

Význam variabilní aplikace fosforečných a draselných hnojiv u cukrové řepy

EFFECT OF VARIABLE RATE APPLICATION OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZERS IN SUGAR BEET

Vojtěch Lukas, Lubomír Neudert, Petr Širůček, Jaroslav Novák, Jakub Elbl
Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova univerzita v Brně

Agrochemické vlastnosti půdy patří k faktorům, které významně ovlivňují výnos a kvalitu produkce cukrové řepy. Tato plodina má vysoké nároky na živiny, na 1 t vyprodukovaných bulev včetně chrástu odčerpá průměrně 0,7 kg fosforu a 6,5 kg draslíku (1). Optimální obsah P a K v půdě na úrovni dobré zásoby má příznivý vliv na růst a vývin řepných rostlin a pozitivně ovlivňuje technologickou kvalitu bulev (2).

Z hodnocení výsledků agrochemického zkušební zemědělských půd za období 2014–2019 vyplývá potřeba zvýšení obsahu fosforu v půdě na 52,14 % výměry zemědělské půdy v ČR (3). V případě hodnocení obsahu přístupného draslíku vyžaduje dohnojení 34,35 % výměry zemědělské půdy Česku. Údaje výsledků hodnocení zásobenosti jsou obdobné jako v předchozím cyklu 2011–2016, nedošlo tedy k výrazné změně v zásobenosti půd oběma živinami. Statistické údaje o spotřebě hnojiv ČSÚ za období 2019/2020 vykazují spotřebu hnojiv ve výši 21 kg P₂O₅ a 14 kg K₂O na 1 ha zemědělské půdy, což nepokrývá množství 30 kg·ha⁻¹ P₂O₅ a 100 kg·ha⁻¹ K₂O potřebné na udržení obsahu obou živin (3).

Zohlednění plošné variability půdy a variabilní aplikace hnojiv

Agrochemické vlastnosti mohou zároveň vykazovat značné rozdíly v rámci jednotlivých pozemků, s ohledem na prostorovou variabilitu půdy (4). Respektování heterogenity stanoviště a přizpůsobení pěstebních zásahů v podobě variabilní aplikace je podstatou lokálně cíleného hospodaření na půdě – precizního zemědělství. 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 (5). Pro zachycení prostorové variability v rámci jednotlivých půdních bloků je rozhodujícím parametrem hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů po pozemku (6).

Stanovení normativní dávky hnojení

Prvním krokem při výpočtu dávky zásobního hnojení živinami – fosforem a draslíkem – je pokrytí odběru živin rostlinami na výnos hlavního a vedlejšího produktu. Výše této tzv. normativní dávky je určena plánovaným výnosem dané plodiny a odběrem příslušných živin na 1 t produktu – viz tabulky odběru (1). U více heterogenních pozemků však může použití

jednotného průměrného výnosu za celý pozemek maskovat lokální oblasti s vyšší nebo naopak nižší produktivitou.

Pro vymezení rozložení výnosových hladin mohou být využity výnosové mapy pořízené při sklizni plodin (7). Cílem je vyhodnotit variabilitu výnosových úrovní za sledované období a identifikovat nadprůměrně či podprůměrně výnosné plochy včetně procentuálního vztahování vůči průměrné hodnotě dosaženého výnosu plodiny. V případě absence výnosových záznamů lze produkční zóny definovat z dat dálkového průzkumu, nejčastěji v podobě družicových multispektrálních snímků Landsat a Sentinel-2 (8).

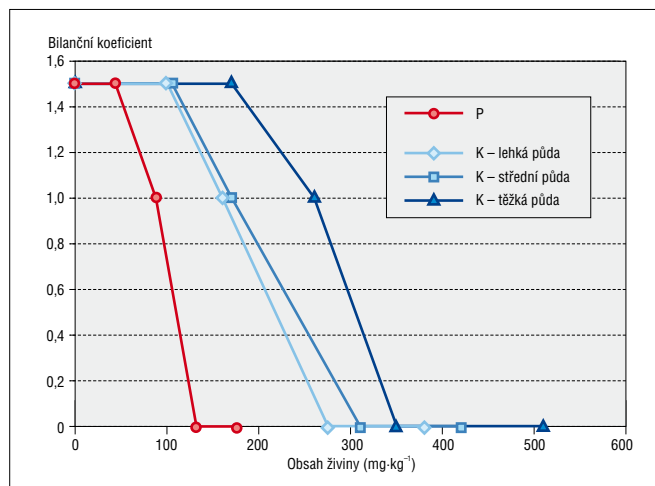
Korekce normativní dávky

Normativní dávka stanovená dle množství odebraných živin na očekávanou produkci je upravena na základě hodnocení obsahu živin v půdě. To je provedeno z výsledků laboratorních analýz odebraných půdních vzorků ke stanovení obsahu přístupných živin, řazených pěti tříd – obsah nízký (N), vyhovující (VH), dobrý (D), vysoký (V) a velmi vysoký (VV). Kritéria hodnocení obsahu živin v půdě jsou součástí metodiky stanovení obsahu přístupných živin Mehlich 3 (9). Kategorie obsahu živiny rozhoduje o korekci normativní dávky (tab. I.). Při hodnocení obsahu K, Mg a Ca je nutné zohlednit půdní druh. Informace o druhu půdy může být k dispozici jako konstantní hodnota pro celý pozemek (půdní zmitost je na celé ploše pozemku ve stejné kategorii, případně se bere v potaz převažující půdní druh), nebo jsou k dispozici výsledky hodnocení zmitosti půdy v podobě mapy druhu půdy vytvořené z výsledků půdního vzorkování, případně je odvozena z dostupných půdních map.

Tab. I. Doporučené hnojení na základě obsahu přístupných živin v půdě, řazeného do pěti kategorií (10)

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

Obr. 1. Grafické vyjádření bilančního koeficientu pro hnojení P a K včetně rozlišení dle druhu půdy (1, upraveno)

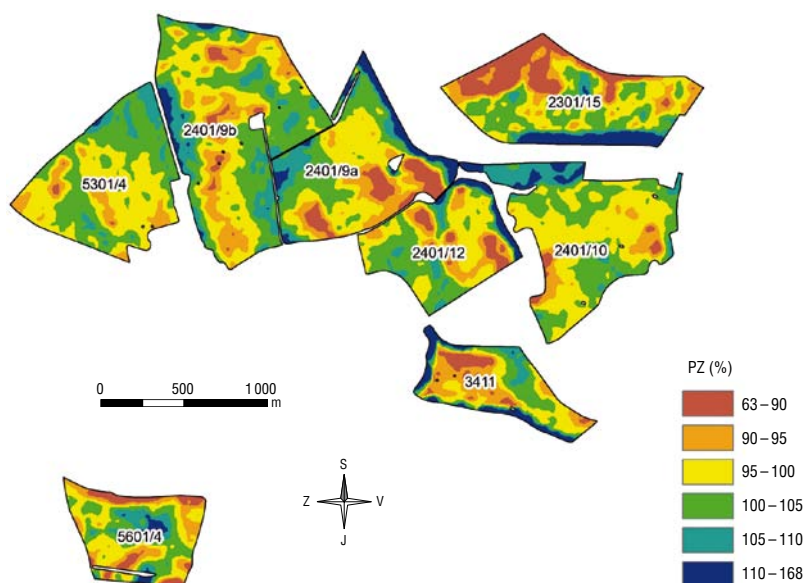


Tab. II. Přehled variant stanovení dávek v modelovém výpočtu

Varianta	Způsob aplikace	Klasifikace zásobenosti	Plánovaný výnos
UNI-M3	uniformní	Mehlich 3	konstantní
UNI-BK10	uniformní	Bilanční koef. po 10 %	konstantní
VRA-M3	variabilní	Mehlich 3	konstantní
VRA-BK10	variabilní	Bilanční koef. po 10 %	konstantní
VRy-M3	variabilní	Mehlich 3	výnosová úroveň
VRy-BK10	variabilní	Bilanční koef. po 10 %	výnosová úroveň

KLÍR A KUNZOVÁ (1) navrhuji pro zásobní hnojení tzv. bilanční koeficient (BK), který vyjadřuje úpravu normativní dávky. BK odpovídá původním hodnotám úpravy normativů, které jsou

Obr. 2. Mapa produkčních zón reprezentující relativní úroveň výnosu na pozemcích – slouží pro popis rozložení normativní dávky (varianta VRy)



ale vyneseny do spojnicového grafu. Hodnoty BK se pohybují v rozpětí 0–1,5 (tedy 0–150 % normativní dávky) pro jednotlivé hodnoty obsahu živiny v půdě. Pro zjednodušení klasifikace byla sestavena tabulka s 10% škálou hodnoty BK (BK10) pro každou jednotku obsahu živiny v půdě (11).

Cílem této studie bylo porovnat různé varianty stanovení dávek hnojení fosforem a draslíkem, zohledňující prostorovou heterogenitu obsahu živin v půdě a plošnou nevyrovnanost výnosů plodin.

Metodika

Popis lokality

Pro modelové porovnání variant hnojení bylo vybráno osm pozemků v lokalitě Otnice (Slavkov u Brna) o celkové výměře 478 ha, které obhospodařuje zem. společnost Rostěnice, a. s. Území se nachází v kukuřičné výrobní oblasti, v klimatickém regionu teplý, mírně suchý (T2) s průměrnou roční teplotou 8–9 °C a ročním úhrnem srážek 500–600 mm. Průměrná nadmořská výška sledovaného území je 243 m a svažitosť 3,4°. Půdy převažují bezskeletovité, středně hluboké až hluboké, půdním typem černozemě, rendziny a méně i hnědozemě a fluvizemě; převažující kategorie půdního druhu jsou středně těžké až těžké.

Hodnocení plošné variability agrochemických vlastností

Na zájmovém území byl v roce 2016 v jarním a podzimním období proveden odběr porušených půdních vzorků pro stanovení agrochemických vlastností. Vzorky byly odebrány automatickou odběrovou soupravou Duoprob 60 (Bodenprobetechnik Nietfeld, SRN) z hloubky 0–30 cm v nepravidelném rastru o hustotě rozmístění odběrových bodů 1 vzorek na 3 ha (12). Vyšší hustota vzorkování byla provedena na pozemku 5601/4, kde byl experimentálně zvýšen počet vzorků na konečnou hustotu 2 vzorky na 1 ha. Rozmístění vzorků bylo provedeno na základě dostupných mapových podkladů – výsledky měření elektrické vodivosti půdy, dostupných výnosových map z předchozích ročníků a digitálního modelu reliéfu (DMR4G). Každý směsný vzorek sestával z cca 5–7 dílčích vzorků odebraných s využitím submetrové DPGS do 10 m od odběrového bodu. Celkem bylo z plochy 478 ha odebráno 224 směsných vzorků, které byly odeslány do zemědělské laboratoře pro stanovení agrochemických půdních vlastností dle platné metodiky ÚKZÚZ (13). Pro účely této studie byly použity výsledky stanovení obsahu přístupného P a K metodou Mehlich 3 včetně určení druhu půdy na základě výsledků stanovení zrnitosti půdy sedimentační metodou.

Z bodových dat byly pomocí prostorových interpolačních metod v prostředí ESRI ArcGIS 10.6 vytvořeny celoplošné půdní mapy. Použita byla metoda Empirical Bayesian Kriging (EBK), jež na základě iteračního výpočtu vybírá vhodné parametry variogramu pro optimální vyjádření modelového průběhu a umožňuje automatizaci celého výpočtu (14). Výsledné mapy byly exportovány v rastrové podobě s prostorovým rozlišením 5 m na pixel

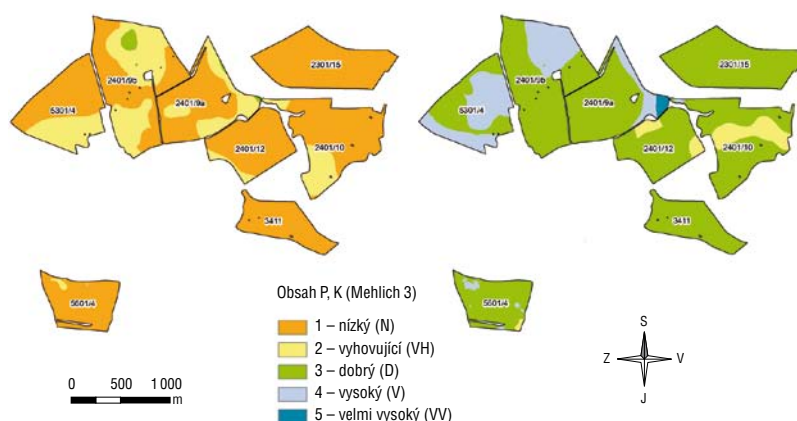
a následně vstupovaly do procesu výpočtu dávky hnojení.

Variety stanovení dávek hnojení

Aplikační dávky zásobního hnojení byly pro porovnání stanoveny v šesti variantách výpočtu se zohledněním těchto hledisek:

1. Porovnání vlivu uniformní (UNI) a variabilní aplikace (VRA).
2. Porovnání vlivu klasifikace obsahu živin. Tradiční způsob členění zásobnosti do pěti tříd dle metodiky hodnocení agrochemického zkoušení půdy (M3 – Mehlich 3) je konfrontován s metodou klasifikace pomocí bilančního koeficientu členěného po 10 % (BK10).
3. Porovnání vlivu členění výnosových úrovní na pozemcích (VRY) s konstantní hodnotou odběru živin pro celý pozemek (VRA). Výnosová úroveň je uvedena v procentech a poskytuje informaci o tom, na jakých místech pozemku je předpoklad vyššího či nižšího výnosu, než je průměrný výnos dosahovaný z tohoto pozemku za posledních 8 let (obr. 2.). Při tvorbě mapy výnosové úrovně byla využita volně dostupná data získaná družicových snímků Landsat 8 a Sentinel-2 (15).

Obr. 3. Mapa plošného zastoupení kategorií zásobnosti přístupného P (vlevo) a K (vpravo) v půdě



Pro modelový výpočet stanovení dávky zásobního hnojení cukrové řepy byla použita hodnota průměrného očekávaného výnosu na úrovni 75 t·ha⁻¹ a odběr živin 0,7 kg P a 6,5 kg K na 1 t produkce řepy. Výpočet nezohledňuje vliv předplodiny, aplikace organických a minerálních hnojiv či dalších agrotechnických opatření. Reflektuje ale reálný stav agrochemických vlastností půdy a rozložení výnosových úrovní na pozemcích ve sledovaném roce.

Tab. III. Výsledky hodnocení zásobnosti půd přístupným fosforem

Pozemek (ZKOD)	Výměra (ha)	Obsah přístupného fosforu (mg·kg ⁻¹)						Plošné zastoupení zásobnosti fosforu (%)				
		n	průměr	median	min.	max.	Vk (%)	N	VH	D	V	VV
2301/15	66,08	21	31,04	30,30	20,00	55,50	32,51	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2401/9a	64,28	17	44,31	44,00	28,60	62,70	24,51	66,83	31,97	1,20	0,00	0,00
2401/9b	96,25	37	53,55	48,50	20,00	138,00	40,80	47,92	48,68	3,39	0,00	0,00
2401/12	46,03	23	31,85	31,40	20,00	46,60	24,30	92,57	7,43	0,00	0,00	0,00
2401/10	70,41	15	42,83	38,10	20,00	128,00	50,81	76,11	23,89	0,00	0,00	0,00
5601/4	37,91	78	34,58	32,20	20,00	70,50	37,97	97,45	2,55	0,00	0,00	0,00
3411	34,47	12	36,61	34,75	25,00	49,30	20,24	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5301/4	62,36	21	50,55	44,80	30,20	118,00	40,26	65,03	34,97	0,00	0,00	0,00

Pozn.: Vk – variační koeficient; kategorie zásobnosti živin: N – nízká, VH – vyhovující, D – dobrá, V – vysoká, VV – velmi vysoká.

Tab. IV. Výsledky hodnocení zásobnosti půd přístupným draslíkem

Pozemek (ZKOD)	Výměra (ha)	Obsah přístupného draslíku (mg·kg ⁻¹)						Plošné zastoupení zásobnosti draslíku (%)				
		n	průměr	median	min.	max.	Vk (%)	N	VH	D	V	VV
2301/15	66,08	21	254,00	241,00	197,00	368,00	17,63	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
2401/9a	64,28	17	223,59	199,00	136,00	481,00	37,73	0,00	0,00	81,64	14,30	4,06
2401/9b	96,25	37	253,81	243,00	164,00	466,00	22,98	0,00	0,00	74,78	25,22	0,00
2401/12	46,03	23	177,00	179,00	110,00	240,00	19,92	0,00	13,42	86,58	0,00	0,00
2401/10	70,41	15	192,00	187,00	123,00	292,00	28,58	0,00	23,08	76,08	0,84	0,00
5601/4	37,91	78	239,27	238,50	107,00	416,00	25,56	0,00	1,90	93,01	5,09	0,00
3411	34,47	12	217,00	218,00	169,00	249,00	11,56	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
5301/4	62,36	21	300,95	295,00	176,00	431,00	24,26	0,00	0,00	43,49	56,51	0,00

Pozn.: Vk – variační koeficient; kategorie zásobnosti živin: N – nízká, VH – vyhovující, D – dobrá, V – vysoká, VV – velmi vysoká.

Tab. V. Výsledek stanovení výše dávek fosforu pro jednotlivé varianty modelového výpočtu

Pozemek (ZKOD)	Výměra (ha)	Dávka P (kg·ha ⁻¹)						Dávka P (%)					
		UNI-M3	UNI-BK10	VRA-M3	VRA-BK10	VRY-M3	VRY-BK10	UNI-M3	UNI-BK10	VRA-M3	VRA-BK10	VRY-M3	VRY-BK10
2301/15	66,08	78,75	78,75	78,75	78,75	77,48	77,48	100,00	100,00	100,00	100,00	98,38	98,38
2401/9a	64,28	78,75	78,75	74,25	75,34	74,32	75,33	100,00	100,00	94,28	95,67	94,38	95,65
2401/9b	96,25	65,63	73,50	71,46	71,80	71,78	72,14	100,00	112,00	108,89	109,41	109,38	109,93
2401/12	46,03	78,75	78,75	77,77	78,14	77,99	78,37	100,00	100,00	98,76	99,22	99,03	99,51
2401/10	70,41	78,75	78,75	75,61	77,27	76,17	77,83	100,00	100,00	96,02	98,13	96,73	98,84
5601/4	37,91	78,75	78,75	78,42	78,61	77,43	77,62	100,00	100,00	99,58	99,82	98,32	98,56
3411	34,47	78,75	78,75	78,75	78,75	79,30	79,30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,70	100,70
5301/4	62,36	78,75	78,75	74,16	75,29	74,59	75,71	100,00	100,00	94,17	95,61	94,72	96,14
Vážený průměr		76,11	77,69	75,49	76,15	75,51	76,16	100,00	102,42	99,52	100,37	99,56	100,41
Cena (Kč·ha ⁻¹)		3805	3885	3775	3808	3776	3808	0,00	79,32	-30,61	2,28	-29,59	2,85

Tab. VI. Výsledek stanovení výše dávek draslíku pro jednotlivé varianty modelového výpočtu

Pozemek (ZKOD)	Výměra (ha)	Dávka K (kg·ha ⁻¹)						Dávka K (%)					
		UNI-M3	UNI-BK10	VRA-M3	VRA-BK10	VRY-M3	VRY-BK10	UNI-M3	UNI-BK10	VRA-M3	VRA-BK10	VRY-M3	VRY-BK10
2301/15	66,08	487,50	48,75	487,50	114,06	479,61	109,77	100,00	10,00	100,00	23,40	98,38	22,52
2401/9a	64,28	487,50	97,50	397,92	139,64	395,50	139,13	100,00	20,00	81,63	28,64	81,13	28,54
2401/9b	96,25	487,50	48,75	364,70	93,14	368,06	94,13	100,00	10,00	74,81	19,11	75,50	19,31
2401/12	46,03	487,50	390,00	503,81	379,77	505,21	379,92	100,00	80,00	103,35	77,90	103,63	77,93
2401/10	70,41	487,50	341,25	511,88	331,65	514,27	330,14	100,00	70,00	105,00	68,03	105,49	67,72
5601/4	37,91	487,50	146,25	464,96	183,49	458,17	179,74	100,00	30,00	95,38	37,64	93,98	36,87
3411	34,47	487,50	243,75	487,50	256,82	490,92	258,84	100,00	50,00	100,00	52,68	100,70	53,09
5301/4	62,36	487,50	0,00	212,05	11,55	213,07	11,66	100,00	0,00	43,50	2,37	43,71	2,39
Vážený průměr		487,50	146,73	418,14	173,38	417,73	172,57	100,00	30,10	85,77	35,57	85,69	35,40
Cena (Kč·ha ⁻¹)		7800	2348	6690	2774	6684	2761	0,00	-5452,2	-1109,8	-5025,9	-1116,4	-5038,8



Výsledky

Výsledky stanovení obsahu přístupných živin spolu s vyhodnocením plošného zastoupení tříd zásobenosti jsou uvedeny v tab. III. (obsah P) a tab. IV. (obsah K). V případě fosforu převažuje plošné zastoupení zásobenosti v kategorii nízké s menším zastoupením kategorie vyhovující a dobré. Pouze pozemek 2401/9b vykázal mírně převažující zásobenost P v kategorii vyhovující (obr. 3.). V rámci jednotlivých pozemků byla zjištěna vyšší nevyrovnanost obsahu přístupného P s rozpětím variačního koeficientu 24,51–50,81 %. To ukazuje na ojediněle zvýšené hodnoty obsahu u některých vzorků, které se však ale výrazně neprojeví na plošné klasifikaci zásobenosti.

Plošné zastoupení obsahu přístupného draslíku převažovalo v kategorii dobré zásobenosti s minoritním zastoupením v kategorii vyhovující nebo vysoké zásobenosti (tab. IV.). Variabilita výsledků stanovení obsahu byla v případě draslíku nižší než u fosforu, rozpětí variačního koeficientu na jednotlivých pozemcích se pohybovalo od 11,56 do 37,73 %.

Porovnání variant stanovení dávek

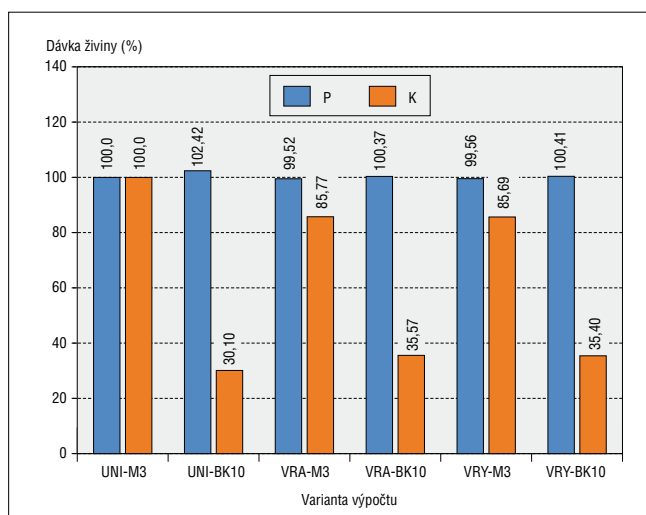
Stanovení dávek živin vycházelo z kombinace pokrytí odběru živin na celkovou produkci a korekce dle hodnocení zásobenosti půd živinami u jednotlivých variant. S ohledem na nízkou zásobenost půdy přístupným fosforem byly stanovené dávky P mezi jednotlivými variantami výpočtu vyrovnané (tab. V.). Na pozemcích s částečným zastoupením vyhovující zásobenosti došlo u variant s variabilní aplikací ke snížení dávek maximálně o 5 %. U pozemku 2401/9b s převažující vyhovující zásobou naopak vedla variabilní aplikace k navýšení průměrné dávky vlivem potřeby dosycení necelé poloviny výměry pozemku zařazené do nízké zásobenosti. Uniformní aplikace s navýšením dávky o 25 % (dle průměrné vyhovující zásobenosti) by u tohoto pozemku znamenala nedohnojení 48 % výměry. Naopak u ostatních pozemků by uniformní hnojení vedlo k přehnojení plochy s vyhovující zásobou (0–34,97 %). Mírné snížení dávek u variant variabilní aplikace lze ekonomicky vyčíslit na úroveň úspory 30 Kč na 1 ha při ceně hnojiva odpovídající 50 Kč za 1 kg fosforu (trojitý superfosfát).

Hodnocení dávek draslíku na rozdíl od fosforu ukázalo na výrazné rozdíly mezi variantami výpočtu (tab. VI.). Vážený průměr procentuální hodnoty dávek ukazuje na snížení u variabilní aplikace o přibližně 15 %, zatímco vliv zpřesnění korekce bilančním koeficientem BK10 se projevil snížením o 65 % (obr. 4). Zde se na rozdíl od varianty M3 významně projevil vliv zařazení části výměry některých pozemků do vysoké zásobenosti, kde je hnojení redukováno (obr. 1.). Ekonomicky lze tyto rozdíly vyjádřit snížením nákladů na hnojení o přibližně 1 100 Kč·ha⁻¹ u variabilní aplikace s M3 klasifikací a 5 030 Kč·ha⁻¹ u variant s výpočtem BK10 (při ceně 16 Kč za 1 kg draslíku v draselné soli).

Dosažení stejné úrovně dávek u obou sledovaných živin, fosforu a draslíku, při variabilní aplikaci s konstantní hodnotou plánovaného výnosu (VRA) a jeho plošnou distribucí podle vymezení výnosových hladin (VRY) vychází z principu výpočtu produkčních zón. Průměrná hodnota za pozemek je vždy 100 %, liší se pouze plošné zastoupení silně podprůměrných a nadprůměrných zón. Vliv zohlednění výnosových hladin se tedy může projevit až po několika cyklech zásobního hnojení – navýšení dávek v místech s nadprůměrnými výnosy (a naopak) vede k vyrovnání bilance živin a ke snížení plošných rozdílů mezi kategoriemi zásobenosti. Obdobné přínosy zohlednění výnosových úrovní lze očekávat také u dalších makroživin, např. při variabilní aplikaci dusíku (16).

Tato studie je součástí řešení výzkumných projektů NAZV QK21010247 „Optimalizace hospodaření na nevyrovnaných pozemcích využitím efektivního mapování půdních podmínek a zohlednění změn vlábových poměrů s cílem stabilizace dosahovaných výnosových úrovní“ a TAČR TH04010494 „Výzkum a vývoj technologií smart farming pro malé a střední zemědělské podniky“.

Obr. 4. Porovnání dávek fosforu a draslíku



Souhrn

Základem stanovení dávky fosforečných a draselných hnojiv je bilanční metoda, při které jsou do půdy navraceny živiny odebrané ve sklizených produktech. U nevyrovnaných pozemků to představuje zohlednění prostorových rozdílů ve výnosech plodin a plošné variability agrochemických vlastností půdy v podobě variabilní aplikace hnojiv. Modelové porovnání uniformní a variabilní aplikace v podobě šesti variant výpočtu ukázalo na podstatný vliv úrovně zásoby živin v půdě. Velmi nízký obsah fosforu v zájmovém území znamenal dosažení nejvyšších dávek u všech variant aplikace bez výrazných rozdílů mezi nimi. Přínos variabilní aplikace fosforu se pohyboval na úrovni 30 Kč·ha⁻¹. Naproti tomu variabilní aplikace draslíku představovala snížení průměrné dávky živiny o 15 %, což představuje ekonomický přínos na úrovni 1 100 Kč·ha⁻¹. Výrazně se u draslíku projevilo zpřesnění klasifikace zásoby živin v půdě pomocí bilančního koeficientu, které u uniformní aplikace vedlo ke snížení průměrné dávky o 65 % (70 % u variabilní aplikace). To představuje úsporu přesahující 5 000 Kč·ha⁻¹.

Zohlednění výnosových hladin nevedlo k výrazným změnám aplikačních dávek u obou živin. V případě dostupnosti map relativního rozložení výnosů plodin ale představuje pokrytí rozdílů odběru živin na dosahovanou úroveň výnosu, které povede k nižším plošným výkyvům zásoby živin v půdě.

Klíčová slova: cukrová řepa, výživa, fosforečné a draselné hnojení, variabilní aplikace.

Literatura

- KLÍR, J.; KUNZOVÁ, E.; ČERMÁK, P.: *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*. 2. vyd., Praha: VÚRV, 2008, 48 s.
- RICHTER, R.; SKARPA, P.: Úprava živinného režimu půd pro cukrovku – předpoklad stabilní a kvalitní produkce. *Listy cukrov a řepař.*, 129, 2013 (7–8), s. 219–222.
- SMATANOVÁ, M.: *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2014–2019*. Brno: ÚKZÚZ, 2020, 32 s.
- CAMBARDILLA, C. A.; KARLEN, D. L.: Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters. *Precision Agriculture*, 1, 1999 (1), s. 5–14.
- BERMUDEZ, M.; MALLARINO, A. P.: Impacts of variable-rate phosphorus fertilization based on dense grid soil sampling on soil-test phosphorus and grain yield of corn and soybean. *Agron. J.*, 99, 2007 (3), s. 822–832.
- MINAŘÍK, R. ET AL.: *Optimalizace vzorkování půd s využitím spektrálních dat pro účely lokálně cílené agrotechniky*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2018, 76 s.

7. MEZERA, J. ET AL. (EDS): Spatial analysis of crop yields maps in precision agriculture. *MendelNet 2018: Proc. 25th Int. PhD Students Conf.*, Brno: Mendelova univerzita, 2018.
8. LUKAS, V. ET AL.: *Mapa výnosového potenciálu pro Zemědělské družstvo Kojčice*. Brno: Mendelova univerzita, 2018, 40 s.
9. SMATANOVÁ, M.: *Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2017 až 2022*. Metodický pokyn č. 9/SZV. Brno: UKZUZ Brno, 2018, 25 s.
10. KUNZOVÁ, E.: *Výživa rostlin a hnojení fosforem. Metodika pro praxi*. Praha: VÚRV, 2009, 28 s., ISBN: 978-80-7427-015-4.
11. LUKAS, V. ET AL.: *Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství. Metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita, 2011, 36 s., ISBN: 978-80-7375-561-4.
12. LUKAS, V. ET AL.: Metody analýzy a interpretace půdních vlastností pro tvorbu aplikačních map v precizním zemědělství. *Úroda*, 66, 2018 (vědecká příloha), s. 319–324.
13. ZBÍRAL, J.: *Analýza půd I : jednotné pracovní postupy*. Brno: ÚKZÚZ Brno, 2002, 197 s.
14. KRIVORUCHKO, K.: Empirical Bayesian Kriging implemented in ArcGIS Geostatistical Analyst. *ArcUser*, 15, 2012 (4).
15. ŘEZNÍK, T. ET AL.: Monitoring of in-field variability for site specific crop management through open geospatial information. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2016; XLI-B8, s. 1023–1028.
16. ELBL, J. ET AL.: *Evaluation of flat and variable rate nitrogen application effect on winter wheat yield on the basis of yield maps*. In SGEM2019. Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. Sofie: STEF92 Technology Ltd., 2019, s. 823–830.

Lukas V., Neudert L., Širůček P., Novák J., Elbl J.: Effect of Variable Rate Application of Phosphorus and Potassium Fertilizers in Sugar Beet

The application of phosphorus and potassium fertilizers is carried out based on the balance calculation and covers the consumption

of nutrients by the harvested products. In case of fields with high spatial variability, this means taking into account spatial differences in crop yields and spatial variability of soil agrochemical properties in the form of variable application of fertilizers. A model comparison of uniform and variable application in the form of six calculation variants showed a significant effect of the level of nutrient content in the soil. The very low phosphorous content in the area of interest resulted in the highest doses for all application variants without significant differences between them. The economic benefit of variable phosphorus application was at the level over 1 EUR per ha. In contrast, the variable application of potassium led to reduction of the average nutrient dose by 15%, which represents an economic benefit of 44 EUR per ha. For potassium, the classification of the nutrient supply in the soil using the balance coefficient was significantly more pronounced, which in the case of uniform application led to a reduction of the average dose by 65% (70% in the case of variable application). This represents a saving of more than 200 EUR per ha. Taking spatial distribution of yield levels into account did not lead to significant changes in application rates for both nutrients. However, where maps of the relative distribution of crop yields are available, the coverage of the differences in nutrient uptake per yield level achieved will lead to lower spatial differences in the nutrient content in the soil.

Klíčová slova: sugar beet, nutrition, phosphorus and potassium fertilization, variable application.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Vojtěch Lukas, Ph. D., Mendelova univerzita v Brně, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: vojtech.lukas@mendelu.cz