

## Z<sub>t</sub>e<sub>c</sub>h – Ověřená technologie



### Variabilní aplikace hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky

Neudert L. - Mezera J. - Lukas V. - Voda V.

Výstup z projektu TH04010494

„Výzkum a vývoj technologií smart farming pro malé a střední zemědělské podniky“

*Technická dokumentace výsledku*

*(popis technologie včetně protokolu o způsobu a vlastním testování ověřené technologie)*

Mendelova  
univerzita  
v Brně





MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

# **Variabilní aplikace hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky**

Z<sub>tech</sub> – Ověřená technologie

LUBOMÍR NEUDERT, JIŘÍ MEZERA, VOJTĚCH LUKAS,  
VLASTIMIL VODA

2022

### **Variabilní aplikace hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky**

Technologie byla ověřena a byl potvrzen princip korekce aplikované dávky dusíkatých hnojiv na základě senzorového měření vegetačních indexů a zvolené strategie. Přínosy postupů uvedených v technologii je obtížné kvantifikovat, neboť se jedná o kombinaci položek environmentálních, zemědělských i celospolečenských. Ekonomické přínosy vycházejí z dosažených srovnatelných či vyšších výnosů. Bude záležet na rozsahu (výměře) pozemků a na jejich variabilitě. Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Předkládaná technologie má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí.

### **Variable application of fertilizers for small and medium agricultural farms**

The technology was verified and the principle of correcting the applied dose of nitrogen fertilizers based on the sensor measurement of vegetation indices and the chosen strategy was confirmed. The benefits of the procedures mentioned in the technology are difficult to quantify, as they are a combination of environmental, agricultural and societal items. Economic benefits are based on achieved comparable or higher returns. It will depend on the extent (area) of the plots and their variability. Other benefits are in line with the general interest of the entire company in the area of environmental protection. The presented technology has a significant potential to contribute to reducing the negative impacts of agricultural activity on the environment.

**Ověřená technologie** je výsledkem řešení výzkumného projektu na rozvoj výzkumné organizace č. **TH04010494** s názvem „**Výzkum a vývoj technologií smart farming pro malé a střední zemědělské podniky**“.

#### **Autorský kolektiv:**

Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. et Ing. Jiří Mezera, Mendelova univerzita v Brně

doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Vlastimil Voda, P & L, spol. s r.o.

Technická dokumentace výsledku

(popis technologie včetně protokolu o způsobu a vlastním testování ověřené technologie)

© Mendelova univerzita v Brně, 2022

## OBSAH

I. Úvod.....	4
II. Ověřená technologie.....	5
1. Popis Ověřené technologie .....	5
2. Vlastní ověření a dosažené výsledky .....	6
2.1. Výběr vhodné testovací lokality .....	7
2.2. Sběr a vyhodnocení podpůrných dat pro stanovení heterogenity testovaných pozemků .....	8
2.3. Stanovení produkčních zón z historických dat .....	11
2.4. Stanovení dávky dusíku a návrh variant režimů aplikace dusíkatých hnojiv .....	12
2.5. Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv .....	15
2.6. Vyhodnocení výnosových dat.....	19
III. Ekonomická analýza.....	24
IV. Doporučení a závěr .....	25
V. Seznam použité literatury .....	26
VI. Seznam publikací, které předcházely vzniku ověřené technologie .....	27
VII. Protokol o ověření technologie .....	28

## I. Úvod

Prezentovaná ověřená technologie „Variabilní dávkování hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky“ si klade za cíl praktické využití technologií a metod hodnocení stavu stanoviště a porostů polních plodin a jejich uplatnění při lokálně cílené aplikaci dusíkatých hnojiv, jako součást postupů tzv. precizního zemědělství.

Technologie precizního zemědělství jsou založeny na individuální péči o jednotlivé části pozemků na základě přesných znalostí heterogenity půdních vlastností a stavu porostů. Základní principy precizního hospodaření přitom nejsou nové. Prostorovou a časovou variabilitu půdních a porostních faktorů v rámci honů si pěstitelé uvědomovali již před staletími.

Předložený technický popis technologie popisuje pracovní postup, který koriguje intenzitu zásahu podle relativního produkčního potenciálu daného místa a analýz aktuálních dat získaných ze senzorů. To znamená, že potřeba použití intenzity zásahu je korigována dle očekávaného výnosu na dané části pozemku a aktuálního stavu porostu. To vede k efektivnějšímu využití vstupů – vyšší intenzita u slabších porostů je provedena pouze za předpokladu očekávaného nadprůměrného výnosu na daném místě.

## II. OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE

### 1. Popis Ověřené technologie

Úkolem Ověřené technologie je v praxi ověřit a zhodnotit postup, který byl navržen řešiteli v rámci řešení projektu TAČR č. **TH040104494** s názvem „**Výzkum a vývoj technologií smart farming pro malé a střední zemědělské podniky**“. Ověřovaný postup slouží k praktickému stanovení diferencovaných dávek hnojení dusíkem k pšenici ozimé na základě detailnějších znalostí stavu porostů.

Vlastní použité pracovní postupy stanovení heterogenity stanoviště vycházejí a jsou popsány v metodice „Postupy sběru a zpracování faremních dat pro lokálně cílenou agrotechniku polních plodin“ (Neudert, Lukas a kol. 2022).

Základní hypotéza vychází z předpokladu, že stanovení výživného stavu na základě aktuálního spektrálního měření umožňuje pružněji reagovat na potřebu výživy u rostlin a postihnout prostorové rozdíly v rámci jednotlivých pozemků. Online měření lze doplnit o mapový podklad (tzv. map-overlay), který koriguje intenzitu zásahu podle produkčního potenciálu daného místa. Potřeba použití intenzity zásahu může být korigována dle očekávaného výnosu na dané části pozemku (analyzováno na základě historických dat). Kombinace online měření a korekce na potenciální výnos vede k efektivnějšímu využití vstupů – vyšší intenzita u slabších porostů je provedena pouze za předpokladu očekávaného nadprůměrného výnosu na daném místě.

#### Popis technologie

Jak již bylo řečeno v úvodu, principem ověřené technologie je aplikace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv při hnojení pšenice ozimé na základě detailnějších znalostí stavu porostů. Pro on-line měření byl použit aktivní plodinový senzor OptRx, vyvinutý společností AgLeader (USA). OptRx využívá kromě červeného a blízce infračerveného pásma také oblast red-edge. Výsledkem je výpočet vegetačních indexů NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a NDRE (Normalized Difference Red Edge), přičemž NDRE vykazuje vyšší citlivost na obsah dusíku v rostlinách v pozdějších vývojových fázích rostlin a nedochází u něj k saturačnímu jevu. Čidlo pro měření porostu hodnotí během jízdy stav porostu na základě měření odrazivosti elektromagnetické záření. Z údajů odrazivosti jsou vypočítány vegetační indexy, které slouží pro odvození stavu porostu a určení aplikované dávky. Senzory jsou výhodně umístěny na ramenech umístěných v čelním závěsu traktoru a směřují kolmo na porost. Pro zajištění kolmého směru senzorů bylo využito funkčního vzorku „Sklopného nosiče optických čidel“, který je výsledkem řešení projektu. Unikátní technické řešení uchycení ramen bylo také výstupem řešení projektu a je právně chráněno na Úřadu průmyslového vlastnictví jako Užiténý vzor č. 35045.

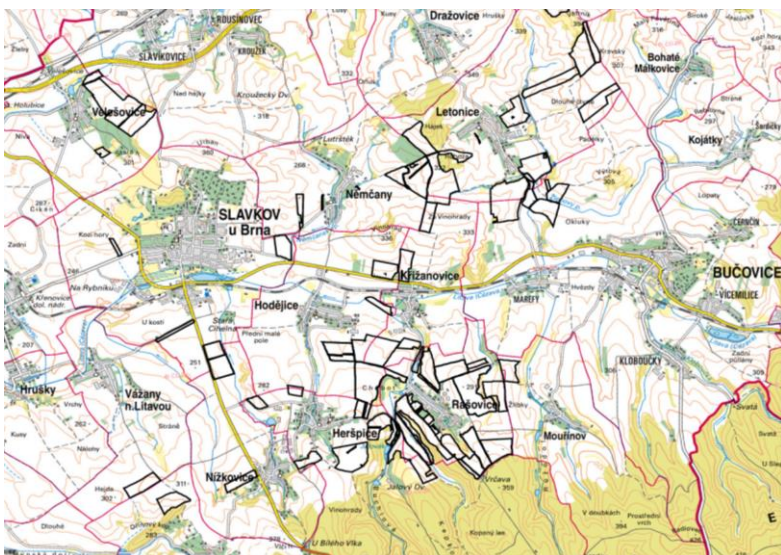


**Obr. 1** Sklopný nosič optických čidel OptRx

## 2. Vlastní ověření a dosažené výsledky

Testování Ověřené technologie **Variabilní aplikace hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky** proběhlo formou poloprovozního polního testování v letech 2021–2022 na pozemcích rodinné zemědělské farmy Obdržálkových, která se nachází v obci Rašovice (okr. Vyškov), hospodařící na orné půdě o výměře cca 1000 ha. Hlavními pěstovanými plodinami na farmě jsou obilniny a olejninu – pšenice, ječmen, řepka olejka a mák setý.

Oblast Rašovice se nachází v řepařské výrobní oblasti. Klimatický region oblasti je dle Quittovy klimatické klasifikace (1971) teplý, mírně suchý a mírně vlhký (T2, T3). Dlouhodobá průměrná roční teplota pro Jihomoravský kraj (z let 1991–2020) je 9,4 °C a průměrný úhrn srážek (1991–2020) 561 mm (www.chmi.cz). Pozemky se nacházejí v nadmořské výšce 200–350 m n.m. Půdním typem jsou černozemě, hnědozemě a kambizemě. Půda je středně hluboká až hluboká, hlinitopísčité až jílovitohlinitá. Pozemky jsou rovinnaté, mírně až středně svažité.



**Obr. 2** Zemědělský podnik - fa. Obdržálek

Předmětem polního experimentu bylo ověření optimalizace hnojení dusíkem v porostech pšenice ozimé v polních podmínkách.


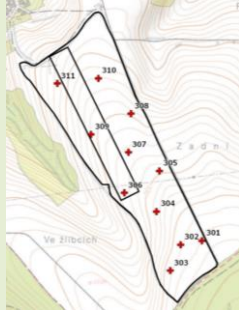
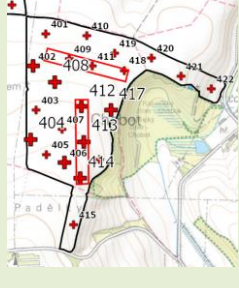
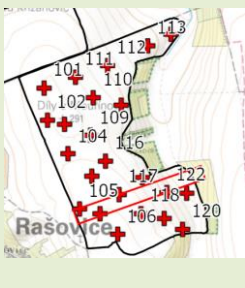
Vlastní ověřování a zpracování výsledků probíhalo dle následujícího postupu:

1. Výběr vhodného pozemku
2. Sběr a vyhodnocení podpůrných dat pro stanovení heterogenity testovaných pozemků
3. Stanovení výnosového potenciálu z historických dat
4. Stanovení základní dávky dusíku a návrh variant režimů aplikace dusíkatých hnojiv
5. Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv
6. Hodnocení stavu porostu během vegetace
7. Vyhodnocení výnosových dat

## 2.1. Výběr vhodné testovací lokality

Z portfolia pozemků na rodinné farmě byly, na základě předběžné analýzy jejich variability, aktuálního osevu pšenice ozimou a hlavně po diskusi a konzultacích s managementem farmy, vybrány reprezentativní pozemky, na kterých probíhalo ověřování technologie.

**Tab. 1** Charakteristika testovacích pozemků

Název půdního bloku	Stávání	U plynu	Nad Chobotem	Díly od Mouřínova
Půdní blok	4005/11	4203/11	5110/9, 5110/11	3105/21, 3105/17
Čtverec	570-1170	570-1170	570-1170	570-1160
Výměra (ha)	20,03	19,38	46,8	46,31
Rok ověření - odrůda	2020 – Viriato 2022 - Viriato	2020 - Julie	2021 - Julie	2021 - Turandot
Převládající půdní typ	Černozemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a produkční.	Hnědozemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a velmi produkční.	Černozemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, mírně suchém klimatickém regionu a produkční.	Hnědozemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a vysoce produkční.
				
	(zdroj: LPIS)			

### Obecný popis použitá technologie pěstování:

Na testovacích pozemcích byla provedena uniformní aplikace základní podzimní dávky minerálních N, P a K (Amofos 250kg.ha<sup>-1</sup>) hnojiv pomocí rozmetadla. Hnojiva byla následně zapravena podmítkou do 0,08 m pomocí talířového podmítače Horsch Joker. Základní zpracování půdy asi 14 dní před setím bylo prováděno do hloubky 0,20 m univerzálním radličkovým kypřičem Horsch Terano FM, který kvalitně zpracuje půdu a precizně ji promíchá s posklizňovými zbytky. Setí pšenice (přelom září a října) bylo prováděno secím strojem Väderstad Spirit. Výsevní ústrojí bylo nastaveno na výsevek cca. 130 kg.ha<sup>-1</sup>, což odpovídá výsevku 2,7 MKS.ha<sup>-1</sup>. Tento výsevek fungicidně namořeného osiva byl jednotný na celém pozemku. V podzimním agrotechnickém termínu bylo provedeno ošetření porostu herbicidem v „tank mixu“ společně s insekticidem a smáčedlem.

Jakmile to klimatické podmínky umožnily (přelom února a března), byla provedena uniformní aplikace regeneračního hnojení močovinou (46 % N) pomocí rozmetadla. Produkční dávka byla prováděna variabilně (DASA 26 % N). V období mezi produkční a „kvalitativní“ dávkou byl aplikována listová hnojiva s mikroprvky a regulátory růstu formou TM. Po druhém produkčním/kvalitativním hnojení (LAD 27 % N) byly aplikovány fungicidy s regulátorem růstu, opět ve formě TM. Dle průběhu počasí bylo provedeno další ošetření fungicidy. Sklizeň byla provedena v polovině července sklízecí mlátičkou s výnosoměrnými čidly.

## **2.2. Sběr a vyhodnocení podpůrných dat pro stanovení heterogenity testovaných pozemků**

Prostorová variabilita pozemků představuje základní vstupní informaci pro diferencovanou aplikaci. Variabilita půdních podmínek je způsobena celou řadou faktorů.

Při vyhodnocení prostorové variability vybraných pozemků byly využity zkušenosti a výsledky, z dlouhodobého ověřování těchto metod. Jedním ze základních zdrojů informací o prostorové variabilitě půdy a jejích vlastnostech jsou půdní mapy. Pro vyhodnocení a zmapování nevyrovnanosti půdních a porostních podmínek byly v prostředí GIS vyhodnoceny mapy, které poskytuje Státní pozemkový úřad a jsou zpřístupněny jako podkladová vrstva v Registru půdy (LPIS).

Dále byly využity pedologické mapy, které poskytuje veřejnosti Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Výběr volně dostupných zdrojů půdních map byl zvolen záměrně, protože výsledky řešení projektu jsou zaměřeny na uplatnění technologií smart farming na malých a středních podnicích, které nebudou mít finanční prostředky na nákup dat a informací získaných tradičním půdním průzkumem v terénu.

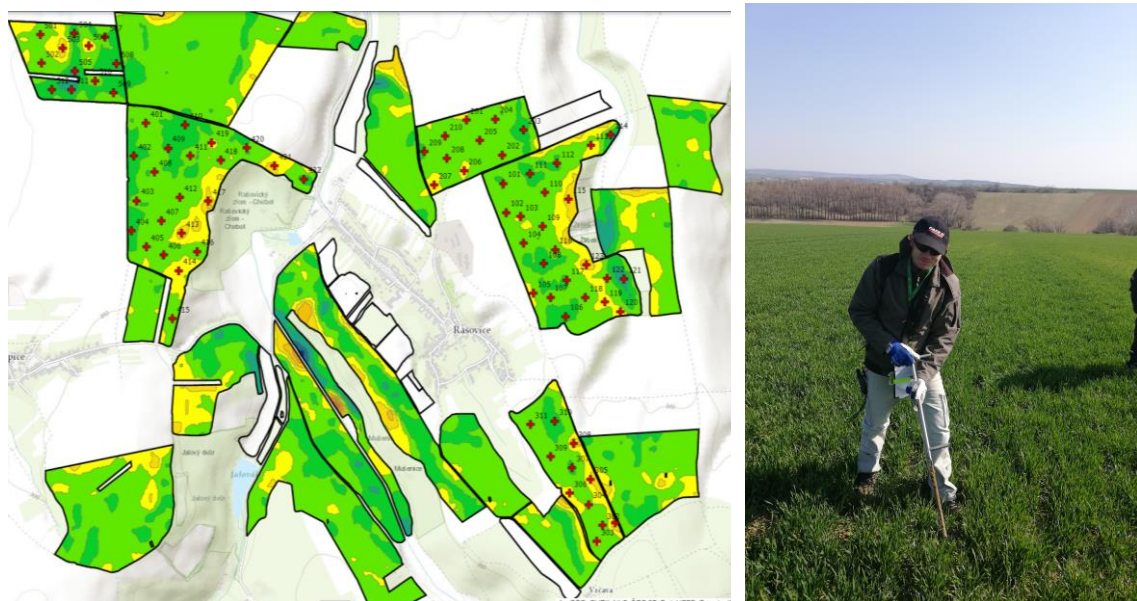
Pro identifikaci variability půdy byly použity i nepřímé metody založené na principu sensorového měření. Bylo použito zařízení pro měření elektromagnetické indukce půdy. Elektromagnetické metody umožňují rychlé a relativně přesné stanovení rozdílů v půdním substrátu dle jeho vodivosti. Využívají geofyzikálních vlastností půdy, kdy změna půdního prostředí ovlivňuje procházející elektromagnetické pole. Vlastní měření je bezkontaktní,

půdou prochází pouze elektromagnetické pole. Výhodou je tedy provádění měření na kamenitých půdách nebo během vegetace.

### **Analýza výživného stavu půdy**

Tyto analýzy byly provedeny z důvodů detailnějšího zmapování heterogenity pokusné lokality a také z důvodů případné lokalizace a eliminace míst, kde by mohl být výživný stav rostlin ovlivněn i jinou živinou než je dusík. Vzorkování je základní podstatou jakéhokoliv terénního výzkumu v půdních vědách, neboť v praxi nemožné získat informace o každém místě na pozemku.

Pro zachycení prostorové variability je rozhodujícím parametrem hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů po pozemku. Na testovacím pozemku bylo provedeno tzv. cílené vzorkování. Rozmístění odběrových bodů bylo provedeno na základě analýzy časové řady družicových dat. Došlo tak k optimalizaci počtu vzorků reflektujících na rozdíly v půdních vlastnostech – v homogenních oblastech byl počet vzorků nižší než v oblastech s vyšší variabilitou.



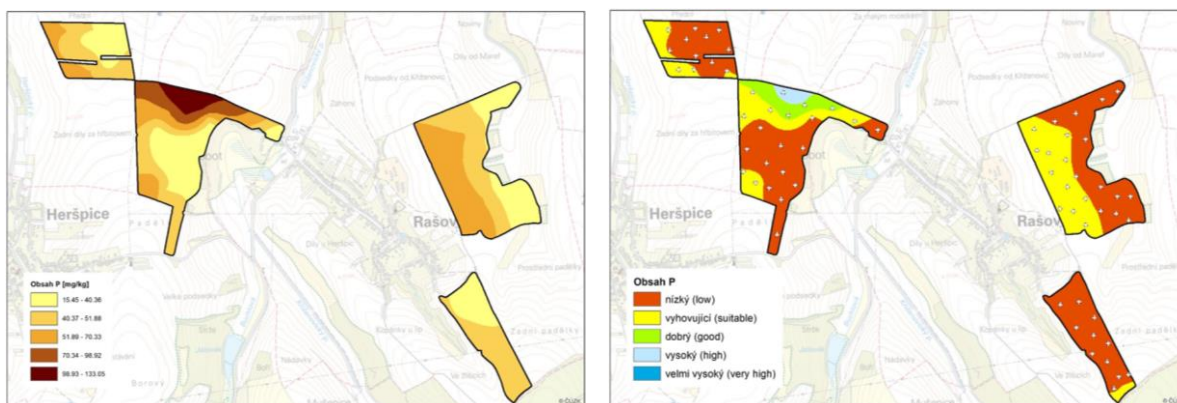
**Obr. 3** *Návrh odběrového schématu sítě pro vzorkování - fa. Obdržálek a odběr vzorků v terénu (vpravo)*

Rozmístění vzorků bylo provedeno na základě dostupných mapových podkladů – výsledky měření elektrické vodivosti půdy, dostupných výnosových map z předchozích ročníků a map výnosového potenciálu. Každý směsný vzorek se sestával z cca 5 – 7 dílčích vzorků odebraných s využitím submetrové DPGS do 10 m od odběrového bodu. Odebrané vzorky byly odeslány do zemědělské laboratoře pro stanovení agrochemických půdních vlastností dle platné metodiky ÚKZÚZ (Zbíral, 2016). Pro účely této studie byly použity výsledky analýzy zrnitosti pipetovací metodou a obsahu přístupného P, K, Mg dle Mehlich 3 metodou ICP-OES.

Z výsledků analyzovaných vzorků bylo provedeno hodnocení plošné nevyrovnanosti agrochemických vlastností výpočtem variačního koeficientu pro hodnoty pH a obsah přístupných živin (P, K, Mg).

Pomocí geostatistických metod (ordinary kriging) byly vytvořeny celoplošné mapy obsahu jednotlivých živin. Dle kritérií hodnocení zásobenosti půd přístupnými živinami Mehlich 3 (Klír et al., 2007) byla následně provedena klasifikace obsahu živin a vymezeny zóny s nízkým, vyhovujícím, dobrým a vysokým obsahem. Zařazení do příslušné kategorie ovlivňuje doporučení korekce normativní dávky. Výsledná dávka pak odpovídá úhradě odběru živin na plánovaný výnos modelové plodiny (pšenice ozimá, 6 t/ha) a korekci dle identifikované úrovně zásobenosti.

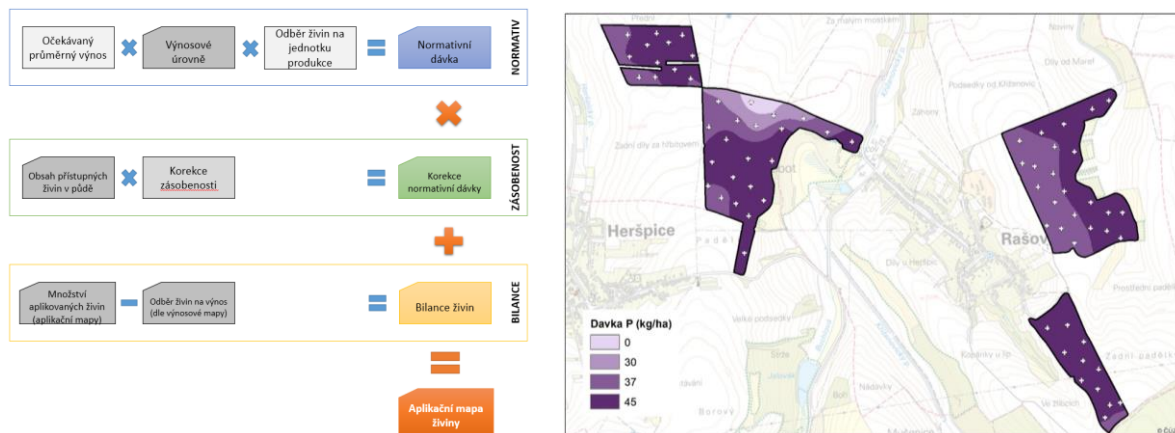
Výsledky ukázaly, že na testovacích pozemcích je zásobenost živinami u K a Mg na dobré úrovni. U P byl zjištěn převážně nízký obsah.



**Obr. 4** Vygenerované mapy obsahu P vytvořené pomocí geostatistické metody Ordinary Kriging (vlevo) a mapa hodnocení obsahu přístupného P v půdě (vpravo)

Tyto výsledky pak posloužily jako základní podklad pro případné diferencování dávek jednotlivých živin při generování aplikačních map pro hnojení na pozemcích resp. jejich částech. V prostředí GIS byly vygenerovány aplikační mapy. Postup tvorby aplikačních map ukazuje schéma na obrázku níže.

S cílem eliminovat místa na pozemku, která by mohla negativně ovlivnit výsledky testu našeho ověřovaného systému dávkování hnojiv, byla provedena variabilní aplikace P (Superfosfát 45 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).



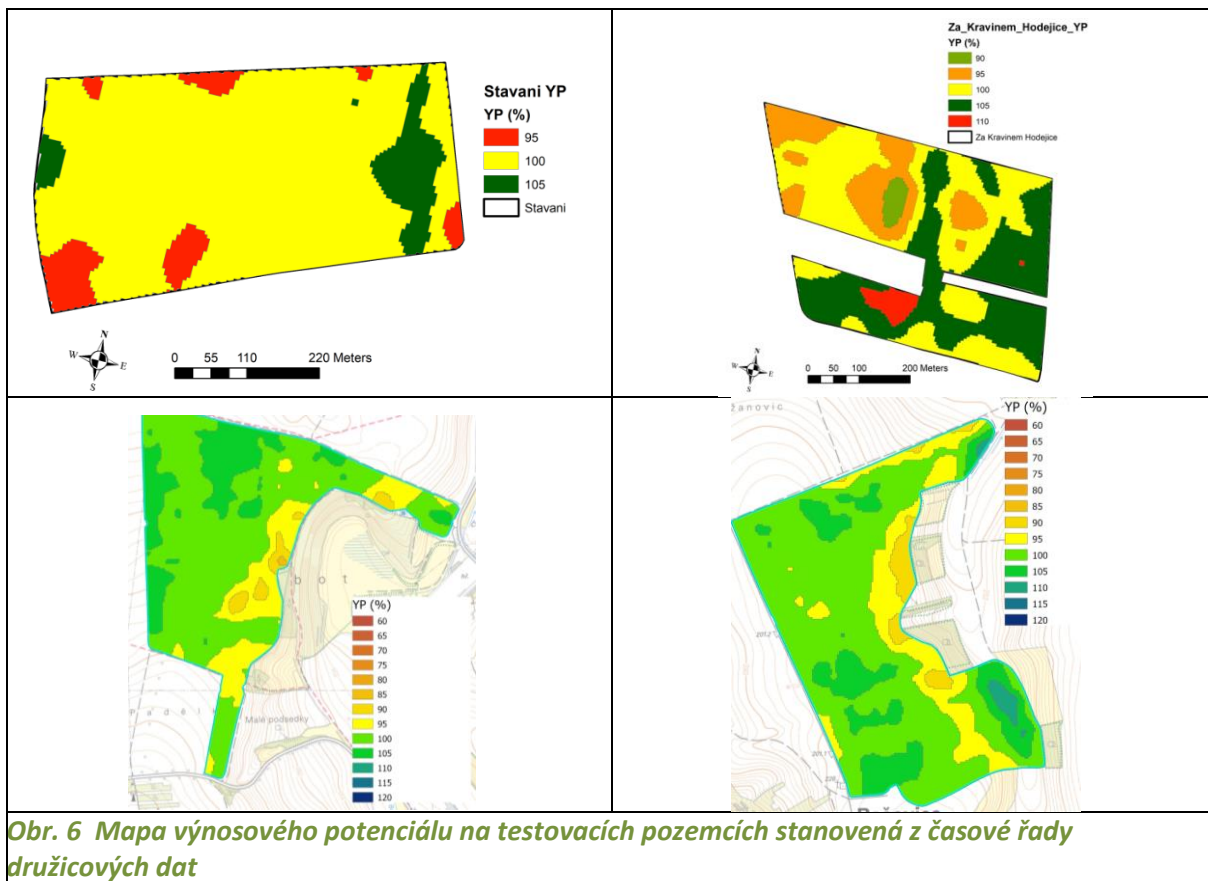
**Obr. 5** Schéma obecného postupu zpracování aplikačních map zásobního hnojení v GIS prostředí (vlevo) a mapa dávky P na očekávaný výnos upravená dle úrovně zásobenosti P v půdě (vpravo)

### 2.3. Stanovení produkčních zón z historických dat

Při stanovení potřeby hnojení dusíkem je třeba vycházet z množství potřebného pro tvorbu výnosu hlavního i vedlejšího produktu. Je tedy třeba definovat očekávaný výnos. Očekávaným výnosem je při tradičním výpočtu myšlena průměrná hodnota výnosu plodiny na daném pozemku. U více heterogenních pozemků však může použití jednotného průměrného výnosu za celý pozemek „zamaskovat“ lokální oblasti s vyšší nebo naopak nižší produktivitou.

Byla použita metoda vygenerování map produkčních zón z volně dostupných multispektrálních družicových dat. Pro výpočet rozložení produkčních zón, či map relativního výnosového potenciálu jsme vycházeli z analýzy nevyrovnanosti porostů jednotlivých pozemků z vegetačních indexů za vybrané časové období 5 – 10 let. Získali jsme tak informace o prostorových a časových změnách veličin významných pro hodnocení stavu plodin, které jsou jinými postupy jen obtížně zachytitelné, a umožňují tak modelovat chování agroekosystému pro maximalizaci produkce se současnou minimalizací environmentálních rizik.

Získané výsledky byly využity jak pro návržení efektivního mapování heterogenity půdních podmínek (zejména fyzikálně-chemické vlastnosti půdy), které zahrnovaly postupy optimalizovaného odběru půdních vzorků v kombinaci se senzorovým měřením geofyzikálních vlastností půdy, tak pro stanovení dávky dusíkatých hnojiv.



**Obr. 6** Mapa výnosového potenciálu na testovacích pozemcích stanovená z časové řady družicových dat

Na testovacích pozemcích byly vymezeny produkční zóny. Pro stanovení produkčních zón byl zvolen pracovní postup, který je popsán v certifikované metodice z roku 2016 (Lukas, Neudert, 2016). Autoři popisují postup zpracování výnosových map, kdy kombinací historických map s relativním výnosem lze do určité míry eliminovat ročníkové rozdíly a získat přehled o rozložení výnosového potenciálu na daném území. Při absenci výnosových dat lze využít data dálkového průzkumu Země v podobě vegetačních indexů (NDVI, EVI - Enhanced Vegetation Index).

Principem zohlednění výnosové úrovně při výpočtu normativu je plošná diferenciací výnosového potenciálu daného území namísto použití jednotného průměrného plánovaného výnosu nutného pro výpočet normativu (odběru živin na plánovaný výnos).

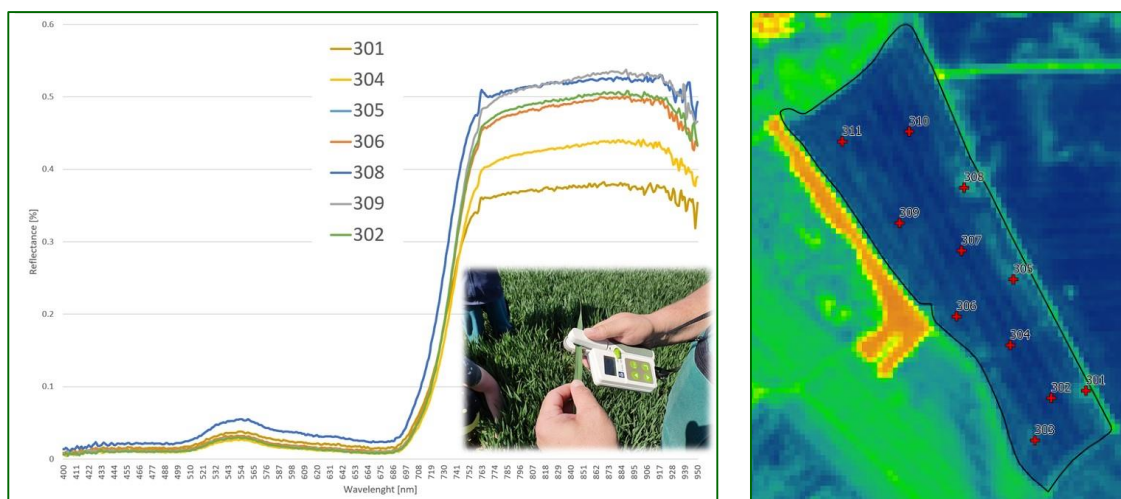
## 2.4. Stanovení dávky dusíku a návrh variant režimů aplikace dusíkatých hnojiv

Hlavním cílem bylo ověřit postup variabilní aplikace dusíkatých hnojiv pomocí plodinových senzorů OptRx. Variabilní aplikace byly prováděny pomocí rozmetadla na granulovaná hnojiva.

Po vzájemné dohodě s agronomickou službou byla první - regenerační dávka prováděna uniformní dávkou hnojiva. V této fázi se nejeví použití plodinových senzorů pro variabilní aplikaci jako vhodné, jelikož porost není ještě v zimním období plně zapojen. Stanovení výše

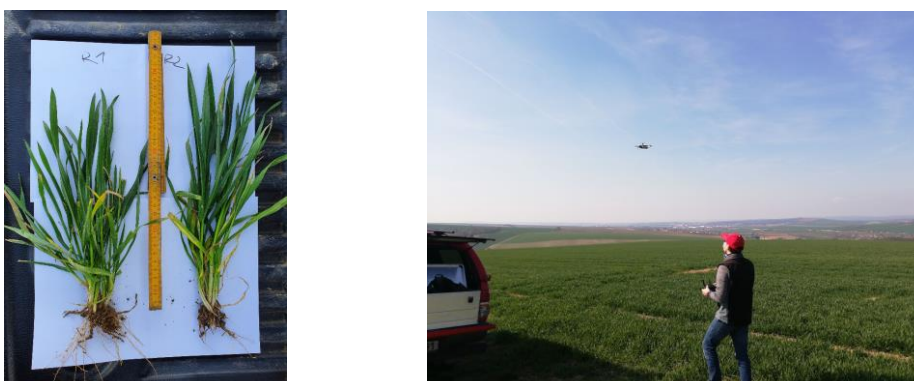
regenerační dávky bylo na základě vizuální kontroly porostu po přezimování a výsledků N<sub>min</sub> z orientačních odběrů vzorků půdy na pokusných lokalitách.

Hodnocení výživného stavu porostu v pozdější fázi vegetace bylo provedeno na základě odběrů vzorků rostlin a spektrálního měření pomocí různé sensorové techniky (ruční měření, DPZ). Před produkčním hnojením ve fázi pšenice 30-31 BBCH (sloupkování) byly odebrány vzorky dle odběrové bodové sítě. Odebrána byla biomasa z 0,25 m<sup>2</sup>, která byla následně vysušena a podrobena laboratorním analýzám na množství biomasy a obsahu dusíku.



**Obr. 7 Ukázka grafu spektrální odrazivosti porostu pšenice ozimé z měření ručním spektrometrem ASD HandHeld2 (28.4.2020, lokalita Rašovice „U plynu“) (vlevo), body pozemního měření s podkladovou mapou Sentinel-2 NDVI (27.4.2020, lokalita Rašovice „U plynu“) (vpravo)**

Na odběrových bodech byl porost měřen i sensorovými technikami – ručním spektrometrem, Greenseekerem a N-testerem. Při odběru byly pozemky nasnímkovány i bezpilotním prostředkem – dronem.



**Obr. 8 Stav rostlin před produkčním hnojením (vlevo) a mapování porostních podmínek pomocí dronu (vpravo)**

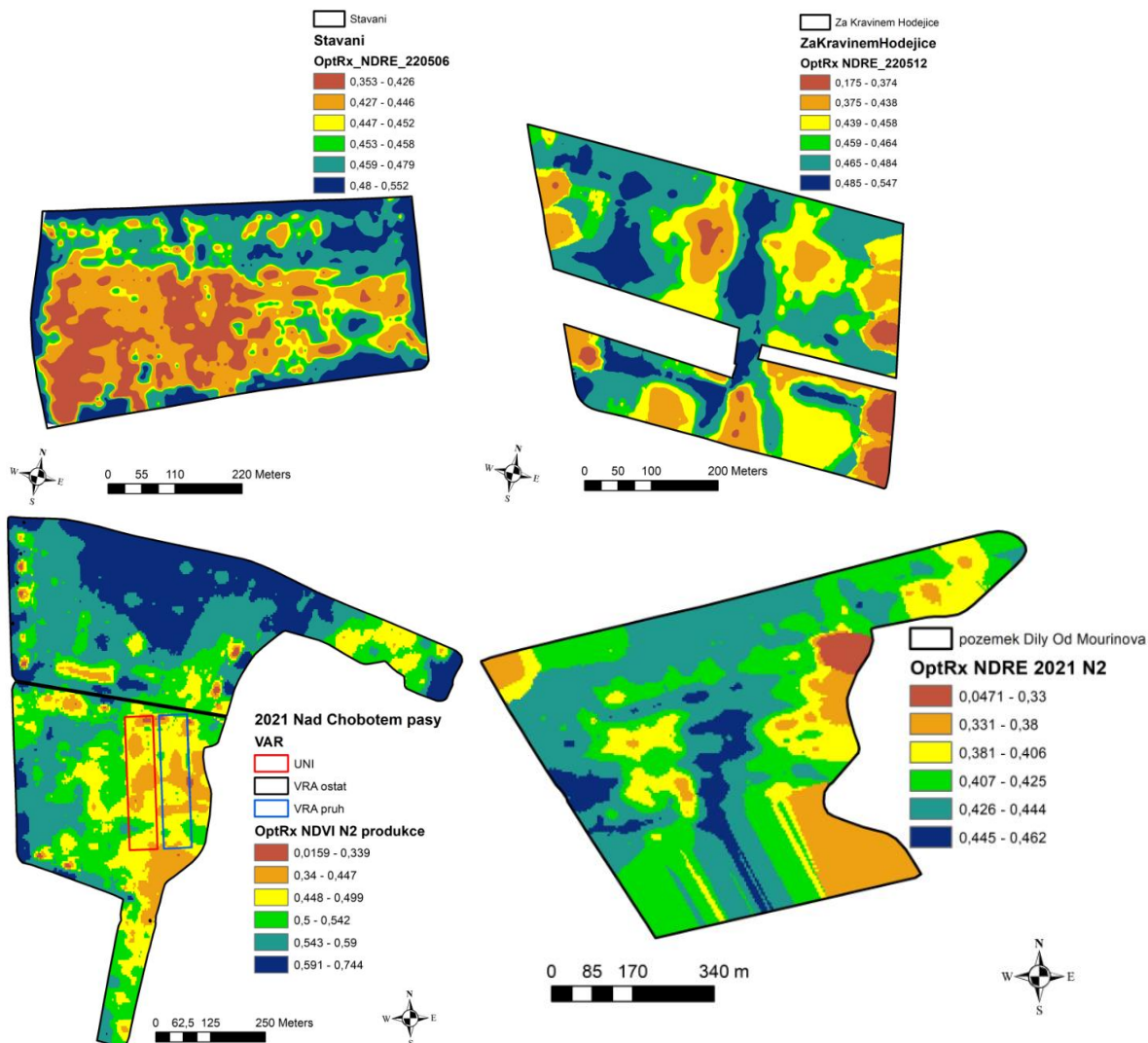
Rovněž před vlastní aplikací „kvalitativní“ dávky N bylo ve fázi pšenice BBCH 45-50, pro ověření dalších metod diagnostiky stavu porostů s využitím nejen spektrálních měření formou

pozemního měření pomocí zařízení AgLeader OptRx, ale i z družicových snímků Sentinel-2, provedeno na odběrových místech měření porostu dalšími sensorovými technikami – ručním spektrometrem, Greenseekerem a N-testerem. Zároveň bylo odebráno celkem 20 vzorků rostlin dle odběrové bodové sítě. Odebrána byla biomasa z 0,25 m<sup>2</sup>, která byla následně vysušena a podrobena laboratorním analýzám na množství biomasy a obsahu dusíku. Měření opět předcházelo snímkování pozemků bezpilotním prostředkem – dronem.



**Obr. 9** Odběr vzorků rostlin před kvalitativním hnojením

Výhodou sensorů OptRx je i možnost provádět skenování vývoje porostu během jeho vegetace. Plodinové senzory je možné osadit, jak na traktor pomocí sklopných ramen, tak i na postřikovač, kde je možné je namontovat přímo na jeho ramena. Při použití u postřikovače je ještě výhodou právě četnost jednotlivých průjezdů po pozemku, takže můžeme získat při všech operacích týkajících se ochrany rostlin zároveň přehled o postupném vývoji porostů. Je to alternativa získávání dat, kterou lze doplnit k satelitním snímkům. U sensorů je výhodou, že výsledek měření nijak neovlivňuje oblačnost a další rozmary počasí, data jsou navíc poměrně jednoduše dostupná přímo z terminálu ve stroji.



**Obr. 10** Ukázka map vegetačních indexů NDVI nebo NDRE vygenerovaných z naměřených dat senzorem OptRx umístěných na sklopných ramenech ramenech na traktoru

## 2.5. Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv

Vlastní ověřování technologie variabilní aplikace hnojiv probíhalo ve vegetačním období 2019/20, 2020/21, 2021/22. Na základě plánované výnosové úrovně a provedených korekcí provedených dle standardní metodiky hnojení (Klír et al., 2007) byla po dohodě s majitelem zemědělského podniku stanovena základní celková dávka N.

V následující tabulce je uvedeno datum aplikace, použité hnojivo a jeho dávka pro uniformní aplikaci.

Jak již bylo uvedeno, regenerační dávka byla vždy prováděna uniformní dávkou hnojiva. Stanovení výše regenerační dávky bylo na základě vizuální kontroly porostu po přezimování a výsledků N<sub>min</sub> z orientačních odběrů vzorků půdy na pokusných lokalitách.

**Tab. 2 Dávky dusíkatých hnojiv pro uniformní dávku**

Hnojení	regenerační			produkční			kvalitativní		
	Rok, pozemek	datum	hnojivo	dávka (kg/ha)	datum	hnojivo	dávka (kg/ha)	datum	hnojivo
<b>2020 Stávání</b>	20.02. 2020	MO gran.	150	19.03. 2020	DASA	200	28.04. 2020	LAD	200
<b>2020 U plynu</b>	25.02. 2020	MO gran.	150	19.03. 2020	DASA	200	28.04. 2020	LAD	200
<b>2021 Díly Od Mouřínova II</b>	02.03. 2021	MO gran.	150	01.04. 2021	DASA	200	12.05. 2021	LAD	200
<b>2021 Díly Od Mouřínova</b>	02.03. 2021	MO gran.	150	01.04. 2021	DASA	200	27.05. 2021	LAD	200
<b>2021 Nad Chobotem</b>	03.03. 2021	MO gran.	150	01.04. 2021	DASA	200	12.05. 2021	LAD	200
<b>2022 Stávání</b>	11.02. 2022	MO gran.	200	29.03. 2022	DASA	200	04.05. 2022	LAD	105
<b>2022 Za Kravínem Hodějice</b>	15.02. 2022	MO gran.	200	30.03. 2022	DASA	200	12.05. 2022	LAD	105

Vysvětlivky: MO – močovina (46 % N), DASA – dusíkaté hnojivo s obsahem síry (26 % N, 12 % S), LAD – ledek amonný s dolomitem (27 % N)

K aplikaci minerálních dusíkatých hnojiv byla použita souprava traktoru a odstředivého rozmetadla.

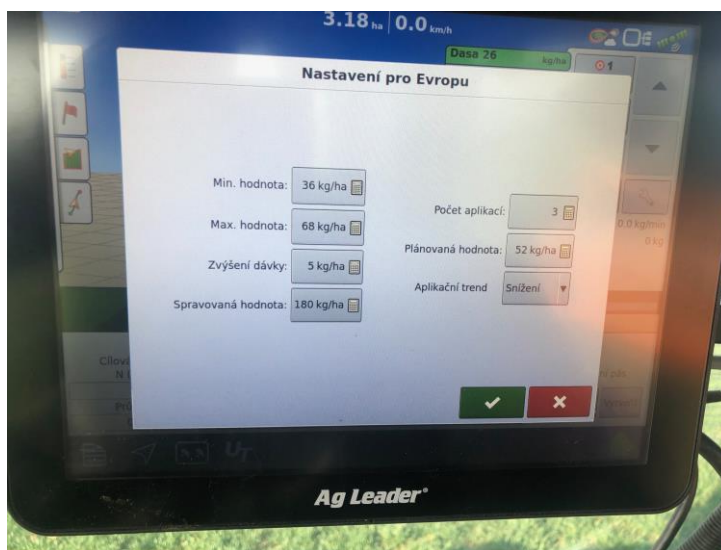
**Obr. 11 Aplikace hnojiva na pozemku**

Pro úspěšné fungování celé soupravy, je důležité znát obsah dusíku v aplikované dávce, protože senzory OptRx na základě naměřených indexů definují právě dávku čistého dusíku. Pro lepší představu jsou níže uvedeny parametry, které se před zahájením aplikace zadávají do palubního terminálu od firmy AgLeader.

Parametry pro aplikaci senzory OptRx (hodnoty se uvádí v kg čistého dusíku):

1. Minimální hodnota – je to minimální hodnota dusíku, která bude aplikována
2. Maximální hodnota – je to maximální hodnota dusíku, která bude aplikována

3. Zvýšení hodnoty – udává přírůstek dávky dusíku v závislosti na změně indexu NDVI, měla by být vhodně nastavena pro možnosti techniky (například u rozmetadla by mělo být zvýšení hodnoty minimálně 5 kg, aby to rozmetadlo dokázalo zpracovat)
  4. Spravovaná hodnoty – celkové množství dusíku v kg, které plánujeme během vegetace aplikovat (i aplikace, které nebyly prováděny senzory OptRx)
  5. Počet aplikací – celkový počet hnojení dusíkem během vegetace (i aplikace, které nebyly prováděny senzory OptRx)
  6. Plánovaná hodnota – dávka čistého dusíku v kg, která by byla během této aplikace aplikována plošným hnojením
  7. Aplikační trend – zde vybíráme, jestli chceme podpořit slabá místa vyšší dávkou nebo naopak podpořit silnější místa vyšší dávkou
    - a) **Snížení** – zdravý porost dostane nižší dávku dusíku a slabší porost dostane vyšší dávku dusíku – tzv. **Kompenzační strategie**
    - b) **Zvýšení** – zdravý porost dostane vyšší dávku dusíku a slabší porost dostane nižší dávku dusíku – tzv. **Posilovací strategie**
- V ranějších fázích růstu je doporučeno používat spíše trend Snížení a při pozdějších kvalitativních hnojeních naopak zvolit variantu Zvýšení.



*Obr. 12: Nastavení aplikační dávky při hnojení na terminálu Ag Leader v kabině traktoru*

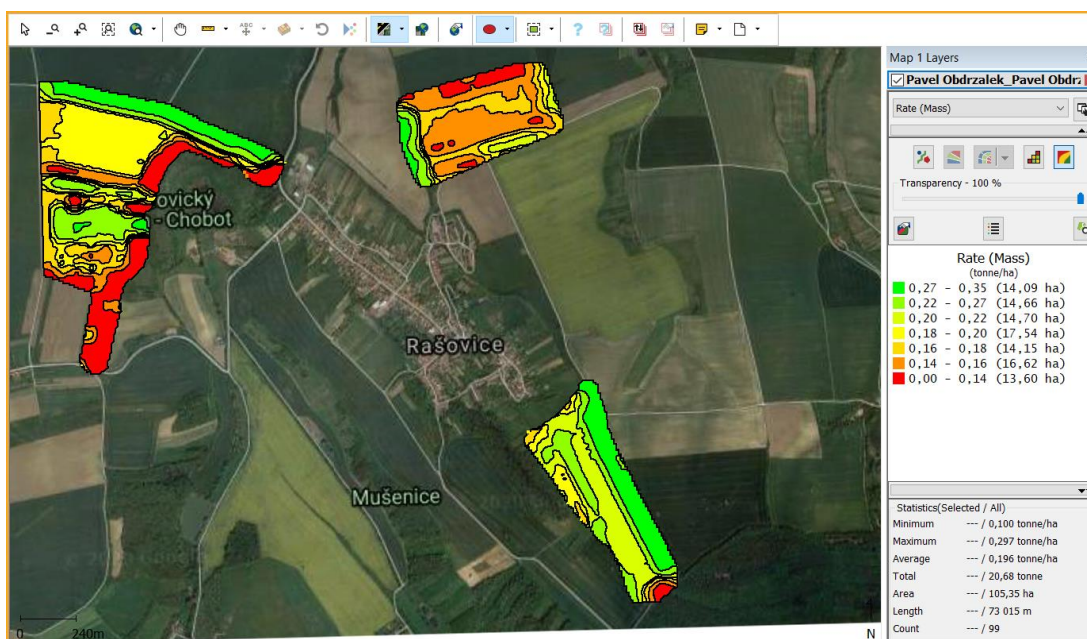
Na základě plánovaného celkového množství dusíku během vegetace a také první regenerační aplikace, příp. dalších dávek, byla vždy pro aplikaci stanovena minimální a maximální dávka dusíku pro aplikaci. Tím se zabráňuje tomu, aby na některých místech na pozemku nedošlo k poškození rostlin nadměrnou aplikací, případně aby byla zachována alespoň minimální dávka např. při produkčním hnojení byla nastavena průměrná dávka hnojiva DASA 200 kg/ha tj. 52 kg N/ha, minimální dávka byla nastavena na 38 kg N/ha, maximální dávka 68 kg N/ha.

Pro produkční hnojení (fáze sloupkování rostlin) bylo hnojivo většinou aplikováno podle tzv. „kompenzační“ strategie, tzn. že místa na pozemku s nižším indexem NDVI jsou hnojena vyšší

dávkou dusíku a místa s vyšším indexem NDVI dostávají dávku nižší. Cílem je dosáhnout vyrovnanějšího porostu na celém pozemku.

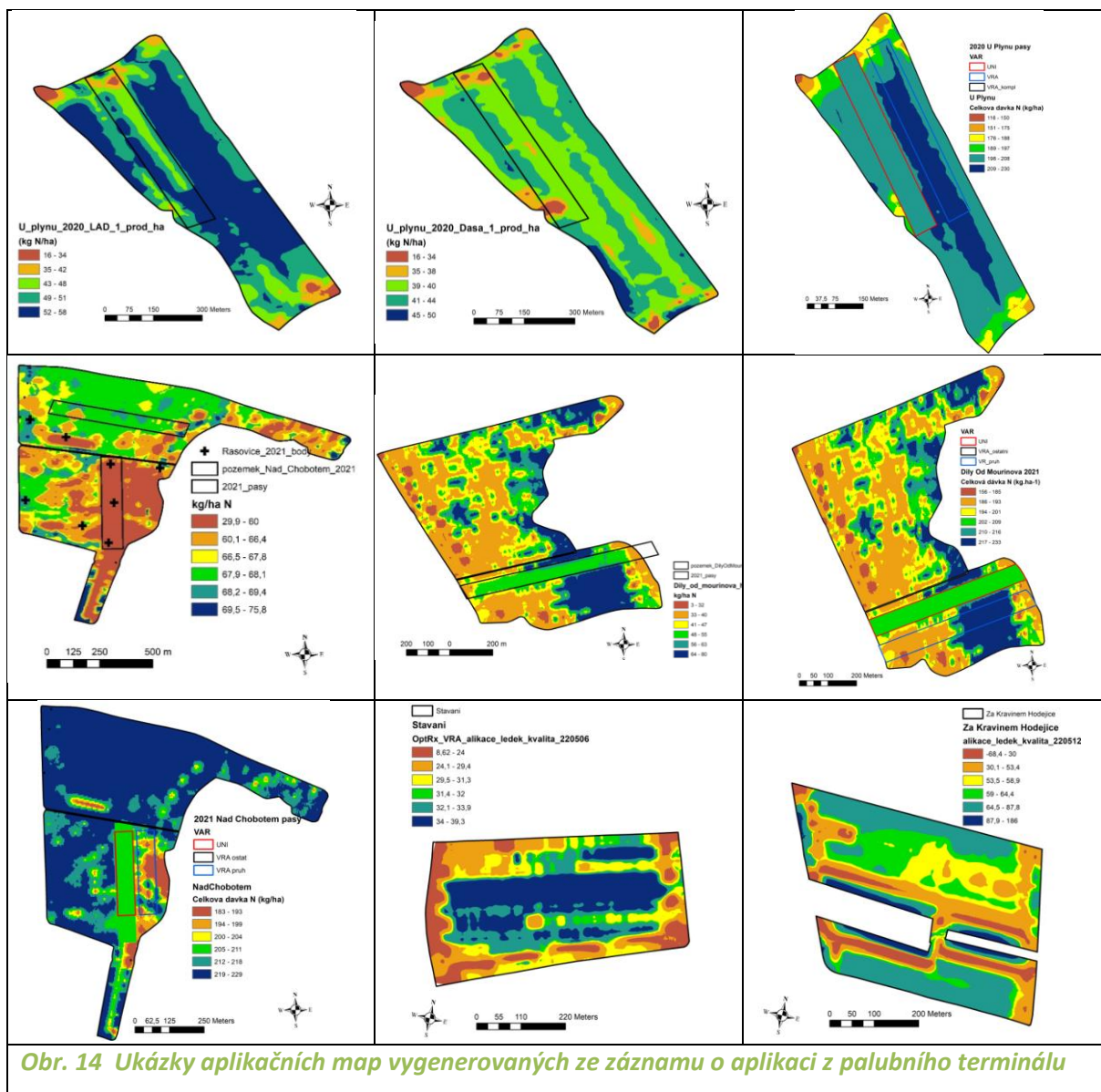
Pro kvalitativní hnojení (zač. metání) bylo hnojivo aplikováno většinou podle tzv. „posilovací“ strategie, kdy místa s vyšší hodnotou vegetačního indexu jsou hnojena vyšší dávkou hnojiva a místa s nižší hodnotou vegetačního indexu nižší dávkou hnojiva. Cílem této strategie je podpořit místa s vyšším výnosovým potenciálem.

Během aplikace jsou průběžně zaznamenávána data o dávce aplikovaného hnojiva. Tato data z aplikace lze pak dále použít jako podklad pro další vyhodnocení, příp. pro potřeby například kontrol nebo následné analýzy a plánování. Pro zpracování a vyhodnocení záznamu o aplikaci byl při ověřování technologie použit speciální program SMS software od AgLeader.



**Obr. 13** Výstup dat o hnojení z palubního terminálu zpracované v programu SMS software

Při aplikaci hnojiv byla pro účely ověření technologie variabilní aplikace hnojiv vyčleněna a ponechána část na testovaném pozemku pro uniformní (kontrolní) aplikaci hnojiva a část s variabilní dávkou hnojiv. Příklady aplikačních map s vyznačenými aplikačními pásy jsou zobrazeny na následujících obrázcích spolu s názornými grafy o množství aplikovaného hnojiva, které byly rovněž zpracovány z dat z palubního terminálu.



**Obr. 14** Ukázky aplikačních map vygenerovaných ze záznamu o aplikaci z palubního terminálu

## 2.6. Vyhodnocení výnosových dat

Před vlastní sklizní byly odebírány sklizňové vzorky pro stanovení výnosových a kvalitativních parametrů. V tabulce jsou zpracovány údaje po vyhodnocení výsledků z odebraných vzorků před sklizní.

Průběh počasí před sklizní a v době sklizně se může negativně projevit na kvalitě zrna. Během ověřování technologie došlo na některých místech k polehnutí porostu. Např. při analýze leteckých snímků z roku 2020, kde jsou patrná místa s výskytem polehnutí a map produkčních zón, jsme zjistili nápadnou shodu. Na toto je třeba reagovat nejen hnojením, ale i agrotechnickými zásahy, jako je hustota setí nebo aplikace morforegulátorů růstu.



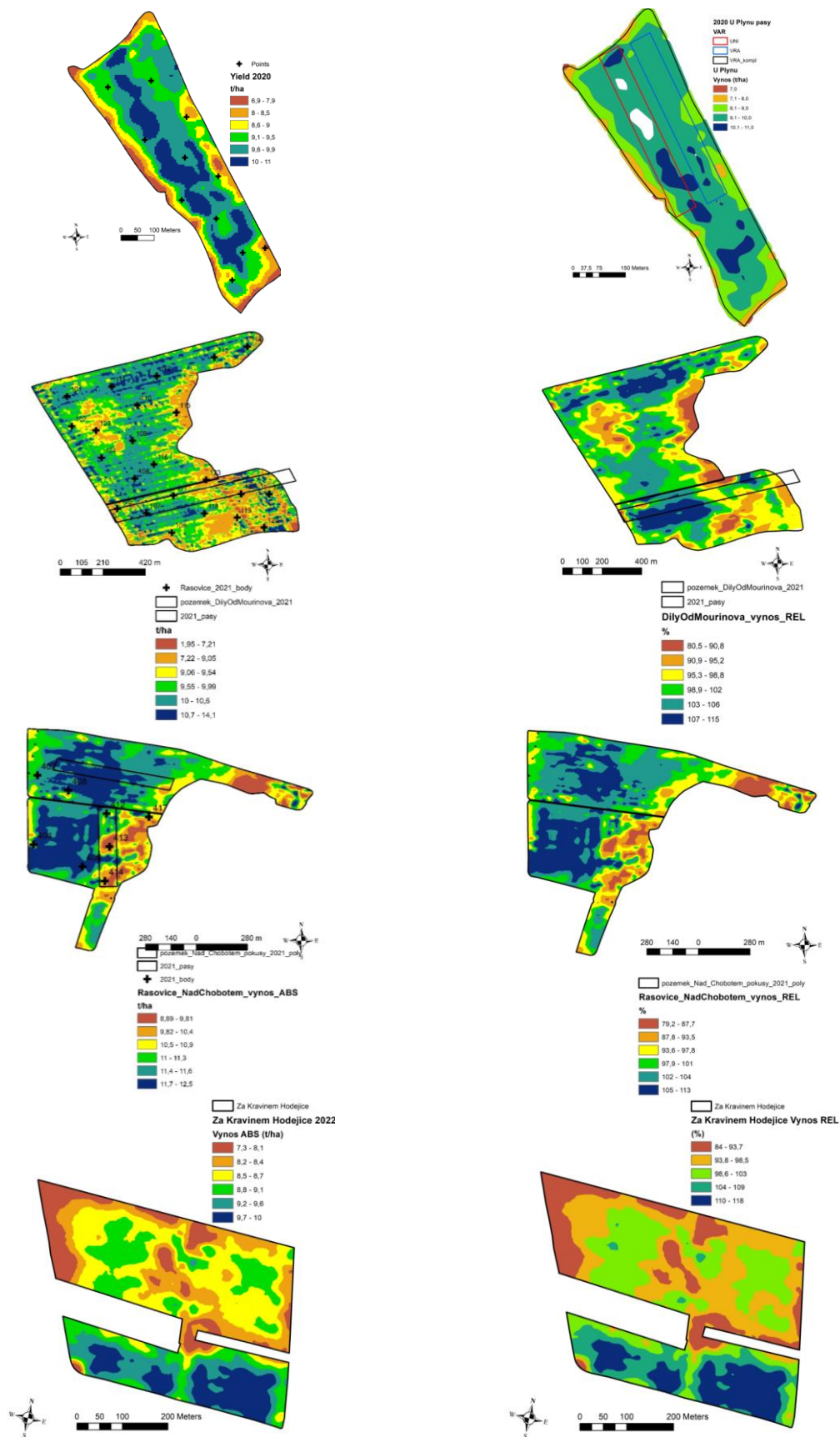
**Obr. 15** Odběr sklizňových vzorků pro stanovení výnosotvorných prvků

**Tab. 3** Výsledky popisné statistiky sklizňových odběrů; pozemek Díly od Mouřínova (2021)

	počet vzorků	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Var. koef.
HTS (g)	23	45,2	45,3	40,9	49,3	5,4	2,3	5,1
Objem. hmotnost (g/l)	23	803,6	804,2	771,3	821,5	128,4	11,3	1,4
Vynos (t/ha)	23	11,5	11,9	7,4	13,8	2,3	1,5	13,2
Počet klasů na 1 m <sup>2</sup>	23	812,2	820,0	710,0	950,0	328,8	57,3	7,1
N látky (%)	23	13,3	13,3	11,8	14,4	0,6	0,8	5,7

Vlastní sklizeň byla provedena sklízecí mlátičkou vybavenou výnosoměrným čidlem se záznamovým zařízením s GPS. Při zahájení sklizně na pozemku byly provedeny kalibrace dle výnosu a vlhkosti zrna stanoveného na váze v podniku při odvozu zrna. Po kalibraci výnosoměrného čidla probíhala sklizeň celého pozemku, po dobu práce sklízecí mlátičky byla zaznamenána výnosová data.

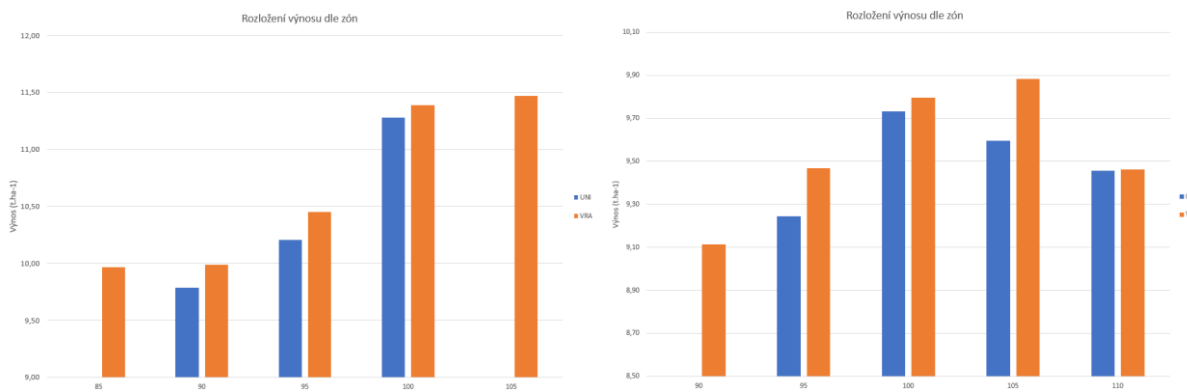
Výnosová mapa představuje jeden ze základních výstupů a informací o variabilitě pozemku. Na druhou stranu představuje základní informaci pro plánování dalších výstupů. Díky těmto datům lze získat podrobnější popis pozemku z dalších dostupných zdrojů. Zpracování a vyhodnocení výnosových dat byla věnována poměrně velká pozornost. Následující obrázky ukazují vytvořené mapy z dat výnosových monitorů získaných při sklizni pšenice.



Obr. 16 Ukázka vygenerovaných výnosových map s hodnotami absolutního výnosu (vlevo) a relativního výnosu (vpravo)

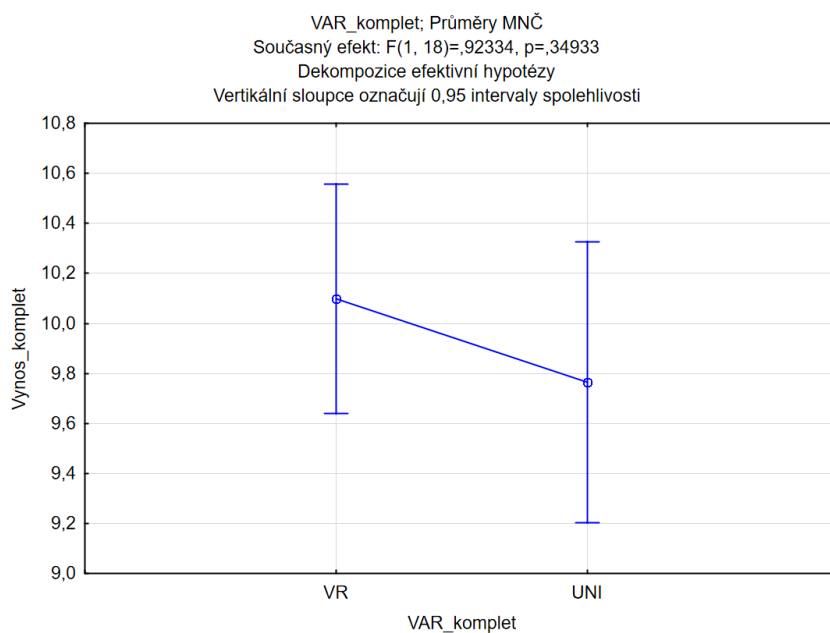
Mapy výnosu naměřeného při sklizni ukazují na nízké hodnoty dosahovaného výnosu na souvracích pozemku, které poukazují na možný vliv utužení půdy při častějším otáčení souprav.

Z údajů o výnosu na jednotlivých částech pozemku a na pásu, kde byla aplikována uniformní dávka, byl pro srovnání vytvořen graf, který ukazuje pozitivní vliv variabilní aplikace na výnos pšenice ozimé.



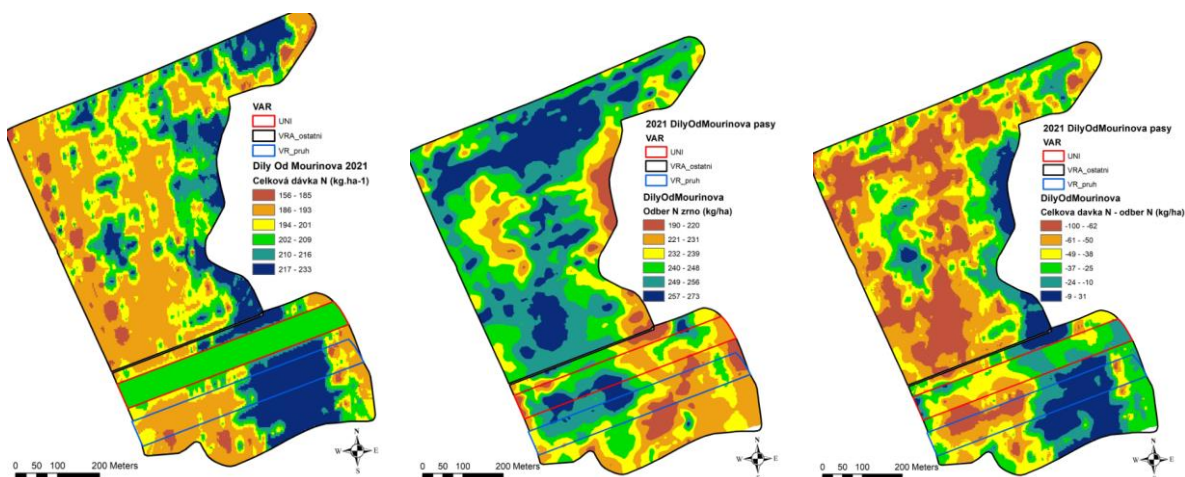
**Obr. 17** Graf porovnání dosažených výnosů zrna u variabilní (VRA) a uniformní (UNI) aplikace dusíkatých hnojiv v roce 2021 - Osa X znázorňuje rozložení hodnot výnosového potenciálu u obou variant

Potvrdila se tak základní hypotéza ověřované technologie, že variabilní aplikace dusíku na základě on-line měření optickým senzorem umístěných na aplikační technice umožňuje pružněji reagovat na potřebu výživy u rostlin a postihnout prostorové rozdíly v rámci jednotlivých pozemků. Rovněž se potvrzuje, že úroveň variability je závislá na výměře pozemku a vždy s výměrou stoupá. Následující graf dokazuje pozitivní efekt variabilní aplikace na celkový dosažený výnos.



**Obr. 18** Grafické znázornění porovnání vlivu varianty uniformní (UNI) a variabilní (VR) aplikace hnojiv na dosažený výnos zrna statistickým hodnocením ANOVA v roce 2021

Ze získaných údajů o aplikovaném množství hnojiva a výnosu zrna byla stanovena efektivnost využití N na tvorbu produkce. Z map je patrné, že na pozemku bylo produkcí odebráno více dusíku, než bylo aplikováno. Potvrdila se tak další hypotéza spojená s přínosem této technologie, která je spojena s všeobecným zájmem v oblasti ochrany životního prostředí. Tím, že nedochází k „přehnojení“ dusíkem na jednotlivých částech pozemku, se snižuje riziko vyplavování nevyužitého dusíku do spodních vrstev půdy a tedy i riziko kontaminace podzemní vody nitráty. Předkládaná technologie tak má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí.



*Obr. 19 Ukázka mapy odběru N na produkci a rozdíl mezi aplikovaným a odebraným dusíkem na testovacím pozemku Dily Od Mořínova*

### III. EKONOMICKÁ ANALÝZA

Přesné vyčíslení ekonomického přínosu postupů, uvedených v technologii je obtížné, neboť se jedná o kombinaci položek environmentálních, zemědělských i celospolečenských. Ekonomické přínosy vycházejí z dosažených srovnatelných či vyšších výnosů. Lze očekávat i ekonomický přínos snížením nákladů na hnojiva. Vzhledem k tomu, že ceny hnojiv neustále stoupají, může být ekonomický přínos poměrně velký. Bude však záležet na rozsahu (výměře) pozemků, na jejich variabilitě a na členitosti reliéfu terénu.

Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Předkládaná technologie má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí. Předpokládané ekonomické přínosy vycházejí.

V rámci řešení diplomové práce (Kročil, 2022) byla provedena analýza návratnosti investice do systému snímání porostu tj. 2 plodinové senzory OptRx s nosným rámem do tříbodového závěsu traktoru, která činí cca. 400 000,- Kč. Pro analýzu byl použit údaj o úspoře dusíkatého hnojiva 23,14 kg.ha<sup>-1</sup>. Tento výpočet vychází z výsledku produkčního hnojení na pozemku Díly od Mouřínova za rok 2021. Obchod s hnojivy neustále zaznamenává změny cen hnojiv. Pro výpočet návratnosti investice byly použity ceny z prosince roku 2019 a dubna roku 2022, kdy se cena LAD (27 % N) pohybovala okolo 4 860 Kč.t<sup>-1</sup>, resp. narostla až na hodnotu 18 950 Kč.t<sup>-1</sup>. Předpokladem pro výpočet bylo, že by na farmě pěstovali ozimou pšenici na cca. 300 ha. To lze označit jako jeden cyklus hnojení.

Po výpočtu jsme zjistili, že při ceně hnojiv v roce 2019 pro návrat vynaložené investice by bylo potřeba provést necelých 12 cyklů hnojení (11,86krát) a za ceny v dubnu 2022 by bylo potřeba provést necelé 4 cykly hnojení (3,04krát) pro navrácení vynaložené investice.

## IV. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Technologie byla ověřena a byl potvrzen princip korekce aplikované dávky dusíkatých hnojiv na základě senzorového měření vegetačních indexů a zvolené strategie hnojení – na místo s vyšším vegetačním indexem je aplikována nižší dávka dusíku a slabší porost dostane vyšší dávku dusíku nebo naopak v místě s vyšším vegetačním indexem aplikujeme vyšší dávku dusíku pro posílení vyšší produkce a její kvality a na „slabší“ porost je aplikována nižší dávka dusíku. Paušální dávka kontrolní varianty tak představovala situaci, kdy místa s předpokládaným nižším výnosem jsou přehnojována a naopak místa s očekávaným vysokým výnosem nedohnojena. To se ukázalo zejména při porovnání variant se stejným způsobem kalibrace stanovení dávky. Rozložení dosaženého výnosu zrna v rámci pozemku odpovídalo rozložení zón dle mapy výnosového potenciálu, avšak rozdíl dosaženého výnosu mezi nejnižšími a nejvyššími zónami příp. efekt úspory hnojiva nebyl tak výrazný, jak hodnoty výnosového potenciálu přepokládaly. Přínosy postupů uvedených v technologii je obtížné kvantifikovat, neboť se jedná o kombinaci položek environmentálních, zemědělských i celospolečenských. Ekonomické přínosy vycházejí z dosažených srovnatelných či vyšších výnosů. Bude záležet na rozsahu (výměře) pozemků a na jejich variabilitě. Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Předkládaná technologie má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí.

## V. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Klír J., Kunzová E., Čermák P.: Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, 2007. 28 s. ISBN 978-80-87011-14-0.
- KROČIL, Marek. Využití technologií smart farming pro zefektivnění hospodaření malých a středních zemědělských podniků. Diplomová práce. 2022. 74 s.
- Lukas, V., Neudert, L. 2016.: Senzorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů. Uplatněná certifikovaná metodika. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016. 52 s. ISBN 978-80-7509-460-5.
- Zbírál, J., Čížmárová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A. (2016): Jednotné pracovní postupy. Analýza půd I., 4. vydání – Brno 2016

## VI. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY VZNIKU OVĚŘENÉ TECHNOLOGIE

- LUKAS, Vojtěch., NEUDERT, Lubomír., KŘEN, Jan., ŠIRŮČEK, Petr., ELBL, Jakub. Družicové pohledy na naše polia (II). Naše pole: odborný mesačník pre pestovateľov rastlín. 2020, 24(10), 24-25. ISSN 1335-2466.
- LUKAS, Vojtěch; ELBL, Jakub; ŠIRŮČEK, Petr; NEUDERT, Lubomír; MEZERA, Jiří; DUFFKOVÁ, Renata; Význam zpracování aplikačních map pro lokálně cílenou agrotechniku zemědělských plodin. Agromanuál. 2020, 15(9-10), 78-81. ISSN 1801-7673. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/casopis-agromanual/agromanual-2020-9>.
- MEZERA, Jiří; LUKAS, Vojtěch; ELBL, Jakub; SMUTNÝ, Vladimír: Diagnostika výživného stavu pšenice ozimé pomocí družicových dat sentinel-2 a senzorového systému OptRx. In: Úroda 12, roč. LXIX: Vědecká příloha. Praha: Profi Press s.r.o., 2021, s. 497-504.
- Sklopný nosič optických čidel a systém pro ošetřování zemědělských plodin a půdy. Autoři: ŠEDEK, A.; VODA, V.; NEUDERT, L.; LUKAS V.; SMUTNÝ, V. KROULÍK, M. Česká republika, Úřad průmyslového vlastnictví. Užitený vzor č. 35045. Datum zapsání 6. 5. 2021. Spisová značka přihlášky: PUV 2020-38350.

## VII. PROTOKOL O OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

- oskenovaný original dokumentu

### Protokol o ověření technologie

**Název Ověřené technologie:**

Variabilní aplikace hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky

**Autoři Ověřené technologie:**

Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.  
Ing. et Ing. Jiří Mezera  
doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.  
Ing. Vlastimil Voda

**Předmět ověřování:**

Praktické využívání nových postupů aplikace diferencovaných dávek dusíkatého hnojení jako součást pro uplatnění principů lokálně cíleného obhospodařování, tzv. smart farming na malých a středních zemědělských podnicích. Jde o postupy použití systému, který je vybaven senzory pro diagnostiku stavu porostu na základě jeho spektrálních vlastností v kombinaci s produkčním potenciálem stanoviště.

**Ověřující pracoviště:**

Ústav agrosystémů a bioklimatologie AF, Mendelova univerzita v Brně – *spoluřešitel projektu*  
Pavel Obdržálek - Rašovice 26, 685 01 Rašovice, IČ: 71004335 – *zemědělský podnik, uživatel technologie*

**Termín ověření:**

Leden 2019 (*výběr ověřovací lokality*) – Listopad 2022 (*vyhodnocení výsledků a zpracování technické dokumentace*)

**Technická dokumentace:**


Viz. Příloha - Technická dokumentace výsledku - (*popis technologie včetně protokolu o způsobu a vlastním testování ověřené technologie*)


**Závěrečné konstatování:**

Technologie byla ověřena a byl potvrzen princip korekce aplikované dávky dusíkatých hnojiv na základě senzorového měření vegetačních indexů a zvolené strategie hnojení – na místo s vyšším vegetačním indexem je aplikována nižší dávka dusíku a slabší porost dostane vyšší dávku dusíku nebo naopak v místě s vyšším vegetačním indexem aplikujeme vyšší dávku dusíku pro posílení vyšší produkce a její kvality a na „slabší“ porost je aplikována nižší dávka dusíku. Paušální dávka kontrolní varianty tak představovala situaci, kdy místa s předpokládaným nižším

výnosem jsou přehnojována a naopak místa s očekávaným vysokým výnosem nedohnojena. To se ukázalo zejména při porovnání variant se stejným způsobem kalibrace stanovení dávky. Rozložení dosaženého výnosu zrna v rámci pozemku odpovídalo rozložení zón dle mapy výnosového potenciálu, avšak rozdíl dosaženého výnosu mezi nejnižšími a nejvyššími zónami příp. efekt úspory hnojiva nebyl tak výrazný, jak hodnoty výnosového potenciálu předpokládaly. Přínosy postupů uvedených v technologii je obtížné kvantifikovat, neboť se jedná o kombinaci položek environmentálních, zemědělských i celospolečenských. Ekonomické přínosy vycházejí z dosažených srovnatelných či vyšších výnosů. Bude záležet na rozsahu (výměře) pozemků a na jejich variabilitě. Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Předkládaná technologie má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí.

Technologie „Variabilní dávkování hnojiv“ byla navržena a ověřena v rámci řešení výzkumného projektu TAČR č. TH04010494, s názvem: „Výzkum a vývoj technologií smart farming pro malé a střední zemědělské podniky“.

<p><b>Za autorský tým MENDELU</b>          Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.          Ústav agrosystémů a bioklimatologi AF          Mendelova univerzita v Brně</p> <p>V Brně dne: 20. 12. 2022</p>	<p>(podpis) </p>
--	---

<p><b>Za uživatele technologie</b>          Ing. Pavel Obdržálek</p> <p>V Rašovicích dne: 20. 12. 2022</p>	<p>(podpis) </p>
--	---

Pavel Obdržálek  
zemědělská výroba  
Rašovice 26, 685 01 Bučovice  
IČO: 71004335, DIČ: CZ8207054669  
Tel.: 603 101 391





**Název: Variabilní dávkování hnojiv pro malé a střední zemědělské podniky**

Autoři: Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.  
Ing. et Ing. Jiří Mezera  
doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.  
Ing. Vlastimil Voda

Vydala: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 BRNO

Vydání: první, 2022

Počet stran: 29

Vydáno bez jazykové úpravy.

Publikace je poskytována bezplatně.

Kontakt na autory: neudert@mendelu.cz  
vojtech.lukas@mendelu.cz



