

METODIKA PRO PRAXI

Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství

Lukas V. a kol.

Poděkování:

Metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, jako součást řešení výzkumného projektu 2B06124 „Snižování dopadů a rizik na životní prostředí a získávání informací pro kvalifikované rozhodování metodami precizního zemědělství“ a Výzkumného záměru č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“.

© Mendelova univerzita v Brně, 2011

ISBN 978-80-7375-561-4

VOJTĚCH LUKAS, PAVEL RYANT, LUBOMÍR NEUDERT, TAMARA
DRYŠLOVÁ, PAVEL GNIP, VLADIMÍR SMUTNÝ

Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství

METODIKA PRO PRAXI

Mendelova univerzita v Brně

2011

Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství

Variabilní aplikace hnojiv v precizním zemědělství přizpůsobuje dávky živin stanovištním podmínkám a aktuální potřebě rostlin. Cílem metodiky je návrh inovovaného postupu pro stanovení dávek živin pro variabilní aplikaci P, K, Mg hnojiv a vápenatých hmot. Součástí metodiky je podrobný popis jednotlivých kroků sběru vstupních dat, jejich zpracování a tvorby aplikačních map v prostředí geografických informačních systémů (GIS). Navrhovaný postup je zaměřen na zohlednění prostorové variability půdních a porostních vlastností v obdobích důležitých pro stanovení dávek hnojení.

Creating variable application maps for base fertilizing in precision agriculture

Variable application of fertilizers in precision agriculture modifies doses of nutrients to the soil conditions and current requirements of plants. The main goal of the methodology is to modify procedure for assessment of nutrients doses for variable application of P, K, Mg and Ca fertilizers. A part of methodology includes detailed description of steps by collection of inputs data, their analyses and creation of application maps using geographic information systems (GIS). Proposed procedure takes account of spatial variability of soil and crop stand properties in terms important for determination of doses for fertilization.

Oponenti:

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

Ing. Josef Svoboda - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům.

Metodiku schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský pod č.j. 197-15/KÚ/UKZUZ/2011

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

OBSAH

I.	Cíl metodiky	7
II.	Vlastní metodika	8
1.	Úvod	8
2.	Postup stanovení dávky základního hnojení P, K a Mg hnojiv	8
2.1.	Stanovení normativu	10
2.2.	Korekce normativu dle zásobenosti půdy živinami	10
2.3.	Mapování prostorové variability agrochemických vlastností půdy vzorkováním půdy.....	12
2.4.	Prostorové interpolace	14
2.5.	Kritéria hodnocení zásobenosti půd živinami	15
2.6.	Kritéria hodnocení půdní reakce a stanovení potřeby vápnění	19
3.	Postup tvorby aplikačních map v GIS	21
3.1.	Stanovení normativní dávky P, K, Mg hnojiv se zohledněním výnosové úrovně	21
3.2.	Korekce normativu dle zásobenosti půdy živinami	23
3.3.	Stanovení úpravy půdní reakce	25
3.4.	Dodatečné poznámky ke zpracování dat v GIS	25
4.	Vyhodnocení navrhovaného postupu	25
5.	Přílohy – tabulky	28
III.	Srovnání novosti postupů	33
IV.	Popis uplatnění certifikované metodiky.....	33
V.	Seznam použité literatury	34
VI.	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	35

I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je návrh inovovaného postupu pro stanovení dávek živin pro variabilní aplikaci P, K, Mg hnojiv a vápenatých hmot. Součástí metodiky je podrobný popis jednotlivých kroků sběru vstupních dat, jejich zpracování a tvorby aplikačních map v prostředí geografických informačních systémů (GIS). Navrhovaný postup je zaměřen na zohlednění prostorové variability půdních a porostních vlastností ve významných fázích procesu stanovení dávek hnojení. Konečný důsledek je možné očekávat v podobě efektivního využívání hnojiv pro dodržení vyrovnané bilance živin v rámci jednotlivých pozemků. Předkládaná metodika je určena pro poradenské subjekty, společnosti zabývající se prodejem hnojiv a poskytováním služeb v oblasti hnojení, zemědělské podniky, výzkumné a vzdělávací instituce a širokou odbornou veřejnost. Kromě informací z odborné literatury byly při přípravě textu využity výsledky a doporučení na základě poznatků získaných v letech 2004 – 2010.

II. VLASTNÍ METODIKA

1. Úvod

K faktorům, které nejvíce ovlivňují výnos a kvalitu produktu patří agrochemické vlastnosti půdy, zejména zásoba přístupných živin (P, K, Mg) a výměnná půdní reakce vyjádřená pH. Příčiny prostorové variability agrochemických vlastností půd je celá řada a můžeme je rozdělit na přírodní a antropogenní. V prvním případě se jedná především o skupinu geogenních příčin, tj. různou matečnou horninu a tím různorodý půdotvorný substrát. Do skupiny antropogenních příčin patří např. nedokonalá aplikační technika anebo scelování menších honů s mnohdy různou úrovní agrotechniky do větších celků.

V zemědělské praxi ČR je zásoba přístupných živin a hodnota výměnné půdní reakce monitorována v rámci Agrochemického zkoušení půd (AZP). Toto sledování probíhá periodicky již od roku 1961 v šestiletých cyklech na základě zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích, substrátech a agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech) ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků ve znění pozdějších vyhlášek.

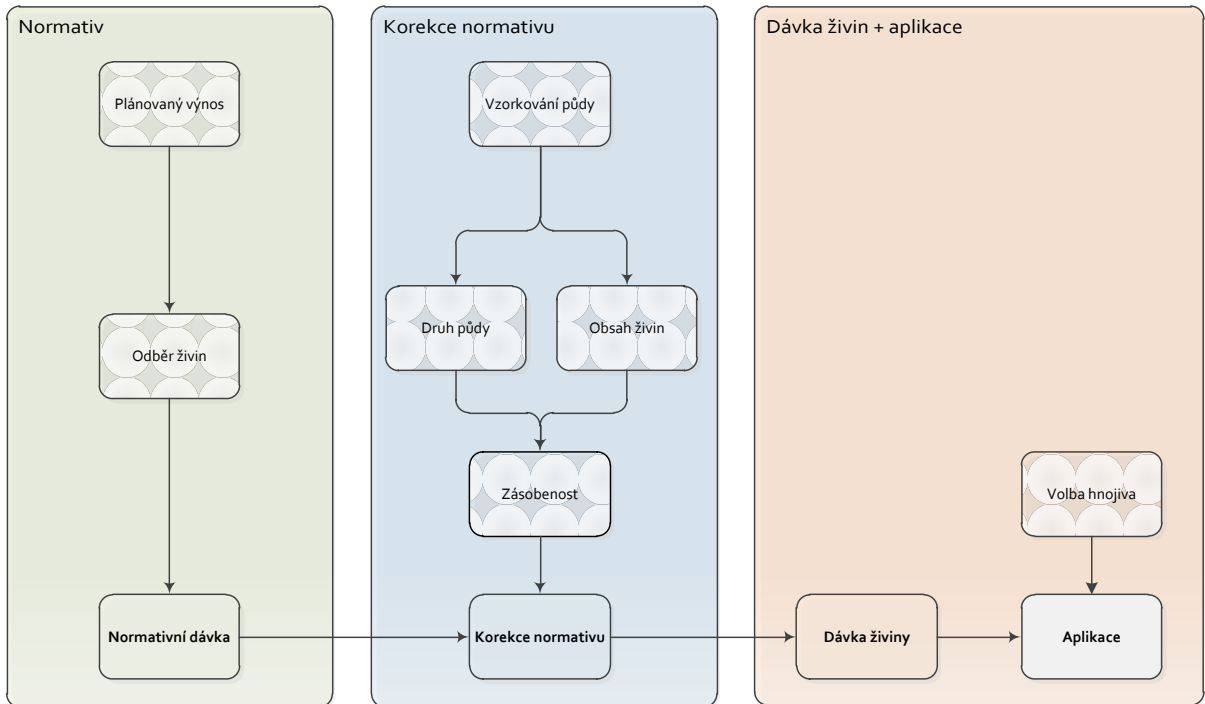
Z výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2004 – 2009 (ÚKZÚZ, 2010b) vyplývá, že v případě **půdní reakce** má 30 % sledované zemědělské půdy extrémní, silně kyselou a kyselou půdní reakci (pH do 5,5) a dalších 43 procent má slabě kyselou půdní reakci. Tzn., že 73 % výměry zemědělské půdy by bylo třeba pravidelně vápnit alespoň udržovací dávkou. Naopak 11,4 % výměry zemědělské půdy vykazovalo půdní reakci alkalickou (pH nad 7,2) bez potřeby vápnění. Z hodnocení obsahu **fosforu** v půdě vyplývá potřeba intenzivního hnojení na více než 23 % zemědělské půdy a mírné dosycení touto živinou na dalších 28 % výměry, tzn. polovina výměry zemědělské půdy v ČR potřebuje hnojení P. Vysoká zásoba bez potřeby hnojení byla zjištěna na 25 % zemědělské půdy. V případě obsahu přístupného **draslíku** je hnojení vyžadováno na 39 % zemědělské půdy v ČR (8 % intenzivně, 31 % mírné dosycení). Hnojení není třeba provádět na 21 % výměry. Obsah **hořčíku** je nedostatečný na 17 % zemědělské půdy, naopak vysoký na 23 %.

Z časového porovnání mezi posledními dvěma cykly AZPP (ÚKZÚZ, 2010a) vyplývá negativní trend ve vývoji agrochemických vlastností orné půdy. V případě půdní reakce dochází k postupnému okyselování půdy - snížení pH u orné půdy o 0,1 a zvýšení výměry kyselé půdy o 4 %. Podobně došlo ke snížení obsahu přístupného fosforu o 6 mg.kg⁻¹ a zvýšení výměry orné půdy s nízkým obsahem P o 7 %. U ostatních živin bylo zaznamenáno zvýšení obsahu (K – průměrné zvýšení obsahu o 14 mg.kg⁻¹ a snížení podílu orné půdy s nízkou zásobeností o 3 %) nebo vývoj beze změny (obsah Mg na orné půdě).

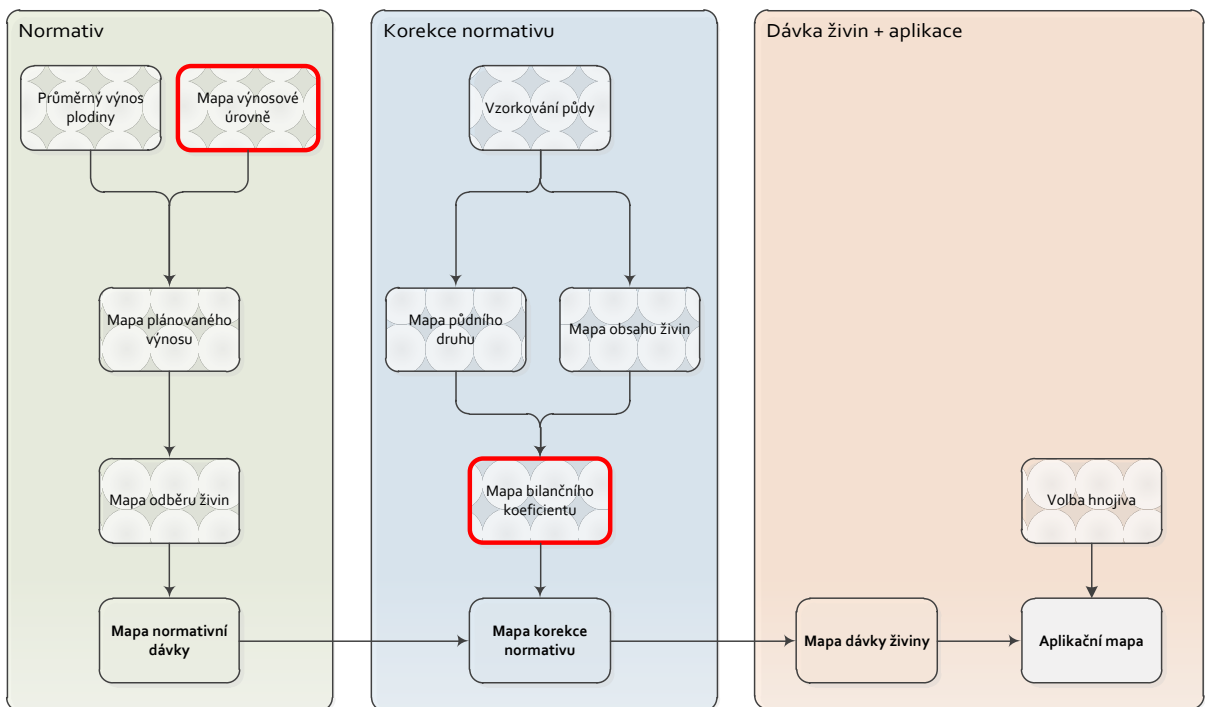
2. Postup stanovení dávky základního hnojení P, K a Mg hnojivy

Základem stanovení dávky P, K, a Mg živin je bilanční metoda, kdy jsou do půdy navraceny živiny odebrané ve sklizených produktech. Výše této tzv. **normativní dávky** (normativ) je určena plánovaným výnosem plodiny a odběrem daných živin na jednotku produkce. Normativní dávka je dále upravována (tzv. **korekce normativu**) dle zásobenosti živin v půdě, která je vyhodnocena

agrochemickým zkoušením zemědělských půd. Posledním krokem je následně volba hnojiva a provedení aplikace stejnou dávkou na celý pozemek (viz Obr. 1).



Obr. 1 Schéma tradičního postupu stanovení dávky základního hnojení



Obr. 2 Schéma navrhovaného postupu stanovení dávky živin základního hnojení se zvýrazněnými inovativními prvky

Variabilní aplikace hnojiv předpokládá znalost prostorového rozložení jednotlivých kroků stanovení dávky ve formě mapových vrstev. V případě stanovení normativní dávky lze v případě dostupnosti

výnosových map vycházet z prostorově diferenciované úrovně výnosu na jednotlivých částech pozemku, namísto použití paušální hodnoty plánovaného výnosu. Podobně při korekci normativní dávky lze zohlednit prostorové rozdíly obsahu živin na pozemku a dále zpřesnit úpravu hnojení dle tzv. bilančního koeficientu. Na Obr. 2 je uvedeno schéma navrhovaného postupu, jehož jednotlivé kroky jsou detailně popsány v následných kapitolách metodiky.

2.1. Stanovení normativu

Základní dávka P, K, a Mg živin vychází z bilanční metody, resp. z tzv. nahrazovacího hnojení, kdy jsou do půdy navraceny živiny odebrané ve sklizených produktech. Výše této tzv. normativní dávky je určena plánovaným výnosem dané plodiny a odběrem příslušných živin na 1 t produktu (viz Tab. 1).

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. Vývoj sklízecí techniky v současnosti nabízí možnost celoplošného monitorování výnosu sklizené plodiny. Výsledkem jsou výnosové mapy, ze kterých lze po normalizaci výnosu (přepočtu absolutního výnosu na relativní) stanovit výnosovou úroveň na pozemku. Kombinací (zprůměrováním) historických map s relativním výnosem lze do určité míry eliminovat ročníkové rozdíly a získat přehled o rozložení výnosového potenciálu na daném území.

2.2. Korekce normativu dle zásobenosti půdy živinami

Zásobenost půdy živinami je hodnocena v rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) dle laboratorního stanovení obsahu živin ve vzorku půdy. AZZP představuje pravidelné zjišťování vybraných parametrů půdní úrodnosti s cílem poskytnout podklady pro racionální používání hnojiv. AZZP je prováděno dle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích, substrátech a o agrochemickém zkoušení půd a vyhlášky č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů. AZZP provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), který metodicky a organizačně zabezpečuje odběr půdních vzorků, provádí analýzy, zpracovává výsledky a předává je k využití MZe ČR a dalším orgánům státní správy a dotčeným zemědělským subjektům. Odběry půdních vzorků probíhají v šestiletých cyklech, půdní vzorky jsou analyzovány podle postupů ÚKZÚZ (Zbiral, 2002). Základní půdní vlastnosti jsou samostatně hodnoceny pro ornou půdu, trvalé travní porosty, vinice, sady a chmelnice.

Odběr vzorků se provádí v jarním nebo podzimním období. Průměrný vzorek, skládající se z 30 vpichů sondovací tyčí, se odebírá vždy z plochy jednotně obhospodařované, tzn. se stejnou plodinou, přičemž menší lokality na pozemku s výrazně odlišnými půdními vlastnostmi se z odběru vylučují. Pracovní postupy pro AZZP v ČR pro období 2005 až 2010 (ÚKZÚZ, 2005) rozlišují dva způsoby odběru – konvenční a mobilní pomocí GPS. Při konvenčním odběru se úsek, ze kterého se odebírá vzorek, prochází diagonálně a jednotlivé vpichy se umísťují v pravidelných vzdálenostech. Při mobilním odběru půdních vzorků najede motorové vozidlo do středu vzorkované plochy lokalizované pomocí GPS. Pracovníci provádějící odběr půdních vzorků obcházejí motorové vozidlo a umísťují jednotlivé vpichy tak, aby reprezentovaly vymezenou plochu kruhu. Velikost poloměru kruhu je úměrná velikosti vzorkované plochy a činí 70 m pro 3 ha, 80 m pro 5 ha, 100 m pro 7 ha a 120 m pro 10 ha.

Tab. 1 Průměrný odběr živin ve sklizených produktech vybraných plodin (Klír et al., 2008)

Plodina	Produkt	Sušina (%)	poměr HP:VP*	Odběr živin v kg.t ⁻¹ produktu				
				1,0 :	N	P	P ₂ O ₅	K
Pšenice ozimá (12 % bílkovin)	zrno	85		17,9	3,3	7,6	3,7	4,5
	sláma	85		5,2	0,9	2,1	10,0	12,0
	celkem		0,8	22,1	4,0	9,2	11,7	14,1
Pšenice ozimá (14 % bílkovin)	zrno	85		20,9	3,3	7,6	3,7	4,5
	sláma	85		4,3	0,9	2,1	10,0	12,0
	celkem		0,8	24,3	4,0	9,2	11,7	14,1
Ječmen jarní	zrno	85		16,5	3,5	8,0	4,5	5,4
	sláma	85		6,0	1,0	2,3	11,0	13,2
	celkem		0,6	20,1	4,1	9,4	11,1	13,4
Kukuřice na zrno	zrno	85		16,0	3,5	8,0	4,5	5,4
	sláma	85		9,0	1,1	2,5	16,0	19,3
	celkem		1,1	25,9	4,7	10,8	22,1	26,6
Hrách setý	zrno	85		35,5	3,6	8,3	8,3	10,0
	sláma	85		15,0	1,5	3,4	15,0	18,1
	celkem		1,0	50,5	5,1	11,7	23,3	28,1
Řepka ozimá	semeno	90		33,5	7,0	16,0	8,3	10,0
	sláma	85		6,6	1,3	3,0	19,0	22,9
	celkem		2,2	48,0	9,9	22,6	50,1	60,3
Slunečnice	semeno	92		28,0	7,0	16,0	19,9	24,0
	sláma	90		15,0	2,2	5,0	41,5	50,0
	celkem		2,5	65,5	12,5	28,5	123,7	149,0
Mák	semeno	90		32,5	7,5	17,2	8,0	9,6
	sláma	90		9,0	1,0	2,3	20,0	24,1
	celkem		2,8	57,7	10,3	23,6	64,0	77,1
Brambory	hlízy	22		3,5	0,5	1,1	4,5	5,4
	nať	15		2,8	0,2	0,5	4,0	4,8
	celkem		0,2	4,1	0,5	1,2	5,3	6,4
Cukrovka	bulvy	23		2,0	0,3	0,7	2,0	2,4
	chrást	15		4,0	0,4	0,9	4,5	5,4
	celkem		0,5	4,0	0,5	1,1	4,3	5,1
Kukuřice na siláž	zelená hmota	30		3,7	0,6	1,4	3,8	4,6

*poměr HP/VP – poměr hlavního a vedlejšího produktu

Průměrná plocha na jeden půdní vzorek se pro ornou půdu odvíjí od výrobní oblasti – v bramborářské a horské výrobní oblasti činí 7 ha, v řepařské a kukuřičné 10 ha, při hloubce vpichu odpovídající mocnosti orničního profilu (max. 30 cm).

Postupně s rostoucím povědomím o variabilitě půdních vlastností bylo nutné revidovat některá doporučení vycházející z těchto konvenčních metod vzorkování. Také metodika AZP již zohledňuje plošnou nevyrovnanost pozemků výpočtem variačního koeficientu pro hodnoty pH a obsah přístupných živin (P, K, Mg). Výsledky slouží jako základní podklad pro případné diferencování dávek

jednotlivých živin při hnojení na pozemcích resp. jejich částech. Kritéria hodnocení variačního koeficientu pro jednotlivé půdní parametry uvádí Tab. 2.

Tab. 2 Kritéria pro hodnocení variability pozemku dle variačního koeficientu sledovaných půdních charakteristik (Beránek a Klement, 2007)

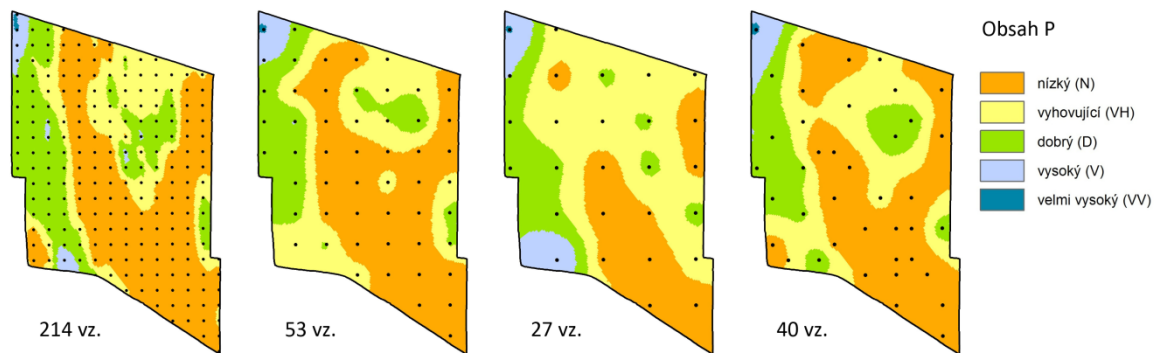
Výměra Pozemku (ha)	variační koeficient (%) - pozemek					
	vyrovnaný		nevyrovnaný		silně nevyrovnaný	
	pH	P, K, Mg, Ca	pH	P, K, Mg, Ca	pH	P, K, Mg, Ca
do 20,0	do 5	do 20	6-12	21-50	nad 12	nad 50
20,1-30,0	do 6	do 25	7-15	26-60	nad 15	nad 60
nad 30,0	do 7	do 30	8-20	31-65	nad 20	nad 65

2.3. Mapování prostorové variability agrochemických vlastností půdy vzorkováním půdy

Zjištění variability je prvním a kritickým krokem v precizním zemědělství, neboť nelze obhospodařovat variabilitu, pokud ji neznáme (Pierce et al., 1999). Prostorová variabilita pozemků představuje základní vstupní informaci pro diferencovanou aplikaci. Právě nevyrovnanost pozemků je základním předpokladem pro využití tohoto způsobu hospodaření, neboť bez ní má koncept precizního zemědělství jen pramalý význam. Jinými slovy pozemky, které se jeví jako relativně vyrovnané, není nutné obhospodařovat diferencovaně, lze použít tradiční celoplošně uniformní přístup.

Zmiňovanou prostorovou variabilitu pozemků lze chápat jako změny sledovaného znaku (např. obsah živiny v půdě) v rámci plochy pozemku. Při zohlednění hloubky půdy pak nabývá podoby trojdimenzionálního (3D) prostoru. Variabilita půdních podmínek je způsobena celou řadou faktorů, jejichž vliv se mění s ohledem na prostorové měřítko sledování. V regionálním měřítku převládá vliv klimatických faktorů, způsob využití půdy, vegetační pokryv a charakteristiky povrchu krajiny. Na úrovni pole jsou hlavními faktory ovlivňujícími variabilitu půdní typ, reliéf terénu, předplodina a předchozí způsob hospodaření. Ve větším měřítku pak mohou mít vliv směr řádků porostu, způsob aplikace živin, technologie zpracování půdy a stupeň utužení půdy. Mapování prostorové variability půdy je prováděno u těch půdních vlastností, které jsou nezbytné pro agronomické rozhodování. Nejčastěji se jedná o agrochemické půdní vlastnosti pro korekci hnojení (obsah živin v půdě), vápnění půd (pH půdy), příp. ovlivňující zpracování půdy (fyzikální vlastnosti půdy, reliéf terénu). S ohledem na množství materiálních vstupů umožňuje právě oblast výživy a hnojení rostlin dosažení nejvyšších přínosů.

Tradičním způsobem získávání informací o půdních vlastnostech je vzorkování půdy a následné laboratorní analýzy půdních vzorků. Pro přesnost zachycení reálného stavu je rozhodujícím parametrem hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů po pozemku. Vyšší počet odběrů umožňuje provést detailnější mapování, ale samozřejmě s vyššími náklady. Vzorkování o nižším počtu vzorků je méně nákladné, nemusí však zachytit některé lokální rozdíly. Hustota vzorkování je odvislá od úrovně variability pozemku, ale zpravidla se v precizním zemědělství pohybuje v rozmezí jeden vzorek na 1 - 5 ha.



Obr. 3 Vliv hustoty vzorkování (počtu vzorků) na zásobenost půdy P na pozemku o výměře 52 ha.

Podobně jako hustota má význam také rozmístění odběrových bodů v rámci pozemku, tzv. schéma vzorkování (*sampling design*). To představuje výběr nejefektivnější metody odběru vzorků a z praktického hlediska je faktorem ovlivňujícím nejvíce efektivnost a nákladnost půdního vzorkování. V řadě odborných prací jsou schémata vzorkování pro mapování plošné variability půdy z praktického hlediska rozdělena na **náhodné vzorkování** (*random sampling*), **vzorkování v pravidelné síti** - gridu (*grid sampling*) a **zónové vzorkování** (*zone sampling*), které je také často označováno jako cílené vzorkování (*directed* nebo *targeted sampling*).

Náhodné vzorkování může být použito pro mapování vyrovnaných pozemků s cílem zjistit průměrnou hodnotu pro celou plochu (Dinkins a Jones, 2008).

Vzorkování v **pravidelné síti** je vhodné zvláště tam, kde není žádná, nebo jen malá předběžná znalost variability v rámci pozemku. Důležitým faktorem je hustota vzorkování daná vzdáleností jednotlivých bodů vzorkování. Nevýhodou tohoto způsobu vzorkování jsou náklady s ním spojené, které jsou vysoké i při nízkém počtu odběrů.

Naopak **zónové** nebo **cílené** vzorkování vychází ze znalosti prostorové variability pozemku. Principem je optimalizace návrhu odběrového schémata podle předběžně analyzované prostorové variability pozemku nepřímými metodami. Předpokládá se, že pozemek lze dle snadno měřitelných pomocných atributů, reflektujících rozdíly v půdních vlastnostech, rozdělit na homogenní oblasti, nazývané zónami. Půdním vzorkováním je pak stanovena průměrná hodnota půdních vlastností uvnitř zóny, což vede ke snížení celkového počtu odběrů – v homogenních oblastech je počet vzorků nižší než v oblastech s vyšší variabilitou (Shaner et al., 2008). Na rozdíl od vzorkování v síti, počet zón a jejich tvar a velikost závisí na stupni variability pozemku.

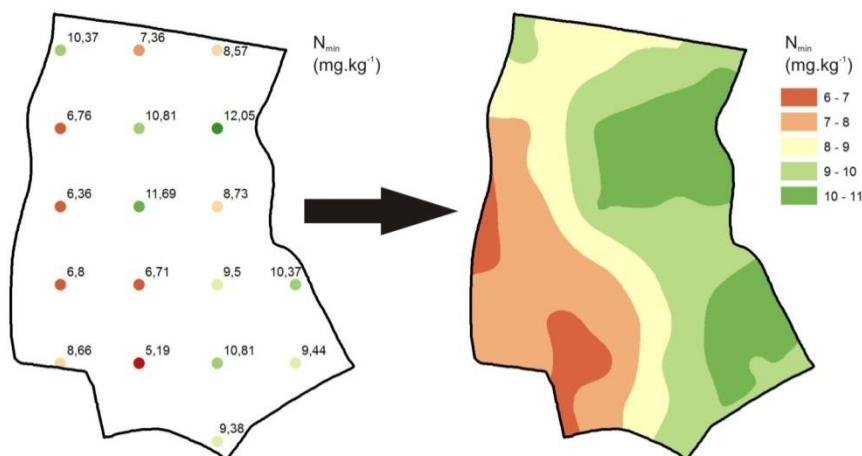
Zónové vzorkování redukuje počet vzorků v porovnání s pravidelným nebo náhodným vzorkováním a umožňuje variabilní aplikaci hnojiv. Postup zónového vzorkování obecně vede k nižšímu počtu vzorků oproti pravidelné síti, ale vyžaduje více času pro jeho naplánování. Nejlepší strategií je nejprve stanovit úroveň variability na pozemku a v případě že je nízká, použít vzorkování v pravidelné síti, při vysoké variabilitě použít zónové vzorkování (Dinkins a Jones, 2008).

Příkladem cíleného vzorkování může být umístění bodů odběru na základě leteckého nebo družicového snímku dané lokality, výsledků měření elektrické vodivosti půdy (EC), znalosti topografie pozemku nebo dle výnosových map (pokud očekáváme, že variabilita výnosu odpovídá variabilitě půdních podmínek). Lze tak vhodně kombinovat výhody obou způsobů mapování (půdního vzorkování, sensorové měření) a dosáhnout tak snížení počtu vzorků při zachování výsledné přesnosti půdních map. V rámci výzkumu prováděného na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy

univerzity v Brně (Lukas a Neudert, 2010) bylo porovnáváno pravidelné a cílené vzorkování. Rozmístění odběrových bodů na základě leteckých snímků nebo výsledků měření elektrické vodivosti půdy bylo dosaženo až 48% redukce půdních vzorků v porovnání s pravidelnou sítí při použití speciálního algoritmu a 25% redukce u subjektivní optimalizace. Pro optimalizaci byla použita metoda ESAP-RSSD (Lesch, 2005), která umožňuje rozmístit 6, 12 nebo 20 vzorků na ploše pozemku dle sensoricky měřených dat. Principem optimalizace je výběr vzorků, které pokrývají celé rozpětí sensoricky měřených hodnot (EC, dálkový průzkum, výnosová data) a fyzicky jsou od sebe co nejvíce vzdáleny (Minasny et al., 2007).

2.4. Prostorové interpolace

Aby bylo možné využít výsledky agrochemických analýz z půdního vzorkování jako podklad pro variabilní aplikaci, je potřeba z bodových dat vytvořit prostorovými interpolacemi celoplošné spojitě mapy obsahu živin. Prostorové interpolace představují metody odhadu hodnot sledovaného znaku mezi místy pozorování, tzn. na místech, která nejsou vzorkováním pokryta. Volba interpolační metody může značně ovlivnit podobu výsledných map.



Obr. 4 Příklad tvorby celoplošné mapy prostorovými interpolacemi z bodových dat půdního vzorkování (v tomto případě ukázka pro N_{min}).

Nejběžněji používanými interpolačními metodami pro tvorbu spojitých prostorových map je *kriging* a metoda *inverzního vážení vzdálenosti* (*inverse distance weighting - IDW*). U obou metod jsou hodnoty nevzorkovaných míst počítány váženým průměrem z hodnot okolních měřených bodů, liší se ale ve způsobu výpočtu vah.

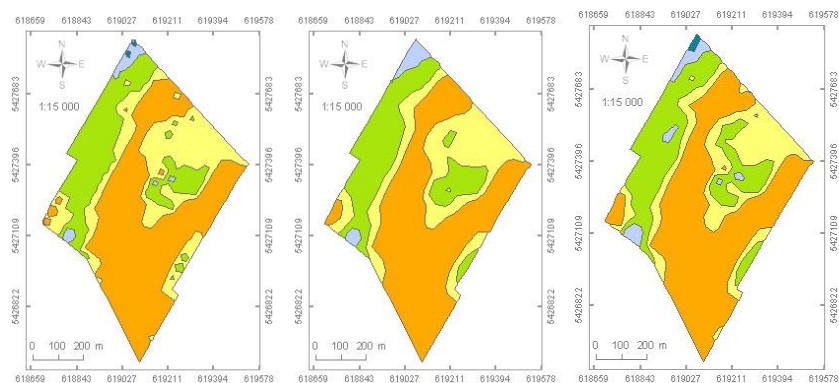
Kriging je geostatistickou metodou pojmenovanou po jihoafrickém důlním inženýru D. G. Krige. Metoda je založena na výpočtu lokálně vážených průměrů pohyblivého okna z měřených hodnot. Váhy pro predikci hodnot jsou určeny dle variogramu, který popisuje změnu prostorové závislosti se vzdáleností a směrem tak, aby se minimalizovala chyba odhadu.

Prvním krokem je zkoumání dat pro identifikaci prostorové struktury, což je reprezentováno empirickým variogramem. Matematická funkce, kterou je experimentální variogram proložen, pak určuje váhu hodnot predikovaných na nevzorkovaných místech. Výpočet a modelování činí tuto metodu výpočetně náročnější. Výhodou krigingu je možnost určení odhadu rozptylu predikované hodnoty – tedy stanovení chyby odhadu. Možnost odhadnout výsledný rozptyl krigingových odhadů

bez předchozí znalosti skutečných hodnot lze využít pro návrh optimální hustoty vzorkovací sítě na základě zvolené míry nepřesnosti. Charakteristickým rysem krigingu je vyhlazování lokálních extrémů nadhodnocením nízkých hodnot a podhodnocením vysokých. Existuje několik typů krigingu, jejich podrobnější popis lze nalézt v publikacích zaměřených na geostatistické interpolační metody (Goovaerts, 1997; Isaaks a Srivastava, 1989; Webster a Oliver, 2007).

U metody **IDW** jsou data vážena dle vzdálenosti bodu od ostatních sousedících bodů. Způsob výpočtu vah každého bodu je inverzně proporcionální k vzdálenosti od bodu odhadu. Čím blíže jsou měřené body k interpolovaným bodům, tím vyšší je váha jejich hodnot. S rostoucí vzdáleností klesá síla váhy a interpolovaná hodnota se přibližuje hodnotám ostatních bodů. IDW patří mezi přesné interpolátory a je metodou výpočetně nenáročnou, kterou lze použít i na rozsáhlé datové soubory, protože na rozdíl od krigingu není nutné vypočítat a modelovat variogram. Také se jedná o metodu snadno parametrizovatelnou, neboť jediným parametrem nutným pro výpočet je hodnota p (*power*). Tento parametr určuje, jak rychle se hodnoty vah snižují k nule se zvyšující se vzdáleností od bodu odhadu. Běžně se hodnoty p pohybují od 1 do 5.

V porovnání s krigingem vykazuje IDW lepší predikce v případech, kdy je lokální variabilita příliš vysoká a kde použití variogramu nedokáže dobře vystihnout prostorové struktury. Častým jevem při použití této metody je výskyt tzv. očí (*bull eyes*) ve výsledných mapách, což jsou okrouhlé a lokálně velmi ohraničené struktury (Gotway et al., 1996).



Obr. 5 Mapa zásobenosti půd fosforem vytvořená metodou IDW, Ordinary Kriging a Ordinary Kriging bez výpočtu nugget efektu (Lukas a Křen, 2005). U metody ordinary kriging je patrný vyhlazovací efekt, zatímco ostatní metody jsou více detailní.

2.5. Kritéria hodnocení zásobenosti půd živinami

Zdrojem živin v půdě je matečná hornina, hnojiva, atmosféra, zbytky rostlin apod. Z celkového obsahu živin v půdě je ovšem pro rostliny aktuálně využitelný pouze velmi malý podíl (přibližně 5 %). Systém hnojení vychází z předpokladu dosažení dobré zásoby živiny v půdě. Základním důvodem je to, že na výživě rostlin se podílejí především živiny ze staré půdní síly a mnohem méně živiny dodané hnojivem. Platí tedy stav, že fosforem, draslíkem, hořčíkem a vápníkem hnojíme půdu, ne rostliny.

Obsah přístupného fosforu

Stanovení korektního obsahu přístupného fosforu je závislé především na zvoleném vyluhovadle. Rozdílné složení jednotlivých extrakčních činidel způsobuje rozdíly v obsahu přístupného fosforu na půdách s podobnými vlastnostmi. V rámci AZPP je v ČR díky své univerzálnosti používáno skupinové extrakční činidlo Mehlich III.

Prostorová variabilita obsahu přístupného fosforu je známa a závisí na řadě půdních a stanovištních podmínek pozemku a na pěstované plodině. Pro posouzení vlivu obsahu přístupného fosforu na variabilitu výnosu lze využít kromě analýz vzorků půdy také údaje o textuře půdy, pH a obsahu organické hmoty v půdě a informace o topografii pozemku (vyšší obsahy na úpatí pozemků vlivem erozní činnosti). Mnohdy na pozemcích s vyšší sklonitostí jsou vhodnější více než intenzivní hnojení fosforem, spíše úpravy struktury půdy a změny v agrotechnice (Balík et al., 2006).

Návrh variabilní aplikace fosforečných hnojiv odvozený od zásoby přístupného P v půdě může být doplněn a zpřesněn na základě údajů o odběru fosforu rostlinami.

Obsah přístupného draslíku

Obsah přístupného draslíku kolísá v závislosti na druhu půdy, tj. množství jílnatých částic a typu jílových minerálů, mateční hornině, stupni zvětrání, hnojení, koncentraci ostatních iontů, půdní reakci a vodním režimu. Je soustředěn přednostně v jemných frakcích půdy, nejbohatší jsou zpravidla těžké jílovité půdy. Významným faktorem ovlivňujícím příjem draslíku rostlinami je morfologie kořenů a intenzita jejich růstu. Kořeny rychleji rostoucích plodin mohou prorůst do nižších horizontů a odtud čerpat draslík. V takových případech je vhodné sledovat obsah přístupného draslíku nejen v orniční vrstvě, ale i v podorničí (Balík et al., 2006).

V AZZP používané extrakční činidlo Mehlich III vyluhuje z půdy draslík intenzivněji než jiné metody a to i z pevnějších vazeb. Proto je vhodné při hodnocení získaných dat vzít v úvahu také obsahy ostatních živin a hodnoty půdní reakce. Pro komplexní posouzení obsahu přístupného draslíku a tvorbu kontinuální mapy jeho zásoby v půdě je vhodné informace doplnit o půdní druh a údaje o topografii pozemku. Významné jsou také údaje o průběhu vlhkosti a teploty během vegetace, popř. obsahu přístupného draslíku v podorničí u hluboko kořenících rostlin.

Obsah přístupného hořčíku

Na sorpčním komplexu půdy je hořčík díky velikosti svého hydratačního obalu sorbován slaběji, což umocňuje vyšší obsah monovalentních kationtů (K^+ , Na^+ , NH_4^+). Proto je třeba sledovat zastoupení hořčíku v sorpčním komplexu a udržovat jej v optimálním poměru k draslíku. Vysoká zásoba přístupného draslíku v půdě může vést k deficitu v příjmu hořčíku rostlinami.

Tab. 3 Kritéria hodnocení poměru K:Mg v zemědělských půdách

Poměr	Hodnota K	Hodnocení
dobrý (D)	do 1,6	nelze očekávat problémy s výživou hořčíkem
vyhovující (VH)	1,6 - 3,2	ke hnojení draslíkem je třeba přistupovat opatrně, problémy se mohou vyskytnout především u krmných plodin
nevyhovující (NVH)	nad 3,2	jedná se o špatný poměr, který způsobuje nadměrný příjem draslíku - je třeba vypustit draselné hnojení

Při posouzení extrémů ve variabilitě přístupného hořčíku na pozemku by se mělo přihlídnout, kromě údajů zmíněných výše o draslíku, také k variabilitě hodnot poměru K : Mg v půdě.

Tab. 4 Kritéria hodnocení výsledků půdních rozborů

Obsah	FOSFOR (mg.kg ⁻¹)	DRASLÍK (mg.kg ⁻¹)			HOŘČÍK (mg.kg ⁻¹)			VÁPŇÍK (mg.kg ⁻¹)		
		půda			půda			půda		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
Nízký	do 50	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120	do 1000	do 1100	do 1700
vyhovující	51-80	101-160	106-170	171-260	81-135	106-160	121-220	1001-1800	1101-2000	1701-3000
Dobrý	81-115	161-275	171-310	261-350	136-200	161-265	221-330	1801-2800	2001-3300	3001-4200
Vysoký	116-185	276-380	311-420	351-510	201-285	266-330	331-460	2801-3700	3301-5400	4201-6600
velmi vysoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460	nad 3700	nad 5400	nad 6600

Obsah živin v půdě (P, K, Mg, Ca) je podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. klasifikován do pěti tříd (Tab. 4): nízký, vyhovující, dobrý, vysoký a velmi vysoký, přičemž pro obsah K, Mg a Ca je hodnocení závislé na druhu půdy vyskytující se na pozemku (lehká, středně těžká, těžká).

Druh půdy je hodnocen klasifikační stupnice podle Nováka (Tab. 5) dle zastoupení jílnatých částic (< 0,01 mm).

Tab. 5 Základní klasifikační stupnice podle Nováka (Jandák et al., 2004)

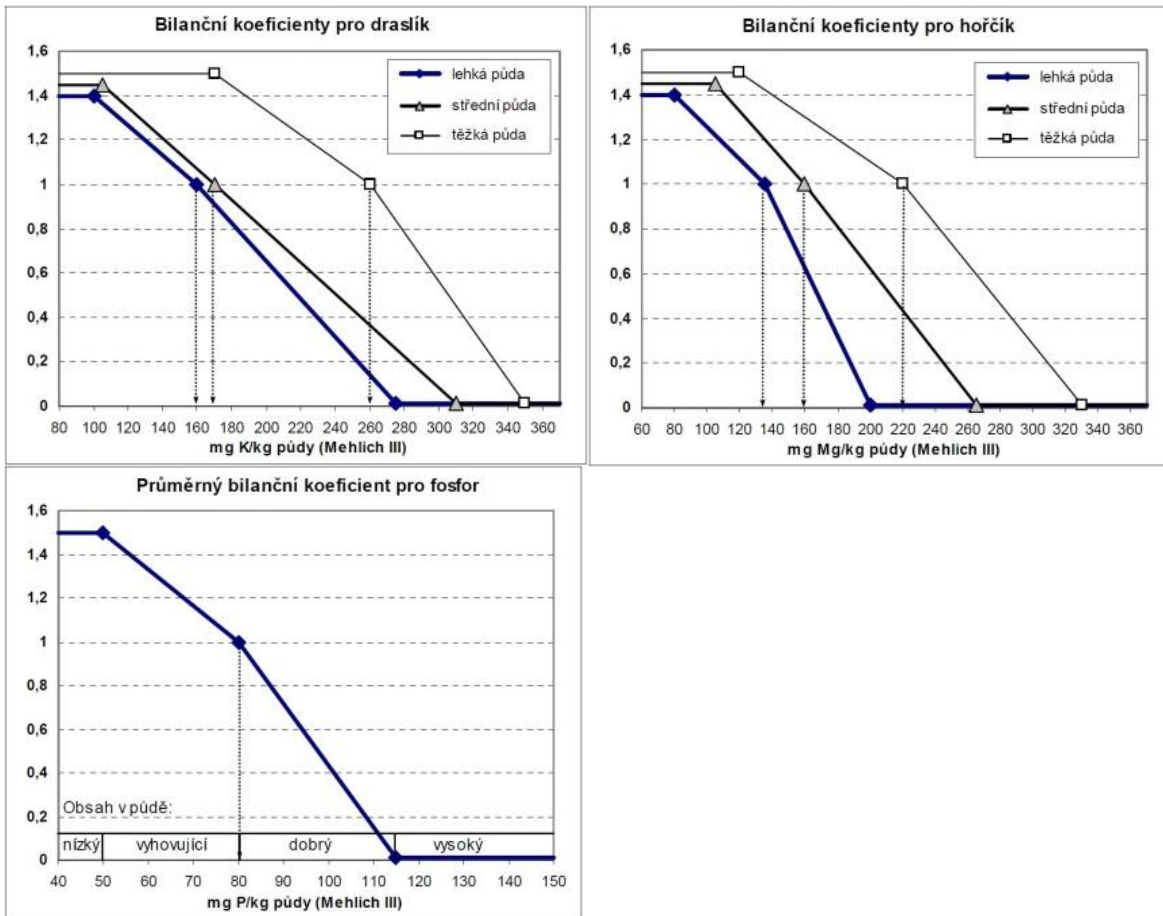
Obsah částic (zrn) <0,01 mm (%)	Označení druhu půdy	Klasifikace půdy
0 – 10	písčítá (P)	lehká
10 – 20	hlinitopísčítá (HP)	
20 – 30	písčítóhlinítá (PH)	středně těžká
30 – 45	hlinítá (PH)	
45 – 60	jílovítóhlinítá (JH)	těžká
60 – 75	jílovitá (JV)	
nad 75	jíl (J)	

Uvedené slovně označené kategorie lze využít v úpravě základních dávek živin podle Tab. 6. Optimální zásoba přístupných živin v půdě se pohybuje okolo rozmezí jejich dobré a vyhovující zásoby. Obecně platí, že při vysoké a velmi vysoké zásobě se vypočtená dávka hnojení úměrně snižuje a při nízké zásobě naopak zvyšuje.

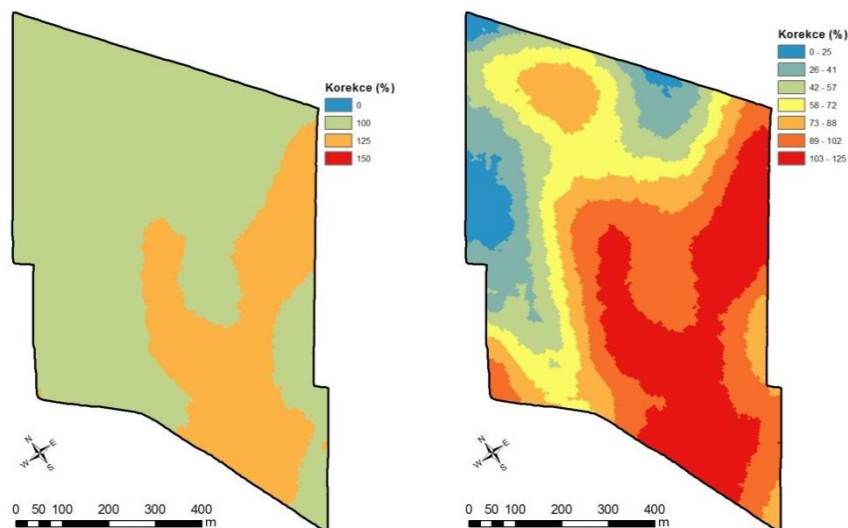
Tab. 6 Doporučené hnojení na základě obsahu přístupných živin v půdě

Obsah P, K, Mg v půdě	Hodnocení
nízký (N)	potřeba výrazného dosycení příslušnou živinou (+ 50 % normativu)
vyhovující (VH)	potřeba mírného dosycení příslušnou živinou (+ 25 % normativu)
dobrý (D)	potřeba pouze nahrazovacího hnojením příslušnou živinou (normativ)
vysoký (V)	potřeba vypustit hnojení do dosažení kategorie dobré
velmi vysoký (VV)	hnojení příslušnou živinou je zbytečné až nepřipustné

Klír et al. (2008) navrhují pro hnojení P, K, Mg hnojivy tzv. **bilanční koeficient** (BK), který vyjadřuje úpravu normativu. BK odpovídá původním hodnotám úpravy normativů, které jsou ale vyneseny do spojnicového grafu. BK nabývá hodnot v rozpětí 0 – 1,5 (tedy 0 – 150 % normativní dávky).



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



Obr. 7 Porovnání úpravy normativu pro draslík – vlevo dle kategorií obsahu živiny, vpravo dle spojité křivky bilančního koeficientu.

Výhodou použití BK je možnost kontinuální úpravy normativu pro daný obsah živiny namísto jejího zařazení do příslušné třídy.

2.6. Kritéria hodnocení půdní reakce a stanovení potřeby vápnění

Půdní reakce je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících půdní úrodnost. Reakce půdy má vliv především na poutání a rozpustnost živin, na strukturní stav půdy, a tím na lepší koloběh vody a vzduchu v půdě, na mikrobiální aktivitu půdy, tvorbu humusu, a pohyblivost těžkých kovů v půdě.

Půdní reakce se dělí dle povahy na aktivní (aktuální) a výměnnou (potenciální). Aktivní půdní reakci zjistíme v suspenzi zeminy a vody, zatímco u výměnné je třeba použít roztoku neutrální soli (metodika AZP užívá 0,01 M CaCl_2). V praxi se více využívá měření výměnné půdní reakce, která méně podléhá sezónním výkyvům souvisejícím do značné míry s kolísáním půdní vlhkosti v průběhu roku. Současně se hodnota výměnné půdní reakce využívá ke stanovení potřeby vápnění půd. Kritéria hodnocení půdní reakce udává Tab. 7.

Tab. 7 Kritéria hodnocení výměnné půdní reakce

Hodnota pH	Půdní reakce
do 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6-7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

Účelem vápnění je dosáhnout a udržet optimální rozpětí pH v půdě. Změny reakce půdy (okyselování) jsou způsobeny především vyplavením zásaditých složek (vápník, hořčík) v oblastech s vyššími srážkami, jejich odčerpáním rostlinami, používáním fyziologicky kyselých hnojiv, kyselými spady z ovzduší apod. Dávky vápenatých hnojiv na orné půdě jsou určeny především hodnotou výměnné půdní reakce a půdním druhem (Tab. 8). Potřeba vápnění se udává v tunách CaO na hektar. Při přepočtu na mletý vápenec je třeba toto množství násobit dvěma a u páleného vápna přibližně 1,2 krát (mletý vápenec obsahuje asi 50 % CaO a pálené vápno asi 80 % CaO). Vzhledem k nedokonalému promísení v půdě se nedoporučuje jednorázově překročit dávky CaO, uvedené v Tab. 1. Pokud byl v rámci AZP na pozemku zjištěn obsah uhličitánů (CaCO_3 a MgCO_3) nad 0,3 %, je možné vápnění vynechat. Obsah alkalicky účinných karbonátů brání okyselení půdy na řadu let, popř. trvale.

Tab. 8 Roční normativy dávek vápenatých hnojiv v tunách CaO na ha na orné půdě

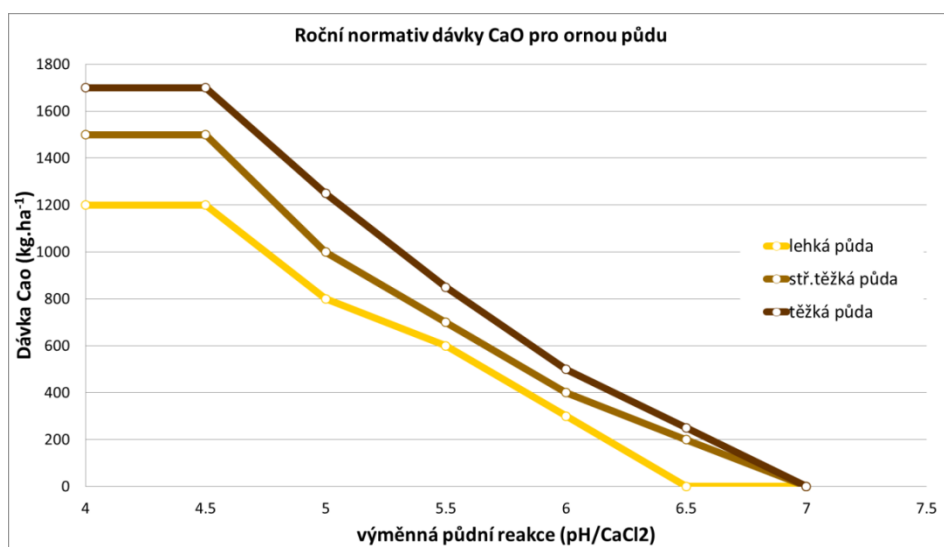
Lehká půda		Střední půda		Těžká půda	
pH/ CaCl_2	tuny CaO.ha ⁻¹	pH/ CaCl_2	tuny CaO.ha ⁻¹	pH/ CaCl_2	tuny CaO.ha ⁻¹
do 4,5	1,20	do 4,5	1,50	do 4,5	1,70
4,6 - 5,0	0,80	4,6 - 5,0	1,00	4,6 - 5,0	1,25
5,1 - 5,5	0,60	5,1 - 5,5	0,70	5,1 - 5,5	0,85
5,6 - 5,7	0,30	5,6 - 6,0	0,40	5,6 - 6,0	0,50
		6,1 - 6,5	0,20	6,1 - 6,5	0,25

Tab. 9 Maximální jednorázová dávka CaO na 1 hektar

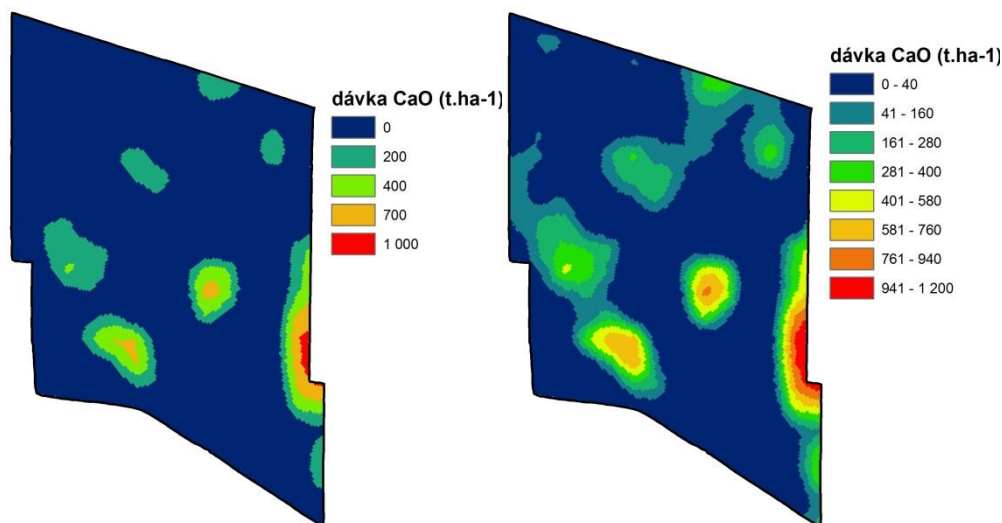
Půdní druh	maximální dávka CaO (v t.ha ⁻¹)
písčité (lehká)	1,0
hlinitopísčité (lehká)	1,5
písčitohlinitá (střední)	2,0
hlinitá (střední)	3,0
jílovitohlinitá, jílovitá (těžká)	5,0

Pozn.: Překročí-li potřeba vápnění uvedené dávky, je třeba vápnit opakovaně v krátkých intervalech, nejlépe do 2 let.

Podobně jako bilanční koeficient pro hnojení P, K, Mg hnojiv, je možné také přesněji stanovit dávku CaO pro úpravu půdní reakce pomocí spojitého grafu. Tímto postupem dochází k plynulejším přechodům mezi jednotlivými dávkami hnojiva.



Obr. 8 Zpřesnění dávky CaO dle výměnné půdní reakce pomocí spojitého grafu se zohledněním druhu půdy.

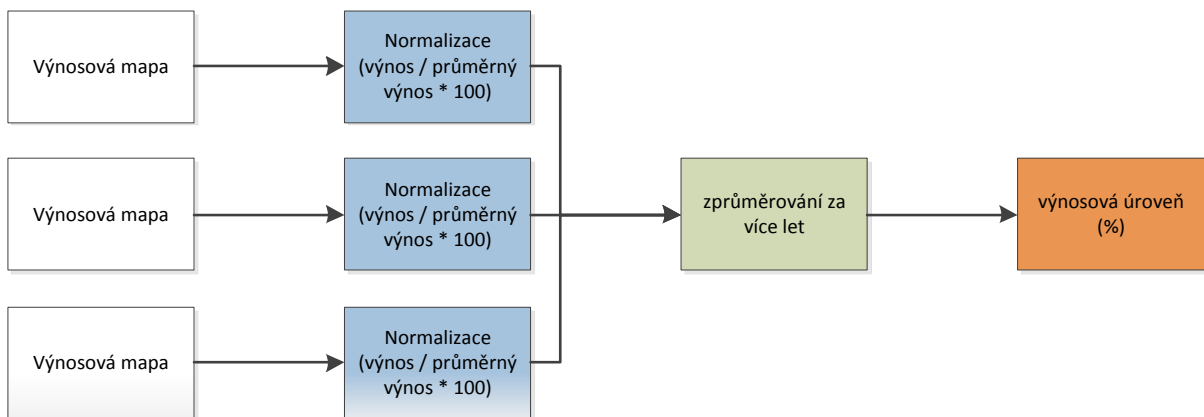


Obr. 9 Porovnání dávky CaO – vlevo dle normativu dávky CaO, vpravo dle navrhované spojitě křivky

3. Postup tvorby aplikačních map v GIS

3.1. Stanovení normativní dávky P, K, Mg hnojiv se zohledněním výnosové úrovně

Jak již bylo zmíněno v kap. 2.1, výnosová data mohou sloužit pro stanovení dosahované výnosové úrovně na pozemku. Hodnota výnosové úrovně vyjadřuje procentuální porovnání výnosu na daném místě s průměrným výnosem ve sledovaném roce za celý pozemek. 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). Stanovení výnosové úrovně se skládá ze dvou kroků – normalizace výnosových map a zprůměrování za více let (pokud jsou data k dispozici).



Obr. 10 Schéma výpočtu výnosové úrovně z výnosových dat z jednotlivých sklizňových ročníků (počet závisí na dostupnosti historických dat)

Normalizování výnosových map

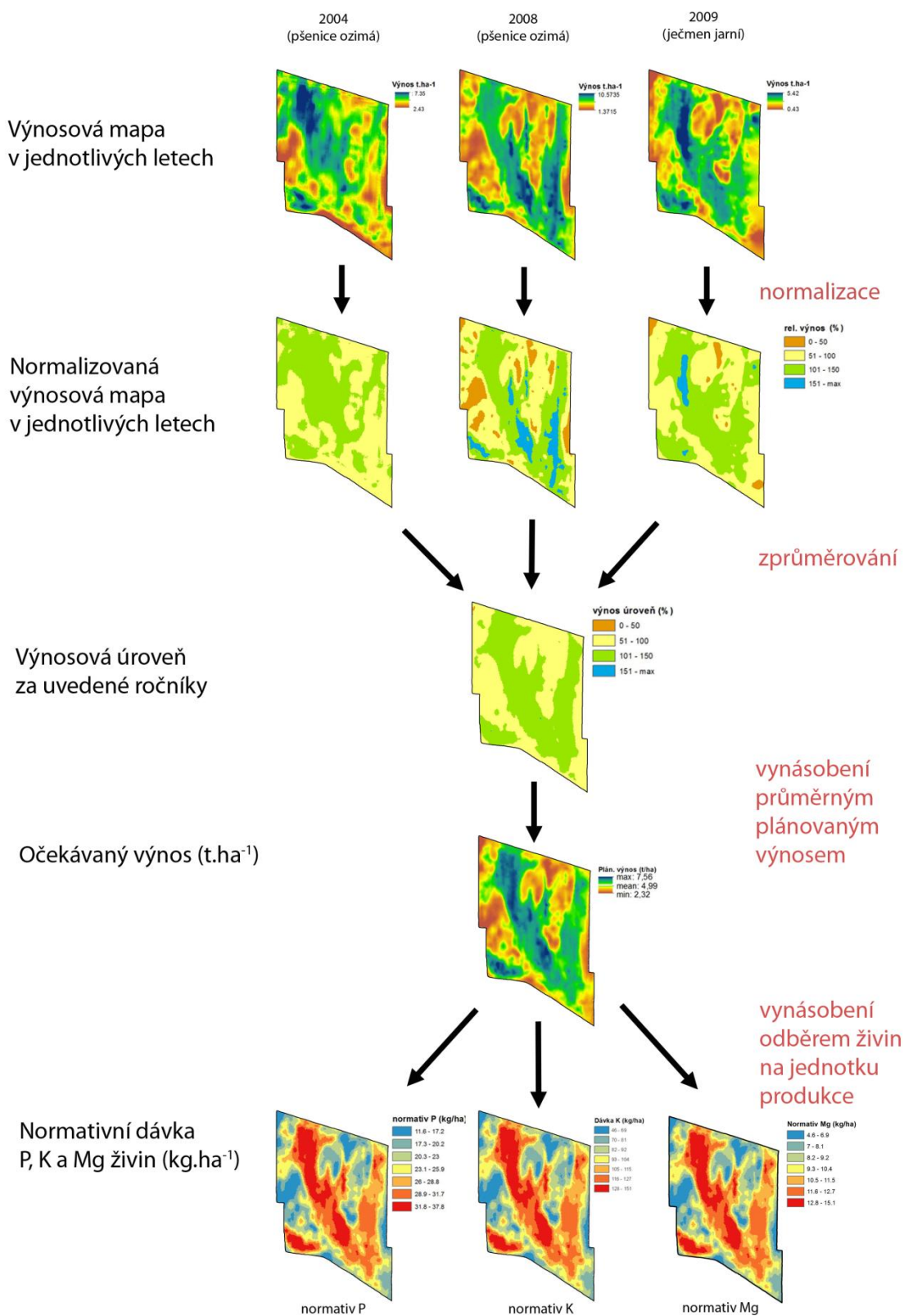
Vstupní bodová data je nutné nejprve upravit (odstranit chybové, nulové a odlehlé hodnoty, přepočítat na konstantní 15% vlhkost zrna) a následně z nich prostorovými interpolacemi (viz kap. 2.4) vytvořit celoplošné rastrové mapy vyjadřující výnos v absolutních jednotkách ($t \cdot ha^{-1}$, $kg \cdot ha^{-1}$) v každém pixelu. Normalizovaný výnos se vypočte následovně:

$$(\text{výnos} / \text{průměrný výnos}) * 100 \quad [\%]$$

Výnosem je hodnota každého pixelu (tzn. konkrétní výnos na daném místě), *průměrným výnosem* je průměr výnosu na daném pozemku. Výsledný normalizovaný výnos vyjadřuje, o kolik procent byl vyšší nebo nižší než průměr celého pozemku v daném roce. Normalizace výnosu umožňuje použít výnosová data rozdílných plodin nebo odrůd s odlišným výnosovým potenciálem, neboť se zohledňuje pouze poměr k průměrnému výnosu, nikoli vlastní naměřený výnos.

Zprůměrování historických dat

Pokud jsou k dispozici výnosová data za více let, jejich zprůměrováním (po normalizaci výnosu) lze eliminovat vliv ročníku na výnos a vliv rozdílných plodin. Zároveň tento postup umožňuje identifikovat oblasti na pozemku s dlouhodobým podprůměrným nebo nadprůměrným výnosem.

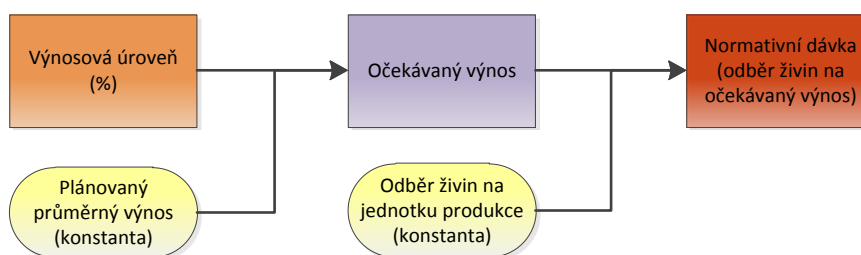


Obr. 11 Příklad výpočtu normativu na 52 ha pozemku se zohledněním historických výnosových dat.

Výpočet normativní dávky

Použití výnosové úrovně nic nevyovídá o očekávaném dosažení výnosu, který je zapotřebí pro výpočet normativní dávky živin z odběru živin na jednotku produkce. Proto je nutné výnosovou úroveň vynásobit plánovaným výnosem dané plodiny (konstanta na celý pozemek), který odpovídá výnosovému potenciálu plodiny (odrůdy) v daných agroekologických podmínkách a dané intenzitě hospodaření. Tímto se vytvoří mapa očekávaného výnosu v absolutních jednotkách. Normativní dávka je pak vypočtena vynásobením očekávaného výnosu množstvím živin odebraných na jednotku produkce (konstanta na celý pozemek – viz Tab. 1).

$$\text{normativ} = (\text{výnosová úroveň} / 100) * \text{plán. výnos} * \text{odběr živin na jednotku produkce} [\%]$$



Obr. 12 Schéma výpočtu normativní dávky (žlutý ovál značí konstantní hodnotu pro celý pozemek)

3.2. Korekce normativu dle zásobenosti půdy živinami

Úprava normativu dle tříd zásobenosti živinami

Vstupní datovou vrstvou je celoplošná mapa obsahu sledovaných živin (P, K, Mg, Ca) vytvořená z výsledků vzorkování půdy. V případě obsahu P je zásobenost hodnocena bez zohlednění druhu půdy. Hodnocení je provedeno reklasifikací mapy obsahu, jejímž výsledkem je procentuální úprava normativní dávky (Tab. 10).

Tab. 10 Tabulka klasifikace obsahu P do procentuálních hodnot úpravy normativu

Původní hodnoty	Výsledné hodnoty (korekce %)
0 – 50	150
50 – 80	125
80 – 115	100
115 – 999	0

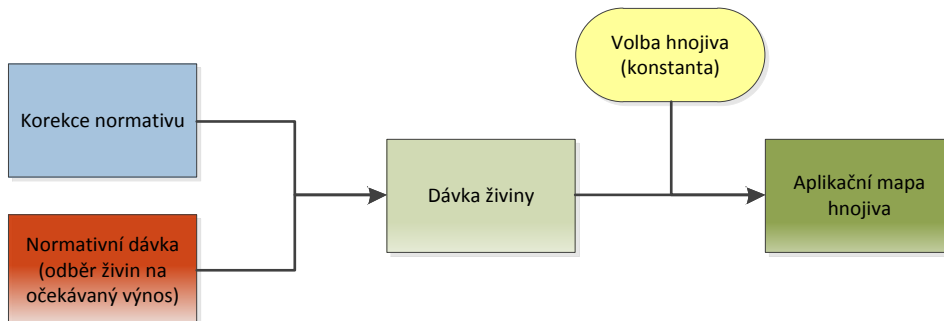
Při hodnocení obsahu K, Mg a Ca je nutné zohlednit druh půdy (viz Tab. 4). Informace o druhu půdy může být k dispozici jako konstantní hodnota pro celý pozemek (půdní zrnitost je na celé ploše pozemku ve stejné kategorii, případně se bere v potaz převažující půdní druh), nebo je k dispozici mapa zrnitosti (druhu) půdy vytvořená z výsledků půdního vzorkování, či odvozená z dostupných půdních map (KPZP, BPEJ, ...). Způsobů, jak v GIS klasifikovat data ze dvou vrstev (půdní druh, obsah živiny), je více, zřejmě nejjednodušším způsobem je ale přiřadit jednotlivým kategoriím druhu půdy kód 10000 (lehká), 20000 (střední) a 30000 (těžká půda) a reklasifikaci provést po součtu druhu půdy a obsahu živiny dle následující tabulky:

Tab. 11 Klasifikace obsahu K, Mg a Ca do procentuálních hodnot úpravy normativu s kódovým zohledněním druhu půdy (10000 = lehká půdy, 20000 = středně těžká půda, 30000 = těžká půda)

Obsah K	Korekce (%)	Obsah Mg	Korekce %	Obsah Ca	Korekce %
10000 - 10100	150	10000 - 10080	150	10000 - 11000	150
10100 - 10160	125	10080 - 10135	125	10080 - 11800	125
10160 - 10275	100	10135 - 10200	100	10135 - 12800	100
10275 - 19999	0	10200 - 19999	0	10200 - 19999	0
20000 - 20105	150	20000 - 20105	150	20000 - 21100	150
20105 - 20170	125	20105 - 20160	125	20105 - 22000	125
20170 - 20310	100	20160 - 20265	100	20160 - 23300	100
20310 - 29999	0	20265 - 29999	0	20265 - 29999	0
30000 - 30170	150	30000 - 30120	150	30000 - 31700	150
30170 - 30260	125	30120 - 30220	125	30120 - 33000	125
30260 - 30350	100	30220 - 30330	100	30220 - 34200	100
30350 - 39999	0	30330 - 39999	0	30330 - 39999	0

Úprava normativu dle bilančního koeficientu (BK)

Postup stanovení korekce normativu dle BK (viz kap.2.5) je shodný s předchozím popisem, liší se pouze reklasifikací dat. Namísto čtyř tříd, klasifikovaných dle příslušného rozsahu obsahu živiny, je použito přesné hodnocení vycházející ze spojitých grafů na Obr. 6. Pro tyto účely byla sestavena klasifikační tabulka s hodnotou BK pro každou jednotku obsahu živiny v půdě (viz příloha). Opět platí, že hodnocení obsahu P je prováděno bez zohlednění druhu půdy, zatímco u ostatních živin je hodnocen součet obsahu živiny a kódu druhu půdy.



Obr. 13 Schéma úpravy normativu a tvorby aplikační mapy

Výsledkem obou postupů je mapa procentuální korekce, kterou je následně normativní dávka živiny upravena dle následující rovnice:

$$Dávka\ živiny = normativ * (korekce\ normativu / 100) \ [kg.ha^{-1}]$$

Finálním krokem pro vytvoření aplikační mapy je volba hnojiva a přepočítání mapové vrstvy dávky živiny dle obsahu živin v hnojivu. Při exportu aplikační mapy z GIS je třeba pro úspěšné nahrání do palubního terminálu aplikátoru (rozmetadlo, postřikovač) dodržet výrobcem doporučený formát, datovou strukturu a souřadnicovou projekci mapového souboru. U dat, která byla vytvořena či zpracována v národním souřadnicovém systému S-JTSK (např. hranice farmářských bloků exportovaných z LPIS), lze předpokládat podmínku transformace do globálního souřadnicového

systemu WGS-84 (platný např. pro GPS systém). Nástroje pro tuto operaci jsou součástí většiny GIS aplikací a jejich podrobný popis přesahuje rámec tohoto textu.

3.3. Stanovení úpravy půdní reakce

Úprava půdní reakce v podobě doporučení dávky CaO v t.ha⁻¹ je stanovena na základě rozpětí hodnot výměnné půdní reakce (pH/CaCl₂) půdy se zohledněním druhu půdy. Podobně jako u hodnocení obsahu K a Mg byl zvolen postup přiřazení jednotlivým kategoriím druhu půdy kód 10000 (lehká), 20000 (střední) a 30000 (těžká půda) a následná reklasifikace po součtu druhu půdy a hodnoty výměnné půdní reakce (Tab. 12) nebo dle spojitě křivky normativu dávky CaO (

Tab. 16 v příloze). Posledním krokem pro vytvoření aplikační mapy je volba vápenatého materiálu a vynásobení normativní dávky dle obsahu CaO. I zde platí podmínka dodržení formátu, struktury a souřadnicového systému datových souborů pro přenos dat do palubních terminálů aplikátorů.

Tab. 12 Klasifikace výměnné půdní reakce se zohledněním druhu půdy a přiřazení dávky CaO (kg.ha⁻¹)

Kód pH (lehká)	CaO (kg.ha ⁻¹)	Kód pH (střední)	CaO (kg.ha ⁻¹)	Kód pH (těžká)	CaO (kg.ha ⁻¹)
10000–10004,5	1200	20000–20004,5	1500	30000–30004,5	1700
10004,5 – 10005	800	20004,5 – 20005	1000	30004,5 – 30005	1250
10005 – 10005,5	600	20005 – 20005,5	700	30005 – 30005,5	850
10005,5 - 10006	300	20005,5 – 20006	400	30005,5 – 30006	500
10006 - 19999	0	20006 – 20006,5	200	30006 – 30006,5	250
		20006,5 – 29999	0	30006,5 – 39999	0

3.4. Dodatečné poznámky ke zpracování dat v GIS

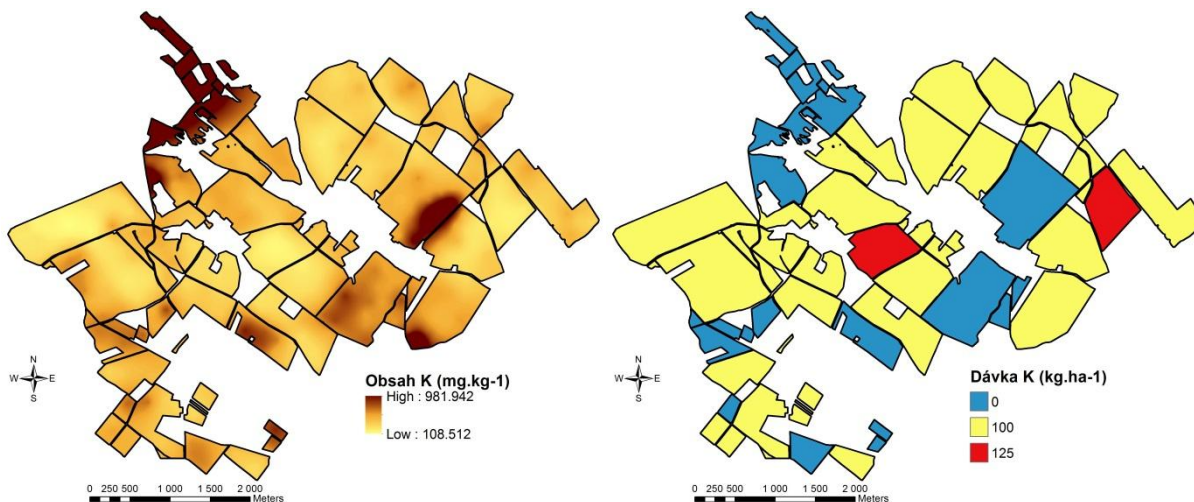
Předložený text poskytuje pouze obecný popis postupu zpracování vstupních podkladů v GIS. Názvy nástrojů a funkcí pro provedení jednotlivých kroků se mohou lišit dle použitého software. Z důvodu snadnosti provádění algebraických operací u mapových vrstev je vhodné pracovat s rastrovými formáty (gridy).

Prostorová detailnost (rozlišení) rastrových map je dána velikostí nejmenší jednotky – pixelu. Při zpracování aplikačních map platí pravidlo, že velikost pixelu by neměla být větší než je záběr nejmenší ovládané jednotky (sekce) aplikátoru. Podobně je ale zbytečné vysoké prostorové rozlišení, které zvyšují náročnost na výpočetní výkon a objem dat, aniž by výrazně zvýšily prostorovou distribuci aplikovaného hnojiva. Aplikační mapy, které byly v této metodice použity jako příklad, byly zpracovávány s prostorovým rozlišením 5 m.

4. Vyhodnocení navrhovaného postupu

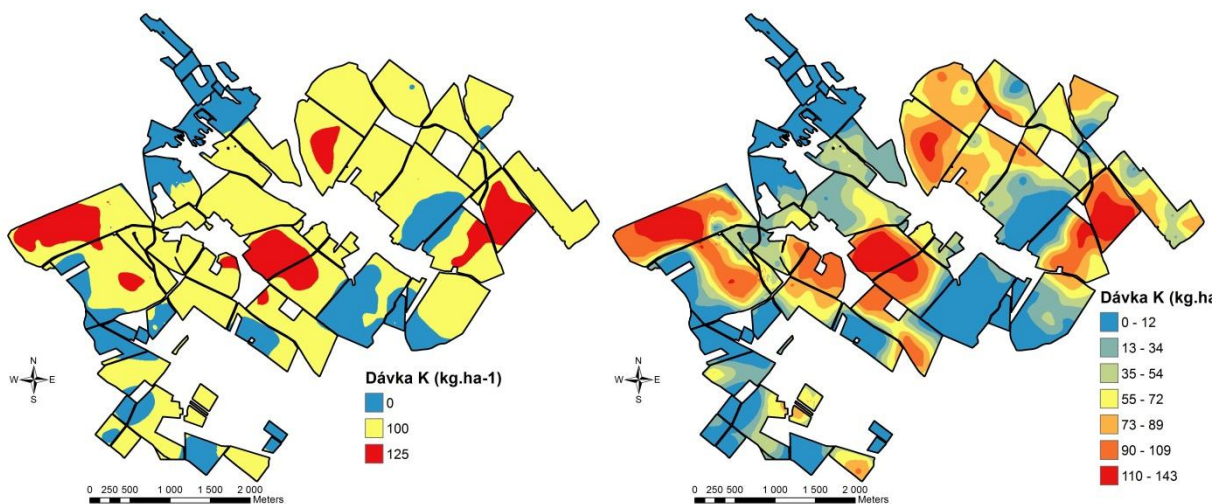
Navrhovaný postup stanovení dávek živin pro variabilní aplikaci hnojiv byl ověřován na reálných výsledcích vzorkování půdy vybraného zemědělského podniku. Na pozemcích o celkové výměře zhruba 1500 ha orné půdy byl proveden modelový výpočet normativních dávek fosforečných a draselných hnojiv a vápenatých hmot. Hodnocen byl součet navrhovaných dávek živin / CaO pro varianty: (A) tradiční postup výpočtu a korekce normativu a uniformní aplikace, (B) variabilní aplikace dle hodnocení zásobenosti dané vyhláškou č. 275/1998 Sb. bez výpočtu mapy výnosové úrovně a (C)

variabilní aplikace dle bilančního koeficientu (spojité křivky korekce normativu) a normativem spočteným na základě map výnosové úrovně.



Obr. 14 Mapy obsahu K a dávky živiny pro uniformní aplikaci na vybraném zemědělském podniku. Normativ modelově spočítán pro pšenici ozimou při výnosu 5 t.ha⁻¹ a odběru 20 kg K na 1 t zrna.

U obou sledovaných živin (P, K) vedla variabilní aplikace (B) k mírnému navýšení celkového množství navrhovaných dávek živin v porovnání s uniformní aplikací (A). Naproti tomu postup s rozdílnou výnosovou úrovní a bilančním koeficientem (C) vedl ke snížení aplikačních dávek živin o zhruba 35 – 45 % v porovnání s tradičním výpočtem.



Obr. 15 Mapa dávky živiny dle úpravy normativu dané vyhláškou (vlevo) a dle bilančního koeficientu (vpravo)

Jiná situace nastala v případě stanovení vápnění půdy, kdy byla taktéž porovnávána tradiční uniformní aplikace (A), variabilní aplikace dle kategorizace dané vyhláškou č. 275/1998 Sb. (B) a stanovení dle spojité křivky (C). Výsledkem bylo vždy zvýšení celkové dávky živin na daném území u variabilní aplikace – zhruba o 30 % u varianty B a dokonce o 220 % u postupu C. Důvodem je nezohlednění lokálních výkyvů výměnné půdní reakce uniformní aplikací a citlivou reakcí na ně v případě použití kontinuální normativní dávky (C).

Dosažené výsledky jsou značně závislé na konkrétním stavu zásobenosti půdy na pozemcích a mohou se značně lišit při hodnocení jiného území. Dokazují ale, že ne vždy představuje variabilní aplikace úsporu hnojiv. Variabilní aplikace nemusí tedy nutně vést k aktuální úspoře hnojiv, ale k jejich efektivnímu využívání s ohledem na konkrétní podmínky stanoviště a potřeby rostlin v dlouhodobém horizontu.

5. Přílohy – tabulky

Tab. 13 Tabulka klasifikace obsahu P dle bilančního koeficientu (%)

Rozsah	BK	60-61	133	72-73	113	84-85	89	96-97	54	108-109	20
0-50	150	61-62	132	73-74	112	85-86	86	97-98	51	109-110	17
50-51	149	62-63	130	74-75	110	86-87	83	98-99	49	110-111	14
51-52	148	63-64	128	75-76	108	87-88	80	99-100	46	111-112	11
52-53	147	64-65	127	76-77	107	88-89	77	100-101	43	112-113	9
53-54	145	65-66	125	77-78	105	89-90	74	101-102	40	113-114	6
54-55	143	66-67	123	78-79	103	90-91	71	102-103	37	114-115	3
55-56	142	67-68	122	79-80	102	91-92	69	103-104	34	115-1000	0
56-57	140	68-69	120	80-81	100	92-93	66	104-105	31		
57-58	138	69-70	118	81-82	97	93-94	63	105-106	29		
58-59	137	70-71	117	82-83	94	94-95	60	106-107	26		
59-60	135	71-72	115	83-84	91	95-96	57	107-108	23		

Tab. 14 Tabulka klasifikace obsahu K dle bilančního koeficientu (%) se zohledněním druhu půdy v podobě kódu

Rozsah	BK	10137-10138	119	10177-10178	85	10217-10218	50	10257-10258	16
Lehká půda		10138-10139	118	10178-10179	84	10218-10219	50	10258-10259	15
10000-10100	150	10139-10140	118	10179-10180	83	10219-10220	49	10259-10260	14
10100-10101	149	10140-10141	117	10180-10181	83	10220-10221	48	10260-10261	13
10101-10102	149	10141-10142	116	10181-10182	82	10221-10222	47	10261-10262	12
10102-10103	148	10142-10143	115	10182-10183	81	10222-10223	46	10262-10263	11
10103-10104	148	10143-10144	114	10183-10184	80	10223-10224	45	10263-10264	10
10104-10105	147	10144-10145	113	10184-10185	79	10224-10225	44	10264-10265	10
10105-10106	146	10145-10146	113	10185-10186	78	10225-10226	43	10265-10266	9
10106-10107	145	10146-10147	112	10186-10187	77	10226-10227	43	10266-10267	8
10107-10108	144	10147-10148	111	10187-10188	77	10227-10228	42	10267-10268	7
10108-10109	143	10148-10149	110	10188-10189	76	10228-10229	41	10268-10269	6
10109-10110	143	10149-10150	109	10189-10190	75	10229-10230	40	10269-10270	5
10110-10111	142	10150-10151	108	10190-10191	74	10230-10231	39	10270-10271	4
10111-10112	141	10151-10152	108	10191-10192	73	10231-10232	38	10271-10272	3
10112-10113	140	10152-10153	107	10192-10193	72	10232-10233	37	10272-10273	3
10113-10114	139	10153-10154	106	10193-10194	71	10233-10234	37	10273-10274	2
10114-10115	138	10154-10155	105	10194-10195	70	10234-10235	36	10274-10275	1
10115-10116	138	10155-10156	104	10195-10196	70	10235-10236	35	10275-10276	0
10116-10117	137	10156-10157	103	10196-10197	69	10236-10237	34	10276-19999	0
10117-10118	136	10157-10158	103	10197-10198	68	10237-10238	33	Středně těžká půda	
10118-10119	135	10158-10159	102	10198-10199	67	10238-10239	32	20000-20105	150
10119-10120	134	10159-10160	101	10199-10200	66	10239-10240	31	20105-20106	149
10120-10121	133	10160-10161	100	10200-10201	65	10240-10241	30	20106-20107	149
10121-10122	133	10161-10162	99	10201-10202	64	10241-10242	30	20107-20108	148
10122-10123	132	10162-10163	98	10202-10203	63	10242-10243	29	20108-20109	148
10123-10124	131	10163-10164	97	10203-10204	63	10243-10244	28	20109-20110	147
10124-10125	130	10164-10165	97	10204-10205	62	10244-10245	27	20110-20111	146
10125-10126	129	10165-10166	96	10205-10206	61	10245-10246	26	20111-20112	145
10126-10127	128	10166-10167	95	10206-10207	60	10246-10247	25	20112-20113	145
10127-10128	128	10167-10168	94	10207-10208	59	10247-10248	24	20113-20114	144
10128-10129	127	10168-10169	93	10208-10209	58	10248-10249	23	20114-20115	143
10129-10130	126	10169-10170	92	10209-10210	57	10249-10250	23	20115-20116	142
10130-10131	125	10170-10171	91	10210-10211	57	10250-10251	22	20116-20117	142
10131-10132	124	10171-10172	90	10211-10212	56	10251-10252	21	20117-20118	141
10132-10133	123	10172-10173	90	10212-10213	55	10252-10253	20	20118-20119	140
10133-10134	123	10173-10174	89	10213-10214	54	10253-10254	19	20119-20120	139
10134-10135	122	10174-10175	88	10214-10215	53	10254-10255	18	20120-20121	138
10135-10136	121	10175-10176	87	10215-10216	52	10255-10256	17	20121-20122	138
10136-10137	120	10176-10177	86	10216-10217	51	10256-10257	17	20122-20123	137

20123-20124	136
20124-20125	135
20125-20126	135
20126-20127	134
20127-20128	133
20128-20129	132
20129-20130	132
20130-20131	131
20131-20132	130
20132-20133	129
20133-20134	128
20134-20135	128
20135-20136	127
20136-20137	126
20137-20138	125
20138-20139	125
20139-20140	124
20140-20141	123
20141-20142	122
20142-20143	122
20143-20144	121
20144-20145	120
20145-20146	119
20146-20147	118
20147-20148	118
20148-20149	117
20149-20150	116
20150-20151	115
20151-20152	115
20152-20153	114
20153-20154	113
20154-20155	112
20155-20156	112
20156-20157	111
20157-20158	110
20158-20159	109
20159-20160	108
20160-20161	108
20161-20162	107
20162-20163	106
20163-20164	105
20164-20165	105
20165-20166	104
20166-20167	103
20167-20168	102
20168-20169	102
20169-20170	101
20170-20171	100
20171-20172	99
20172-20173	99
20173-20174	98
20174-20175	97
20175-20176	96
20176-20177	96
20177-20178	95
20178-20179	94
20179-20180	94
20180-20181	93
20181-20182	92
20182-20183	91
20183-20184	91
20184-20185	90
20185-20186	89
20186-20187	89
20187-20188	88
20188-20189	87
20189-20190	86
20190-20191	86

20191-20192	85
20192-20193	84
20193-20194	84
20194-20195	83
20195-20196	82
20196-20197	81
20197-20198	81
20198-20199	80
20199-20200	79
20200-20201	79
20201-20202	78
20202-20203	77
20203-20204	76
20204-20205	76
20205-20206	75
20206-20207	74
20207-20208	74
20208-20209	73
20209-20210	72
20210-20211	71
20211-20212	71
20212-20213	70
20213-20214	69
20214-20215	69
20215-20216	68
20216-20217	67
20217-20218	66
20218-20219	66
20219-20220	65
20220-20221	64
20221-20222	64
20222-20223	63
20223-20224	62
20224-20225	61
20225-20226	61
20226-20227	60
20227-20228	59
20228-20229	59
20229-20230	58
20230-20231	57
20231-20232	56
20232-20233	56
20233-20234	55
20234-20235	54
20235-20236	54
20236-20237	53
20237-20238	52
20238-20239	51
20239-20240	51
20240-20241	50
20241-20242	49
20242-20243	49
20243-20244	48
20244-20245	47
20245-20246	46
20246-20247	46
20247-20248	45
20248-20249	44
20249-20250	44
20250-20251	43
20251-20252	42
20252-20253	41
20253-20254	41
20254-20255	40
20255-20256	39
20256-20257	39
20257-20258	38
20258-20259	37

20259-20260	36
20260-20261	36
20261-20262	35
20262-20263	34
20263-20264	34
20264-20265	33
20265-20266	32
20266-20267	31
20267-20268	31
20268-20269	30
20269-20270	29
20270-20271	29
20271-20272	28
20272-20273	27
20273-20274	26
20274-20275	26
20275-20276	25
20276-20277	24
20277-20278	24
20278-20279	23
20279-20280	22
20280-20281	21
20281-20282	21
20282-20283	20
20283-20284	19
20284-20285	19
20285-20286	18
20286-20287	17
20287-20288	16
20288-20289	16
20289-20290	15
20290-20291	14
20291-20292	14
20292-20293	13
20293-20294	12
20294-20295	11
20295-20296	11
20296-20297	10
20297-20298	9
20298-20299	9
20299-20300	8
20300-20301	7
20301-20302	6
20302-20303	6
20303-20304	5
20304-20305	4
20305-20306	4
20306-20307	3
20307-20308	2
20308-20309	1
20309-20310	1
20310-30000	0
Těžká půda	
30000-30170	150
30170-30171	149
30171-30172	149
30172-30173	149
30173-30174	148
30174-30175	148
30175-30176	147
30176-30177	147
30177-30178	146
30178-30179	146
30179-30180	145
30180-30181	144
30181-30182	144
30182-30183	143
30183-30184	143

30184-30185	142
30185-30186	142
30186-30187	141
30187-30188	141
30188-30189	140
30189-30190	139
30190-30191	139
30191-30192	138
30192-30193	138
30193-30194	137
30194-30195	137
30195-30196	136
30196-30197	136
30197-30198	135
30198-30199	134
30199-30200	134
30200-30201	133
30201-30202	133
30202-30203	132
30203-30204	132
30204-30205	131
30205-30206	131
30206-30207	130
30207-30208	129
30208-30209	129
30209-30210	128
30210-30211	128
30211-30212	127
30212-30213	127
30213-30214	126
30214-30215	126
30215-30216	125
30216-30217	124
30217-30218	124
30218-30219	123
30219-30220	123
30220-30221	122
30221-30222	122
30222-30223	121
30223-30224	121
30224-30225	120
30225-30226	119
30226-30227	119
30227-30228	118
30228-30229	118
30229-30230	117
30230-30231	117
30231-30232	116
30232-30233	116
30233-30234	115
30234-30235	114
30235-30236	114
30236-30237	113
30237-30238	113
30238-30239	112
30239-30240	112
30240-30241	111
30241-30242	111
30242-30243	110
30243-30244	109
30244-30245	109
30245-30246	108
30246-30247	108
30247-30248	107
30248-30249	107
30249-30250	106
30250-30251	106
30251-30252	105

30252-30253	104
30253-30254	104
30254-30255	103
30255-30256	103
30256-30257	102
30257-30258	102
30258-30259	101
30259-30260	101
30260-30261	100
30261-30262	99
30262-30263	99
30263-30264	98
30264-30265	98
30265-30266	97
30266-30267	97
30267-30268	96
30268-30269	96
30269-30270	95
30270-30271	94
30271-30272	94
30272-30273	93
30273-30274	93
30274-30275	92
30275-30276	92
30276-30277	91
30277-30278	91
30278-30279	90
30279-30280	89
30280-30281	89
30281-30282	88
30282-30283	88
30283-30284	87
30284-30285	87
30285-30286	86
30286-30287	86
30287-30288	85
30288-30289	84
30289-30290	84
30290-30291	83
30291-30292	83
30292-30293	82
30293-30294	82
30294-30295	81
30295-30296	81
30296-30297	80
30297-30298	79
30298-30299	79
30299-30300	78
30300-30301	78
30301-30302	77
30302-30303	77
30303-30304	76
30304-30305	76
30305-30306	75
30306-30307	74
30307-30308	74
30308-30309	73
30309-30310	73
30310-30311	72
30311-30312	72
30312-30313	71
30313-30314	71
30314-30315	70
30315-30316	69
30316-30317	69
30317-30318	68
30318-30319	68
30319-30320	67

30320-30321	67	30345-30346	53	30370-30371	39	30395-30396	25	30420-30421	11
30321-30322	66	30346-30347	52	30371-30372	38	30396-30397	24	30421-30422	11
30322-30323	66	30347-30348	52	30372-30373	38	30397-30398	24	30422-30423	10
30323-30324	65	30348-30349	51	30373-30374	37	30398-30399	23	30423-30424	9
30324-30325	64	30349-30350	51	30374-30375	37	30399-30400	23	30424-30425	9
30325-30326	64	30350-30351	50	30375-30376	36	30400-30401	22	30425-30426	8
30326-30327	63	30351-30352	49	30376-30377	36	30401-30402	22	30426-30427	8
30327-30328	63	30352-30353	49	30377-30378	35	30402-30403	21	30427-30428	7
30328-30329	62	30353-30354	48	30378-30379	34	30403-30404	21	30428-30429	7
30329-30330	62	30354-30355	48	30379-30380	34	30404-30405	20	30429-30430	6
30330-30331	61	30355-30356	47	30380-30381	33	30405-30406	19	30430-30431	6
30331-30332	61	30356-30357	47	30381-30382	33	30406-30407	19	30431-30432	5
30332-30333	60	30357-30358	46	30382-30383	32	30407-30408	18	30432-30433	4
30333-30334	59	30358-30359	46	30383-30384	32	30408-30409	18	30433-30434	4
30334-30335	59	30359-30360	45	30384-30385	31	30409-30410	17	30434-30435	3
30335-30336	58	30360-30361	44	30385-30386	31	30410-30411	17	30435-30436	3
30336-30337	58	30361-30362	44	30386-30387	30	30411-30412	16	30436-30437	2
30337-30338	57	30362-30363	43	30387-30388	29	30412-30413	16	30437-30438	2
30338-30339	57	30363-30364	43	30388-30389	29	30413-30414	15	30438-30439	1
30339-30340	56	30364-30365	42	30389-30390	28	30414-30415	14	30439-30440	1
30340-30341	56	30365-30366	42	30390-30391	28	30415-30416	14	30440-39999	0
30341-30342	55	30366-30367	41	30391-30392	27	30416-30417	13		
30342-30343	54	30367-30368	41	30392-30393	27	30417-30418	13		
30343-30344	54	30368-30369	40	30393-30394	26	30418-30419	12		
30344-30345	53	30369-30370	39	30394-30395	26	30419-30420	12		

Tab. 15 Tabulka klasifikace obsahu Mg dle bilančního koeficientu (%) se zohledněním druhu půdy

Rozsah	BK								
Lehká půda		10109-10110	124	10141-10142	91	10173-10174	42	20107-20108	148
10000-10080	150	10110-10111	123	10142-10143	89	10174-10175	40	20108-20109	147
10080-10081	150	10111-10112	122	10143-10144	88	10175-10176	38	20109-20110	146
10081-10082	149	10112-10113	121	10144-10145	86	10176-10177	37	20110-20111	145
10082-10083	148	10113-10114	120	10145-10146	85	10177-10178	35	20111-20112	145
10083-10084	147	10114-10115	119	10146-10147	83	10178-10179	34	20112-20113	144
10084-10085	146	10115-10116	118	10147-10148	82	10179-10180	32	20113-20114	143
10085-10086	145	10116-10117	117	10148-10149	80	10180-10181	31	20114-20115	142
10086-10087	145	10117-10118	116	10149-10150	78	10181-10182	29	20115-20116	141
10087-10088	144	10118-10119	115	10150-10151	77	10182-10183	28	20116-20117	140
10088-10089	143	10119-10120	115	10151-10152	75	10183-10184	26	20117-20118	139
10089-10090	142	10120-10121	114	10152-10153	74	10184-10185	25	20118-20119	138
10090-10091	141	10121-10122	113	10153-10154	72	10185-10186	23	20119-20120	137
10091-10092	140	10122-10123	112	10154-10155	71	10186-10187	22	20120-20121	136
10092-10093	139	10123-10124	111	10155-10156	69	10187-10188	20	20121-20122	135
10093-10094	138	10124-10125	110	10156-10157	68	10188-10189	18	20122-20123	135
10094-10095	137	10125-10126	109	10157-10158	66	10189-10190	17	20123-20124	134
10095-10096	136	10126-10127	108	10158-10159	65	10190-10191	15	20124-20125	133
10096-10097	135	10127-10128	107	10159-10160	63	10191-10192	14	20125-20126	132
10097-10098	135	10128-10129	106	10160-10161	62	10192-10193	12	20126-20127	131
10098-10099	134	10129-10130	105	10161-10162	60	10193-10194	11	20127-20128	130
10099-10100	133	10130-10131	105	10162-10163	58	10194-10195	9	20128-20129	129
10100-10101	132	10131-10132	104	10163-10164	57	10195-10196	8	20129-20130	128
10101-10102	131	10132-10133	103	10164-10165	55	10196-10197	6	20130-20131	127
10102-10103	130	10133-10134	102	10165-10166	54	10197-10198	5	20131-20132	126
10103-10104	129	10134-10135	101	10166-10167	52	10198-10199	3	20132-20133	125
10104-10105	128	10135-10136	100	10167-10168	51	10199-10200	2	20133-20134	125
10105-10106	127	10136-10137	98	10168-10169	49	10200-19999	0	20134-20135	124
10106-10107	126	10137-10138	97	10169-10170	48	Středně těžká půda		20135-20136	123
10107-10108	125	10138-10139	95	10170-10171	46	20000-20105	150	20136-20137	122
10108-10109	125	10139-10140	94	10171-10172	45	20105-20106	150	20137-20138	121
		10140-10141	92	10172-10173	43	20106-20107	149	20138-20139	120

20139-20140	119
20140-20141	118
20141-20142	117
20142-20143	116
20143-20144	115
20144-20145	115
20145-20146	114
20146-20147	113
20147-20148	112
20148-20149	111
20149-20150	110
20150-20151	109
20151-20152	108
20152-20153	107
20153-20154	106
20154-20155	105
20155-20156	105
20156-20157	104
20157-20158	103
20158-20159	102
20159-20160	101
20160-20161	100
20161-20162	99
20162-20163	98
20163-20164	97
20164-20165	96
20165-20166	95
20166-20167	94
20167-20168	93
20168-20169	92
20169-20170	91
20170-20171	90
20171-20172	90
20172-20173	89
20173-20174	88
20174-20175	87
20175-20176	86
20176-20177	85
20177-20178	84
20178-20179	83
20179-20180	82
20180-20181	81
20181-20182	80
20182-20183	79
20183-20184	78
20184-20185	77
20185-20186	76
20186-20187	75
20187-20188	74
20188-20189	73
20189-20190	72
20190-20191	71
20191-20192	70
20192-20193	70
20193-20194	69
20194-20195	68
20195-20196	67
20196-20197	66
20197-20198	65

20198-20199	64
20199-20200	63
20200-20201	62
20201-20202	61
20202-20203	60
20203-20204	59
20204-20205	58
20205-20206	57
20206-20207	56
20207-20208	55
20208-20209	54
20209-20210	53
20210-20211	52
20211-20212	51
20212-20213	50
20213-20214	50
20214-20215	49
20215-20216	48
20216-20217	47
20217-20218	46
20218-20219	45
20219-20220	44
20220-20221	43
20221-20222	42
20222-20223	41
20223-20224	40
20224-20225	39
20225-20226	38
20226-20227	37
20227-20228	36
20228-20229	35
20229-20230	34
20230-20231	33
20231-20232	32
20232-20233	31
20233-20234	30
20234-20235	30
20235-20236	29
20236-20237	28
20237-20238	27
20238-20239	26
20239-20240	25
20240-20241	24
20241-20242	23
20242-20243	22
20243-20244	21
20244-20245	20
20245-20246	19
20246-20247	18
20247-20248	17
20248-20249	16
20249-20250	15
20250-20251	14
20251-20252	13
20252-20253	12
20253-20254	11
20254-20255	10
20255-20256	10
20256-20257	9

20257-20258	8
20258-20259	7
20259-20260	6
20260-20261	5
20261-20262	4
20262-20263	3
20263-20264	2
20264-20265	1
20265-29999	0
Těžká půda	
30000-30120	150
30120-30121	150
30121-30122	150
30122-30123	149
30123-30124	149
30124-30125	148
30125-30126	148
30126-30127	147
30127-30128	147
30128-30129	146
30129-30130	146
30130-30131	145
30131-30132	145
30132-30133	144
30133-30134	144
30134-30135	143
30135-30136	143
30136-30137	142
30137-30138	142
30138-30139	141
30139-30140	141
30140-30141	140
30141-30142	140
30142-30143	139
30143-30144	139
30144-30145	138
30145-30146	138
30146-30147	137
30147-30148	137
30148-30149	136
30149-30150	136
30150-30151	135
30151-30152	135
30152-30153	134
30153-30154	134
30154-30155	133
30155-30156	133
30156-30157	132
30157-30158	132
30158-30159	131
30159-30160	131
30160-30161	130
30161-30162	130
30162-30163	129
30163-30164	129
30164-30165	128
30165-30166	128
30166-30167	127
30167-30168	127

30168-30169	126
30169-30170	126
30170-30171	125
30171-30172	125
30172-30173	124
30173-30174	124
30174-30175	123
30175-30176	123
30176-30177	122
30177-30178	122
30178-30179	121
30179-30180	121
30180-30181	120
30181-30182	120
30182-30183	119
30183-30184	119
30184-30185	118
30185-30186	118
30186-30187	117
30187-30188	117
30188-30189	116
30189-30190	116
30190-30191	115
30191-30192	115
30192-30193	114
30193-30194	114
30194-30195	113
30195-30196	113
30196-30197	112
30197-30198	112
30198-30199	111
30199-30200	111
30200-30201	110
30201-30202	110
30202-30203	109
30203-30204	109
30204-30205	108
30205-30206	108
30206-30207	107
30207-30208	107
30208-30209	106
30209-30210	106
30210-30211	105
30211-30212	105
30212-30213	104
30213-30214	104
30214-30215	103
30215-30216	103
30216-30217	102
30217-30218	102
30218-30219	101
30219-30220	101
30220-30221	100
30221-30222	99
30222-30223	98
30223-30224	97
30224-30225	96
30225-30226	95
30226-30227	95

30227-30228	94
30228-30229	93
30229-30230	92
30230-30231	91
30231-30232	90
30232-30233	89
30233-30234	88
30234-30235	87
30235-30236	86
30236-30237	85
30237-30238	85
30238-30239	84
30239-30240	83
30240-30241	82
30241-30242	81
30242-30243	80
30243-30244	79
30244-30245	78
30245-30246	77
30246-30247	76
30247-30248	75
30248-30249	75
30249-30250	74
30250-30251	73
30251-30252	72
30252-30253	71
30253-30254	70
30254-30255	69
30255-30256	68
30256-30257	67
30257-30258	66
30258-30259	65
30259-30260	65
30260-30261	64
30261-30262	63
30262-30263	62
30263-30264	61
30264-30265	60
30265-30266	59
30266-30267	58
30267-30268	57
30268-30269	56
30269-30270	55
30270-30271	55
30271-30272	54
30272-30273	53
30273-30274	52
30274-30275	51
30275-30276	50
30276-30277	49
30277-30278	48
30278-30279	47
30279-30280	46
30280-30281	45
30281-30282	45
30282-30283	44
30283-30284	43
30284-30285	42
30285-30286	41

30286-30287	40	30295-30296	32	30304-30305	24	30313-30314	15	30322-30323	7
30287-30288	39	30296-30297	31	30305-30306	23	30314-30315	15	30323-30324	6
30288-30289	38	30297-30298	30	30306-30307	22	30315-30316	14	30324-30325	5
30289-30290	37	30298-30299	29	30307-30308	21	30316-30317	13	30325-30326	5
30290-30291	36	30299-30300	28	30308-30309	20	30317-30318	12	30326-30327	4
30291-30292	35	30300-30301	27	30309-30310	19	30318-30319	11	30327-30328	3
30292-30293	35	30301-30302	26	30310-30311	18	30319-30320	10	30328-30329	2
30293-30294	34	30302-30303	25	30311-30312	17	30320-30321	9	30329-30330	1
30294-30295	33	30303-30304	25	30312-30313	16	30321-30322	8	30330-39999	0

Tab. 16 Tabulka roční normativní dávky CaO (kg.ha⁻¹) ze spojitě křivky dle upravených hodnot pH (kód druhu půdy + hodnota pH)

Rozsah	Dávka CaO
Lehká půda	
10000-10004,5	1200
10004,5-10004,6	1200
10004,6-10004,7	1120
10004,7-10004,8	1040
10004,8-10004,9	960
10004,9-10005	880
10005-10005,1	800
10005,1-10005,2	760
10005,2-10005,3	720
10005,3-10005,4	680
10005,4-10005,5	640
10005,5-10005,6	600
10005,6-10005,7	540
10005,7-10005,8	480
10005,8-10005,9	420
10005,9-10006	360
10006-10006,1	300
10006,1-10006,2	240
10006,2-10006,3	180
10006,3-10006,4	120
10006,4-10006,5	60
10006,5-10014	0
Středně těžká půda	
20000-20004,5	1500
20004,5-20004,6	1500
20004,6-20004,7	1400
20004,7-20004,8	1300
20004,8-20004,9	1200
20004,9-20005	1100
20005-20005,1	1000
20005,1-20005,2	940
20005,2-20005,3	880
20005,3-20005,4	820
20005,4-20005,5	760
20005,5-20005,6	700
20005,6-20005,7	640
20005,7-20005,8	580
20005,8-20005,9	520
20005,9-20006	460
20006-20006,1	400
20006,1-20006,2	360
20006,2-20006,3	320
20006,3-20006,4	280
20006,4-20006,5	240
20006,5-20006,6	200
20006,6-20006,7	160
20006,7-20006,8	120
20006,8-20006,9	80
20006,9-20007	40
20007-20014	0
Těžká půda	
30000-30004,5	1700
30004,5-30004,6	1700
30004,6-30004,7	1610
30004,7-30004,8	1520
30004,8-30004,9	1430
30004,9-30005	1340
30005-30005,1	1250
30005,1-30005,2	1170
30005,2-30005,3	1090
30005,3-30005,4	1010
30005,4-30005,5	930
30005,5-30005,6	850
30005,6-30005,7	780
30005,7-30005,8	710
30005,8-30005,9	640
30005,9-30006	570
30006-30006,1	500
30006,1-30006,2	450
30006,2-30006,3	400
30006,3-30006,4	350
30006,4-30006,5	300
30006,5-30006,6	250
30006,6-30006,7	200
30006,7-30006,8	150
30006,8-30006,9	100
30006,9-30007	50
30007-30014	0

III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Předkládaná metodika popisuje postup sběru a zpracování podkladů pro variabilní aplikaci P, K, Mg hnojiv a vápenatých hmot. Základním rysem navrhovaného postupu je zohlednění prostorové variability v rámci jednotlivých pozemků, neboť umožňuje efektivní využívání hnojiv s ohledem na konkrétní podmínky stanoviště a potřeby rostlin. V porovnání s tradičními postupy přináší tyto inovace:

- prostorové členění obsahu živin v půdě v rámci jednotlivých pozemků,
- zohlednění prostorových rozdílů v druhu půdy vyskytujícího se na jednotlivých pozemcích,
- zohlednění prostorových rozdílů ve výnosové úrovni v rámci pozemků při výpočtu normativní dávky,
- implementace bilančního koeficientu pro zpřesnění korekce normativní dávky variabilně aplikovaných hnojiv,
- využití spojitě funkce pro stanovení normativu vápnění.

IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Metodika zahrnuje komplexní pohled na uváděnou problematiku a obsahuje nejnovější údaje z výzkumu, které mohou sloužit nejen zemědělské praxi při pěstování plodin, ale také může posloužit jako vhodný materiál pro výuku na středních školách nebo univerzitách se zemědělským zaměřením nebo jako podklad pro zemědělské poradce.

V. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Balík, J., Štípek, K., Černý, J. Výživa rostlin a hnojení v systému precizního hospodaření *Precizní zemědělství*. 2006, http://www.phytopsanitary.org/projekty/2005/VVF_08_2005.pdf
- Beránek, K., Klement, V. Variabilita agrochemických vlastností zemědělské půdy dle výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd v období 1999-2004. *Bulletin: Sekce úřední kontroly*. 2007, XV, 4/2007, [20.7.2009],4-7 <http://www.ukzuz.cz/Uploads/7792-7-42007pdf.aspx>
- Dinkins, C. P., Jones, C. Soil Sampling Strategies. *Agriculture and Natural Resources (Fertilizers)*. 2008,4 <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200803AG.pdf>
- Goovaerts, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford University Press, 1997, 483 s. ISBN 9780195115383
- Gotway, C. A., Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Peterson, T. A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. *Soil Science Society of America Journal*. 1996, vol. 60, no. 4, pp. 1237-1247. ISSN 03615995
- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989, 561 s. ISBN 0195050126
- Jandák, J., Prax, A., Pokorný, E. *Půdoznalství*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004, 142 s. ISBN 80-7157-559-3
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení* 2. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008. ISBN 978-80-87011-61-4
- Lesch, S. M. Sensor-directed response surface sampling designs for characterizing spatial variation in soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005, vol. 46, no. 1-3, pp. 153-179. ISSN 0168-1699
- Lukas, V., Křen, J. Generation of application maps for the base fertilization from results of agrochemical analyses of soil samples. In Ryant, P. *et al. Proceeding of Ph.D. students conference MendelNet'05 Agro*, Brno: AF MZLU v Brně, 2005, p. 80-7157-905-X
- Lukas, V., Neudert, L. Optimization of soil sampling in sustainable agricultural systems. *Növénytermelés (Crop Production)*. 2010, vol. 59, no. Supplement 1, pp. 89-92. ISSN 0546-8191 (online 2060-8543)
- Minasny, B., McBratney, A. B., Walvoort, D. J. J. The variance quadtree algorithm: Use for spatial sampling design. *Computers and Geosciences*. 2007, vol. 33, no. 3, pp. 383-392. ISSN 00983004
- Pierce, F. J., Nowak, P., Donald, L. S. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999, vol. 67, pp. 1-85. ISSN 0065-2113
- Shaner, D. L., Khosla, R., Brodahl, M. K., Buchleiter, G. W., Farahani, H. J. How well does zone sampling based on soil electrical conductivity maps represent soil variability? *Agronomy Journal*. 2008, vol. 100, no. 5, pp. 1472-1480. ISSN 00021962
- ÚKZÚZ. Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2005 až 2010. 2005,34 http://www.ukzuz.cz/Uploads/1057-7-pracovniPostupy_AZZP.pdf.aspx
- ÚKZÚZ. Porovnání vývoje agrochemických vlastností půd za období 1999 - 2003 a 2005 - 2009. 2010a,58 <http://www.ukzuz.cz/Folders/Uploads/159604-7-Porovnavaci+zprava+AZZP+99-03+a+05-09pdf.aspx>
- ÚKZÚZ. Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2004 - 2009. 2010b,120 <http://www.ukzuz.cz/Folders/Uploads/159600-7-Hodnotici+zprava+AZZP+2004-2009pdf.aspx>
- Webster, R., Oliver, M. A. *Geostatistics for environmental scientists*. Chichester: Wiley, 2007, 315 s. ISBN 9780470028582
- Zbírál, J. *Analýza půd I: jednotné pracovní postupy*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Laboratorní odbor, 2002, 197 s. ISBN 8086548155

VI. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Lukas, V. Vliv rozdílné hustoty vzorkování půdy na základní hnojení v precizním zemědělství. In. *Mezinárodní konference "Výživa rostlin a její perspektivy"*, Brno: AF MZLU v Brně, 2007, p. 155-158. ISBN 978-80-7375-068-8
- Lukas, V. *Metody hodnocení variability půdních podmínek jako podklad pro diferencované provádění pěstebních zásahů*. Disertační práce, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, MZLU v Brně, Brno, 2009. 170 str.
- Lukas, V. Základní hnojení v precizním zemědělství - porovnání variabilní a uniformní aplikace. *Úroda*. 2010, 12, vědecká příloha "Aktuální poznatky v pěstování a šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů", 513-516. ISSN 0139-6013.
- Lukas, V., Dryšlová, T., Ryant, P., Neudert, L. Základní hnojení v precizním zemědělství - vzorkování půdy a tvorba aplikačních map. In. *Sborník příspěvků konference "Praktické využití GIS v zemědělství a lesnictví"*, Zámek Křtiny: Nadace Partnertsví, 2010, ISBN 978-80-7375-475-4
- Lukas, V., Gnip, P., Neudert, L. Získávání podkladů pro diferencované provádění pěstebních zásahů metodami precizního zemědělství. In. *XIV. ročníku evropské konference Informační systémy v zemědělství a lesnictví*, Praha: 2008, p. 138-145.
- Lukas, V., Křen, J., Neudert, L. Effect of different soil sampling density and application method on total P and K fertilizer rates. In. *European Conference of Precision Agriculture*, 2007, p.
- Lukas, V., Křen, J. Generation of application maps for the base fertilization from results of agrochemical analyses of soil samples. In Ryant, P. *et al. Proceeding of Ph.D. students conference MendelNet'05 Agro*, Brno: AF MZLU v Brně, 2005, ISBN 80-7157-905-X
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J., Dryšlová, T., Ryant, P. Význam mapování prostorové variability půdy v precizním zemědělství. In Cerkal, R. *et al. MZLU pěstitelům 2009 - sborník odborných příspěvků a sdělení*, Žabčice: MZLU v Brně, 2009, ISBN 978-80-7375-304-7

Autoři: Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.
Doc. Ing. Pavel Ryant., Ph.D.
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.
Ing. Tamara Dryšlová, Ph.D.
Ing. Pavel Gnip
Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.

Název: Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství

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

Tisk: reklamní studio REIS Brno

Náklad: 250 ks

Vyšlo v roce 2011

Vydáno bez jazykové úpravy

Metodika je poskytována bezplatně

Kontakt na autora: vojtech.lukas@mendelu.cz



☒ Mendelova univerzita v Brně, 2011

ISBN 978-80-7375-561-4

Vydala Mendelova univerzita v Brně

2011