



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Diplomová práce

Využití robotického systému Agrobot při různých
zemědělských operacích

Autor práce: Bc. Jiří Němec

Vedoucí práce: Mgr. Pavel Olšan, Ph.D.

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Bc. Jiří Němec

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá sledováním autonomního robotického systému Agroboti 150D. Zařízení bylo sledováno při nasazení v běžném zemědělském provozu při sázení jahod, setí slunečnice a kukuřice, pletí kukuřice a setí řepky. Součástí práce je provedení pokusu pro porovnání autonomní a konvenční soupravy při setí řepky. V práci jsou také popsány problémy zjištěné během sledování a jsou podány návrhy na jejich řešení.

Klíčová slova: autonomní; Agroboti; výkonnost; problémy

Abstract

This thesis deals with the monitoring of the Agroboti 150D autonomous robotic system. The device was monitored during deployment in a normal agricultural operation planting strawberries, sowing sunflowers and corn, weeding corn and sowing canola. The work includes conducting an experiment to compare the autonomous and conventional rigs in sowing canola. The paper also describes the problems found during the observation and gives suggestions for their solution.

Keywords: autonomous; Agroboti; performance; problems

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Mgr. Pavlu Olšanovi, Ph.D. za pomoc při vedení této diplomové práce. Byl mi nápomocen při řešení problémů vzniklých během vypracovávání práce a přispíval svými návrhy na její vylepšení. Také bych rád poděkoval společnosti Leading Farmers a.s. za umožnění účasti na testování zařízení Agointelli Robotti 150D.

Obsah

Úvod	7
1 Dosavadní vývoj v autonomní technologii	8
1.1 Nadstavby navigačních systémů	8
1.2 Využití konvenčních technologií v režimu master-slave	9
1.3 Autonomní drony	10
1.4 Automatické plečky	10
1.5 Senzory autonomních zařízení	11
1.6 Autonomní zařízení	12
2 Cíl práce	14
3 Metodika	15
3.1 Konstrukce autonomního robotického systému Agrobot 150D	15
3.2 Bezpečnostní systémy pro autonomní provoz	16
3.2.1 Geofencing	17
3.2.2 Sledování trasy	17
3.2.3 LiDAR	17
3.2.4 Dotekový rám a stop tlačítka	18
3.3 Programování pracovních plánů	18
3.3.1 Tvorba pozemku	19
3.3.2 Výběr příslušenství	19
3.3.3 Nastavení souvratí	20
4 Porovnání výkonnosti autonomního zařízení s konvenční technologií	24
5 Používání robotického systému v praxi	26
5.1 Údržba robotického zařízení	26
5.1.1 Agregace robotického zařízení s příslušenstvím	26
5.1.2 Zahájení autonomní pracovní operace	27
5.1.3 Přerušování autonomního provozu	28
5.1.4 Obnovení autonomního provozu	30
6 Nasazení robotického systému při různých zemědělských operacích	31
6.1 Plečkování pšenice	31
6.2 Sazení jahod	31
6.3 Setí slunečnice a kukuřice	33

6.4	Plečkování kukuřice	33
6.5	Setí řepky ozimé	34
7	Problémy identifikované během sledování	36
7.1	Problémy spojené s konstrukcí autonomního robotického systému	36
7.2	Problémy při sázení jahod	37
7.3	Problémy při setí slunečnice a kukuřice	38
7.4	Problémy při plečkování	39
7.5	Problémy při setí řepky	40
7.6	Softwarové problémy	40
8	Diskuze	43
	Závěr	46
	Seznam použitých zdrojů	47
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek	51

Úvod

Rozmach povědomí o autonomních technologiích v posledních několika letech vděčí zejména značnému postupu ve vývoji autonomních automobilů. Na trhu se objevují autonomní automobily s různým stupněm autonomity. Některé autonomní prvky jako je nouzové brzdění a udržování v jízdním pruhu se dokonce staly součástí povinné výbavy nově vyráběných automobilů, některé automobily však již umožňují plně autonomní jízdu včetně čtení dopravního značení a reakcí na okolní provoz. Autonomní provoz tak již viditelně dosahuje bodu, kdy bude reálné zapojení plně autonomních vozidel do silničního provozu. Překážkou však stále zůstávají legislativní omezení. Zemědělská zařízení, která většinu času pracují na pozemcích oddělených od ostatního provozu nejsou tolik svázána legislativními nařízeními, a proto je jejich nasazení v praxi jednodušší. K vidění je pestrá nabídka prototypů ať už konvenčních traktorů s funkcí autonomní jízdy, nebo nových konstrukcí vyvíjených přímo s ohledem na autonomní provoz. Konkrétně v České republice a na Slovensku probíhá prostřednictvím společnosti Leading Farmers CZ a.s., testování dvou kusů autonomního zařízení Robotti, které je produktem dánské společnosti Agrobot. Sledování zařízení Robotti 150D operujícího v Česku je předmětem této diplomové práce.

1 Dosavadní vývoj v autonomní technologii

Autonomní technologie postupně prostupuje do všech technologických odvětví zemědělství nevyjímaje. Jelikož se tato práce zabývá jednou z těchto technologií, budou následující kapitoly věnovány dosavadnímu vývoji v této oblasti. Popsány budou nadstavby pro navigační systémy, možnost fungování konvenčních traktorů v režimu master–slave, autonomní drony pro provádění průzkumů pozemku, automatizované pracovní nástroje, senzory nutné pro autonomní jízdu a autonomní zařízení v současnosti.

1.1 Nadstavby navigačních systémů

Zemědělské navigační systémy se v běžné praxi vyskytují již řadu let. Tyto systémy využívají signál vysílaný ze satelitů na oběžné dráze Země k řízení pojezdu po pozemku. Díky tomu uživatel může dosáhnout lepších výsledků na pozemku a nižších nákladů, jelikož nedochází k překrývání jízdy a vynechávání nezpracovaných lysin. Navigační systémy taktéž umožňují, aby i méně zkušená obsluha odváděla svou práci kvalitně a bez chyb. Typicky se navigační systém skládá z přijímače signálu, řídicího kontroleru a akčního členu. Akční člen může být ve formě elektromotoru na sloupku řízení, který na základě povelů kontroleru otáčí řídicí tyčí stejně, jako by to dělala obsluha. Další možností je pak zabudovaný elektrohydraulický ovladač, který je přímo napojen na hydraulický okruh ovládající natočení kol. Existuje také možnost, kdy je ve stroji namontována světelná lišta, která na základě signálu obsluhy ukazuje aktuální odchylku od zvolené trasy. Toto řešení je ale již značně zastaralé a málo používané. Signál přicházející ze satelitů do přijímače není úplně přesný, a i když je většinou používáno více satelitů najednou, přesnost na několik metrů je pro zemědělské nasazení nepoužitelná. Chyba signálu je zapříčiněna zpožděním při jeho cestě od satelitu k přijímači a také vzájemným pohybem obou zařízení. Proto navigační systémy používají navíc ještě signál korekční, ten je získáván díky rozmístění referenčních stanic na zemském povrchu. Poloha těchto stanic je známá, a proto je možné na základě porovnání skutečné polohy a polohy určené podle satelitního signálu vypočítat korekci. Korekční signál je následně vysílán do přijímače, kde slouží pro zpřesnění navigace. V současné době se uvádí, že je možné dosáhnout přesnosti až na 1 cm se sezónní opakovatelností. (Barr et al., 2013)

Navigační systém zlepší využití soupravy při práci, nezkušená obsluha však stále může značně zhoršit efektivitu práce, pokud špatně zvolí způsob pohybu po pozemku a otáčení na souvracích. Výrobci navigačních systémů tedy začali nabízet možnost rozšíření funkčnosti systému o automatické otáčení soupravy na souvrati. Pro optimální otáčení je nutné dobře

zvolit počet vynechaných jízd mezi otočkami a způsob otáčení. Tento úkon může být proveden podle citu obsluhy nebo můžou být optimální trasy vypočítány specializovaným programem na základě tvaru pozemku. (Cariou et al., 2010; Lipiński et al., 2016; Singh, 2010)

1.2 Využití konvenčních technologií v režimu master-slave

Díky rozšiřování využívání systémů pro přesné navigování strojů v běžné praxi vznikla myšlenka, díky které by bylo možné snížit počet pracovníků potřebných pro vykonání práce. Myšlenka spočívá ve využití navigačního systému pro ovládání vozidel v režimu master-slave. Při tomto způsobu práce je jedno zařízení ovládáno řidičem, který přímo řídí nebo používá navigační systém, a zároveň je dálkově ovládáno jiné zařízení, které přesně kopíruje úkony provedené řídícím zařízením. Tento způsob ovládání dvou a více zařízení najednou je často využíván u lokomotiv nákladních vlaků. Lokomotivy však jedou přímo za sebou a pro přenos potřebných informací používají propojení kabelem, což při nasazení v zemědělství není možné. Při práci v zemědělství by způsob pohybu zařízení závisel na druhu vykonávané práce. Při zpracování půdy, setí, nebo sekání píce by ovládané zařízení mělo jet za ovládajícím, ale paralelně posunuto do některé strany o hodnotu záběru agregovaného příslušenství. Při úkolech jako je sběr posekané píce by pak ovládané zařízení mělo přímo následovat ovládající zařízení. Problém při tomto způsobu jízdy představuje vyhýbání se překážkám. Pokud by ovládané vozidlo vždy přesně kopírovalo jízdu ovládajícího vozidla, mohlo by dojít k nárazu do překážky, nebo k provedení zbytečné zatáčky a vzniku neobhospodařeného místa. Při zkoušení master-slave traktorů Fendt 936 Vario navrhoval (Zhang et al., 2010) řešení pro objíždění překážek prostřednictvím dvou příkazů. Těmito příkazy by řidič ovládajícího zařízení vysílal informaci, jak má reagovat. Pokud se musí ovládající zařízení vyhnout překážce, vydá řidič příkaz k ignorování následujících pohybů. Když se ovládající zařízení vrátí zpět do původního směru, ovládané zařízení jej začne zase následovat. V případě, kdy se nachází překážka v cestě ovládaného zařízení, je vydán příkaz pro přesné kopírování jízdy ovládajícího zařízení bez paralelního posuvu. Po minutí překážky je ovládané zařízení opětovně vysláno do své původní dráhy. (Li et al., 2019; Zhang et al., 2010)

Dalším potenciálně možným nasazením pro autonomní systémy v režimu master-slave je odvoz plodin od sklízecí mlátičky, nebo sklízecí řezačky. Při tomto druhu úkolu je potřeba udržovat konstantní pojezdovou rychlost a směr podle vzoru sklízecího zařízení. o rovnoměrné naplnění odvozního zařízení se v případě mlátičky stará obsluha. Sklízecí řezačky mohou být vybaveny automatickým kamerovým systémem plnění vozů, který usnadní obsluhu práci a ta se tak může více věnovat dění před řezačkou. Ve spojení se systémem řízených pojezdů po poli CTF by tak nasazení odvozní soupravy s překládacím vozem dávalo velký smysl i z pohledu snížení utužení půdy. (Gasso et al., 2013; Shojaei, 2021)

1.3 Autonomní drony

Drony je při nasazení v zemědělství možné využívat k celé škále úkolů. Nejčastěji jde o získávání cenných dat, ale na vzestupu je také využití dronů při chemické ochraně rostlin ve špatně přístupných místech nebo při ošetřování pouze zasažených míst. Vzhledem ke zvyšování zájmu zemědělců na získávání dat o rostlinách a pozemcích, na jejichž základě lze dále dobře rozhodovat o dalších krocích při pěstování, můžeme předpokládat, že množství nasazovaných dronů bude narůstat. Data, která lze získat prostřednictvím dronů, mohou pomoci při diagnóze celkového stavu porostu, hledání napadených rostlin, hledání škůdců uvnitř porostu, prognóze výnosů či obsahu vody v půdě. Na základě získaných dat lze například provést variabilní hnojení či chemické ošetření, upravovat zásahy závlahového systému, či využít variabilního výsevu v další sezóně. (Dileep et al., 2020; Freeman a Freeland, 2015; Wójtowicz et al., 2016)

Při konstrukci dronů pro zemědělské nasazení jsou nejvíce používána dvě řešení. Prvním je konstrukce s pevným křídlem podobná letadlům. Tato konstrukce dovoluje dronu provádět zadaný úkol po dlouhou dobu, jelikož takto stavěné létající zařízení vyžaduje poměrně málo energie pro setrvání v letu. Drony s pevným křídlem lze využít pro osazení nejrůznějšími senzory a získávání dat o porostu, pozemku nebo sledovat chování hospodářských zvířat na pastvě. Druhou kategorií jsou drony s rotorovým křídlem. Ty lze nadále rozdělit na helikoptéry s jedním rotorem a drony s více rotory. Nejčastěji se vyskytují kvadrokoptéry se čtyřmi rotory, ale objevují se i hexa a oktakoptéry se šesti a osmi rotory. Tento typ dronů lze také využít pro sledování zájmové oblasti prostřednictvím senzorů. Díky jejich schopnosti zůstat stát na jednom místě se hodí pro využití při přesné aplikaci hnojiv, insekticidů, nebo herbicidů do specifického místa. (Dileep et al., 2020; Ipate et al., 2015; Kim et al., 2019)

Běžné drony je většinou nutné ovládat ručně prostřednictvím dálkového ovládání. Pro široké nasazení je však potřeba, aby byly schopné zadaný úkol vykonávat samostatně. Proto vznikají programy, které naplánují let dronu pro splnění zadaného úkolu, v zemědělství tedy pokrytí celé plochy zkoumaného pozemku. Pro případ výskytu nenadálé překážky jsou využívány lidarové senzory nebo kamery. Takto vybavený dron se následně umí sám vyhnout případné překážce a pokračovat v zadaném úkolu. (Devos et al., 2018; Garre a Harish, 2018; Saeed et al., 2019)

1.4 Automatické plečky

Zaplevelení způsobující problémy vzrůstajícím rostlinám představuje pro zemědělství velký problém. Může se promítnout na výnosech a kvalitě sklizně, ale také může působit obtíže při sklizni. Dlouhodobě jsou k regulaci zaplevelení pozemku využívány chemické přípravky. Postupem času však vzniká problém v podobě reziduí v půdě a produktech, ale také problém se vznikem rezistence plevelů na chemické látky, které byly původně určené k jejich likvidaci. Jako řešení tohoto problému se nabízí nahrazení chemické ochrany proti pleveli mechanickou. Pokud je možné provést mechanickou redukci množství plevelu v porostu, plodiny lépe prospívají a nehrozí riziko vzniku rezistence. (Gaines et al., 2020; McAllister et al., 2019)

Vzhledem k výhledu nutnosti snižování využívání chemických látek k ochraně zemědělských plodin je pravděpodobné, že zájem o mechanickou redukci plevelu bude stoupat.

Problémem mechanického odstraňování plevelu ale je fakt, že pokud není plečka v porostu vedena správně, může dojít k poškození nebo i zničení pěstovaných rostlin. Po dlouhou dobu tedy bylo nutné plečky mezi řádky navádět ručně. Dalším problémem je plevel přímo mezi rostlinami v řádku. Jediným řešením tohoto problému byly dlouho plečky s pohyblivými pracovními orgány, které byly opět ručně zaváděny mezi rostliny a zpět tak, aby bylo zničeno maximální množství plevelu a pěstované rostliny zůstaly nepoškozeny. Moderní plečky jsou však vybaveny systémy, které umožňují tuto práci přenést na automatizované zařízení. V jednodušší verzi automatizace je využíváno takové navádění, kdy plečka kopíruje řádek rostlin tak, aby nedošlo ke zničení pěstovaných rostlin. Sofistikovanější zařízení pak dokážou provádět pletí i mezi jednotlivými rostlinami v řádku. Jak pro navádění na řádek, tak pro navádění mezi rostlinami jsou nejčastěji využívány systémy pracující s rozpoznáváním rostlin za pomoci kamery a speciálního softwaru. V oblasti zařízení pro pletí mezi rostlinami však stále probíhá vývoj, jelikož pro spolehlivou práci zařízení je klíčové, aby perfektně fungovalo rozpoznávání kulturních rostlin od plevelu.

(Machleb et al., 2020; Shi et al., 2021)

1.5 Senzory autonomních zařízení

Pro umožnění autonomního pohybu jakéhokoliv zařízení je nutné zařídit dostatečné bezpečnostní opatření, aby nedošlo k ohrožení nebo poškození okolí daného zařízení. Proto musí být autonomní zařízení jakéhokoliv typu vybaveno senzory, které tuto bezpečnost zajišťují. Stejně senzory, jaké jsou potřebné pro autonomní zařízení pro nasazení v zemědělství, jsou využívány i při vývoji jiných autonomních zařízení, například automobilů. Většina autonomních zařízení využívá více než jeden bezpečnostní senzorový systém, aby byl zajištěn bezpečný provoz, i když podmínky nejsou pro některý ze systémů příhodné. (Yeong et al., 2021)

Prvním ze senzorů je kamera. Ta zaznamenává okolí zařízení a ve spojení s dalšími bezpečnostními systémy umožňuje zařízení reagovat na zachycené změny v jeho okolí. V případě autonomních vozidel je například využívána pro čtení dopravního značení či semaforů. Kamery jsou většinou nasazovány ve větším počtu, aby bylo pokryto ideálně celé okolí zařízení. Pokud jsou kamery použity v páru vede sebe, je možné z rozdílů obrazu zjišťovat hloubku, velikost a umístění předmětů v zorném poli. (Kocić et al., 2018; Yeong et al., 2021)

Dalším senzorem je radar, ten umožňuje měření vzdálenosti mezi senzorem a předmětem, na který je senzor namířen. Pracuje na principu měření doby mezi vysláním a opětovným přijetím odražených elektromagnetických vln. Radary se dělí na tři druhy podle vzdálenosti, na jakou jsou schopné fungovat a podle této schopnosti jsou také využívány. Radary pro krátké vzdálenosti jsou používány pro systémy zabráňující kolizi s chodci a blízkými překážkami. Radary pro střední vzdálenosti jsou využívány hlavně pro sledování mrtvých úhlů a pro systémy zabráňující kolizi zezadu. Radary s dosahem na dlouhou vzdálenost umožňují funkci adaptivního tempomatu. Značnou výhodou radarů, oproti jiným sensorům, je nižší citlivost na překrytí senzoru nečistotami. (Kocić et al., 2018)

Hojně je využíván také LiDAR, což je zkratka pro Light Detection and Ranging. LiDAR pracuje na principu odrazu světelných paprsků od objektů před senzorem. Světelné paprsky používané při tomto způsobu měření jsou vysílány v infračerveném, nebo blízko-

infračerveném pásmu (905–1550 nm). Senzor funguje podobně jako radar, jelikož také měří dobu mezi vysláním paprsku a zaznamenáním jeho návratu. Na základě naměřeného času je možné vypočítat vzdálenost mezi senzorem a předmětem. Právě lidarové senzory jsou často využívány na autonomních zařízeních pro detekci překážek. (Vargas et al., 2021)

Mezi systémy potřebné pro bezpečnou autonomní jízdu řadíme také GNSS neboli Globální Navigační Satelitní Systém. Tento systém je klíčový pro správné určení polohy zařízení na zemském povrchu. Pro zjišťování polohy jsou využívány satelity umístěné na oběžné dráze planety, referenční stanice a přijímač na zařízení. Díky vzájemné komunikaci těchto prvků je možné přesně určit polohu zařízení. Polohové funkce GNSS jsou již dlouhou dobu využívány pro přesné vedení strojů v zemědělství, pro autonomní zařízení je však znalost přesné polohy naprosto klíčová. (Vargas et al., 2021)

1.6 Autonomní zařízení

Nasazení autonomní technologie pro vykonávání těžkých, monotónních nebo nebezpečných úkolů může přinést úsporu nákladů, vyšší zisky a nižší nároky na pracovníky v mnoha odvětvích. Zemědělství může z výhod autonomní technologie profitovat také, ukázkou tohoto faktu je rychlé rozšiřování technologií usnadňující plnění úkolů, které umožňují alespoň částečně autonomní provoz. Dalším krokem v tomto vývoji jsou plně autonomní zařízení, která budou schopná zadané úkoly vykonávat úplně samostatně. (Sparrow a Howard, 2021; Spykman et al., 2021)

V současné době probíhá zejména vývoj a velká část autonomních zařízení je stále ve fázi prototypů, začínají se však objevovat i zařízení, která jsou již ve velmi pokročilé fázi vývoje nebo jsou již ve výrobě a volném prodeji a je možné je reálně nasadit v praxi. Některá zařízení jsou již ve vývoji přesně určená pro specifický úkol jako autonomní zařízení Naio OZ (Robert et al., 2020), které je přímo určeno pro pletí v řádkových plodinách. Jiná jsou vyvíjena pro plnění rozmanitých úkolů stejně jako konvenční traktory, i když jejich konstrukce se od konvenční technologie často poměrně dost liší (obr. 1.1). (Cantelli et al., 2019; Kushwaha et al., 2016)



Obrázek 1.1: Autonomní zařízení

Příkladem zařízení určeného přesně pro provádění specifického úkolu je robot pro provádění autonomního chemického ošetření. Tento prototyp byl navržen s ohledem na práci ve

sklenících, a tudíž jsou veškeré komponenty poháněny elektricky a nevznikají tak emise, které by se v uzavřeném prostoru hromadily. Prototyp byl zkoušen při pěstování rajčat ve sklenících a také ve vinici. Při pokusech se zařízení prokázalo jako velice dobré řešení pro tento typ nasazení, jelikož zadané úkoly plnilo dobře. Pro navigování mezi řádky a udržování správné vzdálenosti od rostlin toto zařízení využívá připojení k satelitnímu navigačnímu systému, dvě kamery, referenční systém polohy a kurzu, laserový skener a radar. Autoři na základě výsledků uvažují ale také nad úpravou zařízení pro vykonávání dalších činností, takže prototyp nakonec nemusí skončit jako jednoúčelové zařízení, jak bylo původně zamýšleno. (Cantelli et al., 2019)

Autonomní zařízení pro univerzální nasazení v zemědělství se koncepčně více či méně blíží konvenčním traktorům. Například firma John Deere v lednu roku 2022 na veletrhu CES v Las Vegas představila konvenční traktor John Deere řady 8R, který je schopný autonomní jízdy. Jelikož ovládání moderních traktorů je již plně elektronické od přepínání směru jízdy přes ovládání hydraulických okruhů až po zatáčení skrze satelitní navigační systém, je možné konvenční traktor poměrně snadno upravit pro autonomní jízdu. Detekce překážek a jiných nenadálých problémů je zajištěna prostřednictvím dvanácti kamer rozestavěných kolem stroje vždy v páru. (Fetridge, 2022; Neil, 2022)

Zařízením pro univerzální nasazení je také Agbot z produkce startupu AgXeed. Toto zařízení sestává z hnací jednotky usazené na podvozku s trojúhelníkovými pásovými jednotkami. Vzhledem ke kompaktní konstrukci si vystačí pouze se dvěma pásy. Agbot umožňuje agregaci s příslušenstvím prostřednictvím předního a zadního tříbodového závěsu. K dispozici je také vývodový hřídel. Pohon obstarává čtyřválcový vznětový motor Deutz, přenos výkonu motoru na pojezdové ústrojí je však elektrický stejně jako pohon vývodového hřídele. (Koerhuis, 2022)

2 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je sledování robotického systému Robotti 150D 2021 a jeho zhodnocení při nasazení v zemědělské praxi. Systém bude také porovnán oproti konvenčnímu systému. Dále budou popsány problémy, které se během sledování autonomního zařízení vyskytnou.

3 Metodika

Následující kapitoly se budou zabírat popisem konstrukce autonomního robotického systému Agrointelli Robotti 150D modelového ročníku 2021. Popsány budou taktéž bezpečnostní systémy, kterými je robotický systém vybaven, aby mohl autonomně pracovat. Dále bude pozornost věnována webovému rozhraní pro tvorbu plánů práce.

3.1 Konstrukce autonomního robotického systému Ag- rointelli Robotti 150D

Robotické zařízení Agrointelli Robotti 150D koncepčně spadá do kategorie nosičů nářadí. Celek je tvořen třemi základními konstrukčními prvky, a sice středovou nosnou trubkou, která nese tříbodový závěs, z boků jsou k nosné trubce připojeny dvě motorové jednotky (obr. 3.1).



Obrázek 3.1: Robotické zařízení

Na nosné trubce je také připevněn pomocný rám s přijímačem GNSS systému, proti kolizním systémem, stavovými LED diodami a světly pro noční operace. Hlavní pracovní částí pak je tříbodový závěs a vývodový hřídel, které jsou umístěny uprostřed stroje mezi motorovými jednotkami. Tříbodový závěs umožňuje připojení příslušenství až do váhy

750 kg a prostřednictvím výměnných háků lze měnit rozteč podle příslušenství. Základní rozteč je 870 milimetrů, rozšířená 1010 milimetrů a zúžená 730 milimetrů. Vývodový hřídel je poháněn hydraulicky a umožňuje nastavení otáček od 0 do 1000 otáček za minutu.

Motorové jednotky jsou k trubce připojeny z boku. Po směru jízdy je pravá jednotka připojena pevně a levá výkyvně, aby bylo možné pracovat i na členitém povrchu. Motorová jednotka je tvořena rámem obdélníkového tvaru, který je zespodu opatřen dvěma koly. Obě kola jsou poháněna hydromotory, ale jen přední je natáčecí. Na rámu je uložena pohonná jednotka s příslušenstvím a hydraulickým čerpadlem, hydraulické rozvaděče, palivová a hydraulická nádrž a ovládací elektronika. Celá motorová jednotka je pak uzavřena plechovými kryty, přičemž boční části jsou odnímatelné, aby bylo možné provádět údržbu.

Pohon obstarává čtyřválcový vznětový motor o výkonu 55,4 kW (obr. 3.2). Motor splňuje evropskou emisní normu Stage V díky osazení filtrem pevných částic. Vznětový motor pohání hydraulické čerpadlo a následně jsou přes elektronicky řízené rozvaděče prováděny požadované akce - tedy pojezd, natáčení kol, ovládání tříbodového závěsu, pohon vývodového hřídele nebo tří hydraulických okruhů. Vnitřní uspořádání je u obou motorových jednotek totožné, rozdíl je v jejich využití. Levá motorová jednotka je vybavena ovládacím displejem, přes který robotické zařízení ovládáme, spínací skříňkou a start/stop tlačítkem. Levá jednotka je tedy brána jako hlavní, jelikož obstarává pojezd zařízení a ovládání tříbodového závěsu. Pravá jednotka pak obstarává pohon vývodového hřídele a hydraulických okruhů. Díky tomuto uspořádání funkcí není nutné při jednoduchých pracovních úkonech používat oba motory.



Obrázek 3.2: Pohonný agregát

3.2 Bezpečnostní systémy pro autonomní provoz

Aby se mohl autonomní robotický systém autonomně pohybovat po pozemku, musí být vybaven bezpečnostními systémy, které zabrání střetu s cizím předmětem či osobou ve chvíli, kdy program selže, je naprogramován špatně, nebo nastane jiná neočekávaná událost.

3.2.1 Geofencing

Geofencing má za úkol udržet robota uvnitř zadaných hranic, v případě zemědělského nasazení typicky uvnitř pozemku. Tento systém využívá údaje o poloze robota, které získává z antény navigačního systému. Při plánování práce se robotovi zadávají informace o pozemku, které obsahují i jeho hranice. Pokud systém zaznamená, že robot je v autonomním režimu a nachází se mimo zadané hranice, okamžitě vydá povel k zastavení motoru a tím i celého robotického systému. Při pozorování robota v praxi ale systém řízení fungoval tak dobře, že zásah tohoto bezpečnostního systému nebylo možné ověřit.

3.2.2 Sledování trasy

Na podobném principu jako geofencing funguje sledování trasy. Tento systém porovnává podle údajů z GNSS polohu robota s daty plánu, které obsahují informaci, kudy má robot jet. Pokud je zjištěn nesoulad, robot je zastaven. Tento systém byl v praxi vyzkoušen ve chvíli, kdy robot vjel na svahu do zamokřeného místa a svezl se. Systém ho v tu chvíli zastavil, jelikož zjistil nesoulad v předpokládané a skutečné poloze.

3.2.3 LiDAR

Dalším systémem je lidarová detekce překážek. Robotický systém Agroboti Robotti 150D 2021 využívá lidarový systém od amerického výrobce Velodyne (obr. 3.3). Tato technologie pracuje s vysíláním laserových paprsků z emitoru umístěného na přední straně robota a zpětném příjmu paprsků odražených od překážek. Pokud se před robotem nachází překážka, nejprve dojde ke zpomalení a pokud je překážka poté stále zaznamenána, robot zastaví úplně. Pokud by v dráze například stála cizí osoba, má čas na odejití a robot může dále pokračovat v práci. Tento bezpečnostní systém byl v praxi vyzkoušen mnohokrát, zejména kvůli špatně zmapovaným pozemkům. Sloupy elektrického vedení systém zaznamenával bezproblémově, meliorační skruže taktéž. Při pokusu zaznamenal i zapíchnutou ocelovou tyč 1 metr dlouhou o průměru 10 milimetrů. Při nasazení v praxi se tento bezpečnostní systém jeví jako velice spolehlivý.



Obrázek 3.3: Senzor lidarového bezpečnostního systému

3.2.4 Dotekový rám a stop tlačítka

Dotekový rám se táhne kolem celé přední a boční části stroje, vzadu by překážel agregovanému příslušenství. Kvůli absenci bezpečnostních prvků v zadní části stroje není možné, aby robot v automatickém režimu couval. Na rámu je připojen gumový nárazník, který zaznamenává stisk (obr. 3.4). V případě selhání ostatních systémů, nebo jiné chyby, tento rám tedy vydá signál k zastavení stroje ve chvíli, kdy se jej cokoliv dotkne. V praxi byla funkce neplánovaně vyzkoušena kvůli chybě ve zmapování pozemku, kdy se robot na souvrati střetl s kmenem stromu. Bezpečnostní systém zafungoval bezchybně a nedošlo k žádným škodám.

Čtyři stop tlačítka jsou situována po obvodu zařízení a jedno je situováno vedle tříbodového závěsu. Tato tlačítka slouží k nouzovému zastavení stroje obsluhou ve chvíli, kdy vznikne nebezpečná situace ať při manuálním ovládání nebo v autonomním režimu. Rozmístění stop tlačítek a bezpečnostního rámu je velmi dobře promyšleno a při používání v praxi nebyl zaznamenán žádný problém.



Obrázek 3.4: Dotekový rám a stop tlačítka

3.3 Programování pracovních plánů

Pracovní plán obsahuje informace, které robotický systém potřebuje pro své fungování v autonomním režimu. Základem je poloha pozemku a jeho hranice a případné překážky uvnitř pozemku. Dále pak informace o jednotlivých pojezdech po pozemku, v neposlední řadě informace o připojeném zařízení a jeho ovládání. Pro tvorbu pracovních plánů je využíváno webové rozhraní od výrobce robotického systému, tedy společnosti Agointelli. Stejně jako software ovládající robota je i toto webové rozhraní průběžně aktualizováno a jsou přidávány nové funkce a opravovány chyby. Vše dále popsané je tedy platné pro webové rozhraní dostupné v lednu 2022. V následujících kapitolách bude popsáno, jak tvorba pracovního plánu probíhá.

3.3.1 Tvorba pozemku

Prvním krokem při tvorbě pracovního plánu je vytvoření pozemku. Pro tento krok je potřeba mít k dispozici hranice pozemku, které obsahují informace o jeho geografické poloze. K dispozici jsou tři hlavní možnosti jak je získat.

První a nejlepší varianta je dojet na pozemek s robotem a ručně načíst hranice prostřednictvím objektů pozemku. Tato metoda zaručí, že získáme přesné hranice s ohledem na aktuální situaci na pozemku včetně záznamu větví a jiných cizích předmětů zasahujících do pozemku. Velkou nevýhodou je značná časová náročnost této metody a možné problémy pro podniky kvůli přidělování dotací na pozemky. Dotace jsou totiž vypláceny vzhledem k výměře a pokud načítáme hranici ručně a nedojde k obhospodaření odpovídající výměry, může vzniknout problém.

Druhou možností je import hranic pozemku z běžného navigačního systému, pokud zemědělec takový využívá a hranice má uložené. Pokud je možné tyto podklady získat, je to nejlepší možnost, jelikož tyto jsou často velmi dobře zaznamenané a často včetně překážek uvnitř pozemku. Bohužel i přes značné využívání navigačních systémů v současném zemědělství ale není dostupnost těchto hranic pravidlem a někdy mohou nastat problémy s formátem, ve kterém jsou hranice uloženy.

Nejjednodušší možností, jak získat hranice pozemku je jejich stažení z veřejného registru půdy neboli LPIS. Zde lze jednoduše dohledat pozemek a stáhnout hranice v požadovaném formátu (.shp). V tomto registru lze najít hranice jakéhokoliv zemědělsky využívaného pozemku navíc poměrně často včetně vyznačení překážek jako jsou meliorační skruže, sloupy elektrického vedení nebo i zamokřená místa. Jediný problém, který může u využití těchto hranic nastat je ten, že zemědělci neobdělávají pozemky podle těchto hranic, ale podle svých zaznamenaných hranic, nebo podle odhadu. Pak může nastat problém, že robot některé místo neobdělá, nebo vyjede mimo obdělávanou plochu, jelikož hranice nesouhlasí. Velice často tato situace nastává v rozích pozemků nebo kolem lesních porostů.

Získané hranice jsou importovány do webového rozhraní, kde jsou pro přehlednost pojmenovány. Pokud je potřeba, hranice lze v této fázi ještě upravit. Může se stát, že ve stažených hranicích je nepřesnost a té se takto můžeme zbavit. Hranice se zobrazují na satelitním snímku, podle kterého můžeme upravit i tvar překážek nebo přidat překážky, které nejsou zaznamenané (obr. 3.5).

3.3.2 Výběr příslušenství

Dalším krokem při tvorbě plánu práce je výběr používaného příslušenství. Tato volba ovlivňuje rozestup mezi jednotlivými jízdami podle zadané šířky příslušenství ale také jednotlivé akce robotického systému při práci. Při plánování můžeme buď zvolit příslušenství z již uložených možností vytvořených při předchozím plánování a nebo vytvořit příslušenství nové.

Při tvorbě nového příslušenství je prvním krokem výběr modelu robotického systému, se kterým bude spojeno. Dále je důležité jej pojmenovat a zvolit kategorii. Aktuálně je dostupných pět kategorií: Kamery pro snímání zaplevelení, sečky, plečky, postřikovače, sekačky. Následuje nastavení vzdálenosti mezi přijímačem GNSS signálu na robotovi a středem připojeného příslušenství. Poté následuje nastavení pracovní a nepracovní pojízdné rychlosti stroje, pracovní šířky a délky příslušenství, nakonec nastavení výšky



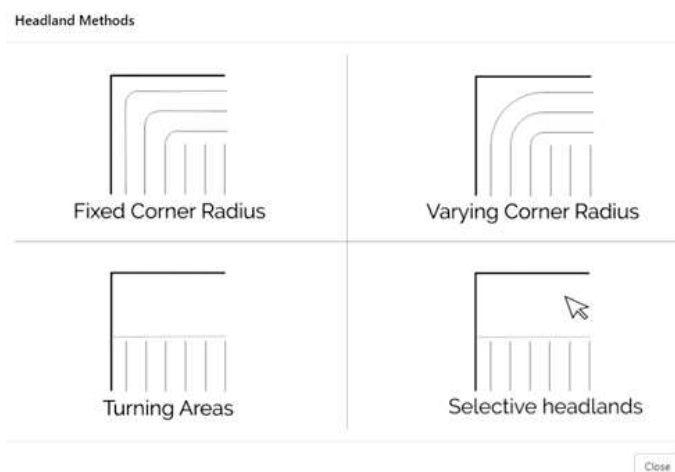
Obrázek 3.5: *Zadání překážky uvnitř pozemku*

případně plovoucí polohy tříbodového závěsu a v případě potřeby nastavení otáček vývodového hřídele.

3.3.3 Nastavení souvratí

Po zvolení vhodného příslušenství následuje volba řešení souvratí. Zde se nastavuje způsob obdělání rohů a krajů pozemku (obr. 3.6). Možné je obdělat pozemek až do kraje, nebo navazovat jízdy přesně na sebe s tím, že kousek rohu zůstane neobdělán. Případně lze vynechat setí na souvratích kvůli otáčení techniky při chemickém ošetření a plečkování nebo vynechat jen zvolené souvratě. V tomto kroku je také nutné nastavit způsob projetí zatáček na souvratích. Jednou možností je projíždění s přesným navazováním záběrů příslušenství. V tomto případě nemusí být pozemek obdělán až do rohu. Druhá možnost upraví průjezdy tak, aby došlo k pokrytí co největší části povrchu pozemku. Při aplikaci této možnosti nemusí jednotlivé záběry v zatáčce na sebe navazovat, ale poslední jízda bude blíže rohu.

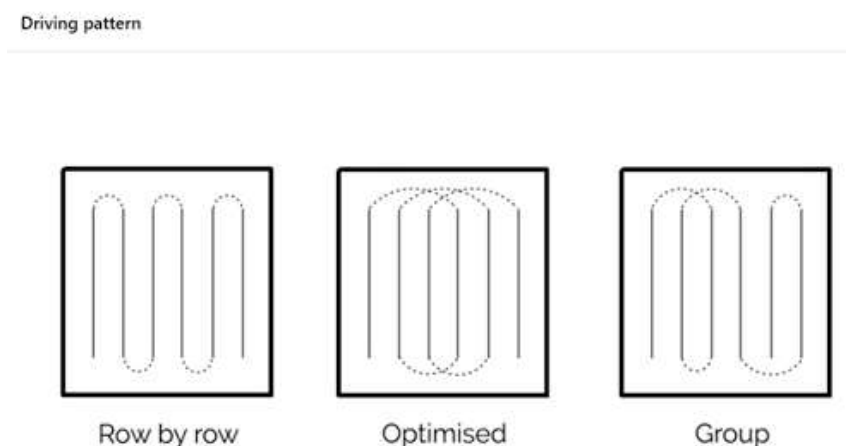
Dále je nutno nastavit šířku souvratí. Ta je nastavována v násobcích záběrů příslušenství a volí se podle potřeby konkrétního podniku, nejčastěji podle pracovního záběru postříkovače. Poté je potřeba nastavit startovní a cílový bod. Tyto body udávají, kde má robot začít a skončit práci. Ideální je nastavit tyto body poblíž místa vjezdu na pozemek, tím dojde k ušetření zbytečných pojezdů. Dalším krokem je nastavení, zda mají být souvratě obdělány dříve nebo později než zbytek pozemku a zda má připojené příslušenství pracovat, i když robot projíždí zatáčkou. Toto nastavení neplatí pro otáčení na souvratě, tam je příslušenství zdvihnuté vždy. V tomto okamžiku také můžeme nastavit způsob otáčení na souvratě. Robot se umí otáčet stejným způsobem jako konvenční traktor, tedy lehkým nadjetím, a následným zatočením do další jízdy, ale jelikož natáčecí kola nejsou spolu pevně



Obrázek 3.6: *Způsoby obdělání souvratí*

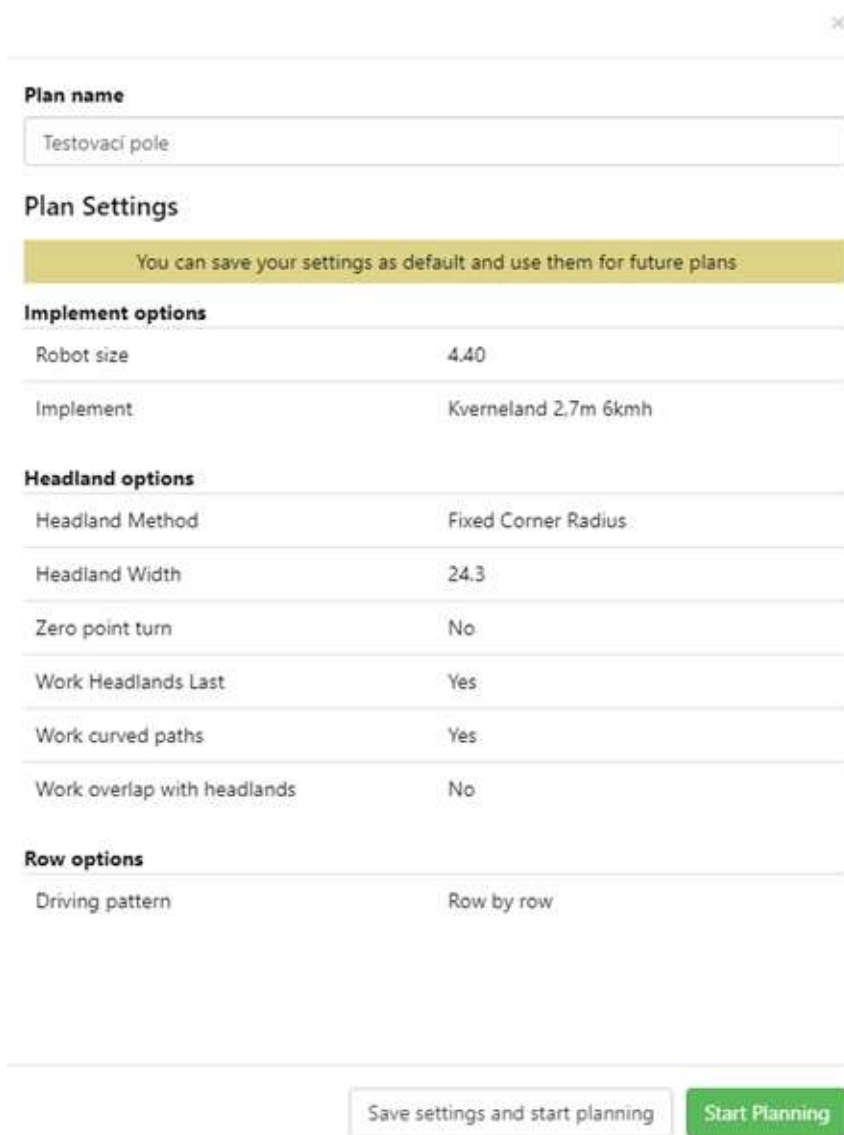
spojena, je možné provést takzvaný „Zero point turn“. Při tomto otočení jsou přední kola natočena proti sobě a jedna strana robota jede dozadu a druhá dopředu. Díky tomu stroj provede otočku o 90 stupňů, přičemž střed otáčení je na středu stroje. Následuje popojetí o vzdálenost potřebnou k dalšímu řádku a další otočka o 90 stupňů. Ačkoliv tento způsob otáčení vypadá nezvykle, tak značně zkracuje čas potřebný k provedení otočky.

Následujícím krokem je nastavení pojezdů uvnitř pozemku. Zde je možné zvolit zadání metodou bodu A a bodu B, kdy je směr jízdy dán spojnici mezi nimi, případně je možné nastavit konturové pojezdy, kdy je kopírována linka, která není rovná. Možné je také obdělávat fixní řádky. Nejvíce používaná je metoda AB, linii můžeme nahrát ze stávajícího navigačního systému podniku, zvolit linii podle hrany pozemku, vybrat dva body uvnitř pozemku myší či zadat zeměpisné souřadnice dvou bodů, nebo jeden bod a kurz. Velmi dobře funguje možnost optimální linie, kdy je dle obrysu pozemku vybrán počítačem optimální směr, aby bylo dosaženo efektivního využití stroje. Nastavuje se také způsob pohybu mezi jednotlivými jízdami. Je možné jezdit jízdu vedle jízdy, optimalizovaně či po skupinách (obr. 3.7).



Obrázek 3.7: *Způsoby pohybu po pozemku*

Po vyplnění všech nezbytných náležitostí je možné zobrazit návrhy tras. V tomto okamžiku lze vymazat některé jízdy v případě, že je již na pozemku odvedena část práce. V této chvíli program také spočítá celkovou plochu k obdělání a po odebrání jízd ji okamžitě upravuje. Následuje tabulka s výpisem všech zadaných hodnot (obr. 3.8). Pokud jsme s plánováním spokojeni, můžeme informace předat serveru a ten začne generovat hotový plán pro robotické zařízení. V tuto chvíli je zobrazen odhad doby potřebné k vytvoření plánu. Dle zkušeností z praxe je odhad zbytečně pesimistický, jelikož byl plán vždy vyhotoven za přibližně polovinu odhadovaného času. Hotový plán je uložen v cloudovém úložišti přidruženém k uživatelskému účtu a je připraven k okamžitému použití v robotickém systému. Obsahuje informace o jednotlivých jízdách po pozemku a to pracovních i nepracovních. Pracovní jsou značeny bílou čarou a nepracovní modrou (obr. 3.9). Nepracovní jízdou se rozumí otáčení nebo přejezdy mezi jednotlivými částmi pozemku.



The screenshot shows a web interface for configuring a plan. At the top, there is a 'Plan name' field with the value 'Testovací pole'. Below this is the 'Plan Settings' section, which includes a yellow banner stating 'You can save your settings as default and use them for future plans'. The settings are organized into three main categories: 'Implement options', 'Headland options', and 'Row options'. Each category contains a table of settings.

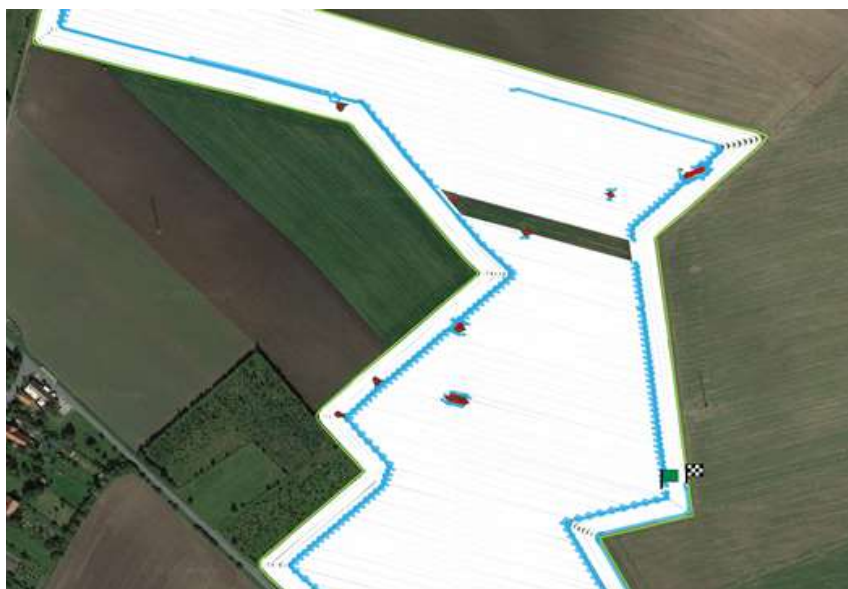
Implement options	
Robot size	4.40
Implement	Kverneland 2,7m 6kmh

Headland options	
Headland Method	Fixed Corner Radius
Headland Width	24.3
Zero point turn	No
Work Headlands Last	Yes
Work curved paths	Yes
Work overlap with headlands	No

Row options	
Driving pattern	Row by row

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Save settings and start planning' and 'Start Planning'.

Obrázek 3.8: Souhrn parametrů plánu



Obrázek 3.9: *Plán pojezdů po pozemku*

4 Porovnání výkonnosti autonomního zařízení s konvenční technologií

Jedním z cílů této diplomové práce je porovnání výkonnosti autonomního robotického zařízení s konvenční technikou. Proto byl navrhnut polní pokus pro porovnání autonomní a konvenční technologie. Pokus probíhal při pracovní operaci setí řepky. Autonomní zařízení pracovalo se secím strojem Kverneland Monopill o pracovním záběru 2,7 metru. Konvenční techniku při tomto pokusu zastupoval univerzální kolový traktor John Deere 6830 Premium vybavený satelitním navigačním systémem s přijímačem Starfire 3000 a jednotkou automatického řízení AutoTrac Universal 300 agregovaný se secím strojem Pöttinger Vitasem 302 a s pracovním záběrem 3 metry. V rámci pokusu každý z hodnocených systémů provedl práci spočívající v setí řepky na podobném pozemku. Předsetřová příprava byla provedena v obou případech předsetřovým kombinátorem, jelikož ale sledování probíhalo v různých zemědělských podnicích, nebylo možné použít přesně stejný typ. Na průběh pokusu však tento krok neměl vliv. Testovací pozemky sice nebyly stejné rozlohou, ale byly podobné proporčně. Pozemek, který zaselo autonomní robotické zařízení měl rozlohu 21,59 hektarů a pozemek zasety konvenčním traktorem měl rozlohu 18,26 hektarů. Autonomní robotické zařízení pracovalo při pojezdové rychlosti 6 kilometrů za hodinu a úkol dokončilo za 19 hodin a 15 minut, konvenční traktor pracoval při pojezdové rychlosti 11 kilometrů za hodinu a práci zvládl za 7 hodin a 30 minut.

Z důvodu zohlednění různého využití času u zkoumaných systémů byla jako srovnávací veličina zvolena reálná hodinová výkonnost stroje. Tato výkonnost byla zjištěna sledováním času potřebného pro dokončení pracovního úkolu na pozemku o známé výměře (4.1). Následně byla spočítána teoretická hodinová výkonnost na základě pracovního záběru stroje a pojezdové rychlosti (4.2).

Výpočet reálné hodinové výkonnosti

$$W = \frac{S}{t} \quad (4.1)$$

kde:

W – reálná hodinová výkonnost [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$],

S – plocha pozemku [ha],

t – čas potřebný pro provedení práce [h].

Výpočet teoretické hodinové výkonnosti

$$W_{teo} = d \cdot a \quad (4.2)$$

W_{teo} – teoretická výkonnost [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$],

d – ujetá dráha za hodinu [$\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$],

a – pracovní záběr stroje [m].

Tabulka 4.1: Tabulka s výsledky

Parametr	Autonomní zařízení	Konvenční technologie
Hodinová výkonnost	1,12 [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$]	2,43 [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$]
Teoretická hodinová výkonnost	1,62 [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$]	3,3 [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$]

Na základě dat získaných během pokusu byla vypočítána reálná hodinová výkonnost autonomního robotického systému a konvenčního traktoru. Jejich porovnáním byla u konvenčního traktoru prokázána 2,17krát vyšší reálná hodinová výkonnost. Toto dokazuje, že autonomní robotické zařízení za časovou jednotku vykoná méně práce než konvenční traktor. Pokud porovnáme pro každý sledovaný systém zvlášť skutečnou a teoretickou výkonnost, zjistíme, že autonomní systém dosáhne 69 [%] účinnosti a konvenční 74 [%] účinnosti. Tento výsledek lze přisoudit malému pracovnímu záběru autonomního zařízení a dlouhému času potřebnému k otočení stroje na souvrati.

5 Používání robotického systému v praxi

Tato kapitola bude popisovat používání robotického systému v zemědělské praxi. Popsána bude údržba zařízení před vyjetím a zprovoznění, dále agregace zařízení s potřebným příslušenstvím. Kapitola bude věnována také spuštění autonomního provozu a jeho kontrole skrze webové rozhraní. Dále bude řešeno přerušení a obnovení autonomního provozu.

5.1 Údržba robotického zařízení

Obsluhování zařízení není nikterak složité jak z pohledu ovládání, tak z pohledu údržby. Běžná denní údržba sestává z kontroly hladin motorového a hydraulického oleje, chladicí kapaliny u obou motorových jednotek. Dalším krokem je pohledová kontrola pojezdového ústrojí a těsnosti hydraulického vedení. Pokud je vše v pořádku, je možné stroj nastartovat. Start motoru z bezpečnostních důvodů nelze provést dálkově, je tedy nutno aktivovat dálkový ovladač a zapnout zapalování. Následně po načtení systému můžeme stisknout startovací tlačítko a řídicí elektronika motor nastartuje. Po nastartování motoru je možné ihned stroj ovládat prostřednictvím dálkového ovladače.

Dálkový ovladač je vybaven osmi ovládacími prvky, dvě tlačítka slouží pro párování ovládání s robotickým zařízením, další dvě tlačítka jsou pro přepnutí mezi rychlým a pomalým rychlostním rozsahem. Jeden páčkový přepínač slouží pro ovládání zdvihání a spouštění tříbodového závěsu. Druhý páčkový přepínač je využíván pro přepínání mezi manuálním režimem, autonomním režimem a pozicí zaparkováno. Dva největší ovládací prvky v podobě dvou joysticků pak obsluha používá k ovládání jízdy robota, jeden řídí jízdu vpřed a vzad a druhý řídí natočení kol. Ovládání je proporční, a tudíž umožňuje plynulé řízení rychlosti i natočení kol.

5.1.1 Agregace robotického zařízení s příslušenstvím

Připojení požadovaného příslušenství není moc rozdílné oproti agregaci příslušenství s konvenčním traktorem. K připojení slouží tříbodový závěs, který je vybaven háky kategorie 2. V případech, kdy agregované příslušenství vyžaduje jinou šířku mezi háky, je k dispozici změna rozteče prostřednictvím výměny koncových částí tříbodového závěsu. V základním provedení je koncová část rovná a v alternativním je vybočená stranou. K provedení této výměny je zapotřebí náradí.

Pro pohon agregovaného zařízení je možné využít vývodový hřídel umístěný pod rámem stroje. Výkon je přenášen pomocí hydromotoru. Díky tomuto způsobu pohonu je

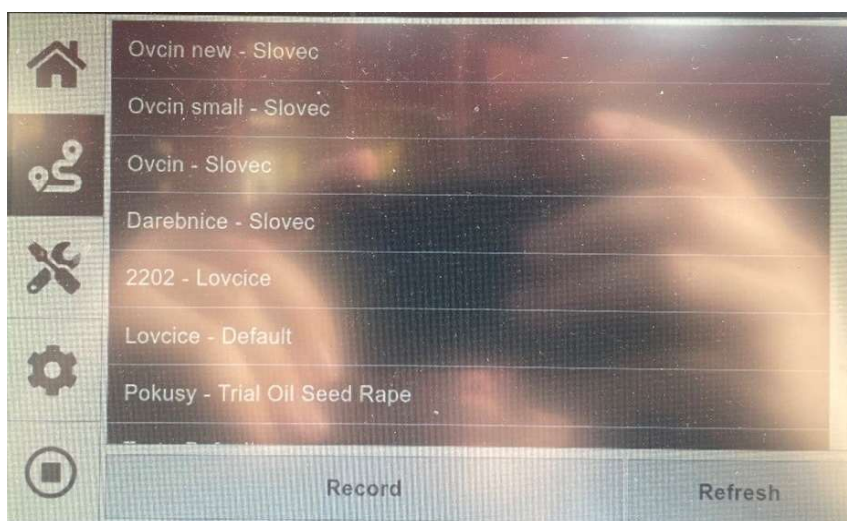
možné nastavit libovolné otáčky vývodového hřídele od 0 do 1000 otáček za minutu. Hydraulický pohon taktéž umožňuje plynulý rozběh agregovaného zařízení. Příslušenství je také možné pohánět hydraulickými okruhy. Jsou k dispozici tři okruhy a jedna rychlospojka pro volný zpětný tok oleje.

Pro příslušenství je k dispozici také rozhraní ISOBUS, které je hojně využíváno u konvenčních traktorů pro ovládání funkcí připojeného zařízení. Bohužel během sezóny 2021, kdy se odehrávalo sledování tohoto robotického systému, ještě výrobce tuto funkci neimplementoval do webového ovládacího rozhraní a funkci tak nebylo možné naplno využívat.

5.1.2 Zahájení autonomní pracovní operace

Začátek práce na pozemku se liší podle předchozí přípravy. Pokud nebyl k dispozici obrys pozemku, je nejprve potřeba zaznamenat hranice pozemku jejich objetím. Následně je potřeba ve webové aplikaci vytvořit plán práce dle dříve popsáního postupu. V případě známého pozemku, ke kterému máme k dispozici hranice, je ideální plán vytvořit předem.

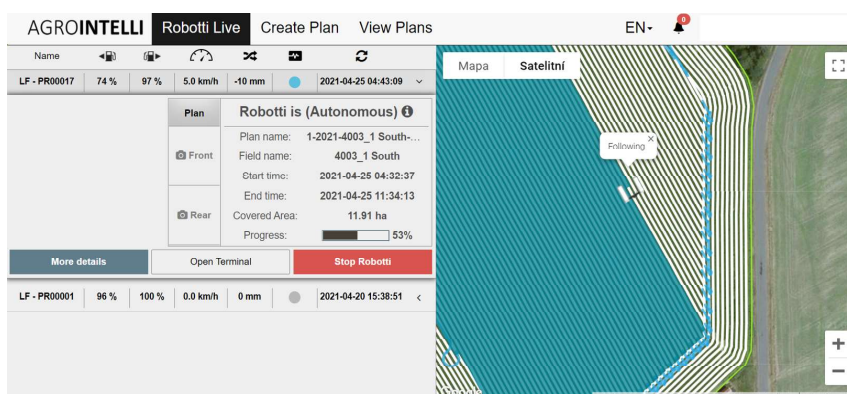
Prvním úkonem pro zahájení práce je najet ručně robotem dovnitř hranic příslušného pozemku. Následně můžeme na ovládacím panelu robotického zařízení přejít do seznamu existujících plánů a vyhledat příslušný plán pro konkrétní pozemek (obr. 5.1). Po výběru je možné vydat povel k zahájení práce a na dálkovém ovladači přepnout do autonomního režimu. Zařízení navrhne nejkratší cestu ke startovnímu bodu, zvukovým signálem upozorní na zahájení autonomní jízdy a rozjede se. Po dosažení startovního bodu pak započne samotná pracovní operace, kdy se již zařízení pohybuje po předem navržených trasách v pracovním nebo nepracovním pojezdu.



Obrázek 5.1: Seznam pracovních plánů

Průběh pracovní operace lze v reálném čase sledovat skrze webové rozhraní (obr. 5.2). Toto rozhraní poskytuje důležité informace potřebné pro kontrolu správné funkce. Obrazovka rozhraní je rozdělena na pravou a levou část. Pravou část ovládacího rozhraní zabírá mapa, která ukazuje aktuální polohu robotického zařízení na pozemku včetně naplánovaných tras. Podle aktuálního postupu v pracovním plánu je plocha pozemku postupně vybarvována, aby měla obsluha představu o postupu práce.

Levá část obsahuje ve své horní části hlavní oznamovací lištu a pod ní další detailnější informace. V hlavní oznamovací liště se nachází informace o množství paliva v nádržích jednotlivých motorových jednotek, dále aktuální pojízdná rychlost, aktuální odchylka od stanovené linie a barevný ukazatel aktuálního stavu zařízení. Červená barva signalizuje kritickou poruchu nebo jiný stav který vyústil v automatické zastavení zařízení. Oranžová barva oznamuje nadcházející problém jako je údržba, menší závada - například problém s DPF filtrem. Modrá barva signalizuje provoz v autonomním režimu. Zelená barva indikuje provoz v manuálním režimu. Poslední položkou v hlavní oznamovací liště je pak pro přehled aktuální datum a čas.



Obrázek 5.2: Webové kontrolní rozhraní

Pod hlavní oznamovací lištou se nachází pole pro zobrazení obrazu z přední či zadní kamery umístěné na zařízení. Bohužel v roce 2021, kdy probíhalo sledování, tato funkce ještě nebyla dostupná, i když na zařízení kamery fyzicky nainstalovány byly.

Vedle okna pro kamery se nachází názvy aktuálně používaného plánu a pozemku, čas, kdy byla zahájena pracovní operace a předpokládaný čas jejího dokončení. Další položka zobrazuje aktuálně obhospodařenou plochu v hektarech a poslední procentuální postup v plánu.

Posledním prvkem levé strany rozhraní je spodní lišta s funkčními tlačítky. První tlačítko slouží k zobrazení dalších detailů o zařízení. Po otevření se zobrazí tabulka s důležitými údaji pro oba motory (obr. 5.3). Zobrazeny jsou odpracované motohodiny, kontrolky funkce systému motoru, mazání, přehřátí a dobíjení. Dále množství paliva, teplota chladicí kapaliny a otáčky klikové hřídele. Poslední jsou pak položky indikující verzi hardwaru, firmwaru a softwaru.

Další tlačítko slouží k otevření virtuálního ovládacího terminálu. Tato funkce umožňuje na dálku pracovat s ovládacím terminálem umístěným na zařízení a například rozsvítit světla. Komunikace v tomto případě probíhá skrze Wifi síť. Bohužel dosah této sítě je na poměry velikosti pozemků v České republice nedostatečný, a tak funkci v podstatě nelze využívat.

Poslední tlačítko slouží k zastavení zařízení pro případy, kdy se zdá, že nastává problém, na který zařízení očividně nereaguje, nebo máme jiné důvody k jeho zastavení.

5.1.3 Přerušování autonomního provozu

V ideálních podmínkách by zařízení jezdilo podle navržených tras až do dokončení pracovního úkolu. Při reálném nasazení ale nastávají situace, kdy je nutné práci přerušit. Může se

LF - PR00017
2021-11-03 11:25:39

Information	Engine Left	Engine Right
	424 h	188 h
Fuel Level	38 %	100 %
Coolant Temperature (°C)	0 °C	0 °C
Revolutions per minute	0 RPM	0 RPM
Hardware: 9.0 Firmware: 1.4.12 Software: 1.3.4-ntrip-compatibility-mode		

Close

Obrázek 5.3: Informace o motorových jednotkách

vyskytnout nečekaná překážka, porucha na stroji, dojde osivo, nebo se změní povětrnostní podmínky. V takovém případě je nutné práci přerušit. Přerušit pracovní operaci lze třemi způsoby.

Prvním, a nejlepším způsobem zastavení práce, je přepnutí z autonomního do parkovacího nebo manuálního režimu prostřednictvím přepínače na dálkovém ovládní (obr. 5.4). Tento způsob zastavení je k robotickému zařízení nejšetrnější, jelikož dojde k zastavení a přepnutí pojezdového dieselového motoru do volnoběžného režimu. V případě používání vývodového hřídele či hydraulického okruhu je využívaný druhý dieselový motor při přepnutí do parkovacího režimu okamžitě zastaven.



Obrázek 5.4: Dálkové ovládní

Druhá možnost přerušení autonomního provozu je zastavení zařízení pomocí stop tlačítka ve webovém ovládacím rozhraní. Jelikož toto tlačítko je ale designováno jako nouzový prostředek zastavení v případě, kdy obsluha není na dosah k zařízení, jeho stisknutí zprostředkuje okamžité zastavení obou dieselových motorů.

Poslední možnost přerušení autonomní jízdy je stisknutí některého stop tlačítka na rohu zařízení, popřípadě stisk bezpečnostního nárazníku umístěného kolem přední a boční části stroje. Tato varianta zastavení funguje, ale jelikož stop tlačítka a bezpečnostní nárazník jsou původně bezpečnostní systémy pro případ nouze, způsobí jejich aktivace okamžité zastavení dieselových motorů stejně jako stop tlačítka ve webovém rozhraní. Vzhledem k tomu, že pohon obstarávají dieselové motory s přeplňováním turbodmychadly, existuje teoretická možnost, že by takovéto zastavování zařízení mohlo v dlouhodobém výhledu přinést poškození turbodmychadel vlivem zapékání přehřátého motorového oleje, který v nich po okamžitém stopu motorů zůstane. Jelikož sledované zařízení bylo nové a za sezónu 2021 bylo odpracováno na hlavním, tedy levém, motoru 424 motohodin, tak nebyly zaznamenány žádné problémy.

5.1.4 Obnovení autonomního provozu

Po odstavení zařízení z autonomního provozu z jakéhokoliv důvodu je možné provoz znovu obnovit. Pokud bylo zastavení provedeno z důvodu doplnění osiva nebo kontroly zařízení, můžeme již při zastavení stroji usnadnit obnovení práce. Nejlepší je zařízení zastavit v okamžiku, kdy dokončí pracovní jízdu, zvedne příslušenství a začne pojíždět do místa otáčení. Bylo vysledováno, že při tomto způsobu zastavení proběhne obnovení autonomního provozu nejrychleji a netvoří se zbytečné chyby. Samotné obnovení provozu se provádí skrze ovládací displej na levé motorové jednotce. Po zastavení zařízení automaticky nabídne možnost pokračovat v plánu. Obsluha tedy potvrdí, že chce pokračovat a přepne spínač na dálkovém ovládání do autonomního režimu, čímž dojde k obnovení práce.

Pokud k přerušení práce dojde z důvodu změny povětrnostních podmínek a je nutné se zařízením z pozemku odjet, není nutné pro pokračování práce přejíždět na místo, kde byla práce přerušena. Je nutné pouze najet dovnitř hranic pozemku a následně na ovládacím displeji zvolit příslušný pozemek. V systému je uložen předchozí provedený postup a v potvrzovacím menu přibude možnost pokračovat v práci. Po potvrzení a spuštění autonomního režimu se zařízení rozjede k místu přerušení práce. Pro nepracovní přejezd systém zvolí nejvhodnější možnou linii a jede tudíž ve svých kolejích a nebo dělá kolej v místě, kudy by stejně jel. Nedochází tudíž k dalšímu poškození plochy pozemku. Po dojezdu na místo je příslušenství spuštěno a práce pokračuje dále.

V případě přerušení práce z důvodu nezaznamenané překážky nebo nesouladu ve tvaru zaznamenaných a skutečných hranic pozemku je možné, aby obsluha daný úsek zasela v ručním režimu. Po objetí překážky či problémového místa pak lze autonomní režim opět obnovit.

6 Nasazení robotického systému při různých zemědělských operacích

V této kapitole bude popsán průběh práce při zemědělských operacích, které bylo možné v době sledování vyzkoušet. Popsáno bude plečkování pšenice, sázení jahod, setí slunečnice, kukuřice a řepky ozimé. Vyzkoušeno bylo také plečkování kukuřice kamerově naváděnou plečkou.

6.1 Plečkování pšenice

První zkoušenou pracovní operací bylo na konci března 2021 plečkování porostu ozimé pšenice. Tato operace byla pokusem ze strany výrobce autonomního zařízení firmy Agriintelli. Účelem pokusu bylo zjistit, zda by bylo možné robotickým systémem provádět plečkování radličkovou plečkou v porostech obilovin bez použití pasivního navádění. Tato metoda v současné době získává velkou oblibu při pěstování obilovin bez použití chemických látek. Pokus byl prováděn na pozemku podniku Zemědělská výroba Nouza v Dolní Pěně na Jindřichohradecku. Pro účel pokusu byl na pozemku o výměře 5 ha na podzim roku 2020 založen porost ozimé pšenice. Pro účely plečkování byl porost založen secím strojem Pöttinger Vitesem 252 s upraveným výsevním ústrojím na meziřádkovou vzdálenost 20 cm. Zakládání porostu probíhalo straším modelem autonomního robotického zařízení a autor této práce ještě nebyl u této operace přítomný.

Pro plečkování byla používána speciální radličková plečka pro meziřádkovou vzdálenost 20 cm. Bohužel pokus skončil neúspěchem, jelikož na podzim 2020 byl pozemek velmi vlhký, což způsobovalo problémy při jízdě secí soupravy a řádky nebyly rovné. Plečkování radličkovou plečkou by znamenalo výrazné poškození porostu, a tak byly nakonec pro vyplečkování použity plecí brány Einböck Aerostar (obr. 6.1). Tyto brány využívají hřeby na pružinách, které provádí pletí na základě rozdílného zakořenění ozimé pšenice a plevelu, který vyrostl později po zimě. Bohužel mokro na pozemku nedovolilo vyjet v čas a v době provádění pokusu již byl plevel moc zakořeněný a nepodařilo se jej vyplečkovat úplně, jak bylo zamýšleno.

6.2 Sázení jahod

Dalším úkolem prováděným v sezóně 2021 bylo zakládání nového porostu jahod. Operace byla prováděna v areálu jahodárny v Dolní Pěně. Důvodem pro vyzkoušení této operace byl fakt, že domácí zemědělský podnik nedisponoval traktorem s navi-gačním systémem pro udržení směru jízdy ve velmi nízkých rychlostech. Proto musel být traktor při sázení řízen



Obrázek 6.1: Pletí bránami Einböck aerostar

ručně obsluhou. Sázení probíhá při velmi nízké rychlosti $0,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, při této rychlosti je velmi těžké udržet směr jízdy, jelikož každý pohyb volantem se projevuje velmi pomalu, a tak nejsou výsledné řádky přesně rovné. To způsobuje problém při následném strojním plečkování, kdy musí být plečka ručně naváděna pracovníkem na řádky, aby nedocházelo k poškození rostlin. Robotické zařízení je při autonomní jízdě vždy ovládáno skrze GPS signál, a tak jede v optimálních podmínkách vždy rovně. Takto nasázené jahody by tedy teoreticky bylo možné plečkovat plečkou bez ručního navádění.

Sázení probíhalo třířádkovým sazečem Checchi & Magli (obr. 6.2). Tento sazeč je konstruován na výsadbu prostokořenné sadby a využívá k tomu účelu mechanicky poháněný mechanismus s oběžnými řetězy, na kterých jsou namontovány gumové úchopy, do kterých pracovníci umísťují jednotlivé sazenice. Při sázení je pak kolem každého řádku v hloubce 4 cm natažena zavlažovací hadička.



Obrázek 6.2: Sazeč jahod Checchi & Magli

Robotické zařízení se při sázení jahod prokázalo dobře z pohledu kvality výsadby díky dobrému držení přímého směru a konstantní rychlosti, vyvstalo však i několik problémů, které budou popisovány v dalších kapitolách.

6.3 Setí slunečnice a kukuřice

V polovině dubna 2021 byla poprvé vyzkoušena agregace zařízení s podtlakovým secím strojem Monosem NC (obr. 6.3) osazeným šesti výsevními jednotkami, které umožňují díky výměnným kotoučům setí řepy, kukuřice, či slunečnice. Stejný secí stroj již jednou byl s autonomním robotem agregován a kvůli zcela nevyhovujícímu umístění vývodového hřídele na robotickém zařízení byl hydromotor pohánějící vývodový hřídel namontován přímo na ventilátor secího stroje. Nový model Robotti 150D pro rok 2021 však má vývodový hřídel umístěný lépe, díky tomu bylo možné jej propojit standardní propojovací kloubovou hřídelí. Stroj byl nastaven na meziřádkovou vzdálenost 45 cm, při této vzdálenosti jedou kola autonomního zařízení vždy mezi řádky a v současné době se tato vzdálenost často uplatňuje při pěstování silážní kukuřice. Secí stroj využívá mechanický pohon výsevních ústrojí od opěrného kola a pohon ventilátoru dodávajícího potřebný podtlak je realizován skrze vývodový hřídel. Pro správnou funkci ventilátor vyžaduje 540 otáček vývodového hřídele za minutu. První setí probíhalo poblíž obce Písková Lhota ve Středočeském kraji. Na pozemku o výměře 16,4 ha byl prováděn výsev slunečnice.

Následovalo setí silážní kukuřice, které probíhalo také s meziřádkovou vzdáleností 45 cm. Setí bylo prováděno poblíž obcí Bohuňovice a Moravská Huzová na Olomoucku. Jelikož byl výsev prováděn na větší pozemky až o výměře 40 ha, pracoval robot většinou nepřetržitě a zastavoval pouze na doplnění osiva a tankování nebo v případě problému. Celkově bylo během sezóny 2021 naseto 110 ha silážní kukuřice.



Obrázek 6.3: Secí stroj Monosem NC

6.4 Plečkování kukuřice

Pro sezónu 2021 byl společností Leading Farmers a.s. naplánován pokus o plečkování porostu kukuřice, která byla na jaře zaseta v Moravské Huzové. Bohužel extrémně vlhké podmínky na pozemcích neumožnily do porostu včas vyjet a nebylo tak možné vyplečkovat včas celou plochu. Většina pozemků byla tedy chemicky ošetřena, avšak pro pokus byl ponechán menší úsek, který byl následně vyplečkován, i když později, než bylo plánováno. Plečkování bylo prováděno 1. června 2021. Agregována byla plečka Monosem SCD, která byla s robotem propojena kamerovým naváděcím systémem Garford Side Shift (obr. 6.4).

Tento naváděcí systém využívá kameru, která sleduje porost před plečkou a posuvný rám pomocí přímočarého hydromotoru vyrovnává stranově plečku taky, aby nezasáhla do rostlin v případech, kdy by zasetý řádek vybočoval z roviny. Konkrétní naváděcí systém s tažným prostředkem nijak nekomunikuje, k jeho ovládání slouží dodaný ovládací monitor, není tedy potřeba ISOBUS propojení. Problémem se ukázalo být využívání pouze jedné kamery. Vyrovnávací systém má v tomto případě jen jeden vstup pro kontrolu správnosti navádění na řádek a několikrát se stalo, že systém nezareagoval správně z důvodu přechodů stinných a slunných míst. Taktéž systém nezvládá vyrovnávání zahnutých řádků. Z tohoto důvodu nebylo možné provádět plečkování souvratí a kolem překážek v porostu bylo nutné plečku ručně zvedat. Velkou výhodou v těchto situacích byl fakt, že při autonomní jízdě lze pomocí dálkového ovládání ručně zdvihat a spouštět připojené zařízení, aniž by došlo k přerušení jízdy.



Obrázek 6.4: *Plečka Monosem a Garford Side Shift*

6.5 Setí řepky ozimé

V srpnu 2021 proběhlo setí ozimé řepky. Tato operace byla prováděna prostřednictvím přesného secího stroje Kverneland Monopill se šesti sekcemi (obr. 6.5). Tento secí stroj umožňuje vysévat cukrovou řepu, ostropestřec a řepku při meziřádkové vzdálenosti 45 cm. u řepky je tento způsob výsevu zatím ojedinělý, ale stále častěji využívaný. Rostlina má k dispozici více prostoru, a tak se více rozvětví. Pohon výsevních jednotek je realizován elektricky a stroj nedisponuje ventilátorem, tudíž je agregace jednodušší. Jelikož u autonomního zařízení nebyl k dispozici plně funkční ISOBUS systém, bylo nutné vyřešit ovládání secího stroje jinak. Jednou možností bylo použít ovládací terminál dodávaný výrobcem secího stroje. Tak by ale nebylo možné průběžně kontrolovat, zda stroj funguje správně a neucpal se. Proto byl k zařízení připojen ovládací terminál Trimble GFX–350, který byl připojen na ISOBUS linky. Takto bylo možné připojit secí stroj napřímo do originální ISOBUS zásuvky na autonomním zařízení. Terminál Trimble GFX–350 funguje na systému Android a díky tomu je do něj možný vzdálený přístup skrze program Teamviewer. Takto bylo možné kontrolovat správnou funkci stroje a třeba i měnit výsevek.

Setí řepky probíhalo v období, kdy neustále hrozil déšť anebo bylo nutné čekat až pozemek vyschne. Z důvodu nepřízně počasí také bylo nutné celou část plánovaných operací zrušit. i přes nepřízeň počasí se však podařilo zasít 125 ha řepky.



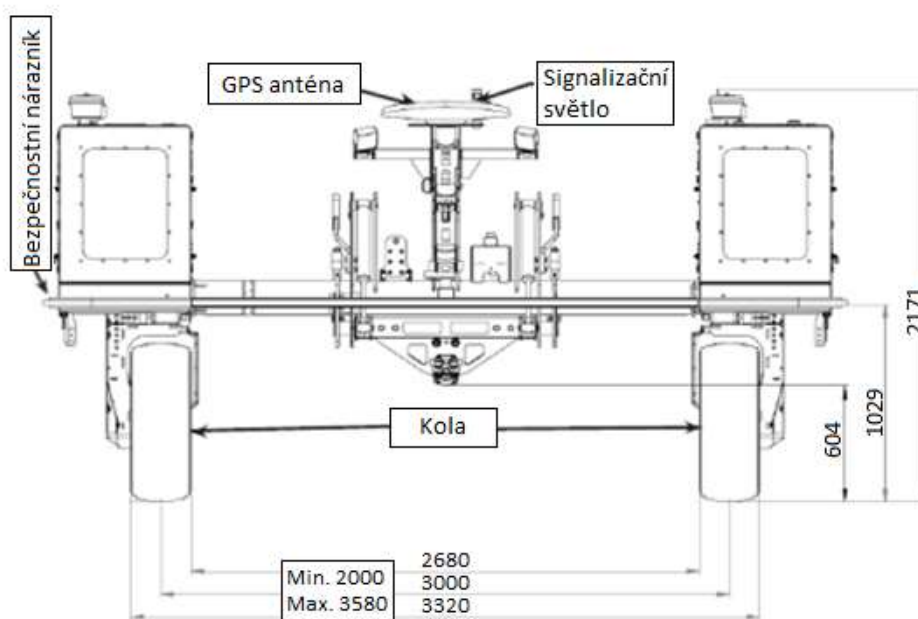
Obrázek 6.5: *Secí stroj Kverneland Monopill*

7 Problémy identifikované během sledování

Jedním z cílů práce je vyhledání vlastností robotického zařízení, které mohou při nasazení v praxi způsobovat problémy. V následujících kapitolách budou popsány problémy způsobené odlišným konstrukčním řešením zařízení, ale také specifické problémy vzniklé při provádění jednotlivých pracovních operací.

7.1 Problémy spojené s konstrukcí autonomního robotického systému

Specifická konstrukce tohoto zařízení s sebou nese při nasazení v běžné zemědělské praxi problémy. Ty pramení zejména z rozměrů zařízení a způsobu pohybu. Jelikož zařízení se nesmí pohybovat po pozemních komunikacích, je nutno jej přepravovat na vhodném přepravním zařízení. Základní rozměry činí 2171 mm na výšku, 4870 mm na šířku a 2500 mm na délku bez příslušenství (obr. 7.1).



Obrázek 7.1: Rozměry robotického zařízení

Robotické zařízení umožňuje pohyb pouze širší stranou dopředu, tudíž vzniká problém s přepravou zařízení mezi pozemky. Vzhledem k rozměrům a povaze zařízení není možné přejíždět mezi pozemky po běžných pozemních komunikacích. Kvůli omezené možnosti pohybu nelze najet na běžné plošinové přepravníky určené pro převoz zemědělské techniky. Pro přepravu je tedy nutné využít méně obvyklých přepravních zařízení. V roce 2021 bylo autonomní zařízení přepravováno na kratší vzdálenosti mezi jednotlivými úkoly za pomoci speciálního plošinového přepravníku taženého traktorem Unia PL6 (obr. 7.2). Tento přepravník je vybaven hydraulicky sklopnou zadní nápravou a tažen je rameny tříbodového závěsu traktoru. Díky tomu je možné položit přepravní plochu na zem a z boku najet robotickým zařízením. Pro přepravu na dlouhé vzdálenosti pak byly využívány kontejnery systému Abroll upravené pro převoz autovraků či jiných zvláštních břemen. Konstrukce kontejneru bez bočnic umožňuje najetí zařízení z boku a množství kotevnic bodů na podlaze zaručí správné zabezpečení robotického zařízení proti pohybu.



Obrázek 7.2: *Přepravník Unia PL6*

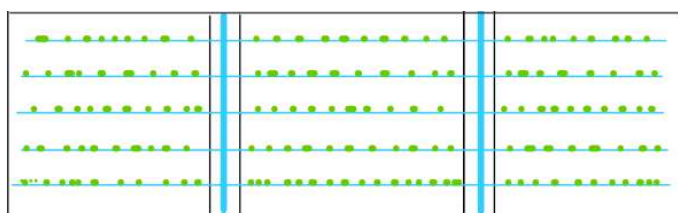
7.2 Problémy při sázení jahod

Specifická pracovní operace, jako je sázení jahod s sebou nese pro nasazení robotického zařízení několik úskalí. Nejprve budou popsány problémy technického typu a následně problémy spojené se softwarem. Prvním úskalím je konstrukční řešení sazeče, ten kombinuje botkové ústrojí pro přihnojování granulovaným hnojivem, diskové ústrojí tvořící drážku, do které je uložena sazenice a zavádění závlahové hadice kolem vysazeného řádku. Proto je sazeč poměrně rozložitý a nebylo jasné, zda bude možné jej vůbec agregovat s robotickým zařízením kvůli váze. Sazeč je nesen v tříbodovém závěsu a pohon vysazovacích jednotek je realizován mechanicky od pojezdových kol. Při sázení konstrukce problémy nezpůsobovala, ale nastaly při otáčení stroje na konci pracovní linie a najíždění na další. Sazeč je vybaven pro každou ze tří vysazovacích jednotek dvěma zásobníky sazenic a také nese pro každý řádek zásobu zavlažovací hadičky. Veškerá tato hmotnost je situována až na konci sazeče a tvoří tak velkou páku na tříbodový závěs. Aby mohlo robotické zařízení správně kopírovat profil pozemku, je k hlavnímu rámu napevno připojena jen jedna motorová jednotka, druhá je uchycena volně, aby byl umožněn výkyv. Slabinou tohoto řešení je přenos

váhy přípojného zařízení pouze na jednu stranu a dvě kola. Proto při zdvihnutí sazeče na souvrati vzniká nepoměr trakce mezi podvozky zařízení. Výkyvná strana stroje disponuje plným kontaktem kol s podložkou, ale strana pevně spojená s tříbodovým závěsem je nadlehčená až do té míry, že přední kolo ztrácí trakci. Pokud byl povrch pozemku na souvrati rovný, zařízení bylo schopno se samo otočit a pokračovat v práci na dalším řádku. V případě výskytu koleje nebo větší nerovnosti ale mělo zařízení s pojezdem velké problémy a v řadě případů musela být přerušena autonomní jízda, případně došlo k jejímu přerušení automaticky z důvodu zjištění velkého prokluzu řídicím systémem. V takovém případě bylo nutné zařízení ovládat ručně pomocí dálkového ovládání a pomoci mu použitím větší pojzdové rychlosti. V ručním režimu se povedlo problém vyřešit.

Značnou část problémů vysledovaných při sázení jahod by bylo možné vyřešit navýšením nepracovní pojzdové rychlosti. Bohužel to nebylo možné, jelikož nastavení pracovní a nepracovní pojzdové rychlosti probíhá již při vytváření plánu práce ve webovém rozhraní a poté na stroji nelze rychlost změnit. Další překážkou tohoto řešení je pravidlo, že pro nepracovní rychlost nelze nastavit vyšší rychlost, než je nastavená rychlost pracovní.

Z důvodu využívání umělého zavlažování jsou pozemky jahodárny rozděleny po délce do více oddílů (obr. 7.3). Sázení tedy standardně probíhá podélně po celé ploše jahodárny, ale v sektorech určených pro vedení závlahových hadic je nutné sázení přerušit. Toto rozdělení s sebou přineslo problém, jelikož nebylo možné pro robotické zařízení vytvořit plán tak, aby bylo v určitém bodě přerušeno sázení, ale zařízení pokračovalo v jízdě a následně zase začalo sázet. V tomto případě bylo možné problém improvizovaně vyřešit snadno. Při sázení jahod je stejně zapojeno do procesu více pracovníků, kteří se pohybují kolem stroje a doplňují sazenice či kontrolují správné zasazení sazenic. Robotické zařízení umožňuje zásah do řízení z dálkového ovládání, aniž by došlo k vypnutí autonomního režimu. Vytvoření mezery pro závlahové hadice tedy bylo realizováno vydáním povelu z dálkového ovládání ke zdvihnutí tříbodového závěsu. Zařízení pokračovalo v jízdě, ale bez výsadby. Po překonání potřebné vzdálenosti stačí, když obsluha pustí ovládací páčku pro tříbodový závěs a zařízení jej automaticky spustí zpět na hodnotu nastavenou v pracovním plánu. Nejzásadnějším problémem při sázení jahod tedy bylo otáčení na souvratích.



Obrázek 7.3: Schéma jahodárny

7.3 Problémy při setí slunečnice a kukuřice

Podobně jako při sázení jahod, i při autonomním setí slunečnice a kukuřice byly zaznamenány problémy. Autonomní robotické zařízení bylo agregováno se stejným secím strojem, jaký byl agregován s předchozím modelem autonomního robotického zařízení. Tehdy byl problém s umístěním vývodového hřídele a namísto spojení kloubovou hřídelí musel být demontován hydromotor vývodového hřídele z autonomního robotického zařízení a následně byl namontován přímo na ventilátor secího stroje. u zařízení modelového roku 2021

byl již vývodový hřídel umístěn lépe, a tak bylo možné využít běžného kloubového hřídele pro propojení vývodového hřídele autonomního zařízení a vstupní hřídele ventilátoru. Umístění vývodového hřídele však stále není ideální. Jelikož hřídel není uložena ve výchozí poloze vodorovně jako na konvenčních traktorech, vzniká při zvednutí poháněného příslušenství na konci pracovní jízdy velký úhel, který musí kloubová hřídel vydržet (obr. 7.4). Při zdvihání a spouštění secího stroje na souvratích tedy působí na kloubový hřídel neúměrné síly, které při setí vyústily v destrukci kloubu hřídele po zasetí 70 ha porostu.



Obrázek 7.4: Úhel kloubového hřídele

Jiný problém zaznamenaný při setí slunečnice a kukuřice nebyl způsoben autonomním zařízením, ale secím strojem. Pro autonomní provoz je klíčové, aby zařízení pracovalo pokud možno nepřetržitě a dosáhlo tak co nejlepšího využití času a ideálně nevyžadovalo přítomnost obsluhy. Problémem byla nutnost doplnění osiva za každé dvě hodiny provozu kvůli malému objemu zásobníků. Tento problém se nevyskytoval při setí slunečnice, ale při setí kukuřice, obzvláště pokud se jednalo o druh s velkými obilkami, někdy nevydrželo osivo ani na dvě hodiny.

7.4 Problémy při plečkování

Plečkování probíhalo v roce 2021 dvakrát. Poprvé to bylo na jaře plečkování pšenice, které bylo prováděno prutovými bránami. Při této operaci způsobovaly nejvíce problémů povětrnostní podmínky, které operaci předcházely. Plevel byl již hodně hluboko zakořeněný, a tak nebylo pletí dostatečně efektivní. Větší problém se však objevil ve chvíli, kdy se autonomní robotické zařízení dostalo do místa, kde byl pozemek lehce podmáčený. Zařízení se dostalo jednou stranou do podmáčeného místa a zastavilo v něm. Ve webovém rozhraní

se objevila hláška, že zařízení zapadlo. Po nastartování však bylo možné se zařízením normálně pokračovat v jízdě. Řídící systém, tedy v tomto případě zaznamenal zvýšený prokluz kol, a proto jej zastavil a vydal hlášku o zapadnutí. Kdyby zařízení pokračovalo v jízdě i se zaznamenaným prokluzem, normálně by místem projelo. Zdá se, že ochranný systém je tedy nastaven až příliš citlivě pro práci v těžších povětrnostních podmínkách.

Podruhé bylo plečkování vyzkoušeno na porostech kukuřice. Při této příležitosti byla vyzkoušena opakovatelnost provedených operací, jelikož zařízení při plečkování jezdilo v porostu, který předtím zaseto. Po bezmála dvou měsících od zasetí zařízení jezdilo mezi řádky přesně jako když jezdilo se secím strojem. Nedocházelo k žádnému poškození rostlin ze strany autonomního zařízení. Jediný problém způsobovalo vyrovnávací zařízení pro plečku, které nezvládalo dostatečně rychle reagovat na zakřivení řádků kolem sloupů vysokého napětí. Při jízdě v přímém řádku fungovalo plečkování s kamerově naváděnou plečkou agregovanou s autonomním robotickým zařízením bez problémů.

7.5 Problémy při setí řepky

Při poslední prováděné pracovní operaci v sezóně 2021 se již neprojevíly mechanické problémy, jelikož použitý šestiřádkový secí stroj Kverneland Monopill využívá pro pohon výsevních ústrojí elektrickou energii a nepotřebuje ventilátor, tudíž odpadají nepříjemnosti s vývodovým hřídelem. Problémem však během sledování zůstal nefungující systém ISOBUS na straně autonomního zařízení. Jak však bylo popsáno výše, byl tento problém vyřešen instalací dodatečného displeje Trimble GFX-350.

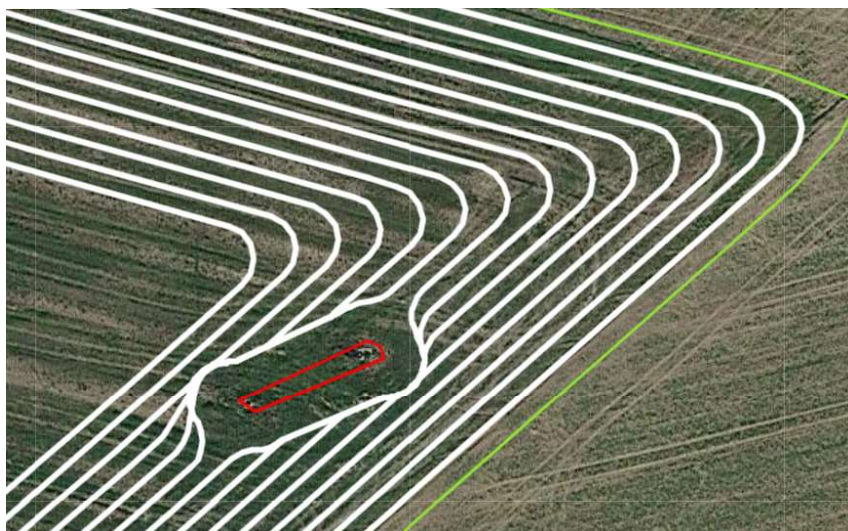
7.6 Softwarové problémy

V této kapitole budou shrnuty problémy související s nastavením ovládacího softwaru, které byly vysledovány za celou sezónu 2021 a nevztahují se ke konkrétní pracovní operaci. První zaznamenaný softwarový problém se týká plánování práce. Plán totiž lze vytvořit jedinečně prostřednictvím webového rozhraní a takto vytvořený plán již nelze žádným způsobem upravovat a pokud chceme upravit kterýkoliv z jeho parametrů, jako je například pojezdová rychlost, nebo způsob otáčení zařízení na souvrati později během práce, znamená to nutnost vytvoření plánu nového. Tento problém komplikoval přecházení mezi jednotlivými operacemi, kdy nebylo jasné, jaká pracovní rychlost bude pro práci na konkrétním pozemku vhodná. Jednodušší možnost úpravy pracovní rychlosti by také zlepšila výkonnost zařízení na pozemcích s variabilní skladbou povrchu. Bylo by ideální mít možnost zvolit například pro určitý problémový úsek nižší rychlost, ale pro zbytek pozemku využít nejvyšší možnou rychlost. Úprava rychlosti prostřednictvím vytvoření nového pracovního plánu je nepraktická a zdoluhavá, jelikož je při tvorbě nového plánu nutné ručně vyloučit všechny již provedené jízdy po pozemku.

Dalším softwarovým problémem je ukládání vytvořených pracovních plánů do cloudového úložiště namísto úložiště, které by bylo součástí autonomního zařízení. Toto řešení přináší problémy při práci na malých pozemcích nebo při začínání práce na pozemku z rohu. Po zapnutí autonomního robotického zařízení a zvolení plánu totiž započne načítání dat potřebných pro první jízdu a je možné zařízení přepnout do autonomního režimu. V následujícím kroku však dochází k načítání dat pro pět dalších jízd a pokud je první jízda

příliš krátká, nebo je na pozemku zhoršený signál mobilního internetu, nestačí zařízení tato data včas stáhnout a na konci první jízdy zastaví. Následně nelze vydat povel k pokračování v autonomní jízdě a je nutné začít plán znovu. To znamená opětovný přejezd po již obděláném místě. Pokud bychom se chtěli vyhnout opětovné práci na stejném místě, je nutné vytvořit nový plán s vynecháním příslušné jízdy. Toto řešení přináší značnou časovou ztrátu. Během sledování se nepodařilo prokázat, jak dlouhá první jízda poskytne dostatek času pro načtení potřebných dat, protože potřebný čas záleží hlavně na dostupné rychlosti internetu a ta je značně variabilní. V praxi tedy při první jízdě přibližně kratší než 300 metrů bylo nutné před zahájením autonomního provozu počkat na načtení druhé sady dat.

Jiný softwarový problém představuje projíždění zatáček při souvratových jízdách. Robotické zařízení umožňuje upravit jízdy v zatáčkách tak, aby byla vyplněna co největší část pozemku. Při tomto způsobu jízdy však mezi jednotlivými jízdami vznikají v rozích pozemku nezpracovaná místa (obr. 7.5).

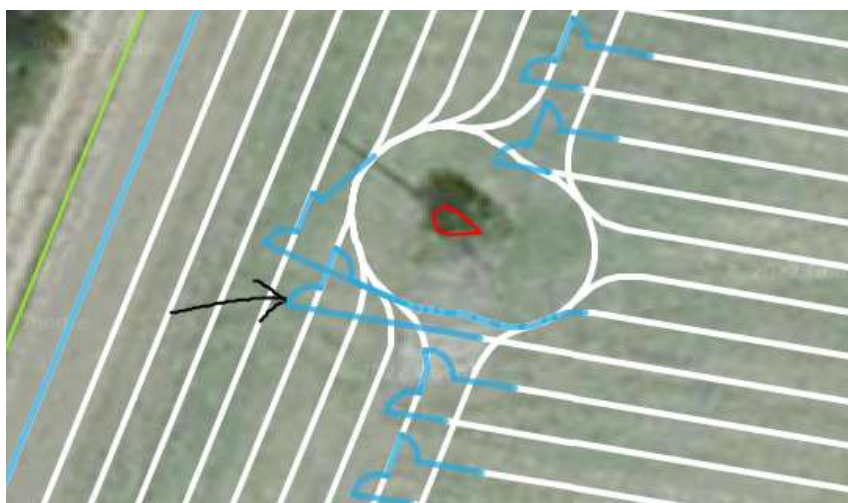


Obrázek 7.5: Mezery mezi jízdami v rozích pozemku

Pokud zvolíme možnost obdělání souvratí s navazujícími záběry, nevzniknou nezpracovaná místa mezi záběry, ale zůstane nezpracována půda v rohu pozemku. Bohužel v praxi se toto řešení jeví jako nejméně vhodné k použití, jelikož plánovací software neoperuje s mechanickými vlastnostmi příslušenství. Pokud svírají strany pozemku úhel 90° nebo menší, vzniká v každé další rohové jízdě ostřejší zatáčka. Při tomto způsobu pohybu by mohlo dojít k poškození agregovaného příslušenství, jelikož při ostré zatáčce může dojít i ke zpětnému pohybu příslušenství na vnitřní straně zatáčky. V takové situaci by mohlo dojít například k utržení slupic radličkových strojů nebo k ucpání výsevních jednotek u secích strojů.

Na stejném pozemku v Moravské Huzové, kde došlo k destrukci kloubové hřídele, byl objeven i softwarový problém při otáčení stroje. Na tomto pozemku je rozmístěno větší množství sloupů vysokého napětí, přičemž jeden ze sloupů se nacházel na rozhraní běžných a souvratových jízd, tedy v místě, kde se autonomní robotické zařízení otáčí. Sloup byl řádně zaznamenan v mapovém podkladu, tudíž plánovací program vypočítal pracovní jízdy a otáčky tak, aby se sloup bezpečně vyhnul (obr. 7.6). Při setí však v tomto místě nastal problém. Zařízení normálně dokončilo pracovní jízdu v místě, kde mělo a začalo provádět

otočku. Otočení mělo probíhat odjetím zařízení dál od sloupu, natočením zařízení směrem ke sloupu, následně mělo dojít ke krátkému pojezdu a dalšímu otočení směrem do další pracovní jízdy. Otočka však neproběhla podle plánu a ve chvíli, kdy se zařízení natočilo směrem ke sloupu, došlo k zachycení sloupu lidarovým bezpečnostním systémem a systém vyhodnotil sloup jako nebezpečnou překážku. Namísto zastavení pohybu, se ale zařízení začalo otáčet na druhou stranu směrem od sloupu. Po otočení opačným směrem ale řídicí systém požadoval dokončení otáčky, a tak se celý proces opakoval. Proces se stále opakoval až do doby, kdy obsluha vypnula autonomní jízdu. Následovalo ruční nasměrování zařízení do správného směru a po zapnutí autonomní jízdy zařízení pokračovalo v práci. Následující o něco složitější otáčka v blízkosti sloupu pak již proběhla bez náznaku jakéhokoliv problému, stejně jako zbytek práce.



Obrázek 7.6: *Problémová otáčka u sloupu*

Softwarovým problémem je také fakt, že zařízení není schopné samo vyřešit překážku, která mu stojí v cestě. Pokud je překážka zaznamenána a zůstává na místě, zařízení zastaví. Pro plné nasazení v provozu je klíčové, aby se zařízení zvládlo neočekávané překážce vyhnout, bohužel aktuálně to nezvládne.

8 Diskuze

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky pokusu a sepsány návrhy možných řešení problémů zjištěných během sledování autonomního zařízení Agroboti 150D. Při pokusu bylo prokázáno, že sledovaná autonomní souprava byla méně výkonnější než souprava konvenční. Autor práce tento výsledek očekával, jelikož konvenční souprava operovala s větším pracovním záběrem a vyšší pracovní rychlostí. Oproti tomu autonomní souprava disponovala menším pracovním záběrem, nižší pojzdovou rychlostí a ztrácela čas při otáčení na souvratích.

Problémy s konstrukcí autonomního robotického systému působily potíže zejména při potřebě projet na pozemek po úzkých polních cestách. Nutnost speciálních forem přepravy vynucená konstrukcí zařízení je také nemalým problémem. Řešením tohoto problému by bylo, kdyby výrobce upravil konstrukci pojzdového ústrojí a umožnil tak natočení kol o 90° ke směru jízdy. Tak by bylo možné pro potřebu přepravy zařízení natočit kola a odjet bokem. Při tomto způsobu pojzdu by se zařízení dobře vešlo na cesty a značně by bylo usnadněno najíždění na přepravní prostředky. Při možnosti natočení kol by totiž zařízení mohlo cestovat i na běžných přepravních podvalnicích s nakládací rampou nebo nájezdy vzadu.

Sázení jahod, jakožto poměrně nestandardní pracovní operace, přineslo problémů více. První se týkal zhoršené trakce zařízení z důvodu vysokého zatížení třibodového závěsu a nezávislého spojení obou motorových jednotek. Tento problém nelze lehce vyřešit, jelikož jej hlavně způsobuje nezávislé propojení motorových jednotek, na kterých jsou namontována pojzdová kola. Pokud by byly jednotky napevno spojeny, zařízení by nemohlo pracovat na nerovném pozemku, jelikož by byl celý rám neúměrně namáhán při přejezdu nerovností. Nabízí se také montáž závaží na přední část odlehčené motorové jednotky. Dalším problémem při sázení jahod byla nízká pojzdová rychlost při otáčení stroje na souvratí. Problém je způsoben softwarem pro plánování tras, kde probíhá nastavení pracovní a nepracovní pojzdové rychlosti pro každý typ příslušenství, které bude se zařízením agregováno. Tento problém byl výrobcem vyřešen a v březnu 2022 při plánování již lze nastavit různé pracovní a nepracovní rychlosti. Posledním problémem spjatým se sázením jahod byly komplikace kvůli nutnosti vynechání určitých ploch jahodárny pro vedení závlahových rozvodů. Aby byl tento problém vyřešen, bylo by potřeba přidat novou funkci do plánovače - a sice výběr ploch, kde zařízení pojede se zdviženým příslušenstvím.

Při setí slunečnice a kukuřice podtlakovým secím strojem působilo problémy umístění vývodového hřídele, kvůli kterému docházelo k velmi rychlému opotřebení kloubového hřídele a jeho následné destrukci. Pro řešení tohoto problému se nabízejí dvě možnosti, prvním je přemístění vývodového hřídele na jiné místo. Tomuto však stojí v cestě hlavní rám zařízení, a proto by bylo řešení značně konstrukčně složité. Druhým možným a jednodušším řešením by byla možnost nastavení vypínání přenosu výkonu přes vývodový hřídel

při zdvihnutí příslušenství. Toto řešení však není příliš praktické, jelikož po vypnutí přenosu výkonu dojde u podtlakového secího stroje ke spadnutí semen, která byla přichycena na výsevním kotouči. Po následném opětovném spuštění secího stroje by tedy na začátku řádku chyběly rostliny. Nejjednodušším řešením se tedy zdá použití secího stroje, který má pohon ventilátoru realizovaný hydromotorem. Problém s malou kapacitou zásobníků osiva, který souvisel se secím strojem, nikoliv s autonomním zařízením samotným, by bylo možné řešit dodatečným zásobníkem osiva. Jiným řešením může být vývoj plnicí stanice, která by byla přistavena k pozemku a autonomní zařízení by samo jezdilo doplňovat osivo.

Jarní plečkování přineslo malou zkušenost s prací zařízení v lehce podmáčeném terénu. Při zajetí do podmáčeného místa pozemku zařízení zastavilo s hláškou, že je zapadnuté, přitom zapadlé nebylo a v ručním režimu místem jednoduše projelo. Zdá se tedy, že řídicí systém zaznamenal větší rozdíly prokluzu mezi jednotlivými koly a vyhodnotil, že zařízení je zapadlé. Sledování prokluzu kol je jedním z bezpečnostních systémů, bylo by však praktické, kdyby bylo možné při spuštění autonomní jízdy dát zařízení informaci, že bude pracovat v podmáčeném terénu a nemá příliš citlivě reagovat na vyšší prokluz kol.

Problém s nefunkčním systémem ISOBUS při setí řepky lze vyřešit opravou softwaru a podle vyjádření výrobce zařízení společnosti Agrobotics bude tato chyba brzy napravena.

Problémy s pojezdovou rychlostí zařízení na nehomogenních pozemcích by pak bylo možné vyřešit přidáním možnosti úpravy pracovní a nepracovní rychlosti přímo pro konkrétní plán skrze ovládací obrazovku zařízení. Při začínání pozemku z rohu nebo práci na krátkém pozemku působí problémy zdlouhavé načítání dat z cloudového úložiště. Tento problém lze vyřešit instalací dostatečně velkého úložiště přímo do zařízení. Pokud by bylo vyřešeno oddělení elektronických systémů pro úložiště potřebných od ostatní elektroniky, mohlo by toto úložiště být neustále synchronizováno. V případě vytvoření plánu dopředu by tak zařízení mohlo plán stahovat již během cesty na pozemek. Vyřešení problémů s projížděním zatáček na při souvratových jízdách není snadné a zdá se, že současný způsob projetí zatáčky je i přes své nevýhody nejlepším možným řešením daného problému. Problém s otočkou u sloupu v Moravské Huzové se zdá být ojedinělým úkazem, jelikož se nepodařilo zachytit stejný nebo podobný problém znovu. Problémy s objížděním překážek budou přetrvávat, dokud nebude zařízení vybaveno větším počtem senzorů, které by dovedly přesně změřit velikost překážky a její polohu. Pokud bude mít zařízení k dispozici data potřebná pro správné objetí překážky a řídicí systém je zvládne správně použít, bude možné nečekané překážky objíždět.

K podobnému výsledku dospěl (Roshanianfard et al., 2020), který prováděl průzkum dostupných autonomních zařízení v roce 2020. Tehdy uvedl, že jedou z klíčových vlastností autonomních zařízení bude schopnost objíždění nenadálých překážek a řešení nečekaných problémů. Nastínil, že k tomuto účelu je nejvíce vhodné využití většího množství různých senzorů v kombinaci s umělou neuronovou sítí.

Podobným problémem se zabýval (Fue et al., 2020) v roce 2020. Tento autor prováděl literární posouzení aktuálního vývoje v oboru autonomních robotických zařízení se zaměřením na sklizeň bavlny. V práci poukázal na možnost využití menších víceúčelových zařízení ve větších skupinách na jednom pozemku. Takto by došlo ke snížení negativního vlivu utužení půdy a úspore finančních prostředků, jelikož by měla autonomní zařízení nahradit jednoúčelový sklízecí stroj.

Autonomní traktor byl navržen a testován (Blackmore et al., 2004). Tehdy byl předmětem konvenční traktor Hacostrac 3000 ve variantě s plynulou převodovkou, který byl doplněn o satelitní navigační systém a elektroniku nezbytnou pro ovládání jízdy. Při testo-

vání traktor zvládl následovat zadanou trasu s uspokojivou odchylkou do 10 cm. Problém byl bohužel zaznamenán ve spolehlivosti GPS navigace, tyto problémy (Blackmore et al., 2004) připsal malé dostupnosti viditelných satelitů. Větším problémem byla z dnešního pohledu absence detekce nečekaných překážek před traktorem. Porovnání testovaného autonomního traktoru Hacotrac 3000 a autonomního zařízení Agrointell Robotti 150D ukazuje jak se vývoj autonomní technologie posunul, zejména díky lepší dostupnosti korekčních signálů a přesných senzorů.

Závěr

Autonomní robotické zařízení Agroboti 150D modelového roku 2021 během sezóny 2021 provedlo práci na ploše bezmála 300 ha. i přes zjištěné problémy a nedostatky se zdá být zařízení při práci poměrně spolehlivé a jeho nasazení v praxi uspokojivé vzhledem k poměrně rannému stádiu nasazení podobných autonomních technologií do praxe. Pro plné nasazení by bylo dobré zlepšit praktičnost zařízení zejména v oblasti přepravy a zvýšit výkonnost. Zaznamenané problémy byly nahlášeny výrobcí a je velmi pravděpodobné, že budou v maximální možné míře opraveny v dalších modelových rocích. Pokračování v tématu diplomové práce by mohlo být ve směru porovnání zařízení Agroboti 150D s dalšími autonomními zařízeními, které se objeví na trhu a v praxi v dalších letech, nebo ověření vyřešení popsaných problémů.

Seznam použitých zdrojů

- Barr, S. P., Swaszek, P. F., Hartnett, R. J., a Johnson, G. W. (2013). Performance of Multi-Beacon DGPS.
- Blackmore, B., Griepentrog, H. W., Nielsen, H., Nørremark, M., a Resting-Jeppesen, J. (2004). Development of a deterministic autonomous tractor. In *Proceedings CIGR*, volume 11 2004, p. Citeseer.
- Cantelli, L., Bonaccorso, F., Longo, D., Melita, C. D., Schillaci, G., a Muscato, G. (2019). A small versatile electrical robot for autonomous spraying in agriculture. *AgriEngineering*, 1(3):391–402.
- Cariou, C., Lenain, R., Berducat, M., a Thuilot, B. (2010). Autonomous Maneuvers of a Farm Vehicle with a Trailed Implement in Headland. In *ICINCO* (2), pp. 109–114.
- Devos, A., Ebeid, E., a Manoonpong, P. (2018). Development of autonomous drones for adaptive obstacle avoidance in real world environments. In *2018 21st Euromicro conference on digital system design (DSD)*, pp. 707–710. IEEE.
- Dileep, M., Navaneeth, A., Ullagaddi, S., a Danti, A. (2020). A study and analysis on various types of agricultural drones and its applications. In *2020 Fifth International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN)*, pp. 181–185. IEEE.
- Fetridge, S. M. (2022). Self-driving vehicles are coming to the farm as John Deere plans to roll out driverless tractors. [online]. [cit. 2022-03-25], Dostupné z: <https://eu.usatoday.com/story/money/2022/03/17/john-deere-autonomous-tractor-farming/7066741001/>.
- Freeman, P. K. a Freeland, R. S. (2015). Agricultural UAVs in the U.S.: potential, policy, and hype. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2:35–43.
- Due, K. G., Porter, W. M., Barnes, E. M., a Rains, G. C. (2020). An extensive review of mobile agricultural robotics for field operations: focus on cotton harvesting. *AgriEngineering*, 2(1):150–174.
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A., Tranel, P. J., Küpper, A., a Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30):10307–10330.
- Garre, P. a Harish, A. (2018). Autonomous Agricultural Pesticide Spraying UAV. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 455:012030.

- Gasso, V., Sørensen, C. A., Oudshoorn, F. W., a Green, O. (2013). Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts. *European Journal of Agronomy*, 48:66–73.
- Ipate, G., Voicu, G., a Dinu, I. (2015). Research on the use of drones in precision agriculture. *University Politehnica of Bucharest Bulletin Series*, 77(4):1–12.
- Kim, J., Kim, S., Ju, C., a Son, H. I. (2019). Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. *Ieee Access*, 7:105100–105115.
- Kocić, J., Jovičić, N., a Drndarević, V. (2018). Sensors and sensor fusion in autonomous vehicles. In *2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 420–425. IEEE.
- Koerhuis, R. (2022). AgXeed robot tractor test drive: first impression. [online]. [cit. 2022-03-28], Dostupné z: <https://1url.cz/NKmm0>.
- Kushwaha, H., Sinha, J., Khura, T., Kushwaha, D. K., Ekka, U., Purushottam, M., a Singh, N. (2016). Status and scope of robotics in agriculture. In *International Conference on Emerging Technologies in Agricultural and Food Engineering*, volume 12 163, p.
- Li, S., Xu, H., Ji, Y., Cao, R., Zhang, M., a Li, H. (2019). Development of a following agricultural machinery automatic navigation system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158:335–344.
- Lipiński, A. J., Markowski, P., Lipiński, S., a Pyra, P. (2016). Precision of tractor operations with soil cultivation implements using manual and automatic steering modes. *Biosystems Engineering*, 145:22–28.
- Machleb, J., Peteinatos, G. G., Kollenda, B. L., Andújar, D., a Gerhards, R. (2020). Sensor-based mechanical weed control: Present state and prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176:105638.
- McAllister, W., Osipychev, D., Davis, A., a Chowdhary, G. (2019). Agbots: Weeding a field with a team of autonomous robots. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163:104827.
- Neil, S. (2022). John Deere Debuts Autonomous Tractor: “One Giant Robot”. [online]. [cit. 2022-03-25], Dostupné z: <https://www.automationworld.com/factory/robotics/article/22005862/john-deeres-8r-autonomous-tractor-is-one-big-robot>.
- Robert, C., Sotiropoulos, T., Waeselynck, H., Guiochet, J., a Vernhes, S. (2020). The virtual lands of Oz: testing an agribot in simulation. *Empirical Software Engineering*, 25(3):2025–2054.
- Roshanianfard, A., Noguchi, N., Okamoto, H., a Ishii, K. (2020). A review of autonomous agricultural vehicles (The experience of Hokkaido University). *Journal of Terramechanics*, 91:155–183.

- Saeed, A., Abdelkader, A., Khan, M., Neishaboori, A., Harras, K. A., a Mohamed, A. (2019). On realistic target coverage by autonomous drones. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 15(3):1–33.
- Shi, Y., Xi, X., Gan, H., Shan, X., Zhang, Y., Shen, H., a Zhang, R. (2021). Design and Experiment of Row-Controlled Fertilizing–Weeding Machine for Rice Cultivation. *Agriculture*, 11(6):527.
- Shojaei, K. (2021). Intelligent coordinated control of an autonomous tractor-trailer and a combine harvester. *European Journal of Control*, 59:82–98.
- Singh, A. K. (2010). Precision farming. *Water Technology Centre, IARI, New Delhi*.
- Sparrow, R. a Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *precision agriculture*, 22(3):818–833.
- Spykman, O., Gabriel, A., Ptacek, M., a Gandorfer, M. (2021). Farmers’ perspectives on field crop robots–Evidence from Bavaria, Germany. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186:106176.
- Vargas, J., Alsweiss, S., Toker, O., Razdan, R., a Santos, J. (2021). An overview of autonomous vehicles sensors and their vulnerability to weather conditions. *Sensors*, 21(16):5397.
- Wójtowicz, M., Wójtowicz, A., Piekarczyk, J., et al. (2016). Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in biometry and crop science*, 11(1):31–50.
- Yeong, D. J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J., Walsh, J., et al. (2021). Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review. *Sensors*, 21(6):2140.
- Zhang, X., Geimer, M., Noack, P. O., a Grandl, L. (2010). A semi-autonomous tractor in an intelligent master–slave vehicle system. *Intelligent Service Robotics*, 3(4):263–269.

Seznam obrázků

1.1	Autonomní zařízení	12
3.1	Robotické zařízení	15
3.2	Pohonný agregát	16
3.3	Senzor lidarového bezpečnostního systému	17
3.4	Dotekový rám a stop tlačítka	18
3.5	Zadání překážky uvnitř pozemku	20
3.6	Způsoby obdělání souvratí	21
3.7	Způsoby pohybu po pozemku	21
3.8	Souhrn parametrů plánu	22
3.9	Plán pojezdů po pozemku	23
5.1	Seznam pracovních plánů	27
5.2	Webové kontrolní rozhraní	28
5.3	Informace o motorových jednotkách	29
5.4	Dálkové ovládání	29
6.1	Pletí bránami Einböck aerostar	32
6.2	Sazeč jahod Checchi & Magli	32
6.3	Secí stroj Monosem NC	33
6.4	Plečka Monosem a Garford Side Shift	34
6.5	Secí stroj Kverneland Monopill	35
7.1	Rozměry robotického zařízení	36
7.2	Přepravník Unia PL6	37
7.3	Schéma jahodárny	38
7.4	Úhel kloubového hřídele	39
7.5	Mezery mezi jízdami v rozích pozemku	41
7.6	Problémová otáčka u sloupu	42

Seznam tabulek

4.1	Tabulka s výsledky	25
-----	------------------------------	----