

Precizní zemědělství v pěstování cukrové řepy: možnosti, limity a ekonomické souvislosti v českých podmínkách

PRECISION AGRICULTURE IN SUGAR BEET CULTIVATION:
OPPORTUNITIES, LIMITATIONS AND ECONOMIC IMPLICATIONS IN CZECH CONDITIONS

Kamila Veselá – Česká zemědělská univerzita v Praze

Cukrová řepa patří v českém zemědělství mezi tradiční intenzivní plodiny, které jsou úzce propojeny se zpracovatelským průmyslem a regionální strukturou zemědělské výroby. V podmínkách růstu cen vstupů, zpřísnování environmentálních požadavků, omezení některých účinných látek v ochraně rostlin a vyšší variability počasí roste tlak na zvyšování efektivity pěstování. Tento tlak je v evropském řepářství patrný mimo jiné v souvislosti s omezením venkovního používání některých neonikotinoidů a následným rozhodnutím Soudního dvora EU z 19. ledna 2023 ve věci C-162/21, po němž členské státy již nemohou udělovat nouzové autorizace pro použití těchto látek při moření osiva cukrové řepy (1).

Precizní zemědělství vychází z předpokladu, že pozemek není homogenní jednotkou, ale souborem dílčích zón, které se liší půdními vlastnostmi, zásobou živin, vodním režimem, zaplevelením, výskytem chorob, výnosovým potenciálem i reakcí na agrotechnické zásahy. V řepářství se tento přístup uplatňuje zejména při řízení pohybu strojů, variabilním setí, variabilním hnojení, dálkovém průzkumu porostu, cílené ochraně proti plevelům a chorobám a při vyhodnocování výnosových map. JAROLÍMEK ET AL. (2) upozorňují, že při hodnocení přínosů technologií precizního zemědělství v řepářství je důležité sledovat nejen technologickou inovativnost, ale také praktickou použitelnost a ekonomickou efektivnost, což odpovídá obecným principům precizního zemědělství popsaným v zahraniční literatuře (3–5).

Cílem tohoto článku je posoudit možnosti, limity a ekonomické souvislosti využití precizního zemědělství v pěstování cukrové řepy v českých podmínkách. Článek je zpracován jako

odborná rešerše založená na syntéze českých a zahraničních studií, se zaměřením na technologie, které jsou pro cukrovou řepu agronomicky a ekonomicky nejvýznamnější.

Metodika a zdroje dat

Článek má charakter narativní odborné rešerše. Výběr literatury byl zaměřen na práce tematicky relevantní pro cukrovou řepu, podmínky středoevropského zemědělství a ekonomické hodnocení technologií. Tento přístup odpovídá současnému pojetí precizního zemědělství jako systému, který spojuje prostorové údaje, senzory, stroje, rozhodovací algoritmy a manažerské řízení podniku (3, 6).

Výsledky

Základním východiskem precizního zemědělství je řízení prostorové a časové variability. McBRATNEY ET AL. (5) vymezují precizní zemědělství jako soubor metod, které umožňují lépe poznat variabilitu půdy a porostu a přizpůsobit jí pěstební zásahy. TORIYAMA (6) zdůrazňuje, že moderní precizní zemědělství kombinuje půdní mapy, údaje o porostu, meteorologická údaje a informační technologie s cílem vytvořit aplikační doporučení pro konkrétní místo a čas.

Pokročilejší technologie, jako jsou variabilní hnojení, variabilní setí, mapování plevelů nebo algoritmická predikce výnosu,



vyžadují kvalitní údaje, interpretační schopnosti a propojení s aplikační technikou. Studie zaměřené na adopci precizního zemědělství ukazují, že bariérou není pouze cena technologií, ale také složitost práce s daty, nejistota návratnosti a nedostatek odborné podpory (7).

V českém řepářství je výhodou relativně velká výměra zemědělských podniků a zkušenost s moderní mechanizací. Český statistický úřad uvádí, že průměrná výměra na jeden zemědělský podnik se v Česku zvýšila z 92,7 ha v roce 2000 na 106,2 ha v roce 2023, což potvrzuje relativně velkou průměrnou velikost českých zemědělských podniků v evropském kontextu (8). Pro srovnání Eurostat uvádí, že průměrná velikost zemědělského podniku v EU v roce 2020 činila 17,4 ha (9). To může usnadňovat rozložení fixních nákladů na technologie. Na druhé straně však platí, že precizní zemědělství není pouze otázkou pořízení stroje nebo softwaru.

Výživa cukrové řepy a variabilní hnojení

Na jedné straně podporuje dusík tvorbu biomasy a výnos bulev, na druhé straně může při nadměrné dávce zhoršovat cukernatost a technologickou jakost. VARGA ET AL. (10) uvádějí, že dusíkaté hnojení výrazně ovlivňuje jak výnos, tak kvalitu cukrové řepy, přičemž nadměrné dávky dusíku mohou vést ke zpoždění zrlosti a snížení obsahu cukru. Meta-analytické poznatky potvrzují, že dusík může zvyšovat výnos bulev i výnos cukru, ale optimální dávka závisí na půdních a klimatických podmínkách a nelze ji jednoduše zobecnit (11).

Variabilní hnojení je založeno na tom, že potřeba dusíku není na celém pozemku stejná. Rozdíly mohou vyplývat ze zásoby minerálního dusíku v půdě, předplodiny, organického hnojení, půdní struktury, vodního režimu nebo aktuální vitality porostu. Sensorické systémy, družicové snímky a UAV snímkování (Unmanned Aerial Vehicle; bezpilotní letecký prostředek, běžně označovaný jako dron) umožňují sledovat rozdíly v porostu prostřednictvím vegetačních indexů, zejména NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; normalizovaný diferenční vegetační index). WALSH ET AL. (12) prokázali, že UAV odhad NDVI může být využit k predikci výnosu kořene a odhadované výtěžnosti cukru, přičemž vztah byl silnější v pozdější části vegetace než v rané fázi růstu.

Moderní studie rovněž ukazují, že strojové učení může pomoci při predikci výnosu a kvalitativních parametrů cukrové řepy na základě údajů o výživném stavu listů a dávkách dusíku (13). To otevírá možnost propojit agronomická měření s rozhodovacími modely, které by mohly podporovat stanovení optimální dávky dusíku v jednotlivých částech pozemku. Zároveň je však nutné zdůraznit, že modelová predikce nenahrazuje agronomickou znalost pozemku. MAHMOOD ET AL. (14) ukazují, že výnos a kvalita cukrové řepy jsou ovlivněny kombinací půdních, klimatických a biotických faktorů, nikoli jedním izolovaným parametrem.

České zkušenosti s variabilním přihnojením cukrové řepy ukazují praktický význam této technologie. PULKRÁBEK ET AL. (15) hodnotili variabilní přihnojení s využitím optického senzoru a upozorňují, že principy precizního zemědělství mohou přispívat ke snižování nákladů a lepšímu využití produkčního potenciálu pozemku. Ekonomický efekt variabilního hnojení však nemusí spočívat pouze v úspoře hnojiv. Často je důležitější lepší prostorové rozdělení dávky, omezení přehnojení slabších zón, podpora silnějších zón a stabilizace technologické kvality.

Variabilní setí a založení porostu

Variabilní setí vychází z předpokladu, že různé části pozemku mají rozdílný výnosový potenciál, a proto nemusí být optimální používat jednotný výsevek pro celý pozemek.

PROCHÁZKA ET AL. (16) ve studii zaměřené na variabilní setí cukrové řepy uvádějí, že tato technologie umožňuje zohlednit zóny výnosového potenciálu a přizpůsobit jim výsevek. V produkčně silnějších zónách může vyšší výsevek pomoci lépe využít potenciál půdy, zatímco v zónách s horšími podmínkami může nižší výsevek omezit konkurenci mezi rostlinami o vodu a živiny. Přírůstek variabilního setí proto nelze redukovat pouze na úsporu osiva. Hlavní význam spočívá ve stabilizaci porostu a v lepším sladění hustoty rostlin s reálným potenciálem stanoviště.

Dálkový průzkum, UAV a predikce výnosu

Dálkový průzkum Země a UAV snímkování umožňují sledovat stav porostu v průběhu vegetace a vytvářet prostorově detailní informace o vitalitě rostlin. SISHODIA ET AL. (17) uvádějí, že dálkový průzkum v precizním zemědělství využívá různé typy senzorů a vegetačních indexů pro monitoring porostů, detekci stresu a podporu rozhodování. V cukrové řepě lze tyto technologie využít k hodnocení vzházení, zapojenosti porostu, nerovnoměrnosti růstu, stresu suchem, výživného stavu, zaplevelení, výskytu chorob a odhadu výnosu.

UAV snímkování má oproti družicovým datům výhodu vyššího prostorového rozlišení a možnosti termínovat snímkování podle potřeby agronoma. To je důležité zejména u cukrové řepy v raných fázích růstu a při hodnocení rozdílů uvnitř pozemku. WALSH ET AL. (12) ukazují, že UAV NDVI může být použit pro odhad výnosu i technologických parametrů, což je významné pro včasné rozhodování o výživě a řízení porostu. VARGA ET AL. (13) navíc prokazují využitelnost strojového učení pro predikci výnosu a kvality cukrové řepy na základě výživných a agronomických proměnných.

V praktickém využití však existuje rozdíl mezi získáním snímků a jejich agronomickou interpretací. Samotná mapa vegetačního indexu neříká, zda je příčinou rozdílu nedostatek živin, sucho, utužení půdy, choroba, škůdce nebo jiný faktor. Proto je nutné kombinovat snímkování s půdními daty, znalostí historie pozemku, terénní kontrolou a ekonomickým posouzením navrženého zásahu.

Mapování plevelů a cílená ochrana rostlin

Ochrana proti plevelům je v pěstování cukrové řepy jednou z klíčových technologických operací. Řepa v raných fázích růstu pomalu zapojuje porost a má nízkou konkurenční schopnost. Tradiční plošná aplikace herbicidů však nebere v úvahu skutečné prostorové rozmístění plevelů. Precizní ochrana může snížit spotřebu přípravků, omezit environmentální zátěž a zvýšit přesnost zásahu.

Vývoj v oblasti strojového vidění a hlubokého učení umožňuje automatizovanou detekci cukrové řepy, plevelů a půdního pozadí. SA ET AL. (18) představili rámec WeedMap založený na UAV multispektrálním snímkování a hlubokých neuronových sítích, který je zaměřen na mapování plevelů v porostech cukrové řepy. NASIRI ET AL. (19) potvrzují, že hluboké učení může být využito pro rozpoznávání plevelů v cukrové řepě a podporu rozhodování o cílené regulaci. ORTATAŞ ET AL. (20) dále ukazují,

že kombinace strojového učení a hlubokého učení může sloužit k automatizované detekci plevelů v cukrové řepě.

Obecnější rešerše v oblasti detekce plevelů potvrzují, že hluboké učení se stává významným nástrojem pro in-crop weed identification, tedy rozlišování plodiny a plevelů přímo v porostu (21, 22). Praktická aplikace v cukrové řepě však stále naráží na několik limitů. Patří mezi ně rozdílné světelné podmínky, překrývání rostlin, podobná barva plodiny a plevelů, potřeba velkého množství anotovaných údajů a nutnost propojit detekční algoritmus s aplikační technikou. Přesto jde o oblast s velkým potenciálem, zejména ve spojení s bodovou aplikací herbicidů, kamerově naváděnou plečkou nebo robotickou regulací plevelů.

Diagnostika chorob a stresových faktorů

Precizní zemědělství může významně přispět také k včasné diagnostice chorob a stresových faktorů. U cukrové řepy je důležitá zejména detekce listových chorob, například cercosporové listové skvrnitosti. Včasné zachycení ohnisek choroby může umožnit přesnější načasování ochranného zásahu a případně diferenciaci intenzity ošetření.

GÜNDER ET AL. (23) představili model SugarViT, který využívá UAV snímky, Vision Transformer a environmentální data pro odhad závažnosti cercosporové listové skvrnitosti u cukrové řepy. YAMATI ET AL. (24) ukazují, že pro hodnocení cercosporové listové skvrnitosti lze využívat také kombinaci více senzorů, včetně RGB (Red, Green, Blue; barevný obraz složený z červeného, zeleného a modrého kanálu), hyperspektrálních, termálních a hloubkových dat. Tyto práce potvrzují, že budoucnost diagnostiky chorob bude pravděpodobně spojena s integrací obrazových údajů, senzoriky a umělé inteligence.

MAHLEIN (25) upozorňuje, že obrazové senzory pro detekci chorob rostlin musí splňovat specifické požadavky, protože příznaky chorob se mění v čase, mohou být podobné symptomům nedostatku živin nebo stresu suchem a jejich spolehlivá interpretace vyžaduje kombinaci biologické znalosti a technického zpracování obrazu. Pro praktické využití v řepářství z toho vyplývá, že senzorická diagnostika by měla být chápána jako podpůrný nástroj pro agronoma, nikoli jako plná náhrada terénního hodnocení.

Ekonomické souvislosti zavádění technologií

Ekonomické hodnocení precizního zemědělství je složité, protože přínosy technologií se neprojevují pouze přímou úsporou vstupů. Mohou spočívat ve vyšším výnosu, stabilnější cukernatosti, lepší technologické jakosti, omezení překryvů, úspoře času, snížení utužení půdy, lepší dokumentaci zásahů nebo splnění environmentálních požadavků. BONGIOVANNI A LOWENBERG-DEBOER (26) zdůrazňují, že precizní zemědělství může přispívat k udržitelnosti, pokud umožňuje efektivnější využití vstupů a omezení zbytečných aplikací.

Adopce technologií však není samozřejmá. TEY A BRINDAL (27) ve své rešerši ukazují, že rozhodování zemědělců o zavádění precizních technologií ovlivňuje velikost podniku, vzdělání, dostupnost kapitálu, kvalita poradenství, vnímání rizika a očekávaná návratnost. PIERPAOLI ET AL. (28) uvádějí, že mezi hlavní faktory adopce patří nejen ekonomické přínosy, ale i kompatibilita technologie s dosavadním systémem hospodaření a schopnost uživatele pracovat s údaji. PAUSTIAN A THEUVSEN (29) na německých farmách potvrzují, že adopce precizního zemědělství

souvisí s velikostí podniku, technologickou orientací a postojem zemědělce k inovacím. BARNES ET AL. (30) ve srovnání evropských regionů ukazují, že úroveň adopce se výrazně liší podle typu zemědělství, regionálních podmínek a institucionální podpory.

Limity a rizika praktického využití

Přes významný potenciál má precizní zemědělství u cukrové řepy několik limitů. Prvním je kvalita údajů. Chybně vytvořené produkční zóny, nepřesné výnosové mapy nebo špatně interpretované vegetační indexy mohou vést k chybným aplikačním doporučením. Druhým limitem je ročníková proměnlivost. Zóny s vysokým potenciálem v běžném roce mohou v suchém roce reagovat jinak, zejména pokud je hlavním limitujícím faktorem voda.

Třetím limitem je vztah mezi výnosem bulev a výnosem cukru. U cukrové řepy nelze hodnotit úspěšnost technologie pouze podle hmotnosti sklizených bulev. Je nutné sledovat také cukernatost a technologickou jakost. ZHANG ET AL. (31) ukazují, že kombinace vodního a hnojivého režimu ovlivňuje nejen výnos, ale také obsah cukru a účinnost využití vody. To je důležité i pro precizní zemědělství, protože cílem nemá být pouze maximalizace biomasy, ale optimalizace ekonomického výnosu cukru.

Čtvrtým limitem je lidský faktor. Precizní zemědělství zvyšuje nároky na agronoma, který musí rozumět půdě, porostu, technice, datům i ekonomice. Jsou-li technologie využívány izolovaně, bez propojení s rozhodovacím procesem podniku, jejich přínos se snižuje. Naopak největší efekt lze očekávat tam, kde se precizní zemědělství stane součástí celkového systému řízení podniku.

Doporučení pro české pěstitele cukrové řepy

Z provedené rešerše vyplývá, že zavádění precizního zemědělství v cukrové řepě by mělo být postupné. Prvním krokem by měla být systematická tvorba datové základny: evidence výnosů, půdních vlastností, zásoby živin, pěstebních zásahů, výskytu plevelů a chorob a ekonomických výsledků podle pozemků. Bez této základny je obtížné navrhovat spolehlivé variabilní aplikace.

Druhým krokem může být využití navigačních systémů, automatického řízení a omezení překryvů. Tyto technologie mají obvykle rychlejší a lépe měřitelnou návratnost. Třetím krokem je variabilní hnojení dusíkem, zejména tam, kde existuje výrazná prostorová variabilita porostu a kde lze kombinovat údaje o půdě, senzorická měření a agronomickou znalost pozemku. Čtvrtým krokem může být variabilní setí založené na víceletých produkčních zónách.

Pokročilejší úroveň představuje UAV monitoring, mapování plevelů, diagnostika chorob a využití modelů strojového učení. Tyto technologie mají vysoký potenciál, ale jejich praktická návratnost je zatím více závislá na ceně služby, rozsahu využití a schopnosti převést získané informace do konkrétního zásahu.

Závěr

Precizní zemědělství má v pěstování cukrové řepy významný potenciál, protože cukrová řepa je intenzivní plodinou s vysokými nároky na založení porostu, vyváženou výživu, účinnou ochranu a technologickou kvalitu. Nejperspektivnějšími oblastmi jsou variabilní hnojení dusíkem, variabilní setí, přesné navádění mechanizace, UAV monitoring, mapování plevelů a včasná diagnostika chorob.

Zároveň platí, že precizní zemědělství není samotným cílem, ale nástrojem lepšího agronomického a ekonomického rozhodování. Jeho přínos nevzniká pouhým pořízením technologie, ale propojením kvalitních dat, znalosti pozemků, vhodné techniky, odborné interpretace a ekonomického vyhodnocení. V českých podmínkách může být výhodou relativně velká výměra zemědělských podniků a tradice intenzivního řepářství. Pro další rozvoj je však nutné posilovat poradenskou podporu, standardizaci dat, interoperabilitu softwarových a strojních systémů a praktické ekonomické hodnocení návratnosti jednotlivých technologií.

Souhrn

Precizní zemědělství představuje jeden z významných směrů modernizace rostlinné výroby. Jeho cílem je přizpůsobovat agrotechnické zásahy prostorové variabilitě pozemku, aktuálnímu stavu porostu a očekávanému produkčnímu potenciálu. Cukrová řepa patří mezi plodiny s vysokými nároky na přesnost založení porostu, výživu, ochranu proti plevelům a chorobám i sklizňovou technologii. Z tohoto důvodu je vhodnou plodinou pro využití technologií precizního zemědělství. Článek formou odborné rešerše hodnotí možnosti využití variabilního setí, variabilního hnojení, optických senzorů, dálkového průzkumu Země, UAV snímkování, mapování zaplevelení, predikce výnosu a kvality a digitálních rozhodovacích systémů v pěstování cukrové řepy. Současně diskutuje ekonomické přínosy a bariéry zavádění těchto technologií v českých podmínkách. Z dostupných poznatků vyplývá, že největší potenciál mají technologie spojené s přesným založením porostu, variabilní aplikací dusíku, cílenou ochranou rostlin a včasnou diagnostikou

stresových faktorů. Praktická návratnost těchto technologií však závisí na velikosti podniku, kvalitě vstupních dat, schopnosti propojit agronomické a ekonomické rozhodování a dostupnosti odborné podpory.

Klíčová slova: cukrová řepa, precizní zemědělství, variabilní setí, variabilní hnojení, dálkový průzkum Země, UAV, senzory, ekonomika pěstování.

Literatura

1. *Neonicotinoids. Food Safety – Plants – Pesticides.* European Commission, 2023, [online] https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/approval-active-substances/renewal-approval/neonicotinoids_en.
2. JAROLÍMEK, J. ET AL.: Hodnocení přínosů technologií precizního zemědělství v řepářství. *Listy cukrov. řepář.*, 135, 2019 (2), s. 57–63.
3. LOWENBERG-DEBOER, J.; ERICKSON, B.: Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111, 2019, s. 1552–1569.
4. GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I.: Precision agriculture and food security. *Science*, 327, 2010, s. 828–831.
5. McBRATNEY, A. ET AL.: Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 2005, s. 7–23.
6. TORIYAMA, K.: Development of precision agriculture and ICT application thereof to manage spatial variability of crop growth. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66, 2020, s. 811–819.
7. MASI, M. ET AL.: Precision farming: Barriers of variable rate technology adoption in the transition to Agriculture 4.0. *Land*, 12, 2023, 1084.
8. *Souhrnné a strukturální údaje – Integrované šetření v zemědělství 2023.* Praha: Český statistický úřad, 2024, [online] <https://csu.gov.cz/summary-and-structural-data>.



9. *Farms and farmland in the European Union – statistics*. Statistics Explained, Eurostat, 2023, [online] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farms_and_farmland_in_the_European_Union_-_statistics.
10. VARGA, I. ET AL.: Efficiency and management of nitrogen fertilization in sugar beet as spring crop: A review. *Nitrogen*, 3, 2022, s. 170–185.
11. WANG, L. ET AL.: Optimization of nitrogen fertilizer application enhanced sugar beet productivity and socio-ecological benefits in China: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 2025, 251, 106547.
12. WALSH, O. S. ET AL.: UAV-based NDVI estimation of sugarbeet yield and quality under varied nitrogen and water rates. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6, 2023, doi.org/10.1002/agg2.20337.
13. VARGA, I. ET AL.: Prediction of sugar beet yield and quality parameters with machine learning approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214, 2023, 108305.
14. MAHMOOD, S. A. ET AL.: Within-field variations in sugar beet yield and quality and their correlation with environmental variables. *European Journal of Agronomy*, 89, 2017, s. 75–87.
15. PULKRÁBEK, J. ET AL.: Zkušenosti s variabilním přihnojením cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 137, 2021, s. 184–193.
16. PROCHÁZKA, A. ET AL.: Variabilní setí cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 141, 2025 (4), s. 136–143.
17. SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; SINGH, S. K.: Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12, 2020, 3136.
18. SA, I. ET AL.: WeedMap: A large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming. *Remote Sensing*, 10, 2018, 1423.
19. NASIRI, A. ET AL.: Deep learning-based precision agriculture through weed recognition in sugar beet fields. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, 2022, 100759.
20. ORTATAŞ F. N. ET AL.: Sugar beet farming goes high-tech: A method for automated weed detection using machine learning and deep learning in precision agriculture. *Neural Computing and Applications*, 36, 2024, s. 4603–4622.
21. HU, K. ET AL.: Deep learning techniques for in-crop weed identification: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2021, DOI:10.48550/arXiv.2103.14872.
22. HASAN, A. S. M. M. ET AL.: A survey of deep learning techniques for weed detection from images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 2021, 106067.
23. GÜNDER, M. ET AL.: SugarViT – Multi-objective regression of UAV images with Vision Transformers and Deep Label Distribution Learning demonstrated on disease severity prediction in sugar beet. *PLoS ONE*, 20, 2025, e0318097.
24. YAMATI, F. R. I. ET AL.: Configuration of a multisensor platform for advanced plant phenotyping and disease detection: Case study on Cercospora leaf spot in sugar beet. *Smart Agricultural Technology*, 10, 2025, s. 1018, DOI: 10.1016/j.atech.2024.100740.
25. MAHLEIN, A.-K.: Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease*, 100, 2016, s. 241–251.
26. BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J.: Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5, 2004, s. 359–387.
27. TEY, Y. S.; BRINDAL, M.: Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13, 2012, s. 713–730.
28. PIERPAOLI, E. ET AL.: Drivers of precision agriculture technologies adoption: A literature review. *Procedia Technology*, 8, 2013, s. 61–69.
29. PAUSTIAN, M.; THEUVSEN, L.: Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, 18, 2017, s. 701–716.
30. BARNES, A. P. ET AL.: Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*, 80, 2019, s. 163–174.
31. ZHANG, B. ET AL.: The Effect of Irrigation and Fertilization Reduction on Yield, Quality and Resource Use Efficiency of Drip-Fertilized Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Northern China. *Plants*, 14, 2025, 536.

Veselá K.: Precision Agriculture in Sugar Beet Cultivation: Opportunities, Limitations and Economic Implications in Czech Conditions

Precision agriculture is one of the important directions in the modernization of crop production. Its aim is to adapt agronomic operations to spatial field variability, current crop status and expected yield potential. Sugar beet is a crop with high requirements for stand establishment precision, nutrition, weed and disease control and harvesting technology accuracy. (úpravy v předchozí větě nejsou nutné, ale vice odpovídají originálu). It is therefore suitable for the application of precision agriculture technologies. This research article evaluates the potential use of variable-rate seeding, variable-rate fertilization, optical sensors, remote sensing, UAV imagery, weed mapping, yield and quality prediction and digital decision-support systems in sugar beet cultivation. It also discusses the economic benefits and barriers to the implementation of such technologies in Czech conditions. Available evidence suggests that the highest potential lies in technologies connected with precise stand establishment, variable nitrogen application, targeted plant protection and early diagnosis of stress factors. However, their practical profitability depends on the farm size, the quality of input data, the integration of agronomic and economic decision-making and the availability of professional advisory support.

Key words: sugar beet, precision agriculture, variable-rate seeding, variable-rate fertilization, remote sensing, UAV, sensors, crop economics.

Kontaktní adresa – Contact address:

Mgr. Ing. Kamila Veselá, Ph.D., MBA, Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra ekonomických teorií, Provozně ekonomická fakulta, Kamýcká 129, Praha 6 – Suchbát, Česká republika, e-mail: veselakamila@pef.czu.cz