

Zkušenosti s variabilním přihnojením cukrové řepy

EXPERIENCE WITH VARIABLE FERTILIZATION OF SUGAR BEET

Josef Pulkrábek¹, Jan Brinar¹, Tomáš Javor², Petr Dvořák¹, Lucie Bečková¹, Perla Kuchtová¹, Jarmila Hubáčková³

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

² AGROEKO Žamberk, spol. s r. o.

³ Zemědělské družstvo Unčovice

Jednou z cest snižování nákladů na pěstování cukrové řepy je uplatňování principů precizního zemědělství v pěstitelských technologiích. Precizní zemědělství je synonymem pro moderní přístupy k hospodaření v rostlinné výrobě, respektující přirozenou variabilitu krajinného prostoru. Pracují s jeho konzervativními a progresivními prvky s cílem využít jeho produkční potenciál. Vedou k dosažení požadované rentabilní produkce zemědělských plodin, tedy i cukrové řepy, při zachování setrvalého fungování krajiny.

Současný vývoj techniky a technologických postupů umožňuje značnou diferenciaci v uplatňovaných technologiích. BRANT ET AL. (1) uvádějí, že precizní zemědělství je základem pro trvalé zemědělské využívání krajiny ve vztahu k zachování energie a hmoty, včetně eliminace negativního vlivu hospodaření na životní prostředí. Je to postupná cesta k biotickým intenzifikacím postavená na moderních poznatcích z oblastí navigací, sensoriky, elektroniky a informačních technologií (1).

Významným faktorem, zvyšujícím produktivitu rostlinné výroby, je rozvoj nových technologických řešení a postupů,

kteří se ale mnohdy rozvíjí mnohem rychleji, než naše znalosti biologických principů pěstovaných rostlin. Nezbytnost nástupu nových technologií při uplatňování principů precizního zemědělství zdůrazňují také NOVÁK ET AL. (2). Ekonomické přínosy připomínají PÁNKOVÁ ET AL. (3).

Řada autorů uvádí, že komplexní a harmonická výživa rostlin slouží nejen k cílenému řízení růstu a vývoje polních plodin, ale také k vytváření podmínek pro vyšší odolnost rostlin vůči stresovým faktorům (4, 5). ŽALUD ET AL. (6) zdůrazňují klimaticky podmíněná či stimulovaná aktuální rizika pro pěstování cukrové řepy a z toho vyplývající nezbytnost hledání nových technologií. HAJKOVÁ ET AL. (7) naznačují základní adaptační opatření proti měnícím se klimatickým podmínkám. To vše hovoří o potřebě hledání nových cest, které přispějí nejen k vyšší produkci, ale především k její stabilitě.

V moderní technologii pěstování cukrové řepy se rozhodně vyplatí hledat a využívat pěstitelská opatření (8, 9), jež by stabilizovala produkci a snižovala vliv stresorů (10, 11). Možnou cestou k posílení viability (životascholnosti) cukrovky je i aplikace

Obr. 1. Yara N-Sensor ALS s vlastním zdrojem světla a s dávkovacím zařízením a zásobníkem na hnojivo



vhodných biologicky aktivních látek a vhodných listových hnojiv (12, 13, 14).

Jedním z cílů precizního zemědělství je specificky lokalizovaná aplikace hnojiva, kdy jeho optimální dávka přispívá ke zvýšení potenciálu dané plodiny na celém půdním bloku, zvýšení účinnosti hnojiva, snížení posklizňového zbytkového dusíku a vyšší homogenitě kvality (15). Požadavky na dusík jsou variabilní a z roku na rok i pro určité pole se výrazně liší (16).

V praxi se více než 15 let využívají přístroje, schopné na základě měření spektrální charakteristiky listů odvodit obsah chlorofylu, případně dusíku. Z toho lze následně diagnostikovat výživný stav rostlin a optimalizovat potřebu hnojení dané plodiny se spolehlivostí blízkou s tradičními výživářsko-výrobními rozborů rostlin. Využívá se odrazu elektromagnetického záření (světelného spektra) dopadajícího na porost, naměřeného snímacími senzory. Bezkontaktní metody pro variabilní hnojení dusíkem využívají tzv. N-senzory, které snímají převážně odraz světelného spektra od porostu o vlnových délkách 400–700 nm (viditelnou oblast). Jsou umístěny na střeše kabiny traktoru, absorbují současně diagonálně na několika místech odraz světelného spektra od porostu v rozsahu záběru stroje. Další senzor, orientovaný svisle vzhůru, měří intenzitu slunečního záření pro kalibraci intenzity odrazu světla od porostu. Údaje jsou přeneseny do počítače a vyhodnoceny. Jsou zde pro konkrétní plodinu a odrůdu uloženy kalibrované hodnoty, ze kterých se vypočítává optimální dávka dusíku. Obecně výrobci uvádějí, že při stejné dávce dusíku aplikované stejnoměrně (uniformně) nebo proměnlivě (variabilně) vede hnojení s proměnlivým dávkováním k vyšším výnosům v průměru o 1 %. Nárůst výnosů se zvyšuje s rostoucí variabilitou a výměrou pozemků (17).

Agronomické know-how systému obsahuje algoritmy pro stanovení optimální místně specifické dávky dusíku pro různé plodiny. Kombinace pokročilé technologie (měření prováděné na velké ploše pod šikmým úhlem s optimalizovanými spektrálními kanály) a agronomické znalosti zajišťují spolehlivou detekci variability na každém pozemku a stanovení optimální dávky dusíkatého hnojiva pro každou část pozemku, na kterém se aplikuje (17).

Tento systém optického N-senzoru však není zatím kalibrován pro snímání a vyhodnocování výživného stavu rostlin cukrové řepy dusíkem. Úspěšné využívání optických N senzorů u obilnin a dalších plodin nás vede k potřebě ověření i u cukrové řepy, která je zpravidla také během vegetace přihnojována dusíkem. Pro cukrovou řepu chybí i ověření v dlouhodobých velkoplošných polních pokusech. Pro tuto plodinu by šlo o technologii relativně novou, vhodně využitelnou při kypření meziřádků cukrovky za vegetace.

Ověřením u cukrové řepy se již zabývali BRANT ET AL. (1), kteří v roce 2018 aplikovali hnojivo LAV 27,5 % v dávce $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$) standardně (uniformně) a precizně (variabilně). U variabilní aplikace byla zvolena dávka $45\text{--}60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. Pro variabilní dávku hnojiva vycházeli z mapy výnosového

Obr. 2. Příprava N-senzoru pro variabilní přihnojení – ten načítá variabilitu porostu pro nastavení citlivosti senzoru pro variabilitu dávky hnojiva



Obr. 3. Meziřádek kypří dvě radličky, které současně ukládají hnojivo do půdy co nejbliž k rostlině a třetí radlička kypří prostor uprostřed a pracuje nejhluběji



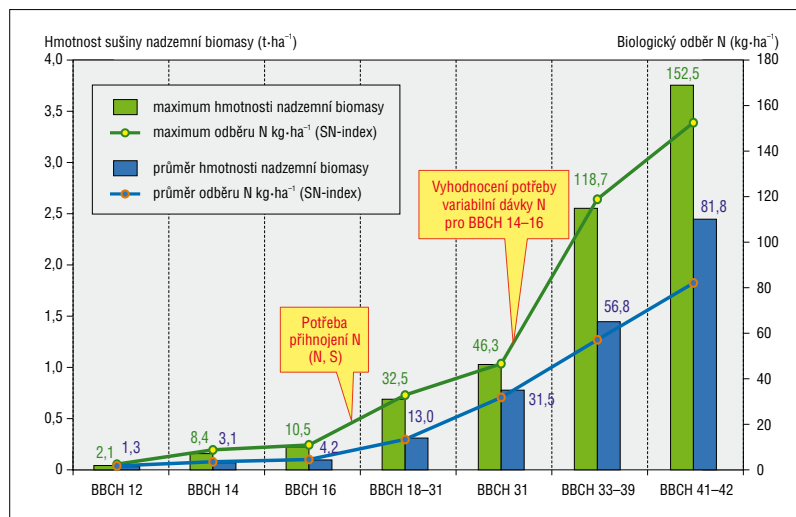
Obr. 4. Kontrola hloubky uložení hnojiva vedle rostliny řepy



Tab. 1. Vliv uniformního a variabilního přihnojení při plečkování na produkční ukazatele cukrové řepy (Unčovice 2019)

Varianta	Výnos řepy (t·ha ⁻¹)	Počet bulev (tis. ks·ha ⁻¹)	Cukernatost (%)	Výnos polar. cukru (t·ha ⁻¹)	Obsah melasotvorných l.			Zůstatek cukru v melase (%)	Teoret. výtěžnost (%)	Výnos bílého cukru (t·ha ⁻¹)	Výnos řepy 16% (t·ha ⁻¹)
					K	Na	α-N				
					(mmol·100 g ⁻¹)						
K1 0 + 0 N	45,3	107	14,27	6,5	2,89	2,26	1,94	2,24	12,14	5,5	39,2
K2 p 70 + 0 N	50,7	104	14,63	7,4	2,63	1,71	1,97	1,96	12,58	6,4	45,4
K3 p 70 + 60 N	53,3	104	14,17	7,5	2,71	1,80	2,08	2,03	12,04	6,4	45,7
V1 p 50 + 20 N	52,5	102	14,67	7,7	2,67	1,89	1,65	2,01	12,74	6,7	47,1
V2 v 50 + 20 N variabilně	52,2	102	14,53	7,6	2,65	1,97	1,54	2,02	12,66	6,6	46,4
V3 p 10 + 60 N	49,6	100	14,30	7,1	2,67	2,07	1,72	2,08	12,34	6,1	43,2
V4 v 10 + 60 N variabilně	50,2	100	14,33	7,2	2,74	2,24	1,82	2,17	12,31	6,2	43,8
V5 p 50 + 20 N + 10 S	51,4	112	14,27	7,3	2,70	2,02	2,02	2,10	12,17	6,3	44,5
V6 v 50 + 20 N + 10 S variabilně	55,8	112	14,37	8,0	2,85	1,96	1,75	2,11	12,33	6,9	48,8
V7 p 10 + 60 N + 30 S	52,1	104	14,40	7,5	2,74	1,70	1,58	1,96	12,48	6,5	45,7
V8 v 10 + 60 N + 30 S variabilně	56,6	104	14,60	8,3	2,81	1,57	1,76	1,96	12,58	7,1	50,5
Vydřeno v podílu nepřihnojené kontroly (%)											
K1 0 + 0 N	89,3	102,7	97,5	87,1	109,8	132,2	98,3	113,9	96,5	86,2	86,5
K2 p 70 + 0 N	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
K3 p 70 + 60 N	105,1	100,0	96,8	101,7	103,0	105,5	105,6	103,6	95,7	100,5	100,9
V1 p 50 + 20 N	103,6	98,2	100,2	103,8	101,4	110,7	83,8	102,3	101,3	104,9	103,9
V2 v 50 + 20 N variabilně	103,1	98,2	99,3	102,4	100,8	115,4	78,2	102,9	100,6	103,8	102,2
V3 p 10 + 60 N	98,0	96,4	97,7	95,7	101,5	121,5	87,5	105,9	98,1	96,1	95,2
V4 v 10 + 60 N variabilně	99,0	96,4	97,9	97,0	104,3	131,4	92,4	110,6	97,8	96,9	96,5
V5 p 50 + 20 N + 10 S	101,4	108,2	97,5	98,9	102,8	118,2	102,5	106,9	96,7	98,1	98,2
V6 v 50 + 20 N + 10 S variabilně	110,1	108,2	98,2	108,1	108,4	115,0	88,8	107,3	98,0	107,9	107,5
V7 p 10 + 60 N + 30 S	102,8	100,0	98,4	101,1	104,3	99,6	80,2	100,0	99,2	101,9	100,7
V8 v 10 + 60 N + 30 S variabilně	111,7	100,0	99,8	111,5	106,8	92,0	89,5	99,8	100,0	111,7	111,4

Obr. 5. Diagram optimální dynamiky nárůstu nadzemní biomasy cukrové řepy a biologický příjem dusíku porostem u dosažitelných vysokých a průměrných výnosů bulev (Agroeko Žamberk, databáze měření z období 2006–2018, n = 265)



potenciálu pozemku, protože listová plocha rostlin nebyla v době aplikace dostatečně vyvinutá pro snímání optickými senzory. U uniformní dávky bylo na základě záznamu skutečně aplikováno 67 kg·ha⁻¹ N. Průměrná dávka 55 kg·ha⁻¹ N na ploše pozemku s variabilní aplikací se uplatnila na cca 56 % plochy, 21 % plochy bylo přihnojeno vyšší dávkou a na 23 % plochy byla dávka hnojiva snížena. U takto hnojeného porostu cukrové řepy nebyl sledován výrazný rozdíl ve výnosu bulev mezi variabilní a uniformní aplikací hnojiva. Autoři uvádí, že nelze hovořit o snížení dávky hnojiva, ovšem hnojivo, a to platí i u ostatních plodin, bylo rozděleno efektivněji (1).

Předkládaný příspěvek vychází z řešení podpořeného projektu Programu rozvoje venkova, cílem výzkumu je homogenizovat (vyrovnat) podmínky pro výživu porostů řepy dusíkem (dusíkem se sírou) a vyhodnotit její vliv na produkční ukazatele cukrové řepy. Předmětem byl vývoj a implementace kalibrace a postupu diagnostiky potřebně

Obr. 6. Souprava pro variabilní přihnojení se zapravením hnojiva do půdy při plečkování



variabilní dávky dusíku pro vzešlý porost cukrovky. Doporučení zároveň musí být kompatibilní s pracovním rozhraním ovládacího software zakoupeného senzoru.

Materiál a metody

V rámci řešení projektu nazvaného „Vývoj technologie redukování zpracování a hnojení půdy pro plodiny s nízkou ochrannou funkcí“ jsme ověřovali možnost využití N-senzoru k optimalizaci dávky dusíku pro přihnojení cukrové řepy přímo k rostlinám při meziřádkové kultivaci půdy. V rámci řešení projektu byl na jaře roku 2020 pořízen aktivní optický senzor Yara N-Sensor ALS, který dokáže zvládat tyto operace, a navíc ještě komunikovat přes počítačové rozhraní s lokálním přihnojováním integrovaném na 18řádkovém meziřádkovém kypřiči (Row Master RN 9000 S) se zásobníkem pro hnojivo a s hadicovými vývody do jednotlivých meziřádků cukrové řepy. Optický senzor pro snímání 9m pracovního

záběru meziřádkového kypřiče byl umístěn relativně nízko nad zemí na čelně neseném zásobníku hnojiva na traktoru, hodnotil výživný stav porostu a na jeho základě pak byla aplikována diagnostikovaná variabilní dávka hnojiva, které bylo zapraveno radličkami do půdy z každé strany řádků rostlin.

Yara N-Sensor ALS (Active Light Source = aktivní zdroj světla) je nová generace známé technologie N-Sensor s vlastním zdrojem světla. Systém umí detekovat stav dusíkaté výživy a hustotu biomasy porostu měřením reflektance světla. Inovativní, patentovaná technologie N-Sensor ALS umožňuje variabilní dávkování dusíku podle zbarvení porostu za pojezdu aplikátoru, a to bez ohledu na intenzitu slunečního světla, tzn. 24 hodin denně.

Tab. II. Variabilita hmotnosti sušiny rostlin a příjmu dusíku cukrovkou před přihnojením 29. 5. 2020

Zóna – velikost	Růstová fáze (BBCH)	Hmotnost sušiny 1 rostliny (g)	Hmotnost čerstvé biomasy (g)	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy (kg·ha ⁻¹)	Příjem N v čerstvé biomase (kg·ha ⁻¹)	Příjem N (kg·ha ⁻¹)	Naplnění optima výživy v růstové fázi (%)
Malé rostliny	5. až 6. list (15–16)	0,485	97,5	57,2	0,27	2,83	110
Střední rostliny	6. až 7. list (16–17)	1,440	151,0	169,9	0,78	8,55	112
Velké rostliny	8. až 9. list (18–19)	2,900	157,1	342,2	1,47	16,49	108
Rozdíl				284,8		13,66	

Tab. III. Obsah dusíku v půdě dne 24. 6. 2020 po přihnojení dusíkem

Plodina	Hloubka (cm)	Sušina (%)	N-NO ₃ (mg·kg ⁻¹)	N-NH ₄ (mg·kg ⁻¹)	N _{min} (mg·kg ⁻¹)	Kategorie	Zásoba (kg·ha ⁻¹)
C1-1 bez hnojení	0–30	84,45	7,51	1,75	9,26	malá	39
C1-2 bez hnojení	0–30	84,88	5,03	1,68	6,71	malá	28
C1-3 bez hnojení	0–30	84,55	4,74	1,70	6,44	malá	27
Celkem	0–30	84,63	5,76	1,71	7,47	malá	31
s ±		0,23	1,52	0,04	1,56		6,5
Variační rozpětí							± 12
C2-1 uniformně	0–30	84,82	16,90	6,04	22,98	dobrá	97
C2-2 uniformně	0–30	84,96	20,60	12,00	32,59	dobrá	137
C2-3 uniformně	0–30	84,62	23,10	5,82	28,90	dobrá	121
Celkem	0–30	84,80	20,20	7,95	28,16	dobrá	118
s ±		0,17	3,12	3,51	4,85		20,4
Variační rozpětí							± 40
C3-1 variabilně	0–30	84,30	16,40	1,78	18,15	střední	76
C3-2 variabilně	0–30	84,53	15,00	6,21	21,25	dobrá	89
C3-3 variabilně	0–30	84,03	17,80	2,53	20,32	dobrá	85
Celkem	0–30	84,29	16,40	3,51	19,91	dobrá	84
s ±		0,25	1,40	2,37	1,59		6,7
Variační rozpětí							±13

Díky své unikátní technologii může N-Sensor ALS provádět aktivní měření na poměrně velkou vzdálenost a skenuje podstatnou část porostu v pracovním záběru rozmetadla, postřikovače nebo v našem případě 18řádkového meziřádkového kypřiče (plečky)

a následně na základě obsahu dusíku v rostlině. Návrh velikosti a variability dávky pro přihnojení dusíkem v období zapojení rostlin v řádku byl proveden podle diagramu nárůstu nadzemní biomasy řepy (18). Diagram průběhu nárůstu hmotnosti

Obr.7. Porost po přihnojení a plečkování (dlátování) do hloubky přibližně 10 cm



se zásobníkem na hnojivo a s možností jeho zapravení do půdy vedle rostoucí rostliny řepy. Světelným zdrojem N-Sensoru ALS je xenonová blesková lampa poskytující multi-spektrální světlo vysoké intenzity. Část světla odrážená od porostu je analyzována detektorem používajícím čtyři spektrální kanály (vlnové délky), které jsou nejvhodnější pro odvození informace o stavu výživy dusíkem a o hustotě biomasy (17).

K zajištění dostatečného diagonálního snímání odrazu zelené barvy porostu je nutná dostatečná pokrývnost pozemku zelenou barvou, tedy je nutná převaha listové plochy nad plochou půdy. Rostliny cukrové řepy musí mít potřebné množství listové plochy.

Poloprovozní pokusy byly založeny v ZD Unčovice v roce 2019 a 2020. Cukrovka byla pěstována tradiční technologií. Prvním úkolem bylo navrhnout kalibraci pro přihnojení cukrové řepy dusíkem při plečkování. Zakoupený senzor zatím nemá potřebnou kalibraci pro variabilní přihnojování řepy dusíkem. Základem pro optimalizaci dávky dusíku na pozemku byla průměrná potřeba hnojení dusíkem podle zjištěného obsahu minerálního dusíku (N_{min}) v půdě a následně na základě obsahu dusíku v rostlině. Návrh velikosti a variability dávky pro přihnojení dusíkem v období zapojení rostlin v řádku byl proveden podle diagramu nárůstu nadzemní biomasy řepy (18). Diagram průběhu nárůstu hmotnosti sušiny rostlin a biologického příjmu dusíku řepným porostem vychází z dlouhodobých zkušeností s výživou rostlin firmou Agroeko Žamberk, s.r.o. (obr. 5.).

Pro volbu variabilní dávky (stanovení maximální a minimální dávky) dusíku byly před hnojením v růstové fázi 5. až 6. listu odebrány v porostu rostliny pro stanovení obsahu dusíku v sušině listů (které byly rozděleny na malé, střední a velké) i vzorky půdy pro analýzu obsahu minerálního dusíku. V roce 2019 byly odběry rostlin provedeny 14. 5. a vlastní přihnojení dusíkem při plečkování pak 17. 5. V následujícím roce byly odběry rostlin provedeny 29. 5. a následné přihnojení s plečkováním 2. 6.

Na základě výsledků z rozborů půd bylo konstatováno, že zásoba dusíku v půdě před setím cukrové

řepy v roce 2019 byla střední, v rozpětí 42–60 kg·ha⁻¹, proto byla diagnostikována rámcová dávka 70 kg·ha⁻¹ N. Dávka byla rozdělena na základní před setím v intenzitě 10 nebo 50 kg·ha⁻¹ N a zbývající část pro přihnojení po vzejití. Před přihnojením byly odebrány vzorky půdy a rostlin pro upřesnění potřeby hnojení. Byla stanovena variabilní dávka 20–45 kg·ha⁻¹ N pro vyšší úroveň základní dávky dusíku a dávka 50–80 kg·ha⁻¹ N pro nižší úroveň základní dávky dusíku před setím. Zásobenost půdy N_{min} byla v roce 2020 diagnostikována až po zasetí pro hlavní období hnojení po vzejití. Zásoba N_{min} po vzejití porostu ve 4. až 6. listu se 29. 5. pohybovala v rozpětí 105–131 kg·ha⁻¹ N a potřeba dohnojení půdy byla malá. Podle zjištěné nejnižší a nejvyšší hodnoty biologického příjmu dusíku nadzemní biomasou rostlin (kg·ha⁻¹ N) byla dopočtena variabilita aplikační dávky pro řízenou aplikaci ve vztahu k optimálnímu stavu. Na parcelách bylo v roce 2020 uniformně aplikováno granulované dusíkaté hnojivo LAD 27 v dávce 200 kg·ha⁻¹ (55 kg·ha⁻¹ N) a variabilně řízenou aplikací pomocí N-senzoru dávka hnojiva 50–70 kg·ha⁻¹ N.

V roce 2019 byl porost cukrové řepy sklizen 7. 10. a v roce 2020 až 9. 11. Sklidila se přesná část pozemku (dvě opakování, sklízecem Holmer Terra Dos T3), byla zvážena hmotnost bulev a následně byl výsledek přepočten na hektarový výnos. Dále byly odebrány bulvy pro hodnocení jakostních ukazatelů, které byly stanoveny v laboratoři společnosti SynTech Research Czech, s. r. o., v Semčicích. Získané hodnoty byly statisticky vyhodnoceny.

Výsledky a diskuse

V pokusech v roce 2019 byly založeny varianty s nižší (20–45, v průměru 20 kg·ha⁻¹ N) a vyšší (50–80, v průměru 60 kg·ha⁻¹ N) variabilní dávkou dusíkatého hnojiva pro období řízeného přihnojení vzešlých porostů. Pro nižší úroveň přihnojení během vegetace bylo před setím provedeno základní hnojení dusíkem v dávce 50 kg·ha⁻¹ a pro vyšší úroveň přihnojení dusíkem bylo provedeno předsetové hnojení v dávce 10 kg·ha⁻¹ N. Celková diagnostikovaná potřeba hnojení dusíkem byla podle obsahu N_{min} v půdě, předplodiny a úrovně předešlého organického hnojení optimalizována na 70 kg·ha⁻¹ N. Z výsledků pokusů v roce 2019 je patrné, že ve 2 případech ze 4 vykazovala řízená variabilní aplikace dusíku v granulovaných hnojivech ve vyšší dávce úsporu v rozpětí 0,5–2,5 kg·ha⁻¹ N. Aplikovaná dusíkatá hnojiva pro přihnojení v nižší variabilní dávce vykazovala naopak přírůstek spotřeby na aplikační ploše v rozpětí 8,5–13,1 kg·ha⁻¹ N. Je patrné, že na aplikační ploše se mohly nacházet převažující místa s nižší výživou rostlin dusíkem, tedy průměrná dávka variabilního rozsahu, dodatečně zadaná do software N-senzoru 20 kg·ha⁻¹ N, byla vahou výživářsky slabších míst zvýšena. Ve výsledku mohlo dojít ke zvýšení spotřeby hnojiva a zvýšení průměrné dávky na aplikační ploše. Při vyšší přihnojované variabilní dávce 50–80 kg·ha⁻¹ N (v průměru dávka 60 kg·ha⁻¹ N) se jevílo nastavení rozsahu dávky dle diagnostiky potřeby přesnější, místa s nižším a vyšším výživným stavem dusíkem byla zastoupena zřejmě s větší převahou lepších míst a v důsledku došlo k úspoře hnojiv.

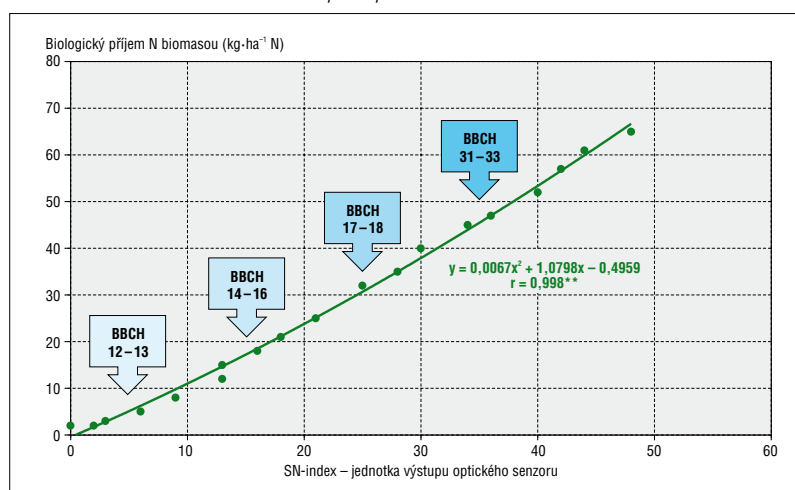
Tab. IV. Výživný stav porostu po přihnojení dusíkem v roce 2020

Datum odběru	Zóna parcela	Růstová fáze (BBCH)	Hmotnost sušiny 1 rostliny (g)	Počet rostlin (tis. ks·ha ⁻¹)	Hmotnost čerstvé biomasy (g)	Příjem N v čerstvé biomase (kg·ha ⁻¹)	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy (kg·ha ⁻¹)	Obsah N v sušině (%)	Naplnění optima výživy v růstové fázi (%)
24. 6. 2020	C1 bez hnojení	42	17,225	117	748,2	6,63	2 009,6	3,80	102
	C2 uniformně	42	43,400	113	943,2	17,71	4 918,7	4,12	111
	C3 variabilně	42	38,400	103	869,6	14,28	3 968,0	4,24	114
27. 7. 2020	C1 bez hnojení	46	124,200	117	1 104,9	33,54	14 490,0	2,19	59
	C2 uniformně	46	103,099	113	870,3	28,29	11 684,6	2,18	59
	C3 variabilně	46	92,300	103	858,7	25,72	9 537,7	2,64	71

Nejvyšší výnos bulev byl v roce 2019 zjištěn na parcele V8, kde byla navíc s variabilní dávkou dusíku aplikována ještě variabilní dávka síry ve směsném hnojivu LADSA (24 % a 12 % S) v dávce 30 kg·ha⁻¹ S. Výnos bulev činil v průměru 50,5 t·ha⁻¹. Druhý nejvyšší výnos 48,8 t·ha⁻¹ byl také na variantě s aplikovanou sírou, a to V6, kde dávka síry činila 10 kg·ha⁻¹ S. Hnojení sírou bylo velmi efektivní, protože obsah síry v půdě byl v zásobě extrémně malý až velmi malý s diagnostikovanou potřebou hnojení min. 30 kg·ha⁻¹ S.

Z výnosu bulev je patrné, že variabilní hnojení dusíkem se sírou bylo nejvýnosnějším opatřením (+24–29 % výnosu oproti nepřihnojené kontrole) a naplňuje cíle vývoje, tj. harmonizace a homogenizace prostorové variability ve výživě rostlin pomocí variabilní aplikace na ploše pozemku. Výnosná byla také nižší intenzita přihnojení dávkou 20 kg·ha⁻¹ N, avšak s minimálním rozdílem v uniformní (20 kg·ha⁻¹ N) a variabilní (20–45 kg·ha⁻¹ N) dávce hnojiva. Vysoká intenzita hnojení porostu cukrové řepy (130 kg·ha⁻¹ N) v půdně-klimatických podmínkách ZD Unčovice nebyla efektivní, dosažený výnos odpovídal diagnostikované celkové potřebě dusíku před setím cukrovky pro celou vegetaci 70 kg·ha⁻¹ N.

Obr. 8. Vztah mezi biologickým příjmem dusíku porostem a výstupem měření optického senzoru hodnotící stav výživy dusíkem tzv. SN-indexem, který je předpisem pro intenzitu dávky dusíku během aplikace hnojiva v nastaveném rozsahu předpisu volné kalibrace



Analýza půdy a rostlin pro variabilní přihnojení v roce 2020

I v roce 2020 byly na parcelách paralelně k odběrům půdy provedeny odběry všech vyskytujících se velikostí rostlin v porostu (malých, středních a velkých) tak, aby mohla být diagnostikována maximální i minimální dávka a byly zastoupeny všechny aktuální velikosti rostlin. Rozdíl mezi velkou a malou hmotností sušiny nadzemní biomasy rostlin byl až 2,5 g a rozdíly ve hmotnosti sušiny činily až 300 kg·ha⁻¹ v období vyvinutí 4–6 listů. Z hlediska obsahu dusíku v sušině se vyskytovaly v porostech jedinci všech hmotnostních kategorií na optimu až nad optimem.

Výživný stav rostlin byl před přihnojením dusíkem v rozpětí 108–112 % optima s ohledem na růstovou fázi rostlin v porostu. Příjem dusíku nadzemní biomasou byl však zjištěn v širokém rozpětí mezi 2,8–16,5 kg·ha⁻¹ N. Potřeba pokrytí rozdílu hnojení dusíkem činila 13,7 kg·ha⁻¹ N. Společně s diagnostikovanou půdní variabilitou obsahu N_{min} činila potřeba pokrytí rozdílu podmínek výživy porostu dusíkem 39,7 kg·ha⁻¹ N. Diagnostikovaný příjem dusíku nadzemní biomasou blízce odpovídal algoritmům stanovení SN-indexu stavu porostu cukrovky rozpětí 2–18,2, který je vyhodnocován optickým senzorem pro řízení rozsahu dávky.

Na základě výživářsko-výrobních rozborů půdy a rostlin před přihnojením porostu byl vytvořen mapový předpis rozsahu variabilní dávky dusíku pro hnojivo LAD 27, použité pro přihnojení cukrové řepy během vegetace v roce 2020. Diagnostikovaná potřeba přihnojení s ohledem na předplodinu a dosavadní hnojení před setím byla v roce 2020 stanovena 54 kg·ha⁻¹ N pro uniformní aplikaci. Pro optický senzor řídicí variabilní dávku byla nastavena maximální dávka 70 kg·ha⁻¹ N pro nejslabší zóny výživy dusíkem a minimální dávka 50 kg·ha⁻¹ N pro nejsilnější zóny porostu. Rozdíl ve variabilní dávce z primárně diagnostikovaných 40 kg·ha⁻¹ N snížený na 20 kg·ha⁻¹ N byl stanoven na základě průměru rozdílu potřeby hnojení půdy a průměru pro homogenizaci výživného stavu rostlin pro vynechávku přímého organického hnojení k řepě, při které je zpravidla nutné aplikovat vyšší dávku dusíku. Pro průměrné rostliny (průměrně dusíkem vyživené) byla v ovládacím modulu optického senzoru zadána průměrná dávka dusíku 55 kg·ha⁻¹ N.

Tab. V. Vliv uniformního a variabilního přihnojení při plečkování na produkční ukazatele cukrové řepy (Unčovice 2020)

Varianta	Výnos řepy	Počet bulev	Cukernatost	Výnos polar. cukru	Obsah melasotvorných l.			Zůstatek cukru v melase	Teoret. výtěžnost	Výnos bílého cukru	Výnos řepy 16%
	(t·ha ⁻¹)	(tis. ks·ha ⁻¹)	(%)	(t·ha ⁻¹)	K	Na	α-N	(%)	(%)	(t·ha ⁻¹)	(t·ha ⁻¹)
	(mmol·100 g ⁻¹)							(%)	(%)	(t·ha ⁻¹)	(t·ha ⁻¹)
C1 Nehnojeno při plečkování	83,1	97,6	17,7	14,7	3,10	0,37	0,96	1,57	16,1	13,4	93,9
C2 Uniformně 55 kg N při plečkování v LAV	84,7	98,4	17,4	14,7	3,08	0,48	1,10	1,61	15,8	13,4	93,8
C3 Variabilně 50–70 kg N při plečkování v LAV	85,1	96,0	17,5	14,9	3,11	0,47	1,29	1,64	15,8	13,5	94,7
C3 Variabilně 50–70 kg N při plečkování v LAV	83,2	95,6	17,9	14,9	3,11	0,41	1,05	1,59	16,3	13,6	95,3
Vyjádřeno v podílu nepřihnojené kontroly (%)											
C1 Nehnojeno při plečkování	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
C2 Uniformně 55 kg N při plečkování v LAV	102,0	100,8	98,3	100,2	99,2	128,6	114,2	102,6	97,9	99,8	99,9
C3 Variabilně 50–70 kg N při plečkování v LAV	102,5	98,4	98,7	101,1	100,4	126,8	133,9	104,4	98,1	100,6	100,9
C3 Variabilně 50–70 kg N při plečkování v LAV	100,1	98,0	101,1	101,2	100,3	108,9	109,0	101,5	101,1	101,2	101,5

Změny obsahu dusíku v půdě po přihnojení v roce 2020

Na začátku června (2. 6.) bylo provedeno řízené přihnojení porostů dusíkem a o 22 dní později byla provedena kontrola porostu a odběr vzorků rostlin i půdy pro stanovení výživného stavu a vyhodnocení účinku variabilního přihnojení při plečkování.

Jednotlivé parcely byly ještě rozděleny na monitorované zóny 1–3 pro lepší zobrazení vyhodnocení variability pozemku v obsahu N_{min.} v půdě (tab. III.). Vyvíjený systém variabilní dávky dusíku v porostu cukrovky řízený optickým senzorem snížil variabilitu obsahu N_{min.} v půdě na pokusných parcelách oproti konvenční uniformní dávce, která vykazovala nejvyšší variabilitu

v obsahu N_{\min} pod porostem po přihnojení. Na parcele C1 (kontrola bez přihnojování, pouze plečkována) byla aktuální zásoba v den odběru 31 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N. V parcele C2, kde byla dávka hnojiva uniformní, byla zásoba dusíku v půdě 118 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na poslední parcele C3, kde jsme aplikovali hnojivo variabilně, byla zásoba dusíku v půdě 84 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z podrobnějšího rozboru parcel je pak patrné, že největší variabilita obsahu N v půdě byla u parcely C2, kde se aplikovala uniformní dávka. Průměrná směrodatná odchylka byla 20,4 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N, oproti variabilní dávce s 6,7 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N.

Další odběr vzorků půd byl proveden přibližně dva měsíce po aplikaci hnojiva, a to 27. 7. 2020. Do tohoto data již došlo k razantnímu odběru dusíku porostem a v půdě se tak nacházela pouze malá zásoba N_{\min} mezi 13–16 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Největší zásoba zůstala ve variabilní variantě, shodná pak byla v uniformně hnojené a ve variantě bez aplikace hnojiva, a to po 13 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N.

Vliv vývoje na výživný stav rostlin po přihnojení v roce 2020

Při odběru 24. 6. 2020 byla nejlepší varianta z hlediska hmotnosti sušiny nadzemní biomasy C2 hnojená uniformní dávkou (tab. IV.). Porost řepy přihnojený variabilní dávkou dusíku vykazoval srovnatelnou výživu s uniformní dávkou (obsah dusíku v rostlině byl 4,12 a 4,24 %). Dne 27. 7. byl po delším období po přihnojení již zjištěn výrazný nárůst hmotnosti nadzemní biomasy a příjem dusíku dosahoval vysokých hodnot v rozpětí 210–496 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N. Obsah dusíku v sušině listů řepy silně poklesl a představoval 59–71 % optima pro dosaženou růstovou fázi.

Nejvyšší výnos bulev řepy byl zaznamenán na parcele C3 (85,1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) přihnojené při plečkování variabilně. Na této parcele bylo kypřeno a hnojeno za vegetace s pomocí optického senzoru snímajícího stav rostlin, obdobně to bylo i na parcele C4. Výnosy bulev, přepočítané na 16% cukernatost, byly nejvyšší u variant C3 a C4. Rozdíl mezi variabilně a uniformně hnojenými parcelami není nijak velký (ca 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), je však patrné, že vyvíjené lokální přihnojování mělo pozitivní účinek. Rozdíl ve výnosu bílého cukru byl ca 200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Cukernatost byla variabilní. Průměrný výnos bílého cukru vzrostl u varianty hnojené variabilně o 0,9–1,5 % proti nepřihnojené kontrole. Výsledky produkce ukazují, že potřeba dohnojení porostu ve srážkově nadprůměrném roce byla malá.

Závěr

Řízené přihnojení porostu cukrovky dusíkem bylo ověřováno s integrovaným senzorem Yara N-Sensorem ALS a inovativně s meziřádkovým kypřičem ROW MASTER RN 9000 S vybaveným aplikačním zařízením pro granulovaná hnojiva.



Rozdíl ve výnosu mezi uniformně a variabilně hnojenou variantou byl velmi malý. Výnos bulev byl zvýšen oproti plošnému uniformnímu hnojení ca o 1,5 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ neboli o 2 %. Účinek variabilní aplikace dusíku na homogenizaci výživy porostu a vyššího dosaženého výnosu posílila v roce 2019 aplikace dusíku se sírou. Hnojení sírou bylo efektivní pro velmi malou zásobenost půd.

Ekonomický přínos není jednoznačně kalkulovatelný, protože rozdíly ve výnosu mezi uniformní a řízenou variabilní dávkou jsou malé, ale s ohledem na rozsah pěstované řepy v podniku je u variabilní aplikace očekáváno snížení nákladů na dusíkatá hnojiva. Hlavním přínosem variabilní aplikace dusíku (dusíku se sírou) je jeho rovnoměrnější rozmístění na pozemku, a to cíleně s ohledem na prostorovou variabilitu výživného stavu porostu a zásobenost půdy N_{\min} , což přispívá ke snížení zátěže životního prostředí a v důsledku ke stabilizaci pěstování plodiny.

Příspěvek vznikl za podpory Programu rozvoje venkova, operace 16.2.1 Podpora vývoje nových produktů, postupů a technologií v zemědělské prvovýrobě, při řešení projektu Spolupráce „Vývoj technologie redukováného zpracování a hnojení půdy pro plodiny s nízkou ochrannou funkcí“ (č. 18/006/16210/671/000054).

Souhrn

Příspěvek je zaměřen na vyhodnocení variabilního přihnojení cukrové řepy dusíkem s využitím optického Yara N-Senzoru ALS spojeného s 18řádkovým meziřádkovým kypřičem (Row Master RN 9000 S) se zásobníkem pro hnojivo a hadicovými vývody do jednotlivých meziřádků řepy se zapravením hnojiva do půdy z obou stran rostliny. Vyvíjený systém variabilního přihnojení dusíkem snížil variabilitu obsahu N_{\min} v půdě na pokusných parcelách oproti konvenční uniformní dávce, která vykazovala nejvyšší variabilitu v obsahu N_{\min} pod porostem po přihnojení. Porost přihnojený variabilní dávkou dusíku vykazoval srovnatelnou výživu s uniformní dávkou. Rozdíl ve výnosu bulev mezi uniformně a variabilně hnojenou variantou byl velmi malý. Oproti plošnému hnojení uniformní dávkou vzrostl výnos bulev u porostu, kde byla variabilní aplikace, o 1,5 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ neboli 2 %.

Klíčová slova: technologie pěstování, řepa cukrová, hnojení dusíkem, N-senzor, plečkování, výnos, cukernatost, precizní zemědělství.

Literatura

- BRANT, V. ET AL.: 2020. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, 2020, 284 s., ISBN 978-80-87111-81-9.
- NOVÁK, V. ET AL.: Welfare with IoT Technology Using Fuzzy Logic. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 12, 2020 (2), s. 111–118, DOI 10.7160/aol.2020.120210.
- PÁNKOVÁ, L.; AULOVÁ, R.; JAROLÍMEK, J.: Economic Aspects of Precision Agriculture Systems. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 12, 2020 (3), s. 59–67, DOI 10.7160/aol.2020.120306.
- ČERNÝ I. ET AL.: Tvorba úrody a cukernatosti řepy cukrové v závislosti od genetického potenciálu odrody a agroekologických podmínek ročníka. *Listy cukrov. řepář.*, 135, 2019 (12), s. 396–400.
- RAŠOVSKÝ, M.; PAČUTA, V.: Influence of selected agrotechnical measures and climate conditions on root yield and digestion of sugar beet. *J. Central European Agric. Cult.*, 17, 2016 (4), s. 1070–1081.
- ŽALUD, Z. ET AL.: Změna klimatu a její dopady pro polní produkci se zaměřením na cukrovou řepu v České republice. *Listy cukrov. řepář.*, 136, 2020 (7–8), s. 248–255.
- HÁJKOVÁ, L. ET AL.: Vliv klimatické změny na termíny setí, vzházení a sklizně cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 136, 2020 (7–8), s. 256–261.

8. ARTYSZAK, A. ET AL.: The yield and technological quality of sugar beet roots cultivated in mulches. *Plant, Soil and Environment*, 60, 2014 (10), s. 464–469.
 9. HEROUT, M. ET AL.: Impacts of technology and the width of rows on water infiltration and soil loss in the early development of maize on sloping lands. *Plant, Soil and Environment*, 64, 2018, s. 498–503.
 10. MICHALSKA-KLIMCZAK, B. ET AL.: Within-field variability of plant and canopy traits of sugar beet and their relation to individual root mass during harvest. *Plant, Soil and Environment*, 66, 2020, s. 437–445.
 11. MICHALSKA-KLIMCZAK, B. ET AL.: Impact of sugar beet seedpriming on molasses components, sugar content and technological white sugar yield. *Plant, Soil and Environment*, 65, 2019, s. 41–45.
 12. HRIVNA, L. ET AL.: *Komplexní výživa cukrovky*. Maribo Seed, 2014, 112 s.
 13. PULKRÁBEK, J. ET AL.: *Řepa cukrová: Pěstitelský rádce*. Praha: Kurent pro ČZU, 2007, 64 s.
 14. VARGA, I. ET AL.: Growth analysis of sugar beet in different sowing density during vegetation. *Poljoprivreda/Agriculture*, 21, 2015 (1), s. 28–34.
 15. BRANT, V. ET AL.: Nižší výsevky a zonální aplikace hnojiv při pěstování obilnin jako základ precizního zemědělství. *Agrojournal*, 2, 2015 (4), s. 58–61.
 16. CHOCHOLA, J.: *Cukrovka: Průvodce pěstováním*. Semčice: Řepařský institut v Semčicích, 2004, 70 s.
 17. Yara N-Sensor ALS. *Leadingfarmers*, 2021, [online] <https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/yara-n-sensor-als/12>.
 18. JAVOR, T. ET AL.: Inovace technologie racionálního hnojení cukrové řepy. *Úroda*, 68, 2020 (10), s. 47–51.
- Pulkrábek J., Brinar J., Javor T., Dvořák P., Bečková L., Kuchtová P., Hubáčková J.: Experience with Variable Fertilization of Sugar Beet**
- The paper focuses on the evaluation of nitrogen variable fertilization of sugar beet using the optical Yara N Sensor ALS connected to an 18-row cultivator (Row Master RN 9000 S) with a fertilizer hopper and hose outlets to individual rows of sugar beet and fertilizer incorporation into the soil from both sides of the plant. The developed system of variable nitrogen fertilization reduced the variability of the N_{min} content in the soil on the experimental plots compared to the conventional uniform dose, which showed the highest variability in the N_{min} content under the stand after fertilization. The stand fertilized with the variable dose of nitrogen showed comparable nutrition to the uniform dose. The difference in sugar beet yield between the uniformly and variably fertilized variant was very small. The yield slightly increased in the stand with variable nitrogen application by 1.5 t ha⁻¹ resp. by 2% compared to surface fertilization with the uniform dose.
- Key words:** growing technology, sugar beet, yield, sugar content, nitrogen fertilization, N-sensor, hoeing, yield, sugar content, precision agriculture.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Josef Pulkrábek, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, Praha 6 – Suchbátka, email: pulkrabek@af.czu.cz