

SPECIALIZOVANÁ MAPA S ODBORNÝM OBSAHEM

## Mapa efektivity využití živin při variabilní aplikaci hnojiv se zohledněním výnosových hladin a nevyrovnanosti půdních a porostních podmínek

Lukas V., Placatová R., Krček V., Neudert L., Širůček, P., Mezera J., Elbl J.



MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

**Mapa efektivity využití živin při  
variabilní aplikaci hnojiv se zohledněním  
výnosových hladin a nevyrovnanosti  
půdních a porostních podmínek**

$N_{\text{map}}$  – Specializovaná mapa s odborným  
obsahem

VOJTĚCH LUKAS, RENATA PLACATOVÁ, VÍTĚZSLAV KRČEK,  
LUBOMÍR NEUDERT, PETR ŠIRŮČEK, JIŘÍ MEZERA, JAKUB ELBL

2024

## **Mapa efektivity využití živin při variabilní aplikaci hnojiv se zohledněním výnosových hladin a nevyrovnanosti půdních a porostních podmínek**

Specializovaná mapa s odborným obsahem představuje soubor map vyhodnocujících efektivity využití živin při variabilní aplikaci hnojiv. Vychází se z bilančního hodnocení vstupu živin v podobě aplikovaných dávek hnojiv a detailní analýzy odběru živin výsledným produktem plodin z výnosových map. Mapa slouží pro identifikaci problémových míst na obhospodařovaných pozemcích zemědělské společnosti AGRA Řisuty s.r.o. a optimalizaci výživy rostlin formou variabilních aplikací hnojiv.

## **Map of nutrient use efficiency in variable rate application based on the crop and soil heterogeneity**

Specialized map is a set of maps evaluating the efficiency of nutrient utilization in variable rate application of fertilizers. It is based on a nutrient balance calculation in the form of applied doses of fertilizers as an input and a detailed analysis of nutrient uptake by the resulting grain yield from yield maps. The map can be used for an identification of problematic zones on arable land of farm enterprise AGRA Řisuty s.r.o. and optimization of plant nutrition in the form of variable applications of fertilizers.

**Specializovaná mapa** je výsledkem řešení výzkumného projektu **TAČR Prostředí pro život SS01020309 "Precizní zemědělství na pozemcích s regulovaným drenážním odtokem jako nástroj pro ochranu vod a zvýšení efektivity rostlinné výroby"**

### **Autorský kolektiv:**

Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně  
Ing. Renata Placatová, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.  
Ing. Vítězslav Krček, Ph.D., AGRA Řisuty s.r.o.  
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně  
Ing. Jiří Mezera, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně  
Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně  
Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

### **Recenzenti:**

Ing. Jaroslava Novotná, Ph.D. - Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r. o.  
Ing. Josef Svoboda, Ph.D. - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Specializovanou mapu s odborným obsahem schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský na základě osvědčení ÚKZÚZ 023211/2024.

© Mendelova univerzita v Brně, 2024

**ISBN 978-80-7509-976-1**

**<https://doi.org/10.11118/978-80-7509-976-1>**



Open Access. Publikace „Mapa efektivity využití živin při variabilní aplikaci hnojiv se zohledněním výnosových hladin a nevyrovnanosti půdních a porostních podmínek“ podléhá licenci CC BY-NC-ND 4.0

## OBSAH

I. Popis specializované mapy.....	5
Postupy variabilní aplikace hnojiv .....	5
Hodnocení bilance živin a efektivity využití živin .....	6
Použité metody a zdrojová data .....	8
Zpracování výnosových záznamů .....	8
Charakteristika zájmového území .....	10
Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv a vyhodnocení přínosů.....	11
Výpočet bilance živin a efektivity využití dusíku .....	12
II. Doporučení a závěr .....	13
Popis novosti mapy .....	13
Příklad využití specializované mapy při lokálně cíleném hospodaření na orné půdě.....	13
Uplatnění mapy .....	13
III. Seznam použité literatury .....	14
IV. Seznam publikací předcházejících mapě.....	15
V. Mapová příloha .....	16



## I. POPIS SPECIALIZOVANÉ MAPY

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. Cílem precizního zemědělství je rozdílným obhospodařováním uvnitř každého pozemku dosáhnout zvýšené efektivity využívání materiálových vstupů (hnojiva, pesticidy, PHM, apod.) dle stavu půdy, rostlin, dosahovaného výnosu a únosnosti daného prostředí. Hodnocení využívání technologií precizního zemědělství ve vybraných zemích EU potvrdilo jejich prosazování politickými a poradenskými autoritami jako cestu zvyšování produktivity zemědělské půdy se současným zachováním jejího přírodního bohatství (Barnes et al., 2019).

### Postupy variabilní aplikace hnojiv

Výchozím předpokladem pro plošně optimalizované hospodaření na půdě je dostatečná znalost o plošné variabilitě agronomicky relevantních jevů. Metody mapování pro účely variabilní aplikace hnojiv se liší dle prováděného zásahu. Může se jednat o zásobní hnojení, kde sledujeme obsah přístupných živin (P, K, Mg), vápnění půdy dle výměnné půdní reakce (pH) nebo přihnojování dusíkatými hnojivy během vegetace na základě hodnocení výživného stavu. Zásadním rozdílem je sběr potřebných informací o půdních vlastnostech nebo hodnocení stavu porostů. Podstatnou informací je také plošné členění dosahovaného výnosu z výnosových map, ideálně za víceleté časové období.

**Variabilní aplikace zásobního hnojení** - hlavním využitím map produkčních zón je upřesnění prostorového členění očekávaného výnosu a s tím souvisejícího celkového odběru živin a jeho úhradu normativní dávkou živin. Tato informace se kombinuje s korekcí dávky na základě agrochemického hodnocení zásobenosti živin v půdě ze vzorkování pro udržení stavu půdy v dobré zásobenosti. Cílem je distribuovat dávky hnojiv s ohledem na výnosové rozdíly, neboť rozdílný celkový odběr živin může významně ovlivňovat zásobenost živin v půdě

Pro **variabilní aplikace dusíkatých hnojiv** lze mapy produkčních zón využít zejména pro základní hnojení dusíkatými hnojivy nebo přihnojení v ranných fázích růstu plodin. Pro pozdější přihnojování je vhodné produkční zóny doplnit o výsledky průběžného monitoringu aktuálního stavu porostů z dálkového průzkumu nebo sensorového měření (plodinové senzory). Výchozím předpokladem při aplikaci N hnojiv dle podkladové mapy produkčních zón je zvýšení dávky hnojení na místech s vyšším očekávaným výnosem. Výše maximální dávky je stanovena s ohledem na odběr živiny a průběhu povětrnostních podmínek v daném roce. V oblastech s opakovaným výskytem poléhání porostu v zónách s nejvyšším výnosem lze doporučit významné snížení úrovně hnojení. Podkladová mapa potenciálního výnosu je využívána některými sensorovými systémy pro stanovení dávky dusíkatého hnojení bez kalibračního měření na pozemku. Např. Fritzmeier Isaria nabízí tzv. absolutní mód měření, kdy je dávka hnojiva určena na základě křivky optimálního obsahu dusíku pro rozdílnou výnosovou úroveň.

## Hodnocení bilance živin a efektivity využití živin

Při bilanci živin jsou porovnávány toky vstupů a výstupu živin. Mezi hlavní zdroje vstupu živin do půdy patří přívod živin aplikací minerálních a statkových hnojiv, depozice živin, fixace dusíku nebo sedimentace. Na úrovni výstupu lze kromě odběru živin hlavním a vedlejším produktem započítat ztráty živin vyplavováním, volatilizací či povrchovým smyvem a odtokem (Balík et al., 2012).

$$\text{Bilance N (kg/ha)} = \text{input N (kg/ha)} - \text{output N (kg/ha)}$$

Výpočet bilance živin může být prováděn na úrovni celé farmy, jednotlivých pozemků nebo na dílčích částech pozemků (výnosových / aplikačních zónách). Liší se také z hlediska komplexnosti zahrnutí vstupních a výstupních faktorů. Nezhlednění všech vstupů či ztrát lze označit za dílčí bilanci, která může být využita pro například pro potřeby hnojení. Příkladem je zemědělská povrchová bilance, která započítává pouze zemědělské toky živin do / z půdy (Klír a Wollnerová, 2021). Mezi vstupy je zařazen přívod živin z aplikovaných hnojiv (minerálních, statkových, kaly) a symbiotická fixace N. Na straně výstupu živin jsou pak počítány odběry živin ve sklizených hlavních a vedlejších produktech.

Tab. 1 Tabulka odběru živin na jednotku hlavního a vedlejšího produktu (Wollnerová et al., 2022)

Plodina	Produkt	Sušina (%)	Hlavní : vedlejší produkt	Obsah N (kg/t)	Obsah P (kg/t)	Obsah K (kg/t)
Pšenice ozimá potravinářská	zrno	86		20,4	2,9	3,5
	sláma	91		4,7	0,6	11,1
	celkem		1,0 : 0,9	24,6	3,4	13,5
Ječmen ozimý	zrno	86		17,2	3,4	5,1
	sláma	91		5,9	1,0	11,7
	celkem		1,0 : 0,7	21,3	4,1	13,3
Ječmen jarní sladovnický	zrno	86		15,1	2,8	3,9
	sláma	91		5,9	0,8	13,7
	celkem		1,0 : 0,6	18,6	3,3	12,1
Ječmen jarní krmný	zrno	86		17,2	2,8	3,9
	sláma	91		5,9	0,8	13,7
	celkem		1,0 : 0,6	20,7	3,3	12,1
Triticale	zrno	86		17,9	3,9	4,6
	sláma	91		5,9	1,0	13,4
	celkem		1,0 : 0,9	23,2	4,8	16,7
Hrách	zrno	86		35,9	3,6	8,4
	sláma	86		15,1	1,5	15,1
	celkem		1,0 : 1,0	51,0	5,1	23,5
Řepka	semeno	92		34,2	7,2	7,9
	sláma	86		6,9	1,3	11,6
	celkem		1,0 : 2,2	49,4	10,1	33,4

Výrazně kladná bilance představuje riziko znečištění, zatímco negativní bilance může vést k omezení produkce vlivem nedostatečné zásoby živin. Tok živin na úrovni vstupů zahrnuje kromě množství živin



aplikovaných minerálními a organickými hnojivy také další možné přísuny živin jako je depozice živin, fixace dusíku nebo sedimentace. Podobně na úrovni výstupu živin lze kromě odběru živin hlavním a vedlejším produktem započítat ztráty – např. vyplavováním, volatilizací či povrchovým smyvem a odtokem. Nezohlednění všech vstupů či ztrát lze označit za dílčí bilanci, která může být využita pro například pro potřeby hnojení.

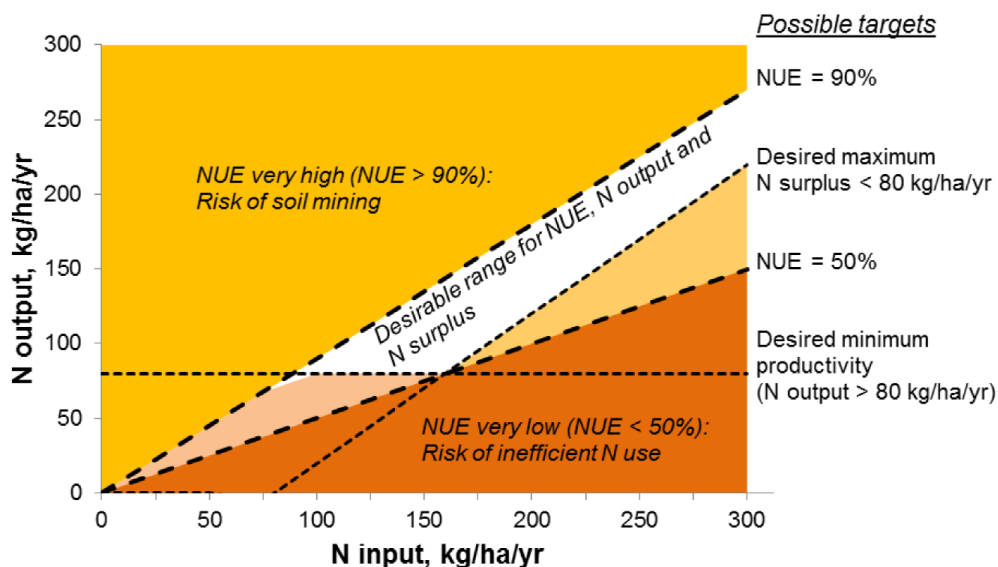
### Efektivita využití dusíku (Nitrogen Use Efficiency – NUE)

Hodnocení efektivity využití dusíku (NUE) umožňuje porovnávat rozdílné výživářské strategie. Existuje celá řada způsobů výpočtů tohoto indikátoru, ucelený přehled ve své studii podávají Congreves et al. (2021), Dobermann (2007) nebo Fixen et al. (2015).

Výpočet efektivity využití dusíku je silně ovlivněn druhy zahrnutých vstupů dusíku – v principu by měly být do výpočtu zahrnuty všechny přívody dusíku včetně atmosferické depozice, biologická fixace, osivo / sadba, rostlinné zbytky, apod. Při využití NUE jako indikátoru produkčních systémů je třeba vždy standardizovat dané nastavená výpočtu. Ve zjednodušené podobě se ale může jednat o ukazatel, který vyjadřuje podíl dusíku odebraný porostem k aplikovanému množství dusíku v hnojivech a nemusí tedy nezbytně zahrnovat ve výpočtu dusík v půdě (Oenema et al., 2015).

$$NUE (\%) = N \text{ output (kg/ha)} / N \text{ input (kg/ha)} * 100$$

Hodnota NUE > 100 indikuje využití dalších zdrojů dusíku (mineralizace organické hmoty, spad, apod.). Nízké hodnoty NUE (< 100 %) značí přehnojení porostu (kladná bilance), akumulaci dusíku v půdě a možné riziko ztrát dusíku z půdy. V ideálním případě je vysoký výstup dusíku ve sklizené produkci kombinován s vysokým NUE a nízkou bilancí dusíku.



Obr. 1 Schéma indikátoru efektivity využití dusíku – nezbarvená (bílá) část znázorňuje požadované hodnoty NUE. Nižší hodnoty (oranžová) představují nízké NUE, které indikuje znečištění dusíkem. Vyšší

hodnoty (žlutá) ukazují na riziko nedostatečné výživy dusíkem a jeho odběru z půdy (Oenema et al., 2015)

**Dílčí faktor produktivity (Partial factor productivity – PFP)** – ukazuje, do jaké míry je produktivní pěstební systém v porovnání s množstvím vstupních živin.

$$\text{PFP (kg/kg)} = \text{výnos (kg/ha)} / \text{množství aplikovaných živin (kg/ha)}$$

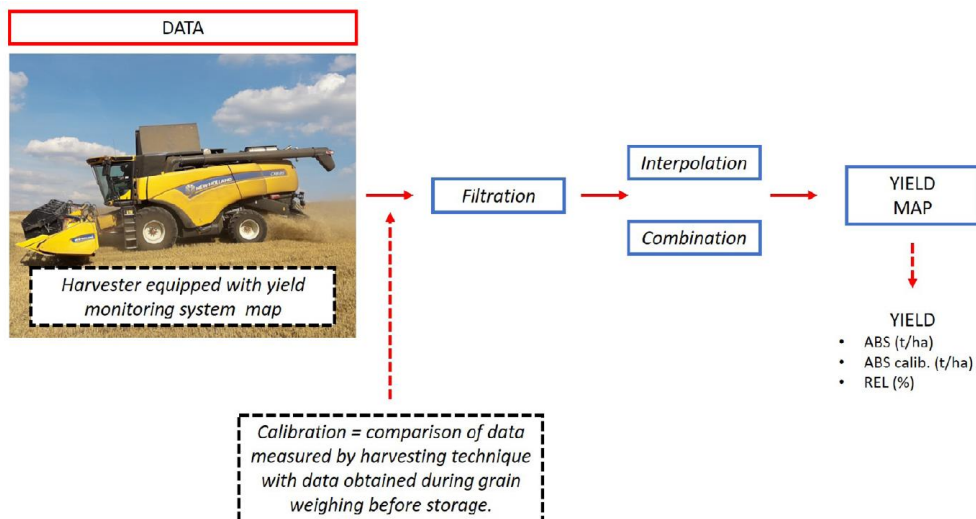
Vyšší hodnota PFP značí vyšší využití živin, obvykle se pohybuje v rozmezí 40 – 80 kg/kg, hodnoty vyšší jak 60 kg/kg poukazují na dobré hospodaření s živinami v pěstebních systémech s nízkým použitím dusíku nebo nízkým dodáním N z půdy (Dobermann, 2007).

## Použité metody a zdrojová data

### Zpracování výnosových záznamů

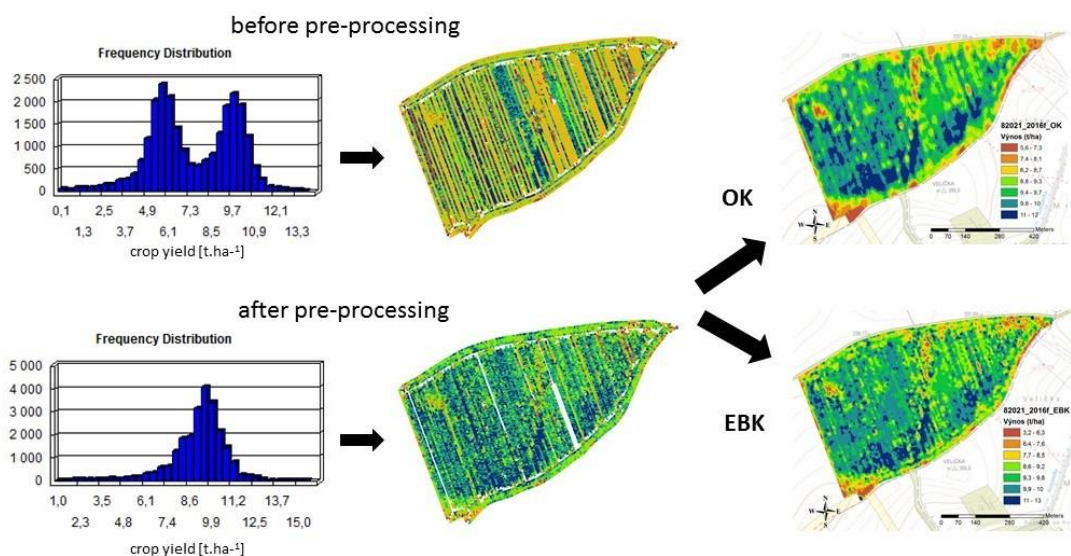
Výnosové záznamy jsou významným zdrojem pro popis plošné variability pozemků v precizním zemědělství. Současná sklízecí technika je vybavena výnosoměrnými senzory pro měření průtoku zrna či řezanky, které umožňují záznam s vysokou časovou frekvencí a v kombinaci se informací o poloze tak představuje celoplošný monitoring výnosu sklizené plodiny. Záznamy jsou pořizovány každou vteřinu a kromě údaje o průtoku zrna obsahují řadu dalších atributových údajů, jako vlhkost zrna, směr jízdy, indikace zvednutí žací lišty, rychlost pojezdu, počet družic GNSS, apod. Zatímco průtok zrna a vlhkost jsou základními údaji pro výpočet výnosové mapy, ostatní slouží pro provedení filtrace záznamů.

Úskalím tvorby výnosových map je spolehlivost výnosových záznamů, která je ovlivněna vysokou četností chybových hodnot, systematickými chybami datových záznamů (Joernsgaard a Halmoe, 2003). 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). Tyto chybové záznamy je třeba odstranit při zpracování nástroji GIS.



Obr. 2 Obecné schéma zpracování výnosových záznamů (Elbl et al., 2021)

Kromě chybových záznamů může být problematické také zpracování záznamů z více sklízecích mlátiček provádějících současně sklizeň na jednom pozemku. Mezera et al. (2018) ukazují na komplikace tvorby výnosových map jak z hlediska kombinace datových vstupů ze dvou sklízecích mlátiček, tak použití vhodné interpolační metody pro získání spolehlivé rastrové mapy.



Obr. 3 Kombinace výnosových záznamů ze dvou sklízecích mlátiček pro 44 ha pozemek. Historamy vlevo ukazují rozložení obou datasetů před a po normalizaci hodnot na relativní výnos. Výsledná výnosová mapa vznikla použitím interpolačních metod – Ordinary Kriging (OK) a Empirical Bayesian Kriging (EBK) (Mezera et al., 2018).

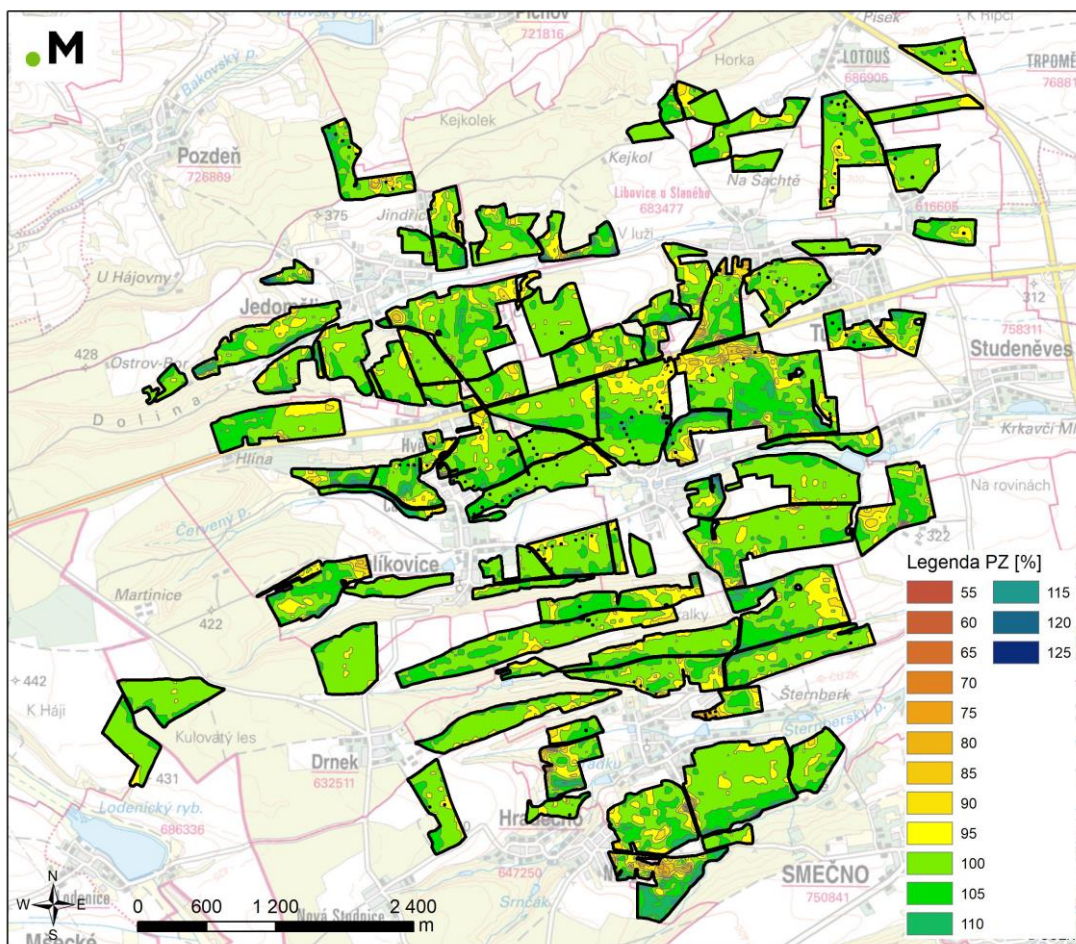
Zpracování výnosových záznamů lze realizovat postupnými kroky s využitím různých funkcí v GIS (např. QGIS), či formou GIS rozšíření (např. Whitebox Geospatial, www.whiteboxgeo.com). Tyto funkce také nabízejí faremní informační systémy (FMIS – farm management information system), ať v podobě desktopových aplikací (např. AgLeader SMS, Trimble Ag Software), nebo implementací do cloudových aplikací poskytovatelů služeb v precizním zemědělství.

### Charakteristika zájmového území

Specializovaná mapa se zaměřuje na území obhospodařované zemědělskou společností Agra Řisuty s.r.o. Společnost hospodaří na celkem 2600 ha převážně orné půdy (TTP tvoří 127 ha) v severozápadní části Středočeského kraje. Zájmové území se nachází v řepařské výrobní oblasti a svými klimatickými charakteristikami spadá do mírně teplého, suchého klimatického regionu 4 (MT1) s průměrnou roční teplotou 7 - 8,5°C a průměrným ročním úhrnem srážek 450 – 550 mm. Zemědělská prvovýroba půdě je rozdělena do dvou provozních středisek - středisko Ledce nedaleko města Slaný (1700 ha) a středisko Slabce s 894 ha zemědělské půdy nacházející se na Křivoklátsku.

Zemědělská společnost se zabývá rostlinnou a živočišnou produkcí, na pozemcích se zaměřuje na produkci potravinářského a krmného obilí, ozimé řepky, hořčice a hrachu. Živočišná výroba se specializuje na produkci jatečných prasat (zhruba 8000 ročně) a chov masného skotu (200 ks).

Průměrná nadmořská výška obhospodařovaných pozemků se pohybuje v rozmezí od 247 m n.m. do 457 m n.m. Převažujícím půdním typem jsou kambizemě modální, černozemě (středisko Ledce) a luvizemě (středisko Slabce).



Obr. 4 Mapa rozložení relativního výnosového potenciálu na pozemcích AGRA Řisuty s.r.o. (stř. Ledce)

Tab. 2 Přehled půdních bloků AGRA Řisuty s.r.o. a plodin pěstovaných v roce 2023 zahrnutých ve specializované mapě

Pozemek	Výměra	Plodina	N input	Prům. výnos
Skalka-Seník	25,06 ha	Pšenice ozimá	53 – 69 kg/ha	5,43 t/ha
Úvoz	9,76 ha	Pšenice ozimá	45 – 169 kg/ha	6,00 t/ha
Velká močidla	23,19 ha	Řepka ozimá	100 – 122 kg/ha	3,32 t/ha
Za Frajmankou	14,58 ha	Pšenice ozimá	48 – 122 kg/ha	8,08 t/ha

### Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv a vyhodnocení přínosů

Příprava podkladových map pro variabilní aplikaci vycházela z určení průměrné dávky hnojení dle pokrytí potřeby živiny na tvorbu očekávané úrovně výnosu se zohledněním předplodiny, předchozího hnojení statkovými a minerálními hnojivy a rozložení aplikačních dávek v průběhu vegetačního období. Průměrná dávka byla přepočtena dle procentuální hodnoty mapy relativního výnosového potenciálu. U vybraných aplikací v pozdních vegetačních fázích byla dávka korigována dle hodnocení stavu porostů na základě aktuálních snímků Sentinel-2, podstatné bylo dostatečné zapojení porostu pro diagnostiku stavu na základě vegetačních indexů.

Dusíkatá výživa byla rozdělena do několika dávek dělených před setím a v průběhu vegetace plodin. Souhrn aplikovaného dusíku minerálními hnojivy pro vybrané pozemky jsou uvedeny v Tab. 2. Aplikace základní dávky před setím byla provedena uniformně pevnými minerálními hnojivy (Amofos, 100 kg/ha). Regenerační hnojení ozimých plodin brzy na jaře bylo již provedeno formou variabilní aplikace na základě map relativního výnosového potenciálu. Podobně bylo realizováno produkční hnojení obilnin.

Tab. 3 Přehled realizovaných variabilních aplikací dusíkatých minerálních hnojiv na sledovaných pozemcích

Zakázka	Název	Datum	Jméno honu	Čtverec	Zkr. kód	Výměra	Celková s	Název produktu	průměr	Min	Max	průměr N	min N	max N	
220938	2022/09 hnojení YaraMila Mais	24.09.2022	Pod Hvězdou	770-1020	1305/4	7,41	0,74	YaraMila MAIS NP19/17,4+4MgO+6S+B+Zn	100	40	160	19	7,6	30,4	
230166	2023/1 hnojení regenerační pše	25.02.2023	Pod Hvězdou	770-1020	1305/4	7,39	1,21	LAD 27	164	140	173	44,28	37,8	46,71	
230934	2023/15 hnojení produkční pšer	25.04.2023	Pod Hvězdou	770-1020	1305/4	7,39	0,81	DASA 26/13	110	94	116	28,6	24,44	30,16	
<b>SUMA N (kg/ha)</b>												<b>91,88</b>	<b>69,84</b>	<b>107,27</b>	
230166	2023/1 hnojení regenerační pše	25.02.2023	Skalka + Seník	770-1020	0605/1	25,06	3,5	LAD 27	140	121	157	37,8	32,67	42,39	
230934	2023/15 hnojení produkční pšer	25.04.2023	Skalka + Seník	770-1020	0605/1	25,06	2,33	DASA 26/13	93	81	105	24,18	21,06	27,3	
<b>SUMA N (kg/ha)</b>												<b>61,98</b>	<b>53,73</b>	<b>69,69</b>	
220955	2022/09 Eurofertil zbytek	27.09.2022	Úvoz	760-1020	9606/1	9,8	0,99	Eurofertil TOP 49 NPS	101	0	139	49,49	0	68,11	
230166	2023/1 hnojení regenerační pše	25.02.2023	Úvoz	760-1020	9606/1	9,76	1,56	LAD 27	159	116	215	42,93	31,32	58,05	
230934	2023/15 hnojení produkční pšer	25.04.2023	Úvoz	760-1020	9606/1	9,76	1,04	DASA 26/13	106	55	165	27,56	14,3	42,9	
<b>SUMA N (kg/ha)</b>												<b>119,98</b>	<b>45,62</b>	<b>169,06</b>	
230167	2023/2 hnojení regenerační řepa	25.02.2023	Velká močidla	770-1020		506	23,2	4,67	LAD 27	201	172	213	54,27	46,44	57,51
230525	2023/10 hnojení produkční řepka Ledce	21.03.2023	Velká močidla	770-1020		506	23,2	2,52	LOVODASA 26 + 13S	109	93	115	28,34	24,18	29,9
230916	2023/14 hnojení 2. produkční řepka	24.04.2023	Velká močidla	770-1020		506	23,2	2,53	DAM 390	109	99	116	32,7	29,7	34,8
<b>SUMA N (kg/ha)</b>												<b>115,31</b>	<b>100,32</b>	<b>122,21</b>	
220938	2022/09 hnojení YaraMila Mais	24.09.2022	Za Frajmankou	770-1020	2303/2	14,61	1,71	YaraMila MAIS NP19/17,4+4MgO+6S+B+Zn	117	40	160	22,23	7,6	30,4	
230166	2023/1 hnojení regenerační pše	25.02.2023	Za Frajmankou	770-1020	2303/4	14,58	2,14	LAD 27	147	105	165	39,69	28,35	44,55	
230934	2023/15 hnojení produkční pšer	25.04.2023	Za Frajmankou	770-1020	2303/4	14,58	1,43	DASA 26/13	98	70	110	25,48	18,2	28,6	
<b>SUMA N (kg/ha)</b>												<b>87,4</b>	<b>54,15</b>	<b>103,55</b>	

Tvorba aplikačních map pro jednotlivé pozemky a prováděné pěstební zásahy byly realizovány prostřednictvím řešení společnosti Varistar s.r.o. To zahrnuje software část (portál) pro tvorbu aplikačních map, nadefinování základní dávky včetně minimální a maximální hodnoty dávky. Z portálu

je pak zakázka aplikace odeslána na hardware jednotku **Varistar One**, která zajišťovala ovládání dávkování aplikátorů.

### **Výpočet bilance živin a efektivity využití dusíku**

Na základě dostupných záznamů o provedeném uniformním a variabilním hnojení na vybraných pozemcích a odběru živin dle výnosových map byl proveden výpočet bilance dusíku. Vstupní data byla převedena do rastru o prostorovém rozlišení 1m/pixel a následně zpracována s využitím nástrojů mapové algebry v GIS. Výsledek výpočtu v podobě bilance dusíku a efektivity využití dusíku (NUE) byl pro účely vizuální prezentace klasifikován do několika tříd na základě rozsahu a četnosti výstupních hodnot. Výsledné rastrové vrstvy byly následně exportovány do mapových kompozic a jsou uvedeny v mapové příloze předkládané specializované mapy.

## II. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

### Popis novosti mapy

Předkládaná specializovaná mapa představuje soubor map popisující plošnou variabilitu vybraných agronomických ukazatelů ve vztahu k výživě rostlin. Vymezení výnosových hladin ze záznamu pořízených při sklizni plodin a souhrn dodaných živin prostřednictvím záznamů o aplikaci hnojiv, obojí na úrovni jednotlivých pozemků s dostatečnou prostorovou detailností, jsou základními informacemi umožňující vyhodnocení bilance živin a efektivnosti využití živin. Na příkladu dusíku byly zpracovány mapové výstupy, které mohou sloužit jako podklad pro optimalizaci výživy rostlin a úpravu plošně diferencovaných dávek hnojení.

### Příklad využití specializované mapy při lokálně cíleném hospodaření na orné půdě

Mapa efektivnosti využití živin při variabilní aplikaci hnojiv se zohledněním výnosových hladin a nevyrovnanosti půdních a porostních podmínek je určena jako podklad pro optimalizaci variabilní aplikace hnojiv. Vychází z dostupných dat o dosažených výnosech plodin na základě mapování výnosů zrna při sklizni a podkladových map aplikovaných minerálních dusíkatých hnojiv. Po zpracování těchto záznamů bylo možné stanovit bilanci dusíku a efektivitu využití dusíku (NUE) poměrem celkového odběru živiny na dosaženou produkci a přívodu živiny aplikací minerálních hnojiv.

Z výsledků vyplývá prokázání plošných diferencí u hodnocených parametrů, které mohou sloužit jako podklad pro optimalizaci používání hnojiv a úpravu nastavení variabilně prováděného hnojení. Již samotná identifikace plošné variability výnosů poukazuje na nezbytnost zavedení prostorově členěných dávek živin formou variabilního hnojení. Současně takto zpracované mapy nabízí vymezení míst s dlouhodobě sníženou produkcí, kde by hrozilo riziko přehnojení a následných ztrát živin (např. vyplavením). V neposlední řadě nabízí tento přístup možnost vyhodnocení účinnosti realizovaných výživářských zásahů a jejich následnou úpravu s cílem zvýšit efektivitu uniformně či variabilně aplikovaných hnojiv.

### Uplatnění mapy

Předkládaná specializovaná mapa bude uplatněna zemědělskou společností AGRA Řisuty s.r.o. pro optimalizaci hospodaření na nevyrovnaných pozemcích a úpravu plošně diferencovaných aplikací hnojiv. Popis tvorby mapy a základní principy jsou ale využitelné i pro další subjekty využívající nástroje precizního zemědělství a metody hodnocení variabilně prováděných hnojení polních plodin.

Mapa bude představovat rozhodovací nástroj pro agronoma pro návrh variabilních aplikací hnojiv či úpravu jejich nastavení v rámci zavedených postupů precizního zemědělství. Uplatnění mapy bude mít pozitivní ekonomické i environmentální dopady, neboť přispěje k efektivnímu využívání minerálních hnojiv, udržení/zvýšení půdní úrodnosti a snížení rizika vyplavování živin v důsledku nadměrné aplikace hnojiv. Ekonomické přínosy pro pěstitele jsou odvislé od variability pozemků, stavu agrochemických vlastností půdy, dosahovaných výnosů a souhrnné plochy takto koncipovaného hospodaření.

### III. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

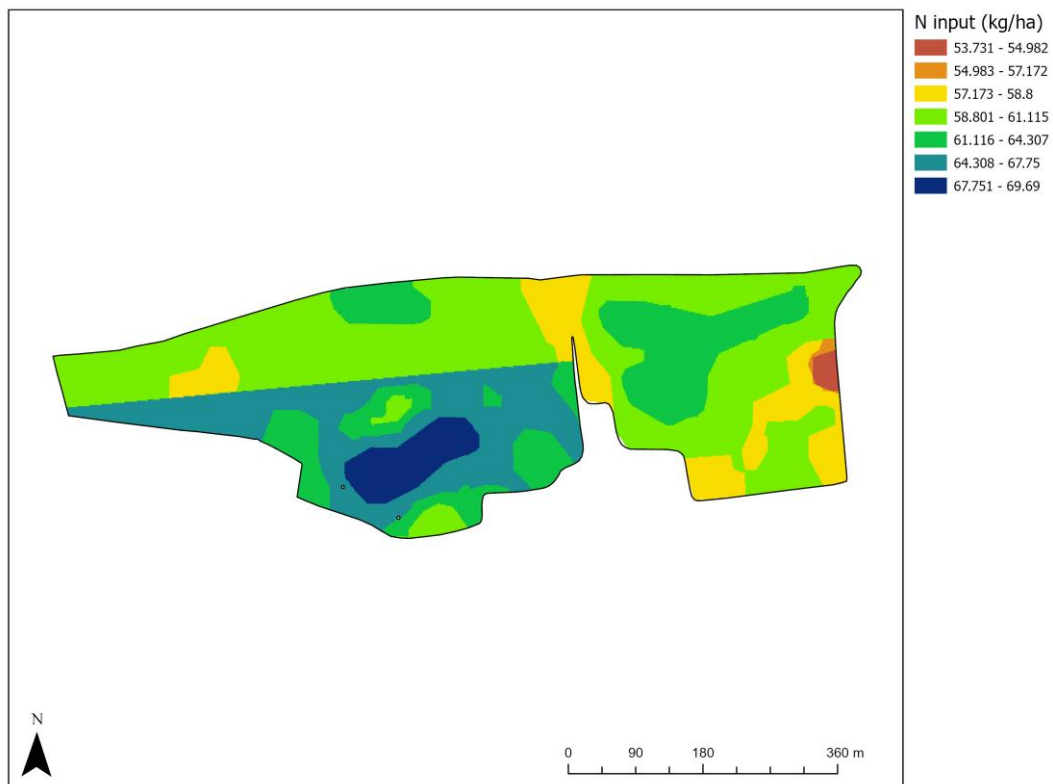
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 40 s. ISBN 978-80-213-2329-2.
- Barnes, A. P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sanchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., van der Wal, T., Gomez-Barbero, M. 2019. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*. vol. 80, pp. 163-174. Jan. ISSN 0264-8377
- Blackmore, S., Marshall, C. 1996. Yield mapping; errors and algorithms, in 3rd International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA.
- Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., Arcand, M. M. 2021. Nitrogen Use Efficiency Definitions of Today and Tomorrow. *Frontiers in Plant Science*. vol. 12. 2021-June-04. ISSN 1664-462X
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency—measurement and management.
- Elbl, J., Mezera, J., Kintl, A., Širůček, P., Lukas, V. 2021. Comparisons of Uniform and Variable Rate Nitrogen Fertilizer Applications in Real Conditions - Evaluation of Potential Impact on the Yield of Wheat Available for Use in Animal Feed. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun.* vol. 69, no. 1, pp. 33-43.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T., Garcia, F., Norton, R., Zingore, S. 2015 Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends, pp. 8-38. ISBN 979-10-92366-02-0
- Joernsgaard, B., Halmoe, S. 2003. Intra-field yield variation over crops and years. *European Journal of Agronomy*. vol. 19, no. 1, pp. 23-33. ISSN 11610301
- Klír, J., Wollnerová, J. 2021. Bilance živin (N, P, K) v ČR, in webinář SOUČASNÉ HOSPODAŘENÍ NA ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ V MĚNÍCÍCH SE PODMÍNKÁCH PROSTŘEDÍ – ŽIVINY A RIZIKOVÉ PRVKY, 27.5.2021.
- Leroux, C., Jones, H., Clenet, A., Dreux, B., Becu, M., Tisseyre, B. 2018. A general method to filter out defective spatial observations from yield mapping datasets. *Precision Agriculture*. vol. 19, no. 5, pp. 789-808. October 01. ISSN 1573-1618
- Lyle, G., Bryan, B. A., Ostendorf, B. 2014. Post-processing methods to eliminate erroneous grain yield measurements: review and directions for future development. *Precision Agriculture*. vol. 15, no. 4, pp. 377-402. 2014/08/01. ISSN 1385-2256
- Mezera, J., Lukas, V., Elbl, J., Smutný, V. 2018. Spatial analysis of crop yields maps in precision agriculture. In Cerkal, R. et al. *MendelNet 2018: Proceedings of 25th International PhD Students Conference*, Brno: Mendel University in Brno, p. 60-65. ISBN 978-80-7509-597-8
- Noack, P. O. 2007. *Ertragskartierung im Getreidebau*. Darmstadt: KTBL, 40 s. ISBN 3939371424
- Oenema, O., Brentrup, F., Lammel, J., Bascou, P., Billen, G., Dobermann, A., Erisman, J. W., Garnett, T., Hammel, M., Haniotis, T., Hillier, J., Hoxha, A., Jensen, L. S., Oleszek, W., Pallière, C., Powlson, D., Quemada, M., Schulman, M., Sutton, M. A., Van Grinsven, H. J. M., Winiwarter, W. 2015. *Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems Prepared by the EU Nitrogen Expert Panel*. ISBN.
- Ping, J. L., Dobermann, A. 2005. Processing of yield map data. *Precision Agriculture*. vol. 6, no. 2, pp. 193-212. ISSN 13852256
- Sudduth, K. A., Drummond, S. T. 2007. Yield Editor: Software for Removing Errors from Crop Yield Maps. *Agron J.* vol. 99, no. 6, pp. 1471-1482. October 15, 2007
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., Balzarini, M. 2019. Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*. ISSN 1385-2256
- Wollnerová, J., Kozlovská, L., Klír, J. 2022. *Hospodaření ve zranitelných oblastech - 5. akční program nitrátové směrnice*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. ISBN 978-80-7427-376-6.



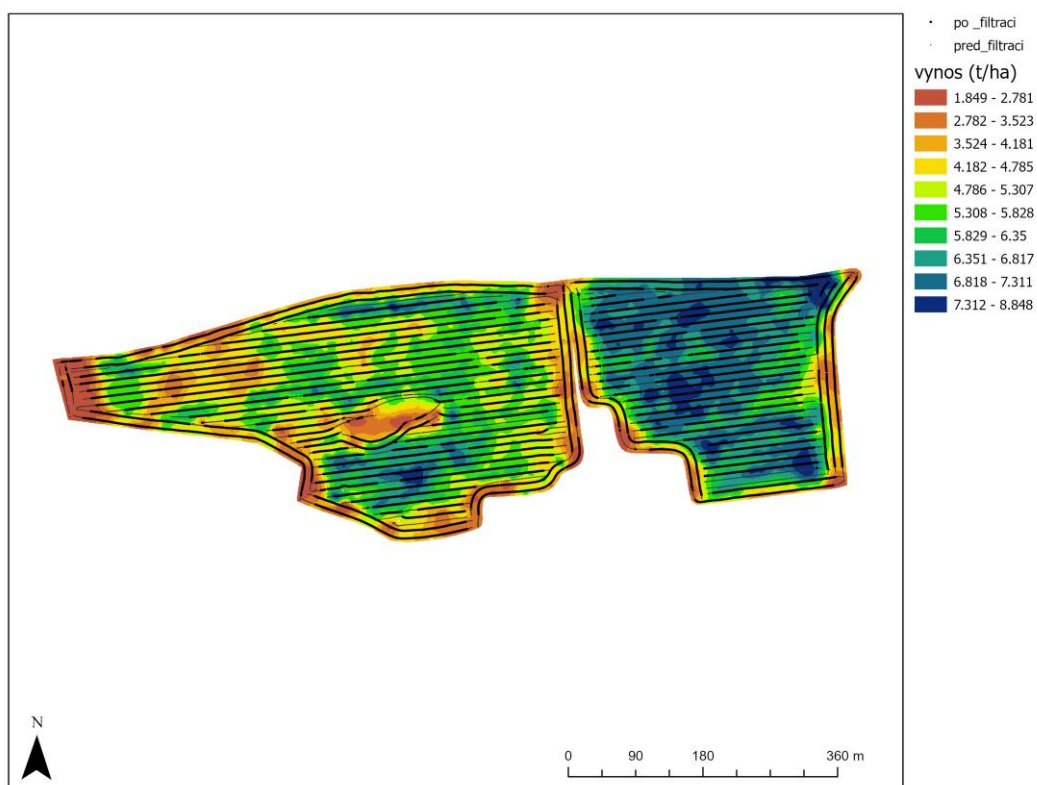
## IV. SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH MAPĚ

- Elbl, J., Kintl, A., Brtnický, M., Širůček, P., Mezera, J., Smutný, V., Vopravil, J., Holátko, J., Huňady, I. and Lukas, V. 2023. Assessment of the effect of optimised field plot size on the crop yield. *Plant, Soil and Environment*. **69**(10), 447-462.
- Elbl, J., Mezera, J., Kintl, A., Širůček, P. and Lukas, V. 2021. Comparisons of Uniform and Variable Rate Nitrogen Fertilizer Applications in Real Conditions - Evaluation of Potential Impact on the Yield of Wheat Available for Use in Animal Feed. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun.*, **69**(1), 33-43.
- Lukas, V., Neudert, L., Duffková, R., Haberle, J., Brom, J., Horniaček, I. and Vaněček, M., *Variabilní přihnojení dusíkem pomocí nástrojů GIS a vyhodnocení efektivitu využití živin v rozdílných vláhových podmínkách. Ověřená technologie.*, Brně, M. u. v., 2020.
- Lukas, V., Neudert, L., Duffková, R., Mezera, J., Horniaček, I., Širůček, P. and Krček, V. Mapa relativního výnosového potenciálu pro pozemky AGRA Řisuty, Mendelova univerzita v Brně, 2020, p. 76.
- Lukas, V., Neudert, L., Širůček, P., Novák, J. and Elbl, J. 2021. Význam variabilní aplikace fosforečných a draselných hnojiv u cukrové řepy. *Listy cukrovarnické a řepařské*. **137**(12), 417-422.
- Lukas, V., Placatová, R., Krček, V., Šusliková, B. and Elbl, J. EFFECT OF VARIABLE RATE APPLICATION OF FERTILIZERS ON THE NITROGEN USE EFFICIENCY. In Trofymchuk, O. and Rivza, B. *International Multidisciplinary*
- Mezera, J., Lukas, V., Elbl, J., Neudert, L. and Smutný, V. Assessment of spatial heterogeneity of winter wheat canopy stand by Sentinel-2 satellite imagery. In. *MendelNet 2020: Proceedings of International PhD Students Conference*, Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2020, p. 44-49.
- Mezera, J., Lukas, V., Horniaček, I., Smutný, V. and Elbl, J. 2022. Comparison of Proximal and Remote Sensing for the Diagnosis of Crop Status in Site-Specific Crop Management. *Sensors*. **22**(1), 19.
- Žížala, D., Lukas, V. and Kumhálová, J. 2021. Dálkový průzkum Země a precizní zemědělství. Zemědělský svaz ČR,

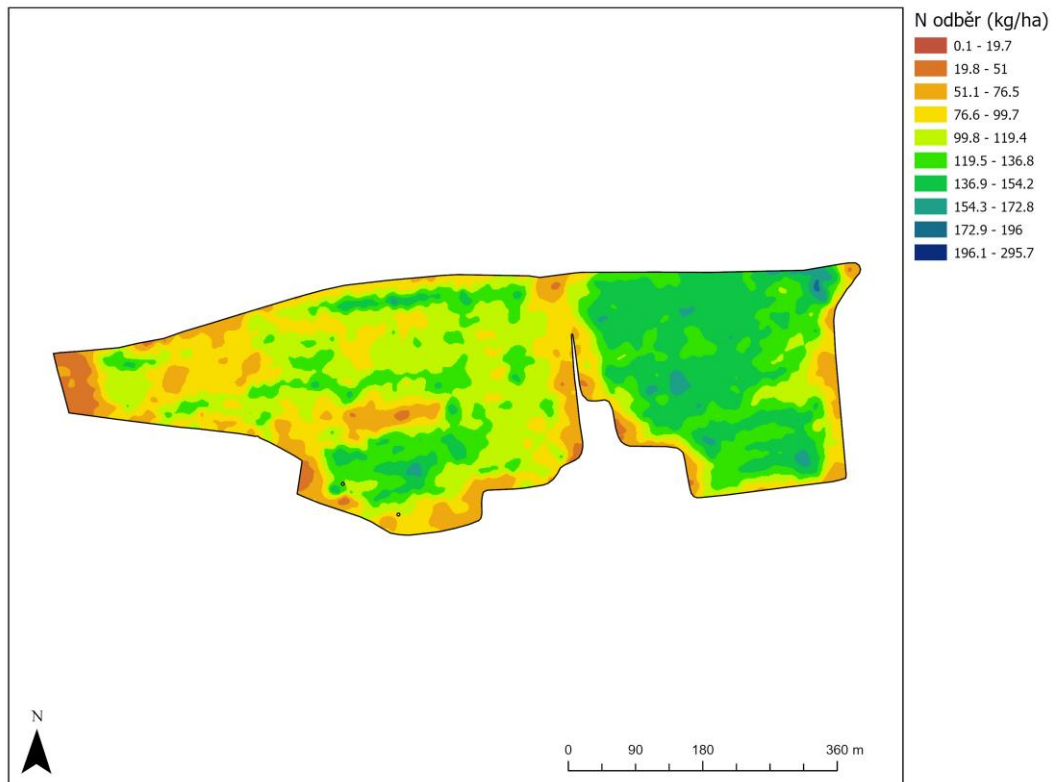
## V. MAPOVÁ PŘÍLOHA



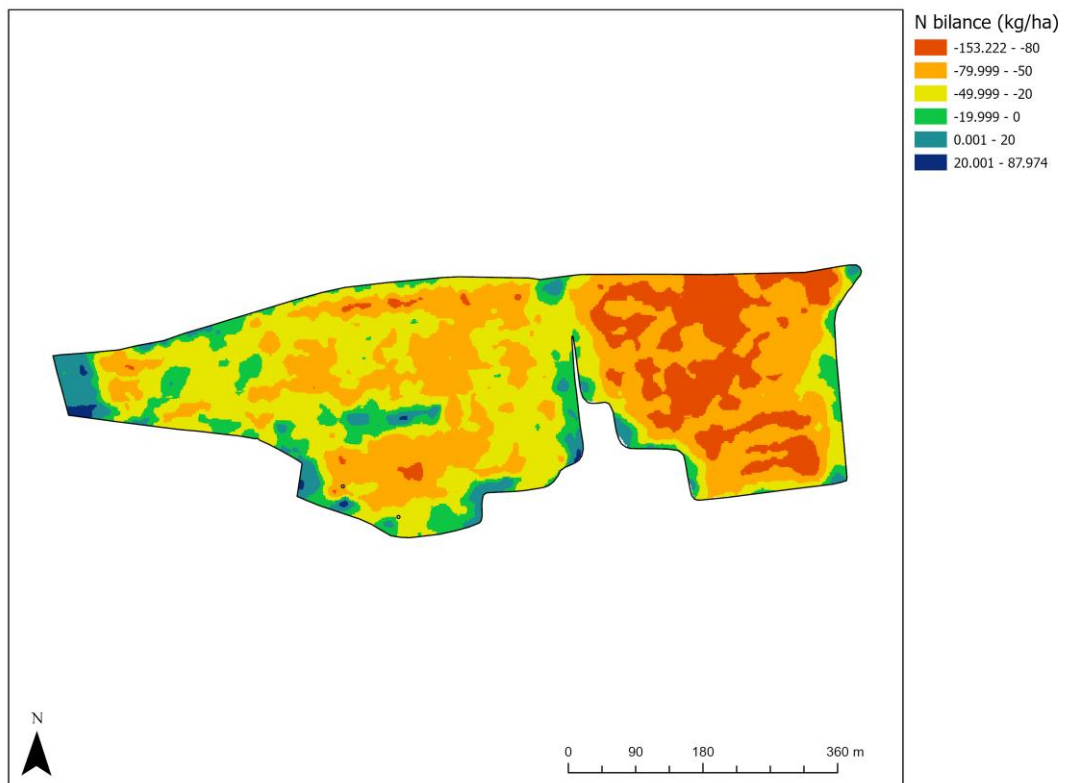
Obr. 5 Mapa souhrnu aplikovaného dusíku (N input) formou uniformních a variabilních aplikací minerálních hnojiv na pozemku Skalka-Seník (pšenice ozimá, 25 ha)



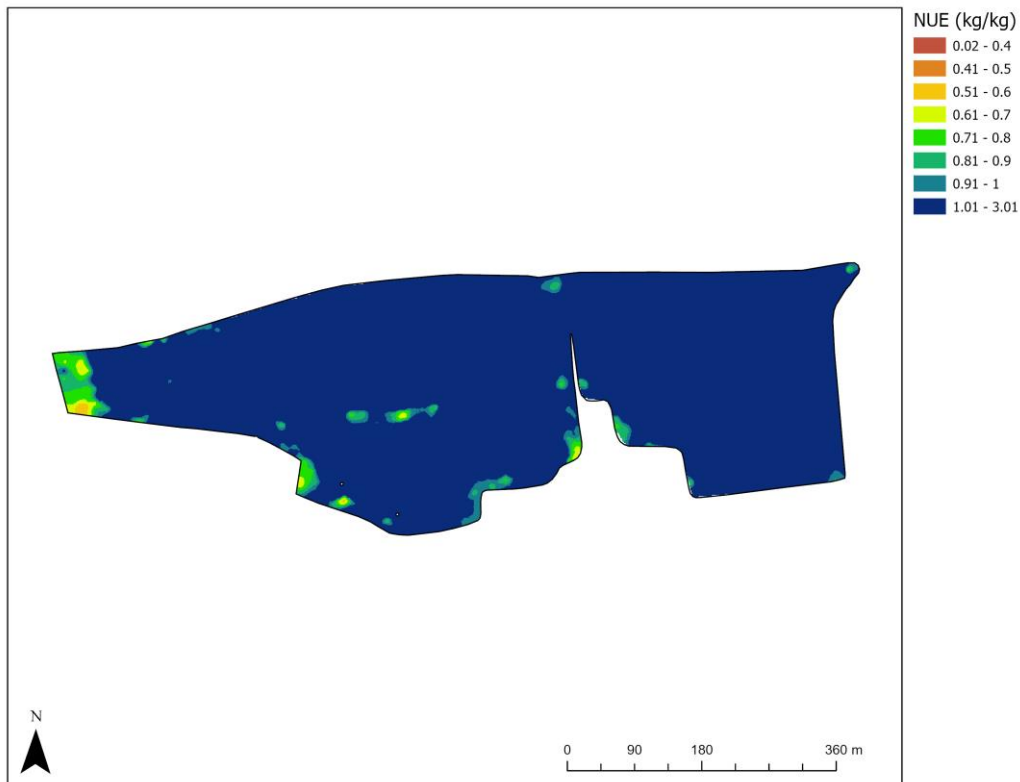
Obr. 6 Mapa výnosu zrna získaných ze záznamů pořízených při sklizni na pozemku Skalka-Seník (pšenice ozimá, 25 ha). Body zobrazují jednotlivé pozice záznamů před a po filtraci odlehlých hodnot.



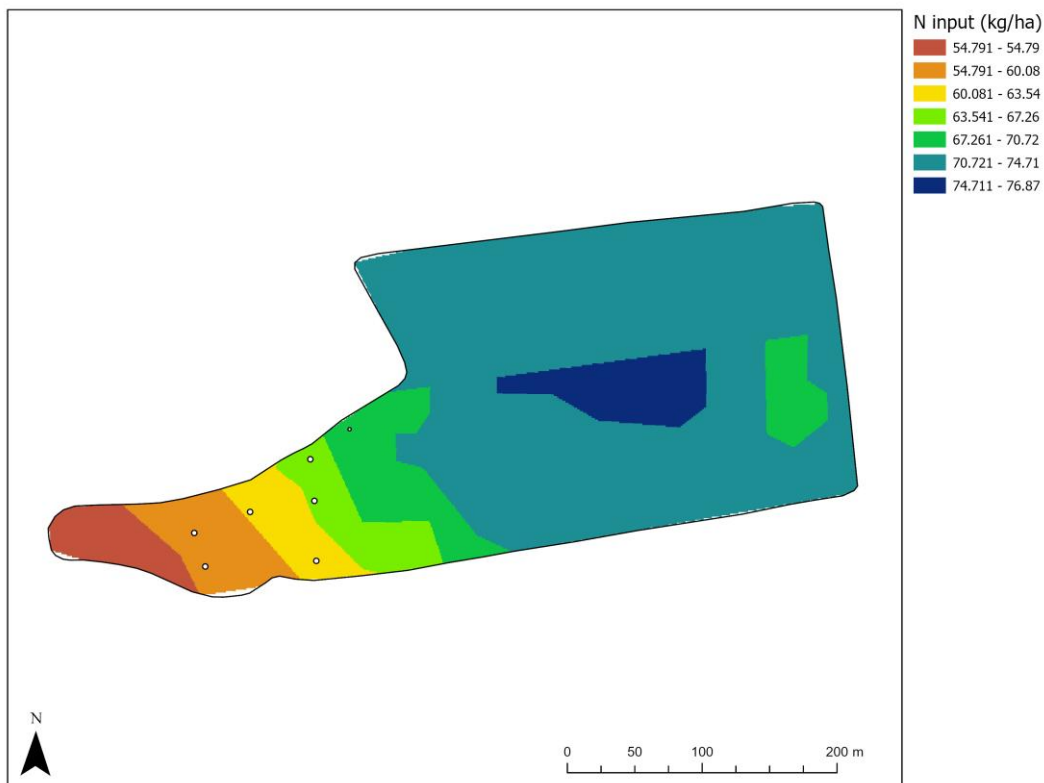
Obr. 7 Mapa odběru dusíku (N output) na dosaženou produkci pro pozemek Skalka-Seník (pšenice ozimá, 25 ha)



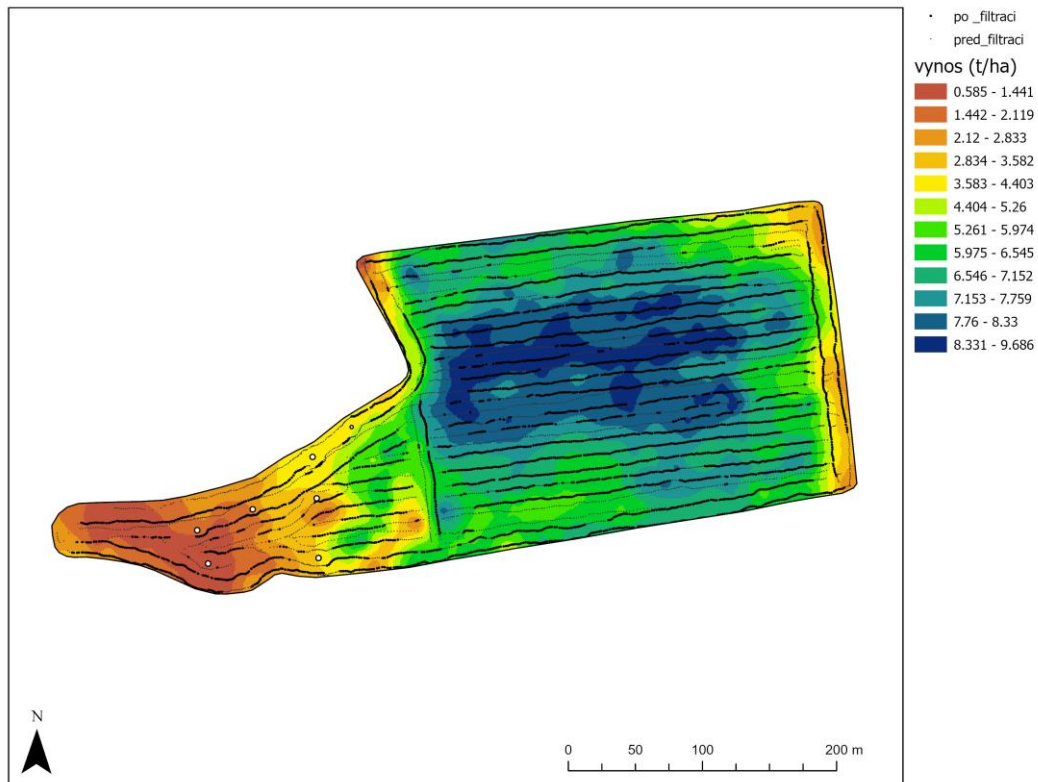
Obr. 8 Mapa bilance dusíku na pozemku Skalka-Seník (pšenice ozimá, 25 ha)



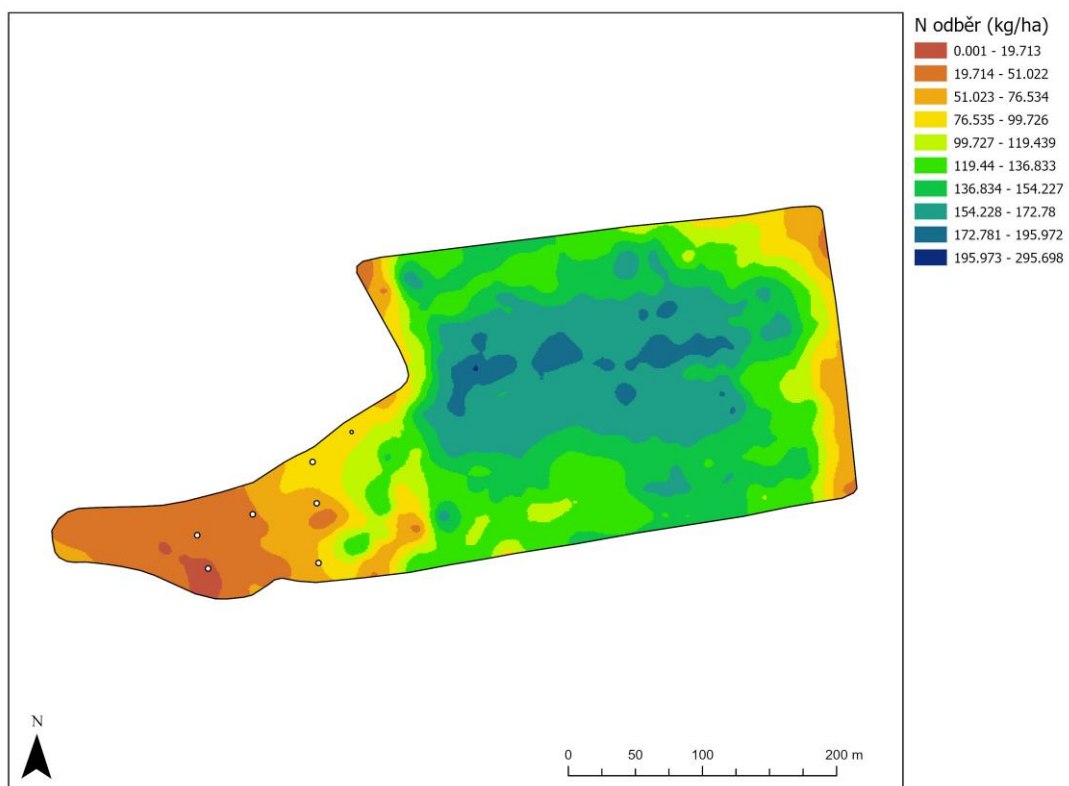
Obr. 9 Mapa efektivity využití dusíku minerálními hnojivy (NUE) na pozemku Skalka-Seník (pšenice ozimá, 25 ha)



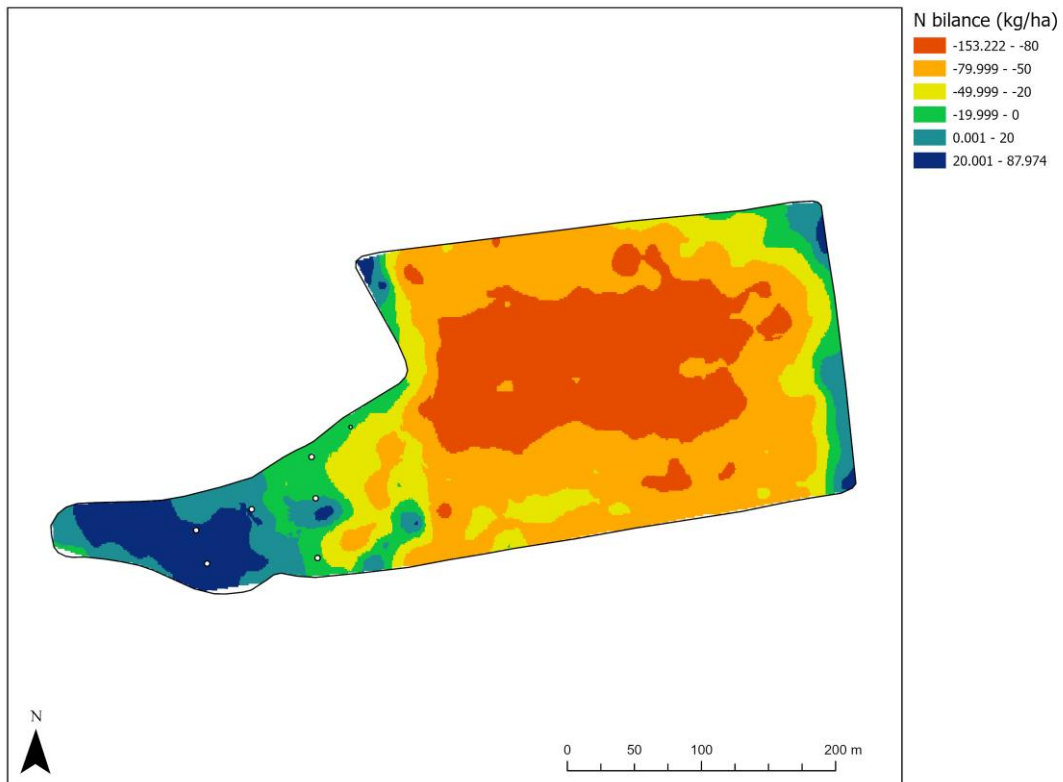
Obr. 10 Mapa souhrnu aplikovaného dusíku (N input) formou uniformních a variabilních aplikací minerálních hnojiv na pozemku Úvoz (pšenice ozimá, 9,76 ha)



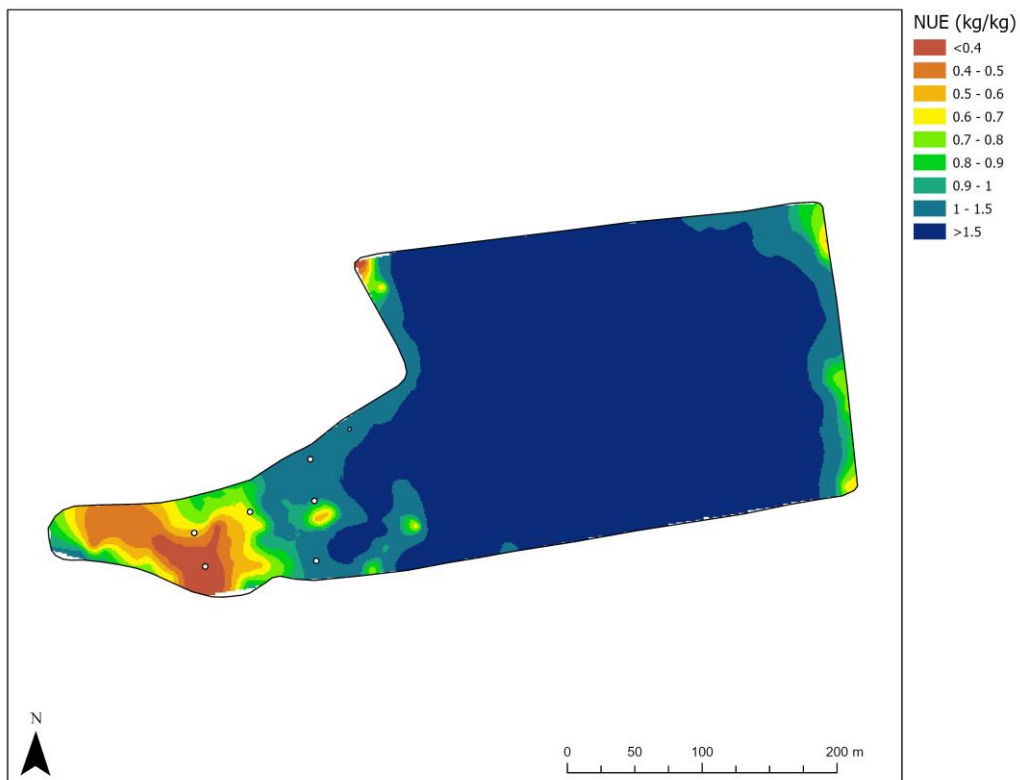
Obr. 11 Mapa výnosu zrna získaných ze záznamů pořízených při sklizni na pozemku Úvoz (pšenice ozimá, 9,76 ha). Body zobrazují jednotlivé pozice záznamů před a po filtraci odlehlých hodnot.



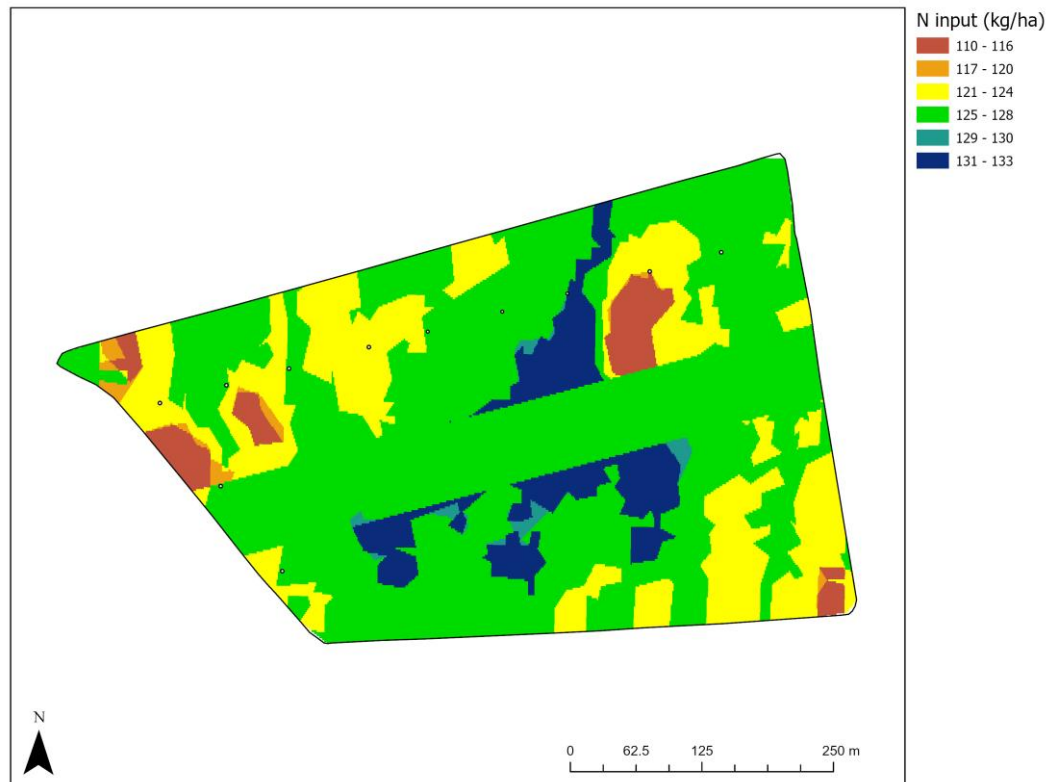
Obr. 12 Mapa odběru dusíku (N output) na dosaženou produkci pro pozemek Úvoz (pšenice ozimá, 9,76 ha)



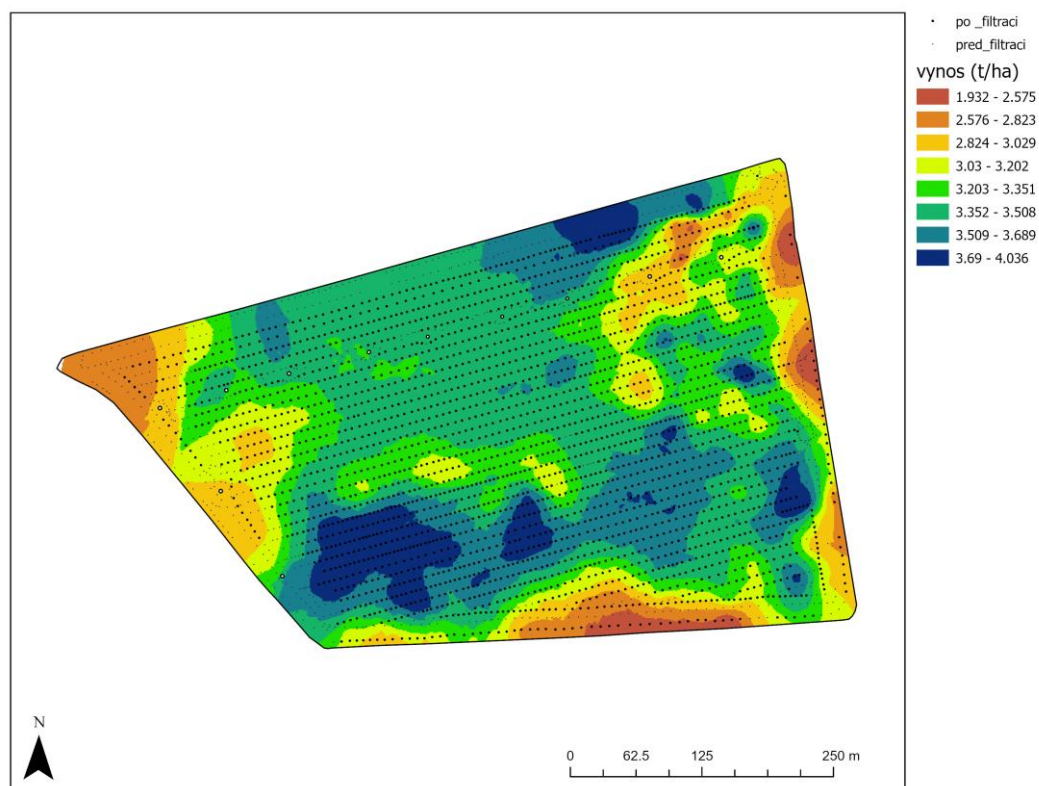
Obr. 13 Mapa bilance dusíku na pozemku Úvoz (pšenice ozimá, 9,76 ha)



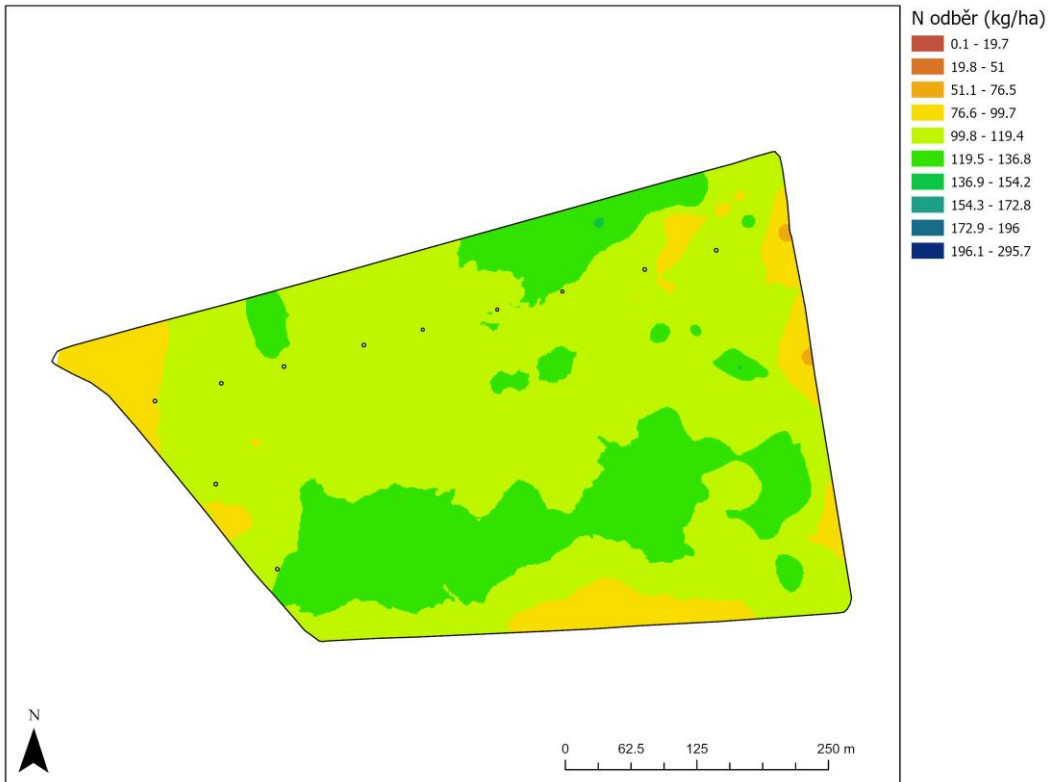
Obr. 14 Mapa efektivity využití dusíku minerálními hnojivy (NUE) na pozemku Úvoz (pšenice ozimá, 9,76 ha)



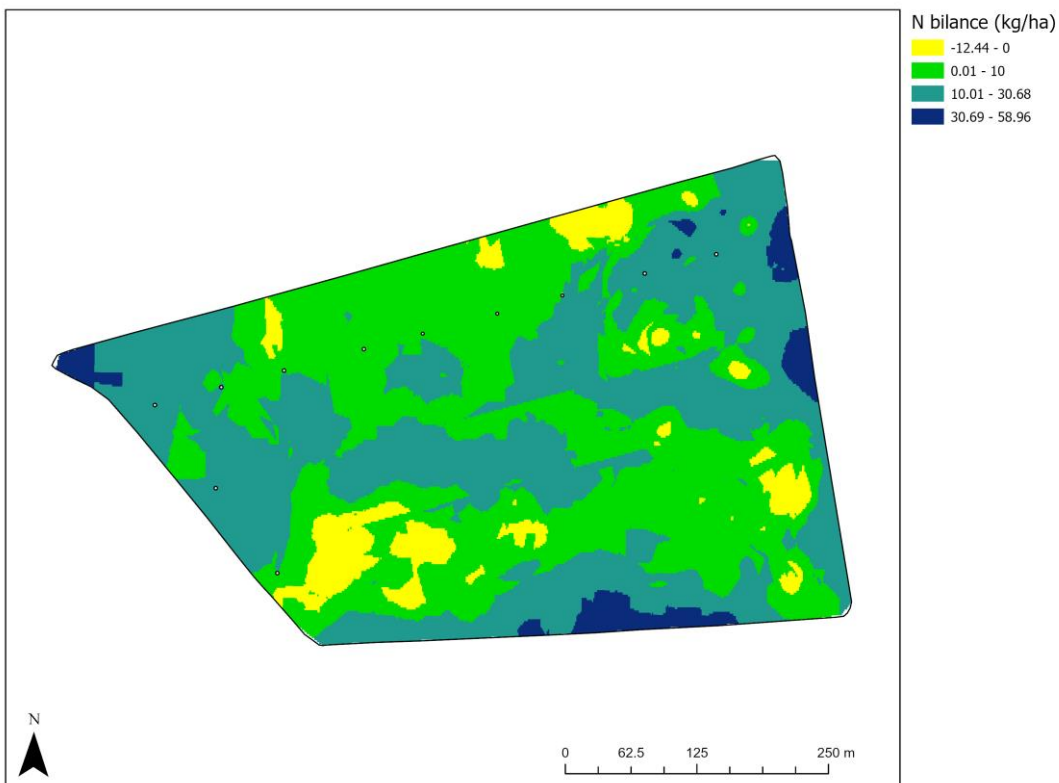
Obr. 15 Mapa souhrnu aplikovaného dusíku (N input) formou uniformních a variabilních aplikací minerálních hnojiv na pozemku Velká Močidla (řepka ozimá, 23 ha).



Obr. 16 Mapa výnosu zrna získaných ze záznamů pořízených při sklizni na pozemku Velká Močidla (řepka ozimá, 23 ha). Body zobrazují jednotlivé pozice záznamů před a po filtraci odlehých hodnot.

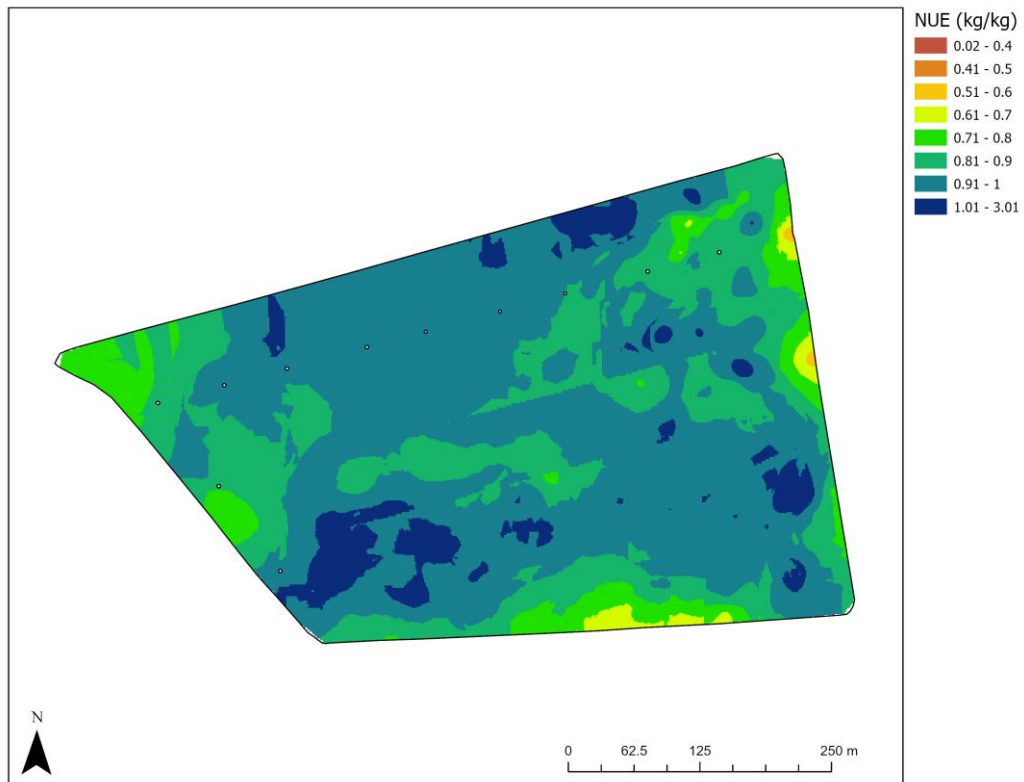


Obr. 17 Mapa odběru dusíku (N output) na dosaženou produkci pro pozemek Velká Močidla (řepka ozimá, 23 ha).

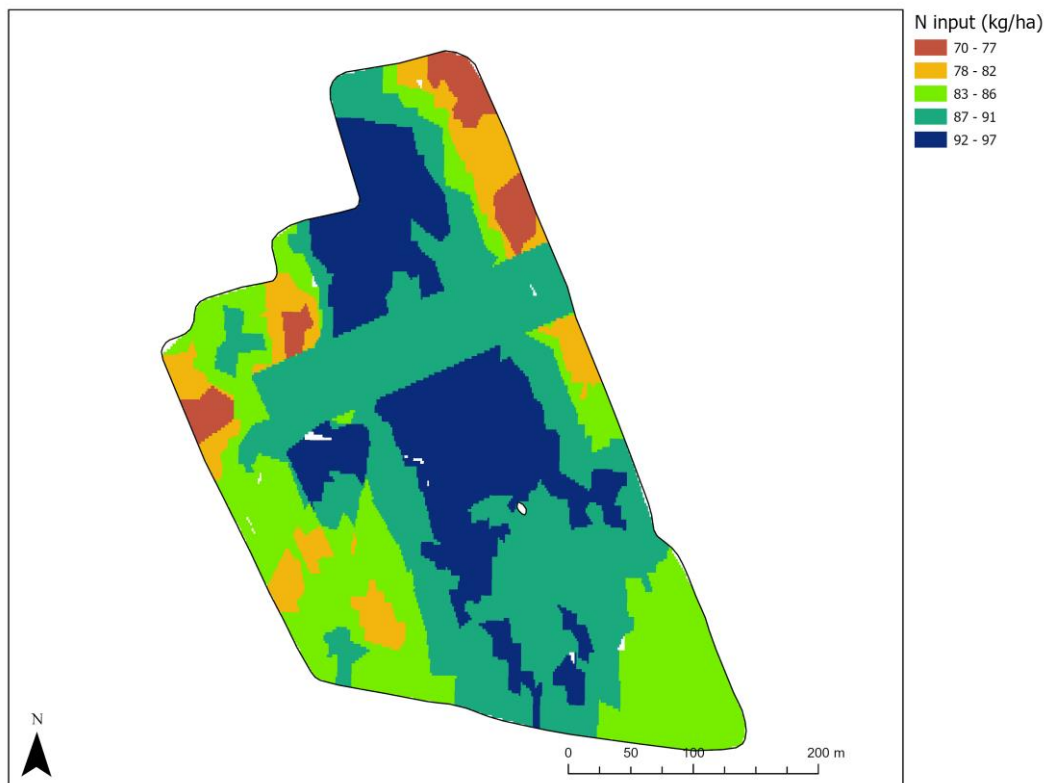


Obr. 18 Mapa bilance dusíku na pozemku Velká Močidla (řepka ozimá, 23 ha).

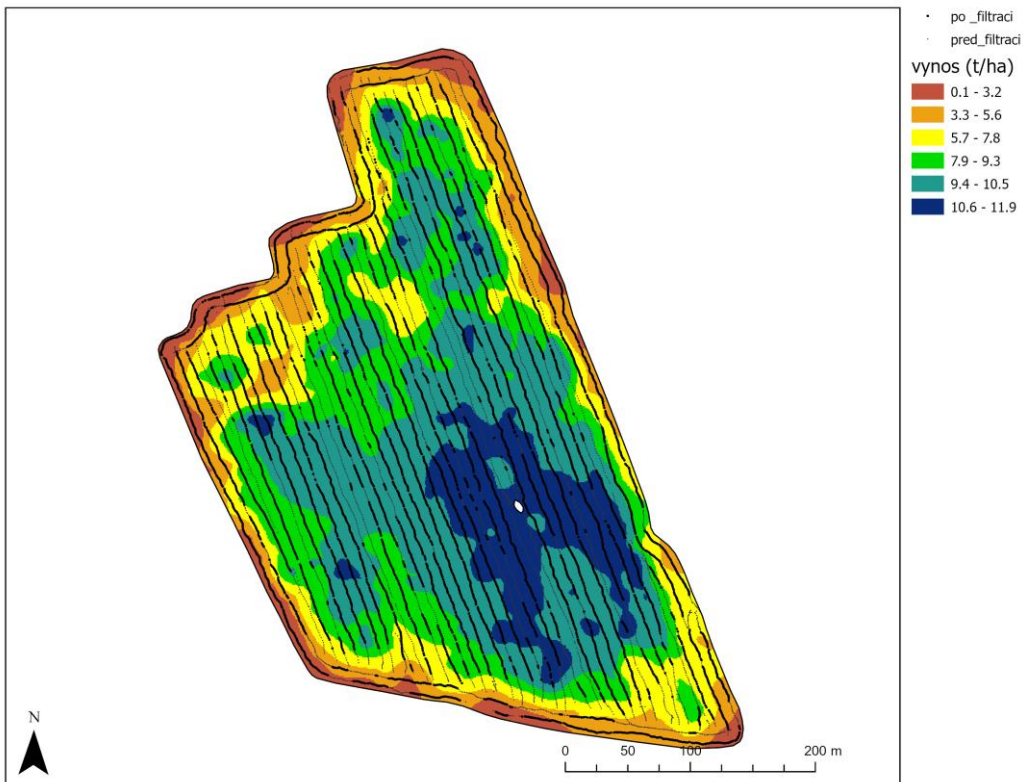




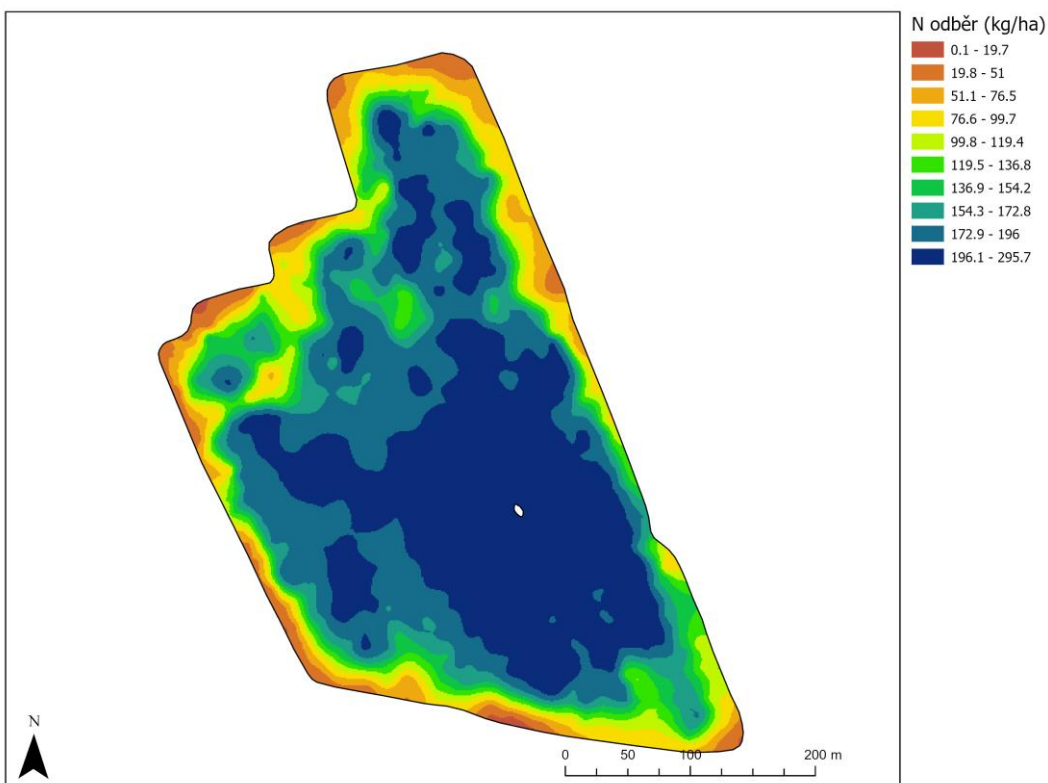
Obr. 19 Mapa efektivity využití dusíku minerálními hnojivy (NUE) na pozemku Velká Močidla (řepka ozimá, 23 ha).



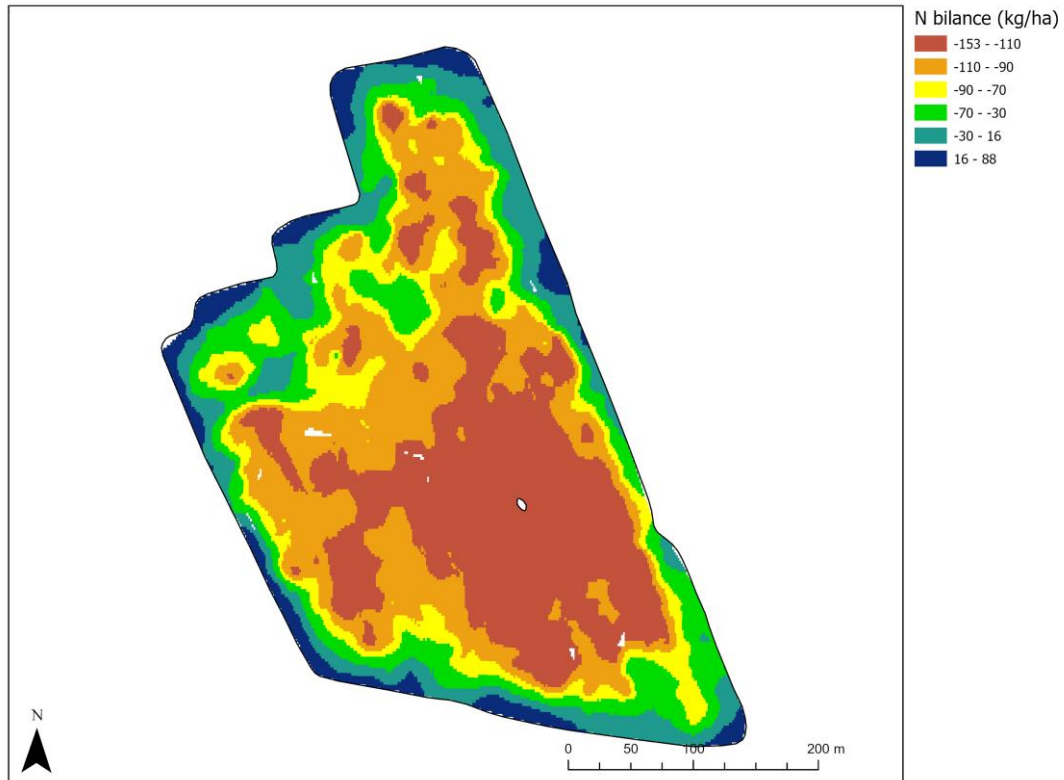
Obr. 20 Mapa souhrnu aplikovaného dusíku (N input) formou uniformních a variabilních aplikací minerálních hnojiv na pozemku Za Frajmankou (pšenice ozimá, 14,6 ha).



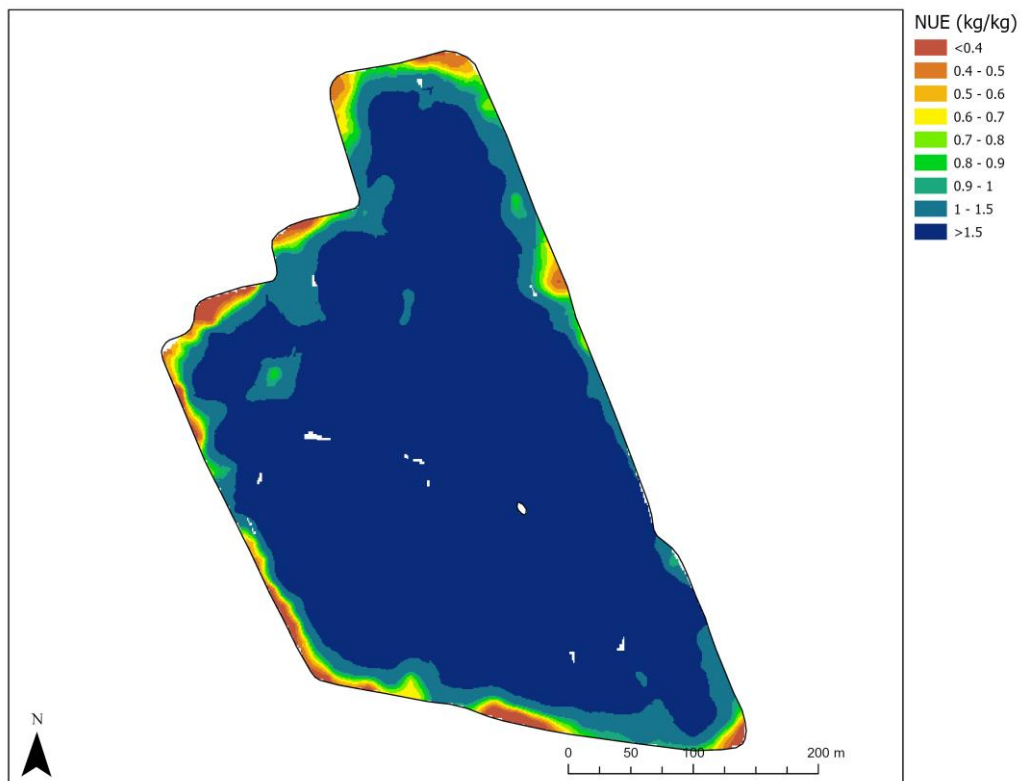
Obr. 21 Mapa výnosu zrna získaných ze záznamů pořízených při sklizni na pozemku Za Frajmankou (pšenice ozimá, 14,6 ha). Body zobrazují jednotlivé pozice záznamů před a po filtraci odlehlých hodnot.



Obr. 22 Mapa odběru dusíku (N output) na dosaženou produkci pro pozemek Za Frajmankou (pšenice ozimá, 14,6 ha).



Obr. 23 Mapa bilance dusíku na pozemku Za Frajmankou (pšenice ozimá, 14,6 ha).



Obr. 24 Mapa efektivity využití dusíku minerálními hnojivy (NUE) na pozemku Za Frajmankou (pšenice ozimá, 14,6 ha).

Název: Mapa efektivity využití živin při variabilní aplikaci hnojiv se zohledněním výnosových hladin a nevyrovnanosti půdních a porostních podmínek

Autoři: Vojtěch Lukas, Renata Placatová, Lubomír Neudert, Jiří Mezera,  
Petr Širůček, Jakub Elbl

Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Sazba: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: první, 2024

Počet stran: 28

Vydáno bez jazykové úpravy.

Publikace je poskytována bezplatně.

Kontakt na autora: [vojtech.lukas@mendelu.cz](mailto:vojtech.lukas@mendelu.cz)

ISBN 978-80-7509-976-1

<https://doi.org/10.11118/978-80-7509-976-1>



© Mendelova univerzita v Brně, 2024

ISBN 978-80-7509-976-1