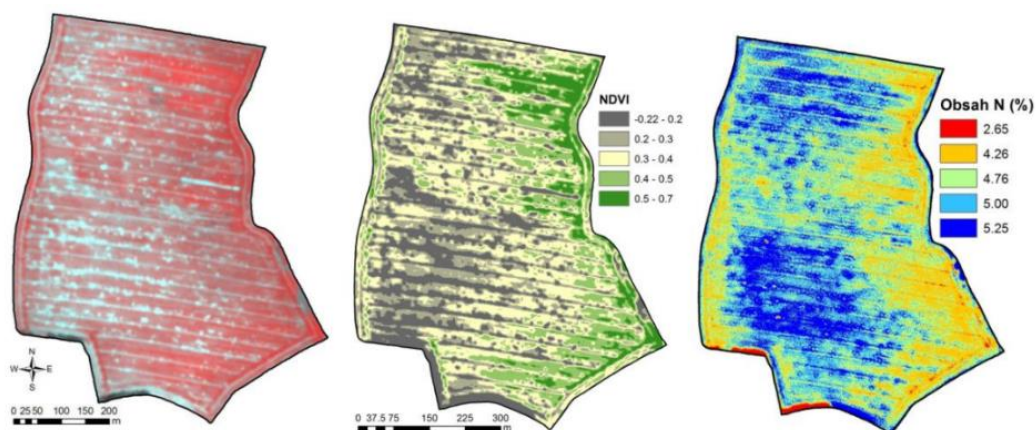
R_{NIR} , R_{RED} – odrazivost v blízké infračerveném a červeném pásmu

Rovnice 2 NDVI z úzkopásmových senzorů (Tucker 1979)

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$$

R_{800} -odrazivost v oblasti 800 nm

Výsledkem rovnice je bezrozměrná hodnota od -1 do 1. Záporné hodnoty zobrazují zastavěná území, výsledek okolo nuly znamená, že se na místě nachází holá půda a čím vyšší kladné hodnoty, tím větší je obsah biomasy na dané ploše, s tím souvisí větší hmotnost rostlin, vyšší počet plodin na m^2 , lepší výživový stav a větší počet odnoží. Na obrázku 6 je porost pšenice ozimé v růstové fázi sloupkování. Na prvním snímku zobrazený porost v nepravých barvách, na druhém je klasifikovaný NDVI snímek a pravý zobrazuje predikci obsahu N v rostlinách (Lukas 2012).



Obrázek 4 Multispektrální snímek vlevo, uprostřed NDVI snímek, vpravo prognóza obsahu N v rostlinách na základě NDVI a NIR (Lukas 2012)

Existují i další vegetační indexy. GNDVI neboli zelený normalizovaný diferenční vegetační index, NDRE (normalizovaný diferenční red edge index) nebo NGRDI, které mohou lépe korelovat s obsahem N v rostlině (Yawata et al. 2019).

Rozdíl mezi NDVI a NDRE porovnával Boiarskii (2019). NDVI zachycuje zelenou barvu na všech místech, kde se vyskytovala vegetace. NDRE pozoruje plodiny s nízkým obsahem chlorofylu, což indikuje nižší obsah N v listech. Pozorováním dokládají, že NDRE index je vhodný index pro sledování obsahu chlorofylu. Pokládají za vhodné používat různé indexy pro jiné plodiny, určení množství výsevku, zjištění hustoty rostlin nebo růstovou fázi.

Red edge index, známý také pod názvem REP (red edge position) nebo REIP (red edge inflection point) je vegetačním indexem, který určuje inflexní bod spektrální křivky v oblasti red edge. Ten se většinou pohybuje v rozmezí vlnových délek 680 až 750 nm. Čím vyšší je hodnota vlnové délky, tím větší je obsah chlorofylu nebo množství biomasy. Aby se zachytila odrazivost v konkrétních oblastech, musí se pro tento index používat úzkopásmové senzory. REP má oproti NDVI nižší citlivost k rušivým faktorům, příkladem lze uvést atmosferický stav nebo odrazivost půdy. Výpočet je možný provést dvěma způsoby. První je pomocí využití derivace, druhým výpočtem je aproximace na základě odrazivosti ve vybraných vlnových délkách (Neudert et al. 2015)

Autoři Lukas et al. (2013) zjišťovali rozdíly metod spektrálního měření v porostu ozimé pšenice za použití přístrojů Yara N-tester, Trimble GreenSeeker Handheld a ASD FieldSpec Handheld 2. Sledovaly se spektrální vlastnosti porostů s vlivem na odrůdu, výsvek a dávku N. Pro Yara N-tester je určující parametr list rostliny, zbylé dva přístroje fungují na principu snímání porostu, to je ovlivněno jeho hustotou. Vliv sledovaných faktorů na spektrální vlastnosti byl potvrzen, zároveň se potvrdil rozdíl mezi přístroji.

3.4 Hnojení plodin

3.4.1 Příjem živin rostlinami

Jak makroelementy, mezi které se řadí N, S, P, Mg, K, Ca, Na, tak i mikroelementy, kam patří Fe, Zn, Mn, Ni, Cl, Se, Al a Co, mají velkou roli ve správném růstu a funkčním metabolismu rostlin. Většinu živin rostliny přijímají svými kořeny, a to ve formě kationtů nebo aniontů (Marschner et al. 2012).

Při nadbytečné výživě N, P, K se živiny kumulují v kořenové části. V opačném případě, při nedostatku živin, kořen naopak nadzemním orgánům poskytuje živin dostatek. Nedostatek hlavních živin v půdě podporoval růst kořenové části rostlin u většiny sledovaných plodin. Funkční rovnováha mezi stonkem a kořenem znamená, že rostliny ukládají při výživovém deficitu méně biomasy do listů a více či stejně do kořenového systému (Středa et al. 2018).

Živiny se ke kořenům dostávají třemi způsoby. Prvním je vstřebávání iontů z půdního roztoku. Koncentrace záleží na konkrétním iontu, ale pohybuje se v rozmezí 0,1 mg/l až 100 mg/l a více. Z tuhé fáze půdy poté dojde k opětovnému doplnění odčerpaných iontů. Druhým způsobem je výměnná absorpce živinných iontů. Z kořene dojde k uvolnění H^+ a HCO_3^- , díky tomu dojde k výměně iontů na vnější ploše jílových a humusových látek. Poslední způsob zahrnuje zprostředkování přístupu živin ze sloučenin chemického původu díky vylučování H^+ iontů (Richter 2004a).

Rostliny mohou živiny přijímat i pomocí kutikuly, průduchů v listech, ale i pomocí generativních orgánů. Tímto způsobem přijímají většinou živiny ve formě rozpustných solí s konkrétní koncentrací, tato výživa se nazývá foliární (Richter 2004b).

3.4.2 Hnojení fosforem

Obsah fosforu v půdě se pohybuje v rozmezí 0,01 až 0,15 %, v půdě je málo pohyblivý. Větší obsah fosforu bývá na půdách s vyšším množstvím organické hmoty, naopak lehké půdy mají většinou obsah fosforu nízký. Vysoké procento celkového fosforu v půdě není rostlinám přístupné. Fosfor se vyskytuje v půdě obvykle ve sloučeninách H_3PO_4 a $H_4P_2O_7$. Formy, které mohou sloužit pro výživu rostlin, jsou v půdě zastoupeny v menší míře. Jedná se o primární fosforečné minerály neboli apatity, sekundárně vysrážené a adsorbované fosforečnany v podobě vápenatých solí a solí iontů Al a Fe a organické formy fosforu (Vaněk et al. 2016). Rostliny potřebují fosfor pro buněčné dělení a růst, především v brzkých fázích růstu (Hall 2008)

Při přihnojení P na povrch půdy v průběhu vegetace P zůstane v horních vrstvách půdy, ani při pokusu s 30 mm srážek se pohyblivost P nezvýšila. V povrchové vrstvě je vyšší riziko vysychání půdy, což souvisí se špatnými podmínkami pro příjem živin, zároveň se kořeny soustředí spíše do hlubších vrstev půdy (Vaněk et al. 2016). Aplikace fosforu je doporučena ve chvíli, kdy půdní testy zjistí jeho nedostatek v půdě (Wieser 2020).

Nedostatek fosforu se u rostlin neprojevuje příliš často vzhledem k tomu, že se ve většině případů jedná o latentní nedostatek. Biochemické procesy v rostlině kvůli deficitu P neprobíhají na potřebné úrovni, ale na plodině nejsou vidět zjevné příznaky (Vaněk et al. 2016). Nejdůležitější období příjmu P je počátek vegetace. Při dlouhodobém nedostatku P je možné vidět vnější příznaky. Rostliny jsou nízké, mají slabší stonky, úzké a vzpřímené listy a zároveň menší počet listů, kořenová soustava je menší. Obsah chlorofylu v plodině stoupá a listy jsou tmavší (Marschner et al. 2012). Dle Vaněk et al. (2016) přechází zbarvení do červené až fialové z důvodu zvýšené tvorby antokyanů. Typicky je tento příznak viditelný na řepce na podzim a na jaře na ječmeni, především na chudších stanovištích.

Mehrvarz & Chaichi (2008) zkoumali vliv inokulace osiva ječmene solubilizačními mikroorganismy a různé úrovně hnojení fosforem. Aplikace mikroorganismů měla pozitivní vliv na obsah proteinu v zrně a mohla by být vhodnou podporou či náhradou za fosforečná hnojiva.

Kazlauskas et al. (2021) se ve svém výzkumu věnovali účinkům fixního a variabilního hnojení. Aplikace fosforu byla provedena na základě analýzy půdních vlastností. Výsledek ukázal, že variabilní aplikace může vést ke snížení dusíkatých, fosforečných a draselných hnojiv o 24,9 %, zároveň vede ke snížení potřeby energie a ke snížení emisí skleníkových plynů. S variabilní aplikací hnojiv se snížily náklady na produkci o 168 euro na hektar.

Výzkum Pätzold et al. (2020) se zaměřil na predikci dostupnosti fosforu v rostlinách s využitím infračervené spektroskopie, cílem bylo optimalizovat možnosti variabilního hnojení P. Pokus probíhal na šesti lokalitách, některé výsledky byly uspokojivé, některé výsledky dat částečně selhaly. Došli k závěru, že stanovení přístupného fosforu spektroskopii zatím není dostačující pro určení přesné variabilní aplikace, nedošlo k vysvětlení vztahu mezi extrahovatelností P a vlastnostmi spektrální odrazivosti.

3.4.3 Hnojení draslíkem

Plodiny potřebují velké množství draslíku pro rozdílné metabolické procesy a pro různé další funkce, například: syntéza proteinů, intenzivnější fotosyntéza, formování květu a plodu, pomáhá zvýšit toleranci na chladový stres či pomáhá udržet správnou rovnováhu iontů v rostlině (Hall 2008).

Draslík se v půdě vyskytuje v koncentraci mezi 0,5 až 4 %. Oproti fosforu je více pohyblivý, větší množství se ho nachází v jílovitých půdách s vysokou výměnnou kapacitou (Charman et al. 2007). V půdě se draslík dělí do tří kategorií: nevýměnný, výměnný a vodorozpustný. Nevýměnný K se vyskytuje v primárních a sekundárních minerálech. Výměnný K je kationt K^+ , ten se nachází v půdním sorpčním komplexu. Vodorozpustný K se vyskytuje v půdním roztoku, rostliny ho mohou okamžitě přijímat (Vaněk et al. 2016). Aplikace draslíku je doporučena ve chvíli, kdy půdní testy zjistí jeho nedostatek v půdě (Wieser 2020).

Deficit draslíku se projevuje omezením tvorby bílkovin a sacharidů. U obilnin je běžný nedostatek K v jarním období, když je chladné a vlhké počasí. Při dešťových srážkách může docházet i k vymývání k z listů. Porosty jsou více náchylné na nakažení houbovými chorobami, snadněji dochází k poškození mrazem a regenerace trvá delší dobu. Při větším nedostatku k začnou okraje spodních listů žloutnout a zasychat. V letních měsících dochází k rychlejšímu zavádání rostlin v případě sucha (Vaněk et al. 2016).

V letech 2004 a 2007 proběhl na dvou polích v oblasti jižní Moravy pokus. Lukas et al. (2014) ověřovali účinnost postupů AZP pro stanovení variabilních dávek zásobního P, K a Mg hnojení. Díky zpřesnění měřitek pro vyhodnocení AZP pomocí bilančního koeficientu došlo ke snížení dávek K a zároveň se zachovala úroveň hnojení s ohledem na diferencovaný výnos plodin na pozemcích. Zároveň je z výsledků patrné, že homogenní aplikace na základě průměrného výnosu nezvládla pokrýt nezbytné živiny pro porost na pozemku.

3.4.4 Hnojení hořčíkem

Hořčík se v půdě běžně vyskytuje v rozmezí 0,4 – 0,6 %, na dolomitech může obsah Mg stoupnout až na 10 %, naopak lehké půdy, které mají nízké pH, obsahují velmi malé množství Mg (Vaněk et al. 2016). V půdě se hořčík nachází v kombinaci s ostatními prvky ve formě hydroxidů, uhličitanů, sulfidů či chloridů. Hořčík má schopnost zvýšit pH půdy více než vápník, mezi běžná Mg hnojiva patří dolomit, oxid hořečnatý a sulfát hořečnatý (Hall 2008).

Pro rostliny je důležitý z hlediska fotosyntézy, protože se nachází v molekule chlorofylu, pomáhá i buněčnému dýchání a syntéze proteinů. Vliv na obsah Mg má i pH a iontová rovnováha (Hall 2008). Obsah Mg v plodině ovlivňuje i další funkce a procesy v rostlinách, které jsou důležité pro vytváření výnosu. Příjem Mg zpomaluje sucho a intenzivní sluneční záření (Černý et al. 2012).

Mg bývá čím dál častěji limitujícím prvkem, někdy je označován za opomíjenou živinu. V intenzivní produkci, kde se hnojí primárně N, P, K, dochází k velkému vyčerpání půd Mg. Výsledku studií ukazují, že první známkou deficitu Mg v rostlině je akumulace sacharózy v listech. Mezi další projevy deficitu patří zpomalení růstu kořenů, dochází k inhibici transportu látek skrz floém a chlorózy na starších listech (Černý et al. 2012).

Mezi lety 2004 a 2007 byl v oblasti jižní Moravy proveden pokus. Lukas et al. (2014) zjišťovali, zda jsou postupy ke stanovení variabilní dávky Mg hnojení účinné při využití AZP. Vzorky se odebíraly v síti 50 × 50 m, tedy 4 v počtu 4 vzorky na ha, celkem bylo 214 vzorků na prvním poli a 152 na druhém. Dle výsledků se při Mg hnojení variabilně použily podstatně vyšší dávky oproti homogennímu hnojení.

3.4.5 Hnojení vápníkem

Vápník je v půdě důležitý pro mnoho procesů, celkový rozsah může být mezi 0,15 % až 10 %. Většina Ca se vyskytuje v těžko rozpustných sloučeninách. Rozpustnost Ca se odvíjí

od pH půdy, v kyselější oblasti je rozpustnost vyšší. Pro výživu rostlin je důležitý výměnný vápník, který je vázaný na půdní koloidy výměnnou sorpcí. Rostliny Ca přijímají v podobě kationtu Ca^{2+} prostřednictvím kořenových špiček a transport v rostlině probíhá transpiračním proudem. Má pozitivní vliv na příjem ostatních živin, ovlivňuje semipermeabilní buněčnou membránu a s tím aktivitu některých enzymů. Nižší vlhkost pozitivně ovlivňuje příjem Ca, teplota vliv nemá (Vaněk et al. 2016).

Pokud je v půdě nadbytek Ca, většině rostlin to nepůsobí komplikace. Problém může nastat při vysokém pH půdy, kdy má řada sloučenin sníženou rozpustnost, což způsobuje jejich nedostatek. Jde především o těžké kovy, tedy o železo, mangan či bór (Vaněk et al. 2016). Mezi hlavní příznaky deficitu Ca se řadí zbělení vrcholů a mladých listů, případně jejich odumírání. Na listech se tvoří od špičky nekrózy, chlorózy, dochází ke zpomalení vývoje kořenů, kořeny slizovatí a hnědnou, na plodech se vyskytuje hniloba, která začíná od špičky (Efektivní výživa rostlin 2019).

Cílem vápnění je optimální hodnota pH v půdě. Dávka se určuje primárně podle výměnné půdní reakce a půdního druhu. Potřeba se uvádí v CaO a dávka se pohybuje v rozmezí 0,2 – 1,7 tuny CaO na hektar. Variabilní hnojení Ca se provádí na základě hodnot z rozborů půd nebo na základě výnosových map ze sklízecích mlátiček a vypočtení odběrových normativů (Neudert et al. 2015).

3.5 Hnojení N

Intenzifikace rostlinné výroby začala zřetelně stoupat v druhé polovině 20. století. S tím je úzce spjatá i vyšší potřeba hnojení, především hnojení N, aby měly rostliny lepší dostupnost živin v půdě. Při zvyšování množství aplikovaných hnojiv docházelo i k vyšším ztrátám dusíku a docházelo ke snížení kvality povrchových i podpovrchových vod kvůli povrchovému smyvu nebo podpovrchovému odtoku. Z tohoto důvodu došlo k vytvoření legislativnímu opatření – směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských strojů (tzv. nitrátová směrnice). V nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu jsou určena povinná opatření, souvisí hlavně se skladováním hnojiv a jejich aplikací. Dle monitoringu zatím nedochází ke snížení znečištění vod. Hnojením N se často kompenzuje agrotechnická chyba nebo nedostatek jiných živin. V předchozích suchých letech docházelo k nižšímu příjmu N rostlinami, a tedy k nárůstu obsahu reziduálního dusíku v půdě (Klír et al. 2018).

3.5.1 Princip hnojení N

Primárním zdrojem N pro zemědělskou produkci jsou hnojiva a biologická fixace (Amundson et al. 2006). Dusík je velmi důležitý pro růst a vývoj rostlin, má vliv na distribuci látek, ovlivňuje syntézu lipidů a proteinů a zvyšuje výnos. Množství N v rostlině má vliv také na ukládání lipidů a bílkovin do semen. Díky dostatku N se podporuje větvení rostlin a probíhá asimilace (Zhu et al. 2023). Aby byla správně stanovena potřebná dávka, je nezbytné zohlednit vliv předplodiny, agrotechnický postup a půdní a klimatické podmínky na pozemku (Šarapatka & Urban 2006).

Pokud dojde ke špatnému dusíkatému managementu, může dojít ke snížení výnosu a zároveň ke ztrátám prostřednictvím volatilizace, denitrifikace nebo vyplavováním a povrchovým odtokem. Je nezbytné zohlednit tyto rizika s ohledem na bezpečnost životního prostředí a ekonomickou efektivitu hnojení (Rossini et al. 2018).

3.5.2 Příjem N rostlinami

Rostliny přijímají N primárně v podobě dusičnanového (NO_3^-) a amonného (NH_4^+) iontu (Šarapatka & Urban 2009). Přístupný dusík je pomocí specifických transportérů přemísťován přes plazmatickou membránu z půdy do kořenů. Specifická struktura transportérů vymezuje formu N, kterou přenáší. Za běžné situace je N přístupný především ve formě NO_3^- . Amonná forma N je přijímána skrz amonné transportéry, které se nachází zejména v kořenových vláscích. Metabolickým procesem je dusík po absorpci následně přeměněn a začleněn do organických sloučenin (Ye et al. 2022).

Rostliny mohou přijímat i organický N ve formě aminokyselin a močoviny. S ohledem na substrát a zásobenost konkrétních aminokyselin půdního roztoku má rostlina vybudované specifické transportéry. Organický N se nachází především v půdách, které jsou organicky hnojené (Zayed et al. 2023).

V půdách, které jsou biologicky aktivní, dochází k rychlé přeměně NH_4^+ na NO_3^- a převažuje zde příjem nitrátového aniontu (Vaněk et al. 2016). Značný vliv na příjem iontů má pH půdy i pH rostlinných buněk. V kyselém pH nastává primární příjem NO_3^- , naopak v neutrálním nebo mírně alkalickém prostředí se mírně zvyšuje příjem NH_4^+ (Feng et al. 2020).

Amonná forma N je pro rostliny toxická. V případě, že rostlina přijímá NH_4^+ , dochází k implementaci do organických sloučenin v podobě aminokyselin či amidů již v kořenovém systému, následně se transportují prostřednictvím xylému. Ve chvíli, kdy konkrétní rostlina přijímá NO_3^- , může k přeměně na amonnou formu dojít až po transportu do listů, následně je okamžitě navázána na další sloučeniny. Příjem N hnojiv prostřednictvím listů je možný díky průduchům na spodní straně listů (Marschner et al. 2012).

3.5.3 Nedostatek

Pokud plodiny mají nedostatek N už od začátku růstu, dochází k omezení růstu a tvorby všech orgánů. Porost bývá nevyrovnaný a světlejší, listy jsou světle zelené až nažloutlé, je omezená tvorba stavebních bílkovin v rostlinách (Šimek & Cooper 2004). Způsobuje snížení tvorby chlorofylu a omezení fotosyntézy, jehož příčinou je menší velikost rostlin a celkově menší nárůst biomasy. S tím souvisí i omezená tvorba kořenového systému a snížení schopnosti příjmu živin (Pandey et al. 2020).

Nedostatek se projevuje rozdílně s ohledem na fenologickou fázi a druh plodin, může velmi negativně ovlivnit utváření výnosových prvků. U obilnin může být projevem nedostatku N v různých obdobích např. snížení odnožování, snížení počtu zrn v klasu či v pozdních fázích nižší hmotnost zrn a obsah bílkovin v zru (Marschner et al. 2012). To

může způsobit změnu jakosti pšenice a z potravinářské pšenice se poté může stát pouze krmná. U sladovnického ječmene je žádoucí dostatečný příjem N v počátku, ale ke konci vegetace je nutné příjem N omezit, tím dochází k produkci potřebného škrobu a nižší tvorbě dusíkatých látek. U různých druhů zelenin a okopanin je vyšší potřeba N v počátku vegetace, aby byla podpořena tvorba biomasy. Ke konci vegetace je ale naopak žádoucí omezený příjem N, to podporuje vyšší cukernatost u cukrovky nebo zlepšení chuti u zeleniny. Zároveň se v zelenině nehromadí nitráty, které snižují zdravotní hodnotu produktů (Vaněk et al. 2016).

3.5.4 Přebytek

Přebytek N není příliš častý, obvykle se projevuje bezpříznakovou formou. Působení přebytku N záleží na druhu rostlin a jejich fenologické fázi. Při vzcházení jsou, konkrétně na amonnou formu N, velmi citlivé drobnosemenné zeleniny a jeteloviny. Je tedy potřeba vynechat vyšší jednorázové dávky N (nad 60 N kg/ha). Nadměrné dávky N mohou způsobit problémy v podobě omezení růstu a větvení kořenů. V místech vysoké koncentrace N dochází k velkému rozvoji kořenového systému, ale ve zbylém půdním profilu dochází k utlumení růstu (Vaněk et al. 2016).

V pozdějších fenologických fázích se N hromadí v plodinách, to může ovlivnit nutriční hodnotu produktů. Dochází k nadměrnému růstu ve vegetativní fázi, snižuje se odolnost proti poléhání. Rostliny mají menší mrazuvzdornost z důvodu rychlého růstu, kdy se tvoří méně cukrů a pletiva nejsou vyzrálá (Šimek & Cooper 2004). Kvůli příliš hustému porostu roste riziko napadení chorobami a prodlužuje se období dozrávání. Přehnojení se projevuje nekrotizací listů, zasycháním jejich okrajů. Obvykle se takové projevy vyskytnou na souvracích a na místech, kde dochází k plnění rozmetadel (Vaněk et al. 2016). Nadměrné hnojení N u ozimé pšenice inhibuje tvorbu výnosu, negativní účinek se prokázal především ve fázi tvorby zrna (Zhao et al. 2012).

3.5.5 Ztráty N

Hnojiva by měla být aplikována s pozorností na správné podmínky a potřeby plodiny, aby bylo možné minimalizovat potenciální ztráty N. Díky metodám v precizním zemědělství je možné k těmto prvkům přihlížet (Ammann 2009).

Největším rizikem je zbytkový minerální N v půdě po sklizni. V období od podzimu do jara dochází ke zvýšení obsahu vody v půdě, příčinou je nízký výpar z půdy i rostlin. V pozdním jarním a letním období k vyplavování dochází málokdy, plodiny obvykle mají vysokou spotřebu vody a k nasycení půdního profilu vodou nedojde. Ztráty prostřednictvím denitrifikace se objevují na půdách se závlahou. Maximální přípustná koncentrace dusičnanů ve vodě je 50 mg/l. To je při průsaku 100 mm vody v zimním a jarním období pouze 11,3 kg N (Klír et al. 2018).

Rozklad organické hmoty je urychlen po hnojení minerálními dusíkatými hnojivy a hnojivy s rychle uvolnitelným N, letní a podzimní hnojení se doporučuje využívat jen v opodstatněných případech. Při aplikaci na středně těžkých a lehkých půdách ve vyšší

nadmořské výšce se navrhuje množství hnojiva snížit či aplikaci vynechat. Proti vyplavování N z půdy také pomáhá rozdělení dávek, či využíváním inhibitorů nitrifikace (Klír & Kozlovská 2016).

Bláha & Ryant (2013) se zabývali vlivem stabilizovaných dusíkatých hnojiv. Zjišťovali vliv hnojiv na bázi močoviny ve fázi metání pšenice v souvislosti s výnosem zrna. Pokus byl proveden v roce 2010/2011 na dvou místech a byly v něm následující varianty: nehnojená kontrola, ledek amonný s dolomitem, močovina, močovina s inhibitorem ureázy a močovina s inhibitorem nitrifikace. Ve výsledcích uvádějí, že rozdíly mezi variantami nebyly průkazné. Močovina s inhibitorem nitrifikace se na jednom místě projevila jako nejefektivnější hnojivo, na druhém místě, které je v sušší a teplejší lokalitě, se toto hnojivo ukázalo jako nevýhodné.

Antošovský et al. (2020) testovali účinnost dusíkatých hnojiv s inhibitory u ozimé pšenice. V maloparcelkovém pokusu byl výnos u kontrolního nehnojeného pokusu 6,2 t/ha, u varianty hnojiv LAD + LAD + DAM výnos činil 7,4 t. Nejlépe si vedly varianta LAD + LOVOGRAN IN, ta měla výnos 8,1 t, a varianta LAD + ENSIN, která měla výnos 7,9 t. LOVOGRAN IN obsahuje oproti ENSIN méně % N, ale má vyšší obsah S. Hnojiva s inhibitory nitrifikace zlepšily návratnost produkce pšenice ozimé o 2120 Kč až 3880 Kč na hektar půdy.

Argento et al. (2021) uvádějí, že díky variabilnímu hnojení dochází k lepšímu využití N a ke snížení ztrát. Porovnávali variabilní a konstantní způsob aplikace N, kdy u variabilního způsobu snížili množství hnojiva o 5-40 % v závislosti na půdní heterogenitě. Ve valné většině pokusů variabilní aplikace prokázala okolo 10% zlepšení využití N. Zmiňují, že aby se dosáhlo lepších výsledků, je nezbytné lépe predikovat průběh mineralizace N a průběh odběru N rostlinami.

3.5.6 Stanovení potřeby a dávky hnojení

Potřeba hnojení se určuje podle středního odběru N v kg/t hlavního produktu. Střední odběr se zjišťuje na základě zohlednění mnoha faktorů např. vliv ročníku, odrůdy, výnosu a poměru hlavního a vedlejšího produktu. Existují ale všeobecně dané hodnoty odběrových normativů pro hlavní pěstované plodiny. Následně dojde k vynásobení s předpokládaným výnosem. Po zjištění předpokládané potřeby N se dávka upravuje s ohledem na stanoviště, roli předplodiny, zaorávky posklizňových zbytků a organické hnojení (Vaněk et al. 2016).

Při zohlednění půdy na pozemku se provádí analýza na N_{\min} . Pokud je obsah vyšší než 16 ppm N, provádí se další odpočty až do výšky 60 kg N/ha. Hnojení je rozděleno na základní, regenerační, produkční a kvalitativní. Všechny aplikace se mohou rozdělit do více pojezdů, pokud by dávka N měla být příliš vysoká. Jednorázová dávka N by se měla pohybovat v maximálním množství 80 kg čisté živiny na ha, 60 kg čisté živiny na ha na lehkých půdách. Důležité je také určení přesných termínů aplikace a brát v potaz aktuální povětrnost, tedy teplotu a srážky. Pokud jsou dobré hydrotermické podmínky, dochází k větší mineralizaci N, který mohou rostliny využívat, za této situace je tedy možné dávku N snížit.

Naopak při suchém, případně chladném počasí, je aktivita nitrifikačních bakterií nízká a biologické procesy probíhají pomalu, tím tedy dochází k nižší efektivitě využití N (Vaněk et al. 2016).

3.5.7 Stanovení dávky hnojení v systému precizního zemědělství

Variabilní aplikace N hnojiv se řadí v precizním zemědělství mezi hlavní diferenciované operace. Dávka se upravuje na základě výsledků z různých senzorů, vegetačních indexů a výnosové úrovně pozemku. Díky lokálně cílené aplikaci N dochází k efektivnějšímu využití hnojiv s ohledem na individuální podmínky daného místa. Střední dávka hnojiva se může stanovit na základě normativní dávky, která se vypočítá vynásobením odběrového normativu s očekávaným výnosem. Očekávaný výnos je možné spočítat průměrem výnosů z předchozích let. Tím vznikne variabilní mapa pozemku s předpokládanou potřebou N (Lukas 2012).

Jiný postup je na základě mapy produkčních zón. Ty nachází využití primárně v základním hnojení anebo v přihnojení v nižších fenologických fázích rostlin. Při hnojení podle podkladové mapy produkčních zón se zvyšuje dávka N na místech s vyšším potenciálním výnosem. Naopak na místech s menším potenciálním výnosem se dávka snižuje. Je nutné brát ohled na individualitu pozemků. Na některých místech může být vyšší očekávaný výnos, ale porost tam často poléhá. Naopak místa s nižším potenciálem je možné podpořit ve chvíli, kdy je např. pozemek sušší, ale kvalita půdy je dobrá (Lukas et al. 2020)

Variabilní hnojení N s využitím vegetačních senzorů je vhodné zařadit v pozdějším přihnojování během pokročilejší fáze růstu plodin (Lukas et al. 2020).

Variabilní hnojení s využitím dat z vegetačních indexů u ozimé pšenice se snížením dávky o 38 % oproti homogennímu hnojení nesnížilo výnos. Náklady díky nižší aplikaci klesly o 118 EUR/ha v porovnání s konstantní dávkou N (Stamatiadis et al. 2018).

Martins et al. (2020) říkají, že použití chlorofylmetru SPAD-502 vedlo ke zvýšení využití N rostlinami. Zároveň potvrzuje, že variabilním hnojením došlo ke snížení dávky N se zachováním stejného výnosu.

3.6 Výnosové mapy, mapy výnosového potenciálu

3.6.1 Využití výnosových map

Možnost mapování výnosů se prvně objevila u sklízecích mlátiček, na nich jsou senzory využívány od roku 1993. Využití výnosových map může být užitečné k analýze příčin kolísání výnosu plodin. Další možnost využití je vytvoření plánu agrotechnických zásahů na pozemku s ohledem na stav a celkovou péči o pozemky (Neudert et al. 2015). Data z výnosů mohou být využita ke stanovení výnosové úrovně konkrétního pozemku, kdy následující možností je tvorba variabilních map pro hnojení nebo setí. Variabilní setí se využívá zvýšením výsevku na více produkční ploše a snížením výsevku na méně produkční ploše, je ale možné použít i opačný způsob, na více produkční ploše výsevek snížit, a naopak

na méně produkční ploše výsevek zvýšit. Variabilním hnojením se poté dodá rostlinám konkrétní potřebné množství živin. Vyčleněním málo produkčních zón na pozemku díky zhodnocení výnosového potenciálu je možné tyto plochy využít i k mimoprodukčním porostům (Lukas 2011).

3.6.2 Stanovení plánovaného výnosu a výnosové úrovně

Při klasickém výpočtu je za plánovaný výnos považovaná průměrná hodnota výnosu plodiny na pozemku. Používání průměrného výnosu na pozemku však může schovat na různorodých pozemcích lokální části pozemků, které mají nižší nebo vyšší produktivitu (Bouman 1995). Využitím výnosových map je možné stanovit diferenciovanou výnosovou úroveň, kdy lze použitím kombinace relativních výnosů a historických map částečně vyloučit ročníkové rozdíly. Procentuálním srovnáním výnosu na konkrétním místě s průměrným výnosem v daném roce za celý pozemek získáme hodnotu výnosové úrovně. Stanovení výnosové úrovně je tedy tvořeno ze dvou kroků, prvním krokem je normalizace výnosových map a druhým krokem je zprůměrování za více let. Tímto způsobem je možné využít výnosových dat různých plodin či odrůd, jelikož se bere v potaz poměr k průměrnému výnosu, nejen k absolutní hodnotě výnosu. Díky tomu je možné vypočítat normativní dávky potřeby dusíku. Výnosová úroveň se znásobí s průměrným předpokládaným výnosem plodiny, což je konstantní číslo za celý pozemek. Získáme mapu, kde je zobrazen očekávaný výnos v absolutních jednotkách. Vynásobením s odběrovým normativem živin na jednotku produkce se dostaneme k normativní dávce (Lukas 2012).

3.6.3 Tvorba výnosových map

V současné době díky vývoji stoupá možnost celoplošného monitorování výnosu plodin a záznamu do map (Lukas 2021). V praxi je výnos zaznamenáván kontinuálně v průběhu mlácení a hodnoty jsou ihned zapisovány do palubního počítače (Neudert et al. 2015). Záznamy ze sklízecích mlátiček je nutné upravit pro následné využití k optimalizaci pěstebních technologií a je potřeba vyjmout nepřesné záznamy. Data jsou totiž zkreslena důsledkem různých vlivů, např. objížděním překážek jako jsou sloupy elektrického vedení, otáčením sklízecí mlátičky, zastavením a vyprázdněním zásobníku či v chybě v determinaci správné polohy (Lukas 2021).

Arslan & Colvin (2002) rozdělují zdroje chyb ve výnosových datech do čtyř kategorií:

- senzorové chyby,
- chyby způsobené sklizňovými podmínkami,
- chyby operátora sklízecí mlátičky,
- redukce dat a chyby ve výnosovém mapování.

Dalším negativním faktorem může být zpracování informací z více sklízecích mlátiček, které sklízely na jednom pozemku, zvláště za situace, kdy měly jinak zkalibrovaná výnosoměrná čidla (Lukas 2021). Většinu chyb je možné eliminovat správným nastavením sklízecí mlátičky. Pokud dochází ke kalibraci výnosoměrných čidel na základě měření

objemového průtoku, dochází často k chybám. V této situaci by měla být kalibrace výnosměřů prováděna až pětkrát za den. V neposlední řadě může být významným zdrojem chyb pouze částečný záběr sklízecího adaptéru, například v úzkých pásech porostu (Blackmore 1999). Jednotlivé datové soubory se vyrovnají přepočtem relativní hodnoty výnosu a spočítáním odchylky z hodnot přejezdů ve stejných výnosových zónách. Dalšími výpočty se poté získá výnos v absolutních hodnotách. Následně je možné z bodových záznamů vytvořit celoplošnou mapu. Takto vytvořené mapy jsou významným prvkem pro charakteristiku plošné variability pozemků (Lukas 2021). Časovou výnosovou variabilitu nelze stanovit, často se stává, že v jednom roce je na poli vysoký výnos a v následujícím roce naopak velmi nízký. Nicméně důležité faktory, které určují výnos na pozemku, by měly být rok od roku stejné. Jedná se o prostorová data, orientační body na pozemku a další důležité informace jako předchozí osevnické postupy, informace o půdě či lokalizace starých struktur (stáje, ploty) (Neudert et al. 2015).

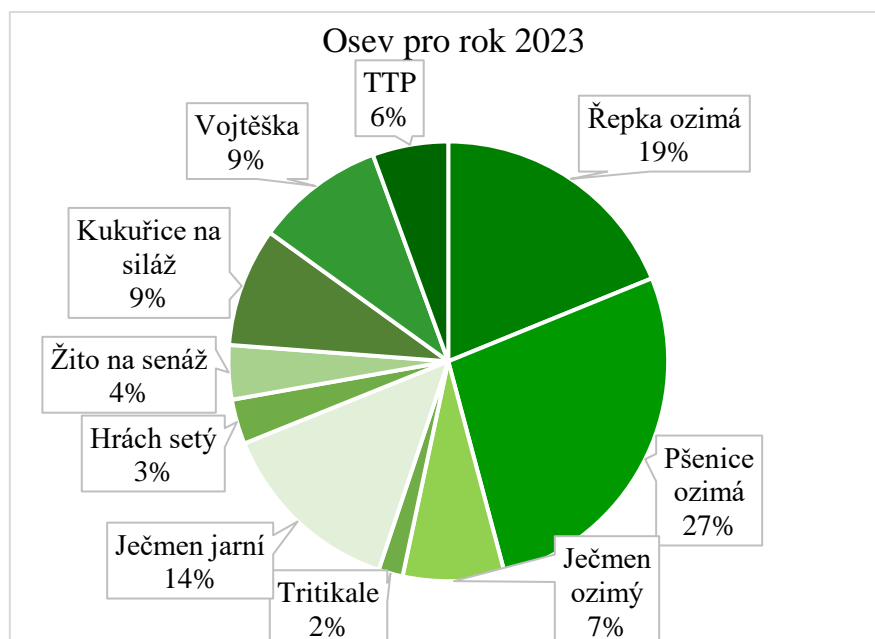
4 Metodika

V první části praktické části této diplomové práce vytváří autorka pro vhodné pozemky Statky ČZU mapy produkčních zón a následně navrhuje dávkování dusíku v jednotlivých částech pozemků. V druhé části je proveden poloprovozní pokus, který ověřuje hypotézy stanovené cílem práce.

4.1 Zemědělský podnik Statky ČZU

Statky ČZU je podnikem České zemědělské univerzity v Praze. Vznikly v roce 1960 v obci Lány v okrese Kladno. V začátku obhospodařovaly 340 ha a plocha se postupně rozrůstala. Aktuálně Statky ČZU hospodaří konvenčním způsobem na 2670 ha půdy, z toho je 2400 ha orné půdy, 120 ha TTP a 150 ha jiných kultur. 42 % půdy je pronajato od soukromých vlastníků, zbytek je ve vlastnictví univerzity. Na grafu 1 je zobrazena osevní plocha pro rok 2023. Podnik je tvořen několika středisky, 6 středisek je zaměřeno na živočišnou výrobu, jedno na služby a jedno středisko cílí na rostlinnou výrobu, to sídlí na Lánech. Střediska zajišťují praxe pro studenty a na většině míst se nachází ubytovací zařízení i výukové prostory. Pozemky v Červeném Újezdě slouží k pokusnické a výzkumné činnosti. Podnik chová mléčné plemeno Jersey, jehož základní stádo čítá 130 ks, stádo holštýnského skotu v počtu 408 ks základního stáda a plemeno Česká červinka v počtu 14 ks krav, které se řadí mezi genetický zdroj České republiky. Okrajově se věnuje chovu koní, lam Guanaco a antilopy Losí.

Mezi hlavní plodiny pěstované Statky ČZU patří řepka ozimá, pšenice ozimá, ječmen jarní a ozimý a vojtěška a kukuřice na siláž. Ročně Statky vyprodukují přibližně 10 000 t obilovin a 2 300 t řepky.



Graf 1 Osevní plochy Statky ČZU pro rok 2023 (Zdroj Statky ČZU)

4.2 Analýza ploch výnosového potenciálu

V první části došlo ke zpracování výnosových potenciálů pro Statky ČZU. Cílem bylo analyzovat pozemky pro variabilní hnojení prostřednictvím stanovení podílů produkčních zón. Pozemky byly vybrány na základě několika kritérií. Vyřazeny byly pozemky, které měly menší rozlohu než 5 ha. Došlo k vyřazení pozemků, které podléhaly další úpravě. Biopásy, ochranné pásy nebo dělení DPB by mohlo negativně ovlivnit výsledky kvůli absenci dat z různých míst pozemku. Důležitý faktor byla i stabilita pozemku, kdy pozemky s hodnotou pod 40 nebyly do analýzy zařazeny. Výnosový potenciál byl rozdělený na 3 zóny. První zóna má nejnižší potenciál, druhá zóna má průměrný potenciál a třetí zóna má nejvyšší potenciál.

Mapy výnosového potenciálu vybraných pozemků byly získány pomocí aplikace OneSoil Yield. Došlo k zjištění procentuálního zastoupení jednotlivých zón na vybraných pozemcích.

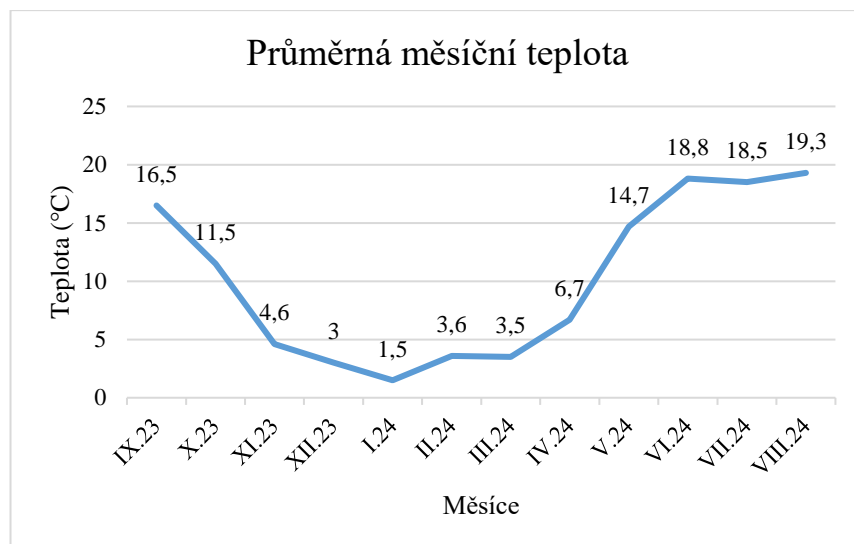
4.3 Poloprovozní pokus

Na pozemcích zemědělského podniku Statky ČZU byly založeny dva pokusy za účelem porovnání vlivu variabilní aplikace dusíkatých hnojiv na výnos ozimé pšenice. Agronomem byly pro pokus vybrány dva pozemky, na kterých byla v roce 2022 na podzim vyseta pšenice ozimá odrůdy Julie, předplodinou byla v obou případech řepka ozimá. Pozemky byly vybrány na základě vhodného tvaru, velikosti a nízké sklonitosti. Důležité bylo, aby pozemky nebyly variabilně seté, to by mohlo zapříčinit zkreslení výsledků. Pro zvolené pozemky byla vytvořena aplikační mapa s pásy. Design experimentu je podrobně popsán níže v kapitole 4.3.4.

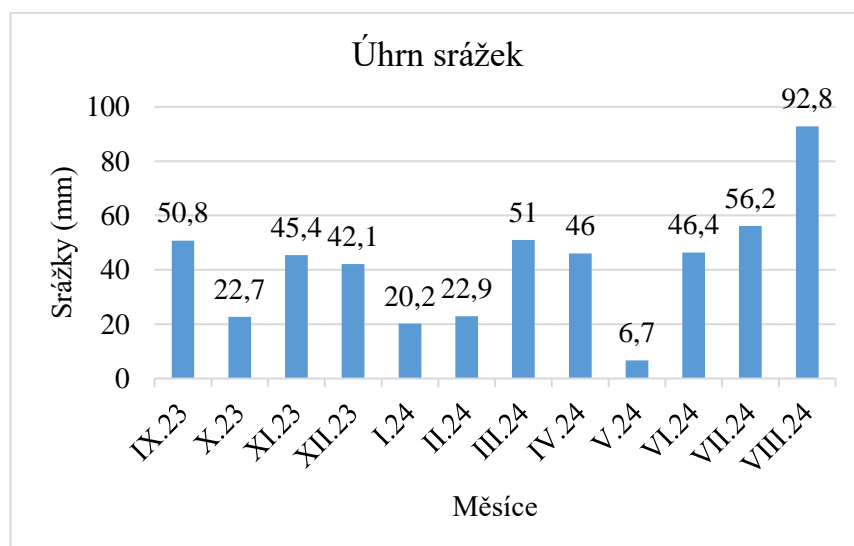
4.3.1 Charakteristika ročníku

Na grafu 2 je znázorněna průměrná měsíční teplota v průběhu experimentu. Podzim roku 2022 byl teplý, v září byl úhrn srážek dobrý, klíčení proběhlo ve správném období přibližně 7–10 dnů po zasetí. V říjnu 2022 byl nedostatek srážek, což se podepsalo na lehkém zpomalení růstu rostlin ke konci měsíce. Přes zimní měsíce nebyly zaznamenány velké mrazy, úhrn dešťových i sněhových srážek byl nižší. V březnu 2023 byl pravidelný úhrn srážek, došlo k podpoření mineralizace v půdě, teploty byly normální, teploty a srážky v dubnu byly běžné.

V květnu byly teploty vyšší a zároveň byl minimální úhrn srážek, pouze 6,7 mm. To způsobilo zpomalení růstu a zrychlení dozrávání rostlin. Červen, červenec a srpen měl normální průběh počasí. Graf 3 zobrazuje úhrn srážek.



Graf 2 Průměrná teplota od září 2023 do srpna 2024 (Zdroj CHMÚ 2024)



Graf 3 Úhrn srážek od září 2023 do srpna 2024 (Zdroj CHMÚ 2024)

4.3.2 Charakteristika stanovišť

4.3.2.1 Pozemek Bora pravá

Pozemek Bora pravá je DPB 8801/1, nachází se u obce Nové Strašecí v nadmořské výšce 479 m n. m. Velikost plochy je 20,04 ha a nachází se na ní kultura R. Průměrná sklonitost je 1,47 %. Nenachází se v oblasti ANC, oblasti zranitelné dusičnany ani není vhodný k přeměně na kultura T. Mírně erozně ohroženou půdu tvoří pouze na 3 % bloku. BPEJ je 5.25.04, jedná se o hlubokou až středně hlubokou kambizem s hlinitopísčítým až jílovitohlinitým půdním druhem. Tabulka 1 znázorňuje osevni postup od roku 2019.



Obrázek 5 Letecký snímek pozemku Bora pravá

Tabulka 1 Osevní postup pozemku Bora pravá

rok	plodina
2023	Pšenice ozimá
2022	Řepka ozimá
2021	Ječmen jarní
2020	Kukuřice setá
2019	Ječmen jarní

4.3.2.2 Pozemek Dolíka spodní

Pozemek Dolíka spodní je DPB 9903/5. Nachází se na okraji CHKO Křivoklátsko v nadmořské výšce 455 m. n. m. Pozemek je rozdělený na 3 parcely, celková rozloha pozemku je 76 ha, pokus byl proveden na parcele o výměře 25 ha. Průměrná sklonitost je 3,22 %, vzdálenost od vody je 4,6 m a část plochy se nachází v II. stupni OPVZ, ANC oblasti a ZOD. Erozní ohrožení je na úrovni MEO, je tedy mírně erozně ohrožený. BPEJ je 5.15.10., jde o hluboké luvizemě s hlinitopísčitým až jílovitohlinitým půdním druhem.



Obrázek 6 Letecký snímek pozemku Dolíka spodní

Tabulka 2 Osevní postup pozemku Dolíka spodní

rok	plodina
2023	Pšenice ozimá
2022	Řepka ozimá
2021	Pšenice ozimá
2020	Pšenice ozimá
2019	Řepka ozimá

4.3.3 Agrotechnický postup

4.3.3.1 Bora pravá

Po sklizni řepky byla provedena 2. 8. 2022 podmítka v hloubce 3 cm diskovým podmítačem Bednar Swifterdisc. Následně byla 8. 9. 2022 aplikovaná kejda o dávce 15 m³/ha. Ve dnech 13. 9. 2022 a 28. 9. 2022 bylo provedeno kypření a předset'ová příprava pomocí Horsch Tiger v hloubce 25 cm, kterým se částečně zapravily posklizňové zbytky. Setí proběhlo 29. 9. 2022 secím strojem Horsch Focus s roztečí řádku 15 cm. Selo se do hloubky 4 cm s výsevkem 180 kg/ha. Při setí byl zároveň aplikován Ultra DAP (NP 18–46) v dávce 80 kg/ha viz tabulka 3. Další hnojení je popsáno v kapitole 4.3.4.

Na podzim, dne 19. 10. 2022, bylo provedeno ošetření pomocí herbicidu Bizon viz tabulka 4. Dne 30. 4. 2023 byl porost ošetřen přípravkem Limitar pro zvýšení odolnosti proti poléhání, fungicidem Doctor proti braničnatce plevové a insekticidem Rapid proti kohoutkům. Dne 11. 6. 2023 proběhla aplikace fungicidů Topazol a Mizona a zároveň insekticidem Karis Max proti kohoutkům.

Tabulka 3 Evidence hnojiv, pozemek Bora pravá

Datum	Typ hnojiva	Množství	Čisté látky (kg/ha)
08.09.2022	kejda skotu	15 m ³ /ha	27 kg N
29.09.2022	Ultra DAP (NP-18-46)	80 kg/ha	14,4 kg N, 36,8 kg P
02.03.2023	LAD (střední dávka)	257 kg/ha	69 kg N, 10 kg MgO
05.04.2023	LAD (střední dávka)	289 kg/ha	78 kg N, 11,6 kg MgO
07.06.2023	LAD (střední dávka)	96 kg/ha	26 kg N, 3,8 kg MgO

Tabulka 4 Evidence POR, pozemek Bora pravá

Datum	Přípravek	Množství	Účinek	Fenofáze
19.10.2022	Bizon	1 l	herbicid, dvouděložné plevely	odnožování
30.04.2023	Limitar	0,4 l/ha	zvýšení odolnosti proti poléhání, krácení stébla	sloupkování
30.04.2023	Doctor	0,76 l/ha	fungicid, braničnatka pšeničná	sloupkování
30.04.2023	Rapid	0,08 l/ha	insekticid, kohoutci	sloupkování
11.06.2023	Topazol	0,3 l/ha	fungicid, braničnatka pšeničná	kvetení
11.06.2023	Mizona	0,75 l/ha	fungicid, rez pšeničná	kvetení
11.06.2023	Karis Max	0,08 l/ha	insekticid, kohoutci	kvetení

4.3.3.2 Dolíka spodní

Předplodinou byla na pokusném poli řepka. Dne 3. 8. 2022 byla provedena podmínka v hlouce 3 cm. strojem Bednar Swifterdisc. v termínu 5. 9. 2022 byla aplikována kejda v dávce 15 m³/ha. Následně byl 6. 9. 2022 pozemek kypřen strojem Horsch Terrano a 30. 9. 2022 opět Bednar Swifterdisc za účelem předseťové přípravy. Setí proběhlo 30. 9. 2022 se stejnými parametry a hnojením Ultra DAP jako na pozemku Bora pravá, viz tabulka 5. Další hnojení je popsáno v kapitole 4.3.4.

Následné aplikace POR byla podobná jako na pozemku Bora pravá viz tabulka 6. Na podzim, dne 20. 10. 2022, byl pozemek ošetřen herbicidem Chocker. Dne 2. 5. 2023 došlo k aplikaci přípravku Limitar a Doctor. Dne 11. 6. 2023 proběhla aplikace fungicidů Topazol a Mizona a zároveň insekticidem Karis Max proti kohoutkům.

Tabulka 5 Evidence hnojiv, pozemek Dolíka spodní

Datum	Typ hnojiva	Množství	Čisté látky (kg/ha)
05.09.2022	kejda skotu	15 m ³ /ha	27 kg N
30.09.2022	Ultra DAP	80 kg/ha	14,4 kg N, 36,8 kg P
02.03.2023	LAD (střední dávka)	256 kg/ha	69 kg N, 10,2 kg MgO
05.04.2023	LAD (střední dávka)	288 kg/ha	78 kg N, 11,2 kg MgO
07.06.2023	LAD (střední dávka)	96 kg/ha	26 kg N, 3,7 kg MgO

Tabulka 6 Evidence POR, pozemek Dolíka spodní

Datum	Přípravek	Množství	Účinek	Fenofáze
20.10.2022	Chocker	3 l/ha	herbicid, dvouděložné plevely	odnožování
02.05.2023	Limitar	0,4 l/ha	zvýšení odolnosti proti poléhání, krácení stébla	sloupkování
02.05.2023	Doctor	0,76 l/ha	fungicid, braničnatka pšeničná	sloupkování
11.06.2023	Topazol	0,3 l/ha	fungicid, braničnatka pšeničná	kvetení
11.06.2023	Mizona	0,75 l/ha	fungicid, rez pšeničná	kvetení
11.06.2023	Karis Max	0,08 l/ha	insekticid, kohoutci	kvetení

4.3.4 Aplikační mapy a tvorba variant

Základní design pokusu byl založen na pravidelném střídání bloků hnojených konstantní dávkou N s bloky, u nichž byla uplatněna variabilní aplikace dusíkatých hnojiv na základě předem stanovených produkčních zón (obrázek 10). Opakováním těchto pásů bylo umožněno následné statistické vyhodnocení. Souvratě a další části pozemku ležící mimo definované pásy nebyly k analýze využity.

Protože v zemědělském podniku nejsou k dispozici výnosové mapy z předcházejících let, které by umožnily vytvoření mapy výnosového potenciálu pro vybrané experimentální plochy, byly produkční zóny definovány nepřímo pomocí dálkového průzkumu. Základním zdrojem dat byla platforma OneSoil Yield, která díky využití dat z družic Sentinel 2 vypočítává hodnoty NDVI pro jednotlivé části pozemku při prostorovém rozlišení 10 m/pixel. Pro výpočet jsou využity satelitní snímky vytvořené v přechozích pěti letech, na kterých není sledovaná plocha překryta oblačností. Na základě dlouhodobého průměru hodnot NDVI je dle požadavku uživatele plocha pozemku rozdělena do zvoleného počtu produkčních zón. Pro účely experimentu byly zvoleny tři zóny (nízký, střední a vysoký výnosový potenciál). Jedná se o rozdělení relativní bez vazby ke konkrétním hodnotám výnosu plodiny.

Při vytváření pásů byl zohledněn zejména záběr rozmetadla, který činil 24 m. Z toho důvodu byla zvolena šíře pásů 48 m. Pro pozemek Bora pravá bylo vzhledem k menší velikosti vytvořeno schéma se šesti pásy, tedy třemi opakováními pro každou variantu, pro pozemek Dolíka spodní byla k dispozici čtyři opakování pro každou variantu (obrázek 11). Schéma obou pokusů a z něj vycházející aplikační mapy byly vytvořeny v programu QGIS 3.28.

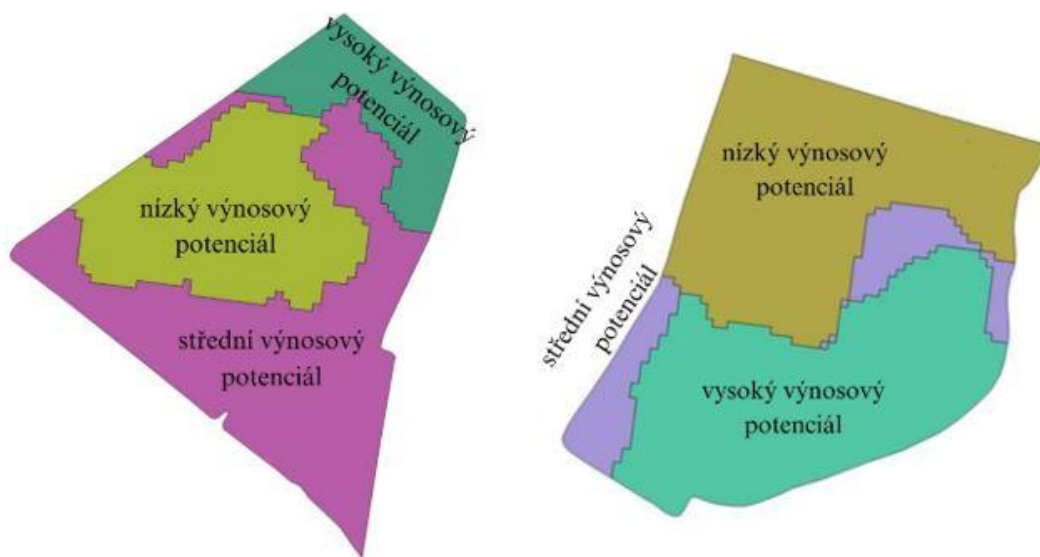
V pásech s variabilním hnojením bylo přihnojení N během vegetace uskutečněno na základě produkčních zón. Celková dávka se určila násobkem odběrového normativu pšenice ozimé a předpokládaného výnosu. Přihnojení proběhlo regeneračně, produkčně a kvalitativně, dávky byly procentuálně rozděleny dle tabulky 7.

Tabulka 7 Procentuální rozdělení přihnojování N

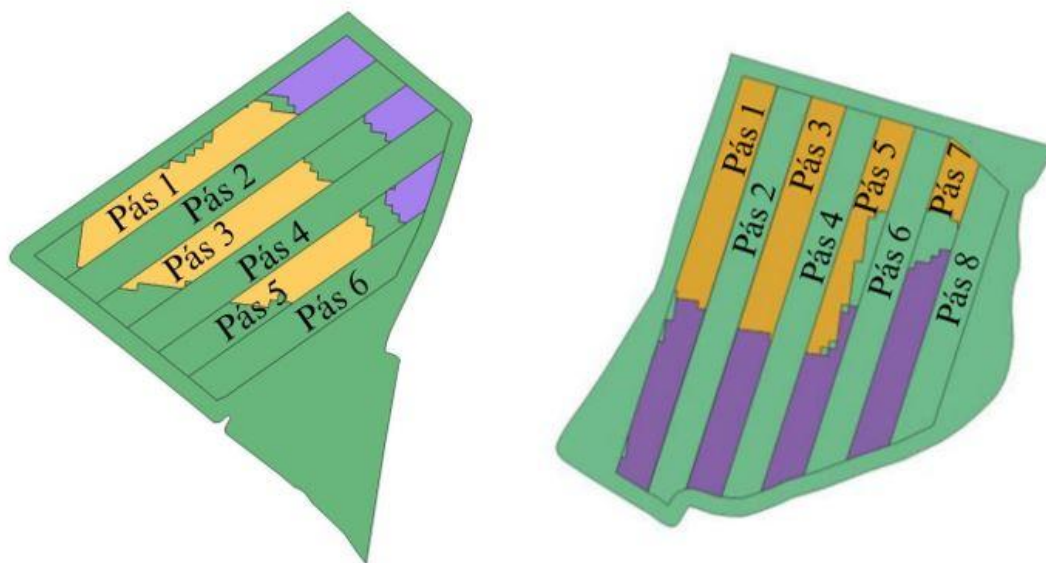
	Regenerační	Produkční	Kvalitativní
Bora pravá	40 %	45 %	15 %
Dolíka spodní	40 %	45 %	15 %

Dle tabulky 8 byla na pozemku Bora pravá dávka přihnojení pro pásy s konstantní dávkou a střední výnosovým potenciálem variabilně hnojených pásů 174 kg N/ha, nižší dávka snížená o 15 % byla 148 kg N/ha a vyšší dávka zvýšená o 12,8 % byla 196 kg N/ha. Tímto rozdělením bylo dosaženo 5% úspory hnojiva. Dle tabulky 9 byla na pozemku Dolíka spodní střední dávka přihnojení 173 kg N/ha, nižší dávka snížená o 13 % byla 150 kg N/ha a vyšší dávka zvednutá o 13 % byla 195 kg N/ha. Na tomto pozemku k úspoře hnojiva nedošlo.

Pro přihnojení během vegetace bylo aplikováno hnojivo ledek amonný s dolomitem, který obsahuje dusičnan amonný s mletým dolomitem. LAD27 obsahuje 13,5 % amonného a 13,5 % dusičnanového N a 4 % MgO. Hnojivo má formu světlých granulí, které jsou velké 2 až 5 mm. Doporučená dávka LAD27 je 170–500 kg/ha.



Obrázek 7 Rozdělení pozemků Bora pravá a Dolíka spodní na 3 produkční zóny



Obrázek 8 Aplikační mapa pozemků Bora pravá a Dolíka spodní v programu QGIS

Tabulka 8 Dávky LAD na pozemku Bora pravá

dávka LAD27	02.03.2024	05.04.2024	07.06.2024
nízká	220 kg	247 kg	83 kg
střední	257 kg	289 kg	96 kg
vysoká	290 kg	326 kg	109 kg

Tabulka 9 Dávky LAD na pozemku Dolíka spodní

dávka LAD27	02.03.2024	05.04.2024	07.06.2024
nízká	223 kg	251 kg	84 kg
střední	256 kg	288 kg	96 kg
vysoká	290 kg	326 kg	109 kg

4.3.5 Sledování pozemků během růstu porostu

Klíčení proběhlo v dobrém čase po zasetí, v levých částech obou pozemků semena vyklíčila lehce později z důvodu hranic s lesem, zaplevelenost byla minimální. Po zimě byl porost místy vymrzlý, odnožování na jaře proběhlo dobře. Během dubna se na rostlinách projevila braničnatka pšeničná.



Obrázek 9 Poškození porostu braničnatkou pšeničnou na pozemku Bora pravá

V průběhu května se kvůli minimálním srážkám růst zpomalil. v červnu se v porostu objevil kohoutek.



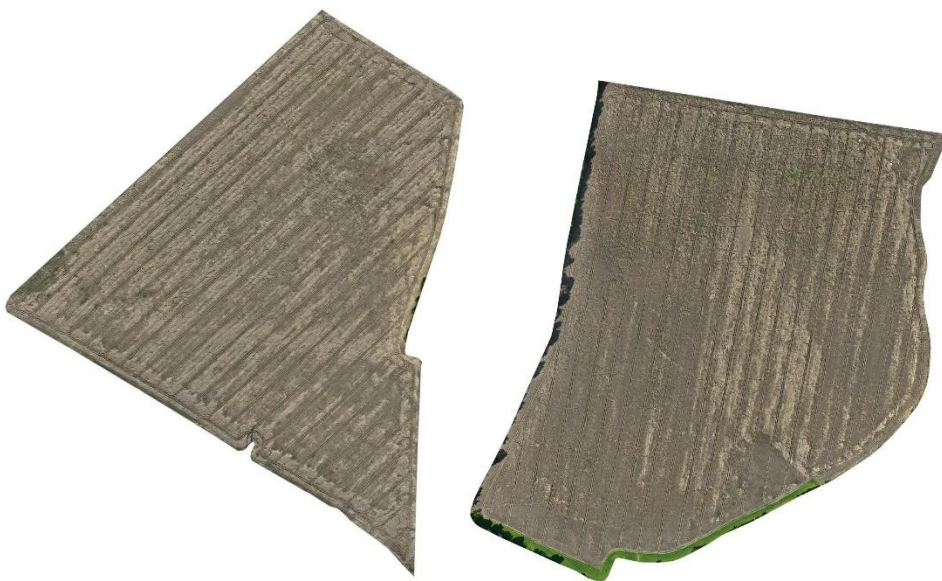
Obrázek 10 Výskyt kohoutka na pozemku Bora pravá



Obrázek 11 Čerň



Obrázek 12 Polehnutý porost



Obrázek 13 Dronový snímek polehnuté pšenice pozemků Bora pravá a Dolíka spodní

Pšenice na obou pozemcích měla již v druhé polovině července vlhkost 15 % a byla v plné zralosti připravena na sklizeň. Ta bohužel kvůli nepříznivému počasí proběhla až v polovině srpna. Před sklizní došlo k velkému polehnutí na obou pozemcích a začala se tvořit čerň, která zapříčinila snížení kvality a obsahu N v zrna. Polehnutí bylo zaznamenané s využitím dronu. Sklizeň probíhala pomocí sklízecích mlátiček se systémem pro tvorbu výnosových map. Data byla zpracována v programu QGIS, ve kterém byly zároveň vytvořeny předpisové mapy.

4.3.6 Tvorba výnosových map

Získané výnosové mapy byly zaznamenány v podobě bodových dat. Množství dat bylo závislé na velikosti pozemku, intervalu záznamu a rychlosti pojezdu sklízecí mlátičky. Prvním krokem bylo odstranění hodnot ze souvrátí a části pozemku, které byly vyřazeny z pokusu, před začátkem dalších úprav. Dle metodického postupu Vega et al. (2019) byly následně odstraněny nulové hodnoty a dále byly vyloučeny odlehlé hodnoty přesahující ± 3 směrodatné odchylky od průměru. Poslední filtrací byly odstraněny hodnoty mimo pojezdové linie

sklízecí mlátičky. Jízda v jednotlivých liniích byla kvůli značně polehlému porostu náročná a méně plynulá.

Následně úprava pokračovala v programu ArcGIS 10.8.2. Pomocí modulu Spatial Analyst byla provedena interpolace bodových hodnot do plošné mapy. Byl použit univerzální kriging umožňující eliminaci trendu při výpočtu experimentálního variogramu. Pro fitování modelového variogramu byla zvolena exponenciální funkce, počet lagů byl nastaven na 12 při jejich vzdálenosti 12 metrů.

Výsledná mapa byla převedena na rastrovou vrstvu a oříznuta podle hranic pokusu. Poté byl s využitím funkce zonální statistika vypočten průměrný výnos a směrodatná odchylka pro celou plochu pokusu. V programu Excel byl vypočtený průměrný výnos porovnán se skutečným výnosem zjištěným pomocí vážení sklizeného zrna. Byl vypočten korekční faktor, kterým byly upraveny původní hodnoty mlátičky tak, aby vypočtený průměrný výnos odpovídal skutečnému. Interpolace mapy byla provedena znovu. Zonální statistika byla následně vypočtena pro celou plochu pokusu, pro jednotlivé pásy, jednotlivé varianty, jednotlivé zóny a jednotlivé zóny v jednotlivých opakováních uvnitř variabilních i konstantních pásů. Současně byla také vypočtena výměra jednotlivých ploch.

4.3.7 Metody hodnocení

Byly vytvořeny grafy, kde bylo porovnáno množství aplikovaného hnojiva s dosaženým výnosem. Pro podrobnější statistické vyhodnocení získaných dat byl použit program Statistica. S cílem posouzení rozdílů výnosů mezi variabilními a konstantními pásy a zónami byla provedena analýza rozptylu (ANOVA). Pro podrobnější vyhodnocení byl použit Fisherův LSD test. Pro statistické zhodnocení byla zvolena hladina významnosti 0,05. Pokud mezi výnosy nebyl statisticky významný rozdíl, byl přiložen jednorozměrný test významnosti. Pokud mezi sledovanými výnosy byl statisticky významný rozdíl, bylo provedeno vyhodnocení Fisherovo LSD testem.

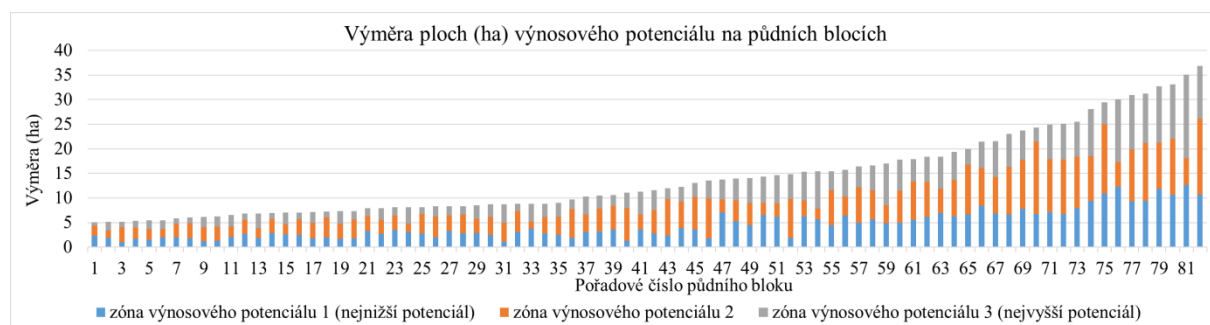
5 Výsledky

5.1 Analýza podílu produkčních zón na pozemcích podniku Statky ČZU

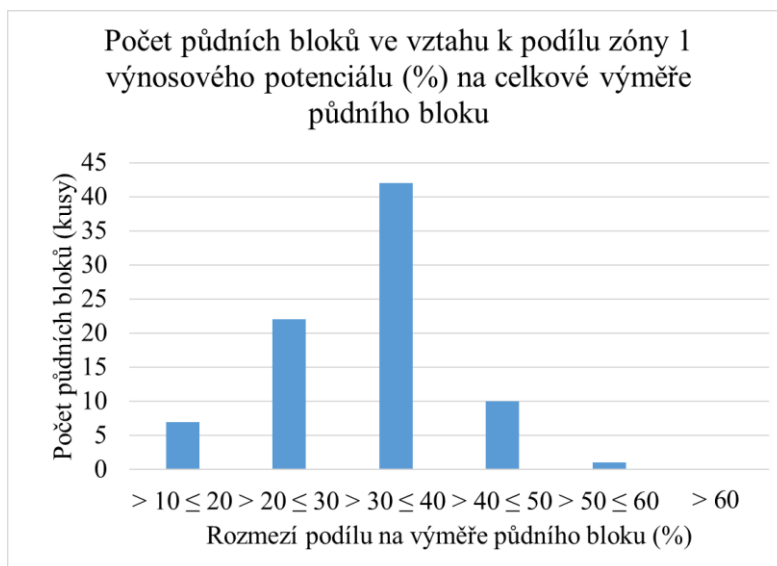
Pro analýzu výměry ploch na pozemcích relativního výnosového potenciálu byl použit program OneSoil Yield. Relativní výnosové potenciály byly programem určeny na základě průměrů přechozích let. Z pozemků Statky ČZU bylo vybráno 82 pozemků, které dohromady tvořily 1170 ha orné půdy. Výnosový potenciál byl rozdělený na 3 zóny.

Na grafu 4 jsou znázorněny všechny DPB zahrnuté do analýzy s vyjádřením podílu jednotlivých zón. V první zóně se nacházelo 374 ha, tedy 32 % z celkové výměry. V druhé zóně bylo zahrnuto 439 ha, což činí 39 %. Třetí zóna byla tvořena 353 ha, tedy 29 % z analyzovaných ploch. V hodnocení byly i pozemky, které měly jiné poměrové zastoupení zón. Na pozemku č. 3 a 39 byla střední zóna zastoupena 60 %, naopak na pozemku č. 33 jen 13 %. Na pozemku č. 1 a 70 byla třetí zóna zastoupena pouze 12 %.

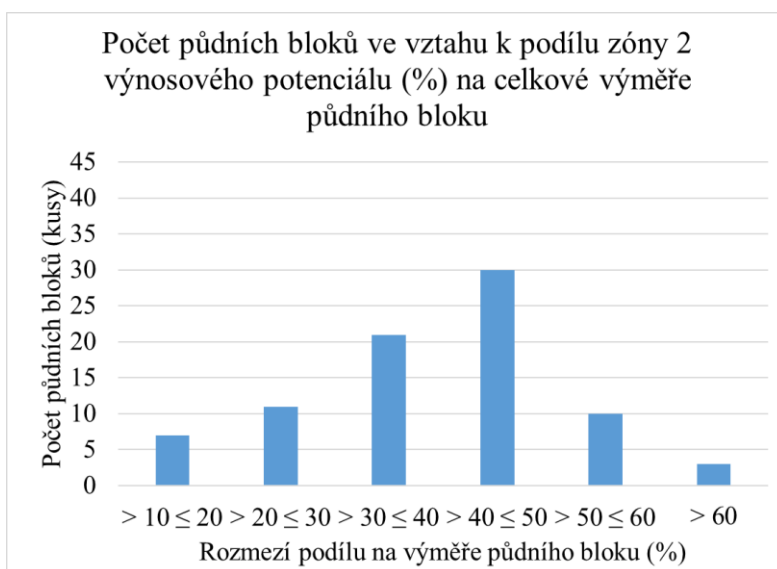
Na grafech 5 až 7 je zobrazený poměr počtu DPB s velikostí podílů první, druhé a třetí zóny. První zóna se v rozmezí 30–40 % výměry vyskytovala u více než poloviny pozemků. Druhá zóna se vyskytovala mezi 40–50 % výměry u 30 pozemků a mezi 30–40 % výměry u 21 pozemků. Třetí zóna se vyskytovala v nejvíce v rozmezí 20–30 % výměry, a to u 30 pozemků. U 29 pozemků se ve třetí zóně vyskytovala výměra 30–40 %.



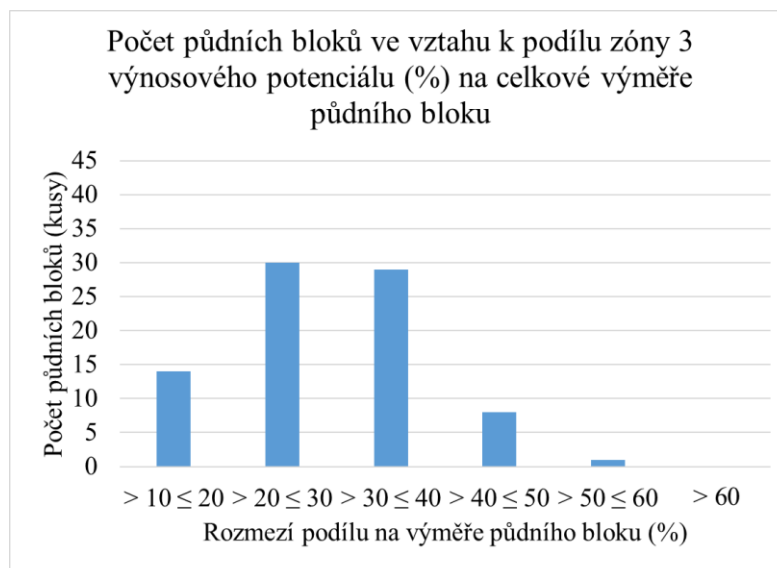
Graf 4 Půdní bloky dle procentuálního podílu produkčních zón a výměry pozemků



Graf 5 Rozdělení četnosti půdních bloků dle procentuálního podílu 1. produkční zóny



Graf 6 Rozdělení četnosti půdních bloků dle procentuálního podílu 2. produkční zóny



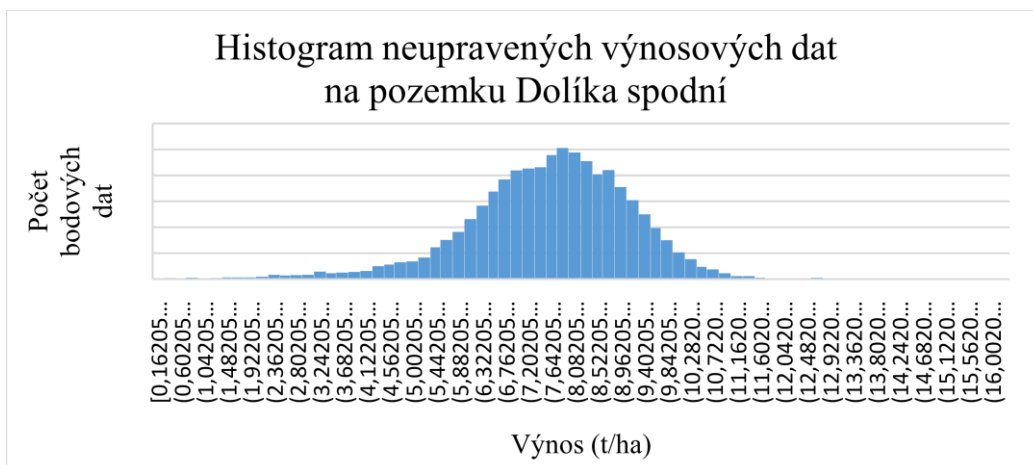
Graf 7 Rozdělení četnosti půdních bloků dle procentuálního podílu 3. produkční zóny

5.2 Poloprovozní pokus

5.2.1 Výsledky úpravy výnosových map

Na pozemku Bora pravá proběhla sklizeň 15. 8. 2023, na pozemku Dolíka spodní dne 17. 8. 2023. Sklizeň proběhla pomocí sklízecí mlátičky JD T660i s přijímačem StarFire 3000, průměrný hektarový výnos z váhy činil na Bora pravá 7,1 t/ha, na Dolíka spodní 8,2 t/ha. Na jeden pás pokusu vyšlo 6 pojezdů mlátičkou. Kvůli polehlému porostu docházelo k zastavování a následné krátké chybovosti signálu, kvůli tomu byly na některých místech na mapě hodnoty mimo linii pojezdu.

Na grafu 8 jsou zobrazeny bodové hodnoty ze sklízecí mlátičky z pozemku Dolíka spodní. Je patrné, že se v množině nachází mnoho odlehlých hodnot. Na obrázku 17 je znázorněné oříznutí mapy a odstranění bodových hodnot před filtrací. V tabulce 10 je zobrazena základní statistická charakteristika pokusů. Variační koeficient byl u nevyfiltrovaných dat 21 % a 19 %, u vyfiltrovaných se snížil na 19 % a 15 %. Hodnoty maximálního a minimálního výnosu se také liší. U nevyfiltrovaných dat byla maximální hodnota na Dolíka spodní 16,3 t/ha, u vyfiltrovaných dat hodnoty byly upraveny násobkem směrodatné odchylky na 12,5 t/ha a 2,9 t/ha. Na pozemku Bora pravá byla u nevyfiltrovaných dat maximální hodnota 11,2 t/ha a minimální 0,06 t/ha. Filtrování dat pomocí směrodatné odchylky hodnoty upravilo na 10,1 t/ha a 3,49 t/ha.



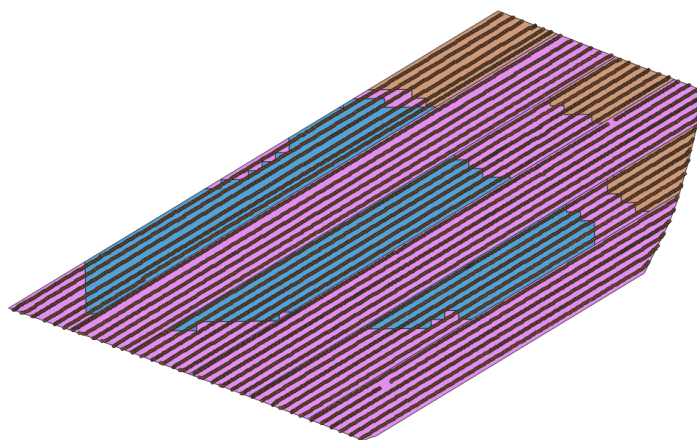
Graf 8 Histogram bodových hodnot ze sklízecí mlátičky z pozemku Dolíka spodní

Tabulka 10 Základní statistické charakteristiky nevyfiltrovaných bodových dat

Pozemek	Plocha ha	Počet bodů	Průměr t/ha	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Dolíka spodní	19,11	15849	7,69	1,61	21 %
Bora pravá	12,8	14137	6,81	1,1	16 %

Tabulka 11 Základní statistické charakteristiky vyfiltrovaných bodových dat

Pozemek	Plocha ha	Počet bodů	Průměr t/ha	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Dolíka spodní	19,11	15613	7,75	1,46	19 %
Bora pravá	12,8	14016	6,83	1,04	15 %

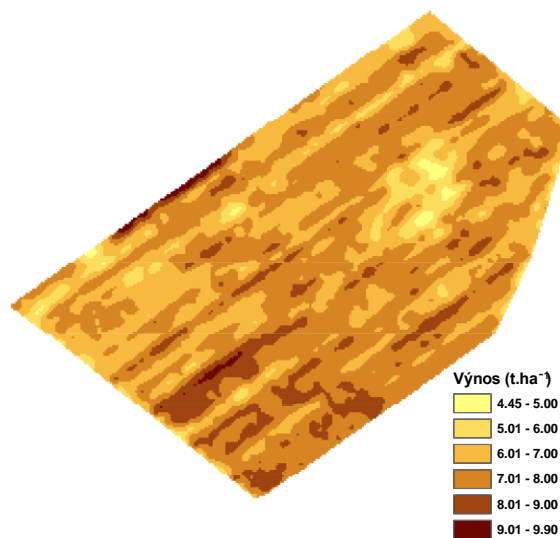


Obrázek 14 Odstranění hodnot mimo pokus na pozemku Bora pravá

5.2.2 Bora pravá

5.2.2.1 Výnosová mapa

Na pozemku Bora pravá (obrázek 18) je možné vidět v pravé horní třetině mapy plochu s nižším výnosem. Na mapě relativního výnosového potenciálu se v této oblasti protínají všechny 3 produkční zóny. V nejspodnější části pozemku je patrný nejvyšší výnos v rozmezí 7–9 t/ha, v této oblasti je střední produkční zóna. Vysoká produkční zóna je v severní části pozemku, kde se výnos pohybuje v rozmezí 6–8 t/ha.



Obrázek 15 Interpolovaná výnosová mapa pro Bora pravá

5.2.2.2 Data zjištěná dle pásů

Celkové množství aplikovaného N v konstantní variantě bylo 215 kg N/ha, ve variabilní variantě 206 kg N/ha. V této variantě došlo k ušetření 9 kg N/ha. V tabulce 12 je znázorněno celkové zprůměrované množství aplikovaného N na ha plochy. Tyto data byla vypočteny z ploch jednotlivých produkčních zón a množství aplikovaného N v zónách. Na pozemku Bora pravá byla dávka v nízké produkční zóně snížena o 15 %, ve vysoké produkční zóně zvýšena o 12,8 %. Zprůměrovaná dávka N na variabilních pásech byla 205–208 kg N/ha v závislosti na velikosti plochy produkčních zón. Na konstantních pásech byla dávka 214 kg N/ha. Rozdíl 2,2 % v procentuálním navýšení a snížení dávky v produkčních zónách zapříčinil celkové snížení spotřeby hnojiva o 5 %.

Tabulka 12 Aplikovaný N dle pásů

Varianta	Pás	Plocha ha	Kg N/ha
Variabilní	1	2,34	205
Konstantní	2	2,33	214
Variabilní	3	2,32	205
Konstantní	4	2,28	214
Variabilní	5	1,97	208
Konstantní	6	1,56	214

Na základě posouzení celkových průměrných výnosů na pozemku Bora pravá byl zjištěn vyšší výnos u konstantní varianty, a to o 0,27 t/ha viz tabulka 13. Tato hodnota byla vypočtena z hodnot skutečného výnosu a korigovaného výnosu ze sklízecí mlátičky. Tento rozdíl nebyl statisticky průkazný (viz tabulka 15). Směrodatná odchylka, která byla vypočtena z jednotlivých hodnot sklízecí mlátičky, byla vyšší u variabilní varianty.

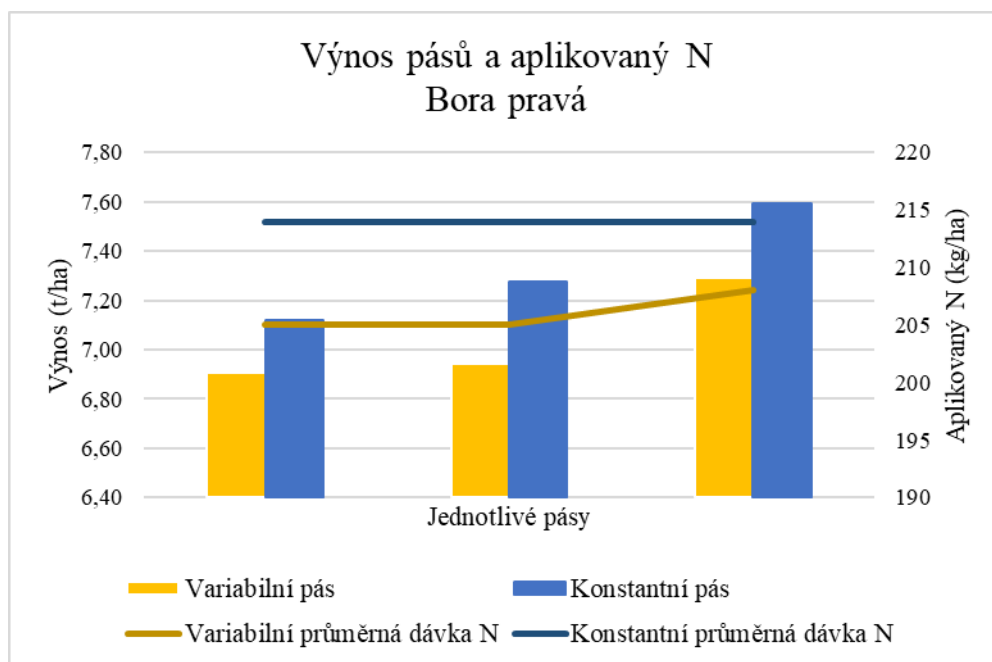
Tabulka 13 Výnosy dle variant na pozemku Bora pravá

Varianta	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
Variabilní	16577	6,63	7,03	0,73
Konstantní	15427	6,17	7,30	0,68

V tabulce 14 jsou zobrazeny výnosy jednotlivých pásů. Pásky č. 1, 3 a 5 byly hnojeny variabilně. Pásky č. 2, 4 a 6 byly hnojeny konstantně. Jak je patrné na grafu 9, ve 2 pásech měla konstantní varianta vyšší výnos. Na variabilních pásech byla použito 205 kg N/ha v prvním a druhém páse a 208 kg N/ha ve třetím páse. Konstantní pásky byly hnojeny dávkou 214 kg N/ha. Výnos byl vyšší v konstantních pásech, ale je patrné, že došlo k úspoře hnojiva ve variabilních pásech.

Tabulka 14 Výnosy dle pásů na pozemku Bora pravá

Varianta	Pás	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
Variabilní	1	5848	2,34	6,91	0,79
Konstantní	2	5826	2,33	7,12	0,51
Variabilní	3	5812	2,32	6,94	0,72
Konstantní	4	5696	2,28	7,27	0,83
Variabilní	5	4917	1,97	7,29	0,60
Konstantní	6	3905	1,56	7,59	0,53



Graf 9 Výnos pšenice ozimé dle vymezených pásů v závislosti na množství aplikovaného N na pozemku Bora pravá

Tabulka 15 Statistické vyhodnocení výnosu variabilních a konstantních pásů na pozemku Bora pravá

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Výnos (Bora a Dolíka statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	310,0143	1	310,0143	6023,143	0,000000
A	0,1184	1	0,1184	2,300	0,203937
Chyba	0,2059	4	0,0515		

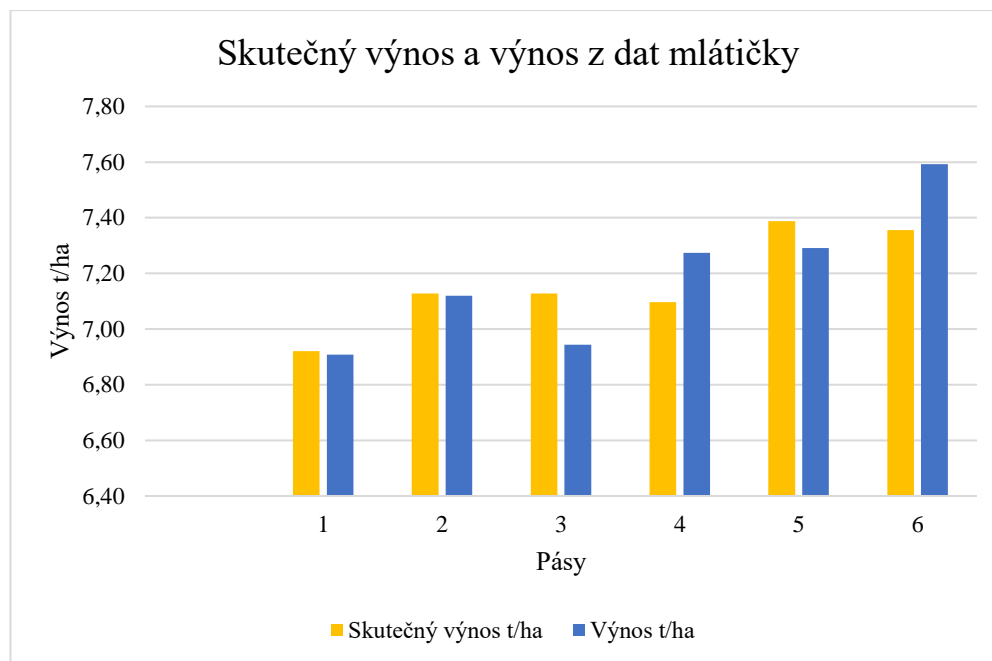
Statisticky byl analyzován také skutečný výnos, který byl získán vážením zrna z jednotlivých pásů. Vyššího průměrného výnosu bylo dosaženo na konstantně hnojené variantě (7,17 t/ha) oproti variantě variabilní (7,13 t/ha), rozdíl je však relativně malý a statisticky neprůkazný (tabulka 17). Výnosy jednotlivých pásů jsou uvedeny v tabulce 16. Dle výsledků vážení zrna měl nejvyšší výnos variabilní pás 5, a to 7,39 t/ha. Nejnižší výnos měl variabilní pás 1, a to 6,92 t/ha. V grafu 10 je znázorněno srovnání skutečných výnosů s výnosy ze sklízecí mlátičky. Rozdíly výnosů v pásu 1 a 2 jsou minimální. Vyšší rozdíl výnosů je v pásu 6, kdy skutečný výnos je o 0,23 t/ha nižší než výnos z mlátičky.

Tabulka 16 Skutečný výnos zrna z pásů

Varianta	Pás	Plocha ha	Skutečný výnos t/ha
Variabilní	1	2,34	6,92
Konstantní	2	2,33	7,13
Variabilní	3	2,32	7,13
Konstantní	4	2,28	7,10
Variabilní	5	1,97	7,39
Konstantní	6	1,56	7,36

Tabulka 17 Statistické vyhodnocení skutečného výnosu variabilních a konstantních pásů na pozemku Bora pravá

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Skutečný výnos t/ha (Bora a Dolíka sta) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	308,4085	1	308,4085	8261,884	0,000000
Varianta	0,0035	1	0,0035	0,093	0,775685
Chyba	0,1493	4	0,0373		



Graf 10 Porovnání skutečného výnosu s výnosem ze sklízecí mlátičky na pozemku Bora pravá

5.2.2.3 Výnosy dle zón pro celé varianty

Procentuální zastoupení zón ve variantách neodpovídá průměrným výsledkům v kapitole 5.1. Zóna s vysokým produkčním potenciálem byla zastoupena ve variabilní variantě pouze na 18 % plochy a zóna s nízkým produkčním potenciálem na 52 % plochy viz tabulka 18.

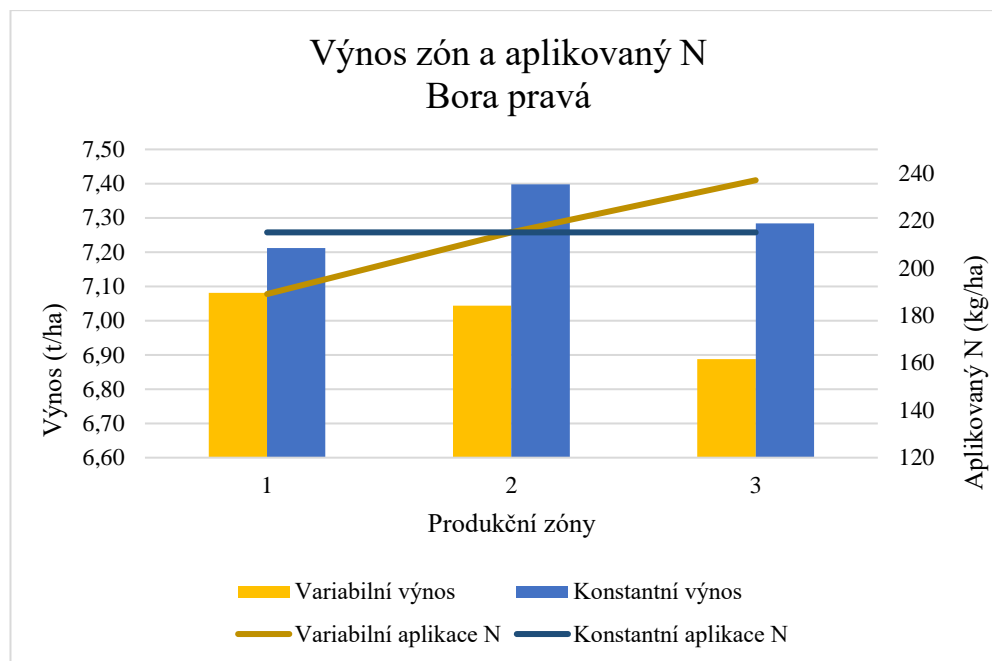
Na pozemku Bora pravá nebyl zjištěn přínos variabilní aplikace N dle zón, ve všech produkčních zónách mělo konstantní hnojení vyšší účinnost viz tabulka 19. Zajímavý je nejvyšší rozdíl ve výnosu v nejlepší produkční zóně, kdy variabilní varianta měla výnos 6,89 t/ha a konstantní varianta měla výnos 7,28 t/ha. Celková dávka N byla ve 3. zóně stanovena u variabilní varianty na 237 kg N/ha a u konstantní na 215 kg N/ha. Ačkoli bylo použito v konstantní variantě ve 3. zóně méně hnojiva, výnos byl vyšší viz graf 11. Byla provedeno statistické hodnocení rozdílů výnosů jednotlivých produkčních zón na základě dat z tabulky 20 a 21. Dle tabulky 22 nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi výnosy jednotlivých produkčních zón. Žádná ze srovnaných variant se ani nepřibližuje statisticky významnému rozdílu.

Tabulka 18 Procentuální zastoupení zón ve variantách

Varianta	Zóna	Plocha ha	Zastoupení zón v %	kg N/ha
Variabilní	1	3,43	52	189
	2	1,96	30	215
	3	1,23	18	237
Konstantní	1	2,91	47	215
	2	2,50	41	215
	3	0,77	12	215

Tabulka 19 Výnosů dle zón na pozemku Bora pravá

Varianta	Zóna	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
Variabilní	1	8585	3,43	7,08	0,63
	2	4911	1,96	7,04	0,90
	3	3081	1,23	6,89	0,67
Konstantní	1	7269	2,91	7,21	0,58
	2	6242	2,50	7,40	0,79
	3	1916	0,77	7,28	0,54



Graf 11 Výnos pšenice ozimé dle vymezených produkčních zón v závislosti na typu hnojení (variabilní × konstantní) na pozemku Bora pravá

Tabulka 20 Výnosů dle zón pro jednotlivá opakování variabilní aplikace na pozemku Bora pravá

Sekce	Zóna	Pás	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
1	1	1	3518	1,41	6,95	0,75
2	1	2	3045	1,22	7,15	0,52
3	1	3	2022	0,81	7,22	0,50
4	2	1	895	0,36	7,02	1,00
5	2	2	1905	0,76	6,54	0,85
6	2	3	2111	0,84	7,50	0,62
7	3	1	1435	0,57	6,74	0,72
8	3	2	862	0,34	7,11	0,62
9	3	3	784	0,31	6,91	0,54

Tabulka 21 Výnosů dle zón pro jednotlivá opakování konstantní aplikace na pozemku Bora pravá

Sekce	Zóna	Pás	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
1	1	1	4153	1,66	7,07	0,49
2	1	2	2584	1,03	7,33	0,65
3	1	3	532	0,21	7,79	0,40
4	2	1	752	0,30	7,04	0,55
5	2	2	2201	0,88	7,25	1,06
6	2	3	3289	1,32	7,58	0,53
7	3	1	921	0,37	7,43	0,46
8	3	2	911	0,36	7,17	0,55
9	3	3	84	0,03	6,98	0,80

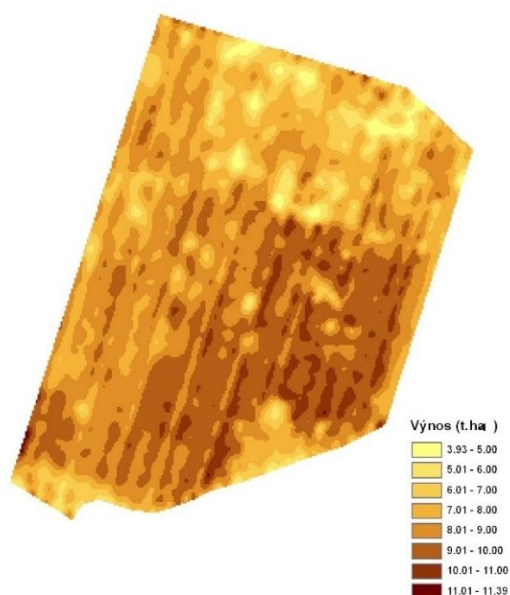
Tabulka 22 Statistické hodnocení výnosu produkčních zón na pozemku Bora pravá

Č. buňky	Varianta	Zóna	LSD test; proměnná Výnos t/ha (Bora a Dolíka statistika) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,09027, sv = 12,000					
			{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
			7,1035	7,0234	6,9203	7,3943	7,2897	7,1908
1	Variabilní	1		0,749881	0,469774	0,258697	0,462455	0,727894
2	Variabilní	2	0,749881		0,681748	0,156441	0,299113	0,507953
3	Variabilní	3	0,469774	0,681748		0,077296	0,158051	0,291818
4	Konstantní	1	0,258697	0,156441	0,077296		0,677224	0,423013
5	Konstantní	2	0,462455	0,299113	0,158051	0,677224		0,694102
6	Konstantní	3	0,727894	0,507953	0,291818	0,423013	0,694102	

5.2.3 Dolíka spodní

5.2.3.1 Výnosová mapa

Na pozemku Dolíka spodní jsou viditelné vyšší výnosy v jihovýchodní části pozemku. Vyšší výnos v této oblasti byl předpokládán i mapou relativního výnosového potenciálu. V severní části pozemku je znatelný nižší výnos, to odpovídá mapě relativního výnosového potenciálu, na které byl v této části znázorněn nižší potenciál viz obrázek 19.



Obrázek 16 Interpolovaná výnosová mapa pro Dolíka spodní

5.2.3.2 Data zjištěná dle pásů

V tabulce 23 je znázorněno celkové zprůměrované množství aplikovaného N na ha plochy. Data byly vypočteny z ploch jednotlivých produkčních zón a dávky N v zónách. Na pozemku Dolíka spodní byla dávka v nízké produkční zóně snížena o 13 % a ve vysoké produkční zóna byla zvýšena o 13 %. Průměrná dávka N a variabilních pásů byla v 210–224 kg N/ha v závislosti na velikosti produkčních zón. Průměrná dávka N na variabilní části pokusu byla 213 kg N/ha, v konstantní variantě 214 kg N/ha. Došlo k minimální úspoře hnojiva.

Tabulka 23 Aplikovaný N dle pásů

Varianta	Pás	Plocha	Kg N/ha
Variabilní	1	2,70	211
Konstantní	2	2,73	214
Variabilní	3	2,63	210
Konstantní	4	2,59	214
Variabilní	5	2,43	212
Konstantní	6	2,26	214
Variabilní	7	2,04	224
Konstantní	8	1,74	214

Po provedení základního zhodnocení v tabulce 24 je zřejmé, že průměrný výnos se příliš neliší, ale varianta s variabilní aplikací N má výnos vyšší o 0,04 t/ha. Směrodatná odchylka, která byla vypočtena z jednotlivých hodnot sklízecí mlátičky, není příliš rozdílná.

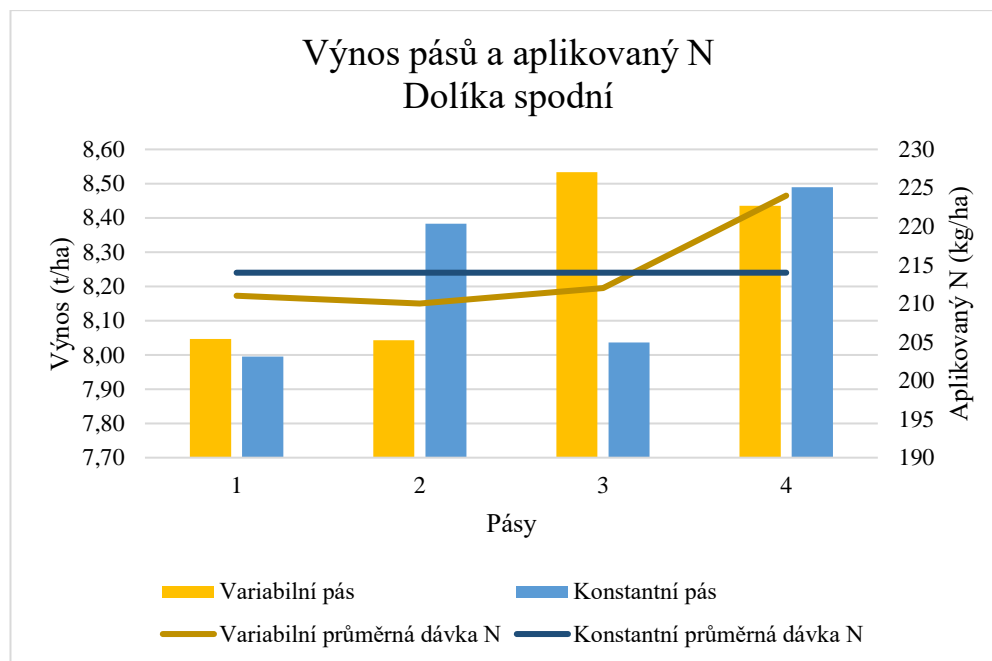
Tabulka 24 Výnosy dle variant na pozemku Dolíka spodní

Varianta	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
Variabilní	24479	9,79	8,25	1,23
Konstantní	23291	9,32	8,21	1,20

Na pozemku Dolíka spodní bylo pro pokus vytvořeno celkem 8 pásů viz tabulka 25. Pásky č. 1, 3, 5 a 7 byly hnojeny variabilně. Pásky č. 2, 4, 6 a 8 byly hnojeny konstantně. Nejvyšší výnos měl variabilní pás č. 5, a to 8,53 t/ha. Nejnižší výnos měl konstantní pás č. 2, a to 8 t/ha. V pásu č. 5 se hnojilo po přepočtu variabilních dávek průměrně 212 kg N/ha. V pásu č. 2 se hnojilo 214 kg N/ha. Při srovnání těchto pásů je patrná efektivita variabilního hnojení, kdy, přestože došlo ke snížení dávky N, výnos se zvýšil. Na pozemku Dolíka spodní nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi variantami viz tabulka 26.

Tabulka 25 Výnosy dle pásů na pozemku Dolíka spodní

Varianta	Pás	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
Variabilní	1	6744	2,70	8,05	0,89
Konstantní	2	6816	2,73	8,00	0,87
Variabilní	3	6567	2,63	8,04	1,23
Konstantní	4	6475	2,59	8,38	1,18
Variabilní	5	6075	2,43	8,53	1,30
Konstantní	6	5654	2,26	8,04	1,53
Variabilní	7	5093	2,04	8,44	1,40
Konstantní	8	4346	1,74	8,49	1,06



Graf 12 Výnos pšenice ozimé dle vymezených pásů v závislosti na množství aplikovaného N na pozemku

Tabulka 26 Statistické vyhodnocení výnosu variabilních a konstantních pásů na pozemku Dolíka spodní

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Výnos t/ha (Bora a Dolíka statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	543,8814	1	543,8814	8550,976	0,000000
Pás	0,0030	1	0,0030	0,047	0,836104
Chyba	0,3816	6	0,0636		

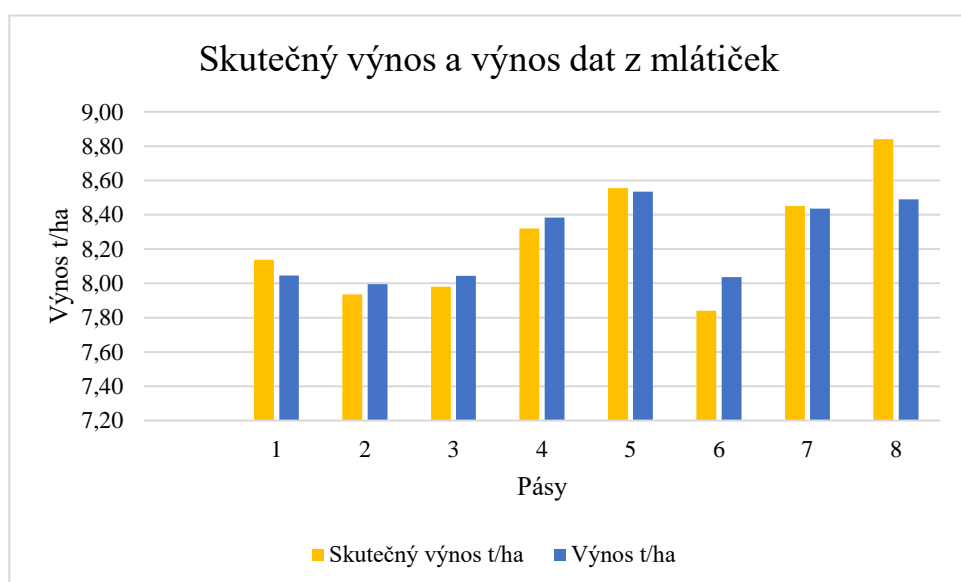
Statisticky byl analyzován také skutečný výnos, který byl zjištěn vážením zrna z jednotlivých pásů během sklizně. Vyššího průměrného výnosu bylo dosaženo na variabilně hnojené variantě (8,26 t/ha) oproti variantě konstantní (8,19 t/ha), rozdíly však nebyly statisticky průkazné (tabulka 28). Výnosy jednotlivých pásů jsou uvedeny v tabulce 27. Dle skutečných dat měl nejvyšší výnos konstantní pás 8, a to 8,84 t/ha. Nejnižší výnos měl naopak konstantní pás 6, a to 7,84 t/ha. V grafu 13 je znázorněno srovnání skutečných výnosů a výnosů ze sklízecí mlátičky. Rozdíl je u většiny pásů do 0,1 t/ha. Větší rozdíl je v pásu 8, kde je skutečný výnos o 0,35 t/ha vyšší.

Tabulka 27 Skutečný výnos zrna z pásů

Varianta	Pás	Plocha ha	Skutečný výnos t/ha
Variabilní	1	2,70	8,14
Konstantní	2	2,73	7,93
Variabilní	3	2,63	7,98
Konstantní	4	2,59	8,32
Variabilní	5	2,43	8,55
Konstantní	6	2,26	7,84
Variabilní	7	2,04	8,45
Konstantní	8	1,74	8,84

Tabulka 28 Statistické vyhodnocení skutečného výnosu variabilních a konstantních pásů na pozemku Dolíka spodní

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Skutečný výnos t/ha (Bora a Dolíka statistika) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	545,4601	1	545,4601	3928,713	0,000000
Varianta	0,0044	1	0,0044	0,032	0,864417
Chyba	0,8330	6	0,1388		



Graf 13 Porovnání skutečného výnosu s výnosem ze sklízecí mlátičky na pozemku Dolíka spodní

5.2.3.3 Výnosy dle zón pro celé varianty

Procentuální zastoupení zón ve variantách neodpovídá průměrným výsledkům v kapitole 5.1. Dle tabulky 29 je zóna s vysokým produkčním potenciálem zastoupena na obou variantách na téměř na polovině plochy, stejně jako zóna s nízkým produkčním potenciálem. Střední produkční zóna se nachází na ve variantách pouze na 6 a 7 % plochy.

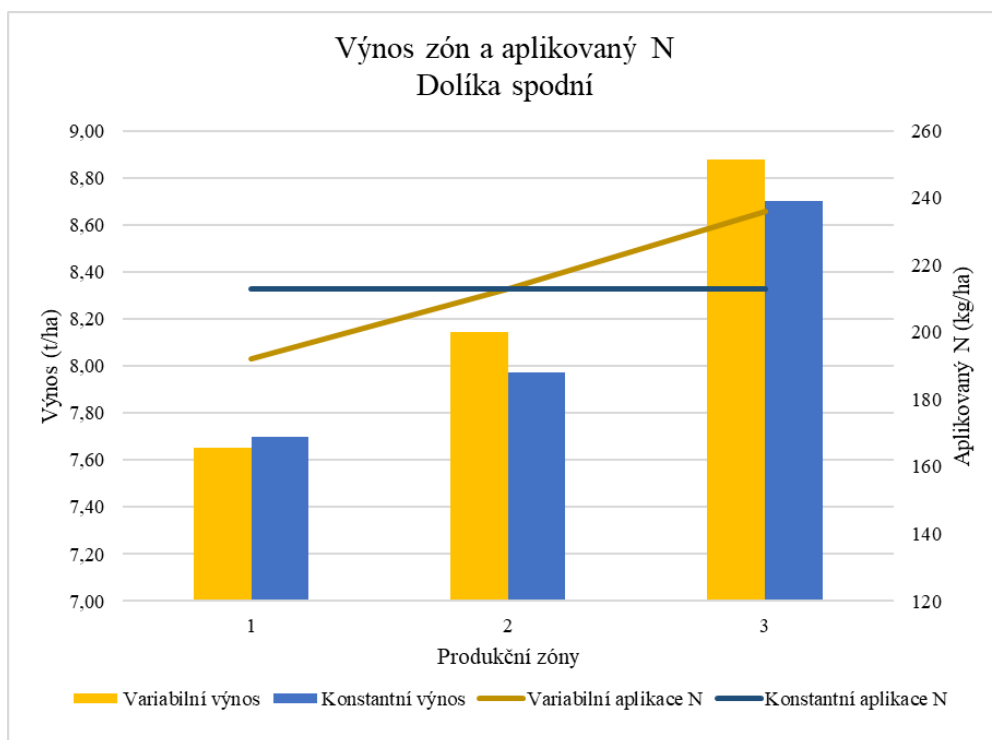
Dle tabulky 30 na pozemku Dolíka spodní prokázala variabilní aplikace přínos ve třetí zóně, kde byl dosažen výnos vyšší o 0,2 t/ha oproti konstantní variantě druhé a třetí zóny. Ve 3. produkční zóně se na variabilní části pokusu aplikovalo o 23 kg N/ha více. V nejnižší produkční zóně byl výnos u variabilní aplikace nižší o 0,05 t/ha v porovnání s první zónou konstantní varianty, ale došlo k úspoře hnojiva o 18 kg N/ha.

Tabulka 29 Procentuální zastoupení zón ve variantách

Varianta	Zóna	Plocha ha	Zastoupení zón v %	Kg N/ha
Variabilní	1	4,67	48	192
	2	0,61	6	213
	3	4,52	46	236
Konstantní	1	4,12	44	213
	2	0,65	7	213
	3	4,54	49	213

Tabulka 30 Výnosy dle zón na pozemku Dolíka spodní

Varianta	Zóna	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
Variabilní	1	11673	4,67	7,65	1,19
	2	1513	0,61	8,14	1,18
	3	11293	4,52	8,88	0,91
Konstantní	1	10310	4,12	7,70	1,11
	2	1628	0,65	7,97	1,29
	3	11353	4,54	8,70	1,05



Graf 14 Výnos pšenice ozimé dle vymezených produkčních zón v závislosti na typu hnojení (variabilní x konstantní) na pozemku Dolíka spodní

Tabulka 31 Výnosů dle zón pro jednotlivá opakování variabilní aplikace na pozemku Dolíka spodní

Sekce	Pás	Zóna	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
1	1	1	3701	1,48	7,77	0,80
2	2	1	3872	1,55	7,54	1,23
3	3	1	3014	1,21	8,02	1,32
4	4	1	1086	0,43	6,61	1,15
5	1	2	132	0,05	8,67	0,88
6	3	2	642	0,26	8,06	1,53
7	4	2	739	0,30	8,12	0,79
8	1	3	2911	1,16	8,37	0,86
9	2	3	2695	1,08	8,76	0,80
10	3	3	2419	0,97	9,30	0,69
11	4	3	3268	1,31	9,11	0,94

Tabulka 32 Výnosů dle zón pro jednotlivá opakování konstantní aplikace na pozemku Dolíka spodní

Sekce	Pás	Zóna	Počet hodnot	Plocha ha	Výnos t/ha	Směrodatná odchylka
1	1	1	4001	1,60	7,89	0,86
2	2	1	3947	1,58	7,88	1,19
3	3	1	1277	0,51	6,60	1,07
4	4	1	1085	0,43	7,65	0,89
5	3	2	1434	0,57	7,99	1,36
6	4	2	194	0,08	7,78	0,49
7	1	3	2815	1,13	8,14	0,87
8	2	3	2528	1,01	9,17	0,60
9	3	3	2943	1,18	8,68	1,33
10	4	3	3067	1,23	8,83	0,94

Na základě statistického hodnocení rozdílů výnosů produkčních zón dle tabulky 31 a 32 byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi výnosy některých produkčních zón dle tabulky 33. Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi výnosem u variabilní varianty zóny 1 a 2, a 1 a 3. Dále byl zjištěn rozdíl mezi konstantní variantou zóny 1 a 3 a variabilní variantou zóny 3 s konstantní variantou zóny 1 a 2. Statisticky významný rozdíl byl však hledán primárně mezi rozdílnými variantami a stejnými zónami, kde hodnota p nikde nebyla nižší než 0,05.

Tabulka 33 Statistické hodnocení výnosu produkčních zón Dolíka spodní

Č. buňky	Varianta	Zóna	LSD test; proměnná Výnos t/ha (Bora a Dolíka statistika)					
			{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
			7,4843	8,2814	8,8875	7,5022	7,8899	8,7081
1	Variabilní	1		0,049227	0,001009	0,959212	0,352192	0,002920
2	Variabilní	2	0,049227		0,124581	0,053906	0,393111	0,270028
3	Variabilní	3	0,001009	0,124581		0,001121	0,032143	0,610543
4	Konstantní	1	0,959212	0,053906	0,001121		0,373291	0,003249
5	Konstantní	2	0,352192	0,393111	0,032143	0,373291		0,071823
6	Konstantní	3	0,002920	0,270028	0,610543	0,003249	0,071823	

6 Diskuze

Cílem této práce bylo zjistit, zda lepší distribuce hnojiva pomocí zón relativního výnosového potenciálu vede ke zvýšení výnosu. Z výsledků poloprovozního pokusu nebyly potvrzeny významné statistické rozdíly.

Snahy o posouzení variabilního a konvenčního způsobu hnojení probíhaly již před rokem 2000. Mulla et al. (1992) prováděli pokus, ve kterém na základě výnosového potenciálu rozčlenili pozemek do několika oblastí. Jako kontrolní plochu stanovili pás podél severní hrany pozemku, tento pás zasahoval do všech zjištěných výnosových zón. V tomto kontrolním páse bylo prováděno standardní uniformní hnojení v průměrné výši. Kolmo k němu byly aplikovány variabilní pásy s variantou sníženého a zvýšeného hnojení. Ve výsledcích uvádí, že ani při zvýšeném hnojení o 51 kg N/ha v zónách s nižším výnosovým potenciálem nedošlo k navýšení výnosu. Zároveň zmiňují, že v pásech s proměnlivým hnojením zaznamenali navýšení kvality sklízeného zrna.

I přes to, že vzhledem k datu tohoto diskutovaného pokusu, mohou být značné odlišnosti ve způsobech identifikace výnosového potenciálu, výsledné trendy v aplikaci hnojiv se částečně shodují. V případě pozemku Dolíka spodní byl zaznamenán rozdíl ve výnosu nízké produkční zóny mezi variabilní a konstantní variantou pouze 0,05 t/ha. Kvalitativní parametry v mém pokusu hodnoceny nebyly.

Peng et al. (2010) tvrdí, že cílené hnojení N vedlo ke snížení dávky N o 32 % a současně k navýšení výnosu o 5 % ve srovnání s konvenčním hnojením N.

Wang et al. (2023) uvádí, že při variabilním hnojení došlo ke snížení dávky N o 22,9-43,95 % a zároveň nebylo zaznamenáno snížení výnosu.

V případě testovaného pozemku Bora pravá došlo k úspoře hnojiva o 5 %, výnos byl oproti konstantní variantě nižší o 0,04 t/ha.

Mnoho výzkumů jako například Podhola (2023) a Stamatiadis et al. (2018) potvrzují zvýšení výnosu při lepší distribuci hnojiva či zachování výšky výnosu při snížení dávky N.

Stamatiadis et al. (2018) na základě svého experimentu u ozimé pšenice uvádějí, že snížení dávky N o 38 % s využitím dat z vegetačních indexů nesnížilo výnos. Pokus byl tvořen 3 variantami v 7 m širokých a 200 m dlouhých pásech. Kontrolní varianta byla hnojena před setím (100 kg N/ha), druhá varianta byla hnojena předset'ově a konstantně během porostu (212 kg N/ha) a třetí varianta byla hnojena předset'ově a variabilně během porostu (131 kg N/ha). Varianta s variabilním hnojením dosahovala nejvyšších výnosů v nízké, střední i vysoké produkční zóně. Ve variabilní variantě došlo ke snížení dávky N během vegetace o 72 %.

Ve vysoké produkční zóně na pozemku Dolíka spodní dosáhla variabilní varianta vyššího výnosu (8,88 t/ha) oproti konstantnímu výnosu (8,7 t/ha). V nízké produkční zóně byl vyšší výnos u konstantní varianty.

Podhola (2023) provedl experiment s variabilní aplikací N na pšenici ozimé. Aplikoval variabilní, regenerační a produkční hnojení N dle map výnosového potenciálu se střídáním dávek hnojiva na různých produkčních zónách. Změna dávky N neovlivnila výnosy v produkčních zónách.

Na pozemku Bora pravá byl ve vysoké produkční zóně zaznamenán pokles výnosu (6,89 t/ha) při vysoké dávce N (237 kg N/ha). Při střední dávce (215 kg N/ha) byl výnos vyšší (7,28 t/ha).

Na výsledných výnosových mapách byly viditelné rozdílné linie výnosů ve směru jízdy sklízecí mlátičky. Příčinou těchto linií mohl být značně polehnutý porost. Při sklizni proti směru polehnutého porostu došlo s pomocí zvedáčů ke kvalitnímu vysečení porostu. Bohužel při sklizni po směru polehnutého porostu část klasů zůstala neposečena. To mohlo negativně ovlivnit celkové výsledky pokusů. Důvodem nejasných výsledků mohl být i kamenitý povrch pole, kvůli kterému nedošlo k dostatečnému snížení žacího adaptéru, a tedy k nevysečení polehlého porostu.

Negativním faktorem mohl být kromě polehlého porostu i jednoduchý osevni postup využívaný na Statky ČZU. Na pozemku Bora pravá byly od roku 2019 následující plodiny – řepka ozimá, pšenice ozimá, pšenice ozimá, řepka ozimá, pšenice ozimá. Na pozemku Dolíka spodní byly od roku 2019 tyto plodiny – ječmen jarní, kukuřice setá, ječmen jarní, řepka ozimá, pšenice ozimá. Je patrné, že na pozemku Dolíka spodní, kde byly výsledky pokusu lepší, se během 5 let vystřídaly 4 plodiny. Na pozemku Bora pravá byly v průběhu 5 let zasety pouze 2 plodiny, pšenice ozimá a řepka ozimá, obě ozimé, to vedlo jednostranně vyčerpané půdě.

Do výsledků se mohly promítnout i chyby rozmetadla. Do pokusu byly zařazeny 3 pole, ale pole Bukovka bylo vyřazeno po nesprávném rozmetání hnojiva při regeneračním hnojení.

Výsledky výnosů z produkčních zón na pozemku Bora pravá neprokázaly na 3. zóně nejvyšší výnosy. Vzhledem k tomu, že rozdělení produkčních zón neodpovídá dosaženému výnosu, je otázka, zda byly správně určeny. Definování zón na obou pozemcích pomocí OneSoil mohlo být chybné. Z dat je patrné, že algoritmus nepracuje nutně tak, že by hodnoty pozemku rozdělil do tří stejně velkých skupin a k nim přiřadil zóny. Nicméně rozdělení do produkčních zón na pozemcích, kde byl proveden poloprovozní pokus, bylo nestandardní. Aby bylo možné říct s určitostí, že rozdělení zón bylo chybné, bylo by nutné mít výnosové mapy za více let.

7 Závěr

Poloprovozní pokus byl proveden na 2 pozemcích podniku Statky ČZU, na obou pozemcích byla pěstována pšenice ozimá. Byl hodnocen přínos variabilní aplikace N oproti konstantnímu způsobu aplikace N.

Na pozemku Bora pravá se celková dávka N ve variabilní variantě pohybovala v rozmezí 205–280 kg N/ha s ohledem na procentuální zastoupení produkčních zón. Konstantní dávka byla 215 kg N/ha. Průměrný výnos konstantní varianty činil 7,17 t/ha. Výnos variabilní varianty byl srovnatelný, dosáhl 7,13 t/ha. Při variabilním hnojení došlo k úspoře hnojiva o 5 % (9 kg N/ha).

Produkční zóny na Bora pravá byly zastoupeny na variabilní variantě následovně: nízká 52 %, střední 30 % a vysoká 18 %. Konstantní varianta byla tvořena z 47 % nízkou, 41 % střední a 12 % vysokou produkční zónou. Rozdíly ve výnosech neodpovídaly stanoveným produkčním zónám. Vysoká produkční zóna měla při vysoké dávce N (237 kg/ha) výnos 6,89 t/ha. Při nízké dávce N (215 kg/ha) byl výnos vysoký 7,28 t/ha. Mezi výnosy z produkčních zón nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

Na pozemku Dolíka spodní byla celková dávka N shodná pro variabilní i konstantní variantu. Změna byla v úpravě dávky hnojiva v nízké (snížení o 13 %) a vysoké (zvýšení o 13 %) produkční zóně. K úspoře hnojiva nedošlo. Byl zjištěn vyšší dosažený výnos u variabilní varianty (8,26 t/ha) oproti konstantní variantě (8,19 t/ha).

Produkční zóny byly nerovnoměrně rozdělené. Variabilní varianta obsahovala 48 % nízké produkční zóny, 6 % střední a 46 % vysoké zóny. Konstantní varianta byla zastoupena následovně: nízká produkční zóna 44 %, střední 7 % a vysoká 49 %. Ve vysoké produkční zóně byl vyšší výnos u variabilního hnojení (8,88 t/ha) oproti konstantnímu (8,7 t/ha), v nízké produkční zóně dosáhla konstantní varianta mírně vyššího výnosu (7,7 t/ha) než variabilní (7,65 t/ha).

Hypotéza č.1: Lepší distribuce hnojiva při variabilní aplikaci povede ke zvýšení výnosu.

Hypotéza byla nebyla potvrzena. Na pozemku Dolíka spodní bylo dosaženo u variabilně hnojených pásů velmi podobných výnosů jako u konstantně hnojených pásů.

Hypotéza č.2: Při cílené aplikaci dusíku lze dosáhnout úspory hnojiva při zachování celkového výnosu z dané plochy

Hypotéza nebyla vyvrácena. Na pozemku Bora pravá došlo k zanedbatelnému poklesu výnosu, který nebyl statisticky průkazný, ale došlo k 5% úspoře hnojiva se neprojevila.

Na základě zjištěných výsledků pokusu se ukázalo, že je důležité správné stanovení zón výnosového potenciálu, bylo by vhodné zaměřit se na kvalitní určení produkčních zón. Zároveň je důležité jen nedefinovat plochy produkčních zón, ale soustředit se i na individualitu jednotlivých pozemků a specifikovat střední dávku N pro každý pozemek.

8 Literatura

Adamchuk VI, Hummel JW, Morgan MT, Upadhyaya SK. 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* **44**:71-91.

Ammann K. 2009. Why farming with high tech methods should integrate elements of organic agriculture. *New Biotechnology* **25**:378-388.

Amundson R et al. 2006. *Soils: Basic Concepts and Future Challenges*. Cambridge University Press, New York.

Antošovský J, Ryant P, Škarpa P. 2020. Dusík a výživa ve výživě ozimé pšenice. *Úroda* **68**:68-70.

Argento F, Anken T, Abt F, Vogelsanger E, Walter A, Liebisch F. 2021. Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. *Precision Agriculture* **22**:364-386.

Arslan S, Colvin TS. 2002. An avaluation of the response of yiled monitors and combines to varying yields. *Precision Agriculture* **3**:107-122.

Ayaz M, Ammad-Uddin M, Sharif Z, Mansour A, Aggoune E-HM. 2019. Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk. *IEEE Access* **7**:129551-129583.

Balík J, Černý J, Kulháněk M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Blackmore S. 1999. Remedial Correction of Yield Map Data. *Precision Agriculture* **1**:53-66.

Bláha J, Ryant P. 2013. Močoviny s inhibitory ve výživě pšenice ozimé. 20-23 in *Mendel Agro 2013 Žabčice*. Mendelova univerzita, Brno.

Boiarskii B. 2019. Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. *JOURNAL OF MECHANICS OF CONTINUA AND MATHEMATICAL SCIENCES* **4**: spl1.

Bouman BAM. 1995. Crop modelling and remote sensing for yield prediction. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **43**:143-161.

Colaço AF, Bramley RGV. 2018. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? *Field Crops Research* **218**:126-140.

CropSpec Crop monitoring technology. 2017. Available from https://www.topconpositioning.com/content/dam/topcon_digital_asset_hub/collateral/brochures/CropSpec_Broch_7010-0957_TEAM_EN_US_HiRes.pdf (accessed April 2024).

- Černý J, Kulháněk M, Vašák F, Shejbalová Š. 2012. Hořčík, často opomíjený prvek ve výživě. Available from <https://zemedelec.cz/horcik-casto-opomijeny-prvek-ve-vyzive/> (accessed February 2024).
- Efektivní výživa rostlin. 2019. Available from <https://www.mojehnojiva.cz/sites/default/files/prilohy/diagnostikaweb.pdf> (accessed March 2024).
- Feng H, Fan X, Miller AJ, Xu G, Takahashi H. 2020. Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany* **71**:4380-4392.
- Godwin RJ, Kumhála F. 2017. Současný stav precizního zemědělství a moderní technologie v rostlinné výrobě. Available from <https://www.agrojournal.cz/clanky/soucasny-stav-precizniho-zemedelstvi-a-moderni-technologie-v-rostlinne-vyrobe-249> (accessed February 2024).
- Guerrero A, De Neve S, Mouazen AM. 2021. Current sensor technologies for in situ and on-line measurement of soil nitrogen for variable rate fertilization: A review. *Advances in Agronomy* **168**:1-38.
- Hall R. 2008. Soil essentials: Managing your farm's primary asset. Land Links, Australia.
- Heege HJ, Reusch S, Thiessen E. 2008. Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. *Precision Agriculture* **9**:115-131.
- Heege HJ. 2013. Precision in crop farming: site specific concepts and sensing methods: applications and results. Springer, New York.
- Charman P et al. 2007. Soils Their Properties and Management, 3.rd edition. Oxford University Press, Australia.
- Christy CD. 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture* **61**:10-19.
- Karatay YN, Meyer-Aurich A. 2020. Profitability and downside risk implications of site-specific nitrogen management with respect to wheat grain quality. *Precision Agriculture* **21**:449-472.
- Kazlauskas M, Bručienė I, Jasinskas A, Šarauskis E. 2021. Comparative Analysis of Energy and GHG Emissions Using Fixed and Variable Fertilization Rates. *Agronomy* **11**:138.
- Kincl L, Kincl M, Jakrlová J. 2006. Biologie rostlin: pro 1. ročník gymnázií4., přeprac. vyd. Fortuna, Praha.

- Klem K. 2014. Využití měření spektrální odrazivosti a odvozených specializovaných vegetačních indexů v pěstební technologii jarního ječmene: metodika pro zemědělskou praxi. Agrotest fyto, Kroměříž.
- Klír J, Haberle J, Růžek P, Šimon T, Svoboda P. 2018. Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Klír J, Kozlovská L. 2016. Zásady hospodaření pro ochranu vod před znečištěním dusičnany. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Kozák J, Němeček J, Matula S, Valla M, Borůvka L. 2008. Pedologie. Česká zemědělská univerzita, V Praze.
- Kozák J, Němeček J. 2009. Atlas půd České republiky 2., upr. vyd. ČZU Praha, Praha.
- Kraft B, Strous M, Tegetmeyer HE. 2011. Microbial nitrate respiration – Genes, enzymes and environmental distribution. *Journal of Biotechnology* **155**:104-117.
- Kubík J. 2016. N-senzory ISARIA pro variabilní hnojení rostlin. Available from <https://uroda.cz/n-senzory-isaria-pro-variabilni-hnojeni-rostlin/> (accessed April 2024).
- Lal R. 2006. Encyclopedia of Soil Science, 2.nd edition. Taylor & Francis, New York.
- Lukas V, Dryšlová T, Endress M, Neudert L, Křen J, Novák J. 2013. Diagnostika výživného stavu porostů pšenice ozimé pomocí spektrálních metod. 68-71 in Mendel Agro 2013 Žabčice. Mendelova univerzita, Brno.
- Lukas V, Neudert L, Dryšlová T, Novák J, Smutný V, Křen J. 2014. Modifikace AZP pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství. *Úroda* **71**:99-104.
- Lukas V, Neudert L, Duffková R, Haberle J, Brom J, Horniaček I, Vaněček M. 2020. Variabilní přihnojení dusíkem pomocí nástrojů GIS a vyhodnocení efektivity využití živin v rozdílných vláhových podmínkách. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Lukas V, Neudert L, Křen J. 2010. Precizní zemědělství a jeho přínosy. Available from <https://zemedelec.cz/precizni-zemedelstvi-a-jeho-prinosy/> (accessed February 2024).
- Lukas V, Neudert L, Křen J. 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Lukas V. 2011. Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Lukas V. 2012. Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Lukas V. 2021. Význam zpracování aplikačních map pro lokálně cílenou agrotechniku zemědělských plodin. *Agromanuál* **2020**:78-81.

- Marios S, Georgiou J. 2017. Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring. Pages 1-4 in IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS). IEEE, Turin.
- Marschner P et al. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 2.nd edition. Academic Press, London.
- Martins RN, Pinto F de A de C, Moura AD de, Siqueira W da C, Villar FM de M. 2020. Nitrogen variable rate fertilization in corn crop prescribed by optical sensor. *Journal of Plant Nutrition* **43**:1681-1688.
- Mehrvarz S, Chaichi MR. 2008. Effect of Phosphate Solubilizing Microorganisms and Phosphorus Chemical Fertilizer on Forage and Grain Quality of Barely. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment* **3**:855-860.
- Mulla DJ, Bhatti AU, Hammond MW, Benson JA. 1992. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management **38**:301-311
- Neudert L, Lukas V, Altmann J. 2015. *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Pandey M, Shrestha J, Subedi S, Shah KK. 2020. Role of nutrients in wheat: A review. *Tropical Agrobiodiversity* **1**:18-23.
- Pätzold S, Leenen M, Frizen P, Heggemann T, Wagner P, Rodionov A. 2020. Predicting plant available phosphorus using infrared spectroscopy with consideration for future mobile sensing applications in precision farming. *Precision Agriculture* **21**:737-761.
- Paul EA et al. 2015. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, 4. edition. Academic Press, London.
- Podhola L. 2023. How OneSoil Yield and the HarvestLab sensor help pick a nitrogen application strategy. OneSoil. Available from <https://blog.onesoil.ai/en/nitrogen-vra-test-with-harvestlab-3000/> (accessed April 2024).
- Peng S et al. 2010. Improving nitrogen fertilization in rice by sitespecific N management. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **30**:649-656.
- Richter R. 2004. Příjem živin kořeny. Mendelu. Available from https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/prijem_zivin/prijem_koreny.htm (accessed February 2024).
- Richter R. 2004. Příjem živin rostlinami. Mendelu. Available from https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/prijem_zivin/prijem_zivin.htm (accessed February 2024).

- Rossini F, Provenzano M, Sestili F, Ruggeri R. 2018. Synergistic Effect of Sulfur and Nitrogen in the Organic and Mineral Fertilization of Durum Wheat: Grain Yield and Quality Traits in the Mediterranean Environment. *Agronomy* **8**:189.
- Srisruthi S, Swarna N, Ros GMS, Elizabeth E. 2016. Sustainable agriculture using eco-friendly and energy efficient sensor technology. Pages 1442-1446 in IEEE. IEEE, Bangalore.
- Stamatiadis S, Schepers JS, Evangelou E, Tsadilas C, Glampedakis A, Glampedakis M, Dercas N, Spyropoulos N, Dalezios NR, Eskridge K. 2018. Variable-rate nitrogen fertilization of winter wheat under high spatial resolution. *Precision Agriculture* **19**:570-587.
- Štralková R, Krofta S, Podešvová J, Leciánová E. 2009. Rozdíly potenciální nitrifikace v ornici při pěstování pšenice a ječmene v konvenčním a ekologickém systému hospodaření. *Obilnářské listy* **17**:79-81.
- Středa T et al. 2018. Kořenový systém rostlin pro 21. století. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Sylvia DM, Fuhrmann JJ, Hartel PG, Zuberer DA. 1998. Principles and applications of soil microbiology. Prentice-Hall, New Jersey.
- Šarapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO, Šumperk.
- Šarapatka B, Urban J. 2009. Organic agriculture. IAEI, Praha.
- Šimek M, Cooper JE. 2004. Biogeochemical cycles of elements: an introduction to behaviour of main mineral nutrients of plants and microorganisms. University of South Bohemia, Faculty of Biological Sciences, České Budějovice.
- Šimek M. 2003. Základy nauky o půdě. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- Šimek M. 2019. Živá půda. Academia, Praha.
- Tan KH. 1994. Environmental Soil Science. Marcel Dekker, New York.
- Tobiášová E. 2013. Biológia pôdy. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.
- Tucker CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* **8**:127-150.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.
- Vaněk V, Brodský L, Štípek K, Tlustoš P. 2000. Možnosti uplatnění precizního hnojení v ČR, sborník z konference.
- Vega A, Córdoba M, Castro-Franco M, Balzarini M. 2019. Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture* **20**:1030-1044.

- Wang Y, Yuan Y, Yuan F, Ata-UI-Karim ST, Liu X, Tian Y, Zhu Y, Cao W, Cao Q. 2023. Evaluation of Variable Application Rate of Fertilizers Based on Site-Specific Management Zones for Winter Wheat in Small-Scale Farming. *Agronomy* **13**:2812
- Weil RR, Brady NC. 2017. *The Nature and Properties of Soils*, 15. edition. Pearson, Malaysia.
- Wieser H. 2020. *Wheat, an exceptional crop: botanical features, chemistry, utilization, nutritional and health aspects*. Woodhead Publishing, Elsevier, Cambridge.
- Yawata K, Yamamoto T, Hashimoto N, Ishida R, Yoshikawa H, Neale CM, Maltese A. 2019. Mixed model estimation of rice yield based on NDVI and GNDVI using a satellite image. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology* **XXI**: 1114918.
- Ye JY, Tian WH, Jin CW. 2022. Nitrogen in plants: from nutrition to the modulation of abiotic stress adaptation. *Stress Biology* **2**:4.
- Zayed O, Hewedy OA, Abdelmoteleb A, Ali M, Youssef MS, Roumia AF, Seymour D, Yuan Z-C. 2023. Nitrogen Journey in Plants: From Uptake to Metabolism, Stress Response, and Microbe Interaction. *Biomolecules* **13**:1443.
- Zhao F-H, Ma J-H, Ouyang Z. 2012. Effects of excessive nitrogen supply on productivity of winter wheat. *Chinese Journal of Plant Ecology* **36**:1075-1081.
- Zhu J, Dai W, Chen B, Cai G, Wu X, Yan G. 2023. Research Progress on the Effect of Nitrogen on Rapeseed between Seed Yield and Oil Content and Its Regulation Mechanism. *International Journal of Molecular Sciences* **24**:14504.
- Zimolka J, Cerkal R, Červinka J, Doležal P, Fajman M, Prokop M. 2008. *Kukuřice- hlavní a alternativní užitkové směry*. Profi Press, Praha.
- Šimek M, Hynšt J, Malý S. 2021. Živá půda 10. Minerální živiny. *Živa* **21**:319-325.