



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Diplomová práce

Robotizace v zemědělství – vizualizace dojicích stání
obsluhovaných robotickou rukou

Autor práce: Al-Farabi Otargaziyev

Vedoucí práce: Mgr. Zbyněk Havelka, Ph.D.

České Budějovice

2021

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vizualizací dojicích stání obsluhovaných robotickou rukou. Práce je rozdělena do dvou pomyslných částí. První část, je literární rešerše. Budou představené základní principy používané v průmyslové robotice a dvacet případových studií, které ukazují vyspělé aplikace robotiky v různých oblastech zemědělství a lesnictví. Druhá část práce se zabývá vlastní tvorbou modelu v programu SolidWorks a Autodesk Inventor. Od vytvoření jednotlivých dílů dojicích stání až po skládání těchto dílů do sestavy. Výsledkem této práce je vytváření vizualizace dojicích stání obsluhovaných robotickou rukou.

Klíčová slova: vizualizace, CAD, robotizace, zemědělství, dojicí stání

Abstract

The diploma thesis deals with the visualization of milking parlors operated by a robotic arm. The work is divided into two imaginary parts. The first part is a literary search. The basic principles used in industrial robotics and twenty case studies will be presented, which show advanced applications of robotics in various areas of agriculture and forestry. The second part deals with the creation of the model in SolidWorks and Autodesk Inventor. From the creation of individual parts of milking parlors to the assembly of these parts into an assembly. The result of this work is the visualization of milking parlors operated by a robotic arm.

Keywords: visualization, CAD, robotics, agriculture, milking parlors

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Mgr. Zbyňku Havelkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky v průběhu vypracování mé diplomové práce.

Obsah

Úvod.....	8
1 Robotizace průmyslu.....	10
1.1 Typické aplikace průmyslových robotů	11
1.2 Manipulace	11
1.2.1 Manipulace s potravinami	12
1.2.2 Vychystávání z košíku/ kontejneru – Binpicking	13
1.3 Svařování.....	14
1.3.1 Bodové svařování v automobilovém průmyslu.....	15
1.3.2 Obloukové svařování v kovových konstrukcích	16
1.4 Sestava.....	16
1.4.1 Montáž materiálů pro zlepšení ergonomie.....	16
1.4.2 Robotické řízení procesu složité sestavy.....	17
1.5 Malování.....	17
1.6 Zpracovávání	18
2 Robotizace v zemědělství.....	20
2.1 Výzvy a příležitosti	21
2.2 Případové studie	24
2.3 Optimalizované pokrytí orné půdy pro zemědělství	24
2.4 Kontrola plevelu	25
2.5 Vysoce přesné setí	27
2.6 Odhad výnosu plodiny.....	28
2.7 Přesné zavlažování	29
2.8 Pěstování a produkce ovocných stromů	30
2.9 Řízení formace vozidel.....	30
2.10 Postřik palmy	31
2.11 Ošetření rostlin.....	32

2.12	Sklizeň okurek	33
2.13	Odstranění okurkových listů	34
2.14	Sklizeň růží	34
2.15	Sklizeň jahod.....	35
2.16	Manipulace s květináči ve sklenících	35
2.17	Lesnictví.....	37
2.18	Automatizace jeřábu	38
2.19	Chov a péče o hospodářská zvířata.....	40
2.20	Využívání hospodářských zvířat.....	41
2.21	Porážka a zpracování hospodářských zvířat	41
2.22	Letecké přesné zemědělství	42
2.23	Výsledky rešerši.....	43
3	Cíle a metodika práce.....	46
3.1	Cíle práce.....	46
3.2	Metodika.....	46
4	Tvorba 3D modelů	47
4.1	Tvorba 3D modelu scény	47
4.2	Tvorba 3D modelů konstrukce pódia.	48
4.3	Tvorba 3D modelů konstrukce dojícího stání.	48
4.4	Tvorba 3D modelů konstrukce vemene.....	50
4.5	Tvorba 3D modelů robota a jeho součástí.....	51
4.5.1	Import CAD modelů robota Fanuc M-20iB/25.....	51
4.5.2	Tvorba 3D modelu pojezdové plochy.....	52
4.5.3	Tvorba 3D modelu držáku kabelů.....	54
4.6	Tvorba 3D modelů dojícího zařízení.....	55
5	Vizualizace modelů.....	56
6	Diskuse.....	59

Závěr	61
Seznam použité literatury.....	62
Seznam obrázků	68

Úvod

Velká část technologie, díky níž jsou roboti spolehliví, přátelští k lidem a přizpůsobiví k mnoha aplikacím, se objevila od výrobců průmyslových robotů. S odhadovanou instalační základnou, asi 1,5 milionu jednotek v roce 2014, přibližně tedy 171 000 nových instalací v daném roce, a ročním obratem robotického průmyslu odhadovaným na 32 miliard USD, jsou dnes průmysloví roboti zdaleka největším komerčním využitím robotické technologie.

Základy pro plánování a řízení pohybu robota byly původně vyvinuty s ohledem na průmyslové použití. Tyto aplikace si zaslouží zvláštní pozornost, abychom pochopili původ robotické vědy a interpretovali mnoho nevyřešených problémů, které stále brání širšímu použití robotů v dnešním agilním výrobním prostředí. V následující rešerši bude uvedeno několik příkladů typických využití průmyslové robotiky a současně se bude věnován prostor aktuálnímu stavu nejnovějšího technologického vývoje. Přiblíženo bude, jak se roboti s různými mechanismy hodí k rozdílným činnostem a jak jsou díky nim dále vyvíjeny nejnovější technologie napomáhající automatizaci výroby.

Robotika pro zemědělství a lesnictví (Z&L) přinesla nejnovější a nejpokročilejší inovaci pro toto jedno z nejdůležitějších průmyslových odvětví. V průběhu historie zvýšila mechanizace a automatizace produkci plodin o několik řádů, což umožnilo geometrický růst populace a zvýšení kvality života po celém světě. Rychlý růst počtu obyvatelstva a rostoucí příjmy v rozvojových zemích však vyžadují stále větší množství produkce Z&L. Tato práce se věnuje robotice pro Z&L ve formě případových studií, kde se robotika úspěšně používá k řešení dobře identifikovaných problémů. Pokud jde o rostlinné plodiny, důraz je kladen na úkoly v zemědělských hospodářstvích, které jsou nezbytné pro zajištění růstu kvalitní plodiny a končí v době sklizně. V oblasti chovu hospodářských zvířat se pozornost zaměřuje na chov a péči, využívání, porážku a zpracování domácích zvířat.

Nejprve budou představeny základní principy používané v průmyslové robotice a přehled metod programování. Druhá část je jádrem rešerše a představuje dvacet případových studií, které ukazují vyspělé aplikace robotiky v různých oblastech zemědělství a lesnictví. Případové studie nemají být komplexní, ale spíše mají poskytnout čtenáři obecný přehled o tom, jak byla robotika aplikována na Z&L

za posledních 20 let. Třetí kapitola popisuje účel a metodiku praktické části. Hlavním cílem práce je vytvoření modelů a vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou. Čtvrtá část práce se zabývá vlastní tvorbou modelu v programu SolidWorks a Autodesk Inventor, a to od vytvoření jednotlivých dílů dojících stání až po skládání těchto dílů do sestavy. Vytváření vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou v programu Blender je náplní páté kapitoly. Šestá část obsahuje analýzu pohybu robota s přihlédnutím k pracovnímu prostoru a překážkám a závěrečnou diskusi.

1 Robotizace průmyslu

Přestože jsou roboti považováni za základní kámen dnešní moderní výroby, zejména v automobilovém průmyslu a při montáži souvisejících komponentů, je stále potřeba vyřešit, aby výroba účinně reagovala na měnící se chování spotřebitelů a globální posuny v konkurenceschopnosti. Kromě toho budou nejen rychle rostoucí průmyslová odvětví (elektronika, potravinářství, logistika či biologické vědy), vznikající výrobní procesy (lepení, lakování, laserové procesy, přesná montáž, zpracování vláknitých materiálů), ale i splnění cílů udržitelnosti, stále více záviset na pokročilých robotických technologiích (Ifr.org, 2021). Rozsah proveditelných využití by se navíc mohl výrazně zvýšit, pokud by se roboti snadněji instalovali, integrovali s jinými výrobními procesy a programovali, zejména s adaptivním snímáním a automatickým zotavením po chybě. Další výzvy vyplývají z integrace různých typů ovládacích prvků s řídicí jednotkou robota (programovatelný logický řadič (PLC), počítačové číslicové řízení (CNC)), z úzké spolupráce člověka s robotem, bezobslužné výroby s lehkými i těžkými roboty a zároveň z rostoucí potřeby šetřit energii.

Návrh a výroba průmyslových robotů na jedné straně, a plánování, integrace a provoz robotických pracovních buněk na straně druhé, jsou do značné míry nezávislé technické úkoly. Aby mohli být roboti vyrobeni v dostatečně velkém množství, měli by splňovat požadavky na nejširší možnost potenciálního využití. Jelikož je to v praxi obtížné dosáhnout, objevily se různé třídy návrhů robotů týkající se kapacity užitečného zatížení, počtu os robotů a objemu pracovního prostoru pro kategorie aplikací, jako je montáž, paletizace, malování, svařování, obrábění a obecné manipulační úkoly.

Obecně se robotická buňka skládá z jednoho nebo více robotů s řídicími jednotkami a takzvanými periferními zařízeními robotů, např. chapadla nebo nástroje, bezpečnostní zařízení, senzory a komponenty pro přenos materiálu, pro pohyb a umístění dílů. Cena kompletní pracovní buňky robota je obvykle čtyřikrát až pětkrát vyšší než cena samotných robotů; probíhají však snahy o výrazné snížení těchto nákladů pomocí zvýšené funkčnosti robotů a umělé inteligence (Bourne, 2013). Robotická pracovní buňka je obvykle výsledkem přizpůsobeného plánování, integrace, programování a konfigurace, což vyžaduje značné technické znalosti. K dispozici jsou standardizované technické metody, nástroje a příklady osvědčených

postupů pro specifikaci a návrh robotických pracovních buněk, které poskytují předvídatelný výkon a zabezpečují investice.

Dnešní průmysloví roboti vycházejí hlavně z požadavků kapitálově náročné velkoobjemové výroby, obvykle definované automobilovým, elektronickým a elektrotechnickým průmyslem, který tvoří 80 % všech využití robotů. Budoucí průmysloví roboti nebudou pouhou extrapolací dnešních návrhů, ale budou se řídit novými principy zpracování, které se budou zabývat mnohem širší škálou oblastí použití a průmyslových odvětví. Současně budou mít nové technologie, zejména z oblasti informačních technologií (IT) nebo spotřebitelské oblasti, rostoucí dopad na design, výkon, použití a výši nákladů na budoucí průmyslové roboty.

Mezinárodní a národní standardy nyní pomáhají kvantifikovat výkon robota a definovat bezpečnostní opatření, geometrii a mediální rozhraní (iso.org, 2021). Většina robotů pracuje v zabezpečených prostorech, aby udržovali lidi v bezpečné vzdálenosti. Důraz na zlepšení bezpečnostních standardů však v poslední době umožnil přímou spolupráci člověka s robotem a sdílení stejného pracovního prostoru (iso.org, 2021).

1.1 Typické aplikace průmyslových robotů

Z mnoha možných využití průmyslových robotů budou v následujících podkapitolách stručně popsány vybrané případové studie využití robotů s vysokým potenciálem.

1.2 Manipulace

Manipulace v robotice zahrnuje řadu procesů, jako je uchopení, přeprava, balení, paletizace a vychystávání. Manipulace má největší potenciál pro používání robotů. Nachází ve všech odvětvích výroby a logistiky. Ústředním prvkem a hlavní výzvou při konstrukci robotických manipulačních systémů je návrh chapadla a související strategie uchopení vzhledem k fyzickým vlastnostem obrobku, propustnosti a rizikům týkajících se geometrie a umístění objektu. Současné vysoce potenciální aplikace robotických manipulačních systémů jsou:

- obsluha CNC strojů pro provoz bez pracovníků,
- paletizace a zvedání předmětů z ergonomických důvodů nebo při překročení omezení stanovených v předpisech pro manipulaci s nákladem,
- z důvodů udržení čistoty v potravinářském, farmaceutickém a polovodičovém průmyslu

Tato využití se vyhýbají monotónní práci, psychické zátěži a zajišťují kvalitu logistiky sledováním obrobků nebo předmětů (Rossi et al., 2013).

1.2.1 Manipulace s potravinami

Tvrdí se, že potravinářský sektor má značný potenciál pro použití robotů, protože lze dosáhnout zásadní změny produktivity, kvality produktu a ergonomie pracovníků (Caldwell, 2013). Automatizace výroby potravin, nedotčená lidskou rukou, s sebou nese kritické požadavky na roboty, jako je potřeba hygienické normy, provozní rychlost, snadné programování a náklady. V minulosti bylo obtížné dosáhnout těchto požadavků kvůli vysoké propustnosti při rychlém uchopení a pohybu robota. Řešením je rozšířené snímání pro detekci umístění předmětů na dopravníkových pásích.

Příklad balicí linky ve výrobě potravin je znázorněn na obr. 1, kde jsou řezané párky dodávány ve čtyřech proudech na dopravníkový pás v náhodném pořadí. Polohy párků na průsvitném pásu jsou určeny systémem počítačového vidění. Robot postupně vybírá párek z pásu, dokud chapadlo neudrží tři párky, které se poté umístí do dutin. Se čtyřmi paralelními roboty lze zpracovat při maximální rychlosti 600 párků za minutu. Klíčem aplikace je vysokorychlostní 2D (dvourozměrný) systém počítačového vidění, který plánuje cesty robota pro bezkolizní výběr.



Obrázek 1: Sbírání a balení párků (New.abb.com, 2021)

Aditivní výrobní procesy se zdají být dokonale vhodné k dosažení vyšší flexibility v automatizaci výroby (Grzesiak et al., 2011). Pro různé zpracování je k dispozici mnoho materiálů, takže lze splnit i specifické výrobní požadavky. Počáteční pochybnosti o trvanlivosti chapadel byly zahnány: byla hlášena životnost více než

10 milionů cyklů zatížení u robotických chapadel vyrobených na bázi laserem slinutého polyamidu.

1.2.2 Vychystávání z košíku/ kontejneru – Binpicking

Obecně se průmyslová praxe v plánování robotických pracovních buněk zaměřuje na nalezení kompromisu mezi snížením kolísání polohy obrobku a náklady na senzorové systémy, aby se vyrovnala rizika. Dnes téměř všechny díly přicházejí do robotických pracovních buněk stejným způsobem, buď jsou uloženy ve speciálních nosičích, nebo jsou přepravovány a orientovány vibračními zařízeními, která umožňují, aby se součásti uložily do požadované orientace pro správné uchopení robotem. Požadavky na náklady a flexibilitu při automatizaci výroby však povedou ke snížení počtu dílů na míru ve prospěch univerzálnějších nosičů, kontejnerů nebo dopravních pásů.

Uchopení částečně nebo náhodně seřazených částí robotem byla označována jako binpicking a byla zkoumána řadou výzkumníků od poloviny 80. let 20. století. Přestože byla představena spousta přístupů, teprve nedávno si zařízení pro binpicking našla cestu do každodenní výroby ve významném počtu. Algoritmy binpickingu sledují typickou posloupnost kroků: získávání dat počátečních bodů, detekce objektů, odhad pozice, plánování cesty a uchopení bez kolize, uchopení objektu a umístění objektu. Většina metod vychystávání předpokládá známé geometrické zaměření (počítačově podporovaný CAD model) daného obrobku, včetně specifikace přípustných uchopení pro použití metod porovnávání šablon (Liu et al., 2012; Rodrigues et al., 2012). Pro detekci scény (např. nosič nebo krabice naplněná náhodně obrobky) se pro získání dostatečně velkého počtu bodů obvykle používají laserové senzorové systémy.

Aby bylo možné použití těchto metod, jsou prvky vyhledávací sady rozděleny do dvou komponent: první komponenta popisuje bod zájmu (POI) v povrchu. Druhá součást popisuje možné pozice obrobku vzhledem k POI. Takto získané částečné vyhledávací veličiny mají podstatně nižší složitost ve srovnání s původní vyhledávací sadou, protože body zájmu mohou vytvářet oblast relativních pozic obrobku, čímž omezují jejich předpokládanou volnost pohybu.

Konečné vyhodnocení pozic obrobku je zajištěno šestirozměrným (6D) Houghovým hlasovacím postupem, tj. zobecněná Houghova transformace. Funkce používané pro

hlasování jsou měření senzory umístěných relativně k POI. Pro všechny možné konstelace při měření senzorem vzhledem k bodu zájmu lze učinit pravděpodobnostní prohlášení o možných pozicích obrobku. Díky superpozici všech prohlášení o pravděpodobnosti lze vytvořit kandidáty na řešení, kteří jsou podrobena statistickému testu založenému na hodnocení kvality. Získané hodnocení kvality spolu s danou úrovní významnosti se používá k rozhodnutí o přijetí pozice obrobku.

Metoda je schopna najít průměrně tři až čtyři obrobky za 0,52 s pomocí standardního stolního počítače. Drapáky robotů jsou navíc vybaveny sedmou osou, která umožňuje uchopení dílů z rohů koše. Chapadla jsou vytvořena takovým způsobem, aby se mohla dostat hluboko do koše, takže zajišťují nejmenší množství kolizí.

1.3 Svařování

Svařování je výrobní proces, který spojuje materiály působením tepla, někdy pod tlakem. Obvykle se materiál obrobku taví v místě procesu často s přídavným materiálem. Typickými robotickými svařovacími procesy jsou bodové svařování, zejména při montáži karoserií automobilů, a svařování elektrickým obloukem s ochranným plynem (GMAW).

Ruční svařování vyžaduje kvalifikované pracovníky, protože malé nedostatky ve svaru mohou vést k vážným následkům. Svářeči jsou navíc vystaveni nebezpečným pracovním podmínkám (výpary, problematické ergonomické pracovní polohy, teplo a hluk), takže používání robotů se stalo v procesech GMAW velkým přínosem.

Moderní robotické svařování je využíváno zejména díky těmto vlastnostem:

- Počítačové ovládání umožňuje efektivní programování sekvencí úkolů, pohybů robotů, externích akčních členů, senzorů a komunikaci s externími zařízeními, jako jsou svařovací zdroje.
- Volné definice a parametrizace poloh nebo orientací robotů, referenčních rámců a cest.
- Vysoká opakovatelnost a přesnost polohování cest. Opakovatelnost je obvykle cca $\pm 0,05$ mm a přesnost polohování je lepší než $\pm 1,0$ mm. Tyto hodnoty lze výrazně zlepšit pomocí moderních metod kalibrace robota (Pan et al., 2010).
- Vysoké rychlosti koncového nástroje, až 8 m/s pro rychlé přiblížení a oddálení.

-
- Klouboví roboti mají obvykle šest stupňů volnosti, takže lze dosáhnout nařízených orientací a poloh v jejich pracovním prostoru, což v případě svařování znamená, že je jeden stupeň volnosti pro otáčení kolem rotačně-symetrického svařovacího nástroje. Navíc jsou běžná rozšíření pracovního prostoru namontováním robota na lineární ose (sedmý stupeň volnosti) nebo dokonce na mobilní základny, zejména pro svařování velkých konstrukcí.
 - Typické užité zatížení se pohybuje v rozmezí 6–150 kg. U pistolí pro bodové svařování (obvykle > 50 kg) a jejich kabelového svazku jsou vyžadovány vyšší nosnosti.
 - Funkce programovatelného logického řadiče (PLC), které umožňují rychlé řízení vstupu / výstupu a synchronizační akce v pracovní buňce robota.
 - Propojení s řízením na vysoké úrovni z výroby prostřednictvím komunikačních sítí.
 - Zdroje elektrického proudu, hořáky a periferní zařízení pro automatické čištění a údržbu hořáku GMAW. Jsou nabízeny specializovanými společnostmi.
 - Senzory se často používají ke sledování svarových mezer a měření svarů před nebo synchronně s procesem svařování, čímž se přizpůsobuje trajektorie robota v přítomnosti kolísání a zkreslení obrobku.

1.3.1 Bodové svařování v automobilovém průmyslu

Výroba automobilů byla jednou z klíčových hnacích sil technického vývoje průmyslových robotů. Přesná manipulace s pistolemi pro bodové svařování byla průlomovým řešením při práci s karoserií v bílé barvě (tj. nelakovaná karoserie automobilu). Práci na karoserii většinou provádějí roboti, na rozdíl od konečné montáže, které dominuje ruční práce. Požadavky na rychlejší doby cyklů vedly k souběžnému a koordinovanému pohybu pistole pro bodové svařování a robota: robot pokračuje v pohybu, zatímco svařovací pistole se během svařování současně otáčí kolem osy elektrody.

Z větší části se programování robota pro bodové svařování provádí pomocí balíčků offline programování (OLP). Knihovna robotů, zařízení a pokročilých funkcí CAD pomáhá plánovat, programovat, vizualizovat a optimalizovat rozvržení a dokončit výrobní cykly za předpokládaných výrobních podmínek. Robotické

programy lze generovat a stahovat do pracovních buněk robotů. Kritickým krokem je kalibrace pracovní buňky robota s ohledem na simulace (Shah et al., 2012).

1.3.2 Obloukové svařování v kovových konstrukcích

Běžně se ocelové konstrukce navrhují pomocí CAD programů, které nabízejí funkce pro definice úkolů GMAW, jako jsou parametry svařování, víceprůchodové švy, sekvence bodových svarů atd. Tyto informace lze použít k automatickému generování programů svařovacích robotů, a to i v případě malých sérií. Program robota je generován z výkresu CAD s příslušnými informacemi o procesu. Například tolerance obrobku, vyvolané umístěním ocelových komponent do upínacích přípravků, ohnutím materiálu pod jeho vlastní hmotností, jsou kompenzovány aktivním měřením. Senzor v robotu lokalizuje svar laserovým viděním pro posun generovaných programů tak, aby odpovídaly skutečným svarům. Tato kalibrace se provede automaticky, pokud je očekávané a skutečné umístění dílů v rozmezí 2,5 cm.

1.4 Sestava

Sestava ve výrobě popisuje kombinaci subsystémů nebo komponent se systémy vyšší složitosti prostřednictvím spojování. Sestava ve výrobě zahrnuje čtyři skupiny procesů: spojovací, manipulační, řídicí a pomocné procesy (čištění, seřizování, značení atd.). Složení těchto čtyř funkcí se může lišit v závislosti na velikosti vstupu, produktu a výkonu: od montážních pracovních buněk po vysoce výkonné montážní linky. Procesy sestavy tvoří až 80 % výrobních nákladů produktu a zde lze získat největší konkurenční výhodu. Optimalizace v sestavě proto zahrnuje úzce provázané aspekty: Design for Assembly (DFA), návrh pracovní buňky a montážní linky, jakož i logistická a výrobní organizace (Boothroyd et al., 2011). Na začátku byly průmyslové automaty používány v automatizaci montáže, zejména ve výkonných výrobních linkách. Roboti se však stále více používají ve vysoce flexibilních pracovních buňkách a vstupují na agilní výrobní pracoviště jako univerzální nástroje v ruce lidského pracovníka. V následujících podkapitolách budou popsány případy selektivního použití robotů v sestavě na konkrétních skutečných technologiích.

1.4.1 Montáž materiálů pro zlepšení ergonomie

Četné montážní procesy zahrnují manipulaci s materiály pro zlepšení ergonomie, jako jsou gumové hadice, kabelové svazky, těsnění atd.

Příkladem je automatické nanášení samolepících těsnění, protože snadno udržují svůj tvar a lze je natáhnout nebo stlačit. Jelikož je ruční nanášení lepicích těsnění na karoserie nebo dveře náročné a ergonomicky problematické, musí nástroj vedený robotem zajistit lepení povrchu materiálu na karoserii. Materiál těsnění je podáván z role pod správným napnutím a páska, která zakrývá lepidlo, je odstraněna a uložena v malé nádrži. Na špičce nástroje sleduje laserový senzor obrys karoserie nebo dveří a aktivovaný váleček vytváří na těsnění nepřetržitou normální sílu. Jak laserový senzor, tak pohyb válce, jsou převedeny na pohyb robota bez napětí. Zásobník na přírubě navíc zajišťuje, že je těsnění správně napnuto a je zajištěna materiálová rezerva pro dveře automobilu (Malecki, 2009).

1.4.2 Robotické řízení procesu složité sestavy

Robotické řízení procesu složité sestavy závisí na fyzickém kontaktu mezi spojenými obrobky. Aby bylo možné tuto formaci kontaktu řídit, měl by robot nabídnout vyhovující řízení pohybu, což je kontrolní metoda, která moduluje polohu a rychlost robota na základě změřených nebo odhadovaných momentů kloubu nebo kontaktních sil. Během posledních dvaceti let byly k dispozici výsledky intenzivního výzkumného úsilí o dlouhodobé aplikační balíčky pro vyhovující řízení síly v průmyslových robotech, které splňují požadavky na univerzálnost, spolehlivost a snadné použití v programování. Řešení jsou obvykle založena na 6-DOF senzoru síly a točivého momentu, který je připevněn k přírubě robota. Lehký robot s plně řízeným točivým momentem DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) nastavil nová pravidla, protože jeho redundantní kinematická struktura 7-DOF snímání točivého momentu v každém kloubu a různé režimy shody umožňovaly obtížné montážní úkoly s komplexním vytvářením kontaktů svařování. DLR a KUKA (KUKA Systems GmbH) dokázaly úspěšně přejít namáhavou cestou od původního vynálezu LBR (Leichtbauroboter – lehký robot), myšlenky, která se projevila v roce 1991, k produktu, který byl poprvé použit při výzkumu a vývoji nových konceptů průmyslové výroby v řadě vývojových kroků: KUKA LBR3 (2006), LBR4 (2008) a LBR iiwa (2012) (Bischoff et al., 2010).

1.5 Malování

Nebezpečné pracovní podmínky pro zaměstnance motivovaly norskou společnost Trallfa, aby v roce 1969 vyvinula jednoduché roboty zejména pro nástřik nárazníků

a jiných plastových dílů v automobilovém průmyslu. Dnešní konstrukce robotů, kteří byli původně pneumaticky poháněni z důvodu ochrany proti výbuchu, jsou plně elektrické. Mají také háčky a chapadla pro otevření kapoty a dveří během malování. Dutá zápěstí s hadicemi na plyn a barvy umožňují rychlé a hbité pohyby. Stříkácí pistole pro roboty se vyvinuly tak, aby poskytovaly jednotnou kvalitu s použitím co nejmenšího množství barvy a rozpouštědla a zároveň úspěšný přechod mezi různými barvami. Původně stříkácí roboti kopírovali pohyby od lidských pracovníků. Většina programování pro robotické lakování se dnes provádí offline, protože nejmodernější programovací systémy nabízejí integrované procesní simulace pro optimalizaci nanášení barvy, tloušťky a pokrytí.

1.6 Zpracování

Procesy odstraňování materiálu, jako je broušení, odhroťování (odstranění záďer), frézování a vrtání, se stále častěji provádějí průmyslovými roboty se sériovou kinematikou, neboť kombinují obratnost, všestrannost a nákladovou efektivitu. Použité procesní nástroje jsou často kombinovány s pasivní poddajností nebo aktivní kontrolou síly, protože geometrie obrobku obvykle vykazuje tolerance v geometrických nebo materiálových vlastnostech (Jonsson et al., 2013). Přesnost robota (rozsah $\pm 0,5$ mm) se však špatně srovnává s hodnotami v rozsahu $\pm 0,01$ mm typických obráběcích strojů (Pan et al., 2010). Nižší vlastní kmitočty a tlumicí koeficienty mechanických konstrukcí by měly být pro přesnost co nejvyšší. Nižší vlastní kmitočty frézek jsou v rozmezí 50–100 Hz ve srovnání s 2 030 Hz u typických průmyslových robotů. Vlastní frekvence, tlumení a tuhost v kartézském prostoru: tyto vlastnosti jsou zásadní pro návrh obráběcích procesů a výslednou kvalitu obrobku. Na dosažení podobné přesnosti závisí více procesů naváděných robotem, jako je laserové svařování a řezání laserem.

Přesnost polohy robota je výsledkem zdrojů geometrických chyb (odchylky mezi skutečnou strukturou robota a předpokládanými parametry Denavit–Hartenberg (DH)) a negeometrických parametrů (shoda mechanické konstrukce a vůle převodovky). Za účelem snížení dopadu negeometrických parametrů lze implementovat několik dostupných návrhů.

V kombinaci s predikcí síly nebo online měřením lze kompatibilitu robota kompenzovat pomocí modelů tuhosti kloubu. Ve vrtacích aplikacích jsou někdy

na straně ramene robotických kloubů namontovány další kodéry, aby bylo možné měřit poddajnost a vůli kloubu vyvolanou převodem, nebo lze tyto účinky odhadnout na základě stanovených vlastností kloubu, aby bylo možné dosáhnout kompenzace.

V kombinaci s kalibrací geometrické chyby byly u větších pracovních prostorů robotů 3 x 3 x 2 m³ realizovány přesnosti lepší než $\pm 0,2$ mm pro typické roboty. Použitím optických stopových odchylek a dalších systémů senzorů lze snížit přesnost až na $\pm 0,1$ mm.

Roboti stále častěji používají řídicí jednotky CNC v aplikacích pro úběr materiálu za účelem využití výhod zavedených nástrojů off-line programování ve světě CNC a ke zlepšení přesnosti pohybu robota pro složité 3D obrysy. Moderní řídicí jednotky robotů integrují takzvaná jádra numerického řízení (NC), která sdílejí součásti řídicí jednotky robota, jako jsou uživatelská rozhraní, kinematické transformace a bezpečnostní funkce.

2 Robotizace v zemědělství

Před představením případových studií, které ukazují nedávné pokroky v robotice aplikované na Z&L, bude definován rozsah kapitoly, a to jak z hlediska procesů rostlinné výroby, tak z hlediska robotických technologií.

Typický rostlinný produkční cyklus zahrnuje několik procesů, mezi ně patří polní příprava, setí/šlechtění, přesazování, výsadba, pěstování, údržba (včetně připevňování rostlin k podpůrným strukturám, odplevelení, odstraňování listů, prořezávání větví a výhonků stromů, udržovací řezy, ochrana rostlin před zvěří atd.), využití/sklizeň, třídění a balení. Ve všech z nich hraje roli vnitřní přeprava osob, strojů a produktů. Jednou sklizené plodiny, jako je salát, je třeba po sklizni vyměnit; plodiny s více sklizněmi, jako jsou jablka, rajčata a růže, trvají rok nebo dokonce několik let, než je třeba je znovu zasadit. V závislosti na plodině a procesech s ní spojené existují stroje s různou úrovní automatizace. Například při pěstování obilí a obilovin mají zemědělci přístup ke komerčním strojům na zpracování půdy, setí, přesazování, postřik, zavlažování a sklizeň. Naproti tomu u čerstvého ovoce a zeleniny převládá mechanizace a automatizace v raných a pozdních fázích produkčního cyklu, přičemž u většiny manuálních úkolů zůstává údržba plodin a sklizeň (Van Henten, 2006).

Téma rostlinných plodin se v této kapitole omezuje na jednotlivé úkony na poli nebo na farmě nezbytné k zajištění kvalitní plodiny a končí v době sklizně, než je plodina přepravena do balírny nebo skladu. V těchto posledních etapách samozřejmě existuje mnoho příležitostí pro robotiku, například automatické třídění a výběr. V současné době je mnohem více středem zájmu automatizace než samotná robotika.

V oblasti hospodářských zvířat se velká část práce týká péče, využití a porážky zvířat. Porážka sahá od zabití zvířete až po jeho zpracování na prodejní části a následné balení a marketing. Základní postupy uváděné v této části se týkají suchozemských zvířat a ptáků a zahrnují:

- Chov a péče: mezi hospodářská zvířata zahrnujeme živočichy od drůbeže po skot v krmných prostorech, včetně prasat a jiných zvířat. Péče o ně zahrnuje monitorování prostředí, jejich chování a distribuci krmiva.
- Zyužitování: v mnoha případech se produkty získávají ze živých zvířat. Ovce se stříhají na vlnu, krávy se dojí, kuřata snášejí vajíčka a včely produkují med.

-
- Porážení a zpracování: skot, drůbež, prasata a jiná chovná zvířata jsou zabíjena podle přísných předpisů a poté zpracována pro finální prodej.

2.1 Výzvy a příležitosti

Od konce průmyslové revoluce jsou třemi nejvýznamnějšími přínosy robotiky a automatizace v zemědělství a lesnictví:

- Precizní zemědělství nebo použití senzorů k přesné kontrole, kdy a kde aplikovat vstupy, jako jsou hnojiva a voda
- Automatické navádění na strojích pro polní plodiny, které se mohou pohybovat s přesností nedosažitelnou lidmi
- Stroje, které sklízí a zpracovávají ovoce a zeleninu (např. rajčatový protlak a pomerančový džus).

Akademičtí a komerční vědci se nyní zaměřují na další vlnu technologií snímání, mobility a manipulace, které slibují zvýšení produktivity Z&L. Snímání zahrnuje měření teploty plodiny, vlhkosti, pH a dalších fyzikálních vlastností a analyzuje údaje pro konkrétní účely. Jedním z příkladů je kamerový systém, který pořizuje snímky jabloňového sadu několik týdnů před sklizní a vytváří přesný odhad výnosu plodiny, který mohou pěstitelé použít k plánování a řízení sklizně (Nuske et al., 2011). Užitečnost snímání pro Z&L spočívá v tom, že umožňuje rozhodování na úrovni, které není možné dosáhnout pouze lidským faktorem. Člověk není schopen zmapovat v krátkém čase tak velké množství prostoru a zároveň ho objektivně vyhodnotit.

Mobilita souvisí s různými úrovněmi automatizace vozidel, které umožňují pokrytí pole bez řidiče (nebo s asistencí řidiče). Nejběžnějším příkladem je kombinovaný naváděcí systém pro globální polohovací systém / globální navigační satelitní systém (GPS/GLS), který např. při sklizni kukuřice zajišťuje minimální překryvy mezi jízdami a zároveň zaručuje sklizeň 100 % plochy. Díky tomu je minimalizována spotřeba paliva (Deere.com, 2021). V poslední době se automatické navádění začalo prosazovat také do sadových vozidel, i když zde mohou být vyžadovány další navigační senzory kvůli špatnému satelitnímu příjmu. V Z&L umožňují automatizovaná vozidla vybavená příslušným nářadím mimo jiné (polo)autonomní setí, postřik, sečení, odstraňování plevelu a sklizeň.

Manipulace se týká různých operací prováděných přímo na plodině, včetně prořezávání, sklizení, scanování listů, kácení stromů, odstraňování plevelu atd. Obecně

tato technologie vyžaduje sofistikovanější vnímání založené na senzorech než například mobilita.

Dvě oblasti, které jsou pro robotický výzkum obzvláště náročné, jsou ovocné sady¹ a plodiny v chráněném pěstování. Jedná se o vysoce cenné plodiny, které potenciálně generují o jeden až tři řády více výnosů na hektar než pole plodiny běžné v našich podmínkách. Vyznačují se také potřebou intenzivního pěstování a kvalifikované pracovní síly. Příkladem může být produkce jablek v USA – 50 až 60 % variabilních nákladů na výrobu jablka připadá na lidskou práci. Kromě toho je v tomto odvětví potřeba sezónních pracovníků (např. ve státě Washington, ve Spojených státech, je během podzimní sklizňové sezóny zapotřebí až sedmkrát více pracovníků než během zimní sezóny, kdy probíhá prořezávání). V mnoha vyspělých zemích je dostupnost pracovní síly pro ruční operace v sadech nedostatečná a vytváří značný tlak na pěstitele, aby našli inovativní řešení pro splnění jejich pracovních požadavků.

Částečně v reakci na vysoké náklady na pracovní sílu a zároveň na zvýšení efektivity výroby, se odvětví ovocných stromů ubírá směrem k vysoce strukturovaným architekturám výsadby. Zatímco dříve se pohyboval počet stromů jabloní mezi dvěma až čtyřmi sty stromů na akr, nyní je to 1 200 jabloní na akr v konfiguraci ovocné stěny, která je mnohem příznivější pro automatizaci. To vedlo k vývoji autonomních vozidel a traktorů, pohybujících se v sadu samostatně, či s příslušnou asistencí v závislosti na legislativě země. Tyto nové architektury otevírají dveře výrobním technologiím založeným na robotice, které zvyšují efektivitu a snižují náklady na pracovní sílu (Bergerman et al., 2015). Pokud jsou tato robotická vozidla vybavena příslušným nářadím, mohou např. sekat, stříkat a shromažďovat údaje o stromech a plodinách; vozidla mohou být použita i jako plošiny k péčování o stromy. V budoucnu budou manipulátory, namontované na těchto vozidlech, schopné zkoumat rostliny pro účely fenotypizace a automaticky prořezávat a sklízet.

System skleníků je výborným nástrojem pro produkci plodin. Skleníky chrání plodiny před nepříznivými klimatickými podmínkami a škůdci. Nabízejí možnost

¹ Termín ovocný sad je hojně používaný. Jsou v něm zahrnuty vinné révy, pomerančové háje i další podobná prostředí, kde se plodiny pěstují v přesně definovaných řadách

upravit klima tak, aby vytvořilo prostředí, které je pro rostliny optimální. Chráněné pěstování je intenzivní výrobní metoda s vysokými investičními a provozními náklady, a proto umožňuje produkci vysoce hodnotných ovocných a zeleninových plodin, jako jsou rajčata, papriky a okurky. Dále se užívá k pěstování květin, například růží, chryzantém a gerber. V minulých desetiletích byl v západních společnostech tento typ výroby konfrontován s rostoucí velikostí výrobních zařízení, zvyšováním mzdových nákladů, snížením dostupnosti dostatečně kvalifikované pracovní síly, zdravotními problémy zaměstnanců v důsledku těžkých a opakujících se úkolů a rostoucí konkurencí na národním a mezinárodním trhu. Automatizace a robotika jsou považovány za řešení těchto problémů. V neposlední řadě je stále více a více uplatňován přesný zahradnický přístup, při kterém jsou rostliny ošetřovány individuálně, aby se zlepšilo množství a kvalita rostlinné produkce při co nejúčinnějším využívání zdrojů. Vzhledem k současným omezením lidské práce toto vede k ještě silnější potřebě automatizace a robotiky v této oblasti.

V rámci zemědělské výroby je z hlediska produkční oblasti chráněné pěstování po celém světě relativně malým podnikáním. Celková rozloha celosvětově využívaného chráněného pěstování se odhaduje na zhruba 740 000 ha. Pokud jde o přidanou hodnotu, hraje chráněné pěstování mnohem důležitější roli. V Nizozemsku produkuje zahradičtví zhruba 35 % ekonomické návratnosti celkové zemědělské produkce pouze na několika procentech plochy. Tato výroba je kapitálově a pracovním velmi náročná. V celosvětovém měřítku je potenciál chráněného pěstování stále více uznáván. Úrovně technologií se přesto stále značně liší, zejména na základě rozdílů v místních podmínkách, pokud jde o trh, ekonomiku, dostupnost zdrojů atd.

Výzkum robotiky v chráněném pěstování má historii dlouhou přibližně třicet let a zaměřuje se hlavně na sklizňové a chemické postřikové operace. Robotická sklizeň se týká především rajčat, okurek, lilků, sladkých paprik a jahod, pro které bylo vyvinuto několik příkladů prototypů. Jsou také známy jednotlivé příklady sklízecího robota pro růže a gerbery. V literatuře byly nalezeny pouze dva robotické systémy, jiné než pro sklizeň nebo postřik: robot na sběr listů okurky a robot na pytlování, monitoring a postřik hroznů (Van Henten et al., 2006). U kultivačních robotů dosud nebyly vyvinuty stroje pro práce, jako je prořezávání či připevňování rostlin k podpůrným strukturám.

Řešení v živočišné výrobě mají praktičtější povahu. Dobytek ve volném výběhu může být obtížné najít a shromáždit. Pozorování vrtulníkem je drahé, takže existuje velký potenciál pro použití bezpilotních vzdušných prostředků. Skot by mohl být lokalizován pomocí vysílače. Rádioová komunikace by probíhala ve značné vzdálenosti, takže použití obojků GPS/GNSS s vysílacími systémy by představovalo problémy s napájením a baterií. Divoká prasata se obvykle mapují počtem odstřelů, které jsou provedeny v určitém období. Tím je získán teoretický odhad celkové populace. Mohla by existovat příležitost pro použití robotiky k odstřelu, ale je těžké odhadnout slučitelnost s bezpečností.

2.2 Případové studie

V následující části je uvedena řada případových studií, ve kterých jsou robotické technologie úspěšně aplikovány na problémy v zemědělství a lesnictví.

2.3 Optimalizované pokrytí orné půdy pro zemědělství

Výzkumní pracovníci v oboru zemědělství a odborníci z praxe již dlouho požadovali možnost sledovat přesně definované dopravní pruhy se systémy zařízení s běžnou šířkou, aby se minimalizovaly účinky zhutnění půdy pro růst rostlin. Nástup automatizační a řídicí technologie (např. GNSS, automatické řízení) eliminoval potřebu složitých procesů definovat jízdní pruhy řízené tím, že umožnil systémům zemědělských strojů sledovat přesné cesty prostorově a časově.

Díky rychlému přijetí automatických naváděcích systémů má plánování trasy velký potenciál pro další optimalizaci provozu v terénu. Polní operace by měly být prováděny způsobem, který minimalizuje čas a pohyb po polních plochách, a je koordinován se specifickými polními operacemi, charakteristikami strojů a topografickými rysy orné půdy. K dosažení tohoto cíle navrhl Jin a Tang algoritmus pro optimální plánování pokrytí cesty pro orné zemědělství (OCPP), kde toto pokrytí představuje určitý geometrický model. K určení vzoru úplného pokrytí daného pole pomocí boustrofedonových cest (cesty, které na sebe navazují) je nutné vědět, jak rozdělit pole na podoblasti a jak v nich určit směr jízdy (Jin a Tang, 2011). Vyhledávací mechanismus se řídí přizpůsobenou nákladovou funkcí vyplývající z analýzy různých typů otočení na souvrati a implementovanou strategií rozdělení. Aby se snížily celkové náklady, je třeba minimalizovat počet otáček. Pole nepravidelných tvarů měla neúčinnost související se zatáčkami na souvrati, když byly

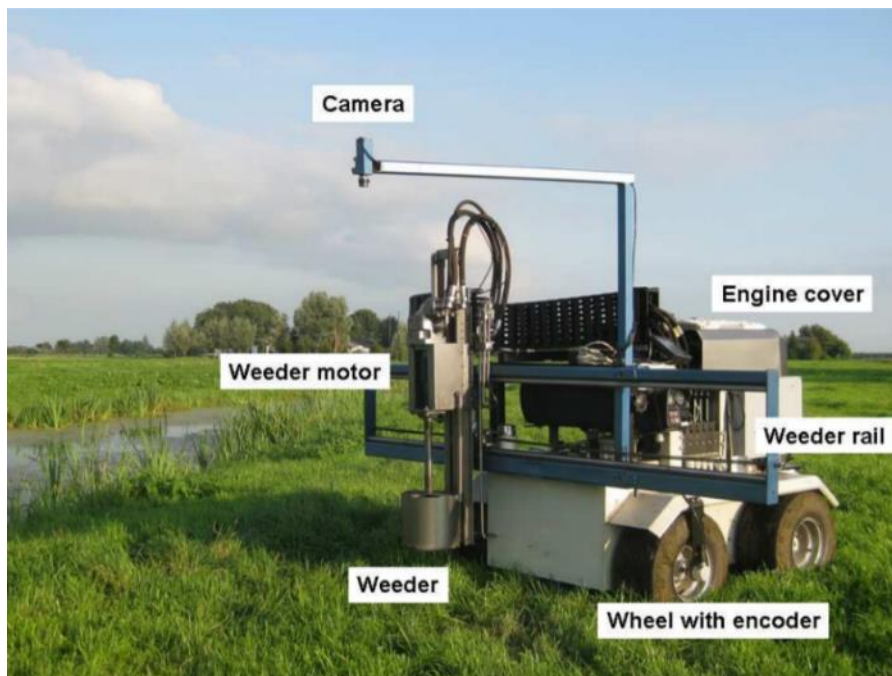
souvratě v úhlu ke stroji. Pomocí algoritmu OCPP byly testovány příklady dvourozměrného pole se složitostí od jednoduchého konvexního tvaru až po nepravidelný polygonální tvar, který má uvnitř svého vnitřního prostoru více překážek. Výsledky ukazují, že v nejextrémnějších dvojrozměrných případech OCPP ušetřil až 16 % na počtu zatáček a 15 % na nákladech na souvrati. Nebyly zjištěny žádné případy, kdy by OCPP poskytla řešení horší než ta, která přijali zemědělci.

Při optimalizaci cesty pokrytí přes trojrozměrné (3D) terény je třeba vzít v úvahu více faktorů, včetně nákladů na otáčení na souvrati, nákladů na erozi půdy a nákladů na přeskočenou plochu. Jin a Tang vyvinuli analytický 3D model terénu s B-splajny a analyzovali různé kategorie nákladů na pokrytí na 3D terénech. Vyvinuli metody pro kvantifikaci nákladů na erozi půdy a nákladů na zakřivení cesty odpovídající konkrétnímu řešení pokrytí. Podobně jako u optimalizace cesty 2D pokrytí se používají metody rozložení terénu a klasifikace k rozdělení pole na podoblasti s podobnými atributy pole a poměrně hladkými hranicemi. Nejvhodnějším směrem cesty pro každý region byl ten, který dosáhl minimálních nákladů na pokrytí. Algoritmus pro prohledávání semenové křivky byl úspěšně vyvinut a aplikován na několika zemědělsky využívaných polích s různými topografickými rysy. Algoritmus plánování 3D ukázal svou nadřazenost na polích ve srovnání s 2D plánovačem. Na testovaných polích 3D verze ušetřila v průměru 10,3 % na nákladech na souvrati, 24,7 % na nákladech na erozi půdy a 81,2 % na nákladech přeskočené oblasti. Bylo také zjištěno, že přeskočená oblast vyplývající z ostrého zakřivení otáčení ve 3D plánování je obecně mnohem menší než přeskočená oblast mezi cestami při promítání výsledků 2D plánování na 3D povrch.

2.4 Kontrola plevelů

Plevel soutěží s produkční plodinou o světlo, vodu a živiny, a pokud bude nekontrolovaný, může mít nepříznivý dopad na výnos této plodiny. Z těchto důvodů si chemická a mechanická regulace plevelů dlouhodobě žádá pozornost zemědělských inženýrů. Ve srovnání se současnými metodami nabízí robotika příležitost zlepšit tento důležitý výrobní úkol dvěma způsoby: vyšší přesnost, pokud se provádí mechanicky, a snížené emisí a environmentální dopady, pokud se provádí chemicky. Dále budou popsány tři příklady aplikace robotiky na hubení plevelů (Slaughter et al., 2008).

Šťovík kyselý je v pastvinách nepříjemný plevel, může dosáhnout vysoké hustoty a výrazně snížit výnos trávy. V reakci na žádost sedmnácti holandských ekologických chovatelů mléčných výrobků byl zkonstruován robot pro detekci a kontrolu přemnoženého plevelu na pastvinách (obr. 2) (Van Evert et al., 2009).



Obrázek 2: Robot pro detekci a kontrolu přemnoženého plevelu na pastvinách.

Stroj se skládá z vlastní platformy se čtyřmi nezávislými koly poháněnými vznětovým motorem o výkonu 36 kW. Kola jsou vybavena pneumatikami pro golfové vozíky, které zajišťují trakci po povrchu s minimálním dopadem na trávu. Redukční převody zajišťují vysoký točivý moment, umožňují přesný pohyb na centimetr a omezují maximální rychlost na 3 km/h. Smykové řízení bylo za daných okolností považováno za dostatečně přesné. Traverz velké jednotvárné pastviny byl dosažen pomocí kinematické GPS v reálném čase (RTK-GPS) pro sledování předem definované cesty skládající se z paralelních segmentů spojených na koncích polokruhovými zatáčkami. Vzhledem k tomu, že plevel a tráva jsou zelené, byla k první detekci použita metoda analýzy obrazu na základě textury. Mechanické zařízení následně odstranilo plevel.

Zbytkové brambory jsou pozůstatky sklizně z předchozího roku. Po mírné zimě tyto brambory vyraší a stávají se tak plevelem. Nejen, že utlačuje produkční plodinu, ale také potenciálně přenáší nemoci. V Nizozemsku právní předpisy vyžadují, aby byly každoročně odstraněny do 1. července. Tento úkol náročný na práci přirozeně vyžadoval automatizaci. Jako společné úsilí zemědělského průmyslu a vědců byl

zahájen projekt detekce a kontroly zbytkových rostlin brambor. Byl postaven a otestován zkušební stroj pro pole cukrové řepy. Detekce založená na strojovém vidění s přesností 100 mm² byla kombinována s mikrosprejem s pěti jehlami a pracovní šířkou 0,2 m. Přesnost systému byla ± 14 mm v podélném směru a $\pm 7,5$ mm v příčném směru. Hlavním zdrojem chyb byla variabilita rychlosti kapiček mikrospreje, která způsobovala podélné chyby. Přesto bylo 77 % zbytkových rostlin s velikostí větší než 1200 mm² úspěšně detekováno při rychlostech až 0,8 m/s. V linii setí byl na zbytkové brambory aplikován glyfosát. Tento proces měl za následek úhyn 1 % cukrové řepy. (Van Evert et al., 2009).

Intelligent Autonomous Weeder je čtyřkolová řízená platforma s pohonem všech čtyř kol, která se používá pro autonomní odplevelení v zemědělství na orné půdě. Platforma kombinuje duální navigaci založenou na GPS a sledování řádků na základě počítačového vidění. Konstrukce řízení všech čtyř kol nabízí nejvyšší manévrovatelnost, což je nejen výhodou, když se vezme v úvahu přesný provoz v rámci plodiny, ale také nabízí možnost velmi kompaktních zatáček na souvrati (Bakker et al., 2011).

2.5 Vysoce přesné setí

Předpokladem této práce je, že pokud by autonomní zemědělský stroj mohl přesně sledovat předem definovanou cestu k provádění setí, pak by stejný stroj mohl jezdit po poli po celou vegetační dobu a provádět následné úkoly – např. odplevelení, hnojení, postřik atd. – bez nutnosti opakovaného snímání polohy plodiny. Primárním úkolem je vyvinout sledování dráhy na úrovni centimetrů mobilními zemědělskými stroji s ještě větší přesností (12 cm) při manipulaci se zemědělskými nástroji, například při kontrole výsevních prstů pro ukládání osiva.

I když jsou v současné době na trhu poloautomatické systémy setí, trpí řadou problémů s významnými důsledky pro udržitelnost životního prostředí, produktivitu a ekonomickou návratnost. Jsou pasivní, tj., neschopny přijmout opatření k nápravě cesty secích hrotů. Secí stroje jsou taženy traktorem, který je veden GPS, ale s nedostatečnou spolehlivostí (obvykle 40 cm); přesná dráha traktoru navíc nezaručuje precizní umístění osiva strojem. Traktor nezaznamenává odchylku dráhy secího stroje, což způsobí nepředvídatelné rozložení plodiny. I když systém zaznamená odchylku náradí, nemá schopnost korigovat cestu secího stroje, natož polohu secích prstů.

Traktory používané v současných systémech jsou obrovské, proto se musí omezit zhutňování půdy pomocí pevných kolejí (stále však způsobují zhutnění až 20 % orné půdy). Nedostatečná přesnost setí neumožňuje meziřádkové ořezávání ve střídavých ročních obdobích – technika, která využívá zbytkové živiny v meziřádkových prostorech.

Katupitiya et al. (2007) postavil a dodal systém, který pokročil v poli následujícími způsoby:

- Aktivní secí stroj vybavený sofistikovanými řídicími systémy, které mohou podniknout nápravná opatření proti odchylkám dráhy při zajištění vysoké přesnosti řízení polohy secích prstů.
- Vysoká přesnost lokalizace secího stroje a prstů dosažená pomocí přesného GPS, vysoce přesných senzorů, fúze dat a ovládacího softwaru pro lokalizaci / umístění secích prstů. Řídicí systémy zahrnují ty, které nastavují secí prsty vzhledem k hlavnímu rámu secího stroje. To umožňuje pozicím hrotů sledovat přesnější cestu než samotný secí stroj.
- Secí stroj je řízen silou a má samojízdný pohon, což umožňuje výrazné zmenšení velikosti traktoru. Menší traktory znamenají také menší kola, takže šířka kola traktoru může být menší než šířka řádku mezi plodinami. Traktor tak může využívat prostor mezi řadami jako stopy kol, aniž by plodinu stlačil. Výsledkem je úplné vyloučení zhutnění půdy.
- Úroveň automatizace integrovaná do dvojice secích strojů je taková, že celý systém je snadno autonomní bez nutnosti obsluhy.
- Secí stroj je modulární a nepřetržitě pracuje s jednou nebo více jednotkami. K řízení traktoru a secích kol se používá speciální tandemový nelineární adaptivní algoritmus sledování dráhy. Secí stroj má svá kola pod kontrolou na základě napětí v bodě závěsu mimo nápravu.

2.6 Odhad výnosu plodiny

Společným přáním všech pěstitelů ovoce je znalost výnosu plodiny. Přesná předpověď výnosu pomáhá pěstitelům zlepšit kvalitu sklizně a snížit provozní náklady tím, že bude lépe rozhodovat o intenzitě výsadby ovoce a počtu pracovní síly při sklizni. Je přínosem i pro obalový průmysl, protože manažeři mohou pomocí výsledků odhadů optimalizovat kapacitu balení a úložiště.

Odhad výnosu se obvykle provádí na základě historických dat, povětrnostních podmínek a toho, že pracovníci ručně počítají ovoce na více místech vzorkování. Manuální sběr vzorků je časově náročný, pracný a nepřesný proces a počet vzorků je obvykle příliš malý na to, aby zachytil velikost odchylky výtěžku v každém bloku. Pěstitelé hledají automatizovanou a efektivní alternativu, která dokáže přesně určit prostorové variace výnosu.

Pro řešení této potřeby Nuske et al. (2011) vyvinuli systém založený na počítačovém vidění pro detekci a počítání ovoce. Systém využívá pro pořizování snímků kamerovou soupravu, která pracuje v noci s řízeným umělým osvětlením, aby snížila rozptyl přirozeného osvětlení. Jako podpůrná platforma pro automatizovaný sběr dat se používá autonomní vozidlo. Systém skenuje obě strany každé řady stromů nebo vinic, detekuje ovoce zachycené v sekvenci obrazu a poté generuje odhady výnosu.

Přesnost systému byla prokázána porovnáním odhadu výnosu plodiny se skutečností. Jeho výsledkem je mapa výnosu, která se velmi podobá skutečnému prostorovému rozdělení výnosu, které mohou pěstitelé využít při rozhodování o řízení produkce.

Systém odhadu výnosu byl použit v řadě vinic, jabloňových sadů a jahodových farem a výsledky ukazují, že systém funguje dobře u různých plodin a tréninkových struktur.

2.7 Přesné zavlažování

Současná zavlažovací praxe v zemědělské komunitě často vyžaduje nadměrné zavlažování plodin. To má za následek plýtvání zdroji, zvýšené vyplavování hnojiv a nárůst chorob plodin. Existují modely, které určují dostatečné množství zavlažování, ale zřídka se používají, protože neustálá úprava parametrů zavlažování je zdoluhavá a obtížná.

Kohanbash et al. (2012) použil bezdrátové senzorové sítě (WSN) ke sledování podmínek prostředí v reálném čase a úpravám parametrů zavlažování během celého procesu. WSN je systém pro automatickou regulaci zavlažování pomocí čidla vlhkosti. Pokročilejší metody řízení jsou také možné díky integraci modelů využití plodiny vody do systému. Systémy WSN komunikují s centrální základnou, kterou lze připojit k internetu, což umožňuje vzdálený přístup pro prohlížení stavu plodiny a úpravu

nastavení zavlažování. Centrální základnová stanice také umožňuje pěstitelům sledovat a analyzovat prostředí pro pěstování plodin z hlediska trendů a dlouhodobých změn.

První výsledky ukazují úspory vody až 75 %, loužení hnojiv snižené téměř na nulu, zvýšenou kvalitu plodin, rychlost růstu zvýšenou o více než 50 % a snížený výskyt chorob. Kromě těchto úspor mohou pěstitelé použít data ze systémů WSN k přizpůsobení své plodiny pro konkrétní trhy.

2.8 Pěstování a produkce ovocných stromů

Autonomní sadová vozidla radikálně mění produkci ovocných stromů díky automatizaci některých operací údržby, jako je například sečení, postřik, prořezávání a sklizeň. Z hlediska robotiky lze tyto činnosti realizovat s relativně jednoduchou schopností: jízda po jedné řadě stromů, otáčení na konci řady a vstup do další. Problémem může být spolehlivé snímání stromů ve svažitém terénu, ve větvích, vysoké trávě a při chybějících stromech. Řešením je lokalizace vozidla v sadu, sledování trajektorií uvnitř a vně řad a vyhýbání se překážkám. Navíc by dodatečné náklady na komponenty autonomie měly být co nejnižší, aby byla taková vozidla komerčně životaschopná.

Od roku 2008 do roku 2012 najela tato vozidla celkem 350 km v experimentálních a komerčních sadech, vinicích a školkách v několika státech USA, včetně mnoha největších producentů jablek ve Spojených státech ve státě Washington. Nejdlejší trasu, tj. 25 km, ujel za pět hodin (Bergerman et al., 2015). Časové zkoušky prováděné pedagogy z Pensylvánie a Washingtonské státní univerzity ukázaly, že pracovníci na palubě autonomní platformy sadů mohou být dvakrát rychlejší než pracovníci chodící pěšky a používající žebříky při práci v korunách ovocných stromů (Davis, 2012).

2.9 Řízení formace vozidel

Několik robotických zemědělských vozidel jedoucích ve formaci nabízí mnohem větší možnosti, které zdaleka přesahují práci jediného vozidla. Lenain et al. (2010) vyvinul řídicí architekturu, která umožňuje přesné a stabilní řízení několika robotů v dané a případně variabilní formaci. Metoda je založena na základě sledování dráhy, která definuje relativní polohy robota jako boční vzdálenost vzhledem k dané cestě a podélnou vzdálenost podél této dráhy. Poruchy způsobené pohybem v přírodním

prostředí (např. špatné podmínky přilnavosti a nerovnost terénu) jsou kompenzovány nelineárním ovladačem založeným na modelu, který zahrnuje čidlo bočního skluzu kola. Z hlediska řízení formování již boční chyba není regulována na nulu, ale na požadovanou nastavenou hodnotu, potenciálně proměnnou a zohledňující další odchylky vozidla. Kromě toho je rychlost každého vozidla řízena tak, aby byla zajištěna požadovaná křivočará vzdálenost vzhledem k ostatním, a aby byla jednomu z nich uložena požadovaná rychlost. Podobně jako boční dynamika může být požadovaná vzdálenost definována jako proměnlivá a chyba může být tvořena směsí mezi podélnými chybami jednoho vozidla vzhledem k druhému.

Tento přístup byl testován v terénu pomocí dvou elektrických terénních robotů. Jsou vybaveni RTK-GPS poskytující přesnost ± 2 cm a jsou schopni vzájemně sdílet své polohy pomocí bezdrátové komunikace. S hmotností přibližně 500 kg jsou tato dva metry dlouhá vozidla schopna dosáhnout rychlosti 4 m/s a vystoupat až na 20stupňový sklon terénu. V tomto příkladu musí první vozidlo sledovat trajektorii znázorněnou černě, složenou z přímky podél 15stupňového svahu na trávě rychlostí 2 m/s, po níž následuje půl otáčky, která se vrací na rovný povrch. Druhé vozidlo musí následovat první s požadovanou křivočarou vzdáleností 10 m a požadovanou boční odchylkou 1 m. Za těchto podmínek je přesnost relativního umístění v rozmezí ~ 15 cm i přes náročné terénní podmínky (nízká přilnavost, nerovný terén, zakřivená trajektorie). Tato práce prokázala schopnost udržovat formaci několika vozidel, slučitelných s podmínkami v zemědělství, což umožňuje zvážit zavedení čet pro více vozidel v oblasti přesného zemědělství.

2.10 Postřik palmy

Postřik palmy je obvykle prováděn ručně, týmem tří pracovníků, z plošiny 18 m nebo více nad zemí. V minulosti došlo k mnoha nehodám kvůli nestabilitě plošiny ve zvednuté poloze. Společnost Degania Sprayers Company (Izrael) vyvinula postřikovač s vysokým vzduchovým dělem a naklápěcí jednotkou na konci pro řízení proudu vzduchu a směru stříkání. Tento systém však vyžaduje, aby pracovník ručně namířil postřik směrem ke stromu. Shapiro et al. (2009) vyvinul pro postřikovač automatický systém sledování stromu.

Sledovací systém je založen na ultrazvukovém senzoru dosahu pro detekci stromů a senzoru přiblížení namontovaném na kole postřikovače pro měření ujeté vzdálenosti.

Řidič je odpovědný za udržování postřikovače ve vzdálenosti 3,5 m od stromů. Známe-li průměrnou vzdálenost mezi stromy v řadě 9 m, je možné vypočítat požadovaný úhel postřiku. Tato hodnota se přivádí do proporcionálně-integračního-derivativního regulátoru (PID), který vydává signál modulace pulzní šířky (PWM) do elektricky ovládaného hydraulického ventilu, jenž řídí úhel stříkání. Autoři se rozhodli použít ventil pro zapnutí/vypnutí poháněný signálem PWM namísto proporcionálního ventilu, aby se snížily náklady na systém, a proto se stal atraktivnějším pro zemědělce. Úhel otáčení postřikovače se měří potenciometrem a používá se jako zpětná vazba pro PID regulátor. Když postřikovač dosáhne středu mezi dvěma stromy, je nastaven tak, aby se otočil směrem k dalšímu stromu v řadě a začal na něj stříkat. Algoritmus sledování je implementován na mikrokontroléru Arduino.

Systém byl postaven a nasazen na datlových farmách a ukazuje dobré výsledky sledování. Nahrazuje lidského pracovníka, který předtím musel vykonávat těžký úkol ovládající postřikovač, aby sledoval stromy pomocí joysticku. Předběžná ekonomická analýza naznačuje, že dodatečné náklady na systém sledování postřikovače lze získat zpět během jedné sklizňové sezóny.

2.11 Ošetření rostlin

Na velkých polích pro botanické experimenty je třeba zajistit ošetření rostliny (zalévání, živiny, sluneční světlo), které optimalizují určité požadované aspekty (růst, vzhled). K tomuto cíli je třeba provést experimenty, které zahrnují mnoho opakujících se akcí. Například rostlina musí být pravidelně měřena a musí být odebrány vzorky z listů, případně může být nutné prořezávání. Pro tyto úkoly by byli roboti velmi užiteční, ale problémy vyplývají ze složité struktury a deformovatelnosti rostlin, které nejen mění růst, ale jejichž listy se také různě pohybují. Přestože nedávný pokrok v hloubkových senzorech, modelování deformovatelných objektů a autonomní mobilní manipulace přinesly pokrok v robotických použití, stále existuje mnoho problémů, zejména pokud jde o rozpoznávání a lokalizaci částí rostlin (listy, květy, plody, stonky) a manipulace s robotem za omezených podmínek v přirozeném prostředí (Foix et al., 2011).

V této souvislosti se evropský projekt GARNICS (zahradnictví s kognitivním systémem) zaměřuje na 3D snímání růstu rostlin a vytváření percepčních zastoupení pro učení vazeb na akce robotického zahradníka. Snímání a kontrola rostlin se řeší

kombinací aktivního vidění s vhodnou percepční technikou, která je nezbytná pro kognitivní interakce.

Použití robotizovaného fenotypování související s tímto projektem, spočívá v přesném umístění měřicího nástroje na list za účelem buď vyříznutí vzorků z listu, nebo pro měření obsahu chlorofylu. Robotické rameno je vybaveno kamerou Time-of-Flight (TOF) a měřicím nástrojem (Alenyà et al., 2011). V této studii se segmentace obrazu a přizpůsobení modelu používají k rozpoznání a lokalizaci jednotlivých listů z hloubkových informací. 3D data jsou kombinována s barevnými nebo infračervenými obrazy a slouží k segmentaci dat do povrchových skvrn, u nichž se předpokládá, že odpovídají skutečným listům rostlin.

V tomto přístupu byla navržena další nejlepší strategie zobrazení pro nalezení nepřekážejícího a čelního pohledu na list (Alenyà et al., 2011). Zpočátku se robotické rameno přesune do polohy, ze které se získá obecný pohled na rostlinu. Hloubka a infračervené obrazy získané z této polohy jsou segmentovány na jejich složené povrchy, obrysy modelu listu jsou přizpůsobeny extrahovaným segmentům a je měřen vliv přizpůsobení a uchopitelnosti listu. Je vybrán cílový list a robot přesune kameru do bližšího čelního pohledu. Pokud je list na základě těchto kritérií považován za vhodný pro vzorkování, umístí se sondovací nástroj na list po dvoustupňové cestě. Pokud není cíl považován za vhodný, je vybrán jiný cílový list a postup je opakován.

Metoda je založena na několika předpokladech:

- hranice listů jsou viditelné na obrázku s infračervenou intenzitou
- plochy listů lze modelovat základní kvadratickou funkcí
- listy konkrétního typu rostliny lze popsat běžným 2D obrysem
- listy jsou dostatečně velké, aby umožňovaly analýzu ToF kamerou
- listy jsou při snímání statické.

Tyto předpoklady mohou být za určitých podmínek porušeny a bude třeba provést další výzkum, který by vyřešil různé problémy vyplývající převážně ze složité a deformovatelné povahy rostlin.

2.12 Sklizeň okurek

Stroje na sklizeň se skládají z mobilní platformy, která se pohybuje po kolejích. Tyto kolejnice se běžně používají ve sklenících v Nizozemsku pro účely vnitřní dopravy, ale také jako systém ohřevu vody ve skleníku. Sklizeň vyžaduje funkční kroky, jako

je detekce, lokalizace ovoce a hodnocení jeho zralosti. V případě sklízecí okurek byly k detekci zelených okurek v zeleném prostředí využity různé odrazové vlastnosti v blízkém infračerveném spektru (Henten et al., 2003). Zda byla okurka připravena ke sklizni, bylo určeno na základě odhadu její hmotnosti. Vzhledem k tomu, že okurky obsahují téměř 95 % vody, bylo tohoto dosaženo odhadem objemu plodů. Poté byly použity principy stereovize k vyhledání plodů, které mají být sklizeny v prostředí 3D. Za tímto účelem byla kamera posunuta o 50 mm na lineárním sklíčku a byly pořízeny a zpracovány dva obrazy stejné scény. Manipulátor Mitsubishi RV-E2 byl použit k řízení mechanismu řezačky plodů a přepravě sklizené zeleniny do přepravky. K řízení manipulátoru během sklizňové operace bylo použito bezkolizní plánování pohybu založené na algoritmu (Henten et al., 2003). Fréza se skládala z přísavky na paralelním chapadle, které popadlo stopku plodu. Poté působení přísavky znehýbnilo plodinu v chapadle. K oddělení plodu od rostliny bylo použito speciální tepelné řezací zařízení. Vysoká teplota řezacího zařízení také zabránila potenciálnímu přenosu virů z jedné rostliny do druhé během procesu sklizně. Pro úspěšnou sklizeň tento stroj potřeboval v průměru 65,2 s. Úspěšnost byla 74,4 % (Henten et al., 2003).

2.13 Odstranění okurkových listů

Sklizni byla věnována značná pozornost v robotickém výzkumu zaměřeném na chráněné pěstování. Není to však jediná časově a pracovně náročná kultivační operace. Při pěstování okurek je mimo jiné časově náročné odstraňování starých neproduktivních listů ve spodních oblastech rostliny (Henten et al., 2006). V tomto systému se kamerový systém používá k identifikaci a lokalizaci hlavního stonku rostlin. Uchopovač je aktivován a posunut nahoru. Tím se všechny listy během tohoto pohybu oddělí od rostliny pomocí podobného zařízení pro tepelné řezání, jaké se používá pro sklizeň. Zajímavou vlastností tohoto stroje je, že s mírnými úpravami softwaru a hardwaru lze provádět hned dvě operace ve skleníku najednou.

2.14 Sklizeň růží

V posledních letech byl v Nizozemsku v praxi vyvinut a testován robot na sklizeň růží. V tomto případě se rostliny růží pěstují na pohyblivých pásech. Rostliny se tak přesouvají k robotovi místo toho, aby se robot pohyboval k rostlinám ve skleníku. Během sklizňového cyklu cestuje kamerový systém přes růži. Koncový efektor se systémem stereofonního vidění a nůžkovým řezacím zařízením lokalizuje růže, které

mají být sklizeny. Poté se sklizeň provádí dvěma manipulátory. Jeden manipulátor uchopí růži těsně pod květinou a jemně ji odtáhne stranou, aby vytvořil pro druhý manipulátor prostor pro pohyb po stonku směrem k bodu, kde stonek odřízne. Tento manipulátor nese malý stereovizní systém, který se používá pro sledování spodní části v reálném čase během tohoto pohybu dolů. Po příjezdu manipulátor nasadí malý řezací nůž, který odřízne stonek. Nakonec je růže prvním manipulátorem vytažena a uložena do přepravky, zatímco druhý manipulátor se pohybuje k následující růži a pokračuje dalším sklizňovým cyklem (Noordam et al., 2005).

2.15 Sklizeň jahod

V Japonsku je trh s jahodami stejně velký jako trh s rajčaty, okurkami a mandarinkami. Potenciálně vysoce ekonomická návratnost tohoto produktu spolu s vysokou náročností práce na procesech, jako je sklizeň, vysvětluje dlouhou tradici výzkumu robotické sklizeň jahod. Robot se skládá z válcového manipulátoru se 4 stupni volnosti (DOF). Robot nese 3 kamery s nabíjecím zařízením (CCD). Pro osvětlení scény se používá čtvercové LED pole. Dvě kamery poskytují stereofonní vidění pro detekci a lokalizaci plodů. Jakmile je ovoce detekováno, je koncový efektor umístěn před ovocem. Třetí kamera namontovaná na koncovém efektoru se poté použije k detekci stopky a k výpočtu jejího sklonu. Na základě těchto údajů je orientace koncového efektoru upravena naklápěcím mechanismem a ten se poté přibližuje k plodu. Úspěšný přístup k jahodě je detekován světelným senzorem reflexního typu v koncovém efektoru. Po úspěšném dokončení tohoto pohybu se stopka uchopí a dřík se odřízne nůžkovým řezacím mechanismem. Vhodný pohyb manipulátoru poté pošle sklizenou jahodu do přepravky. Tento postup se opakuje u všech detekovaných plodů v aktuální poloze robota. Po dokončení všech pokusů o vychystávání je celá robotická platforma přesunuta o 210 mm s portálovým přepravním systémem běžícím pod jahodovými lavicemi. Aktuální prototyp dosáhl rychlosti vychystávání 6,3 sekund s úspěšností 52,6 % (Hayashi et al., 2014).

2.16 Manipulace s květináči ve sklenících

Skleníky ve Spojených státech produkují ročně přes dvě miliardy rostlin v květináčích. V průběhu výrobních procesů jsou několikrát přemístěny – distribuovány na vnitřní nebo venkovní pěstitelské záhony, přemístěny tak, aby se obnovil prostor při plnění objednávek a zároveň se shromažďovaly pro hromadnou přepravu. Rostliny se zvedají

a přepravují pomocí manipulátoru spojeného s chapadlem s jedním stupněm volnosti. Systém mobility využívá dvě různě řízená hnací kola vyvážená předním válcem (Public.harvestai.com, 2021)

Robot má laserový dálkoměr k identifikaci nádob, ve kterých se rostliny pěstují. Tento senzor má horizontální zorné pole větší než 180 stupňů a dokáže detekovat špatně odrážející květináče nejméně ze 4 metrů – a to i za jasného slunečního světla. Robot také používá laserový dálkoměr k detekci překážek i jiných robotů.

Čtyři hraniční senzory, dva směřující dopředu a dva dozadu, se používají k vyhledání a sledování reflexní pásky, která označuje okraj pracovního prostoru. Páska plní dvojí funkci, globální reference robota i jako součást uživatelského rozhraní. Umístěním hraničního značení pracovníci naznačují robotovi, kde by měly být rostliny umístěny.

Uživatelské rozhraní skládající se z číselníku a tlačítek je umístěno na zadní straně skříně elektroniky. Rozhraní umožňuje uživatelům zadat požadovanou rozteč rostlin, šířku lože, rozteč vzoru (šestihranný nebo obdélníkový) a počet uliček, které má robot vytvořit.

Provoz robota umožňuje programovací schéma založené na jeho chování. Rozestupy dávají každé rostlině dostatečný prostor pro růst bez kontaktu s těmi sousedními. Zabalené rostliny v popředí jsou vzaty z rostoucího záhonu a umístěny na zem. Robot identifikuje kontejnery rostlin pomocí dálkoměru a vybere pro vyzvednutí kontejneru nejvzdálenější pole. Po uzavření a zachycení kontejneru chapadlem se robot otočí směrem k hranici. Když robot zaměří značku pásky, dva přední hraniční senzory na robotu detekují pásku a vypočítají relativní úhel mezi robotem a páskou. To umožňuje robotovi otáčet se a vyrovnat se s linií, přičemž pásku udržuje po levé straně.

Po získání hraničního značení se robot pohybuje podél pásky. Když se objeví cíl rostliny, použije laserový dálkoměr k identifikaci dalšího prázdného prostoru ve vzoru rozmístěných rostlin. Robot poté vypočítá efektivní cestu k bodu umístění, přesune se do této polohy a vysadí rostlinu. Poté se otočí zpět k zásobníku s rostlinami a postup opakuje. Podle této strategie mohou roboti pracovat samostatně nebo v týmech různých velikostí.

2.17 Lesnictví

Asi 30 % zemské plochy je pokryto lesy. Kromě poskytování surovin pro nábytek, papír, oblečení a topení poskytují lesy také domov různým živočišným druhům a tvoří zdroj obživy pro lidskou populaci. Jen v Německu přineslo v roce 2012 odhadem 1,3 milionu pracovních míst ve dřevozpracujícím průmyslu a tržby více než 180 miliard eur. Zkoumání lesů způsobem šetrným k životnímu prostředí, ale stále ekonomickým způsobem, je tedy zásadním problémem. Robotika se v současné době používá k ochraně lesa, zajištění pracovních míst v lesnictví a souvisejících odvětvích.

Práce v lesích je dnes již vysoce mechanizovaná a v posledním desetiletí připravilo know-how mobilní robotiky v kombinaci s novou virtuální realitou a technikami dálkového průzkumu cestu novému pohledu robotiky na pracovní stroje v lese. Těžební stroje a vyvážecí soupravy, vyspělé pracovní stroje pro řezání a dopravu kulatiny, jsou v současné době hlavním cílem v oblasti automatizace. Na základě poznatku, že přesná lokalizace stroje nemůže být založena pouze na GPS, byly zavedeny možnosti mobilní robotiky pro lokalizaci a navigaci. Naměřené chyby GPS až do 50 m způsobené absorpcí signálu ve větvoví a vícecestnými efekty činí GPS prakticky nepoužitelným pro přesnou lokalizaci a navigaci. V přístupu VisualGPS slouží poloha GPS pouze jako výchozí bod pro kombinovaný Kalmanův filtr a lokalizační algoritmus Monte Carlo založený na měření optického rozsahu laserovými skenery. Tento přístup určuje polohu stroje s přesností 0,5 m a poskytuje tak spolehlivý základ pro vývoj navigačních a (polo)autonomních postupů protokolování.

Praktické experimenty ukazují, že vytváření map založené na technikách simultánní lokalizace a mapování (SLAM) není v těchto prostředích příliš použitelné, protože výsledné chyby v mapě jsou početné, a proto nejsou vhodné pro provoz na velké ploše (Lacerda et al., 2019). Místo toho se vysoce přesný odhad polohy z VisualGPS staví na dříve generované mapě jednotlivých stromů. Metoda fúze s více senzory pomáhá vytvářet tuto mapu na základě vzdušných a satelitních snímků v různých spektrálních rozsazích a také na vzdušném laserovém skenování. Multispektrální obrazová data poskytují základ pro určení druhu stromu, který je řešen jako pokročilý problém klasifikace vzorů. Další krok, vymezení jednoho stromu, je založen na vzdušných snímcích v kombinaci s 3D povrchovými daty z laserových skenů. Modifikovaný algoritmus prostředí vymezuje koruny stromů (Bücken

a Roßmann, 2013). Z velikostí a druhů korun stromů lze odvodit geograficky odkazovanou polohu kmene, a dokonce i průměry stromů.

Každý pracovní stroj v lese také vytváří místní mapy viditelných stromů pomocí laserových skenerů namontovaných na stroji a kompasu. Pro účely lokalizace jsou tyto místní mapy porovnány s dříve generovanou globální mapou stromů pomocí filtru částic. U pohybujícího se stroje se krok predikce provádí pomocí Kalmanova filtru (Bücken a Roßmann, 2013).

Virtuální les se používá k vizualizaci odvozených informací (např. druhy stromů, výšky stromu, tvaru a velikosti koruny atd.) ve špičkové prezentaci virtuální reality. Tento přístup sleduje obecný trend v robotických využití pro přírodní prostředí: vývoj virtuálních realit pro vizualizaci informací o světovém modelu intuitivně srozumitelným způsobem. (Bücken a Roßmann, 2013)

Vyvinuté algoritmy VisualGPS založené na laserovém dálkoměru jsou vylepšeny schopnostmi optického stereofonního rozpoznávání obrazu a jsou přenášeny na mobilní platformy. Je to způsobeno skutečností, že práce, která začala jako snaha o automatizaci pracovních strojů v lese, se nedávno změnila na projekt monitorování prostředí, který pomáhá lesníkovi kontrolovat, chránit a pečovat o les se zvýšenou účinností a efektivitou.

2.18 Automatizace jeřábu

Při těžbě na délku, která je v Evropě převládající metodou těžby stromů, vyváží pokácené a odvětvené dřevo z lesa na cestu spedice. Pro provozovatele takového stroje velkou část pracovního cyklu tvoří manévrování s palubním hydraulickým jeřábem. Obsluha ovládá ramena jednotlivě pomocí dvou joysticků. Redundantní kinematický návrh je nezbytný pro obratnost a velký aktivní pracovní prostor stroje, ale zároveň ztěžuje efektivní ovládání jeřábu.

Vzhledem k technologickému pokroku a schopnostem dnešních lesnických strojů vytváří současný přístup manuálního ovládání překážky v procesu předávání. Automatizace těchto operací by tedy byla přínosem pro produktivitu.

Za tímto účelem byl v laboratorním prostředí nainstalován hydraulický jeřáb malého rozsahu. Jeřáb je vybaven senzory polohy a tlaku, elektronikou a softwarem pro rychlé prototypování automatizovaných strategií řízení. Stejně zařízení bylo

nainstalováno na komerční vyvážecí soupravě Valmet 830 od společnosti Komatsu Forest pro testování v terénu.

Pomocí těchto platforem byly vyvinuty nové metody zpětnovazební kontroly a postupy plánování trajektorie za účelem konstrukce a implementace časově efektivních pohybů. Pro danou geometrickou dráhu lze rychlost a relativní využití různých článků jeřábu podél této dráhy tvarovat tak, aby bylo dosaženo pohybů s optimálním výkonem v rámci omezení stroje. Omezení rychlosti pro jednotlivé klouby jsou zvláště omezující u hydraulických manipulátorů.

V návrhu jsou trajektorie plánované tímto přístupem porovnány se zaznamenanými pohyby profesionálních lidských operátorů a s ohledem na dobu provedení. Výsledky ukazují, že výkon lze významně zlepšit opětovným naplánováním pohybů operovaných člověkem s omezením dráhy. Další přeplánování geometrické dráhy spolu s účinnými rychlostními profily podél cesty může dále zlepšit časovou účinnost pohybů jeřábu.

Sledování trajektorií pomocí zpětnovazebního řízení vyžaduje senzory pro měření pozic kloubů. Instalace těchto senzorů není žádoucí kvůli vysokým nákladům nebo problémům s trvanlivostí v drsném venkovním prostředí. Pozici koncového efektoru podél trajektorie lze také odhadnout pomocí čidla a signálů dostupných z tlakových senzorů. Takové zařízení může být pohodlnějším řešením v drsných podmínkách lesa.

Nové způsoby provádění úkolů znamenají další výzvy pro interakci člověk-stroj (HMI). Poloautonomní provoz vyžaduje, aby byly automatizované součásti dobře integrovány do manuální práce. Pro usnadnění spolupráce při ovládání manipulátoru mezi člověkem a počítačem je důležité rozdělení práce a pracovní přechody mezi nimi. Hansson a Servin (2010) popisují implementaci sdílené kontroly pro toto nastavení. Výsledky uživatelských testů ukazují, že poloautonomní provoz snižuje pracovní zátěž a ukazuje značný potenciál ke zvýšení produktivity nezkušených operátorů.

Spolehlivý rámec senzorů a řízení na nízké úrovni spolu s účinnými strategiemi plánování pohybu umožňuje vývoj pokročilejších interakčních technologií. Jedním z takových možných budoucích scénářů je teleoperace, která představuje několik výhod jak pro majitele strojů, tak pro operátory. Nejprve se mění konstrukce stroje – odstranění kabiny, což šetří hmotnost a náklady. Zadruhé, pracovní prostředí je zlepšeno snížením hladiny hluku a vibrací.

2.19 Chov a péče o hospodářská zvířata

V některých případech je chov zvířat proaktivní proces, například v líhních, kde je třeba zřídit optimální podmínky. V jiných je povoleno, aby se příroda vydala svým směrem. Někdy může být nutný zásah do porodního procesu, ale v australském vnitrozemí si dobytek musí pomoci sám. Novorozenec však musí být označen transpondérovými značkami v rámci národního schématu identifikace hospodářských zvířat, NLIS (Dpi.nsw.gov.au, 2021).

Jiné druhy, jako jsou klokani, divoká prasata, divocí velbloudi a koně, se mohou množit a běhat volně, dokud nejsou uloveni. Pokud jsou zvířata ustájena, péče o ně zahrnuje monitorování a kontrolu prostředí, krmení, čištění a sledování růstu.

Nizozemská společnost Lely (Lely.com, 2021) je aktivní v marketingu produktů, které mají silný robotický prvek. Při umístění skotu ve stájích, Juno hlídá uličku na straně kotce a tlačí krmivo směrem ke kolejnicím, aby se dostalo na dosah krmného skotu. Trajektorie jde ještě dále. Mobilní robot nesoucí násypku automaticky naviguje mezi stodolou, kde je uloženo krmivo, a stájemi, kde čeká dobytek.

Další zařízení v australských výkrmnách odhaduje přírůstek hmotnosti skotu, například systémem, který čte značku NLIS zvířete u vodního žlabu a zaznamenává hmotnost zjištěnou díky umístění váhy pod předními nohama.

V australském vnitrozemí podobné snímací systémy plní řadu funkcí. Voda je vzácná, takže studny s vodou mohou být oploceny, což umožňuje přístup pouze po cestě, kterou lze sledovat. Některé dřívější projekty zahrnovaly identifikaci druhů za účelem kontroly přístupu pomocí automaticky ovládané brány, ale podobná technologie má cenné využití při sledování skotu.

Znovu se načte značka NLIS, zatímco váhový systém s procházením zaznamenává přírůstek hmotnosti zvířete. Čtečku lze použít k identifikaci krav, za kterými následuje tele. Nyní je automatické brány mohou nasměrovat do samostatného výběhu pro označování telat.

Mnoho příležitostí je pro automatizaci, která může být předchůdcem robotiky. Několik projektů zahrnovalo monitorování strojního snímání skotu nebo prasat v chlévech. Přírůstek hmotnosti se odhaduje vizuálně pomocí přesných kamer.

Mobilní roboti mohou být zapojeni také do hal, kde se kuřata chovají na maso, spíše než na snůšku. Pro pohyb mezi drůbeží byl navržen mobilní robot, který sleduje kvalitu vzduchu včetně teploty, relativní vlhkosti, koncentraci amoniaku a prachu.

Australské včely musí být chráněny před škůdci, které se do země dostávají lodní dopravou. Boxy s návnadami jsou rozmístěny v přístavech v celé Austrálii, aby přilákaly takové roje. Dálkový monitorovací systém s kamerovým snímáním poskytuje včasné varování majitelům včelínů.

2.20 Využívání hospodářských zvířat

Tradiční zemědělské postupy zahrnují dojení krav dvakrát denně; ráno a večer. Automatické dojírny s robotickými dojícími stanicemi jsou široce používány hlavně ke zlepšení produktivity a časového rozvrhu. Tyto systémy kravám samy určují, kdy je čas dojení či krmení. V automatizované dojící stanici je umístění struků a připojení dojících systémů automatické. Výnos je monitorován a vemena jsou automaticky kontrolována na zranění a nemoci. Lidský zásah je minimální. V této oblasti je aktivní společnost Lely (Lely.com, 2021).

Vejce snesená slepicemi se přemisťují z klecí na dopravní pás. Mezi další robotickou aplikaci při produkci vajec je možné uvést strojové snímání, které je používáno k detekci cizích těles nebo poškozených vajec (Poultryhub.org, 2021).

2.21 Porážka a zpracování hospodářských zvířat

Systém, již popsany pro monitorování skotu, který se přibližuje k napajedlu, je také předmětem financovaného projektu shromažďování. Skot, vybraný pomocí svých značek NLIS, je odváděn do uzavřeného areálu, ze kterého je dále shromažďován pro transport do výkrmny, kde je připravován na porážku. Na začátku 90. let byl Fututech oslavován jako budoucnost jatek. Robotické systémy, které mají být instalovány v pastorační společnosti Kilcoy v Queenslandu, automatizují celý proces od porážecího boxu po chladírnu. Stavba byla zahájena v roce 1992, ale v červnu 1994 byl projekt zrušen za cenu více než 40 milionů USD. Byl to projekt, který předběhl dobu, spoléhal se spíše na centrální počítač a kilometry kabeláže než na distribuovanou inteligenci. Ale nyní došel systém pokroku. Roboti se na jatkách stávají běžnou součástí, podporovanou sofistikovanými snímacími systémy pro lokalizaci skeletů. Prasata pravděpodobně převyšují množství dobytka a mezi zpracovávaná zvířata patří také ovce a kozy (Scottautomation.com, 2021; Mayekawa.com, 2021).

2.22 Letecké přesné zemědělství

Bezpilotní vzdušné prostředky (UAV) se v poslední době začaly používat v přesném zemědělství. Jedná se o nový směr a výsledky jsou velmi slibné. Asociace pro bezpilotní systémy předpovídá, že 80 % všech bezpilotních prostředků prodaných ve Spojených státech v období 2015–2025 bude sloužit zemědělskému trhu. I když se ukáže, že skutečná hodnota není tak vysoká, není pochyb o tom, že zemědělští inženýři investují značné množství času a prostředků do výzkumu toho, jak mohou bezpilotní prostředky zlepšit účinnost zemědělství a snížit náklady. Dong et al. (2014) používají snímky ve vysokém rozlišení a data palubního senzoru z bezpilotního letadla k vytvoření sekvence 3D rekonstrukcí plodiny v průběhu času. Tato čtyřrozměrná (4D) časoprostorová rekonstrukce se používá k segmentaci klenby vrchní části zasazené plodiny a odhadu, jak se vyvíjí poloměr a výška každé rostliny. Zpracovatelský kanál byl testován na datech shromážděných na poli osetém kukuřicí, brokolicí a zelím v Tiftonu, GA, USA.

V mnoha oblastech pěstování brambor nedochází k přirozenému stárnutí plodiny, a proto je zrání hlíz uměle vyvoláno usmrcením natě 10 až 25 dnů před sklizní. Reglone je široce používaný herbicid hubící brambory. Na základě znalostí vztahu mezi stavem biomasy bramborových plodin, vyjádřeným v indexu váženého rozdílu vegetace (WDVI) (Evert et al., 2012), a minimální účinnou dávkou, bylo úspěšně demonstrováno použití zobrazování rostlinné biomasy pomocí multispektrální kamery pod bezpilotním letounem pro aplikaci s proměnlivou rychlostí. Mapa WDVI byla převedena na mapu mřížky dávky 33 m 10 m upravenou na šířku výložníku polního postřikovače. Na poli bylo průměrně použito 0,9 litrů Reglonu na ha s uspokojivou účinností. Standardní praxí by bylo použití 2 litrů na ha. Použití bezpilotního leteckého snímkování tak vedlo k úspoře více než 50 % látky, aniž by došlo ke ztrátě účinnosti likvidace bramborových hlíz, sklizně brambor a kvality konečného produktu.

Pšenice je nejrozšířenější plodinou na orné půdě ve Velké Británii, která v roce 2013 pokrývala přibližně 1,6 milionů hektarů. Stejně jako u jiných plodin, musí se pšenice potýkat s velkým množstvím plevelů, jedním z nich je psárka polní. Tento druh plevelu je vysoce konkurenceschopný a stále odolnější vůči chemickým postřikům, což z něj činí jedno z největších rizik, kterému čelí britský zemědělský sektor.

Vědci z URSULA Agriculture předvedli systém, který kombinuje multispektrální snímání s UAV k zachycení snímků v rozlišení 10 cm (Keyworth et al., 2013).

S využitím jedinečných spektrálních a morfologických vlastností psárky polní vyvinuli klasifikační procesy, které se aplikují na obraz k automatickému vymezení tohoto plevele z hostitelské plodiny.

Pro zemědělce a agronoma je výstup dodáván ve formě vizuálních map a prostorově přiřazených datových bodů, které lze přenést pomocí softwaru pro plánování postřiku strojem s přesným vedením. Analýza snímků URSULA Agriculture dokáže identifikovat nejen umístění a rozsah napadení psárkou polní v terénu, ale také hustotu a zaplevelenou plochu, které budou mít vliv na kontrolní rozhodnutí. Tyto informace poskytují zemědělcům životně důležitá data, která mu pomohou zabránit napadení psárkou v aktuálním vegetačním období. Důležité je také to, že pomáhá při dlouhodobé kontrole informováním o metodách řízení, jako je vyšší množství semen, ke zvýšení konkurence v zaplevelených místech, alternativních technikách pěstování nebo úpravách strategií pěstování, což vše může pomoci kontrolovat plevel vedle chemických herbicidů.

2.23 Výsledky rešerši

Komunita robotiky udělala velké pokroky v zavedení robotických systémů v zemědělství a lesnictví. Příštích deset let přinese určitě zlepšené snímání a mobilitu a nemalé pozitivní výsledky při manipulaci v rostlinné výrobě.

U plodin v sadech stále existuje potřeba zdokonalení algoritmů, které počítají výnos plodiny a objem porostu nebo které automaticky detekují hmyz a choroby. Zde mohou průlomové příjít spíše od fyziků a inženýrů vyrábějících nové zobrazovací systémy než od robotiky. Pokračující přeměna stávajících sadů na architekturu stromové zdi znamená, že autonomní vozidla a platformy sadů budou mít brzy přístup k převážné většině ploch produkce ovoce, přinejmenším v rozvinutých zemích.

Manipulace v prostředí sadů je rostoucí a náročná oblast. Dlouho hledaný sklízecí robot je stále předmětem fikce, zejména pokud jde o jeho ekonomickou proveditelnost. Například v odvětví jablek jsou nejlepší lidští dělníci schopni sbírat 40 až 60 kusů ovoce za minutu a udržovat otlaky u některých jablek jen na několika procentech z celkového objemu. Mnoho operací s přidanou hodnotou, včetně prořezávání či sklizně, by mohlo těžit z řešení založeného na automatizované manipulaci. Tato by měla být nejprve zavedena do úkolů s nízkou přesností, kde lze snadněji realizovat ekonomické zisky, než bude technologie zdokonalena a zaměřena na úkoly, jako je

sběr jablek. Jedním z příkladů je automatické stříhání hroznů a probírka ovoce podle zatížení plodiny každé jednotlivé révy. To je v rozporu s dnešními metodami, kdy je řízení zatížení plodin prováděno rovnoměrně po celé vinici, což vede k významným odchylkám ve výnosu. Ekonomicky spolehlivá manipulace na úrovni révy by pomohla posunout odvětví vinařství směrem k řízení variabilní rychlosti, takže jednoho dne bude každá réva, list a ovoce ošetřeny individuálně podle vlastních potřeb vodou, živinami, světlem atd.

Přes více než třicet let výzkumu se robotické systémy pro pěstování rostlin v chráněném pěstování komerčně nerozvinuly. Je zřejmé, že problémem je složitost operace. Je to způsobeno vysoce nestrukturovaným pracovním prostředím, přirozenou variabilitou plodiny a nepříznivými podmínkami prostředí, např. silnými změnami osvětlení. V této doméně je klíčové pro úspěšné nasazení složitého systému snímání a vnímání. To zahrnuje aspekty, jako je detekce plodů, stonků a listů, stanovení jejich vlastností, např. zralosti, a konečně jejich přesná lokalizace v 3D pracovním prostředí. Detekce objektů může být problémem, protože v některých případech se orientuje na nalezení zeleného objektu na zeleném pozadí. Když jsou barevné rozdíly výraznější, detekce může být jednodušší, ale v mnoha případech představuje okluze objektu další komplikaci.

V prostředí chráněné kultivace je manipulace také docela náročná. Při provádění úkolu by robot měl zabránit poškození plodiny, protože to by okamžitě snížilo její hodnotu. Přesto by robot měl mít možnost kontaktu s předměty, jako jsou listy. Lidé mají tendenci mít během operací poměrně intenzivní kontakt s plodinou. Napodobování tohoto druhu chování vyžaduje znalosti o tom, zda by se objektů mělo vůbec dotýkat, nebo zda se lze jemně dotýkat a případně odsouvat stranou, a to pomocí vyhovujícího pohybu. Obecně lze na rostlinnou produkci založenou na robotice pohlížet jako na instanci problému koordinace ruka-oko nebo na integraci efektivního snímání, vnímání a inteligentní manipulace. Vývoj technologie napodobující lidské chování je jedním ze způsobů, kterým se ubírat, ale vždy bude omezen podmínkami prostředí.

Pěstící systémy lze upravit tak, aby se usnadnila detekce a přístup k ovoci a květin, což umožní jednodušší návrh a provoz automatizovaných systémů. Podobně mohou být kulturní postupy upraveny tak, aby zahrnovaly robota jako součást úkolu. Interakce člověk-robot může být zajímavým a nákladově efektivním mezikrokem –

umožnění lidského vedení a dohledu pouze v případě, že stroj potřebuje pomoc. Takové přístupy založené na spolupráci usnadňují sběr dat v reálných pracovních prostředích, nabízejí příležitost pro nauku a zlepšování algoritmů, a tím připravují cestu pro plně autonomní operace v budoucnosti.

Dalším důležitým aspektem úspěšného zavedení robotů v zemědělství a lesnictví je hledisko související se sociálně-ekonomickými překážkami. Kromě toho, že robot dokáže správně provést úkol, musí to udělat nákladově efektivním způsobem. Tuto účinnost lze prokázat pouze četnými praktickými zkouškami, které jsou časově náročné a nákladné. Zároveň se musí zohlednit i celkové náklady na pořízení robotického systému, včetně údržby, zaškolení uživatelů a likvidace, které jsou nižší než finanční zisky dosažené jeho zavedením do výrobního procesu. A konečně jedním ze základních aspektů je bezpečnost. Nejen, že hardware a software musí být navrženy a ověřeny na základě výslovných bezpečnostních požadavků, musí existovat standardy a předpisy, které diktují, jak a kdy mohou roboti a lidé vzájemně spolupracovat.

Mechanizace umožněná průmyslovou revolucí a automatizace umožněná érou informačních technologií způsobily revoluci v zemědělské produkci do bodu, kdy jediný zemědělec může produkovat obilí, aby nakrmil sto lidí. V příštích padesáti letech budeme svědky podobného výskytu u ovoce, zeleniny a dalších plodin, a to díky pokroku v robotických technologiích, které naše společnost neustále vyvíjí a aplikuje na zemědělství a lesnictví.

3 Cíle a metodika práce

3.1 Cíle práce

Hlavním cílem práce je vytvoření modelů a vizualizace dojicích stání obsluhovaných robotickou rukou.

3.2 Metodika

Tvorba 3D modelů:

- Tvorba 3D modelů scény. V tomto případě místnost, ve které budou umístěny všechny ostatní 3D modely.
- Tvorba 3D modelů konstrukce pódia.
- Tvorba 3D modelů konstrukce dojicího stání.
- Tvorba 3D modelů konstrukce vemene.
- Tvorba 3D modelů robota a jeho součástí.
- Tvorba 3D modelů dojicího zařízení.

Vizualizace modelů:

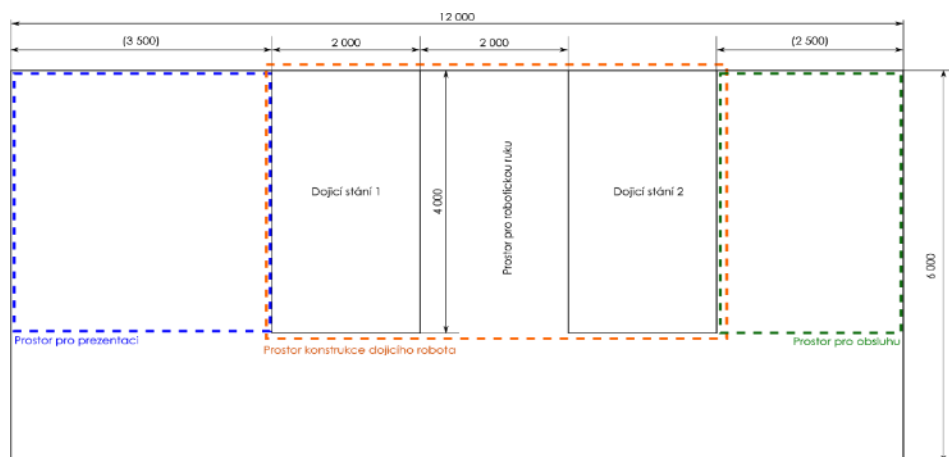
- Umístění všech 3D modelů vzájemně vůči sobě v pracovním prostoru programu.
- Nastavení materiálů a textur.
- Nastavení kamer.
- Nastavení osvětlení a vizualizace. Ukládání výsledků.

Modely budou vytvořené v softwarech Autodesk Inventor a SolidWorks. Vizualizace bude vytvořená v softwaru Blender.

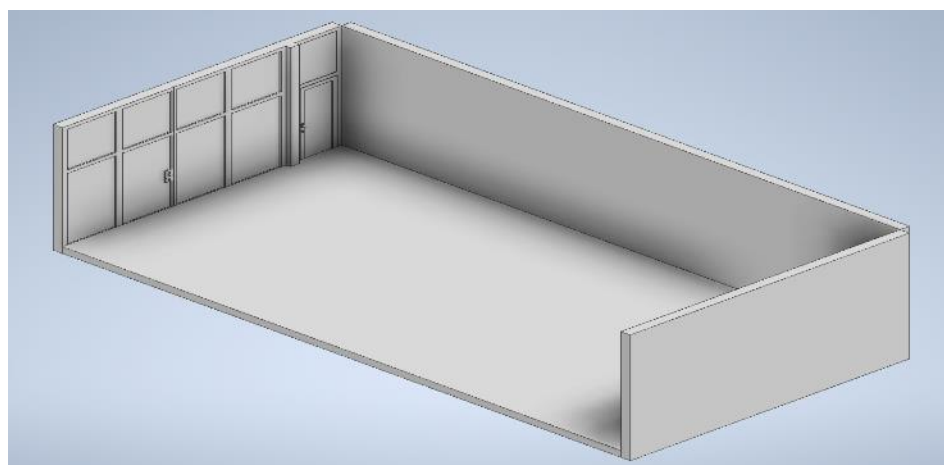
4 Tvorba 3D modelů

4.1 Tvorba 3D modelu scény

Budova, ve které budou umístěny všechny součásti, se nachází v prostorech Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Rozměry místnosti jsou 12 000 x 6 000 x 3500 mm (viz obrázky 3 a 4). Pro realizaci projektu je místnost rozdělena do jednotlivých oddílů. Vlevo je prostor pro prezentaci o rozměrech 3 500 x 4 000 mm. Zde budou umístěny pracovní plochy a počítač, který je nezbytný pro programování robota a provádění dalších prací. Uprostřed místnosti je prostor konstrukce dojícího robota o rozměrech 6 000 x 4 000 mm. Prostor zahrnuje dva prostory pro dojící stání po stranách a prostor pro robota uprostřed. Vlevo od místnosti je prostor pro obsluhu o rozměrech 2 500 x 4 000 mm. Zde budou umístěny pracovní plochy pro pracovníky, kteří budou nastavovat činnost dojícího zařízení.



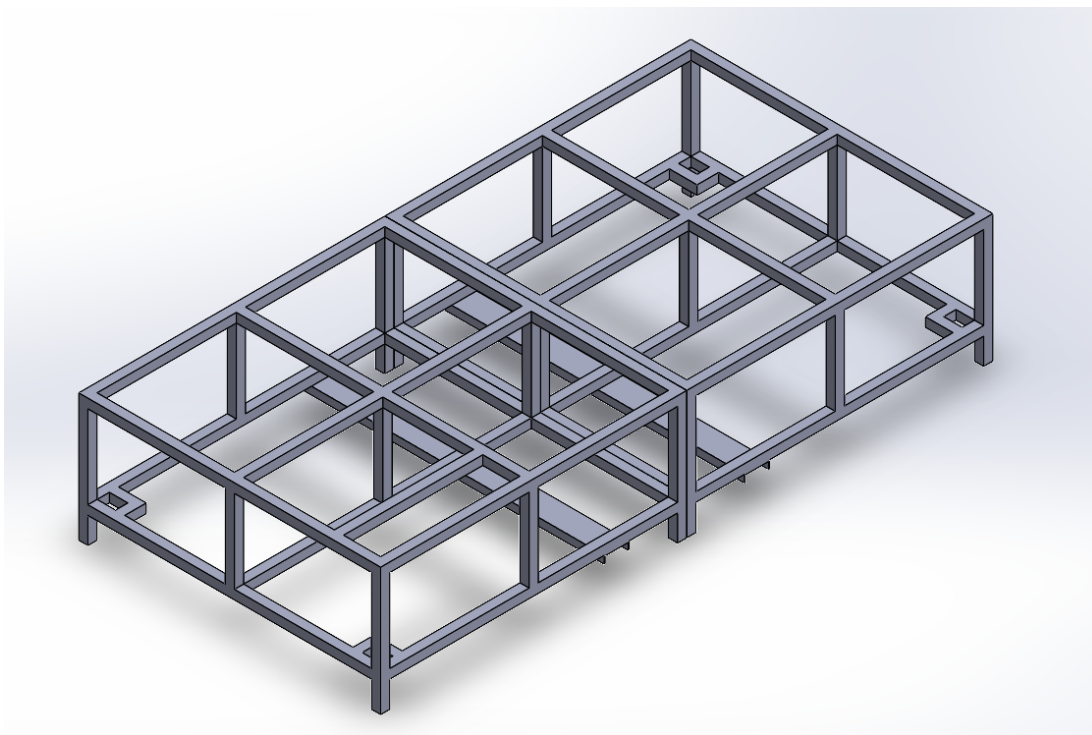
Obrázek 3: Rozvržení místnosti pro umístění robotického zařízení pro dojení



Obrázek 4: 3D model scény

4.2 Tvorba 3D modelů konstrukce pódia.

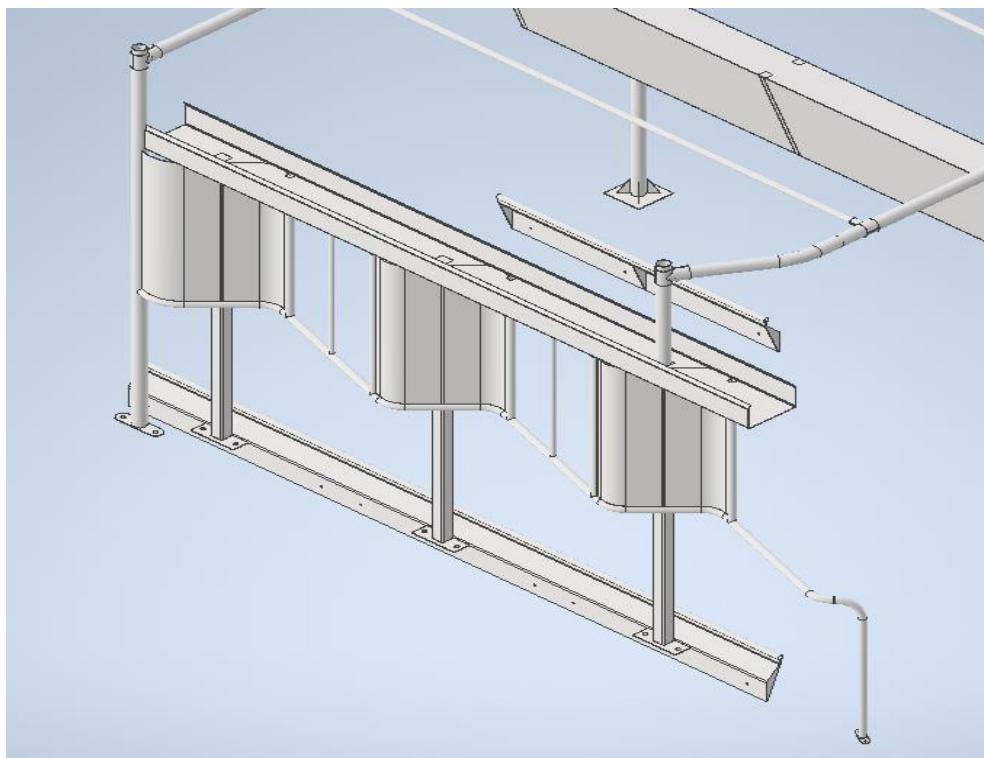
Pódium je kovová sestava určená k instalaci konstrukce dojicích stání. Rozměry pódia jsou 4 000 x 2 000 x 1 000 mm. Konstrukci tvoří ocelové trubky 60 x 60x 6 mm, svařované dohromady ve tvaru rovnoběžnostěnu. Pódium je z vnějšku opláštěno protiskluzovými dřevo-trískovými deskami tloušťky 18 mm. Výška pódia a je nastavená pomocí šroubovacích patek (viz obrázek 5).



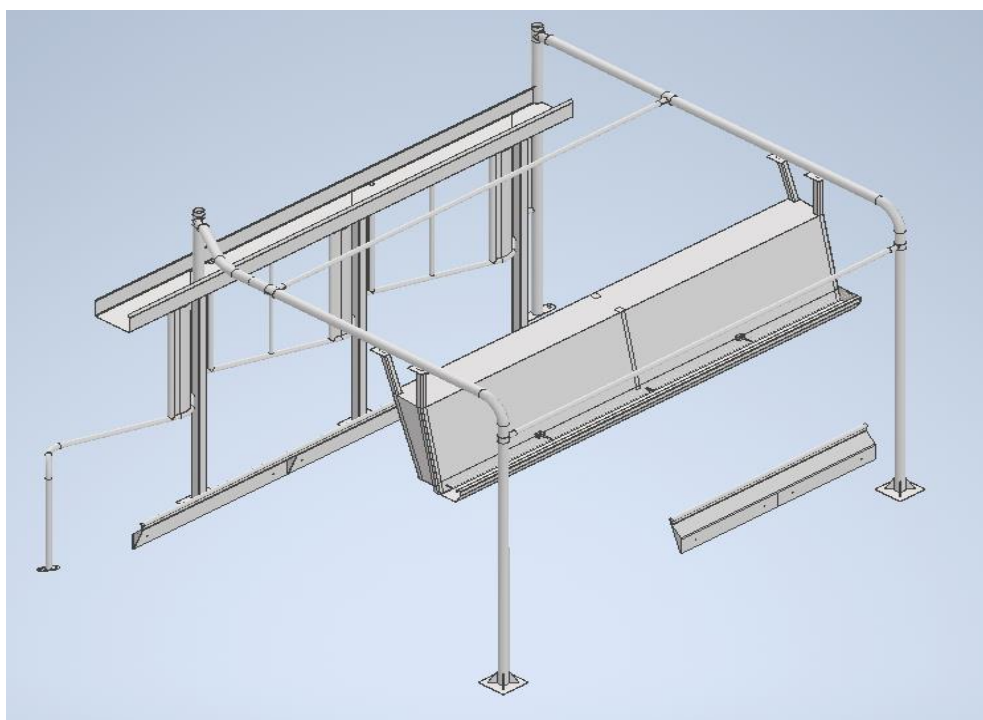
Obrázek 5: 3D model pódia

4.3 Tvorba 3D modelů konstrukce dojicího stání.

Pro realizaci projektu byly vybrány nejběžnější typy dojicích stání – rybinové a paralelní (viz obrázky 6 a 7). Velikost pódia umožňuje umístění tří dojnic.

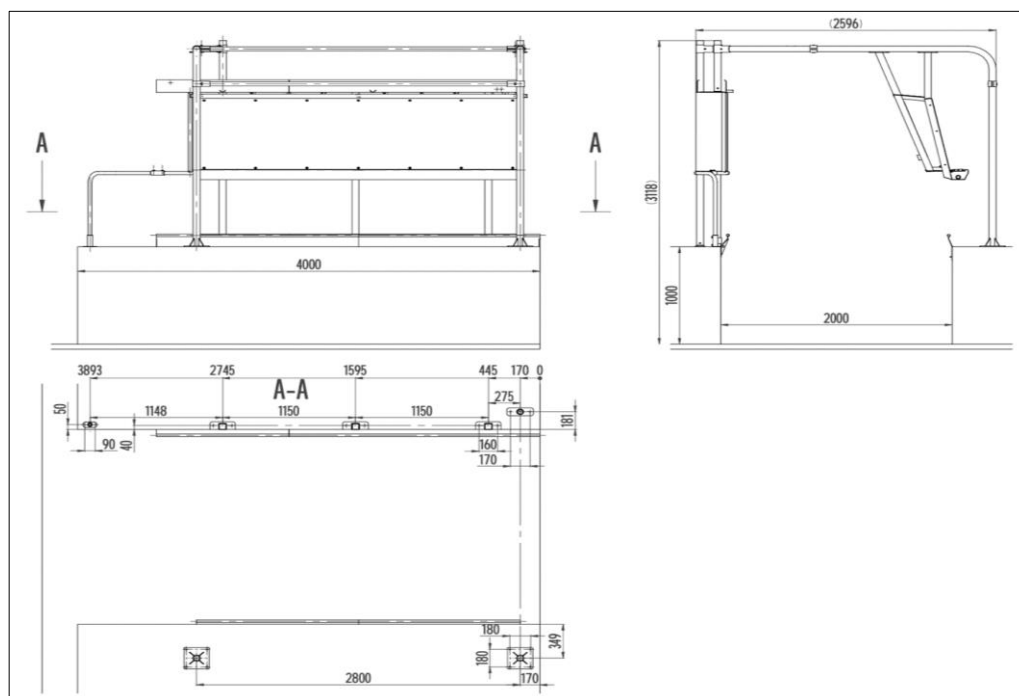


Obrázek 7: 3D model konstrukce rybinového dojícího stání



Obrázek 7: 3D model konstrukce paralelního dojícího stání

Modelování probíhalo pomocí tvorby jednotlivých skic podle výkresu (viz obrázek 8). Model se skládá ze standardních ocelových a nerezových materiálů jako jsou trubky, jekly a plechy.



Obrázek 8: CAD výkres konstrukce dojícího stání

Popis tvorby 3D CAD modelu konstrukce rybinové dojící stání:

- Nosné trubky a jekly byly vytvořené s pomocí funkce vysunutí.
- Ohýbaná trubka, která se nachází uprostřed, byla vytvořená s pomocí funkce tažení.
- Plechy a trubky, které se nachází uprostřed modelu, byly vytvořené s pomocí funkcí vysunutí a pole.
- Ohýbaný plech, který se nachází nahoře, byl vytvořen s pomocí funkce vysunutí.

Popis tvorby 3D CAD modelu konstrukce paralelního dojícího stání:

- Nosné jekly, které drží plechy, byly vytvořeny pomocí funkce vysunutí a pole.
- Nerezové plechy byly vytvořeny pomocí funkce vysunutí.
- Ohýbané plechy a kulatiny byly vytvořeny pomocí funkce vysunutí a pole.
- Nosné trubky byly vytvořeny s pomocí funkce vysunutí, pole a tažení.

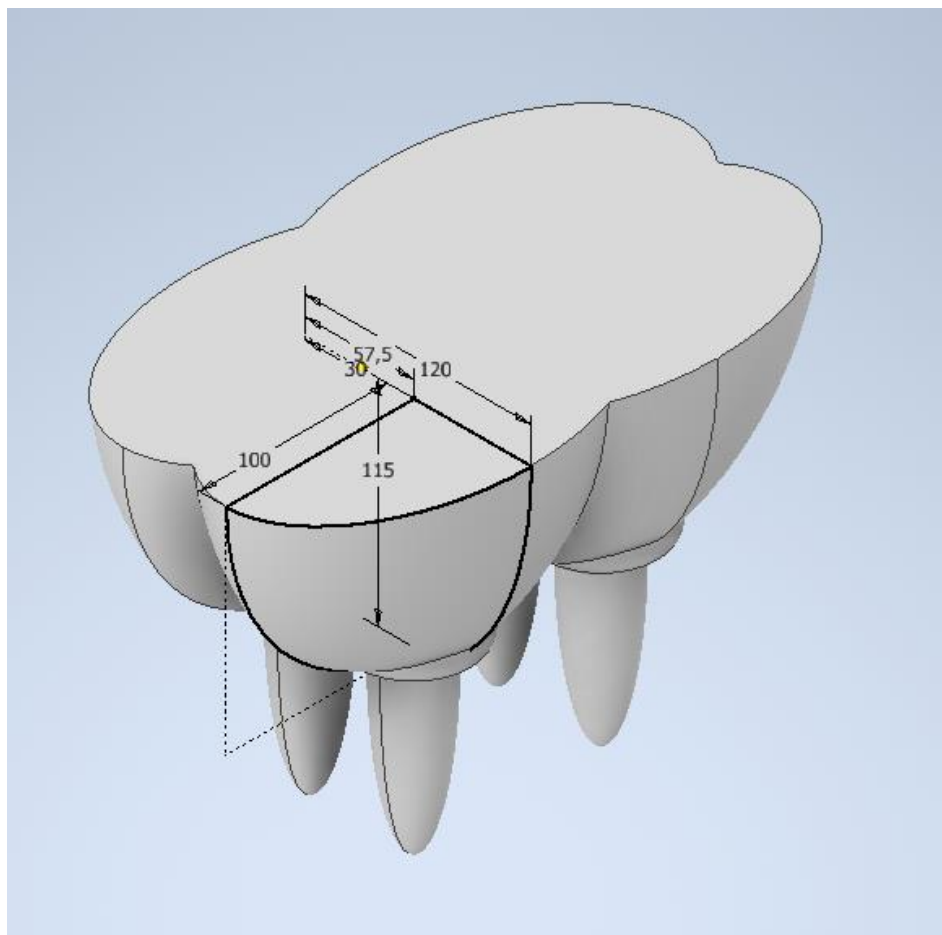
4.4 Tvorba 3D modelů konstrukce vemene.

Konstrukce kravského vemene je sestava, která se skládá z nosné konstrukce a gumového vemena. Nosná konstrukce je součástí, která se skládá z horního prkna a čtyř čtvercových profilů o rozměrech 50 x 50 x 2 mm. Jedná se o jednoduchou konstrukci, která byla vytvořena pomocí funkce *vysunutí*, avšak gumové vemeno má

trochu složitější tvar. Pomocí tři skic, které byly rozmístěné kolmo na sebe, a funkce *šablonování* byla vytvořena čtvrtina horní součásti. Poté byla čtvrtina okopírovaná s pomocí funkce *pole*. Struk byl vytvořen pomocí funkce *rotace* a okopírován pomocí funkce *pole* (viz obrázek 9).

4.5 Tvorba 3D modelů robota a jeho součástí.

Robot a jeho součásti je sestava, která se skládá ze tří menších částí. První sestavou je



Obrázek 9: 3D model vemene

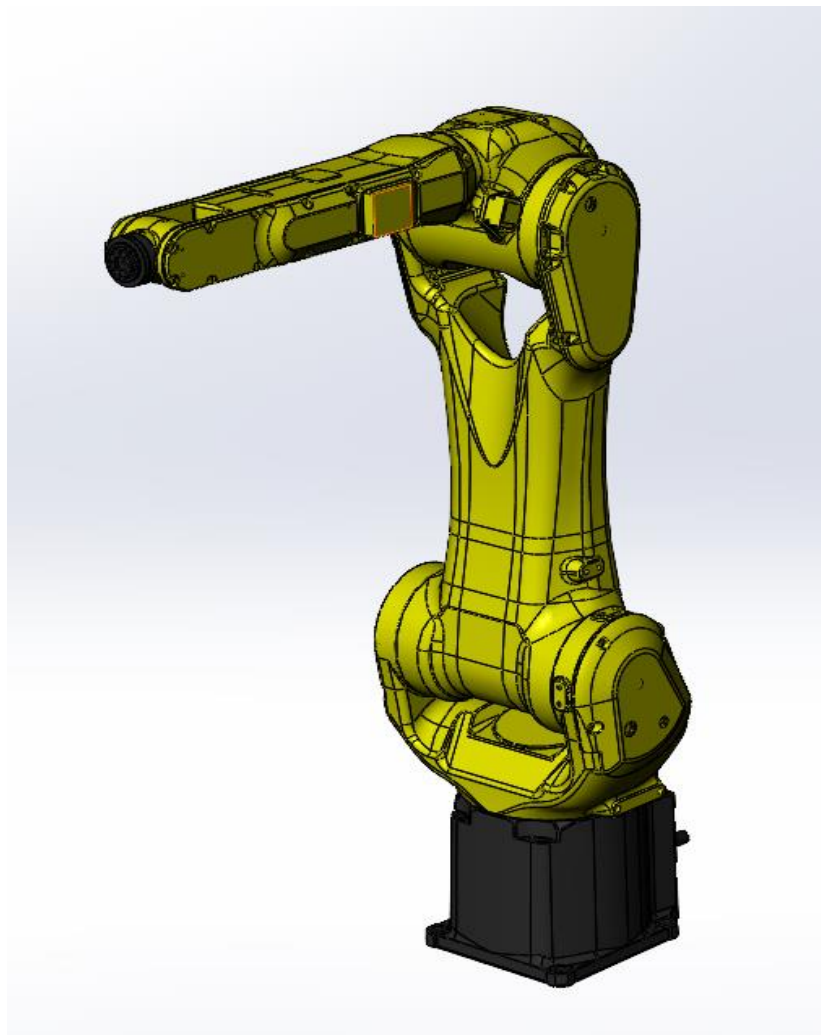
samotný robot, druhou sestavou je pojezdová plocha a třetí je držák kabelů.

4.5.1 Import CAD modelů robota Fanuc M-20iB/25.

Pro potřeby aplikace pro obsluhu dojení ve stávajících zemědělských provozech byl na základě vlastností vybrán typ M-20iB/25. Společnost Fanuc Co., Ltd poskytla CAD model robota. Vzhledem k tomu, že model je sestava, která se skládá ze samostatných částí, je možné přenášet modely vzájemně vůči sobě, čímž napodobují pohyby robota. Pomocí vazeb v softwaru SolidWorks byl sestaven 3D model robota (viz obrázek 10).

4.5.2 Tvorba 3D modelu pojezdové plochy.

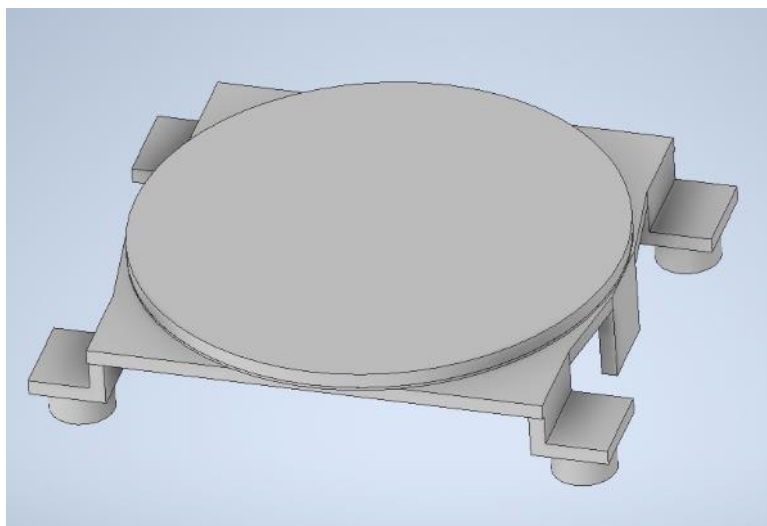
Model pojezdové plochy je sestava, která se skládá ze třech jednotlivých modelů. Jsou



Obrázek 10: 3D model průmyslového robota FANUC

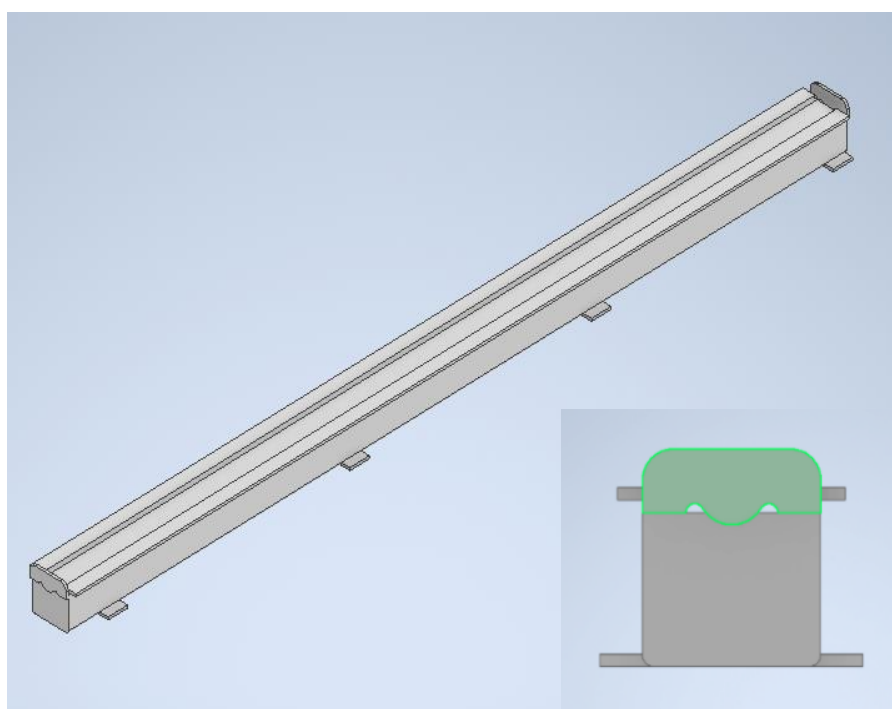
jimi vozík, kolejnice a vzpěra. Vozík je konstrukce z ocelových plechů, která spojuje robota a pojezdovou plochu. Provádí horizontální pohyb robota vzhledem k dojicím stáním. Pomocí náčrtů a funkcí vysunutí byl vytvořen 3D model (viz obrázek 11). Pro zjednodušení 3D modelu a snížení množství práce nebyly vytvořeny otvory pro šrouby a další malé detaily, které by zobrazovaly celkový obraz.

Kolejnice je konstrukce z ocelových plechů. Provádí horizontální pohyb robota vzhledem k dojicím stáním. Pomocí náčrtů a funkcí vysunutí, zrcadlení a pole byl



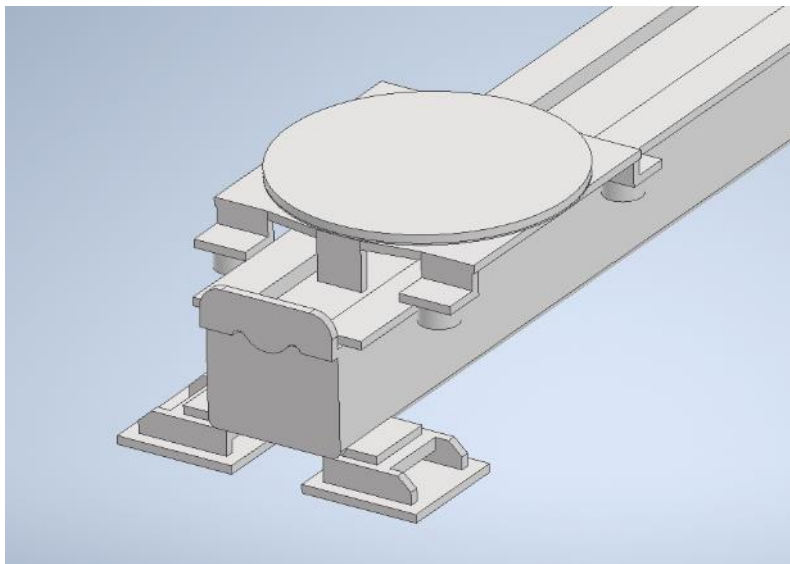
Obrázek 11: 3D model vozíku

vytvořen 3D model (viz obrázek 12). Pro zjednodušení 3D modelu a snížení množství práce nebyly vytvořeny otvory pro šrouby a další malé detaily, které neodrážejí celkový obraz. Ve spodní části byly vytvořeny plechy pro připevnění ke vzpěrám. Vzpěra je konstrukce z ocelových plechů. Spojuje kolejnici a podlahu. Pomocí náčrtů a funkcí vysunutí byl vytvořen 3D model (viz obrázek 12).



Obrázek 12: Model kolejnice a model vzpěry.

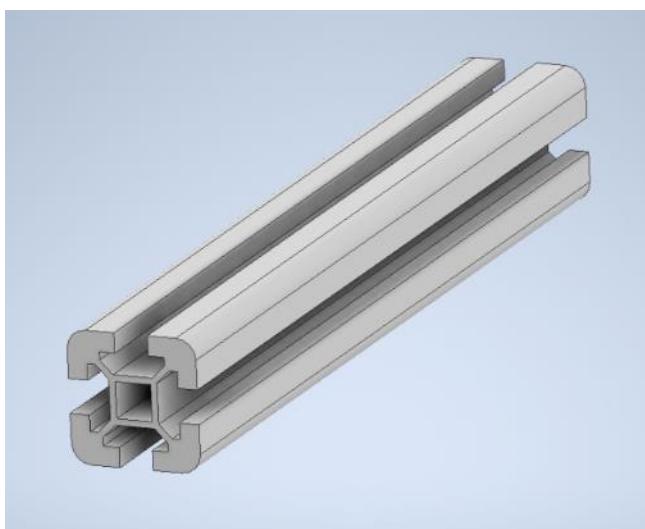
Pomocí obdélníkového pole a funkce zrcadlení v sestavě byl model zkopírován a nastaven podle počtu vzpěr kolejnice. Sestava pojezdové plochy byla udělána pomocí vazeb (viz obrázek 13).



Obrázek 13: 3D model sestavy pojezdová plocha

4.5.3 Tvorba 3D modelu držáku kabelů.

Držák kabelů je konstrukce, která se skládá z hliníkových profilů a plastových dílů. Konstrukce je navržena tak, aby se vodiče při pohybu robota nezamotávaly, aby se zabránilo možnosti poruchy a narušení bezpečnosti. Hliníkové profily o rozměrech 40 x 40 x 2500 mm a 40 x 40 x 270 mm, byli navržené pomoci funkce vysunutí (viz obrázek 14).



Obrázek 14: 3D model hliníkového profilu

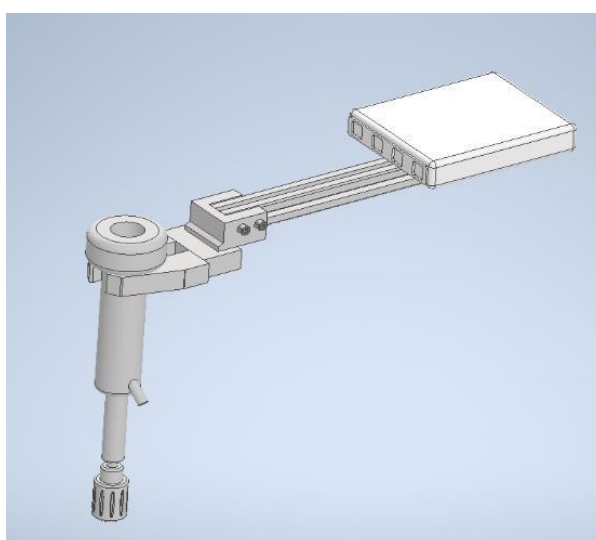
Za pomoci funkce vysunutí a obdélníkového pole, byly vytvořeny 3D modely plastových dílů. Pomocí vazeb byla vytvořena sestava držáku kabelů (viz obrázek 15).



Obrázek 15: 3D model sestavy držáku kabelů

4.6 Tvorba 3D modelů dojícího zařízení.

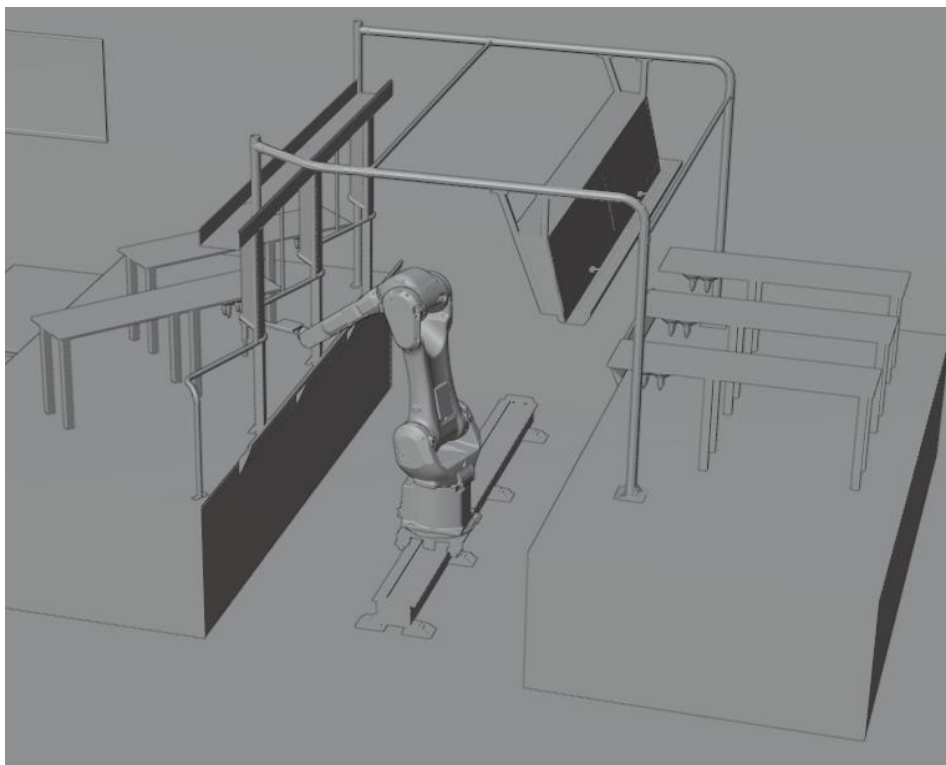
Konstrukce dojícího zařízení je sestava, která se skládá z kamery, hliníkového profilu, plastového držáku, strukové gumy a nerezového pouzdra. Kamera, hliníkový profil a držák jsou jednoduché součásti, které byly vytvořeny pomocí funkce *vysunutí*. Struková guma a nerezová pouzdra jsou součásti, které byly vytvořené pomocí funkce *rotace*. Pomocí *vazeb* byla vytvořena sestava dojícího zařízení (viz obrázek 16).



Obrázek 16: 3D model sestavy dojícího zařízení

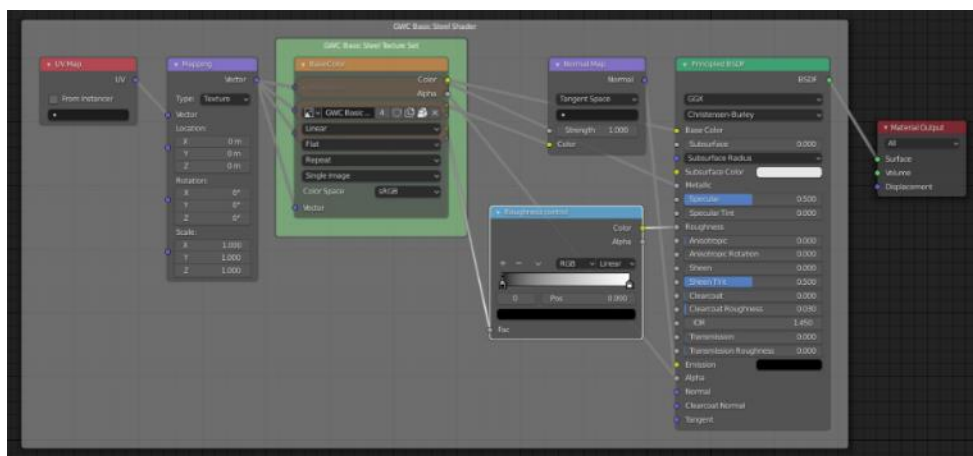
5 Vizualizace modelů

Poté, co byly všechny 3D modely vytvořeny v softwarech SolidWorks a Autodesk Inventor, byly exportovány do formátu STL. Tyto soubory byly importovány do pracovního prostoru softwaru Blender. Pomocí manipulačních nástrojů, jako jsou *přesunout*, *otočit* a *měřítko*, byly všechny objekty sestaveny ve správném pořadí (viz obrázek 17).



Obrázek 17: Umístění všech 3D modelů v pracovním prostoru softwaru Blender

Obrovskou výhodou softwaru Blender, oproti jeho konkurentům, je, že má podporu počítačových nadšenců. Ti neustále aktualizují databázi o bezplatné 3D modely, materiály, textury atd. Standardní materiály jako ocel, beton, sklo, dřevo byly již od počátku přidány do knihovny hotových materiálů. Materiál se skládá z velkého množství nastavení, jako jsou parametry drsnosti, odrazy, barvy, textury atd. (viz obrázek 18). Zbývá jen najít potřebné materiály a změnit je dle potřeby.

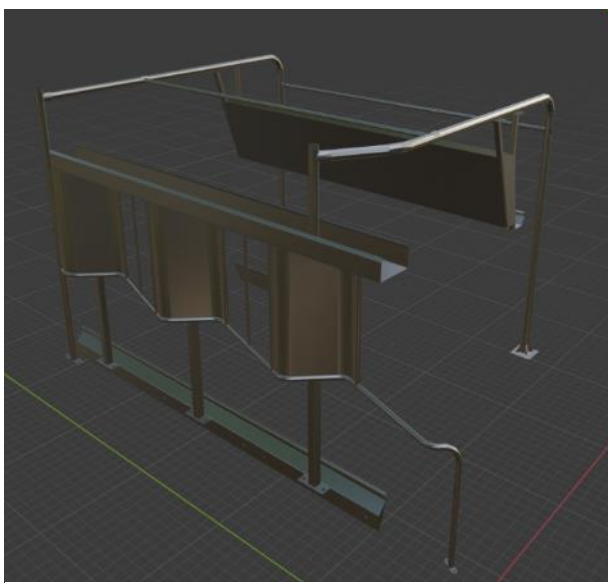


Obrázek 18: Nastavení materiálu – ocel

Dojící stání by měly vypadat jako kovové, nejlépe ocelové konstrukce, takže k nim byla přidána ocel (viz obrázek 19). Podobným způsobem byly k dalším objektům přidány hotové materiály.

Dále byly z knihovny hotových materiálů přidány 3D modely stolů, židlí a počítačů, stejně jako textury a materiály pro ně.

Dalším nejdůležitějším krokem je nastavení osvětlení. Tři 80-wattové osvětlovací objekty byly umístěny nad pódiem a směřovaly pod úhlem 90 stupňů dolů, což simulovalo typické kancelářské osvětlení. Barva osvětlení je bílá. Kamery byly vytvořeny a rozmístěny po celé scéně, aby byly získané různé úhly pohledu.



Obrázek 19: Materiál ocel byl přidán do 3D objektu dojící stání

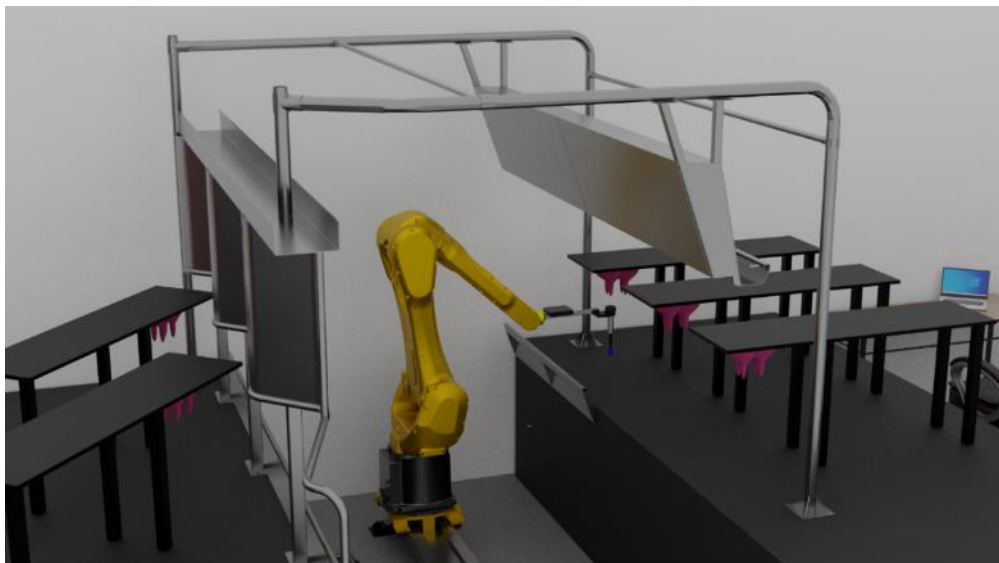
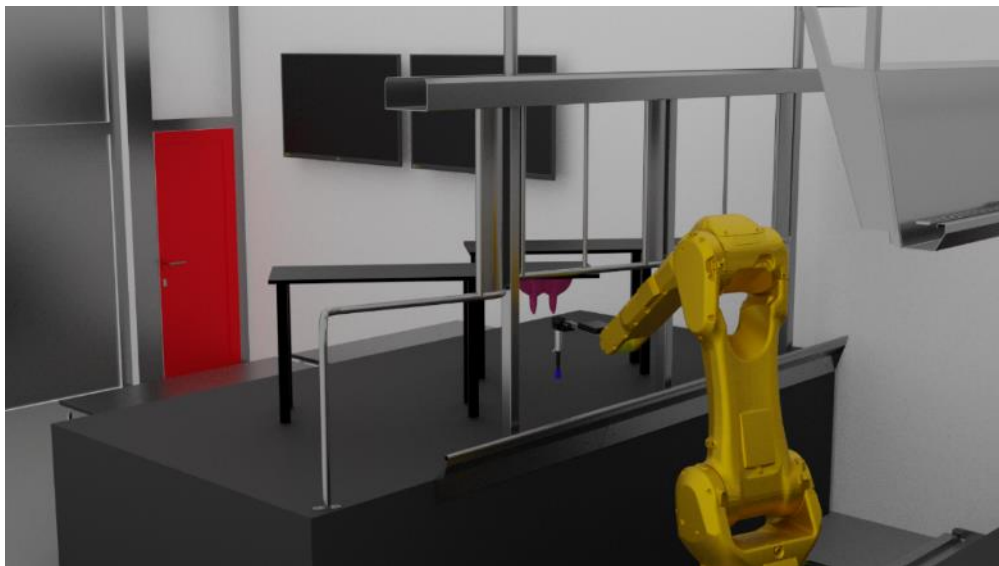
Jelikož se jedná o studentský projekt, bylo pro nastavení vykreslení použito výchozí nastavení renderingu:

- Render Engine – Cycles

Nastavení Sampling jsou:

- Integrator – Path Tracing
- Render – 256
- Viewport – 32

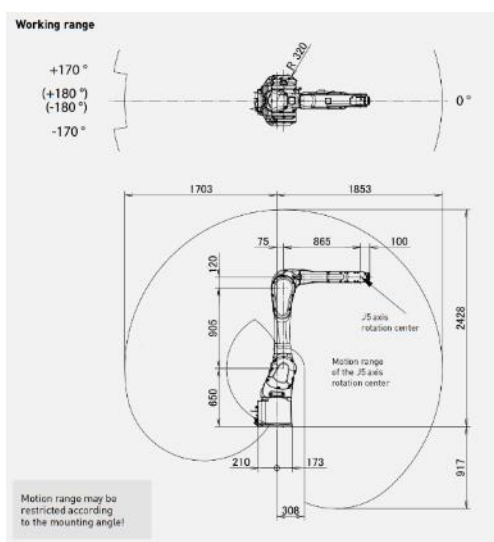
Výsledky renderingu můžete vidět na obrázcích 20:



Obrázek 20: Vizualizace dojicích stání obsluhovaných robotickou rukou

6 Diskuse

Ve strojírenství jsou 3D modely velmi často využívány. Například pro pevnostní analýzy, termické a hydrodynamické analýzy, kinematické studie atd. Výsledky analýzy poskytují ekonomický přínos při výběru materiálů a jejich tloušťky. Dalším závěrem je, že je možné snížit počet chyb a předvídat rizika během fáze návrhu. Například v této práci je použit šestiosý robot (viz obrázek 21), který má omezení v poloměru obvodu a ve skutečnosti, že existují překážky v podobě jiných předmětů, jako jsou pódia a dojírny. Přítomnost všech 3D modelů ve stejném měřítku v jednom pracovním prostoru umožňuje posoudit správnost konstrukčního rozložení a rozměrů.



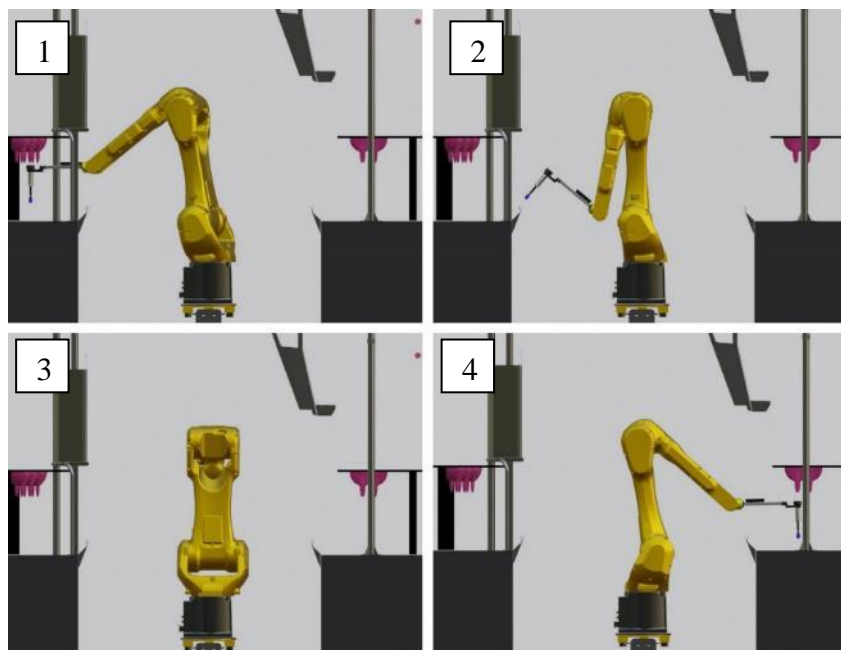
Obrázek 21: Pracovní rozsah průmyslového robota (zdroj: Technický list robota)

Robot se nemůže volně otáčet po nejkratší dráze, protože je narušen dojícími stánými a jinými předměty. Aby se mohl přestěhovat do jiné části dojírny, robot musí nejdříve zaujmout výchozí polohu, tzv. bezpečnou oblast. Obrázky 22 a 23² ukazují pohyby robota z počáteční polohy blízkého levého rohu do pravého vzdáleného rohu.

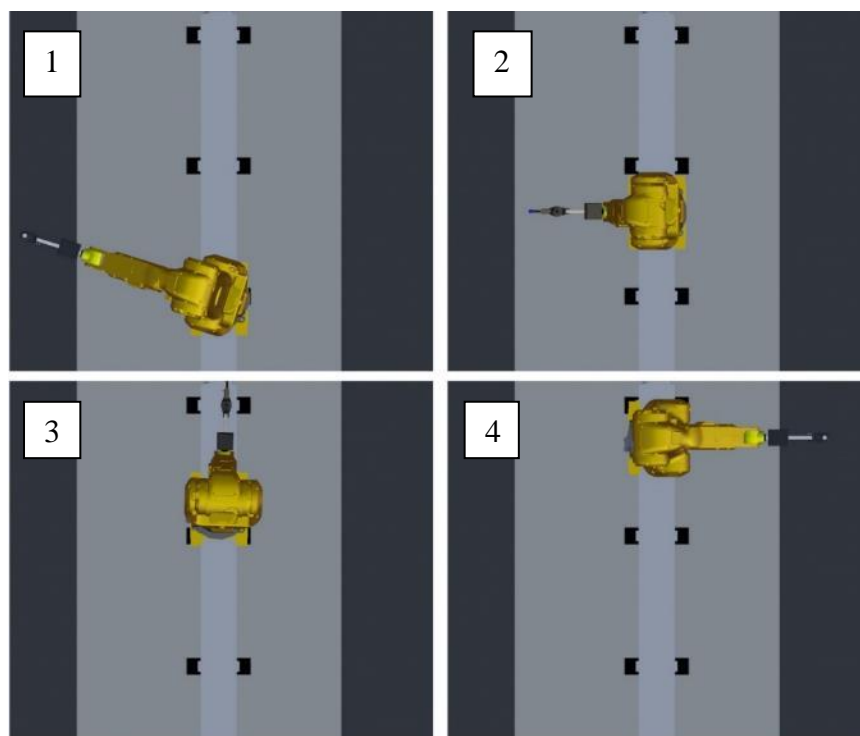
- Pozice 1 – počáteční poloha
- Pozice 2 – bezpečná oblast, pohyb a rotace
- Poloha 3 – bezpečná oblast, pohyb a rotace
- Pozice 4 – koncová poloha

² Dojící stání a vemeny byly na tomto obrázku skryty pro lepší zobrazení.

Na základě výsledků vizualizace můžeme dojít k závěru, že umístění je správné, robot dosáhne na všechny struky vemen. Měla by se také věnovat zvláštní pozornost horizontálnímu programování pohybu robota, protože existuje možnost poškození robota, nástroje nebo konstrukce dojíacího stání. Při programování zóny bezpečného pohybu mohou být 3D modely nezbytné.



Obrázek 22: Analýza pohybu robota, čelní pohled



Obrázek 23: Analýza pohybu robota, pohled shora

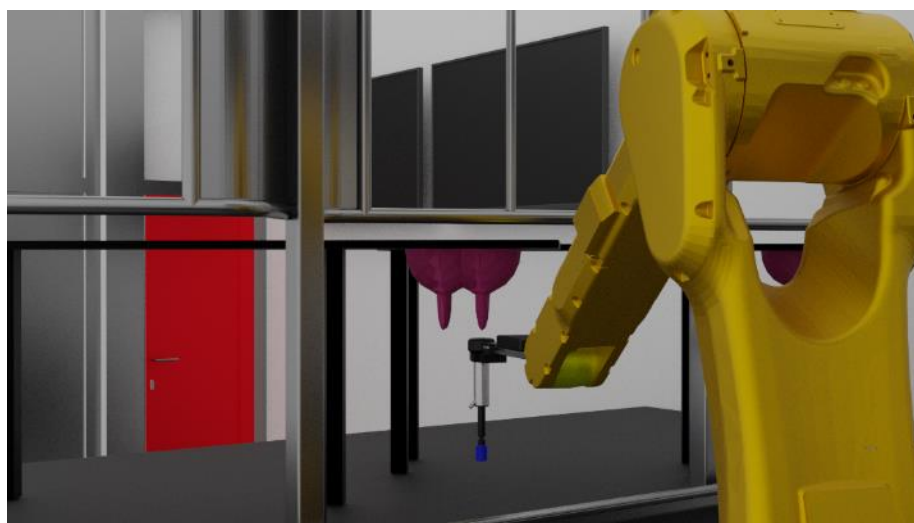
Závěr

Cíle, které byly vymezeny v zadání diplomové práce, byly splněny. Byla zpracována rešerše problematiky robotizace v zemědělství. Hlavní zjištění studie spočívají v tom, že pokrok v elektronice, senzorech a strojovém vývoji umožňuje nová řešení v zemědělství. Bylo představeno několik příkladů uplatnění robotiky v zemědělství, nejzajímavějšími příklady byli roboti používaní ve sklenících.

V programu SolidWorks a Autodesk Inventor byly zpracované modely robota Fanuc M-20iB/25, rybinové a paralelní dojící stání, pódia atd. Takto zobrazené modely byly následně použity ve vizualizaci dojících stání obsluhovaných robotickou rukou (viz. obrázek 24 a 25).



Obrázek 25: Vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou



Obrázek 24: Vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou

Seznam použité literatury

Alenya, G., Dellen, B., & Torras, C. (2011). 3D modelling of leaves from color and ToF data for robotized plant measuring. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 3408-3414). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICRA.2011.5980092>

Bakker, T., van Asselt, K., Bontsema, J., Müller, J., & van Straten, G. (2011). Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field. *Biosystems Engineering*, *109*(4), 357-368. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.001>

Bergerman, M., Maeta, S. M., Zhang, J., Freitas, G. M., Hamner, B., Singh, S., & Kantor, G. (2015). Robot Farmers: Autonomous Orchard Vehicles Help Tree Fruit Production. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, *22*(1), 54-63.

<https://doi.org/10.1109/MRA.2014.2369292>

Bischoff, R., Kurth, J., Schreiber, G., Koeppe, R., Albu-Schaffer, A., Beyer, A., Eiberger, O., Haddadin, S., Stemmer, A., Grunwald, G., & Hirzinger, G. The KUKA-DLR Lightweight Robot arm - a new reference platform for robotics research and manufacturing. In *ISR / ROBOTIK 2010*.

<http://ieeexplore.ieee.org/document/5756872/>

Boothroyd, G. (1994). Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, *26*(7), 505-520. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(94\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0010-4485(94)90082-5)

Davis, S. T., Huang, Y., Gray, J., Berrie, P. G., Davies, E. R., Singh, C. B., Jayas, D. S., Holmes, J. F., Russell, G., Allen, J. K., Lien, T. K., Wang, N., Li, Z., Perrot, N., Baudrit, C., Dochain, D., Hamid, G., Deefholts, B., Reynolds, N., et al. (2013).

Robotics and Automation in the Food Industry. In *Robotics and Automation in the Food Industry: Current and Future Technologies* (p. xi-xiv). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-801-0.50022-0>

Deere.com, (2021). *AutoTrac™*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z:

<https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/auto-trac/>

Dong, J., Carlone, L., Rains, G. C., Coolong, T., & Dellaert, F. (2014). 4D Mapping of Fields using Autonomous Ground and Aerial Vehicles. In *2014 ASABE Annual*

International Meeting (pp. 1-7). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/aim.20141912258>

Dpi.nsw.gov.au, (2021). *National Livestock Identification System*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: <https://www.dpi.nsw.gov.au/animals-and-livestock/nlis>

Foix, S., Alenya, G., & Torras, C. (2011). Lock-in Time-of-Flight (ToF) Cameras: A Survey. *IEEE Sensors Journal*, 11(9), 1917-1926.

<https://doi.org/10.1109/JSEN.2010.2101060>

Grzesiak, A., Becker, R., & Verl, A. (2011). The Bionic Handling Assistant: a success story of additive manufacturing. *Assembly Automation*, 31(4), 329-333.

<https://doi.org/10.1108/01445151111172907>

Hansson, A., & Servin, M. (2010). Semi-autonomous shared control of large-scale manipulator arms. *Control Engineering Practice*, 18(9), 1069-1076.

<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.05.015>

Hayashi, S., Yamamoto, S., Saito, S., Ochiai, Y., Kamata, J., Kurita, M., & Yamamoto, K. (2014). Field Operation of a Movable Strawberry-harvesting Robot using a Travel Platform. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 48(3), 307-316. <https://doi.org/10.6090/jarq.48.307>

Hyfoma.com (2021). *Poultry slaughtering*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: <http://www.hyfoma.com/en/content/food-branches-processing-manufacturing/meat-fish-shrimps/poultry-slaughtering/>

Ifr.org, (2021). *World Robotics 2020 edition*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: <https://ifr.org/free-downloads/>

iso.org, (2021). *25.040.30: Industrial robots. Manipulators*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: <https://www.iso.org/ics/25.040.30/x/>

iso.org, (2021). *ISO 10218-1:2011. Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z:

<https://www.iso.org/standard/51330.html>

iso.org, (2021). *ISO 10218-1:2011. Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z:

<https://www.iso.org/standard/41571.html>

-
- Jin, J., & Tang, L. (2011). Coverage path planning on three-dimensional terrain for arable farming. *Journal of Field Robotics*, 28(3), 424-440.
<https://doi.org/10.1002/rob.20388>
- Jonsson, M., Stolt, A., Robertsson, A., von Gegerfelt, S., & Nilsson, K. (2013). On force control for assembly and deburring of castings. *Production Engineering*, 7(4), 351-360. <https://doi.org/10.1007/s11740-013-0459-1>
- Katupitiya, J., Eaton, R., & Yaqub, T. (2007). Systems Engineering Approach to Agricultural Automation: New Developments. In *2007 1st Annual IEEE Systems Conference* (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SYSTEMS.2007.374688>
- Keyworth, S. (2013). Agriculture Ursula aerial insight. In *IET Seminar on UAVs in the Civilian Airspace* (pp. 9-9). Institution of Engineering and Technology.
<https://doi.org/10.1049/ic.2013.0072>
- Kohanbash, D., Valada, A., & Kantor, G.(2012). Irrigation Control Methods for Wireless Sensor Network. In *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Dallas, Texas. <https://doi.org/10.13031/2013.42113>
- Lacerda, B., Faruq, F., Parker, D., & Hawes, N. (2019). Probabilistic planning with formal performance guarantees for mobile service robots. *The International Journal of Robotics Research*, 38(9), 1098-1123. <https://doi.org/10.1177/0278364919856695>
- Lely.com, (2021). *Lely Astronaut A4 milking system*. [online] [cit. 19.03.2021].
Dostupné z: <https://www.lely.com/solutions/milking/astronaut-a4/>
- Lely.com, (2021). *Lely home page*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z:
<https://www.lely.com/>
- Lely.com, (2021). *Lely juno feeder-pusher*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z:
<https://www.lely.com/solutions/feeding/juno/>
- Lely.com, (2021). *Lely Vector*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z:
<https://www.lely.com/solutions/feeding/vector/>
- Lenain, R., Preynat, J., Thuilot, B., Avanzini, P., & Martinet, P. (2010). Adaptive formation control of a fleet of mobile robots: Application to autonomous field operations. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 1241-1246). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509136>
-

-
- Liu, M. -Y., Tuzel, O., Veeraraghavan, A., Taguchi, Y., Marks, T. K., & Chellappa, R. (2012). Fast object localization and pose estimation in heavy clutter for robotic bin picking. *The International Journal of Robotics Research*, 31(8), 951-973. <https://doi.org/10.1177/0278364911436018>
- Malecki, K. (2009). Vehicle body mounted door seals on a roll. *Adhesion adhesives & sealants*, 6(1), 23-25. <https://doi.org/10.1007/BF03250445>
- Mayekawa.com (2021). *Deboning Machines*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: https://www.mayekawa.com/products/deboning_machines/
- Moreno Masey, R. J., Gray, J. O., Dodd, T. J., & Caldwell, D. G. (2010). Guidelines for the design of low-cost robots for the food industry. *Industrial Robot: An International Journal*, 37(6), 509-517. <https://doi.org/10.1108/01439911011081650>
- Noordam, J. C., Hemming, J., van Heerde, C., Golbach, F., van Soest, R., & Wekking, E. (2005). Automated rose cutting in greenhouses with 3d vision and robotics: analysis of 3d vision techniques for stem detection. *Acta Horticulturae*, (691), 885-892. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.110>
- Nuske, S., Achar, S., Bates, T., Narasimhan, S., & Singh, S. (2011). Yield estimation in vineyards by visual grape detection. In *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 2352-2358). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6095069>
- Pan, Z., Polden, J., Larkin, N., Van Duin, S., & Norrish, J. (2012). Recent progress on programming methods for industrial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(2), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.08.004>
- Poultryhub.org, (2021). *Robotics in the Poultry Industry*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: <http://www.poultryhub.org/production/husbandry-management/housing-environment/robotics-in-the-poultry-industry/>
- Public.harvestai.com (2021). *Harvest automation*. [online] [cit. 19.03.2021]. Dostupné z: <https://www.public.harvestai.com/>
- Rodrigues, J. J., Kim, J. -S., Furukawa, M., Xavier, J., Aguiar, P., & Kanade, T. (2012). 6D pose estimation of textureless shiny objects using random ferns for bin-picking. In *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 3334-3341). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IROS.2012.6385680>
-

-
- Rossi, D., Bertoloni, E., Fenaroli, M., Marciano, F., & Alberti, M. (2013). A multi-criteria ergonomic and performance methodology for evaluating alternatives in “manuable” material handling. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(4), 314-327. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.04.009>
- Roßmann, J., Krahwinkler, P., & Bücken, A. (2009). Mapping and Navigation of Mobile Robots in Natural Environments. In T. Kröger & F. M. Wahl (Eds.), *Advances in Robotics Research* (pp. 43-52). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01213-6_5
- Shah, M., Eastman, R. D., & Hong, T. (2012). An overview of robot-sensor calibration methods for evaluation of perception systems. In *Proceedings of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems - PerMIS '12* (p. 15). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2393091.2393095>
- Shapiro, A., Berenstein, R., Shahar, O. B., & Edan, Y. (2010). Grape clusters and foliage detection algorithms for autonomous selective vineyard sprayer. *Intelligent Service Robotics*, 3(4), 233-243. <https://doi.org/10.1007/s11370-010-0078-z>
- Slaughter, D. C., Giles, D. K., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 63-78. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.008>
- Van evert, F. K., Polder, G., Van Der Heijden, G. W. A. M., Kempenaar, C., & Lotz, L. A. P. (2009). Real-time vision-based detection of *Rumex obtusifolius* in grassland. *Weed Research*, 49(2), 164-174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00682.x>
- Van Evert, F. K., van der Voet, P., van Valkengoed, E., Kooistra, L., & Kempenaar, C. (2012). Satellite-based herbicide rate recommendation for potato haulm killing. *European Journal of Agronomy*, 43, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.05.004>
- Van Henten, E. J. (2006). Greenhouse mechanization: state of the art and future perspective. *Acta Horticulturae*, (710), 55-70. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.710.3>
- Van Henten, E. J., Hemming, J., Van Tuijl, B. A. J., Kornet, J. G., & Bontsema, J. (2003). Collision-free Motion Planning for a Cucumber Picking Robot. *Biosystems Engineering*, 86(2), 135-144. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00133-8](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00133-8)
-

Van Henten, E. J., Van Tuijl, B. A. J., Hoogakker, G. -J., Van Der Weerd, M. J., Hemming, J., Kornet, J. G., & Bontsema, J. (2006). An Autonomous Robot for De-leafing Cucumber Plants grown in a High-wire Cultivation System. *Biosystems Engineering*, 94(3), 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.03.005>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Sbírání a balení párků (New.abb.com, 2021).....	12
Obrázek 2: Robot pro detekci a kontrolu přemnoženého plevelu na pastvinách.	26
Obrázek 3: Rozvržení místnosti pro umístění robotického zařízení pro dojení.....	47
Obrázek 4: 3D model scény	47
Obrázek 5: 3D model pódia	48
Obrázek 6: 3D model konstrukce paralelního dojicího stání.....	49
Obrázek 7: 3D model konstrukce rybinového dojicího stání.....	49
Obrázek 8: CAD výkres konstrukce dojicího stání.....	50
Obrázek 9: 3D model vemene.....	51
Obrázek 10: 3D model průmyslového robota FANUC.....	52
Obrázek 11: 3D model vozíku	53
Obrázek 12: Model kolejnice a model vzpěry.	53
Obrázek 13: 3D model sestavy pojezdová plocha	54
Obrázek 14: 3D model hliníkového profilu	54
Obrázek 15: 3D model sestavy držáku kabelů.....	55
Obrázek 16: 3D model sestavy dojicího zařízení.....	55
Obrázek 17: Umístění všech 3D modelů v pracovním prostoru softwaru Blender ...	56
Obrázek 18: Nastavení materiálu – ocel	57
Obrázek 19: Materiál ocel byl přidán do 3D objektu dojící stání	57
Obrázek 20: Vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou.....	58
Obrázek 21: Pracovní rozsah průmyslového robota (zdroj: Technický list robota) .	59
Obrázek 22: Analýza pohybu robota, čelní pohled.....	60
Obrázek 23: Analýza pohybu robota, pohled shora.....	60
Obrázek 25: Vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou.....	61
Obrázek 24: Vizualizace dojících stání obsluhovaných robotickou rukou.....	61
