

Univerzita Palackého v Olomouci
Pedagogická fakulta
Katedra technické a informační výchovy

AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Bakalářská práce

Martin VACEK

Vedoucí práce Sedláček Michal, Ing. Mgr. Ph.D.

Olomouc 2023

Učitelství praktického vyučování a odborného výcviku

Obsah

ÚVOD	3
1 AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ	5
1.1 TECHNOLOGIE AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ	6
1.2 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ.....	8
1.3 REGULAČNÍ A ETICKÉ OTÁZKY	9
2 AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ	12
2.1 HISTORIE A VÝVOJ AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ	12
2.2 TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ V AUTONOMNÍM ŘÍZENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ.....	13
2.2.1 Snímače	16
2.2.2 Výpočetní metody.....	18
2.2.3 Navigační plánovače	19
2.3 AUTONOMNÍ ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA	20
3 PŘEDNOSTI A NEDOSTATKY AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ.....	24
4 PRÁVNÍ ASPEKTY AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ	26
5 AUTONOMNÍ STROJE V ODBORNÉM KURIKULU	28
6 VÝZKUMNÉ ŠETŘENÍ.....	28
6.1 CHARAKTERISTIKA A CÍLE VÝZKUMU	29
6.2 VÝZKUMNÉ OTÁZKY A PŘEDPOKLADY.....	29
6.3 METODA VÝZKUMU	29
6.4 CHARAKTERISTIKA VÝZKUMNÉHO SOUBORU.....	30
6.5 VÝSLEDKY VÝZKUMNÉHO ŠETŘENÍ.....	30
6.6 SHRNUTÍ A DISKUSE	33
ZÁVĚR	34
SEZNAM LITERATURY	36
SEZNAM TABULEK	40
SEZNAM GRAFŮ	40
SEZNAM OBRÁZKŮ	40

Úvod

Autonomní řízení zemědělských strojů je inovativní technologie, která umožňuje řízení zemědělských strojů bez nutnosti přítomnosti člověka. Tento proces se řídí počítačovým systémem a využívá senzory, GPS a další technologie. Aktuální stav autonomního řízení zemědělských strojů je poměrně pokročilý a stále se zlepšuje díky pokroku v technologiích, jako jsou senzory, umělá inteligence a strojové učení. Někteří výrobci zemědělské techniky již na trhu nabízejí autonomní stroje, jako jsou například kombajny, rozprašovače a pluhly.

Výhody autonomního řízení zemědělských strojů jsou mnohostranné. Mezi hlavní patří snížení nákladů na pracovní sílu a zvýšení efektivity zemědělské práce. Autonomní stroje dokážou pracovat dvacet čtyři hodin denně a mohou operovat s vysokou přesností přímo na polích, což vede ke zvýšení úrovně výnosů a snížení nákladů na hnojení a pesticidy. Další výhodou autonomního řízení zemědělských strojů je zlepšení bezpečnosti. Bez nutnosti přítomnosti řidiče se snižuje riziko nehod. Navíc, senzory a další technologie mohou detekovat překážky a upozornit stroj, aby se jim vyhnul.

Nicméně, autonomní řízení zemědělských strojů není bez problémů. Některé země mají stále omezení v oblasti zákonů a předpisů pro používání autonomních strojů, což může znamenat, že je zde tato technologie méně dostupná. Dalším problémem může být vysoká pořizovací cena stroje, což může znamenat, že menší zemědělci si nemohou dovolit investovat do této technologie. To by mohlo vést k dalšímu zvětšování propasti mezi malými a velkými zemědělci. Celkově lze i přesto říci, že autonomní řízení zemědělských strojů nabízí mnoho výhod, které mohou pomoci zvýšit efektivitu zemědělské práce a zlepšit bezpečnost. Avšak zákonodárci a výrobci budou muset spolupracovat na překonání některých překážek, aby se tato technologie stala široce dostupnou pro zemědělce po celém světě.

Předkládaná bakalářská práce se zabývá právě problematikou autonomního řízení zemědělských strojů. Jejím cílem je autonomní řízení zemědělských strojů představit jako součást tzv. zemědělství 4.0, které je integrací moderní techniky a technologie v zemědělství a rozebrat vybrané aspekty této oblasti. Vzhledem k tomu, že v literatuře české provenience není problematika autonomního řízení zemědělských strojů dosud příliš dobře zpracována, je vycházeno především z literatury zahraniční.

Práce je rozčleněna na čtyři teoretické kapitoly, které se postupně zabývají obecně autonomním řízením (konkrétně technologií autonomního řízení, jeho praktickým využitím a regulačními a etickými otázkami, která se s ním pojí) a následně již konkrétněji autonomním řízením zemědělských strojů (historií této technologie, používanými technologiemi a konkrétními autonomními zemědělskými stroji), přednostmi a nedostatky této technologie a jejími právními aspekty. Práce je zpracována zejména metodou analýzy odborných zdrojů.

1 Autonomní řízení

Autonomní řízení (*autonomous vehicles*, zkráceně AV) je jednoduše řečeno schopnost vozidla nebo stroje řídit se samo, bez zásahu člověka. Tento koncept se stává stále populárnější v průmyslu, dopravě a zemědělství, kde se využívá k zefektivnění a zlevnění provozu. Autonomní řízení je schopnost systému, stroje nebo zařízení provádět úkoly, rozhodnutí a akce samostatně, bez potřeby přímého ovládní člověkem v reálném čase. Tento termín se nejčastěji používá v souvislosti s autonomními vozidly, drony, roboty a dalšími autonomními systémy, které jsou schopny samostatně navigovat, vyhodnocovat situaci, plánovat a provádět úkoly bez potřeby lidského vstupu (Taeihagh a Si Min Lim, 2017, s. 103-104).

Autonomní řízení obvykle vyžaduje kombinaci technologií, jako jsou umělá inteligence, strojové učení, sensorika, navigace a další. Umělá inteligence (AI) je oblast informatiky, která se zabývá vytvářením systémů a algoritmů, které jsou schopny simulovat lidské myšlení a chování při řešení problémů. Umělá inteligence pomáhá při autonomním řízení tím, že umožňuje autonomnímu systému analyzovat okolní prostředí a plánovat a provádět úkoly bez potřeby lidského vstupu. Strojové učení se pak zabývá studiem algoritmů a modelů, které umožňují strojům učit se z dat a provádět predikce a úkoly na základě těchto naučených informací. Tyto a další technologie umožňují autonomnímu systému analyzovat okolní prostředí, identifikovat překážky a vyhodnotit nejlepší možnost akce. Výsledkem je zlepšená efektivita a bezpečnost provádění úkolů v mnoha oblastech, jako jsou doprava, průmysl, zemědělství a další (Thrun, 2010, s. 99-100).

Historie autonomního řízení sahá až do poloviny 20. století. První koncepty autonomního řízení byly vyvíjeny pro vojenské účely, zejména pro řízení bezpilotních letadel a dalších bezpilotních zařízení. V průběhu 80. a 90. let se začaly objevovat první experimentální projekty s autonomními vozidly, zejména v Japonsku a Spojených státech amerických. První úspěšné testy autonomních vozidel se uskutečnily v roce 1995, když v USA vůz naváděný po satelitním signálu překonal 2797 km z Floridy do San Diega bez řidiče (Crowe, 2015).

V dalších letech byla testována autonomní vozidla v různých prostředích, včetně dálnic, městských ulic, a dokonce i terénu. Od 60. let 20. století byl výzkum autonomního řízení ve Spojených státech financován primárně agenturou DARPA (Agentura pro pokročilé obranné výzkumné projekty), americkou vládou a námořnictvem, což přineslo značné pokroky v rychlosti, řídicí schopnosti ve složitých podmínkách, nové ovládací prvky a citlivé sensorové systémy (National Research Council, 2002, s. 13).

Autonomní řízení umožňuje vozidlům a strojům využívat různé technologie pro orientaci a plánování cesty, jako jsou globální navigační satelitní systémy (GNSS), lidary, radar, kamery a umělá inteligence. Tyto technologie umožňují vozidlům a strojům sledovat své okolí, plánovat optimální trasy a reagovat na překážky a nebezpečí bez zásahu člověka. Využívání autonomního řízení má řadu přínosů, jako je zlepšení bezpečnosti a snížení nehod, zvýšení efektivity a produktivity, snížení spotřeby paliva a emisí a zlepšení pracovních podmínek pro řidiče a pracovníky. V zemědělství se autonomní řízení využívá k řízení zemědělských strojů, jako jsou traktory, kombajny a osévače, což umožňuje větší přesnost a efektivitu při setí, sklizni a dalších zemědělských pracích (Zhang, Pierce, 2013, s. 20-21).

Avšak využití autonomního řízení vyvolává také několik otázek, jako jsou regulační a etické otázky. Například kdo nese odpovědnost za nehodu způsobenou autonomním vozidlem? Jaký je vztah mezi řidičem a autonomním vozidlem? Jaká jsou etická pravidla pro rozhodování autonomních strojů v případě nebezpečí? Vývoj autonomního řízení postupuje kontinuálně kupředu a očekává se, že se bude dále rozvíjet a zlepšovat, aby poskytoval stále větší přínosy a zlepšoval kvalitu života lidí – v tomto kontextu lze předpokládat, že bude nutné stále urgentněji řešit výše zmíněné otázky.

1.1 Technologie autonomního řízení

Díky moderním technologiím se autonomní řízení stále zdokonaluje. Tento vývoj reflektuje standard *Levels of Automated Driving*, který definuje, do jaké míry je vozidlo schopné samostatné jízdy. Standard má následující stupně (SAE, 2021):

- 0. stupeň: nulová automatizace, řidič má nad vozidlem plnou kontrolu a vše ovládá samostatně (může zahrnovat automatické nouzové brzdění, kontrolu mrtvého bodu, upozornění na opuštění jízdního pruhu apod.); jedná se o stupeň většiny současných vozidel;
- 1. stupeň: podpora řízení, kdy automatické systémy vozidla v určitých případech přebírají řízení (například adaptivní tempomat, asistent udržování v jízdním pruhu apod.); signifikantní pro tento stupeň je, že automatické systémy nelze kombinovat;
- 2. stupeň: částečná automatizace, kdy má vozidlo komplexnější znalosti o svém okolí a může plnit i složitější funkce, jako je udržování v jízdním pruhu paralelně vedle adaptivního tempomatu;

- 3. stupeň: podmíněná automatizace, kdy se může řidič za určitých okolností přestat věnovat řízení (asistent při jízdě v dopravní zácpě) – vozidlo však musí monitorovat řidiče, aby byl schopen převzít řízení zpět;
- 4. stupeň: vysoká automatizace, kdy je vozidlo schopno samostatně plně převzít kontrolu nad řízením a pouze ve specifických situacích (velmi nepříznivé počasí) může požadovat, aby řidič zpět převzal kontrolu nad řízením;
- 5. stupeň: plná automatizace, kdy je vozidlo zcela autonomní a samostatně provádí veškeré úkony, které jsou spojené s obsluhou vozu za jakýchkoli podmínek – obsluha vozu jen nastoupí, zvolí cíl cesty a dále se o nic nestará.

Z technologií, které jsou využívány při autonomním řízení, je nejdůležitější využití umělé inteligence (AI), která hraje roli v autonomním řízení tím, že pomáhá vozidlu rozhodovat a vyhodnocovat různé situace na silnici a adekvátně reagovat. Umělá inteligence v autonomních vozidlech využívá několik technik strojového učení a hlubokého učení (tzv. deep learning). Tyto techniky umožňují autonomnímu vozidlu naučit se rozpoznávat objekty, jako jsou například dopravní značky, semaforey, vozidla a chodci. Díky této schopnosti mohou autonomní vozidla plánovat svou jízdu na silnici a rozhodovat se, kdy zastavit, kdy zrychlit, kdy změnit směr a jak se vypořádat s různými situacemi na silnici (Fayyad et al., 2020).

Další využití umělé inteligence v autonomních vozidlech zahrnuje predikci chování ostatních vozidel na silnici a chování chodců. Tyto predikce jsou vytvářeny pomocí analýzy výchozích dat a následně jsou algoritmy trénovány k rozpoznávání vzorců chování a situací, které se mohou vyskytnout na silnici. Tento proces umožňuje autonomnímu vozidlu přizpůsobit své chování a reakce na základě predikovaných situací. Využití umělé inteligence v autonomních vozidlech se neomezují jen na jízdu na silnici. Umělá inteligence může být také využita pro optimalizaci spotřeby paliva a zlepšení účinnosti jízdy. Například umělá inteligence může pomoci autonomnímu vozidlu plánovat a přizpůsobovat rychlost jízdy tak, aby byla spotřeba paliva co nejnižší (Tong et al., 2019, s. 10823-10835).

Kombinace senzorických dat z různých zdrojů umožňuje algoritmům autonomního řízení rozpoznávat a reagovat na různé dopravní situace. Umělá inteligence využívá data z následujících technologií:

- Lidary: Lidary jsou senzory, které mohou měřit vzdálenosti pomocí laserového světla. Tyto senzory mohou poskytovat přesné informace o okolním prostředí, jako jsou vzdálenosti, polohy a tvary objektů.

- Kamery: Kamery jsou dalším důležitým prvkem pro autonomní řízení. Kamery mohou být použity k rozpoznávání značek, dopravních světel a dalších vozidel na silnici.
- Radar: Radary jsou další senzory, které se používají v autonomním řízení. Tyto senzory mohou měřit vzdálenosti a rychlosti objektů a jsou důležité pro identifikaci překážek a předvídání možných kolizí.
- GPS: GPS je důležitou technologií pro určování polohy vozidla a výpočet trasy. GPS signály mohou být využity pro sledování pohybu vozidla a určení jeho přesné polohy na silnici.
- Výpočetní technologie: Pro správné fungování autonomních vozidel jsou nezbytné různé výpočetní systémy, včetně výpočetních systémů pro sběr dat, vyhodnocování a řízení vozidla.

Tyto technologie společně tvoří základ autonomního řízení a výrobci vozidel se je neustále snaží vylepšovat a zdokonalovat, aby autonomní vozidla byla co nejbezpečnější a spolehlivější pro nasazení do „ostrého“ provozu (Brummelen et al., 2018, s. 384-404).

1.2 Praktické využití autonomního řízení

Autonomní řízení se stává stále více populární technologií, protože nabízí řadu praktických využití v různých odvětvích, jako je automobilový průmysl, logistika, zemědělství a mnoho dalších. Jednou z největších výhod autonomního řízení je zlepšení bezpečnosti na silnicích. Vysoká úroveň automatizace znamená, že chyby lidských řidičů jsou minimalizovány a riziko dopravních nehod se tak významně snižuje. To znamená, že autonomní vozidla mohou zlepšit životy lidí, kteří se chtějí pohybovat po silnicích bez obav o svou bezpečnost.

Dalším využitím autonomního řízení je zlepšení plynulosti provozu. Autonomní vozidla mohou být programována k přizpůsobování rychlosti a reagování na dopravní zácpy a nejrůznější situace na silnicích, což může snížit množství dopravních zácp a zlepšit tok provozu. V logistice se autonomní řízení může využít ke zlepšení přesnosti a rychlosti doručování zásilek. Autonomní vozidla mohou být programována k doručení zboží přesně na určené místo a čas, což může snížit množství zpoždění a zvýšit spokojenost zákazníků (Nikitas, Thomopoulos, Milakis, 2021, s. 167-190).

V zemědělství se autonomní řízení může využít ke zlepšení výnosů a snížení nákladů. Autonomní stroje mohou být využity k efektivnějšímu a přesnějšímu výsadbě, sklizni a údržbě

polí (Thrun, 2010, s. 99-100). V urbanistickém plánování může například dojít ke snížení množství parkovišť, protože autonomní vozidla budou schopna parkovat mimo městská centra. Autonomní řízení také může pomoci lidem s omezenou schopností řídit, jako jsou starší lidé nebo lidé se zdravotním postižením. Tato technologie může zlepšit jejich mobilitu a nezávislost, což by mělo významné dopady na jejich kvalitu života (Panagiotopoulos, Dimitrakopoulos, 2018, s. 773).

V současné době se autonomní řízení stává běžnou součástí našich životů. S dalším vývojem technologií a zlepšováním algoritmů se očekává, že autonomní řízení bude mít stále větší vliv na různé odvětví, a to jak z hlediska efektivity, tak i z hlediska bezpečnosti a kvality života. V budoucnu se očekává, že autonomní vozidla budou moci přepravovat lidi a zboží s větší rychlostí a bezpečností, což povede ke zlepšení mobility a snížení dopravních nehod. V průmyslu se autonomní stroje budou stávat stále více sofistikovanými a budou moci řešit složitější úkoly, jako je například řízení výrobních linek (Fayyad et al., 2020).

Je třeba si uvědomit, že autonomní řízení není jen o technologii, ale také o regulaci, zabezpečení a společenském přijetí. Je nutné stanovit jasná pravidla pro používání autonomních vozidel, zajistit jejich bezpečnost a ochranu soukromí, a zároveň získat důvěru veřejnosti v této technologii. Těmito otázkami se budeme blíže zabývat v následující podkapitole.

1.3 Regulační a etické otázky

Autonomní řízení s sebou přináší řadu regulačních a etických otázek, protože se jedná o technologii, která může mít potenciálně velký dopad na lidský život a společnost. Některé z etických otázek, které se týkají autonomního řízení, jsou:

- **Bezpečnost:** Jak zajistit, aby autonomní vozidla byla bezpečná pro okolí a nezpůsobila nehody nebo zranění lidí?
- **Zodpovědnost:** Kdo bude odpovědný za případné nehody nebo škody způsobené autonomními vozidly? Jaká bude právní odpovědnost v případě, že autonomní vozidlo zavíní nehodu?
- **Algoritmy rozhodování:** Jaká kritéria budou algoritmy autonomních vozidel používat při rozhodování o nebezpečných situacích? Jak se bude řešit konflikt mezi ochranou lidského života a ochranou majetku?

- Práce a zaměstnanost: Jaký dopad bude mít rozvoj autonomních vozidel na pracovní trh a zaměstnanost? Co se stane s profesemi, které jsou nyní závislé na řízení vozidel?
- Soukromí: Jak budou autonomní vozidla zacházet s osobními údaji a soukromím lidí? Kdo bude mít přístup k datům z autonomních vozidel a jak se budou chránit proti zneužití?
- Sociální dopady: Jaký bude sociální dopad autonomního řízení na společnost jako celek? Jaký bude dopad na městské prostředí, životní prostředí a kvalitu života lidí?

Tyto a další otázky se stávají stále důležitějšími s rychlým rozvojem autonomního řízení, a je důležité je řešit včas, aby bylo zajištěno, že autonomní vozidla budou bezpečná a budou mít pozitivní dopad na společnost jako celek. Na odborné úrovni je například v současné době diskutována i otázka právní odpovědnosti umělé inteligence (Panagiotopoulos, Dimitrakopoulos, 2018, s. 773-781; Shladover, Nowakowski, 2019, s. 125-130).

Samostatná opatření k minimalizaci rizika nehod a zranění lidí při používání autonomních vozidel jsou klíčová pro úspěšné nasazení této technologie a pro její bezproblémové přijetí ze strany širší veřejnosti. Existuje několik způsobů, jak zajistit bezpečnost autonomních vozidel a jejich okolí. Prvním opatřením je důkladné testování vozidel v různých situacích a podmínkách, aby se identifikovala potenciální rizika a aby se algoritmy vozidel optimalizovaly takovým způsobem, aby se rizika minimalizovala. Dále by měly vlády jednotlivých států a regulační orgány stanovit jasné normy a pravidla pro autonomní vozidla a výrobci by měli zajistit, aby vozidla splňovala minimální standardy bezpečnosti (Brummelen et al., 2018, s. 384-400).

Kromě toho by výrobci měli investovat do vývoje technologií, které zvyšují bezpečnost autonomních vozidel. Senzory a kamery, které vozidla používají k rozpoznávání překážek a chodců, by měly být optimalizovány, aby maximalizovaly bezpečnost vozidla. Autonomní vozidla by měla být také vybavena bezpečnostními mechanismy, které minimalizují dopad nehod na okolí. Například by měla být vybavena systémy, které minimalizují riziko požáru nebo exploze v případě nehody. V neposlední řadě by sami uživatelé vozidel i ostatní uživatelé silnic měli být vzděláváni o tom, jak autonomní vozidla fungují a jak se chovat v jejich přítomnosti. To může minimalizovat riziko takového chování, které může být pro autonomní vozidla nebezpečné (Panagiotopoulos, Dimitrakopoulos, 2018, s. 773-781; Shladover, Nowakowski, 2019, s. 125-130).

Celkově lze říci, že minimalizace rizika nehod a zranění lidí je klíčovým faktorem pro úspěšné nasazení autonomních vozidel na trh. Vyžaduje to úzkou spolupráci mezi výrobcí, regulačními orgány a uživateli vozidel. Otázka odpovědnosti za případné nehody nebo škody způsobené autonomními vozidly je však velmi důležitá a složitá a stále se nepodařilo ji uspokojivě vyřešit. V současné době většina zemí ještě nemá jasno v tom, kdo bude v takovém případě odpovědný. Lze předpokládat, že v mnoha případech bude odpovědnost spočívat na výrobcích autonomních vozidel. To znamená, že výrobce bude muset zajistit, že jeho vozidla splňují všechny bezpečnostní normy a že algoritmy vozidel byly dostatečně otestovány, aby minimalizovaly riziko nehod. Další možností je, že odpovědnost bude rozdělena mezi výrobce a uživatele vozidla. V takovém případě bude uživatel odpovědný za dodržování pravidel silničního provozu a za včasné zasahování, pokud se vyskytnou nějaké problémy s vozidlem (Taeihagh a Si Min Lim, 2017, s. 104-114; Ilková, Ilka, 2017, s. 428-432).

V některých zemích se řeší otázka odpovědnosti prostřednictvím nových právních předpisů. Například Evropská unie připravuje právní předpisy, které budou řešit odpovědnost v případě nehod způsobených autonomními vozidly. Celkově lze říci, že otázka odpovědnosti za nehody způsobené autonomními vozidly je stále výzvou pro vývoj této technologie. Je důležité, aby výrobci a regulační orgány spolupracovali na nalezení spravedlivého a účinného řešení této otázky, které minimalizuje riziko nehod a zajišťuje ochranu občanů (Ilková, Ilka, 2017, s. 428-432).

2 Autonomní řízení zemědělských strojů

Ve druhé kapitole práce se budeme zabývat již samotným autonomním řízením zemědělských strojů. Nejprve stručně představíme historii a vývoj autonomního řízení zemědělských strojů, načež se zaměříme na vybrané technologie, které jsou v těchto strojích používány (konkrétněji na snímače, výpočetní metody, navigační plánovače a ovladače řízení). V rámci třetí podkapitoly se budeme věnovat konkrétním příkladům autonomní zemědělské techniky.

2.1 Historie a vývoj autonomního řízení zemědělských strojů

Autonomní řízení zemědělských strojů má relativně krátkou historii a jeho vývoj probíhá až v posledních desetiletích (což lze ostatně konstatovat o celém odvětví autonomního řízení obecně). V devadesátých letech byl vyvinut první prototyp autonomního zemědělského vozidla, které bylo schopno řídit se samo na poli pomocí GPS. Toto vozidlo bylo vyvinuto na Michiganské univerzitě a bylo nazváno Smart Tractor. Tento stroj byl vyvinut s cílem snížit náklady na zemědělské činnosti, zvýšit produktivitu a minimalizovat riziko lidských chyb.

Smart Tractor byl poháněn dieselovým motorem a měl čtyři kola s hydraulickým řízením. Na rozdíl od tradičních zemědělských strojů, které jsou ovládány ručně, byl řízen pomocí počítačového systému. Tento systém zahrnoval GPS navigaci, která umožňovala stroji řídit se po přesně definované trase v poli. Stroj také obsahoval senzory a kamery, které mu umožňovaly sledovat a reagovat na okolní překážky. Smart Tractor byl testován při různých zemědělských činnostech, jako byla orba, sázení, sklizeň a rozstřikování hnojiv a pesticidů. Testování ukázalo, že stroj je schopen řídit se přesněji než člověk a že může snížit náklady na zemědělské činnosti o deset až dvacet procent. Smart Tractor byl však pouze prototyp a nebyl nikdy uveden na trh (Rovira-Más et al., 2003, s. 467-468).

V průběhu devadesátých let byly vyvinuty další prototypy autonomních zemědělských vozidel, které se však rovněž ještě nedostaly na trh a sloužily tak spíše pro experimentální účely a pro účely dalšího vývoje. V roce 2004 přišla na trh první komerční verze autonomního zemědělského vozidla. Tento stroj byl určen pro sklizeň bavlny a byl vybaven systémem pro sběr dat o sklizni této plodiny, který umožňoval zaznamenávat informace o množství sklizené bavlny a o kvalitě sklizně (Farm Equipment, 2009). Od té doby se vývoj autonomních zemědělských strojů rychle rozvíjí a tyto stroje se stávají stále více sofistikovanými a přesnými.

Dnes jsou autonomní zemědělské stroje běžně používány při zemědělských činnostech, jako je například orba, sázení, sklizeň, rozstřikování hnojiv a pesticidů a dalších. Tyto stroje jsou schopné řídit se na základě přesného mapování pole a GPS navigace. Jsou také vybaveny senzory a kamerami, aby mohly reagovat na překážky a nebezpečí v okolí. Autonomní zemědělské stroje umožňují zemědělcům zvýšit efektivitu práce, snížit náklady a minimalizovat riziko lidských chyb (Droukas et al. 2023).

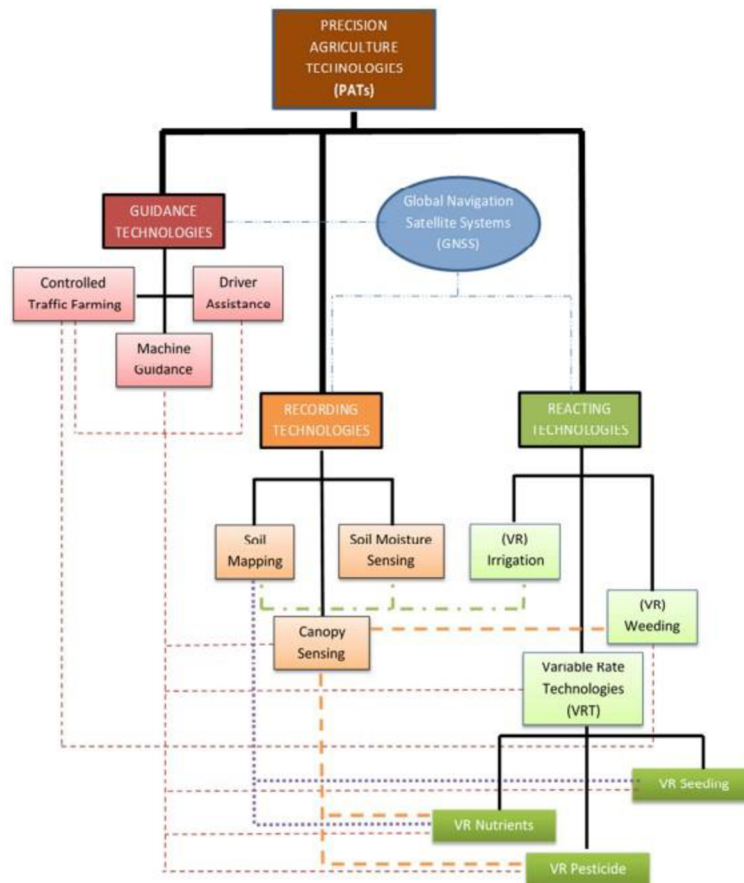
V budoucnu se očekává, že autonomní zemědělské stroje budou hrát stále důležitější roli v zemědělství a pomohou řešit problémy spojené se změnou klimatu a potravinovou bezpečností. Zemědělské drony pomáhají zemědělcům zvýšit produkci plodit a monitorovat jejich růst pro maximální výkon – moderní technologie umožňují získat dronům vzorky půdy, které jsou dále využity pro kontrolu teploty a vlhkosti. To umožňuje efektivněji pracovat s hnojivy a pesticidy. Autonomní traktory by rovněž mohly pomoci vyřešit nedostatek pracovních sil v zemědělství (který je vážným problémem například v USA a Kanadě), stejně jako drony a roboti určené pro setbu. Odhaduje se, že v roce 2027 dosáhne trh s autonomními zemědělskými stroji 95 miliard dolarů (Bateman, 2022).

2.2 Technologie používané v autonomním řízení zemědělských strojů

V oblasti autonomního řízení zemědělských strojů je využíváno velké množství elektrické i mechanické techniky, která poskytuje data tvořící základ pro implementaci umělé inteligence do precizního zemědělství. Obecně můžeme tyto technologie rozčlenit do následujících skupin (viz Obr. 1):

- technologie navádění (guidance technologies) – jedná se o hardwarové a softwarové prvky, které navádějí zemědělské stroje na poli (například asistenční systémy řízení, řízení provozu apod.);
- technologie záznamu (recording technologies) jsou senzory, které je možné buď namontovat na pozemní stanice, nebo připojit k pohyblivým platformám; tyto senzory následně sbírají informace;
- technologie reakce (reacting technologies) – hardwarové a softwarové prvky, které společně mohou měnit umístění zemědělských vstupů na poli; jedná se o technologie, jako například proměnně zavlažování, proměnlivé dávkování pro živiny, precizní plečkování apod.

Efektivní kombinování těchto tří kategorií technologií precizního zemědělství by měla zvýšit (nebo alespoň udržet) výnos se snížením environmentálního dopadu. Všechny tři kategorie vyžadují použití technologií globálního navigačního satelitního systému (GNSS), tedy satelitních navigačních systémů, poskytujících autonomní geoprostorové určení polohy (Soto et al., 2014, s. 14).



Obrázek č. 1: Přehled technologií používaných v precizním zemědělství (Soto et al., 2014, s. 15)

Příkladem technologie navádění může být produkt AutoTrac. AutoTrac je jeden z typů guidance technologií v rámci precizního zemědělství. Jedná se o systém automatického řízení pro traktory a jiné zemědělské stroje, který umožňuje precizní a přesné řízení pohybu stroje při práci na poli. AutoTrac využívá globálního navigačního satelitního systému (GNSS) a dalších senzorů (gyroskopy), aby udržoval vozidlo na správné trase a umožňovalo stroji pracovat v mnohem přesnějších trasách než manuální řízení stroje. To může vést k úsporám paliva, snížení emisí a zlepšení kvality a výnosů plodin. AutoTrac je jednou z technologií, které umožňují využívat výhod precizního zemědělství a maximalizovat výkonnost a výnosy zemědělských operací (Huyghebaert, Dubois, Defays, 2013).

Záznamové technologie integrují například topografické a půdní mapovací technologie, které měří konkrétní aspekty kvality půdy (např. obsah živin a vody, texturu), což zlepšuje schopnost zemědělců porozumět a využívat heterogenity půdy pro zvýšení výnosů a zlepšovat využití zemědělské techniky. Záznamové technologie zachycují nejen chemické a fyzikální vlastnosti půdy, ale také data související s terénem a klimatem. Zlepšené technologie, včetně technologií šlechtění rostlin, technologií pěstování a automatizace apod., změnily způsoby, kterými lze zemědělskou půdu hodnotit (Soto et al., 2014, s. 16).

Konkrétním příkladem z oblasti technologií záznamu je NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), což je **vegetační index**, který se používá k hodnocení zdraví a růstu rostlin. Tento index se vypočítává na základě měření záření v oblasti blízké infračerveného spektra a oblasti viditelného světla, které odráží rostliny. NDVI se používá zejména v oblasti precizního zemědělství k mapování a sledování zdraví plodin, což umožňuje zemědělcům lépe porozumět prostorové a časové variability růstu rostlin a přizpůsobit zemědělské operace potřebám konkrétních oblastí. NDVI se vypočítává jako rozdíl mezi infračerveným a viditelným zářením, dělený jejich součtem. Výsledný index je obvykle v rozmezí -1 až 1, přičemž vyšší hodnoty indikují větší hustotu a zdraví rostlin. Použití NDVI umožňuje rychle identifikovat oblasti s nedostatečným růstem rostlin a umožňuje zemědělcům rychle reagovat na problémy, jako jsou například nedostatek vody, nemoci nebo škůdci (Huang et al., 2021, s. 1-2).

Nakonec technologie reakce obsahují množství technologií, které umožňují na základě zaznamenaných dat výrazně zefektivnit zemědělské činnosti a snížit spotřebu látek, jako jsou voda, hnojiva a pesticidy. Problém s příliš vysokou spotřebou vody v zemědělství by mohlo potenciálně pomoci řešit **variabilní zavlažování (VRI)**. Většina zavlažovacích systémů aplikuje vodu rovnoměrně na celém poli, nicméně existují podstatné rozdíly v půdních vlastnostech a dostupnosti vody, což znamená, že takový způsob zavlažování je neefektivní. Použití VRI pro prostorově a časově proměnné podmínky a biologické požadavky může zvýšit efektivitu aplikace, zlepšit výnos a kvalitu produktu a snížit environmentální dopad (Soto et al., 2014, s. 16).

Technologie **precizního mechanického plečkování (PPW)** umožňují změny konfigurace mechanických plečkovačů (např. v poloze nebo v odporu vyvíjeném štěty pluhu) během plečkování, aby odpovídaly přítomnosti a/nebo hustotě plevelů na poli. **Variabilní vysévače / sadače (VRP/VRS)** zase upravují rychlost výsevu a setí tak, aby se zvýšila efektivita tohoto procesu, a naopak snížilo množství spotřebovaného materiálu (Grisso et al, 2011).

Další užitečnou technologií, ve které nachází uplatnění autonomní řízení, je **variabilní aplikace živin** (VRNT), která umožňuje hnojení takovým způsobem, aby korespondovalo s konkrétními požadavky plodiny na konkrétním místě v poli. Anorganické hnojivo se rozptyluje buď jako kapalina, nebo jako pevné granule, zatímco hnůj se rozptyluje buď jako kal, nebo jako pevný hnůj. **Variabilní aplikace pesticidů** (VRPA) obdobným způsobem jako ostatní představené technologie upravuje rychlost aplikace látky tak, aby odpovídala skutečnému nebo potenciálnímu poškození polních škůdců. Tato technologie také zabraňuje aplikaci pesticidů tam, kde není potřeba. Tato technologie se obvykle používá i pro variabilní aplikaci hnojiv (Soto et al., 2014, s. 16).

Výše uvedené technologie nejsou vyčerpávajícím výčtem toho, co precizní zemědělství ve spojení s autonomně řízenými zemědělskými stroji nabízí, jedná se však o poměrně pregnantní příklady toho, jak mohou být takové technologie využívány s cílem zefektivnit zemědělství a snížit jeho nákladnost.

2.2.1 Snímače

Autonomně řízené zemědělské stroje využívají řadu snímačů, které potřebují ke své orientaci v prostoru. Jedná se typicky o kamery, radary, lidary a GPS.

Kamery jsou v současnosti u autonomně řízených zemědělských strojů používány jako jeden z hlavních senzorů pro detekci okolního prostředí a následné řízení stroje. Tyto kamery jsou obvykle umístěny na různých místech stroje, jako například na přední části stroje pro detekci překážek a následné řízení směru jízdy, nebo na zadní části stroje pro kontrolu pluhování nebo rozmetání hnojiva. Moderní kamery pro autonomně řízené zemědělské stroje jsou schopné pracovat v různých světelných podmínkách a jsou vybaveny funkcemi jako například detekce hloubky, detekce objektů, sledování obrazu a rozpoznávání rostlin. Tyto funkce umožňují stroji přesněji identifikovat a sledovat cíle, jako jsou rostliny, nebo detekovat překážky a navigovat kolem nich. Některé kamery používané u autonomně řízených zemědělských strojů jsou také schopné v reálném čase zpracovávat data získaná ze senzorů a na základě těchto dat mohou umožnit stroji přizpůsobovat své rozhodování a akce. Například mohou identifikovat a vybírat pouze zdravé rostliny pro sběr nebo aplikovat hnojivo v přesně stanoveném množství a na přesně definovanou pozici. Kamery také mohou být použity k analýze výsledků práce stroje, jako jsou například výsledky sklizně. Data z kamery mohou být dále použita jako základ pro vytváření map, které ukazují, kde bylo, co sklizeno, a také pro analýzu výnosu z různých částí pole. Tyto informace mohou být poté využity pro plánování

budoucí práce na poli, optimalizaci využití půdy a minimalizaci spotřeby zdrojů (Pajares, 2016).

Radary jsou dalším důležitým senzorem, který se využívá u autonomně řízených zemědělských strojů. Radary fungují na základě vysílání elektromagnetických signálů a analýzy odrazů těchto signálů od objektů v okolí. V zemědělství jsou radary používány zejména pro měření vzdálenosti a rychlosti, detekci překážek a sledování polohy stroje. Radary mohou být umístěny na různých místech stroje, jako například na přední části pro detekci překážek a navigaci, nebo na zadní části pro kontrolu hloubky orby. Moderní radary pro autonomně řízené zemědělské stroje jsou vybaveny funkcemi, které umožňují stroji přesněji měřit vzdálenosti a sledovat okolí. Některé radary jsou schopné pracovat i v různých povětrnostních podmínkách, jako jsou déšť, sníh nebo mlha, což zvyšuje spolehlivost senzoru v průběhu celého roku. Další výhodou použití radarů u zemědělských strojů je, že jsou schopné pracovat v širokém spektru vlnových délek a umožňují detekci objektů s různou povrchovou strukturou. To znamená, že stroj může být vybaven různými druhy radarů, které jsou optimalizovány pro různé úkoly, jako například sledování rostlin nebo detekci kamení a větví. Kromě toho jsou některé radary schopné pracovat v reálném čase a poskytovat informace o okolním prostředí téměř okamžitě, což umožňuje zemědělcům a strojním operátorům reagovat na změny v okolí rychleji a přesněji. To zvyšuje produktivitu a efektivitu práce stroje a může také přispět k lepšímu využití zdrojů a snížení nákladů na provoz strojů (Rahmadian et al., 2020).

Lidary v autonomně řízených zemědělských strojích jsou senzory využívané pro navigaci a vnímání okolního prostředí. Tyto lidary mohou být například laserové senzory, které vysílají laserové paprsky a na základě jejich odrazů z okolních překážek a terénu vytvářejí mapu okolí. Lidary umožňují autonomním zemědělským strojům, jako jsou traktory, kombajny nebo sadače, přesně určit svou polohu a vyhnout se kolizím s překážkami. Díky tomu mohou autonomní stroje pracovat efektivněji a bezpečněji (Pajares, 2016).

GPS (*Global Positioning System*) je jedním z klíčových prvků v autonomních zemědělských strojích, protože umožňuje přesné určení polohy stroje na zeměkouli. V kombinaci s dalšími senzory, jako jsou například lidary, dokáže GPS poskytnout autonomnímu stroji dostatečně přesné informace o jeho okolí, aby mohl plánovat a provádět svou práci bez zásahu lidského řidiče. GPS se používá v různých typech autonomních zemědělských strojů, včetně traktorů, kombajnů, sadačů a dalších. Systém GPS může být integrován přímo do stroje nebo může být součástí samostatného zařízení, které se připojuje k stroji. Použití GPS v autonomních zemědělských strojích umožňuje přesné a účinné vedení stroje na poli. Díky tomu

se snižuje překryv prací, což vede k úspoře času, energie a materiálů. Výsledkem je větší produktivita a menší náklady na zemědělskou produkci (Rahmadian et al., 2020).

2.2.2 Výpočetní metody

Úkolem výpočetních metod u autonomně řízených zemědělských strojů je především zpracování dat získaných prostřednictvím senzorů. V následujících odstavcích budou představeny vybrané výpočetní metody, které nachází v této oblasti uplatnění.

Houghova transformace (jedná se o jednu z metod strojového vidění) se používá k izolaci rysů konkrétního tvaru v obrázku. Transformace původně sloužila k identifikaci linií v obraze, ale později byla rozšířena na identifikaci polohy libovolných tvarů, nejčastěji kruhů nebo elips. Hlavní výhodou použití Houghovy transformace je, že je poměrně robustní, i když se skupina bodů mírně mění. Nevýhodou naopak je, že výpočetní zátěž je velká. Vzhledem k tomu, že většina plodin se pěstuje v řadách, nachází u autonomní zemědělské techniky Houghova transformace důležité uplatnění (Li et al., 2009, s. 8).

Kálmánův filtr (či také Kalmanova filtrace) je matematický algoritmus používaný pro odhad stavu systému na základě sérií pozorování, které jsou ovlivněny náhodnými chybami. Tento algoritmus využívá Bayesovského pravděpodobnostního modelu a opakovaně aktualizuje odhad stavu systému na základě nových pozorování. Kalmanova filtrace se často používá v různých oblastech, jako je například navigace, řízení letadel a průmyslová automatizace. Pro autonomní zemědělskou techniku je Kálmánův filtr vhodný z toho důvodu, že poskytuje teoretický rámec pro slučování dat z více senzorů. Tyto integrované systémy mohou zlepšit přesnost určování polohy a co je důležitější, mohou poskytnout spolehlivé krátkodobé informace o poloze, pokud signál GPS zanikne (Xiaoyun, Xiaoling a Xian, 1996, s. 2185-2188).

Důležitými nástroji pro optimalizaci výkonu a spotřeby paliva autonomních zemědělských strojů jsou **simulace a modelování**. Pomocí těchto technik lze vytvořit matematické modely strojů a simulovat různé scénáře pro posouzení jejich výkonu a účinnosti. Výpočetní modely mohou být použity k predikci různých faktorů, jako je například spotřeba paliva, výkon motoru, spotřeba energie a řízení trakce. Simulace mohou být použity k testování výkonu a spotřeby paliva pro různé situace, jako jsou různé typy půd, sklon terénu a počasí. Modelování a simulace také umožňují optimalizaci řízení strojů a rozhodovacích procesů. Například lze pomocí nich optimalizovat trasu stroje pro minimalizaci spotřeby paliva nebo pro maximální efektivitu práce (Li et al., 2009, s. 8).

Při autonomním řízení zemědělských strojů je důležité nejen správně naplánovat cestu, ale také efektivně řídit rychlost a směr stroje. K tomuto účelu se používají různé metody řízení, jako jsou například **PID regulátory** a **fuzzy logika**. PID (proporcionálně-integračně-diferenční) regulátory jsou velmi často používané v průmyslové automatizaci a řízení procesů. Tento typ regulátoru umožňuje stabilizovat a udržovat danou hodnotu určité veličiny (např. rychlosti stroje) tím, že vyhodnocuje rozdíl mezi požadovanou a skutečnou hodnotou, integruje tento rozdíl v čase a řídí rychlost změny veličiny pomocí diferenciace. PID regulátor lze nastavit pro dosažení optimálního výkonu a spotřeby paliva zemědělského stroje. Fuzzy logika je odlišná metoda řízení, která je inspirována způsobem, jakým lidé rozhodují na základě nejasných a nevědomých informací. Tato metoda pracuje s fuzzy soubory, což jsou soubory hodnot, které mohou mít částečnou příslušnost k určité třídě (např. rychlost stroje). Tento typ řízení lze využít k tomu, aby se stroj dokázal přizpůsobit různým terénům a podmínkám, což může vést k úsporám paliva a zvýšení výkonu (Ali, Bouadila, Mami, 2018, s. 798-800).

Algoritmy pro plánování cesty a navigaci v reálném čase jsou klíčové pro autonomní zemědělské stroje, které musí samostatně plánovat svou trasu a navigovat se v poli bez lidského zásahu. Mezi tyto algoritmy patří například A* a RRT*. A* (A-star) je heuristický algoritmus pro nalezení nejkratší cesty v pozitivním grafu. V kontextu autonomních zemědělských strojů se A* používá k plánování nejkratší trasy mezi počátečním a cílovým bodem v poli. Algoritmus používá heuristickou funkci k odhadu vzdálenosti mezi aktuálním bodem a cílem, což mu umožňuje efektivně prohledávat graf a najít nejkratší cestu. A* algoritmus se často používá v kombinaci s RRT* algoritmem pro plánování cesty v reálném čase. RRT* (Rapidly-exploring Random Tree) je navržen tak, aby byl efektivní pro plánování cest v dynamickém prostředí. Algoritmus vytváří strom náhodně v prostoru a postupně ho rozšiřuje do oblastí, které nebyly dosud prozkoumány. RRT* používá heuristickou funkci pro výběr nejlepšího bodu k rozšíření stromu. Algoritmus umožňuje rychlé plánování cesty v reálném čase a je schopen reagovat na změny v prostředí. Oba algoritmy mohou plánovat trasy v reálném čase a optimalizovat výkon a spotřebu paliva autonomního zemědělského stroje (Guzmán, Acevedo, Guevara, 2019).

2.2.3 Navigační plánovače

Existují různé modely pro pohyb vozidel. První z nich je tzv. **dead reckoning** (tzv. mrtvé počítání), který využívá poslední známý bod a rychlost a směr, kterým se vozidlo pohybuje. Nevýhodou tohoto modelu je, že je závislý na kvalitě naměřených odchylek. V současnosti se již využívá spíše GPS, nicméně dead reckoning je využíván v situacích, kdy GPS není k dispozici, nebo vypadává. **Kinematický model** spočívá v tom, že je založen na

geometrických vztazích, přičemž dynamika není implementována. Předpokladem pro aplikaci tohoto modelu je nízká rychlost jízdy (v souvislosti s nižší směrovou odchylkou kola). Vzhledem k aspektům, jako je například složitost terénu, je tento model pro zemědělské stroje obtížněji uplatnitelný, nicméně jsou vyvíjeny stále sofistikovanější kinematické modely, které počítají i s rušivými faktory (Li et al., 2009, s. 10).

Dalším modelem, který je používán pro pohyb zemědělských vozidel, je **dynamický model**. Dynamické modely bývají poměrně složité, protože počítají s determinanty, jako je setrvačnost, skluz, pružnost a podobně, což vede k velkým a složitým modelům. Jako vhodnější se proto jeví sensorická fúze, která spočívá v kombinaci informací z různých snímačů, jelikož jednotlivé technologie samy o sobě nemohou dostatečně kvalitně zajistit navigaci vozidla, nicméně při kombinaci různých zdrojů dochází k eliminaci nepřesností (Li et al., 2009, s. 10).

Nakonec ani zemědělské technice se nevyhnul trend využití umělé neuronové sítě. Jedním z příkladů je tzv. **neuronový řídicí model** (neural steer model), který umožňuje přesné řízení zemědělského vozidla na základě dat z různých senzorů a informací o prostředí (Ashraf, Takeda, Torisu, 2010, s. 100). Tento model je navržen jako neuronová síť s vysokou schopností učení a je aplikován na navigaci zemědělského vozidla na různých typech terénu. Dalším příkladem je použití neuronových sítí k odhadování chování vozidla na svažitém terénu. V tomto případě jsou neuronové sítě trénovány na základě dat o chování vozidla na různých svazích a použity k predikci chování vozidla na nových svažitých terénech. Neuronové sítě jsou také využívány k integraci informací z různých senzorů pomocí tzv. sensor fusion. To umožňuje získat lepší a spolehlivější výsledky při navigaci vozidla v různých prostředích a podmínkách (Li et al., 2009, s. 11).

2.3 Autonomní zemědělská technika

Autonomní zemědělská technika představuje novou generaci zemědělských strojů, které jsou schopny provádět různé zemědělské operace bez lidského řidiče. Tyto stroje jsou vybaveny nejrůznějšími senzory, jako jsou GPS, lidary, kamery a další, které jim umožňují vnímat okolí a reagovat na něj v reálném čase. Mezi autonomní zemědělskou techniku patří například autonomní traktory, kombajny, sadače a rozprašovače. Tyto stroje mohou být navrženy pro specifické úlohy, jako je například sklizeň, setí nebo rozprašování hnojiv. Mohou být také navrženy pro použití v různých klimatických podmínkách a terénech (Shepard, 2023).

V současné době se vývojem a produkcí komerčních autonomních zemědělských strojů zabývá hned několik společností. Například společnost John Deere produkuje autonomní traktory a postřikovače (založené na zařízení „see and spray“, které využívá kamery, strojové učení a umělou inteligenci k tomu, aby detekoval plevel), slibně vypadají i startupy, jako je Monarch Tractor a Midnight Robotics (Wodecki, 2022). Dalšími velkými společnostmi v tomto odvětví jsou AGCO, Iseki a Kubota.

Na trhu se aktuálně objevují **e-traktory** s autonomním řízením, které mohou snížit emise a náklady na fosilní paliva. Tyto stroje jsou však zatím omezeny na menší modely, protože velké traktory by potřebovaly velké a vysoce výkonné akumulátory. Navíc velké e-traktory váží mnohem více, což v důsledku vede k nežádoucímu zhutňování půdy. E-traktory jsou traktory poháněné elektřinou, které nabízejí alternativu ke konvenčním traktorům poháněným spalovacími motory. E-traktory mají několik výhod, jako jsou nízké provozní náklady, nulové emise a tichý provoz. Tyto traktory jsou obvykle vybaveny bateriemi, které lze dobíjet z domácí zásuvky nebo z nabíjecí stanice. Baterie umožňuje traktorů pracovat po dobu několika hodin, což je vhodné pro menší zemědělské podniky. Výrobci e-traktorů se snaží zvyšovat výkon a dojezd baterií, aby mohly být využívány i většími zemědělskými podniky. E-traktory se také často kombinují s další autonomní technologií, jako jsou robotické sklízecí nebo drony, aby zvýšily efektivitu a produktivitu práce na poli (Shepard, 2023).

Autonomní sklízecí mlátičky jsou příkladem moderního zemědělského zařízení, které využívá nejnovější technologie pro autonomní řízení, sensoriku a počítačové vidění k efektivnímu sklizení plodin. Tyto stroje jsou navrženy tak, aby dokázaly samy identifikovat a sklízet plodiny bez potřeby manuálního řízení. Autonomní sklízecí mlátičky jsou vybaveny řadou senzorů, jako jsou kamery, lidary, radarové senzory a GPS, které jim umožňují sledovat polohu plodin, detekovat překážky a navigovat v terénu. Díky této vyspělé sensorice jsou autonomní sklízecí mlátičky schopny sklízet plodiny mnohem rychleji a s vyšší přesností než tradiční sklízecí stroje (Pilz, Feichter, 2017).

Jedním z hlavních přínosů autonomních sklízecích mlátiček je také to, že umožňují farmářům provádět sklizeň ve velkém měřítku s nižšími náklady na pracovní sílu. Vzhledem k tomu, že stroje pracují autonomně, není třeba zaměstnávat tolik pracovníků a je také snížena potřeba ruční práce. Dalším přínosem autonomních sklízecích mlátiček je, že díky vyspělé sensorice jsou schopny identifikovat zralé plodiny a sklízet je v optimálním čase, což zajišťuje maximální výtěžnost z pole. To znamená, že farmáři mohou dosáhnout vyšších výnosů a zároveň snížit náklady na sklizeň. Nicméně, jako s každou novou technologií, jsou autonomní

sklízecí mlátičky stále ve vývoji a musí být testovány na různých typech půd a v různých klimatických podmínkách. Navíc, i když jsou tyto stroje schopny sklízet plodiny autonomně, je třeba dbát na bezpečnost a provádět pravidelnou údržbu, aby byla zajištěna správná funkčnost a minimalizována pravděpodobnost havárií (Pilz, Feichter, 2017).

Drony se v posledních letech staly důležitým nástrojem zemědělství 4.0. Drony umožňují zemědělcům sbírat informace z velkého množství polí rychleji a s větší přesností než kdykoli předtím. Lze shrnout, že drony se v precizním zemědělství využívají zejména v následujících oblastech (Puri, Nayyar, Raja, 2017):

- monitoring půdy a plodin (drony mohou být vybaveny různými senzory, včetně multispektrálních kamer a termokamer, které umožňují zemědělcům sbírat data o stavu půdy a růstu plodin – tato data mohou být následně použita k identifikaci problémů, jako jsou choroby, škůdci, nedostatek vody a hnojiv, a také k určení optimálního času pro sklizeň);
- zvýšení přesnosti zemědělství (drony mohou být naprogramovány k aplikaci herbicidů, pesticidů a hnojiv s vysokou přesností – tímto způsobem mohou zemědělci minimalizovat spotřebu těchto látek a snížit tak své náklady na provoz);
- efektivní sklizeň (drony mohou být využity při sklizni plodin, jako jsou třeba hrozny nebo ovoce – drony vybavené speciálními technologiemi mohou sklízet plody rychleji a efektivněji než lidská pracovní síla);
- kontrola zavlažování (drony mohou být využity k monitorování a kontrole zavlažování, kdy jsou s pomocí dronů detekovány oblasti s nedostatkem vody a ty jsou následně s vysokou přesností zavlaženy vodou);
- analýza terénu (drony mohou být využity k mapování terénu a k identifikaci nepravidelností, jako jsou terénní nerovnosti nebo překážky – tato data mohou být následně použita k optimalizaci trasy pro autonomní zemědělské stroje).

Robotické sklízeče jsou autonomní zemědělské stroje navržené ke sklizni plodin s minimalizací nebo bez lidského zásahu. Tyto stroje se v poslední době stávají stále populárnějšími, protože nabízejí pro zemědělce řadu výhod, jako je zlepšení efektivity sklizně, zvýšení kvality sklizeného produktu, snížení nákladů a zlepšení ergonomie práce. Robotické sklízeče jsou obvykle vybaveny různými senzory, jako jsou kamery, laserové senzory a ultrazvukové senzory, které jim umožňují identifikovat a lokalizovat plodiny, určit jejich zralost a přesnost sklizně. Některé modely sklízečů jsou specializovány na sklizeň konkrétních plodin, jako jsou například jahody, salát nebo rajčata. Robotické sklízeče mohou být buď plně

autonomní, nebo ovládané dálkově s pomocí mobilní aplikace či jiného zařízení. Některé modely mohou být také vybaveny robotickými rameny, která jim umožňují sklizeň plodin bez nutnosti, aby stroj musel jet přímo za nimi (Pilz, Feichter, 2017).

Výhodou autonomní zemědělské techniky je, že zvyšuje efektivitu zemědělské práce, snižuje náklady na pracovní sílu a minimalizuje lidskou chybovost. Díky tomu se zvyšuje produktivita zemědělského sektoru a zlepšuje se využívání zemědělské půdy. Avšak s příchodem autonomní zemědělské techniky se také objevují otázky týkající se bezpečnosti a regulace. Například otázka, kdo je zodpovědný za škody v případě nehody s autonomním strojem. Tyto otázky budou muset být vyřešeny, aby bylo možné plně využít potenciálu autonomní zemědělské techniky (Droukas et al. 2023).

V současné době existuje velké množství autonomních zemědělských strojů, přičemž průběžně vznikají stále nové typy s dalším specifickým použitím (například automatizované stroje určené pro mytí dobytka, pro dojení, stříhání ovcí, sázení rýže, prořezávání rostlin a podobně). Výše představené autonomní zemědělské stroje tak nepředstavují vyčerpávající výčet, ale spíše přehled strojů, které jsou aktuálně nejvíce rozšířené.

3 Přednosti a nedostatky autonomního řízení zemědělských strojů

Autonomní řízení zemědělských strojů má několik předností. Předně zvyšuje efektivitu a produktivitu práce. Autonomní stroje mohou pracovat nepřetržitě a rychleji než tradiční stroje řízené člověkem, což zvyšuje efektivitu práce a umožňuje dokončit více práce v kratším čase, což je přínosné zejména při sezónních pracích, které je třeba dokončit co nejrychleji.

Další výhodou je skutečnost, že automatizace v zemědělství snižuje náklady na pracovní sílu. Autonomní stroje eliminují potřebu lidského řízení a dohlížení, což snižuje náklady na pracovní sílu a umožňuje provozovatelům ušetřit peníze (Soffar, 2022). Dochází též k eliminaci lidské chyby a ke zvýšení ziskovosti. K tomu napomáhá i skutečnost, že autonomní stroje pracují s větší přesností a konzistencí díky přesnému GPS řízení a senzorům, což vede ke zlepšení celkové kvality práce. Přesná technologie umožňuje optimalizovat například zavlažování, hnojení a setbu, čímž vede k vyšším výnosům a nižším nákladům. Tyto aspekty mají také pozitivní dopady na životní prostředí (Fred, 2023).

Autonomní zemědělské stroje jsou také vybaveny různými bezpečnostními funkcemi, jako jsou senzory a kamery, které pomáhají minimalizovat riziko nehod a zranění (což je podstatné zejména pro zemědělství, kde je riziko zranění vysoké). Tyto technologie napomáhají i dosažení vyšší produktivity a ke snížení nákladů na semena a hnojiva. Automatické systémy mohou rovněž pomoci zlepšit kvalitu plodin nebo hospodářských zvířat, například automatizované dojící systémy mohou pomoci snižovat stres u krav (Soffar, 2022).

V neposlední řadě lze díky senzorům umístěným na zemědělské technice sbírat užitečná data, která je možné dále zpracovávat. Díky tomu mohou zemědělci získat důležité údaje související se zavlažováním, hnojením a výnosy. To jim umožňuje činit informovaná rozhodnutí o dalším vývoji farem. Díky tomu mají zemědělci vyšší kontroly nad zemědělskými procesy (Robotics Biz, 2019).

Na druhé straně existují i některé nedostatky autonomního řízení zemědělských strojů. Předně se jedná o to, že autonomní stroje jsou obvykle dražší než klasické stroje řízené člověkem, což může být pro mnoho zemědělských podniků finanční zátěží, kterou si nemohou dovolit (Soffar, 2022). Existuje navíc riziko, že technologie časem zastará, což může vést k dodatečným nákladům. Autonomní stroje jsou také vybaveny složitými senzory a řídicími systémy, což může být náročné na údržbu a opravy. Pro správnou instalaci, údržbu a opravy

autonomních strojů je obvykle potřeba odborný personál, což může být pro některé zemědělské podniky nákladné. Tyto stroje jsou také obvykle navrženy pro velmi specifické úkoly (například automatizované stroje na stříhání ovcí) a podmínky, což může být omezující pro některé zemědělské podniky (Robotics Biz, 2019).

Přijetí automatizace v zemědělství s sebou přináší obavy ze ztráty pracovních míst v tomto odvětví (Robotics Biz, 2019). To může být výhodou v oblastech, kde je v zemědělství dlouhodobý nedostatek pracovníků (například ve Velké Británii či ostatně i v České republice), ale ohrožením v zemích, kde je zemědělství hlavním zdrojem zaměstnanosti a kde by mohla mít automatizace potenciálně významný dopad na místní ekonomiku (Fred, 2023).

Ačkoli automatizace v zemědělství značně pokročila, stále je třeba lidský zásah ke specifickým úkolům, například když má stroj projet bariérou, která není jasně viditelná pro senzor automobilu (Soffar, 2022).

Výhody a nevýhody automatizace v zemědělství lze shrnout následujícím způsobem:

Výhody automatizace zemědělství	Nevýhody automatizace zemědělství
<ul style="list-style-type: none"> • vyšší produktivita • efektivnější využití zdrojů • lepší kvalita produktů • více bezpečnosti • méně lidských pracovníků • šetření času • ekologičtější zemědělství 	<ul style="list-style-type: none"> • ztráta uplatnění pro lidské pracovníky • velké výdaje pro nákup strojů • potenciálně nová bezpečnostní rizika • stále nutnost lidského zásahu • vysoká specializovanost některých strojů • nutnost pracovníků-specialistů pro opravu a údržbu strojů

Tabulka č. 1: Přehled výhod a nevýhod automatizace řízení v zemědělství (vlastní zpracování)

4 Právní aspekty autonomního řízení zemědělských strojů

Autonomní řízení zemědělských strojů je stále relativně novou technologií a jaké takové s sebou přináší řadu právních aspektů, které je třeba zvážit. Předně se jedná o to, že většina zemí dosud nemá nastavené procesy, které jsou nutné pro tvorbu zákonů, prostřednictvím kterých by bylo možné efektivně ošetřit používání autonomních vozidel.

Dalším důležitým tématem je etika ve fungování algoritmů autonomních zemědělských vozidel, a to zejména v komplikovaných situacích, kdy by bylo třeba aplikovat zákony Isaaca Asimova¹. V tomto smyslu je pokrokovou zemí Německo, které implementovalo směrnici, podle které musí algoritmus autonomního vozidla preferovat lidský život a až poté majetkové hodnoty. Ačkoli Česká republika přijala dokument *Vize rozvoje autonomní mobility*, nelze konstatovat, že by český právní řád byl připraven na významnější nasazení autonomně řízených strojů v zemědělství (ČTK, 2020).

Prakticky nejdiskutovanějším právním problémem je u laické i odborné veřejnosti odpovědnost za nehody a škody. Při používání autonomních strojů mohou nastat situace, kdy bude třeba zvážit, kdo je zodpovědný za nehody a způsobené škody. Bude to provozovatel stroje, výrobce stroje, nebo poskytovatel softwaru? Stávající právní řád nabízí především řešení formou odpovědnosti za škodu způsobenou provozem dopravního prostředku, odpovědnosti za škodu způsobenou vadou výrobku či škody způsobené věcí (Faltus, 2021).

V případě trestní odpovědnosti je možné předpokládat, že se nebude týkat osoby řidiče vozidla, jelikož ke vzniku trestní odpovědnosti je nutné jednání vedoucí ke vzniku škodlivého následku. Řidič (respektive osoba jedoucí v autě) však již nebude moci do řízení zasahovat – to však neznamená, že by bylo možné zároveň dovést odpovědnost výrobce či jiných osob. O odpovědnosti výrobce by bylo možné hovořit zejména v situaci, kdy by kvůli chybě programátora došlo ke smrti či ublížení na zdraví fyzických osob. Případná nehoda však nemusí být způsobena pouze technickou vadou či chybou v algoritmu – může být zaviněna například i

¹ Zákony Isaaca Asimova jsou tři zákony robotiky, které v roce 1942 popsal spisovatel a vědec Isaac Asimov ve svých sci-fi povídkách. Tyto zákony se staly klíčovým konceptem v oblasti robotiky a umělé inteligence. Jedná se o následující zákony robotiky:

1. Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.
2. Robot musí poslouchat příkazy lidí, pokud takové příkazy nevedou k porušení prvního zákona.
3. Robot musí chránit svou existenci, pokud taková ochrana nevede k porušení prvního nebo druhého zákona.

Tyto zákony jsou v zásadě morálním kodexem pro roboty, přičemž zajišťují, že roboti nebudou ohrožovat člověka. Nicméně v praxi může být uplatňování těchto zákonů složité, protože je často těžké definovat, co přesně znamená „ublížit“ člověku, nebo jak přesně definovat příkazy, které nejsou v rozporu s prvním zákonem.

ostatními účastníky provozu. Obecně tedy bude nutné při vyvozování trestní odpovědnosti zkoumat, kdo nebo co způsobilo danou nehodu.

Této problematice se týká i otázka pojištění – při používání autonomních strojů je třeba zvážit, jaké pojištění bude potřeba. Je třeba zohlednit možné nehody a škody, jakožto i případné poruchy strojů. V tomto kontextu dodejme, že autonomní stroje musí být certifikovány, aby byly splněny veškeré předpisy a bezpečnostní standardy. To může být náročné a finančně nákladné pro výrobce i provozovatele strojů (Greenblatt, 2016).

Etické problémy vycházejí z toho, že počítač není schopen si domyslet různé etické aspekty svého rozhodování, ale je plně racionální i v takových případech, kdy člověk jedná spíše instinktivně. Z dotazování u veřejnosti vyplynulo, že lidé upřednostňují, aby autonomně řízené stroje chránily vždy je – jinak řečeno u ostatních lidí respondenti preferují, aby si kupovali takové automobily, které by obětovaly řidiče, pokud by bylo zároveň možné ochránit více lidí, ale u vlastního auta by upřednostňovali, aby v případě nehody ochránilo zejména je (Kasík, 2016).

Specifickou problematikou jsou práva duševního vlastnictví. Autonomní stroje využívají sofistikované technologie a software, které mohou být chráněny autorskými právy a patenty. Je třeba zajistit, aby byla dodržována veškerá práva duševního vlastnictví a aby bylo dodržováno platné právo. Další právní oblastí, do které automatizace v zemědělské technice zasahuje, je ochrana osobních údajů. Autonomní stroje jsou vybaveny senzory a kamery, které shromažďují data. Je tedy třeba zajistit, aby byla ochrana osobních údajů respektována a aby byla data používána pouze v souladu s platnými právními předpisy (Greenblatt, 2016).

V některých zemích mohou být autonomní stroje regulovány zvláštními právními předpisy. Je třeba zvážit, jaké jsou tyto předpisy a jak mohou ovlivnit používání autonomních strojů. Například Evropská unie aktuálně připravuje právní předpisy, které budou řešit odpovědnost v případě nehod způsobených autonomními vozidly. Obecně je nutné zajistit, aby byly právní předpisy dostatečně flexibilní, aby mohly efektivně regulovat nové technologie, ale zároveň dostatečně přísné, aby chránily zdraví a bezpečnost lidí a ochránily životní prostředí (Ilková, Ilka, 2017, s. 428-432).

5 Autonomní stroje v odborném kurikulu

V rámci RVP Zemědělství a Lesnictví se může tato problematika nacházet v oborech 41-45-M/01 Mechanizace a služby, 41-41-M/01 Agropodnikání popř. také v oborech 41-04-M/01 Rostlinolékařství a 41-46-M/01 Lesnictví.

Pro podrobnější analýzu byly vybrány obory Mechanizace a služby a Agropodnikání, kde bylo zjišťováno, zda je problematika zahrnuta do odborných kompetencí nebo konkrétních výstupů učení.

Obor Mechanizace a služby

V rámci tohoto oboru jsem identifikoval že není problematika autonomního řízení zemědělských strojů přímo uvedena. Nicméně v rámci odborných kompetencí je možné problematiku zařadit pod odbornou kompetenci *Zajišťovat provozní spolehlivost a efektivní využívání techniky*. Absolvent by měl v rámci dané kompetence zvládnout sledovat vývoj zemědělské techniky a usilovat o modernizaci zemědělské techniky v návaznosti na jednotlivé technologické procesy a uplatňovat technologické a organizační schopnosti pro maximální využití výkonu zemědělské techniky.

Obor Agropodnikání

I v tomto případě jsem u daného oboru identifikoval že není problematika autonomního řízení zemědělských strojů taktéž přímo uvedena. Nicméně i zde v rámci odborných kompetencí je možné problematiku zařadit pod odbornou kompetenci *Efektivně využívat zemědělskou techniku, řídit motorová vozidla*. Zde by měl absolvent zvládnout obdobné znalosti a dovednosti viz předchozí obor ale navíc je zde i problematika více zaměřena na výběr technologií, prostředků a strojů pro optimalizaci efektivní zemědělské výroby.

6 Výzkumné šetření

Tento výzkum dělám proto abych zjistil, zdali na středních školách zemědělských se tato problematika nachází. A výzkum se zabývá tím, jestli žáci během výuky nebo během praxe ať už ve škole nebo mimo školu s touto problematikou přišly do kontaktu a také popřípadě jestli vyučující daných předmětů kterých se to týká mohly nebo museli problematiku zařadit do výuky svého předmětu

6.1 Charakteristika a cíle výzkumu

Pro řešení výzkumu na středních zemědělských školách byl stanoven hlavní cíl a k němu dva odpovídající dílčí cíle.

Cílem výzkumu je zjistit, zda je problematika autonomního řízení zemědělských strojů obsažena v odborném vzdělávání na středních školách zemědělských.

Dílčím cílem je zjistit, zda se žáci během teoretické nebo praktické výuky setkali s problematikou autonomního řízení zemědělských strojů.

Druhým dílčím cílem je zjistit, zda učitelé zařazují problematiku autonomního řízení zemědělských strojů do své výuky.

6.2 Výzkumné otázky a předpoklady

Jakými otázkami docílím toho, co chci zjistit?

Ke splnění stanovených cílů výzkumu byly formulovány odpovídající výzkumné otázky, jejichž znění je uvedeno níže. Výzkumné otázky odpovídají položkám dotazníku.

Výzkumné otázky:

VO₁ – Jaké máte zkušenosti s Autonomním řízením nebo samonaváděním v zemědělské technice?

VO₂ – Měly jste už možnost si vyzkoušet samonaváděcí a autonomní technologie v praxi?

VO₃ – V rámci výuky jste se dostaly do kontaktu s touto problematikou?

6.3 Metoda výzkumu

Pro řešení výzkumu byla zvolena kvantitativní metoda ve formě dotazníkového šetření. Podle Chrásky (2016) je dotazník efektivní metodou, která umožňuje oslovit velký vzorek respondentů relativně v krátkém čase. Při sestavování dotazníku byly dodrženy vybrané zásady a pravidla, které uvádí tentýž autor.

Dotazníkové šetření obsahuje 8 uzavřených otázek a 2 otevřené otázky. Distribuce dotazníku proběhla v měsíci Leden roku 2023 pomocí online nástrojů společnosti Survio. Data byly shromážděny a zpracovány v tabulkovém editoru MS Office Excel. Výsledky byly prezentovány pomocí tabulek a grafů, vč. vyhodnocení a slovní deskripce

6.4 Charakteristika výzkumného souboru

K mému výzkumu jsem vybral všechny žáky a vyučující středních zemědělských škol v olomouckém kraji, protože jsem potřeboval do svého výzkumu respondenty, kteří jsou z oboru a z oblasti u které znám podmínky našeho zemědělství. Základní soubor tedy tvořily žáci a učitelé zemědělských škol v Olomouckém kraji. Záměrem bylo oslovit všechny, což se úplně nepodařilo, proto dále pracujeme s výzkumným souborem, kterým je tvořen 295 žáků a 13 učiteli.

6.5 Výsledky výzkumného šetření

Pro vyhodnocení výzkumných otázek byly zvoleny metody deskriptivní statistiky bez zjišťování vztahových souvislostí proměnných.

Výzkumná otázka VO₁ – Jaké máte zkušenosti s Autonomním řízením nebo samonaváděním v zemědělské technice?

Odpověď	Responzí	Podíl
Ano mám bohaté zkušenosti	29	9,5%
Ano tato problematika mě zajímá	55	18,0%
Ne ale slyšel jsem o tom	154	50,3%
Ne vůbec mě to nezajímá	68	22,2%

Tabulka č.2: četnosti odpovědí na otázku VO₁.



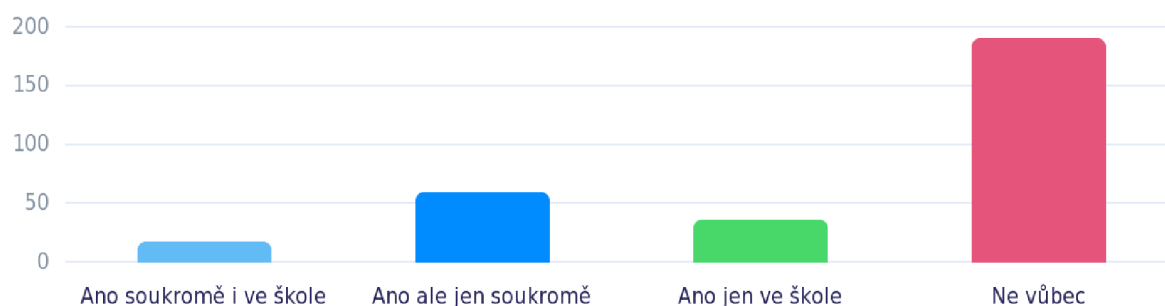
Graf č.1: četnosti odpovědí na otázku VO₁

Na základě výsledků uvedených v tabulce č. 1 můžeme konstatovat, že 72,5 % respondentů nemá prakticky žádné zkušenosti s problematikou autonomního řízení nebo se samonaváděním v zemědělské technice. Pouze méně než 10 % respondentů má s problematikou bohaté zkušenosti. Z výsledků je tedy možné vyvodit, že v odborných školách zemědělských není dosud problematika zakotvena v realizovaném kurikulu, což odpovídá i analýze plánovaného kurikula v podobě RVP, kde není problematika přímo uvedena.

Výzkumná otázka VO₂ Měly jste už možnost si vyzkoušet samonaváděcí a autonomní technologie v praxi?

ODPOVĚĎ	RESPONZÍ	PODÍL
Ano soukromě i ve škole	18	5,9%
Ano ale jen soukromě	60	19,6%
Ano jen ve škole	37	12,1%
Ne vůbec	191	62,4%

Tabulka č.3: četnosti odpovědí na otázku VO₂.



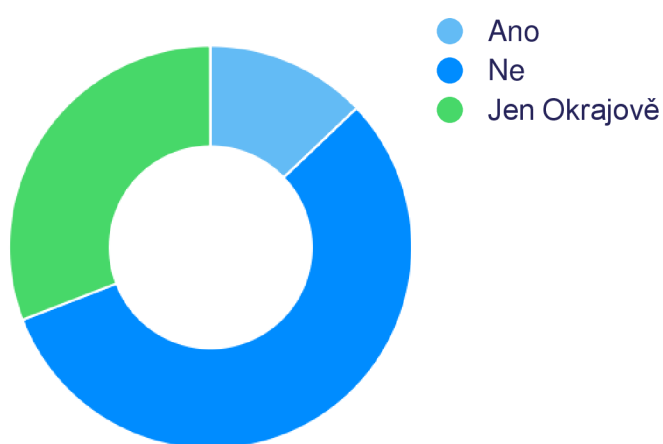
Graf č.2: četnosti odpovědí na otázku VO₂

Z výsledku tabulky č.2 je patrné že 62,4 % respondentů vůbec ani nepřišlo s problematikou do kontaktu, a tudíž si nemohli vyzkoušet samonaváděcí či autonomní technologie v zemědělství. Pouze 12,1 % respondentů si vyzkoušelo problematiku ve škole. Proto by se dalo vyvodit z výsledků, že v odborných školách buď nemají finance na zakoupení této techniky, která má samonavádění či autonomní prvky anebo v odborných školách nechtějí s těmito prvky pracovat.

Výzkumná otázka VO₃ – V rámci výuky jste se dostaly do kontaktu s touhle problematikou?

ODPOVĚĎ	RESPONZÍ	PODÍL
Ano	38	12,9%
Ne	166	56,3%
Jen Okrajově	91	30,8%

Tabulka č.4: četnosti odpovědí na otázku VO₃.



Graf č.3: četnosti odpovědí na otázku VO₃

Z výsledků z tabulky č.3 můžeme vidět že 56,3 % respondentů odpovědělo že ve výuce nebylo zmíněno téma autonomní řízení zemědělských strojů pouze 12,9 % respondentů odpovědělo že ano a 30,8 % respondentů zmínilo že se ve výuce tomuhle tématu věnovaly jen sporadicky. Patrné je že vyučující buď nemají dostatek prostoru k výuce problematiky autonomního řízení zemědělských strojů anebo nechtějí tuto výuku zahrnout nějakým způsobem do svého učebního plánů.

6.6 Shrnutí a diskuse

Na základě zjištěných výsledků můžeme provést shrnutí výzkumného šetření a odpovědět na stanovené výzkumné otázky.

VO₁ – Jaké máte zkušenosti s Autonomním řízením nebo samonaváděním v zemědělské technice?

Z výsledků je patrné, že většina respondentů nemá potřebné zkušenosti s problematikou autonomního řízení zemědělských strojů. Toto zjištění podporují i následující výsledky otázek.

VO₂ – Měli jste už možnost si vyzkoušet samonaváděcí a autonomní technologie v praxi?

Přibližně jedna čtvrtina respondentů měla někdy možnost si prakticky vyzkoušet práci s autonomním řízením zemědělských strojů, z toho však je převažující část respondentů, kteří si tak mohli vyzkoušet podmínkách soukromých, nikoliv ve škole.

VO₃ – V rámci výuky jste se dostaly do kontaktu s touto problematikou?

Téměř 90 % respondentů se ve výuce nedostalo do kontaktu s problematikou nebo jen velmi okrajově.

Z výše uvedených shrnutí je patrné, že problematika autonomního řízení zemědělských strojů nemá v současnosti své pevné místo v obsahu odborného vzdělávání, nakolik praxe a výrobní sféra k těmto technologiím přistupuje z různých důvodů čím dál častěji. Současné trendy automatizace zemědělství se budou potýkat s nedostatkem kvalifikovaných lidí a je tedy potřebné, aby došlo k revizi odborného obsahu vzdělávání, nakolik je z výsledků šetření patrné, že i současný obsah vzdělávání nabízí možnosti, respektive témata, kam mohou školy problematiku implementovat. Je tedy otázkou, proč tak školy nečiní. Zde můžeme uvést pouze jisté domněnky, a to především, že autonomní technika je v současnosti nad finančními možnostmi škol. Zároveň nejsou školy dostatečně provázány s výrobním prostředím, ať už z hlediska úzké spolupráce v rámci praxí žáků středních odborných škol nebo i materiální podpory například v podobě i pouhého zapůjčení strojů. Dalším důležitým předpokladem může být samotné zakotvení učiva v RVP, které není explicitně stanoveno, a tudíž školy nevnímají problematiku jako klíčovou pro jejich učební plán.

Závěr

Předkládaná práce se zabývala problematikou autonomního řízení zemědělských strojů. Autonomní řízení zemědělských strojů znamená, že zemědělské stroje (jako například traktory, mlátičky apod.) jsou schopny se pohybovat a pracovat na poli samostatně bez lidského řízení. Tento typ technologie se stává v zemědělském sektoru stále populárnější, jelikož umožňuje zemědělcům zvýšit efektivitu a produktivitu své práce a snížit náklady na pracovní sílu. Autonomní stroje jsou standardně vybaveny řadou senzorů a softwaru, které jim umožňují analyzovat a interpretovat data z polí a na jejich základě se rozhodovat o tom, jak nejlépe provádět úkoly, jako je setí, sklizeň nebo aplikace hnojiv a pesticidů.

Autonomní zemědělské stroje se vyznačují přesným a opakovaným prováděním úkolů, což může vést ke zlepšení kvality plodin, a naopak ke snížení nákladů na spotřebu hnojiv a pesticidů. Díky tomu, že tyto stroje pracují samostatně, může být sníženo riziko chyb a nehod způsobených lidským faktorem. Zároveň však stále existují určité výzvy a rizika, jako jsou například technické poruchy, obtížná údržba a nutnost přizpůsobit se nové technologii a naučit se s ní pracovat. Významným problémem jsou i etické a právní aspekty využívání těchto technologií, které je třeba do budoucna řešit.

Cílem předkládané práce bylo autonomní řízení zemědělských strojů představit jako součást tzv. zemědělství 4.0, které je integrací moderní techniky a technologie v zemědělství a rozebrat vybrané aspekty této oblasti. V závěru práce lze konstatovat, že tohoto cíle bylo dosaženo. V průběhu literární rešerše bylo zjištěno, že oblast autonomního řízení zemědělských strojů se velmi dynamicky vyvíjí – průběžně dochází k inovacím a k vynálezům nových typů strojů, které slouží k novým účelům.

Obecně můžeme konstatovat, že používání autonomně řízených zemědělských strojů přináší množství výhod. Tyto stroje zvyšují efektivitu zemědělské práce, zlepšují kvalitu a výnosnost plodin a minimalizují náklady na pracovní sílu. Díky přesnému řízení se snižuje riziko poškození rostlin a optimalizuje se využívání hnojiv a pesticidů, což může vést ke snížení negativního dopadu zemědělství na životní prostředí. Autonomní stroje také zlepšují bezpečnost a pohodlí pro obsluhu, jelikož eliminují potřebu ručního řízení, což zvyšuje produktivitu a snižuje riziko únavy a chyb lidského pracovníka.

Na druhou stranu je třeba zmínit i nedostatky aktuálního stavu autonomního řízení zemědělských strojů. Předně se jedná o chybějící legislativu, která by ošetřovala otázky, jako je například odpovědnost v případě nehod a škod. Dále se jedná o finanční náročnost. Tyto

stroje jsou často velmi drahé a jejich údržba a opravy mohou být nákladné a složité, což může být pro menší zemědělce neudržitelné. Zároveň může být problematické najít kvalifikované techniky, kteří jsou schopni stroje průběžně opravovat a udržovat. Další nevýhodou může být potřeba přizpůsobit se nové technologii a naučit se s ní pracovat, což může být pro některé zemědělce obtížné a časově náročné. Také se může stát, že autonomní stroje nebudou schopny řešit neobvyklé situace, jako je například nepředvídatelné počasí, složitý terén apod., což může vést k výpadkům v produkci a ztrátám na výnosech.

Obecně lze však soudit, že díky průběžnému vývoji autonomních zemědělských technologií a k řešení právních otázek jejich využití převažují výhody implementace těchto technologií do precizního zemědělství nad nevýhodami. Do budoucna se tak bude třeba zamyslet zejména nad tím, jaký vliv budou tyto technologie mít pro země, kde je většina ekonomiky založena na práci v zemědělství, a kde tedy může ztráta pracovních míst v tomto odvětví způsobit potenciální problémy.

Vývoj autonomní zemědělské techniky se může potenciálně stát klíčem k lepší udržitelnosti a ochraně životního prostředí. Díky přesnějšímu a efektivnějšímu využití půdy a zdrojů může být snížena spotřeba energie a emise skleníkových plynů, což pomůže chránit přírodu a zlepšit kvalitu života v zemědělských oblastech. Vzhledem k tomu, že autonomní zemědělské stroje jsou stále vývoji, můžeme očekávat, že se technologie bude stále zlepšovat a přinášet nové příležitosti pro zemědělce a další zainteresované subjekty v zemědělském odvětví.

Seznam literatury

ALI, Rim Ben, Salwa BOUADILA a Abdelkader MAMI. 2018. Development of a Fuzzy Logic Controller applied to an agricultural greenhouse experimentally validated. *Applied Thermal Engineering*. 141, s. 798-810. ISSN 1359-4311.

ASHRAF, Muhammed Ali, Jun-ichi TAKEDA a Ryo TORISU. 2010. Neural Network Based Steering Controller for Vehicle Navigation on Sloping Land. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2010, 3 (3), s. 100-104. ISSN 1881-8366.

BRUMMELEN, Jessica van et al. 2018. Autonomous vehicle perception. The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 89, pp. 384-406. ISSN 0968-090X.

DROUKAS, Leonidas et al. 2023. A Survey of Robotic Harvesting Systems and Enabling Technologies. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 107 (21). ISSN 1573-0409. doi: 10.1007/s10846-022-01793-z.

FAYAAD, Jamil et al. 2020. Deep learning sensor fusion for autonomous vehicle perception and localization. A review. *Sensors*. 20 (15), 4220. ISSN 1424-8220. doi: 10.3390/s20154220.

GUZMÁN, Leonardo Enrique Solaque, Marianne Lorena Romero ACEVEDO a Adriana Riveros GUEVARA. 2019. Weed-removal system based on artificial vision and movement planning by A* and RRT techniques. *Agricultural Engineering*. 41. ISSN 1805-9376. doi: 10.4025/actasciagron.v41i1.42687.

HUANG, Sha et al. 2021. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 32, s. 1-6. ISSN 1007-662X.

CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. 2., aktualizované vydání. Praha: Grada, 2016. Pedagogika (Grada). ISBN 978-80-247-5326-3.

LI, Ming et al. 2009. Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2 (3), s. 1-16. ISSN 1934-6352.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2002. Technology development for army unmanned ground vehicles. Washington: The National Academies Press. ISBN 978-0-309-16863-2.

NIKITAS, Alexandros, Nikolas THOMOPOULOS, Dimitris MILAKIS. 2021. The Environmental and Resource Dimensions of Automated Transport. A Nexus for Enabling Vehicle automation to Support Sustainable Urban mobility. *Annual Review of Environment and Resources*. 46 (1), pp. 167-192. ISSN 1545-2050.

PAJARES, Gonzalo et al. 2016. Machine-Vision Systems Selection for Agricultural Vehicles: A Guide. *Journal of Imaging*. 2 (4): 34. ISSN 2313-433X. doi: 10.3390/jimaging2040034.

PANAGIOTOPOULOS, Ilias a George DIMITRAKOPOULOS. 2018. An empirical investigation on consumers' intentions towards autonomous driving. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 95, pp. 773-784. ISSN 0968-090X.

PURI, Vikram, Anand NAYYAR a Linesh RAJA. 2017. Agriculture drones. A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*. 20 (4), s. 507-518. ISSN 2169-0014.

ROVIRA-MÁS, Francisco et al. 2003. Machine Vision Based Automated Tractor Guidance. *International Journal of Smart Engineering System Design*. 5 (4), pp. 467-480. ISSN 1025-5818.

SHLADOVER, Steven E. a Christopher NOWAKOWSKI. 2019. Regulatory challenges for road vehicle automation: Lessons from the California experience. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 122, pp. 125-133. ISSN 9658-564.

SOTO, Iria et al. 2019. *The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU*. Luxemburg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-92834-5.

TAEIHAGH, Araz a Hazel SI MIN LIM. 2019. Governing autonomous vehicles. Emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity, and industry risks. *Transport Reviews*. 39 (1), pp. 103-128. ISSN 0144-1647.

THUN, Sebastian. 2010. Toward robotic cars. *Communications of the ACM*. 53 (4), pp. 99-106. ISSN 0001-0782.

TONG, Wang et al. 2019. Artificial Intelligence for Vehicle-to-Everything. A Survey. *IEEE Access*. 7, pp. 10823-10843. ISSN 2169-3536.

ZHANG, Qin a Francis J. PIERCE. 2013. *Agricultural Automation. Fundamentals and Practices*. Suite: CRC Press. ISBN 978-14-3988-057-9.

Elektronické zdroje

BATEMAN, Kayleigh. 2022. 3 ways autonomous farming is driving a new era of agriculture [online]. World Economic Forum, 20. 1. 2022. [Cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/autonomous-farming-tractors-agriculture/>.

CROWE, Steve. 2015. Back to the Future. Autonomous Driving in 1995 [online]. Robotics Business Review, 3. dubna 2015. [Cit. 2023-02-25]. Dostupné z: https://www.roboticsbusinessreview.com/slideshow/back_to_the_future_autonomous_driving_in_1995/.

ČTK. 2020. Česko podle studie KPMG zaostává v připravenosti na autonomní vozidla, nejlépe jsou na tom USA [online]. Hospodářské noviny, 10. 2. 2020. [Cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://auto.hn.cz/c1-66718940-cesko-podle-studie-kpmg-zaostava-v-pripravenosti-na-autonomni-vozidla-nejlepe-jsou-na-tom-usa>.

FALTUS, Michal. 2021. Autonomní vozidla a legislativa – spousta otázek, (zatím) málo odpovědí [online]. Právní prostor, 13. 1. 2021. [Cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.pravniprostor.cz/clanky/pravo-it/autonomni-vozidla-legislativa-spousta-otazek-zatim-malo-odpovedi>.

FARM EQUIPMENT. 2009. Timeline of Ag Equipment „Firsts“ [online]. 2009-09-23. [Cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.farm-equipment.com/articles/4269-timeline-of-ag-equipment-firsts>.

FRED, Kirwana. 2023. Automation in Agriculture: The Pros and Cons of Replacing Human Labor with Machines [online]. Bivatec, 13. 3. 2023. [Cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://bivatec.com/blog/automation-in-agriculture-the-pros-and-cons-of-replacing-human-labor-with-machines>.

GREENBLATT, Nathan A. 2016. Self-driving cars and the law [online]. IEEE Spectrum, 53 (2). [Cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7419800>.

GRISSE, Robert D. et al. 2011. Precision farming tools: variable-rate application [online]. Virginia Cooperative Extension, publication 442-505. [Cit. 2023-03-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/309121121_Precision_farming_tools_Variable-rate_application.

HUYGHEBAERT, B., G. DUBOIS a G. DEFAYS. 2013. Actual and Global Precision of the Guidance System AutoTrac from John Deere [online]. EFITA, WCCA, CIGR – 2013 Conference. [Cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <http://proceedings.cigr.org/uploads/2013/0236.pdf>.

ILKOVÁ, Viktória a Adrian ILKA. 2017. Legal aspects of autonomous vehicles – An overview [online]. 2017 21st International Conference on Process Control (PC). Strbske Pleso: Slovakia, pp. 428-433. [Cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7976252>.

KASÍK, Pavel. 2016. Pro mě tank, pro ostatní Dušina. Vědci ukázali problém samořídících aut [online]. iDnes, 25. června 2016. [Cit. 2023-04-06]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/roboti-ridici-science-studie-etika-rozhodovani.A160624_103944_tec_technika_pka.

PILZ, Karl Heinz a Simon FEICHTER. 2017. How robots will revolutionize agriculture [online]. [Cit. 2023-04-03]. Dostupné z: http://webpace.pria.at/ecer2017/papers/Paper_17-0597.pdf.

RAHMADIAN, Reza et al. 2020. Autonomous Robotic in Agriculture: A Review [online]. IEEE, 2020. [Cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9243253>.

ROBOTICS BIZ. 2019. Robotics in Agriculture: Advantages and Disadvantages [online]. RB, 18. 7. 2019. [Cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://roboticsbiz.com/robotics-in-agriculture-advantages-and-disadvantages/>.

SAE. 2021. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles [online]. SAE International. [Cit. 2023-02-27]. Dostupné z: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/.

SHEPARD, Jeff. 2023. How Autonomous Vehicles Will Improve Sustainability and Productivity in Agriculture [online]. DigiKey, 8. 2. 2023. [Cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.digikey.cz/en/articles/how-autonomous-vehicles-will-improve-sustainability-and-productivity-in-agriculture>.

SOFFAR, Heba. 2022. Agricultural robots advantages, disadvantages and uses [online]. Online Sciences, 1. 10. 2022. [Cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.online-sciences.com/robotics/agricultural-robots-advantages-and-disadvantages/>.

WODECKI, Ben. 2022. Is Agriculture Ready for Autonomous Tractors? [online]. IoT World Today, 25. 3. 2022. [Cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.iotworldtoday.com/transportation-logistics/is-agriculture-ready-for-autonomous-tractors->.

XIAOYUN, Liu, Zhang XIAOLING a Xin XIAN. 1996. Application of Kalman filter in agricultural economic forecasting [online]. 1996 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Information Intelligence and Systems. Peking: 1996, s. 2185-2189. [Cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/565487>.

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Přehled výhod a nevýhod automatizace řízení v zemědělství	25
Tabulka č. 2: četnosti odpovědí na otázku VO1.	30
Tabulka č. 3: četnosti odpovědí na otázku VO2.	31
Tabulka č. 4: četnosti odpovědí na otázku VO3.	32

Seznam grafů

Graf č.1: četnosti odpovědí na otázku VO1	30
Graf č.2: četnosti odpovědí na otázku VO2	31
Graf č.3: četnosti odpovědí na otázku VO3	32

Seznam obrázků

Obrázek. 1: Přehled technologií používaných v precizním zemědělství	14
---	----