

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**TECHNICKÁ FAKULTA**



**UPLATNĚNÍ ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ PŘI  
PĚSTOVÁNÍ ZELENIN V POLNÍCH A INDOOR  
PODMÍNKÁCH**

Certifikovaná metodika

Milan Kroulík, Vladimír Mašán, Patrik Burg, Vlastimil Slaný

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**TECHNICKÁ FAKULTA**

**UPLATNĚNÍ ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ PŘI  
PĚSTOVÁNÍ ZELENIN V POLNÍCH A INDOOR  
PODMÍNKÁCH**

Certifikovaná metodika

Milan Kroulík, Vladimír Mašán, Patrik Burg, Vlastimil Slaný

Metodika je určena zelinářským subjektům v ČR i zahraničí, s přesahem i do dalších resortních oblastí, v nichž lze uplatnit. Další uplatnění nalezne u orgánů státní správy, v oblasti zemědělského poradenství a u dalších subjektů zabývajících se problematikou zelinářské produkce.

© Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2025

**Lektorovali:**

Ing. Jan Lukáš, Ph.D. Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu, v.v.i.  
Drnovská 507/73, 161 00 Praha 6 – Ruzyně, IČO 00027006

Dušan Ferby, Obchodní firma Dušan Ferby se sídlem Pasohlávky 32, 69122, IČO 47361450

**Jazyková úprava:** autorský kolektiv

ISBN 978-80-213-3542-4

**Autorský kolektiv:**

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta,  
Kamýcká 129, 16500 Praha

Ing. Vladimír Mašán, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Valtická 337,  
691 44 Lednice

prof. Ing. Patrik Burg, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Valtická 337,  
691 44 Lednice

Ing. Vlastimil Slaný, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Zemědělská  
1, 613 00 Brno

Metodika byla schválena MZe ČR, Odborem precizního zemědělství, výzkumu a vzdělávání  
MZe pod číslem jednacím MZE-4944/2026-13134, ze dne 21.1.2026

MZe ČR doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

Metodika je výstupem řešení výzkumného projektu NAZV QK23020097 s názvem  
"Udržitelnost pěstebních postupů v zelinářství s využitím cílených aplikací a robotických  
platforem".



## Obsah

CÍL METODIKY .....	10
SYSTÉMOVÉ PŘÍSTUPY K LOKÁLNĚ DIFERENCOVANÝM ZÁSAHŮM A ŘÍZENÍ PĚSTEBNÍCH PROCESŮ V ZELENINÁŘSTVÍ .....	11
POPIS METODIKY .....	13
Precizní technologie zakládání porostů a cílené aplikace vstupů v pěstování polní zeleniny .....	13
Telematika a přesná evidence operací v pěstování zeleniny .....	13
Ověřování technologie PUDAMA při zakládání porostů zelí .....	15
Vývoj kořenového systému .....	17
Cílená injektáž dusíku a její vliv na růst kořenového systému – ověření technologie u kedlubnu bílého .....	18
Růst a vývoj kořenového systému .....	19
Sklizeň a konečný výnos .....	21
Přesné zpracování půdy a tvorba seťového lůžka .....	22
Pásové zpracování půdy u zeleniny a jeho dopad na strukturu a výnos .....	25
Vliv precizních zásahů na kořenovou soustavu a raný růst porostů .....	28
Řízení mikroklimatu v indoor pěstování .....	29
Fenotypizační metody – snímkování a měření růstu .....	31
EKONOMICKÉ HODNOCENÍ .....	32
ZDŮVODNĚNÍ NOVOSTI POSTUPŮ .....	34
POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY .....	35
EKONOMICKÉ ASPEKTY .....	37
ZÁVĚR .....	38
LITERATURA .....	39
PUBLIKACE PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODICE .....	40

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 Secí stroj Kverneland Optima s technologií přihnojování Pudama. (foto Kroulík)	15
Obrázek 2 Rozložení kořenů v půdním profilu pro variantu PUDAMA (nahore) a hnojení do řádku (dole). (foto Kroulík)	17
Obrázek 3 Organizace porostu a pozice injektážní aplikace hnojiva.	19
Obrázek 4 Rozložení kořenů odrůdy Cindy pro variantu dávky 4 ml k rostlině (vlevo) a kontrolu (vpravo). (foto Kroulík)	20
Obrázek 5 Rozložení kořenů odrůdy Luna pro variantu dávky 4 ml k rostlině (vlevo) a kontrolu (vpravo). (foto Kroulík)	21
Obrázek 6 Hmotnost bulev při sklizni odrůdy Cindy.	21
Obrázek 7 Hmotnost bulev při sklizni odrůdy Luna.	22
Obrázek 8 Kořeny zelí odebrané po sklizni. (foto Kroulík)	23
Obrázek 9 Charakter infiltrace vody v půdním profilu na pozemku po sklizni zelí. (foto Kroulík)	24
Obrázek 10 Charakter infiltrace vody v půdním profilu pro varianty klasická (nahore) a modifikovaná (dole). Šipky vyznačují pozice řádku zelí. (foto Kroulík)	25
Obrázek 11 Biometrické ukazatele rostlin pro jednotlivé varianty pokusu.	26
Obrázek 12 Tvarové rozdíly kořene zelí pro jednotlivé varianty pokusu. (foto Kroulík)	27
Obrázek 13 Graf průběhu teploty a vlhkosti pro minimální hranici teploty 15 °C.	30
Obrázek 14 Graf průběhu teploty a vlhkosti pro maximální hranici teploty 30 °C.	30
Obrázek 15 Ukázka SW Vege-measurer.	32

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Hodnoty popisné statistiky pro variantu přihnojení k rostlině (PUDAMA).	16
Tabulka 2 Hodnoty popisné statistiky pro variantu přihnojení do řádku.	16

## UPLATNĚNÍ ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ PŘI PĚSTOVÁNÍ ZELENIN V POLNÍCH A INDOOR PODMÍNKÁCH

**Klíčová slova:** Zemědělství 4.0, zelinářství, autonomie, robotika, cílené aplikace, Indoor Farming

Metodika s názvem „Uplatnění robotických systémů při pěstování zelenin v polních a indoor podmínkách“ se zabývá možnostmi zavádění moderních autonomních a poloautonomních technologií do produkce zeleniny v různých provozních podmínkách a navazuje na současné trendy digitalizace, automatizace a udržitelného zemědělství.

Zemědělská robotika představuje klíčový prvek modernizace současné rostlinné výroby a její význam nadále roste v souvislosti s požadavky na efektivnější, přesnější a udržitelnější hospodaření. Zavádění robotických technologií přináší uživatelům řadu benefitů, mezi něž patří zejména vyšší přesnost prováděných operací, snížení potřeby fyzicky náročné ruční práce, optimalizace využívání výrobních vstupů a rychlejší, konzistentnější provádění pracovních postupů. Tyto faktory se přímo promítají do zvyšování produktivity a současně přispívají k omezení negativních dopadů na životní prostředí.

Dynamický rozvoj robotiky a automatizace v posledních desetiletích vede k intenzivnímu začleňování řídicích algoritmů, umělé inteligence (AI), strojového učení a pokročilých sensorových systémů do zemědělské praxe. Ačkoli se odborná diskuse často soustředí na plně autonomní mobilní roboty a traktory, významnou součástí technologického pokroku tvoří i dílčí automatizační prvky, které již dnes představují klíčovou podporu obsluhy strojů a současně vytvářejí základ pro budoucí plně autonomní provoz.

Růst významu autonomních a poloautonomních technologií je patrný nejen v polních podmínkách, ale také ve stále se rozvíjející oblasti indoor farmingu. Urbanizace, rostoucí poptávka po lokálně produkovaných potravinách, snaha o zajištění potravinové bezpečnosti a možnost celoroční produkce patří k hlavním faktorům rozvoje těchto systémů. Indoor technologie proto slouží jako doplňkový referenční rámec umožňující srovnání s provozními podmínkami polního pěstování a vymezení specifických možností robotických systémů v řízeném prostředí.

Současně však narůstá také druhá strana technologického pokroku – zvyšující se zranitelnost digitálních systémů. Rostoucí míra digitalizace, propojenost technologií a závislost na datové infrastruktuře činí zemědělství i potravinářský sektor citlivějším vůči kybernetickým hrozbám.

Ty představují významné riziko, které je nezbytné zohlednit při plánování, provozu a dlouhodobém rozvoji robotických a automatizovaných technologií.

## **APPLICATION OF ROBOTIC SYSTEMS IN VEGETABLE PRODUCTION UNDER FIELD AND INDOOR CONDITIONS**

**Keywords:** Agriculture 4.0, vegetable production, autonomy, robotics, targeted applications, indoor farming

The methodology titled “Application of Robotic Systems in Vegetable Production under Field and Indoor Conditions” addresses the possibilities of implementing modern autonomous and semi-autonomous technologies in vegetable production across different operational environments, and follows current trends in digitalization, automation, and sustainable agriculture.

Agricultural robotics represents a key element in the modernization of contemporary crop production, and its importance continues to grow in response to increasing demands for more efficient, precise, and sustainable farming practices. The introduction of robotic technologies provides users with a range of benefits, including higher precision of field operations, reduced need for physically demanding manual labour, optimized use of production inputs, and faster, more consistent execution of cultivation tasks. These factors directly contribute to increased productivity while simultaneously reducing negative environmental impacts.

The dynamic development of robotics and automation over recent decades has led to the intensive integration of control algorithms, artificial intelligence (AI), machine learning, and advanced sensor systems into agricultural practice. Although professional discourse often focuses on fully autonomous mobile robots and tractors, an essential part of technological progress is represented by individual automation components, which already serve as key operator support tools and form the technical basis for future fully autonomous operation.

The growing importance of autonomous and semi-autonomous technologies is evident not only in field conditions but also in the rapidly developing area of indoor farming. Urbanization, increasing demand for locally produced food, the need to enhance food security, and the potential for year-round cultivation are among the main drivers of this expansion. Indoor technologies therefore serve as a supplementary reference framework enabling comparison

with field production systems and helping to define the specific opportunities for deploying robotic systems in controlled environments.

At the same time, another side of technological progress is becoming more prominent—the increasing vulnerability of digital systems. The expanding level of digitalization, interconnection of technologies, and dependence on data infrastructure make the agricultural and food sectors more susceptible to cyber threats. These risks must be carefully considered when planning, operating, and further developing robotic and automated technologies.

## **CÍL METODIKY**

Cílem metodiky je vytvořit komplexní rámec pro zavádění udržitelných pěstitelských postupů v polní i indoor produkci zeleniny, který pěstitelům umožní efektivně reagovat na měnící se agroenvironmentální podmínky. Metodika poskytne doporučení pro racionální hospodaření se zdroji prostřednictvím lokálně cílených zásahů, diferencované aplikace hnojiv, pomocných látek a přípravků na ochranu rostlin, a také začlenění pomocných plodin do pěstebních systémů. Současně klade důraz především na optimalizaci pěstitelských operací v polních podmínkách, zejména na efektivní práci s půdní vlhkostí, omezování intenzity zpracování půdy, zlepšování půdní struktury a stabilizaci výnosů. Doporučení týkající se indoor produkce jsou začleněna jako doplňková, s cílem nabídnout pěstitelům rámec pro vhodné nastavení pěstebních parametrů a sklizňových postupů tam, kde je tento způsob produkce využíván.

Metodika tak podporuje dlouhodobou udržitelnost, adaptabilitu a praktickou využitelnost doporučených opatření zejména v polních výrobních systémech.

## SYSTÉMOVÉ PŘÍSTUPY K LOKÁLNĚ DIFERENCOVANÝM ZÁSAHŮM A ŘÍZENÍ PĚSTEBNÍCH PROCESŮ V ZELENINÁŘSTVÍ

Produkce zeleniny je jednou z nejintenzivnějších oblastí rostlinné výroby vyžaduje časté agrotechnické zásahy, citlivé řízení výživy, ochranu proti škůdcům a chorobám, a zároveň nese vysoké nároky na kvalitu a precizní management. Vzhledem k heterogenitě půdních vlastností, proměnlivým mikroklimatickým podmínkám a proměnlivé potřebě vstupů je tradiční přístup s uniformními dávkami a plošným zpracováním často neefektivní. Z tohoto důvodu se stále silněji prosazuje koncept lokálně diferencovaných zásahů tedy aplikací a zásahů navržených podle skutečných potřeb jednotlivých částí pozemku nebo i jednotlivých rostlin, řízených daty a senzorovou technologií.

Moderní přístup k řízení pěstebních procesů spojuje senzory, dálkové snímání, datové analýzy, GIS, a v některých případech autonomní platformy, které společně umožňují adaptivní, flexibilní a cílené zásahy (Mishra et al., 2025).

Jedním ze základních pilířů tohoto přístupu je technologie známá jako Variable Rate Technology (VRT), která umožňuje aplikovat vstupy hnojiva, vodu či ochranné prostředky s proměnlivou dávkou podle konkrétní zóny nebo management-jednotky v rámci pole. VRT přináší možnost reagovat na rozdílné půdní podmínky, nerovnoměrné zásobení živinami, proměnné biometrické charakteristiky porostu či na odlišnou historii pěstování (Sharma et al., 2009; Pawase et al., 2023).

Důležitou částí metody je monitoring a analýza variability senzory půdní vlhkosti, výživy, multispektrální nebo UAV (dronové) snímání, data o vegetačním stavu, drenáží, reliéfu apod. Na základě těchto informací se definují tzv. management zóny (MZ) části pozemku se stejnorodými potřebami pro hnojení, zavlažování či ochranu rostlin. (Pawase et al., 2023; Kubicková et al., 2010)

Po vymezení zón následuje tvorba aplikačních map tedy předpis, jaké zásahy (druh, dávka, načasování) se provedou v které zóně. Takové mapy mohou být statické (na základě půdních rozborů a historických dat) nebo dynamické aktualizované v průběhu vegetace podle sensorických či dálkových dat. K vlastní aplikaci se mohou využít stroje s variabilní dávkou (hnojiva, kapaliny), přesné postřikovače, a v budoucnu i autonomní nebo dálkově řízené platformy. Recenze zaměřené na precizní zemědělství uvádějí, že kombinace VRT, senzorů, GPS, dálkového snímání a algoritmů strojového učení může vést k trvale udržitelnějším, efektivnějším a ziskovějším systémům hospodaření (Mishra et al., 2025).

Empirické studie potvrzují, že VRT může vést k výrazným úsporám vstupů a ekologickým benefitům. Například v experimentu se zimní pšenicí aplikace VRT snížila použití dusíku, fosforu a draslíku o 22–44 % bez poklesu výnosu, přičemž efektivita využití živin výrazně vzrostla (Wang et al., 2023). Podobně studie zaměřená na pšenici a ječmen ukázala, že variabilní aplikace dusíku s využitím senzorů a map management zón může zvýšit výnos a snížit environmentální dopady, včetně emisí dusíku a vymývání živin (Vopravil et al., 2025). Navíc při vhodném nastavení VRT a precizním řízení lze snížit ztráty živin, minimalizovat riziko nadměrné aplikace, zabránit degradaci půdy či vyplavování do podzemních vod což je v kontextu environmentální udržitelnosti zásadní přínos. (Vopravil et al., 2025; Pawase et al., 2023)

Diferencované zásahy však nemusí znamenat pouze hnojení. V systému lokálního řízení lze využít také cílené zavlažování podle senzoru vlhkosti a požadavků porostu, nebo cílenou ochranu rostlin aplikovat pesticidy, herbicidy nebo biostimulanty jen tam, kde je zjištěna jejich potřeba, případně využít mechanické nebo fyzikální metody včetně robotické kultivace nebo selektivního zásahu (Mishra et al., 2025).

Důležitá je i schopnost systému reagovat na změny během vegetace protože vegetační fáze rostlin, povětrnostní podmínky i stav půdy se mohou rychle měnit. To znamená, že aplikační mapy a rozhodnutí musí být aktualizovány ideálně průběžně, s využitím reálných dat ze senzorů, UAV nebo satelitů. Tak lze dosáhnout adaptivního řízení porostu, které reflektuje dynamiku prostředí a aktuální potřeby rostlin.

Zavedení takového systému může přinést v praxi řadu výhod: snížení nákladů na hnojiva a agrochemii, ušetřenou práci díky automatizaci, stabilnější výnosy i vyšší environmentální udržitelnost což je zvláště významné v zeleninářství s jeho vysokou intenzitou a nároky na kvalitu.

Na druhou stranu existují i výzvy a omezení. Předně je nutná počáteční investice do technologie: senzory, GIS, software, případně robotizované nebo variabilní aplikační jednotky. Dále je třeba mít technické znalosti pro interpretaci dat, tvorbu aplikačních map a správné nastavení zásahů. V některých případech může být návratnost slabší zejména pokud je půda vcelku homogenní nebo pokud rozdíly mezi management zónami nejsou dostatečně výrazné (řada studií uvádí, že výhody VRT nejvíce vynikají právě při vyšší prostorové variabilitě) (Kazlauskas et al., 2022).

Další problém je potřeba kontinuální aktualizace a záznam dat bez opakovaného monitoringu, zpětné vazby a revize map může systém ztratit přesnost a význam. A konečně, u zeleninářství, kde bývá vysoká frekvence pěstebních zásahů, jemné zásahy a citlivost rostlin, může být

náročné sladit technologii s agronomickými požadavky například při zavlažování, ochraně rostlin nebo mechanické kultivaci.

Přesto je potenciál výrazný a dostupné studie a recenze ukazují, že lokálně diferencované řízení s využitím VRT a moderních technologií je realistickou cestou k efektivní, udržitelné a ekonomicky životaschopné produkci i v zeleninářských podmínkách. V kontextu stoupajících požadavků na potravinovou bezpečnost, ochranu životního prostředí a udržitelné hospodaření může takový systém hrát klíčovou roli v modernizaci zeleninářské výroby.

## **POPIS METODIKY**

### **Precizní technologie zakládání porostů a cílené aplikace vstupů v pěstování polní zeleniny**

S vazbou na ověřování uplatnění robotických systémů při pěstování zelenin v polních podmínkách byla realizována komplexní sada dílčích experimentů zaměřených na posouzení technické, technologické i biologické odezvy vybraných zeleninových druhů na zaváděné inovace. Jednotlivé experimenty byly koncipovány tak, aby ověřily funkčnost nově vyvíjených konstrukčních řešení, provozních postupů i automatizovaných prvků, a to v reálných pěstitelských podmínkách. Získaná data umožnila vyhodnotit efektivitu aplikovaných technologií, jejich přínosy pro růst, vývoj a výnos plodin, stejně jako potenciální limity praktického využití. Výsledky jednotlivých experimentů tak poskytují ucelený pohled na opodstatněnost nasazení robotických systémů do moderní rostlinné produkce.

### **Telematika a přesná evidence operací v pěstování zeleniny**

Digitalizace zemědělských procesů a zavádění telematiky patří v posledních letech k nejrychleji se rozvíjejícím oblastem precizního zemědělství. Telematické systémy umožňují detailní sledování polních operací v reálném čase, včetně jejich prostorového, časového a technologického průběhu. Získaná data představují zásadní podklad pro správu variability pozemků, plánování zásahů a následnou agronomickou interpretaci. Podle Long et al. (2021) přináší telematické monitorování strojů zvýšení informační kvality provozních dat a až 12% úsporu času díky optimalizaci pracovních pojezdů. V intenzivních zeleninářských systémech, kde je potřeba vysoká přesnost a evidence každého zásahu, představuje telematika významný nástroj pro kontrolu kvality prováděných operací, ať už jde o zpracování půdy, setí, aplikaci hnojiv nebo sklizeň. Navas et al. (2020) uvádějí, že digitalizace operací významně snižuje riziko chyb vyplývajících z lidského faktoru, zejména při současném vedení více pracovních operací.

Pro produkční systémy s vysokými náklady na jednotku plochy, typické u zeleniny, mají tyto technologie přímý vliv na ekonomiku pěstování.

Cílem experimentálního ověření bylo posoudit funkčnost telematického systému v podmínkách pěstování polní zeleniny na jižní Moravě a zhodnotit jeho přínos pro dokumentaci a optimalizaci pracovních postupů. Současně bylo sledováno, do jaké míry lze získaná data využít pro následnou interpretaci polní variability, vyhodnocení rovnoměrnosti zásahů a plánování precizních operací.

Experiment probíhal během vegetační sezóny 2024 na pozemcích s pěstováním cibulové a košťálové zeleniny. Traktory byly vybaveny telematickým systémem JDLink a aplikací Operations Center, která zaznamenávala parametry jednotlivých operací: pracovní rychlost, záběr nářadí, počet přejezdů, překryvy, výkon motoru a mapu pracovního zatížení. Data byla automaticky ukládána na cloudovou platformu a po ukončení každé operace analyzována. Porovnávala se přesnost vedení pojezdů, kvalita překryvů a konzistence pracovních zásahů mezi jednotlivými obsluhami. Současně byly sledovány i dopady na rovnoměrnost provedení technologických operací, zejména při setí a při pásovém zpracování půdy, u nichž je prostorová přesnost zásadní.

Výsledky ukázaly, že telematický systém umožnil přesně identifikovat místa s nedostatečným nebo naopak nadměrným překryvem pracovních pojezdů, přičemž průměrné překryvy byly sníženy ze 7,8 % na 3,2 %. Rychlost pracovních operací se mezi jednotlivými obsluhami lišila až o 18 %, ale díky telematickému monitoringu bylo možné tato odchylky dále korigovat a sjednotit. Při setí cibule byla díky přesně evidovaným pojezdům výrazně zlepšena rovnoměrnost založení porostu, což koresponduje se závěry Johnson et al. (2022), kteří potvrzují přímou souvislost mezi rovnoměrností operací a raným vývojem porostů. V rámci pásového zpracování půdy telematika pomohla identifikovat místa, kde došlo k odchylkám od nastavené hloubky, a umožnila jejich následnou korekci. Celkově bylo dosaženo vyšší prostorové přesnosti zásahů, snížení prostoje a lepší kontrolovatelnosti pracovních procesů.

Lze konstatovat, že telematika představuje důležitou součást moderního pěstování zeleniny, neboť umožňuje detailní dokumentaci polních operací, zvyšuje jejich přesnost a poskytuje cenná data pro optimalizaci technologických postupů. Získané výsledky potvrzují, že telematické systémy mají potenciál stát se standardní součástí precizního řízení produkce zeleniny a přispět ke zvýšení efektivity výroby i k lepšímu využití vstupů.

### **Ověřování technologie PUDAMA při zakládání porostů zelí**

Precizní lokalizované dávkování dusíku představuje v intenzivním pěstování košťálové zeleniny účinný nástroj ke zvyšování efektivity využití živin a omezení jejich ztrát do prostředí. Technologie PUDAMA (Precise Uniform Delivery of Ammonium for Maximized Assimilation) kombinuje cílené ukládání amonného dusíku do zóny budoucího kořenového systému se současným ukládáním osiva (Obrázek 1).



*Obrázek 1 Secí stroj Kverneland Optima s technologií přihnojování Pudama. (foto Kroulík)*

Tím zlepšuje prostorovou dostupnost živin a podporuje raný růst rostlin. Účinnost lokalizovaných dávek dusíku byla v posledních letech opakovaně prokázána zejména u druhů s pomalejším počátečním růstem, mezi které patří i zelí. Radtke et al. (2022) uvádějí, že lokalizace amonného dusíku ve vzdálenosti 3–5 cm od osiva může zvýšit agronomickou efektivitu dusíku až o 40 %. Podobně Scharf et al. (2019) popisují rychlejší růst raných vývojových fází, vyšší listovou plochu a omezení volatilizačních ztrát. U košťálové zeleniny byla rovněž potvrzena podpora vývoje kořenového systému (Siwek et al., 2020), což se může pozitivně odrazit na výnosech i uniformitě porostu.

V rámci ověřování technologie PUDAMA byl ve vegetační sezóně 2024 založen porost zelí bílého (odrůda Avak F1). Pro využití secího stroje Kverneland Optima bylo nutné provést technické úpravy výsevní jednotky. Prostor výsevní komory byl nasnímán 3D skenerem a na základě modelu byly navrženy a vytištěny vložky, které zajistily stabilní vedení osiva a zamezily jeho úletu.

Osivo bylo ukládáno do hloubky 2 cm, zatímco hnojivo bylo ukládáno v režimu „k rostlině“ do hloubky 6–8 cm s bočním odstupem 6 cm. Aplikováno bylo kombinované hnojivo YaraMila

Complex (12-11-18 + Mg + mikroprvky) v dávce 50 kg/ha. Kontrolní varianta využívala aplikaci hnojiva „do řádku“ při setí.

Hodnocení rostlin při sklizni zahrnovalo 10 náhodně odebraných rostlin z každé varianty. Tab.1 a Tab.2 přináší porovnání obou variant.

*Tabulka 1 Hodnoty popisné statistiky pro variantu přihnojení k rostlině (PUDAMA).*

	<b>Průměr hlávky mm</b>	<b>Výška hlávky mm</b>	<b>Hmotnost hlávky g</b>	<b>Délka košťálu v hlávce mm</b>	<b>Cukernatost Bx°</b>	<b>Sušina %</b>	<b>Podíl košťál/hlavka %</b>
Sřední							
hodnota	223,6	197,5	3347,7	101,5	7,1	6,5	1,6
Medián	221,5	203,0	3302,0	104,5	7,0	6,5	1,6
Směr. odchylka	11,8	11,4	313,5	14,9	0,4	0,2	0,4
Rozptyl výběru	139,6	129,8	98302,9	221,8	0,1	0,0	0,1
Špičatost	0,3	-1,4	-0,6	1,1	-0,6	-0,4	-1,5
Šikmost	0,5	-0,6	0,0	-1,3	0,4	0,3	-0,3
Rozdíl							
max-min	40,0	29,0	998,6	46,0	1,2	0,5	1,1
CV (%)	5,3	5,8	9,4	14,7	5,4	2,6	23,6

*Tabulka 2 Hodnoty popisné statistiky pro variantu přihnojení do řádku.*

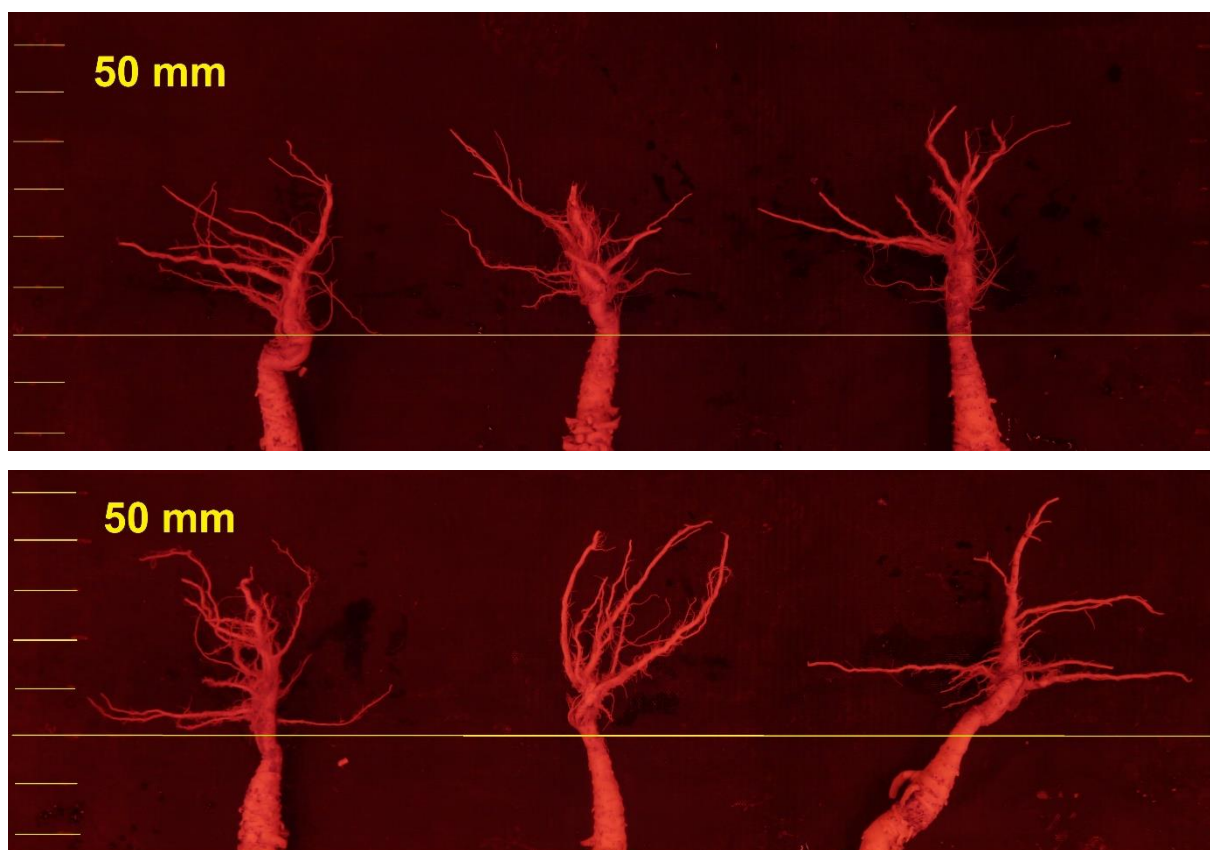
	<b>Průměr hlávky mm</b>	<b>Výška hlávky mm</b>	<b>Hmotnost hlávky g</b>	<b>Délka košťálu v hlávce mm</b>	<b>Cukernatost Bx°</b>	<b>Sušina %</b>	<b>Podíl košťál/hlavka %</b>
Sřední							
hodnota	221,0	188,3	3063,1	106,7	6,9	6,4	1,7
Medián	218,0	184,0	2948,8	114,5	7,0	6,3	1,7
Směr. odchylka	13,6	10,4	302,2	17,6	0,3	0,2	0,3
Rozptyl výběru	186,2	108,2	91323,7	311,1	0,1	0,0	0,1
Špičatost	-1,4	0,4	-1,3	1,1	1,1	0,1	-1,4
Šikmost	0,3	1,2	0,4	-1,3	0,5	0,3	-0,2
Rozdíl	35,0	32,0	878,2	58,0	1,2	0,7	1,0
max-min							
CV (%)	6,2	5,5	9,9	16,5	4,9	3,0	20,0

Výsledky ukazují, že varianta PUDAMA měla vyšší průměrnou hmotnost hlávek (3348 g) oproti variantě s aplikací do řádku (3063 g). Podobně vyšší byly i hodnoty průměru a výšky hlávky a mírně byla zvýšena i cukernatost. Rozdíly však nebyly statisticky průkazné, u hmotnosti hlávek byl rozdíl na hranici významnosti.

Nižší byl u PUDAMA také podíl košťálu na celkové hmotnosti hlávky, což souvisí s kompaktnější strukturou hlávek a vyšší uniformitou. Variabilita mezi rostlinami (CV) byla v obou variantách srovnatelná, u hmotnosti však PUDAMA vykazovala mírně nižší kolísání (9,4 % vs. 9,9 %). Výsledky odpovídají závěrům Fuertes-Mendizábal et al. (2021), které potvrzují příznivý vliv lokalizovaného dusíku na růst a výnos košťálové zeleniny.

### **Vývoj kořenového systému**

Výraznější rozdíly byly zaznamenány v kořenové biomase. Průměrná hmotnost kořene po vysušení činila u varianty PUDAMA 25,8 g, zatímco u varianty s aplikací do řádku 22,3 g, přičemž rozdíl byl statisticky významný. Fotodokumentace prokázala jednoznačné směřování kořenů do oblasti uložení hnojiva (Obrázek 2)



*Obrázek 2 Rozložení kořenů v půdním profilu pro variantu PUDAMA (nahore) a hnojení do řádku (dole). (foto Kroulík)*

U varianty s hnojením do řádku se kořeny soustředily do úzkého pásma aplikace hnojiva, což může v podmínkách bez závlahy představovat riziko horšího přístupu ke vodě a zvýšenou citlivost porostu ke stresu. Z hlediska mechanické kultivace rovněž hrozí vyšší riziko poškození kořenů.

Výsledky experimentu potvrzují očekávané přínosy lokalizovaného ukládání hnojiva:

- rychlejší raný růst a větší akumulace biomasy,
- lepší vývoj kořenového systému,
- vyšší uniformita a potenciálně vyšší tržní výnos,
- nižší riziko ztrát živin a jejich lepší využití,
- možnost optimalizovat dávky a snížit celkovou potřebu minerálních hnojiv.

Přestože výnosové parametry nebyly v roce 2024 statisticky průkazné, trend vyšších hodnot u varianty PUDAMA odpovídá závěrům Radtke et al. (2022), Scharf et al. (2019) i další literatury.

Technologie PUDAMA se v podmínkách pěstování zelí bílého projevila jako funkční a perspektivní nástroj cíleného ukládání hnojiva. Výsledky ukazují na pozitivní vliv na růst, kořenovou biomasu a kvalitu hlávek, přičemž technické úpravy pomocí 3D tisku se ukázaly jako efektivní způsob adaptace secího stroje pro netradiční plodinu. Lze tedy konstatovat, že technologie PUDAMA představuje vhodný nástroj pro optimalizaci dávkování dusíku při zakládání porostů zelí. Přispívá k rychlejšímu počátečnímu růstu, lepšímu vývoji kořenového systému, vyšší uniformitě porostu a potenciálně omezuje ztráty dusíku do prostředí. Ověřené výsledky podporují její možné zavedení do pěstitelské praxe, zejména tam, kde je cílem zvýšit efektivitu hnojení a současně splnit požadavky na snižování environmentální zátěže.

### **Cílená injektáž dusíku a její vliv na růst kořenového systému – ověření technologie u kedlubnu bílého**

Přesná a prostorově cílená injektáž dusíku je považována za jednu z perspektivních technologií pro zvýšení agronomické efektivity hnojení u druhů se mělkým kořenovým systémem. U zelenin pěstovaných v polních podmínkách představuje umístění dusíku do aktivní zóny kořenů zásadní faktor ovlivňující raný růst, akumulaci biomasy i rovnoměrnost porostu. Studie Arnall et al. (2020) prokázala, že injektáž dusíku do hloubky 5–7 cm významně zvyšuje dostupnost minerálního N v oblasti intenzivního příjmu kořeny a podporuje rychlý vývoj postranních kořenů. Hofmeier et al. (2021) zdůrazňují, že cílené ukládání amonného dusíku stimuluje růst primárního kořene a zlepšuje raný vývoj košťálovin i cibulové zeleniny. Současně injektáž omezuje povrchové ztráty volatilizací – Cameron et al. (2013) uvádějí, že při povrchové aplikaci mohou být ztráty amoniaku až dvojnásobné ve srovnání s aplikací pod povrch.

V metodice byly tyto poznatky využity k návrhu experimentu ověřujícího efekt injektáže v praxi, a to zejména ve vztahu k vývoji kořenů, rané akumulaci biomasy a reakci rostlin na

rozdílné schéma umístění hnojiva. Současně bylo cílem posoudit možnosti budoucí integrace této technologie do robotických aplikátorů umožňujících precizní bodové dávkování.

Experiment byl založen v roce 2024 na dvou odrůdách kedlubnu bílého (Luna a Cindy) z předpěstované sadby. Výsadba proběhla ve čtvercovém sponu  $30 \times 30$  cm na lokalitě Troja. Dusíkaté hnojivo DAM 390 bylo aplikováno 12 dní po výsadbě pomocí injektážního hrotu simulujícího funkci aplikačního modulu robotické platformy. Vpichy byly provedeny do hloubky 70 mm, následně bylo dávkováno 2 nebo 4 ml hnojiva (Obrázek 3).



Obrázek 3 Organizace porostu a pozice injektážní aplikace hnojiva.

Byly testovány tři pozice uložení hnojiva:

- **Varianta 1 – k rostlině:** vpich 10 cm od rostliny, v linii meziřadí,
- **Varianta 2 – mezi rostliny:** vpich ve vzdálenosti 15 cm od řádku,
- **Varianta 3 – do středu čtverce:** vpich do středu prostoru mezi čtyřmi rostlinami,
- **Kontrola:** bez přihnojení.

Odběry proběhly 15 dní po aplikaci (raný růst) a při sklizni. Hodnocena byla hmotnost bulvy, listů, kořenů a prostorové rozložení kořenového systému

### Růst a vývoj kořenového systému

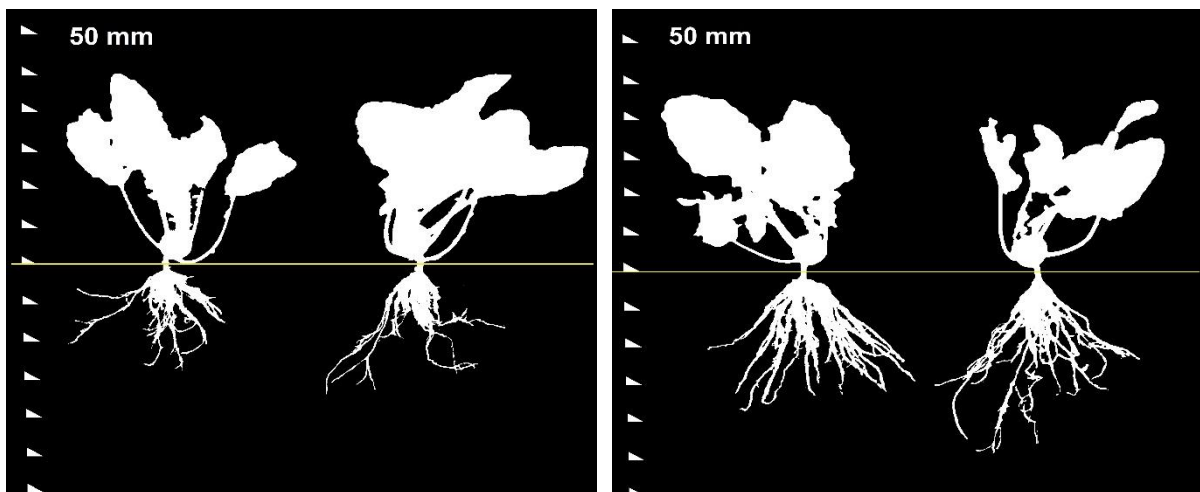
Získané výsledky prokázaly výrazné odrůdové rozdíly v reakci rostlin kedlubny bílé na cílenou injektáž hnojiva DAM 390. Již v rané fázi růstu bylo patrné, že prostorové umístění živin a

dávka hnojiva významně ovlivňují jak tvorbu kořenového systému, tak akumulaci nadzemní biomasy.

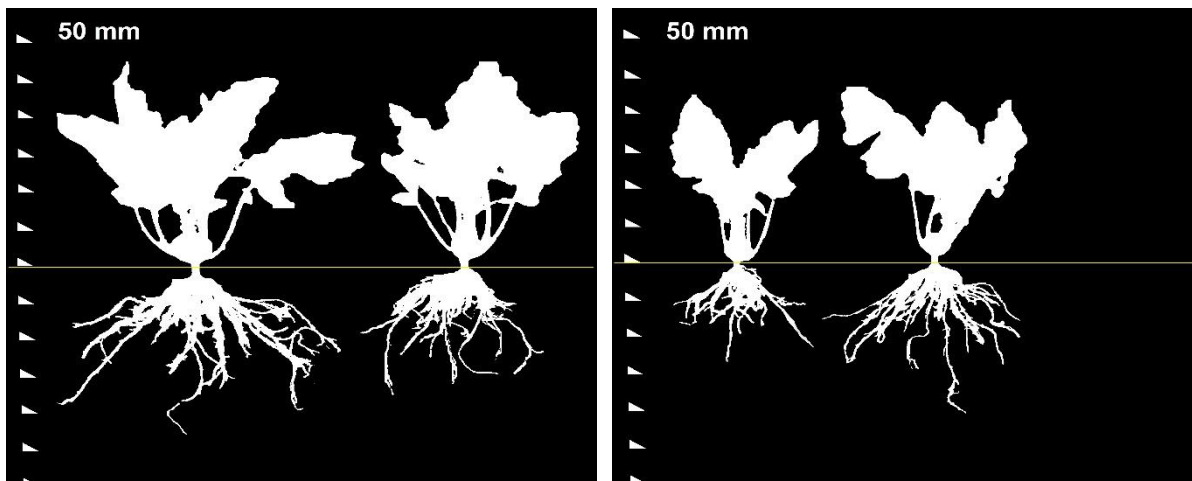
U odrůdy Cindy byly nejvyšší hodnoty hmotnosti bulvy i kořenů zaznamenány u variant aplikovaných v těsnější blízkosti rostliny. Naopak aplikace do středu čtverce tvořeného rostlinami (varianta 3) vykázala nejnižší hmotnost bulvy, přestože nadzemní biomasa v této variantě převyšovala kontrolu. Tento rozpor může souviset s vyšší citlivostí odrůdy na koncentraci hnojiva v místě vpichu. Statisticky významný rozdíl byl potvrzen pouze u hmotnosti bulvy mezi kontrolou a variantou 3, a to u obou testovaných dávek (2 i 4 ml).

Odrůda Luna reagovala na injektáž celkově příznivěji. Kontrolní varianta dosahovala nejnižších hodnot napříč sledovanými parametry, zatímco všechny hnojené varianty vykazovaly zvýšenou tvorbu nadzemní i podzemní biomasy. Statisticky významné rozdíly byly u této odrůdy zaznamenány mezi extrémními hodnotami hmotnosti bulvy a listů. Nejvyšší hmotnosti byly dosaženy u aplikace mezi rostliny (varianta 2, dávka 2 ml), což naznačuje efektivnější využití menší dávky při jejím vhodném prostorovém umístění.

Kořenový systém jednoznačně reagoval na přítomnost živin v místě aplikace. Fotodokumentace i hmotnostní analýzy potvrdily směřování kořenů do zóny vpichu a vyšší intenzitu větvení u variant s aplikací v blízkosti rostliny. U vyšších dávek se u některých rostlin objevilo mírné omezení růstu hlavního kořene, pravděpodobně vlivem lokálně vyšší koncentrace dusíku. Kontrolní rostliny vykazovaly nižší hmotnost kořenů i slabší prokořenění. U odrůdy Cindy bylo směřování kořenů ke vpichu nejvýraznější a vizuálně dobře patrné (Obrázek 4 a Obrázek 5).



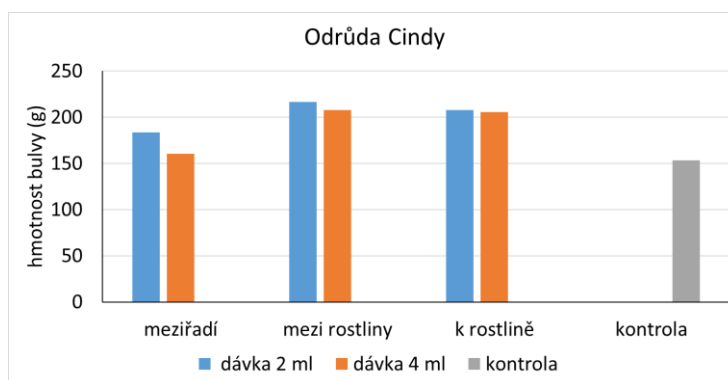
Obrázek 4 Rozložení kořenů odrůdy Cindy pro variantu dávky 4 ml k rostlině (vlevo) a kontrolu (vpravo). (foto Kroulík)



Obrázek 5 Rozložení kořenů odrůdy Luna pro variantu dávky 4 ml k rostlině (vlevo) a kontrolu (vpravo). (foto Kroulík)

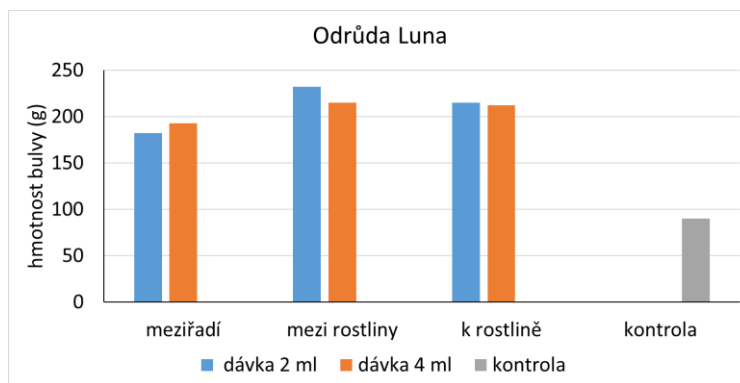
### Sklizěň a konečný výnos

Sklizňová data dále potvrdila rozdílné reakce obou odrůd na cílené přihnojení. U odrůdy Cindy dosahovaly nejnižších hodnot jak kontrolní varianta, tak varianty s aplikací do středu čtverce (varianta 3), viz. Obrázek 6. Mezi jednotlivými variantami nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly a ani dávka hnojiva (2 vs. 4 ml) neměla podstatný vliv na konečný výnos. Výsledek potvrzuje určitou citlivost odrůdy k umístění hnojiva mimo bezprostřední okolí rostliny.



Obrázek 6 Hmotnost bulv při sklizni odrůdy Cindy.

U odrůdy Luna byla kontrola statisticky významně nižší než všechny varianty s injektáží (Obrázek 7). Poloha vpichu ani dávka však mezi hnojenými variantami nevytvořily signifikantní rozdíly. Nejvyšší hodnoty výnosu byly opět dosaženy u varianty s aplikací mezi rostliny (varianta 2, dávka 2 ml), což potvrzuje, že při vhodném umístění živin může být efektivní i nižší dávka hnojiva.



Obrázek 7 Hmotnost bulvy při sklizni odrůdy Luna.

Cílená injektáž dusíku pomocí vpichového aplikátoru se ukázala jako účinný způsob, jak zvyšovat agronomickou efektivitu hnojení kedlubnu bílého. Technologie podpořila růst kořenové soustavy, zvýšila ranou i konečnou produkci biomasy a zlepšila rovnoměrnost porostu, zejména u odrůdy Luna. Při vhodné volbě dávky a umístění je možné dosáhnout efektivního využití živin a snížit celkovou potřebu dusíkatých hnojiv. Tato technologie je proto velmi perspektivní pro budoucí nasazení v robotizovaných systémech precizního zemědělství.

### Přesné zpracování půdy a tvorba seťového lůžka

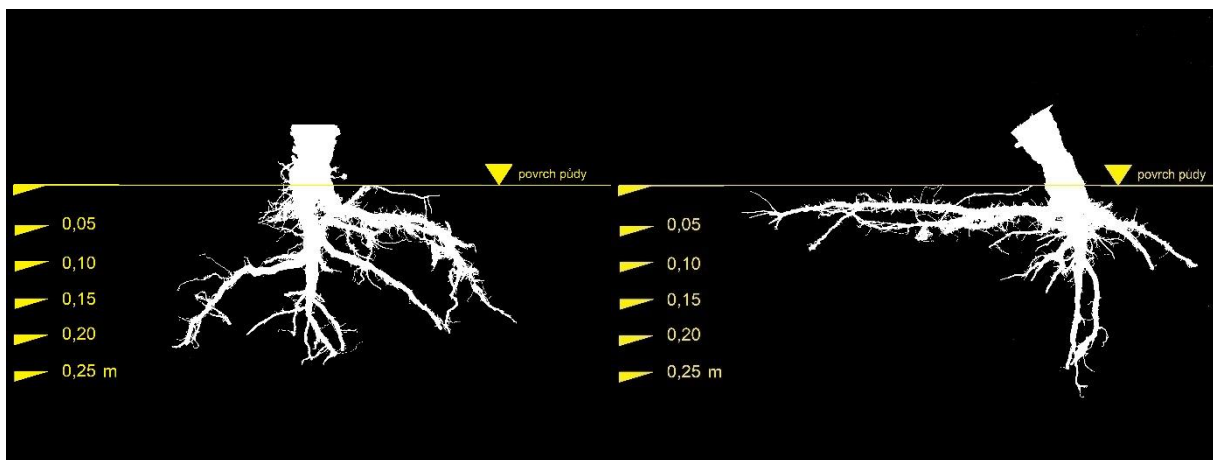
Kvalita seťového lůžka významně ovlivňuje rovnoměrné vzcházení zeleniny, zejména u plodin s drobným semenem. Ověřované technologické postupy ukázaly, že precizní regulace pracovních operací před výsevem může zásadně zlepšit podmínky pro klíčení a počáteční vývoj porostu. Podle Munkholma (2011) má fyzikální stav horní 5cm vrstvy půdy zásadní dopad na kapilární vzlínavost vlhkosti, teplotu a rychlost klíčení, což potvrzují i další autoři (Batey, 2009; Chen et al., 2020). V rámci pokusů v roce 2024 byla hodnocena účinnost přesné regulace pracovní hloubky při výrobě seťového lůžka u listové a košťálové zeleniny. Předseťový kypřič se systémem SoilControl umožnil udržovat pracovní hloubku na 3 cm s přesností  $\pm 0,5$  cm. Kontrolní varianta byla připravena běžným způsobem bez automatické regulace. Měřené parametry seťového lůžka zahrnovaly hrudkovitost, objemovou hmotnost, vlhkost a 3D strukturu povrchu. Po výsevu byla sledována rovnoměrnost vzcházení a raná tvorba biomasy. Precizní varianta vykázala výrazně lepší fyzikální vlastnosti seťového lůžka: objemová hmotnost byla o 11 % nižší a hrudkovitost se snížila o 34 %. Pozitivní dopad se projevil i na porostu – rovnoměrnost vzcházení byla vyšší o 17–22 %. Tyto výsledky potvrzují silnou vazbu mezi jemnější strukturou povrchu a rychlejším vývojem rostlin, jak uvádí Chen et al. (2020). Současně byly sledovány nové postupy modifikace technologie tvorby seťového lože u porostů

bílého zelí, a to v kombinaci s pásovým zpracováním půdy a zonální aplikací hnojiv. Tyto technologie reprezentují moderní směry precizního zemědělství, jejichž cílem je:

- zlepšení podmínek pro klíčení a raný vývoj,
- omezení negativních dopadů zhutnění způsobeného opakovanými přejezdy,
- zvýšení efektivity využití živin,
- stabilizace růstu kořenového systému i v období nízkých srážek.

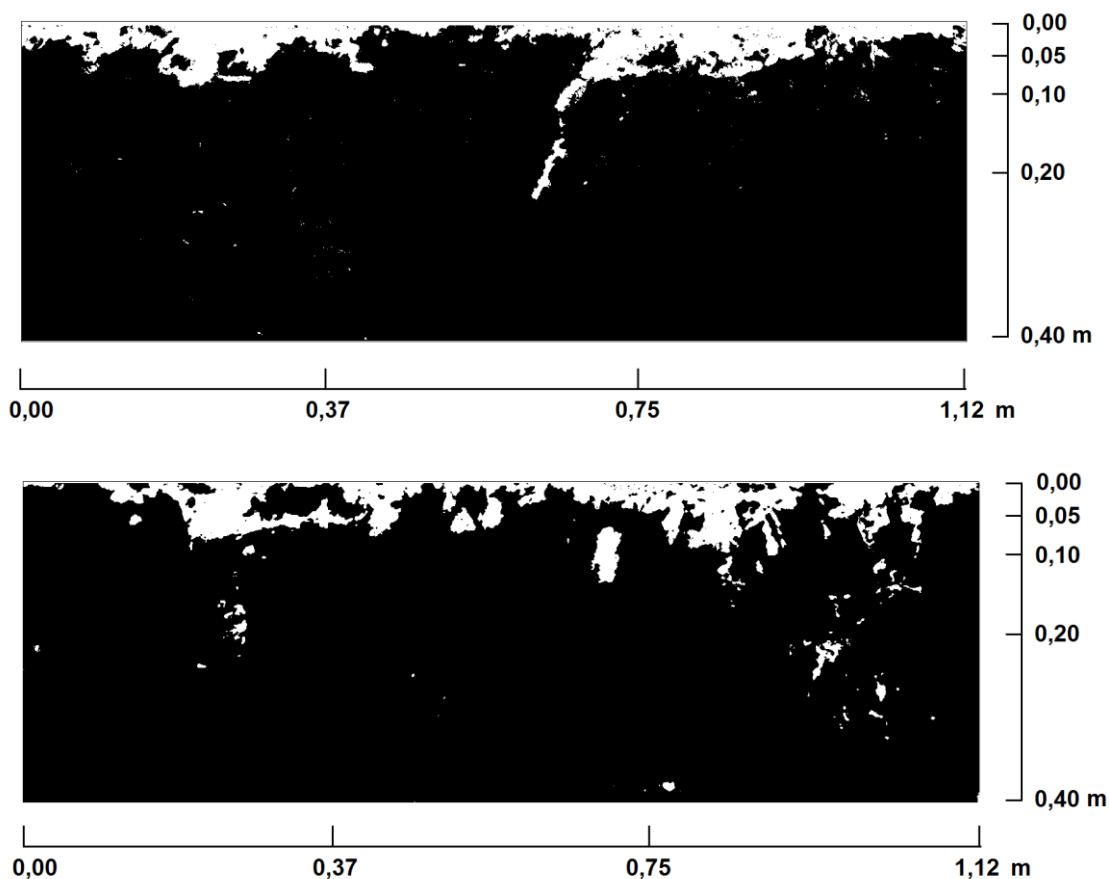
Požadavky na kvalitní seťové lůžko pro přímý výsev zelí jsou specifické – osivo musí být uloženo na mírně utuženou, ale nikoliv zhutněnou vrstvu, která umožňuje neomezené prorůstání křídlového kořene. Přílišné utužení vrchní vrstvy může zpomalit pronikání kořenů do hlubších horizontů, což představuje riziko zejména za sucha. U zelí navíc může zhutněná vrstva zvyšovat citlivost na škůdce a omezovat celkovou vitalitu (Petříková et al., 2012).

Analýza kořenů po sklizni ukázala časté deformace kořenového systému, pravděpodobně způsobené nadměrným utužením vrchní vrstvy půdy. Rostliny tak více využívaly mělkou vrstvu, kde byly živiny lépe dostupné, což však zvyšuje riziko přisušku. Tvar a distribuce kořenů jsou přitom klíčové i pro mechanickou kultivaci, stabilitu rostlin a technologičnost sklizně (Obrázek 8).



Obrázek 8 Kořeny zelí odebrané po sklizni. (foto Kroulík)

Na shodném pozemku byla testována infiltrace vody, která potvrdila omezené proudění do hlubších vrstev a výraznou převahu infiltrace v horní části profilu (Obrázek 9).



Obrázek 9 Charakter infiltrace vody v půdním profilu na pozemku po sklizni zelí. (foto Kroulík)

To se shoduje se zjištěními o zhutnění povrchové vrstvy a ukazuje na potřebu preciznější regulace předseťového zpracování.

Následně byly založeny variantní pokusy s rozdílnými postupy zpracování půdy. Kombinace pásového zpracování, cílené aplikace hnojiv a navigace s RTK korekcí umožnila vytvořit přesné, rovnoměrné a stabilní seťové lůžko, v němž byly optimalizovány jak fyzikální vlastnosti, tak dostupnost živin. Pásově připravený povrch se záměrně ponechanými většími agregáty napomohl protierozní ochraně, infiltrační schopnosti půdy i redukci povrchového výparu.

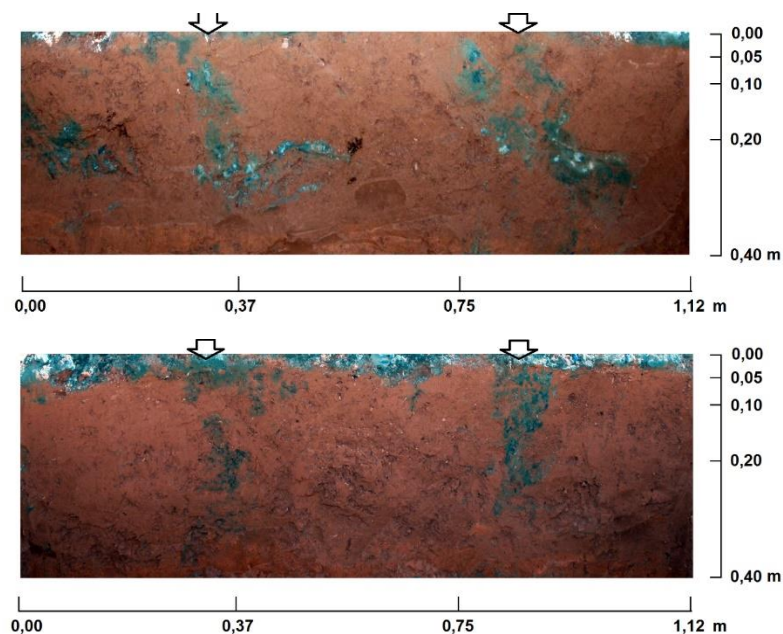
Ověřené výsledky ukazují, že precizní technologie tvorby seťového lůžka významně zvyšují stabilitu podmínek pro vzházení, podporují rozvoj kořenového systému a mohou sloužit jako základní předpoklad pro využití robotických a autonomních systémů při následných pěstebních operacích.

### **Pásové zpracování půdy u zeleniny a jeho dopad na strukturu a výnos**

Pásové zpracování půdy (strip-till) představuje moderní technologii u řádkových plodin, která kombinuje omezené zpracování pásu pod řádek s ponecháním nezpracovaných meziřádků. Tento přístup snižuje energetickou náročnost, podporuje stabilitu půdní struktury a zlepšuje biologickou aktivitu v půdě (Lenssen et al., 2022). Rovněž ovlivňuje teplotní podmínky set'ového lůžka, což může urychlit vzcházení plodin s vyššími nároky na teplo (Roper et al., 2019).

Cílem experimentu bylo posoudit vhodnost pásového zpracování půdy pro pěstování košťálové zeleniny a jeho vliv na fyzikální strukturu půdy, raný růst rostlin a výnos. Pokusy probíhaly v roce 2024 na středně těžké půdě, kde byla pásově zpracována půda pod řádek kypřičem do hloubky 15 cm, přičemž meziřádky zůstaly nezpracované. Kontrolní varianta byla založena konvenční orbou s následnou přípravou půdy. Hodnoceny byly parametry půdy (infiltrace vody, stabilita agregátů), raný růst rostlin, tvar a hmotnost kořenů a výnosové parametry hlávek.

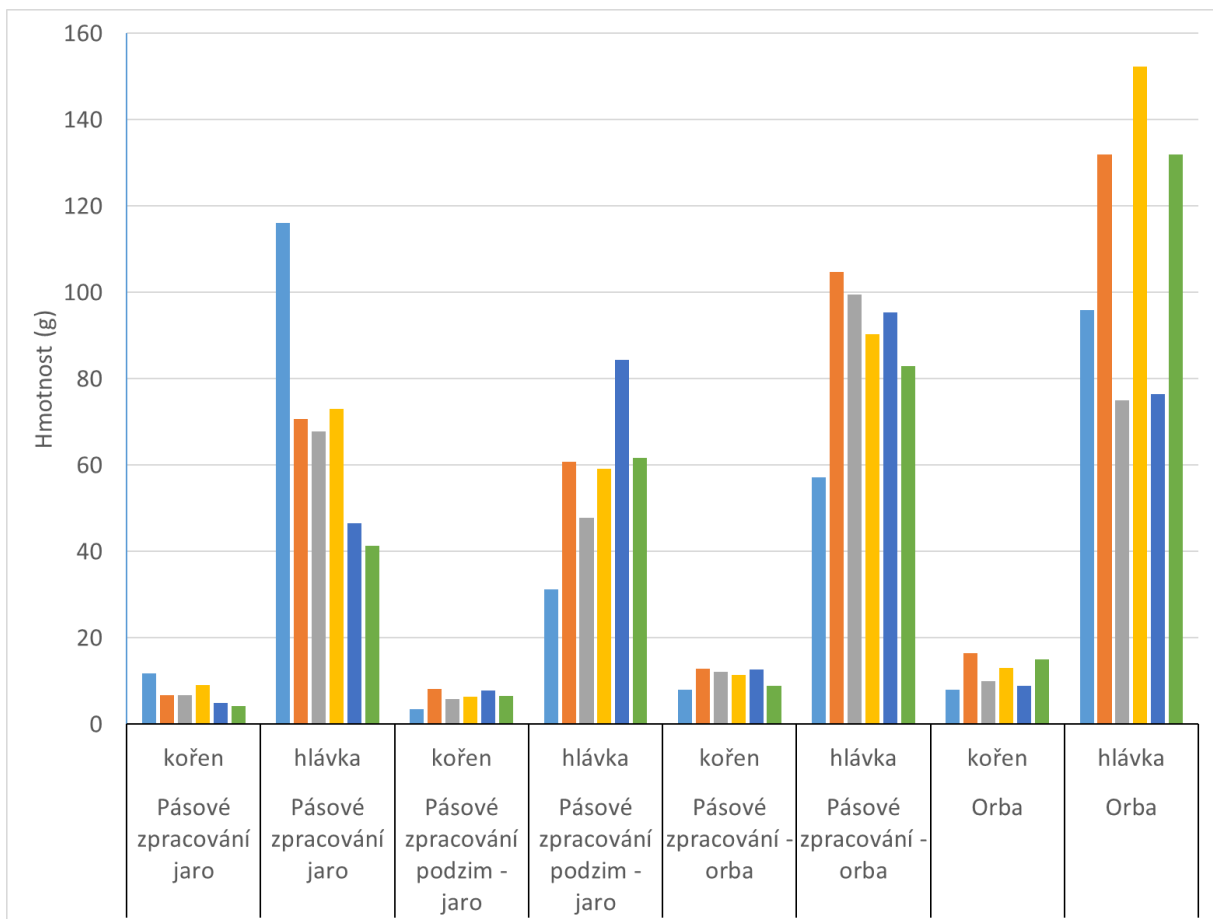
Infiltrace vody a půdní struktura ukázaly výrazné rozdíly mezi technologiemi. Pásové zpracování podporovalo preferenční toky vody v kypřených rýhách, čímž byla zajištěna dostupnost živin a vlhkosti přímo v pásu pro rostliny. U variant s orbou byly pozorovány průsaky podél stěn předchozích skýv, což vedlo k prostorově nevyrovnaným podmínkám pro růst kořenů (Obrázek 10).



*Obrázek 10 Charakter infiltrace vody v půdním profilu pro varianty klasická (nahore) a modifikovaná (dole). Šipky vyznačují pozice řádku zelí. (foto Kroulík)*

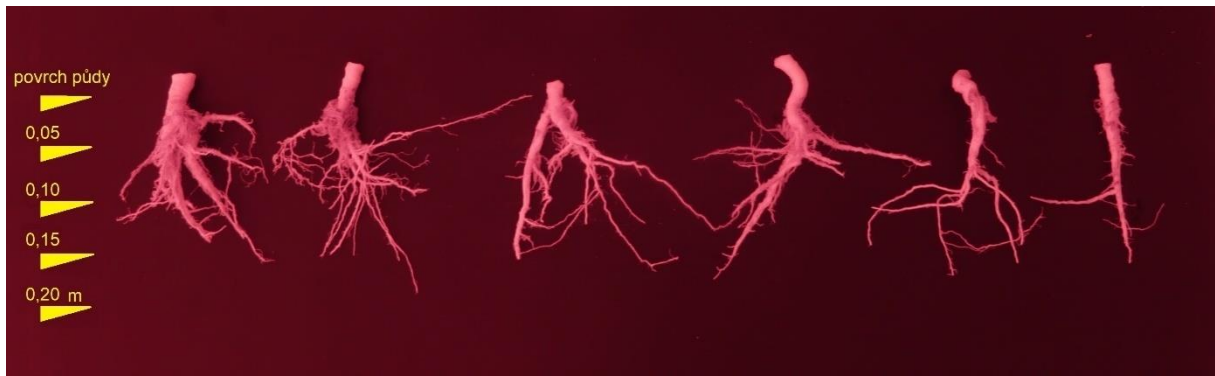
Absence mrazů během zimy zároveň zabránila přirozené obnově struktury půdy, takže skývy zůstaly patrné po celou sezonu.

Raný růst a struktura porostu byl u pásově zpracovaných ploch rovnoměrnější. Biometrické ukazatele rostlin (hmotnost, velikost hlávek, délka a hmotnost košťálů) prokázaly lepší vyrovnanost porostu v porovnání s orebnou variantou (Obrázek 11).

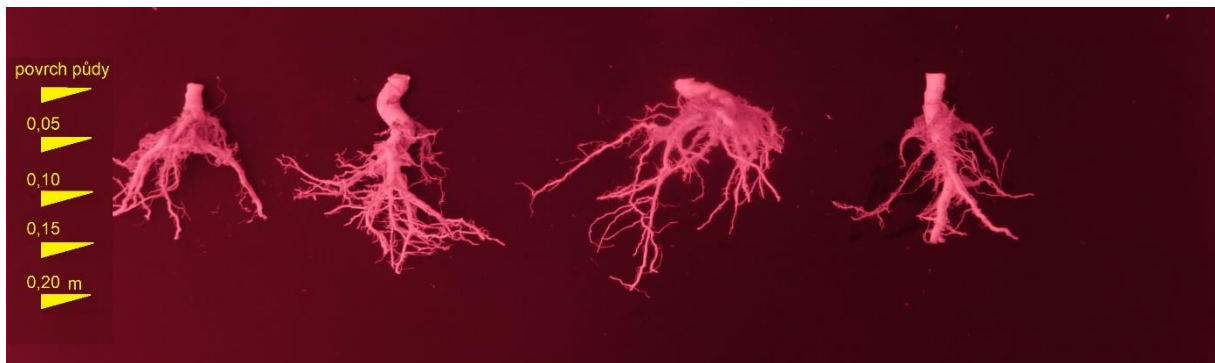


Obrázek 11 Biometrické ukazatele rostlin pro jednotlivé varianty pokusu.

Tvar kořenů u pásově zpracované půdy podporoval hlubší prorůstání do půdy, zatímco u orby se objevovaly stopy deformací v mělké vrstvě vlivem utužení (Obrázek 12).



Pásové zpracování



Pásové zpracování - orba



Orba

*Obrázek 12 Tvarové rozdíly kořene zelí pro jednotlivé varianty pokusu. (foto Kroulík)*

Hmotnost kořenů i košťálů byla vyšší u variant s pásovým zpracováním, což svědčí o lepším prokořenění a dostupnosti vody pro rostliny. Výnosové parametry hlávek ukázaly, že pásové zpracování půdy mělo pozitivní efekt na hmotnost hlávek, obsah cukru a podíl vnitřního košťálu. Varianty s pásovým zpracováním nebo kombinací orby a pásového kypření vykazovaly střední prorůstání košťálu (40–60 %), zatímco klasická technologie s orbou byla

spojena s vysokým košťálem (60–80 %). Tento rozdíl má význam pro mechanickou sklizeň a kvalitu hlávek.

Z výsledků pokusu vyplývá, že pásové zpracování půdy představuje efektivní a perspektivní technologii pro pěstování zeleniny. Tento způsob zpracování zlepšuje fyzikální vlastnosti půdy a infiltrační schopnost, čímž podporuje rovnoměrné zásobení rostlin vodou a živinami. Současně zajišťuje lepší raný růst porostu a vyrovnanější rozložení rostlin na ploše. Pásové zpracování přispívá k hlubšímu a kvalitnějšímu prokořenění, což zlepšuje dostupnost živin a pozitivně ovlivňuje výnosové ukazatele, včetně tvaru a hmotnosti hlávek. Další výhodou je úspora energie a snížení negativních dopadů zhutnění půdy. Celkově experiment potvrzuje, že kombinace pásového zpracování s cílenou aplikací hnojiva a přesnou předseťovou přípravou poskytuje stabilní a vyrovnané podmínky pro růst a vývoj košťálové zeleniny, což podporuje efektivitu a udržitelnost pěstebních systémů.

### **Vliv precizních zásahů na kořenovou soustavu a raný růst porostů**

Kořenová soustava je klíčovým faktorem ovlivňujícím využití vody, živin a celkovou vitalitu rostlin. Precizní zásahy, jako je lokalizace živin (PUDAMA, injektáž), kvalitní seťové lůžko a minimalizované zpracování půdy, přímo podporují raný růst kořenů a nadzemní biomasy. Rostliny reagují na prostorovou dostupnost živin změnou architektury kořenů – zvýšeným větvením a větší absorpční plochou (Lynch, 2021; Šimůnek et al., 2019).

Cílem experimentu bylo posoudit efekt komplexu precizních technologií na kořenovou architekturu a raný růst košťálové zeleniny. Experiment probíhal v roce 2024 na středně těžké půdě, kde byly testovány varianty s kombinací lokalizovaného hnojení, pásového zpracování půdy (strip-till), přesného seťového lůžka a meziřádkového mulčování. Kontrolní varianta byla založena konvenční orbou s běžnou předseťovou přípravou a povrchovou aplikací hnojiva. Hodnoceny byly parametry kořenů (délka, objem, větvení), raný růst porostu, nadzemní biomasa, LAI, a fyzikální vlastnosti půdy.

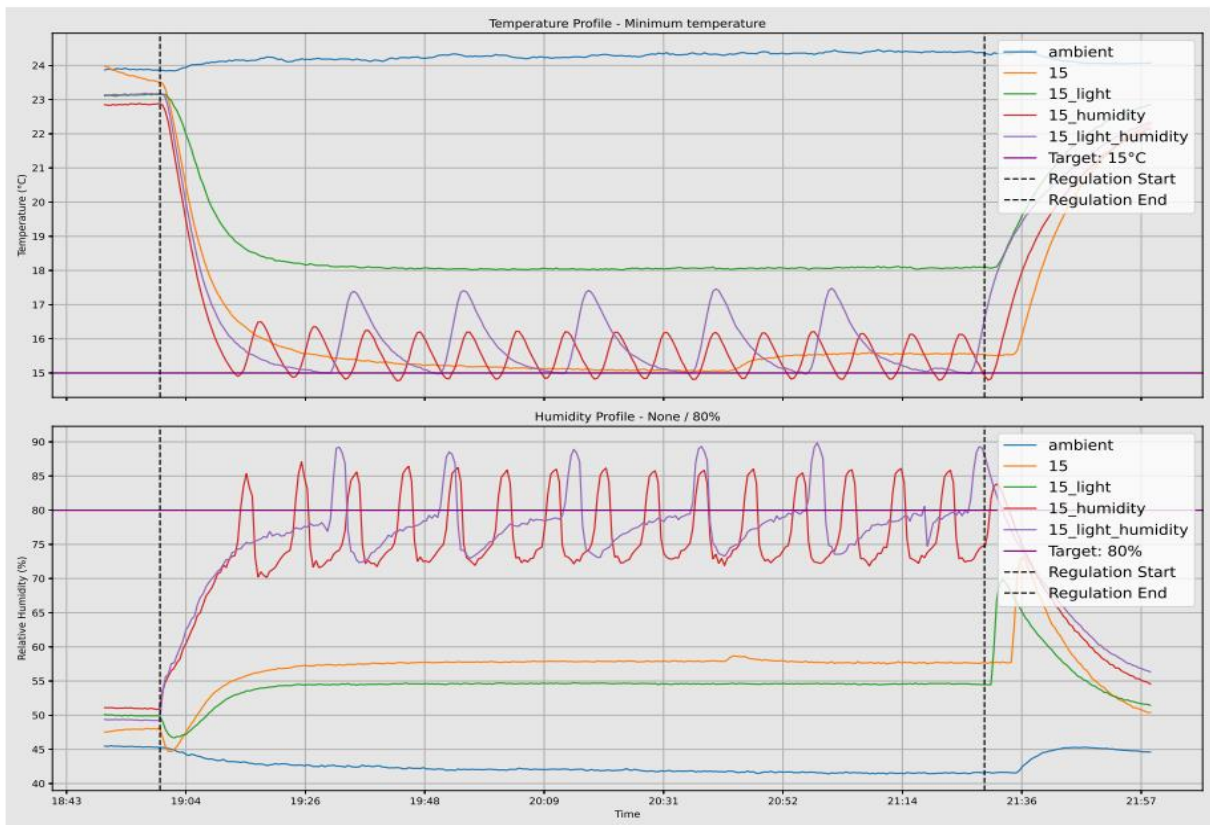
Výsledky ukázaly, že lokalizace dusíku významně zvýšila délku kořenů o 18–27 %, zatímco pásové zpracování půdy zlepšilo podmínky pro růst kořenů v hloubce 10–20 cm díky stabilnější půdní struktuře. Precizně připravené seťové lůžko podporovalo rovnoměrné klíčení a vyrovnanou architekturu kořenů. Raný růst porostu a LAI byly vyšší u precizních variant, rostliny vykazovaly lepší vitalitu a jednodušší rozložení biomasy.

Celkově experiment potvrzuje, že integrace precizních zásahů, pásového zpracování a modulovaných meziřádkových operací představuje efektivní technologii pro stabilní, vyrovnaný a energeticky úsporný růst košťálové zeleniny.

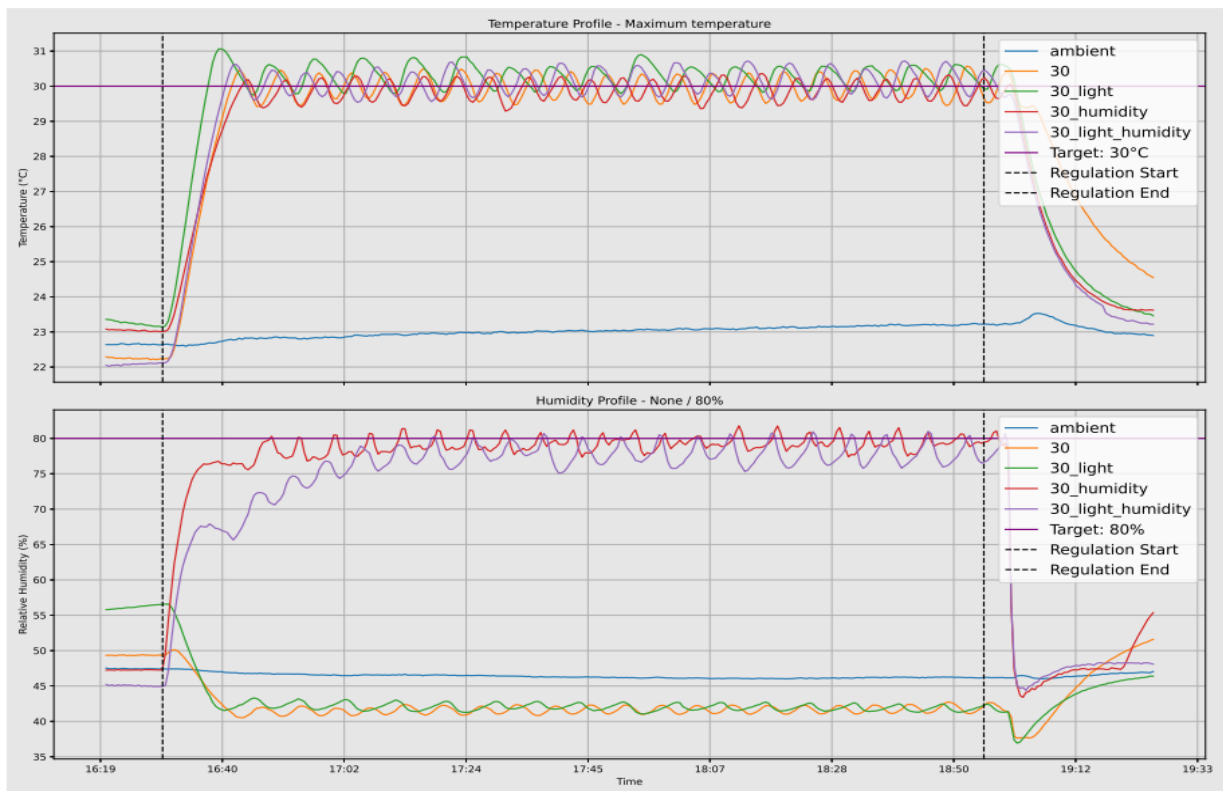
## **Řízení mikroklimatu v indoor pěstování**

V rámci těchto experimentů byl navržen měřicí řetězec pro monitoring vybraných mikroklimatických podmínek (teplota, vzdušná vlhkost, půdní vlhkost, intenzita osvětlení s možností doplnění dalších parametrů) s cílem tyto podmínky vyhodnocovat a řídit pomocí příslušné robotické platformy. Přenos dat probíhal za využití MQTT protokolu, kdy data byla na straně příjemce ukládána (cloudové řešení), vyhodnocována a vizualizována na pěstební platformě. Jako databázové řešení bylo využito InfluxDB.

V rámci pěstování v indoor pěstebním prostředí byl navržen cenově dostupný LowCost systém pro měření a řízení vnitřních environmentálních podmínek. Centrální řídicí jednotku systému tvoří jednodeskový počítač RaspberryPi 4B s připojeným 7palcovým dotykovým DSI displejem pro lokální interakci. Na tomto zařízení byl nainstalován operační systém Raspberry Pi OS a klíčové softwarové komponenty: MQTT broker (Mosquitto) pro zajištění komunikační infrastruktury a vizuální programovací nástroj Node-RED pro implementaci veškeré řídicí logiky a tvorbu uživatelského rozhraní. Komunikace probíhá především pomocí protokolu MQTT. Níže jsou uvedeny grafy zachycující průběh testování dané technologie. Z hlediska monitoringu a řízení především teploty a vlhkosti byla jako minimální dolní mez stanovena na 15 °C a horní mez na 30 °C (Obrázky 13 a 14).



Obrázek 13 Graf průběhu teploty a vlhkosti pro minimální hranici teploty 15 °C.



Obrázek 14 Graf průběhu teploty a vlhkosti pro maximální hranici teploty 30 °C.

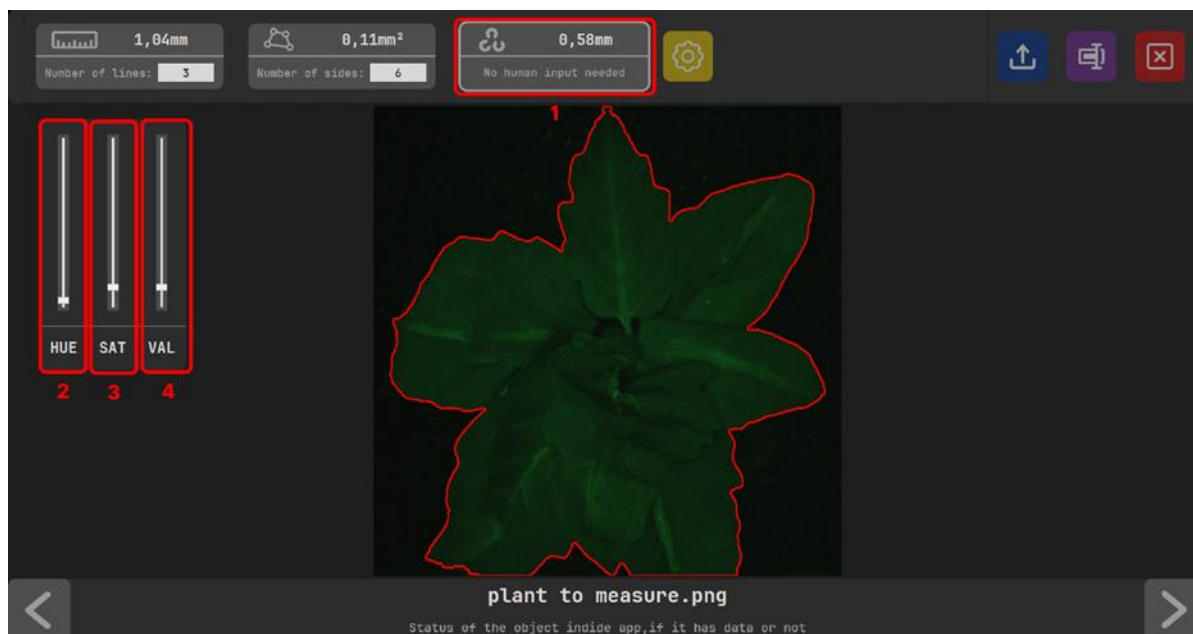
### **Fenotypizační metody – snímkování a měření růstu**

V rámci pěstebních pokusů byl sbírán obrazový materiál pomocí integrovaného řešení pro sběr tohoto typu dat. Probíhal sběr dat v časové smyčce pro případné hodnocení a analýzu vybraných parametrů pěstovaných rostlin, které byly hodnoceny pomocí vyvinutého softwarového nástroje VEGE-Measurer.

Díky open source dokumentaci k celé platformě byl vytvořen systém uchycení kamerového systému na daný UTM (Universal Tool Mount), a to včetně platformy osvětlovače pro poskytnutí optimálních světelných podmínek pro snímání vybraných rostlin. Jako kamera byla použita JAI G0x-5103C-PGE s příslušnou sadu objektivů pro snímání rostlin z různých vzdáleností. Systém je však nachystán tak, že kamera může být vyměněna za libovolnou jinou RGB kameru podporující připojení pomocí gigabitového ethernetového portu. Pro vyhodnocování takto získaných dat byl vytvořen samostatný SW (VegeMeasurer), který slouží k automatickému hodnocení takto pořízených snímků rostlin (Obrázek 15). VEGE-Measurer funguje na základě flexibilního pracovního postupu řízeného uživatelem. Typický proces zahrnuje výběr obrázku, kalibraci měřítka pomocí referenčního objektu (nebo pomocí výchozího měřítka), provedení ručních měření, pokud je to žádoucí, a umožnění systému automaticky generovat paralelně měření založená na počítačovém vidění.

Uživatelé mohou se svými obrázky pracovat v libovolném pořadí a kombinaci – mohou některé obrázky zpracovat ručně, u jiných se spolehnout výhradně na automatickou analýzu, kdykoli provést rekalibraci nebo v průběhu procesu přidat nové obrázky. Všechny výsledky se zobrazí v náhledu na konečné obrazovce pro uložení, kde uživatel vybere, která měření (ruční, automatická nebo obojí) a které jednotlivé saláty chce exportovat.

Neexistují žádné pevně dané režimy; místo toho aplikace nabízí samostatné nástroje pro každý typ měření v hlavním okně měření. Obrázky a související data lze kdykoli zkontrolovat, upravit nebo znovu zpracovat, aniž by bylo nutné restartovat pracovní postup. Do SW jsou integrovány základní algoritmy umělé inteligence pro segmentaci obrazu. Daný SW byl zaregistrován jako samostatný výsledek a přílohou tohoto dokumentu je kompletní dokumentace tohoto SW pro hodnocení obrazových dat.



Obrázek 15 Ukázka SW Vege-measurer.

## EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Zelinařská produkce je spojena se širokou škálou pěstovaných zeleninových druhů s rozdílnými pěstitelskými nároky, produkčními cykly i vhodností pro konkrétní technologie pěstování. Ne všechny druhy zeleniny lze efektivně pěstovat současně v polních podmínkách i v indoor systémech. Pro účely modelového porovnání výrobních nákladů, výnosů a ekonomických parametrů byla jako reprezentativní plodina zvolen salát hlávkový. Salát je technologicky jednoduchá, rychle obrátková plodina s krátkou vegetační dobou, uniformním tvarem a nízkými prostorovými nároky, což umožňuje jeho pěstování jak polních podmínkách, tak v řízených indoor systémech, a současně dovoluje dobře srovnat odlišné technologické přístupy.

Výrobní náklady na produkci zeleniny se obecně skládají z fixních a variabilních položek. Fixní náklady představují zejména amortizaci techniky, náklady na infrastrukturu, mechanizaci a dlouhodobý majetek či režijní výdaje. Variabilní náklady se mění v závislosti na rozsahu produkce a zahrnují osiva či sazenice, hnojiva, ochranné prostředky, pohonné hmoty, energii, náklady na sklizeň a výdaje spojené s přímou prací. U indoor pěstování jsou fixní náklady výrazně vyšší, protože zahrnují investice do uzavřených pěstebních modulů, klimatizačních systémů, LED osvětlení či specializovaných zařízení např. typu FarmBot, které vyžadují přesné prostorové umístění, odpovídající technické zázemí a pravidelnou údržbu. Vysoká pořizovací cena technologií je zde kompenzována přesnou kontrolou prostředí, omezením vlivů počasí a možností celoroční produkce.

Modelová kalkulace pro polní pěstování salátu vychází z hodnot běžných v konvenční produkci. Na 1 ha se vysazuje přibližně 160 000 hlávek, přičemž využitelných je zhruba 80 % produkce. Při průměrné tržní ceně 8 Kč za hlávku tak dosahuje celkový tržní výnos přibližně 360 000 Kč/ha. Výrobní náklady činí kolem 200 000 Kč/ha, což při běžné variabilitě vstupů představuje ekonomicky stabilní, dlouhodobě ověřený model produkce s poměrně nízkým investičním vstupem.

Oproti tomu indoor pěstování prostřednictvím autonomních nebo poloautonomních systémů typu FarmBot pracuje s výrazně jinou nákladovou strukturou. Fixní náklady dominují celkové bilanci, přičemž pořizovací cena technologického modulu může představovat desítky až stovky tisíc Kč na jednotku produkční plochy. Variabilní složka je naopak snížena díky přesné dávce vstupů, optimalizované spotřebě vody i živin a eliminaci většiny provozních ztrát. Produkce dosahuje vysoké uniformity a kvality, umožňuje produkovat v biorežimu a získaná cena za jednotku produkce je zpravidla vyšší než u polního pěstování.

Indoor systém dosahuje podle modelového výpočtu roční produkce přibližně 3,5 kg/m<sup>2</sup>, což při prodeji v biokvalitě za cenu 250 Kč/kg odpovídá tržbě asi 875 Kč/m<sup>2</sup>/rok. Oproti tomu jednotkové roční náklady přesahují 15 000 Kč/m<sup>2</sup>, zejména v důsledku extrémně vysokého podílu fixních nákladů rozpočtených na velmi malou pěstební plochu. Ekonomická efektivita indoor produkce salátu je proto při současném technologickém stavu výrazně nižší než produkce polní, přestože indoor produkce nabízí výhody v podobě celoroční sklizně, precizního řízení podmínek, vysoké kvality produktů a minimální spotřeby vody.

Po přepočtu na základní jednotku 1 m<sup>2</sup> však indoor systém vykazuje vyšší náklady než polní produkce, a to zejména v důsledku amortizace technologického vybavení a energetické náročnosti. Indoor pěstování je tak ekonomicky obhajitelné především v prostředí s vysokou cenou produkce (bio segment, lokální prémiové trhy) nebo v situacích, kdy je vyžadována celoroční nabídka a maximální kontrola kvality.

Citlivostní analýza ukazuje, že indoor technologie jsou významně citlivé na změny cen energií a rychlost amortizace zařízení. Zvýšení ceny elektrické energie či zkrácení životnosti klíčových komponent vede k rychlému nárůstu jednotkových nákladů. Naopak automatizované systémy jsou méně citlivé na cenu pracovní síly, protože většinu operací provádí robotický modul. Polní produkce je naopak citlivá zejména na cenu pohonných hmot, pracovní síly a na klimatické riziko, které může výrazně ovlivnit využitelný podíl produkce. Změna ceny práce o několik desítek procent či výrazné kolísání výnosů se tak může zásadně promítnout do celkové ekonomiky hektarové produkce.

Z uvedených informací je zřejmé, že oba systémy mají své nezastupitelné místo, avšak s ohledem na současný hospodářsko-spoločenský vývoj lze v budoucnu očekávat rostoucí náklady na manuální práci, pohonné hmoty a další vstupy spojené s tradiční polní produkcí. V této souvislosti bude pravděpodobně posilovat význam robotických systémů určených spíše pro polní podmínky. Tyto technologie umožňují precizní aplikaci vstupů, snižují spotřebu agrochemikálií, nahrazují drahou lidskou práci, omezují provozní náklady a přinášejí i nepřímé environmentální přínosy v podobě nižších emisí CO<sub>2</sub> a šetrnějšího zacházení s půdou a krajinou. V dlouhodobém horizontu lze proto očekávat, že právě robotická polní mechanizace bude představovat klíčový nástroj k udržení konkurenceschopnosti české i evropské zelinářské produkce, a to zejména v oblasti efektivního hospodaření s pracovní silou, minimalizace vstupů a zvyšování celkové udržitelnosti produkčních systémů.

## **ZDŮVODNĚNÍ NOVOSTI POSTUPŮ**

Zelinářství je tradičně velmi náročné na lidskou práci, zejména v oblastech výsadby, péče o porost a sklizně. Zavedení moderních robotických systémů do těchto činností představuje zásadní inovaci tradičních pěstitelských postupů. Moderní technologie přinášejí nejen zvýšení přesnosti prováděných operací, ale také významné zlepšení efektivity, optimalizaci pracovních vstupů a snížení energetické náročnosti, což je v zelinářské produkci klíčové.

Pro ověření praktické použitelnosti a efektivity těchto inovací byly realizovány cílené experimenty zaměřené na pěstování košťálové zeleniny. V rámci pokusů byly sledovány dopady jednotlivých moderních postupů – zejména pásového zpracování půdy (strip-till), precizní lokalizace živin (PUDAMA, injektáž), přesné seťové lůžko a cílené meziřádkové úpravy – na fyzikální vlastnosti půdy, kořenovou soustavu, raný růst rostlin a výnosové parametry. Každý experiment zahrnoval detailní měření infiltrační schopnosti půdy, stability agregátů, prorůstání kořenů, hmotnosti a tvaru hlávek, obsahu cukru a dalších klíčových ukazatelů.

Výsledky pokusů jednoznačně ukázaly, že kombinace moderních technologií přináší synergické efekty: pásové zpracování půdy zlepšilo strukturu půdy a dostupnost vody, lokalizovaná aplikace hnojiv podpořila intenzivnější a rovnoměrné prorůstání kořenů a přesně připravené seťové lůžko zajistilo homogenní klíčení a raný růst porostu. Meziřádkové mulčování a precizní kypření výrazně snížily energetickou náročnost pracovních operací a minimalizovaly opakované přejezdy mechanizace. Vyhodnocení biometrických a výnosových parametrů prokázalo pozitivní vliv moderních technologií na hmotnost a kvalitu hlávek,

prorůstání košťálu a rovnoměrnost porostu, čímž byly potvrzeny předpoklady o zlepšení produktivity a efektivity pěstování.

Navržené postupy hodnocení zavedení robotických systémů do zelinářských provozů proto představují nejen metodický nástroj, ale i reakci na nové technologické paradigma. Hodnotící rámec zahrnuje osm kritérií: terénní podmínky, personální kapacitu, ekonomickou kondici, technologickou připravenost, logistiku, provozní bezpečnost, environmentální aspekty a ochotu k inovacím. Tento systematický přístup eliminuje subjektivní rozhodování a umožňuje komplexní, objektivní posouzení připravenosti konkrétního provozu na implementaci robotických systémů.

Díky provedeným experimentům a jejich vyhodnocení dochází ke kvalitativnímu posunu v metodice rozhodování: hodnocení reflektuje technologické možnosti i reálné podmínky provozu, podporuje environmentální udržitelnost, optimalizaci pracovních nákladů a dlouhodobou konkurenceschopnost. Navržený postup hodnocení představuje významnou novinku s praktickým přínosem pro efektivní integraci moderních robotických technologií do řízení zelinářských provozů a poskytuje podklad pro strategické rozhodování o investicích a adaptaci inovativních postupů.

## **POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY**

Předložená metodika byla zpracována jako vstupní materiál pro hodnocení připravenosti zelinářských provozů na zavedení autonomních a poloautonomních robotických systémů a současně umožňuje kvantifikovat jejich provozní, ekonomické a environmentální přínosy. Jejím základem jsou výsledky realizovaných experimentů, které sledovaly vliv inovativních technologických zásahů na fyzikální vlastnosti půdy, raný růst rostlin, kořenovou architekturu a výnosové parametry košťálové zeleniny.

Metodika umožňuje systematické posouzení provozní připravenosti podniku na zavedení moderních robotických technologií. Při experimentech byly například testovány varianty pásového zpracování půdy (strip-till), hloubkové kypření, precizní lokalizace dusíku (PUDAMA, injektáž) a přesné seťové lůžko. Tyto zásahy byly sledovány z hlediska infiltračních vlastností půdy, stability agregátů, prorůstání kořenů, biometrických parametrů porostu a výnosových ukazatelů hlávek. Výsledky ukázaly, že kombinace pásového zpracování půdy s precizním hnojením a optimalizovanou předseťovou přípravou výrazně zlepšuje rovnoměrnost porostu, raný růst a prokořenění, což zároveň představuje ideální základ pro zavedení robotických zásahů cíleně na jednotlivé řádky.

Metodika identifikuje nejen vhodné provozy pro robotizaci, ale i slabá místa, kde by implementace moderních systémů mohla být problematická. Například experimenty ukázaly, že u klasické orby dochází k nepravidelnému prorůstání kořenů a rozdílné dostupnosti vody, což ovlivňuje rovnoměrnost porostu a efektivitu robotických zásahů. Naopak technologie pásového zpracování a precizní aplikace živin umožňují přesné cílení strojů na pásy pod řádky, čímž se minimalizuje riziko poškození rostlin a optimalizuje využití vstupů.

Vědecko-výzkumný přínos metodiky spočívá v systematickém propojení experimentálních dat s hodnotícím rámcem pro zavádění robotizace. Poskytuje jednotný přístup k měření a vyhodnocování fyzikálních a biologických parametrů porostů, které přímo ovlivňují efektivitu robotických operací. Technicko-provozní přínos spočívá v možnosti plánování investic, organizace pracovních operací a snížení závislosti na lidské práci při operacích náročných na přesnost, jako jsou výsadba, mechanické ošetření porostu a sklizeň.

Ekonomický přínos metodiky vyplývá z možnosti cíleně investovat do technologií na základě ověřených parametrů provozu a experimentálně potvrzených efektů, což minimalizuje riziko neefektivních nákupů a zvyšuje návratnost investic. Environmentální přínos se projevil v redukci přejezdů mechanizace po poli, přesnějším dávkování živin a snížení negativního dopadu na půdní strukturu.

Metodika je navržena jako flexibilní rámec, který lze dále rozvíjet s ohledem na nové technologie, inovace v mechanizaci a výsledky experimentů. Lze ji využít samostatně při hodnocení konkrétního podniku nebo jako součást projektů zaměřených na optimalizaci a modernizaci zelinářské produkce. Díky propojení experimentálních dat a hodnotícího postupu umožňuje metodika praktickou aplikaci robotických systémů v reálných podmínkách a přispívá ke stabilnímu, vyrovnanému a udržitelnému růstu porostů.

#### **K uplatnění této metodiky došlo u následujících subjektů:**

ZEOL s.r.o. se sídlem v Bučině 76, 566 01 Vysoké Mýto, IČO: 25976389

Obchodní firma Radek Malík se sídlem v Drnholci, Dyjská 96/16, 69183 Drnholec, IČO: 72558571

## **EKONOMICKÉ ASPEKTY**

Zavádění moderních agrotechnických postupů, jako jsou pásové zpracování půdy, hloubkové kypření, přesné set'ové lůžko nebo lokalizovaná aplikace živin, přináší zelinářským provozům nejen technologický, ale i ekonomický posun. Tyto postupy umožňují efektivnější využití vstupů, úsporu energie, snížení potřeby pracovní síly a zlepšení kvality a výnosu produkce.

Úspory jsou patrné především při zpracování půdy. Technologie jako pásové zpracování umožňují snížit spotřebu paliva, čas práce a opotřebení strojů, což vede k nižším provozním nákladům na hektar. Méně přejezdů a optimalizace pracovních operací přispívají k menšímu zatížení půdy, snižují riziko jejího zhutnění a zároveň umožňují využití strojů s nižší tahovou silou, včetně budoucích autonomních platforem. Úspory v této oblasti mohou u konkrétních pěstebních technologií činit přibližně 5–15 % nákladů, což se ve finančním vyjádření může pohybovat od několika tisíc až po jednotky desítek tisíc korun na hektar, v závislosti na druhu a intenzitě pěstované zeleniny.

Dalším významným přínosem je efektivnější využití živin a vody. Lokalizovaná aplikace hnojiv a přesná práce s vodou zvyšuje účinnost vstupů, snižuje ztráty a vede ke stabilnějšímu růstu rostlin. Lepší struktura půdy a vyšší infiltrační kapacita umožňuje rostlinám využít dostupnou vodu a živiny efektivněji, což se pozitivně odráží ve výnosech a kvalitě plodin. Vyrovnanější porost, hlubší prorůstání kořenů a lepší dostupnost živin přispívají k vyšší produktivitě a rovnoměrnosti sklizně.

Ekonomický dopad těchto technologických postupů se projevuje i v oblasti pracovní síly. Moderní robotizované a precizní systémy snižují potřebu manuální práce, zejména při výsadbě, ošetřování porostů nebo sklizni. To vede nejen k úsporám mzdových nákladů, ale také k větší nezávislosti na dostupnosti kvalifikovaných pracovníků, která bývá sezónně omezená. Kombinace úspor energie, hnojiv, vody a práce vytváří synergický efekt, který výrazně zlepšuje celkovou ekonomickou efektivitu provozu.

Celkově lze říci, že investice do moderních agrotechnických postupů a robotizace představuje významnou příležitost ke zvýšení rentability a konkurenceschopnosti zelinářských provozů. Úspory vstupů a práce, zlepšení výnosů a kvality produkce, stabilnější provoz a menší

environmentální zátěž činí z těchto technologií efektivní nástroj pro dlouhodobě udržitelné a ekonomicky výhodné pěstování zeleniny.

## **ZÁVĚR**

Metodika se zabývá možnostmi praktického uplatnění moderních autonomních a poloautonomních technologií v podmínkách polní zelinářské produkce. Zaměřuje se především na pracovní operace spojené se zakládáním porostů, mechanickou kultivací, cílenou aplikací hnojiv a přípravků na ochranu rostlin a na monitoring a hodnocení růstu porostů. Tyto operace patří k nejpracnějším a zároveň nejdůležitějším z hlediska kvality, efektivity i ekonomiky celého pěstitelského procesu.

Metodika shrnuje výsledky experimentů realizovaných v polních podmínkách, v nichž byly ověřeny možnosti využití robotických platforem, přesných navigačních systémů, sensoriky a kamerově řízených aplikačních prvků. Výsledky prokázaly, že tyto technologie dokážou stabilizovat výnosové ukazatele, zlepšit rovnoměrnost porostu a zvýšit efektivitu práce. Důležitým přínosem je také snížení spotřeby agrochemikálií díky cílené aplikaci a omezení počtu přejezdů, což přispívá ke snížení utužení půdy a k vyšší environmentální šetrnosti pěstování. Vedle polních experimentů existují také možnosti uplatnění robotických technologií v indoor či chráněných pěstebních systémech, nicméně jejich specifika a náklady jsou odlišné a nejsou hlavním předmětem této metodiky.

Pro účely ekonomického porovnání byla jako modelová plodina zvolena listová zelenina (salát hlávkový) s krátkou vegetační dobou a širokým uplatněním v praxi. Modelové výpočty ukazují, že polní produkce vykazuje jednoznačně vyšší ekonomickou efektivitu díky nižším jednotkovým nákladům, dostupné mechanizaci, možnosti pěstování ve velkém měřítku a dobrému poměru vstupů a výnosů. Toto zjištění slouží jako důležitý referenční rámec pro posouzení toho, do jaké míry může robotizace dále snížit náklady a zvýšit efektivitu polní produkce.

Součástí metodiky je i orientační citlivostní analýza, která ukazuje, že ekonomické přínosy robotických systémů v polních podmínkách se zvyšují zejména při růstu cen vstupů, jako jsou pohonné hmoty, lidská práce nebo agrochemikálie. Tyto technologie umožňují přesnou dávku vstupů, výrazné omezení ruční práce, redukci přejezdů a lepší organizaci pěstebních operací, což vede k významným úsporám nákladů a zároveň ke snížení environmentální zátěže. V delším horizontu lze očekávat, že tyto faktory budou hrát stále významnější roli a že robotické systémy se stanou přirozenou součástí polního zelinářství.

Metodika tak poskytuje praktický a využitelný nástroj pro zemědělské podniky, poradenské instituce, výzkumné organizace i státní správu. Nabízí systematický postup pro rozhodování o vhodnosti zavádění robotických technologií do pěstebních postupů a poskytuje technické i ekonomické podklady pro strategické investice a plánování. Z dlouhodobého hlediska představuje metodika důležitý krok směrem k modernizaci českého zelinářství, k posílení jeho konkurenceschopnosti a k přechodu na datově řízené, přesné a environmentálně šetrné výrobní postupy.

## LITERATURA

Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 25, 335–345.

Fuertes-Mendizábal, T., et al. (2021). Ammonium nutrition as a strategy for improving nitrogen use efficiency in crops. *Journal of Experimental Botany*, 72(4), 1286–1298.

Chen, Y., et al. (2020). Seedbed quality and crop emergence in precision tillage systems. *Soil & Tillage Research*, 199, 104575.

Integrating NDVI and agronomic data to optimize the variable-rate nitrogen fertilization. (2024). *Precision Agriculture*. [SpringerLink](#)

Johnson, R. M., et al. (2022). *Impact of field operation uniformity on early crop development in precision systems*. *Agronomy Journal*, 114(3), 1521–1534.

Kazlauskas, M., Naujokienė, V., Bručienė, I., Steponavičius, D., Romaneckas, K., Jasinskas, A. (2022). Variable Rate Seeding in Precision Agriculture: Recent Advances and Future Perspectives. *Agriculture*, 12(2), 305.

Lenssen, A. W., et al. (2022). *Strip-tillage impacts on soil quality and crop performance*. *Soil & Tillage Research*, 215, 105270.

Long, D. S., et al. (2021). *Telematics and machine data analytics for improving field operations management*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106129.

Lynch, J. P. (2021). Root phenotypes for improved nutrient capture: An update. *Annual Review of Plant Biology*, 72, 383–410.

Mishra, P. N., Gaikwad, V., Bansode, R., Dhawan, A., Bagul, R., Shaikh, A. (2025). A Review on Precision Agriculture: Leveraging Variable Rate Application and Machine Learning for Sustainable and Profitable Farming. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(4s), 180–188. [theaspd.com](https://www.theaspd.com)

Munkholm, L. J. (2011). Soil friability: A review of the concept and applications in tillage research. *Soil & Tillage Research*, 120, 23–32.

Navas, L., et al. (2020). *Digitalization of agricultural machinery for operational efficiency*. *Precision Agriculture*, 21, 1251–1268.

Pawase, P. P., Nalawade, S. M., Bhanage, G. B., Walunj, A. A., Kadam, P. B., Durgude, A. G., Patil, M. R. (2023). Variable rate fertilizer application technology for nutrient management: A review. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 16(4), 11–19. [ijabe.abepublishing.org](http://ijabe.abepublishing.org)

Radtke, J., et al. (2022). Effects of spatial nitrogen placement on early root development and nutrient uptake. *Agronomy*, 12(8), 1756.

Roper, T. R., et al. (2019). *Soil temperature and emergence responses to strip-tillage systems in vegetables*. *Agronomy Journal*, 111, 2731–2740.

Scharf, P.C., et al. (2019). Improving nitrogen management using banded applications in vegetable crops. *Agricultural Systems*, 176, 102682.

Siwek, M., et al. (2020). Root system responses of Brassica crops to localized nitrogen placement. *Scientia Horticulturae*, 267, 109330.

Šimůnek, J., et al. (2019). Modeling root-soil interactions under localized nutrient application. *Vadose Zone Journal*, 18, 1–15.

Vopravil, J., Formánek, P., Holubík, O., Svoboda, P., Khel, T. (2025). Effects of variable rate fertiliser application on selected macronutrients leaching from the ploughed layer. *Soil & Water Research*, 20(3), 206–217. [agriculturejournals.cz](http://agriculturejournals.cz)

Wang, Y., Yuan, Y., Yuan, F., Ata-UI-Karim, S. T., Liu, X., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., & Cao, Q. (2023). Evaluation of Variable Application Rate of Fertilizers Based on Site-Specific Management Zones for Winter Wheat in Small-Scale Farming. *Agronomy*, 13(11), 2812.

## **PUBLIKACE PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODICE**

KROULÍK, Milan. 2022. Smart Farming a Zemědělství 4.0. Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství. 41 s.

BRANT, Václav; KROULÍK, Milan. 2024. Zpracování půdy v pěstebních systémech polních plodin. Agrární komora České republiky. 181 s. ISBN 978-80-88351-28-3.

KROULÍK, Milan; BRANT, Václav. 2025. Využití stávající mechanizace v regenerativním zemědělství. *Agromanuál 9-10*, 114-117. ISSN 1801-7673.

BURG, Patrik; ČERVINKA, Lukáš. 2018. Uplatnění robotických systémů při řezu révy vinné. *Vinařský obzor*. 111(3), 128-129. ISSN 1212-7884

BURG, Patrik; ZATLOUKAL, Patrik. 2019. Nové metody regulace růstu plevelných rostlin. *Zahradnictví*. 18(6), 54-56. ISSN 1213-7596.

BURG, Patrik; ZEMÁNEK, Pavel. 2020. Autonomní energetické prostředky do vinohradnictví. *Vinařský obzor*. 113(1), 22-23. ISSN 1212-7884.

BURG, Patrik. 2023. Využití autonomních robotických systémů ve vinohradnictví a ovocnářství. *Vinař-sadař*. (5), 36-38. ISSN 1804-3054.

MAŠÁN, Vladimír; FERBY, Vojtěch; SLANÝ, Vlastimil. 2024. Inovace v produkci zelenin na dosah robotické ruky. *Zahradnictví*. 23(5), 40-42. ISSN 1213-7596.

BURG, Patrik; MAŠÁN, Vladimír; SLANÝ, Vlastimil. 2024. Uplatnění robotických systémů v zelinářské produkci. *Zahradnictví*. 23(12), 46-48. ISSN 1213-7596.

MAŠÁN, Vladimír; FERBY, Vojtěch; SLANÝ, Vlastimil. 2025. Zavádění robotizace v zelinářských provozech – I. díl. *Zahradnictví*. 24(1), 20-22. ISSN 1213-7596.

MAŠÁN, Vladimír; SLANÝ, Vlastimil; FERBY, Vojtěch. 2025. Správná rozhodnutí při zavádění robotizace budou klíčová. *Zahradnictví*. 24(3), 40-42. ISSN 1213-7596.

SLANÝ, Vlastimil; JANČA, Jan; KODÝTEK Jan; KUBÍN, Tomáš. 2025. Zavádění robotizace v zelinářských provozech – II. díl. *Znalostní ekonomika je podmínkou*. *Zahradnictví*. 24(6), 23-25. ISSN 1213-7596.

**Název:** UPLATNĚNÍ ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ PŘI PĚSTOVÁNÍ ZELENIN V  
POLNÍCH A INDOOR PODMÍNKÁCH

**Autoři:** Milan Kroulík, Vladimír Mašán, Patrik Burg, Vlastimil Slaný

**Vydavatel:** Česká zemědělská univerzita v Praze,

**Adresa vydavatele:** Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha - Suchdol  
16500

**Pořadí vydání:** první

**Rok vydání:** 2025

ISBN 978-80-213-3542-4

**Počet stran:** 42

**Náklad:** 100

**Vydala Česká zemědělská univerzita ve svém nakladatelství**