

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



Příprava zemědělského podniku na nástup robotických systémů

Certifikovaná metodika

Milan Kroulík, Adam Hruška, Pavel Hamouz, Patrik Vítek, Jiří Mašek

Příprava zemědělského podniku na nástup robotických systémů

Certifikovaná metodika

Milan Kroulík, Adam Hruška, Pavel Hamouz, Patrik Vitek, Jiří Mašek

Účelem uplatnění metodiky je poskytnout zemědělským podnikům, odborným organizacím a orgánům státní správy praktický rámec pro přípravu, hodnocení a efektivní zavádění robotických a autonomních systémů do zemědělské praxe. Metodika slouží k podpoře rozhodování při implementaci technologií automatizovaného zemědělství, ke zvýšení efektivity výroby, optimalizaci využití vstupů, snížení závislosti na pracovní síle a podpoře udržitelného hospodaření.

Oponenti:

Odborný oponent z oboru: prof.h.c. prof. Ing. Pavol Findura, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta

Oponent ze státní správy: Ing. Jan Marek, Oddělení precizního zemědělství a environmentálních strategií, Ministerstvo zemědělství.

Jazyková úprava: autorský kolektiv

MZe ČR doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

Metodika je výstupem řešení výzkumného projektu QK22010348 s názvem „Autonomní systémy jako nástroje integrované produkce zeleniny“.



Obsah

1. Cíl metodiky	8
2. Vlastní popis metodiky.....	8
2.1. Úvod.....	8
2.2. Výhody a přínosy robotiky v zemědělství	9
2.2.1. Zvýšení efektivity a produktivity práce.....	10
2.2.2. Zlepšení kvality práce a přesnosti zásahů.....	10
2.2.3. Snížení závislosti na lidské pracovní síle.....	11
2.2.4. Environmentální přínosy a udržitelnost.....	11
2.2.5. Zlepšení bezpečnosti práce a zdravotních podmínek	11
2.2.6. Zvyšování technologické úrovně a efektivity řízení podniků	12
2.2.7. Etické a společenské přínosy.....	12
2.3. Oblasti využití robotů v zemědělství	12
2.3.1. Rostlinná výroba.....	13
2.4. Současný stav na poli automatizace polních strojů.....	14
2.4.1. Multifunkční roboti.....	15
2.4.2. Specializovaní roboti.....	18
2.4.3. Robotizovaná sklizeň	19
2.4.4. Roboty pro aplikaci hnojiv a pesticidů	21
2.5. Přehled aktuálního stavu využívání robotiky v zemědělství.....	24
2.5.1. Současný stav v České republice	24
2.5.2. Trendy a rozvoj v rámci Evropské unie.....	25
2.5.3. Bariéry a výzvy současného stavu.....	26
2.6. Socioekonomické aspekty zavádění robotických systémů v zemědělství.....	27
2.6.1. Produktivita práce a ekonomická efektivita	28
2.6.2. Dopady na zaměstnanost a kvalifikační strukturu	29
2.6.3. Dopady na venkovskou ekonomiku a sociální strukturu.....	29
2.6.4. Nezávislost na pracovní síle a odolnost systému	30
2.6.5. Ekonomické překážky a návratnost investic	30
2.7. Legislativní rámec použití robotů v polních podmínkách	31
2.7.1. Současný stav právní úpravy.....	31
2.7.2. Zkušenosti ze zahraničí.....	32
2.7.3. Klíčové právní otázky.....	33
2.7.4. Perspektivy pro Českou republiku	33
2.8. Překážky a omezení	34
2.8.1. Pořizovací náklady.....	34

2.8.2 Technická, technologická a výkonová omezení, spolehlivost	34
2.8.3. Nároky na obsluhu a údržbu.....	35
2.8.4. Bezpečnostní a legislativní překážky	36
2.9. Výhled rozvoje robotiky v zemědělství v následujících letech.....	36
2.9.1. Obecné směry technologického vývoje	36
2.9.2. Integrace umělé inteligence a datových systémů	37
2.9.3. Vertikální a městské zemědělství	37
2.9.4. Sociální a kompetenční změny.....	38
2.9.5 Ekonomické a environmentální dopady	38
2.9.6. Scénáře vývoje do roku 2040	38
2.10. Opatření EU pro podporu rozvoje používání robotických systémů v zemědělství	39
2.10.1. Strategický rámec a klíčové politiky	39
2.10.2. Horizon Europe 2.0 a výzkumná podpora.....	39
2.10.3. Digital Europe a evropská centra digitálních inovací	40
2.10.4. AI Act a bezpečné využívání umělé inteligence.....	40
2.10.5. Dovednostní a vzdělávací politika	41
2.10.6. Strategické dopady a význam pro členské státy	41
2.11. Možnosti financování nákupu robotických platform.....	41
2.11.1. Evropská úroveň podpory.....	42
2.11.2. Společná zemědělská politika (SZP) 2023–2027	42
2.11.3 Národní zdroje a doplňkové programy.....	43
2.11.4. Role soukromého a rizikového kapitálu.....	44
2.12. Doporučení pro rozvoj robotiky v českém zemědělství.....	44
2.13. Polní roboti nebo autonomní traktory?	45
2.13.1. Polní roboti – průkopníci autonomie	45
2.13.2. Autonomní traktory.....	46
2.13.3. Jaký je předpoklad vývoje??	48
2.13.4. Další nezbytné kroky na cestě k autonomii	49
2.14. Budoucnost autonomní techniky – polní roboti a autonomní traktory v zemědělské praxi.....	52
2.15. Problémy a výzvy pro nové technologie.....	53
2.15.1. Funkčnost.....	53
2.15.2. Konektivita	54
2.15.3. Logistika – skrytá překážka autonomie a iluze nepřetržité práce	54
2.15.4. Fyzická omezení strojních zařízení	55
2.15.5. Velikost polí, velikost strojů	55
2.15.6. Rozptýlené pozemky – každodenní realita	56

2.16. Autonomie jako přirozený krok, nikoli revoluce	56
2.16.1. Budoucnost autonomie stojí na respektu k realitě	57
2.16.2. Technologická připravenost strojů	57
2.17. Optimalizace tvaru pozemků z pohledu robotiky	58
2.18. Autonomní prvky v ovládání traktorů a pracovních částí strojů	62
2.19. Kyberbezpečnost v zemědělském sektoru.	63
3. Srovnání novosti postupů	65
4. Popis uplatnění metodiky	69
5. Ekonomické aspekty	70
6. Seznam publikací, které předcházely metodice.....	75
7. Seznam použité literatury.....	76

1. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je poskytnout státní správě zemědělským podnikům ucelený rámec pro přípravu na zavádění robotických systémů do zemědělské výroby. Metodika shrnuje technologické, ekonomické, legislativní a organizační aspekty spojené s automatizací a robotizací procesů v rostlinné i živočišné výrobě, a nabízí praktické postupy pro systematické vyhodnocení připravenosti podniku na implementaci těchto technologií. Zvláštní důraz je kladen na identifikaci oblastí s nejvyšším inovačním potenciálem pro robotizaci (např. mechanická kultivace, přesné dávkování vstupů, sklizeň či monitoring porostů), vyhodnocení přínosů robotických systémů z hlediska produktivity práce, kvality prováděných operací a snížení závislosti na pracovní síle a zmapování ekonomických a socioekonomických dopadů zavedení robotických platforem. V rámci metodiky jsou vyhodnoceny legislativní a bezpečnostní aspekty jejich používání v polních podmínkách, přehled aktuálních podpůrných mechanismů EU a ČR pro financování nákupu a nasazení robotických technologií. Metodika má poskytnout oporu pro rozhodování zemědělských podniků při přechodu k technologiím precizního a automatizovaného zemědělství a napomoci jejich efektivnímu a bezpečnému začlenění do praxe.

2. Vlastní popis metodiky

2.1. Úvod

Rozvoj automatizace a robotizace v zemědělství představuje jeden z nejvýznamnějších trendů současného vývoje agropotravinářského sektoru. Postupná integrace pokročilých technologií, jako jsou senzorové systémy, robotické platformy, prvky umělé inteligence (AI) a internet věcí (IoT), zásadně mění způsob produkce potravin. Cílem těchto inovací je zvýšit efektivitu a přesnost zemědělských činností, snížit závislost na lidské pracovní síle, omezit negativní dopady na životní prostředí a podpořit udržitelnou a konkurenceschopnou produkci v rámci evropského zemědělství (Edan a kol. 2023; Subeesh & Mehta, 2021).

Zemědělská robotika se od průmyslové automatizace odlišuje vysokou komplexností prostředí, v němž operuje. Polní a biologické systémy jsou proměnlivé, nestrukturované a vyžadují vysoký stupeň adaptability technických řešení. Robotické systémy proto musí kombinovat vnímání prostředí, rozhodovací algoritmy a precizní provádění operací v reálném čase (Cheng a kol. 2023). Moderní přístupy, které využívají kombinaci AI, strojového vidění a pokročilé senzorky, již umožňují

automatizovat činnosti, jako je setí, hnojení, ochrana rostlin, sklizeň nebo monitoring zdravotního stavu plodin (Xie a kol. 2022; Meshram a kol. 2022).

Z hlediska strategického rozvoje Evropské unie jsou robotické a autonomní systémy (RAS) považovány za jedny z klíčových prvků přechodu k nízkouhlíkovému a udržitelnému zemědělství (Pearson a kol. 2022). Zavádění těchto technologií má potenciál přispět nejen k dekarbonizaci produkce, ale také ke zlepšení efektivity využití vstupů (např. hnojiv, pesticidů či energie) a k posílení environmentální integrity zemědělských systémů. Jak uvádí Kandel a kol. (2024), digitalizace a automatizace představují hlavní pilíře politik EU směřujících k potravinové bezpečnosti a strategické autonomii, přičemž jejich implementace vyžaduje propojení technologického pokroku, vhodného legislativního rámce a rozvoje digitálních dovedností zemědělců.

Současně však zůstává řada překážek bránících širšímu rozšíření robotiky v praxi. Mezi hlavní patří vysoké pořizovací náklady, technická složitost, omezená spolehlivost v polních podmínkách, nedostatek kvalifikované obsluhy a nejasnosti v legislativě upravující provoz autonomních strojů (Gil a kol. 2023; Deutz & Neumann, 2024). Přesto lze očekávat, že v následujících letech bude docházet k rychlému rozvoji a komercializaci robotických platforem určených pro přesné a udržitelné hospodaření.

Předkládaná metodika si klade za cíl shrnout současný stav využívání robotických systémů v zemědělství, vymežit jejich přínosy, analyzovat ekonomické, technické a sociální aspekty jejich nasazení a nastínit legislativní a strategické rámce podporující jejich rozvoj. Dokument je koncipován jako praktický návod pro zemědělské podniky, poradenské organizace i tvůrce politik, kteří usilují o efektivní zavedení robotických technologií do praxe v souladu s principy precizního a udržitelného zemědělství.

2.2. Výhody a přínosy robotiky v zemědělství

Rozvoj robotických systémů v zemědělství představuje jednu z nejvýznamnějších technologických transformací současnosti. Podle Edana a kol. (2023) přinesla automatizace do zemědělské výroby zásadní změny – snížila náklady, omezila fyzicky náročnou práci, výrazně zvýšila přesnost prováděných operací a zlepšila kvalitu zemědělských produktů. Na rozdíl od průmyslové robotiky však musí zemědělské systémy fungovat v komplexním, proměnlivém a nestrukturovaném prostředí, což klade vysoké nároky na jejich senzoriku, odolnost, bezpečnost a schopnost adaptace.

2.2.1. Zvýšení efektivity a produktivity práce

Zemědělská robotika zásadně přispívá ke zvyšování produktivity práce tím, že nahrazuje nebo doplňuje lidskou pracovní sílu při rutinních, časově náročných a fyzicky náročných úkonech. Lytridis a kol. (2021) uvádějí, že robotické platformy určené pro setí, monitorování, sklizeň nebo aplikaci přípravků dokážou pracovat nepřetržitě, s vyšší přesností a menší variabilitou výsledků než lidská obsluha. Kooperativní týmy zemědělských robotů pak umožňují paralelní práci na rozsáhlejších plochách, což vede k významnému zkrácení doby jednotlivých operací.

Implementace robotických technologií v zemědělství má klíčový dopad na konkurenceschopnost podniků, a to nejen v tradičně vyspělých, ale i v rozvíjejících se ekonomikách. Jak ukazuje studie Petre a kol. (2025), miniaturizované robotické systémy, které vykonávají úkoly jako setí, sklizeň a monitorování, poskytují podnikatelům v zemědělství nové možnosti pro zvýšení jejich konkurenceschopnosti. Zajišťují nejen efektivnější využití zdrojů, ale i lepší přizpůsobení se dynamickým podmínkám trhu. Díky těmto technologiím mohou zemědělci reagovat na výzvy, jako jsou nedostatek pracovní síly nebo neustále se zvyšující nároky na produktivitu a udržitelnost produkce (Chervenkov, 2022).

Robotizace navíc umožňuje zemědělským podnikům vylepšit své provozní procesy, což se odráží v nižších nákladech na pracovní sílu a zvýšené kvalitě produktů. To je zvláště důležité na trzích, kde je konkurence vysoká a tlak na snižování nákladů neustále roste. Duckett a kol. (2018) uvádějí, že technologie, jako jsou autonomní traktory nebo drony pro monitoring plodin, zlepšují schopnost zemědělských podniků přizpůsobit se změnám poptávky a podmínkám na trhu, čímž zajišťují jejich konkurenceschopnost na globální úrovni. Zemědělci, kteří využívají robotiku, mohou rovněž těžit z lepšího přístupu k datům a analýzám, což jim umožňuje optimalizovat rozhodovací procesy a přizpůsobovat je aktuálním podmínkám (Obeng-Ofori, Atianashie, & Kuffour, 2025).

2.2.2. Zlepšení kvality práce a přesnosti zásahů

Podle Subeesha a Mehty (2021) umožňují propojené technologie umělé inteligence (AI) a internetu věcí (IoT) precizní řízení procesů, kdy jsou data ze senzorů, kamer či satelitů okamžitě analyzována a použita k řízení dávkování vody, hnojiv, pesticidů či k cílenému zásahu proti plevelům. Tyto systémy výrazně zvyšují rovnoměrnost a přesnost aplikace vstupů, čímž minimalizují ztráty a snižují ekologickou stopu. Výzkum Hruška a kol. (2025) dále prokázal, že robotické platformy s integrovanou AI mohou při detekci plevelů dosahovat přesnosti klasifikace až 97 %, čímž umožňují cílenou mechanickou nebo selektivní chemickou regulaci bez plošného postřiku.

2.2.3. Snížení závislosti na lidské pracovní síle

Jedním z hlavních přínosů robotizace je omezení dopadu sezónních nedostatků pracovní síly, které dlouhodobě ohrožují kontinuitu zemědělské výroby. Lytridis a kol. (2021) i Gil a kol. (2023) shodně upozorňují, že robotické systémy umožňují překonat omezení způsobená stárnutím pracovní populace, rostoucími mzdovými náklady i nižším zájmem mladé generace o fyzickou práci v zemědělství. Díky autonomnímu řízení mohou roboty pracovat s minimálním dohledem a umožňují tak transformaci pracovních pozic směrem k vysoce kvalifikovaným činnostem v oblasti správy dat, údržby či programování.

2.2.4. Environmentální přínosy a udržitelnost

Robotické a autonomní systémy významně přispívají k naplňování cílů udržitelného hospodaření a „net zero“ zemědělství. Pearson a kol. (2022) uvádějí, že jejich implementace umožňuje optimalizovat spotřebu energie, paliv, vody a živin a snižuje emise skleníkových plynů. Elektrifikace robotických vozidel a přesná aplikace vstupů vede k omezení negativních dopadů na půdu i vodní zdroje. Podobně Rehman a kol. (2024) poukazují na synergii mezi robotikou, IoT a obnovitelnými zdroji energie, která vytváří nové možnosti pro energeticky soběstačné a nízkoemisní farmy.

Přesněji robotické technologie také hrají významnou roli v přechodu k ekologičtějším zemědělským praktikám tím, že umožňují precizní aplikaci přípravků na ochranu rostlin, což výrazně snižuje jejich celkovou spotřebu a negativní dopady na životní prostředí. Azghadi a kol. (2025) ukazují, že technologie robotického „spot-spraying“ (cíleného postřiku) umožňuje přesnou aplikaci herbicidů pouze na místech, kde je to skutečně potřebné. Současné technologie cíleného postřiku umožňují redukovat objem aplikovaných látek přibližně o třetinu (Sapkota a kol. 2023; Azghadi a kol. 2025).

Robotické řešení rovněž umožňuje ekologickým farmářům efektivnější fungování v rámci mechanických zásahů. Důležitým aspektem je, že roboty s využitím počítačového vidění a strojového učení mohou efektivně identifikovat plevely čímž snižují potřebu manuální kontroly zásahů (Bogue, 2021). Další studie ukazují, že zavedení robotických technologií do procesů ochrany rostlin nejen snižuje potřebu herbicidů, ale i zpomaluje vznik rezistence plevelů vůči těmto prostředkům (Yu a kol. 2024). Tento efekt je klíčový pro dlouhodobou udržitelnost zemědělských systémů, protože pomáhá udržovat efektivnost herbicidů a podporuje biologickou rovnováhu na farmách.

2.2.5. Zlepšení bezpečnosti práce a zdravotních podmínek

Meshram a kol. (2022) zdůrazňují význam robotických systémů při eliminaci rizikových činností, jako je aplikace pesticidů, která často vede k expozici nebezpečným látkám. Autonomní postřikovací roboty

mohou vykonávat tyto úkony bez účasti člověka, což přináší zásadní zlepšení pracovních podmínek a ochrany zdraví zaměstnanců.

2.2.6. Zvyšování technologické úrovně a efektivity řízení podniků

Zavádění robotických systémů představuje také významný impuls k modernizaci řízení a digitalizaci zemědělských podniků. Podle Chenga a kol. (2023) přináší integrace robotiky s AI a pokročilými algoritmy řízení komplexní optimalizaci procesů „od senzoru po rozhodnutí“. Xie a kol. (2022) doplňují, že pokroky v oblasti akčních členů, senzorů, LiDAR a satelitní navigace umožňují efektivní nasazení robotických systémů i v ne-strukturovaném terénu.

2.2.7. Etické a společenské přínosy

Sparrow a Howard (2021) upozorňují, že rozvoj robotiky v zemědělství má rovněž společenský a etický rozměr. Kromě ekonomických a environmentálních dopadů je nutné zohlednit i kulturní a bezpečnostní aspekty – zejména vztah člověka k technologiím, ochranu soukromí při sběru dat a rovnoměrné rozdělení přínosů mezi producenty a spotřebitele. Odpovědná robotizace může vést k vyšší transparentnosti produkce, sledovatelnosti potravinového řetězce a k posílení důvěry veřejnosti v udržitelné zemědělství. Zároveň lze očekávat zvýšení zájmu o zemědělství u mladší generace, zejména s ohledem na zavedení moderní technologie a IT prostředky.

2.3. Oblasti využití robotů v zemědělství

Rozvoj robotických systémů v zemědělství probíhá napříč všemi oblastmi produkce – od rostlinné a živočišné výroby až po řízení provozu, logistiku a servisní činnosti. V podmínkách České republiky se robotika nejčastěji uplatňuje v rámci precizního zemědělství, které je zaměřeno na efektivní hospodaření se zdroji, sledování variability půdních a produkčních podmínek a cílené zásahy podle aktuálních potřeb porostů a zvířat (Vrchota a kol. 2022).

V mezinárodním měřítku je patrné, že dynamika zavádění robotických systémů v zemědělství se výrazně liší mezi regiony. V Asii dominují Japonsko a Jižní Korea, kde jsou již běžně nasazovány autonomní stroje pro sklizeň rýže a ovoce (Oliveira a kol. 2021). Evropská unie dosahuje rychlého rozvoje především v precizním zemědělství a autonomních vozidlech, přičemž trh s agrotechnologiemi zde roste tempem přibližně 10–12 % ročně (Ghobadpour a kol. 2022). V České republice se robotické technologie uplatňují zejména v živočišné výrobě u systémů, jako je automatické dojení, krmné vozy či robotická ramena pro manipulaci s materiálem. Naopak v rostlinné výrobě je využití robotiky spíše v počátcích a na polích se začínají objevovat první prakticky využitelné systémy (např. Robotti, AgXeed). Důvodem je vyšší pořizovací cena, nejasná legislativa a složitější integrace do výrobních procesů. Do roku 2030 se

podle prognóz Evropské komise očekává, že autonomní a kolaborativní roboty budou tvořit přibližně 15 % nových investic v zemědělských technologiích (European Commission, 2025c).

2.3.1. Rostlinná výroba

Monitorovací systémy

V rostlinné výrobě se prosazují významně monitorovací bezpilotní prostředky (UAV) a systémy družicové navigace. Rozšíření UAV v evropské zemědělské praxi lze dokumentovat například výsledky průzkumu provedeného v Německu v roce 2018 pro Deutscher Bauernverband (DBV) ve spolupráci se společností Bitkom. Do průzkumu bylo zahrnuto 420 zemědělských podniků. UAV v té době využívalo 9 % dotázaných zemědělců, přičemž 4 % provozovala vlastní dron a dalších 5 % využívalo služby externích poskytovatelů. Výrazný vliv na míru využití UAV měla velikost zemědělského podniku. U podniků hospodařících na výměře větší než 100 ha používalo 12 % podniků vlastní UAV a dalších 13 % využívalo drony prostřednictvím externích poskytovatelů služeb. Celkově tak některou z těchto forem využití UAV uváděla přibližně čtvrtina podniků této velikostní kategorie. Výsledky naznačují, že zavádění UAV je významnější zejména u větších zemědělských podniků. UAV byly využívány pro několik rozdílných účelů. Nejčastěji šlo o vyhledávání a záchranu volně žijící zvěře, případně předcházení škodám způsobeným zvěří, což uvedlo 33 % uživatelů. Téměř stejně významné bylo využití UAV pro přesnější hodnocení stavu rostlin a půdy (32 %). Dalších 31 % uživatelů UAV je využívalo v oblasti ochrany rostlinných porostů a pro aplikaci užitečných organismů. Pro mapování výnosů používalo UAV 22 % jejich uživatelů a pro kontrolu porostů 18 %. (Bitkom e. V., 2018).

Michels a kol. (2021) hodnotili využívání UAV na základě dotazníkového šetření mezi 167 německými zemědělci v roce 2019. V tomto souboru využívalo UAV 22 % respondentů, což bylo výrazně více než tehdejší reprezentativní průměr pro Německo (9 %). Vyšší hodnota však souvisí se strukturou výběrového souboru. Studie nebyla reprezentativní pro celé německé zemědělství a zahrnovala především mladší generaci zemědělců, s vyšším vzděláním a výrazně větší podniky, tedy skupinu s vyšší pravděpodobností zavádění technologií precizního zemědělství. Průměrná výměra orné půdy sledovaných podniků dosahovala 718 ha oproti německému průměru 60 ha.

Podle studie Eurostatu, která byla zveřejněna v roce 2026, používalo v roce 2023 přibližně 18 % zemědělských podniků EU nějakou technologii nebo postup precizního zemědělství. Eurostat rovněž zahrnul do studie například robotiku, pásovou aplikaci přípravků na ochranu rostlin, variabilní aplikace a precizní monitoring plodin a půdy. Samotná robotika s autonomním provozem byla přibližně na 7 %

podniků EU (EUROSTAT, 2026). Zmíněných 18 % podniků přitom obhospodařovalo přibližně 44 % celkové obhospodařované zemědělské půdy EU. Tato hodnota potvrzuje, že moderní technologie jsou výrazněji zastoupeny u podniků s větší výměrou. a kol

Podle zprávy ÚZEI (2024) využívalo UAV v rostlinné výrobě 60 z 1 884 sledovaných zemědělských subjektů, tj. 3,2 % respondentů. Mezi uživateli technologií precizního zemědělství činil jejich podíl 10,6 %. Drony byly využívány především pro mapování stavu porostů (72 % uživatelů UAV) a dokumentaci a kontrolu porostů bez tvorby map (65 %). Pro mapování porostů či půdy za účelem přípravy aplikačních map je využívalo 20 % uživatelů a k aplikaci granulovaného materiálu 7 %. Výsledky tak ukazují, že UAV jsou v české zemědělské praxi využívány především jako monitorovací a datový prostředek, zatímco jejich přímé využití k provádění pracovních operací je zatím omezené (Hlaváčková a kol. 2024).

Rozdílné výsledky jednotlivých studií pro ČR dokládají význam metodiky výběru respondentů při hodnocení rozšíření autonomních a bezpilotních prostředků. Vrchota a kol. (2022) zjistili využívání UAV u 33,59 % ze 131 sledovaných zemědělských podniků, zatímco reprezentativněji koncipované šetření ÚZEI (2024), zahrnující 1 884 subjektů včetně podniků s malou výměrou, uvádí využívání dronů pouze u 3,2 % respondentů. Vzhledem k nízké návratnosti dotazníkového šetření v případě Vrchoty a kol. (2022) (8,7 %) je však vhodné tento údaj interpretovat jako výsledek sledovaného souboru podniků, nikoliv jako reprezentativní míru využívání UAV v celém českém zemědělství.

Vzhledem k postupnému trendu rostoucího zapojení technologií typu „human on the loop“ což lze volně přeložit jako „člověk v roli dohledu nad autonomním systémem“ v případě automatického řízení strojů lze předpokládat pokračování tohoto trendu.

Primární výhodou tohoto přístupu je využití neinvazivního sběru dat ve formě senzorů na dronech či pozemních prostředcích (Botta a kol. 2022). Výsledný produkt disponuje kapacitou kontinuálního monitorování porostu, indikaci komplikací a jejich okamžitou georeferencí, s jejíž pomocí může farmář adekvátně zasáhnout v místě potřeby (Agelli a kol. 2024). U kontinuálních a neinvazivních postupů pro monitoring porostů založený na kombinaci datových vstupů lze předpokládat zvýšení efektivity faremního hospodaření a vybudování základní infrastruktury pro postupnou implementaci pokročilejších automatizačních postupů.

2.4. Současný stav na poli automatizace polních strojů

Od počátku vývoje robotických systémů byla představena řada kroků směřující k nástupu robotů a autonomních strojů, jako je snímání, navigace, ovládání, komunikace a spolupráce robotů s lidmi.

Zavádění prvků automatizace lze pozorovat na několika dílčích krocích. S představením a využitím mikroprocesorů v zemědělských strojích bylo jen otázkou krátkého času, kdy bude spuštěna realizace sdílení a správy dat mezi jednotlivými procesory.

2.4.1. Multifunkční roboti

Polní roboty a autonomní stroje lze rozdělit do 4 skupin. Největší skupinu tvoří multifunkční roboti, kteří mohou pracovat s rozdílným nářadím a s rozdílným účelem nasazení. Odhadem je dnes na trhu nabízeno zhruba 45 řešení robotických nosičů. Následující obrázky přináší pohled na vybrané typy univerzálních robotů. K dispozici jsou jednak výkonné robotické platformy tak roboti, kteří mohou pracovat v meziřadí plodin (Obr. 1, 2, 3 a 4).



Obr. 1: Polní robot AgroIntelli Robotti při mechanickém plečkování (foto Kroulík).



Obr. 2: Polní robot Naio Oz (vlevo) a Naio Orio (vpravo) při kultivační práci (foto Kroulík).



Obr. 3: Polní robot Roboton od české společnosti Terms a.s. určena na pole i do skleníků. (foto Kroulík).





Obr. 4: Polní univerzální robot AGXEED (foto Kroulík).

2.4.2. Specializovaní roboti

Druhou skupinou robotů představují stroje určené pro speciální použití. Lze je označit za roboty specializované a na trhu je dnes nabízeno zhruba 22 modelů. Jedná se například o nosič vrtné soupravy, případně dnes žádané ultra přesné postřikovače (Obr. 5).



Obr. 5: Polní robot HariTech při zakládání jam pro opěrnou konstrukci (foto Kroulík).

2.4.3. Robotizovaná sklizeň

Samostatnou skupinou jsou také sklizňoví roboti, které se rovněž specializují na určitý druh plodin. Robotické sklízecí systémy představují jednu z technologicky nejnáročnějších oblastí zemědělské robotiky. Využívají kombinaci kamerových systémů, hlubokého učení, robotických ramen a pokročilých uchopovacích mechanismů pro šetrnou manipulaci s plodinami. Tyto systémy jsou nejčastěji nasazovány při sklizni ovoce, zeleniny a speciálních plodin s vysokými nároky na pracovní sílu. Významnou výhodou je možnost kontinuální práce, snížení závislosti na sezónních pracovnících a standardizace kvality sklizně. S ohledem na pořizovací cenu a v současné době nižší podíl rozšíření, se jedná o pilotní nasazení.

Při sklizni především ovoce nebo zeleniny je zapotřebí stále značné množství pracovní, proškolené a sezonní síly (Obr. 6 a 7).



Obr. 6: Univerzální robotická platforma Slopehelper (foto Kroulík).



Obr. 7: Nástavba pro robotickou platformu Slopehelper, určená pro sklizeň jablek (foto Kroulík).

Zajímavým řešením do budoucna může být i výrobek české firmy ProLab Engineering, která vznikla jako spin-off firmy ČZU v Praze a nabízí univerzální robotickou platformu HecThor (Obr. 8) pro využití při pracovních operacích na poli či v kulisových kulturách (sady, chmelnice, vinice).



Obr. 8: Univerzální robotická platforma HecThor (<http://www.prolabengineering.com>)

2.4.4. Roboty pro aplikaci hnojiv a pesticidů

Meshram a kol. (2022) upozorňují na rychlý rozvoj robotických systémů umožňujících selektivní aplikaci herbicidů, fungicidů a kapalných hnojiv. Tyto technologie využívají kamerové systémy a algoritmy umělé inteligence pro detekci plevelů nebo hodnocení zdravotního stavu porostů v reálném čase. V Česku jsou zatím tyto systémy spíše v pilotním nasazení, avšak trendem je jejich integrace s drony a senzorickými jednotkami pro komplexní řízení zásahů (Petrovič a kol. 2024).

Cílem těchto systémů je aplikovat přípravky pouze v místech skutečného výskytu plevelů nebo chorob, čímž dochází ke snížení spotřeby pesticidů, omezení environmentální zátěže a snížení provozních nákladů.

Mezi významné technologie patří:

- Ecorobotix ARA – autonomní postřikový robot pro ultra-lokální aplikaci herbicidů (Obr. 9).
- John Deere See & Spray – kamerový systém pro cílený postřik plevelů.
- Blue River Technology – technologie strojového vidění pro přesné dávkování přípravků.
- Kamerový systém DAT EcoPatch na ramenech postřikovače, které rozeznávají plevely a zajišťují cílené ošetření (Obr.10)
- Přesný postřikovač RUMEX od stejnojmenné společnosti RUMEX GmbH (Obr. 11).
- Carbon Robotics LaserWeeder – systém využívající AI a laserovou likvidaci plevelů bez použití herbicidů (Obr. 12).



Obr. 9: Lokální aplikace herbicidů pomocí ARA Ecorobotics (foto LeadingFarmers, a.s.)



Obr. 10: Kamery DAT EcoPatch na ramenech postřikovače rozeznávají plevel a zajišťují optimální ošetření (foto Kroulík)



Obr. 11: Přesný postřikovač RUMEX s kamerovým systémem.



Obr. 12: Laserová technologie likvidace plevelů pomocí LaserWeeder, ukázka cíleného zásahu (foto Kroulík)

2.5. Přehled aktuálního stavu využívání robotiky v zemědělství

Rozvoj robotických technologií v zemědělství v posledních letech nabývá na dynamice nejen v rámci vyspělých evropských zemí, ale také ve střední Evropě, včetně České republiky. Zatímco dříve byly autonomní systémy spíše předmětem výzkumu a pilotních projektů, dnes se postupně přesouvají do praxe díky rychlému pokroku v oblasti senzoriky, strojového vidění, umělé inteligence (AI) a internetu věcí (IoT).

Petrović a kola kol. (2024) charakterizují vývoj ve střední Evropě jako „akcelerovanou fázi adopce“, kdy se moderní technologie precizního zemědělství (PA) rozšiřují napříč výrobními sektory a připravují půdu pro plnohodnotné nasazení autonomních robotických systémů.

2.5.1. Současný stav v České republice

Vrchota a kol. (2022) a Petrović a kol. (2025) řadí Českou republiku mezi nejaktivnější země V4 v adopci technologií precizního a robotického zemědělství, zejména v oblasti dronů, senzoriky a autonomních vozidel.

Navzdory tomu však české zemědělství stále naráží na významné legislativní limity. Autonomní prostředky mohou v současnosti legálně fungovat pouze na oplocených nebo uzavřených plochách, případně pod dohledem operátora v testovacím režimu. Tato omezení zásadně snižují ekonomickou atraktivitu robotizace a zpomalují její plošné zavádění do praxe. Zároveň však platí, že velká průměrná velikost českých podniků vytváří vhodné ekonomické podmínky pro rychlejší přechod na robotické systémy, jakmile bude legislativa upravena.

Šetření ÚZEI (2024) ukázalo, že alespoň jednu technologii precizního zemědělství využívalo 30 % z 1 884 hodnocených zemědělských subjektů. Nejrozšířenější skupinu představovaly technologie navádění a řízení soustav, které využívalo 22,7 % všech respondentů. Konkrétně navigaci a automatizaci při řízení strojů využívalo 20 % respondentů na 63 % jejich celkové výměry a sekční kontrolu záběru 16 % respondentů na 59 % výměry. Z dalších technologií byla významnější variabilní aplikace hnojiv (8,2 % respondentů) a technologie zpracování půdy a zakládání porostů (8,8 %). Na orné půdě dosahovalo využití navigace a automatizace 71 % výměry orné půdy respondentů. Robotické prostředky byly naproti tomu zatím využívány pouze okrajově – jejich použití uvedlo 8 podniků, tj. 0,4 % všech respondentů a 1,4 % uživatelů technologií PZ. Roboti pracovali převážně na orné půdě, celkem na 3 883 ha (přibližně 1 % výměry orné půdy respondentů), nejčastěji při plečkování (63 % uživatelů robotů), řízeném postřiku a setí (shodně 38 %). Výsledky tak ukazují, že zatímco navigace a dílčí automatizace zemědělských strojů jsou již poměrně významně rozšířeny, využití samostatných robotických prostředků zůstává v počáteční fázi (Hlaváčková a kol. 2024).

Z výsledků vyplývá, že české podniky aspirují k technologické připravenosti na přechod k vyšší automatizaci, avšak přímé nasazení robotů je dosud omezené. Důvodem jsou vysoké pořizovací náklady, absence kvalifikovaného personálu a především legislativní omezení, která v principu zabraňují autonomnímu provozu.

2.5.2. Trendy a rozvoj v rámci Evropské unie

Petrovič a kol. (2024) a Edan a kol. (2023) dochází v EU k rychlé konsolidaci výzkumných i komerčních aktivit v oblasti agri-robotiky (agricultural robotics).

- Nejvyšší úroveň implementace mají Dánsko, Nizozemsko a Německo, kde jsou v praxi využívány systémy Naïo, AgroIntelli, Fendt Xaver či Field Robotix.
- Odhaduje se, že v roce 2023 tvořily robotické systémy přibližně 12 % veškerých investic do zemědělských technologií, s predikovaným růstem na 30–35 % do roku 2030.

- EU současně podporuje výzkum prostřednictvím programů Horizon Europe, EIT Food a národní politiky digitalizace venkova.

Specifickým trendem je také propojování robotiky s obnovitelnými zdroji energie a dekarbonizací zemědělství. Pearson a kol. (2022) a Rehman a kol. (2024) zdůrazňují, že robotické systémy mají klíčový význam při přechodu k tzv. net zero agriculture, tj. k provozu s minimální uhlíkovou stopou díky elektrifikaci, úspoře vstupů a inteligentnímu řízení provozu.

2.5.3. Bariéry a výzvy současného stavu

Přes technologický pokrok přetrvává několik zásadních otázek ohledně provozu autonomních strojů :

Legislativní omezení - Na rozdíl od konvenčních zemědělských strojů není u autonomního polního robota během pracovní operace nezbytná trvalá přítomnost řidiče přímo na stroji. Bezpečnost provozu proto nemůže být založena pouze na schopnosti obsluhy bezprostředně reagovat na vznikající nebezpečí, ale musí být zajištěna kombinací konstrukčních bezpečnostních prvků stroje, systémů detekce okolí, řízení pohybu, vymezení prostoru autonomního provozu a organizačních opatření provozovatele. Bezpečnost částečně automatizovaných, poloautonomních a autonomních zemědělských strojů řeší soubor norem ISO 18497:2024 – Agricultural machinery and tractors – Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery. Jednotlivé části se zabývají obecnými principy bezpečného návrhu autonomních strojů (ISO 18497-1), systémy ochrany před překážkami (ISO 18497-2), vymezením a zabezpečením autonomní pracovní zóny (ISO 18497-3) a postupy verifikace a validace bezpečnostních funkcí (ISO 18497-4). Přestože jsou požadavky těchto norem zaměřeny především na konstrukci stroje a jeho bezpečnostní systémy, představují důležitý podklad také pro organizaci bezpečného provozu u uživatele. Provoz autonomního polního robota musí respektovat účel použití, provozní podmínky a omezení stanovená výrobcem. Před zahájením práce je nutné vymezit prostor autonomního provozu, posoudit místní rizika a ověřit technický stav stroje a funkčnost bezpečnostních systémů, zejména detekce překážek, nouzového zastavení, lokalizace a komunikačního spojení. Současně musí být stanovena pravidla pro pohyb osob v autonomní pracovní zóně a postupy při výskytu osoby nebo překážky, ztrátě lokalizace či komunikace, poruše bezpečnostního systému nebo jiné mimořádné situaci. Zvláštní pozornost je nutné věnovat údržbě a servisním zásahům, při nichž musí být zabráněno neočekávanému spuštění nebo pohybu stroje.

Pro konkrétní pracoviště je vhodné tyto požadavky a postupy upravit v místním provozním předpisu, který stanoví zejména odpovědnost za spuštění, dohled a ukončení autonomního provozu, oprávnění jednotlivých pracovníků, způsob kontroly stroje před zahájením práce, pravidla vstupu do pracovní zóny

a postupy při poruchových a nouzových stavech. Osoby podílející se na provozu musí být prokazatelně seznámeny s návodem výrobce, bezpečnostními funkcemi zařízení, jejich omezeními a místním provozním předpisem.

Pro dokumentaci provozu se doporučuje vést provozní deník autonomního robota. Do něj je vhodné zaznamenávat datum a místo nasazení, prováděnou pracovní operaci, odpovědnou osobu, použitou konfiguraci nebo pracovní nářadí, případné závady, poruchy bezpečnostních systémů, nouzová zastavení, nestandardní chování stroje, kolize a jiné mimořádné události a provedená nápravná opatření. Evidence umožňuje zpětné vyhodnocování bezpečnosti provozu a identifikaci opakujících se problémů a může být podkladem pro aktualizaci hodnocení rizik a místního provozního předpisu.

Ekonomické faktory - vysoká pořizovací cena a nejistá návratnost investic (Petrovič a kol. 2024).

Nedostatek kvalifikovaných pracovníků - nízká připravenost obsluhy na práci s daty a AI systémem.

Nízká interoperabilita technologií - chybějící standardy pro propojení robotů, senzorů a datových platforem.

Omezená infrastruktura konektivity (5G, IoT) - zejména v odlehlých oblastech venkova.

Přesto existuje v ČR silný inovační potenciál: díky nadprůměrné velikosti podniků, zkušenostem s precizním zemědělstvím a sílící síti startupů (např. Agdata, CleverFarm) má země výhodu pro rychlý přechod k praktické robotizaci, jakmile dojde ke změnám v legislativě.

2.6. Socioekonomické aspekty zavádění robotických systémů v zemědělství

Rozšiřování digitalizace, automatizace a robotizace zemědělské výroby přináší nejen technologické, ale i významné socioekonomické dopady. Ty se dotýkají struktury pracovních sil, ekonomiky zemědělských podniků, regionální zaměstnanosti i postavení venkovských oblastí v rámci širšího hospodářského systému.

Podle Kandela a kol. (2025) představuje digitalizace jeden z klíčových nástrojů k dosažení potravinové bezpečnosti a udržitelnosti evropského zemědělství. Zároveň ale vyžaduje nové přístupy k práci, vzdělávání, financování a řízení.

2.6.1. Produktivita práce a ekonomická efektivita

Jedním z nejviditelnějších dopadů robotizace je zvýšení produktivity práce. Robotické systémy umožňují přesnější, rychlejší a kontinuální provádění činností bez ohledu na pracovní dobu, klimatické podmínky či sezónní výkyvy. Současná literatura potvrzuje, že nasazení robotických platform v zemědělské produkci může vést ke zkrácení pracovního času až o 30 % (Martin a kol. 2022), snížení spotřeby vstupů (pesticidů, hnojiv, paliva) o 10–25 % (Sapkota a kol. 2023; Azghadi a kol. 2025), a současně k zvýšení kvality výstupu díky minimalizaci chyb lidské obsluhy.

Na druhou stranu Spykman a kol. (2026) porovnávali v polních podmínkách jižního Německa provoz autonomního robota AgBot s konvenčními traktory při zpracování půdy, setí a plečkování v systému pásového pěstování plodin. V současném stupni technologického vývoje vykazoval robot vyšší potřebu lidské práce než konvenční technika. Průměrná potřeba lidské práce činila $3,78 \text{ h} \cdot \text{ha}^{-1}$ u AgBotu oproti $1,80 \text{ h} \cdot \text{ha}^{-1}$ u traktoru, tedy více než dvojnásobek. Samostatný autonomní provoz bez potřeby přímého dohledu člověka přitom představoval podle jednotlivých operací pouze 11–25 % celkového strojového času. Vyšší časová náročnost robota byla spojena zejména s přípravou a nastavováním systému, řešením poruch a přerušení, přesuny mezi pracovními pásy a požadavky na lidský dohled. Významnou roli hrály rovněž bezpečnostní systémy, které v blízkosti sousedních porostů reagovaly na vegetaci jako na překážku. Z provozního hlediska se proto ukazuje, že ekonomický přínos autonomie není dán pouze pracovní rychlostí stroje, ale zejména podílem času, po který je robot skutečně schopen pracovat bez zásahu obsluhy, četností poruch a efektivitou související logistiky. Modelové scénáře každopádně ukázaly potenciál budoucích úspor. Při předpokládaném technickém zdokonalení, snížení času přerušení a podpůrných činností o 50 % a převedení části činností do plně autonomního režimu se potřeba lidské práce přibližuje konvenčnímu traktoru a u větších pozemků ji může snížit. Významným faktorem zůstává velikost pozemku – s rostoucí výměrou klesá relativní význam fixních časů spojených s přípravou, nastavováním a logistikou. Tento fakt byl pravděpodobně také jeden z dopadů vyšších časových nároků na obsluhu, protože se jednalo o menší pozemky a pásové střídání plodin. Z hlediska nákladů je ale důležité uvést, že článek neprovádí úplnou kalkulaci nákladů v $\text{EUR} \cdot \text{ha}^{-1}$ ani nevyčísľuje návratnost investice do AgBotu. Ekonomický efekt posuzuje především prostřednictvím úspory lidské práce a ekonomie velikosti pozemku. Autoři upozorňují, že přesuny mezi farmou a pozemky, nutnost lidské obsluhy při silniční dopravě, technické incidenty a požadavky na kvalifikovanou obsluhu mohou očekávané úspory významně snižovat. Ze studie tak vyplývá, že současné autonomní prostředky nelze obecně považovat za technologii automaticky snižující pracovní a provozní náklady. Jejich ekonomický efekt je podmíněn především dosaženou úrovní autonomie, spolehlivostí, omezením potřeby lidského

dohledu, organizací logistiky a velikostí obhospodařovaných pozemků. Studie současně naznačuje, že s dalším technologickým vývojem může právě úspora kvalifikované lidské práce představovat jeden z hlavních ekonomických přínosů robotizace.

V českém kontextu vyplývá ze studie Vrchoty a kol. (2022), že podniky využívající prvky precizního zemědělství dosahují vyšší rentability a nižších jednotkových nákladů na hektar, přestože prvotní investice bývá vyšší. Očekává se, že robotické systémy tento trend dále posílí, zejména v oblasti mechanické kultivace, selektivní aplikace vstupů a monitoringu porostů. Zajištěním přesnosti pracovních operací dochází ke zvýšení efektivity jednotlivých zásahů co do snížení potřeby vstupů i snížení negativního vlivu na okolní prostředí.

2.6.2. Dopady na zaměstnanost a kvalifikační strukturu

Rozvoj robotiky zásadně mění strukturu zemědělské pracovní síly. Jak upozorňují Kandel a kol. (2025) a Petrović a kol. (2024), nejde o prosté „nahrazení lidí stroji“, ale o transformaci pracovních rolí. Zemědělství přechází od manuálně orientovaných činností k profesím zaměřeným na datovou analýzu, údržbu technologií, programování a správu digitálních systémů.

Robotizace tak nemusí snižovat celkovou zaměstnanost, ale přesouvá pracovní místa do vyšších kvalifikačních kategorií. Problémem zůstává nedostatek technicky vzdělané pracovní síly – podle údajů Ministerstva zemědělství a ČSÚ se v ČR každoročně hlásí do zemědělských technických oborů o 40 % méně studentů, než odpovídá potřebám praxe. Z tohoto důvodu Kandel a kol. (2025) doporučují posílit systém celoživotního vzdělávání a odborné přípravy prostřednictvím univerzit, výzkumných institucí a profesních organizací. Vzdělávací instituce v systému českého školství již na potřeby nových požadavků na znalosti, dovednosti a kompetence pracovníků reagují a přicházejí s novými studijními programy zahrnující potřebné penzum znalostí pro zvládnutí problematiky robotiky a autonomie ve vazbě na precizní zemědělství.

2.6.3. Dopady na venkovskou ekonomiku a sociální strukturu

Digitalizace a robotizace přináší i širší sociální efekty na venkovské regiony, přičemž může působit dvojím směrem:

- Pozitivně – stabilizuje příjmy zemědělců, zvyšuje konkurenceschopnost a atraktivitu zemědělství pro mladé lidi.
- Negativně – může vést k úbytku pracovních míst s nízkou kvalifikací a tím k sociálním nerovnostem mezi regiony Petrović a kol. (2025)

V českém kontextu je však dopad spíše vyrovnávací, jelikož průměrná velikost zemědělských podniků umožňuje využívat úspory z rozsahu a udržovat stabilní zaměstnanost i při zavádění robotických prvků. Navíc vzniká nový sektor AgriTech startupů, který generuje pracovní místa v oblasti vývoje softwaru, servisu a datové infrastruktury (např. CleverFarm, Agdata, Varistar).

Digitalizace a robotizace zemědělství mají rovněž zásadní dopad na strukturu pracovních sil. Jak uvádí Daum (2025), přechod k digitálním a autonomním technologiím mění charakter venkovské zaměstnanosti – snižuje potřebu fyzické práce, ale zároveň zvyšuje poptávku po odbornících s technickými a datovými kompetencemi. Tento vývoj může prohlubovat rozdíly mezi regiony a skupinami farmářů: zatímco větší podniky mají přístup k inovacím a vzdělávání, menší rodinné farmy často postrádají kapitál i digitální dovednosti (Kandel a kol. 2025). Evropská komise se snaží tyto nerovnosti zmírnit prostřednictvím programů jako Digital Skills and Jobs Platform a European Year of Skills, které podporují rekvalifikaci pracovníků v zemědělství a rozvoj tzv. *agri-digital specialists* – nového profilu pracovníků propojujících zemědělskou praxi s technologiemi.

2.6.4. Nezávislost na pracovní síle a odolnost systému

Pandemie COVID-19 i geopolitické výkyvy (např. válka na Ukrajině) ukázaly zranitelnost zemědělství závislého na sezónní pracovní síle. Robotické systémy umožňují stabilizovat výrobu a snížit závislost na dostupnosti pracovníků ze zahraničí. Lytridis a kol. (2021) a Pearson a kol. (2022) uvádějí, že autonomní systémy dokáží efektivně nahradit sezónní pracovníky bez snížení kvality práce, přičemž provoz může pokračovat i během krizových situací. Z hlediska potravinové bezpečnosti tak robotizace přispívá k vyšší odolnosti a soběstačnosti produkce, což odpovídá strategickým cílům EU Farm-to-Fork a Digital Europe Programme (Kandel a kol. 2025).

2.6.5. Ekonomické překážky a návratnost investic

Podle Petrovič a kol. (2024) a Vrchoty a kol. (2022) patří mezi hlavní ekonomické překážky:

- vysoká pořizovací cena (u malých podniků bariéra č. 1),
- nejistá návratnost v prvních letech,
- omezený přístup k úvěrům a dotacím pro menší farmy.

Česká republika zahrnuje podporu robotizace a automatizace do Strategického plán Společné zemědělské politiky na období 2023–2027, konkrétně robotická zařízení byla součástí intervence 33.73 - Investice do zemědělských podniků, robotické systém pro odklíz kejdy či chlévské mrvy byly součástí i intervence 37.73 – Technologie snižující emise GHG a NH3.

Z pohledu podpory vědy a výzkumu, je tato oblast pokryta v evropském programu Horizon Europe Cluster 6, což je jedna z tematických oblastí evropského rámcového programu Horizon Europe, který financuje výzkum a inovace. Celý název je Cluster 6 – Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment, přeloženo jako Klastř 6 – Potraviny, bioekonomika, přírodní zdroje, zemědělství a životní prostředí.. Ministerstvo zemědělství pak zmiňuje oblast Smart zemědělství , jako jednu ze tří hlavních oblastí v Koncepci výzkumu, vývoje a inovací Ministerstva zemědělství na léta 2023–2032.

Z pohledu praxe je nutné zajistit nejen financování samotné technologie, ale i technickou podporu, školení obsluhy a servisní infrastrukturu, což jsou klíčové faktory dlouhodobé udržitelnosti investice.

2.7. Legislativní rámec použití robotů v polních podmínkách

2.7.1 Současný stav právní úpravy

V současnosti neexistuje v České republice specifická právní úprava, která by se výslovně vztahovala na využívání autonomních či poloautonomních robotů v zemědělství. Právní režim těchto technologií se proto odvíjí od obecně platných norem v oblasti bezpečnosti práce, ochrany zdraví, odpovědnosti za škodu, ochrany osobních údajů a technické bezpečnosti strojů. Tento stav není výjimkou ani v ostatních členských státech Evropské unie, kde legislativa teprve reaguje na rychlý technologický vývoj a doposud se opírá spíše o obecné rámce pro využívání umělé inteligence a automatizovaných systémů.

Evropská legislativa nicméně stanovuje několik klíčových předpisů, které se vztahují i na robotické systémy používané v zemědělství. Klíčovým evropským předpisem, který do budoucna ovlivní také zemědělskou robotiku, je nařízení o umělé inteligenci (tzv. AI Act). Toto nařízení zavádí kategorizaci systémů umělé inteligence podle míry rizika, stanovuje požadavky na bezpečnost, transparentnost a sledovatelnost a vymezuje povinnosti výrobců, provozovatelů i uživatelů. Zemědělské aplikace bývají řazeny mezi systémy se střední mírou rizika, avšak při přímém kontaktu s lidmi – například při využití kolaborativních robotů či strojů vybavených kamerovými systémy – mohou být považovány za systémy vysoce rizikové. Po nabytí plné účinnosti v roce 2026 bude AI Act závazný i pro Českou republiku a bude vyžadovat přizpůsobení národních postupů. Dále se uplatňuje Nařízení (EU) 2023/1230 o strojních zařízeních (Machinery Regulation), které stanovuje technické a bezpečnostní požadavky pro autonomní mobilní stroje. V praxi to znamená, že roboty musí být certifikovány pro práci v polních podmínkách stejně jako ostatní pracovní stroje. K doplnění evropského rámce existuje i technická norma ISO 18497:2024 – Safety of Highly Automated Agricultural Machines, která specifikuje zásady pro zajištění bezpečnosti provozu vysoce automatizovaných zemědělských robotů.

2.7.2. Zkušenosti ze zahraničí

Zahraniční praxe nabízí řadu inspirativních přístupů k právnímu ukotvení autonomních systémů v zemědělství. V zemích Evropské unie je právní rámec založen především na obecném nařízení o ochraně osobních údajů (GDPR) a na právu na ochranu osobnosti, konkrétně na právu na vlastní obraz. Jak upozorňují Kruse a Schöning (2024), mnoho zemědělských systémů s umělou inteligencí využívá obrazová či senzorická data, na nichž mohou být zachyceny osoby. Tato data mají povahu osobních údajů a jejich zpracování musí být právně zdůvodněno podle čl. 6 GDPR. V praxi to znamená, že provozovatelé systémů musí zajistit anonymizaci dat a zavést technická opatření, která zabrání identifikaci osob při trénování algoritmů. V německé praxi se například testují automatizované moduly pro kontrolu souladu dat s právem na vlastní obraz, které dokážou automaticky rozpoznat a odstranit snímky porušující toto právo.

Ve Spojeném království, jak uvádí Basu a kol. (2020), není pro malé autonomní zemědělské roboty vytvořen zvláštní právní rámec a uplatňuje se kombinace občanskoprávních a smluvních vztahů. Odpovědnost za škodu se zpravidla dělí mezi výrobce, distributora a uživatele a v praxi se doporučuje uzavírat podrobné smlouvy o užívání a údržbě zařízení, které rozdělují rizika a vymezují pojistné krytí. Britské soudy při posuzování případné újmy navíc zohledňují i společenský přínos inovací, což vytváří právní prostor pro experimentální využívání robotických systémů v reálném prostředí.

Austrálie přistoupila k problematice legislativně nejkomplexněji. Podle technické zprávy University of Southern Queensland (2020) byl vyvinut tzv. Code of Practice pro autonomní zemědělské stroje, jehož cílem je zajistit bezpečný a postupný přechod od automatizace k plné autonomii. Základním principem kodexu je definování tzv. Operational Design Domain (ODD), tedy přesného vymezení provozních podmínek, v nichž může být stroj legálně a bezpečně provozován. ODD určuje například typ terénu, přítomnost osob, interakci s jinými stroji či limity počasí. Tento přístup umožňuje postupné zavádění autonomních technologií do praxe a současně poskytuje rámec pro jejich certifikaci a testování. Australský model představuje praktickou inspiraci pro tvorbu evropských či národních pravidel.

V Spojených státech amerických je situace podobně roztržštěná jako v Evropě. Jak upozorňuje Wiseman a kol. (2018), právní úprava autonomních zemědělských strojů existuje převážně ve vztahu k bezpilotním letounům, zatímco pozemní roboty se řídí pouze obecnými zásadami bezpečnosti práce. Některé státy, například Kalifornie, vyžadují fyzickou přítomnost operátora při pohybu stroje, což v praxi znemožňuje plně autonomní režim. Diskutuje se proto o zavedení zvláštního režimu odpovědnosti po vzoru evropské směrnice o výrobové odpovědnosti.

2.7.3. Klíčové právní otázky

Při analýze právního rámce autonomní zemědělské techniky se jako nejvýznamnější jeví čtyři tematické okruhy. Prvním je bezpečnost a technická certifikace. Na mezinárodní úrovni již existují základní normy, například ISO 18497 – Safety of Highly Automated Agricultural Machines, které stanovují minimální požadavky na bezpečnost vysoce automatizovaných strojů. Tyto normy je však třeba doplnit o testovací protokoly specifické pro autonomní provoz a o procedury certifikace jednotlivých softwarových modulů.

Druhou oblastí je odpovědnost a pojištění. Nezbytné je přesně vymezit právní odpovědnost výrobce, dodavatele, uživatele i provozovatele za škodu způsobenou provozem autonomního zařízení. V některých zemích se diskutuje o zavedení povinného pojištění odpovědnosti za provoz autonomních strojů, obdobně jako je tomu u silničních vozidel.

Třetí klíčovou otázkou je ochrana dat. Zemědělské robotické systémy často generují rozsáhlé množství senzorových a obrazových dat, která mají významnou ekonomickou hodnotu a současně podléhají právní ochraně. GDPR vyžaduje, aby provozovatelé informovali o zpracování osobních údajů, zajistili jejich bezpečné uchování a umožnili uplatnění práv dotčených osob. Otázka vlastnictví dat zůstává otevřená, zejména v případech, kdy data vznikají ve spolupráci farmáře, výrobce zařízení a poskytovatele softwaru.

Čtvrtým okruhem jsou etické a environmentální aspekty. Uddin a kol. (2022) upozorňují, že nasazení systémů umělé inteligence v zemědělství musí být posuzováno také z hlediska udržitelnosti, ochrany klimatu a dopadů na sociální strukturu venkova. Právní rámec by měl zohlednit nejen technickou bezpečnost, ale i důsledky pro biodiverzitu, spotřebu zdrojů a rovnost přístupu k technologiím.

2.7.4. Perspektivy pro Českou republiku

Zkušenosti ze zahraničí ukazují, že efektivní právní rámec pro zemědělskou robotiku stojí na kombinaci technických standardů, odpovědnostních mechanismů a transparentní práce s daty. Česká republika může vycházet z těchto principů při tvorbě národních pravidel. Vhodné je uvažovat o vypracování národní metodiky bezpečného provozu autonomních zemědělských strojů, která by vycházela z australského konceptu ODD a současně reflektovala požadavky připravovaného evropského AI Actu. Dále je žádoucí vytvořit systém certifikace a evidence autonomních zařízení, rozšířit ustanovení o odpovědnosti za škodu způsobenou algoritmickým rozhodováním a zajistit podporu pro vytváření anonymizovaných datových sad určených k testování umělé inteligence. Klíčová bude rovněž mezinárodní spolupráce v rámci Evropské unie a sdílení zkušeností při implementaci nových předpisů.

2.8. Překážky a omezení

Rozvoj robotiky v zemědělství probíhá v podmínkách, kdy technologický pokrok často předbíhá ekonomickou dostupnost, legislativní ukotvení i institucionální připravenost praxe. Navzdory vysokému inovačnímu potenciálu zůstává zavádění autonomních systémů do reálného provozu zatíženo řadou strukturálních omezení. Tyto překážky lze členit na ekonomické, technicko-technologické, personální a legislativně-bezpečnostní. Vzájemně se prolínají a vytvářejí komplexní rámec, který v současnosti brzdí širší adopci robotiky v evropském a českém zemědělství.

2.8.1 Pořizovací náklady

Nejvýraznější bariérou implementace robotických systémů jsou vysoké pořizovací a provozní náklady. Vijayakumar a kol. (2025) upozorňují, že přechod na tzv. zemědělství 4.0 vyžaduje nejen investice do samotných robotických platforem, ale i do datových infrastruktur, systému senzorů, konektivity a cloudových služeb. Tyto doprovodné technologie mohou tvořit až polovinu celkových implementačních výdajů.

Bazargani a Deemyad (2024) ukazují, že ekonomická návratnost investic do automatizace je značně diferencovaná podle velikosti a specializace podniku: u velkých zemědělských subjektů může být doba návratnosti 4–6 let, zatímco u menších farem je často delší než 10 let. V důsledku toho vzniká riziko technologické nerovnosti mezi kapitálově silnými a menšími producenty.

Kromě pořizovacích nákladů představují překážku i výdaje na servis, software a aktualizace. Jak uvádí Silva a kol. (2023), systém otevřené inovace v agrárním sektoru naráží na uzavřené modely dodavatelů, kdy jsou klíčové komponenty závislé na proprietárních licencích a servisních smlouvách. Tato závislost omezuje dlouhodobou udržitelnost a autonomii uživatelů.

Z pohledu veřejné správy je proto vhodné, aby byly dotační a úvěrové programy koncipovány nejen na nákup zařízení, ale i na podporu doprovodné infrastruktury, školení a servisu, podobně jako v některých státech EU v rámci programů Digital Europe a Horizon Europe.

2.8.2 Technická, technologická a výkonová omezení, spolehlivost

Z technického hlediska zůstává hlavní výzvou spolehlivost a odolnost robotických systémů vůči proměnlivým podmínkám v reálném terénu. Oliveira a kol. (2021) i Mahmud a kol. (2020) potvrzují, že přes značné pokroky v oblasti navigace a senzoriky zůstává autonomní pohyb robotů problematický v prostředí s nepravidelnou vegetací, blátem, proměnlivým osvětlením či špatnou viditelností.

V současnosti existují dvě hlavní technologické linie vývoje: systémy řízené jednoduchými algoritmy a AI-řízené systémy využívající strojové učení. Ty první jsou robustnější, avšak méně adaptivní; druhé nabízejí větší flexibilitu, ale trpí nižší interpretovatelností a vyššími nároky na trénink dat. Podle Shafika (2024) spočívá klíčové omezení právě ve slabé kvalitě dat, která jsou často fragmentární, lokálně nekompatibilní nebo zatížena chybami z měření.

Sarker a kol. (2025) doplňují, že interoperabilita se stává ústředním problémem: systémy od různých výrobců obvykle používají odlišné komunikační protokoly a datové formáty, což komplikuje integraci do jednotných výrobních řetězců. Absence otevřených standardů navíc snižuje konkurenci a zpomalí inovace.

Dalším technickým limitem je spolehlivost senzorů a akčních členů. Jak ukázala analýza Steen a kol. (2016), ani mezinárodní bezpečnostní standard ISO/DIS 18497 nezaručuje, že robot bude schopný včas identifikovat reálné překážky – zejména lidi a zvířata – protože testovací protokoly byly původně navrženy pro jednodušší průmyslové aplikace. To zdůrazňuje potřebu revize standardů pro reálné polní podmínky, kde rozhodování a reakce robotických systémů závisí na kvalitě obrazu a strojového vidění.

Z praktického hlediska tedy zatím není možné plně nahradit lidskou kontrolu, zejména v úkolech vyžadujících citlivé rozhodování, jako je selektivní sklizeň nebo aplikace pesticidů.

2.8.3. Nároky na obsluhu a údržbu

Přechod na robotické systémy vyžaduje zásadní změnu v profilu pracovních kompetencí. Salomi a Samsudeen (2024) zdůrazňují, že nedostatek vyškoleného personálu je jedním z hlavních faktorů brzdících implementaci umělé inteligence v zemědělství. Farmáři často postrádají znalosti v oblasti datové analýzy, programování nebo kybernetické bezpečnosti, což vede k závislosti na externích dodavatelských službách.

Stevens, Taylor a Nelson (2023) z novozélandské praxe uvádějí, že úspěšná adopce automatizačních technologií je podmíněna existencí technické podpory a trvalého vzdělávání uživatelů. Bez těchto služeb se i moderní zařízení rychle stává nefunkčním nebo nevyužitým.

Náročnost údržby souvisí rovněž s náhradními díly a servisní infrastrukturou. Oliveira a kol. (2021) konstatují, že životnost autonomních strojů je z velké části dána kvalitou preventivní údržby, která však vyžaduje dostupné servisní zázemí. V mnoha venkovských oblastech je přístup k odbornému servisu omezený, což vede ke snižování spolehlivosti systému a zvyšování provozních nákladů.

Z dlouhodobého hlediska bude proto nezbytné rozvíjet regionální servisní centra a vzdělávací programy zaměřené na „digitální agronomii“, které propojí znalosti zemědělské praxe a informačních technologií.

2.8.4. Bezpečnostní a legislativní překážky

Bezpečnostní aspekty robotizace v zemědělství nelze oddělit od širšího legislativního rámce. Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, současná právní úprava v Evropě vychází z obecných předpisů o strojní bezpečnosti, odpovědnosti za škodu a ochraně dat, avšak postrádá specifické ustanovení pro autonomní zemědělské systémy.

Steen a kol. (2016) poukazují na to, že testovací metody podle ISO/DIS 18497 jsou nedostačující pro systémy využívající kamerové senzory a umělou inteligenci. Robot tak může formálně vyhovovat standardu, ale reálně nemusí bezpečně reagovat na přítomnost člověka. Tento rozpor zdůrazňuje potřebu nové generace bezpečnostních norem kombinujících fyzickou bezpečnost a algoritmickou transparentnost.

Z pohledu právní odpovědnosti zůstává otevřená otázka, kdo nese odpovědnost v případě selhání autonomního systému. Jak uvádí Shafik (2024) i Uddin a kol. (2022), neexistuje jednoznačný rámec rozdělení odpovědnosti mezi výrobce, provozovatele a uživatele. Evropský AI Act sice zavádí principy odpovědného nasazení, avšak jejich aplikace v zemědělství bude vyžadovat doplňující prováděcí akty a certifikační schémata.

K bezpečnostním rizikům je nutno připočítat i hrozby kybernetické. Jak upozorňuje Sarker a kol. (2025), propojení autonomních platforem s datovými sítěmi otevírá možnost narušení provozu, neoprávněného přístupu či manipulace s daty. Ochrana před těmito riziky se tak stává nezbytnou součástí bezpečnostní politiky farmy.

Z mezinárodního hlediska je patrná snaha o sjednocení postupů: Austrálie rozvíjí koncepci Operational Design Domain (ODD), která stanovuje jasné hranice legálního provozu autonomních strojů, zatímco Evropská unie směřuje k harmonizaci prostřednictvím AI Actu a revize směrnice o strojních zařízeních. Pro Českou republiku to znamená potřebu aktivně se zapojit do tvorby technických standardů a přizpůsobit národní legislativu novým podmínkám.

2.9. Výhled rozvoje robotiky v zemědělství v následujících letech

2.9.1. Obecné směry technologického vývoje

Rozvoj robotiky v zemědělství je pevně spjat s globální transformací agrárního sektoru směrem k tzv. zemědělství 4.0 a 5.0, které staví na digitalizaci, automatizaci a propojení výrobních procesů s datovými

systémy umělé inteligence. Výzkumné i průmyslové trendy naznačují, že v horizontu příštích deseti let dojde ke značnému rozšíření robotických technologií do všech oblastí zemědělské výroby – od precizního zemědělství a sledování vegetace po automatizovanou sklizeň, dopravu a péči o živočichy.

Podle Chenga a kol. (2023) a Singha a kol. (2024) se budoucí vývoj zaměří především na vyšší míru autonomie, prediktivní řízení procesů a schopnost strojů adaptovat se na komplexní a měnící se prostředí. Tyto změny umožní kombinace senzorových sítí, strojového vidění, pokročilého plánování trajektorií a strojového učení. V praxi to znamená, že robotické systémy již nebudou vykonávat pouze předdefinované úlohy, ale budou schopné samostatně vyhodnocovat data, předvídat změny podmínek a operativně se rozhodovat.

Zároveň se zvyšuje důraz na energetickou účinnost a udržitelnost provozu. Ghobadpour a kol. (2022) uvádějí, že elektrifikace zemědělských vozidel a přechod k bezuhlíkovým pohonům představují jeden z hlavních pilířů budoucí robotizace. Do popředí se dostává koncept tzv. „zelené autonomie“, v níž budou autonomní stroje čerpat energii z obnovitelných zdrojů a přispívat tak k dekarbonizaci celého sektoru.

2.9.2. Integrace umělé inteligence a datových systémů

Další fáze rozvoje bude charakterizována hlubší integrací robotiky s digitálními infrastrukturami. Jak ukazují studie Shamshiri a kol. (2024) a Oliveira a kol. (2021), dochází ke spojování autonomních systémů s platformami využívajícími Internet věcí (IoT), cloudová úložiště a blockchainové technologie. Tím vznikají tzv. „inteligentní ekosystémy“, v nichž jsou data ze senzorů, satelitů a robotů sdílena v reálném čase napříč farmou i dodavatelským řetězcem.

Prediktivní analýzy umožní přesnější plánování výsevu, závlah či sklizně a současně optimalizaci vstupů – hnojiv, vody i energie. Z technického hlediska se předpokládá rozšíření modulárních robotických platforem schopných spolupracovat v týmech (tzv. *swarm robotics*), které budou řízeny centrálními algoritmy a navzájem si předávat úkoly podle aktuálních podmínek. Tato spolupráce přinese vyšší produktivitu, sníží prostojové časy a umožní nepřetržitý provoz i v náročných prostředích.

2.9.3. Vertikální a městské zemědělství

Významný růst se očekává v oblasti vertikálních a městských forem produkce. Shen a kol. (2024) konstatují, že roboty se stávají klíčovým prvkem tzv. *Vertical Farming Systems (VFS)*, které umožňují plně automatizované pěstování plodin v uzavřených prostorech. Roboti v těchto systémech zajišťují setí, výživu, monitoring i sklizeň a umožňují produkci s minimální spotřebou vody, půdy i energie. Vertikální farmy jsou rovněž významným experimentálním prostředím pro testování senzorových technologií, algoritmů učení a bezpečnostních protokolů, které mohou být následně přeneseny do polních podmínek.

2.9.4. Sociální a kompetenční změny

Rozvoj robotiky zásadně promění strukturu pracovních činností a potřebné dovednosti. Tamirat a kol. (2023) i Daum (2025) zdůrazňují, že digitalizace a automatizace povedou k posunu od manuálních k analytickým a technologickým profesím. Zemědělství se tak stane datově řízeným odvětvím, v němž bude klíčová digitální gramotnost, schopnost práce s algoritmy a porozumění interpretaci dat.

Daum (2025) upozorňuje, že s tímto procesem je spojeno riziko tzv. „deskillingu“, tedy ztráty tradičních zkušenostních znalostí, avšak zároveň se otevírají nové příležitosti pro „reskilling“ a „upskilling“, tedy získávání nových digitálních kompetencí. Očekává se vznik nových rolí, jako jsou operátoři datových platforem, technici autonomních zařízení nebo specialisté na kyberbezpečnost v zemědělství.

Z politického a institucionálního hlediska bude nutné přizpůsobit systém odborného vzdělávání, rozšířit poradenské služby a zajistit rovný přístup k digitálním nástrojům. Právě tato oblast bude klíčová pro vyrovnání regionálních rozdílů a zajištění sociální spravedlnosti při přechodu na robotizované zemědělství.

2.9.5 Ekonomické a environmentální dopady

Z ekonomického hlediska přináší rozvoj robotiky potenciál pro zvýšení produktivity práce a zefektivnění hospodaření. Jak ukazují Tamirat a kol. (2023) a Bazargani a Deemyad (2024), očekává se, že autonomní stroje umožní snížení spotřeby hnojiv, pesticidů i pohonných hmot, a tedy i pokles emisí skleníkových plynů. Tento trend podporují i politiky EU v rámci Zelené dohody (*European Green Deal*) a strategií Farm to Fork, které zdůrazňují udržitelnost, oběhové hospodářství a energetickou soběstačnost.

Na druhé straně je však nutné brát v úvahu možné ekonomické disparity mezi velkými podniky, které si mohou pokročilé technologie dovolit, a menšími farmami s omezeným kapitálem. Z tohoto důvodu se v některých zemích uvažuje o společných formách využívání robotů – sdílených flotilách či družstevních modelech provozu.

2.9.6. Scénáře vývoje do roku 2040

Na základě současných trendů lze identifikovat několik pravděpodobných scénářů rozvoje robotiky v zemědělství do roku 2035–2040:

Scénář I – Postupná integrace: Do roku 2030 se robotika rozšíří především v precizním zemědělství a vysoce specializovaných odvětvích (sklízňové a monitorovací systémy). Autonomie zůstane částečná, lidská supervize bude nutná.

Scénář II – Hybridní autonomie: V období 2030–2035 dojde k propojení robotů s digitálními farmami, přičemž systémy budou schopné adaptivního rozhodování na základě dat. V této fázi se očekává komerční dostupnost plně elektrických autonomních jednotek.

Scénář III – Zemědělství 5.0: Po roce 2035 může dojít k plné integraci robotických, datových a energetických systémů do inteligentních ekosystémů, které budou samostatně plánovat, řídit i optimalizovat celý produkční proces. V této etapě se očekává výrazný pokles lidské práce v rutinních činnostech, avšak růst poptávky po strategickém řízení a technologické údržbě.

2.10. Opatření EU pro podporu rozvoje používání robotických systémů v zemědělství

Rozvoj robotických systémů v evropském zemědělství je úzce spojen s rámcovou politikou Evropské unie pro digitalizaci, udržitelnost a potravinovou bezpečnost. V uplynulém desetiletí došlo k zásadnímu posunu od podpory dílčích výzkumných projektů k vytváření integrovaných inovačních ekosystémů, v nichž spolupracují výzkumné organizace, podniky, zemědělci a veřejná správa. Cílem těchto iniciativ je propojit výzkum, praxi a politiku tak, aby digitální a autonomní technologie skutečně přispěly k transformaci evropského zemědělství směrem k větší produktivitě, udržitelnosti a odolnosti.

2.10.1. Strategický rámec a klíčové politiky

Základním východiskem současné podpory je Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal) a s ní spojené strategie Farm to Fork a Digital Europe, které propojují cíle dekarbonizace, ekologické efektivity a technologické modernizace zemědělství. Jak uvádí Kandel a kol. (2025), digitalizace a automatizace nejsou vnímány jen jako technologické nástroje, ale jako strategické prostředky pro zajištění potravinové bezpečnosti a udržitelného růstu venkovských regionů.

Evropská komise ve svém Implementačním rozhodnutí C(2025)1839 final definuje priority programu Digital Europe 2025–2027, jehož klíčovou součástí je rozvoj Evropských datových prostorů (European Data Spaces), AI Factories a Evropských center digitálních inovací (EDIHs). Tyto struktury mají zajišťovat přenos výsledků výzkumu do praxe a umožnit farmářům i malým podnikům přístup k digitálním nástrojům, testovacím infrastrukturám a službám školení.

2.10.2. Horizon Europe 2.0 a výzkumná podpora

Program Horizon Europe 2.0 (Strategický plán 2025–2027) posiluje výzkumné aktivity v oblastech Agriculture 5.0, AI a robotiky v agrosystémech a udržitelných potravinových hodnotových řetězců.

Dokument stanovuje, že v rámci *Clusteru 6 – Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment* bude významná část rozpočtu věnována právě vývoji autonomních a kolaborativních robotických systémů pro zemědělství. Tyto projekty zahrnují i oblast testovacích polygonů (Living Labs) a digitálních inovačních center, které slouží k ověřování bezpečnosti, interoperability a environmentálních dopadů robotických platforem v reálných podmínkách.

Podle analýzy EARTO (2025) směřuje do výzkumu a vývoje technologií pro autonomní zemědělství přibližně 2,3 miliardy eur v letech 2025–2027, přičemž podstatná část je určena na projekty propojující umělou inteligenci, senzoriku, robotiku a obnovitelné zdroje energie. Evropská komise tím sleduje nejen technologickou inovaci, ale také posílení strategické autonomie Unie v oblasti potravinové produkce.

2.10.3. Digital Europe a evropská centra digitálních inovací

Program Digital Europe tvoří doplňkový pilíř k Horizon Europe a zaměřuje se především na implementační fázi digitalizace. V kontextu zemědělství se jedná o rozvoj tzv. Agri-Food Data Spaces, které mají usnadnit bezpečné sdílení a využívání dat mezi farmáři, výzkumníky a podniky. Tyto prostory vytvářejí technické i právní podmínky pro vývoj algoritmů umělé inteligence a robotických systémů schopných pracovat s daty o půdě, klimatu a produkci.

Součástí Digital Europe jsou také Evropská centra digitálních inovací (EDIHs), která fungují jako regionální uzly pro testování a adopci nových technologií. Některá z těchto center mají výslovně agrární zaměření (např. EDIH AgriFoodTEF či SmartAgriHubs) a nabízejí služby zaměřené na robotiku, senzory, kybernetickou bezpečnost a digitální dovednosti. Pro Českou republiku má tato infrastruktura zásadní význam, neboť umožňuje malým a středním podnikům přístup k know-how, které by jinak bylo dostupné pouze výzkumným organizacím.

2.10.4. AI Act a bezpečné využívání umělé inteligence

Od roku 2024 vstupuje v platnost Evropský akt o umělé inteligenci (AI Act), který vytváří právní rámec pro vývoj a používání systémů umělé inteligence. V kontextu zemědělství má tento předpis zajistit, aby autonomní roboty splňovaly požadavky na bezpečnost, transparentnost a lidský dohled. Jak uvádí Wiseman a kol. (2018) a Kruse & Schöning (2024), jde o klíčový krok ke zvýšení důvěry veřejnosti v nové technologie.

Zavádění AI Actu bude doprovázeno podpůrnými mechanismy financovanými z programu Horizon Europe a Digital Europe, které mají usnadnit certifikaci systémů s vysokým rizikem a vytvořit síť AI Testing and Experimentation Facilities (TEFs). Tyto testovací prostory umožní výrobcům i zemědělcům ověřovat shodu robotických systémů s evropskými standardy před jejich uvedením na trh.

2.10.5. Dovednostní a vzdělávací politika

Součástí evropského přístupu je rovněž rozvoj lidských zdrojů. V souladu se zjištěními Dauma (2025) a Kandela a kol. (2025) Evropská komise podporuje vznik Digital Skills Academies a European Digital Skills and Jobs Platform, které mají za cíl překonat nedostatek kvalifikovaných pracovníků schopných obsluhovat a spravovat digitální systémy. Tyto aktivity jsou v souladu s iniciativou European Year of Skills a směřují ke vzniku nového profilu pracovníků tzv. *agri-digital specialists*, kteří propojují zemědělskou praxi s technologickým know-how.

Kromě legislativních a finančních nástrojů realizuje Evropská komise také několik specifických pilotních a demonstračních projektů, které mají urychlit zavádění robotiky v praxi. Patří mezi ně především Robs4Crops, zaměřený na autonomní mechanizaci sklizně, agROBOfood, který propojuje výzkum s komerčním využitím v agropotravinářském sektoru, či FlexiGroBots využívající robotické roje pro precizní monitoring plodin. Tyto projekty jsou financovány v rámci programu *Horizon Europe* a představují klíčové testovací platformy pro vyhodnocení technických, ekonomických a společenských dopadů robotizace. Česká republika se může do těchto iniciativ zapojit prostřednictvím výzkumných institucí, univerzit a digitálních inovačních center, což vytváří příležitost pro propojení výzkumu s praxí a sdílení evropského know-how.

2.10.6. Strategické dopady a význam pro členské státy

Evropská opatření představují komplexní rámec, který kombinuje výzkumnou, investiční, legislativní a vzdělávací dimenzi. Jak ukazuje přehled Kandel a kol. (2025), podpora robotiky není omezena pouze na technologický rozvoj, ale zahrnuje i tvorbu strategických politik, které mají zajistit rovný přístup k digitalizaci a minimalizovat regionální rozdíly v adopci inovací.

Pro Českou republiku to znamená příležitost aktivně využívat evropské nástroje pro testování, validaci a implementaci robotických systémů, zejména prostřednictvím národních EDIH center, výzkumných konsorcií v rámci Horizon Europe a účasti na společných programech *AgriFood Data Space*.

2.11. Možnosti financování nákupu robotických platforem

Financování zavádění robotických systémů do zemědělství představuje klíčový faktor pro jejich širší uplatnění v praxi. Přestože se technologické možnosti rychle rozvíjejí, ekonomická náročnost pořízování robotických platforem zůstává pro většinu zemědělských podniků zásadní překážkou. Evropská unie i členské státy proto rozvíjejí víceetapňový systém finančních nástrojů, který kombinuje grantovou podporu, zvýhodněné úvěry, garance a výzkumné dotace. Cílem těchto opatření je zajistit, aby

modernizační procesy byly dostupné i pro menší a střední farmy a aby přechod na digitalizované zemědělství probíhal v souladu s principy udržitelnosti a konkurenceschopnosti.

2.11.1. Evropská úroveň podpory

Na úrovni Evropské unie jsou hlavními zdroji financování robotických platforem programy Horizon Europe, Digital Europe Programme (DEP) a nástroje finanční podpory v rámci InvestEU a Evropské investiční banky (EIB).

Program Horizon Europe ve svém strategickém plánu 2025–2027 (European Commission, 2025c) klade důraz na rozvoj *Agriculture 5.0* a *Green and Digital Transition*. V rámci *Clusteru 6 – Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment* jsou financovány projekty zaměřené na výzkum a pilotní implementace autonomních zemědělských strojů, senzorických sítí a datových platforem. Tyto výzvy často kombinují podporu výzkumu s možností testování a validace prototypů v tzv. Living Labs nebo Testing and Experimentation Facilities (TEFs), které se zaměřují na propojení vývoje, testování a praktického zavádění robotiky.

Digital Europe Programme (2025–2027), vymezený implementačním rozhodnutím C(2025)1839 final, představuje hlavní nástroj pro přímou podporu digitalizace a automatizace malých a středních podniků. Jeho součástí jsou European Digital Innovation Hubs (EDIHs), které poskytují finanční a technickou asistenci pro testování robotických platforem v zemědělských podnicích. Program rovněž umožňuje čerpání prostředků na pořízení technického vybavení, softwaru a školení pracovníků. Pro české zemědělce jsou relevantní především regionální centra EDIH s agrárním zaměřením, například AgriFoodTEF, SmartAgriHubs nebo národní uzly podporované v rámci Digitální a informační agentury (DIA).

Významnou roli v oblasti investic hraje také InvestEU Fund, který umožňuje kombinaci grantové podpory a úvěrů pro projekty zaměřené na automatizaci a zelené technologie. Prostřednictvím Evropské investiční banky (EIB) mohou podniky získat zvýhodněné financování nákupu robotických a autonomních strojů, zejména v rámci investičních schémat *Innovation and Digitalisation Facility* nebo *Sustainable Agriculture and Forestry Financing*. Tato opatření jsou často doplněna národní spoluúčastí či zárukami poskytovanými veřejnými finančními institucemi.

2.11.2. Společná zemědělská politika (SZP) 2023–2027

V rámci Strategického plánu Společné zemědělské politiky České republiky 2023–2027 (MZe, 2023) jsou investice do digitalizace a robotizace podporovány především prostřednictvím intervencí z Evropského zemědělského fondu pro rozvoj venkova (EZFRV).

Kapitola 5.3 strategického plánu stanovuje podporu investic do zemědělských podniků a inovací v zemědělské prvovýrobě, přičemž mezi oprávněné výdaje patří i moderní stroje, senzory, automatizační a robotické technologie. Podpora je určena k financování zařízení přispívajících ke zvýšení efektivity a environmentální šetrnosti provozu. V rámci intervence 33.73 (*Investice do zemědělských podniků*) lze hradit i náklady na nákup robotických systémů pro sklizeň, dojení, aplikaci přípravků nebo monitorování plodin.

Strategický plán dále podporuje účast zemědělců v EIP Operational Groups (Evropské inovační partnerství), které umožňují sdílení know-how a spolufinancování pilotních projektů v oblasti digitalizace a robotiky. V tomto případě se konkrétně jedná o intervenci 53.77 - Podpora operačních skupin a projektů EIP. Intervence podpoří inovace spojené s investicí (zejména inovace v technologiích) nebo inovace bez investice (např. inovace organizační či změny technologických postupů) v oblastech zemědělství, potravinářství nebo lesnictví.

2.11.3 Národní zdroje a doplňkové programy

Na národní úrovni lze financování nákupu robotických platform čerpat také z dalších zdrojů mimo SZP.

Pro podporu financování a snížení úrokové zátěže, zejména záruk a úvěrů, lze využít finanční podporu a služby Podpůrného a garančního rolnického a lesnického fondu (PGRLF). Tyto nástroje pomáhají zemědělcům pokrýt spoluúčast při také dlouhodobých investicích, případně získat zvýhodněné financování na modernizaci technologií.

Významnou roli hraje Národní plán obnovy (NPO), jehož komponenty 5.2 a 5.3 zahrnují investice do podpory výzkumu a vývoje v podnicích a zavádění inovací do podnikové praxe a strategicky řízený a mezinárodně konkurenceschopný ekosystém výzkumu, vývoje a inovací, pod které je zařazena oblast životního prostředí a adaptace na klimatickou změnu, jejíž součástí je také modernizace zemědělské produkce, především ve formě environmentálně šetrných technologií a digitalizace.

Koncepce výzkumu, vývoje a inovací Ministerstva zemědělství (MZe) na léta 2023–2032 řadí digitální transformaci mezi hlavní východiska směřování rezortního výzkumu. Na koncepci navazuje Program na podporu aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2024–2032 – ZEMĚ II, v jehož rámci jsou podporovány oblasti digitalizace, smart a precizního zemědělství a konkrétní aplikace moderních technologií v zemědělské praxi.

Dalším nástrojem je Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK 2021–2027), spravovaný Ministerstvem průmyslu a obchodu. OP TAK nabízí podnikům včetně zemědělských subjektů podporu na investice do automatizace, digitalizace, robotizace a umělé

inteligence. Výzvy programu pokrývají nejen samotný nákup technologií, ale i doprovodné služby jako školení, kybernetickou bezpečnost či integraci systémů.

Na doplňkové úrovni působí také Program rozvoje venkova (v přechodném období) a Modernizační fond, které mohou financovat energeticky úsporné nebo bezemisní systémy v rámci klimaticky šetrného hospodaření.

2.11.4. Role soukromého a rizikového kapitálu

Kromě veřejného financování roste i význam soukromých investičních fondů a rizikového kapitálu, zejména v oblasti AgriTech startupů vyvíjejících robotické a autonomní technologie. Program European Innovation Council (EIC) poskytuje přímé granty a kapitálové vstupy do podniků, které vyvíjejí nové generace robotických platforem pro precizní zemědělství, sklizeň nebo péči o zvířata. Tento typ financování je určen především pro začínající a inovační podniky s vysokým růstovým potenciálem, které chtějí uvést nové produkty na trh.

2.12. Doporučení pro rozvoj robotiky v českém zemědělství

Zavádění robotických systémů v českém zemědělství stojí na pomezí technologické inovace a strukturální změny odvětví. Aby Česká republika dokázala využít potenciál evropské podpory a zároveň minimalizovala sociální a ekonomická rizika, je vhodné zaměřit se na několik prioritních oblastí.

a) Strategická koordinace a regulace.

Doporučuje se vytvořit národní rámec pro využívání autonomních systémů v zemědělství, který by vymezil bezpečnostní a etické zásady v souladu s AI Act a Machinery Regulation. Tento rámec by měl být rozvíjen ve spolupráci MZe, MPO a Digitální a informační agentury.

b) Podpora adopce technologií.

Při dalším rozvoji robotizace a autonomních technologií v zemědělství je vhodné zohledňovat podmínky a možnosti jejich zavádění v podnicích různých velikostí a výrobního zaměření, včetně malých a středních zemědělských podniků. Významným předpokladem širšího uplatnění těchto technologií je jejich ekonomická a technická dostupnost, rozvoj odborných znalostí a poradenství a vytváření vhodných podmínek pro zavádění inovací do zemědělské praxe. Tyto aspekty jsou v souladu také s připravovaným směřováním Společné zemědělské politiky po roce 2027 (SZP 2028+), která mezi navrhované priority řadí podporu inovací, vzdělávání a digitální transformace zemědělství.

Konkrétní podoba SZP 2028+ a její začlenění do národních a regionálních plánů partnerství je však nadále předmětem přípravy a jednání.c) **Vzdělávání a dovednosti.**

Rozvoj robotiky musí být doprovázen rozšířením vzdělávacích programů pro obsluhu, údržbu a bezpečnost autonomních technologií. Doporučuje se podpořit vznik profesního profilu *agro-mechatronik* v rámci odborného vzdělávání.

d) Výzkum, testování a spolupráce.

Klíčová je spolupráce mezi výzkumnými institucemi, univerzitami a praxí v oblasti vývoje a testování robotických systémů. Česká republika by měla aktivně usilovat o účast v projektech Horizon Europe a Digital Europe a posílit národní infrastrukturu testovacích polygonů.

e) Sociální a ekonomická udržitelnost.

Implementace robotiky by měla být vnímána jako příležitost pro rozvoj venkovských oblastí, nikoli jejich marginalizaci. Doporučuje se doprovodná politika vzdělávání, dostupnosti financí a sdílení technologií, aby modernizace byla inkluzivní.

Komplexní přístup, propojující technologický rozvoj s vzdělávací a regulační politikou, umožní České republice využít robotiku nejen jako prostředek zvyšování efektivity, ale i jako nástroj pro posílení udržitelnosti a konkurenceschopnosti svého zemědělství.

2.13. Polní roboti nebo autonomní traktory?

Rozvoj autonomních technologií v zemědělství přináší zásadní otázku: jaký typ stroje bude určovat podobu budoucích polních operací? Čeká nás éra malých specializovaných robotů, přechod k plné autonomii tradičních traktorů, nebo jejich kombinace? Odpověď není jednoduchá, protože každý koncept vzniká z odlišných potřeb, provozních podmínek a filozofie práce.

2.13.1. Polní roboti – průkopníci autonomie

První generace komerčně dostupných autonomních strojů nevznikla z touhy nahradit traktor, ale z naléhavého řešení konkrétních problémů. Mezi nejvýznamnější patří:

- **regulace plevelů**, zejména tam, kde není chemická ochrana žádoucí či dostupná,
- **akutní nedostatek pracovní síly**, který je globálním jevem napříč různými typy farem.

Specializované polní roboty proto vstoupili do praxe především v segmentech, kde byly potřeba lehké, přesné a extrémně vytrvalé stroje schopné manévrovat mezi řádky vysoce hodnotných plodin. Tyto stroje pracují pomalu, ale neúnavně, často se zabudovaným plečkovacím nebo kultivačním nářadím. Jejich výhodou je schopnost pokrýt opakované a časově náročné úkony, u kterých lidská práce dlouhodobě chybí.

V dalších letech se objevila nová kategorie robotů – **víceúčelové polní platformy**. Tyto stroje již neslouží jen k jedné specializované činnosti, ale jsou navrženy jako modulární systémy, které mohou přebírat skutečné úkoly tradičního traktoru. Disponují standardními rozhraními pro nářadí, vlastní energií i hydraulickými systémy.

Tato kategorie je atraktivní nejen pro pěstitele speciálních plodin, ale i pro provozy s větší výměrou, které hledají stroje s nižší hmotností, menším utužením půdy a možností rozmístit více jednotek paralelně v rámci jednoho podniku.

2.13.2. Autonomní traktory

Přestože roboti přinesli do zemědělství výrazný technologický posun, tradiční traktor zůstává stěžejním prvkem provozu. Autonomie v zemědělství neznamená, že by farmáři museli zásadně přehodnocovat své dosavadní pracovní postupy. Jejím cílem není měnit principy hospodaření, ale zlepšovat a zefektivňovat to, co již existuje. V praxi to znamená především lepší využití dostupného času a zdrojů, aniž by bylo nutné zásadně zasahovat do struktury farem.

Důvodů je několik:

1. **Zkušenost obsluhy** – řízení traktoru je pro mnoho zemědělců přirozená součást práce.
2. **Vypělost současných systémů řízení** – dnešní stroje již běžně využívají automatické navádění, řízení nářadí či automatizaci otáčení na souvratích.
3. **Plynulý krok k autonomii** – technologická infrastruktura je připravená, proto je přechod ke zcela autonomnímu provozu logickým pokračováním.

Průměrná výměra jednoho pozemku v mnoha regionech činí přibližně **16 hektarů**. Pokud se na takovém pozemku pracuje s nářadím o záběru **9 metrů**, dosahuje pracovní rychlost zhruba **11 km/h**. Za těchto podmínek zabere zpracování jednoho pozemku přibližně **dvě hodiny**.

V běžném provozu je však třeba započítat i čas potřebný na přesuny – přibližně **30 minut** zabere samotný přesun za strojem, jeho přemístění na další pozemek a opětovné zahájení práce. Tyto drobné, opakující se činnosti tvoří velkou část každodenního provozu a zásadně ovlivňují celkovou efektivitu.

Autonomní traktor lze dnes získat dvěma způsoby: jako nově vyrobený plně autonomní stroj, nebo instalací **autonomního systému** na existující traktor. Druhá možnost je často výrazně dostupnější a zemědělci oceňují zejména to, že z jejich stroje vznikne zařízení, které lze kdykoli používat i tradičním způsobem.

Rozvoj autonomních systémů pro zemědělskou techniku výrazně zrychluje a stále více směřuje k modulárním řešením, která dokážou přeměnit běžný traktor v samostatně pracující stroj. Tento trend potvrzují moderní autonomizační kity, jež ukazují, že budoucnost autonomie nemusí být postavena jen na specializovaných robotických platformách, ale může být efektivně integrována i do techniky, kterou zemědělci už používají. Současné systémy mají kompaktní konstrukci, často umístěnou do jediného modulu na střeše stroje, který obsahuje navigační jednotku, bezpečnostní senzory, kamery a lidarové prvky. Instalace je díky tomu nenáročná a nezasahuje do konstrukce traktoru, přičemž nechybí ani možnost dálkového ovládání a světelná signalizace provozních stavů. Tyto univerzální kity jsou koncipovány tak, aby je bylo možné použít na různé modely traktorů splňujících základní technické požadavky, jako je plynulá převodovka, přesná navigace RTK GPS a systém umožňující řízení připojeného nářadí. Přestože se technologie stále vyvíjí a některé funkce – například autonomní otáčení či couvání – zatím nejsou plně dostupné, rychlý pokrok v oblasti senzorů a softwaru naznačuje, že jejich zapojení je otázkou blízké budoucnosti.

Při posuzování vhodnosti traktoru pro autonomii se ukazuje, že klíčovými prvky jsou převodovka, brzdový systém a řízení. U převodovek je autonomie zásadně limitována typem řazení. Manuální převodovky vyžadující práci se spojkou a fyzické řazení jednotlivých stupňů představují zásadní komplikaci, protože by vyžadovaly komplexní mechanizaci těchto úkonů. Přestože existují systémy pro ovládání mechanické převodovky, základním předpokladem je proto reverzační převodovka, ideálně s elektronickým ovládáním. Nejvhodnější variantou jsou plynulé převodovky, které výrazně usnadňují řízení pracovních otáček motoru a přizpůsobení jízdy potřebám připojeného nářadí.

Stejně důležitou součástí je brzdový systém, jenž musí umožnit bezpečné a opakovatelné brzdění bez přímého zásahu obsluhy. U traktorů vybavených klasickými hydraulickými brzdami se pro autonomii používají elektromechanické aktuátory simulující sešlápnutí pedálu. Přestože jde o funkční řešení, jeho instalace bývá technicky náročnější. Systémy s vzduchovými brzdami umožňují výrazně jednodušší integraci, protože brzdění lze řídit přímo regulací tlaku vzduchu prostřednictvím elektronického ventilu. Řízení je třetím pilířem autonomního provozu. Pokud je traktor již z výroby vybaven systémem automatického navádění, výrazně to usnadňuje implementaci autonomie. V opačném případě je možné využít dvě řešení: hydraulické řízení s proporcionálními ventily nebo elektrický motor na volantu.

Otázkou, která se přirozeně nabízí, je volba mezi novým a použitým traktorem. Z hlediska autonomie však není primárním kritériem stáří ani opotřebení stroje, ale jeho technická kompatibilita a provozní logika konkrétní farmy. Mnoho farmářů volí modernizaci stroje, který již vlastní, protože přesně znají jeho vlastnosti, mají jej sladěn s nářadím a ekonomicky představuje nejvýhodnější řešení. Starší modely často nabízejí delší životnost základních mechanických částí, jednodušší konstrukci a méně závislosti na

uzavřených elektronických systémech. Autonomie tak umožňuje prodloužit životnost existující techniky a zvýšit její hodnotu v provozu.

Autonomie proto nepředstavuje konec tradičních traktorů, ale naopak novou příležitost, jak zvýšit jejich využitelnost a efektivitu. Modernizace stávající techniky se tak stává cestou, která umožňuje farmám vstoupit do éry autonomního zemědělství bez extrémních investic, s minimálním rizikem a maximálním využitím toho, co již mají k dispozici.

Autonomizační kity tak představují významný krok k širší dostupnosti autonomie v zemědělství a ukazují, že budoucí provoz bude pravděpodobně založen na kombinaci tradiční techniky a inteligentních automatizovaných nadstavb (Obr. 13).



Obr. 13: Sada (automatizační kit), která umožní autonomní provoz traktoru. (Foto Kroulík).

2.13.3. Jaký je předpoklad vývoje??

Obě technologie mají své místo – a obě pravděpodobně povedou cestu společně.

- **Polní roboti** budou dominovat tam, kde je potřeba opakovaná, precizní a dlouhodobě monotónní práce, zejména u vysoce hodnotných plodin a tam, kde chybí pracovní síla.
- **Autonomní traktory** budou určovat provoz tam, kde je potřeba výkon, flexibilita, kompatibilita s rozsáhlým nářadím a možnost rychlých přesunů.

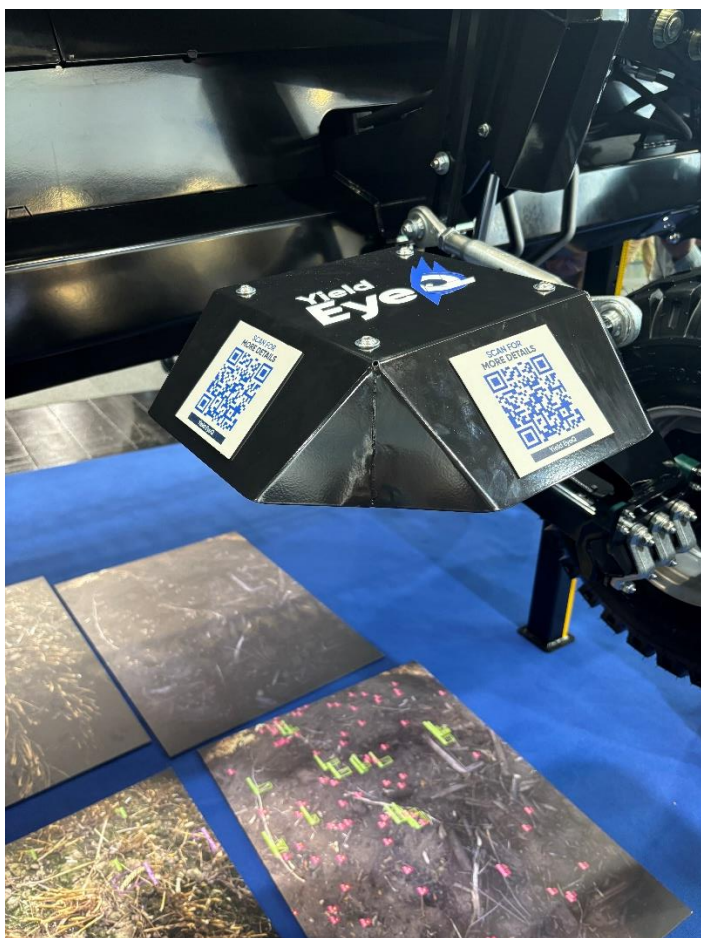
Možná nejpodstatnějším poznatkem je, že budoucnost nebude tvořena jediným typem stroje. Bude tvořena **kombinací technologií**, kterou si každý zemědělec přizpůsobí svým provozním podmínkám. Tam, kde dávalo smysl sázet jen na jeden velký traktor, mohou v budoucnu spolupracovat malé robotické jednotky, autonomní traktor a systém řízení nářadí – každý se svou rolí.

2.13.4. Další nezbytné kroky na cestě k autonomii

Ačkoli technika zvládá orientaci v poli a vykonání dané úlohy, lidský faktor zůstává v řadě oblastí zásadní:

- **kontrola kvality práce,**
- **řešení ucpání, kolizí či jiných technických problémů,**
- **manuální manipulace s nářadím,**
- **přesuny na dvoře nebo mezi poli.**

Potřebu řešit tyto záležitosti často demonstrují exponáty na výstavách. V řadě případů jsou dnes stroje vybavovány senzory kvality práce a s pomocí senzorů a algoritmů, které využívají umělou inteligenci, dokáží upravit parametry stroje tak, aby výsledek vyhovoval požadované úrovni kvality. Tyto prvky mají usnadnit práci obsluhy a zároveň jsou prvkem pro k autonomnímu řízení. Příkladem může být systém monitorování ztrát za žací lištou sklízecí mlátičky, kdy je využívána kamera snímající povrch půdy, s následným autonomním nastavením parametrů žacího válu (Obr. 14).



Obr. 14: Sestava pro monitoring ztrát na žacím válu (foto Kroulík).

Dalšími prvky jsou senzory umístěné na pracovních nástrojích například kypřičů. Sledují ucpání náradí, hromadění rostlinných zbytků, otáčky válce apod. (Obr. 15). Kamerové systémy a algoritmy se rovněž používají ke kontrole poškození náradí, kdy při každém vyhloubení náradí je pořízen snímek a porovnán s digitálním dvojčetem. Lze tak usuzovat rovněž na opotřebení náradí, nebo jeho poškození.



Obr. 15: Senzorové prvky osazené na kypřičích, které sledují ucpávání nářadí, případně jeho závady. Rovněž dokáží sledovat hloubku práce (foto Kroulík).

Obrázek 16 přináší pohled na autonomní nosič nářadí, který je v přední části osazen universálním závěsem pro připojení za traktor a následný převoz.



Obr. 16: Autonomní nosič nářadí vybavený závěsem pro připojení za traktor a potřebu převozu (foto Kroulík).

2.14. Budoucnost autonomní techniky – polní roboti a autonomní traktory v zemědělské praxi

Když se dnes zamýšlíme nad směrem, kterým se bude ubírat zemědělská technika v nejbližších desetiletích, vyvstává zásadní otázka: jaké stroje budou nejvhodnější pro autonomní práci? Půjde o specializované polní roboty, autonomní traktory, nebo o kombinaci obou konceptů? Vývoj posledních let ukazuje, že každé z těchto řešení má své místo a rozdílné přednosti. První komerčně využívané autonomní stroje byly specializované polní roboty zaměřené především na regulaci plevelů v zelenině a dalších vysoce hodnotných plodinách pěstovaných v řádcích. Vznikly jako reakce na dva klíčové problémy: celosvětový nedostatek pracovní síly a postupné omezování chemických přípravků na ochranu rostlin. Tito malí, přesní a lehcí roboti dokázali farmářům nabídnout alternativu k ruční práci i k herbicidům, a právě proto si rychle našli své místo na mnoha farmách po celém světě.

Postupně se však začala objevovat nová generace víceúčelových polních robotů, které svými funkcemi začaly připomínat malé traktory. Jsou vybaveny hydraulikou, tříbodovými závěsy, vývodovými hřídeli i tažnými zařízeními, a dokážou tak pracovat s běžným nářadím, které již farmáři vlastní. Řada výrobců napříč světem – od evropských firem AgroIntelli, AgXeed, Sitia či Naïo až po americký Amos nebo australský SwarmFarm – nabízí autonomní řešení pro široké spektrum plodin a provozních podmínek. Tyto stroje umožňují farmářům zavést autonomii bez nutnosti zásadních investic do speciální techniky. Paralelně s tím však probíhá vývoj autonomních traktorů. Ačkoliv jsou některé víceúčelové roboty navrženy tak, aby traktory nahradily, je nepravděpodobné, že by se traktory z farem zcela vytratily.

Moderní traktory již dnes disponují sofistikovanými automatizačními prvky, jako je autopilot, automatické otáčení na souvrati nebo inteligentní řízení připojeného nářadí, takže krok k plně autonomnímu provozu je relativně malý.

Prvními komerčními výrobci autonomních traktorů byly japonské společnosti Kubota a Yanmar, následované značkami Monarch a John Deere. Pro farmáře, kteří nechtějí čekat na úplné autonomní modely své oblíbené značky, je k dispozici řada tzv. retrofit kitů, tedy systémů, které dokáží proměnit stávající traktor na autonomní. Tyto sady, nabízené firmami jako GOtrack, Agreenculture, Bluewhite či Sabanto, představují ekonomicky dostupnou cestu, jak vstoupit do světa autonomie, aniž by bylo nutné kupovat nový stroj.

Přesto je třeba si uvědomit, že autonomie zatím není všemocná. Řidič dosud hraje zásadní roli při monitorování kvality práce a řešení problémů vznikajících na lince traktor–nářadí, například ucpání nebo mechanických závad. Velkou výzvou je i logistika: stroje bez kabiny a ovládacích prvků nelze jednoduše popovést na dvůr nebo natankovat, což zvyšuje nároky na transport a manipulaci. Autonomní traktor s retrofit kitem oproti tomu může být v případě potřeby obsluhován jako běžný stroj, což výrazně zvyšuje jeho flexibilitu. Právě kombinace manuálního a autonomního provozu se tak může ukázat jako nejefektivnější přístup.

Zemědělský sektor nyní stojí na prahu nové éry, kterou bude formovat soužití specializovaných robotů, víceúčelových autonomních platforem i traktorů vybavených technologiemi bezobslužného provozu. Každá technologie má své silné stránky a jejich kombinace může farmám přinést vyšší efektivitu, nižší náklady a lepší udržitelnost. Budoucnost zemědělství tak nebude založena na jediné „vítězné“ technologii, ale na chytrém propojení všech těchto přístupů podle potřeb jednotlivých farem, plodin a regionů (Koerhuis, 2024a, 2024b)

2.15. Problémy a výzvy pro nové technologie

Jako každá nová technologie, i autonomní roboti naráží na řadu výzev. Největší z nich se týkají **funkčnosti a konektivity**.

2.15.1. Funkčnost

Roboti si dobře vedou u jednoduchých a opakujících se úkolů, ale pokročilé technologie a složitější algoritmy přinášejí komplikace. Například software pro plánování misí může robota poslat na úkol, který nedokáže dokončit – třeba projet konkrétní zatačku. Uživatel ví, že robot to zvládne, ale software může mít zabudované bezpečnostní limity, které tomu brání.

2.15.2. Konektivita

Problém může nastat přístup k mobilního signálu, což ztěžuje servis nebo diagnostiku robotů v terénu. Slabá nebo nulová konektivita je problém zejména při setkání s překážkou – robot bez pokynu stojí na místě, dokud překážka nepomine nebo dokud jej obsluha ručně nenavede, neinstruuje nebo nerestartuje. To je časově náročné a výrazně to snižuje očekávané úspory času.

2.15.3. Logistika – skrytá překážka autonomie a iluze nepřetržité práce

Jednu z nejvíce přehlížených výzev představuje logistika. Autonomie v zemědělství je často popisována jako krok, který změní způsob obhospodařování půdy. Diskuse o technologiích, algoritmech a samočinném řízení však obvykle zcela míjí jednu zásadní oblast – logistiku. Přitom je to právě logistika, nikoli software či senzory, která v každodenním provozu rozhoduje o tom, zda se autonomní systém stane užitečným pomocníkem, nebo jen lákavou vizí.

Jedná se o problém přesunu autonomních vozidel z jednoho místa na druhé, ale logistických výzev, které se přehlíží, je více – velikost polí, samotná velikost strojů a často vzdálené nebo rozptýlená umístění těchto polí. Jedním z prvních je samotný **přesun stroje na pole** – zatímco na vlastních pozemcích může robot pracovat bez obsluhy, přesuny mezi lokalitami, zejména po veřejných komunikacích, vyžadují jasně stanovená pravidla. Pokud se stroj potřebuje **posunout jen o několik desítek metrů po silnici**, narážíme na legislativní i bezpečnostní omezení. V tuto chvíli je nejčastějším řešením převoz na přívěsu, zejména u strojů bez kabiny a řízení. Stejně tak se objevuje i problém, zda bude pro přesun vyžadován **například profesní řidičský průkaz**. A nakonec je tu každodenní praxe: **jednoduché úkoly**, jako je přesun z garáže k čerpací stanici nebo do dílny, se u strojů bez kabiny a manuálního řízení stávají složitějšími, protože ne vše lze nebo je vhodné řešit autonomně. Tyto provozní detaily ukazují, že plná autonomie neznamená jen vyřešit práci na poli, ale také promyslet celou logistiku kolem stroje – od dopravy po každodenní manipulaci (Rupp, 2024a).

Na první pohled se může zdát, že autonomie řeší většinu problémů sama ze sebe: stroje pracují bez přestávky, nepotřebují člověka na sedadle a dokážou efektivně vykonávat plánované úkoly. V praxi však autonomní systém nefunguje bez souvislostí. Každé pole, každý typ provozu a každé rozhodnutí v terénu vytváří logistické nároky, které je nutné řešit, ať už je stroj autonomní, nebo ne.

Velká část zemědělských pozemků je rozdělena do menších bloků či úseků, a to nejen z důvodu historického dělení půdy či charakteru krajiny. Nasazení autonomního systému na farmě s desítkami malých polí přináší paradox – technologie dokáže pracovat bez zásahu člověka, ale potřebuje jeho přítomnost k neustálému přesouvání mezi jednotlivými pozemky. Pokud stroj zvládne dokončit práci za méně než hodinu, zatímco jeho přesun trvá téměř stejně dlouho, začíná se vytrácet jeho výhoda. V

polních podmínkách se také ukázalo, že i velmi krátká pracovní doba na jednom úseku může znamenat téměř stejně dlouhý přesun a přípravu na další.

Z technologického hlediska se rovněž prosazují autonomní traktory a systémy konvoje, kdy jeden operátor dohlíží na více strojů současně. Podle Deutze a Neumanna (2024) je v Německu i Česku rozvoj těchto technologií brzděn nejasným legislativním rámcem, nicméně trend směřuje k jejich postupné legalizaci v reálném provozu.

2.15.4. Fyzická omezení strojních zařízení

Při pohledu na strojní zařízení, která pracují především v rostlinné produkci, sledujeme trend výkonných a velkých traktorů s výkonem okolo 450 kW. Je to rovněž dáno kombinací záběru strojů, pracovní rychlosti tahové síly a účinnosti. Adekvátně výkonu musí být traktor dostatečně těžký. Dotížení traktoru se pohybuje v rozmezí od 60 do 70 kg/kW, resp. od 21 000 do 31 000 kg celkové hmotnosti. Například 36 řádkový secí stroj pro přímé setí, pracující rychlostí 10 km/h vyžaduje cca 6.25 kW/řádek. K tomu je zapotřebí dodržovat doporučené huštění a rozměry pneumatik dané výrobcem. Zde také platí vztah mezi huštěním pneumatik a půdou. V souvislosti s tím je doporučováno snižování tlaku v pneumatikách na minimum s ohledem na maximální výkonnost a spotřebu paliva. Při dalším navyšování výkonu traktoru nad současný trend budou muset být navyšovány další limity. Jedná se například o navyšování zátěže pneumatik, velikostí pneumatik, počtu pneumatik na nápravu nebo počtu náprav. Zde však narážíme na omezení jako maximální šíře traktoru a zařízení v rámci evropských zemí 3 a 3,5 m. Další limit představuje maximální možné zatížení na nápravu 15 000 kg (Shearer a Pitla 2013).

Autonomie v zemědělství bývá prezentována jako nevyhnutelný krok vpřed – fascinující technologie, která slibuje plynulý provoz bez přestávek, snížení nároků na pracovní sílu a výrazné zvýšení efektivity. Tento obraz budoucnosti je lákavý a často dominuje diskusím o modernizaci zemědělství. Skutečná cesta k autonomii však vede skrze mnohem složitější terén, než by se mohlo zdát. Jednou z největších, a přesto nejméně diskutovaných výzev je logistika, která v praxi rozhoduje o tom, zda se autonomní systémy stanou běžnou součástí provozu, nebo zůstanou jen atraktivní vizí.

2.15.5. Velikost polí, velikost strojů

Dalším faktorem je samotná velikost používané techniky. Čím větší je stroj, tím komplikovanější je jeho přemísťování. I krátký přesun mezi poli může vyžadovat speciální přívěs, vhodné komunikace a někdy i řidičské oprávnění příslušné skupiny, které není samozřejmostí. V každodenním provozu to znamená, že autonomní systém často není tak autonomní, jak bylo zamýšleno. Autonomie tak často naráží na jednoduchý fyzikální fakt: velké stroje se obtížně přesouvají. Přesun robustního zařízení mezi poli

nemusí být jen otázkou času, ale i infrastruktury. Pro přepravu mohou být zapotřebí speciální přívěsy, zpevněné cesty nebo povolení, která nejsou běžně dostupná. U menších polí se tak může stát, že čas investovaný do přesunu převyší čas autonomní práce.

Právě zde se ukazuje, že autonomie není jen technologickým problémem, ale i provozním. V malých a členitých regionech představují přesuny hlavní překážku. Větší a těžší stroje jsou efektivní na velkých souvislých pozemcích, ale jejich využití v rozdrobené krajině je komplikované.

Autonomie tak naráží na hranici svého fyzického rozměru: velké stroje jsou efektivní na velkých plochách, ale běžné farmy s menšími a rozptýlenými poli představují zcela jiné provozní podmínky.

2.15.6. Rozptýlené pozemky – každodenní realita

Mnozí zemědělci hospodaří na pozemcích rozmístěných na více místech. To přináší další každodenní otázky:

- Jak dostat autonomní stroj na vzdálené pole?
- Jak se dostane operátor zpět?
- Kolikrát denně je reálné stroj přemísťovat?

V některých případech se ukazuje, že nejefektivnějším řešením je ponechat stroj dlouhodobě umístěný na jednom místě, pokud je zde dostatek práce. Jinde se využívají doprovodná vozidla, která umožňují rychlé přesuny lidí i techniky. Každé řešení je však kompromisem – a zejména časovým (Hekkert 2025).

2.16. Autonomie jako přirozený krok, nikoli revoluce

Autonomní technologie nepřichází s cílem zcela změnit tradiční postupy. Je to další fáze vývoje zemědělské techniky, která má posílit to, co již funguje. Zemědělci jsou zvyklí na vybavení, které je univerzální a flexibilní – traktory a stroje, které zvládnou mnoho různých úkolů během jediné sezóny. Jakákoli autonomní technologie musí proto respektovat tuto realitu (Rupp 2024b).

Praktická autonomie musí být:

- **kompatibilní se stávajícími postupy,**
- **mobilní a snadno přesouvatelná,**
- **schopná pracovat v různorodé krajině,**
- **doplňková, nikoli omezující.**

Ani s nejpokročilejšími systémy nelze předpokládat, že stroje budou zcela bezobslužné. Vždy nastanou chvíle, kdy bude třeba lidská přítomnost – při manévrování v úzkém prostoru, při řešení komplikací nebo při běžných přesunech po farmě. Pokud je autonomie chápána jako náhrada lidské práce, vzniká nebezpečné nedorozumění. Praktická zkušenost ukazuje, že autonomie neodstraňuje člověka z procesu

– pouze mění podobu jeho práce. Místo neustálého řízení stroje se pozornost přesouvá k plánování tras a úkolů, logistice přesunů, dohledu nad provozem a kontrole bezpečnosti.

Moderní autonomní systém proto nemůže fungovat bez možnosti manuálního zásahu – ať už pro přesun v úzkém prostoru, najíždění do stodoly, nebo zvládnutí neočekávané situace v terénu.

2.16.1. Budoucnost autonomie stojí na respektu k realitě

Autonomie zemědělství nebude tvořena představami o bezobslužných strojích, které běží dny bez zásahu. Skutečná budoucnost bude stát na technologiích, které respektují provozní realitu – velikost polí, jejich rozptýlenost, nutnost manévrování, potřebu lidského dohledu a rozumné nároky na přesun.

Budoucnost autonomie je tedy nejen technologická, ale především logistická.

Pokud má autonomie přinést skutečnou hodnotu, musí se vypořádat s praktickými překážkami každodenního provozu. Zdaleka nejde jen o technologie – jde o logistiku, organizaci práce a způsob, jakým je zemědělství rozložené v prostoru. Největším krokem vpřed nebude „dokonalý autonomní stroj“, ale systém, který se dokáže flexibilně přizpůsobit rozmanitým podmínkám různých farem.

Autonomie tedy nestojí na pouhém odstranění řidiče. Jejím cílem je **zjednodušit farmářům práci**, nikoli je nutit přizpůsobit se stroji. Perspektivní budou ta řešení, která budou reagovat na skutečné provozní výzvy – a která dokážou spojit technologický pokrok s každodenní realitou zemědělské práce.

2.16.2. Technologická připravenost strojů

Z hlediska samotné techniky záleží na řadě faktorů, zda je stroj vhodný pro autonomní provoz:

- jaký typ převodovky používá,
- jak je řešeno brzdění,
- zda je možné stroj napojit na přesné řízení,
- jak snadné je doplnění bezpečnostních prvků.

Jak ukazují příklady z praxe, mnoho starších strojů je pro autonomní provoz překvapivě vhodných, pokud mají stabilní a jednoduché mechanické prvky. Autonomie tedy nevyklučuje tradiční stroje; naopak, mnohé z nich mohou být díky své konstrukci pro autonomní provoz ideální (viz Obr. 15).

2.17. Optimalizace tvaru pozemků z pohledu robotiky

V případě nasazení robotické platformy je potřeba počítat s dalšími změnami v logistice. Proměna krajinného prostoru ve vztahu k využití pozemních polních robotů vyvolává nové požadavky na uspořádání zemědělské krajiny i na její technickou infrastrukturu. Pro efektivní práci autonomních robotických prostředků je nezbytné, aby pozemky i jejich vnitřní členění umožňovaly plynulý a bezpečný pohyb techniky, včetně minimalizace překážek, jako jsou remízky, solitérní stromy či konstrukce technické infrastruktury. Dosavadní zkušenosti ukazují, že efektivita robotických systémů nezávisí pouze na jejich pracovním výkonu a spolehlivosti, ale také na prostorových podmínkách, především na tvarové jednoduchosti a vzájemné návaznosti půdních bloků. Výrobci robotických platforem proto integrují software pro plánování optimálních pracovních trajektorií, jehož výpočetní náročnost významně ovlivňuje právě tvar pozemku. Optimalizace vnitřních částí půdních bloků tak často zahrnuje jejich dělení do pravidelných produkčních parcel respektujících pracovní záběry robotů i konvenční techniky. V rámci těchto úprav je třeba zohlednit také dostupnost vstupů na pozemky, možnosti přejíždění techniky, potřebu servisních zón a vlastnické vztahy, které určují reálnost navržených změn. Pro podporu těchto rozhodnutí se využívají metody multikriteriální faktorové analýzy a ukazatele tvarové vhodnosti, které pomáhají identifikovat pozemky vyžadující úpravy. Výsledkem je krajinný celek lépe přizpůsobený autonomnímu provozu, jenž umožňuje optimalizovat pohyb robotických platforem na produkčních plochách i mezi nimi a tím zvýšit efektivitu hospodaření.

Na modelovém příkladu členitého pozemku lze demonstrovat možnosti tvarových změn, optimalizace tras a tvaru pozemku, které vedou, i za cenu snížení výměry hlavních produkčních ploch, k efektivnější práci souprav. Zejména pokud hovoříme o robotických soupravách, je tento krok důležitým předpokladem pro práci robota. Na příkladu členitého pozemku lze demonstrovat změny v tvarovém uspořádání hranic, které byly navrženy tak, aby se minimalizovaly otočky, nepravidelné tvary hranic pozemků a celkově byly trajektorie navrženy tak, aby nedocházelo k překryvům jízd, ale aby na sebe jednotlivé jízdy navazovaly.

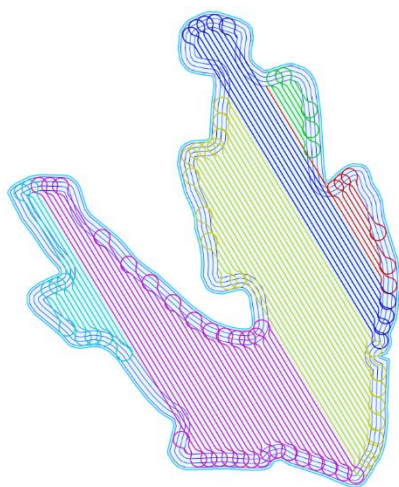
Obrázky 17 a tabulka 2 vyjadřuje ukazatele jízd po pozemcích, kdy byly postupně navrhovány úpravy tvaru pozemku.

Tabulka 2: Modelové hodnoty délek jízd vycházející z modelových návrhů uprav tvaru pozemku.

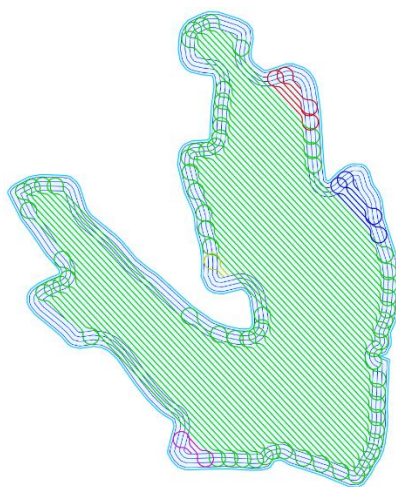
	Azimut	Délka celkem (m)	Linie (m)	Oblouky (m)	Počet oblouků	Souvratě (m)	Přejezdy (m)	Plocha (m ²)	Plocha souvratě (m ²)	Podíl souvratě na plochu (%)
A	149°	56293,0	30477,5	8610,0	81	15235,3	1970,1	384417,0	137117,9	35,7
B	137°	57575,0	31309,1	8610,0	81	15235,3	2420,5	384417,0	137117,9	35,7

C	137°	55847,0	30941,3	8078,5	76	14998,8	1828,4	379513,8	134989,1	35,6
D	137°	52888,0	29712,1	7759,6	73	14477,3	938,9	369165,3	130296,1	35,3
E	137°	50045,1	27963,3	7653,3	72	13535,8	892,7	344504,1	121821,8	35,4
F	137°	48038,7	27026,3	7865,9	74	12074,6	1071,8	329568,2	108671,7	33,0
G	137°	47051,8	26535,9	7653,3	72	11913,4	949,2	326099,8	107220,5	32,9
H dělení	137°									
pozemku	168°	55817,6	28453,8	8291,1	78	17218,4	1854,3	326099,8	154965,8	47,5
H díl 1	137°	29525,7	15179,8	4570,7	43	8909,5	865,7	193493,4	80185,3	41,4
H díl 2	168°	26291,8	13274,0	3720,4	35	8308,9	988,5	179440,7	74780,5	41,7

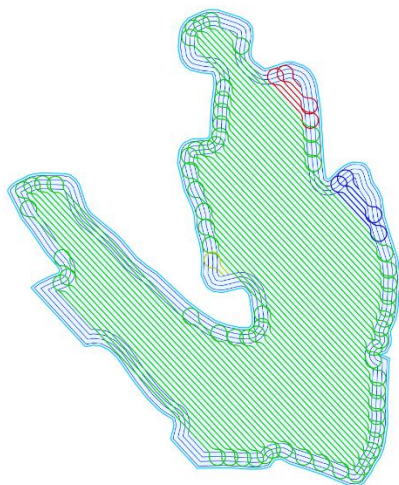
A



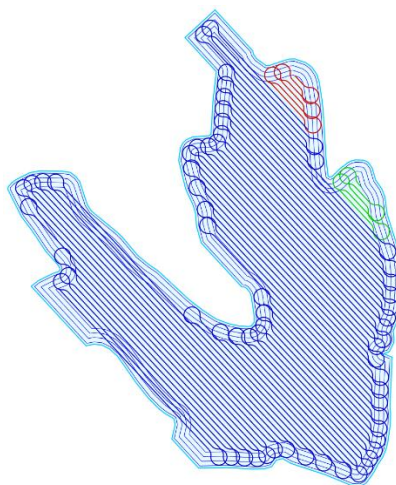
B



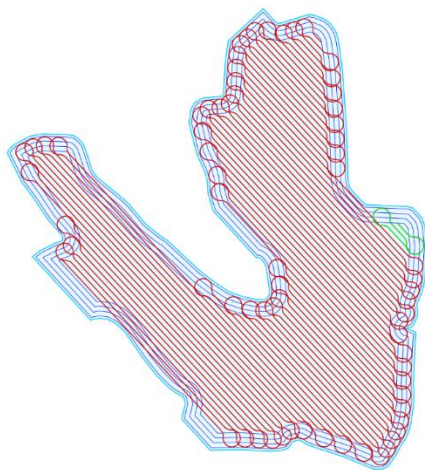
C



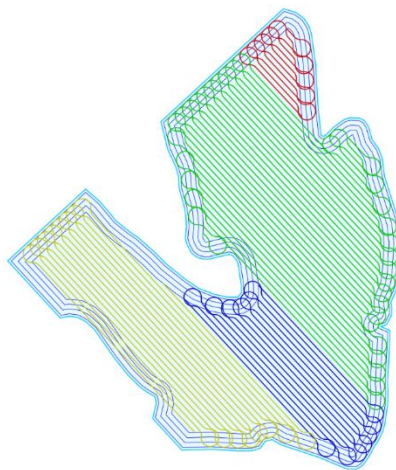
D



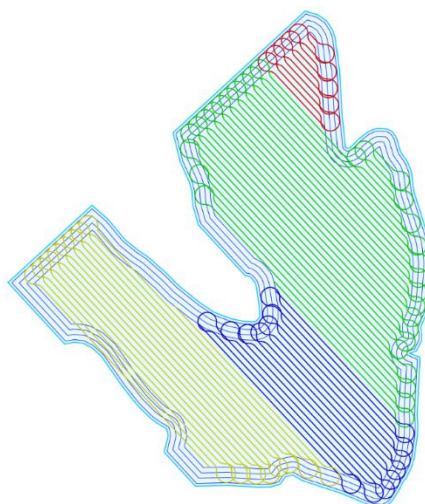
E



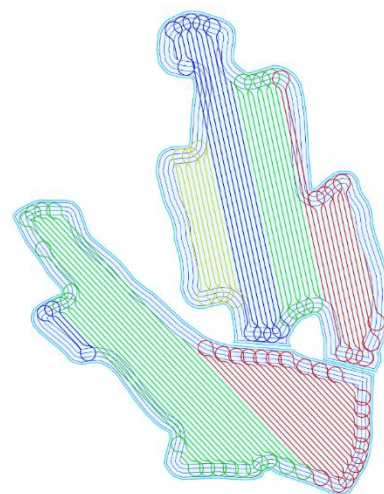
F



G



H

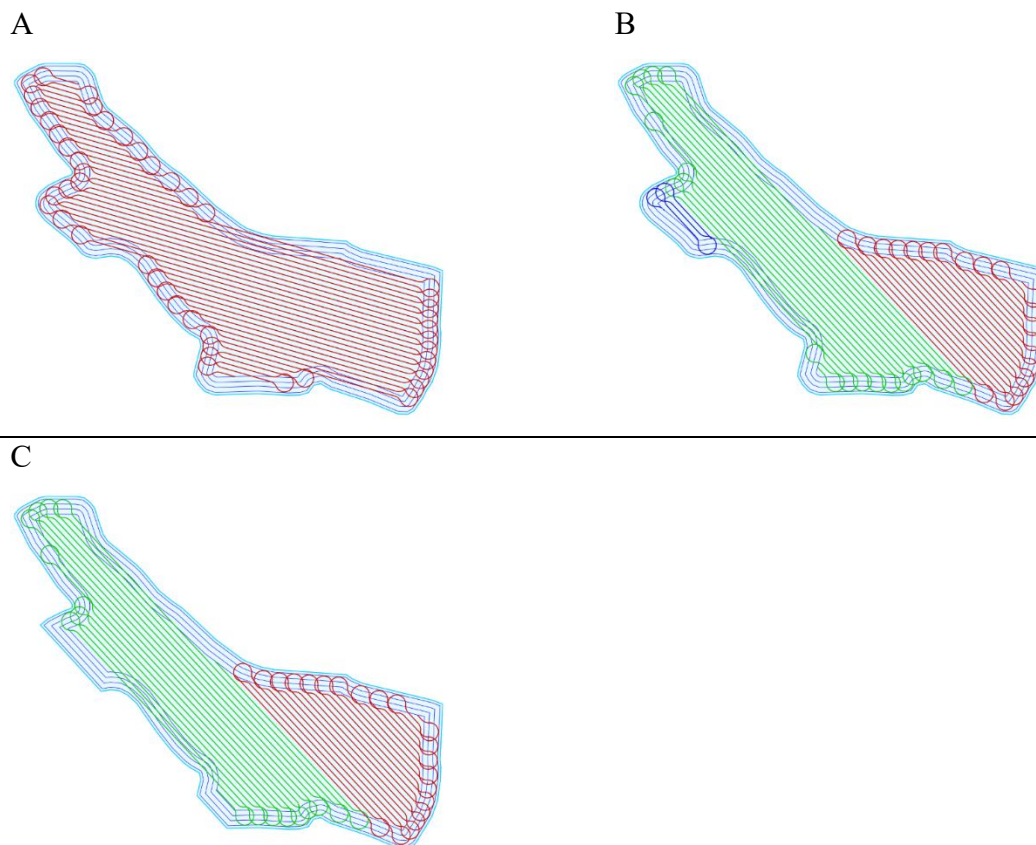


Obr. 17: Modelové návrhy optimalizace tvaru pozemků.

Pokud se zaměříme pouze na část pozemku pod označením H1, můžeme rovněž pozorovat dopad tvarových změn na provozní ukazatele (Tab. 3 a Obr. 18).

Tabulka 3: Modelové hodnoty délek jízd vycházející z modelových návrhů uprav tvaru pozemku.

	Azimut	Délka celkem (m)	Linie (m)	Oblouky (m)	Počet oblouků	Souvratě (m)	Přejezdy (m)	Plocha (m ²)	Plocha souvratě (m ²)	Podíl souvratě na plochu (%)
A	106°	28908,7	15003,3	4995,9	47	8909,5	0,0	198385,5	80185,3	40,4
B	137°	29525,7	15179,8	4570,7	43	8909,5	865,7	198385,5	80185,3	40,4
C	137°	27824,7	14805,2	4039,3	38	8673,0	307,2	193493,4	78057,1	40,3



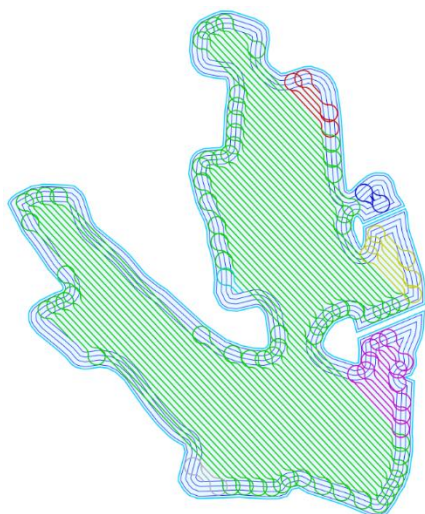
Obr. 18: Modelové návrhy optimalizace tvaru pozemků.

Celkem běžným jevem na našich pozemcích jsou překážky v podobě nejčastěji sloupů elektrického vedení. Mohou to být pochopitelně další, včetně například remízků, skal apod. Jak se projeví drobná úprava tvaru, dokládá tabulka 4 a obrázek 19. Úprava spočívá v napřimování hranic a také přesné navazování jednotlivých jízď.

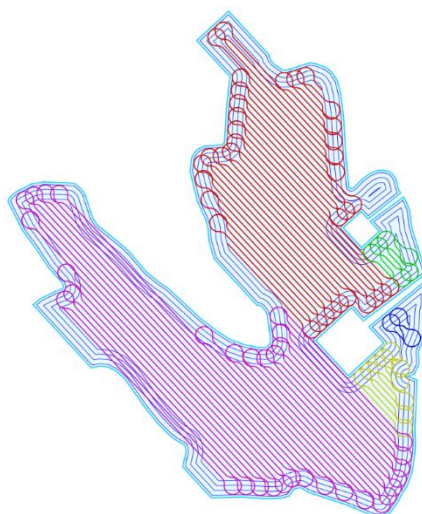
Tabulka 4: Modelové hodnoty délek jízď vycházející z modelových návrhů uprav tvaru pozemku.

	Azimut	Délka celkem (m)	Linie (m)	Oblouky (m)	Počet oblouků	Souvratě (m)	Přejezdy (m)	Plocha (m ²)	Plocha souvratě (m ²)	Podíl souvratě na plochu (%)
A	137°	59711,9	28307,0	10310,8	97,0	17999,4	3094,7	377463,3	161994,9	42,9
B	137°	54817,4	25978,4	9354,1	88,0	17791,9	1693,1	356524,5	160126,7	44,9

A



B



Obr. 19: Modelové návrhy optimalizace tvaru pozemků.

2.18. Autonomní prvky v ovládání traktorů a pracovních částí strojů

Jedním z výrazných prvků autonomního ovládání strojů je řízení sekcí nebo dnes také jednotlivých trysek postřikovače. Automatické řízení sekcí cílí na výrazné zlepšení účinnosti zásahů, především na souvratích, kde dochází k opakovaným přejezdům, ale především k opakovaným aplikacím postřiků, hnojiv a přesévání ploch. Výrazně vyšší ekonomický prospěch z autonomních funkcí lze pozorovat především na menších pozemcích. Z rozdílných literárních zdrojů a vlastních polních měření vyplývá, že například opakovaně oseté plochy dosahují hodnot 0,1 až 15,5 % z celkové oseté plochy při absenci sekční kontroly Velandia a kol. (2013). Corassa a kol. (2018) zaznamenali, že dvojité oseté plochy zaujímají 5,5 % z celkové plochy s nárůstem hodnoty u nepravidelných pozemků. Luck a kol. (2010) zdokumentovali snížení potřeby pesticidů o 1 až 8 % při použití sekční kontroly. Troesch a kol. (2010) uvádí hodnoty až 15,2 %, resp. 17,5 %. Autonomní funkce se tak stávají běžnou součástí výbavy traktorů a přípojných strojů. K výrazným chybám a také variabilitě v oblastech souvratí přispívají také chyby při manuálním ovládání stroje. Jak uvádí Ward (2020), například u rozmetadel minerálních hnojiv byla zjištěna chyba v průměru 6,91 m (rozmezí 1,2 až 12,4 m) při zapínání rozmetání oproti požadované poloze. Chyby spojené s vypínáním rozmetadla, oproti optimální poloze, byly menší (v průměru 3,95 m) s variabilitou průměrných polohových chyb v rozmezí od 2,1 do 10,1 metru.

2.19. Kyberbezpečnost v zemědělském sektoru.

Rozvoj digitálních technologií zásadně proměňuje podobu moderního zemědělství a potravinářství. Koncept Zemědělství 4.0, založený na využívání senzorů, IoT, umělé inteligence (AI), velkých dat a automatizovaných systémů řízení, přináší nové možnosti zvyšování efektivity, kvality produkce i udržitelnosti. Současně však otevírá prostor pro vznik zcela nových zranitelností. Jak upozorňují poslední výzkumy, sektor potravinářství a zemědělství je stále častěji vystaven škodlivým kybernetickým aktivitám, jejichž důsledky mohou přesáhnout jednotlivé podniky a ovlivnit kritickou infrastrukturu, potravinovou bezpečnost i národní ekonomiku.

Rostoucí využívání moderních technologií v potravinářském a zemědělském sektoru zvýšilo potřebu jejich zabezpečení. Tabulka 5 analyzuje třicet kybernetických incidentů, které se odehrály mezi červencem 2011 a dubnem 2023. Informace o nich byly shromážděny z vícero zdrojů – od interních zpráv postižených organizací, přes blesková upozornění FBI, až po veřejně dostupné mediální zprávy. Každý incident je doplněn o popis hrozby, výši škody či výkupného a přehled dopadů na provoz organizace. Z výsledků je patrné, že frekvence kybernetických útoků v tomto sektoru významně roste. Nejčastějšími typy útoků jsou ransomware, narušení dodavatelských řetězců, úniky dat a manipulace s provozními systémy.

Tab. 5: Kybernetické incidenty v sektoru potravin a zemědělství (2011–2023) (Kulkarni a kol. 2025).

Rok	Organizace	Země	Finanční ztráta (mil. USD)	Ztráta dat	Výpadek služeb	Typ útoku
2011–2016	Monsanto	USA	–	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2013	Target Corporation	USA	202	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2016	Wendy's	USA	50	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2017	Chipotle	USA	–	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2017	Mondelez International	USA	180	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2017	Whole Foods	USA	–	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2020	Takeaway.com	Německo	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2020	Agromart Group	Kanada	–	ano	Ne	Ransomware

Rok	Organizace	Země	Finanční ztráta (mil. USD)	Ztráta dat	Výpadek služeb	Typ útoku
2020	Harvest Sherwood Food Distributors	USA	7.5	ano	Ne	Ransomware
2020	International Food & Agriculture Company*	USA	40	ano	Ne	Ransomware
2020 & 2023	Americold Logistics	USA	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2020	Campari Group	Itálie	15	ano	ano	Ransomware
2021	Kroger	USA	5	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2021	Agricultural Farm*	USA	9	ne	ano	Ransomware
2021	Molson Coors	USA	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2021–22	John Deere	USA	–	ne	Ne	Porušení ochrany dat
2021	JBS Foods	USA	11	ne	ano	Ransomware
2021	McDonald's	USA, SK, Taiwan	–	ano	Ne	Porušení ochrany dat
2021	Baking Company*	USA	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2021	Crystal Valley	USA	–	ne	ano	Ransomware
2021	NEW Cooperative	USA	5.9	ne	ano	Ransomware
2021	Schreiber Foods	USA	2.5	ne	ano	Ransomware
2022	KP Snacks	UK	–	ano	ano	Ransomware
2022	Feed Milling Company*	USA	–	ne	Ne	Narušení dodavatelského řetězce
2022	Multi-state Grain Company*	USA	–	ne	ne	Narušení dodavatelského řetězce
2022	Italské ministerstvo zemědělství	Itálie	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2022	Apetito Group	UK	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2022	Maple Leaf Foods	Kanada	30.7	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce

Rok	Organizace	Země	Finanční ztráta (mil. USD)	Ztráta dat	Výpadek služeb	Typ útoku
2023	Dole plc	USA	10.5	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce
2023	Irrigation Attack (Galil)	Izrael	–	ne	ano	Narušení dodavatelského řetězce

(„ano“ = potvrzená ztráta dat / služeb; „ne“ = bez potvrzení)

3. Srovnání novosti postupů

Sdílení praktických zkušeností mezi zemědělci představuje významný přínos k novosti těchto postupů. Robotické technologie jsou v zemědělství stále relativně nové a jejich využití se rychle vyvíjí. Mnoho řešení proto nevzniká pouze na základě technických doporučení výrobců, ale především díky zkušenostem z reálného provozu. Výrobci a uživatelé si předávají poznatky o tom, jak technologie fungují v různých podmínkách, jaké přinášejí úspory, kde se objevují problémy a jak je možné je řešit. Sdílení zkušeností zároveň urychluje zavádění inovací do praxe. Praktické příklady z provozu pomáhají ostatním podnikům lépe posoudit využitelnost technologií pro vlastní hospodaření a snižují obavy spojené s investicemi do nových systémů. Přenos zkušeností mezi farmáři tak podporuje nejen širší využívání robotiky, ale také další rozvoj a přizpůsobování technologií konkrétním potřebám zemědělské praxe.

Praktické zkušenosti uživatele s provozem autonomního polního robota

Následující část shrnuje zkušenosti zemědělského podniku s praktickým provozem autonomního polního pásového robota v podmínkách rostlinné výroby, včetně motivačních pobídek, které ho k pořízení vedly. Informace vycházejí z dlouhodobějšího provozního testování a představují pohled uživatele na možnosti využití autonomních technologií v běžné zemědělské praxi.

Motivace k pořízení autonomního stroje

Hlavním důvodem pro úvahy o využití autonomního robota byla potřeba zvládat více pracovních operací současně během období sezónních pracovních špiček. Podnik vnímá autonomní technologii jako možnost zvýšení provozní flexibility bez nutnosti pořizování dalšího klasického traktoru a bez potřeby zaměstnání další obsluhy.

Významným přínosem je zejména schopnost robota vykonávat vybrané pracovní operace samostatně v době, kdy je obsluha vytížena jinými činnostmi. Robotická platforma tak pomáhá optimalizovat využití pracovních sil i stávající mechanizace.

Oblasti využití robotického stroje

Autonomní robot byl využíván především pro standardní polní operace v rostlinné výrobě. Největší potenciál uživatel vidí zejména v:

- přípravě půdy,
- mělkém zpracování půdy,
- setí meziplovin,
- setí.

V současné době podnik neuvažuje o využití robota pro aplikaci přípravků na ochranu rostlin ani pro hnojení. Důvodem jsou zejména vyšší požadavky na bezpečnost provozu, přesnost aplikace a legislativní omezení.

Zkušenosti s jednotlivými pracovními operacemi

Praktické zkušenosti ukázaly, že provozní vlastnosti autonomního robota jsou výrazně ovlivněny typem použitého nářadí, půdními podmínkami a charakterem pozemku.

Při použití čtyřmetrového diskového podmítače docházelo zejména na utužených souvratích k působení výrazných bočních sil na robotickou platformu. Tyto síly způsobovaly odchylování stroje od plánované jezdové linie. Pokud byla překročena maximální povolená odchylka od trajektorie, robot automaticky zastavil pracovní operaci z bezpečnostních důvodů.

Problematické podmínky nastávaly také při práci ve vlhké půdě, kdy docházelo ke zvýšenému prokluzu pásového podvozku.

Z těchto důvodů byla většina dalších pracovních operací realizována s nářadím o pracovním záběru přibližně 3 m, čímž došlo k omezení působení bočních sil a ke stabilnějšímu vedení stroje po trajektorii.

V provozu byly využívány například:

- kypřič Horsch Terrano,
- diskový podmítač,
- rotační brány,
- secí technika pro meziplovinu.

Zkušenosti ukázaly, že menší pracovní záběry jsou pro současné autonomní platformy z hlediska stability provozu vhodnější.

Provoz bez přímého dohledu

Podnik realizoval část pracovních operací také bez přímé fyzické přítomnosti obsluhy, a to včetně nočního provozu. Přesto je běžný provoz robota v současnosti realizován převážně v časovém rozmezí přibližně od 8:00 do 18:00 hodin.

Uživatel vnímá možnost autonomního nočního provozu jako významnou výhodu, avšak současně upozorňuje na nutnost:

- vzdáleného monitoringu,
- pravidelné kontroly provozu,
- spolehlivého mobilního připojení,
- kvalitního osvětlení pracovního prostoru.

Transport stroje mezi pozemky

V případě hodnoceného podniku nepředstavuje transport autonomního stroje zásadní problém. Pozemky se nacházejí v bezprostřední blízkosti farmy a přesuny probíhají převážně po polních cestách mimo veřejné komunikace. Pohyb robota po vlastní ose je proto v podmínkách podniku možný bez větších organizačních komplikací. Uživatel však upozorňuje, že v podmínkách podniků s větší vzdáleností pozemků nebo s nutností přepravy po veřejných komunikacích by transport mohl představovat významné provozní omezení.

Takto byla informace podána zástupcem zemědělského podniku a jedná se o specifické možnosti a řešení podniku. Pro úplnost je potřeba doplnit a zdůraznit, že přejezdy po veřejných komunikacích zde narážejí na legislativní překážku. Běžná silniční homologace (Schválení typu vozidla podle nařízení EU 167/2013 pro traktory) vyžaduje přítomnost řidiče. Rovněž platí, že ačkoliv polní cesta nemusí být oficiálně cestou, tak splňuje definici „účelové pozemní komunikace“ viz. Zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích. V aktuálním znění zákon upravuje zejména kategorizaci pozemních komunikací, jejich užívání a ochranu a práva a povinnosti vlastníků a uživatelů komunikací. Rozlišuje dálnice, silnice, místní komunikace a účelové komunikace. Pro zemědělství jsou zvláště důležité právě účelové komunikace, protože do této kategorie mohou spadat komunikace sloužící ke spojení jednotlivých nemovitostí nebo k obhospodařování zemědělských a lesních pozemků. Zákon č. 13/1997 Sb. sám o sobě neřeší, zda konkrétní autonomní zemědělský robot smí jezdit bez řidiče po veřejné komunikaci. Pro posouzení takového provozu je nutné jej číst společně zejména se zákonem č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, a zákonem č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Při provozu autonomních zemědělských prostředků je nutné rozlišovat

jejich pracovní nasazení na zemědělském pozemku a pohyb po pozemních komunikacích. Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, nevymezuje samostatnou kategorii autonomních zemědělských robotů. Mezi zvláštní vozidla však podle § 3 odst. 3 řadí mimo jiné zemědělské nebo lesnické traktory a pracovní stroje samojízdné. Pracovní stroje samojízdné podléhají podle § 78 schválení technické způsobilosti a podle § 79 se na jejich registraci vztahuje část druhá tohoto zákona. Zařazení konkrétního autonomního prostředku do příslušné kategorie je proto nutné posuzovat podle jeho konstrukce, účelu a schválení.

Samotný provoz na pozemních komunikacích upravuje zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích. Ani tento zákon nevymezuje samostatnou kategorii autonomního polního robota nebo autonomního pracovního stroje. Obsahuje však právní úpravu „automatizovaného vozidla“. Podle § 2 písm. d) je za řidiče takového vozidla považována osoba sedící na sedadle řidiče a podle § 79b musí být při automatizovaném řízení připravena bezpečně převzít řízení a na výzvu vozidla tak neprodleně učinit. Tuto právní úpravu proto nelze bez dalšího vztahovat na bezobslužné polní roboty, zejména na prostředky bez sedadla a stanoviště řidiče. Skutečnost, že je zemědělský prostředek technicky schopen autonomní pracovní činnosti na poli, sama o sobě neznamena oprávnění k jeho bezobslužnému provozu na pozemních komunikacích. Při plánování přesunů autonomních prostředků mezi pozemky je proto nezbytné vycházet z právní kategorie a technického schválení konkrétního prostředku a z požadavků právních předpisů vztahujících se na jeho provoz. Tyto právní předpisy v podstatě rovněž zdůrazňují významný provozní a ekonomický limit autonomie, uváděné v práci Spykman a kol. (2026), který byl citován výše. Poukazuje na nutnost lidské práce při přesunech robota po veřejných komunikacích.

Pracovní doba a míra autonomie

Délka pracovního nasazení robota závisela zejména na typu operace, počasí a organizaci práce podniku. Významná část pracovního času mohla probíhat bez přímého dohledu obsluhy, přičemž operátor kontroloval provoz prostřednictvím vzdáleného monitorovacího systému.

Praktické zkušenosti potvrzují, že autonomní technologie mohou významně prodloužit efektivní denní dobu nasazení techniky, zejména při jednodušších operacích s nižším rizikem komplikací.

Optimalizace hranic pozemků

Podnik zatím neprováděl speciální optimalizaci hranic pozemků pro autonomní provoz. Souvratě bývají ve většině případů zpracovávány klasickým traktorem se stejným pracovním nářadím.

Uživatel však připouští, že do budoucna může být optimalizace tvaru pozemků a souvratí významným faktorem pro zvýšení efektivity autonomního provozu, zejména z důvodu:

- omezení počtu otáček,
- zkrácení neproduktivních přejezdů,
- zjednodušení plánování tras.

Využití inteligentního nářadí

Za perspektivní oblast dalšího vývoje je považováno využití pracovního nářadí vybaveného senzory a možností komunikace s robotickou platformou.

Uživatel by ocenil zejména systémy schopné automaticky detekovat:

- poškození pracovních orgánů,
- ucpání nářadí,
- nefunkčnost jednotlivých částí stroje,
- zastavení pohyblivých částí,
- změnu pracovního odporu.

Takové systémy by mohly výrazně zvýšit provozní spolehlivost autonomních souprav a omezit potřebu fyzických kontrol stroje během práce.

Uživatelské prostředí a plánovací software

Obsluha plánovacího softwaru byla uživatelem hodnocena jako relativně jednoduchá, avšak zejména v počáteční fázi provozu působilo prostředí poměrně složitě.

Za důležité uživatel považuje:

- intuitivní ovládání,
- přehlednost plánování,
- jednoduché nastavování parametrů,
- stabilitu online prostředí,
- kvalitní technickou podporu výrobce.

Současně bylo konstatováno, že výrobci autonomních systémů plánovací software průběžně rozvíjejí a optimalizují na základě praktických zkušeností uživatelů.

4. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena pro zemědělské podniky, poradenské organizace, vzdělávací instituce i orgány státní správy jako podpora při rozhodování o zavádění robotických a autonomních systémů do zemědělské

praxe. Uplatnění metodiky spočívá zejména v identifikaci vhodných oblastí pro robotizaci, posouzení technické a ekonomické připravenosti podniku a návrhu postupů pro efektivní integraci nových technologií do provozu. Metodika může sloužit také jako podklad pro přípravu investičních projektů, vzdělávání pracovníků nebo ověřování nových technologických řešení v podmínkách zemědělských podniků. Důležitou součástí jejího uplatnění je sdílení praktických zkušeností mezi zemědělci, výzkumnými organizacemi a technologickými firmami, které umožňuje rychlejší přenos poznatků do praxe, omezení rizik při zavádění nových systémů a další rozvoj inovativních postupů v precizním a automatizovaném zemědělství.

5. Ekonomické aspekty

Autonomní technologie představují významný prvek modernizace zemědělských podniků a současně jeden z hlavních směrů rozvoje precizního zemědělství. Jejich zavádění do rostlinné výroby přináší nejen technologické a organizační změny, ale také zásadní ekonomické dopady. Posouzení ekonomické efektivnosti pořízení a provozu autonomních systémů je proto klíčovou součástí rozhodovacího procesu zemědělského podniku.

Investiční náklady

Z ekonomického hlediska představuje nejvýznamnější faktor vysoká počáteční investice. Pořizovací náklady autonomních technologií zahrnují nejen náklady na samotný stroj, ale také na:

- software a licence,
- datovou infrastrukturu,
- komunikační technologie,
- školení pracovníků,
- servisní a technickou podporu,
- případné úpravy provozního zázemí podniku,
- optimalizace tvaru pozemků,
- logistické zabezpečení.

Celkové investiční náklady bývají zpravidla vyšší než u konvenční mechanizace. U specializovaných autonomních systémů může být významnou položkou také pravidelná aktualizace softwaru a kompatibilita s ostatními digitálními systémy podniku.

Provozní náklady

Provoz autonomních technologií je charakteristický odlišnou strukturou nákladů oproti klasické mechanizaci. Dochází zejména ke snížení nákladů na lidskou práci, avšak současně roste význam nákladů na servis, správu dat a technickou podporu.

Mezi hlavní provozní náklady patří:

- spotřeba energie nebo pohonných hmot,
- údržba a servis zařízení,
- softwarové licence,
- vzdálená diagnostika a aktualizace,
- pojištění technologie,
- odborná technická obsluha.

V případě elektrických autonomních systémů může docházet ke snížení energetických nákladů i omezení utužení půdy díky nižší hmotnosti strojů.

Úspora pracovních sil

Jedním z hlavních ekonomických přínosů autonomních technologií je omezení potřeby lidské práce. Zemědělství dlouhodobě čelí nedostatku kvalifikovaných pracovníků a rostoucím mzdovým nákladům.

Autonomní systémy umožňují:

- provoz s minimální obsluhou,
- delší pracovní nasazení,
- práci v nočních hodinách,
- zvýšení přesnosti pracovních operací,
- snížení chyb způsobených lidským faktorem.

Ekonomický efekt se výrazněji projevuje zejména u podniků s větší výměrou zemědělské půdy a vyšším ročním využitím techniky.

Úspora vstupů a zvýšení efektivity výroby

Autonomní technologie jsou úzce spojeny s principy precizního zemědělství. Díky využití senzorů, kamerových systémů a datové analýzy mohou také umožňovat cílenou aplikaci vstupů pouze na potřebná místa.

Dochází tak ke:

- snížení spotřeby hnojiv,
- omezení aplikace pesticidů,

- snížení spotřeby osiva,
- redukci překryvů pracovních záběrů,
- optimalizaci pracovních tras.

Přesnější hospodaření může vést nejen ke snížení provozních nákladů, ale také ke zvýšení kvality a stability výnosů.

Hodnocení ekonomické efektivnosti

Pro posouzení vhodnosti investice do autonomních technologií se využívají standardní ekonomické ukazatele:

- návratnost investice (ROI),
- doba návratnosti,
- čistá současná hodnota (NPV),
- vnitřní výnosové procento (IRR),
- analýza nákladů a přínosů.

Při ekonomickém hodnocení je nutné zohlednit:

- intenzitu využití technologie,
- velikost podniku,
- životnost systému,
- technologické riziko,
- očekávaný vývoj cen práce a vstupů,
- možnost dotační podpory.

Vliv dotačních programů

Významným faktorem ekonomické dostupnosti autonomních technologií jsou dotační programy podporující digitalizaci a precizní zemědělství. Podpora může mít formu:

- investičních dotací,
- zvýhodněných úvěrů,
- daňových zvýhodnění,
- podpory výzkumných a demonstračních projektů.

Dotační podpora snižuje počáteční investiční zatížení podniku a zkracuje dobu návratnosti investice.

Rizika a omezení

Přestože autonomní technologie přinášejí řadu ekonomických výhod, jejich zavádění je spojeno také s určitými riziky:

- vysoká pořizovací cena,
- rychlé technologické zastarávání,
- závislost na softwaru a datech,
- omezená kompatibilita systémů,
- náročnost servisu,
- potřeba kvalifikovaného personálu,
- legislativní a bezpečnostní omezení.

Ekonomická efektivnost bývá zpravidla vyšší u větších podniků nebo při sdílení technologií mezi více subjekty.

Optimalizace tvaru pozemků.

Jeden z ekonomických benefitů může představovat také optimalizace tvaru pozemků a zařazení neproduktivních ploch do osevního plánu. Zařazení neproduktivních ploch do okrajových částí nebo nepravidelných hranic pozemků nepředstavuje pouze environmentální opatření, ale může mít i významný ekonomický přínos. V rámci optimalizace tvaru pozemku lze ochranné pásy, ozeleněné kolejové řádky nebo souvratě umístit právě do částí s nejnižší produkční efektivitou, kde dochází k překryvům, utužení půdy, komplikované navigaci techniky a zvýšeným ztrátám při otáčení strojů. Tento krok je také významný z hlediska nasazení robotických platforem, kdy nepravidelné tvary mohou přinášet komplikace při navigaci. Dokument SIUZ uvádí využití ochranných pásů souvratí, ozeleněných kolejových řádků i prémiových neproduktivních ploch jako praktického nástroje optimalizace provozu na nepravidelných půdních blocích.

Ekonomický efekt vzniká zejména:

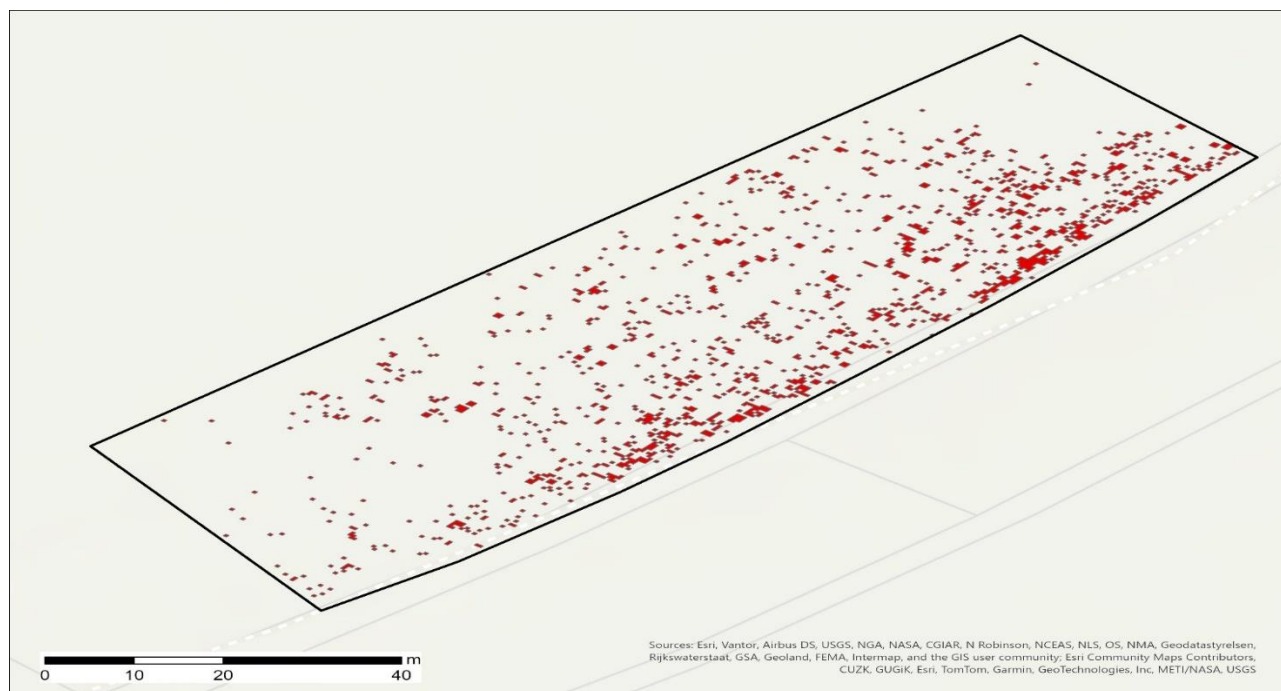
- snížením překryvů při setí, hnojení a aplikaci POR,
- omezením pojezdů a spotřeby PHM,
- redukcí neproduktivních přejezdů techniky,
- zlepšením organizace pracovních operací,
- eliminací nejslabších výnosových zón,
- a současně možností čerpání prémiových ekoplateb.

Prémiová celofaremní ekoplatba dosahuje podle podkladů SIUZ v roce 2025 výše 17 521 Kč/ha vyčleněné neproduktivní plochy. Tím může být část výměry s nízkou produkční rentabilitou ekonomicky využita efektivněji než při standardní produkci.

Při vhodném návrhu tedy neproduktivní plochy nepředstavují pouze „odebranou produkční půdu“, ale mohou fungovat jako nástroj racionalizace hospodaření, stabilizace výnosů a zvýšení celkové ekonomické efektivity pozemku.

Přesné a cílené aplikace.

Robotizace v zemědělství se dnes netýká pouze autonomních tažných prostředků nebo polních robotů určených k mechanickému zpracování půdy. Stále větší význam mají také robotické a automatizované aplikace v oblasti ochrany rostlin. Moderní systémy přesné aplikace dokáží pomocí kamer, senzorů, GPS navigace a prvků umělé inteligence identifikovat konkrétní místa výskytu plevelů a následně provést cílený zásah pouze v potřebné lokalitě. Příkladem je nasazení přesného postřikovače Rumex při ošetření množitelského porostu jetele proti šťovíku tupolistému. Díky použití modré barvy, přimíchané do postřikové jíchy, bylo možné z multispektrálního snímku poměrně dobře identifikovat ošetřené plochy. Pokud jsme si tyto plochy vyznačili a vyčíslili jejich plochu, dospěli jsme k závěru, že bylo ošetřeno pouze 6 % plochy (Obr.20). Jistý benefit přináší také omezení stresu hlavní plodiny v důsledku ošetření.



Obr. 20: Pozemek s množitelským porostem jetele s plochami detekce a ošetření šťovíku tupolistého.

6. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Kroulík, M. Smart Farming and Agriculture 4.0. Agricultural Union of the Czech Republic – Czech Technology Platform for Agriculture, 2022.
- Kandel, G. P., Poláková, J., Hamouz, P., Hruška, A., Varvaris, I., & Manikas, I. The role of digitalization in supporting farmers and strategic policies for food security and sustainability in Europe: A review. *Available at SSRN 5437719*.
- Hruška, A., Hamouz, P., Lev, J., Pavlíček, J., Kroulík, M., Hamouzová, K., Košnarová, P., Holec, J., Kouřím, P. Weed Detection in Cabbage Fields Using RGB and NIR Images. *Smart Agricultural Technology*, 2025, 12, 101232.

7. Seznam použité literatury

- Agelli, M., Corona, N., Maggio, F., & Moi, P. V. (2024). Unmanned ground vehicles for continuous crop monitoring in agriculture: assessing the readiness of current ICT technology. *Machines*, 12(11), 750.
- Al Bashar, M., Taher, M. A., Islam, M. K., & Ahmed, H. (2024). The impact of advanced robotics and automation on supply chain efficiency in industrial manufacturing: A comparative analysis between the US and Bangladesh. *Economics, development & project management*, 3(03), 28-41.
- Azghadi, M. R., Olsen, A., Wood, J., Saleh, A., Calvert, B., Granshaw, T., ... & Philippa, B. (2025). Precision robotic spot-spraying: Reducing herbicide use and enhancing environmental outcomes in sugarcane. *Computers and Electronics in Agriculture*, 235, 110365.
- Basu, S., Omotubora, A., Beeson, M., & Fox, C. (2020). Legal framework for small autonomous agricultural robots. *Ai & Society*, 35(1), 113-134.
- Bazargani, K., & Deemyad, T. (2024). Automation's impact on agriculture: opportunities, challenges, and economic effects. *Robotics*, 13(2), 33.
- BITKOM e. V. (2018). Fast jeder zehnte Bauer setzt auf Drohnen. Berlin, 26. November 2018. Dostupné z: www.bitkom.org – Fast jeder zehnte Bauer setzt auf Drohnen
- Bogue, R. (2021). Robots poised to transform agriculture. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, 48(5), 637-642.
- Botta, A., Cavallone, P., Baglieri, L., Colucci, G., Tagliavini, L., & Quaglia, G. (2022). A review of robots, perception, and tasks in precision agriculture. *applied mechanics*, 3(3), 830-854.
- Cheng, C., Fu, J., Su, H., & Ren, L. (2023). Recent advancements in agriculture robots: Benefits and challenges. *Machines*, 11(1), 48.
- Chervenkov, P. (2022). Digitalization processes in precision farming and their role in sectoral competitiveness. *Journal of Bio-based Marketing*, 59-75.
- Corassa, G.M., Amado, T.J.C., Liska, T., Sharda, A., Fulton, J., and Ciampitti, I.A. (2018), Planter Technology to Reduce Double-Planted Area and Improve Corn and Soybean Yields. *Agron. J.*, 110: 300-310.
- Daum, T. (2025). Digitalization and skills in agriculture. *Outlook on Agriculture*, 54(2), 171-181.
- Deutz, K., & Neumann, D. (2024). AI-Controlled Autonomous Tractors in German Agriculture. In *Code and Conscience: Exploring Technology, Human Rights, and Ethics in Multidisciplinary AI Education* (pp. 146-155). Cham: Springer Nature Switzerland.

- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., Grieve, B., Chen, W. H., Cielniak, G., ... & Yang, G. Z. (2018). Agricultural robotics: the future of robotic agriculture. *arXiv preprint arXiv:1806.06762*.
- EARTO – European Association of Research and Technology Organisations. (2025). *EARTO Analysis of Horizon Europe 2.0 Budget 2025–2027*. Brussels: EARTO.
- Edan, Y., Adamides, G., & Oberti, R. (2023). Agriculture automation. Springer handbook of automation, 1055-1078.
- EU CAP Network (2024). *Factsheet: Robotics and Artificial Intelligence in Farming and Forestry*. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2019). The European Green Deal. COM(2019) 640 final.
- European Commission. (2020). Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. COM(2020) 381 final.
- European Commission. (2022). agROBOfood – Building the European ecosystem for robotic agriculture. Horizon 2020 Project factsheet.
- European Commission. (2023). FlexiGroBots – Flexible robots for intelligent automation of precision agriculture operations. Horizon Europe Project summary.
- European Commission. (2023). Robs4Crops – A new robotics model for smart farming. Horizon Europe Project factsheet. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2023). SmartAgriHubs – Digital innovation hubs for agriculture in Europe. Digital Europe Programme factsheet.
- European Commission. (2024). *InvestEU Programme and European Investment Bank Initiatives for Sustainable Agriculture*. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2025). AgriFood Testing and Experimentation Facilities (TEFs) – Fact sheet. Digital Europe Programme, Brussels.
- European Commission. (2025a). *C(2025) 1839 final: Commission Implementing Decision of 29 April 2025 establishing the Digital Europe Programme 2025–2027*. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2025b). *Annex to C(2025) 1839 final: Work Programme for the Digital Europe Programme 2025–2027*. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2025c). *Horizon Europe Strategic Plan 2025–2027 (KI-02233-26-EN-N)*. Brussels: Publications Office of the European Union.
- European Investment Bank (EIB). (2024). *Sustainable Agriculture and Forestry Financing Facility*. Luxembourg: EIB.
- European Parliament & Council. (2023). Regulation (EU) 2023/1230 on machinery, and repealing Directive 2006/42/EC. Official Journal of the European Union, L 165/1.

- European Parliament & Council. (2024). Regulation (EU) 2024/1688 on laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union, L 216/1.
- EUROSTAT (2026). 43% of EU farms with internet access. Eurostat News, 24 July 2026. Data za rok 2023, datasets ef_mp_digi a ef_mp_digicr. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260724-1>
- Ghobadpour, A., Monsalve, G., Cardenas, A., & Mousazadeh, H. (2022). Off-road electric vehicles and autonomous robots in agricultural sector: trends, challenges, and opportunities. *Vehicles*, 4(3), 843-864.
- Gil, G., Casagrande, D. E., Cortés, L. P., & Verschae, R. (2023). Why the low adoption of robotics in the farms? Challenges for the establishment of commercial agricultural robots. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100069.
- Hekkert, G. (2025). USA pilots autonomous tractors on public roads. Future Farming [online]. 1. 9. 2025. Dostupné z: [Future Farming – USA pilots autonomous tractors on public roads](#)
- Hlaváčková, J., Bošková, I., Válková, T., Rudinská, T., Podzemná, L., Hofman, V., Kučera, J. (2024). Analýza rozšíření a využívání technologií precizního zemědělství v České republice. TÚ 20/2023. Brno: Ústav zemědělské ekonomiky a informací (ÚZEI)
- Husaini, A. M., & Sohail, M. (2023). Robotics-assisted, organic agricultural-biotechnology based environment-friendly healthy food option: Beyond the binary of GM versus Organic crops. *Journal of Biotechnology*, 361, 41-48.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 18497:2018 – Safety of highly automated agricultural machines. Geneva: ISO.
- ISO 18497-1:2024. Agricultural machinery and tractors — Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery — Part 1: Machine design principles and vocabulary. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
- ISO 18497-2:2024. Agricultural machinery and tractors — Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery — Part 2: Design principles for obstacle protection systems. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
- ISO 18497-3:2024. Agricultural machinery and tractors — Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery — Part 3: Autonomous operating zones. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.

- ISO 18497-4:2024. Agricultural machinery and tractors — Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery — Part 4: Verification methods and validation principles. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
- Kandel, G. P., Poláková, J., Hamouz, P., Hruška, A., Varvaris, I., & Manikas, I. The role of digitalization in supporting farmers and strategic policies for food security and sustainability in Europe: A review. *Available at SSRN 5437719*.
- Koerhuis, R. (2024a). Part 1: What technology will lead the way: field robots or autonomous tractors? Future Farming [online]. Dostupné z: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/what-technology-will-lead-the-way-field-robots-or-autonomous-tractors/>
- Koerhuis, R. (2024b). Part 2: What technology will lead the way: autonomous tractors or field robots? Future Farming [online]. Dostupné z: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/part-2-what-technology-will-lead-the-way-autonomous-tractors-or-field-robots/>
- Kruse, N., & Schöning, J. (2024). Legal conform data sets for yard tractors and robots: AI-based law compliance check on the right to one's image. *Computers and Electronics in Agriculture*, 223, 109106.
- Kulkarni, A., Wang, Y., Gopinath, M., Sobien, D., Rahman, A., Batarseh, F.A. (2025). A review of cybersecurity incidents in the food and agriculture sector. *Journal of Agriculture and Food Research*, 23, 102245.
- Luck, J., Zandonadi, R., Luck, B., Shearer, S. (2010): Reducing pesticide over-application with map-based automatic boom section control on agricultural sprayers. *Transactions of the ASABE*, 53, 685-690.
- Lytridis, C., Kaburlasos, V. G., Pachidis, T., Manios, M., Vrochidou, E., Kalampokas, T., & Chatzistamatis, S. (2021). An overview of cooperative robotics in agriculture. *Agronomy*, 11(9), 1818.
- Mahmud, M. S. A., Abidin, M. S. Z., Emmanuel, A. A., & Hasan, H. S. (2020). Robotics and automation in agriculture: present and future applications. *Applications of Modelling and Simulation*, 4, 130-140.
- Martin, T., Gasselin, P., Hostiou, N., Feron, G., Laurens, L., Purseigle, F., & Ollivier, G. (2022). Robots and transformations of work in farm: a systematic review of the literature and a research agenda. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 66.
- Meshram, A. T., Vanalkar, A. V., Kalambe, K. B., & Badar, A. M. (2022). Pesticide spraying robot for precision agriculture: A categorical literature review and future trends. *Journal of Field Robotics*, 39(2), 153-171.

- Michels, M., von Hobe, C.F., Weller von Ahlefeld, P.J. Musshoff O. (2021). The adoption of drones in German agriculture: a structural equation model. *Precision Agric* 22, 1728–1748 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09809-8>
- Ministerstvo financí České republiky. (2023). *Národní plán obnovy České republiky: Aktualizace 2023 – Kapitola 2.6 Ochrana přírody a adaptace na klimatickou změnu*. Praha: MF ČR.
- Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky. (2023). *Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK) 2021–2027*. Praha: MPO ČR.
- Ministerstvo zemědělství České republiky. (2023). *Strategický plán Společné zemědělské politiky České republiky na období 2023–2027*. Praha: MZe ČR.
- Obeng-Ofori, D., Atianashie, M., & Kuffour, M. K. (2025). The role of artificial intelligence and robotics in shaping the future of sustainable agriculture. *Academia Engineering*, 2, 1-3.
- Oliveira, L. F., Moreira, A. P., & Silva, M. F. (2021). Advances in agriculture robotics: A state-of-the-art review and challenges ahead. *Robotics*, 10(2), 52.
- Pearson, S., Camacho-Villa, T. C., Valluru, R., Gaju, O., Rai, M. C., Gould, I., ... & Sklar, E. (2022). Robotics and autonomous systems for net zero agriculture. *Current Robotics Reports*, 3(2), 57-64.
- Petre, I. M., Boşcoianu, M., Iagăru, P., & Iagăru, R. (2025). Unmanned Agricultural Robotics Techniques for Enhancing Entrepreneurial Competitiveness in Emerging Markets: A Central Romanian Case Study. *Agriculture*, 15(18), 1910.
- Petrović, B., Bumbálek, R., Zoubek, T., Kuneš, R., Smutný, L., & Bartoš, P. (2024). Application of precision agriculture technologies in Central Europe-review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101048.
- Petrovic, B., Kononets, Y., & Csambalik, L. (2025). Adoption of drone, sensor, and robotic technologies in organic farming systems of Visegrad countries. *Heliyon*, 11(1).
- Podpůrný a garanční rolnický a lesnický fond (PGRLF). (2024). *Přehled finančních nástrojů a záruk pro zemědělce v rámci Strategického plánu SZP ČR 2023–2027*. Praha: PGRLF.
- Rehman, A. U., Alamoudi, Y., Khalid, H. M., Morchid, A., Muyeen, S. M., & Abdelaziz, A. Y. (2024). Smart agriculture technology: An integrated framework of renewable energy resources, IoT-based energy management, and precision robotics. *Cleaner Energy Systems*, 9, 100132.
- Rupp, C. (2024a). Overlooked logistics: Navigating the future of autonomous farming. Future Farming [online]. Dostupné z: [Future Farming – Overlooked logistics: Navigating the future of autonomous farming](#)
- Rupp, C. (2024b). Off-the-shelf or custom? The future of autonomous farming [online]. Future Farming. Dostupné z: [Future Farming – Off-the-shelf or custom? The future of autonomous farming](#)

- Salomi, M., & Samsudeen, S. (2024). Agricultural Artificial Intelligence: Obstacles and Opportunities. In *Artificial Intelligence Techniques in Smart Agriculture* (pp. 55-66). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Sapkota, R., Stenger, J., Ostlie, M., & Flores, P. (2023). Towards reducing chemical usage for weed control in agriculture using UAS imagery analysis and computer vision techniques. *Scientific reports*, 13(1), 6548.
- Sarker, M. R., Abdolrasol, M. G., Mohamad Hanif Md, S., Kadir, R. A., Ahmad, M. N., & Olazagoitia, J. L. (2025). Advancing Agriculture Automation Systems: Technological Innovations, Possible Applications, Challenges, and Recommendations. *Advances in Agriculture*, 2025(1), 5518653.
- Shafik, W. (2024). Barriers to implementing computational intelligence-based agriculture system. In *Computational Intelligence in Internet of Agricultural Things* (pp. 193-219). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Shamshiri, R. R., Navas, E., Käthner, J., Höfner, N., Koch, K., Dworak, V., ... & Weltzien, C. (2024). Agricultural robotics to revolutionize farming: Requirements and challenges. In *Mobile robots for digital farming* (pp. 107-155). CRC Press.
- Shen, J., Tang, S., Ariffin, M. K. A. M., As' Array, A., & Zhao, R. (2024). Prospects and challenges of novel agricultural robots in vertical farming: A review. *Journal of Biotech Research*, 16, 299-311.
- Silva, F. T. D., Baierle, I. C., Correa, R. G. D. F., Sellitto, M. A., Peres, F. A. P., & Kipper, L. M. (2023). Open innovation in agribusiness: Barriers and challenges in the transition to agriculture 4.0. *Sustainability*, 15(11), 8562.
- Singh, S., Vaishnav, R., Gautam, S., & Banerjee, S. (2024, March). Agricultural robotics: A comprehensive review of applications, challenges and future prospects. In *2024 2nd international conference on artificial intelligence and machine learning applications theme: healthcare and internet of things (AIMLA)* (pp. 1-8). IEEE.
- Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *precision agriculture*, 22(3), 818-833.
- Sparrow, R., Howard, M., & Degeling, C. (2021). Managing the risks of artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 93(1), 172-196.
- Spykman, O., Lowenberg-DeBoer, J., Gandorfer, M. (2026). Crop robots as potential enablers of economical and biodiversity-smart small-scale farming. *Precision Agric* 27, 80 (2026). <https://doi.org/10.1007/s11119-026-10367-0>
- Steen, K. A., Christiansen, P., Karstoft, H., & Jørgensen, R. N. (2016). Using deep learning to challenge safety standard for highly autonomous machines in agriculture. *Journal of Imaging*, 2(1), 6.

- Stevens, D., Taylor, A. L., & Nelson, T. A. (2023). Obstacles and opportunities for automation in sheep and beef farming. *Journal of New Zealand Grasslands*, 111-118.
- Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 278-291.
- Tamirat, T. W., Pedersen, S. M., Ørum, J. E., & Holm, S. H. (2023). Multi-stakeholder perspectives on field crop robots: Lessons from four case areas in Europe. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100143.
- Troesch, A., Mullenix, D., Fulton, J., Winstead, A., Norwood, S., Sharda, A. (2010): Economic analysis of auto-swath kontrol for Alabama crop production. 10th International Conference on Precision Agriculture (ICPA), Denver, Colorado, USA, July 2010, poster.
- Uddin, M., Chowdhury, A., & Kabir, M. A. (2024). Legal and ethical aspects of deploying artificial intelligence in climate-smart agriculture. *AI & SOCIETY*, 39(1), 221-234.
- Velandia, M., Buschermohle, M., Larson, J. A., Thompson, N. M., Jernigan, B. M. (2013): The economics of automatic section control technology for planters: A case study of middle and west Tennessee farms. *Computers and electronics in agriculture*, 95, 1-10.
- Vijayakumar, S., Murugaiyan, V., Ilakkiya, S., Kumar, V., Sundaram, R. M., & Kumar, R. M. (2025). Opportunities, challenges, and interventions for agriculture 4.0 adoption. *Discover Food*, 5(1), 265.
- Vrchota, J., Pech, M., & Švepešová, I. (2022). Precision agriculture technologies for crop and livestock production in the Czech Republic. *Agriculture*, 12(8), 1080.
- Ward, M., Forristal, P.D., McDonnell, K. (2020).: Impact of field headlands on wheat and barley performance in a cool Atlantic climate as assessed in 40 Irish tillage fields. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 59(1), 85-97.
- Wiseman, L., Cockburn, T., & Sanderson, J. (2018). Legal consequences of autonomous farming. *Farm Policy Journal*, 15(2), 37-46.
- Xie, D., Chen, L., Liu, L., Chen, L., & Wang, H. (2022). Actuators and sensors for application in agricultural robots: A review. *Machines*, 10(10), 913.
- Yu, C., Khanna, M., Atallah, S. S., Kar, S., Bagavathiannan, M., & Chowdhary, G. (2024). Herbicide-resistant weed management with robots: A weed ecological–economic model. *Agricultural Economics*, 55(6), 943-962.

Název: PŘÍPRAVA ZEMĚDĚLSKÉHO PODNIKU NA NÁSTUP ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ

Autoři: Milan Kroulík, Adam Hruška, Pavel Hamouz, Patrik Vítek, Jiří Mašek

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze,

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

Pořadí vydání: první

Rok vydání: 2026

ISBN 978-80-213-3565-3

Počet stran: 76

Náklad: 100

Vydala Česká zemědělská univerzita ve svém nakladatelství