

Projekt: **VÝVOJ A APLIKACE TECHNOLOGIE RACIONÁLNÍHO HNOJENÍ CUKROVÉ ŘEPY VE ZRANITELNÝCH OBLASTECH**

podpořený Programem rozvoje venkova pro období 2014–2020 v opatření 16 Spolupráce, operací **16.2.1 Podpora vývoje nových produktů, postupů a technologií v zemědělské prvovýrobě**

je spolufinancován Evropskou unií.

Cílem operace je podpora inovací v zemědělské prvovýrobě.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova
Evropa investuje do venkovských oblastí
Program rozvoje venkova



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ



PROGRAM ROZVOJE VENKOVA

Registrační číslo: **18/006/16210/453/000057**

Období řešení: **2019–2020**

Žadatel/příjemce: **AGRODRUŽSTVO KLAS**
Křičej 102, 533 41, IČ: 60916320



Spolupracující partner/výzkumná instituce: **AGROEKO Žamberk spol. s r.o.**
Zemědělská 1004, 564 01 Žamberk, IČ: 42197082



AGROEKO
Žamberk spol. s r.o.

Vybraný dodavatel strojových investic: **AGRICO, s.r.o.**
Čapkova 802, 517 21 Týniště nad Orlicí, IČ: 49283838



Místo realizace: Křičej, 533 41

Celkové výdaje projektu:	6.534.000 Kč
Výdaje, ze kterých je stanovena dotace:	5.400.000 Kč
Poskytnutá dotace – spolufinancování (50 %):	2.700.000 Kč
- příspěvek společenství EU (49,5 %):	1.336.500 Kč
- příspěvek z národních zdrojů (50,5 %):	1.363.500 Kč

➤ **Cílem projektu** byla spolupráce zemědělského podniku (žadatele) se specializovanou výzkumnou institucí na návrhu, ověření a vývoji optimálních technologických postupů pro pěstování a hnojení cukrové řepy v systému řízeného precizního zemědělství včetně posouzení vlivu inovace technologie v následné plodině jarním ječmeni.

Hlavním úkolem projektu byl experimentální výzkum a vývoj postupů pokrokového racionálního hnojení dusíkem, pomocí diagnosticky optimalizovaných dávek, satelitní navigace (GPS) se záznamem pohybu (lokalizace a on-line evidence aplikovaných dávek) a zejména pomocí optického senzoru snímající odrazivost světelného spektra porostu, kterou vyhodnocuje příjem dusíku nadzemní biomasou a tím řídí příslušnou dávku dusíku v reálném čase aplikace.

Produktem inovace je uplatnitelná technologie řízeného hnojení dusíkem v náročné plodině cukrové řepě na výživu pomocí bodově vyhodnocované dávky dusíku podle předpisového rozsahu variabilní dávky. Stanovení variabilní dávky je provedeno pomocí vyvinutého postupu založeného na konkrétním zhodnocení podkladů diagnostickou výživářsko-výrobní metodou.

- **Technologie přináší pokrok pro systém variabilního hnojení cukrovky dusíkem během vegetace pomocí minerálních hnojiv s obsahem dusíku (dusíku se sírou).**
- **Technologie využívá přesných podkladů pro stanovení rozsahu dávky dusíku pro porost a následně je rozsah dávky distribuován po pozemku podle vyhodnocení stavu optickým senzorem.** Tím je mimo jiné zajištěna podrobná statistika spotřeby hnojiv a vyaplikované dávky dusíku na příslušném pozemku. Přesnost a schopnost reakce aplikační linky na změnu distribuce příslušné dávky dusíku, pro odpovídající zónu výživy porostu dusíkem, je při obvyklé pracovní rychlosti okolo 450 m².

Klíčová slova: cukrovka, diagnostika, variabilní aplikace, dusík, senzor

Metodika řešení

Spolupráce Žadatele s výzkumnou institucí ve výzkumu a vývoji inovace hnojení cukrové řepy byla realizována ve **2 věcných etapách** v období 2019 – 2020. Příprava projektu a specifikace strojových investic započala již v roce 2018. Náplní spolupráce byl experimentální a aplikovaný výzkum a vývoj postupů, dávek, poměrů a rozsahů dávek dusíku a obohacení hnojení dusíkem o síru v porostech cukrovky. Byly zkoušeny a vyvíjeny postupy dělených dávek před setím a v době přihnojení, ve kterém byly zkoušeny klíčové varianty **uniformní (průměrné) a variabilní** (rozsah minimální a maximální a průměrný) **dávky** dusíku. Navržené varianty vývoje technologie hnojení dusíkem byly aplikovány **pořízenou aplikační linkou** sestavenou z nejvyspělejších prvků aplikace granulovaných hnojiv, jejich řízení, kontroly a záznamu průběhu aplikace. Potřeba dávky dusíku pro porost cukrovky byla výhradně stanovena **diagnostickými metodami** pro hodnocení obsahu minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě. Pro komplexnost podkladu stanovení dávky dusíku během vegetace bylo provedeno hodnocení výživného stavu rostlin dusíkem. Pro hodnocení výživy rostlin dusíkem byla souběžně vyvinuta metoda hodnocení pro stanovení variabilního rozsahu dávky optickým senzorem v optimální časné fázi růstu a vývoje porostu cukrovky, kdy nemusí být zaznamenány dostatečně rozdíly v příjmu dusíku porostem na pozemku, které přicházejí až později za vegetace. Pro hodnocení výzkumu a postupů vývoje byly odebírány vzorky půd a rostlin ve variantách a zónách na založeném experimentálním pozemku s parcelami o výměře 1,2 ha/ks. Byla hodnocena variabilita sklizně bulev a technologická kvalita podle všech variant vývoje (2019). Bylo provedeno **komplexní hodnocení účinku variant vývoje hnojení cukrovky v následné plodině jarním ječmeni.** Pokračováno bylo aplikovaným výzkumem pro dovývoj inovace technologie přihnojení a základního hnojení porostů cukrovky s důrazem na implementaci systému nejvyššího stupně inovace variabilních dávek dusíku pro porost cukrovky, který je plně řízený optickým senzorem pořízené aplikační linky. Implementace inovace technologie hnojení byla realizována na ploše produkčního pozemku cukrovky (2020).

- Aplikace dusíku byla navržena granulovanými minerálními hnojivy, které jsou aplikovány diagnostikovanou potřebou ve variabilním rozsahu podle stavu výživy porostu (indexu biologického příjmu dusíku nadzemní biomasou), který je vyhodnocován z odrazivosti světelného spektra optickým senzorem. Proces aplikace je plně automatizovaný avšak vyžaduje počáteční ruční nastavení **v režimu volné kalibrace**, které však zabere minimum přípravného času obsluhy aplikační linky.

Byla provedena validace měřených údajů (SN-indexů) optickým senzorem se skutečným diagnostikovaným stavem příjmu dusíku nadzemní biomasou (kg N/ha) v příslušné fázi růstu. Po předplodině cukrovce bylo provedeno hodnocení působení variant a intenzity přihnojované dávky dusíku a vlivu rozsahu variabilní dávky na výživný stav, výnos a kvalitu zrna jarního ječmene pro sladovnické využití. Průběžné hodnocení výsledků jednotlivých variant vývoje bylo porovnáváno se současnou již nevyhovující technologií hnojení dusíkem v minerálních hnojivech v jednorázové dávce před setím a s prostou kontrolou pěstování cukrovky bez hnojení. Pro účely hodnocení pokusných šarží bulev a zrna bylo **pořízeno drobné zázemí** pro vážení a úpravu vzorků v podmínkách žadatele. Během vývoje řízené aplikace dusíkatých hnojiv inovativní pracovní linkou bylo průběžně spolupracováno s vybraným dodavatelem strojové investice

Výstupy řešení

Během experimentálního a aplikovaného vývoje v půdně-klimatických a výrobních podmínkách žadatele byla vyvinuta a do provozu implementována komplexní inovace aplikace dusíku v pěstební technologii cukrové řepy pomocí inovativních prvků pořízené aplikační linky. Implementován byl nejvyšší stupeň inovace aplikace dusíku ve variabilní dávce v rozsahu diagnostikovaném před přihnojením porostů **optimálně v období vyvinutého 4. – 6. listu** pomocí souběžné vyvinuté metody. V porostu se v optimálním termínu lokálně vyskytují větší rostliny s vyvinutým 8 – 9. listem. Vyhovující termín řízeného přihnojení variabilní dávkou dusíku je mezi 10. – 20. 5., nejpozději však do 30. 5.

Výstupem projektu je vyvinutá technologie hnojení cukrové řepy **založená na strategii vyrovnání rozdílů porostu ve výživě dusíkem a vegetačním stavu** po vzejití s hlavním působením v období intenzivního růstu. Je založena na přesné aplikaci rozsahu dávky dusíku podle místa potřeby doplnění dusíku v pozemku, **na principu diagnostického stanovení** a vlastního řízení aplikace granulovaných hnojiv v reálném čase. Technologie zajišťuje postupné podmínky výživy porostu dusíkem se zvýšenou nabídkou pro porost v intenzivní růstu a především **zohledňuje vyvstalou heterogenitu porostu po vzejití**, která působí nevyrovnanou sklizeň a malou efektivitu hnojení v současném postupu hnojení. Výstupem projektu je **inovována pěstební technologie cukrovky a obohacen obor precizního zemědělství v úseku hnojení v porostů:**

TECHNOLOGIE BODOVĚ ŘÍZENÉ APLIKACE DUSÍKATÝCH HNOJIV V POROSTECH CUKROVÉ ŘEPY

Hlavní výsledky a přínosy vyvinuté technologie hnojení dusíkem (a sírou) inovující pěstební postup cukrové řepy v České republice (přínosy pro žadatele):

- Po přihnojení variabilní dávkou dusíku v širším rozsahu (20 – 85 kg N/ha, zadaní průměrná dávka rozsahu 60 kg N/ha) klesla nevyrovnanost příjmu dusíku porostem o 24 % oproti uniformní dávce. U nižších dávek variabilního řízeného přihnojení (30 – 55 kg N/ha, průměrná zadaná dávka rozsahu 40 kg N/ha) klesla variabilita příjmu dusíku o 27 % po použití dusíku se sírou.

- Byla snížena variabilita hmotnosti bulev po variabilní dávce dusíku o 5 – 14 % podle intenzity rozsahu přihnojované dávky dusíku. Aplikace dusíku se sírou ve vyšší dávce se neprojevila pozitivně ve snížení variability hmotnosti bulev ve sklizni.
- Výnos bulev byl zvýšen o 19 % nejvýnosnější variantou vývoje byla V2 (nižší úroveň přihnojení dusíkem rozsahem 30 – 55 kg N/ha, průměrem 40 kg N/ha) oproti současné technologii jednorázového hnojení před setím. O 17 % byl zvýšen výnos bulev po vyšším rozsahu variabilní dávky dusíku (20 – 85 kg N/ha, průměrem 85 kg N/ha). Přihnojení variabilní dávkou dusíku se sírou se neprojevilo pozitivně ve zvýšení výnosu bulev a v technologické kvalitě bulev (cukernatosti).
- Výnos zrna následné plodiny ječmene byl zvýšen o 6 – 12 % po inovaci technologie hnojení dusíkem v předplodině cukrovce a po hnojení dusíkem se sírou až o 18 %, oproti současné technologii hnojení cukrovky v jednorázové předset'ové dávce.
- Po řízené aplikaci dusíku se sírou v porostu cukrovky byla negativně ovlivněna kvalita zrna následné plodiny jarního ječmene. Obsah N-látek byl vyšší než 13 % (13,1 – 13,6 %). Aplikací dusíku bez síry variabilním přihnojením cukrovky byl podpořen výnos zrna. Jakost zrna pro sladovnické zpracování zůstala přijatelná v obsahu N-látek mezi 12,4 – 12,9 %.
- Půda před zimou vykazovala v celém profilu srovnatelná rezidua obsahu dusíku ($N_{min.}$) v půdě po sklizni cukrovky se současnou technologií časné dávky před setím.
- Využití dusíku z hnojiv bylo významně zvýšeno (o 76 – 107 %) po inovaci technologie hnojení dusíkem oproti současnému postupu jednorázové dávky před setím. Inovace hnojení dusíkem naplňuje cíle racionálního použití hnojiv, rozšiřuje šetrné postupy hospodaření a omezuje rizika znečištění vod a zátěže životního prostředí.
- Úspora hnojiva v maloplošném uplatnění technologie byla zjištěna 18,5 kg N/ha při širší úrovni rozsahu variabilní dávky (20 – 85 kg N/ha). Při použití dusíku se sírou byla zjištěna úspora dusíku vyšší 29,3 kg N/ha při variabilní dávce v širším rozsahu (20 – 85 kg N/ha). V plošném uplatnění byla zjištěna úspora 3,2 kg N/ha při variabilním rozsahu dávky 40 – 80 kg N/ha.
- Přírůstky potřeby dusíku byly dosaženy při nižší úrovni variabilní dávky dusíku v porostu cukrovky. Spotřeba hnojiva byla o 2,5 kg N/ha vyšší a při přihnojení dusíkem se sírou o 9,2 kg N/ha vyšší než při realizaci v uniformní (průměrné) dávce v porostu. Změna spotřeby (úspory/přírůstek) oproti plánu je přímo řízena převažujícím stavem výživy porostu dusíkem (váženým průměrem, tj. převahou horšího nebo lepšího příjmu –SN-indexu oproti průměru prostému).
- Řízená aplikace pomocí softwarového rozhraní a uživatelského přístupu do webové aplikace podstatně zvýšila uživatelskou vstřícnost pro vedení evidence o použití hnojiv. Poskytuje uživateli podrobné podklady pro evidenci o použití dusíku pro plnění předpisu záznamu vyhláškou č. 377/2013 Sb., o skladování a používání hnojiv v platném znění. Kvalita záznamu aplikace dusíku nabízí důslednou kontrolu dodržení limitů dávek dusíku pro cukrovku ve zranitelných oblastech (podle programu nitrátové směrnice) s bodovou přesností.
- Technologie bodově řízené aplikace dusíku v porostu cukrovky přináší širší ekonomický přínos, 1) zvýšením výnosu bulev (přímé působení) a 2) výnosu zrna následné plodiny ječmene (následné působení). Přínosem je kalkulované zvýšení tržního výkonu pěstebního postupu cukrovky, v realizovaném období činilo zvýšení o 2.529 Kč/ha, a následné plodiny ječmene o 2.747 Kč/ha. Po započtení provozních vícenákladů na inovaci technologie hnojení je kalkulováno zvýšení příspěvku na úhradu fixních a režijní nákladů rostlinné výroby z pěstebního postupu cukrovky a ječmene o 4.773 Kč/ha.

Vývoj pokrokové technologie podstatně upřesňující dávkování dusíku pro cukrovku a omezující rizika plošného i lokálního přehnojení dusíkem zahrnovalo zajištění strojového vybavení odpovídající specifickým potřebám inovace. Při zahájení příprav realizace projektu byly navrženy specifikace strojů, zařízení a funkcí a uživatelské podpory softwarového vybavení řídicího centra. Z průběžných výsledků výzkumu bylo upravováno nastavení řídicích modulů a aplikační linky včetně režimu a způsobu diagnostiky potřeby hnojení. Validován byl senzor hodnotící index příjmu dusíku vegetací podle intenzity odrazivosti světelného spektra porostu. Pořízená linka vyhovovala z návrhu ve svém vybavení včetně specifických **integrováných prvků pro automatizovanou aplikaci** rozsahu dávek dusíku v přímé reakci na snímanou prostorovou variabilitu výživného stavu porostu dusíkem. Na konstrukci linky a implementaci řídicích prvků se podílel vybraný dodavatel strojových investic.



Pořízená inovativní aplikační linka pro realizaci vyvinuté technologie řízeného přihnojení porostů cukrovky dusíkem ve variabilní dávce podle diagnostikovaného rozsahu



Aplikační rozmetadlo je v dávce hnojiva řízeno automaticky optickým senzorem snímající výživný stav porostu dusíkem, změna dávky hnojiva je v reakci do 3 s od poskytnutí informace senzorem



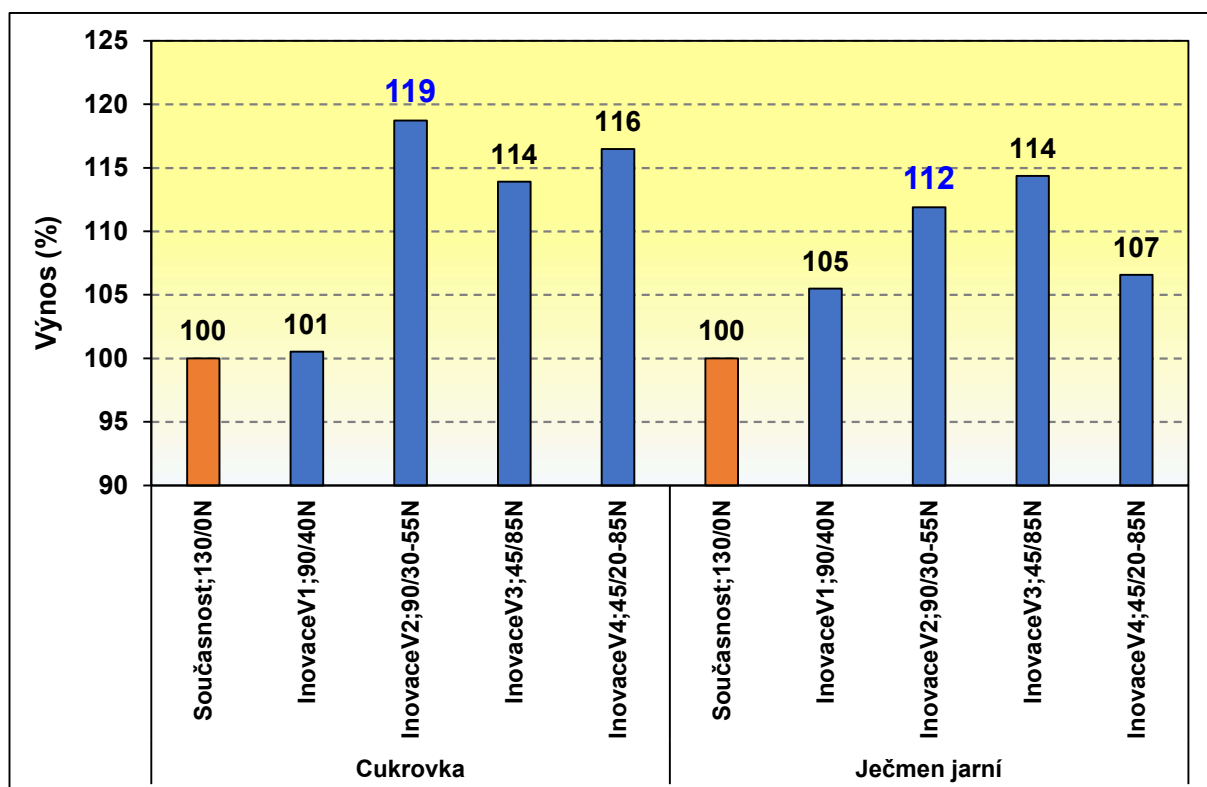
Optický senzor umístěný na kabině snímající (vyhodnocující) intenzitu odrazivosti světelného spektra porostu pro konverzi na index příjmu dusíku nadzemní biomasou cukrovky, k němu je přidělena z diagnostiky potřeby hnojení příslušná dávka dusíku (diagonální snímáním porostu pro rozsah dávky: minimální, maximální, průměrná)



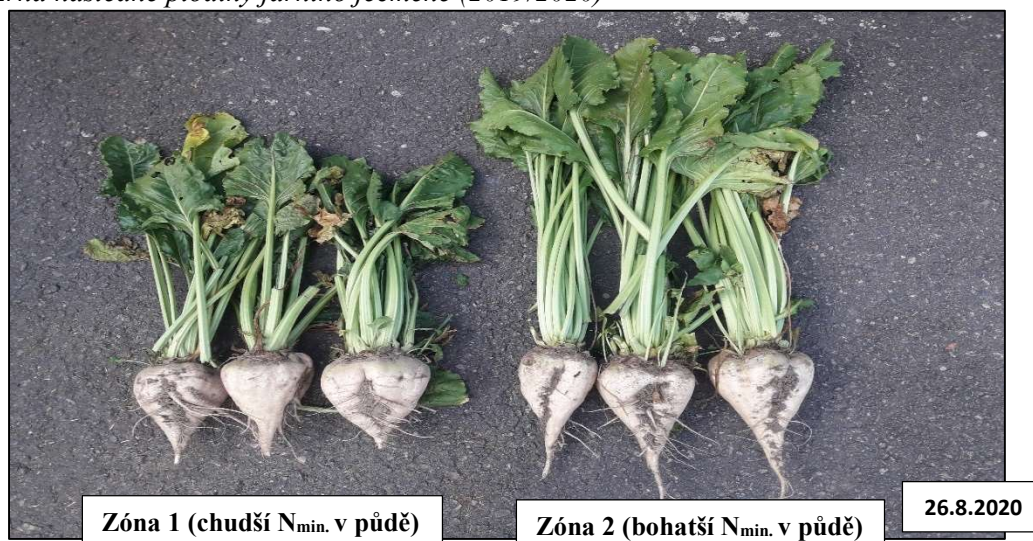
Aplikované granulované dusíkaté hnojivo řízenou variabilní dávkou v porostu cukrovky

☛ Vliv inovace na produkci

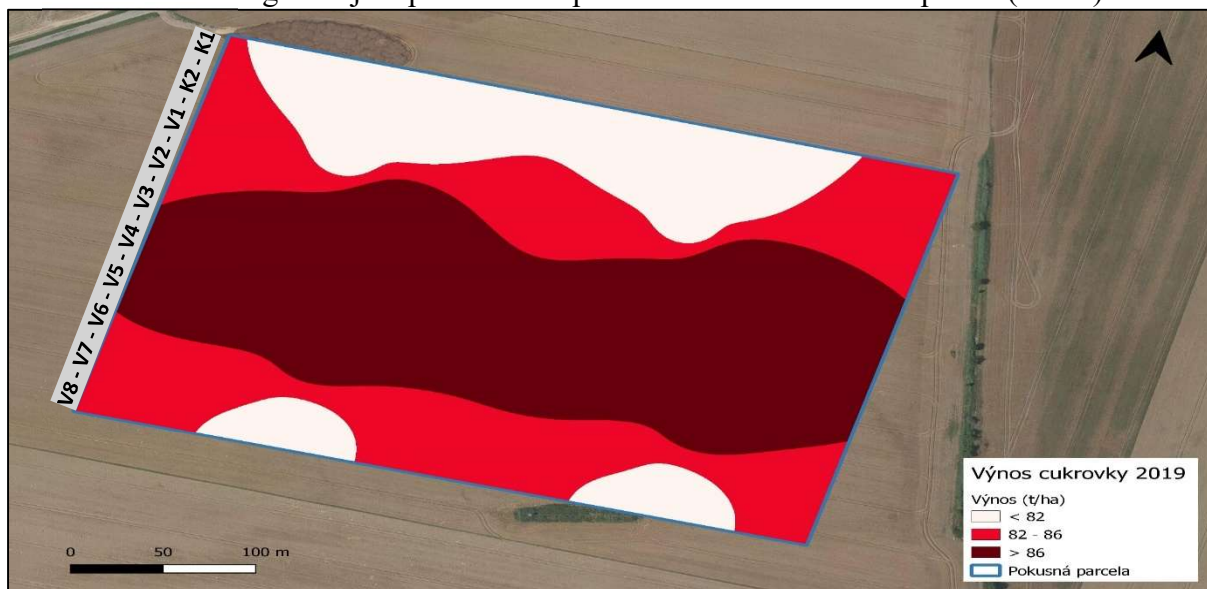
Vývoj nové technologie aplikace dusíku v cukrovce působil pozitivně přímo i následně na výnos plodin. Současná technologie hnojení dusíkem jednorázově před setím cukrovky vykazovala výnos bulev 79,02 t/ha v roce 2019. Inovace hnojení rozdělením dávky dusíku na část před setím a část pro přihnojení během vegetace zvýšila výnos bulev o 1 – 19 % podle stupně inovace přihnojované dávky. Uniformní (průměrná) dávka dusíku (V1 a V3) vykazovala nižší zvýšení výnosu než plný stupeň řízené dávky dusíku variabilním rozsahem pomocí optického senzoru (V2 a V4 varianty vývoje). Následná plodina jarní ječmen vykazovala zvýšení výnosu zrna o 5 – 14 %, v nejnvýnosnější variantě bulev cukrovky o 12 %, oproti výnosu (5,64 t/ha) současné technologie hnojení předplodiny cukrovky (K2). Inovace technologie hnojení a řízení přesné dávky dusíku se projevila pozitivně v přímém i následném působení (graf 1).



Graf 1. Vliv inovace technologie hnojení dusíkem v pěstebním postupu cukrovky na výnos bulev a výnos zrna následné plodiny jarního ječmene (2019/2020)

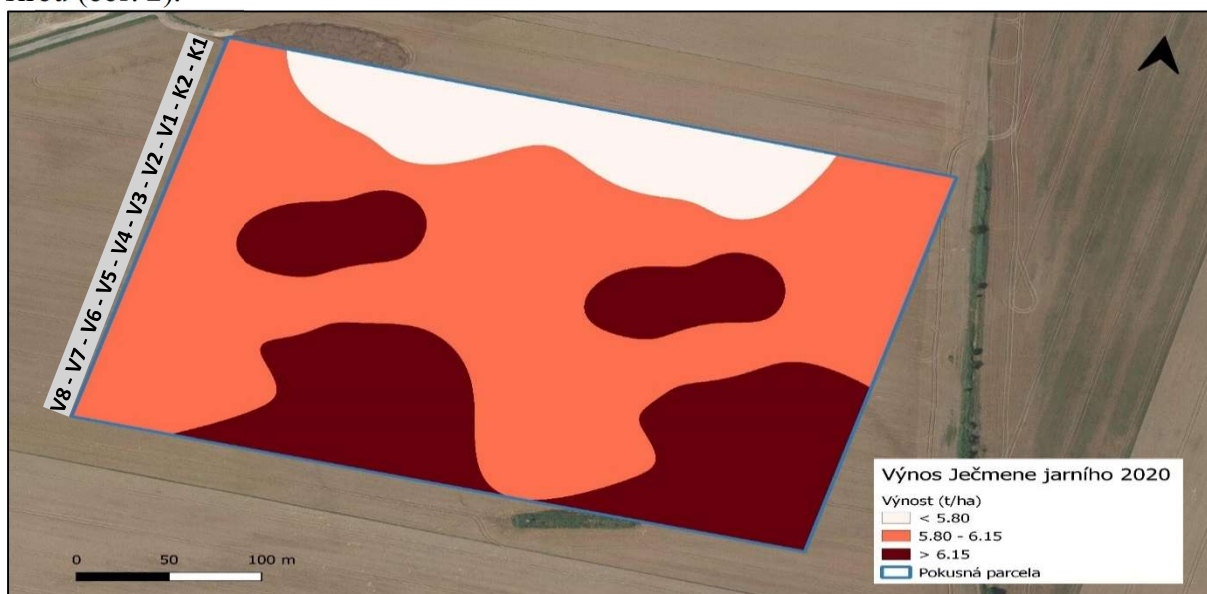


Mapová vizualizace poukázala na převažující výskyt nízkých výnosů bulev po současné technologii jednorázové aplikace dusíku před setím (K2), po prosté kontrole (K1), lokálně po inovaci hnojení nižší uniformní (neřízenou) dávkou dusíku (V1) a lokálně po inovaci hnojení cukrovky přihnojením dusíkem se sírou (V7 a V8) ve vyšší dávce diagnostikovaného rozsahu (20 – 85 kg N/ha). **Vysoké výnosy bulev** se většinou vyskytovaly po řízené úrovni přihnojení dusíkem (V2, V4) ale také po vyšší uniformní dávce dusíku (V3). Střední výnosové kategorie pokrývaly přihnojené porosty dusíkem se sírou a lokálně v nižší dávce přihnojení dusíkem a v současné technologii hnojení před setím a prosté kontrole na koncích parcel (obr. 1).



Obr. 1. Prostorová variabilita výnosu bulev po různých variantách vývoje nové technologie hnojení cukrovky dusíkem v porovnání se současnou technologií (sklizeň 2019)

Kategorie nízkého výnosu zrna následné plodiny **jarního ječmene** po předplodině cukrovce pokrývaly oblast nízkého výnosu bulev po současné technologii (K2), prosté kontrole a uniformní dávce přihnojení dusíku (V1). Vysoké výnosy zrna ječmene se lokálně maloplošně vyskytovaly v místech vysokých výnosů bulev po řízených přihnojeních cukrovky dusíkem a ve dvou větších zónách na variantách středních výnosů cukrovky po přihnojení dusíkem se sírou (obr. 2).



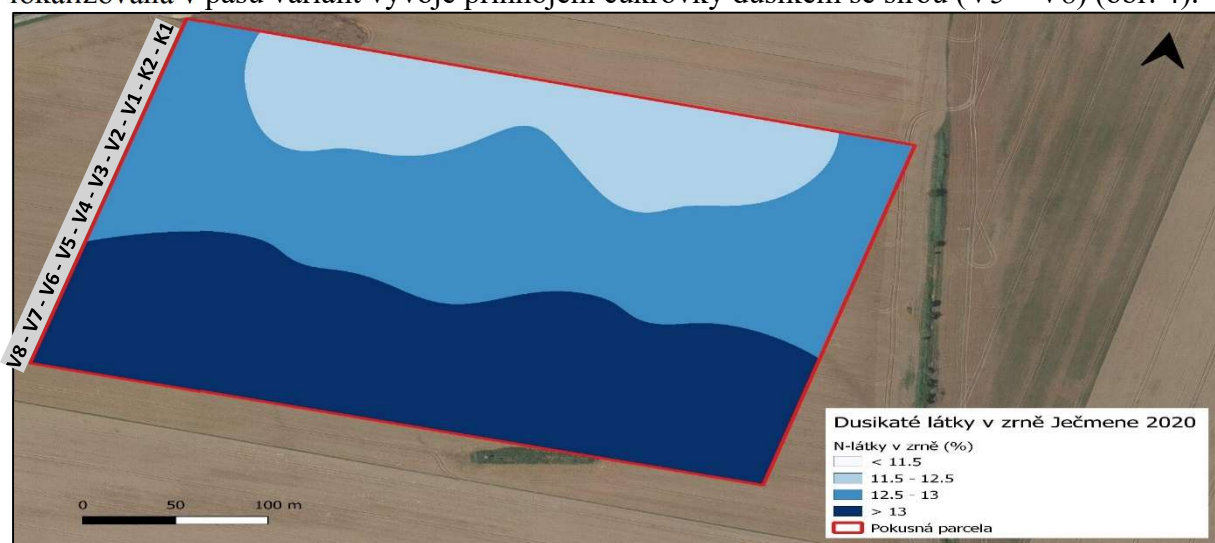
Obr. 2. Prostorová variabilita výnosu zrna následné plodiny jarního ječmene po různých variantách vývoje nové technologie hnojení předplodiny cukrovky dusíkem v porovnání se současnou technologií (sklizeň 2020)

Kvalita bulev cukrovky byla z hlediska **cukernatosti** nejvyšší ve vnitřních zónách varianty bez hnojení dusíkem (K1), po současném hnojení jednorázovou dávkou dusíku před setím (K2) a na variantách vývoje V1 a V2 (nižší úroveň přihnojované dávky uniformě/variabilně) po základu vyšší dávky dusíku před setím. Střední cukernatost byla zjištěna v převážné ploše pozemku napříč spektrem dávek přihnojení včetně variant přihnojení dusíkem se sírou. Nízká cukernatost se vyskytla lokálně v zóně varianty intenzivního přihnojení dusíkem se sírou (V8) a variantách přihnojovaných dusíkem se sírou nižší dávkou (V5 a V6). Uniformní dávka přihnojení dusíkem se sírou ve vyšší intenzitě (V7) se neprojevila výskytem nízké cukernatosti (obr. 3).



Obr. 3. Prostorová variabilita cukernatosti bulev na ploše pozemku zahrnující stejné úrovně hnojení dusíkem (rámeček 130 kg N/ha) při různém termínu a řízení aplikace jednotlivých dávek dusíku (dusíku se sírou), v porovnání se současnou technologií jednorázové dávky (sklizeň 2019)

Se základní kvalitou bulev cukrovky souvisela **kvalita zrna ječmene**. Ta byla optimální v rozmezí 11,5 – 12,5 % dusíkatých látek (NL) v zónách a variantách téměř shodných s vysokou cukernatostí bulev. Horší (střední) kvalita zrna ječmene byla ve střední části pozemku po aplikaci vyvinutých technologií přihnojení cukrovky vykazující střední cukernatost a vysoký výnos bulev. Nepříznivá kvalita zrna pro vysoký obsah NL nad 13 % byla lokalizována v pásu variant vývoje přihnojení cukrovky dusíkem se sírou (V5 – V8) (obr. 4).



Obr. 4. Prostorová variabilita obsahu dusíkatých látek (NL) v zrně následné plodiny jarního ječmene na ploše pozemku zahrnující stejné úrovně hnojení dusíkem (rámeček 130 kg N/ha) při různém termínu a řízení aplikace jednotlivých dávek dusíku (dusíku se sírou), v porovnání se současnou technologií jednorázové dávky pro předplodinu cukrovku (sklizeň 2020)

☛ Vliv inovace na spotřebu hnojiv

Řízená aplikace hnojiv s diagnostickou podporou na produkčním pozemku o výměře 36 ha vykazovala úsporu hnojiva. Z on-line záznamu skutečného průběhu aplikace byla zjištěna minimální dávka (průměr minim) 38 kg N/ha oproti předpisu 40 kg N/ha. Maximální dávka byla diagnostikována předpisem 80 kg N/ha a skutečná realizovaná dávka činila 80 kg N/ha (průměr maxim). Průměrná dávka na pozemku z rozsahu variabilního předpisu byla diagnostikována 60 kg N/ha a skutečná realizovaná dosahovala 57 kg N/ha. Je patrné, že optický senzor a komplexně inovativní aplikační linka s přesným rozmetadlem s vlastním vážicím systémem a přesnou kalibrací aplikace granulovaných hnojiv umožnila **podstatně zpřesněnou aplikaci, která se v průměru lišila od diagnostikovaného předpisu pouze o 3 kg N/ha, tedy o 5 %.**

Plánovaná dávka 60 kg N/ha pro aplikaci uniformně (bez řízení variabilního rozsahu) vykazovala logistickou potřebu pro pozemek 8.000 kg hnojiva ledku amonného s vápencem (LAV 27). V plném režimu vyvinuté inovace hnojení cukrovky dusíkem byla v rozsahu variabilní dávky 40 – 80 kg N/ha po řízení optickým senzorem generována úspora 440 kg hnojiva na ploše 36 ha, tedy okolo 12,2 kg hnojiva/ha. **Na řízeně hnojeném porostu cukrovky byla kalkulovaná úspora nákladů na hnojivo 70 Kč/ha (tab. 1).**

Diagnostikovaná dávka dusíku	Předpis dávky (kg N/ha)	Dávka hnojiva LAV 27 (kg/ha)	Skutečnost dávky (kg N/ha)	Dávka hnojiva LAV 27 (kg/ha)	Spotřeba hnojiva LAV 27 na pozemek výměry 36 ha (kg)				
					plán	skutečnost			
Minimální	40	148	38	141	8.000	7.560			
Maximální	80	296	80	296					
Průměrná	60	222	57	211					
Statistika prostorového rozsahu variabilní dávky dusíku (kg N/ha)									
Rozsah dávky (kg N/ha):	<40 *	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75 **
Výměra (ha):	1,22	9,43	4,25	3,74	3,46	3,28	2,45	1,69	6,48
Spotřeba hnojiva (kg/mikrozóna):	81	1481	748	726	734	758	613	455	1918

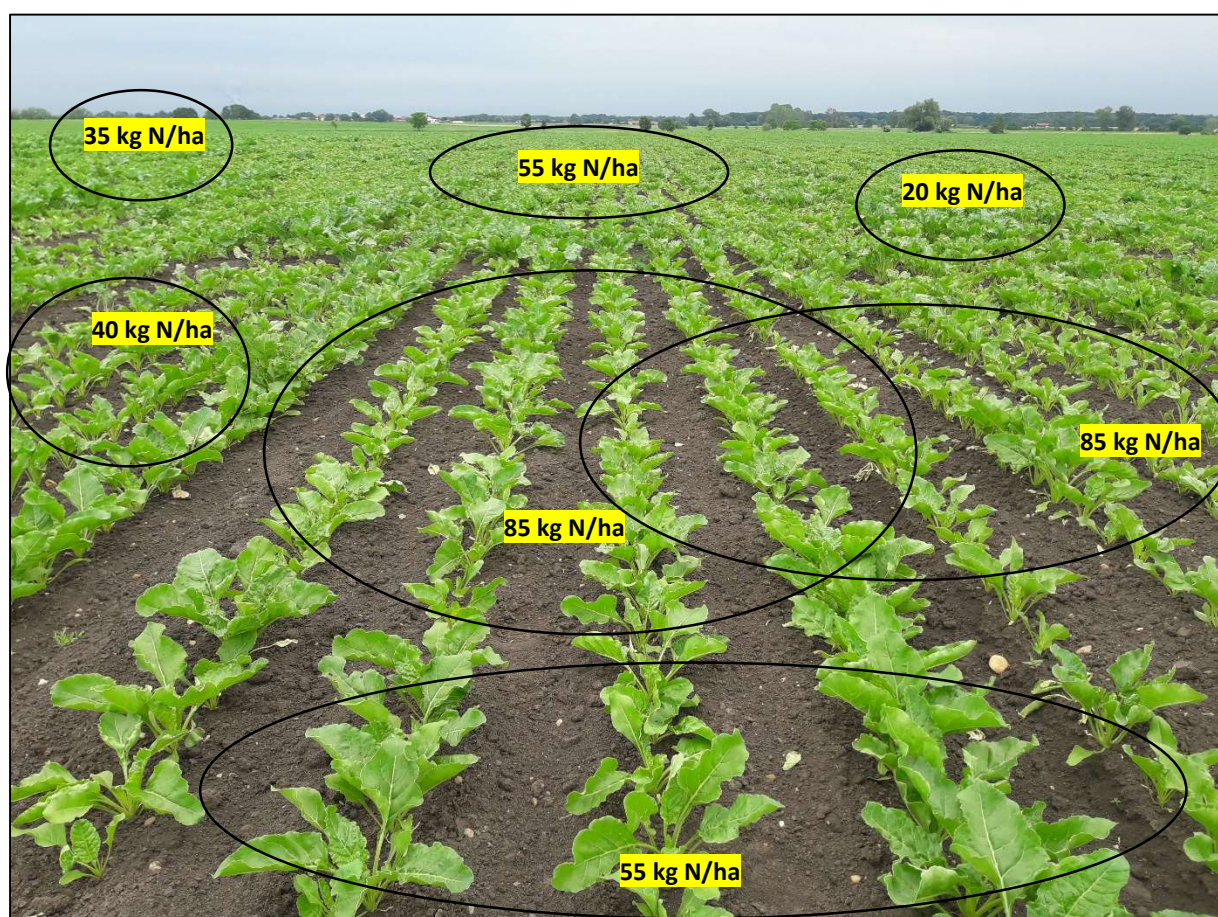
Tab. 1. Spotřebované množství dusíku a hnojiva po vyvinuté technologii řízeného přihnojení cukrovky dusíkem během vegetace v rozsahu diagnostikované variabilní dávky (běžný produkční pozemek, 2020)

*minimální zaznamenaná dávka byla 18 kg N/ha, **maximální zaznamenaná dávka 80 kg N/ha

Po realizaci režimu průměrné (uniformní) a plně řízené (variabilní) dávky dusíku v porostu cukrovky byla na zkušební malé ploše generována **úspora hnojiva variabilní dávkou pouze při vyšším (širším) rozsahu dávky dusíku (V4 a V8)**. Rozsah dávky byl diagnostikován 20 – 85 kg N/ha, s průměrem při vyšší potřebě 85 kg N/ha. Nižší řízená přihnojovaná dávka optickým senzorem ve variabilním rozsahu 30 – 55 kg N/ha se projevila naopak mírným **přírůstkem spotřeby** dusíku/hnojiva oproti uniformní dávce 40 kg N/ha na stejné ploše. Výživný stav porostu cukrovky dusíkem převládal horší než prostý průměr pozemku (a k němu příslušná průměrná dávka dusíku), a tedy spotřeba řízeným dávkováním vzrostla. Naopak vyšší dávka z diagnostikovaného rozsahu řízeně přihnojované dávky dusíku se uplatnila v porostu na menší ploše, a tedy oproti uniformní dávce 85 kg N/ha došlo k úspoře. Řízené přihnojení dusíkato-sírným hnojivem ve vyšší dávce variabilního rozsahu vykazovalo vyšší úsporu dusíku/hnojiva. To bylo opět dáno převažujícím lepším stavem výživy (převažujícím vyšším příjmem dusíku) v zónách porostu na hnojené ploše v době aplikace (tab. 2).

Varianta (dávka před setím/dávka za vegetace)	Dávka N přihnojením (kg/parcels)		Spotřeba hnojiva (kg/parcels)	Spotřeba N variabilní aplikací	Změna nákladů na hnojivo (5.700 Kč/t)
	plán	skutečnost			
V1;90/40N-UNIF	48	48	178	-	-
V2;90/40(30-55)N-VAR	48	51	189	+2,5 kg N/ha	-52,80 Kč/ha
V3;45/85N-UNIF	102	102	378	-	-
V4;45/85(20-85)N-VAR	102	80	296	-18,5 kg N/ha	+388,50 Kč/ha
V5;90/40N+S-UNIF	48	48	209	-	-
V6;90/40(30-55)N+S-VAR	48	59	257	+9,2 kg N/ha	-193,20 Kč/ha
V7;45/85N+S-UNIF	102	102	444	-	-
V8;45/85(20-85)N+S-VAR	102	67	291	-29,3 kg N/ha	+615,30 Kč/ha

Tab. 2. Spotřebované množství dusíku a dusíkatého hnojiva na pokusnou parcelu při řízeném přihnojení cukrovky dusíkem nebo dusíkem se sírou během vegetace (parcels = 1,20 ha, 2019)

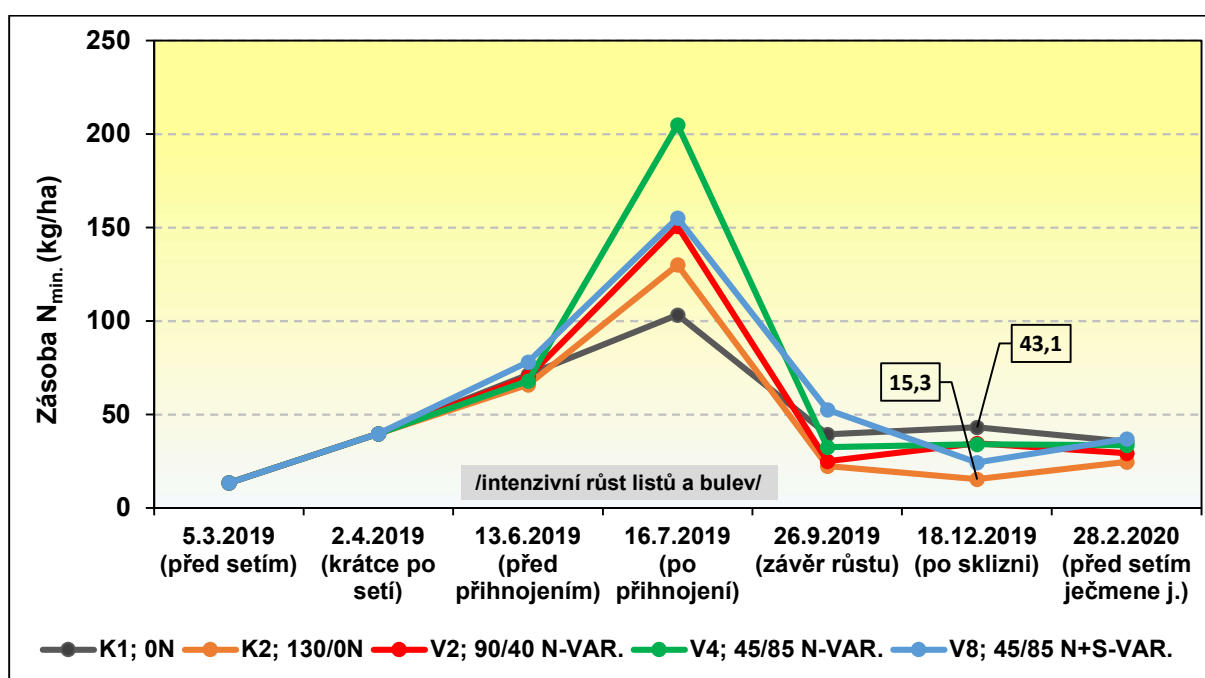


Makrovariabilita porostu cukrovky před přihnojením pro pokrytí řízenou aplikací dusíku v rozsahu diagnostikované variabilní dávky (2019)

	Malé rostliny	Optimální rostliny	Velké rostliny
Hmotnost rostlin:	0,6 g suš./ks	2,9 g suš./ks	24,3 g suš./ks
Příjem dusíku:	3,5 kg N/ha	16,9 kg N/ha	115 kg N/ha
Příjem hořčíku:	0,7 kg Mg/ha	4,0 kg Mg/ha	18,9 kg Mg/ha
Příjem železa:	0,01 kg Fe/ha	0,2 kg Fe/ha	1,4 kg Fe/ha
Potřeba hnojení:	85 kg N/ha	55 kg N/ha	0 kg N/ha

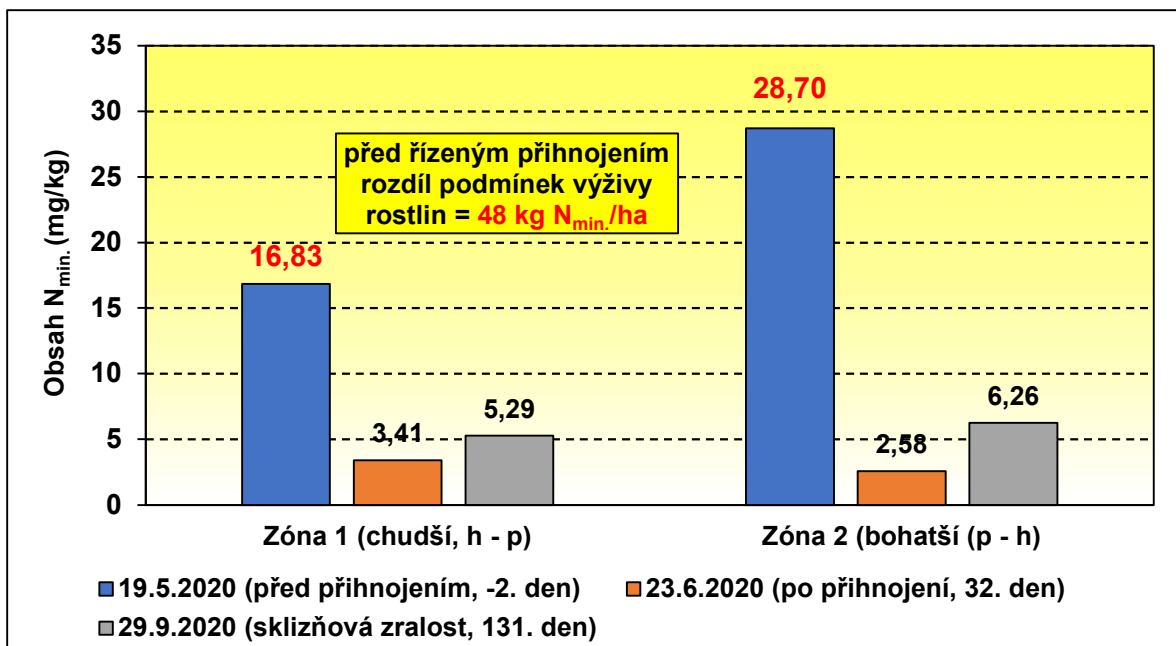
☛ Vliv inovace na půdu

Po přihnojení porostu cukrovky dusíkem bylo zjištěno zvýšení obsahu $N_{min.}$ v půdě ještě 29. den po aplikaci, a to zejména po vyšší variabilní dávce v rozsahu 20 – 85 kg N/ha (V4 a V8). Nižší dávka variabilního přihnojení porostu dusíku (V2) vykazovala nižší trend zvýšení obsahu $N_{min.}$ v půdě při přihnojení dusíkem bez síry. Následně v období dokončování intenzivního růstu bulev a digesce (26. 9.) poklesly zásoby $N_{min.}$ na všech variantách. Nejvyšší zásoba $N_{min.}$ zůstávala na variantě vývoje (V8) s přihnojením dusíkem se sírou, která však poklesla do zimy. Naopak zvýšení zásoby $N_{min.}$ v půdě před zimou nastalo na nehnojené variantě (K1). Na všech variantách však byly před zimou (18. 12.) zjištěny nižší střední zásoby $N_{min.}$ **do 50 kg/ha** v profilu ornice. Varianty vývoje dělené aplikace a řízeného způsobu přihnojované dávky nevykazovaly oproti současné technologii jednorázové dávky dusíku před setím rizikové zhoršení reziduálních obsahů $N_{min.}$ v půdě. Půda poskytla nižší střední zásoby $N_{min.}$ na jaře pro založení porostu následné plodiny **jarního ječmene** s diagnostikovanou potřebou dávky před setím 70 kg N/ha (graf 2).



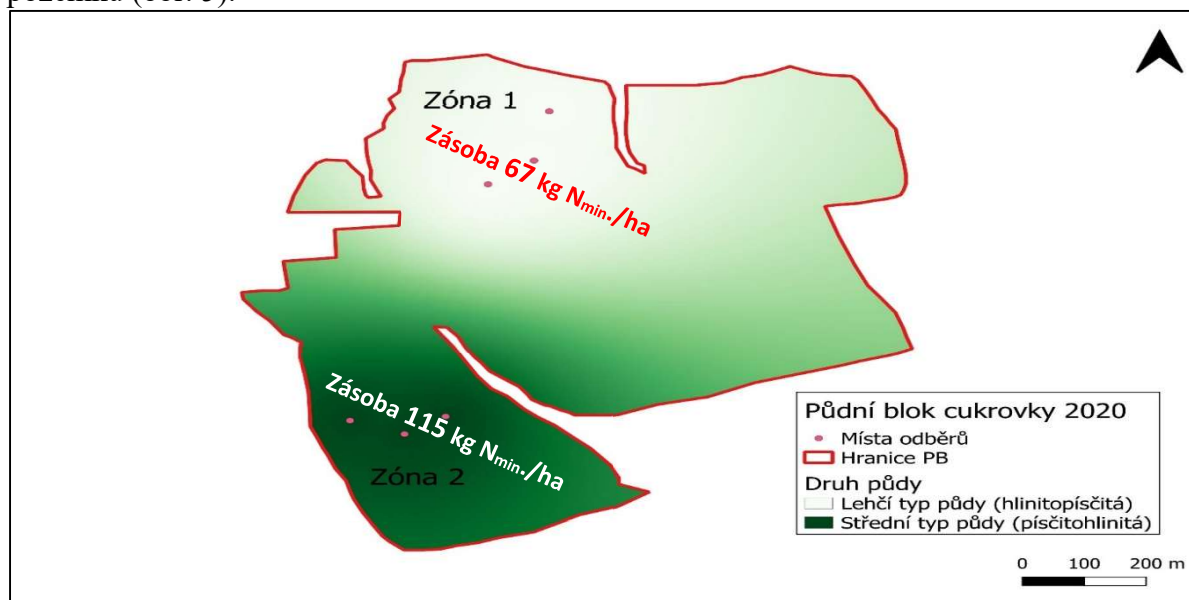
Graf 2. Dynamika obsahu $N_{min.}$ v půdě během celé vegetace cukrovky podle variant vývoje (V2, V4, a V8) v porovnání se současnou technologií (K2) a prostou kontrolou bez hnojení dusíkem (K1)

Půda pod optimálně vzešlým porostem cukrovky vykazovala před přihnojením na produkčním pozemku významný **rozdíl v zásobenosti minerálním dusíkem ($N_{min.}$) 48 kg/ha.** Tento výrazný rozdíl podmínek pro výživu rostlin dusíkem byl započten do diagnostiky rozsahu řízené variabilní dávky dusíku, společně s výsledkem variability biologického příjmu dusíku rostlinami. Po realizaci řízeného přihnojení porostu v **rozsahu variabilní dávky 40 – 80 kg N/ha** byly podstatně **minimalizovány rozdíly** v podmínkách (zásobě $N_{min.}$) pro výživu rostlin dusíkem a zajištěn vyrovnaný odběr dusíku porosty. Zásoby $N_{min.}$ v půdě vykazovaly 32. den po přihnojení i později v době dozrávání již minimální rozdíly do 4 kg $N_{min.}$ /ha na hladině malé zásoby. **Homogenizace vegetačního a výživného stavu porostu a efektivní využití dusíku z půdy je hlavní vlastností inovace** technologie hnojení dusíkem v pěstebním postupu cukrovky. V pozemku byla ve srážkově příznivější vegetaci pro příjem živin minimalizována lokální a plošná rezidua $N_{min.}$ do malých až velmi malých zásob před zimou. Velmi malé a malé zásoby $N_{min.}$ reprezentují přirozenou půdní zásobou s minimálním rizikem pro znečištění podzemních vod ve zranitelných oblastech po zimním vyplavení nitrátů (graf 3).



Graf 3. Dynamika minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě s porostem cukrovky před a po řízeném přihnojení dusíkem ve variabilní rozsahu dávky dusíku na produkční ploše (2020)

Z mapové interpolace zásobenosti pozemku s porostem cukrovky dusíkem ($N_{min.}$) bylo zjištěno **rozsáhlejší zastoupení bohatší zóny**. S tím po aplikaci souvisela zjištěná nižší spotřeba hnojiva po řízení optickým senzorem oproti logisticky plánované spotřebě uniformní dávky. Půda na pozemku byla řízenou variabilní aplikací podle stavu výživy porostu cíleně méně hnojena pro převažující bohatší zásobenost půdy a v ní převažují mírně lepší výživný stav zejména malých a středních rostlin dusíkem. Rozdíly v zásobenosti půdy $N_{min.}$ mezi zónami nebyly způsobeny dosavadním adekvátně rozdílným odběrem rostlinami. Prostorová variabilita zásobenosti půdy $N_{min.}$ před přihnojením souvisela s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi pozemku (obr. 5).



Obr. 5. Prostorová variabilita zásobenosti dusíku ($N_{min.}$) na pozemku s porostem cukrovky před přihnojením porostu variabilní dávkou dusíku (19. 5. 2020)

Příjem dusíku nadzemní biomasou cukrovky (kg N/ha)				
Fáze růstu před přihnojením	Malé rostliny v porostu		Velké rostliny v porostu	
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 1	Zóna 2
19. 5. (BBCH 14-16)	2,7	5,0	35,2	31,3

Závěr

Ve spolupráci Žadatele a specializující výzkumné instituce v podpořeném inovačním projektu operací 16.2.1 Programu rozvoje venkova a ve spolupráci s vybraným dodavatelem strojových investic byla vyvinuta a implementována inovace pěstebního postupu cukrové řepy přesnou **technologii bodově řízené aplikace dusíkatých hnojiv v porostech**.

Novost technologie rostlinné výroby je klasifikována jako Inovace pro dané odvětví v České republice (list B2, Žádosti o dotaci, SZIF, MZe ČR), zejména se jedná o podstatnou inovaci v **přesnosti vlastního hnojení**, použití diagnostických metod stanovení dávky a rozdělení celkového rámce dusíku na část před setím a klíčovou podstatně upřesněnou korekční část po vzejití, optimálně v období vyvinutého 4. – 6. pravého listu (nejpozději do 30. 5.). Hnojení je realizováno granulovanými dusíkatými hnojivy. Při časném přihnojení porostů v diagnostikované nižší dávce (do 50 kg N/ha) lze použít dusíkato-sírná hnojiva. Inovace pěstební technologie v úseku hnojení dusíkem **zvýšila vyrovnanost hmotnosti bulev** ve sklizni a homogenizovala technologickou vyzrállost a jakost při přímém **zvýšení výnosu bulev i zrna následné plodiny jarního ječmene**. Vývoj nové technologie, doposud nejpřesnější metody realizace dávky dusíku v porostu, obohatila obor precizního zemědělství v ČR. Inovace se zaměřuje na **racionalizaci hnojení dusíkem**, možnosti plošného snižování dávek dusíku a **snížení rizik ztrát posklizňových reziduí dusíku (nitrátů -N-NO₃⁻)** do podzemních vod a ohrožení životního prostředí.

Inovace technologie nepřináší jednoznačné úspory ve spotřebě dusíku (hnojiv), ale pronikavě zvyšuje **efektivitu využití aplikovaného dusíku** (o více než 70 %) pro výživu rostlin a tvorbu výnosu. Přínosem vyvinuté technologie řízené aplikace nastavené v plném režimu diagnostiky a řízení rozsahu variabilní dávky je **zvýšení tržního výkonu cukrovky a následné plodiny (obvykle ječmene) v součtu asi o 5.300 Kč/ha**. Pozitivní ovlivnění sklizně cukrovky a následného ječmene je zaručeno při aplikaci řízené dávky dusíku v cukrovce v optimálním, neopožděném termínu.

* * *

Za řešitelský tým spolupracující výzkumné instituce AGROEKO Žamberk spol. s r.o.:

Ing. Tomáš Javor, DiS.
Ing. Lenka Beranová, DiS.
Ing. Jiří Suchodol
Ing. Jana Martincová
Ing. Jana Kratochvílová
a kol.

Za řešitelský tým Žadatele AGRODRUŽSTVO KLAS:

Ing. Ladislav Štěpánek
Jiří Bubeníček
a kol.



Experimentální plocha pro komplexní výzkum a vývoj inovace hnojení cukrovky dusíkem 2019/2020

