

Z_te_ch – Ověřená technologie



Variabilní dávkování hnojiv na základě senzorového monitoringu porostních podmínek

Neudert L. - Lukas V.

Výstup z projektu TA04021389

„Vývoj systému pro variabilní dávkování pesticidů a hnojiv na základě senzorového monitoringu porostních podmínek“

Technická dokumentace výsledku

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

Mendelova
univerzita
v Brně



AGRIO

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

**Variabilní dávkování hnojiv na základě
senzorového monitoringu porostních
podmínek**

Z_{tech} – Ověřená technologie

LUBOMÍR NEUDERT, VOJTĚCH LUKAS

2017

Variabilní dávkování hnojiv na základě sensorového monitoringu porostních podmínek

Předložená Ověřená technologie se zaměřuje na popis a vyhodnocení ověření technologie hodnocení stavu porostů polních plodin pomocí sensorových měření a jejich uplatnění při lokálně cílené aplikaci hnojiv. Popisuje průběh ověření různých režimů stanovení variabilní dávky N na základě diagnostiky výživného stavu porostů pozemním a dálkovým spektrálním měření, vč. zohlednění produkční úrovně dané lokality. Cílem je seznámit uživatele s moderním a dostupným postupem pro zefektivnění využívání agrochemických látek při pěstování plodin.

Variable rate application of fertilizers based on sensor monitoring of crop conditions

Presented Verified Technology focuses on the description and evaluation of the verification of the technology and methods of field crop evaluation using sensor measurements and their using in locally targeted application of fertilizers. It describes the course of verification of different modes of determination of variable rate N on the basis of diagnostics of nutritional status of stands by terrestrial and remote spectral measurements, including taking into account the production potential of the site. The aim is to get to know users with a modern and accessible approach to efficiency the use of agrochemicals in growing crops.

Ověřená technologie byla vytvořena za podpory:

- Technologické agentury ČR č. TA04021389 „Vývoj systému pro variabilní dávkování pesticidů a hnojiv na základě sensorového monitoringu porostních podmínek“

Autorský kolektiv:

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

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

Recenzenti:

Ing. Jan Hrubý, CSc. - Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r. o.

Ing. Josef Svoboda, Ph.D. - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Technická dokumentace výsledku

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

© Mendelova univerzita v Brně, 2017

OBSAH

I. Úvod.....	4
II. Literární přehled k dané problematice	5
1. Lokálně cílené zemědělství a hnojení dusíkem	5
2. Současné senzorové systémy	6
III. Ověřená technologie.....	8
1. Popis Ověřené technologie	8
2. Vlastní ověření a dosažené výsledky	10
2.1. Výběr vhodné testovací lokality	10
2.2. Sběr podpůrných dat – odběr vzorků půdy.....	11
2.3. Stanovení produkčních zón s historických dat	13
2.4. Design polního pokusu a návrh variant režimů aplikace dusíkatých hnojiv	14
2.5. Aplikace dusíkatých hnojiv	14
2.6. Dálkový průzkum sledované lokality a pozemní měření.....	16
2.7. Odběr vzorků a vyhodnocení výnosových dat	18
IV. Ekonomická analýza.....	24
V. Doporučení a závěr	25
VI. Seznam použité literatury	26
VII. Seznam publikací, které předcházely vzniku ověřené technologie.....	27
VIII. Protokol o ověření technologie	29
Poznámky:	31

I. ÚVOD

Ověřená technologie „Variabilní dávkování hnojiv na základě sensorového monitoringu porostních podmínek“ si klade za cíl praktické využití technologie a metody hodnocení stavu porostů polních plodin pomocí sensorových měření a jejich uplatnění při lokálně cílené aplikaci dusíkatých hnojiv, jako součást postupů tzv. precizního zemědělství.

Precizní zemědělství představuje 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. Menší pozemky a jejich vymezení přirozenými hranicemi umožňovaly měnit zásahy manuálně. Se zvětšováním pozemků, intenzivní produkcí a mechanizací v polovině minulého století již nebylo možné zohledňovat prostorovou nevyrovnanost honů bez vývoje technologií. Mezi ty základní navigační systémy (GNSS), geografické informační systémy (GIS), sensorová technika a aplikační ovládací prvky umožňující změnu intenzity agrotechnického zásahu.

Senzorová technika umožňuje efektivní stanovení variability pozemku, jejíž zjištění je impulzem pro uplatnění metod precizního zemědělství. Sensory nahrazují nebo vhodně doplňují tradiční metody zjišťování půdních vlastností a hodnocení porostů polních plodin a snižují tak jejich nákladnost, operativnost a náročnost.

Předložený technický popis technologie popisuje postup použití systému, který je vybaven senzory pro diagnostiku stavu porostu na základě jeho spektrálních vlastností (odrazivost ve viditelném a blízké-infračerveném spektru). Spektrální vlastnosti reflektují stav porostu, jak z hlediska strukturních parametrů (pokryvnost, hustota, LAI), tak s vazbou na výživný stav rostlin (obsah chlorofylu). Řídící jednotka vyhodnocuje naměřené údaje a průběžně stanovuje intenzitu hnojení, resp. dávku zvoleného hnojiva. Jedná se o tzv. online systémy. Online měření lze doplnit o mapový podklad (tzv. map-overlay), který koriguje intenzitu zásahu podle produkčního potenciálu daného místa. To znamená, že potřeba použití intenzity zásahu je korigována dle očekávaného výnosu na dané části pozemku. 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.

II. LITERÁRNÍ PŘEHLED K DANÉ PROBLEMATICE

1. Lokálně cílené zemědělství a hnojení dusíkem

Hlavním cílem lokálně cíleného zemědělství je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním (lokálním) podmínkám stanoviště. Přestože je precizní zemědělství postaveno na využívání nejmodernějších technologií, základní principy ve výživě rostlin zde zůstávají stále platné. Vychází se z bilančního přístupu, tzn. že živiny odebrané pěstovanými plodinami, resp. následně odvezené z pozemku ve formě sklizených produktů, je třeba do půdy navrátit ve formě hnojiv (statkových nebo minerálních).

Hnojením bychom měli pěstovaným plodinám zajistit adekvátní přísun živin pro vytvoření požadovaného výnosu a kvality produkce. Při stanovení dávky hnojení se berou v úvahu půdní a klimatické podmínky stanoviště, vliv předplodiny, organického hnojení, popř. zpracování půdy nebo závlah a v neposlední řadě také legislativní ekologická omezení.

Klasický bilanční princip tzv. nahrazovacího hnojení, tj. navrácení živin odvezených z pozemku ve sklizených produktech s přihlédnutím k zásobě přístupných živin v půdě (podle výsledků Agrochemického zkoušení zemědělských půd - AZZP), popř. k obsahu živin v použitých statkových hnojivech, se využívá pro stanovení potřeby hnojení plodin fosforem a draslíkem, popř. hořčíkem.

Při stanovení potřeby hnojení dusíkem je jeho množství potřebné pro tvorbu výnosu hlavního i vedlejšího produktu třeba korigovat o dusík přijímaný z půdy, dodaný organickými hnojivy a poskytnutý předplodinou z čeledi bobovité. Vzhledem k množství a rychlosti přeměn dusíku v půdě není jeho obsah v rámci AZP sledován. Pro zohlednění tohoto zdroje dusíku je třeba využít stanovištní půdní a klimatické podmínky, z nichž lze odvodit obsah organického dusíku v půdě, předpokládanou intenzitu mineralizace v průběhu vegetace a tak množství vytvořeného minerálního dusíku přístupného rostlinám. Další úpravu aplikovaného množství dusíku provedeme podle množství využitelného dusíku v organických hnojivech, podle dusíku poskytnutého posklizňovými zbytky leguminóz, popř. podle aktuálního obsahu minerálního dusíku v půdě, je-li analyticky stanoven. Efektivní využití dodaných dusíkatých hnojiv zajistíme jejich dělenou aplikací.

K správnému rozhodování o intenzitě hnojení pro dané místo na pozemku je třeba mít k dispozici dostatek dat popisujících stav půdního prostředí a výživný stav porostu, popř. tyto údaje v kombinaci s leteckými a satelitními snímky a např. s výnosovými mapami.

K monitoringu stavu půdního prostředí a výživného stavu rostlin slouží tzv. diagnostické metody výživy rostlin.

Neudert, Lukas et al. (2015) dělí diagnostické metody následovně:

- diagnostika obsahu minerálního dusíku v půdě,

- destruktivní metody diagnostiky výživného stavu rostlin,
- kontaktní metody diagnostiky výživného stavu rostlin,
- bezkontaktní metody diagnostiky stavu porostů.

K diagnostice je využíváno různých senzorů. Dle použití je možné přístroje dělit na on-the-go (někdy také nazývány jako online metody), které poskytují výsledky stanovování průběžně při jízdě po pozemku, a offline metody, do kterých je možné zařadit kontaktní bodové měření porostu a dálkový průzkum.

2. Současné senzorové systémy

Přehled současných senzorových systémů je součástí metodiky „Senzorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů“ (Lukas, Neudert, 2016), kterou schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský pod č. j. 136256/2016 a MZe doporučilo pro využití v praxi.

Dle způsobu vyhodnocení údajů zachycujících stav porostu a provádění aplikace hnojiva lze metody bezkontaktní diagnostiky porostů dělit na online a offline.

Online systémy, také nazývané on-the-go, představují postup, kdy měření spektrálních (či jiných) parametrů části porostu, zpracování dat, jejich interpretace a vlastní aplikace jsou prováděny v rámci jedné pracovní operace při přejezdu pozemku. Zdrojem informací jsou aktuální data ze senzorů. Typickým příkladem je zařízení (senzory), které je upevněno na traktoru (kabina, přední závěs) nebo přímo na aplikační technice (ramena postřikovače, speciální držák na rozmetadle hnojiv). Zařízení zjišťuje stav porostu dle jeho spektrální odrazivosti, řídicí počítač vyhodnocuje data a stanovuje dávku hnojiva, které je následně aplikováno (Obr. 1). Zjištění stavu porostu na určitém místě a reakce na něj jsou prováděny kontinuálně v jednom okamžiku.



Obr. 1 Jednotlivé kroky u online systému aplikace postřikovačem (upravil Neudert)

V případě offline systémů nejsou jednotlivé procesy prováděny v rámci jedné operace, jsou časově odděleny. Tyto systémy jsou založeny na celoplošném mapování porostů v rámci jednotlivých pozemků. Příkladem může být využití dálkového průzkumu pro variabilní aplikaci hnojiv. Na snímcích je přeletem letounu či družice zachycena prostorová variabilita porostu. Tato data jsou po přistání na počítači zpracována a vyhodnocena. Dávka živin je pak v podobě aplikačních map nahrána do palubního počítače traktoru s aplikátorem (postřikovač, rozmetadlo), který aplikuje hnojiva. Časové prodlevy mezi jednotlivými operacemi je možné zkrátit automatizací sběru a zpracování dat a moderními technologiemi jejich přenosu.

Oba tyto přístupy mají své výhody i nevýhody. Výhodou online systému je okamžitá odezva na právě měřený porost a provádění zásahů přímo pěstiteli vlastním přístrojem bez nutnosti využívat specializovaných služeb. Nevýhodou je potřeba pořízení několika těchto sensorových zařízení při současné aplikaci více aplikátory. Zcela opačně to platí v případě offline systémů, kde nevýhodou je časový odstup mezi měřením a aplikací a vliv povětrnostních podmínek (zejména výskyt oblačnosti v případě dálkového průzkumu). Naopak výhodou spočívá ve vyhotovení aplikační mapy pro celý pozemek (či více pozemků) v jeden okamžik, což následně umožňuje nasazení více aplikátorů.

Tab. 1 Přehled online sensorových systémů a jejich základní vlastnosti

	Yara N-Sensor ALS	Fritzmeier Isaria / Claas Crop Sensor	Topcon CropSpec	Trimble GreenSeeker	AgLeader OptRx
Princip měření	optický	optický	optický	optický	optický
Měřená veličina	odběr N, biomasa	odběr N (IRMI), biomasa (IBI)	odběr N, biomasa	NDVI	NDVI, NDRE
Počet snímaných spektrálních pásem	4 (730, 760, 900, 970 nm)	4	2	2	3
Orientace čidla k porostu	šikmo	kolmo	šikmo	kolmo	kolmo
Montáž	na kabině	přední závěs, ramena postřikovače	na kabině	přední závěs, ramena postřikovače	přední závěs, ramena postřikovače
Zdroj světla	xenonové výbojky	LED	laser	LED	LED
Počet sensorových	2	2	2	volitelně	volitelně
Využitelnost	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně
Plodiny	obilniny, řepka, kukuřice, brambory, řepa, traviny	obilniny, řepka, traviny	obilniny, řepka, kukuřice, brambory, řepa, traviny	obilniny, řepka, kukuřice, brambory, řepa, traviny,	obilniny, řepka, kukuřice
Podkladové mapy (map overlay)	ano	ano (shp pro jednotlivé pozemky)	-	ano (shp za všechny pozemky)	-
Stanovení dávky*	volitelná / absolutní	volitelná / absolutní	volitelná	volitelná	volitelná
V praxi	od 1999/2005	od 2009	od 2011	od 2009	
Poznámky	ISOBUS ready (Agricon PF-BOX)	ISOBUS ready		ISOBUS ready (AO ISOBOX)	

*volitelné stanovení dávky – uživatel volí rozpětí dávky živiny (min - max); absolutní – rozpětí dávek je stanoveno přístrojem

III. OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE

1. Popis Ověřené technologie

Úkolem Ověřené technologie je v praxi ověřit a zhodnotit postup použití „Systému variabilního dávkování pesticidů a hnojiv“, který byl v roce 2017 registrován na Úřadu průmyslového vlastnictví jako Užitený vzor č. 30386 (Lukas, V. et al., 2017). Systém slouží k praktickému stanovení diferencovaných dávek dusíkatého hnojení na základě detailnějších znalostí heterogenity půdních vlastností a stavu porostů.

Vlastní pracovní postupy vycházejí a jsou popsány v metodice „Senzorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů“ (Lukas, Neudert, 2016), kterou schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský pod č. j. 136256/2016 a MZe doporučilo pro využití v praxi.

Základní hypotéza vychází z předpokladu, že diagnostika 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. To znamená, že potřeba použití intenzity zásahu je 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.

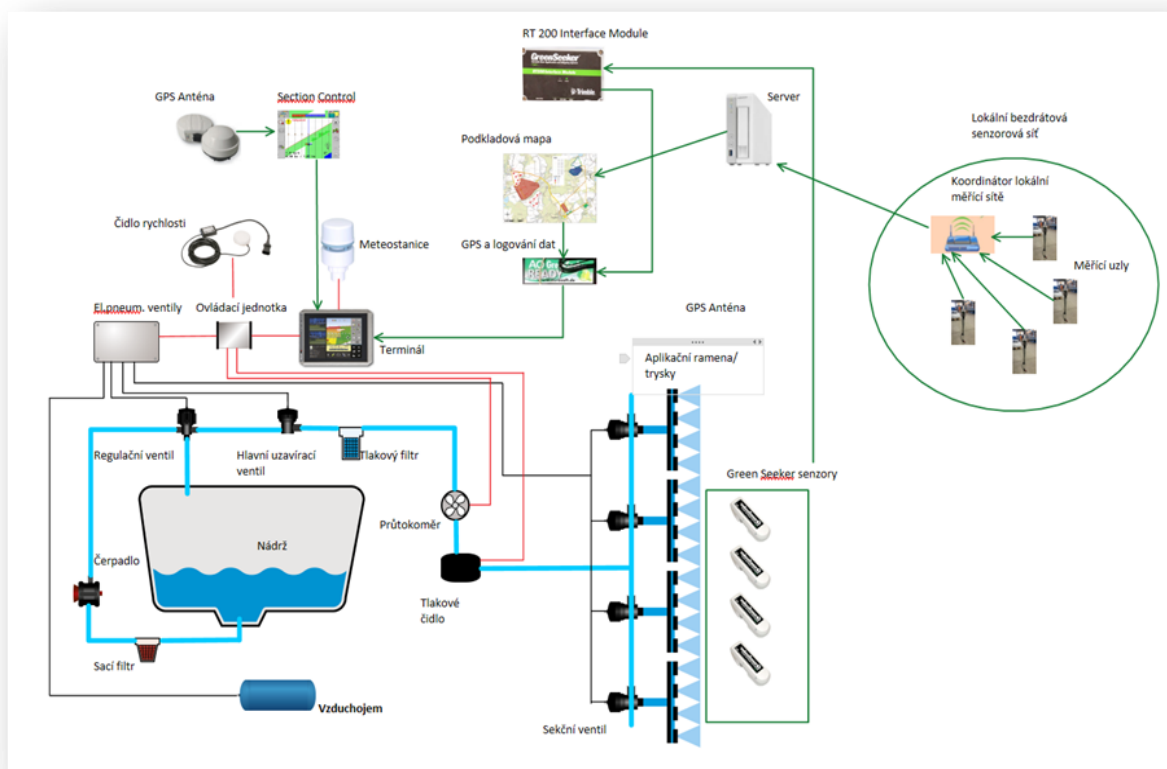
Popis systému

Základem systému je plodinový senzor Trimble Greenseeker s aktivním zdrojem elektromagnetického záření, který vyhodnocuje stav porostu dle spektrálního měření (NDVI), a postřikovač AGRIO, který na základě těchto měření mění postřikovou dávku. Ovládání systému je zobrazeno na palubním počítači přes rozhraní ISOBUS. Obsluha postřikovače volí minimální, průměrnou a maximální dávku, plošné rozmístění závisí na výsledku spektrálních měření v jednotlivých částech pozemku. Čidlo pro měření porostu hodnotí stav porostu na základě měření odrazivosti elektromagnetické záření v červené a blízké infračervené části spektra. Z údajů odrazivosti je vypočítán vegetační index NDVI, který slouží pro odvození stavu porostu a určení postřikové dávky. Senzory jsou výhodně umístěny na ramenech postřikovače a směřují kolmo na porost.

Kromě zohlednění aktuálního stavu porostu lze provést korekci dávkování postřikové látky na základě očekávaného výnosu na daném místě dle údajů z podkladové mapy. Podstatou je zohlednění rozložení dosažitelné úrovně výnosu (zóny produkčního potenciálu – yield productivity zones) na pozemku při stanovení dávky dusíku ze senzorové diagnostiky porostu. Dávka dusíkatých hnojiv doporučená ze senzorového systému je upravena dle očekávaného

výnosu v dané části pozemku. Cílem je hnojením podpořit porost s předpokladem dosažení vyššího výnosu. Naopak na místech s očekávaným nižším výnosem je dávka snižována. Takto lze řešit obvyklou tendenci sensorových systémů zvyšovat dávku hnojení u horších porostů. K tomuto zvýšení dávky ale dojde pouze, pokud stanovištní podmínky dávají předpoklad dosažení vyššího výnosu. Nepochází tedy ke srovnání porostu, ale k diferenciaci dle očekávané výše a kvality produkce. Podkladová mapa je vytvořena z časové řady družicových dat a je uložena na serveru. V případě systému Greenseeker jsou mapy ve formátu shapefile nahrány do rozhraní ISOBOX. Inovativním prvkem je také možnost úpravy podkladové mapy dle aktuálního stavu povětrnostních podmínek z lokálního meteorologického měření.

Schéma celého systému je zobrazeno na Obr. 2.



Obr. 2 Blokové schéma systému variabilního dávkování pesticidů a hnojiv (upravilo Agrio, 2017)

Představené řešení nabízí výhody nejen ve stavu techniky popsané kombinace spektrálního měření a podkladové mapy, ale umožňuje při aplikaci postřikových látek zohlednit aktuální povětrnostní podmínky z lokálního agrometeorologického pozorování. Jejich zohlednění spočívá v úpravě dávkování či zastavení aplikace na definovaných částech pozemku. Nejjednodušším způsobem provedení korekce je změna ve výpočtu podkladové mapy těsně před plánovaným pěstebním zásahem. V závislosti na elektronické výbavě stroje lze ale také

využít přímé modifikace aplikační dávky v řídicím počítači či ovládací jednotce aplikace. Takto přepočtená dávka je upravena podle okamžité rychlosti na okamžitou veličinu, např. tlak, průtok, počet trysek, pro ovládací jednotku aplikace.

2. Vlastní ověření a dosažené výsledky

Testování Ověřené technologie **Variabilní dávkování hnojiv na základě sensorového monitoringu porostních podmínek** proběhlo formou poloprovozního polního pokusu na zemědělském podniku DUSPOL, spol. s r.o. se sídlem v obci Dolní Dubňany v okrese Znojmo. Předmětem polního experimentu bylo ověření sensorového systému v polních podmínkách a vyhodnocení vlivu rozdílného způsobu variabilní aplikace dusíkatých hnojiv u pšenice ozimé na výnos a kvalitativní parametry zrna.

Vlastní ověřování a zpracování výsledků probíhalo dle následujícího postupu:

1. Výběr vhodného pozemku
2. Sběr podpůrných dat – odběr vzorků půdy
3. Stanovení výnosového potenciálu z historických dat
4. Design polního pokusu a návrh variant režimů aplikace dusíkatých hnojiv
5. Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv
6. Dálkový průzkum sledované lokality a pozemní měření
7. Odběr vzorků a vyhodnocení výnosových dat

2.1. Výběr vhodné testovací lokality

Na základě osobní konzultace s uživatelem pozemků a dle předběžné analýzy družicových dat byl pro ověření technologie variabilního dávkování hnojiv vybrán pozemek „U kamenného kříže“. Pozemek byl oset ozimou pšenicí odrůdy Patras. Testovací pozemek se nacházel na půdním bloku 7401-0 (čtverec 620-1170) o výměře 40,29 ha. Na pozemku byla aplikována uniformní regenerační dávka N (LAV, 100 kg.ha⁻¹), dále bylo uniformně použito hnojivo DASA v dávce 200 kg.ha⁻¹.



Obr. 3 Vybraný testovací pozemek (zdroj: LPIS)

Na pokusné lokalitě se vyskytovaly převážně dva půdní typy černozem luvická (CEI) a hnědozem luvická (HNI). Jde o půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, půdy hluboké vzniklé na spraši. Druhově jde o půdy hlinitopísčité až jílovitohlinité. S pohledu produkčního se jedná o půdy středně produkční (hnědozem) až o velmi produkční půdy (černozem).

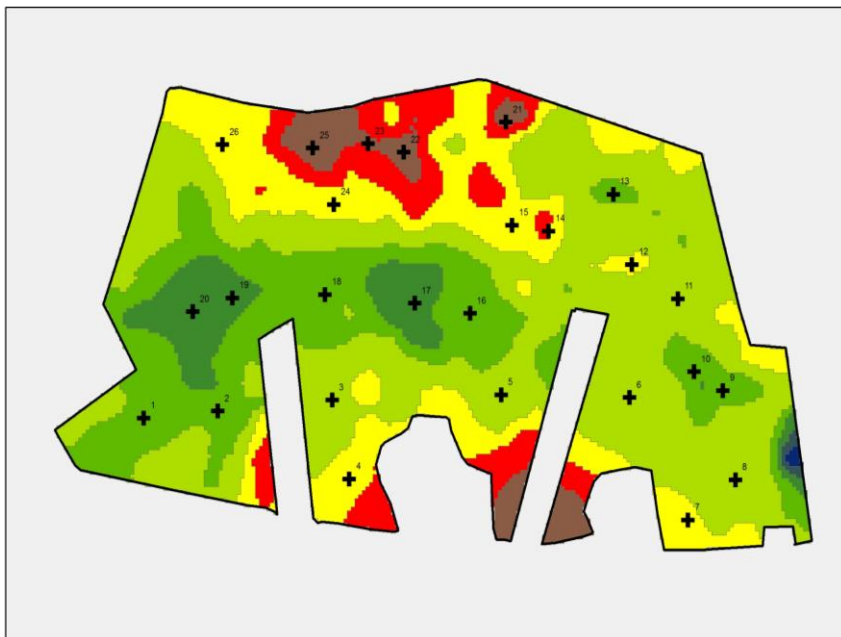
2.2. Sběr podpůrných dat – odběr vzorků půdy

Vzorkování je základní podstatou jakéhokoliv terénního výzkumu v půdních vědách, neboť měření celé populace je v praxi nemožné. Z důvodů detailnějšího zmapování heterogenity pokusné lokality a také z důvodů případné lokalizace míst, kde by mohl být výživný stav rostlin ovlivněn i jinou živinou než je dusík.



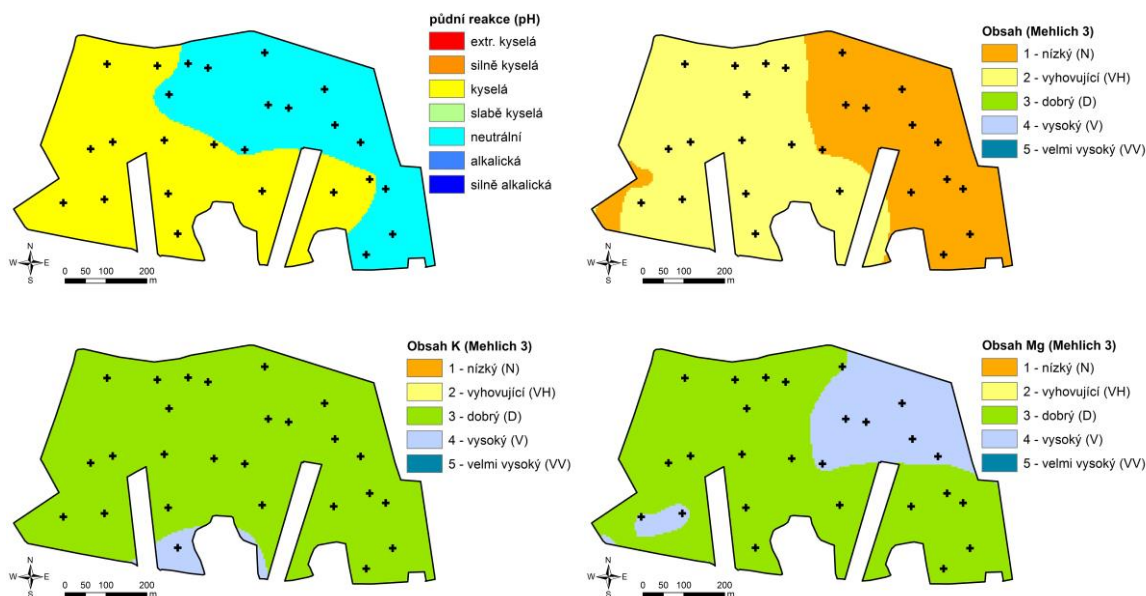
Obr. 4 Odběr vzorků půdy – Dolní Dubřany 29.3.2017

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



Obr. 5 Rozmístění bodů pro odběr vzorků půdy – Dolní Dubřany 29.3.2017

Výsledky ukázaly, že na testovacím pozemku je zásobenost živinami na dobré úrovni. zvláště u K a Mg. U P je stav převážně vyhovující. Zjištěný stav zásobenosti základních živin na testovací lokalitě jsme pak využili při volbě a umístění jednotlivých porovnávaných variant režimů variabilní aplikace N na pozemku. Snahou bylo eliminovat místa na pozemku, která by mohla negativně ovlivnit výsledky testu našeho ověřovaného systému dávkování hnojiv.

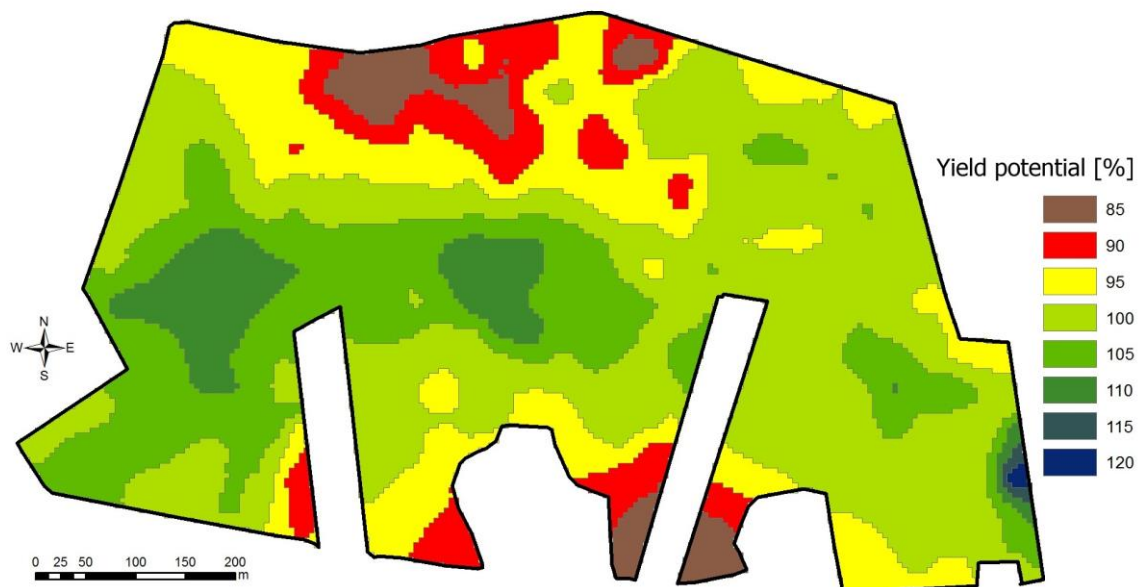


Obr. 6 Mapy variability půdní reakce a zásobenosti P, K a Mg na testovacím pozemku

2.3. Stanovení produkčních zón s historických dat

Při stanovení potřeby hnojení dusíkem je třeba vycházet z množství potřebného pro tvorbu výnosu hlavního i vedlejšího produktu. Je tedy třeba stanovit plánovaný výnos. Plánovaným 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 maskovat lokální oblasti s vyšší nebo naopak nižší produktivitou.

Na testovacím pozemku 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).



Obr. 7 Mapa produkčních zón na testovacím pozemku stanovená z 8-leté časové řady družicových dat

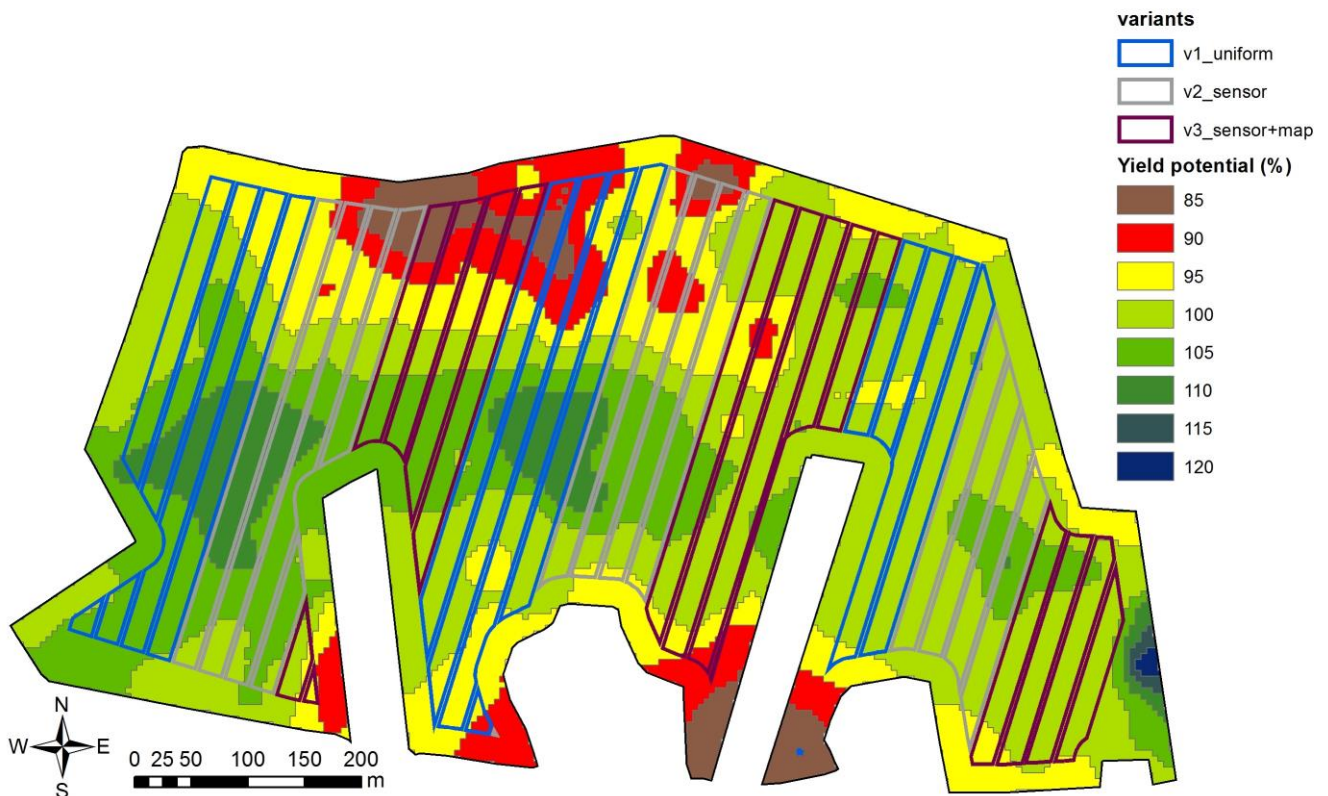
Principem zohlednění výnosové úrovně při výpočtu normativu je plošná diferenciací výnosového potenciálu daného území namísto použití jednotného průměrného plánovaného výnosu nutného pro výpočet normativu (odběru živin na plánovaný výnos).

2.4. Design polního pokusu a návrh variant režimů aplikace dusíkatých hnojiv

Na základě předchozích analýz heterogenity výrobních podmínek na testovacím pozemku byly navrženy 3 varianty režimů variabilní aplikace dusíkatých hnojiv a vygenerován design polního pokusu (Obr. 8).

Byly vybrány následující režimy aplikace dusíkatého hnojiva:

- Varianta 1 – **kontrola** (v1_kontr) - uniformní hnojení dle doporučení agronoma bez zohlednění lokálních rozdílů porostu
- Varianta 2 – **variabilní aplikace dle sensorového hodnocení aktuálního stavu porostů** (v2_online) – stanovení dávky hnojení na základě online sensorového měření NDVI porostu
- Varianta 3 – **variabilní aplikace kombinující online sensorové měření s podkladovou mapou potenciálního výnosu (map overlay)** (v3_online+mapa) – stanovení dávky na základě kombinace online sensorového měření NDVI s podkladovou mapou



Obr. 8 Mapa rozmístění jednotlivých variant polního pokusu

2.5. Aplikace dusíkatých hnojiv

Vlastní variabilní aplikace hnojiva byla provedena 12.4.2017. K aplikaci byl použit postřikovač Agrio Mamut Topline vybavený příslušnou řídicí a regulační elektronikou a sensorovou technikou.



Obr. 9 Aplikace hnojiva na pozemku

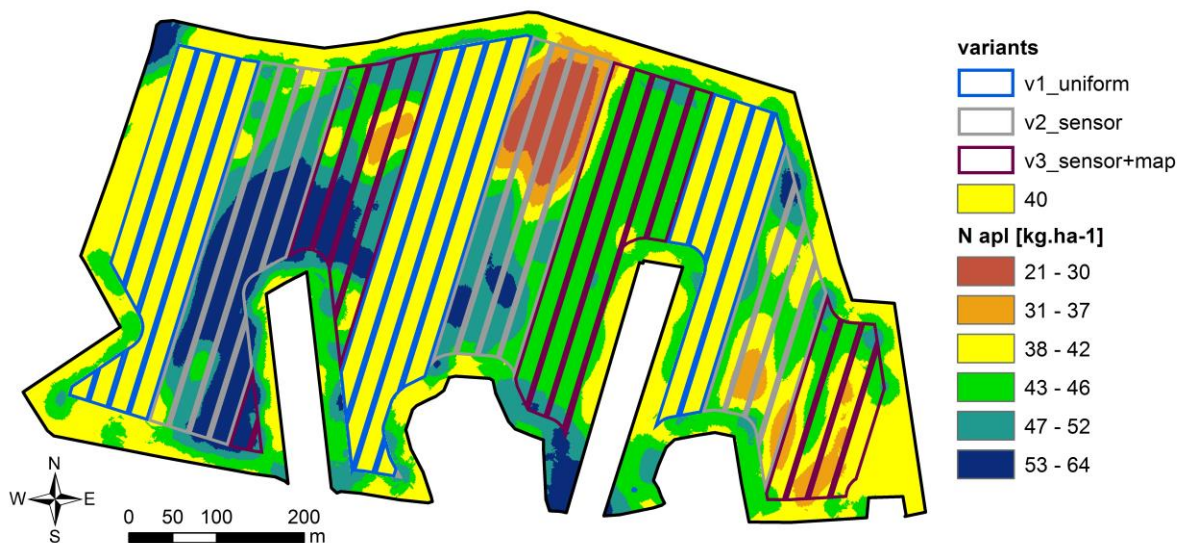
Bylo použito hnojivo DAM 390. Plánovaná výnosová úroveň byla po poradě s agronomem a na základě dosavadního vývoje porostu stanovena na hranici $6,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tomu bylo uzpůsobeno i nastavení kontrolní uniformní dávky (v1_kontr) v řídicí jednotce palubního počítače postřikovače. Tato dávka byla $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Nastavení variabilních dávek bylo pomocí ovládání systému ISOBOX, který umožňuje ovládání a čtení dávek v palubním terminálu Müller Elektronik. Mohli jsme volit kombinaci online sensorového měření s mapovým podkladem nebo pouze offline režim. Grafické ovládací rozhraní terminálu bylo přizpůsobeno použitému typu postřikovače. Podkladová mapa rozložení potenciální produkční úrovně byla ve formátu shapefile (shp). Mapa obsahovala v atributové tabulce informaci o korekci dávky.



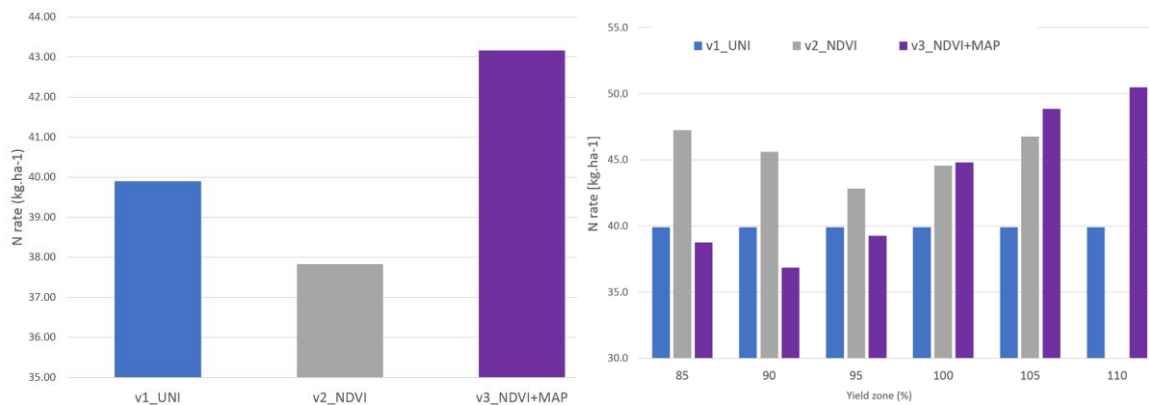
Obr. 10 Obrazovka AO Greenseeker ISOBOX s nabídkou pro volbu nastavení systému, dávkování hnojiva, kalibraci a ovládání variabilního dávkování (vlevo) a obrazovka tabletu s aplikační mapou pro kontrolu jezdů testovací soupravy (vpravo)

Při vlastní aplikaci byla zaznamenána aktuální data NDVI a aplikované dávky. Z těchto dat byla následně vygenerována mapa aplikovaných dávek N (Obr. 11).



Obr. 11 Aplikační mapa dávky N v jednotlivých variantách polního pokusu

Následující grafy ukazují velikost aplikované dávky a její rozložení dle produkčních zón (Obr. 12). Z grafů je vidět, že nejnižší průměrnou dávkou N vykázala varianta 2, která reagovala na aktuální stav porostu. Nejvyšší průměrná dávka byla aplikována u varianty 3, která kombinovala variabilní aplikaci online sensorového měření s podkladovou mapou potenciálního výnosu. Strategie nastavení dávky u této varianty byla taková, že na místech očekávaného nadprůměrného výnosu se zvýší intenzita N hnojení u slabších porostů. Tento záměr byl splněn, jak ukazuje graf vpravo. Opodstatnění takto zvoleného režimu variabilní aplikace N potvrdily výsledky vyhodnocení efektivity využití N hnojení po sklizni.

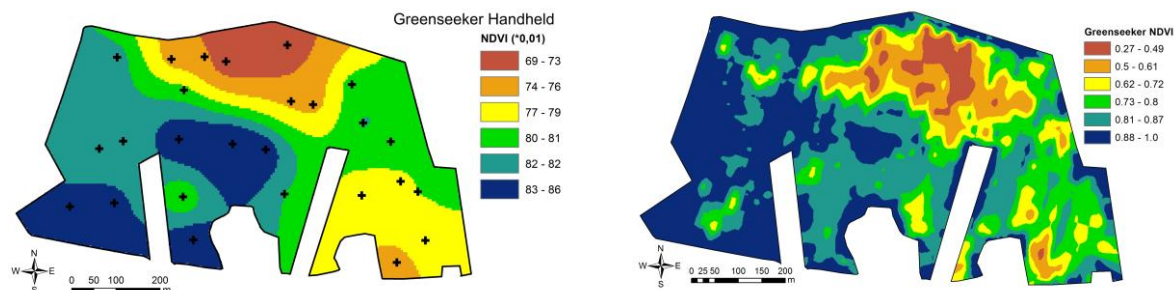


Obr. 12 Velikost průměrné dávky dusíku dle jednotlivých testovaných variant (vlevo) a průměrná dávka N dle produkčních zón (vpravo)

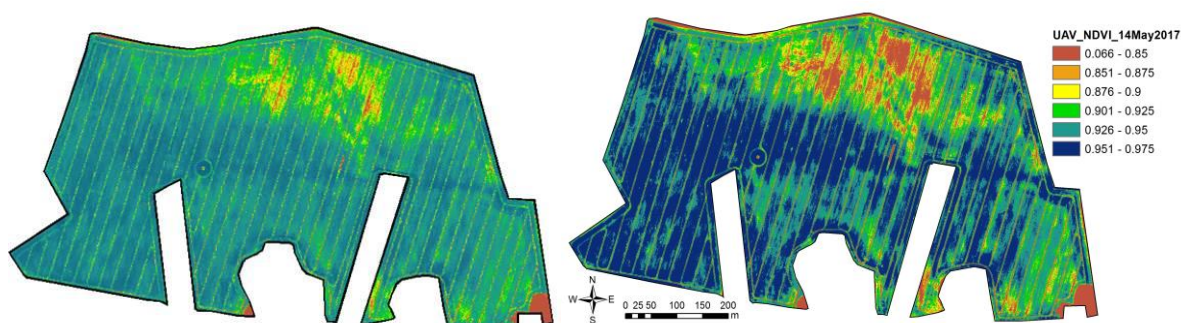
2.6. Dálkový průzkum sledované lokality a pozemní měření

Za účelem ověření efektivity variabilního hnojení při různých režimech stanovení produkční dávky dusíku a také za účelem ověření různých možností spektrálního měření výživného stavu porostu pomocí různé sensorové techniky (ruční měření, on-line čidla na stroji a DPZ) proběhl

18.5.2017 ruční odběr vzorků rostlin a pozemní měření vegetačních indexů. Spolehlivost diagnostiky výživného stavu je dána těsností vztahu mezi vegetačními indexy a obsahem dusíku v rostlinách.

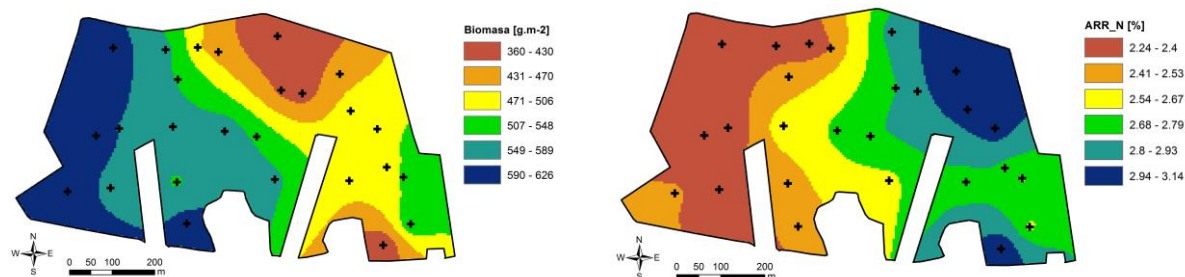


Obr. 13 Mapy vegetačních indexů vygenerované z dat získaných pozemním měřením ručním přístrojem Greenseeker Handheld (vlevo) a senzory Greenseeker na postřikovači (vpravo)

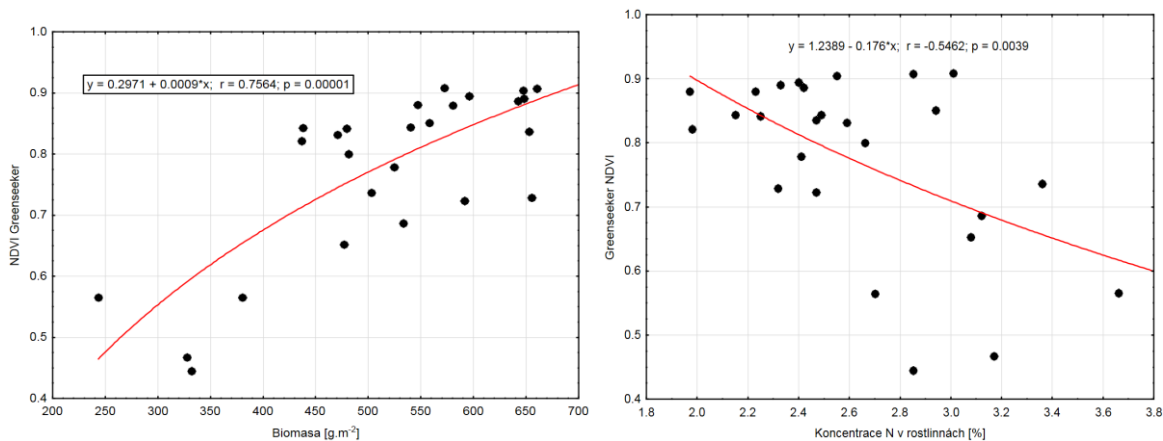


Obr. 14 Mapy vegetačních indexů vygenerované z dat získaných z DPZ – družice Sentinel 2 11.5.2017 (vlevo) a bezpilotní prostředek Sensefly eBee 14.5.2017 (vpravo)

U odebraných vzorků rostlin bylo stanoveno množství biomasy a obsah dusíku. Při porovnání map naměřených hodnot NDVI (hlavně u senzorů Greenseeker) a množství biomasy vidíme vysokou korelaci. U obsahu N v rostlinách nejsou výsledky tak jednoznačné, plošné rozložení spíše koresponduje s obsahem N látek v zrnu (Obr. 16).



Obr. 15 Mapa množství biomasy (vlevo) a mapa obsahu N v rostlinách 18.5.2017 (vpravo)



Obr. 16 Graf vztahu mezi NDVI měřených Greenseekerem a množství nadzemní biomasy (vlevo) či obsahu N v rostlinách (vpravo)

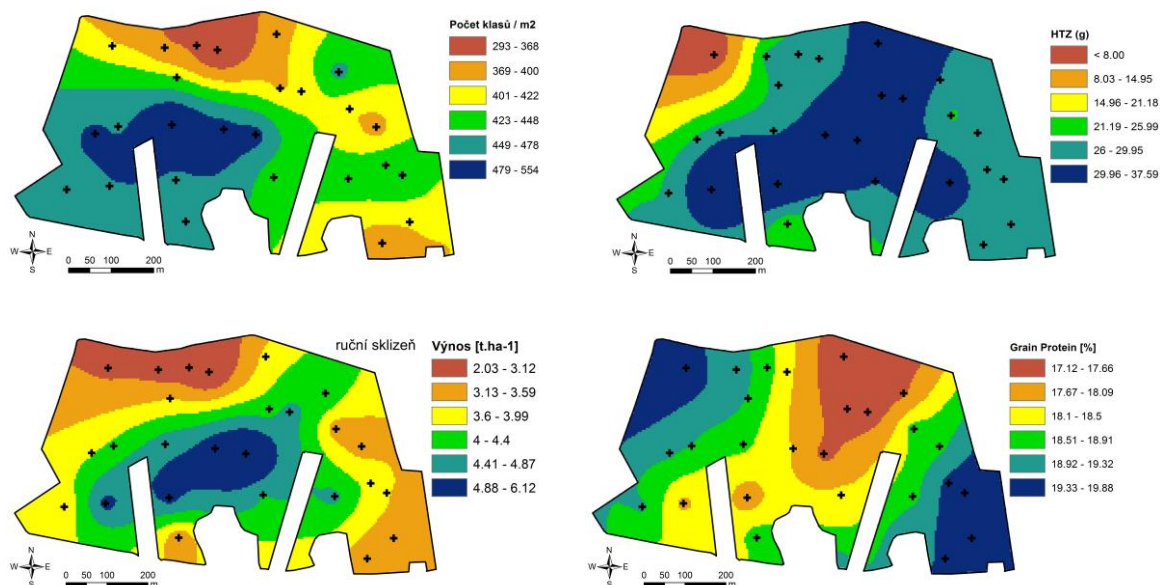
2.7. Odběr vzorků a vyhodnocení výnosových dat

Před vlastní sklizní pokusu (10. 7. 2017) byly na kontrolních bodech provedeny sklizňové odběry zrna pro stanovení výnosotvorných prvků a základních kvalitativních parametrů zrna – obsah N látek, objemová hmotnost, HTZ a počet klasů.



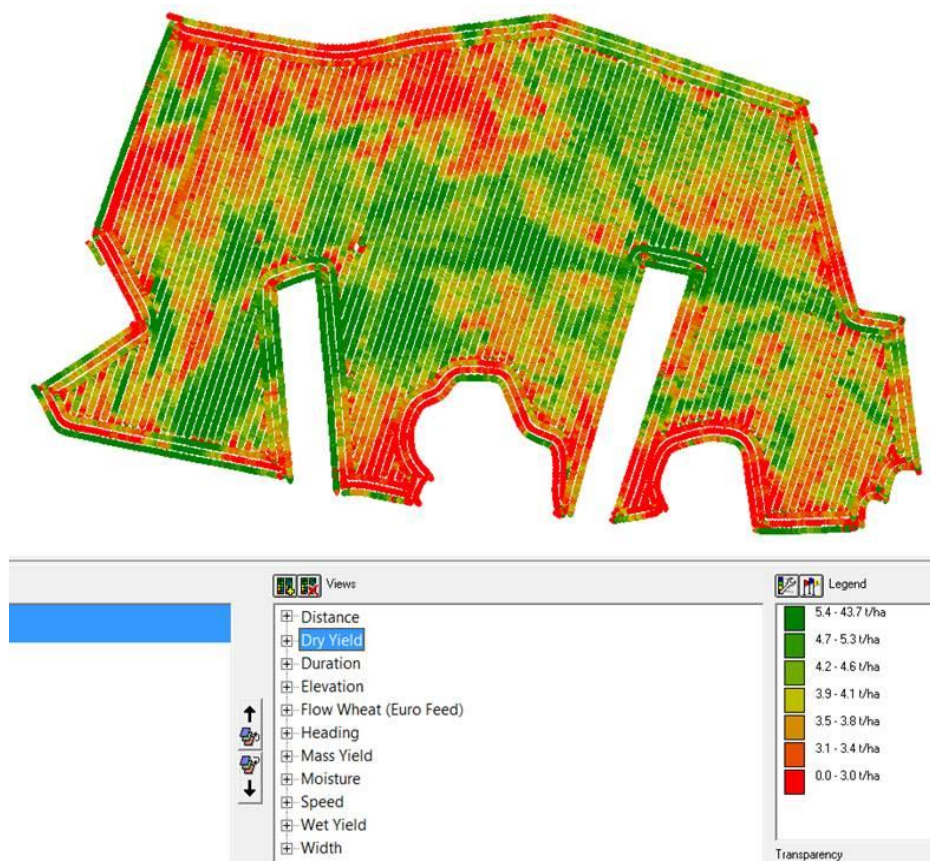
Obr. 17 Odběr sklizňových vzorků na testovacím pozemku (Dolní Dubňany 10.7.2017)

Ze získaných dat byly prostorovými interpolacemi vytvořeny celoplošné mapy, které sloužily pro stanovení kvalitativních parametrů pro jednotlivé varianty hnojení a výnosové zóny. S ohledem na počet a rozmístění kontrolních míst a způsobu zpracování výsledků interpolačními technikami mají výsledné mapy nižší vypovídací schopnost – pro detailní zachycení nevyrovnanosti v rámci pozemků a statistické vyhodnocení by byl zapotřebí vyšší počet míst rovnoměrně rozmístěných napříč všemi variantami. Přesto výsledky ukazují hlavní trendy a plošné rozdíly.



Obr. 18 Mapy rozložení výnosotvorných prvků – počet klasů (vlevo nahoře), HTZ (vpravo nahoře), výnos zrna (vlevo dole) a mapa obsahu N látek v zrna (vpravo dole)

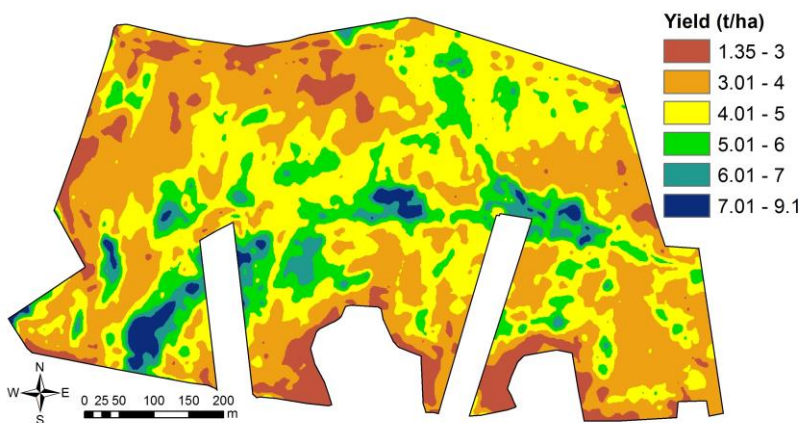
Vlastní sklizeň pozemku byla provedena dne 11.7.2017 sklízecí mlátičkou John Deere (záběr 9,15 m) vybavenou výnosoměrným čidlem se záznamovým zařízením s GPS. Při zahájení sklizně na pozemku byly provedeny kalibrace dle výnosu a vlhkosti zrna stanoveného na váze v podniku při odvozu zrna. Po kalibraci výnosoměrného čidla probíhala sklizeň celého pozemku, po dobu práce sklízecí mlátičky byla zaznamenána výnosová data. Z těchto surových dat pak byla vygenerována mapa rozložení výnosu při sklizni (Obr. 19).



Obr. 19 Mapa rozložení výnosu ze sklízecí mlátičky John Deere zpracovaného v SW Trimble Farmworks

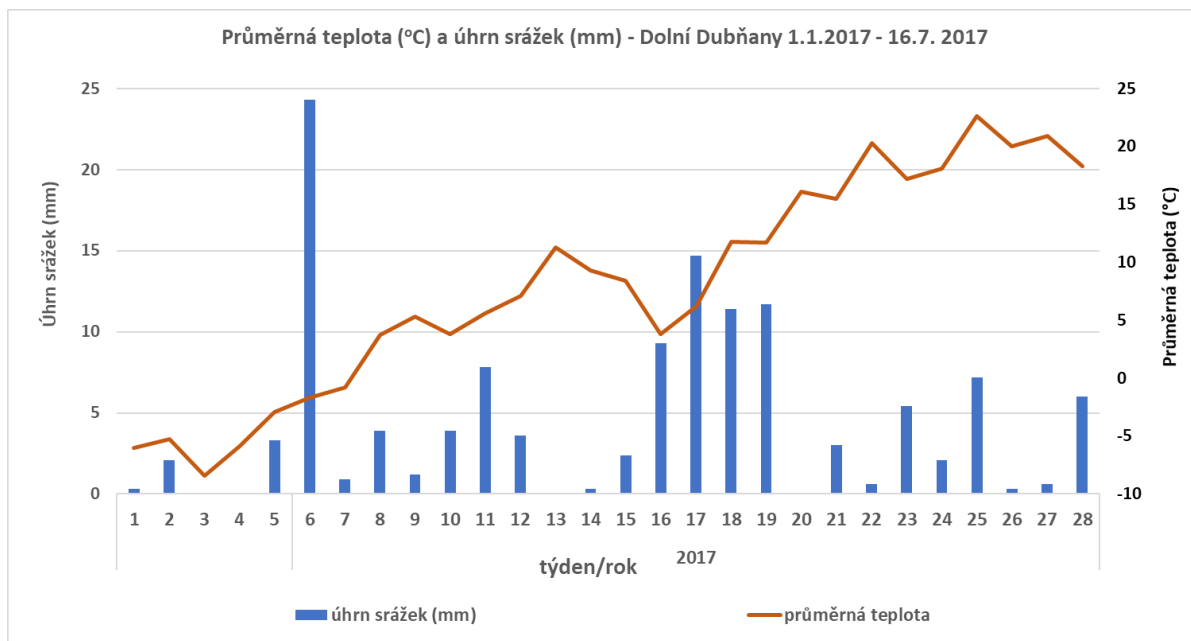
Mapa výnosu naměřeného při sklizni ukazuje na nízké hodnoty dosahovaného výnosu na souvratích pozemku, které poukazují na možný vliv utužení půdy při častějším otáčení souprav. Z naměřených dat sklízecí mlátičkou byla následně pomocí GIS software „vyčištěny“ extrémní nereálné hodnoty a vygenerována výnosová mapa (Obr. 20).

V průměru byl na pozemku dosažen výnos $4,03 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Plánovaný výnos pro rok 2017 byl $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Obr. 20 Výnosová mapa po zpracování – Dolní Dubňany 11.7.2017

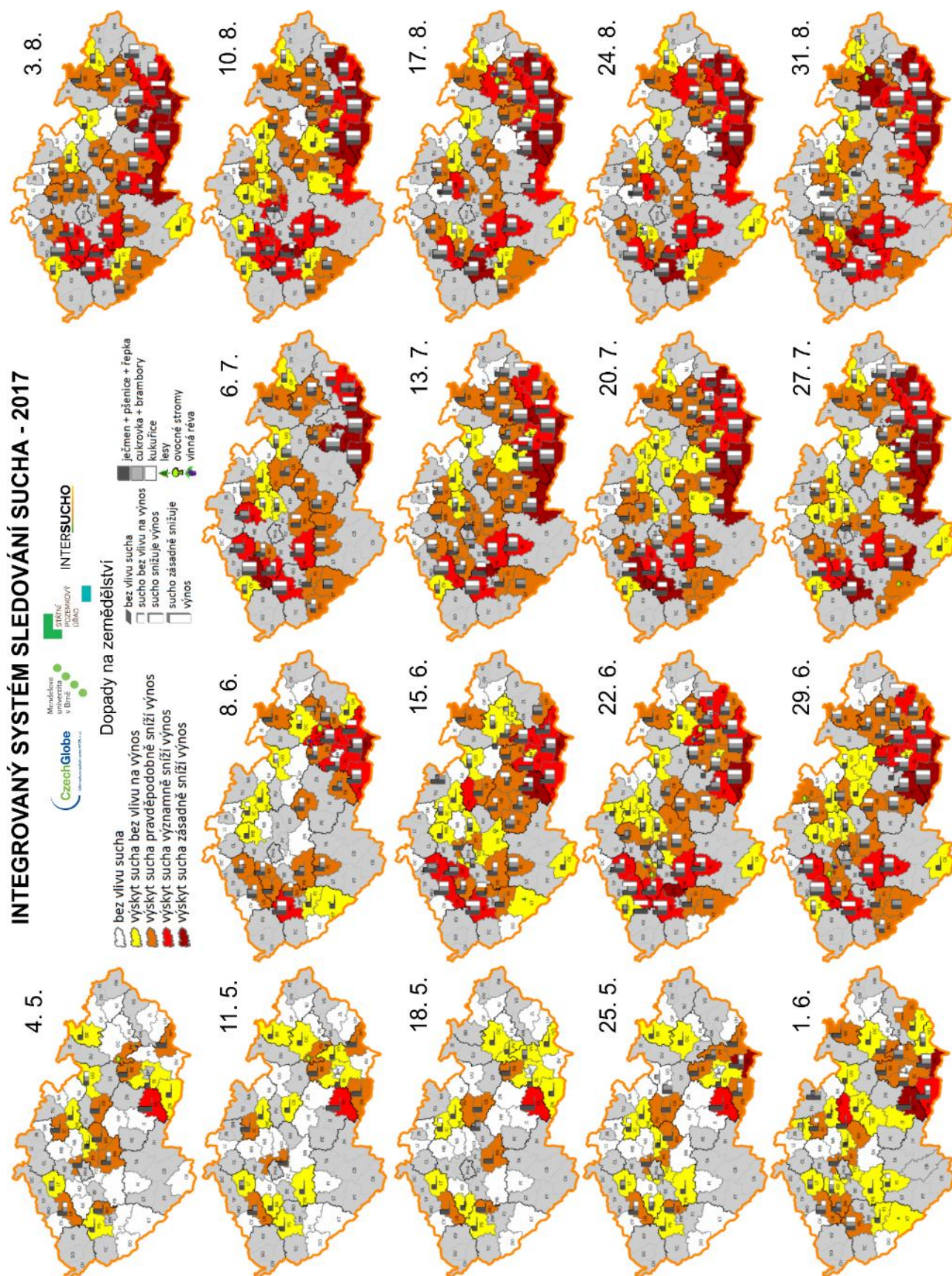
Hlavním důvodem propadu výnosu ve sklizňovém roce 2017 byl negativní průběh povětrnostních podmínek, zvláště nedostatek srážek v průběhu vegetace, jak dokumentuje Obr. 21 a Obr. 22. Od 1.1. 2017 do sklizně (11.7. 2017) byl meteorologickou stanicí umístěnou v areálu společnosti Duspol Dolní Dubňany zaznamenán úhrn srážek ve výši 126 mm a průměrná teplota 8,2°C.



Obr. 21 Průběh počasí na sledované lokalitě

Ve sledované oblasti bylo zaznamenáno významné sucho a tím byl částečně poškozen porost na testovací lokalitě. Zásadní bylo květnové a červnové sucho, které neumožnilo přirozený vegetační vývoj, nenarostla biomasa, založily se malé klasy a zrna, zrno nedozrávalo, ale zasychalo „na stojato“. Červencové deště už pro obiloviny přišly pozdě. Od toho se odráží i nízká kvalita požadovaných parametrů na pšenici. Dle údajů z MZe (MZe, 2017) byl k 4.9.2017 odhadován průměrný výnos pšenice v Jihomoravském kraji ve výši 4,32 t.ha⁻¹. Průměrný výnos na pozemku byl 4,03 t.ha⁻¹. Výnosový efekt a ekonomické přínosy ověřovaného variabilního dávkování dusíku tak byl oproti očekávání snížen. Vyhodnocené výsledky přesto prokázali inovativnost a efektivnost ověřované technologie.

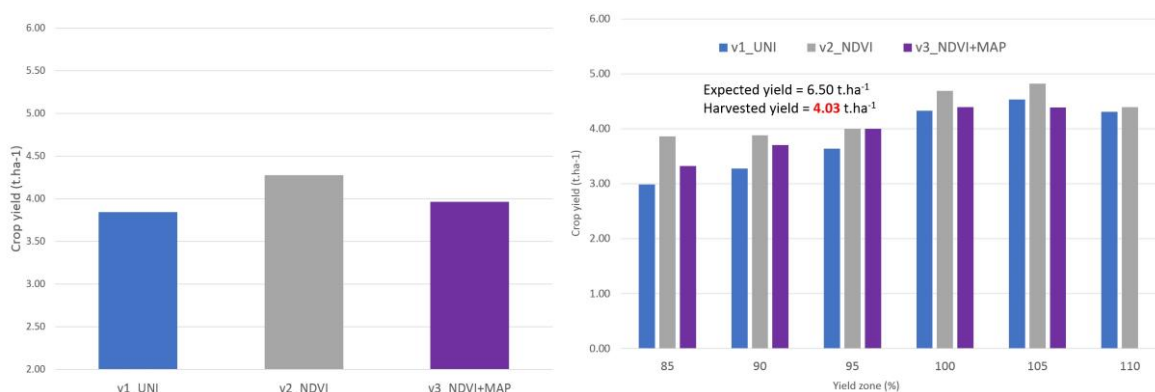
Vyhodnocení výnosových dat ukazuje a průměrnou výši výnosu dle testovaných variant a jejich detailnější rozložení dle produkčního potenciálu ukazuje Obr. 23. Z grafů je vidět, že nejvyšší průměrný výnos byl dosažen u sledované Varianty 2 – variabilní aplikace dle sensorového hodnocení aktuálního stavu porostů (v2_online), kde byla stanovena dávka hnojení N na základě online sensorového měření.



Obr. 22 Ukázka ze Systému sledování sucha dokumentující průběh intenzity sucha na jižní Moravě v roce 2017 (zdroj: Intersucho.cz)

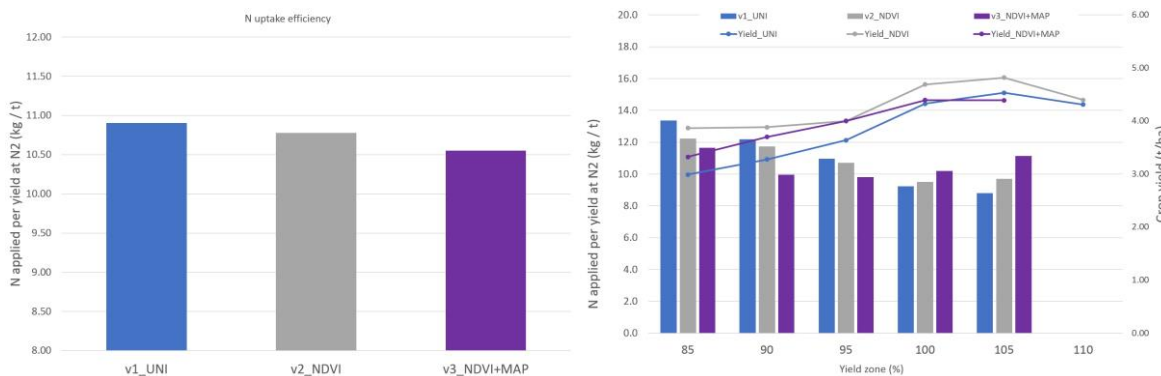
Potvrdila se tak základní hypotéza ověřované technologie, že diagnostika výživného stavu na základě aktuálního spektrálního měření umožňuje pružněji reagovat na potřebu výživy u rostlin a postihnout prostorové rozdíly v rámci jednotlivých pozemků.

Varianta 3, u které je výsledná variabilní aplikace N kombinací online sensorového měření s podkladovou mapou potenciálního výnosu (map overlay) (v3_online+mapa) dosáhla také vyšší výnosový efekt oproti uniformní dávce u Varianty 1.



Obr. 23 Průměrný výnos dle testované varianty (vlevo) a průměrné výnosy dle produkčních zón v jednotlivých variantách (vpravo)

Ze získaných údajů o aplikovaném množství hnojiva a výnosu zrna byla stanovena efektivnost využití N z produkčního hnojení na tvorbu produkce. Obr. 24 ukazuje průměrné množství aplikovaného dusíkatého hnojiva na vytvoření 1 t zrna u jednotlivých testovaných variant. Z grafů je vidět, že nejefektivněji byl dusík využit u Varianty 3, kdy bylo zjištěno nejnižší množství N na produkci 1 t zrna.



Obr. 24 Efektivita využití aplikované dávky N na produkci zrna dle testované varianty (vlevo) a dle produkčních zón v jednotlivých variantách (vpravo)

IV. EKONOMICKÁ ANALÝZA

Přesné vyčíslení ekonomického přínosu postupů, uvedených v technologiích je obtížné, neboť se jedná o kombinaci položek environmentálních, zemědělských i celospolečenských. Předpokládané ekonomické přínosy vycházejí ze srovnatelných či vyšších výnosů. Předpokládané ekonomické přínosy optimalizovaných dávek hnojiv mají potenciál vytvořit zisk ve výši cca 300 – 500 Kč.ha⁻¹. Ekonomické aspekty v širším měřítku budou záležet na rozsahu (výměře) pozemků na jejich variabilitě a průběhu počasí. 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. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Technologie byla ověřena a byl potvrzen princip korekce senzorového měření dle hodnoty výnosového potenciálu z podkladové mapy – v místech s nižším očekávaným výnosem byly aplikovány nižší dávky hnojiva a naopak. 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 nebyl tak výrazný, jak hodnoty výnosového potenciálu přepokládaly. Přínosu postupů, uvedených v technologiích 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.

VI. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Lukas, V., Neudert, L. 2016.: Sensorové 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.
- Lukas, V., Neudert, L., Havel, J., Seidenglanz, M., Křivánek, Z., Musil, M., 2017: Systém variabilního dávkování pesticidů a hnojiv. Autoři: Česká republika, Úřad průmyslového vlastnictví. Užitečný vzor č. 30386. Datum přijetí 9. 1. 2017. URL: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0030/uv030386.pdf>
- Lukas, V., Neudert, L., Křen J. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství. Uplatněná certifikovaná metodika. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 36 s. ISBN 978-80-7375-562-1.
- Lukas, V., Ryant, P. Neudert, L. Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V.: Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství. Uplatněná certifikovaná metodika. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 36 s. ISBN 978-80-7375-651-4.
- Lukas, V., Ryant, P. Neudert, L. Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V.: Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství. Uplatněná certifikovaná metodika. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012, 48 s. ISBN 978-80-7375-686-4.
- MZe, 2017: Postup sklizně obilovin a řepky k 4. 9. 2017. MZe, Praha: [vid. 7. 12. 2017] Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/roslinne-komodity/obiloviny/prubeh-sklizne/sklizen-2017/postup-sklizne-obilovin-a-repky-k-4-9.html>
- Neudert, L., Lukas, V., Altmann, J., Dryšlová, T., Gnip, P., Holý, S., Charvát, K., Kocurek, V., Kroulík, M., Křen, J., Křivánek, Z., Loch, T., Pospíšil, J., Ryant, P., Smutný, V., Šmoldas, R., Vondra, M., 2015. Precizní zemědělství. Technologie a metody v rostlinné produkci. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY VZNIKU OVĚŘENÉ TECHNOLOGIE

- Lukas, V., Novák, J., Neudert, L., Svobodová, I., Edrees, M., Bláha, O., 2015. Využití bezpilotního snímkování pro hodnocení stavu porostů obilnin v precizním zemědělství. *Úroda* LXIII, 179-183.
- Neudert, L., Lukas, V., Altmann, J., Dryšlová, T., Gnip, P., Holý, S., Charvát, K., Kocurek, V., Kroulík, M., Křen, J., Křivánek, Z., Loch, T., Pospíšil, J., Ryant, P., Smutný, V., Šmoldas, R., Vondra, M., 2015. *Precizní zemědělství. Technologie a metody v rostlinné produkci.* Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Lukas, V., Novák, J., Neudert, L., Svobodova, I., Rodriguez-Moreno, F., Edrees, M., Kren, J., 2016: The combination of UAV survey and Landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLI-B8, 953-957.
- Lukas, V., Neudert, L., Novák, J., Širůček, P., Kramář, M., Rodriguez-Moreno, F., Zemek, F., 2016: Využití dálkového průzkumu pro hodnocení stavu porostů zemědělských plodin. *Úroda*. 2016. sv. 64, č. 12, s. 67--73. ISSN 0139-6013.
- 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.
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J., 2017: Využití dálkového průzkumu pro lokálně cílenou agrotechniku. *Mechanizace*. 2017, č. 5, s. 62-63. ISSN 0373-6776
- Lukas, V., Neudert, L., Novák, J., 2017: Variabilní aplikace hnojiv v precizním zemědělství. *Agromanuál*. 2017, vol. 12, no. 8, pp. 64-67. ISSN 1801-7673
- Mezera, J., Lukas, V., Elbl, J., 2017: Evaluation of crop yield spatial variability in relation to variable rate application of fertilizers In. *MendelNet 2017: Proceedings of International PhD Students Conference*, Brno: Mendel University in Brno, 2017, p. 86-91. ISBN 978-80-7509-529-9

VIII. PROTOKOL O OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

- oskenovaný original dokumentu

Protokol o ověření technologie

Název Ověřené technologie:

Variabilní dávkování hnojiv na základě senzorového monitoringu porostních podmínek

Autoři Ověřené technologie:

Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.
Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

Předmět ověřování:

Praktické využívání nových postupů aplikace diferencovaných dávek dusíkatého hnojení jako součást pro uplatnění principů lokálně cíleného obhospodařování, tzv. precizního zemědělství. Jde o postupy použití systému, který je vybaven senzory pro diagnostiku stavu porostu na základě jeho spektrálních vlastností.

Ověřující pracoviště:

Ústav agrosystémů a bioklimatologie AF, Mendelova univerzita v Brně – *spoluřešitel projektu*
DUSPOL, spol. s r.o. – *zemědělský podnik, uživatel technologie*

Termín ověření:

Březen 2017 (*výběr ověřovací lokality*) – Listopad 2017 (*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 senzorového měření dle hodnoty výnosového potenciálu z podkladové mapy – v místech s nižším očekávaným výnosem byly aplikovány nižší dávky hnojiva a naopak. 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 nebyl tak výrazný, jak hodnoty výnosového potenciálu přepokládaly. Přínosu postupů, uvedených v technologiích 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 na základě senzorového monitoringu porostních podmínek“ byla navržena a ověřena v rámci řešení výzkumného projektu TAČR č. TA04021389, s názvem: „Vývoj systému pro variabilní dávkování pesticidů a hnojiv na základě senzorového monitoringu porostních podmínek“.

<p>Za autorský tým MENDELU Ing. Lubomír Neudert, Ph.D. Ústav agrosystémů a bioklimatologi AF Mendelova univerzita v Brně</p> <p>V Brně dne: 30. 11. 2017</p>	<p>(podpis)</p> 
--	--

<p>Za uživatele technologie Ing. Petr Pecina DUSPOL, spol. s r.o.</p> <p>V Dolních Dubňanech dne: 30. 11. 2017</p>	<p>DUSPOL, spol. s r.o. Dolní Dubňany 171 671 73 Tulešice DIČ: CZ4996972?</p> <p>(podpis)</p> 
---	---

POZNÁMKY:

Název: Variabilní dávkování hnojiv na základě sensorového monitoringu porostních podmínek

Autoři: Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.

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

Sazba, tisk: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 BRNO

Vydání: první, 2017

Počet stran: 32

Náklad: 30 ks

Vydáno bez jazykové úpravy.

Publikace je poskytována bezplatně.

Kontakt na autory: neudert@mendelu.cz

vojtech.lukas@mendelu.cz

