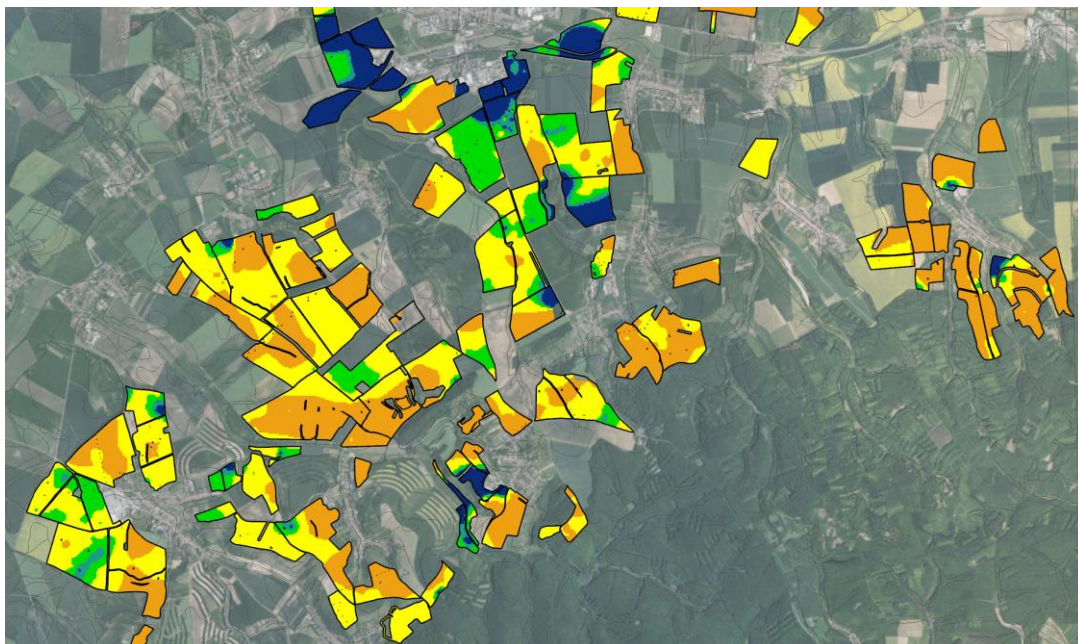


Ověřená technologie (Z_{tech})



Ověřená technologie variabilní aplikace hnojiv na základě kombinace digitálního mapování půdy a výnosových zón

Lukas V., Širůček P., Žížala, D., Bohovic, R., Niederhafner, K., Novotný, L., Elbl J., Neudert L.

Výstup z projektu NAZV QK21010247 „Optimalizace hospodaření na nevyrovnaných pozemcích využitím efektivního mapování půdních podmínek a zohlednění změn vláhvových poměrů s cílem stabilizace dosahovaných výnosových úrovní“.

Technická dokumentace výsledku

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



MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Ověřená technologie variabilní aplikace hnojiv na základě kombinace digitálního mapování půdy a výnosových zón

Z_{tech} – Ověřená technologie

Vojtěch Lukas, Petr Širůček, Daniel Žížala, Roman
Bohovic, Karel Niederhafner, Luděk Novotný, Jakub
Elbl, Lubomír Neudert

2024

Ověřená technologie variabilní aplikace hnojiv na základě kombinace digitálního mapování půdy a výnosových zón

Cílem ověřené technologie je popsat postupy stanovení aplikačních map pro variabilní aplikaci zásobních hnojiv na základě výsledků digitálního mapování půdy a identifikace výnosových úrovní na heterogenních pozemcích. Zahrnuje hodnocení agrochemických vlastností půdy z optimalizované sítě odběrových bodů navržené dle předběžné analýzy plošné variability pozemků a identifikací výnosových úrovní dle vymezení produkčních zón z družicových dat. Postupy byly ověřeny v zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s.

Verified technology for variable-rate fertilizer application based on the combination of digital soil mapping and yield zone delineation

The aim of the verified technology is to describe the procedures for preparation of variable rate application maps based on the digital soil mapping and delineation of crop yield zones. It includes assessment of spatial variability of soil nutrient from an optimized sampling grid designed according to a preliminary analysis of the field heterogeneity and the identification of crop yield levels according to the definition of production zones from satellite data. The procedures were verified in the agricultural company ROSTĚNICE a.s.

Ověřená technologie je výsledkem řešení výzkumného projektu **MZe NAZV QK21010247** s názvem „**Optimalizace hospodaření na nevyrovnaných pozemcích využitím efektivního mapování půdních podmínek a zohlednění změn vláhových poměrů s cílem stabilizace dosahovaných výnosových úrovní**“.

Autorský kolektiv:

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

Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně; ROSTĚNICE a.s.

Mgr. Daniel Žížala, Ph.D., Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v.v.i.

Mgr. Roman Bohovic, Ph.D., World from Space, s.r.o.

Ing. Karel Niederhafner, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Luděk Novotný, ROSTĚNICE a.s.

Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

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

Technická dokumentace výsledku

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

© Mendelova univerzita v Brně, 2024

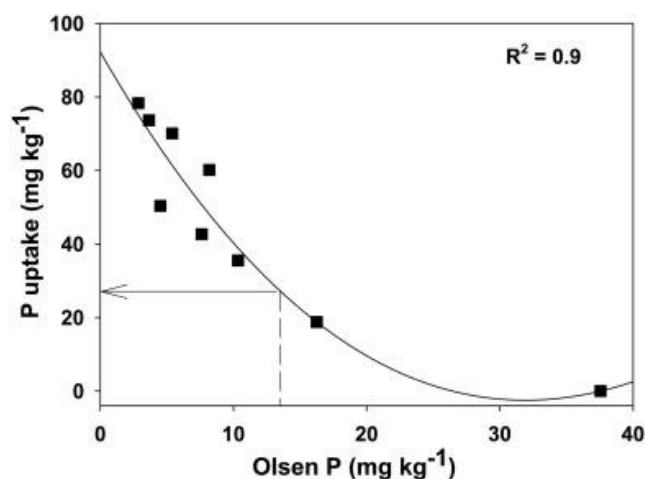
I. Úvod

Variabilní aplikace hnojiv představuje klíčovou technologii při lokálně cíleném hospodaření na zemědělské půdě. Na rozdíl od tradičně prováděné uniformní aplikace hnojiv jsou zohledňovány lokální rozdíly v zásobě přístupných živin v půdě nebo výživného stavu porostů v rámci jednotlivých pozemků. Zachycení plošné nevyrovnanosti pozemků je realizováno **mapováním obsahu přístupných živin v půdě** a hodnocením **heterogenity výnosových úrovní** z výnosových záznamů pořízených sklízecí technikou při sklizni plodin. Cílem je při návrhu aplikačních dávek živin respektovat výnosové rozdíly pro zajištění vyrovnané bilance živin a současně reagovat na nízký či vysoký obsah přístupných živin v půdě.

II. LITERÁRNÍ PŘEHLED K DANÉ PROBLEMATICE

1. Stanovení úrovně hnojení živinami

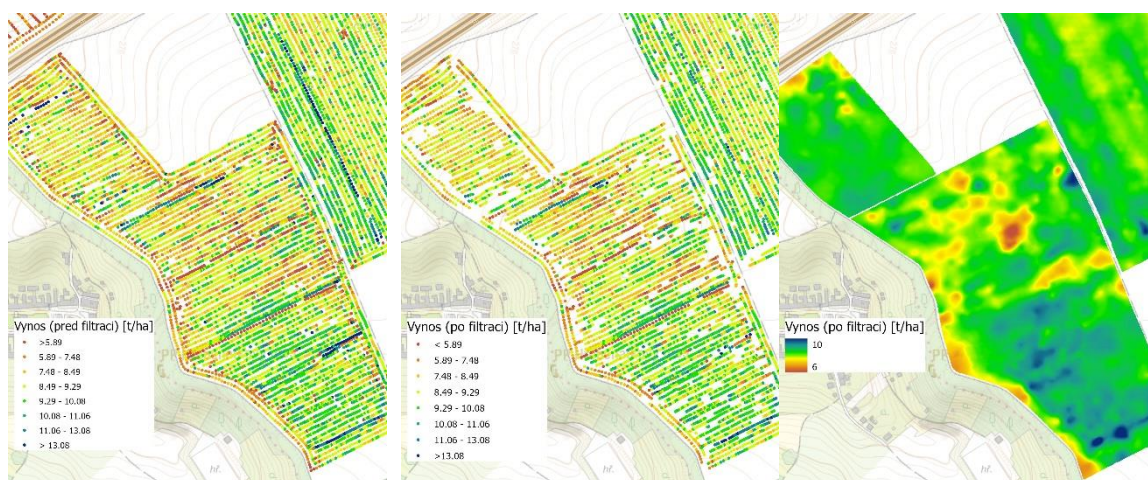
Stanovení dávky živin vychází z bilanční metody, kdy jsou do půdy navraceny živiny odebrané ve sklizených produktech. Prvním krokem při výpočtu dávky hnojení je tedy pokrytí odběru živin rostlinami na výnos hlavního a vedlejšího produktu. Výše této tzv. normativní dávky je určena plánovaným výnosem dané plodiny a odběrem příslušných živin na 1 t produktu. 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. Určení konstantní hodnoty normativního odběru na celý pozemek tedy zcela popírá tuto plošnou nevyrovnanost a vede k vyšší četnosti prováděného monitoringu agrochemických vlastností půdy. Vyšší odběr živiny na dosahovanou produkci vede ke snížení obsahu přístupných živin, což na příkladu analýzy přístupného fosforu a jeho odběru na produkci (Obr. 1) ukazují Recena et al. (2019).



Obr. 1 Graf znázorňující vztah mezi úrovní odběru fosforu (*P uptake*) a jeho obsahem v půdě stanoveným metodou dle Olsena (Recena et al., 2019).

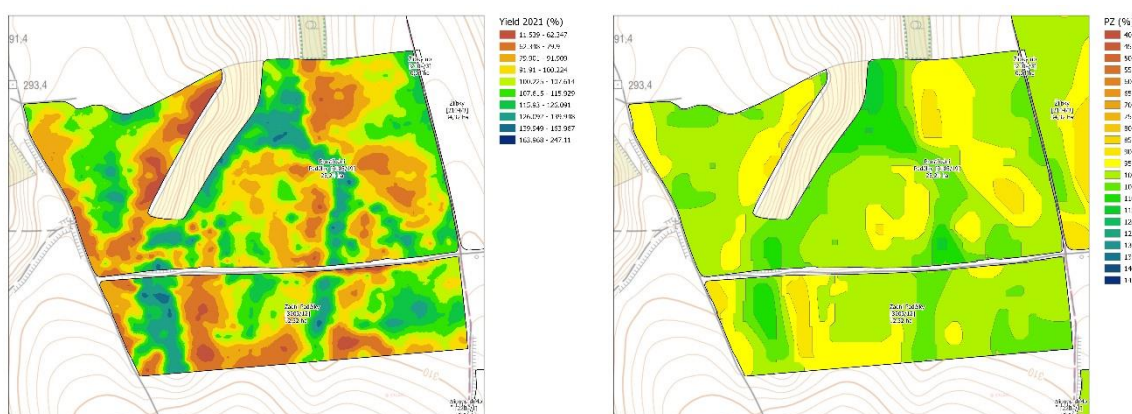
Mapování výnosů plodin

Vývoj sklízecí techniky v současnosti nabízí možnost celoplošného monitorování výnosu sklizené plodiny. Před použitím výnosových map je ale nutné záznamy ze sklízecí mlátičky upravit, neboť jsou zkresleny celou řadou vlivů (Blackmore a Marshall, 1996; Noack, 2007) - provést odstranění chybových, nespolehlivých a odlehlých hodnot daných chybným záznamem polohy, záběru, objížděním překážek a otáčením, apod. Podrobný popis zpracování výnosových záznamů uvádí celá řada zahraničních studií (Leroux et al., 2018; Lyle et al., 2014; Ping a Dobermann, 2005; Sudduth a Drummond, 2007; Vega et al., 2019). Kromě chybových záznamů může být problematické také zpracování záznamů z více sklízecích mlátiček provádějících současně sklizeň na jednom pozemku.



Obr. 2 Zpracování výnosových záznamů – bodové záznamy před (vlevo), po filtraci (uprostřed) a vytvořená celoplošná mapa po interpolaci (vpravo). Odstraněny jsou záznamy s odlehlými a chybovými hodnotami - nižší šířkou záběru, nájezdy do porostu, otáčení sklízecí techniky, apod.

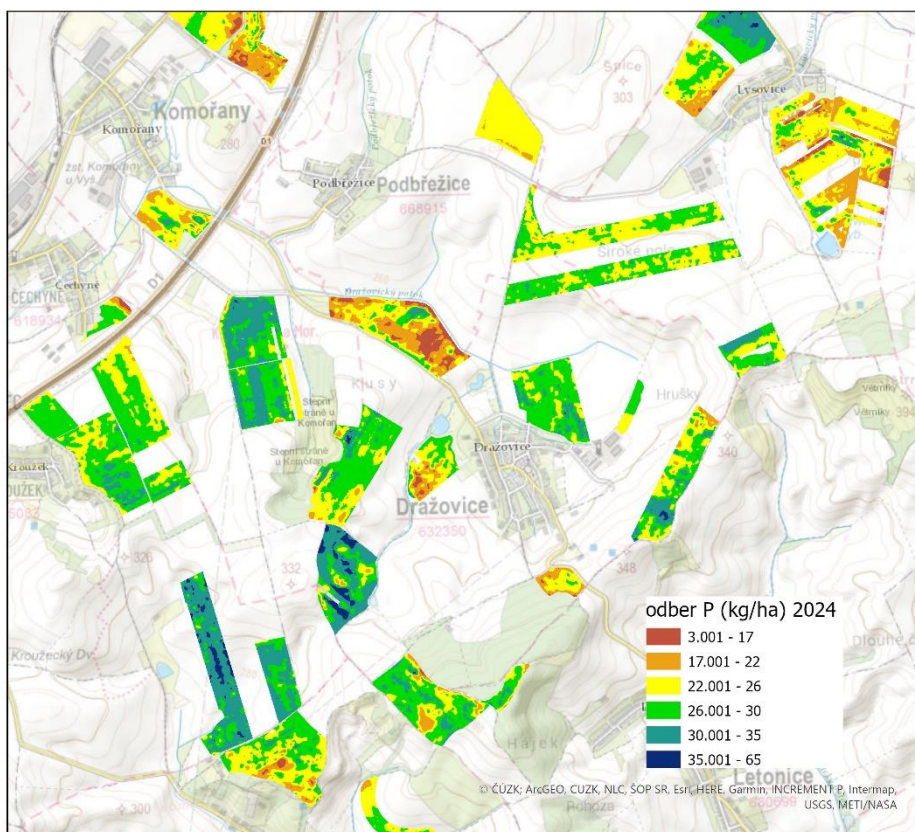
Pro vymezení výnosových hladin je vhodné kombinovat výnosové záznamy za více ročníků. Cílem je vyhodnotit variability výnosových úrovní za sledované období a identifikovat nadprůměrně či podprůměrně výnosné plochy včetně procentuální vztažení vůči průměrné hodnotě dosaženého výnosu plodiny (Blackmore et al. (2003). Lukas et al. (2011) popisují postup zpracování výnosových map, kdy kombinací (zprůměrováním) historických map s relativním výnosem lze do určité míry eliminovat ročníkové rozdíly a získat přehled o rozložení výnosového potenciálu na daném území. Hodnota výnosové úrovně vyjadřuje procentuální porovnání výnosu na daném místě s průměrným výnosem ve sledovaném roce za celý pozemek. Ucelený sběr výnosových záznamů sklízecí technikou je však v zemědělských podnicích spíše výjimečný a výsledné výnosové záznamy vyžadují pokročilé postupy filtrace odlehlých a chybných hodnot.



Obr. 3 Porovnání relativních hodnot výnosu ze záznamů pořízených při sklizni 2021 (vlevo) a produkčních zón v podobě relativního výnosového potenciálu (vpravo) (Lukas et al., 2022)

Alternativní postup představuje vymezení produkčních zón včetně kvantifikace odchylky od průměru pozemku na základě prostorové analýzy časové řady multispektrálních družicových

dat. Relativní výnosový potenciál je vypočten jako procentuální vyjádření dosažené produktivity na daném místě vůči průměrné hodnotě za celý pozemek; vždy jednotlivě pro každé sledované vegetační období s následným zprůměrováním za celou časovou řadu dat. Bližší popis postupu výpočtu produkčních zón uvádí Lukas et al. (2018). Produktivita je odvozena od vegetačních indexů, které vykazují vysokou shodu s dosahovaným výnosem (nejčastěji NDVI, EVI či LAI). Zdrojem dat jsou multispektrální družicové systémy Sentinel-2, PlanetScope či Landsat. Podobně jako u výnosových map je výsledkem identifikace podprůměrných nebo nadprůměrných oblastí na pozemcích napříč sledovanými ročníky. Produktivita je ale definovaná relativním vyjádřením či identifikací zóny, určení absolutní hodnoty výnosu plodiny je obtížné. Lze si však pomoci průměrnou hodnotou dlouhodobě dosahovaného výnosu na daném stanovišti a jeho rozpětí přepočítat dle rozsahu heterogenity produkčních zón. V případě dostupnosti výnosových map lze procentuální rozpětí relativního výnosového potenciálu korigovat o reálně změřené výnosy na daném území.



Obr. 4 Mapa odběru fosforu vypočtena z výnosových záznamů pořízených při sklizni v roce 2024 na pozemcích zemědělské společnosti Rostěnice a.s.

Posledním krokem při výpočtu normativní dávky je přepočet odebraných živin na celkovou produkci, která vychází z tabulek odběru živin na jednotku produkce pro jednotlivé plodiny a užité směry pěstování (Wollnerová et al., 2022). Výsledkem výpočtu v prostředí GIS je mapová vrstva odběru živin v $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, která může sloužit pro naplňování hnojení pro pokrytí živin odebraných při sklizni. Nezohledňuje ale stav živin v půdě či interakce s dalšími agrochemickými vlastnostmi (např. výměnná reakce půdy či poměry živin).

2. Zohlednění plošné variability obsahu přístupných živin v půdě

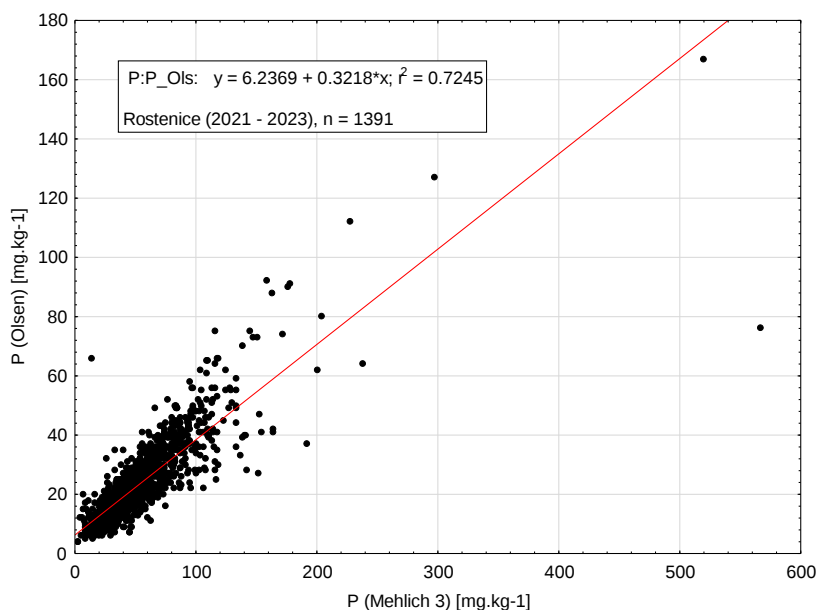
Odběr živiny na potřebu produkce v normativní dávce je dále korigován dle hodnocení obsahu přístupných živin v půdě. Pro stanovení obsahu se používá několik analytických metod. V rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) je zavedena metoda Mehlich 3 pro stanovení obsahu přístupných živin (vyhláška č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů). Kritéria jsou uvedeny v Tab. 1. Pracovní postup agrochemického zkoušení zemědělských půd v ČR je vydán formou Metodického pokynu ÚKZÚZ (Smatanová a Florián, 2022).

Tab. 1 Kritéria hodnocení obsahu přístupných živin metodikou Mehlich 3 pro ornou půdu (Vyhláška č. 275/1998 Sb.)

obsah	FOSFOR (mg.kg ⁻¹)		DRASLÍK (mg.kg ⁻¹)			HOŘČÍK (mg.kg ⁻¹)		
			půda			půda		
	SP ¹⁾	ICP-OES ²⁾	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
nízký	do 50	do 55	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120
vyhovující	51-80	56-85	101-160	106-170	171-260	81-135	106-160	121-220
dobrý	81-115	86-125	161-275	171-310	261-350	136-200	161-265	221-330
vysoký	116-185	126-200	276-380	311-420	351-510	201-285	266-330	331-460
velmi vysoký	nad 185	nad 200	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

¹⁾ stanovení spektrofotometricky, ²⁾ stanovení metodou ICP-OES

Nízká hodnota pH extrakčního činidla Mehlich 3 (přibližně pH = 2,5) může stanovovat větší množství živin, než je reálně rostlinou přijímáno (Mühlbachová et al., 2023). V porovnání s metodou stanovení obsahu fosforu dle Olsena jsou výsledky Mehlich 3 přibližně 2x větší (Macháček a Kunzová, 2023). Podobných výsledků bylo dosaženo v rámci sledování agrochemických vlastností půdy na pozemcích obhospodařovaných zemědělskou společností ROSTĚNICE a.s. v letech 2021 – 2023. Stanovení obsahu fosforu v 1391 vzorcích půdy vykazovalo u metody Mehlich 3 průměrný obsah 71 mg.kg⁻¹, zatímco analýza dle Olsena prokázala průměrný obsah 22 mg.kg⁻¹ (Obr. 5). Další doporučovanou metodou s menší extrakční silou pro přesnější odhad živin dostupných pro rostliny je KVK-UF (Matula, 2007; Mühlbachová et al., 2023).



Obr. 5 Porovnání stanovení obsahu fosforu metodou Mehlich 3 a dle Olsena. Výsledky z laboratorních analýz půdních vzorků ($n = 1391$) v zemědělské společnosti Rostěnice a.s. v letech 2021 - 2023.

Na zásaditých (karbonátových) půdách s hodnotou pH nad 7,3 a obsahem Ca podle Mehlich 3 větším jak 3 500 mg.kg⁻¹ vykazují výsledky stanovení obsahu fosforu metodou Mehlich 3 často nízké hodnoty. Čermák et al. (2018) navrhuje modifikaci kritérií zásobenosti z důvodu podhodnocení obsahu P (Tab. 2).

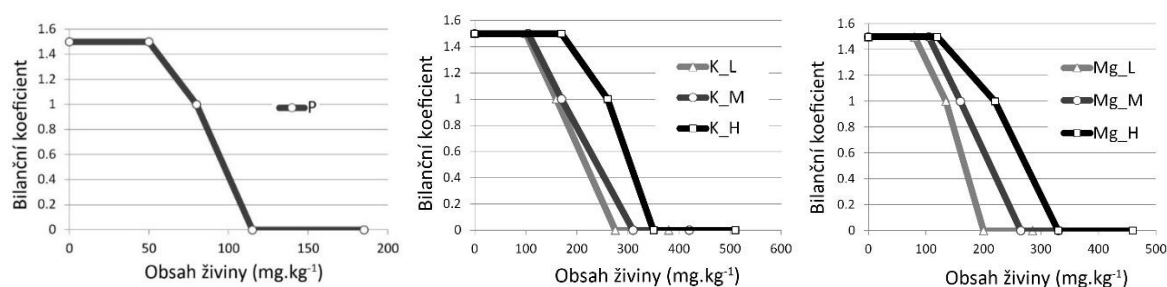
Tab. 2 Kritéria hodnocení obsahu přístupného fosforu na orné půdě stanoveného metodou Mehlich 3 s úpravou pro karbonátové půdy (Čermák et al., 2018)

Obsah	Obsah fosforu (mg.kg ⁻¹)	
	Nekarbonátové půdy	Karbonátové půdy
nízký	< 50	< 40
vyhovující	51 – 80	41 – 70
dobrý	81 – 115	71 – 105
vysoký	116 – 185	106 – 150
velmi vysoký	> 185	> 150

Na základě hodnocení obsahu živin v půdě je navrženo doporučení pro úpravu hnojení (Smatanová a Florián, 2022). Vychází z principu dosycení půdní zásoby, tzn. při nízkém obsahu živiny je navrženo navýšení normativní dávky o 50 % (tedy na 150 %). V dobré zásobenosti je dávkování na úrovni normativní dávky (100 %) a ve vysoké a velmi vysoké je doporučeno hnojení vypustit. V současnosti dochází k přehodnocení doporučení úpravy hnojení v jednotlivých kategoriích. Vyhovující obsah fosforu představuje optimální zásobu, kterou je třeba pravidelným hnojením pouze udržovat a hnojit dle odběru fosforu (Smatanová, 2021 in

Klír et al., 2024). Tyto změny jsou již reflektovány v návrhu ekoplatby na udržitelné hospodaření se živinami, kde pro vyhovující obsah fosforu je doporučeno hnojit dle odběru živiny (100 %), zatímco pro dobrý obsah fosforu se hnojení snižuje na 50 % (MZe, 2024). Pro nízkou zásobu fosforu zůstává navýšení na 150 %, stejně jako pro vysokou a velmi vysokou zásobu je doporučené hnojení vynechat (0 %) (Klír et al., 2024).

Podobné závěry vyplývají ze studie Hynšta et al. (2024). Autoři konstatují, že zvýšení vstupu fosforu v minerální či organické formě má pouze omezený vliv na výnos plodin a odběr živiny. Nevyužitý fosfor je při vysokých dávkách hnojiv v půdě akumulován a nevede ke zvýšení půdní úrodnosti. Výsledky naznačují, že udržení obsahu P v rozmezí vyhovující zásobenosti (50 – 80 mg P . kg⁻¹) v kombinaci s organickým hnojením či pěstováním leguminóz mohou vést pro využití P z hnojiv a půdní zásoby. Zásobní hnojení fosforem a vysoké dávky hnojiv nejsou obecně doporučovány na naplavených půdách (fluvizemě, černice) (Macháček a Kunzová, 2016).



Obr. 6 Bilanční koeficient pro P, K, Mg hnojení včetně rozlišení dle druhu půdy (Klír et al., 2008a, upraveno)

Klír et al. (2008b) navrhuje pro zásobní hnojení tzv. bilanční koeficient (BK), který vyjadřuje úpravu normativní dávky. BK odpovídá původním hodnotám korekce normativu, které jsou ale vyneseny do spojnicového grafu (Obr. 6). Hodnoty BK se pohybují v rozpětí 0 – 1,5 (tedy 0 – 150 % normativní dávky) pro jednotlivé hodnoty obsahu živiny v půdě. Pro zjednodušení klasifikace byla sestavena tabulka s 10 % škálou hodnoty BK (BK10) pro každou jednotku obsahu živiny v půdě (Lukas et al., 2011).

III. OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE

3. Popis Ověřené technologie

Úkolem Ověřené technologie je v praxi ověřit a zhodnotit postup, který byl navržen řešiteli v rámci řešení výzkumného projektu MZe NAZV QK21010247 „Optimalizace hospodaření na nevyrovnaných pozemcích využitím efektivního mapování půdních podmínek a zohlednění změn vláhových poměrů s cílem stabilizace dosahovaných výnosových úrovní“. Ověřovaný postup slouží k návrhu variabilní aplikace hnojiv na základě mapování plošné variability agrochemických vlastností půdy a výnosových úrovní.

4. Vlastní ověření a dosažené výsledky

Ověření mapování půdních vlastností bylo realizováno na pozemcích obhospodařovaných zemědělskou společností ROSTĚNICE a.s. v období 2021 - 2024. Jednalo se celkem o 162 pozemků orné půdy o souhrnné výměře 3.871 ha organizačně členěných ve střediscích Slavkov, Kučerov a Komořany, které byly zmapovány v období 2021 - 2023. Mapový přehled zájmového území je patrný z Obr. 8.

5.1 Mapování agrochemických vlastností půdy

Odběr půdních vzorků v rámci výzkumného projektu NAZV QK21010247 byl na území obhospodařovaném zemědělskou společností ROSTĚNICE a.s. realizován v období 2021 – 2023 po sklizni obilnin (červen až září) podle předem vytvořené odběrové sítě. Vzorky byly odebírány z hloubky 0 – 30 cm pomocí poloautomatické odběrové soupravy Nietfeld N2006, která je vybavena vrtacím zařízením a boxem pro sběr zeminy (Obr. 7). Na každém bodě byl proveden odběr 10 – 15 dílčích vzorků (vpichů) v ploše kolem bodu odběru o průměru cca 10 m. Pozice bodů byla určena pomocí RTK GNSS s přesností několika cm. Celkem bylo v letech 2021 - 2023 odebráno 1 846 vzorků, 48 vzorků v prvním roce, 1 032 vzorků v roce 2022 a 766 vzorků v roce 2023. Zájmové území zahrnovalo plochu o výměře 4 246 ha, průměrná hustota vzorkování tak činí 2,3 vzorků na 1 ha.

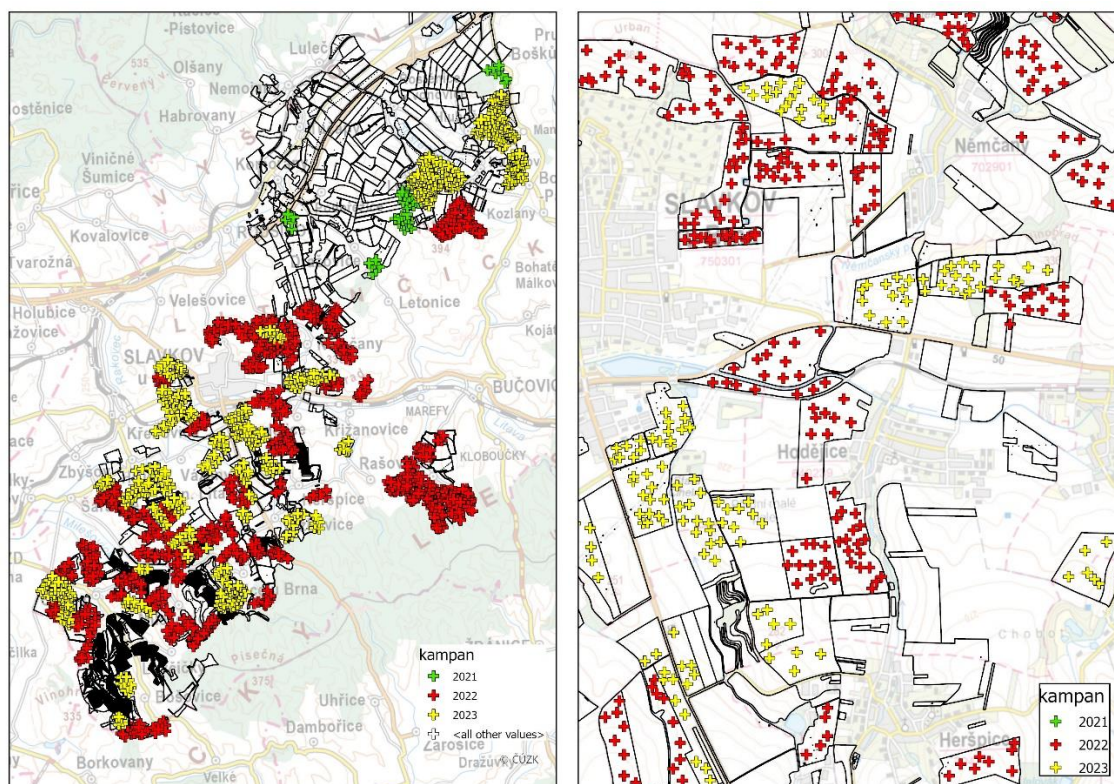


Obr. 7 Poloautomatická odběrová souprava Nietfeld N2006 tažená za terénním automobilem (vlevo) a pohled na vybavení v kabině k navádění na odběrová místa a ovládání vzorkovacího stroje (Blaha, 2023)

Vzorky půdy byly po odběru vysušeny volně na vzduchu a následně analyzovány v zemědělské laboratoři. Stanoven byl druh půdy pohmatovou zkouškou, výměnná půdní reakce ($\text{pH}/_{\text{CaCl}_2}$) a obsah přístupných živin (P, K, Mg, Ca) dle metodiky Mehlich 3. Analýzy byly doplněny o stanovení obsahu CaCO_3 pro určení karbonátových půd, stanovení obsahu fosforu dle Olsena ($n = 1\,391$) a mikroelementů dle Mehlich 3 ($n = 1\,798$). Souhrnné statistické údaje jsou uvedeny v Tab. 3. Hodnoty obsahu přístupného fosforu dle Mehlich 3 byly na základě doporučení zemědělské laboratoře korigovány dle indikace obsahu CaCO_3 – u vzorků s vyšším podílem CaCO_3 byly hodnoty obsahu přístupného fosforu zvýšeny z důvodu nižší extrakční schopnosti činidla na těchto vzorcích půdy. Jiný přístup nabízí Čermák et al. (2018), kteří pro karbonátové půdy upravili hodnotící kritéria (viz Tab. 2).

Tab. 3 Popisná statistika výsledků stanovení agrochemických vlastností půdy z půdních vzorků 2021-2023

	pH (CaCl_2)	Obsah P	Obsah P (korekce)	Obsah P (Olsen)	Obsah K	Obsah Mg	Obsah Ca	Obsah B	Obsah Mn	Obsah Zn	Obsah Cu
n	1846	1846	1846	1391	1846	1846	1846	1798	1798	1798	1798
Průměr	7.06	60.41	71.33	22.73	272.20	343.60	7189.12	1.73	167.86	4.15	4.17
Medián	7.45	51.00	62.00	20.00	237.00	320.50	7033.00	1.62	170.00	3.49	3.71
Minimum	3.79	3.00	6.00	4.00	40.00	63.00	395.00	0.02	22.00	0.04	0.23
Maximum	7.94	774.00	846.00	167.00	1334.00	1532.00	37855.00	9.09	335.00	74.47	57.93
Směr.odch.	0.83	45.26	51.78	13.56	137.28	118.48	3990.77	0.92	56.05	3.84	2.46
Var. koef. (%)	11.78	74.91	72.59	59.65	50.43	34.48	55.51	53.28	33.39	92.51	58.85

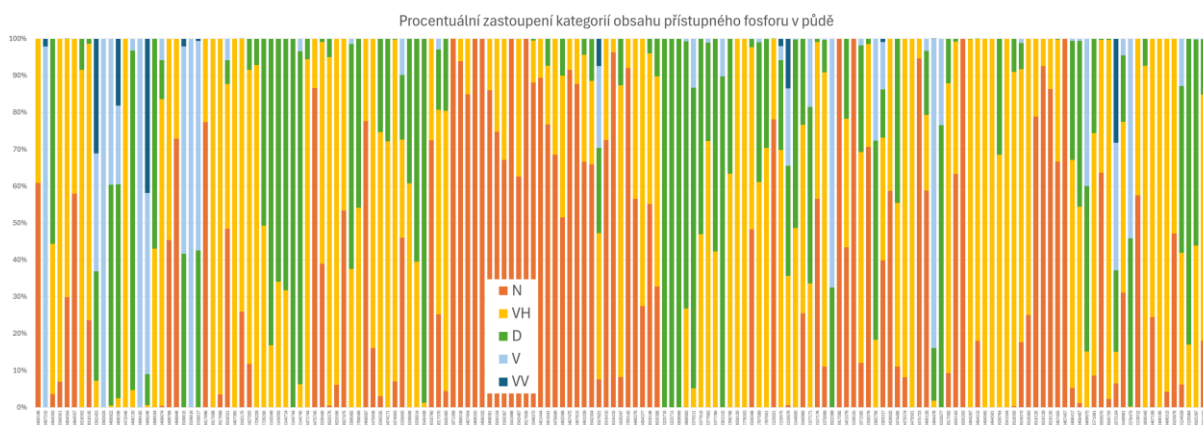


Obr. 8 Mapový přehled provedeného vzorkování půdy v zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s. v letech 2021 – 2023 s barevným odlišením jednotlivých odběrových kampaní – celkový přehled (vlevo) a detail na vybrané území (vpravo)

Z bodových dat byly pomocí prostorových interpolačních metod v prostředí ESRI ArcGIS Pro 3.2 vytvořeny celoplošné půdní mapy interpolační metodou *Empirical Bayesian Kriging* (EBK) (Krivoruchko, 2012). Výsledné mapy byly exportovány v rastrové podobě ve formátu GeoTIFF s prostorovým rozlišením 5 m na pixel a následně vstupovaly do procesu výpočtu dávky hnojení. Následný postup tvorby aplikačních map se zaměřoval na doporučení aplikace fosforečných hnojiv.

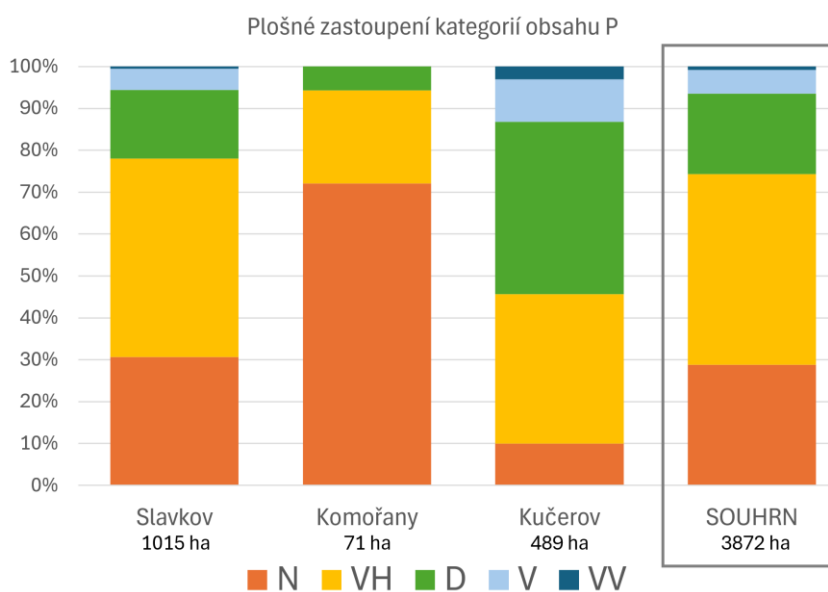
Tab. 4 Tabulkový souhrn plošného zastoupení kategorií obsahu fosforu

Středisko	n	Výměra	N	VH	D	V	VV
Slavkov	132	3311.61 ha	1015.26 30.66%	1569.85 47.40%	539.96 16.31%	168.71 5.09%	17.83 0.54%
Komořany	5	71.39 ha	51.46 72.09%	15.86 22.21%	4.07 5.70%	0.00 0.00%	0.00 0.00%
Kučerov	25	488.57 ha	48.71 9.97%	174.51 35.72%	200.66 41.07%	49.85 10.20%	14.84 3.04%
SOUHRN	162	3871.56 ha	1115.42 28.81%	1760.22 45.47%	744.69 19.23%	218.56 5.65%	32.67 0.84%



Obr. 9 Graf procentuálního zastoupení ploch s klasifikací obsahu fosforu pro všech 162 sledovaných pozemků.

Z celoplošných map obsahu fosforu bylo možné provést jeho klasifikaci na základě kritérií Mehlich 3 – viz Tab. 4 níže a Obr. 14 v příloze. Z výsledků vyplývá, že 28,81 % (1115 ha) území spadá do nízkého obsahu fosforu, vyhovující zásobenosti vykazuje 45,47 % plochy (1760 ha) a dobrý obsah 19,23 % (745 ha). Vysoký obsah byl mapován u 5,65 % (219 ha) a velmi vysoký pouze na 0,84 % (33 ha). Nejvíce pozemků spadalo v rámci sledovaného území ROSTĚNICE a.s. organizačně pod středisko Slavkov (3312 ha), dále Kučerov (489 ha) a Komořany (71 ha). Z grafu na Obr. 9, který ukazuje procentuální zastoupení kategorií pro všech 162 pozemků, jsou dobře patrné rozdíly v nevyrovnanosti pozemků v rámci takto členitého území.



Obr. 10 Grafický souhrn plošného zastoupení kategorií obsahu přístupného fosforu

5.2 Zpracování aplikačních map

Výsledná mapa aplikace živin je vytvořena kombinací mapové vrstvy korekce zásobenosti dle hodnocení obsahu živin v půdě z půdního vzorkování a plošného členění normativní dávky stanovené z odběru živin a rozložení výnosových úrovní (viz příklad na Obr. 11). Příprava aplikačních map předpokládá zohlednění prostorových rozdílů v rámci jednotlivých pozemků u každého kroku zpracování v GIS. Jako ideální se jeví práce s rastrovými vrstvami a to zejména kvůli mapové algebře, která umožňuje aritmetické operace s hodnotami pixelů mezi rastrovými vrstvami. Pokud nelze vyhodnotit prostorové rozdíly, je uvažována konstantní hodnota pro celou plochu pozemku.



Obr. 11 Kombinace mapy obsahu živiny (vlevo) s analýzou produktivity území formou produkčních zón (uprostřed) pro sestavení mapy dodání fosforu variabilní aplikací hnojiv (vpravo)

Postup tvorby aplikačních map byl realizován v celkem šesti variantách výpočtu aplikačních dávek fosforečných hnojiv zahrnující porovnání uniformní (UNI) a variabilní aplikace (VRA, VRY), využití klasifikace obsahu živin do pěti tříd zásobenosti dle Mehlich 3 (M3) či použití bilančního koeficientu pro zpřesněné stanovení korekce zásobenosti půdy - pro zjednodušení bylo členění BK klasifikováno do tříd po 10 % korekce (označeno jako BK10). Posledním porovnáním bylo zohlednění výnosových úrovní na pozemcích (VRY) vůči jednotné hodnotě odběru živin pro pozemek (VRA).

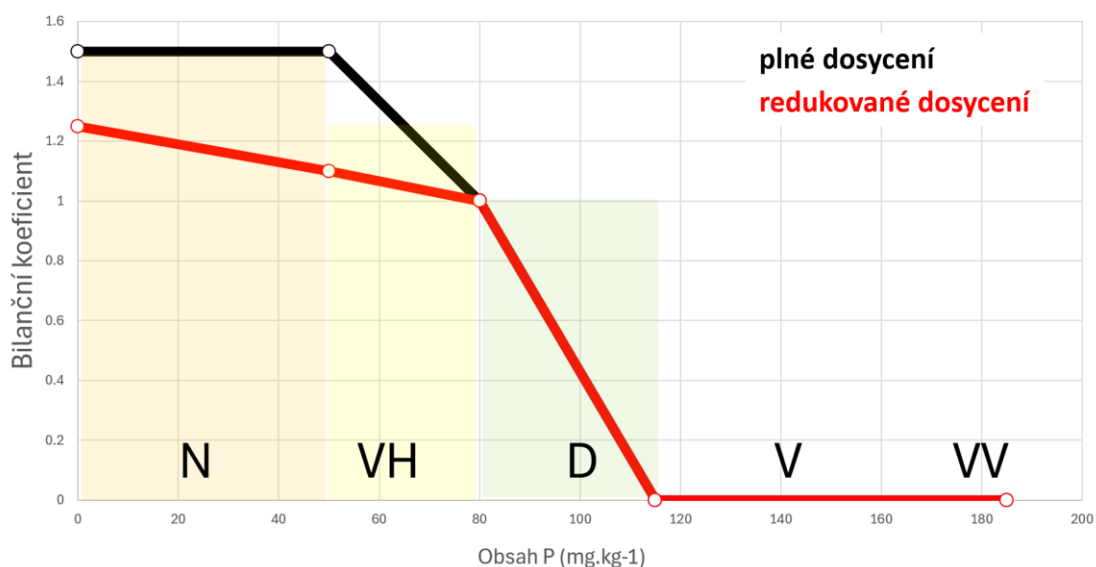
Přehled porovnávaných variant výpočtu:

- **Varianta UNI_M3** – uniformní hnojení se stanovením normativní dávky dle průměrného odběru živin a korekcí dle průměrného obsahu živiny s klasifikací do pěti tříd Mehlich 3.
- **Varianta UNI_BK10** – uniformní hnojení se stanovením normativní dávky dle průměrného odběru živin a korekcí dle průměrného obsahu živiny s klasifikací dle

bilančního koeficientu členěného do 15 tříd odstupňovaných po 10 % (rozsah 0–150 %).

- **Varianta VRA_M3** – Při stanovení dávky hnojení zohledňuje prostorovou variabilitu zásobenosti půdy živinami, klasifikovanou dle Mehlich 3. Normativ odběru živin výnosem je stanoven podle průměrného očekávaného výnosu za celý pozemek.
- **Varianta VRA_BK10** – Stanovení dávky hnojení podobně jako u varianty VRA_M3 s tím rozdílem, že klasifikace a korekce je prováděna dle bilančního koeficientu.
- **Varianta VRY_M3** – Pro hodnocení zásobenosti využívá klasifikaci dle Mehlich 3, při stanovení dávky hnojení je zohledňována výnosová úroveň jednotlivých produkčních zón v rámci pozemku.
- **Varianta VRY_BK10** – stejně jako varianta VRY_M3 zohledňuje prostorovou variabilitu ve výnosech plodin (výnosový potenciál), využívá ale podrobnější členění zásobenosti pomocí bilančního koeficientu po 10 %.

Varianta výpočtu bilančního koeficientu vychází z předpokladu významného navýšení aplikačních dávek v kategorii nízkého obsahu živin o 50 % nad pokrytí odběru živin výnosem. Toto navýšení platí v celé šíři kategorie nízkého obsahu fosforu (0 – 50 mg.kg⁻¹). Proto byla navržena úprava v podobě redukovaného dosycení v nízké kategorii zásobenosti s navýšením pokrytí odběru fosforem z 25 % s postupným přechodem na úroveň bilančního hnojení (na hranici mezi vyhovující a dobrou zásobou fosforu) – viz graf na Obr. 12. Jedná se také o ekonomicky přijatelnější variantu optimalizace hnojení s cílem alespoň mírného zlepšení výživného stavu půdy v oblastech s nejnižším obsahem přístupného fosforu.



Obr. 12 Graf bilančního koeficientu v původním rozložení (černě) a s navrženou redukcí dosycení v nízké a vyhovující kategorii obsahu fosforu (červeně).

Pro ověření vlivu obsahu živin a relativního stanovení odběru živin byl použit modelový výpočet s nastavením stejné plodiny (pšenice ozimá) a průměrného výnosu (6 t.ha⁻¹) pro všechny pozemek. Toto nastavení nereflkuje stav osevní na daných plochách a rozdílnou

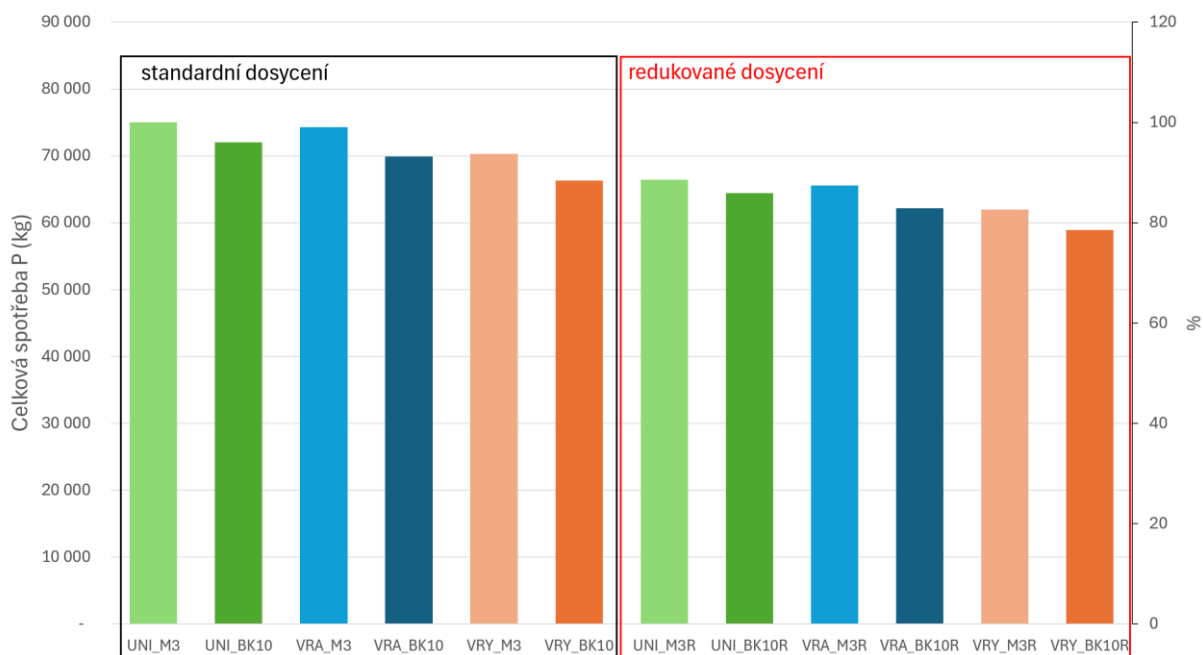
produktivitu pozemků, umožňuje ale sledovat vliv kombinace relativního rozložení výnosů z relativního výnosového potenciálu a hodnocení zásobenosti půdy živinami. Jako hnojivo byl zvolen trojitý superfosfát (TSP) s obsahem 45 % P₂O₅ (21 % P).

Tab. 5 Tabulkový souhrn výsledků porovnání variant výpočtu na celkové spotřebě fosforu a trojitého superfosfátu (TSP) pro zájmové území (3 871 ha)

varianta	Dávka P (kg)	Dávka P (kg/ha)	Dávka TSP (kg)	Dávka TSP (kg/ha)	% rozdíl (UNI_M3)
standardní dosycení					
UNI_M3	78 134	20.18	372 065	96.10	100.00
UNI_BK10	75 054	19.39	357 398	92.31	96.06
VRA_M3	77 399	19.99	368 568	95.20	99.06
VRA_BK10	72 842	18.81	346 867	89.59	93.23
VRV_M3	73 249	18.92	348 807	90.09	93.75
VRV_BK10	69 093	17.85	329 017	84.98	88.43
redukováné dosycení					
UNI_M3R	69 233	17.88	329 682	85.15	88.61
UNI_BK10R	67 129	17.34	319 662	82.57	85.92
VRA_M3R	68 310	17.64	325 286	84.02	87.43
VRA_BK10R	64 796	16.74	308 554	79.70	82.93
VRV_M3R	64 576	16.68	307 505	79.43	82.65
VRV_BK10R	61 394	15.86	292 354	75.51	78.58

Výsledky porovnání variant výpočtu pro sledované území zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s. o výměře 3 871 ha jsou uvedeny v Tab. 5 a shrnuty v grafu na Obr. 13. Z údajů vyplývá snížení spotřeby aplikovaného hnojiva zavedením plynulejší klasifikace obsahu formou bilančního koeficientu v porovnání s tradičním systémem pěti tříd ve všech sledovaných variantách. Toto snížení se pohybovalo v intervalu 2,69 – 5,83 % napříč variantami (UNI, VRA, VRV). Podobně zohlednění výnosových úrovní (VRV) se na modelovém výpočtu projevilo snížením spotřeby živiny o 4,35 – 5,31 % vůči variantě s celoplošně konstantní produktivitou (VRA).

Snížení celkové spotřeby hnojiv u varianty redukováné dosycení bylo očekávatelné, vyčísleno byla v rozsahu 9,85 – 11,63 % napříč všemi modelovými variantami. Pokud bude spotřeba živiny u varianty UNI_M3 představovat 100 %, tak u obou variant dosycení bylo nejnižší spotřeby dosaženo u varianty VRV_BK10 (11,32 – 11,57 %).



Obr. 13 Graf spotřeby fosforu v kg/ha pro hodnocené území napříč sledovanými variantami

Zatímco rozdíl mezi variantami VRA a VRY představuje identifikaci výnosových úrovní na pozemcích, která nemusí znamenat další náklady navíc (pokud je pěstitelem již využívána např. pro variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv), zavedení hodnocení obsahu přístupných živin v půdě odběrem půdních vzorků již znamená navýšení nákladů. Optimalizace hnojení s ohledem na stav půdního prostředí je ale základním předpokladem lokálně cíleného zemědělství a významně napomáhá ke zlepšení hospodaření na nevyrovnaných pozemcích.

IV. EKONOMICKÁ ANALÝZA

Vyhodnocení ekonomických přínosů ověřené technologie vychází z hodnocení plošné variability obsahu přístupných živin v půdě, identifikaci produkčních zón v rámci jednotlivých pozemků a způsobu výpočtu aplikačních map pro variabilní aplikaci hnojiv. Výsledky ověřování na 162 pozemcích zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s. s celkovou výměrou 3 871 ha ukázaly značné rozdíly v nevyrovnanosti pozemků a dopad na navrhované postupy. Porovnání variant modelového výpočtu aplikačních map poukázalo na možnost optimalizace plošného hnojení a snížení celkové spotřeby hnojiva. Zavedení klasifikace pomocí bilančního koeficientu znamenalo snížení spotřeby fosforu o 3 – 5 %. Zohlednění plošných diferencí ve výnosech plodin vedlo k dalšímu snížení o cca 5 %. Volba redukce dosycení pak představovala další snížení v rozsahu 10 – 11 %. Maximální úspory v porovnání s uniformním hnojením dle klasifikace Mehlich 3 (UNI_M3) na úrovni 21,42 % bylo dosaženo u varianty VRY_BK10 s redukcí dosycení. V případě výměry hodnoceného území (3 871 ha) lze tuto maximální úsporu vyčíslit rozdílem 79,7 t trojitého superfosfátu.

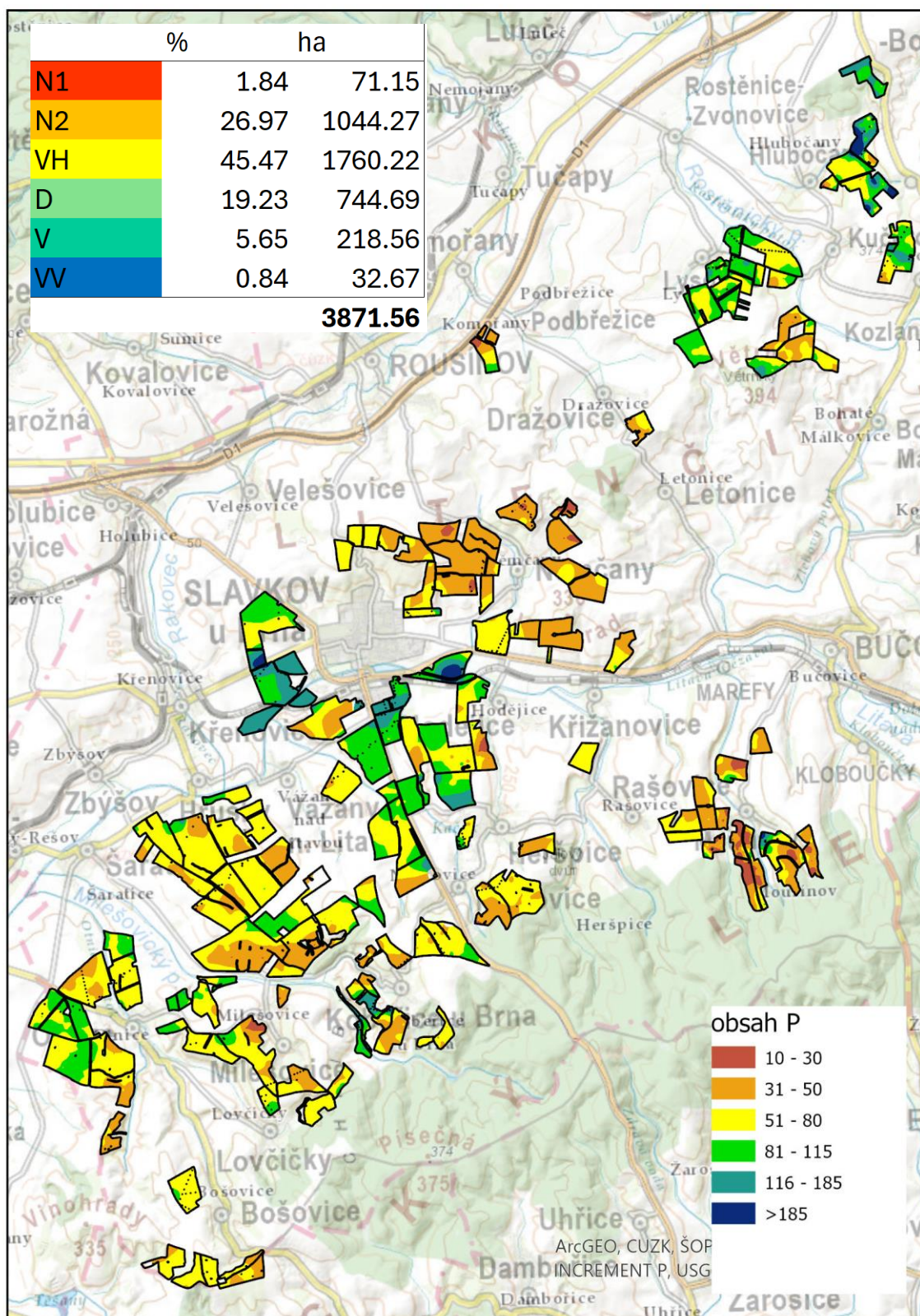
Přesné vyčíslení ekonomických přínosů pro ostatní uživatele je ale obtížné, je dáno prostorovou variabilitou půdních podmínek, úrovní obsahu živin a dosahovanou produktivitou při pěstování plodin. V případě zemědělských podniků, které dosud neprovádí podrobné hodnocení obsahu přístupných živin, je třeba kalkulovat náklady na zavedení pravidelného vzorkování půdy ve zvýšené hustotě.

Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Přizpůsobení aplikačních dávek daným agroekologickým podmínkám stanoviště má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí.

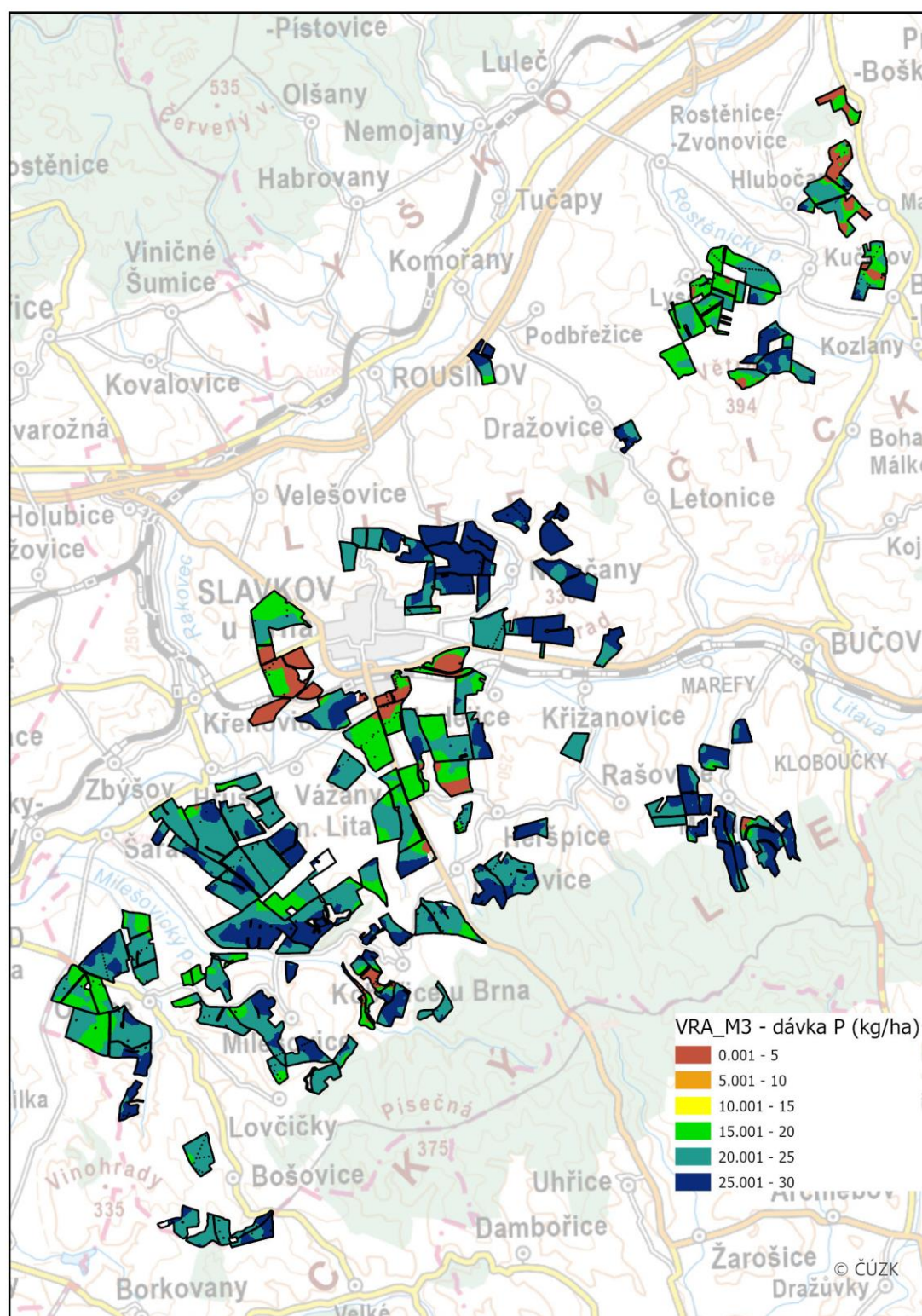
V. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Výsledky ověření technologie variabilní aplikace fosforečných hnojiv na pozemcích obhospodařovaných zemědělskou společností ROSTĚNICE a.s. ukázaly na pozitivní efekty variabilní aplikace fosforečných hnojiv. Základem je nastavení aplikačních dávek dle množství odebraných živin na dosaženou produkci zajišťuje bilanční formu návratu živin, zatímco detekce zón s obsahem přístupných živin v kategorii dobré, vysoké či velmi vysoké zásobenosti omezuje přehnojení danou živinou. Zpřesnění dávkování také zajišťuje implementace bilančního koeficientu, který upravuje korekci dávkování živin dle plynulejší kategorizace obsahu živin. Navrhovaná redukce dosycení v zónách s nízkým obsahem (ze 150 % na 125 %) představuje snížení dávek hnojiv v místech s nejistým účinkem dosycení z různých důvodů a zajišťuje opatrný přístup při zvyšování obsahu přístupných živin minerální výživou.

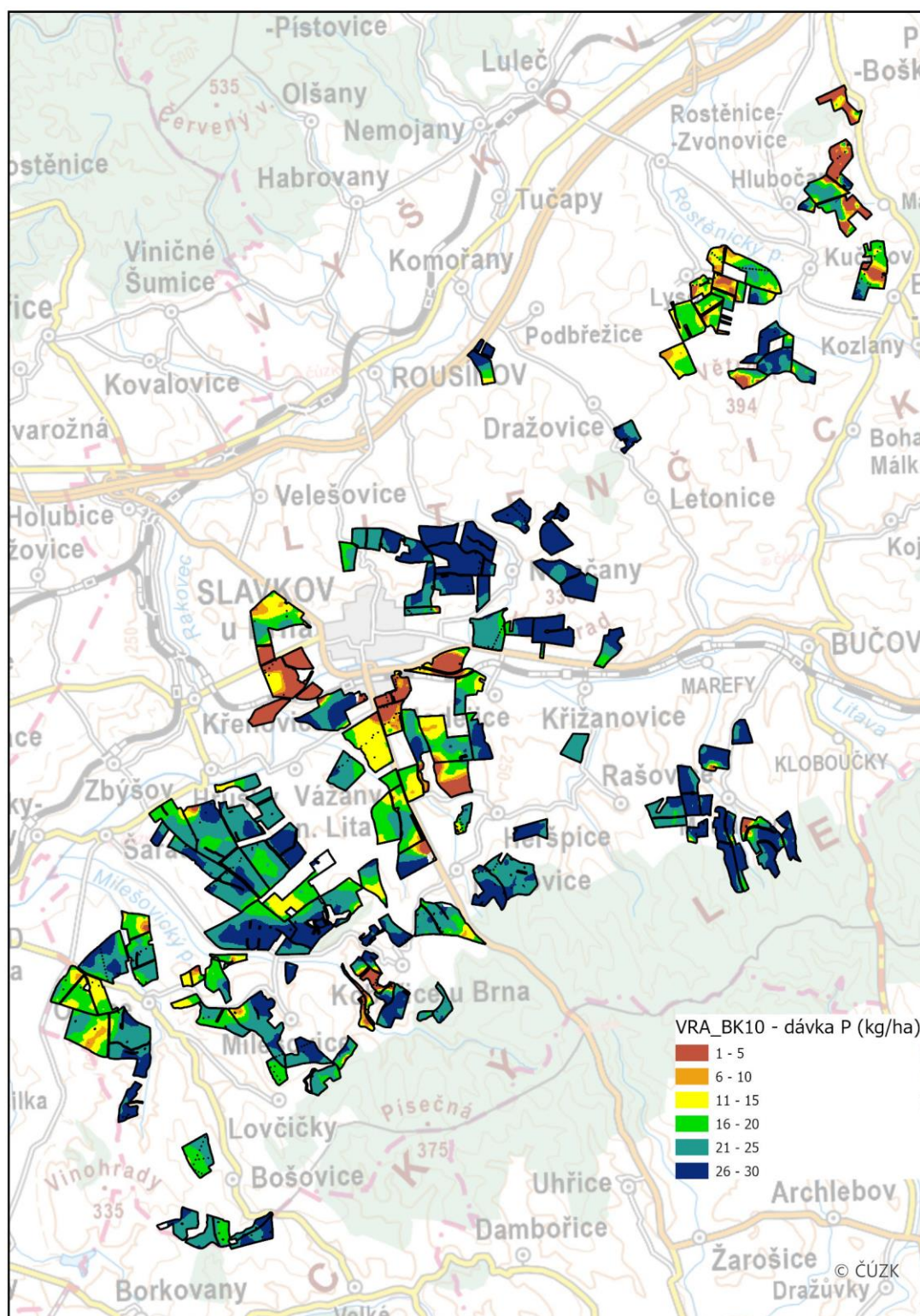
VI. PŘÍLOHA



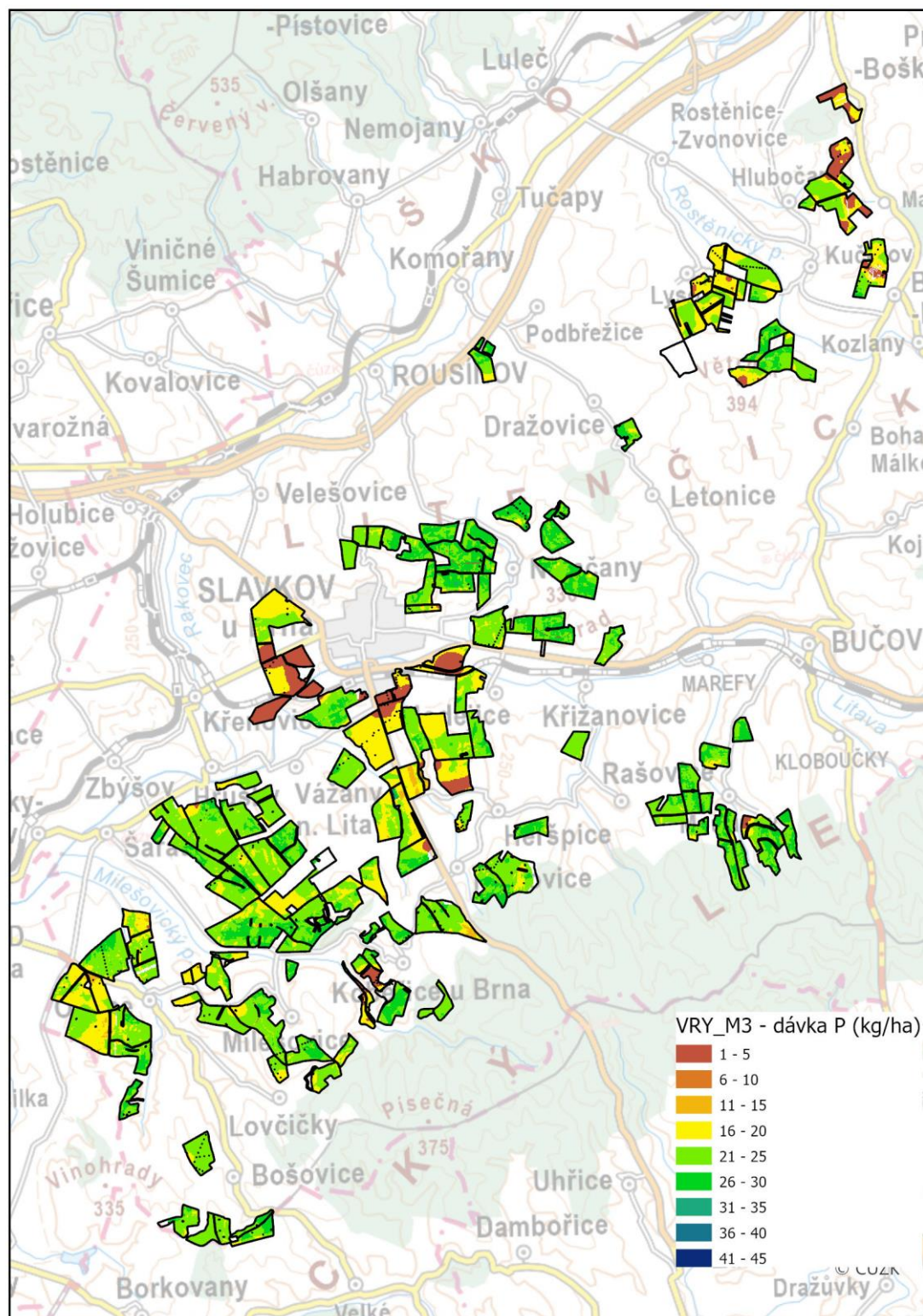
Obr. 14 Mapa klasifikovaného obsahu fosforu pro sledované území zemědělské společnosti Rostěnice a.s. Hodnocení nízkého obsahu bylo rozčleněno na další dvě podkategorie pro zvýraznění nejproblematictějších míst (N1 = 0 – 30 mg.kg⁻¹, N2 = 31 – 50 mg.kg⁻¹).



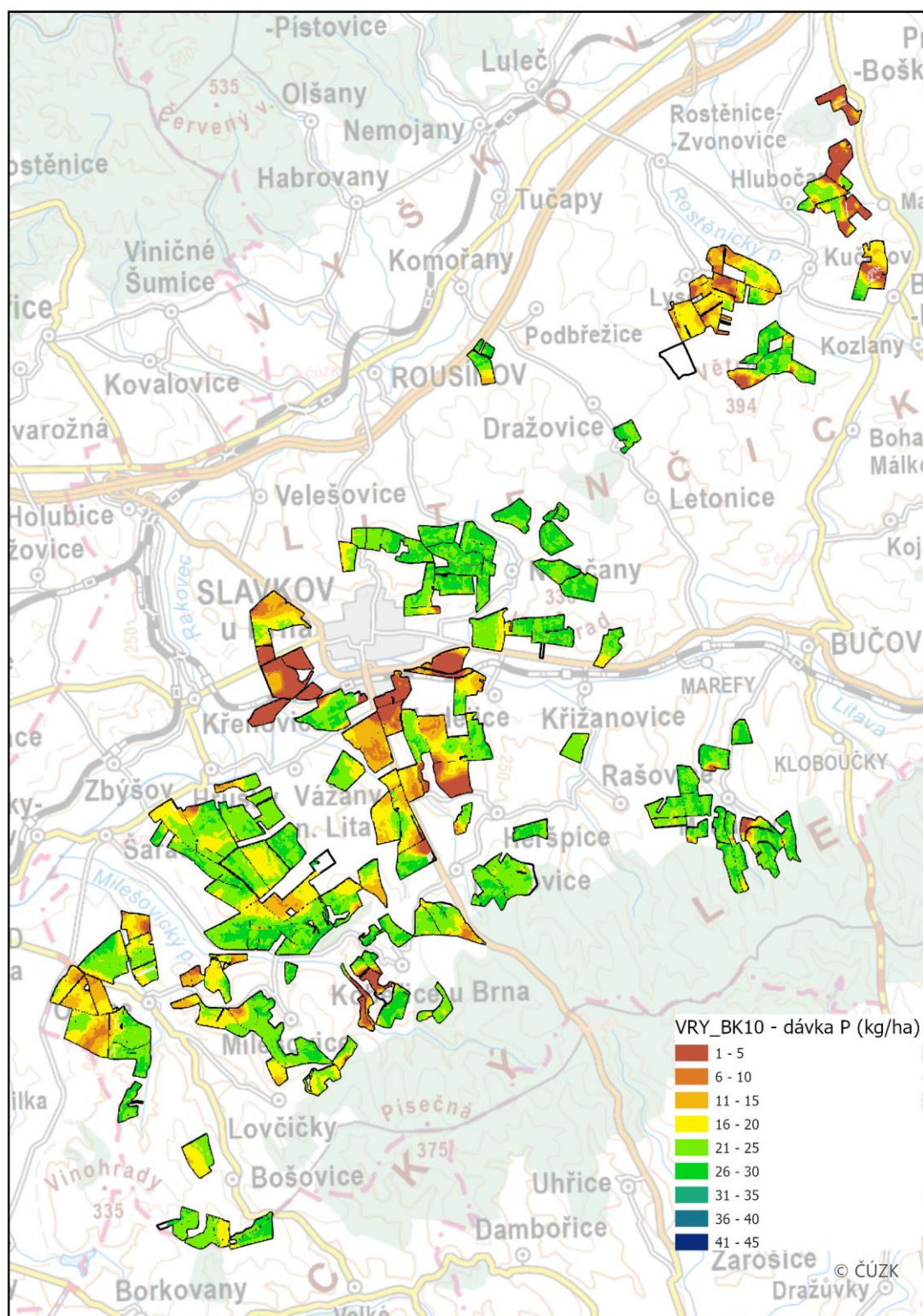
Obr. 15 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRA_M3



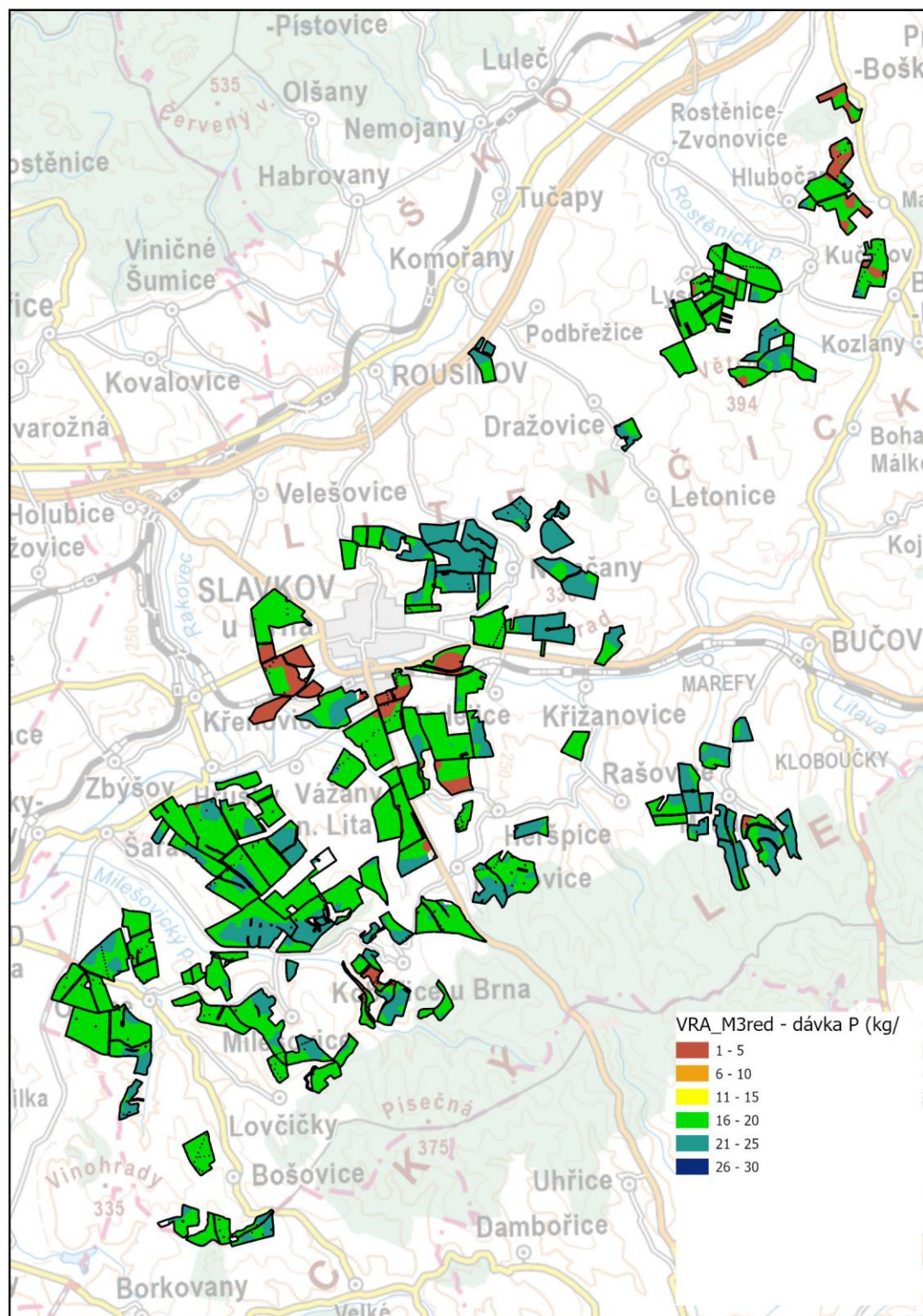
Obr. 16 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRA_BK10



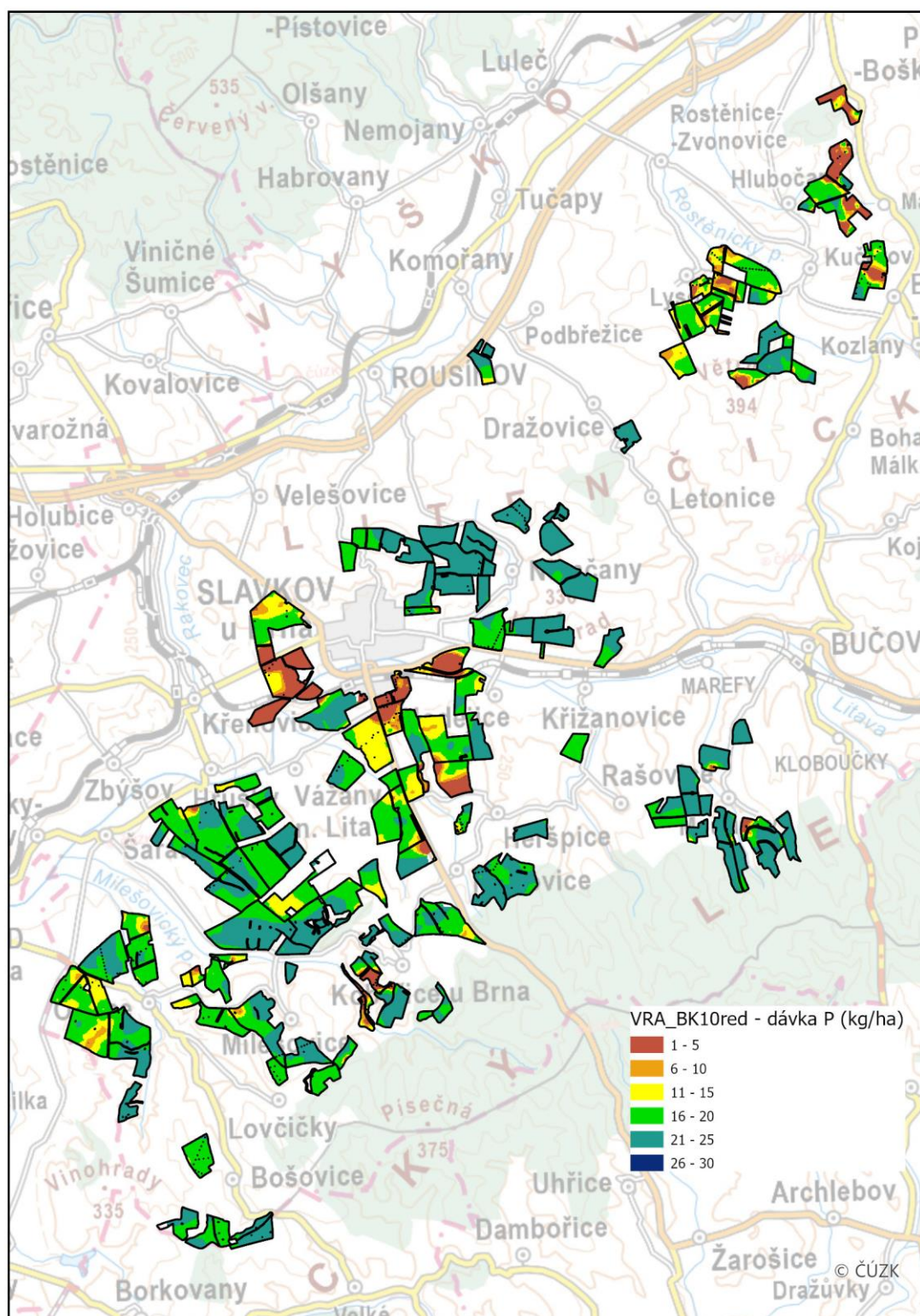
Obr. 17 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRY_M3



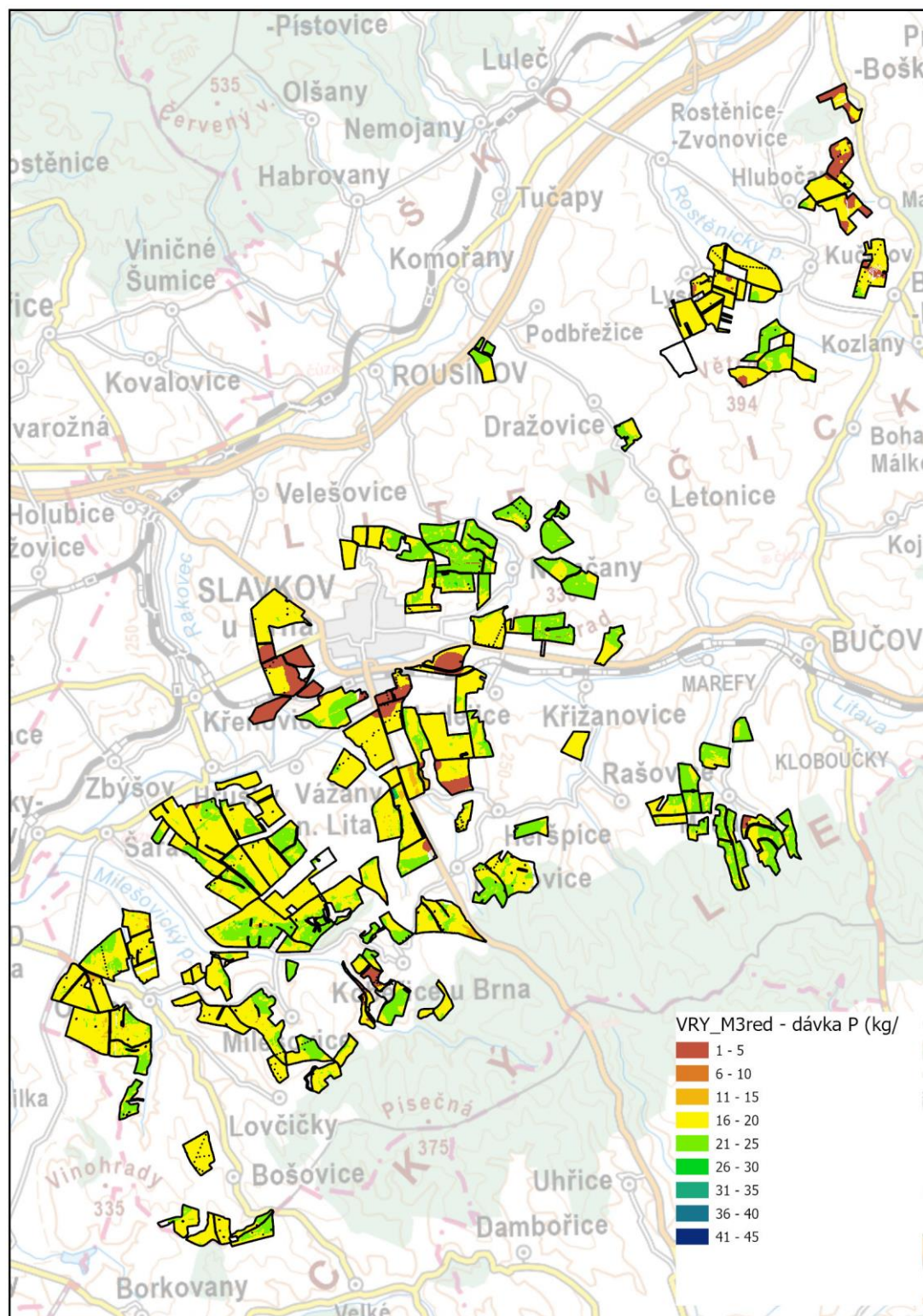
Obr. 18 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRY_BK10



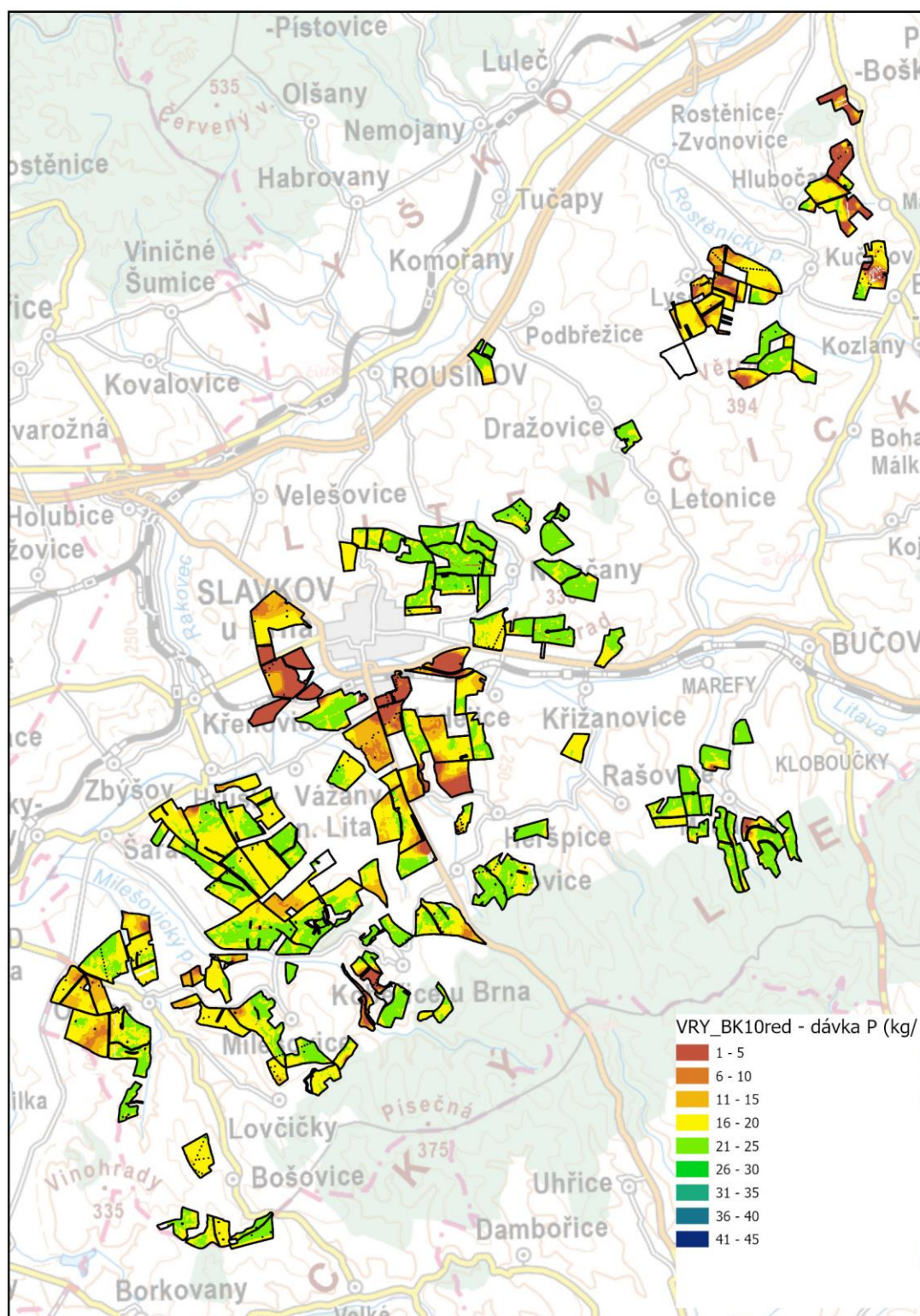
Obr. 19 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRA_M3 s redukováným dosycením



Obr. 20 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRA_BK10 s redukovaným dosycením



Obr. 21 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) u varianty VR_Y_M3 s redukováným dosycením



Obr. 22 Mapa aplikace fosforu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u varianty VRY_BK10 s redukovaným dosycením

VII. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- <Pena-Barragan-etal - Mapping *Ridolfia segetum* patches in sunflower crop using remote sensing (2007).pdf>.
- Blackmore, S., Godwin, R. J., Fountas, S. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosystems Engineering*. 2003, vol. 84, no. 4, pp. 455-466. 4//. ISSN 1537-5110
- Blackmore, S., Marshall, C. Yield mapping; errors and algorithms, in 3rd International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA, 1996.
- Blaha, J. *Mapování půdních vlastností a ekonomické vyhodnocení variabilní aplikace zásobního hnojení*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, 2023. 160.
- Čermák, P., Mühlbachová, G., Káš, M., Pechová, M., Lošák, T., Hlušek, J., Kulhánek, M., Sedlář, O., Balík, J. Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2018, p. 33.
- Hynšt, J., Urbánková, E., Obdržálková, E., Jančíková, S., Smatanová, M. Effect of increasing rate of P fertilization on available P content in soil and plant uptake: implications for P management. *Journal of Plant Nutrition*. 2024, vol. 47, no. 11, pp. 1834-1849. 2024/07/02. ISSN 0190-4167
- Klír, J., Haberle, J., Hlisnikovský, L., Kozlovská, L., Kunzová, E., Kusá, H., Madaras, M., Menšík, L., Mühlbachová, G., Nerušil, P., Raimanová, I., Růžek, P., Svoboda, P., Šimon, T., Wollnerová, J. *Udržitelné hospodaření se živinami a organickými látkami*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2024, 72 s. ISBN 978-80-7427-430-5.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. *Frame methodics of plant nutrition and fertilization (In Czech: Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení)*, 2. Prague: Crop Research Institute., 2008a. ISBN 978-80-87011-61-4
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*, 2. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008b. ISBN 978-80-87011-61-4
- Krivoruchko, K. Empirical Bayesian Kriging implemented in ArcGIS Geostatistical Analyst. *ArcUser*. 2012, vol. 15, no. 4.
- Leroux, C., Jones, H., Clenet, A., Dreux, B., Becu, M., Tisseyre, B. A general method to filter out defective spatial observations from yield mapping datasets. *Precision Agriculture*. 2018, vol. 19, no. 5, pp. 789-808. October 01. ISSN 1573-1618
- Lukas, V., Neudert, L., Duffková, R., Fučík, P., Mezera, J. *Mapa výnosového potenciálu pro Zemědělské družstvo Kojčice* Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2018, 40 s. ISBN 978-80-7509-631-9
- Lukas, V., Neudert, L., Širůček, P., Horniaček, I., Mezera, J. Mapa rozložení výnosových hladin z dostupných výnosových záznamů a stanovení produkčních zón z družicových dat pro ROSTĚNICE a.s., Mendelova univerzita v Brně, 2022.
- Lukas, V., Ryant, P., Neudert, L., Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V. *Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 36 s. ISBN 978-80-7375-561-4
- Lyle, G., Bryan, B. A., Ostendorf, B. Post-processing methods to eliminate erroneous grain yield measurements: review and directions for future development. *Precision Agriculture*. 2014, vol. 15, no. 4, pp. 377-402. 2014/08/01. ISSN 1385-2256
- Macháček, V., Kunzová, E. Hnojení fosforem v naplavených půdách. *Agromanuál*. 2016, str. <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-fosforem-v-naplavenych-pudach>
- Macháček, V., Kunzová, E. Olsenova metoda pro stanovení přístupného fosforu na karbonátových půdách a následné hnojení. *Agromanuál*. 2023, str. <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/olsenova-metoda-pro-stanoveni-pristupneho-fosforu-na-karbonatovych-pudach-a-nasledne-hnojeni>
- Matula, J. *Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2007. ISBN 978-80-87011-16-4.

- Mühlbachová, G., Kusá, H., Vavera, R., Káš, M. *Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě*.: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2023. ISBN 978-80-7427-425-1.
- MZe. *Metodika k provádění nařízení vlády č. 83/2023 Sb. o stanovení podmínek poskytování přímých plateb zemědělcům, v platném znění*. . Ministerstvo zemědělství, 2024. ISBN.
- Noack, P. O. *Ertragskartierung im Getreidebau*. Darmstadt: KTBL, 2007, 40 s. ISBN 3939371424
- Ping, J. L., Dobermann, A. Processing of yield map data. *Precision Agriculture*. 2005, vol. 6, no. 2, pp. 193-212. ISSN 13852256
- Recena, R., Fernández-Cabanás, V. M., Delgado, A. Soil fertility assessment by Vis-NIR spectroscopy: Predicting soil functioning rather than availability indices. *Geoderma*. 2019, vol. 337, pp. 368-374. 2019/03/01/. ISSN 0016-7061
- Smatanová, M., Florián, M. Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2023 až 2028. Metodický pokyn č. 1/AZZP, ÚKZÚZ Brno, 2022, p. 26.
- Sudduth, K. A., Drummond, S. T. Yield Editor: Software for Removing Errors from Crop Yield Maps. *Agron J*. 2007, vol. 99, no. 6, pp. 1471-1482. October 15, 2007
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., Balzarini, M. Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*. 2019. ISSN 1385-2256
- Wollnerová, J., Kozlovská, L., Klír, J. *Hospodaření ve zranitelných oblastech - 5. akční program nitratové směrnice*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2022. ISBN 978-80-7427-376-6.

VIII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY VZNIKU OVĚŘENÉ TECHNOLOGIE

- Blaha, J. Mapování půdních vlastností a ekonomické vyhodnocení variabilní aplikace zásobního hnojení. Agromanuál 9-10/2024.
- LUKAS, Vojtěch; ELBL, Jakub; DUFFKOVÁ, Renata; ŠIRŮČEK, Petr; MEZERA, Jiří; NEUDERT, Lubomír; 2022. Využití nástrojů precizního zemědělství pro lepší hospodaření se živinami. In: Sborník z 28. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku hnojení rostlin v době hospodářské krize. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 43-49. ISBN 978-80-213-3226-3.
- LUKAS, Vojtěch; NEUDERT, Lubomír; ŠIRŮČEK, Petr; HORNIAČEK, Igor; MEZERA, Jiří; 2022. Mapa rozložení výnosových hladin z dostupných výnosových záznamů a stanovení produkčních zón z družicových dat pro ROSTĚNICE a.s.. http://user.mendelu.cz/xlukas0/publikace/Lukas_Nmap_Rostenice_2022.pdf
- LUKAS, Vojtěch; NEUDERT, Lubomír; ŠIRŮČEK, Petr; NOVÁK, Jaroslav; ELBL, Jakub; 2021. Význam variabilní aplikace fosforečných a draselných hnojiv u cukrové řepy. Listy cukrovarnické a řepařské. 137(12), 417-422. ISSN 1210-3306. http://www.cukr-listy.cz/on_line/2021/PDF/417-422.pdf
- LUKAS, Vojtěch; ŠIRŮČEK, Petr; NEUDERT, Lubomír; MEZERA, Jiří; ELBL, Jakub; 2022. Mapping the spatial heterogeneity of arable fields from crop yield records and remotely sensed data. 2nd Central European ISTRO Conference (CESTRO), 8th International Conference of the Czech ISTRO branch. 06.09.2022 - 08.09.2022, Brno. In: Trends and challenges in soil-crop management: Book of abstracts. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 46. ISBN 978-80-7509-847-4. http://www.istro.cz/soub/2022/Book_of_abstracts_CESTRO_2022_Brno.pdf
- NIEDERHAFNER, Karel; LUKAS, Vojtěch; 2024. Hodnocení plošné variability agrochemických vlastností půdy s využitím optimalizované odběrové sítě. Konference mladých vědců 2024. 11.12.2024 - 11.12.2024, Brno. In: Konference mladých vědců 2024: Sborník abstraktů ze semináře. Troubsko: Zemědělský výzkum, 41-42. ISBN 978-80-88000-48-8.
- NIEDERHAFNER, Karel; LUKAS, Vojtěch; BLAHA, Jiří; ŠIRŮČEK, Petr; ELBL, Jakub; ŽÍŽALA, Daniel; 2023. Mapping of Soil Spatial Variability by Soil Sampling in Optimized Sampling Grid. 1st International Scientific Conference „Agricultural Challenges to Climate Change“. 19.09.2023 - 22.09.2023, Osijek. In: The role and status of modern agriculture in climate change: Innovative and sustainable approaches. Osijek: University Josip Juraj Strossmayer of Osijek, 42-43. ISBN 978-953-8421-07-5. https://agriclimate.fazos.hr/wp-content/uploads/2023/10/A3C_book_of_abstracts.pdf
- ŽÍŽALA, Daniel; PRINC, Tomáš; SKÁLA, Jan; JUŘICOVÁ, Anna; LUKAS, Vojtěch; BOHOVIC, Roman; ZÁDOROVÁ, Tereza; MINAŘÍK, Robert; 2024. Soil sampling design matters - Enhancing the efficiency of digital soil mapping at the field scale. Geoderma Regional. 39(December), e00874. ISSN 2352-0094. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00874>

IX. PROTOKOL O OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

Protokol o ověření technologie

Název Ověřené technologie:

Ověřená technologie variabilní aplikace hnojiv na základě kombinace digitálního mapování půdy a výnosových zón

Autoři Ověřené technologie:

doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně, ROSTĚNICE a.s.
Mgr. Daniel Žížala, Ph.D., Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v.v.i.
Mgr. Roman Bohovic, Ph.D., World from Space, s.r.o.
Ing. Karel Niederhafner, Mendelova univerzita v Brně
Ing. Luděk Novotný, ROSTĚNICE a.s.
Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Předmět ověřování:

Cílem ověřené technologie je popsat postupy stanovení aplikačních map pro variabilní aplikaci zásobních hnojiv na základě výsledků digitálního mapování půdy a identifikace výnosových úrovní na heterogenních pozemcích. Zahrnuje hodnocení agrochemických vlastností půdy z optimalizované sítě odběrových bodů navržené dle předběžné analýzy plošné variability pozemků a identifikací výnosových úrovní dle vymezení produkčních zón z družicových dat. Postupy byly ověřeny v zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s.

Ověřující pracoviště:

Ústav agrosystémů a bioklimatologie AF, Mendelova univerzita v Brně – *řešitel projektu*
Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v.v.i. – *řešitel projektu*
World from Space, s.r.o. – *řešitel projektu*
ROSTĚNICE a.s. – *zemědělský podnik, uživatel technologie*

Termín ověření:

duben 2021 (*výběr ověřovací lokality*) – prosinec 2024 (*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 formou poloprovozního polního pokusu na pozemcích zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s. v letech 2021 až 2023. Zahrnuje hodnocení agrochemických vlastností půdy z optimalizované sítě odběrových bodů navržené dle předběžné analýzy plošné variability pozemků a identifikací výnosových úrovní dle vymezení produkčních zón z družicových dat. Předpokládané přínosy ověřené technologie vychází z optimalizace používání minerálních hnojiv formou variabilních aplikací. Úroveň hnojení je nastavena dle

znalosti plošné variability výnosů plodin a odběru živin na dosaženou produkci v kombinaci s hodnocením agrochemických vlastností půdy v rámci jednotlivých pozemků.

Výsledky ověření technologie variabilní aplikace fosforečných hnojiv na pozemcích obhospodařovaných zemědělskou společností ROSTĚNICE a.s. ukázaly na pozitivní efekty variabilní aplikace fosforečných hnojiv. Základem je nastavení aplikačních dávek dle množství odebraných živin na dosaženou produkci zajišťuje bilanční formu návratu živin, zatímco detekce zón s obsahem přístupných živin v kategorii dobré, vysoké či velmi vysoké zásobenosti omezuje přehnojení danou živinou. Zpřesnění dávkování také zajišťuje implementace bilančního koeficientu, který upravuje korekci dávkování živin dle plynulejší kategorizace obsahu živin. Navrhovaná redukce dosycení v zónách s nízkým obsahem (ze 150 % na 125 %) představuje snížení dávek hnojiv v místech s nejistým účinkem dosycení z různých důvodů a zajišťuje opatrný přístup při zvyšování obsahu přístupných živin minerální výživou.

Předpokládané přínosy jsou ve zvýšení efektivnosti výroby při využívání technologii „smart farming“. Ekonomické aspekty v širším měřítku budou záležet na rozsahu (výměře pozemků), stavu obsahu přístupných živin a úrovni produktivity včetně posouzení plošné variability těchto znaků. Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Přizpůsobení aplikačních dávek daným agroekologickým podmínkám stanoviště má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí.

Technologie „Ověřená technologie variabilní aplikace hnojiv na základě kombinace digitálního mapování půdy a výnosových zón“ byla navržena a ověřena v rámci řešení výzkumného projektu MZe NAZV QK21010247 „Optimalizace hospodaření na nevyrovnaných pozemcích využitím efektivního mapování půdních podmínek a zohlednění změn vláhových poměrů s cílem stabilizace dosahovaných výnosových úrovní“.

Za autorský tým MENDELU doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D. Ústav agrosystémů a bioklimatologie AF Mendelova univerzita v Brně V Brně dne: 14.1.2025	 (podpis)
Za uživatele technologie Ing. Jan Kříž ROSTĚNICE a.s. V Rostěnicích-Zvonovicích dne: 23-01-2025	ROSTĚNICE, a.s. 602 01 Rostěnice-Zvonovice, Rostěnice 166 IČ: 63431821 DIČ: CZ63431821 zapsán v OR u KS v Brně, oddíl B, listka 1740  (podpis)

Název: **Ověřená technologie variabilní aplikace hnojiv na základě kombinace digitálního mapování půdy a výnosových zón**

Autoři:

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

Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně; ROSTĚNICE a.s.

Mgr. Daniel Žížala, Ph.D., Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v.v.i.

Mgr. Roman Bohovic, Ph.D., World from Space, s.r.o.

Ing. Karel Niederhafner, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Luděk Novotný, ROSTĚNICE a.s.

Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

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

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

Vydání: první, 2024

Počet stran: 37 str.

Vydáno bez jazykové úpravy.

Publikace je poskytována bezplatně.

Kontakt na autory: vojtech.lukas@mendelu.cz

