



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN AUTONOMNÍHO ROBOTY PRO SKLENÍKY

DESIGN OF AUTONOMOUS ROBOT FOR GREENHOUSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Renata Křivková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

akad. soch. Josef Sládek, ArtD.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování
Studentka: **Bc. Renata Křivková**
Studijní program: Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **akad. soch. Josef Sládek, ArtD.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Design autonomního robota pro skleníky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zemědělské roboty představují dynamicky se rozvíjející směr v oblasti setby, sklizně, pleť i zpracování půdy. Tyto stroje jsou schopny pomocí kamerového systému, GPS a umělé inteligence identifikovat škůdce a nemoci rostlin na polích a ve velkých sklenících, mohou také pomocí robotických ramen přesouvat, zastříhovat, hnojit a zavlažovat rostliny nebo odstraňovat plevel laserem. Začínají být využívány na malých a středních farmách.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem je navrhnout design autonomního robota pro sledování rostlin a jejich následné ošetření ve sklenících. Návrh je zaměřen na čtyřkolovou koncepci s vícefunkčním potenciálem (vyměnitelnými nástroji) pro hydroponické vertikální pěstování.

Dílní cíle diplomové práce:

- definovat hlavní parametry (funkce, pohon, výkon, bezpečnost),
- identifikovat hlavní designérské přístupy a charakteristické prvky autonomních zemědělských robotů,
- prokázat funkčnost, ergonomičnost a vyrobiteľnost návrhu,
- navrhnout barevnost, ovládací a grafické prvky v souladu s funkcí stroje,
- realizovat fyzický model ve zmenšeném měřítku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/magisterske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William. a Gerry. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

THOMPSON, Rob. a Young Yun. KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. c2012. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architektky a designéry. Praha: Happy Materials. ISBN 978-80-260-0538-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je návrh konceptu autonomního robota pro skleníky, zaměřující ho se na analýzu a ošetření plodin formou postřiku agrochemikáliemi. Koncepční návrh je reakcí na aktuální vývoj hydroponických vertikálních skleníků, kteří využívají autonomní řešení pro ošetření plodin. Plodiny pěstované ve vertikálních hydroponických skleních jsou pod kontrolou systému robota, který predikuje objem úrody, varuje před napadením plodin a následně ošetřuje napadané plodiny. Díky tomuto systému dochází k novým poznatkům tohoto druhu pěstování a zlepšování celého systému pro budoucí generace. Práce má za cíl vytvořit zcela autonomní řešení robota pro skleníky, který bude potřebovat minimální zásah člověka. Důraz je kladen na modularitu, estetiku, efektivitu práce robota, na snížení nákladů a na snadné konstrukční řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

skleník, hydroponický vertikální skleník, pěstování, analýza plodin, ošetření plodin, postřik plodin, autonomní robot

ABSTRACT

The topic of this diploma thesis is the conceptual design of an autonomous robot for greenhouses, focused on crop analysis and treatment through the spraying of agrochemicals. The concept responds to the current development of vertical hydroponic greenhouses, which increasingly adopt autonomous solutions for crop care. Crops grown in vertical hydroponic greenhouses are monitored and managed by a robotic system that predicts harvest volume, detects signs of pest infestation, and treats affected plants accordingly. This system contributes to new insights in this method of cultivation and helps improve the overall growing process for future generations. The aim of the thesis is to create a fully autonomous greenhouse robot that requires minimal human intervention. Emphasis is placed on modularity, aesthetics, work efficiency, cost reduction, and simple yet effective construction.

KEYWORDS

greenhouse, vertical hydroponic greenhouse, cultivation, crop analysis, crop treatment, crop spraying, autonomous robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘIVKOVÁ, Renata. *Design autonomního robota pro skleníky*. Online, diplomová práce. Josef SLÁDEK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165781>. [cit. 2025-05-22].

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce akad. soch. Josefu Sládkovi, ArtD. za přínosné designérské konzultace, dále patří poděkování Ing. Evě Fridrichové, Ph.D. za věcné připomínky, věnovaný čas mé práci a dotažení práce po všech stránkách. Velké poděkování patří firmě FraveBot, která mi ochotně poskytla všechny potřebná data pro zpracování práce a za konzultace koncepčního řešení. Z konstrukčního a technického hlediska patří poděkování panu Ing. Pavlu Čípkovi, Ph.D. a panu Ing. Petru Krivohlavému, který vždy ochotně pomohl s tvorbou fyzického modelu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením akad. soch. Josefa Sládka, ArtD. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....
Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	16
2.1	Rešeršní metody	16
2.1.1	Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů	16
2.1.2	Použité sekundární informační zdroje	17
2.1.3	Rešeršní požadavek a rešeršní strategie	17
2.1.4	Výběr relevantních informačních pramenů	18
2.1.5	Užité metody zpracování dat	18
2.1.6	Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů	19
2.2	Rešerše na stav techniky	20
2.2.1	Motivace	20
2.2.2	Skleník pro vertikální hydroponické systémy	21
2.2.3	Typy robotů	25
2.2.4	Analýza odborných článků	26
2.3	Designérská analýza	28
2.3.1	Koncepty	40
2.3.2	Typičtí zástupci	41
2.4	Technická analýza	43
2.4.1	Platforma	44
2.4.2	Analýza plodin	47
2.4.3	Automatizovaný postřik plodin	51
2.4.4	Dávkování postřiku rostlin	52
2.4.5	Nádrž pro postřik rostlin	54
2.4.6	Druh agrochemikálií	56
2.4.7	Možnosti rozšíření robota	57
2.5	Legislativní omezení a studie	58
2.6	Ergonomie	60
2.7	Dotazníkové šetření	60
2.8	Shrnutí hlavních řešení	61
2.9	Identifikace novosti a příležitostí	62
3	CÍLE PRÁCE	64
3.1	Vymezení problému	64
3.1.1	Název a druh produktu	64

3.1.2	Specifikace zákazníka	64
3.1.3	Specifikace spotřebitele	65
3.1.4	Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií	66
3.1.5	Vymezení atributů a cílů produktu	67
3.2	Cíle vývoje	69
3.2.1	Globální cíl	69
3.2.2	Dílčí cíle	69
4	KONCEPČNÍ NÁVRH	70
4.1	Analýza cílů a specifikace omezení	70
4.2	Technická funkční analýza	70
4.2.1	Specifikace vnitřních komponent	72
4.3	Návrh alternativních variantních řešení	74
4.3.1	Varianta I	74
4.3.2	Varianta II	76
4.3.3	Varianta III	79
4.4	Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího	81
4.4.1	Zhodnocení variant	81
5	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH	82
5.1	Určení tvarů, rozměrů a materiálů	82
5.1.1	Tvarování	82
5.1.2	Rozměry	84
5.1.3	Materiály	85
5.2	Řešení servisní stanice	86
5.3	Odhad výrobních nákladů	87
5.3.1	Odhad ceny	87
5.3.2	Porovnání ceny modulů namísto dvou samostatných robotů	89
5.4	Matematický model	89
5.4.1	Ověření stability robota	89
5.4.2	Výdrž baterie robota	90
5.4.3	Množství opracovaných řádků	90
6	DETAILNÍ NÁVRH	92
6.1	Tvarové řešení	92
6.1.1	Inspirace	92
6.1.2	Celkový design	93
6.1.3	Modul pro analýzu	96

6.1.4	Modul pro postřik	99
6.2	Konstrukčně technologické řešení	103
6.2.1	Rozměrové řešení	103
6.2.2	Vnitřní komponenty	105
6.2.3	Schéma práce robota	105
6.2.4	Osvětlení, senzory pro pohyb	106
6.2.5	Ovládací prvky	109
6.2.6	Nabíjení robota	110
6.2.7	Prívod agrochemikálií	112
6.2.8	Elektronické propojení modulů s platformou	114
6.2.9	Upínací mechanismus	116
6.3	Ergonomické řešení	117
6.3.1	Schéma kamer pro analýzu plodin a rozptyl postřiku plodin	118
6.4	Použité materiály a technologie	123
6.5	Barevné a grafické řešení	125
6.5.1	Logotyp	125
6.5.2	Barevné řešení produktu	126
6.5.3	Aplikace	127
6.6	Udržitelnost produktu	129
6.7	Hodnocení klíčových parametrů	129
7	ZÁVĚR	131
8	VÝSLEDEK VÝZKUMU DLE RIV	132
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	133
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	138
10.1	Příklady použitých fyzikálních veličin	138
11	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	140
12	SEZNAM TABULEK	145
13	SEZNAM PŘÍLOH	145
14	PŘÍLOHY	147

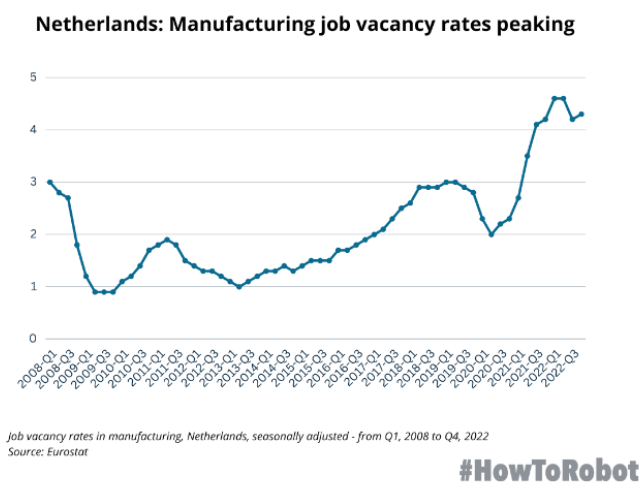
1 ÚVOD

Zemědělství se proměňuje a hledá nové cesty, jak zefektivnit práci, jak přistupovat k práci udržitelně a snížit celkové náklady. Stále se zrychlující tempo technologického pokroku vede k transformaci tradičního zemědělství do moderní, plně automatizované sféry. Tento posun již není pouhým futuristickým konceptem, ale stává se v dnešní době hmatatelnou realitou, která mění způsob, jakým se naše potraviny produkují. Zemědělci a odborníci v oblasti zemědělství se stále častěji obrací k robotům jakožto klíčovému nástroji pro zvýšení efektivity, snížení nákladů na pracovní sílu a zlepšení udržitelnosti zemědělských postupů. Tento posun v zemědělském průmyslu je řízen několika klíčovými faktory, které transformují tradiční zemědělské metody.

Prvním faktorem je nedostatek pracovních sil, který postihuje zemědělské odvětví po celém světě. Tradiční zemědělství často spoléhá na manuální práci, která může být fyzicky náročná a podléhat sezónnímu nedostatku pracovních sil. Roboti vstupují na scénu s cílem zaplnit tyto mezery a zajistit, že základní úkoly, jako je sklizeň nebo péče o plodiny, mohou být dokončeny bez ohledu na dostupnost lidské pracovní síly. Druhým klíčovým faktorem je potřeba precizního zemědělství. Moderní zemědělství vyžaduje přesnost v každé fázi, od výsadby až po sklizeň. Roboti vynikají v precizních úkolech a zajišťují, že plodiny jsou zasazeny v optimální hloubce, rozestupech a načasování, což vede k vyšším výnosům a lepšímu využití zdrojů. Dalším důležitým faktorem je snižování dopadů na životní prostředí. Automatizace v zemědělství umožňuje přesnou aplikaci hnojiv, pesticidů a herbicidů, což snižuje celkové používání těchto chemikálií a minimalizuje škody na životním prostředí. Například robotické odplevelovače se zaměřují na jednotlivé plevele, čímž se snižuje potřeba širokospektrálních herbicidů. Zemědělství řízené daty je dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje využití robotů v zemědělství. Zemědělské roboti jsou vybaveny pokročilými senzory a kamerami, které shromažďují obrovské množství dat o zdraví plodin, půdních podmínkách a vzorcích počasí. Tato data pomáhají zemědělcům činit informovaná rozhodnutí o zavlažování, hnojení a kontrole škůdců, což v konečném důsledku zlepšuje výnosy plodin a efektivitu zdrojů. [1]

Dalšími faktory, které ovlivňují přechod k robotizaci v zemědělství, jsou škálování operací, bezpečnost, konzistence a nepřetržitý provoz. Tyto faktory poskytují zemědělcům nové možnosti a přístupy k efektivnější a udržitelnější produkci potravin. Tato rešerše se zaměřuje na prozkoumání a zhodnocení těchto faktorů a jejich dopadu na design a implementaci robotů v zemědělských operacích, s cílem identifikovat klíčové trendy a možnosti v této dynamické oblasti. [2]

V současné době je trend automatizace v průmyslu a zemědělství nepřehlédnutelný. Podle Thijsse Dorsserse, odborníka na robotiku, je rostoucí potřeba automatizace patrná nejen v Nizozemsku, ale i v globálním měřítku [3]. Nizozemsko, již dlouhodobě považované za předního hráče v oblasti automatizace, se umístilo na 13. místě celosvětově podle hustoty robotů v průmyslu, s 224 roboty na 10 000 pracovníků. Tento fakt podtrhuje potenciál dalšího rozvoje automatizace, zejména v odvětvích jako je zemědělství.



Obr. 1-1 Míra volných pracovních míst

Roboti pro zemědělství se dělí do dvou základních kategorií: harvestery a průzkumníci (typ scout). Harvestery jsou navrženy k autonomní sklizni plodin nebo jiných plodin z pole či zahrady, často jsou vybaveny senzory pro identifikaci a třídění plodin podle zralosti a kvality. [4] Průzkumníci (scouti) monitorují a sbírají data o stavu a podmínkách na polích pomocí různých senzorů pro měření vlhkosti půdy, teploty, pH a dalších parametrů, čímž umožňují efektivnější péči o plodiny a detekci problémů. Tyto typy robotů nabízejí inovativní přístupy k modernizaci zemědělství, což je demonstrováno v současných výzkumech a tržních analýzách zabývajících se tímto tématem. [5]

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Obsahem kapitoly jsou specifikované používané analyzační metody a definované poznatky, které z těchto metod vycházely.

2.1 Rešeršní metody

V následujících kapitolách je obsažen proces získávání potřebných informací pro vytvoření koncepčního návrhu.

2.1.1 Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů

Podstatnou částí před započítáním vyhledávání zdrojů bylo potřeba si vymezení konkrétní formulace a analýzy rešeršního požadavku. Pro vyhledávání byla definována klíčová slova a slovní spojení jako: Robot; Design; Robot farmář/ Farming robot; Autonomnost /Autonomy ; Modularita /Modularity; Technologie /Technology; Ovládání, řízení / Control, management; Skleníkové zahradnictví / Greenhouse farming; Smart farming; Hydroponie /Hydroponics; Vertikální pěstování / Vertical farming; Baterie / Battery, Analýza /Analysis ; Postřik, dávkování/ Spraying, dosing.

Pomocí klíčových slov jako "Robot" nebo "Design", "Robot farmář" atd. na webových stránkách (např. Google Scholar) byl nalezen rozsáhlý přehled relevantních informací. Počet dostupných článků, studií a dalších informací je vysoký, přičemž každé z těchto klíčových slov otevírá širokou škálu témat souvisejících s vývojem a využitím robotů v zemědělství a technologiích spojených s tímto odvětvím. Získané informace by mohly zahrnovat pokroky v oblasti autonomních systémů, inovativní technologie pro smart farming, analýzy trhu a bateriových řešení nebo nové metody a postupy využívané v hydroponii, vertikálním pěstování a aplikacích postřiků a dávkování v zemědělství.

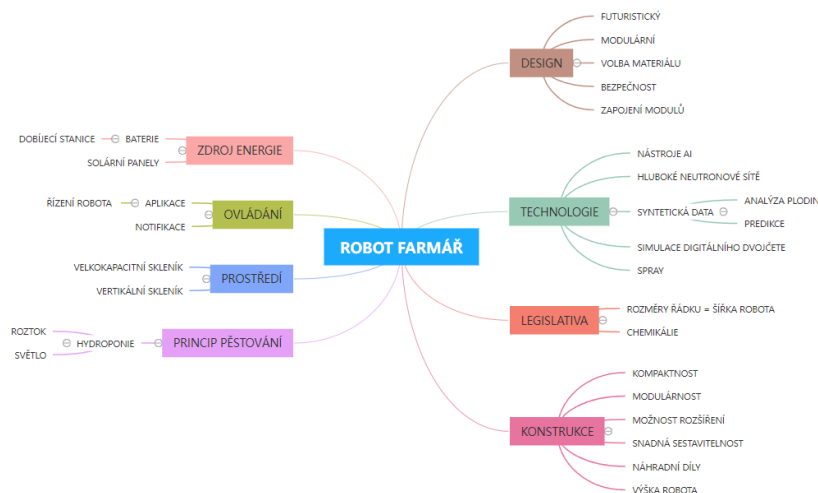
Následoval výběr vhodných primárních a sekundárních zdrojů. Nejrelevantnějšími druhy zdrojů byly zvoleny odborné články, tištěné i elektronické knihy, patenty, webové stránky existujících výrobců, studie a informace z praxe od uživatelů a výrobců. Kritériem pro výběr vhodných zdrojů se stala konkretizace a specifikace tématu, tudíž nejdříve došlo k objemné rešerši na základě které bylo definováno konkrétní zaměření tématu, díky čemuž bylo odstraněno množství zdrojů. Jedná se o technologii, která se aktuálně rozvíjí a začíná se častěji objevovat i u dalších zařízení, proto byly využity zdroje, které technologii aktuálně aktivně využívají a může být tak ověřena a definována studii.

2.1.2 Použité sekundární informační zdroje

Bibliografické databáze jako VUT Primo, Google Scholar a Google Patents byly definovány jako hlavní způsob, jak vyhledávat odborné články, knihy a studie. Dalším zdrojem se staly hlavně webové stránky existujících výrobků, které reprezentovaly vizuální a technickou stránku produktu. Nejpodstatnějším zdrojem se stala firma FraveBot s.r.o, která pracuje s roboty na Farmě Ráječek a díky jejich zkušenostem s pěstováním a vývojem robotů bylo zjištěno nejvíce přínosných informací o přístupu ke konstrukci, technologickým i farmářským požadavkům. Navázání na firmu FraveBot umožnilo vhléd i do aktuálních studií o výzkumu přesného postřiku agrochemikáliemi a jeho vývojem. Díky napojení na softwarové řešení robota došlo i k poznatkům ohledně samotného směru dat a jejich vyhodnocování.

2.1.3 Rešeršní požadavek a rešeršní strategie

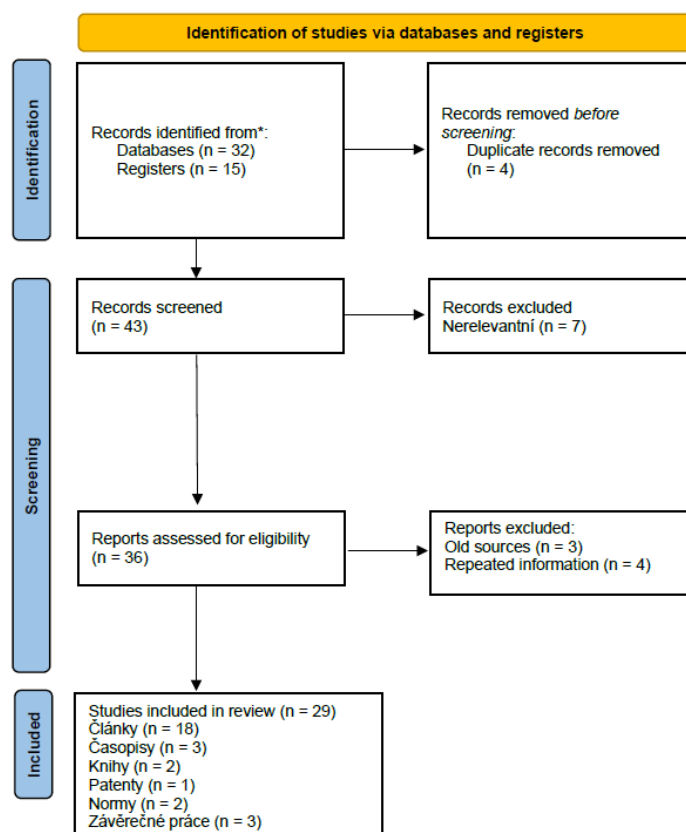
Strategie stavebních kamenů a rostoucí perly byla využita pro vyhledávání informačních pramenů. Strategie stavebních kamenů a rostoucích perel je systematickým přístupem k vyhledávání informačních pramenů, který kombinuje identifikaci klíčových témat, systematické vyhledávání informací, analýzu a hodnocení nalezených zdrojů a nakonec syntézu a interpretaci výsledků. Tento postup zajišťuje efektivní a komplexní rešeršní analýzu, která poskytuje relevantní a kvalitní informace k podpoře zkoumaného tématu. Pro konkrétní specifikaci byla vyhledávána podtémata: Zdroj energie, Ovládání, Prostředí, Princip pěstování, Design, Technologie, aj.



Obr. 2-1 PRISMA diagram

2.1.4 Výběr relevantních informačních pramenů

Celkový počet zdrojů, který odpovídal specifikované tématu byl 43. Z bibliografických databází se jednalo o 32 zdrojů a 15 zdrojů jako webové stránky aj. Následně byly odstraněny duplikované zdroje, čímž byl snížen počet na 39. Následovalo vyřazení nerelevantních zdrojů, těch bylo 7. Jednalo se o zdroje, které se zaměřovaly hlavně na detailní fungování umělé inteligence v robotice, detailní proces vertikálního pěstování, nebo se jednalo o totožné informace.



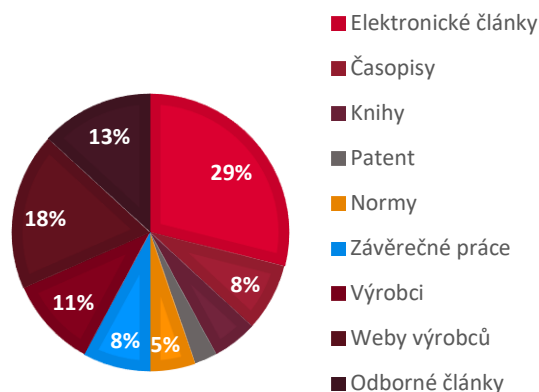
Obr. 2-2 Výběr zdrojů

2.1.5 Užití metody zpracování dat

Nalezené zdroje byly ukládány do citačního manažeru Citace PRO a Mendeley, kde byly zdroje systematicky rozděleny dle tématu a typu zdroje. Na knihy, články, časopisy, weby, studie, patenty a legislativní omezení. Prameny obsahovaly aktuální stav zemědělství ve světě, nedostatek pracovních sil, principy, technologie, rozměrová omezení a pěstovací omezení.

2.1.6 Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů

Z celkového počtu bylo vybráno 29 zdrojů, které jsou užitečné pro zpracování diplomové práce. Pro přehled vybraných typů zdrojů byl zpracován koláčový graf, na něm je viditelné, že nejvíce informací lze čerpat z elektronických článků a informací od výrobců – formou webu nebo veletrhů, dále také z časopisů a závěrečných prací. Dle grafu bylo nejvíce čerpáno z článků, které se na toto téma čteně objevují, jelikož se jedná o rozvíjející oblast v zemědělském průmyslu. Nejvíce ověřených dat bylo možné čerpat z webů výrobců, které byly využity do designérské a technické analýzy. Odborné články (13 %) byly použity hlavně pro technickou analýzu, kdy bylo specifikováno technologické využití jednotlivých částí robota. Setkali jsme se s články specifikující funkci postřiku rostlin, naváděcích systému nebo autonomnosti robotů v rámci skleníku. Dále bylo čerpáno z webů výrobců a jejich poskytnutých informací v rámci osobních schůzek nebo veletrhů. Hlavní byly informace o konstrukci, jednotlivých funkčních částí a řešení designu. V závěru má nejnižší podíl zastoupení čerpání informací z norem, patentů, časopisů a knih. V současné době se na trhu objevují nižší počet těchto zdrojů, avšak nejvíce přínosná byla jedna uvedená norma, která shrnuje různé konstrukční požadavky.

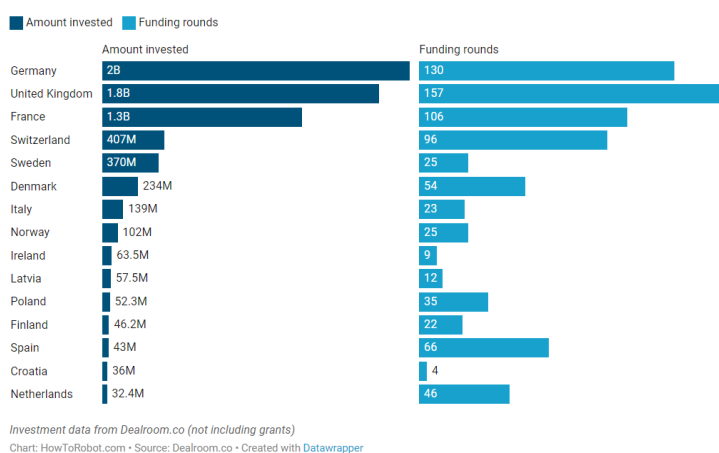


Obr. 2-3 Vybrané zdroje

2.2 Rešerše na stav techniky

2.2.1 Motivace

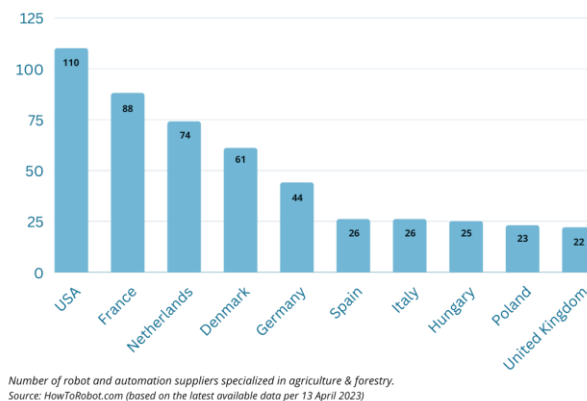
V posledních letech investice do robotizace zemědělství rostou, přičemž jednotlivé země se liší jak celkovou výší investic, tak počtem uskutečněných investičních fází. Největšími investory v Evropě jsou Německo (2 miliardy eur, 130 investičních fází), Velká Británie (1,8 miliardy eur, 157 fází) a Francie (1,3 miliardy eur, 106 fází). Významnými hráči jsou také Švýcarsko a Švédsko, které investují stovky milionů eur. Některé země, například Španělsko nebo Polsko, mají nižší investice, ale stále zaznamenávají desítky investičních fází, což naznačuje rostoucí zájem o tuto oblast. [3]



Obr. 2-4 Investice do zemědělství dle zemí [3]

Z globálního hlediska se na poli robotizace zemědělství angažují nejen evropské státy, ale i USA, které se 110 investičními fázemi dominují trhu. Kromě Francie a Nizozemska, které se umístily vysoko i v evropském srovnání, se mezi aktivní země řadí také Dánsko a Německo. Mezi státy s menší investiční aktivitou, avšak stále rostoucím zájmem o automatizaci zemědělství, patří Španělsko, Itálie, Maďarsko a Polsko. Celkově lze pozorovat trend směřující k většímu využití robotických technologií, které přispívají ke zvýšení efektivity a udržitelnosti zemědělské produkce.

Agriculture automation: Top 10 countries with most suppliers



#HowToRobot

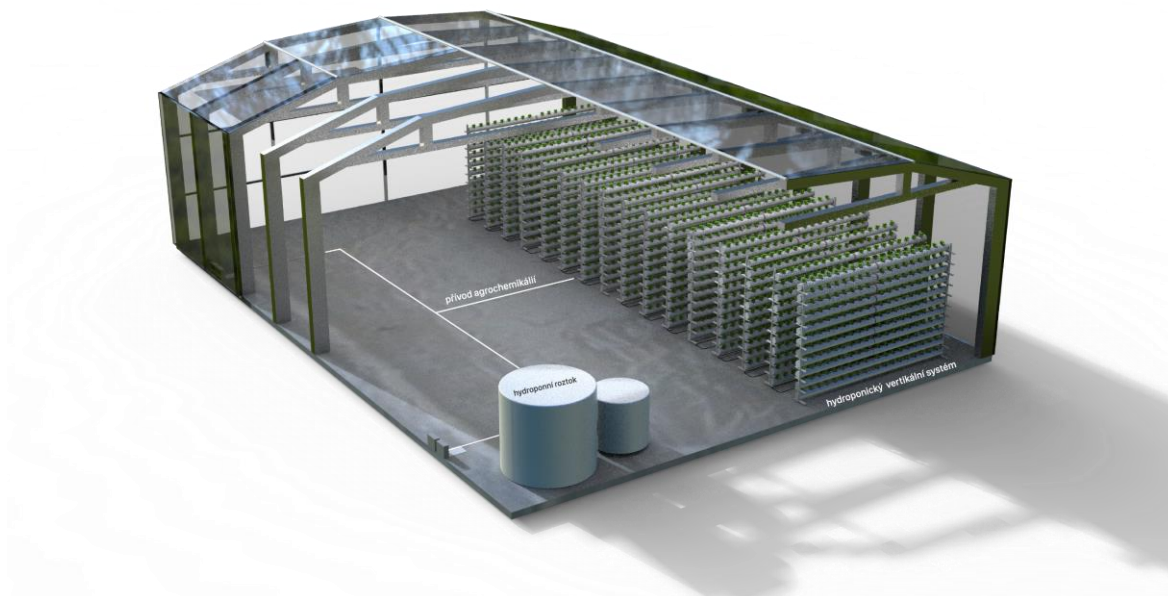
Obr. 2-5 Top 10 zemí s nejvíce dodavateli v zemědělském průmyslu [4]

2.2.2 Skleník pro vertikální hydroponické systémy

Skleník dle holandského modelu

Systém hydroponického vertikálního skleníku podle holandského modelu představuje moderní způsob pěstování plodin, který maximalizuje využití prostoru a minimalizuje spotřebu vody a živin. Tento model využívá vertikální uspořádání, kde jsou rostliny pěstovány v několika patrech, což umožňuje pěstování na menší ploše při zachování vysoké produkce. Holandské vertikální skleníky často kombinují hydroponické techniky, jako je NFT (Nutrient Film Technique) nebo DWC (Deep Water Culture), což znamená, že rostliny jsou pěstovány v živném roztoku bez půdy. [6]

V tomto systému jsou klíčovými prvky automatizované řízení klimatu, které zahrnuje regulaci teploty, vlhkosti, CO₂ a osvětlení pomocí LED technologií. To umožňuje optimální podmínky pro růst po celý rok, nezávisle na venkovním počasí. Kromě toho jsou využívány senzory a monitorovací technologie k sledování zdravotního stavu rostlin a efektivity využití zdrojů. Tento přístup nejen zvyšuje efektivitu pěstování, ale také snižuje ekologickou stopu zemědělství, což je v souladu s holandským cílem udržitelného rozvoje a inovace v zemědělství. [7]



Obr. 2-6 Vizualizace uspořádání skleníku

Vertikální pěstování

Budoucnost zemědělství je znepokojivá a potřebuje změnu. Populace roste asi o 1% ročně, v některých zemích dokonce rychleji. Nakrmit čím dál tím více zaplněnou planetu bude do budoucna složitou výzvou. Proto už dnes vznikají nové techniky a přístupy k farmaření. Prozatím hlavně kvůli efektivnosti a vyššímu výnosu se v dnešní době rozvíjí revoluční přístup k produkci potravin tzv. vertikální pěstování. To by mohlo být i klíčem k zajištění potravinové bezpečnosti a udržitelnosti pro budoucí generace.

Technologie vertikálního pěstování umožňuje efektivně a udržitelně využít omezený prostor, vše díky vrstvení rostlin nad sebou do věžovitých struktur. Vertikální pěstování představuje inovativní metodu, kde jsou rostliny umístěny často ve vertikálních zahradách nebo speciálně navržených budovách. Skleníky jsou přizpůsobeny, jak konstrukčně, tak klimaticky i světelně. Skleníky jsou často vybaveny LED světly, které mají vysokou spotřebu elektrické energie. Proto technologie usiluje o co největší přísun slunečního světla, aby došlo k co nejmenšímu plýtvání půdou, vodou i energií. [8]



Obr. 2-7 Vertikální systém [8]

Hydroponie

Hydroponie je velice čistý způsob pěstování rostlin v živném roztoku. Hydroponickým médiem jsou typicky kokosová vlákna nebo keramzit (hydroton). Díky tomu, že hydroponické systémy umožňují přesné řízení živin a prostředí, ve kterém jsou rostliny pěstovány, mohou dosahovat vyšších výnosů na jednotku plochy než tradiční zemědělství. To může přispět k zajištění potravin pro rostoucí světovou populaci a snížení tlaku na přírodní ekosystémy. Využití hydroponie je výhodné hlavně z hlediska kontroly výživy rostlin v průběhu celého pěstebního cyklu, jedná se o vysoce efektivní pěstování spojené s vyššími výnosy. Při využití tohoto systému se snižuje i riziko výskytu škůdců či onemocnění rostlin, a hlavně umožňuje snížení objemu nepořádku v prostoru pěstování, což je výhodně například pro využití robotů. [8]



Obr. 2-8 Hydroponický systém [8]

Pěstované plodiny

Pro hydroponické pěstování, vertikální pěstování a obsluhu roboty se doporučuje zaměřit na plodiny, které mají vysoký výnos na malém prostoru a rychlý růst. Nejčastěji se pěstují bylinky (bazalka, máta), saláty (rukola, hlávkový salát) a mikrobylinky (ředkvička, hořčice), které mají krátkou vegetační dobu a dobře se adaptují na kontrolované podmínky. Dále se dají pěstovat rajčata, papriky a okurky ve vertikálních systémech, které umožňují efektivní využití prostoru. Hydroponie je ideální pro plodiny, které vyžadují stabilní podmínky pro růst, a robotizované systémy pak umožňují precizní monitorování a sklizeň, čímž zvyšují efektivitu produkce.

Pro pěstování rajčat a okurek v hydroponii a vertikálních systémech jsou ideální podmínky pro maximální výnos a efektivitu, zejména při použití robotů pro obsluhu a sklizeň. Rajčata, obzvláště odrůdy jako cherry nebo koktejlová rajčata, se často pěstují v hydroponických systémech, protože potřebují stabilní a kontrolované prostředí, které zajišťuje rovnoměrný přísun živin a vody. Okurky, díky své vertikální struktuře, se také skvěle hodí pro vertikální pěstování, což šetří prostor a usnadňuje mechanizovanou sklizeň. Robotizované systémy mohou automatizovat údržbu, monitorování zdraví rostlin a sklizeň, což zajišťuje efektivní a precizní provoz. Tento přístup umožňuje snížit náklady na pracovní sílu a zvýšit produkci, což je ideální pro komerční pěstitele. [9]

Výnosy

Na 1 hektaru (ha) zemědělské půdy se produkce plodin liší v závislosti na druhu plodiny a podmínkách pěstování. Zde je přehled o výnosech tří běžných plodin:

Jahody: průměrný výnos se pohybuje mezi 10 až 20 tunami na hektar. Tento výnos se může lišit podle odrůdy, podmínek pěstování a péče o rostliny. V některých intenzivních pěstebních systémech mohou farmáři dosáhnout i vyšších výnosů, až kolem 25 tun na hektar.

Rajčata: průměrné výnosy se pohybují od 50 do 100 tun na hektar, v závislosti na pěstebních metodách (např. skleníky versus venkovní pěstování) a použitých odrůdách. V některých případech mohou kvalitní a intenzivní pěstební postupy přinést i výnosy přes 120 tun na hektar. [10]

Výnos okurek se obvykle pohybuje mezi 30 až 50 tunami na hektar. Stejně jako u rajčat, také u okurek závisí výnos na pěstebních podmínkách, druzích a technologických postupech. V optimálních podmínkách může být výnos ještě vyšší, dosahující i 60 tun na hektar. [11]

Smart farming

Smart farming je moderní přístup k zemědělství, který využívá pokročilé technologie k optimalizaci pěstování plodin a zlepšení efektivity. Tento systém zahrnuje použití senzorů, dronů, GPS a datové analýzy pro monitorování podmínek na poli, jako je vlhkost, teplota a nutriční potřeby rostlin. Díky těmto technologiím mohou zemědělci přijímat informovaná rozhodnutí o aplikaci hnojiv a pesticidů, což vede k úsporám nákladů a snížení ekologické stopy. Například využití senzorů pro sledování zdraví rostlin umožňuje přesné dávkování živin, což zvyšuje výnosy a kvalitu plodin. Studie ukazují, že smart farming může zvýšit efektivitu a udržitelnost zemědělství, což je klíčové pro hlavní výzvy globální populace a změny klimatu. [12]

2.2.3 Typy robotů

Roboti pro sklizeň

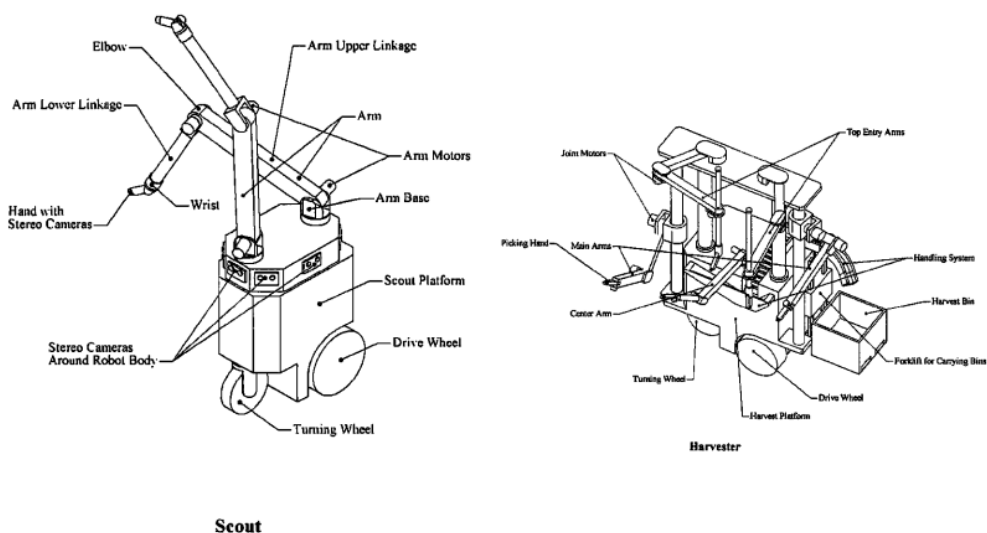
První skupinou jsou roboti pro sklizeň a organizaci plodin. Pro tuto sekci se začíná nejvíce využívat automatizace, jelikož se jedná o opakující se proces práce. Sběr plodin vyžaduje manuální zručnost a jemný dotek. Roboti se potýkají s problémy jako jsou pohmožděná jablka v letních měsících nebo snadno se trhající salát. Všechny tyto dovednosti jsou stále v procesu vylepšení a pracuje se na jejich odstranění.

Robot scout

V oblasti moderního zemědělství hrají autonomní roboti, jako jsou scout (průzkumní) a harvester (sklizeče), klíčovou roli v optimalizaci procesů pěstování a sklizně. Scout roboti jsou navrženi pro monitorování a analýzu plodin v reálném čase. Tato zařízení vybavená senzory a kamerami shromažďují data o zdraví rostlin, vlhkosti půdy a přítomnosti škůdců, což farmářům umožňuje přijímat informace a dělat rozhodnutí, jak efektivně reagovat na změny v prostředí. Využívání scout robotů pomáhá minimalizovat ztráty a zvyšuje výnosy.

Harvester

Na druhé straně harvester roboti se zaměřují na sklizeň plodin. Tato zařízení jsou vybavena technologií pro detekci zralosti plodin a přesné sklizňové mechanismy, což umožňuje efektivní a šetrnou sklizeň bez poškození rostlin. Harvester roboti mohou výrazně zkrátit dobu sklizně a snížit náklady na pracovní sílu, zatímco zároveň zvyšují přesnost a kvalitu sklizně. Společné využití scout a harvester robotů v zemědělství vede k lepší udržitelnosti a efektivitě v produkčním procesu. [13]



Obr. 2-9 Robot Scout a Harvester [13]

Roboti specializovaní na zneškodnění plevelu a škůdců

Roboti určené k postřiku a zneškodnění plevelu a škůdců využívají pokročilé technologie k přesné aplikaci herbicidů a pesticidů, čímž minimalizují jejich spotřebu a snižují negativní dopad na životní prostředí. Tito roboti jsou vybaveni kamerami, senzory a umělou inteligencí, které jim umožňují rozpoznávat plevel a cíleně jej likvidovat pomocí mikro-dávkování herbicidů nebo laserové technologie. Pro boj se škůdci roboti detekují napadené rostliny a aplikují ochranné látky pouze tam, kde je to nutné, čímž se výrazně snižuje chemické zatížení plodin. Drony vybavené postřikovacím systémem pak umožňují efektivní ochranu velkých zemědělských ploch s minimální spotřebou času a lidské práce. [14]

Multifunkční roboti

Multifunkční zemědělské roboti kombinují několik funkcí do jednoho autonomního systému, čímž výrazně zvyšují efektivitu a snižují provozní náklady. Tyto stroje jsou schopny provádět různé úkoly, jako je přesná aplikace postřiků, mechanické odstraňování plevelu, monitorování stavu plodin pomocí senzorů, a dokonce i automatizovaná sklizeň. Využívají pokročilé technologie, včetně umělé inteligence, GPS navigace a kamerových systémů, které jim umožňují efektivně analyzovat pole a přizpůsobit svůj výkon aktuálním podmínkám. Multifunkční roboti mohou pracovat nepřetržitě s minimálním lidským zásahem, což z nich činí klíčový nástroj pro moderní a udržitelné zemědělství. [15]

2.2.4 Analýza odborných článků

Pro vypracování diplomové práce bylo vybráno 5 relevantních odborných článků. Článek s názvem „Aktuální vývoj ve skleníkové robotice a výzvy do budoucna“ od J. Hemminga [16] se zabývá poptávkou po mechanizaci a snižování pracovní síly. Kromě toho rozebírá

témata jako hygienu, bezpečnost a analýzu potravin. Podstatnou částí je logistika a autonomní přeprava rostlin a sklizení potravin. Varianty robotů pro třídění, balení, postřikování, které jsou založeny na systému strojového vidění, dále také roboti pro sázení a roubování. Současný výzkum se zabývá analýzou plodin, fenotypováním (předpovídáním sadby) a hodnocení kvality po sklizni. Článek vyšel v roce 2020.

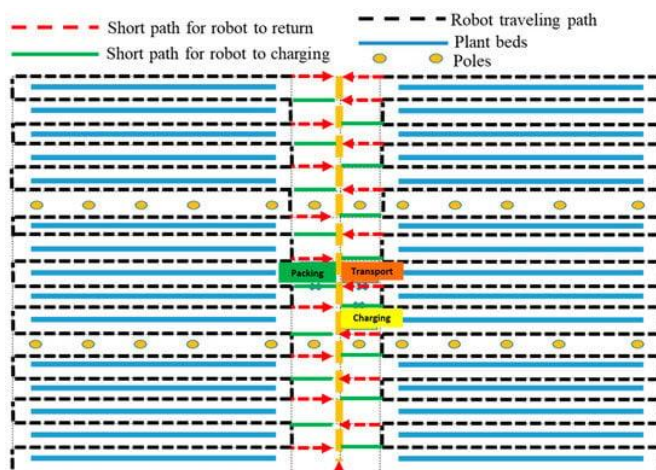
Další článek byl zaměřen na autonomního robota pro sklizeň okurek ve sklenících s názvem „An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses“ od E.J. van Henten, J. Hemming, B.A.J. van Tuijl, J.G. Kornet, J. Meuleman, J. Bontsema & E.A. van Os. [17] Článek popisuje primárně koncept autonomního robota a jeho pracovní prostředí a logistiku sklizně. Uvádí, že na 2 ha skleníku jsou v hlavní sezóně potřeba 4 sklízecí roboti a jedna dokovací stanice. Definiuje využití počítačového vidění, specifikuje časový horizont práce robota a vysvětluje systém pro zobrazování 3D plodin. Publikace vyšla v roce 2002 pod Institutem zemědělského a environmentálního inženýrství v Nizozemsku.

Článek z roku 2020 věnovaný tématu „Analyses of Work Efficiency of a Strawberry-Harvesting Robot in an Automated Greenhouse“ od Seungmin Woo. Tématem jsou skleníky a kultivační systémy, které se stávají celosvětově populárními. Pro efektivitu práce se ve virtuálním prostředí modeluje trojrozměrný skleník na jahody, aby bylo možné zkoumat různé metody a řešit vylepšení kapacity baterie, rychlosti nabíjení až po rychlost sklizně. Roboti jsou však produktivnější díky své schopnosti pracovat nepřetržitě. Srovnávací analýzy ukazují, že zkrácení doby sklizně jahod ze 3 na 1s by vedlo ke zvýšení denní produkce z 347,93 na 1021,30 kg. [18]

Článek s názvem „AI Based Greenhouse Farming Support System with Robotic Monitoring“ se zaměřuje na pěstování rostlin za kontrolovaných klimatických podmínek a mohou optimalizovat produkci. Článek je z roku 2020 [19] od S. Fernando, R. Nethmi, A. Silva, A. Perera, RD Silva a PWK Abeygunawardhana. Článek potvrzuje, že skleníky jsou stavěny hlavně v oblastech, kde klimatické podmínky pro růst rostlin nejsou optimální, a proto je zapotřebí využít určitá umělá zařízení, aby byla zvýšena produktivita a efektivita. Tento článek je pokusem minimalizovat náklady na údržbu skleníkových prostředí pomocí nových technologií. Konečným cílem tohoto výzkumu je automatizovaný systém pro optimální sledování a řízení faktorů prostředí uvnitř skleníku monitorováním teploty, vlhkosti půdy, vlhkosti a pH prostřednictvím mobilního robota připojeného ke cloudu, který dokáže detekovat nezdravé rostliny pomocí zpracování obrazu a strojového učení. Mobilní robot se pohybuje přes předem definovanou mapu skleníku.

Článek „Analysis of Precise Green House Management System using Machine Learning based Internet of Things (IoT) for Smart Farming“ od Ashay Rokade a Manwinder Singh. Tento článek se zabývá významem bezdrátové konektivity v kontextu moderního zemědělství, s důrazem na aplikace v inteligentních sklenících. Zatímco tradiční kabelové systémy v zemědělství vyžadovaly náročnou údržbu a instalaci, bezdrátová technologie nabízí efektivnější alternativu. Autor se zaměřuje na propojení skleníků s inteligentními systémy zemědělství s cílem optimalizovat růst plodin a dodržovat specifické podmínky

potřebné pro precizní zemědělství. [20]



Obr. 2-10 Schéma skleníku [20]

2.3 Designérská analýza

Tortuga AgTech (USA, 2016)

Roboti firmy Tortuga se zaměřují na sběr jahod. Firma využívá princip skupinové práce 15 robotů ve sklenících, které řídí jeden člověk. Jedná se o spolehlivé a přesné roboty, kteří sbírají s 98% přesností s minimálním otláčením nebo poškozením plodin až 16 hodin denně. Kromě skleníků se zaměřují i na práci venku. Firma rozvíjí i nové funkce jako je inventarizace, prognózy, hubení škůdců i ořezávání.

Konstrukčně využívají kloubová ramena a vyvýšená robustní kola do terénu. Pro kontrolu plodin využívají software pro strojové vidění, které díky sensorům identifikuje zralé plody. [21]

Samotný design je přizpůsoben funkci, která spočívá v jízdě a sběru. Jedná se o minimalistický konstrukční design s ostrými hranami. Hlavní tělo je z tenkých ploch s vyvýšenou plošinou pro umístění kamer nebo robotických ramen.



Obr. 2-11 Tortuga AgTech [12]

MetoMotion Grow (Izrael, 2016)

Roboti izraelské firmy MetoMotion využívají 3D vidění pro identifikaci zralých plodin, koncový efektor pro sklizeň bez poškození plodin a sofistikovaný analytický software, který je založen na výpočetních algoritmech a umělé inteligenci. Je schopen pracovat 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Zaměřuje se na sběr plodin, pohyb v rámci skleníku a následné balení plodin. Dvojité obousměrná ramena umožňují sběr obou stran řádku, což výrazně zlepšuje rychlost sběru. Kromě praktické funkce využívá také sběr dat o plodinách k následnému zpracování analýzy pro zlepšení správy plodin. Tento robot je vybaven novou funkcí – palubním boxovacím systémem, kdy umožňuje rajčata následně po sběru zabalit do standardních průmyslových krabic. Pro větší počet krabic je k modelu připraven i jeho asistent pro zpracování většího počtu krabic a plodin.

Rozměry robota jsou (2609 x 2248 x 865) mm, hmotnost 600 kg, je vybaven 48 V lithiovou baterií s kapacitou 64 Ah. Rychlost jízdy je 65 m/min. [22]

Jedná se o odlišné pojetí designu od ostatních existujících modelů. Robot je navrhnut jako komplexní vozidlo s krytovaním. Nejedná se pouze o plošinu, na které jsou umístěna robotická ramena, ale robota se zastřešením a výraznějším osvětlením. V jedné části je umístěn balicí systém s objemem až 10 beden standardních rozměrů pro zeleninu. V druhé části jsou umístěna speciálně vyvinutá robotická ramena s chytrými nůžkami pro sběr rajčat. Design je založen na ostrých prvcích s výraznými spárami.



Obr. 2-12 MetoMotion Grow [22]

Octinion Rubion (Belgie, 2014)

Robot nizozemské firmy Octinion zaměřující se na sběr jahod. Jedná se o autonomního robota, který najde cestu k plodinám a sbírá je jako ideální lidský sběrač, aniž by je pohmoždil. Díky vestavěnému sledování kvality umožňuje robotický systém třídění, pokročilé sledování plodin a přesné zemědělství bez vynechání některých kusů plodin. Robotické rameno sbírá bobule a umísťuje je do košíku jedním plynulým pohybem, přičemž každý košík má navolené maximální množství jahod. Robot se přizpůsobuje požadavkům zákazníka a je jej možné využít jak ve sklenících, tak ve venkovním prostředí. Na aktuálním modelu praktikují myšlenku jedné autonomní platformy, která bude pohánět modul sběrače jahod anebo modul s UV světly pro zneškodnění plevele. [23]

Původní existující model vychází z kvádrů se zkosenými hranami, na této části má umístěna robotická ramena pro sběr. Nový model má organicky vyvinutou autonomní platformu, na kterou je možné umístit modul pro sbírání jahod, který vychází z kvádrů s výraznými rádiusy. Minimalistický design má výraznější krytování ve spojích s platformou. Horní část je přizpůsobena funkci sbírání a robotickým ramenům.



Obr. 2-13 Octinion Rubion [23]

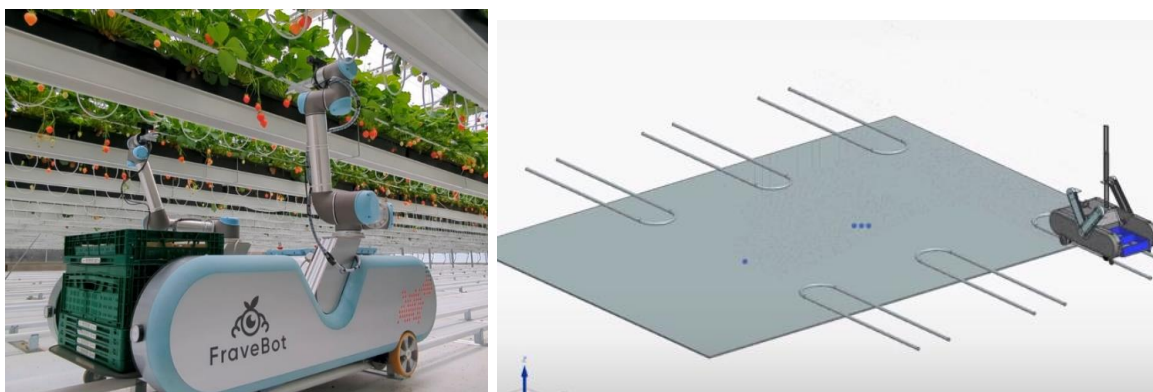
FraveBot (Brno, 2020)

Autonomní roboti české společnosti FraveBot pravidelně kontrolují každou rostlinu ve skleníku. Zaměřují se na jahody, sledování jejich stavu, analýz a hlavně na samotný sběr. Systém, který automaticky identifikuje hrozby v denních datech, pěstitele okamžitě informuje o jakýchkoli problémech s rostlinami. Systém je navržen tak, aby dokázal vyhodnotit výnos na základě údajů o každé rostlině z minulosti. [24]

Výjimečné pro tento projekt je trénování samotného robota ve virtuálním prostředí. V programu jsou nasimulovány jednotlivé řádky jahod, které si robot zapamatuje a tyto informace využije v praxi. Jedná se o způsob jak rychleji a efektivně připravit robota pro práci. Požadavkem pro aktuální model FraveBota je ale pohyb po kolejnicích, které musí být ve skleníku umístěny. Do budoucna se plánuje přizpůsobit model pro sběr dalších plodin jako jsou i květiny. [25]

Robot je vybaven elektromotorem, řídicí jednotkou, pojezdovými koly, oboustrannými robotickými rameny s chytrými nůžkami, boxovacím systémem a dobíjecí baterií. Rozměry jsou (660 x 836) mm.

Design vychází z kvádrů s výraznými rádiusy, v místech napojení ramen se objevuje dynamický prvek křivky připomínající písmeno V, což přidává na dynamice modelu. Z této části plynule navazují robotická ramena s chytrými nůžkami. Tvar robota je symetrický a narušují ho pouze otáčecí kola.



Obr. 2-14 FraveBot a mapování cesty v programu [24]

Octinion Lumion (Belgie, 2020)

Firma Octinion se specializuje na zemědělskou robotiku ve sklenících– Rubion - robota na sběr jahod, Curion – robot na skenování plodin dále na robota specializující se na převoz plodin a venkovní variantu robota. Varianta Lumion je osvětlovací zařízení, které bojuje proti škůdcům a padlím¹ vyskytující se na jahodách. Osvětlovací zařízení absorbuje UV-C světlo, které zabraňuje poškození rostlin. Díky této technologii se výrazně snižuje množství pesticidů a stává se neinvazivní technologií. [25]

Model pro zneškodnění plevelu umísťuje UV světla odlišně než existující modely, jelikož se zaměřuje na osvětlování na principu horizontálního zemědělství. Tento princip se standardně nepoužívá, aby nedošlo k prosvícení na plodiny, které ošetřovat nechceme. Čtyři pásy UV světla dodávají design dynamický nádech než-li organická autonomní platforma ve spodní části.



Obr. 2-15 Octinion Lumion [25]

Carbon Robotics – Autonomous LaserWeeder (USA, 2018)

Americká společnost Carbon Robotics uvedla na trh autonomní laserovou sekačku plevelu, která efektivně řeší regulaci plevelu na polích. Díky počítačovému vidění založeném na umělé inteligenci robot identifikuje a likviduje plevel při autonomní jízdě nad řádky plodin. Technologie laserového odplevelení podporuje udržitelnou a spolehlivou likvidaci plevelu pro konvenční i ekologické zemědělce. Společnost dál vyvíjí robota s třikrát větším počtem laserů pro navýšení kapacity odplevelování.

Hmotnost Autonomous LaserWeeder je 4 310 kg, rychlost kol 8 km/h a zvládne pracovat na 6–8 ha za den. Využívá 12 kamer s vysokým rozlišením zaměřených na plevel. Pro práci v noci je vybaven několika světly. Pro odplevelování využívá 150 W CO2 lasery s přesností na 3 mm. [26]

¹ Padlí je řád vřeckovýtusných hub z podtřídy *Leotiomycetidae*.

Tento model více připomíná traktor ovládaný člověkem, než-li standardní autonomní vozidlo. Jedná se o mohutný objekt s dynamickým tvarováním a přední částí, která nejvíce připomíná traktor.



Obr. 2-16 Autonomous LaserWeeder [26]

H2L Robotics Selector 180 (Nizozemsko, 2019)

Jedná se o robota holandské firmy H2L Robotics, který se specializuje na tulipány. Robot se autonomně pohybuje po poli pomocí navigace GPS-RTK. Kamery skenují tulipány během jeho jízdy, načež umělá inteligence analyzuje snímky na výskyt nemoci plodin. O následné ošetření se stará laserová technologie, která pomocí CO₂ laserů ničí plevele. Výhodné je poměrně ekologické řešení a ušetření chemikálií. [27]

Krytování robota je minimalistické, ale dynamické díky různým zkosením a prohlubním v jednotlivých částech. Tvarování je přizpůsobeno i využití pásových kol, které se u konkurenčních modelů neobjevují. Černý pás po obvodu robota působí elegantně a navádí k využití solárních panelů. Poutavé jsou také výrazné ostré hrany ve spodní části. Na dynamice přidává i různé tvarování stran robota.



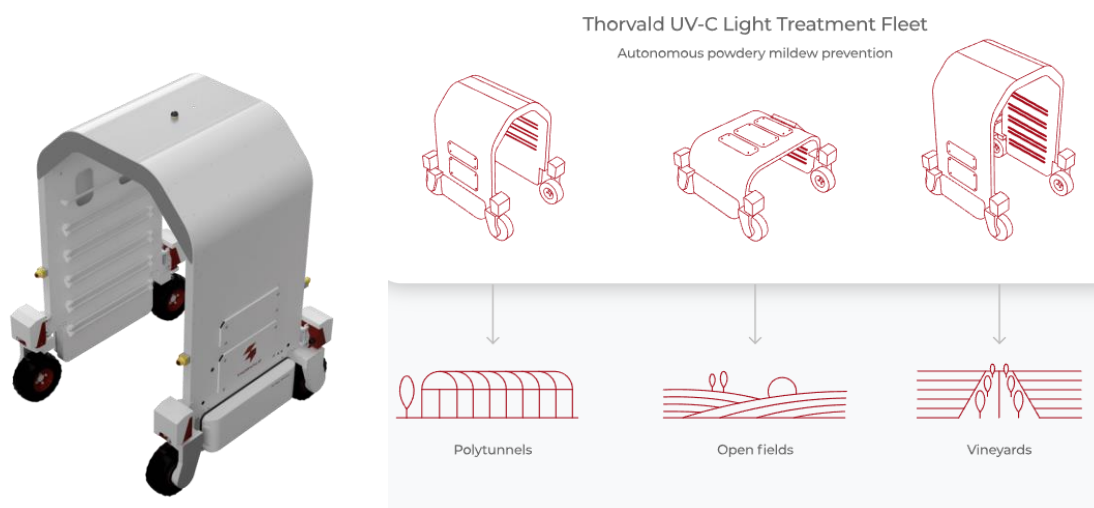
Obr. 2-17 H2L Robotics Selector 180 [27]

Thorvald (Norsko, 2016)

Multifunkční a autonomní robot Thorvald norské firmy Saga Robotics přichází s moderním řešením pro zemědělství. Konstrukce robotů spočívá v tom, že všechny typy jsou ze stejných základních modulů a mohou se přestavět pomocí základního nářadí. Jedná se o moduly, které je konstrukčně snadné přizpůsobit danému prostředí jako je skleník, pole nebo vinice.

Ochranu rostlin proti padlím² zajišťuje vysoce intenzivní UV-C světlo. Robot kromě ošetření také plodiny skenuje a získaná data přenáší k farmáři, který na základě těchto dat může přicházet na nové léčebné řešení. [28]

Design robota Thorvald je založen na modulární konstrukci a zabudovaných UV světlech. Jedná se o hranatou, téměř hexagonovou plochu v jednom kuse. Ve spodní části jsou umístěna čtyři kola pro plynulý pohyb, minimalistické provedení je narušeno červenými doplňky a logem firmy. Nejpoutavější je vnitřní část s vytvarovanými drážkami, kde jsou umístěna světla.



Obr. 2-18 Thorvald Platform [28]

Ecorobotix Avo

Švýcarský Robot Avo se zaměřuje na rozpoznávání plevelů a dávkování pomocí inteligentního postřikovače ARA. Robot kromě výměnné baterie využívá také solární panely. Dokáže ošetřit až 10 hektarů denně s použitím až o 95% méně přípravků na hubení plevelů. Zaměřuje se na rovinné a řádkové pole. [29]

² Padlí je řád vřeckovýtrusných hub z podtřídy *Leotiomycetidae*.

Design robota Avo je zajímavý hlavně svým barevným polepem v zeleno-šedém provedení, polep vychází z kruhových linií. Horní kryt je dynamicky natvarován na tělo robota, kryty mají nepravidelný tvar obdélníku s ostrými hranami. Boční kryty jsou prodlouženy téměř až k zemi, přední část je odlehčená, zaměřená na tvarování horního krytu.



Obr. 2-19 Ecorobotix Avo [29]

Robotics Plus UGV (Nový Zéland, 2023)

Jedná se o elektrickou, autonomní, víceúčelovou platformu hybridních vozidel, která výrazně zvyšuje efektivitu při různých zemědělských úkonech. Specializuje se hlavně na sady a vinice. Během práce snímá a detekuje plodiny, které následně ošetřuje postřikem, u něhož lze nastavit rychlost průtoku, aby bylo využito pouze nezbytně nutné množství chemikálie. Jedná se o elektrické autonomní vozidlo s palubním generátorem energie. Elektrické hnací motory poskytují vynikající točivý moment a ovládání, kromě toho může vozidlo pracovat delší dobu bez nutnosti dobíjení. Výhodné je využití elektrické energie pro všechny typy nástrojů, což minimalizuje spotřebu paliva. Vozidlo využívá pohon všech kol s nezávislými motory, což poskytuje dostatečnou přilnavost a kontrolu, která snižuje riziko poškození půdy. [30]

Díky konstrukci, kterou firma vyvinula je možné na zařízení využívat více nástrojů a nástavců v závislosti na dané práci. Vozidlo se otáčí na zadní nápravě, což usnadňuje rychlejší otáčení na menší ploše z jedné řady do druhé. Může snadno manévrovat mezi různými plodinami s minimální vzdáleností řádků (1,8) m. Urychluje to proces práce a maximalizuje produktivitu. Využívá regenerativní brzdění a vysokokapacitní baterii, což prodlužuje účinnost a dojezd. Lehká konstrukce vozidla v kombinaci s konfigurací kol a dezénu pneumatik snižuje zhutňování půdy, což přispívá k udržování pórovitosti půdy. [31]

Autonomní vozidlo má minimalistický design s výrazným tvarováním přední části, která vychází z nesymetrického hexagonu. Vzhledem připomíná spíše ovládaný zemědělský traktor. Tvar vychází z mohutného kvádrů s výraznějším zkosením v horní části robota.



Obr. 2-20 Robotics Plus UGV [31]

Agrotec Bakus (Francie, 2022)

Jedná se o českého robota, který usiluje o šetrnější postupy pěstování vinné révy. Bakus využívá umělou inteligenci pro okopávání vinné révy, likvidaci plevelů a zajistí postřiky proti škůdci. Ovládání robota je snadné díky aplikaci na smartphonu, kde si uživatel navolí, jestli chce robota ovládat řízeně nebo autonomně.

Robot využívá 360° infračervené vidění, vyhodnocuje prostředí a analyzuje. Je multifunkční a o vinice se postará zcela sám – připraví si půdu pro pěstování, ošetří vinici a využije přídatné nástroje. Pracuje během dne i v noci 7 dní v týdnu.

Pohon je zajištěn elektrickým převodovým motorem s točivým momentem s pohonem všech 4 kol a řízení. Je vybaven 75kWh lithiovou baterií, která se nabíjí 2,5 hodiny.

Pro ošetření vinic využívá rekuperační postřikovač, který snižuje spotřebu fytosanitárních přípravků na polovinu. [32]

Robot Bakus je primárně nadesignován jako čtyřkolové vozidlo, které najede mezi řádky na poli. K mohutným terénním kolům je navrhnutá konstrukce s dynamickým tvarováním a zajímavými prvky a prolisy, na dynamice přidávají i oranžové led pásy v zadní části. Celou konstrukci spojují rámy kolmo umístěné ke konstrukci.



Obr. 2-21 Agrotec Bakus [32]

Freebot

Freebot je projektem Moravskoslezského kraje, který analyzuje jednotlivé plodiny, zajistí jejich ošetření – dává vodu, hnojiva a postřiky. Robot si pamatuje polohu rostlin a díky přednastaveným modelům dokáže stanovit přesný scénář pro pěstování rostlin. Zabudovaná čidla ukazují meteorologickou předpověď, takže díky nim robot buď dává více vody nebo ji naopak omezuje.

Robot má k dispozici několik výkonných nástrojů pro sadbu, odplevelování, zavlažování a postřik. Využívá je dle potřeby rostlin. Veškerá práce je monitorována uživatelem pomocí kamer umístěných na robotovi přes software v PC nebo mobilním telefonu. [33]

Design multifunkčního robota Freebot vychází z krytování hlavní konstrukce, aktuální zpracované vizualizace ukazují několik variant, některé zakrývají robota více, jiné přiznávají konstrukční prvky. Samotné tělo robota je umístěno vysoko pro možnost umístění přídatných nástavců pro práci.



Obr. 2-22 Freebot [33]

Naio Oz (Francie, 2013)

Tento francouzský multifunkční robot se zaměřuje na okopávání, pletí, vytváření brázd, osevání, asistenci a přepravu. Robot pracuje zcela autonomně díky navigačnímu systému RTK GPS.

Robot je vybaven různými nástavci jako je torzní pružina, kartáč, secí stroj, kressové prsty, pětizubé brány, listový nárazník, přívěs a sedátko pro pracujícího člověka.

Jeho rozměr je (830 x 470 x 1300) mm, pracovní proces 1000 m²/hod, hmotnost 150 kg a zdroj elektrické energie formou dobíjecí baterie, která má výdrž až 8 hodin. Jeho rychlost je 1,8 km/h. [34]

Robot Naio Oz vychází z malého kvádrů a jeho členitosti, v zadní části má umístěno sedátko, naopak přední část je připravena pro různé nástavce. Design je jednoduchý, minimalistický a více poutavý hlavně díky výraznému barevnému provedení přídatných prvků.



Obr. 2-23 Naio Oz [34]

Iron Ox (USA, 2018)

Startup Iron Ox z USA pracuje na robotech, kteří vykonávají řadu různých úkolů. Roboti jsou přizpůsobeni futuristické myšlence, na které firma pracuje – jedná se o firmu, která pěstuje zeleninu jen s pomocí robotů. Firma nabízí bazalku, šťovík s červenými žilkovanými listy a „baby“ hlávkový salát. Využívají umělou inteligenci a robotiku k pěstování těchto plodin. Výhodné pro tuto firmu je, že využívá mnohem menší prostory než-li běžné pěstování. [35]

Design robota Iron Ox působí futuristicky a minimalisticky. Krytování kol není u ostatních modelů příliš časté a působí velmi dobře, stejně jako jeho barva. Horní část pracuje se zkosením a s rádiusy, je na ni umístěna plošina, která se při převozu vysune. Přední část má výraznou spáru s LED podsvícením během pohybu. Zadní část připomíná nohy pavouka, toto působí velmi zajímavě a narušuje symetričnost.



Obr. 2-24 Robot Iron Ox [35]

HV-100 Harvest Robotics (USA, 2008)

V tomto případě se jedná o roboty, kteří výrazně snižují výrobní náklady a zvyšují produktivitu. Plně autonomní robot pro fungování venku i uvnitř. Využívají se k práci ve větším počtu, někdy i ve spolupráci s lidmi. Pracuje jako logistický robot, který organizuje hlavně květináče běžných rozměrů ve velkých sklenících a zahradních školkách. Pro jejich fungování stačí minimální školení a nastaví uživatele. Výhodný je jejich menší rozměr, bezpečnost a flexibilita. Výdrž baterie robota je 4-6 hodin, jeho rozměry jsou (600 x 530) mm. [36]

Samotná trubková konstrukce robota působí modulárně a dynamicky. Hlavní krytování je v zadní části robota, v přední části je umístěn držák pro květináče pro snazší převoz. Design je zaměřen hlavně na konstrukci a snadný pohyb robota.



Obr. 2-25 Harvest Robotics [36]

2.3.1 Koncepty

Valtra Vertical Farming Tractor (Finsko, 2018)

Koncept zemědělského přístupu k vertikálnímu pěstování od designerů Jack Donald Morris, Alireza Saeedi & Benjamin Miller. Traktor je konstrukčně přizpůsoben vertikálnímu pěstování, proto má i možnost výsuvné plošiny pro práci ve výškách. Jedná se o projekt, který má kompletně koncepčně promyšlený ekosystém zaměřený na hydroponii, na které jsou rostliny během sběru poháněny pásem. Traktor sbírá díky pásům plodiny efektivněji a ukládá je do autonomních dronů, které se sami dopravují do skladu a dobíjejí se. [37]



Obr. 2-26 Koncept Valtra [37]

2.3.2 Typičtí zástupci

Octiva Curion (Nizozemsko, 2021)

Nizozemská firma Octiva se jako jedna ze dvou existujících firem zabývá analýzou plodin, ale i jejich následným ošetřením. Aktuálně pracuje na verzi dvou robotů, kdy každý plní jinou funkci – jeden analyzuje, druhý ošetřuje postřikem. Model Curion počítá množství květů a bobulí, analyzuje u nich fázi zralosti. Uživatelí prostřednictvím softwaru poskytne přehled o stavu plodiny, detekuje škůdce a předpoví objem a čas sklizně. Je vybaven kamerami pro vizuální analýzu, která je přes IT systém napojená do cloudového úložiště.

Technologicky funguje zcela autonomně, není zde potřeba žádný zásah spotřebitele během práce. Konstrukčně je přizpůsoben pro topné potrubí, které je vedené ve standardizovaných sklenících a je využito právě k vedení a trajektorii těchto robotů. [38]



Obr. 2-27 Octiva Curion [38]

Berg Hortimotive – BeMatic Meto SWT (Nizozemsko)

Nizozemská firma Berg Hortimotive se specializuje na postřikovacího robota, který dávákuje postřik na konkrétní plodinu bod po bodu. Na těle robota je vestavěná nádrž s čerpadlem a není tak potřeba žádná hadice s přívodem agrochemikálie. Nádrž obsahuje i funkci míchání. Robot je konstrukčně a rozměrově uzpůsoben topným trubicím, které vedou celým skleníkem a jimi může robot kopírovat trajektorii své práce. Je vybaven nerezovými kryty a pozinkovaným rámem, velkokapacitní baterií.

Pro komunikaci s uživatelem je vybaven dotykovou obrazovkou, na které si může nastavit průběh práce, robot tedy není zcela autonomní. Uživatel jej v pozici řádku vždy nastaví a poté jej nechá samostatně postřikovat v rámci jednoho řádku. Jeho rychlosti je až 110 m/min, umožňuje pohyb vpřed i vzad. [39]



Obr. 2-28 Berg Hortimotive [39]

Bogaerts Qii-Jet (Belgie)

Belgická firma Bogaerts zabývající se kompletní skleníkovou logistikou vyvinula také nový typ postřikovacího robota Qii-Jet s vlastní nádrží. Program samotného stříkání je plně přizpůsobitelný konkrétnímu řešení skleníku. Stříkací program se nastavuje přes dotykovou obrazovku, kde uživatel specifikuje délku dráhy, litry agrochemikálie na hektar, druh postřiku. Stříkací robot má na těle umístěny senzory pro detekci trubkové kolejnice pro měření délky dráhy, díky tomu má minimální časové ztráty a trubky využívá k lokalizaci přesné polohy. [40]

Robot má integrované počítadlo litrů pro konkrétní vzdálenosti a objem plodin, kromě toho nádrž s agrochemikálií o objemu 300 l je vybavena míchačem a 3-cestným ventilem pro vyprázdnění kapaliny. Veškerá elektronika je umístěna do přední části k ovládacímu panelu pro snazší přístup během servisu.

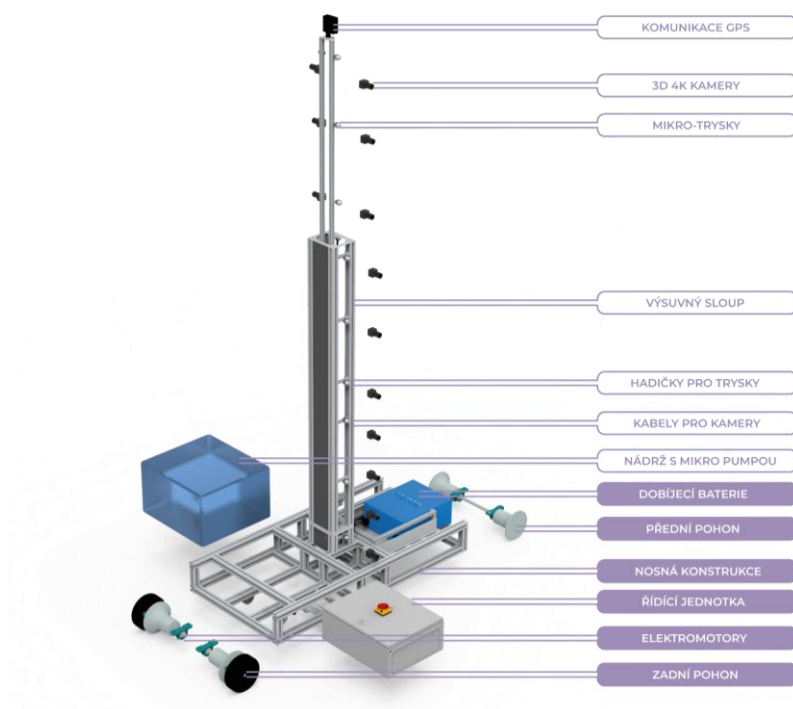


Obr. 2-29 Bogaerts Qii-Jet [40]

2.4 Technická analýza

Na základě vyhodnocení designérské analýzy a sumarizování jednotlivých dat konkrétních robotů konkretizovalo tuto diplomovou práci na robota pro analýzu plodin a postřik plodin. Kombinace analýzy plodin a postřikování v jednom robotu dává smysl, protože umožňuje cílené a efektivní ošetření rostlin na základě aktuálních dat. Pokročilé senzory a kamery dokáží v reálném čase vyhodnotit zdravotní stav rostlin a identifikovat problematické oblasti, kde je potřeba aplikovat ochranné látky, což snižuje spotřebu chemikálií a minimalizuje dopad na životní prostředí. Naopak kombinace těchto funkcí se sběrem rostlin není vhodná, protože sklizeň vyžaduje jiný typ mechaniky a konstrukce – zatímco pro analýzu a postřik je klíčová lehká, přesná a citlivá manipulace, sklizeň často vyžaduje robustní a silové prvky, které by mohly narušit přesnost měření a aplikace postřiku. Navíc by integrace všech těchto funkcí do jednoho stroje vedla ke zbytečné složitosti, zvýšení nákladů a kompromisům v efektivitě jednotlivých úkolů.

Robot pro analýzu a postřik plodin je vybaven pokročilými technologiemi pro efektivní sběr dat a cílenou aplikaci postřiků. Klíčové komponenty zahrnují GPS modul pro navigaci, 3D 4K kamery pro detailní snímání plodin a mikro-trysky pro přesné dávkování postřiku. Vertikální sloup umožňuje přizpůsobení výšky postřiku, zatímco moduly pro trysky a kamery zajišťují variabilní aplikaci podle potřeb rostlin. Řídicí jednotka společně s dobíjecí baterií a elektromotory poskytuje autonomní provoz a pohon předních i zadních kol umožňuje flexibilní pohyb v terénu. Nosná konstrukce dodává pevnost a stabilitu celému systému, což umožňuje efektivní využití v zemědělské praxi.

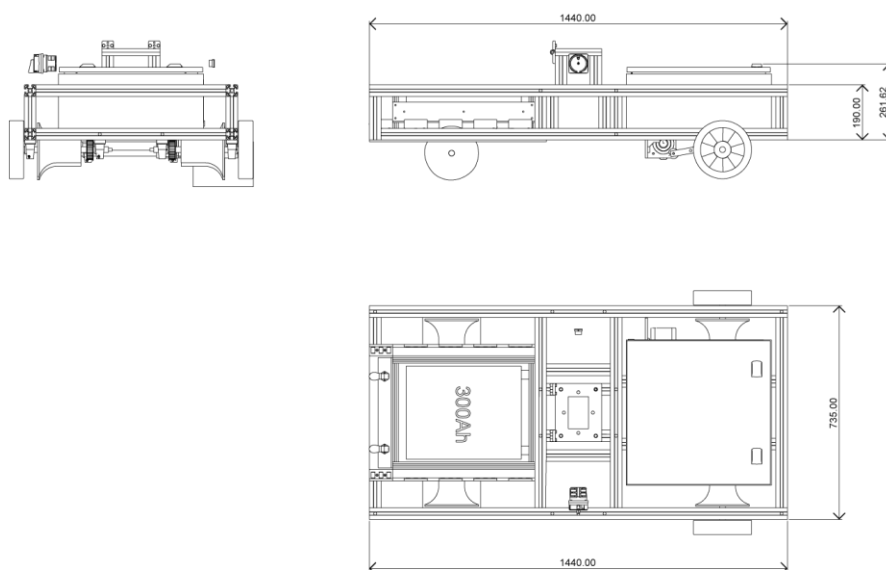


Obr. 2-30 Schéma složení robota

2.4.1 Platforma

Konstrukce (rozměry)

Řešení konstrukce vychází z hlavních článků pro nosnost jednotlivých dílů robota. Primární je řešení nosné konstrukce v místě uložení baterie a řídicího systému. Robot využívá pohon dvou kol, tudíž je vytvořeno v rámci konstrukci více prostoru pro elektromotor umístěný v rámci zadní části robota. Průměrné rozměry platformy robota typu scout jsou (190 x 1440 x 735) mm. [24]



Obr. 2-31 Rozměry robota

Baterie

Robot je vybaven baterií Varta, která je odolná vůči otřesům a vibracím. Její rozměry jsou (125 x 176 x 165) mm. Podstatné je krytování baterie, aby nedošlo ke kontaminaci s agropoštriky nebo s vodou. V současné době se pracuje spíše i na variantách dobíjecích baterií.

Pro autonomní roboty ve sklenících je použití baterií s kapacitou 100 Ah velmi výhodné, neboť tyto baterie poskytují dostatečnou kapacitu pro dlouhou dobu provozu bez nutnosti častého dobíjení. V závislosti na typu baterie a úrovni vybíjení se očekává, že lithium-iontové baterie budou schopny udržet robota v provozu po dobu 8 až 16 hodin, přičemž mohou zvládnout 1000 až 5000 cyklů při částečném vybíjení (např. na 20-80 % kapacity) [41].

Elektromotory

Elektromotory pro autonomní roboty ve sklenících jsou klíčovým prvkem pro jejich mobilitu a efektivní provádění různých úkolů, jako je zavlažování, hnojení a monitorování stavu rostlin. Tyto motory se obvykle vybírají na základě parametrů, jako je točivý moment, rychlost a energetická účinnost, aby se zajistila optimální výkonnost v omezeném prostoru skleníku. V moderních aplikacích se často používají bezuhlíkové motory, které jsou účinnější a mají delší životnost než tradiční stejnosměrné motory. Tyto elektromotory mohou být ovládány pokročilými řídicími systémy, které umožňují přesné a automatizované pohyby robota na základě sensorových dat. [42]

Kola – pohon

Pro autonomního robota ve skleníku s pohonem všech čtyř kol je vhodné použít široká pneumatická kola, která rovnoměrně rozkládají hmotnost a minimalizují propadání do substrátu. Dále je efektivní využít systémy s individuálním řízením kol, což zvyšuje manévrovatelnost, a materiály odolné vůči korozi zajišťují dlouhou životnost v podmínkách vysoké vlhkosti. Tyto kombinace vlastností pomáhají optimalizovat výkon robota a minimalizovat provozní problémy ve sklenících. [43]

Řídicí jednotka

Technologicky řešená řídicí jednotka autonomního robota pro skleník zajišťuje řízení, analýzu a optimalizaci všech funkcí potřebných pro efektivní postřik a monitorování rostlin. Tato jednotka je centrální částí systému, která integruje senzory, kamery a akční členy robota. Typicky zahrnuje výkonný procesor nebo mikroprocesor (například ARM nebo NVIDIA Jetson), který zpracovává data z několika senzorů v reálném čase a provádí analýzu pomocí algoritmů strojového učení či počítačového vidění. GPU (grafická jednotka) je často využívána pro zpracování obrazu a analýzu velkých datových toků ze senzorů a kamer, což je zásadní pro detekci chorob, určení výživového stavu rostlin nebo identifikaci plevelů.

Řídicí jednotka také integruje systém pro řízení pohybu, který zahrnuje pohon všech čtyř kol robota a umožňuje precizní manévrování mezi rostlinami. Dále je zde komunikace s cloudovým rozhraním pro vzdálený přístup a sběr dat, což umožňuje operátorům sledovat robotické operace v reálném čase a nastavovat parametry podle specifických potřeb rostlin. Kromě toho jsou zde zahrnuty systémy pro přesné dávkování agrochemikálií, které se opírají o informace z kalibrovaných senzorů a sensorových modulů. Řídicí jednotka zajišťuje, že každé postřikování je přesně regulováno a optimalizováno, aby byla minimalizována spotřeba chemikálií a zároveň maximalizován účinek aplikace na rostliny. [44]

Pohyb robota

Bezpečnost je zajištěna s certifikací průmyslové bezpečnosti a dvěma **senzory LiDAR** jako primárními funkcemi, které jsou v souladu se standardy kolaborativní robotiky. Lidar senzory (Light Detection and Ranging) jsou zásadní technologií pro navigaci a přesné snímání okolí autonomních robotů ve sklenících. Fungují na principu vysílání laserových paprsků, které po odrazu zpět k senzoru měří vzdálenosti a umožňují vytváření trojrozměrných map prostředí. To je výhodné v hustých a dynamických prostředích skleníků, kde je potřeba přesná orientace mezi rostlinami a identifikace překážek. Lidar senzory navíc umožňují robotům přesně plánovat trasy a přizpůsobovat se změnám v prostředí, například růstu rostlin nebo pohybu dalších objektů. Díky své schopnosti pracovat ve tmě a za různých světelných podmínek jsou Lidar senzory spolehlivou volbou pro zajištění bezpečné a efektivní navigace v automatizovaných sklenících. [45]



Obr. 2-32 Senzor LIDAR [24]

Software a navigace

Tato technologie spočívá v trénování robota pomocí virtuálního modelu robota, skleníku, plodin a různých procesů vytvořených v NVIDIA Omniverse. Toto učení umožňuje simulovat různé scénáře, jako jsou projevy škůdců a chorob. Díky tomu je snížena časová i nákladová náročnost následné analýzy skutečných dat. Použití syntetických dat a virtuálního školení nám umožňuje rychle reagovat na zpětnou vazbu od zákazníků. Například v případě nového projevu nemoci lze rozšířit rozpoznávací schopnost robota pomocí syntetických dat generovaných z obrázků poskytnutých zákazníkem.

Samotná navigace probíhá pomocí vytápěcích trubek, dle kterých je vedena trajektorie práce. Robot je sám pomocí senzorů a proškolení pomocí digitálního dvojčete snímá a jeho práce probíhá dle jejich umístění. Tím je usnadněno nastavení robota a dochází ke snížení rizika kolize s neočekávanými objekty. [24]



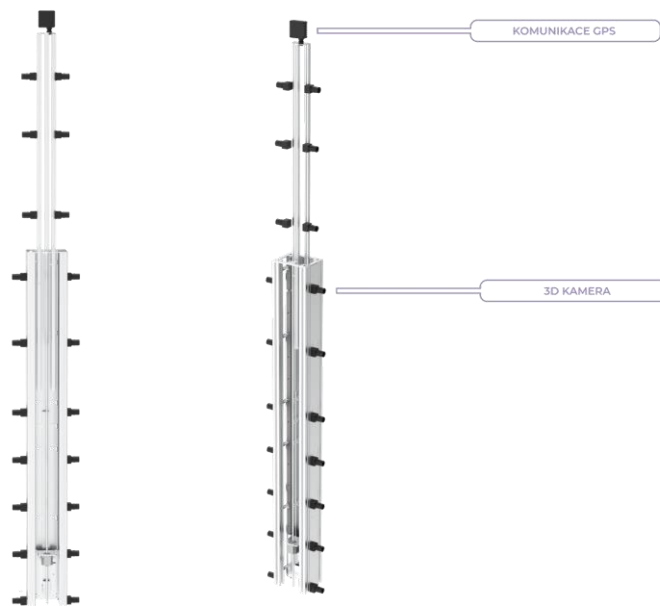
Obr. 2-33 Pohyb robota [24]

2.4.2 Analýza plodin

4k Cameras for Pests and Diseases Detection

4k kamery pro detekci škůdců a nemocí poskytují vysoké rozlišení, které umožňuje autonomním robotům a systémům v zemědělství zachytit detailní snímky rostlin. Tyto kamery jsou schopny odhalit jemné změny v textuře, barvě nebo struktuře listů a stonků, což může být prvním signálem výskytu chorob nebo napadení škůdci. Díky vysokému rozlišení dokážou 4K kamery rozpoznat i velmi malé příznaky poškození, jako jsou skvrny, žluté zbarvení nebo drobné deformace na rostlinách, což by bylo obtížné zachytit kamerami s nižším rozlišením. Výkonné senzory těchto kamer umožňují detekovat škůdce a choroby v raných stádiích, což je klíčové pro včasnou intervenci a minimalizaci používání pesticidů. Pro analýzu obrazu se často využívají algoritmy strojového učení, které na základě nasnímaných dat přesně klasifikují typ choroby nebo škůdce a mohou operátora nebo autonomní systém informovat o potřebě zásahu. [24]

Rozmístění kamer



Obr. 2-34 Rozmístění kamer

Cameras for visual remote control

Kamery pro vizuální dálkové ovládání umožňují uživatelům sledovat a řídit autonomní roboty nebo systémy v reálném čase, aniž by byli přímo přítomni na místě. Tyto kamery poskytují živý obraz z pohledu robota, což je klíčové pro přesné monitorování operací ve sklenících nebo v zemědělství. Kvalitní rozlišení a široký úhel záběru umožňují zachytit celkový přehled prostředí a identifikovat případné problémy, například překážky nebo anomálie v práci robota. Díky možnosti přenosu dat přes Wi-Fi nebo jiné bezdrátové sítě je možné roboty kontrolovat a přizpůsobovat jejich činnost na dálku, což je zvláště výhodné při správě rozsáhlých skleníkových systémů. Tento vizuální dohled tak zlepšuje bezpečnost a efektivitu autonomního provozu, protože umožňuje operátorům zasáhnout v případě nutnosti a optimalizovat řízení robotů podle aktuálních podmínek. [47]

4k stereo cameras for fruit volume estimation

4k stereo kamery pro odhad objemu ovoce využívají technologii stereoskopického vidění, která umožňuje vytváření trojrozměrných modelů plodů přímo na rostlinách. Tento typ kamer pořizuje dvojité snímky ovoce, což díky paralaxe (rozdílům v úhlech pohledu) umožňuje přesně měřit objem, velikost a tvar plodů. Díky vysokému rozlišení 4k kamery poskytují detailní obraz, což pomáhá analyzovat plody na úrovni pixelů. Použití 4k stereo kamer je důležité pro přesné zemědělské operace, jako je predikce výnosů, monitorování růstu plodů, a optimalizace času sklizně. Data z těchto kamer mohou být propojena s algoritmy strojového učení pro automatizovanou analýzu objemu, čímž se výrazně zvyšuje efektivita produkce. [24]



Obr. 2-35 Kamera pro analýzu plodin [48]

Technologie AI 3D Vision

Jedná se o technologii, která je založena na 3D kamerách, které snímají průběh růstu plodin. 3D vidění zachycuje hloubkové barevné fotografie pro sklizeň a poskytuje data pro další analýzu plodin. Během vývoje je potřeba uvažovat o zorném poli kamery, toleranci umístění plodin nebo vůli mezi zařízením a plodinou. Je potřeba během návrhu uvažovat o výšce robota, aby nedocházelo ke kolizi s robotickými rameny. [24]



Obr. 2-36 Technologie 3D vision [24]

Par senzor Over plants 60GHz Communication GPS

Párové senzory s komunikací na frekvenci 60 GHz a GPS jsou pokročilé technologie pro monitorování a navigaci nad rostlinami v zemědělských systémech. Párové senzory umístěné nad porostem mohou využívat 60GHz bezdrátovou komunikaci, což zajišťuje stabilní a rychlý přenos dat mezi roboty nebo monitorovacími zařízeními, a to i v prostředích s vysokou hustotou vegetace, kde jsou nižší frekvence náchylné k rušení. Takové senzory mohou sbírat údaje o stavu rostlin a přenášet je v reálném čase do centrálního systému. GPS, integrovaný s těmito senzory, umožňuje přesnou lokalizaci každého robotického zařízení nad konkrétními rostlinami, což je užitečné pro mapování, analýzu růstu a aplikaci agrochemikálií pouze tam, kde je potřeba. Tento kombinovaný systém poskytuje jak vysokou přesnost při navigaci, tak efektivní komunikaci, což zlepšuje autonomní řízení a přesnost v oblastech precizního zemědělství.

PAR sensor under plants

PAR (Photosynthetically Active Radiation) senzory umístěné pod rostlinami měří množství světla dostupného pro fotosyntézu, které dopadá na spodní části rostlin, jako jsou spodní listy a stonky. Tyto senzory sledují, kolik světla je rostlinami zachyceno a kolik pronikne přes jejich listy až k půdě nebo nižším vrstvám porostu. Informace o dostupném PAR pod rostlinami pomáhají zemědělcům a pěstitelům upravovat světelné podmínky v prostředí, jako jsou skleníky nebo vertikální farmy, aby zajistili optimální podmínky pro fotosyntézu a tím i růst a výnos plodin. Sběr dat o světelném rozložení mezi patry rostlin přispívá k lepšímu řízení hustoty porostu, plánování umístění osvětlení a optimalizaci celkové energetické účinnosti osvětlovacího systému.

Software na analýzu plodin

Roboti zaměřující se na analýzu a sběr dat o plodinách data posílají na cloudové uložení k vyhodnocení v rámci systému. Kamery automaticky zaznamenávají jednotlivé plodiny, informace o vývoji jednotlivých plodů jsou zasílány k vyhodnocení pro další postup práce. Software vyhodnocuje, jestli je třeba použít postřik pro ošetření nebo jsou naopak plody připravené ke sběru. Takto nashromážděná data slouží i k celkovému vyhodnocení přístupu k farmaření, na základě nich může farmář diagnostikovat proč například k napadení rostlin došlo a kdy. [24]



Obr. 2-37-37 Řídící jednotka [24]

Centrální zpracování dat GPU

V systému, který monitoruje stav rostlin ve skleníku pomocí robota, má centrální zpracování dat přes GPU zásadní roli. GPU umožňuje rychlé zpracování obrazových dat a senzorických informací získaných robotem, jako jsou fotografie a údaje o barvě, tvaru či teplotě rostlin. Díky paralelnímu zpracování dokáže GPU efektivně provozovat modely strojového učení a počítačového vidění, které jsou vyškolené na rozpoznávání vzorů souvisejících se zdravím rostlin. To umožňuje včasnou detekci chorob, škůdců nebo nutričních nedostatků, což minimalizuje potřebu ručního zásahu a umožňuje rychlou reakci. [49]

Po zpracování jsou data uložena v centrální databázi, kde je lze dále analyzovat a využít k optimalizaci péče o rostliny. Na základě výsledků může systém automaticky přizpůsobit parametry, jako je teplota, vlhkost, zavlažování nebo aplikace hnojiv, a zajistit tak co nejlepší podmínky pro růst. Tato integrace GPU pro zpracování dat a centralizované řízení umožňuje efektivnější správu skleníku, vyšší výnosy a udržitelnější využívání zdrojů. [50]

Hluboké neuronové sítě

Jedná se o odvětví umělé inteligence, jehož základem jsou pokročilé neuronové sítě a matematické modely inspirované lidským mozkem. Hluboké učení se liší od tradičního strojového učení, protože využívá hlubokých neuronových sítí, které zpracovávají a interpretují data hierarchicky. To zlepšuje rozpoznávání vzorů a výkonnost v různých úkolech. V důsledku toho má umělá inteligence, zejména hluboké učení, zásadní vliv na životy lidí. [51]

2.4.3 Automatizovaný postřik plodin

Pro ošetření napadených plodin je využit autonomní postřikovač. Jeho činnost je řízena autonomní platformou, která má z analýz zpracovány informace o druzích patogenů, velikosti napadení a přesných umístěních napadených plodin ve skleníků na principu rojové robotiky. Postřikovač je autonomně navigován do identifikovaných hotspotů a aplikuje cílené dávky vhodných agrochemikálií nebo ochranných prostředků.

Vyvinutý průzkumný robot s vysokým stožárem je plně funkční skleníkové řešení pro identifikaci a lokalizaci problémů se zdravými plodinami. Tato sofistikovaná rozpoznávací schopnost zahrnuje přesnou identifikaci patogenů, určení velikosti zamoření a přesnou lokalizaci ve skleníku. Pro zvýšení účinnosti tohoto systému navrhuje integraci autonomního postřikovače navrženého tak, aby eliminoval zjištěné problémy se zdravotními plodinami. Cílem této inovace v zemědělské technologii je nejen zvýšit celkovou hodnotu našeho stávajícího systému, ale také významně přispět k udržitelným a účinným postupům ochrany plodin.

Autonomní přesná aplikace agrochemikálií postřikem představuje strategický pokrok, který slibuje výrazné snížení celkového množství aplikovaných agrochemikálií. Spoléháním se na cílové informace získané z průzkumu, jako je druh patogenu, velikost a tvar, naše řešení zajišťuje vysoce přesnou a cílenou aplikaci agrochemikálií.

Platforma hraje klíčovou roli při zjišťování a hlášení případů výskytu škůdců nebo chorob v rané fázi plodiny. Scout nabízí přesné informace o umístění a druhu patogenu ve skleníku a bezproblémově spolupracuje s přesným postřikovačem. Následně postřikovač autonomně dopraví na identifikované místo a přesně podá mikro dávku agrochemikálie na zamořenou plochu. Je pozoruhodné, že celý proces funguje autonomně a eliminuje potřebu lidského zásahu. Toto inovativní řešení řeší kritické výzvy ve skleníkovém zahradnictví, včetně nutnosti snížit používání agrochemikálií a zlepšit integraci chemické ochrany s biologickou kontrolou. Využitím pokročilé technologie přispívá přesný postřikovač k optimalizaci výrobních procesů a zvýšení efektivity zdrojů při prosazování udržitelných a účinných strategií ochrany plodin.

2.4.4 Dávkování postřiku rostlin

Mikro-trysky

Pro dávkování přesné dávky agrochemikálií se využívají mikro-trysky s vysokou přesností nebo kapilární trysky. Trysky s vysokou přesností jsou vyrobené z keramiky nebo nerezové oceli. Jejich tvar a velikost je podstatná pro aplikaci chemikálií v mikroskopickém množství přímo na kořeny nebo listy. Dalším typem trysek, které je možné využít pro přesné dávkování a k precizní aplikaci bez plýtvání jsou kapilární trysky, které umožňují rovnoměrné rozložení malých kapek. Trysky mohou využít funkci rozprašování nebo kapaní přímo na konkrétní místo.



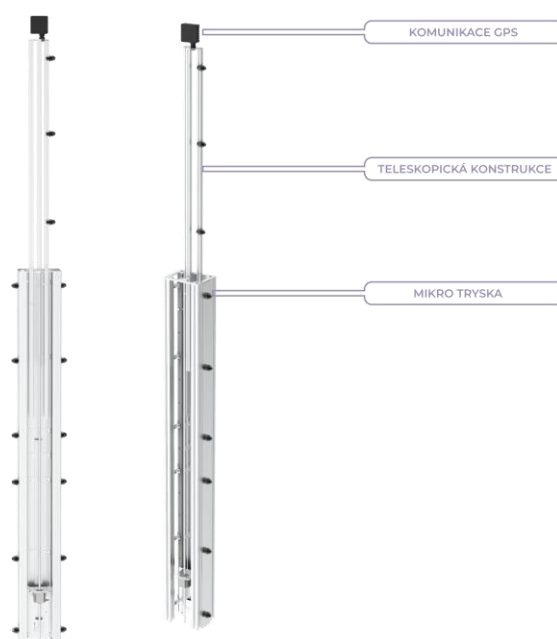
Figure 7.1: Spray boom assembly

Obr. 2-38 Trysky [39]

Počet použitých trysek

Množství trysek, které je potřeba použít pro vertikální pěstování záleží na výšce sloupu, který je odvozen od výšky a roztečí systému vertikální farmy. Základní dělení sloupů je – krátké (do 1 metru), středně vysoké (1–2 metry) a vysoké sloupy (nad 2 metry). Na krátkých sloupech do 1 metru pro 3-5 patrových systémů se umísťuje 6–12 trysek, které jsou rozmístěny dle jednotlivých pater rostlin. Středně vysoké sloupy, které jsou používány pro 6-10 patrové farmy, mají 12-14 trysek. Vysoké sloupy nad 2 metry pro 10-15 pěstebních úrovní mají až 30 nebo více trysek. Tento typ sloupů se často používá pro automatizované trysky, které mohou individuálně aktivovat postřik podle potřeb rostlin.

Rozmístění trysek



Obr. 2-39 Rozmístění trysek

Ventily s jemnou regulací průtoku

Jedná se o ventily, které umožňují kontrolovat kdy a kolik agrochemikálií je aplikováno. Běžně se používají solenoidové ventily, které rychle reagují na signalizace kontrolního systému. Pro regulaci nízkých objemů tekutin se používají membránové ventily. Pro velmi přesné dávkování malých objemů tekutin se v některých sofistikovaných systémech využívají vestavěné mikrofluidní čipy. [52]

Mikro-pumpy

Peristaltické mikro-pumpy jsou používány pro regulaci přesných objemů tekutin. Pumpy pohybují tekutinu pomocí pružných hadic, což zároveň zamezuje kontaminaci čerpané látky. Používají se piezoelektrické mikro-pumpy pro piezoelektrický efekt ke generování vibrací, které pohybují tekutinou s vysokou přesností. Tyto pumpy mohou dodávat i velmi malá množství tekutin a jsou ideální pro aplikace, kde je potřeba přesné dávkování na úrovni mikrolitrů. [53]

Senzory pro detekci živin a chemikálií

Pro monitorování kyselosti a iontů v substrátech či půdě jsou zabudovány senzory jako pH sondy a elektrochemické senzory. Díky nim systém vyhodnotí, kde a jaké živiny je třeba dodat. Optické a infračervené senzory sledují obsah vody a některé klíčové živiny v půdě, což pomáhá určit, jaké látky a v jakém množství je třeba aplikovat. Pomocí senzorů pro koncentraci živin systém rozpozná, jestli je potřeba hnojivo s vysokým obsahem dusíku, draslíku nebo fosforu. [54]

Automatizovaný dávkovací systém

Automatizace je zajištěna pomocí PLC (programovatelných logických kontrolérů) nebo mikroprocesorů, které propojují senzory, pumpy a trysky a řídí celý proces podle potřeb konkrétní rostliny. Tento systém může využívat přednastavené algoritmy založené na růstových fázích rostliny a aktuálních údajích ze senzorů. Software s algoritmy strojového učení analyzuje data z celého systému a může se učit optimální množství aplikované agrochemikálie na základě růstových podmínek a odpovědí rostlin. [55]

Kalibrační a kontrolní jednotky

Tyto jednotky slouží k pravidelné kalibraci pump, ventilů a senzorů, aby bylo zajištěno konstantní dávkování. Kalibrační systém obvykle provádí samočinnou kontrolu před a po každém použití a upravuje dávkování podle potřeby. [56]

2.4.5 Nádrž pro postřik rostlin

Objem nádrže

Minimální objem nádrže závisí na spotřebě roztoku na jednu dávku a počtu dávkovacích cyklů za den. Pro běžné vertikální farmy by měla nádrž zajistit přísun živin alespoň na jeden celý den provozu bez nutnosti doplňování. U menších farem to obvykle znamená minimálně 10–15 litrů, zatímco u větších farem je doporučený objem kolem 50–100 litrů pro běžné provozní potřeby.

U menších systémů nebo experimentálních farem, kde se zavlažuje jen několik desítek až stovek rostlin, bývají nádrže o objemu kolem 10–20 litrů dostačující. Pro komerční farmy, které mají několik pater a tisíce rostlin, bývají nádrže obvykle v rozmezí 50–200 litrů, což umožňuje více cyklů dávkování bez nutnosti častého doplňování. U rozsáhlých vertikálních farem se kapacita nádrží může pohybovat i ve stovkách až tisících litrů. V těchto případech se používají nádrže kolem 500–1000 litrů, které jsou napojeny na hlavní systém distribuce roztoků. [57]

Materiál a konstrukce nádrže

Nádrže bývají vyrobeny z polyethylenu s vysokou hustotou (HDPE) nebo nerezové oceli, protože tyto materiály jsou odolné vůči korozi a agresivním chemikáliím. Polyetylenové nádrže jsou také často UV stabilizované, což je důležité pro venkovní i vnitřní použití, kde může být vystaveno UV světlu. [58]

Míchací mechanismus nádrže

U citlivých živin a agrochemikálií jsou nádrže vybaveny míchacími mechanismy (např. motorizovanými míchači nebo vzduchovými bublinátory), které pomáhají zajistit rovnoměrné promíchání látek a zabraňují usazování sedimentu.

Senzor hladiny

Nádrže jsou vybaveny senzory hladiny (ultrazvukovými nebo plovákovými), které automaticky signalizují, kdy je potřeba doplnit obsah. U větších farem bývají tyto nádrže součástí automatizovaného systému doplňování, kde jsou připojeny na hlavní zásobní nádrže nebo dávkovací systémy, aby mohly být doplňovány kontinuálně, aniž by bylo nutné zastavit dávkování.

Proplachování stříkacího systému – filtrace a sterilizace

Nádrže často zahrnují filtrační systémy (např. mechanické nebo uhlíkové filtry), které zabraňují zanášení trysek. Některé systémy mají i UV sterilizaci nebo ozonizační jednotky, které udržují roztok sterilní a bez bakterií či řas.

Filtrace je klíčová zejména u mikro-tryskových systémů, kde by jakékoli usazeniny mohly snadno ucpat trysky.

Ekologický dopad postřikovače

Specifickým zacílením na postižené oblasti naše řešení optimalizuje efektivitu zdrojů a zmírňuje finanční zátěž spojenou s rozsáhlými nákupy agrochemikálií, což představuje významný skok vpřed v oblasti inteligentních skleníkových řešení.

Řešení poskytované postřikovačem si klade za cíl řešit současné problémy ochrany plodin ve skleníkovém zahradnictví, jako je tlak na snižování používání agrochemikálií, lepší integrace chemické ochrany s biologickou kontrolou.

Kromě přínosů pro životní prostředí, kterých je dosaženo snížením používání chemikálií, řešení upřednostňuje bezpečnost lidí tím, že eliminuje potřebu lidské obsluhy v procesu postřiku, čímž zmírňuje jakoukoli potenciální expozici agrochemikáliím. Tento návrh je nejen v souladu se zastřešujícími cíli udržitelnosti a účinnosti v rámci zemědělských postupů, ale také se zabývá obavami souvisejícími s bezpečností na pracovišti a odpovědným používáním agrochemikálií.

Agrochemikálie nebo jejich prekurzory jsou často vyráběny v rozvojových zemích s negativními dopady na místní prostředí. Integrace přesného postřikovacího zařízení pro cílenou ochranu proti škůdcům a chorobám výrazně snižuje účinnost agrochemikálií, čímž významně zvyšuje účinnost používaných zdrojů a v konečném důsledku minimalizuje dopad na životní prostředí spojený s tradičními metodami. Selektivní aplikace založená na trvalých informacích v celém skleníku vede k výraznému snížení používání agrochemikálií, což představuje vyšší účinnost a přístup šetrný k životnímu prostředí. To zase podporuje zdravější ekosystém a biologickou rozmanitost a podporuje vyváženější a odolnější zemědělské prostředí. Automatizace a rozhodování založené na datech mají potenciál optimalizovat celkové využití zdrojů, zvýšit energetickou účinnost a přispět k nižší uhlíkové stopě, zejména s využitím obnovitelných zdrojů energie. [59]

2.4.6 Druh agrochemikálií

Pro postřik rostlin se používají agrochemikálie dle potřeby konkrétních plodin. Herbicidy se používají k likvidaci plevelů a nežádoucích rostlin. Rozdělují se na selektivní (účinné proti konkrétním druhům plevelů) a neselektivní (ničí veškerou vegetaci). Mezi běžné herbicidy patří glyfosát a triaziny. [60]

Insekticidy jsou určeny k likvidaci škůdců, jako jsou hmyz a pavoukovci. Mezi oblíbené insekticidy patří pyretroidy, neonikotinoidy a organofosfáty, které se zaměřují na nervovou soustavu hmyzích škůdců.

Fungicidy slouží k prevenci a léčbě houbových infekcí, jako je padlí nebo plísně. Obsahují látky jako síra, měď, nebo syntetické látky, jako jsou azoly či strobiluriny, které inhibují růst hub.

Hnojiva obsahují klíčové živiny (dusík, fosfor, draslík, a další mikroživiny), které podporují růst rostlin. Postřik se používá pro listové hnojení, které je rychlým způsobem dodávání živin přes listy. [61]

Regulátory růstu používají se k řízení růstových procesů, například k podpoře květu nebo urychlení zrání. Mezi ně patří různé syntetické hormony, jako auxiny nebo gibereliny.

2.4.7 Možnosti rozšíření robota

Harvester

Dvojitá robotická ramena

Ramena umožňují sklízet obě strany řádku skleníku, což výrazně zvyšuje tempo sklizně. Jsou vybavena chytrými nůžkami, které konkrétně jahody zastříhují nad samotnou plodinou s částí stonku, aby rameno nerozmačkalo samotnou jahodu. Přesné nastavení stisku a místa zastřížení je hlavním parametrem během sběru. [24]



Obr. 2-40 Robotická ramena [24]

Onboard boxing system

Robot pracuje i na balení rostlin ihned po sběru. Plodiny jsou zabaleny do standardních průmyslových krabic pro snadnou a bezproblémovou integraci se stávajícími výrobními protokoly. Plošina pro balení má definovanou maximální hmotnost pro naplnění plodinami. [24]

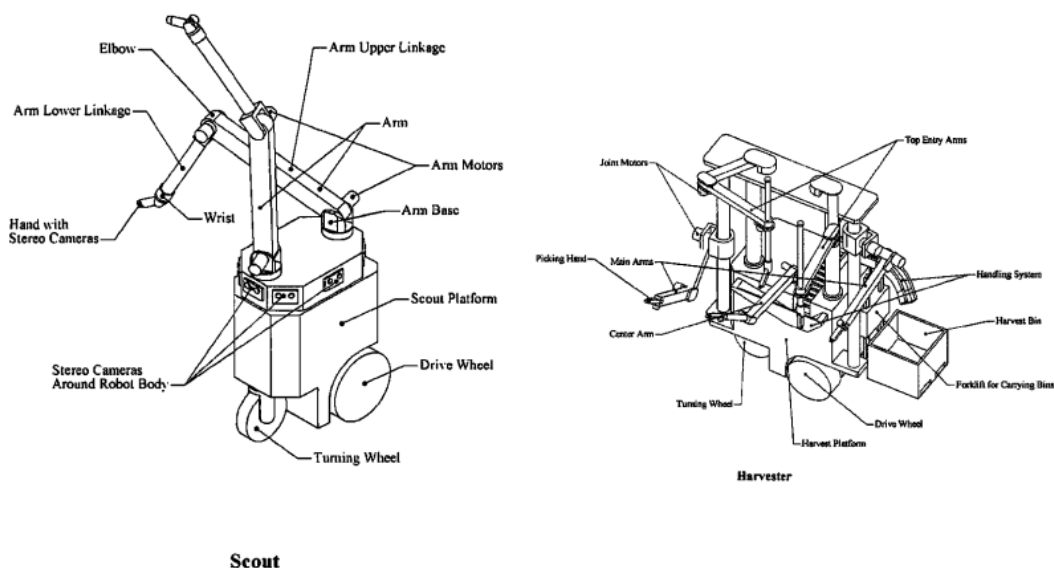


Obr. 2-41 Boxovací systém [24]

2.5 Legislativní omezení a studie

Bezpečnostní normy

Roboti musí splňovat normy týkající se strojní bezpečnosti, jako jsou standardy ISO 10218 pro průmyslové roboty, které zahrnují opatření na ochranu pracovníků a uživatelů před nebezpečnými situacemi. Tyto normy se zaměřují na konstrukční bezpečnost, ergonomii a zabezpečení proti nehodám. [62]



Obr. 2-42 Schéma robota Scout a Harvester [62]

Ochrana životního prostředí

Legislativa zaměřená na ochranu životního prostředí, jako je nařízení REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) v Evropské unii, se vztahuje na používání a aplikaci chemikálií v zemědělství. Všechny použité chemické látky musí být registrovány a schváleny, aby bylo zajištěno, že neohrožují zdraví lidí ani životní prostředí. [63]

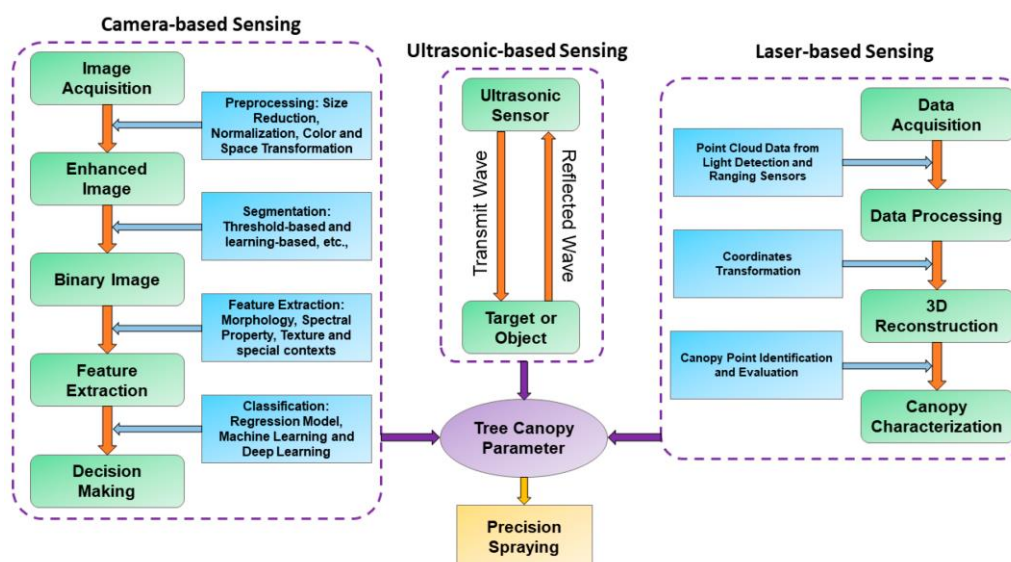
Hygienické a zdravotní standardy

Při aplikaci agrochemikálií je důležité dodržovat normy pro ochranu zdraví a bezpečnost potravin, jako jsou normy stanovené v rámci HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points). To zahrnuje zajištění toho, že použití pesticidů a hnojiv neohrozí kvalitu produkce. [64]

Studie postřikovač

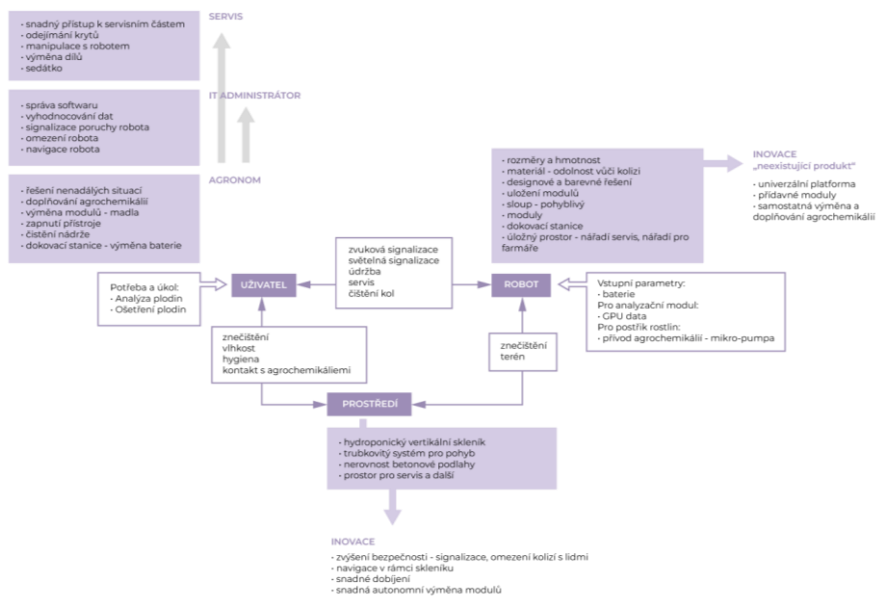
Studie přesného postřikování agrochemikálií se zaměřují na využití pokročilých technologií, jako jsou senzory, GPS a automatizované systémy, k optimalizaci aplikace pesticidů a hnojiv. Cílem je minimalizovat plýtvání chemikáliemi a snížit jejich vliv na životní prostředí, zatímco se zvyšují výnosy plodin a celková efektivita zemědělství. Například, výzkum ukazuje, že aplikace agrochemikálií na základě reálných dat o stavu rostlin a půdy může vést k úsporám až 30 % oproti tradičním metodám. Studie také ukazují, že využití dronů a automatizovaných postřikovačů může zvýšit přesnost a efektivitu postřikování, což má pozitivní vliv na zdraví rostlin a minimalizuje riziko kontaminace.

V rámci výzkumu se také zdůrazňuje důležitost kalibrace postřikovačů a využití pokročilých algoritmů pro řízení aplikace, které berou v úvahu proměnné jako je vítr, teplota a vlhkost. Tyto technologie nejen zefektivňují proces aplikace, ale také přispívají k udržitelnému zemědělství, které je klíčové pro ochranu ekosystémů a zdraví lidí. [65]



Obr. 2-43 Studie postřikovač [65]

2.6 Ergonomie



Obr. 2-44 Ergonomické schéma

2.7 Dotazníkové šetření

Dotazníkové šetření proběhlo s brněnskou start-upovou firmou FraveBot, ve které byli dotazováni zaměstnanci jednotlivých sekcí vývoje robota. Cílem bylo zjistit technické specifikace, problémy zařízení a potřebné informace pro vývoj nového konceptu robota. Informace a problémy se samotným zemědělstvím a pěstováním byly poskytnuty díky Farmě Ráječek. Hlavní problematiku samotného průběhu práce robota pomohl rozpoznat dotazník napříč spotřebitelem, konstruktéry, IT odborníky a výrobcem.

Zajímavým faktem pro vývoj robota a firmy Fravebot do budoucna je rozšíření na americký trh, kde se hydroponické farmy objevují v objemech 1000 ha na rozdíl od Evropy, kde je jejich četnost ve stovkách hektarech. [66]

2.8 Shrnutí hlavních řešení

Roboti FraveBot jsou testováni na Farmě Ráječek, která pěstuje zeleninu v zastřešeném skleníku a na poli o rozloze 20 ha. Roboti pro analýzu a postřik plodin jsou zaměřeny v 2-4 ha sklenících (fóliovnících). Z poznatků Farmy Ráječek vyšli najevo hlavní faktory samotného pěstování plodin. Objem vypěstovaných plodin vychází dle hektarů samotné farmy, na 1 ha skleníku lze vypěstovat 500 tun rajčat a 250 tun jahod za rok. Během práce ve skleníku bez robota se ale ukázala jako problematická samotné predikce objemu plodin v realitě, farmář má odhadovaný objem plodin, ale realita se ukázala až o několik tun rozdílná. Robot pomáhá zajistit přesnost odhadovaného objemu plodin a tím tak usnadňuje i obchodní sekci tohoto průmyslu, kdy farmář může poměrně přesně informovat např. obchodní řetězce o termínu dodání a objemu plodin k prodeji.

Faktor člověka ale zůstává nadále podstatným článkem systému. Je na farmářovi, aby vyhodnocoval, jak bude robot postupovat v případě detekce škůdce. Určení postupu závisí na typu škůdce, na počtu napadených plodin a na rychlosti šíření škůdce.

Celý systém fungování robota a skleníku spočívá ve sdílení informací, robot zaznamenává škůdce a spojí jejich výskyt s umístěním v rámci skleníku a farmář tak může zacílit ošetření na konkrétní místo. Tento systém umožňuje celkově zefektivňování systému a vylepšení detekce škůdců a dochází tak i k novým poznatkům o plodinách samotných. Firma Fravebot pro zkvalitňování práce robota využívá následující technické specifikace a parametry:

Systémy
Plně autonomní systém
Nosič senzorů - PAR
Bezdrátové dobíjení
Centrální zpracování dat GPU
32x 4k RGB kamera Luxonis – stereo based CNN mono
Datová komunikace 2.5 Gbps
Neutronový systém

Tab. 2-1 Využívané systémy robota

Hlavní parametry robota	
Rychlost	2,1 m/s
Analyzovaná plocha	2 – 3 ha/den
Baterie	100Ah
Hmotnost	226 kg

Tab. 2-2 Hlavní parametry robota

Z diskuze s konstruktérskou a vývojářskou sekcí firmy Fravebot vyplynuli následující poznatky:

- Robot v následujících letech musí být pod kontrolou člověka vzhledem ke koncepčnímu řešení
- Žádanou variantou je robot Scout
- Cena robota se pohybuje kolem 3 mil. Kč
- Ekonomicky se dá říct, že částka, která se díky přesnému dávkování agrochemikálií díky robotovi ušetří, odpovídá celkové částce robota

Z konstrukčního hlediska se ukázala jako nejefektivnější varianta vertikálního robota, které nabízí možnost rozšíření o více modulů a funkcí. Aktuální roboti jako dráhu během práce využívají vyhřívací trubky ve skleníku a po nich se pohybují koly. Robot je tak přesně naveden a nevychyluje tak ze své trajektorie. Jako problematické se ukázalo zamotávání plodin do kol během práce, plodiny mají postupnou tendenci opadávat a dochází tak k hromadění listů ve spodní části hydroponického systému, kde dochází ke kolizi s kolami. Dalším faktorem je také samotná výška robota, která musí být co nejnižší vzhledem k napínání plodin, které mohou výrazně zavázat jízdu robota v rámci řádku.



Obr. 2-45 Kola robota Fravebot

2.9 Identifikace novosti a příležitostí

Přichází nové řešení, jak odstraňovat plevel. Systém spočívá v identifikaci plevele a následně ho zničí pomocí výkonných laserů. Aktuálně se využívá způsob vytrhávání plevele ručně nebo dávkováním chemických herbicidů, které mohou kontaminovat vodu. Novou technologií, která se zatím využívá hlavně v Holandsku pro eliminaci plevele u tulipánu je plynový CO₂ laser. Za 1 hodinu dokáže odstranit více než 100 000 plevelů, což je 6 až 8 hektarů. Běžný pracovník odplevelí přibližně 0,5 hektaru za den. Lidé se více zajímají o možnost vlastních plodin, ale často nemají dostatek místa pro pěstování. Proto se začíná užívat způsob vertikálního pěstování, kterému se už některé typy robotů přizpůsobují. Standardně se vertikálně pěstují například okurky a rajčata. Díky přizpůsobeným konstrukcím se začíná více objevovat i vertikální pěstování jahod, brambor, cuket nebo melounů.

Budoucnost pro zemědělství spočívá také v analytických datech, které robot zaznamenává. Data ze skleníku lze přes časovou značku a lokaci spojit s konkrétní událostí. Vyhodnocení dat pak umožní zjistit příčiny problémů, např. výskyt konkrétní choroby nebo škůdce. Díky těmto informacím je například firma Ráječek, která běžně s roboty pracuje, schopna okamžitě lokálně zasáhnout proti nemocem, snížit tak spotřebu pesticidů, nákladů, a naopak zvýšit výnosy a kvalitu.

Se zajímavou vizí přichází také FarmBot, který se zaměřuje na vinice a farmy. Jedná se o robota s rámovou konstrukcí, která lemuje jednotlivé řádky vinic a ošetřuje plodiny od plísní a dalších škůdců pomocí UV světla a laseru CO₂. Konstrukteři přichází s myšlenkou vytvořit takový design a konstrukci, kterou by si mohl každý farmář poskládat sám a přizpůsobit ji danému poli.

3 CÍLE PRÁCE

Tato kapitola práce vychází z provedené analýzy autonomních robotů v zemědělství. Zabývá se vymezením problému, specifikací zákazníka, spotřebitele a analyzuje trh, cenu a použité výrobní technologie. Pro vypracování diplomové práce byly specifikovány hlavní a dílčí cíle.

3.1 Vymezení problému

Tato diplomová práce se věnuje tématice autonomních robotů určených pro farmaření ve velkých sklenících. V současné době začíná být velký zájem o lokální produkty, vypěstované co nejpřírodnější cestou bez množství pesticidů. S tím i také zájem farmářů, o co nejeftivnější způsob pěstování. Tyto body vedly k novému přístupu pěstování pomocí autonomních robotů, kteří si sami zasadí vybrané plodiny, zalévají, zbavují je plevelu, hnojí a ničí škůdce.

3.1.1 Název a druh produktu

Tématem diplomové práce je autonomní robot pro skleníky. Jedná se o přístroj, který slouží k obstarávání rostlin – analyzuje je, vyhodnocuje jejich stav a následně je ošetřuje pomocí agrochemikálií. Robot se zaměřuje převážně na 2-4 ha skleníky, které využívají systém vertikální hydroponické farmy.

Jedná se o spotřební opakově používaný produkt. S poměrně jasně vymezenou cílovou skupinou, která má své vyhraněné speciální požadavky. Produkt je definovaný jako speciální zboží se zvláštní poptávkou pro výrobu na zakázku.

3.1.2 Specifikace zákazníka

Zákazníkem je fiktivní firma, která vyvíjí autonomní roboty pro farmáře v hydroponických vertikálních farmách. V České republice se jedná o jediného výrobce, a to o brněnský start-up FraveBot. Nejvíce rozvinutý trh se zákazníky je v Holandsku, kdy působí firma Otiva. Cílem zákazníka je vytvoření efektivního řešení autonomního robota, který bude vyhovovat požadavkům hydroponického vertikálního pěstování a usnadní tak spotřebiteli jeho práci. Bude se odlišovat od konkurenčních firem jak po technické, tak po designerské stránce, ale umožní výrobcům dosáhnout potřebných zisků.

3.1.3 Specifikace spotřebitele

Farmáři potřebují vědomosti a zkušenosti pro pěstování konkrétních plodin. S tím souvisí značné soustředění času samotnému farmaření a nezbývá čas na další činnosti. Robotizace přináší svobodu a nové možnosti. Hlavním problémem farmáře je aktuální nedostatek zaměstnanců, kteří by se poli nebo skleníku věnovali.

Každá farma usiluje o snížení nákladů, minimalizování použití chemikálií, a naopak docílení kvalitnějších produktů a vyšších výnosů. Po vysázení plodin přichází dlouhý proces kontroly a ošetřování. Častým problémem je bohužel pozdní zásah proti škůdcům, což má za následek zničení části úrody. Dalším faktorem je také rychlost a efektivita práce, o kterou farmář usiluje. Robot je nejen rychlejší, ale hlavně přesný. Hlavní výhodou robota je také důslednost. Pravděpodobnost, že by na nějakou rostlinu zapomněl nebo nezkontroloval je velmi malá.

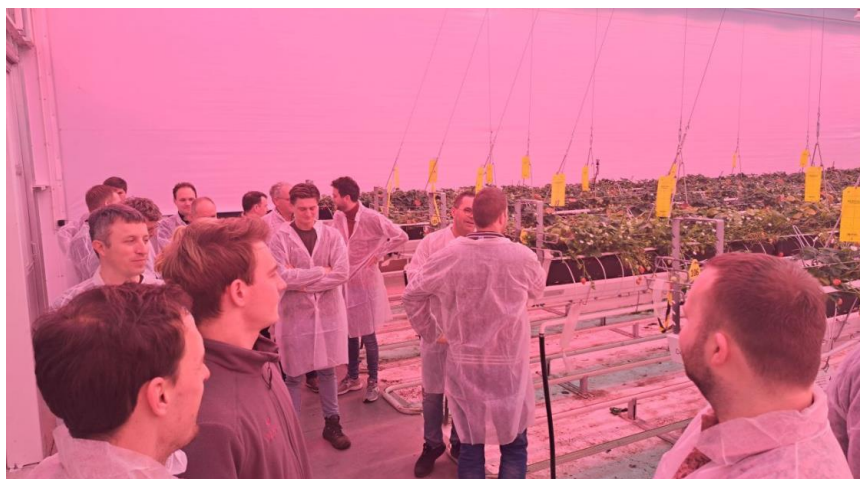
PRIMÁRNÍ SPOTŘEBITEL

Primárním spotřebitelem je v tomto případě farmář skleníkové farmy. Obecně lze říci, že se jedná o konvenční a udržitelné zemědělce, inovativní pěstitele, ale hlavně hydroponické vertikální farmy. Hlavním spotřebitelem je samotný farmář, který vyžaduje výnosnost plodin, rychlou analýzu a ošetření k zamezení poškození plodin. Jeho cílem je získat, co nejvíce plodin, které budou minimálně ošetřovány agrochemikáliemi. Primárně mu jde o kontrolu už vypěstovaných plodin – hlavně rajčata, jahody a okurky, aktuálně se jedná pouze o vizuální kontrolu, kterou musí na farmě vykonávat desítky lidí. Kontrola je však neefektivní a nepřesná a dochází proto k většímu počtu napadení rostlin. Proto hledá cestu, jak tuto problematiku efektivně vyřešit a docílit tak tížených výsledků.

SEKUNDÁRNÍ SPOTŘEBITEL

Sekundárním spotřebitelem jsou samotní uživatelé robota, jedná se ale spíše o nahrazení těchto uživatelů na farmě, jejich činnost se změní na ovládání robota a kontrolu dat ze získaných analýz. Jedná se o agronomy, kteří pracují na skleníkové farmě a vizuálně kontrolují plodiny, jejich práci robot nahradí, stejně tak dávkování postřiku vyřeší za ně. Uživatel se tedy změní na IT administrátora, který řídí robota na dálku přes software a kontroluje jeho práci. Úkolem uživatele je kontrola robota a sledování dat, predikci sklizně a množství plodin, které jsou vypěstované.

Uživatel robota může upravovat veškerá nastavení prostřednictvím softwaru a aplikace v PC nebo v mobilním telefonu. Každý uživatel přistupuje k pěstování jinak a může si tak vše přizpůsobit svým potřebám. Během práce robota je uživatel informován o průběhu práce a v případě problému jej upozorní v aplikaci. Úkolem uživatele je zajistit správný chod robota a dostatek energie pro baterii.

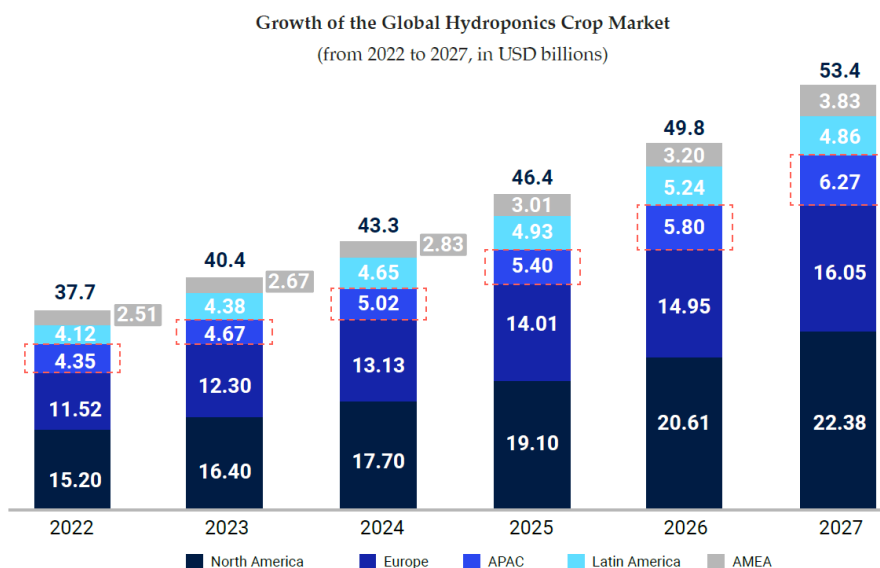


Obr. 3-1 Spotřebitelé

3.1.4 Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií

TRH

Aktuálně se rozvíjející trh s hydroponií dokazuje, že tento způsob pěstování je třeba rozvíjet i z hlediska robotizace. Mezi zásadní země robotizace v zemědělství patří Holandsko, kde jsou hydroponické vertikální farmy využívány ve značném množství. Predikce rozšíření hydroponie dokazují, že tento systém nezůstane pouze v Evropě, rozvíjí se hlavně v USA, Japonsku a Indii. [67]



Obr. 3-2 Rozšiřování hydroponie ve světě od roku 2022 do roku 2027 [67]

CENA

Odhadovaná cena 3 mil. Kč je kalkulovaná na existující model robota což je autonomní robot zaměřující se na analýzu, nejedná se o výměnou verzi modulů, taková aktuálně ani neexistuje. [24]

Dá se konstatovat, že to, co ušetří farmář na agrochemikáliích díky přesnému dávkování postřiku, může investovat do robota, který spotřebiteli zefektivní práci a zajistí snížení výdajů a výnosnou sklizeň.

POUŽITÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

Možnosti materiálu pro výrobu samotné konstrukce jsou různé, využívají se hliníkové slitiny nebo nerezové oceli. U existujících prototypů se využívají hliníkové profily, které jsou spojeny šrouby. Pro vnitřní komponenty se pracuje s 3D tiskem nebo technologií vstřikování ABS plastu. Krytování těla robota je řešeno laminátem. Materiály a výrobní technologie budou voleny s ohledem na podmínky (teplota, vlhkost) ve skleníku, dále na konstrukční požadavky a na rozměrové a hmotnostní parametry. [68]

3.1.5 Vymezení atributů a cílů produktu

Autonomní robot s funkcemi jako analýza plodin a jejich následné ošetření pro vertikální hydroponické skleníky je čím dál víc rozšířené téma, které v současné době nemá velký počet přímých konkurenčních firem. Neexistuje multifunkční řešení, které by spojilo jeden základní modul, který může být multifunkční. Většina problémů, které je nutné řešit nelze tedy prakticky ověřit, jelikož taková řešení vznikají zatím pouze jako prototypy, které začínají být uváděny do provozu v testovacích provozech.

Nejdůležitější cíle vyplývají ze samotné konstrukce robota, jde o vyřešení stability, pohonu a možnosti zapojení přídatných modulů. Design musí vycházet z parametrů vnitřních komponentů a rozměrů samotného skleníku, který vychází z evropských norem. Problémem jsou vyčnívající plodiny, které mohou omezit pohyb robota, proto je nutné řešit samotný podvozek a jeho krytování. Kromě toho je také potřeba zohlednit riziko možných kolizí a vliv vlhkosti a teplot na materiály robota.

Charakteristika	Cíle	Omezení	Funkce	Prostředky
Odolné materiálové a konstrukční řešení	✓			
Respektování rozměrů vnitřních komponent a jejich uspořádání		✓		
Autonomní řízení			✓	
Stabilita produktu	✓	✓		
Možnost uložení nástrojů pro servis				✓
Kompaktní tvarování	✓			
Zřetelné zvukové a vizuální sdělovače	✓			
Vhodné zvolení baterie			✓	✓
Bezpečí během práce		✓		
Vhodný systém pro zapojení modulů	✓			✓
Respektování systému Lidarů a 3D kamer		✓		✓
Automatizovaná výměna modulů			✓	
Dostatek agrochemikálií		✓		
Snadný servis a údržba	✓			
Snadno dostupné ovládací prvky (nouzové vypnutí)	✓			
Odolnost vůči znečištění během farmaření			✓	
Odolnost vůči podmínkám ve skleníku			✓	
Respektování systému a logistiky skleníku	✓		✓	

Tab. 3-1 Zhodnocení cílů

3.2 Cíle vývoje

Hlavním cílem je navrhnout design autonomního robota pro sledování rostlin a jejich následné ošetření v hydroponických sklenících. Vytvořit koncepční řešení pro budoucí generace farmářů a zajistit efektivní samostatnou práci robotů.

3.2.1 Globální cíl

Globálním cílem produktu je ekonomicky výhodnější řešení pro farmáře atj. řešení platformy a připojovacích modulů. Dále možnost multifunkčních možností robota, díky různorodosti funkcí a jim přizpůsobeným modulům.

3.2.2 Dílčí cíle

Dílčí cíle pro návrh produktu, které povedou k dosažení optimálního řešení:

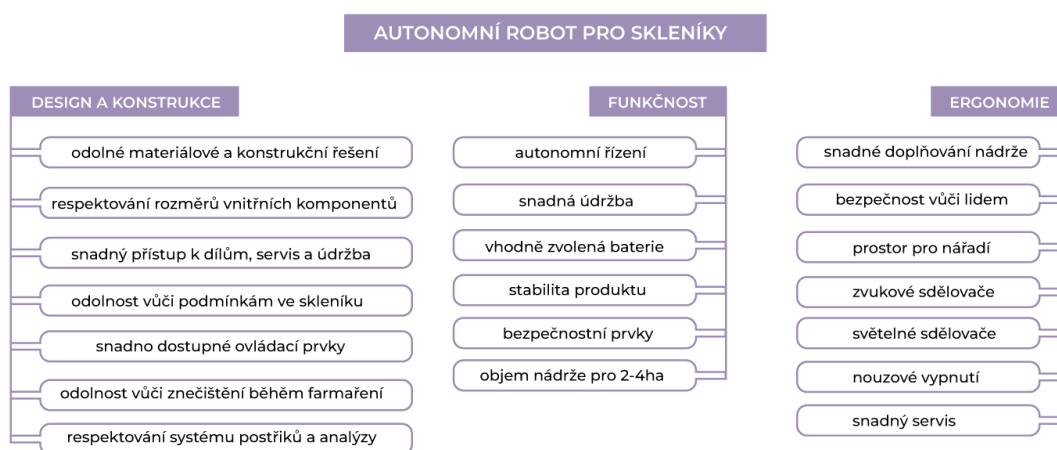
- Nové zcela autonomní řešení, které využije princip platformy a modulů
- Možnost výměny jednotlivých modulů
 - modul pro analýza plodin
 - modul pro postřik škůdců
- Konstrukce modulů a jejich umístění ve skleníku pro autonomní zapojení k platformě
- Využití pohonu všech čtyř kol a nezávislých motorů pro efektivnost a rychlost otáčení robota v rámci uspořádání řádků pole
- Čtyřkolové řešení, které nebude omezené pouze na vedení po vytápěcích trubkách
- Atraktivita pro potencionální investory – multifunkčnost
- Dobíjení během práce pomocí dokovacích stanic
- Návrh hydroponického skleníku pro budoucí generace (systém, ovládání, umístění modulů a dokovací stanice)
- Materiálově i konstrukčně uzpůsobený design pro podmínky hydroponického skleníku
- Snadná údržba a servis – snadný přístup k baterii, jističi, kamerám a tryskám
- Zvládání nerovného povrchu a nečistot ve skleníku – řešení podvozku
- Odolnost konstrukce vůči kolizím a korozi
- Odolnost a zajištění dlouhé životnosti produktu
- Intuitivní ovládání softwaru
- Učení robota přes digitální dvojče – definování trajektorie pro práci v softwaru

4 KONCEPČNÍ NÁVRH

Na základě designérské a technické analýzy byly v této kapitole zpracovány tři variantní řešení autonomního robota pro skleníky, které jsou specifické svým odlišným technickým, ale i designérským přístupem.

4.1 Analýza cílů a specifikace omezení

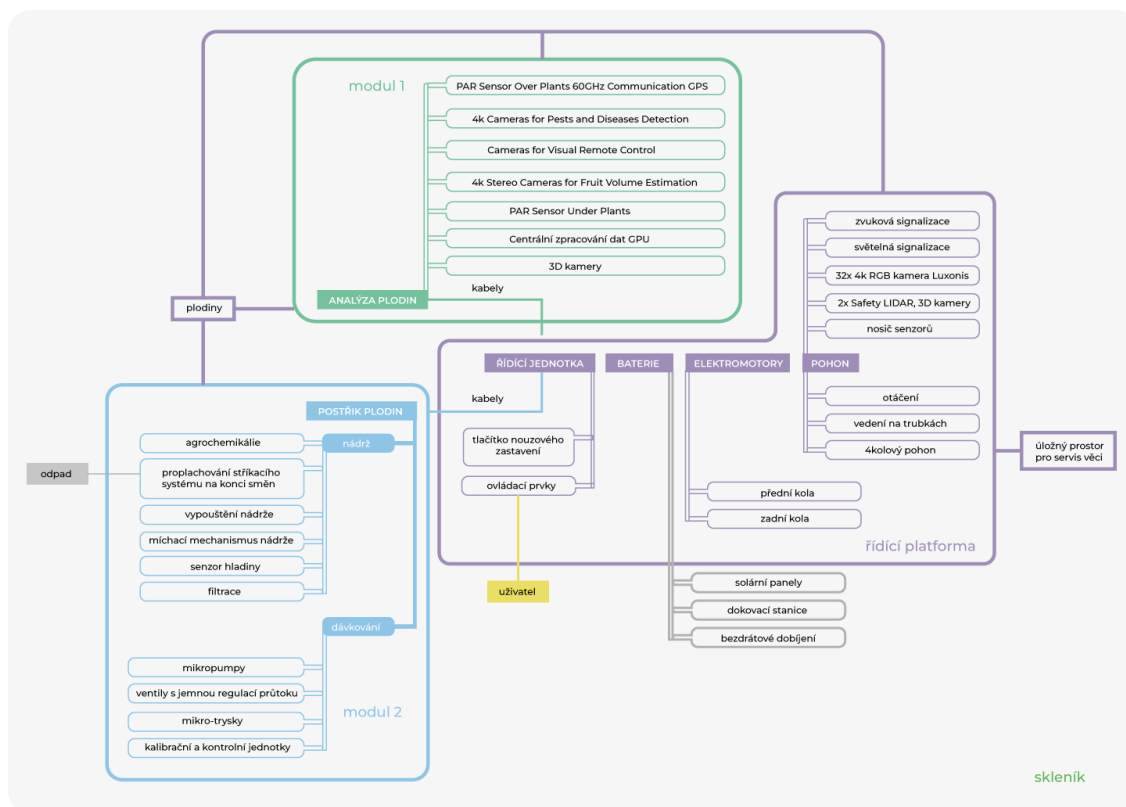
Pro definování postupu a vývoje pro jednotlivé varianty byl zpracován strom cílů, na kterém došlo k ujasnění zásadních cílů, které je potřeba vyřešit pro vhodný design a konstrukci robota.



Obr. 4-1 Strom cílů

4.2 Technická funkční analýza

Z technické analýzy vychází detailní glassbox, který schematicky zobrazuje jednotlivé části robota, detailní schéma platformy, která je hlavním pohybovým článkem robota a následně detailně popisuje funkční moduly pro analýzu plodin a pro postřik proti škůdcům. Glassbox ukazuje jednotlivé vztahy mezi komponenty a propojení mezi platformou a moduly.



Obr. 4-2 Glassbox

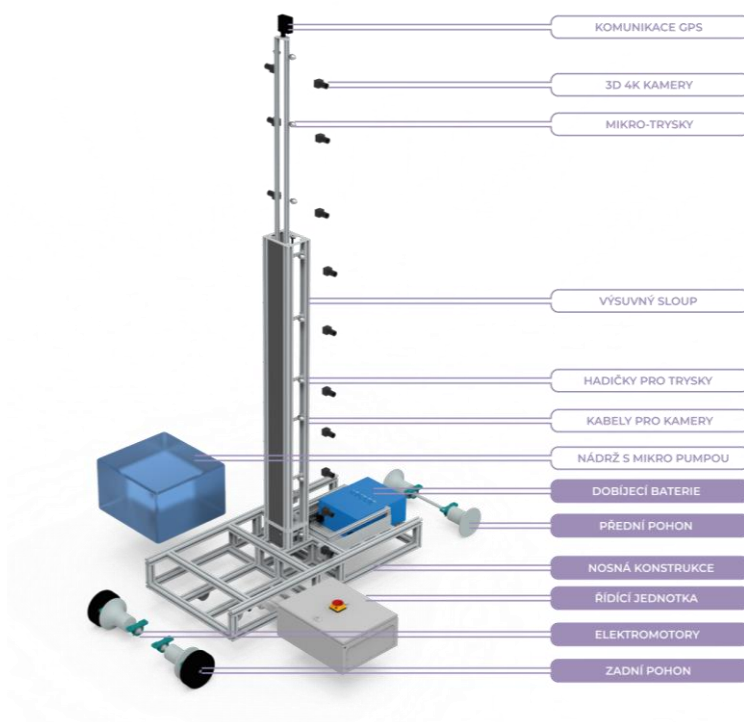
Komponenty byly následně i zpracovány do průhledového schématu, které názorně specifikuje rozmístění jednotlivých částí a jejich rozměry v rámci nosné konstrukce robota. Rozmístění komponentů vychází z technické analýzy existujícího prototypu, ale nemusí být definitivní pro konkrétní řešení diplomové práce.

Tvarové řešení platformy je přizpůsobeno umístění baterie a řídicí jednotky, které jsou rozměrově největší a jim musí být přizpůsobena výška robota. Šířka robota je navrhována dle existující šířky uliček v rámci hydroponického skleníku. Robot jednotlivými řádky projíždí a musí mít snadný přístup k plodinám. Moduly jsou rozměrově a tvarově uzpůsobeny platformě tak, aby mohlo docházet ke snadné výměně a jejich zapojení pro práci. Tvar je omezen výrobě pohyblivého výsuvného sloupu, který musí být schopen pracovat až ve 2 metrech skleníku. Modul, který se zaměřuje na postřik plodin je navíc rozměrově omezen objemem nádrže, je potřeba pracovat s objemem agrochemikálií, které budou spotřebovány během jednoho pracovního dne.

4.2.1 Specifikace vnitřních komponent

Tato podkapitola je zaměřena na vnitřní komponenty specifikované pro funkci analýzy plodin a postřiku plodin. Pro definici vnitřních komponentů byly využity informace firmy FraveBot s blíže specifikovanými informacemi z internetových zdrojů.

Pro ujasnění technických a funkčních částí robota bylo zpracováno schéma vnitřních komponentů a základní konstrukce (viz. Obr. 4-3). Další část je zaměřena především na rozměry daných komponent.



Obr. 4-3 Schéma vnitřních komponentů

Baterie

Dobíjecí baterie Li-Ion pro chod platformy robota (pohon motoru, řídicí jednotka)

- 24 V
- 100 Ah
- Rozměry: (165 x 176 x 125) mm

Řídicí jednotka

- Nvidia Jetson
- Čtyřjádrový procesor, 1,43 GHz
- Grafický procesor Nvidia Maxwell se 128 jádry CUDA

Elektromotory

- Pohon předních a zadních kol
- Stejnosměrný bezkartáčový motor BLDC

Senzorová integrace

- Lidar a 4K kamery
- Komunikace přes I2C nebo SPI

Komunikace GPS

- Modul LoRa nebo Wi-Fi/Bluetooth

Ethernetové kabely

- Stíněné kabely proti elektromagnetickému rušení (EMI)
- Ochranná izolace z PVC, TPU, TPE

3D kamery [69]

- 4K kamery
- Viditelná oblast: RGB
- Frekvence snímání: 30-60 fps
- (25 x 24 x 11.5) mm

Přívod k nádrži: mikro-trubky [70]

- \varnothing od 0.8 mm do 1.5 mm
- Tlaková odolnost: 2 až 10 barů
- Délka: od 1 m do několika desítek metrů

Mikro – trysky

- Rozměry: \varnothing 0,1 mm do 1 mm
- Nerezová ocel
- Průtok: 0,01 – 1l/min
- Kuželovitý nebo plochý ventilátorový vzor
- Rozstříkový úhel od 30° do 120°

Mikro-pumpa

- Průtok: mikrolitrů (μ L) až po několik mililitrů za minutu
- Tlak: 2–10 barů

4.3 Návrh alternativních variantních řešení

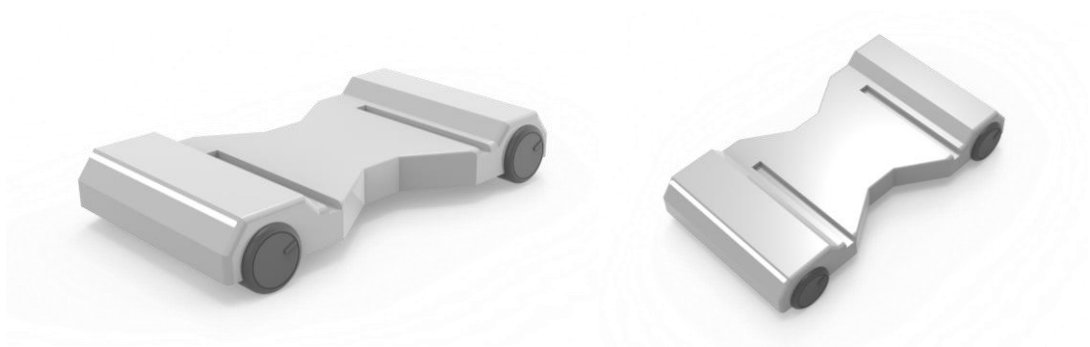
Každá varianta vychází z odlišných přístupů k technickému řešení. Rozměrově zůstávají podobné, jelikož jsou omezeny vnitřními komponenty a šířkou rádků, kde se robot pohybuje. Jednotlivé varianty se zaměřují na různé principy upnutí modulu na platformu nebo k odlišnému řešení analyzačních a ošetřujících sloupů. Tvarově vychází z různých možností designu v rámci zvolených rozměrů.

4.3.1 Varianta I

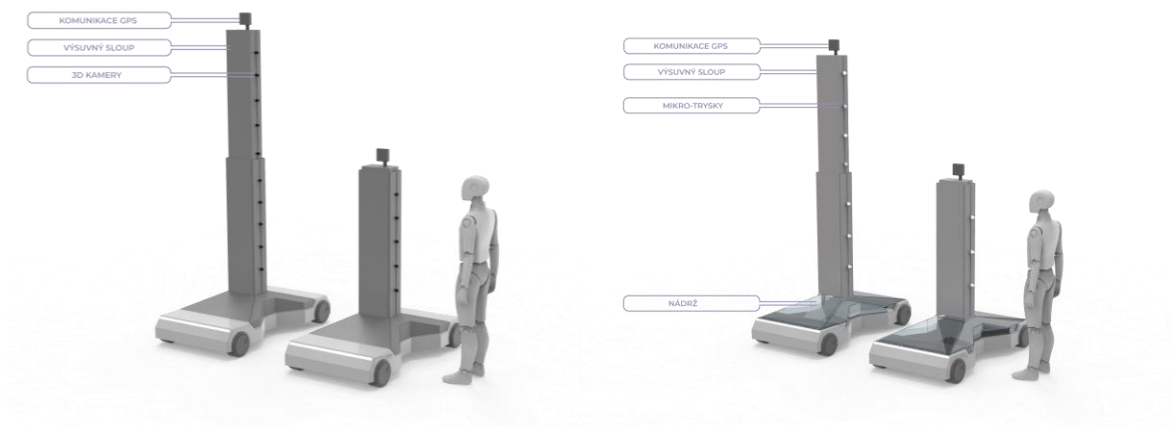
První varianta vychází z jednoduššího geometrického přístupu k platformě a dynamického modulu, který vychází ze stylizace rostlinného motivu – stromu. Dynamický růst od modulu až ke sloupu ukazuje růst stromu a díky tomu dochází k efektivnímu propojení platformy s modulem. Platforma vychází z písmene „X“ a svými průniky se stává i samostatně dynamickým objektem. Zúžení modulu vůči platformě je přizpůsobeno manipulaci s ním. Jedná se o technické řešení, které pro zapojení modulu potřebuje faktor člověka, který modul z boční strany upne k platformě pomocí tlaku. Modul pro analýzu plodin vychází z nižší středové části, ve které jsou umístěny komponenty pro záznam kamer a jednotky, která přenáší data do cloudového zařízení. Naopak modul pro postřik plodin má navíc na těle umístěnou nádrž na agrochemikálie o objemu 8l a v ní mikro-pumpu, která je kanálky propojena s mikro-tryskami umístěnými v rámci konstrukce sloupu. Rozměr platformy je (1440 x 735 x 270) mm, samotný sloup je 1000 mm vysoký a po vysunutí dosáhne až 2000 mm.



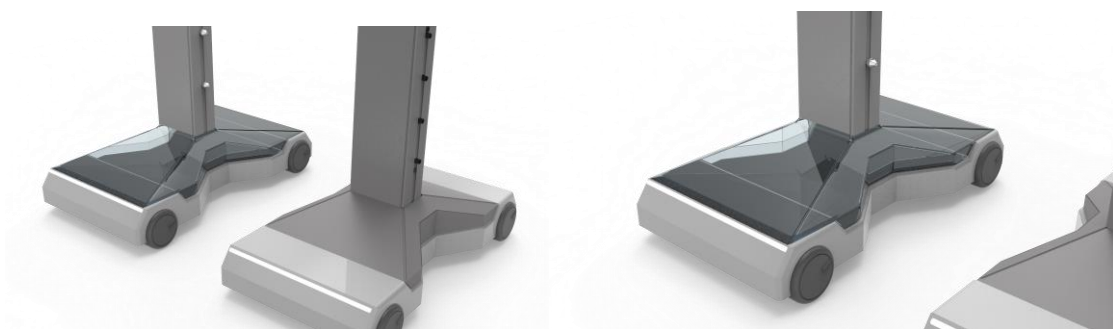
Obr. 4-4 Varianta I



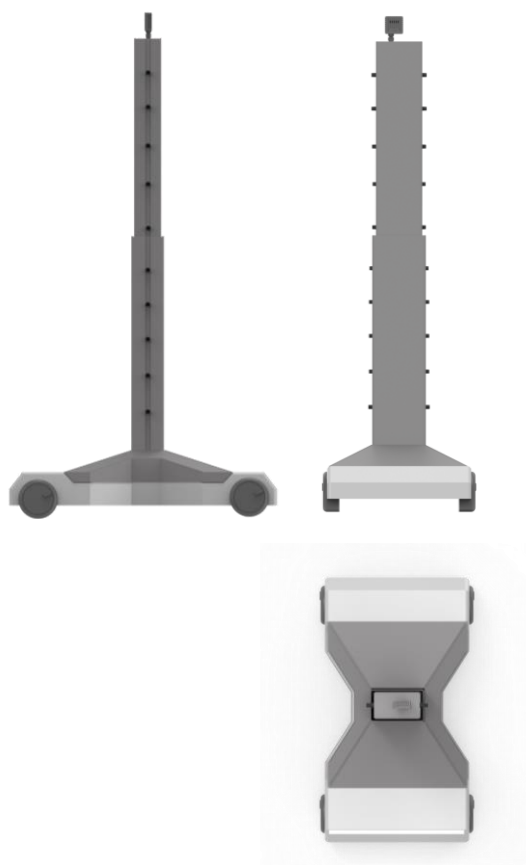
Obr. 4-5 Platforma varianty I



Obr. 4-6 Řešení modulu analýzy a postřiku variantu I



Obr. 4-7 Detaily varianty I



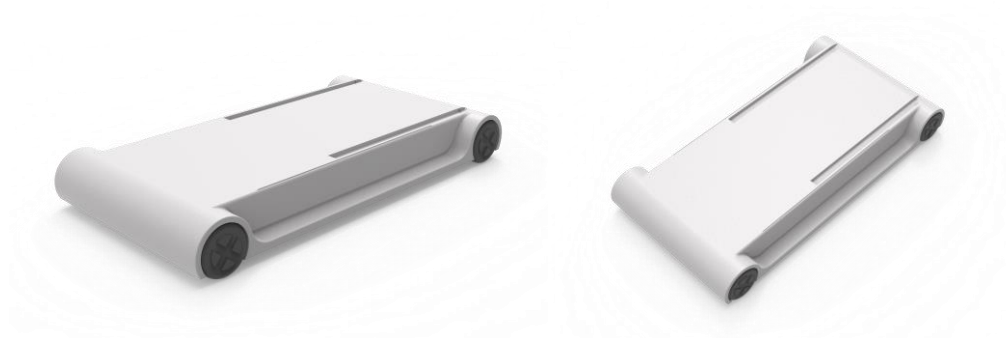
Obr. 4-8 Pohledy varianty I

4.3.2 Varianta II

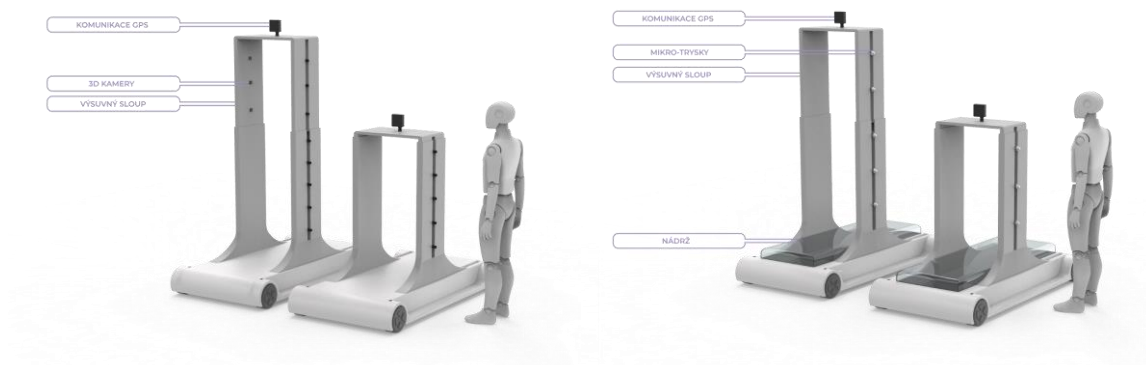
Druhá varianta využívá odlišný přístup k řešení sloupu, kdy jsou kamery a mikro-trysky umístěny na rámu, který šířkou odpovídá šířce platformy a je tak výrazně přiblížen k plodinám v rámci řádků. Samotná platforma je inspirována podvozkem automobilu s výraznými koly a jejich krytovaním. Modul pro analýzu je k platformě upnut pomocí drážek, samotné upnutí by bylo automatizované a robot by si modul upnul bez zásahu člověka. Modul pro postřik rostlin je umístěn v rámci konstrukce rámu a díky výšce rámu nabízí možnosti pro možné rozšíření objemu nádrže dle potřeby a dle objemu farmy. Variabilita a možnosti využití různých velikostí nádrže o objemu 10l jsou výhodné pro farmáře, ale i pro výrobce, který nemusí vyrábět zcela novou konstrukci pro větší nádrž, ale pouze obměnit typ nádrže. Rozměr platformy je (1440 x 850 x 270) mm, samotný sloup je 1000 mm vysoký a po vysunutí dosáhne až 1600 mm.



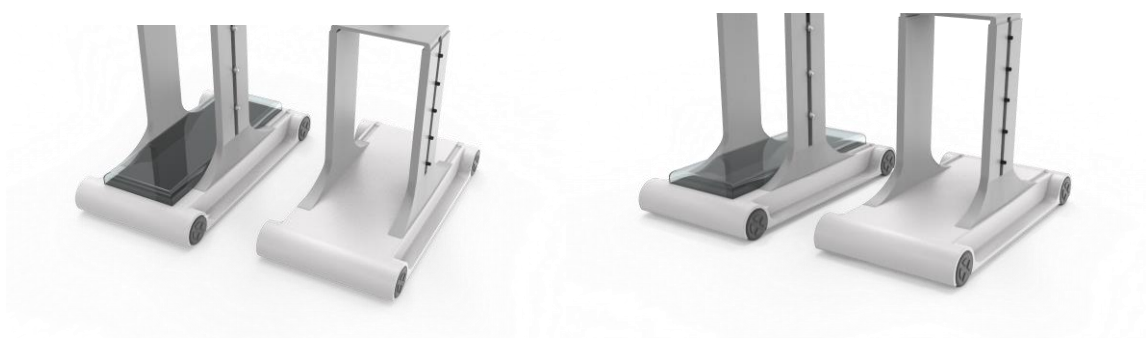
Obr. 4-9 Varianta II



Obr. 4-10 Platforma varianty II



Obr. 4-11 Modul analýzy a postřiku varianty II



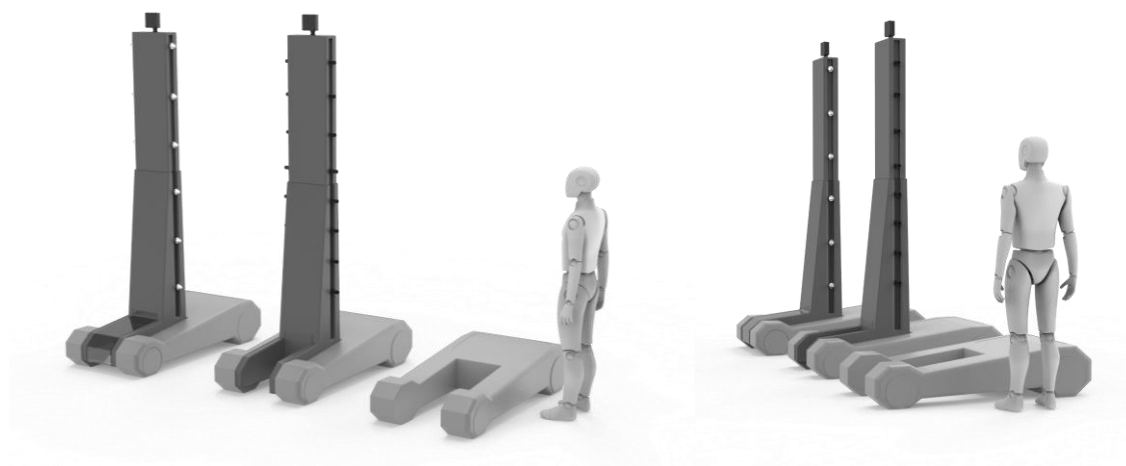
Obr. 4-12 Detaily varianty II



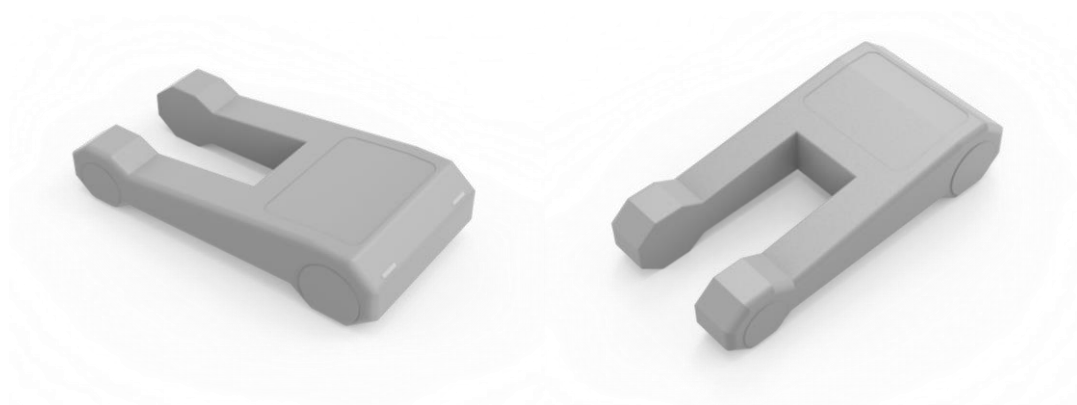
Obr. 4-13 Pohledy varianty II

4.3.3 Varianta III

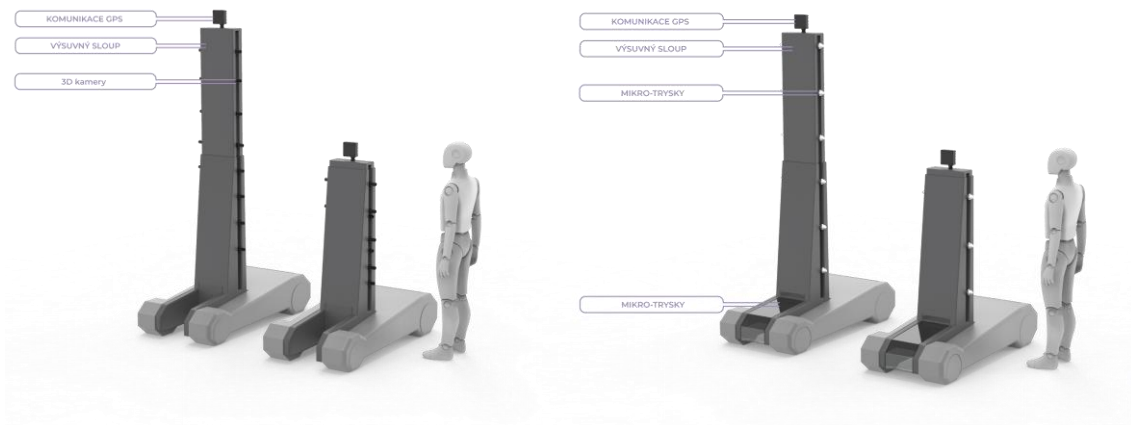
Třetí varianta se zaměřuje hlavně na výrazný a dynamický vzhled platformy, která má více vycházet ze zemědělského prostředí a odrážet náročnost práce v rámci tohoto průmyslu. Platforma vychází z provázání dvou oktagonů, které jsou propojeny rostoucí křivkou. Platforma si bude jednotlivé moduly upínat autonomně pomocí drážek a najeť ke stojanu, který poslouží k snadné manipulaci s modulem. Modul je umístěn ve středové části platformy, která je konstrukčně přizpůsobena možnostem analyzačního sloupu. Druhý modul vychází ze stejného tvarování jako analyzační sloup a na těle modulu navíc umístěna nádrž o objemu 6l pro agrochemikálie, kterou je snadné doplňovat. Rozměr platformy je (1440 x 735 x 300) mm, samotný sloup je 1000 mm vysoký a po vysunutí dosáhne až 2000 mm.



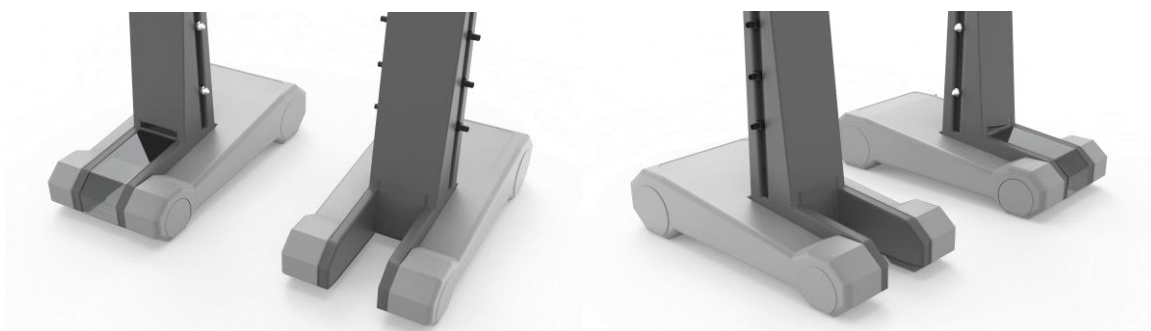
Obr. 4-14 Varianta III



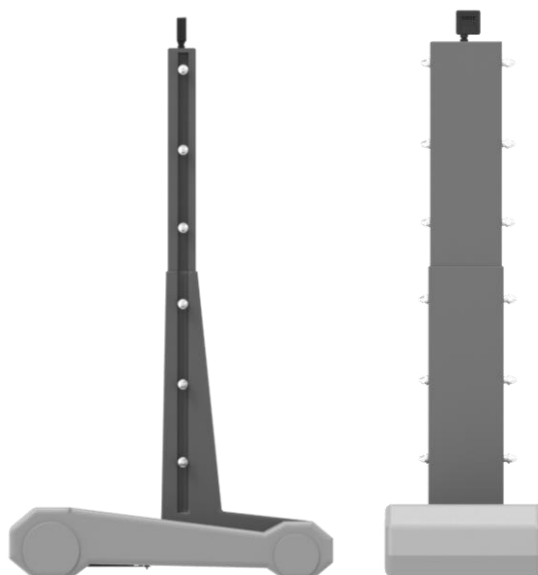
Obr. 4-15 Platforma varianty III



Obr. 4-16 Modul analýzy a postřiku varianty III



Obr. 4-17 Detaily varianty III



Obr. 4-18 Pohledy varianty III



Obr. 4-19 Půdorys varianty III

4.4 Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího

Jednotlivé varianty byly mezi sebou vyhodnoceny na základě jednotlivých hodnotících kritérií. Po ohodnocení a sečtení bodů byla vyhodnocena varianta 3 jako potenciálně nejvhodnější pro další postup.

4.4.1 Zhodnocení variant

Pro hodnocení variantních řešení byla vytvořena tabulka s definovanými kritérii, které se zaobírají rozměry, funkčními požadavky, originalitou jednotlivých řešení. Ke každému kritériu byly přiděleny body a na základě nich vyhodnocena nejlepší varianta.

Aspekty hodnocení	Varianta I	Varianta II	Varianta III
Stabilita	7	9	8
Dynamičnost vzhledu	7	6	10
Autonomní upínání	3	8	9
Přístupnost servisu	7	9	8
Originalita	8	6	10
Dosah sloupu	6	9	7
Návaznost modulu ke sloupu	8	8	8
Snadná manipulace	7	7	9
Přístupnost prvků	5	7	8
Řešení podvozku	7	6	9
Vyhodnocení	65	75	77

Tab. 4-1 Zhodnocení variant

5 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

5.1 Určení tvarů, rozměrů a materiálů

5.1.1 Tvarování

Předběžný návrh vychází z kombinace druhé a třetí varianty. Primární tvar platformy vychází z dynamické třetí varianty a řešení konstrukce rámu pro postřík plodin vychází z druhé varianty. Bylo zjištěno, že pro postřík plodin se jeví jako výhodnější bližší kontakt robota s plodinami, proto široký rám vychází jako nejefektivnější pro svou práci. Modul analýzy vychází z části rámu pro postřík. Platforma je zaměřena pro nesení váhy vnitřních komponentů a modulů, kdy modul pro postřík je odhadován asi na 40 kg s plnou nádrží a modul analýzy na 10 kg.

Vývoj tvarování sloupu pro postřík

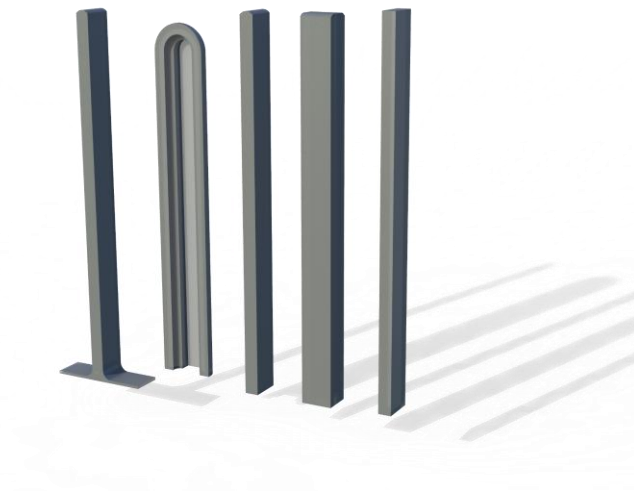
Důležitým bodem tvarování byly sloupy pro postřík, které se během analýzy ukázaly jako výhodné v rozšířené podobě, a to dvojí sloup. Větší šířka sloupů se ukazuje jako výhodná pro přesné dávkování postříku v určitých úrovních, bližší přístup trysek k plodině ukazuje efektivnější práci samotného postříku. Během navrhování bylo potřeba zohlednit i jejich hmotnost, která nesmí přesahovat nosnost platformy, ale musí být dostatečně stabilní. Konstrukce sloupu je z hliníkové slitiny, hmotnost dvojího sloupu je cca 10 kg.



Obr. 5-1 Variace tvarování sloupu

Vývoj tvarování sloupu pro analýzu

Analýza tvarování sloupu ukázala, že pro funkci kamer nemá vliv vzdálenost sloupu od plodin, proto bylo využito jednosloupové řešení s větším rozměrem ve směru jízdy robota.



Obr. 5-2 Tvarování sloupu analýzy

Tvarování robota s postřikem



Obr. 5-3 Tvarování postřikovacího modulu

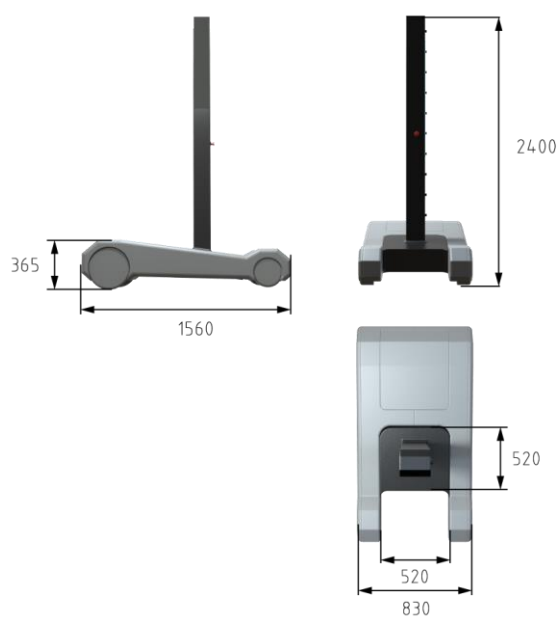
Tvarování robota s analýzou

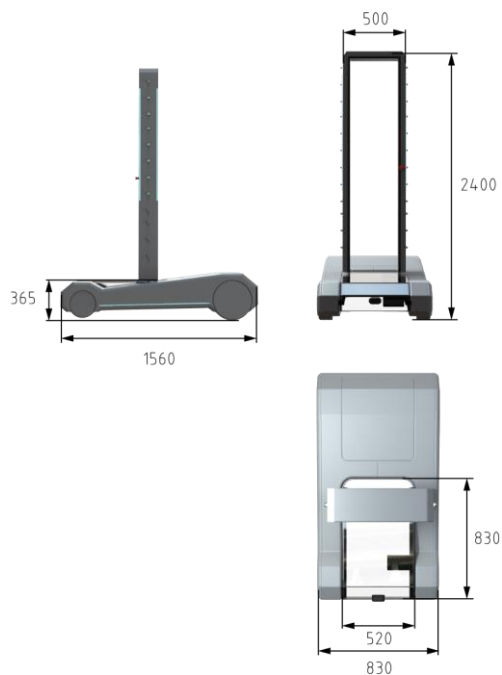


Obr. 5-4 Tvarování modulu analýzy

5.1.2 Rozměry

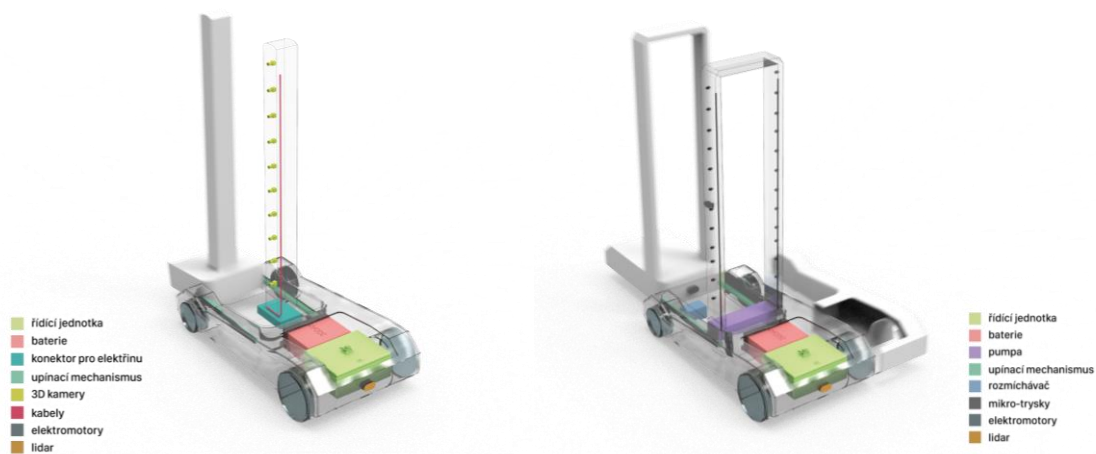
Rozměry vychází z možností umístění vnitřních komponentů a z existujících řešení. Potřeba je dostatečná šířka pro umístění baterie a řídicí jednotky v rámci platformy. Rozměr sloupu je uzpůsoben výšce vertikálního systému - i s platformou 230 mm. Rozměr modulu pro postřík je zaměřen na objem nádrže, a to je 30l agrochemikálií.





Obr. 5-5 Rozměry modulu analýzy a postřiku

5.1.3 Materiály



Obr. 5-6 Průhledové schéma analýzy a postřiku

Konstrukce platformy

Platforma je vyrobena a svařena z hliníkových jeklů obdélníkového průřezu, které poskytují pevnost a odolnost při zachování nízké hmotnosti. Pro krytování je použit ABS plast, který je odolný vůči vlhkosti a chemickým látkám a zároveň chrání vnitřní komponenty.

Postřikový a analytický sloup

Konstrukce sloupu: Vyrobená z hliníkových jeklů pro kombinaci nízké hmotnosti a odolnosti vůči korozi.

Nádrž: Používá se plast, jako je HDPE nebo PP (polypropylen), díky jeho vysoké odolnosti vůči chemickým látkám a nízké hmotnosti.

Čerpadlo a trysky: Jsou zhotoveny z nerezové oceli, která je chemicky odolná a trvanlivá.

Modul analýzy

Kamery: Mají pouzdra z nerezové oceli, která chrání citlivé optické a elektronické součástky.

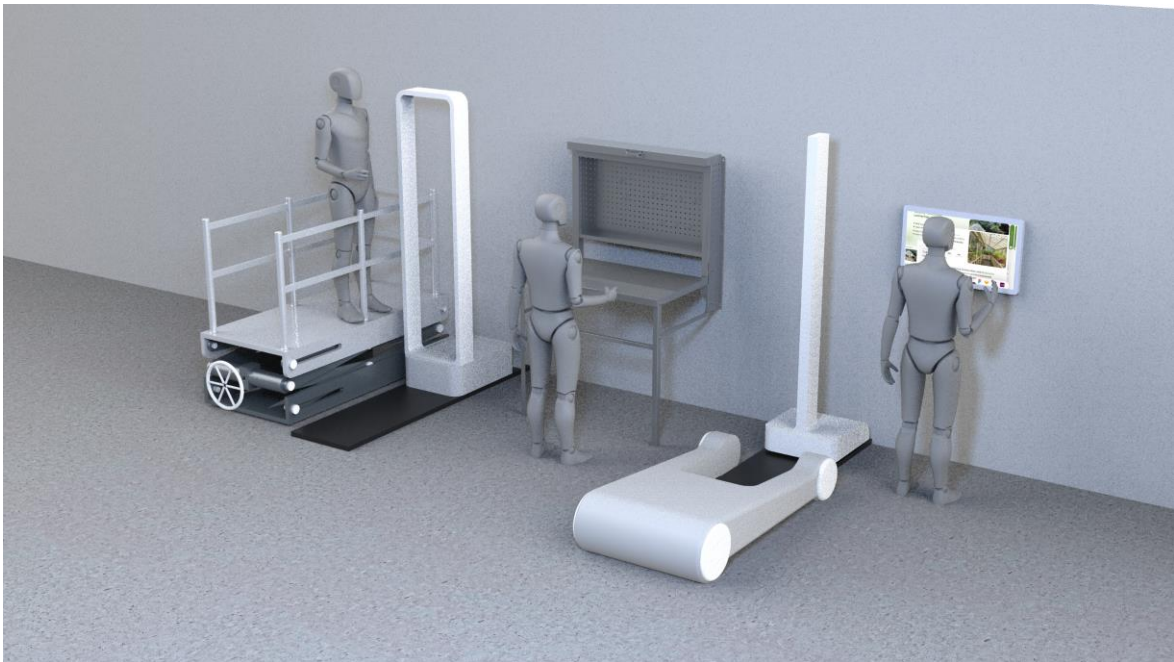
Senzory: Jsou uloženy v pouzdrech z plastu, což snižuje hmotnost modulu a zajišťuje dostatečnou odolnost.

Komponenta	Hmotnost
Konstrukční rám platformy	15 kg
Krytování platformy	4 kg
Konstrukce sloupu	4 kg
Krytování sloupu	5 kg
Řídící jednotka + kabely	3 kg
Podvozek	10 kg
Elektromotory	15 kg
Baterie	12 kg
Nádrž	40 kg
Senzory a analytický systém	4 kg
Celkem	112 kg

Tab. 5-1 Hmotnost jednotlivých komponent robota

5.2 Řešení servisní stanice

Stanice je vybavena stojany pro modul analýzy a postřiku, které je možné upnout do výsuvného systému a do doplňovacího konektoru pro dokování agrochemikálií. Servisní stanice má ergonomicky řešený prostor pro servis a displej, který je propojen s aplikací a informuje o aktuálním stavu modulu a platformem díky různým senzorům.



Obr. 5-1 Schematické řešení servisního bodu ve skleníku

5.3 Odhad výrobních nákladů

5.3.1 Odhad ceny

Náklady na výrobu robota pro skleníky zahrnují cenu základní platformy, modulů pro postřik a analýzu, stejně jako software pro autonomní navigaci a analýzu.

Robot určený pro skleníky, který se specializuje na analýzu a postřik plodin, zahrnuje několik hlavních částí, jejichž výroba je spojena s konkrétními náklady. Základní platforma robota zahrnuje konstrukční rám, podvozek s koly, navigační senzory, pohonný systém a elektrický systém. Tyto prvky jsou navrženy tak, aby zajistily spolehlivý pohyb a přesnou orientaci robota ve skleníku. Součástí nákladů je také vývoj a implementace navigačního a analytického softwaru, který umožňuje autonomní provoz a zpracování dat.

Robot je dále vybaven dvěma specifickými moduly – postřikovým a analytickým. Modul pro postřik zahrnuje nádrž na postřikový roztok, čerpadlo a trysky, které jsou přizpůsobeny pro efektivní distribuci kapaliny. Analytický modul je vybaven kamerami a senzory pro monitorování vlhkosti, pH a teploty, což umožňuje přesnou analýzu podmínek ve skleníku. Tyto moduly jsou navrženy s ohledem na snadnou výměnu a integraci s platformou.

Celkové náklady na výrobu robota zahrnují cenu materiálů, montáže, navigačních a pohonných systémů, softwaru a speciálních modulů. Tento robot představuje sofistikované řešení pro zvýšení efektivity a přesnosti operací v moderních sklenících.

Základní části platformy		Cena
Konstrukční rám platformy		12 000 Kč
Zpracování a montáž platformy		15 000 Kč
Podvozek s koly		8 000 Kč
Navigační senzory	Lidar	15 000 Kč
	GPS modul	4 000 Kč
	IMU	5 000 Kč
Pohonný systém	Elektromotory	13 000 Kč
	Motorové regulátory	5 000 Kč
Elektrický systém	Baterie	13 000 Kč
	Řídící jednotka	7 000 Kč
	Kabeláž a konektory	4 000 Kč
Autonomní navigace	Navigační software	250 000 Kč
	Analytický software	500 000 Kč
Náklady celkem		851 000 Kč

Tab. 5-2 Odhad ceny pro platformu

Modul postřiku		Cena
Systém postřiku (nádrž 30l)		3 000 Kč
Čerpadlo a trysky		4 000 Kč
Příslušenství k postřiku		2 500 Kč
Modul analýzy		Cena
Senzory a analytický systém	RGB kamera	2 000 Kč
	Multispektrální kamery	30 000 Kč
	Senzory vlhkosti, pH, teploty	6 000 Kč
Náklady za moduly celkem		47 500 Kč
Náklady celkem		898 500 Kč

Tab. 5-3 Odhad ceny za modul postřiku a analýzy, celkové náklady

5.3.2 Porovnání ceny modulů namísto dvou samostatných robotů

Pokud se použije jedna základní platforma s dvěma vyměnitelnými moduly (analýza a postřik), celkové náklady činí přibližně 898 500 Kč. V případě dvou samostatných robotů – jednoho specializovaného na analýzu a druhého na postřik – by bylo nutné zakoupit dvě základní platformy, což by znamenalo zdvojnásobení nákladů na platformu ($851\,000\text{ Kč} \times 2 = 1\,702\,000\text{ Kč}$), a k tomu připočítat náklady na moduly (47 500 Kč). Celkové náklady na dva samostatné roboty by tak činily 1 749 500 Kč, což je o 851 000 Kč více než varianta s jednou platformou a moduly. Varianta s výměnnými moduly je tedy výrazně levnější a je vhodná hlavně pro menší 2-4 ha farmy.

5.4 Matematický model

5.4.1 Ověření stability robota

Na základě hmotností jednotlivých komponent a jejich umístění v těle robota bylo spočítáno těžiště robota a jeho stabilita:

$$X_c = \frac{\sum(m_i \cdot X_i)}{\sum m_i}$$

$$X_c = \frac{(25 \cdot 780) + (15 \cdot 1200) + (40 \cdot 300) + (9 \cdot 780) + (4 \cdot 780)}{112}$$

$$X_c = \frac{19500 + 19500 + 12000 + 7020 + 3120}{112} = \frac{61140}{112} \approx 546\text{ mm}$$

$$Y_c = \frac{\sum(m_i \cdot Y_i)}{\sum m_i} = \frac{(112 \cdot 415)}{112} = 415\text{ mm}$$

Proto bylo uvažováno přidání zátěže v podobě nosné konstrukce o 40 kg (přibližná váha plné nádrže – 30 litrů agrochemikálie + krytování) v případě vyprázdnění nádrže a uvažováno posunutí těžiště v ose x.

$$X_c = \frac{(25 \cdot 780) + (15 \cdot 1300) + (40 \cdot 300) + (9 \cdot 780) + (4 \cdot 780) + (40 \cdot 300)}{152}$$

$$X_c = \frac{19500 + 19500 + 12000 + 7020 + 3120 + 12000}{152} = \frac{73140}{152} \approx 481\text{ mm}$$

Z tohoto upraveného výpočtu se zátěží vyplývá, že bude robot stabilní s prázdnou (řešení pro verzi analyzačního modulu) i plnou nádrží. Těžiště se z původních výpočtů posune do přední části – 481 mm, což je stále bezpečná a stabilní oblast při práci v rovině.

5.4.2 Výdrž baterie robota

Celková odhadovaná spotřeba na základě jednotlivých částí robota:

$$160W + 15W + 100W + 15W + 300W + 30W = 620W$$

Robot při používání baterie 48 V a jeho odběr proudu:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{620 W}{48 V} \approx 12,9 A$$

Výpočet výdrže baterie 48 V 100Ah:

$$Výdrž = \frac{Kapacita\ baterie\ (Ah)}{Odběr\ proudu\ (A)}$$

$$t = \frac{100 Ah}{12,9 A} \approx 7,75 \text{ hodin}$$

Z výpočtu je patrné, že byla vhodně zvolena 100 Ah baterie, ale výkon jednotlivých částí robota jako jsou vyhodnocovací a bezpečnostní senzory jsou natolik výkonné, že výdrž baterie při této kapacitě není schopna pracovat 24 h a je potřeba ji po 7,75 h dobít. Výsledný čas můžeme alespoň efektivně přirovnat k běžné pracovní směně zaměstnance v pracovním procesu. Můžeme uvažovat o změně baterie, ale vzhledem k definované velikosti skleníku můžeme tento výpočet ponechat, volba baterie je na konkrétním zpracování modelu pro koncového zákazníka.

5.4.3 Množství opracovaných řádků

Pokud budeme uvažovat, že robot jede během analýzy plodin přibližnou rychlostí 0,2 m/s, výdrž baterie je 7,75 hodin, velikosti skleníku 100 x 200 m, délka jednoho řádku 80 metrů, dojdeme k následujícím výsledkům:

$$v = 0,02 \frac{m}{s}$$

$$l = 80 m$$

$$T_{sek} = 7,75h \cdot 3600 \frac{s}{h}$$

$$T_{sek} = 27\,900\,s$$

Kolik metrů:

$$d = v \cdot T_{sek}$$

$$d = 0,02 \cdot 27\,900s = 558\,m$$

Kolik řádků:

$$n_{řádky} = \frac{d}{l}$$

$$n_{řádky} = \frac{558}{80} = 6,975 \approx 7\,řádků$$

Z výpočtu vyplývá, že robot během jednoho nabití baterie, která má vydrž 7,75h opracuje přibližně 7 řádků skleníku. Celý skleník má 25 řádků, tudíž při postupném dobití baterie zvládne opracovat celý 2ha skleník za jeden den.

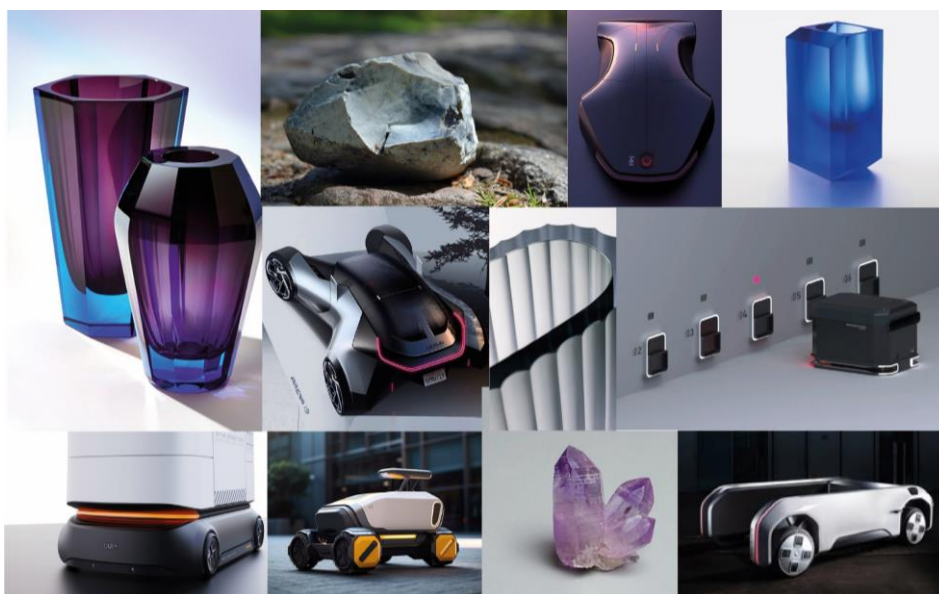
6 DETAILNÍ NÁVRH

6.1 Tvarové řešení

Design koncepčního řešení robota pro hydroponické vertikální skleníky vychází z futuristické představy farmaření, z uspořádání struktur do kubistických celků, které budou odkazovat na dynamický vývoj celého systému.

6.1.1 Inspirace

Inspirace pro tvarové řešení robota vycházela z přírodního motivu drahokamů, které svým tvarem vytvářejí složitější tvary, které se objevují i v dalších přírodních jako jsou kameny a dále se promítají na produkty ze skla. Broušené vázy od firmy Moser pod vedením designéra Jana Plecháče byly podstatnou inspirací pro vývoj zadní části robota, která se zaměřuje na technickou část upínání modulů. Kromě skleněných produktů proběhla hlavní inspirace přes další vyvíjené autonomní koncepty pro logistiku či pro zemědělský průmysl.



Obr. 6-1 Inspirace

6.1.2 Celkový design

Vize

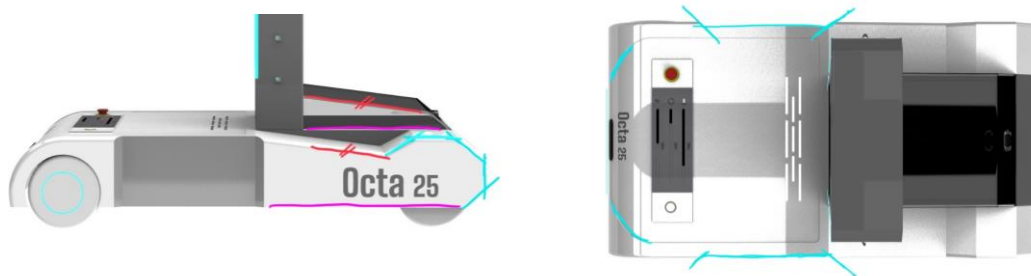
Pro vývoj designů byla prvotně představena samotná vize celého konceptu. Robot pro hydroponické vertikální skleníky by mohl být v budoucnu využíván v opuštěných budovách ve městech. Systém vertikálního hydroponického skleníku nabízí možnosti, jak efektivně pěstovat přímo ve městě, jelikož je to uměle vytvořený systém, který nepotřebuje půdu. Opuštěné nevyužité prostory nabízí možnost pro vytvoření skleníků, které budou mít lidé dostupné. Stejně tak se jako zajímavé řešení jeví využití pater v rámci mrakodrapů, kde mají dostatek světla a mohou zde být vytvořeny efektivní systémy. Umístění skleníku do města snižuje dojezdovou vzdálenost potravin do obchodů, což výrazně prospívá životnímu prostředí.



Obr. 6-2 Vize vertikálního systému v mrakodrapu

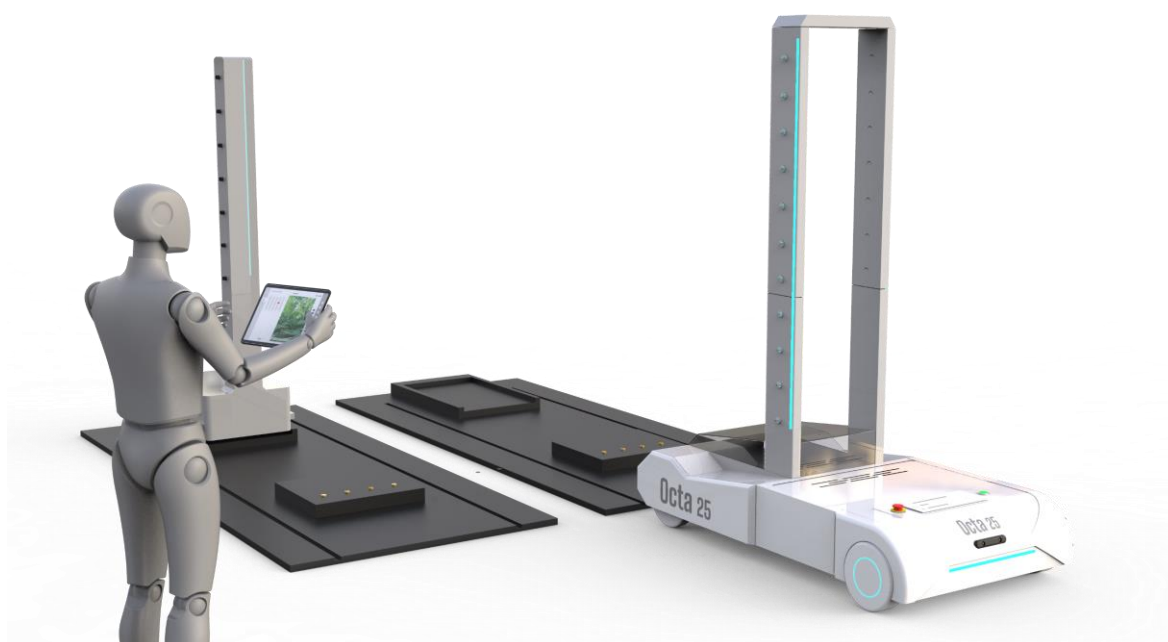
Vývoj designu

Samotný design vychází z inspirací – kubistického tvarování broušených váz a futuristických konceptů jiných produktů. Pro design byl zvolen jeden spojovací prvek a tím je část oktagonu, která se do designu promítá jak v půdorysu, tak v bokorysu.



Obr. 6-3 Vývoj designu

Robot pro skleníky byl řešen komplexně s celým systémem skleníku. Koncept vychází z myšlenky vytvořit dvě dokovací stanice, které slouží k dobíjení robota, dokování agrochemikálií a úschovu nepoužívaných modulů, které jsou zde diagnostikovány a servisovány. Jak ukazuje (viz Obr. 6-4) jedná se o autonomní přístup stanic, na kterých si robot autonomně díky elektromagnetickému systému upínání připevní k platformě modul, který je aktuálně potřeba. Farmář, který vyhodnocuje díky aplikaci stav plodin a stav robota, definuje proces práce a využije modul, který aktuálně plodiny potřebují.



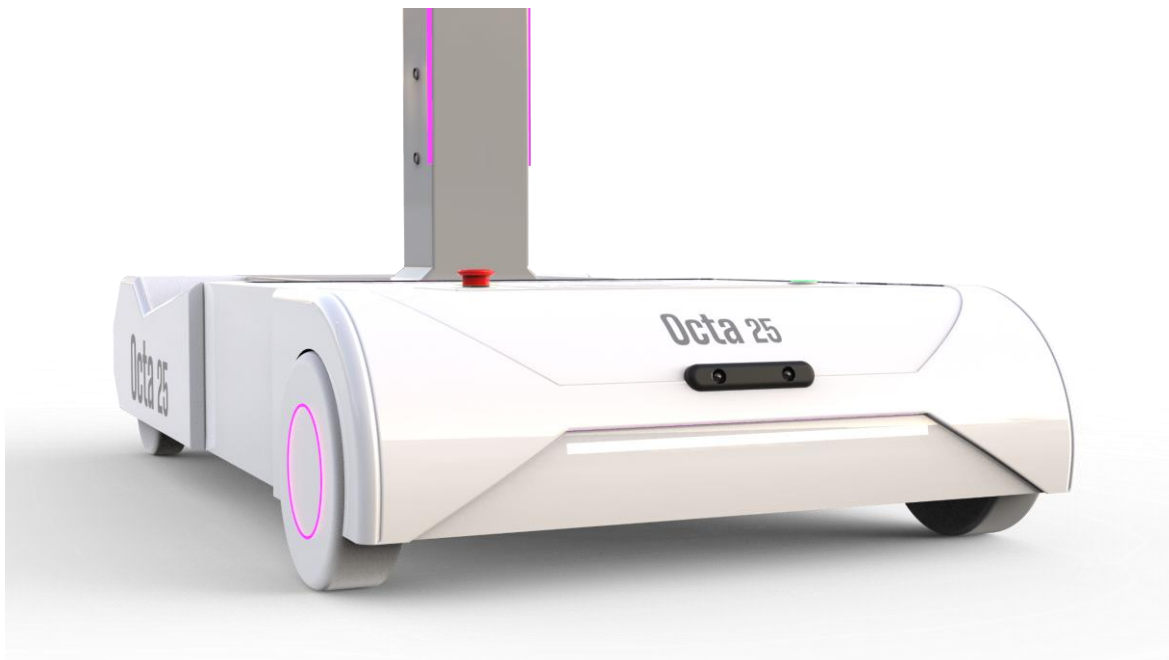
Obr. 6-4 Kompletní řešení

Design je v přední části řešen jednodušším přístupem, kde se v bokorysu pracuje se čtvrtinovým kruhem, který vytváří výrazný rádius a zjemňuje tak celý design. Od výrazného rádiusu dochází ke dynamickému tvaru, a to prolisem vně těla robota, který z půdorysu vychází tvarově z části oktagonu, který se objevuje i v zadní části platformy.



Obr. 6-5 Finální řešení

Podstatné bylo řešení přední části robota, aby jasně dokazovala, že se jedná o předeek robota a ukazovala tak směr kudy robot pojede. Výrazně zaoblená část je dynamicky narušena prolisem ve spodní části masky, která opět vychází z části oktagonu. Symetricky na spodní masku je vytvořeno tvarování otvíracího krytu, které je stejně jako spodní část masky prolisováno vně těla robota. Maska je inspirována masky aut, proto je na ni umístěn logotyp a bílá barevnost krytu je narušena černým senzorem LiDAR.



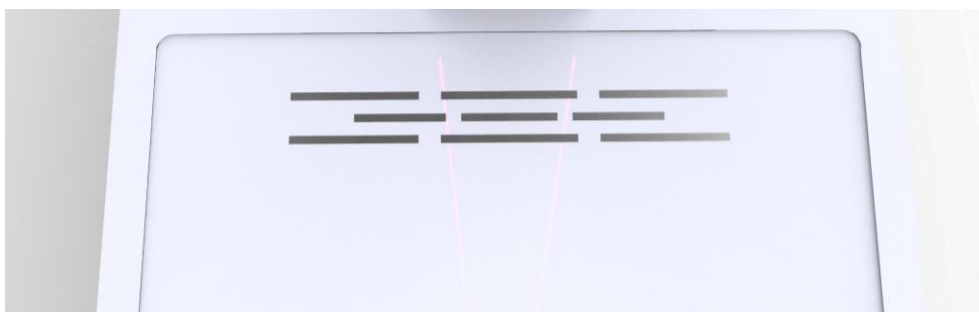
Obr. 6-6 Řešení přední masky robota

Zadní část robota je řešena dynamicky s oktagonovými prvky, které se objevují i na modulech. Ostré křivky navozují technický a konstrukční dojem, což odpovídá funkci této části robota, který je využíván k elektromagnetickému upínání modulu.



Obr. 6-7 Dynamické tvarování zadní části robota

K zajištění správné funkce baterie a řídicí jednotky je v horním krytu vytvořeno rytmické větrání, které má dvojitou stěnu s drobnějšími otvory, takže nedochází k zanešení vnitřní části robota.



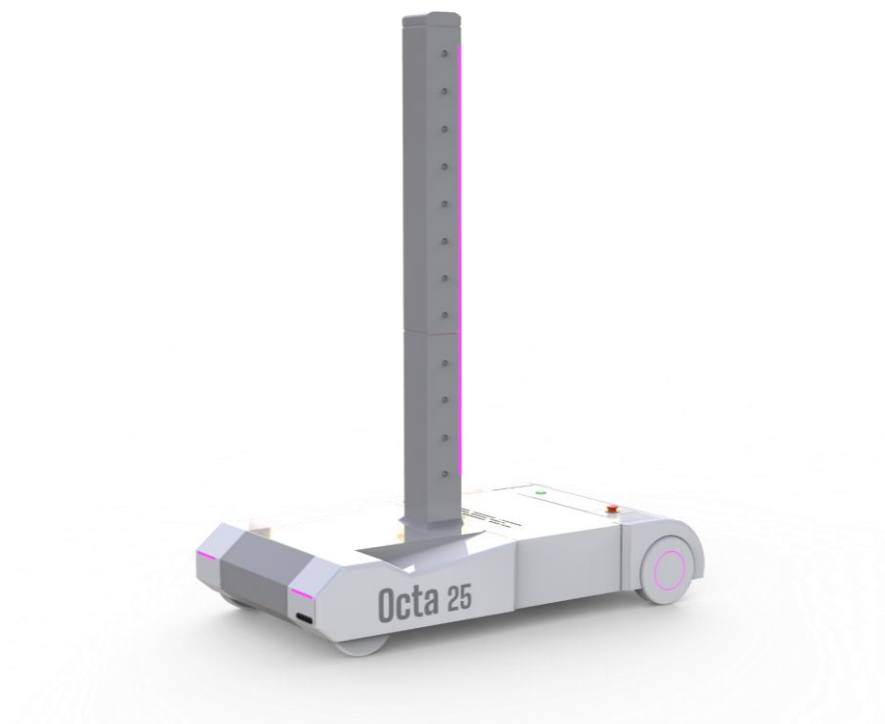
Obr. 6-8 Větrací otvory

6.1.3 Modul pro analýzu

Spodní část modulu pro analýzu je tvarově přizpůsobena půdorysně i bokorysně základní platformě. Vychází z těla platformy a využívá celý prostor mezi upínacími částmi platformy. Využití celého objemu je pro modul analýzy výhodný, jelikož využije prostor pro softwarové části a vlastní baterii. Sloup je řešen jako jedna centrální konstrukce, jsou zde umístěny jednotlivé kamery a uvnitř kabeláž s přenosem dat. Sloup je uzpůsoben kamerám a má je na sobě pravidelně rozmístěny pro analýzu v celé výšce vertikálního systému, tak aby mohl snímat jednotlivé řádky s plodinami. V horní části sloupu je umístěn GPS modul, který slouží pro přenos polohy do systému a pro přenos dat do cloudového úložiště.

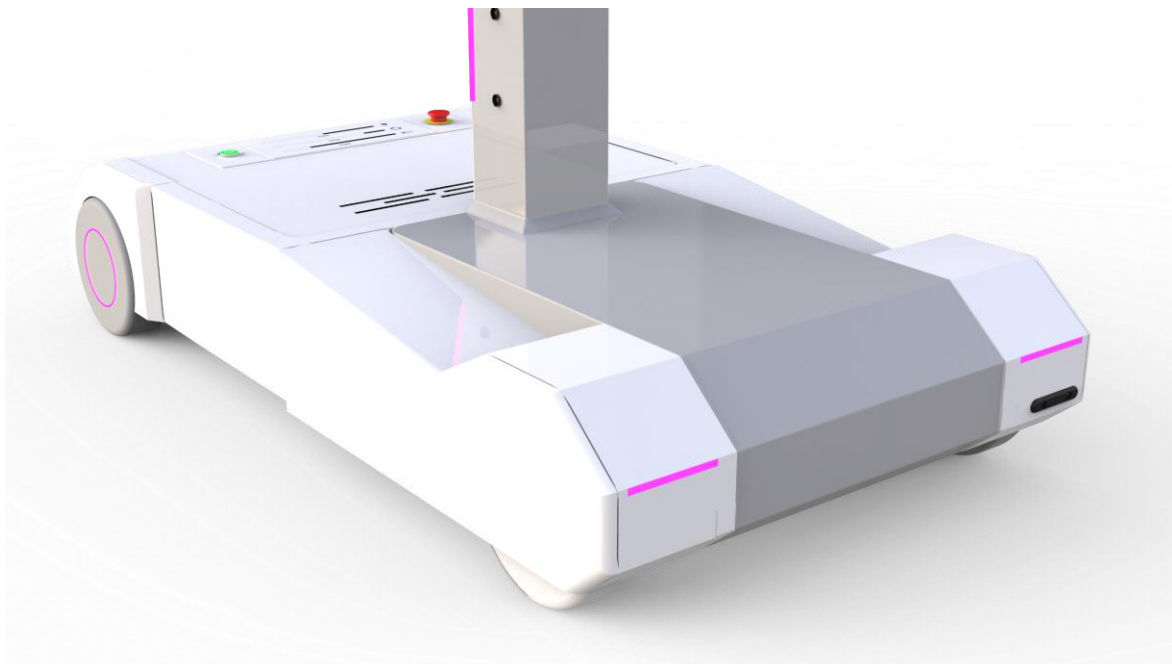


Obr. 6-9 Tvarové řešení modulu pro analýzu



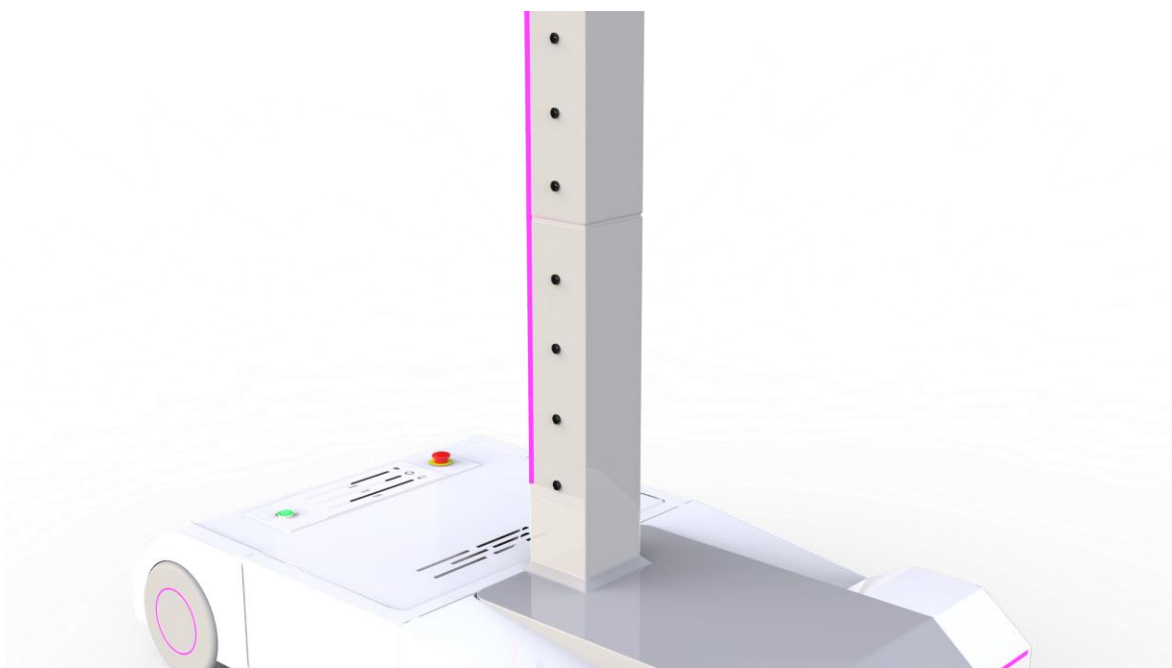
Obr. 6-10 Tvarové řešení modulu pro analýzu – zadní pohled

Propojení sloupu s modulem je stejně jako mnoho dalších částí robota řešeno zkosením hran a dochází tak k estetickému napojení obou částí.

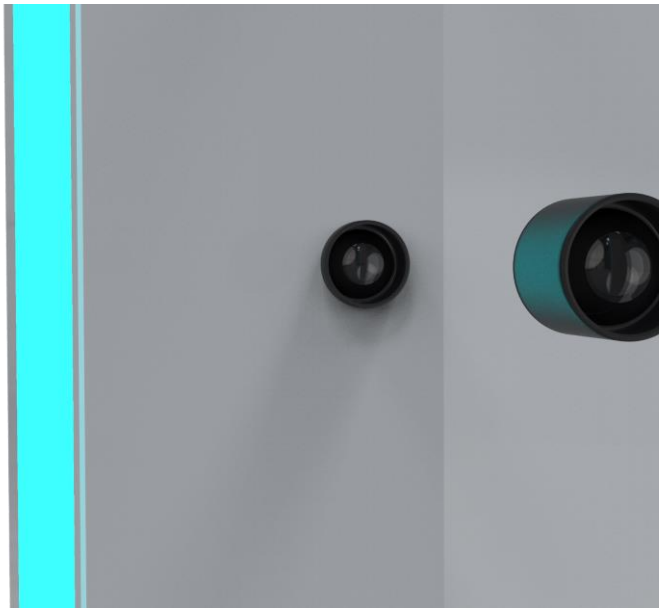


Obr. 6-11 Tvarování modulu v zadní části

Sloup je dělen na dvě části, aby se dal efektivně řešit servis sloupu a případné poruchy kamer. Kamery jsou propojeny kabeláží s baterií a následně přes konektor s řídicí jednotkou robota. Snímky jsou zaznamenávány a zasílány přes senzory v horní části robota do cloudového uložení.



Obr. 6-12 Detail propojení sloupu



Obr. 6-13 Detail stereo kamer

6.1.4 Modul pro postřik

Modul postřiku je řešen tak, aby umožnil, co nejvyšší možnost objemu agrochemikálií, proto nádrž vychází z půdorysu robota a je umístěna stabilně mezi upínací vidlice platformy. Jelikož je sloup pro postřik řešen rámovou konstrukcí, vnitřek rámu nabízí prostor pro navýšování nádrže agrochemikálií. Aktuální model má objem 25 litrů, ale s navýšením nádrže a se stabilitou v normě se nabízí i řešení 50 litrové nádrže.



Obr. 6-14 Robot při práci ve skleníku

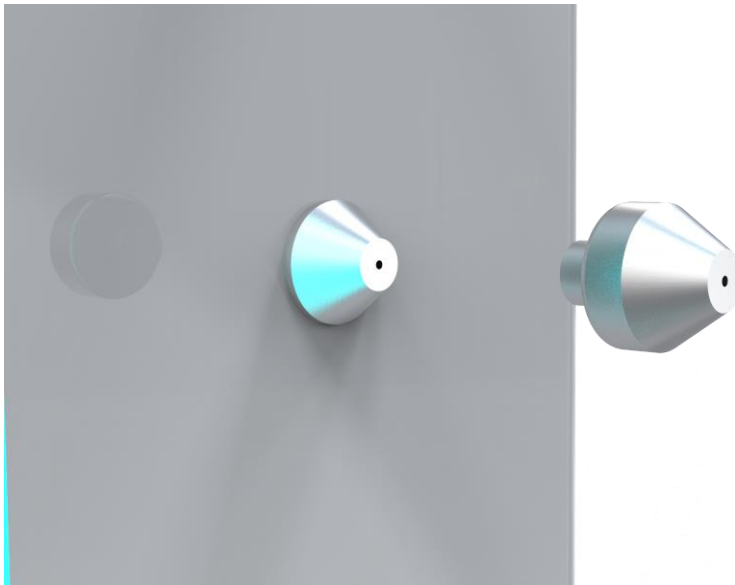
Sloup pro postřik rostlin je řešen minimalistickým provedením, které je jednodušší pro výrobu a přístup servisu. Vychází z jeklového profilu na dvou stranách a zkoseným jeklovým profilem jako překlad dvou sloupů, připomínají stylizované dolmeny či jinou prvotní architekturu. Na rámovém sloupu je z obou stran umístěno 12 trysek rozmístěné tak, aby odpovídaly danému výškovému řešení hydroponického skleníku a mohly se tak přesně zaměřit na konkrétní napadená místa.



Obr. 6-15 Tvarové řešení modulu postřiku plodin

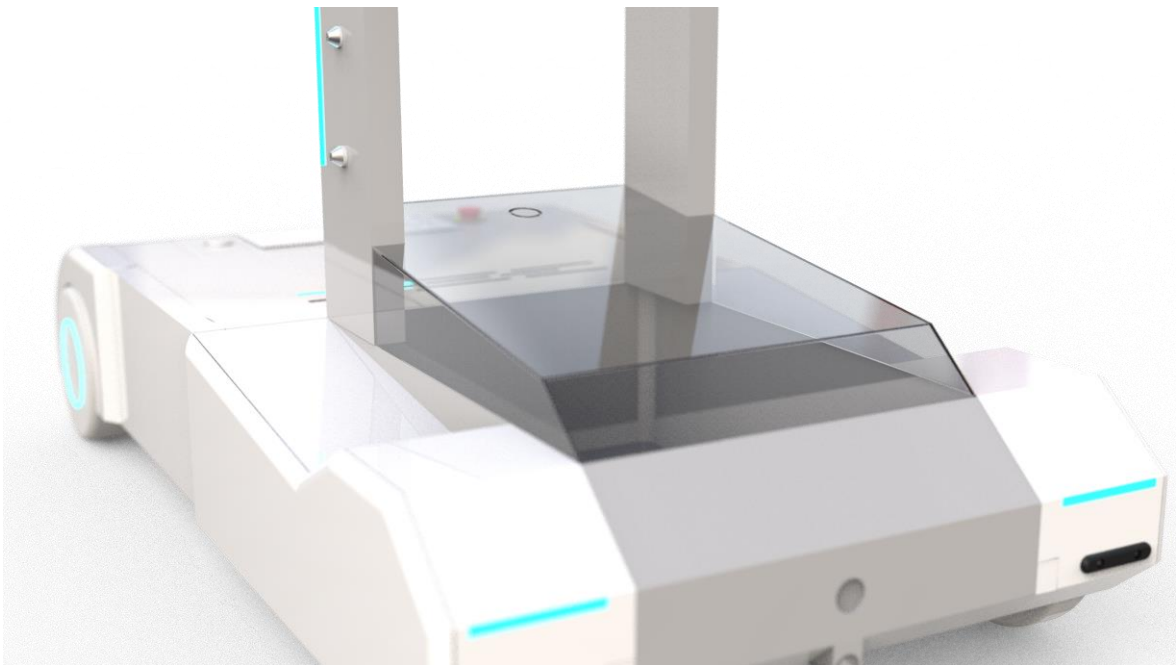


Obr. 6-16 Zadní pohled na modul

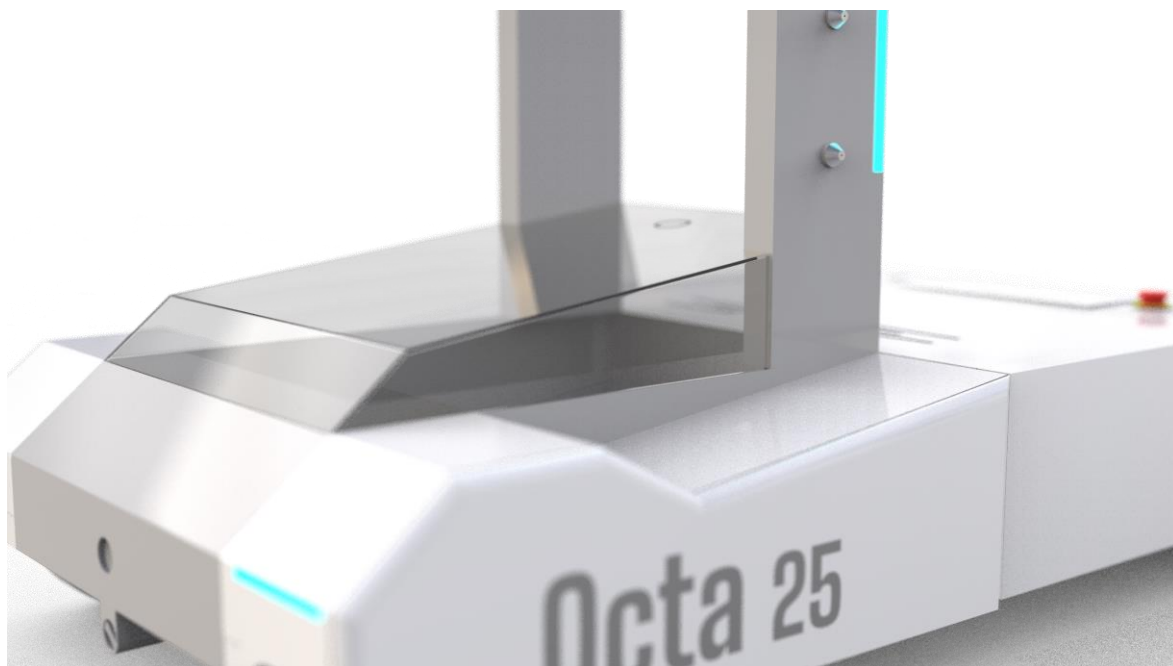


Obr. 6-17 Mikro-trysky

Základem tvarování modulu postřiku je propojit základní tvar modulu tvarově s modulem analýzy. Proto je spodní skořepina totožná s analyzačním modulem, je upravena dle požadavků nádrže, takže má na sobě umístěnou nápusť a výpusť ve spodní části. Samotná nádrž je transparentní v horní části, což umožňuje i zjištění stavu objemu agrochemikálií. Tvarově vychází z křivek v bokorysu platformy. Je řešen dynamicky a tak, aby byl esteticky napojen na rámovou konstrukci sloupů.



Obr. 6-18 Tvarování nádrže



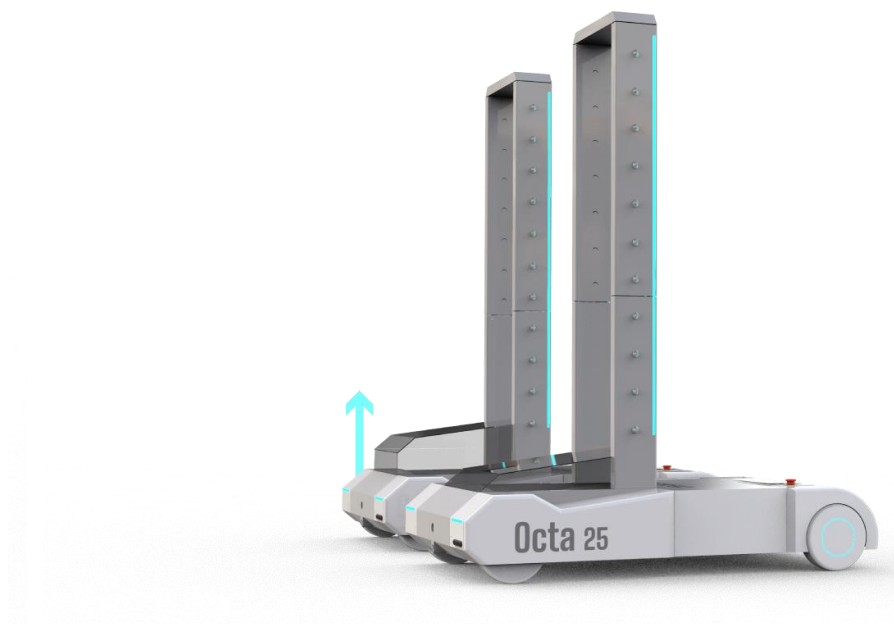
Obr. 6-19 Detailní pohled na tvarování nádrže

Rámová konstrukce robota nabízí možnost navyšování objemu nádrže modulu postřiku. Jelikož je rám uzavřen obvodově, ale uvnitř je dutý může být vnitřní část využita pro umístění vyšší nádrže, která je umístěna mezi dva sloupy, čímž je i pevněji fixována k celé konstrukci.



Obr. 6-20 Navyšovaný objem nádrže

Jak ukazuje vizualizace (viz Obr. 6-20) pro koncepční návrh je řešena varianta robota Octa 50, který má nádrž objemu 50 litrů, tedy dvojnásobek první varianty. Tvarově vychází v horní části ze stejného tvarování jako má nádrž Octa 25, ale má navíc kolmé stěny k provázání spodní části modulu.



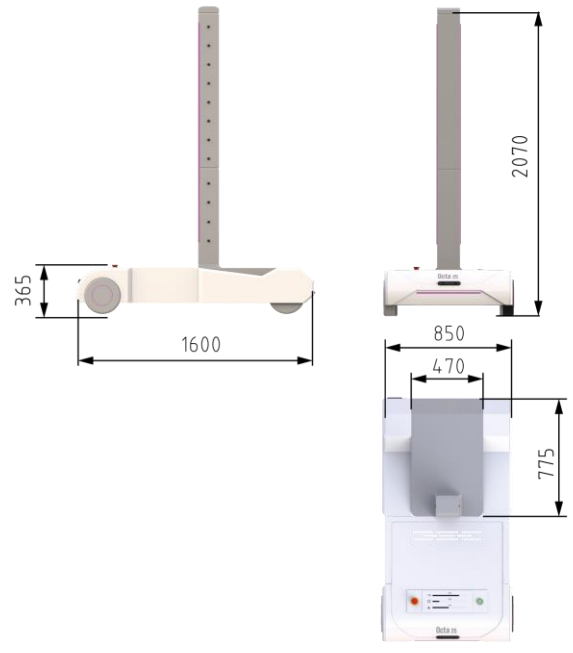
Obr. 6-21 Boční pohled na navýšenou nádrž

Možnost navyšování nádrže nabízí uzpůsobení řešení pro větší farmy, které potřebují ošetřit větší množství plodin. Co se týče stability, ukazuje se verze Octa 50 jako přípustná varianta, v případě ještě vyššího navýšení objemu by bylo vhodné uvažovat o případném závaží v přední části robota.

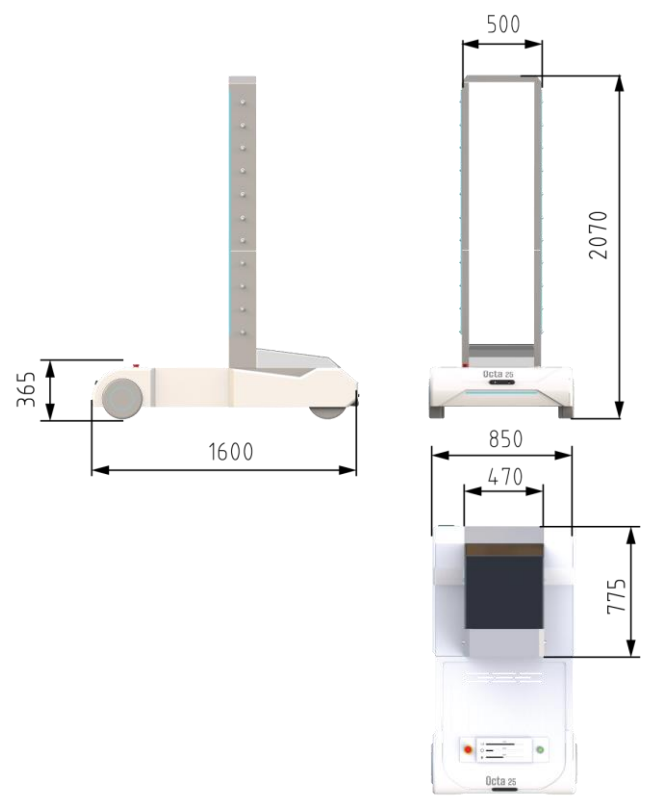
6.2 Konstrukčně technologické řešení

6.2.1 Rozměrové řešení

Rozměry robota vychází z existujících řešení vertikálního hydroponického systému, kdy je šířka robota přizpůsobena řádkům skleníku a výška sloupu vychází z konkrétního řešení vertikálního systému.



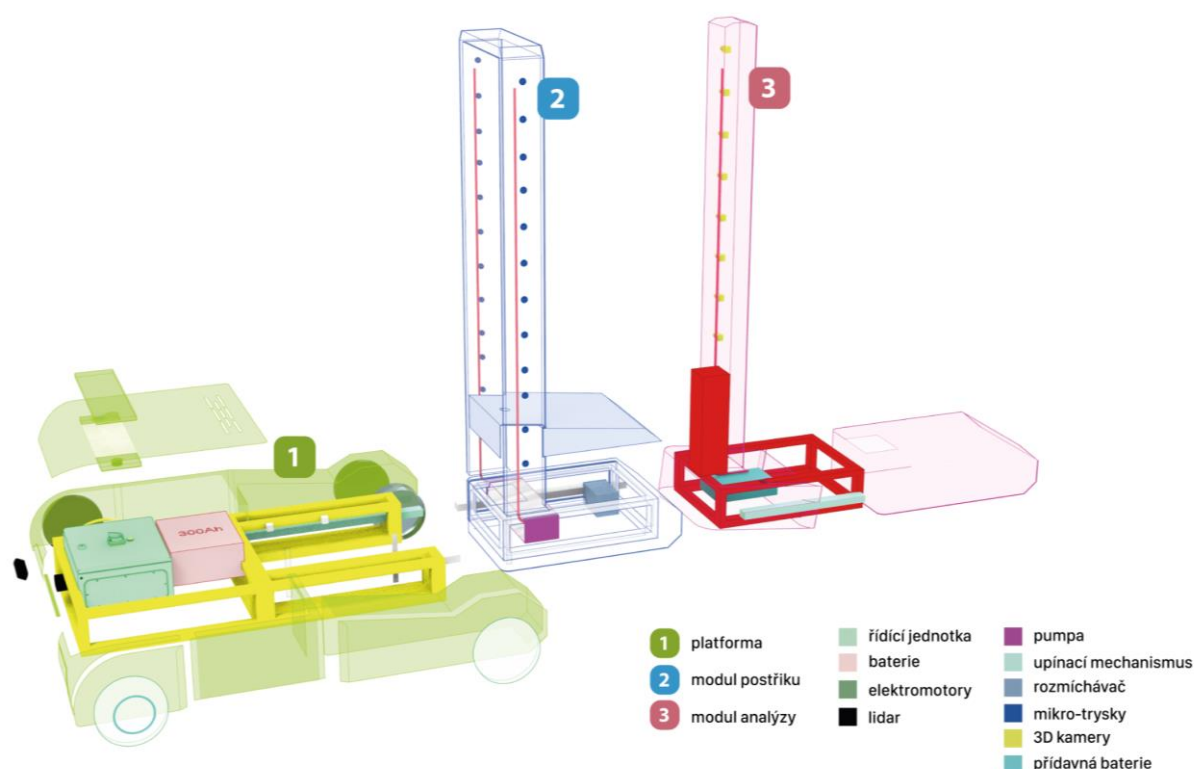
Obr. 6-22 Rozměrové řešení modulu analýzy



Obr. 6-23 Rozměrové řešení modulu postřiku

6.2.2 Vnitřní komponenty

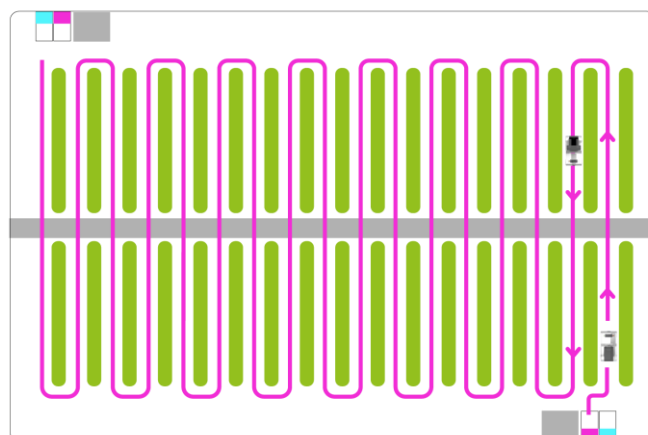
Schéma vnitřních komponentů vycházelo z existujících řešení a technické analýzy. Samotné řešení bylo upraveno o přídatnou baterii, která je umístěna i v samotných modulech. V platformě jsou umístěny komponenty pro pohon robota – elektromotory, baterie, řídicí jednotka a senzory Lidar pro bezpečnost. Moduly a jejich vnitřní uspořádání je přizpůsobeno jejich funkci, analyzační modul má v sobě umístěn procesor pro přenos a zaznamenávání dat získaných během projíždění řádky skleníku. Kromě funkčních částí pro analýzu plodin má navíc zabudovanou baterii. Modul postřiku je vybaven mikro-pumpou propojenou s mikro-tryskami, nádrží o objemu 25 litrů, rozmíchávačem pro usazené agrochemikálie a ventilem.



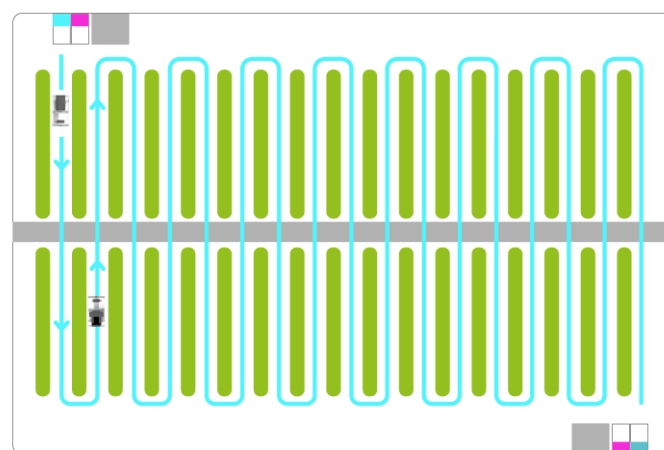
Obr. 6-24 Řešení vnitřních komponentů

6.2.3 Schéma práce robota

Práce robota vychází ze systému skleníku a z vize celého konceptu, kdy si robot automaticky upne modul analýzy, s ním následně analyzuje jednotlivé řádky plodin a po své odvedené práci přenosu snímků plodin může systém a s ním farmář vyhodnotit další kroky. Při analýze jsou odhaleny škůdci a jejich typy, s tím souvisí nastavení dalších kroků, na specifického škůdce je vhodné zvolit konkrétní postřik a ten si v současné době vyhodnocuje farmář sám. Díky technologii přesného dávkování může do práce nastoupit robot s modulem postřiku a zaměřit se pouze na místa, kde byl škůdce zaznamenán. Přesnou polohu a umístění napadené plodiny zjistí díky přesnému zaznamenávání analyzačního robota.



Obr. 6-25 Schéma práce během analýzy



Obr. 6-26 Schéma práce během postřiku

6.2.4 Osvětlení, senzory pro pohyb

Světla jsou umístěna na kole platformy, na přední masce platformy formou pásu a v zadní části jako dva drobné pásy na každé straně upínací části platformy. Světla jsou v přední části umístěny tak, aby navozovaly dojem dominantní části robota, kde je pomocí světla a prolisů vytvořena maska, která je kontrastně rozdělena umístěním senzoru pohybu – Lidaru. Senzor je umístěn tak, aby mohl snímat cestu robota a zamezit tak nárazu s objekty či s lidmi, kteří pracují ve skleníku. V případě couvání robota je v zadní části robot vybaven signalizačními pásy světla, a hlavně dalším pohybovým senzorem Lidar. Pohyb samotného robota je vykonáván „smykem“, robot má dostatek prostoru pro otočení v rámci skleníku a efektivně tak využije konstrukční řešení robota. Pro oznamování polohy robota je využíván také zvukový signál v pravidelných intervalech.



Obr. 6-27 Řešení světelné analýzy



Obr. 6-28 Řešení světelného modulu postřiku

Světla jsou využívána pro signalizaci a oznámení o procesu a stavu práce. Pro proces práce – analýza plodin světla problikávají růžovým LED světlem, postřik plodin modrou barvou, varování či nějaký problém červenou barvou. Během upínání modulu problikává platforma žlutým LED světlem a po správném upnutí modulu svítí zelenou barvou.



Obr. 6-29 Vzorník barev pro signalizaci

Bezpečnost robota je zajištěna bezpečnostními senzory Lidar, které jsou použity ve vertikální horizontální konstrukci, která je umístěna v přední části masky.



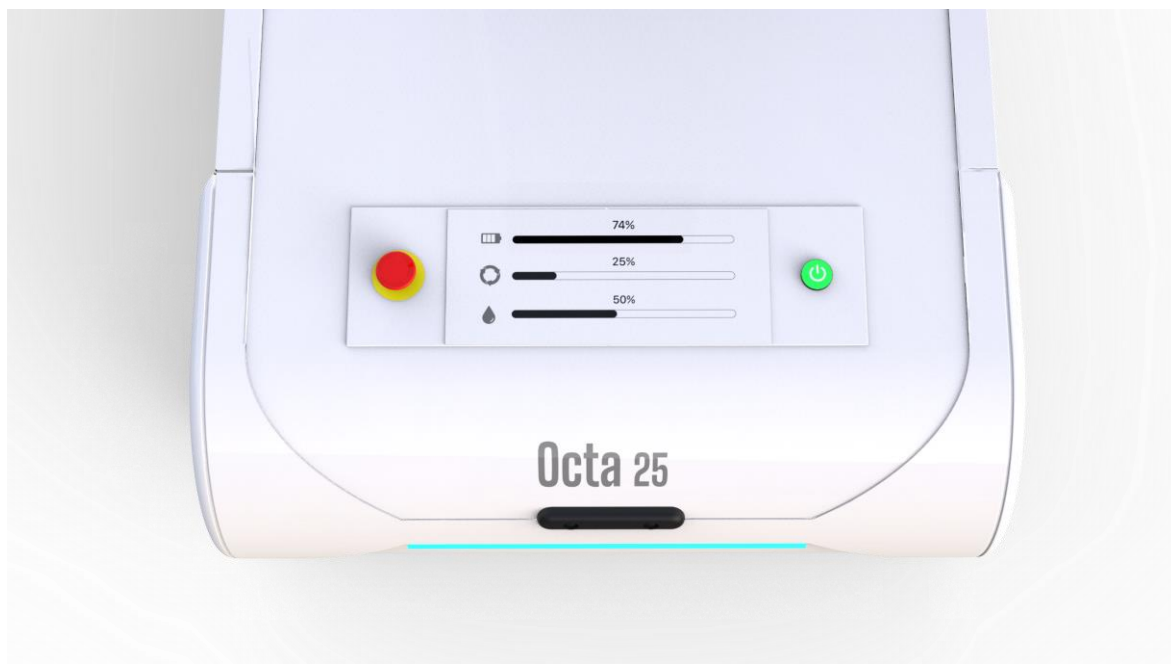
Obr. 6-30 Umístění Lidaru v přední části



Obr. 6-31 Umístění Lidaru v zadní části

6.2.5 Ovládací prvky

Pro ovládání robota se využívá převážně aplikace, kde je možné robota navigovat a získávat informace k procesu práce. Na samotném těle robota je proto pouze tlačítko pro zapnutí a vypnutí robota, nouzové tlačítko vypnutí při nenadálých událostech a informační displej, který slouží k informování uživatele o stavu baterie, procesu práce a v případě modulu postřiku plodin také stav nádrže s agrochemikáliemi.



Obr. 6-32 Ovládací prvky



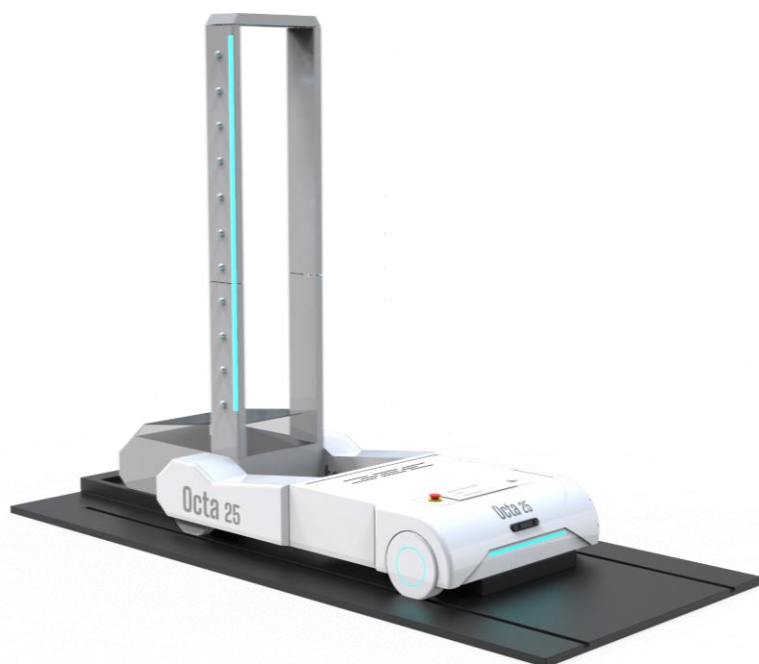
Obr. 6-33 Detailní pohled na ovládací panel

6.2.6 Nabíjení robota

Robot je vybaven dobíjecí baterií, což umožňuje využít dokovací stanici pro efektivní samostatné dobíjení platformy i jednotlivých modulů. Dokovací stanice je spojená s úložnou stanicí a je umístěna v rámci skleníku, tak aby díky ní mohl robot efektivně vyměňovat moduly během práce. Ve skleníku jsou umístěny dvě úložné dokovací stanice pro modul analýzy a postřiku. Dobíjení robota probíhá automaticky přes dokovací stanici, která má dobíjecí piny umístěné ve spodní části. Robot se po dokončení práce nebo při poklesu baterie přesně naviguje na stanici, kde pomocí senzorů zajistí správné zarovnání. Následně najede nad kontaktní piny a dosedne na ně vlastními spodními kontakty, čímž dojde k propojení a zahájení nabíjení. Celý proces je navržen tak, aby byl bezpečný, spolehlivý a bez nutnosti lidského zásahu – po dosažení plného nabití se nabíjení automaticky ukončí a robot je připraven k dalšímu provozu.



Obr. 6-34 Dokovací stanice



Obr. 6-35 Dokovací stanice během přípravy pro upínání modulu



Obr. 6-36 Piny pro dobíjení robota ve spodní část

6.2.7 Přívod agrochemikálií

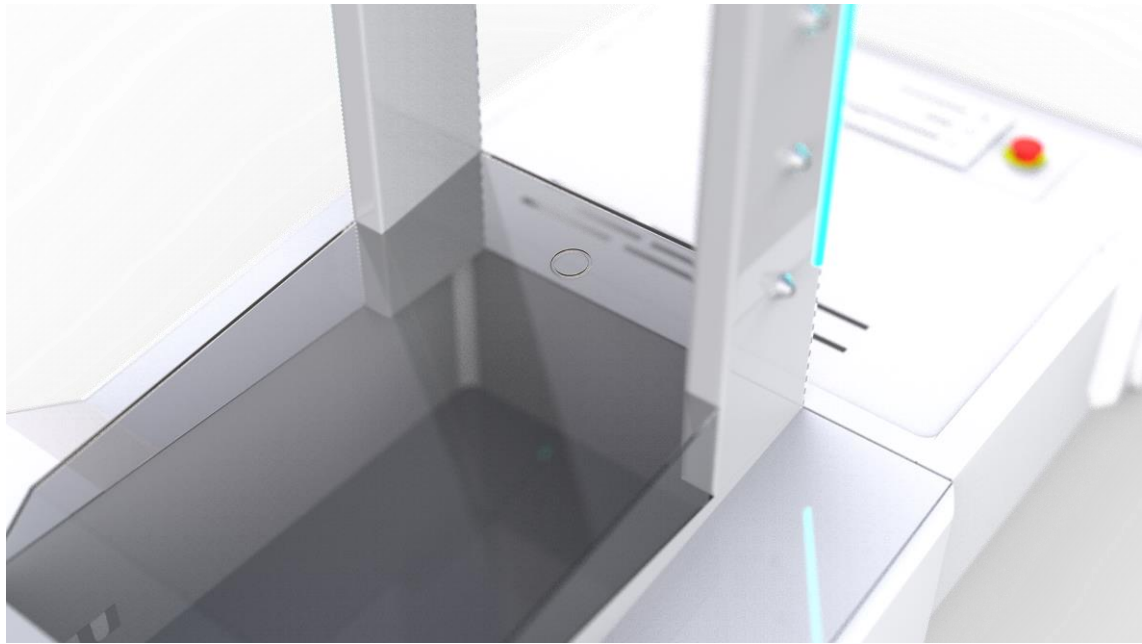
Dokovací stanice pro nabíjení slouží také jako dokovací stanice agrochemikálií. Pokud robot nevyužívá modul pro postřik plodin umístí jej do připravené úložné stanice, kde se modul dobíjí, ale také je napojen na čerpací stanici agrochemikálií. Robot pro postřik rostlin ve skleníku se automaticky dokuje k nádrži bez klasického uzávěru. Nádrž je vybavena pružným těsněním a pevně zabudovanou dokovací trubicou ve zdi skleníku, která zůstává uzavřená až do okamžiku dokování. Robot se pomocí senzorů přesně zarovná a nacouvá k trubce, přičemž jeho vlastní uzávěr je navržen tak, aby při kontaktu aktivoval otevření těsnění trubky a umožnil přečerpání kapaliny. Po naplnění se robot odpojí, trubka se automaticky utěsní a celý systém tak zajišťuje hygienické, bezpečné a plně automatizované doplňování bez nutnosti lidského zásahu.



Obr. 6-37 Přívod agrochemikálií

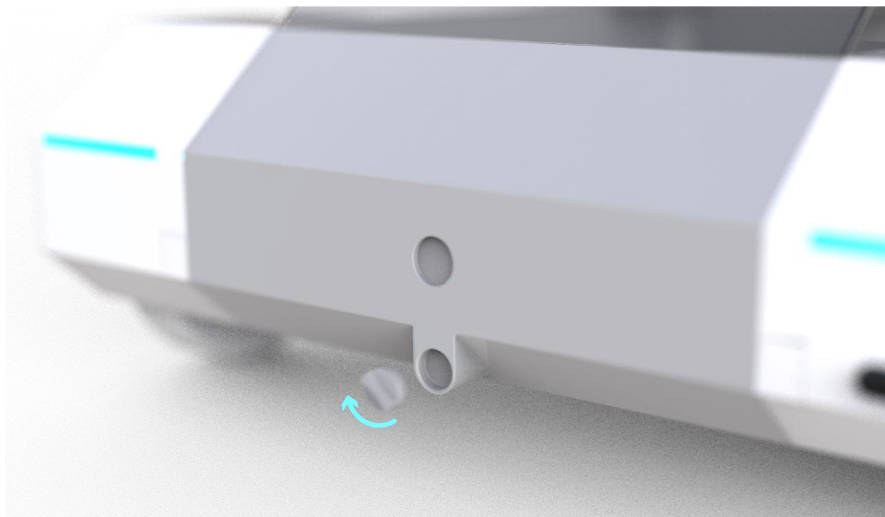


Obr. 6-38 Přívod a odtok agrochemikálií



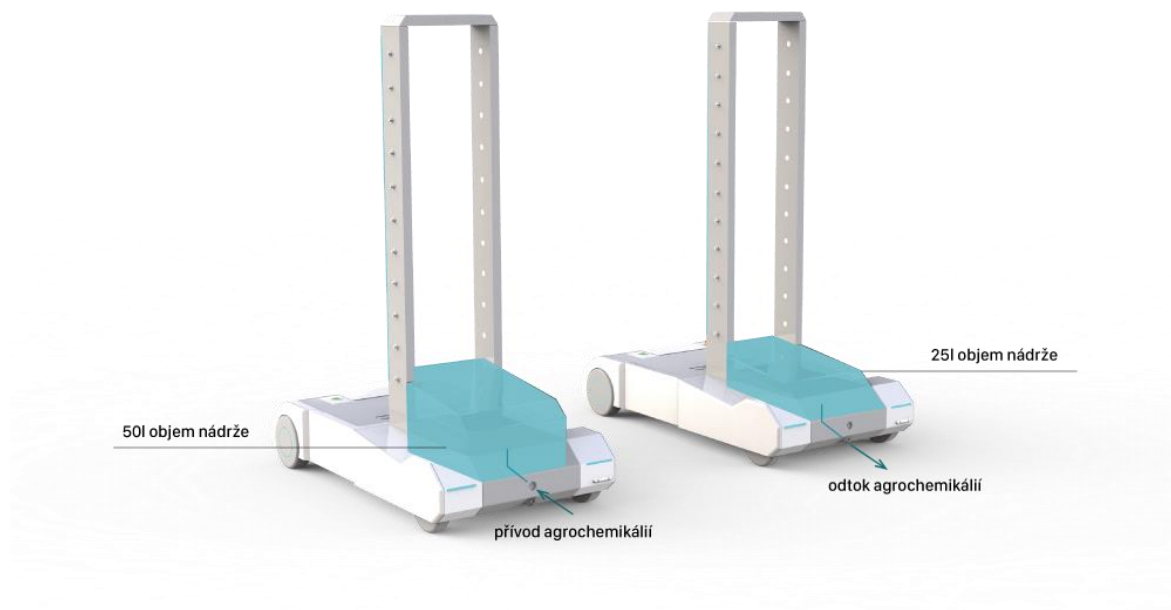
Obr. 6-39 Odvzdušňovací ventil v horní části nádrže

Automatické čištění nádrže na agrochemikálie probíhá bez zásahu člověka a je spuštěno po otevření výpustné krytky. Po vyprázdnění zbytkového obsahu se do nádrže automaticky vpusť čistící voda přes integrovaný oplachový systém – uvnitř jsou umístěny trysky. Trysky rovnoměrně rozstříkují vodu po vnitřních stěnách, čímž dochází k efektivnímu odstranění zbytků chemikálií. Oplachová voda následně odtéká stejným výpustným otvorem do sběrné nádoby nebo systému na bezpečné zachycení odpadní kapaliny. Výpust' je řešen závitovým uzávěrem, který se vyšroubuje a umožní tak snadné vypuštění nepotřebných agrochemikáliím. Velikost otvoru pro dokování a pro výpust' vychází z existujících dokovacích pistolí - průměr 55 mm.



Obr. 6-40 Odjímání uzávěru pro odtok agrochemikálií

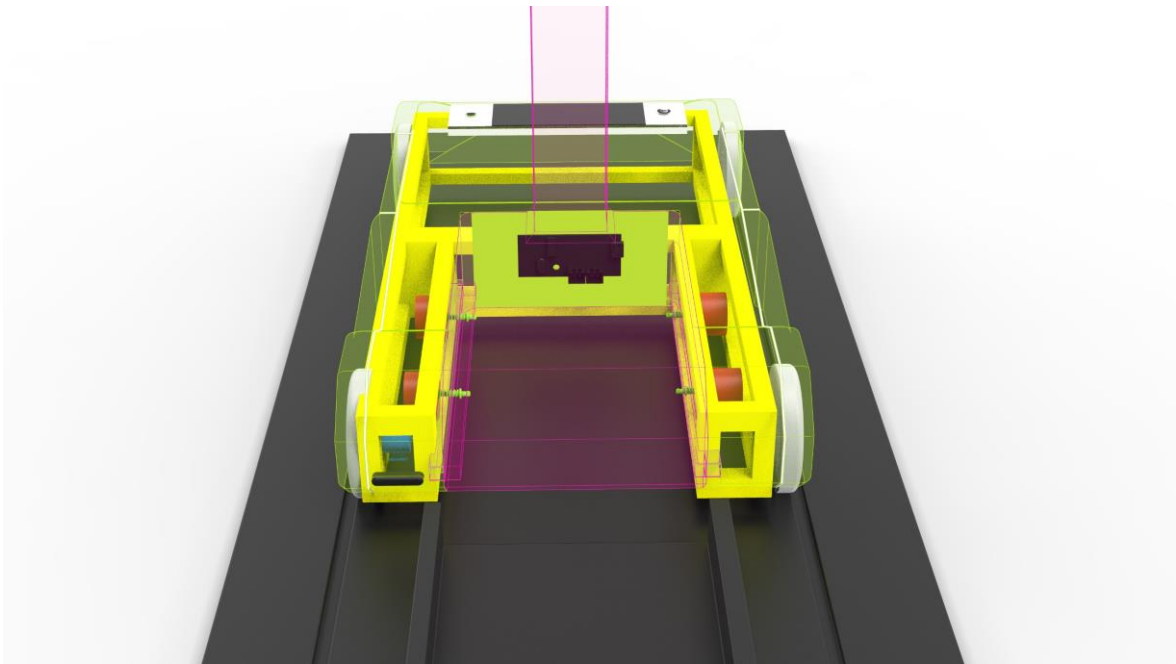
Objem nádrže vychází z řešení tvaru samotného modulu. Jelikož nádrž využívá prostor nosné konstrukce modulu a díky tomu je zde možné umístit až 25 litrovou nádrž. Nádrž může být navýšena až na 50 litrů díky prostoru v rámu, kam se může umístit vyšší objem nádrže. Samotná nádrž je viditelná v horní polovině celého modulu postřiku, kde je řešena transparentním krytem, ale celý objem nádrže je i ve spodní části modulu (Obr. 6-41). V nádrži je umístěn rozmíchavač a čisticí trysky pro výměnu typu agrochemikálie. Uvnitř je řešen systém pro přívod a odtok agrochemikálií.



Obr. 6-41 Objem nádrže a schéma přívodu a odtoku agrochemikálií

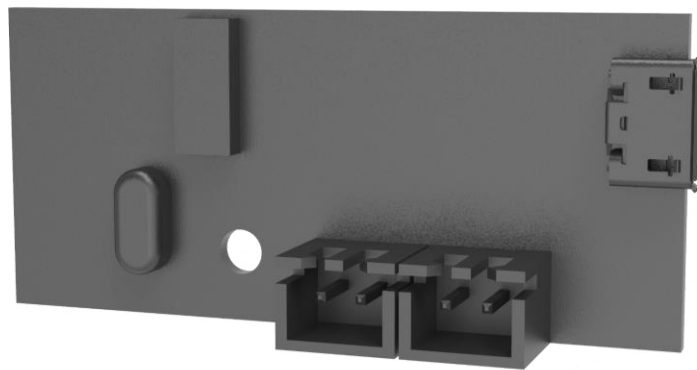
6.2.8 Elektronické propojení modulů s platformou

Elektronické připojení mezi platformou a moduly je řešeno pomocí vícepinových konektorů, které umožňují bezpečný, spolehlivý a rychlý přenos napájení i dat. Konektory jsou navrženy pro snadné zasunutí a automatické zajištění při zasunutí modulu do platformy, přičemž jsou chráněné proti vodě, prachu a mechanickému poškození (např. standard IP65).



Obr. 6-42 Umístění elektronického konektoru

Připojení zahrnuje napájecí vodiče pro dodávku energie k modulu a komunikační prvky – pro přenos dat a ovládacích signálů mezi hlavní jednotkou a připojeným modulem. Každý modul je automaticky detekován a identifikován řídicím systémem platformy, což umožňuje jeho okamžité zapojení do provozu bez nutnosti ruční konfigurace.



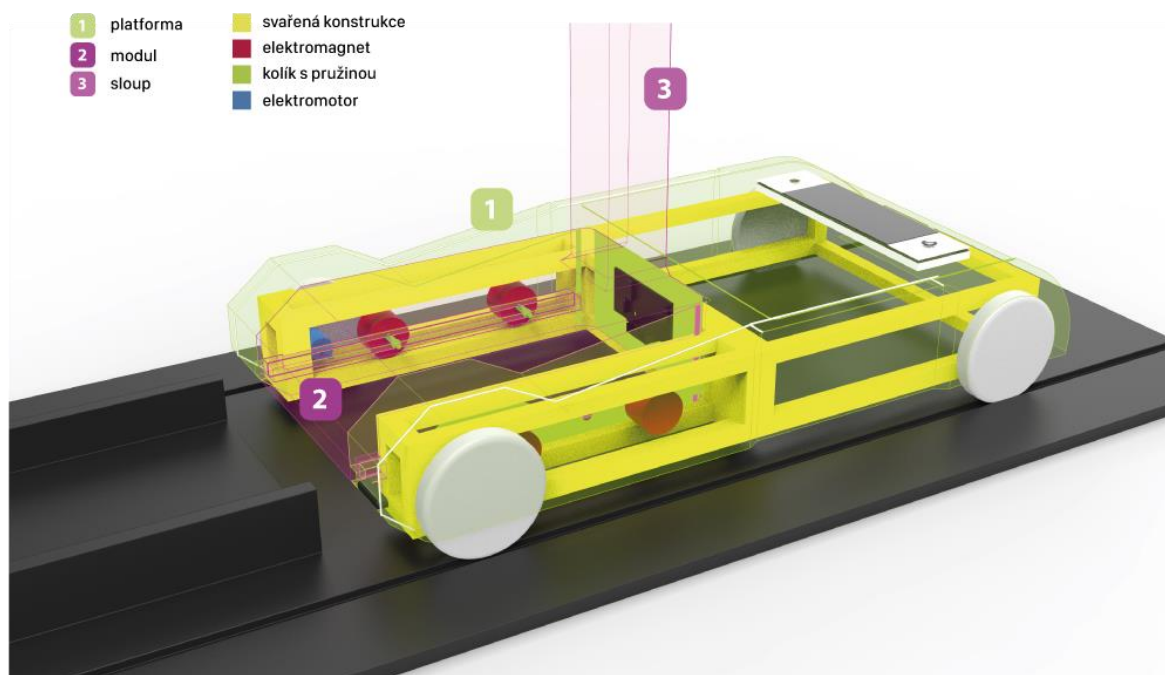
Obr. 6-43 Konektor pro přenos dat a elektrického připojení mezi platformou a modulem

6.2.9 Upínací mechanismus

Navržený mechanismus slouží k rychlému, opakovatelnému a spolehlivému spojení dvou částí pomocí pasivního zámku tvořeného kolíky tlačnými pružinami. Tyto kolíky se při spojení zasunou do připravených otvorů protikusů, čímž dojde k mechanickému zajištění spojení bez potřeby aktivního ovládní. Samotné upnutí však není pouze závislé na kolících a pružinách, ale také na vodícím mechanismu, který umožňuje přesné nasazení dílů do sebe. Pomocí drážek na okrajích jednotlivých částí se části spojí a zavedou je do správné pozice, než dojde k upínacímu mechanismu, který uzamkne spojení.

Hlavními prvky jsou upínací kolíky, které jsou vedeny v přesných vodících otvorech. Na každém kolíku je nasazena pružina, která tlačí kolík směrem ven, tedy do zajištěné polohy. Tyto kolíky tak po zasunutí dvou částí automaticky zapadnou na své místo a vytvoří pevný spoj.

Pro odjištění mechanismu je využit elektromagnet, jehož jádrem je pohyblivá kotva. Ta je mechanicky spojena s kolíky a působí na mechanismus, který kolíky stáhne zpět proti síle pružin. Po přivedení elektrického proudu do cívky elektromagnetu dojde k přitažení kotvy, čímž se uvolní spoj.



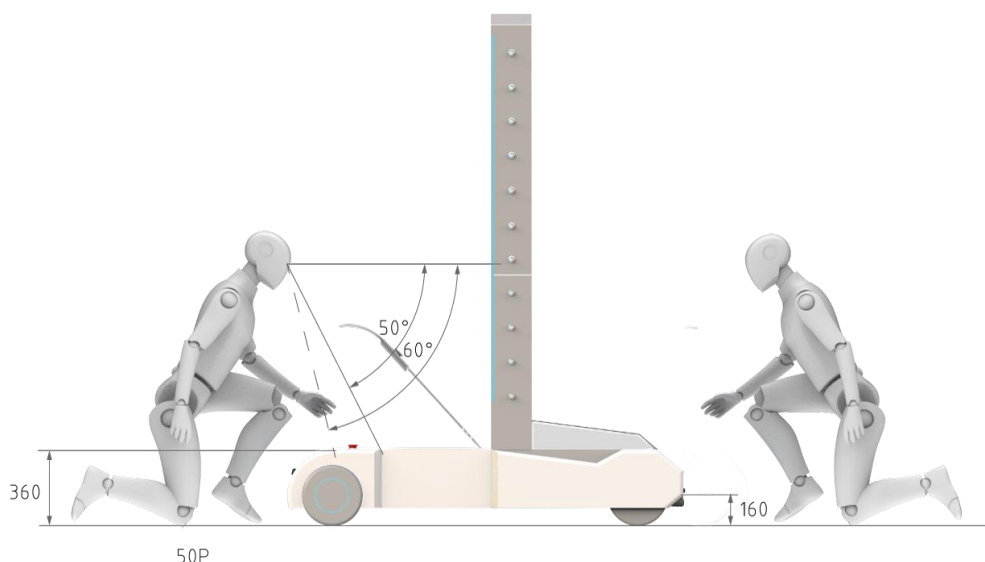
Obr. 6-44 Konstrukční schéma upínacího mechanismu

6.3 Ergonomické řešení

Robot je primárně zcela autonomní a do kontaktu s člověkem přichází v případě, kdy uživatel sleduje displej na platformě robota. Robota lze zařadit do kategorie robota:

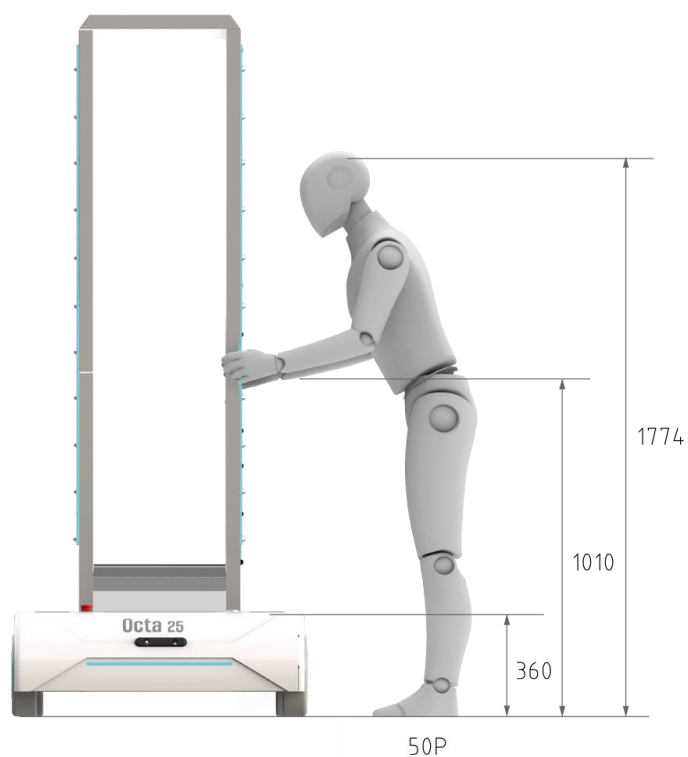
- Pracovní kontakt
- Kontakt pomocí ovládačů
- Nevýrobní činnost
- Kontakt rukou

Přístup k baterii a řídicí jednotce je vzhledem k výšce platformy 360 mm řešen pro člověka v kleče. Otevření kapoty v přední části robota probíhá automaticky přes aplikaci, pneumatické otvírání krytu umožnilo vytvořit estetické řešení přední masky a nebylo nutné vytvářet v krytu žádná madla či otvory pro manuální otevření krytu. Pro otvírání kapoty jsou využity plynové vzpěry, které reagují na signalizaci z tabletu a vyvolají reakci motorizovaného pohonu.



Obr. 6-45 Ergonomické řešení – přístup k baterii, řídicí jednotce a odtoku

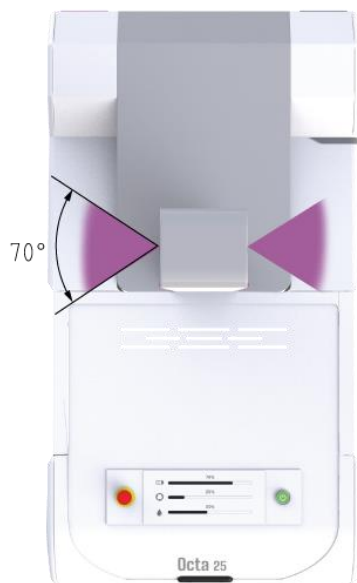
Přístup k servisu sloupu je dělen ve výšce 1010 mm, dělení vychází z řešení konstrukce, kdy základní sloup je svařen s celkovou konstrukcí platformy a je na něj šroubově upevněn duralový sloup. Horní část konstrukce je možné odejmout jako oddělené části konstrukce a je tak možné servisovat a čistit jednotlivé části. Samotné čištění trysek probíhá automaticky během výměny typu agrochemikálií.



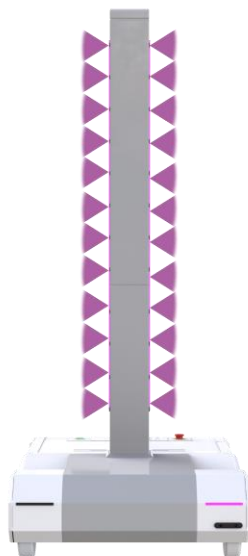
Obr. 6-46 Ergonomické řešení – servis sloupů

6.3.1 Schéma kamer pro analýzu plodin a rozptyl postřiku plodin

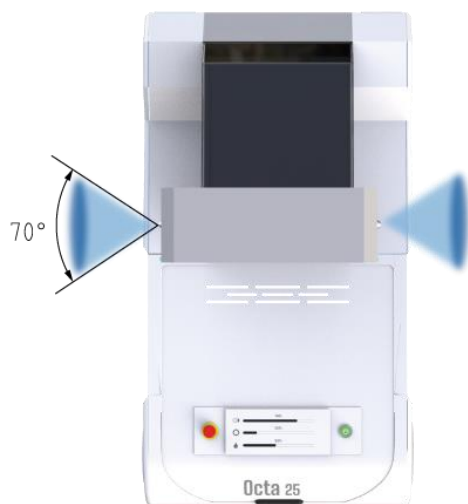
Pro analýzu plodin je na sloupu umístěno 12 kamer na každé straně, které mají definované zorné pole obrazu pro snímání plodin, stejně tak je dané kuželové pole, které ukazuje plochu, kam je agrochemikálie dávkována.



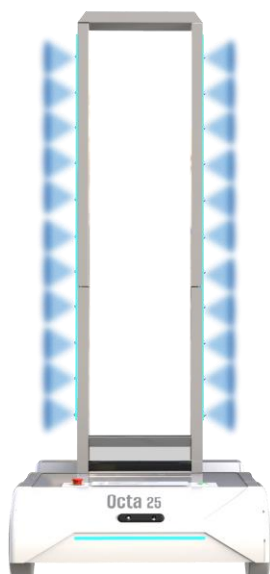
Obr. 6-47 Úhel snímání stereo kamer



Obr. 6-48 Schéma rozmístění kamer a snímání obrazu

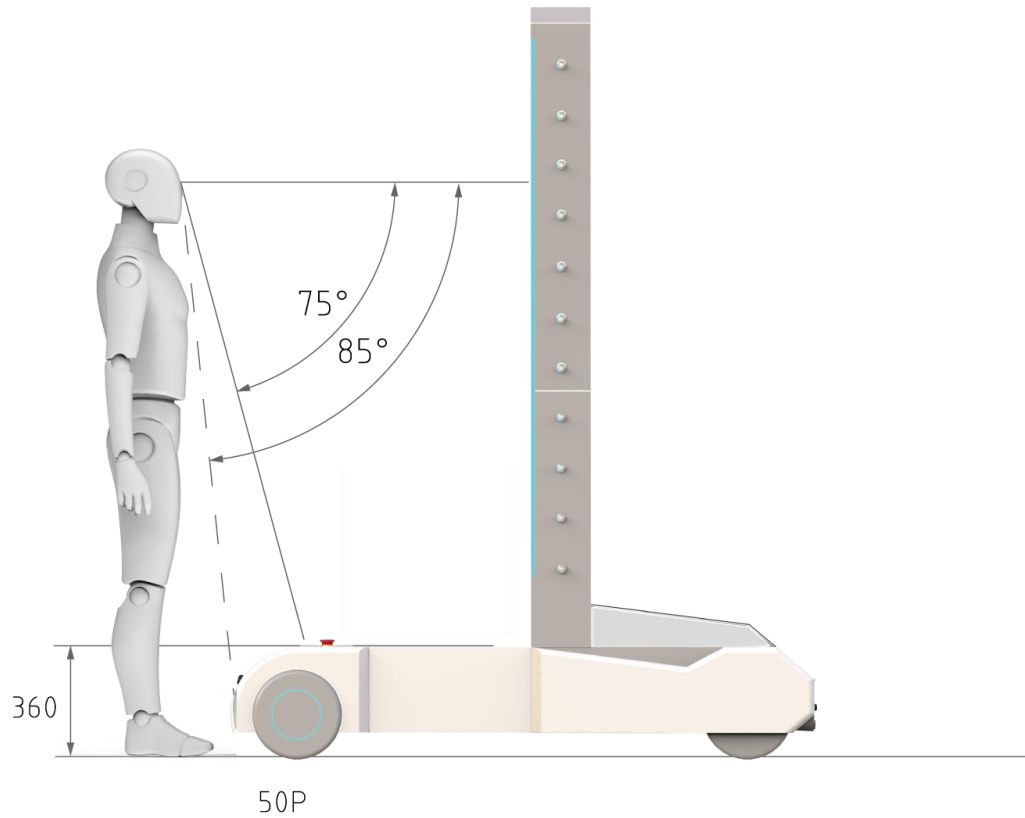


Obr. 6-49 Úhel postřiku mikro-tryskami



Obr. 6-50 Rozmístění mikro-trysek

Pro ergonomické řešení byla podstatná viditelnost samotného displeje, který slouží pro informování o stavu práce s lidmi, kteří ve skleníku pracují na jiných činnostech než-li robot. Díky světelné a zvukové signalizaci jsou informováni o pohybu robota a díky displeji zjistí stav práce, baterie a objem nádrže.

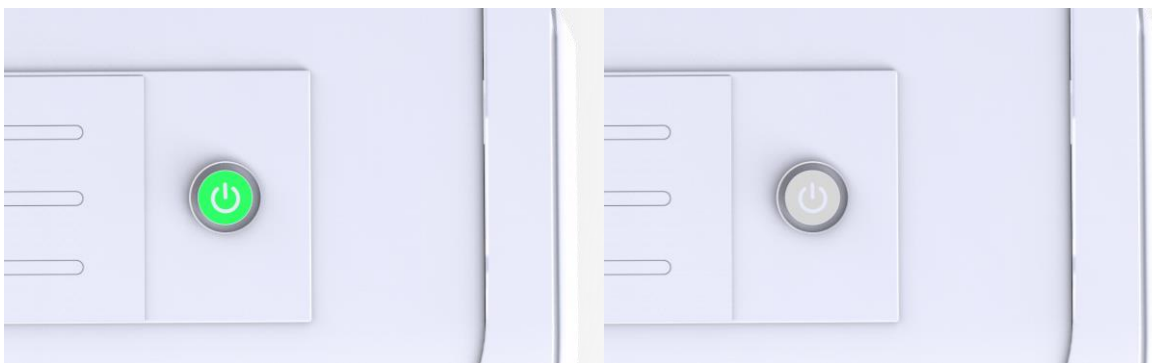


Obr. 6-51 Ergonomické řešení – výhled na displej

V horní části modulu je umístěn displej s potřebnými tlačítky. Robot je zcela autonomní, a proto jsou na těle robota umístěny pouze tlačítka pro zapnutí/vypnutí a nouzové tlačítko.



Obr. 6-52 Ergonomické řešení – tlačítko pro zapnutí/vypnutí



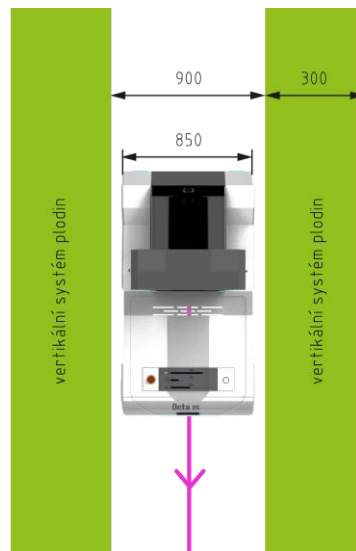
Obr. 6-53 Světelná signalizace zapnutí a vypnutí robota

Pro bezpečnost je vybaven senzory Lidar, jelikož je robot stále ve skleníku dohromady s člověkem.



Obr. 6-54 Ergonomické řešení – nouzové tlačítko

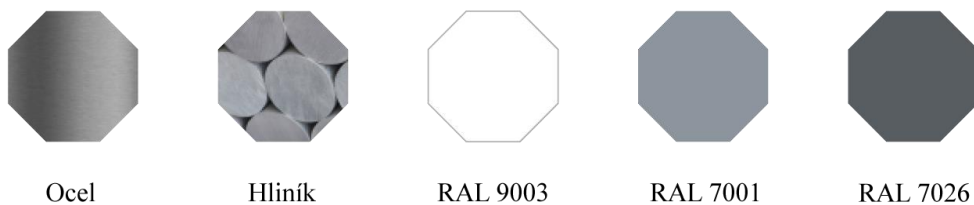
Běžná ulička mezi řádky v rámci hydroponického vertikálního skleníku je v rozmezí (600-900) mm, konkrétní řešení skleníku pracuje se šířkou řádku 900 mm. Jedná se o vhodný rozměr pro robota, ale i pro údržbu systému člověkem. Robot je tak díky tomu blízko plodinám v případě postřiku plodin. Samotný robot má šířku 850 mm, což vyhovuje rozměru uličky skleníku.



Obr. 6-55 Rozměry robota vůči vertikálnímu systému skleníku

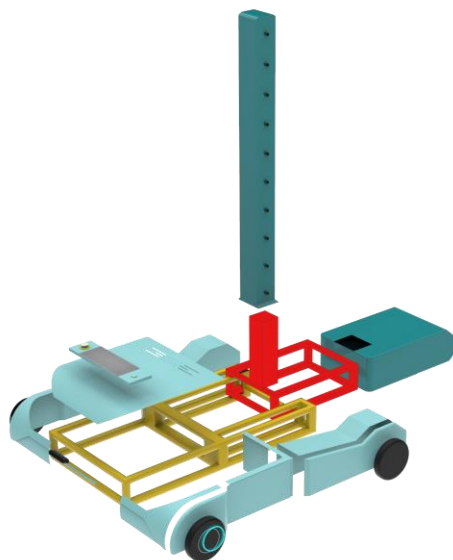
6.4 Použité materiály a technologie

Konstrukce rámu platformy a modulu je vyrobena z ocelových jechlů, která vyniká vysokou pevností, odolností vůči korozi a dlouhou životností i v náročných provozních podmínkách. Díky těmto vlastnostem je ideální pro stabilní a robustní konstrukce s dlouhodobou mechanickou odolností. Sloup určený pro analýzu a postřik je z hliníkových jechlů, což umožňuje snadnou manipulaci a minimalizaci zatížení celé konstrukce. Krytování platformy a modulů je realizováno z ABS plastu, který je odolný proti nárazům, chemikáliím i povětrnostním vlivům a zároveň umožňuje přesné tvarování při výrobě vstřikováním. Výroba jednotlivých komponent tedy kombinuje technologie svařování kovových částí, CNC obrábění duralu a vstřikování plastů pro dosažení optimální funkčnosti, odolnosti a estetického provedení.



Obr. 6-56 Vzorník materiálů a barev

Konstrukce robota spočívá ze svařené základní konstrukce z oceli a krytování z ABS plastu. Dělení krytování je řešeno dle přístupu k servisu. Sloupy jsou rozděleny dle svařené nosné konstrukce, kdy na ni je nasunut další díl sloupu z duralu. V horní části je dělen sloup kvůli přístupu k GPS a snadnému servisu. Platforma je dělena tak, aby byl usnadněn přístup k servisu baterie a řídicí jednotce. Pro umožnění snazšího servisu kol, kde hrozí zasekávání plodin do kol je vytvořeno další dělení krytu.



Obr. 6-57 Dělení krytování

Samotné řešení kompletace konstrukce a krytů spočívá v estetickém upevnění ABS krytů k ocelové konstrukci. Během montáže je potřeba uvažovat nad tím, jak často bude robot rozebírán, v jakém bude prostředí a čemu bude vystaven. Během práce robota může docházet k postupnému vzniku koroze a je vystaven vlhkosti a teplotě ve skleníku. Proto se jako nejlepší řešení pro upevnění krytu k ocelové konstrukci jeví využití závitové vložky s nerezovými šrouby pro uchycení. Přidáním silentbloků se sníží vibrace, ochrání plast před prasknutím a umožní teplotní roztažnost materiálů – ocel vs. ABS plast. Výhodné je využít i těsnění, které zabrání průniku prachu, vlhkosti a postřikům, aby pronikly do elektroniky nebo mechaniky robota. V místech, kde může docházet k častějšímu odejímání krytu jako je krytování kol jsou využity zacvakávací klipy.

6.5 Barevné a grafické řešení

6.5.1 Logotyp

Logotyp vychází z tvaru, který se objevuje v designu – oktagonu. Slovo vychází z tohoto tvaru a je použito slovo Octa. Pro logotyp je využit vertikální font Big Shoulders, který tvarově vychází z vertikálních sloupů. Logotyp je rozšířen o číslovku dle objemu nádrže – číslovka 25 nebo 50.

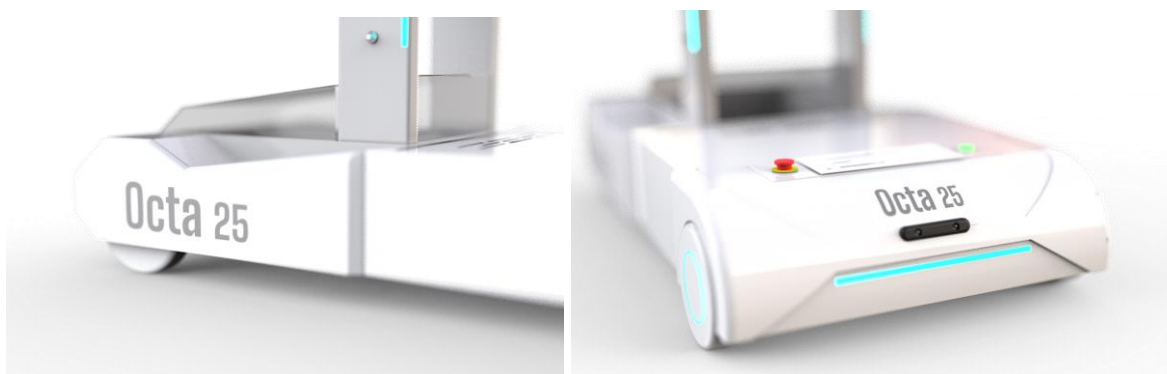
Octa

Obr. 6-58 Základní logotyp

Octa 25

Octa 50

Obr. 6-59 Řešení rozšířeného logotypu



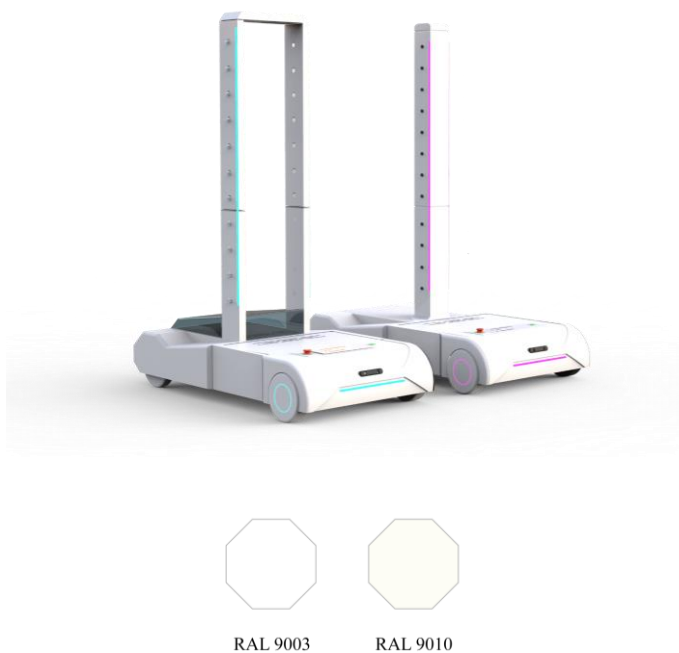
Obr. 6-60 Umístění logotypu na robotovi

6.5.2 Barevné řešení produktu

Barevné řešení vychází z přizpůsobení prostoru, ve kterém robot pracuje. Hlavní varianta je výrazně barevně přizpůsobena laboratornímu prostředí a je laděna do světlých až bílých barev. Další varianty vychází z kontrastnějších barev, které mohou být přizpůsobeny danému prostředí, ve kterém robot pracuje.



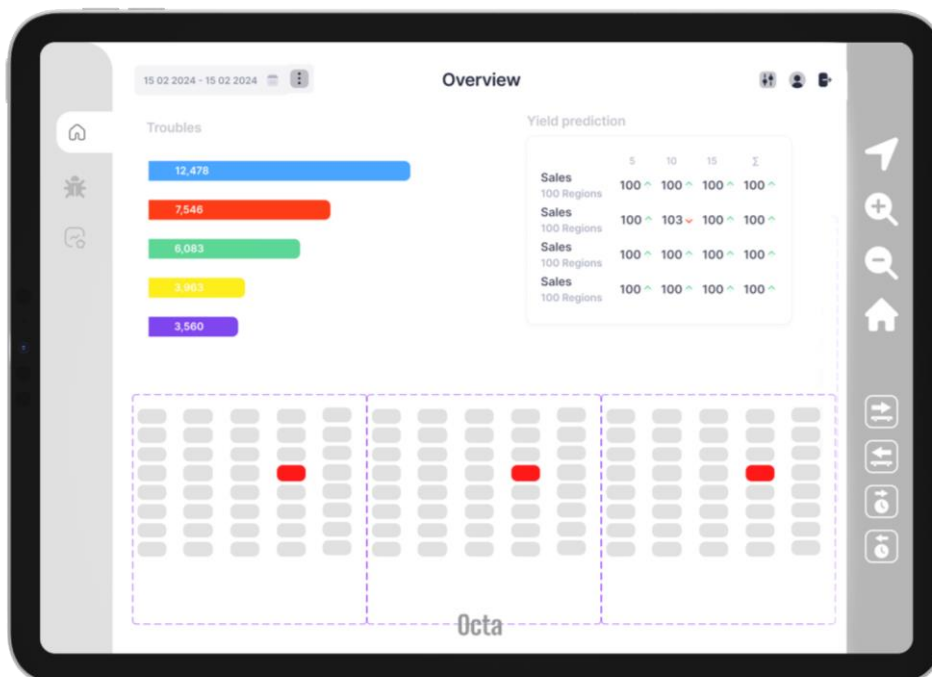
Obr. 6-61 Barevná varianta I



Obr. 6-62 Barevná varianta II

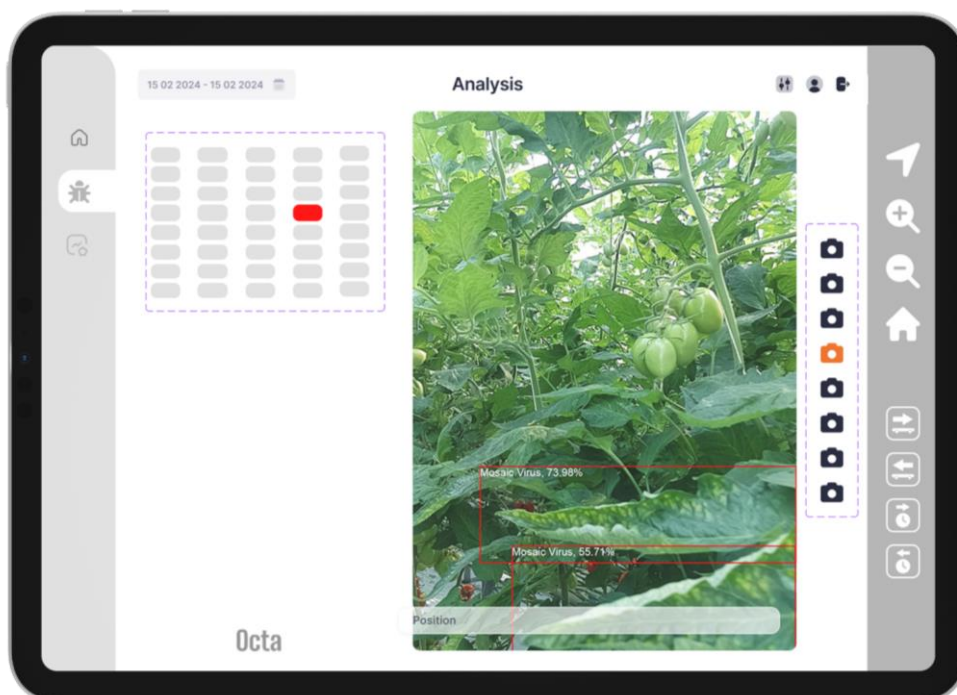
6.5.3 Aplikace

Aplikace navázaná k robotovi pro práci v hydroponickém vertikálním skleníku je navržena tak, aby byla co nejvíce intuitivní a snadné na ovládání pro uživatele. Byly navrženy jednotlivé obrazovky daných sekcí, které uživatel během práce robota nebo po využití. Aplikace je ovládaná přes dotykový tablet, proto má touchpady umístěny do bočních stran pro ovládání palci. Uživatelské rozhraní je navrženo pro sekce – hlavní stránka, kde jsou hlavní informace o poloze robota v rámci skleníku, objem plodin, predikce růstu a seznam škůdců, kteří se na plodinách vyskytují.



Obr. 6-63 Řešení aplikace pro hlavní informace o práci

Další obrazovka se věnuje konkrétně analýze plodin, kde informuje o místě ve skleníku, kde byl analyzován škůdce. Na toto konkrétní místo se může uživatel díky kamerám podívat a vidět přesnou detekci škůdců a sám může zanalyzovat plodinu a vyhodnotit další postup a zvolí typ agrochemikálie. V pravé části jsou umístěny ikony kamerek, které si může jednotlivě přepínat a analyzovat jednotlivé snímky. Na pravém touchpadu jsou umístěny tlačítka pro polohu, zoomování, navrácení na domovskou stránku a ve spodní části tlačítka pro navigaci robota a na posouvání snímků v konkrétním čase.



Obr. 6-64 Řešení aplikace pro analýzu

Další obrazovka se věnuje manipulaci s robotem, kde je možné ovládat rychlost robota, otáčet s ním, jezdit dopředu a dozadu, zastavit jej a vypínat a zapínat světla.



Obr. 6-65 Řešení aplikace pro ovládání robota

6.6 Udržitelnost produktu

Robot určený pro vertikální hydroponické skleníky přináší výrazné zlepšení v oblasti udržitelného zemědělství. Díky přesné analýze plodin a cílenému postřiku škůdců dochází k minimalizaci spotřeby chemických látek, což šetří životní prostředí i zdraví rostlin. Eliminace plošného postřiku přispívá ke snížení znečištění vody a půdy, zatímco neustálý monitoring stavu plodin umožňuje včasnou detekci problémů a efektivní zásah pouze tam, kde je to skutečně potřeba. To vede k vyšší efektivitě pěstování i menší ekologické stopě.

Modulární konstrukce robota podporuje dlouhodobou udržitelnost z hlediska životního cyklu produktu. Díky výměnným modulům lze snadno vyměnit nebo upgradovat jednotlivé části bez nutnosti výměny celé jednotky, čímž se snižuje množství elektronického odpadu. Použití odolných materiálů, jako je nerezová ocel pro rám nebo ABS plast pro krytování, zajišťuje dlouhou životnost i v náročných podmínkách skleníku. Modularita také zvyšuje flexibilitu robota, který se tak může přizpůsobovat různým požadavkům a typům pěstovaných plodin bez nutnosti další techniky.

Dokovací stanice slouží nejen k automatickému dobíjení, ale také k doplňování agrochemikálií, což minimalizuje potřebu manuálního zásahu a snižuje riziko kontaminace. Centrální správa energie a chemie zvyšuje bezpečnost provozu a zajišťuje optimalizaci spotřeby zdrojů. Celý systém tak podporuje koncept chytrého zemědělství, který je šetrný k přírodě, zvyšuje produktivitu a současně snižuje provozní náklady. Robot tak představuje moderní a udržitelný nástroj pro efektivní a ekologické pěstování plodin v uzavřeném prostředí.

6.7 Hodnocení klíčových parametrů

Parametry stanovené v počátečních fázích návrhu byly ve výsledném konceptu zohledněny a úspěšně naplněny. Hlavním cílem bylo vytvořit autonomního robota určeného pro vertikální hydroponický skleník, který kombinuje flexibilitu modulární platformy s vysokou mírou automatizace. Výsledný produkt tak nabízí nejen analýzu stavu plodin a cílený postřik škůdců, ale také autonomní navigaci, výměnu modulů a schopnost samostatného dobíjení i doplňování chemických prostředků.

Návrh platformy a modulů byl veden důrazem na maximální kompatibilitu a snadnou výměnu. Modul pro analýzu plodin a modul pro postřik byly navrženy tak, aby se mohly samostatně připojit i odpojit od platformy, což přispívá k multifunkčnosti celého systému. Řešení čtyřkolového pohonu s nezávislými motory výrazně zlepšilo manévrovací schopnosti robota mezi řádky skleníku, aniž by byl vázán na konkrétní vedení. To umožňuje jeho využití v různých typech skleníkových uspořádání a přispívá ke snížení provozních omezení.

Při návrhu byla rovněž zohledněna dlouhodobá udržitelnost – jak konstrukčně, tak i materiálově. Použité materiály, jako nerezová ocel a dural, garantují vysokou odolnost proti korozi, zatímco krytování z ABS plastu chrání elektronické komponenty a usnadňuje údržbu. Klíčové části jako baterie, kamery či trysky jsou snadno přístupné, což zjednodušuje servisní zásahy a prodlužuje životnost zařízení.

Z hlediska energetické efektivity byla integrována možnost dobíjení během práce prostřednictvím dokovací stanice. Tím se snižují prostoje a zvyšuje celková efektivita provozu. Učení robota formou systému digitálního dvojčete umožňuje definování trajektorie a trénink robota ve virtuálním prostředí, čímž se zvyšuje přesnost a optimalizuje provoz již při prvním nasazení.

Z hlediska atraktivity pro investory a budoucích uživatelů byl důraz kladen také na moderní design, intuitivní ovládání a systémové řešení celého skleníku – včetně umístění modulů i dokovací stanice. Výsledné zařízení tak nepředstavuje pouze technický nástroj, ale komplexní autonomní řešení budoucnosti pro udržitelné a vysoce efektivní hydroponické pěstování.

7 ZÁVĚR

Závěr diplomové práce se zaměřuje na zhodnocení návrhu autonomního robota pro skleníky, který analyzuje a ošetřuje plodiny formou postřiku. Kromě toho využívá autonomní systém modulů a dokovací stanici pro nabíjení, čerpání agrochemikálií a uložení nepoužívaných modulů. V diplomové práci byly analyzovány existující řešení jak designérsky, tak konstrukčně. Na základě informací z analýz bylo vytvořené nové zcela autonomní řešení robota pro skleníky.

Navrhnutý robot pro skleníky umožňuje zcela samostatný průběh práce bez zásahu člověka. Díky systému senzorů a naučené trajektorii systému digitálního dvojčete je schopen zcela autonomně fungovat v rámci skleníku. Díky stereo kamerám snímá jednotlivé plodiny, které jsou umístěny vertikálně nad sebou a snímky ukládat do systému pro další kroky. Volba dalšího postupu je v aktuální době na samotném farmářovi, který na základě snímků se škůdci vyhodnotí, který typ postřiku pro ošetření zvolí. Postřik plodin i dokování agrochemikálií je zcela autonomní, a to díky systému dokovací stanice.

V této práci byl navržen zcela nový komplexní přístup řešení robota. Modularita otevřela prostor i pro nové tvarové řešení jednotlivých modulů a novou konstrukci sloupů, která je výrobně i servisně efektivnější než stávající řešení robotů.

Na závěr práce přichází zhodnocení jednotlivých stanovených cílů práce. V práci bylo vytvořeno nové řešení, které usnadňuje práci v hydroponickém vertikálním skleníku, systém využívá vícefunkční potenciál konstrukce díky výměně modulů, které nepotřebuje zásah člověka. Kromě robota byl řešen i celý systém skleníku, ve kterém jsou umístěny dokovací a úložné stanice, ty zajišťují dobíjení modulů a plynulý průběh práce. Pro člověka jsou v rámci tohoto produktu podstatná data, která získává, proto bylo navrženo i řešení aplikace, které informuje farmáře o stavu plodin, objemu úrody, hrozbě škůdců a navrhuje možné řešení problému.

Systém vertikálních hydroponických systémů se začíná postupně rozvíjet i v Evropě, a proto farmáři vyhledávají autonomní systém, který jim vyřeší problémy s nedostatkem kvalifikovaných zaměstnanců a se zvyšujícími se náklady na agrochemikálie. Celý systém se ukazuje jako efektivní a modularita robota, který umožňuje mít jednu základní pohonnou platformu a výměnné moduly je pro farmáře s farmou 2 až 4 ha ekonomicky výhodný, jelikož neplatí za 2 kompletní roboty na 2 funkce. Pro budoucí řešení robota je klíčovým faktorem možnost vícefunkčního potenciálu, kdy se u robota nabízí vyvinout další přídavné moduly - pro sběr plodin, zastřihování plodin či ozáření škůdců. Toto řešení nabízí konkrétní úpravy pro danou farmu jako je navýšení sloupů a rámové konstrukce pro vyšší vertikální systémy a úprava rozmístění kamer a trysek dle rozmístění jednotlivých řádků.

8 VÝSLEDEK VÝZKUMU DLE RIV

Druh výsledku	Funkční vzorek
Název výsledku	Autonomní robot pro skleníky
Autoři	Bc. Renata Křivková
Místo uložení výsledku	VUT Brno

Tab. 8-1 Výsledek výzkumu dle RIV

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BUILT IN. Farming Agricultural Robots. online. In: BUILT IN. Built In. 2025. Dostupné z: <https://builtin.com/robotics/farming-agricultural-robots>. [cit. 2025-03-20].
- [2] FUTURE TEKNOV. 21 Robotics Companies Revolutionizing Modern Agriculture. online. In: FUTURE TEKNOV. futureTEKnoV. 2025. Dostupné z: <https://futureteknow.com/robotics-agriculture-companies/>. [cit. 2025-03-20].
- [3] HOWTOROBOT. The growing Dutch robotics industry faces “market adoption gap”. online. In: HOWTOROBOT. HowToRobot. 2023. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/growing-dutch-robotics-industry-faces-market-adoption-gap>. [cit. 2025-03-20].
- [4] MDPI. Advances in Agriculture Robotics: A State-of-the-Art Review and Challenges Ahead. online. In: MDPI. Robotics. 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/2/52>. [cit. 2025-03-20].
- [5] MARKETSandMARKETS. Agriculture Drones Market Size, Share, Forecast and Growth. online. In: MARKETSandMARKETS. MarketsandMarkets. 2024. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agriculture-drones-market-23709764.html>. [cit. 2025-03-20].
- [6] AGRIHOLLAND. Nieuws, vacatures en evenementen in landbouw, tuinbouw, agribusiness en voedingsketen. online. In: AGRIHOLLAND. AgriHolland. 2025. Dostupné z: <https://www.agriholland.nl/>. [cit. 2025-03-20].
- [7] DUTCHGREENHOUSES. Designing & building high-tech greenhouse facilities worldwide. online. In: DUTCHGREENHOUSES. DutchGreenhouses. 2025. Dostupné z: <https://dutchgreenhouses.com/>. [cit. 2025-03-20].
- [8] EDEN GREEN. Co je vertikální zemědělství? Vše, co byste měli o této inovaci vědět. online. In: EDEN GREEN. Eden Green. 9. ledna 2023. Dostupné z: <https://www.edengreen.com/blog-collection/what-is-vertical-farming>. [cit. 20. března 2025].
- [9] Sklenář, M. Umělá inteligence se stará o pěstování rajčat. online. In: Automa. 2018. Dostupné z: https://automa.cz/cz/web-clanky/umela-inteligence-se-stara-o-pestovani-rajcat-0_14285/. [cit. 20. března 2025].
- [10] RAJ POHODY. Kolik výnosů produkuje jedna rostlina rajčat? online. In: RAJ POHODY. Dostupné z: <https://rajpohody.cz/kolik-vynosu-produkuje-jedna-rostlina-rajcat/>. [cit. 20. března 2025].
- [11] AGRO KB TRADE. Výnos okurek ve skleníku od 1 metru čtverečního: kolik kilogramů plodiny lze sklídit z jednoho keře, jak zvýšit výnos a na čem závisí? online. In: AGRO KB TRADE. Dostupné z: <https://agrobtrade.cz/vynos-okurek-ve-skleniku-od-1-metru-ctverecniho-kolik-kilogramu-plodiny-lze-sklidit-z-jednoho-ke-re-jak-zvysit-vynos-a-na-cem-zavisi/>. [cit. 20. března 2025].
- [12] VALTRA. Co je Smart Farming. online. In: VALTRA. Valtra. 2025. Dostupné z: <https://www.valtra.cz/smart-farming/co-je-smart-farming.html>. [cit. 2025-03-20].

- [13] AGRITECTURE. Exploring the Future of Agriculture: A Deep Dive into Robots. online. In: AGRITECTURE.Agritecture. 12. dubna 2024. Dostupné z: <https://www.agritecture.com/blog/exploring-the-future-of-agriculture-a-deep-dive-into-robots>. [cit. 20. března 2025].
- [14] MECHANIZACEWEB.CZ. Ekobot odstraňuje plevele. online. In: MECHANIZACEWEB.CZ. 24. června 2022. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/ekobot-odstranuje-plevele/>. [cit. 20. března 2025].
- [15] AGROPORTAL24H.CZ. První hybridní robot pro zemědělství. SITIA Trektor je mostem mezi traktorem a autonomním robotem budoucnosti. online. In: AGROPORTAL24H.CZ. 13. dubna 2021. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/prvni-hybridni-robot-pro-zemedelstvi-sitia-trektor-je-mostem-mezi-traktorem-a-autonomnim-robotem-budoucnosti>. [cit. 20. března 2025].
- [16] Hemming, J. (2020). Current developments in greenhouse robotics and challenges for the future. *Acta Horti*. 1296, 975-986 DOI:10.17660/ActaHortic.2020.1296.124 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1296.124>
- [17] van Henten, E., Hemming, J., van Tuijl, B. et al. An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses. *Autonomous Robots* 13, 241–258 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1020568125418>
- [18] Woo, Seungmin, Daniel Dooyum Uyeh, Junhee Kim, Yeongsu Kim, Seokho Kang, Kyoung Chul Kim, Si Young Lee, Yushin Ha a Won Suk Lee. 2020. "Analýzy efektivity práce robota na sklizeň jahod v automatizovaném skleníku" *Agronomie* 10, no. 11: 1751. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111751>
- [19] S. Fernando, R. Nethmi, A. Silva, A. Perera, RD Silva a PWK Abeygunawardhana, „AI Based Greenhouse Farming Support System with Robotic Monitoring“, 2020 IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON) , Osaka, Japonsko, 2020, s. 1368-1373, doi: 10.1109/TENCON50793.2020.9293745.
- [20] Analysis of Precise Green House Management System using Machine Learning based Internet of Things (IoT) for Smart Farming. Online. 2021. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9591962>. [cit. 2024-05-02].
- [21] Tortuga. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.tortugaagtech.com/>. [cit. 2023-11-21].
- [22] Meet Grow is a driverless robot that operates 24/7. Online. 2023 Dostupné z: <https://metomotion.com/robotic-worker/>. [cit. 2023-11-21].
- [23] Octinion. Online. 2023. Dostupné z: <http://octinion.com/products/agricultural-robotics/rubion>. [cit. 2023-11-21].
- [24] FraveBot. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.fravebot.com/>. [cit. 2023-11-21].
- [25] Díky technologiím může robot na sklizeň jahod trénovat ve virtuálním prostoru. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.siemenspress.cz/diky-technologim-siemens-muze-robot-na-sklizen-jahod-trenovat-ve-virtualnim-prostoru/?fbclid=IwAR2OoUb->

- cHDwph4pfoGLIPnXOAs6fVcYSp1Sg2k0v1cfZFwekcK5Be53FR4. [cit. 2023-11-21].
- [26] Octinion Lumion. Online. 2023. Dostupné z: <http://octinion.com/products/agricultural-robotics/lumion>. [cit. 2023-11-21].
- [27] Autonomous weeder. Online. 2023. Dostupné z: <https://carbonrobotics.com/autonomous-weeder>. [cit. 2023-11-21].
- [28] H2L robotics. Online. 2023. Dostupné z: <https://h2lrobotics.com/>. [cit. 2023-11-21].
- [29] Thorvald platform. Online. 2023. Dostupné z: <https://sagarobotics.com/thorvald-platform/>. [cit. 2023-11-21].
- [30] Avo. Online. 2023. Dostupné z: <https://ecorobotix.com/en/avo/>. [cit. 2023-11-21].
- [31] Unmanned ground vehicle. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.roboticsplus.co.nz/products/ground-vehicles/unmanned-ground-vehicle/>. [cit. 2023-11-21].
- [32] Bakus. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.agrotec.cz/zeleny-agrotec/zeleny-agrotec-produkty/zemedelske-stroje/bakus>. [cit. 2023-11-21].
- [33] Freebot. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.servistica.com/cs/freebot-robot-pro-domaci-zahradku/>. [cit. 2023-11-21].
- [34] Naio Oz. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>. [cit. 2023-11-21].
- [35] Iron Ox. Online. 2023. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/roboticka-farma-iron-ox-zacala-dodavat-na-trh-prvni-produkty/sc-870-a-198322/default.aspx>. [cit. 2023-11-21].
- [36] Harvest. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.public.harvestai.com/>. [cit. 2023-11-21].
- [37] TUVIE. Valtra Vertical Farming Tractor 001 Concept for Future Vertical Farms and Logistics. online. In: TUVIE. Tuvie Design. 2018. Dostupné z: <https://www.tuvie.com/valtra-vertical-farming-tractor-001-concept-for-future-vertical-farms-and-logistics/>. [cit. 2025-03-20].
- [38] OCTIVA. Curion. online. In: OCTIVA. Octiva. 2025. Dostupné z: <https://octiva.tech/products/curion/>. [cit. 2025-03-20].
- [39] BERG HORTIMOTIVE. Gewasverzorging, gewasbescherming, oogst & transport, datagedreven systemen, schuurautomatisering. online. In: BERG HORTIMOTIVE. Berg Hortimotive. 2025. Dostupné z: <https://berghortimotive.com/nl>. [cit. 2025-03-20].
- [40] BOGAERTS GREENHOUSE LOGISTICS. Qii-Jet - Greenhouse spraying robot with tank. online. In: BOGAERTS GREENHOUSE LOGISTICS. Bogaerts Greenhouse Logistics. 2025. Dostupné z: <https://www.bogaertsgl.com/index.php/qii-jet-tav-342>. [cit. 2025-03-20].
- [41] BATTERY UNIVERSITY. online. In: BATTERY UNIVERSITY. Battery University. 2025. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/>. [cit. 2025-03-20].

- [42] IEEE. Design and Implementation of a Greenhouse Robot for Precision Agriculture. online. In: IEEE. IEEE Xplore. 2019. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8608773>. [cit. 2025-03-20].
- [43] ROS WIKI. Documentation. online. In: ROS WIKI. ROS Wiki. 2025. Dostupné z: <https://wiki.ros.org/Documentation>. [cit. 2025-03-20].
- [44] ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. Agrochemical. online. In: ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. Encyclopædia Britannica. 2025. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/agrochemical>. [cit. 2025-03-20].
- [45] ROS WIKI. Sensors. online. In: ROS WIKI. ROS Wiki. 2025. Dostupné z: <http://wiki.ros.org/Sensors>. [cit. 2025-03-20].
- [46] RESEARCHGATE. Robot path on generic greenhouse layout. online. In: RESEARCHGATE. ResearchGate. 2016. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Robot-path-on-generic-greenhouse-layout_fig4_290201414. [cit. 2025-03-20].
- [47] MDPI. Sensors. online. In: MDPI. MDPI. 2025. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/journal/sensors>. [cit. 2025-03-20].
- [48] BALLUFF. Sensors and Identification. online. In: BALLUFF. Balluff. 2025. Dostupné z: <https://www.balluff.com/cs-cz/products/areas/A0005/groups/G0503>. [cit. 2025-03-20].
- [49] NVIDIA BLOG. online. In: NVIDIA BLOG. NVIDIA. 2025. Dostupné z: <https://blogs.nvidia.com/>. [cit. 2025-03-20].
- [50] AGRI-TECH E. online. In: AGRI-TECH E. Agri-Tech E. 2025. Dostupné z: <https://www.agri-tech-e.co.uk/>. [cit. 2025-03-20].
- [51] DEEPLY. Hluboké učení. online. In: DEEPLY. Deeply. 2025. Dostupné z: <https://deeply.cz/blog/hluboke-uceni>. [cit. 2025-03-20].
- [52] DANFOSS. MP1 Closed Circuit Axial Piston Pumps. online. In: DANFOSS. Danfoss. 2025. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/products/dps/hydraulic-pumps/mobile-pumps/mobile-piston-pumps/closed-circuit-piston-pumps/mp1-closed-circuit-axial-piston-pumps/#tab-overview>. [cit. 2025-03-20].
- [53] HYDROFARM. online. In: HYDROFARM. Hydrofarm. 2025. Dostupné z: <https://www.hydrofarm.com/>. [cit. 2025-03-20].
- [54] AGRO-PRECISION. NIR senzor EvoNIR 4.0. online. In: AGRO-PRECISION. AGRO-PRECISION. Dostupné z: <https://www.agri-precision.cz/produkty/sber-dat/nir-senzor>. [cit. 20. března 2025].
- [55] AGRO-PRECISION. Dávkovací systém JALTEST ISOBUS. online. In: AGRO-PRECISION. AGRO-PRECISION. Dostupné z: <https://www.agri-precision.cz/davkovaci-system-jaltest-isobus>. [cit. 20. března 2025].
- [56] DOPAG. Automatizované dávkovací systémy na utěšňování a lepení. online. In: DOPAG. DOPAG. Dostupné z: <https://www.dopag.com/cs-cz/produkty/automatizovane-davkovaci-systemy/>. [cit. 20. března 2025].
- [57] DENIOS. Průmyslové nádrže a plastové nádrže. online. In: DENIOS. Dostupné z: <https://www.denios.cz/shop/nadrze-nadoby-a-obaly/prumyslove-nadrze-a-plastove-nadrze/>. [cit. 22. března 2025].
- [58] CHEMI. Zásobní nádrže – výroba a vlastnosti. online. In: CHEMI. Dostupné z: <https://www.chemi.cz/vyrobni-program/zasobni-nadrze/>. [cit. 22. března 2025].

- [59] RÖCHLING. Výroba nádrží a zařízení pro chemický průmysl. online. In: RÖCHLING. Dostupné z: <https://www.roechling.com/cz/industrial/vyroba-nadrzi-a-zarizeni-pro-chemicky-prumysl>. [cit. 22. března 2025].
- [60] AGROMANUAL. online. In: AGROMANUAL. Agromanual. 2025. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/>. [cit. 2025-03-20].
- [61] AGROPORTAL24H. Vše ze světa agro. online. In: AGROPORTAL24H. Agroportal24h.cz. 2025. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/>. [cit. 2025-03-20].
- [62] TECHNICKÉ NORMY. ČSN EN ISO 10218-1 - Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty. online. In: TECHNICKÉ NORMY. Technické normy. 2025. Dostupné z: <https://www.technickenormy.cz/csn-en-iso-10218-1-roboty-a-roboticka-zarizeni-pozadavky-na-bezpecnost-prumyslovyh-robotu-cast-1-roboty>. [cit. 2025-03-20].
- [63] EUROPEAN COMMISSION. REACH Regulation. online. In: EUROPEAN COMMISSION. European Commission. 2025. Dostupné z: https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en. [cit. 2025-03-20].
- [64] FDA. HACCP Principles & Application Guidelines. online. In: FDA. U.S. Food and Drug Administration. 2025. Dostupné z: <https://www.fda.gov/food/hazard-analysis-critical-control-point-haccp/haccp-principles-application-guidelines>. [cit. 2025-03-20].
- [65] RESEARCHGATE. Caudate Microstimulation Increases Value of Specific Choices. online. In: RESEARCHGATE. ResearchGate. 2017. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/320640672_Caudate_Microstimulation_Increases_Value_of_Specific_Choices. [cit. 2025-03-20].
- [66] SEZNAM ZPRÁVY. Česká farma nasadila robotického agronoma – hlídá škůdce, listy a počítá úrodu. online. In: SEZNAM ZPRÁVY. Seznam Zprávy. 2025. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-analyzy-ceska-farma-nasadila-robotickeho-agronoma-hlida-skudce-listy-a-pocita-urodu-256187>. [cit. 2025-03-20].
- [67] SUSTAINABILITY. Agribusiness in the Philippines: Challenge 2022. online. In: SUSTAINABILITY. Sustainability 2022. Dostupné z: <https://ycp.com/insights/article/agribusiness-philippines-challenge-2022>. [cit. 2024-10-29].
- [68] IEEE. Smart Agriculture Adoption Based on Farmer's Perspective. online. In: IEEE. IEEE Xplore. 2022. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10060306>. [cit. 2024-10-29].
- [69] RASPBERRY PI. Kamery. online. In: RASPBERRY PI. Raspberry Pi. 2024. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-3>. [cit. 2024-11-18].
- [70] AGRI-INJECT. Micro Tube. online. In: AGRI-INJECT. Agri-Inject. 2024. Dostupné z: <https://agriculture.agri-inject.com/micro-tube>. [cit. 2024-11-18].

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

10.1 Příklady použitých fyzikálních veličin

<i>m</i>	metr
<i>cm</i>	centimetr
<i>mm</i>	milimetr
<i>m²</i>	metr čtvereční
<i>m/min</i>	metr za minutu
<i>m/s</i>	metr za sekundu
<i>kg</i>	kilogram
<i>t</i>	tuna
<i>kWh</i>	kilowatthodina
<i>l</i>	litr
<i>l/min</i>	litr za minutu
<i>μL</i>	mikrolitr
<i>Kč</i>	česká koruna
milion	milion
<i>ha</i>	hektar
<i>Ah</i>	ampérhodina
<i>V</i>	volt
<i>A</i>	ampér
<i>I</i>	elektrický proud
<i>W</i>	watt
°	stupně
<i>t</i>	čas
<i>P</i>	výkon
<i>U</i>	napětí

v	rychlost
l	délka
T_{sek}	čas v sekundách
x_c	poloha bodu c, souřadnice x
y_c	poloha bodu c, souřadnice y
<i>UV, UV-C</i>	Ultraviolet
<i>GPS-RTK</i>	Ultraviolet C
<i>LED</i>	Global Positioning System
<i>LiDAR</i>	Light Emitting Diode
<i>4k</i>	Light detection and ranging
<i>GHz</i>	gigahertz
<i>PAR</i>	Photosynthetically Active Radiation
<i>GPU</i>	Graphic Processing Controller
<i>PLC</i>	Programmable Logic Controller
<i>REACH</i>	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
<i>HACCP</i>	Hazard Analysis and Critical Control Points
CO_2	Carbon Dioxide
<i>I2C</i>	Inter-Integrated Circuit
<i>SPI</i>	Serial Peripheral Interface
<i>Fps</i>	Frames Per Second
<i>Bar</i>	Compute Unified Device Architecture
<i>CUDA</i>	Compute Unified Device Architecture

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Míra volných pracovních míst	15
Obr. 2-1 PRISMA diagram.....	17
Obr. 2-2 Výběr zdrojů	18
Obr. 2-3 Vybrané zdroje	19
Obr. 2-4 Investice do zemědělství dle zemí [3].....	20
Obr. 2-5 Top 10 zemí s nejvíce dodavateli v zemědělském průmyslu [4].....	21
Obr. 2-6 Vizualizace uspořádání skleníku	22
Obr. 2-7 Vertikální systém [8]	23
Obr. 2-8 Hydroponický systém [8].....	23
Obr. 2-9 Robot Scout a Harvester [13].....	26
Obr. 2-10 Schéma skleníku [20]	28
Obr. 2-11 Tortuga AgTech [12]	29
Obr. 2-12 MetoMotion Grow [22].....	30
Obr. 2-13 Oction Rubion [23].....	30
Obr. 2-14 FraveBot a mapování cesty v programu [24]	31
Obr. 2-15 Octinion Lumion [25]	32
Obr. 2-16 Autonomous LaserWeeder [26]	33
Obr. 2-17 H2L Robotics Selector 180 [27].....	33
Obr. 2-18 Thorvald Platform [28]	34
Obr. 2-19 Ecorobotix Avo [29].....	35
Obr. 2-20 Robotics Plus UGV [31]	36
Obr. 2-21 Agrotec Bakus [32]	37
Obr. 2-22 Freebot [33]	37
Obr. 2-23 Naio Oz [34].....	38
Obr. 2-24 Robot Iron Ox [35]	39
Obr. 2-25 Harvest Robotics [36]	40
Obr. 2-26 Koncept Valtra [37].....	40
Obr. 2-27 Octiva Curion [38]	41

Obr. 2-28 Berg Hortimotive [39]	42
Obr. 2-29 Bogaerts Qii-Jet [40]	42
Obr. 2-30 Schéma složení robota	43
Obr. 2-31 Rozměry robota	44
Obr. 2-32 Senzor LIDAR [24]	46
Obr. 2-33 Pohyb robota [24]	47
Obr. 2-34 Rozmístění kamer	48
Obr. 2-35 Kamera pro analýzu plodin [48].....	49
Obr. 2-36 Technologie 3D vision [24].....	49
Obr. 2-37-37 Řídící jednotka [24]	50
Obr. 2-38 Trysky [39]	52
Obr. 2-39 Rozmístění trysek.....	53
Obr. 2-40 Robotická ramena [24].....	57
Obr. 2-41 Boxovací systém [24]	57
Obr. 2-42 Schéma robota Scout a Harvester [62].....	58
Obr. 2-43 Studie postřikovač [65]	59
Obr. 2-44 Ergonomické schéma.....	60
Obr. 2-45 Kola robota Fravebot.....	62
Obr. 3-1 Spotřebitelé	66
Obr. 3-2 Rozšiřování hydroponie ve světě od roku 2022 do roku 2027 [67].....	66
Obr. 4-1 Strom cílů	70
Obr. 4-2 Glassbox	71
Obr. 4-3 Schéma vnitřních komponentů	72
Obr. 4-4 Varianta I.....	74
Obr. 4-5 Platforma varianty I	75
Obr. 4-6 Řešení modulu analýzy a postřiku varianta I	75
Obr. 4-7 Detaily varianty I.....	75
Obr. 4-8 Pohledy varianty I.....	76
Obr. 4-9 Varianta II.....	77
Obr. 4-10 Platforma varianty II	77

Obr. 4-11 Modul analýzy a postřiku varianta II	77
Obr. 4-12 Detaily varianty II	78
Obr. 4-13 Pohledy varianty II	78
Obr. 4-14 Varianta III	79
Obr. 4-15 Platforma varianty III	79
Obr. 4-16 Modul analýzy a postřiku varianty III	80
Obr. 4-17 Detaily varianty III	80
Obr. 4-18 Pohledy varianty III	80
Obr. 4-19 Půdorys varianty III	81
Obr. 5-1 Variace tvarování sloupu	82
Obr. 5-2 Tvarování sloupu analýzy	83
Obr. 5-3 Tvarování postřikovacího modulu	83
Obr. 5-4 Tvarování modulu analýzy	84
Obr. 5-5 Rozměry modulu analýzy a postřiku	85
Obr. 5-6 Průhledové schéma analýzy a postřiku	85
Obr. 6-1 Inspirace	92
Obr. 6-2 Vize vertikálního systému v mrakodrapu	93
Obr. 6-3 Vývoj designu	94
Obr. 6-4 Kompletní řešení	94
Obr. 6-5 Finální řešení	95
Obr. 6-6 Řešení přední masky robota	95
Obr. 6-7 Dynamické tvarování zadní části robota	96
Obr. 6-8 Větrací otvory	96
Obr. 6-9 Tvarové řešení modulu pro analýzu	97
Obr. 6-10 Tvarové řešení modulu pro analýzu – zadní pohled	97
Obr. 6-11 Tvarování modulu v zadní části	98
Obr. 6-12 Detail propojení sloupu	98
Obr. 6-13 Detail stereo kamer	99
Obr. 6-14 Robot při práci ve skleníku	99
Obr. 6-15 Tvarové řešení modulu postřiku plodin	100

Obr. 6-16 Zadní pohled na modul	100
Obr. 6-17 Mikro-trysky	101
Obr. 6-18 Tvarování nádrže	101
Obr. 6-19 Detailní pohled na tvarování nádrže	102
Obr. 6-20 Navýšený objem nádrže	102
Obr. 6-21 Boční pohled na navýšenou nádrž	103
Obr. 6-22 Rozměrové řešení modulu analýzy	104
Obr. 6-23 Rozměrové řešení modulu postřiku	104
Obr. 6-24 Řešení vnitřních komponentů	105
Obr. 6-25 Schéma práce během analýzy	106
Obr. 6-26 Schéma práce během postřiku	106
Obr. 6-27 Řešení světel analýzy	107
Obr. 6-28 Řešení světel modulu postřiku	107
Obr. 6-29 Vzorník barev pro signalizaci	108
Obr. 6-30 Umístění Lidaru v přední části	108
Obr. 6-31 Umístění Lidaru v zadní části	108
Obr. 6-32 Ovládací prvky	109
Obr. 6-33 Detailní pohled na ovládací panel	109
Obr. 6-34 Dokovací stanice	110
Obr. 6-35 Dokovací stanice během přípravy pro upínání modulu	111
Obr. 6-36 Piny pro dobíjení robota ve spodní část	111
Obr. 6-37 Přívod agrochemikálií.....	112
Obr. 6-38 Přívod a odtok agrochemikálií	112
Obr. 6-39 Odvzdušňovací ventil v horní části nádrže	113
Obr. 6-40 Odjímání uzávěru pro odtok agrochemikálií.....	113
Obr. 6-41 Objem nádrže a schéma přívodu a odtoku agrochemikálií.....	114
Obr. 6-42 Umístění elektronického konektoru.....	115
Obr. 6-43 Konektor pro přenos dat a elektrického připojení mezi platformou a modulem	115
Obr. 6-44 Konstrukční schéma upínacího mechanismu	116

Obr. 6-45 Ergonomické řešení – přístup k baterii, řídicí jednotce a odtoku	117
Obr. 6-46 Ergonomické řešení – servis sloupů.....	118
Obr. 6-47 Úhel snímání stereo kamer	119
Obr. 6-48 Schéma rozmístění kamer a snímání obrazu	119
Obr. 6-49 Úhel postřiku mikro-tryskami	120
Obr. 6-50 Rozmístění mikro-trysek	120
Obr. 6-51 Ergonomické řešení – výhled na displej	121
Obr. 6-52 Ergonomické řešení – tlačítko pro zapnutí/vypnutí.....	121
Obr. 6-53 Světelná signalizace zapnutí a vypnutí robota.....	122
Obr. 6-54 Ergonomické řešení – nouzové tlačítko.....	122
Obr. 6-55 Rozměry robota vůči vertikálnímu systému skleníku.....	123
Obr. 6-56 Vzorník materiálů a barev	123
Obr. 6-57 Dělení krytování.....	124
Obr. 6-58 Základní logotyp	125
Obr. 6-59 Řešení rozšířeného logotypu.....	125
Obr. 6-60 Umístění logotypu na robotovi.....	125
Obr. 6-61 Barevná varianta I	126
Obr. 6-62 Barevná varianta II	126
Obr. 6-63 Řešení aplikace pro hlavní informace o práci.....	127
Obr. 6-64 Řešení aplikace pro analýzu	128
Obr. 6-65 Řešení aplikace pro ovládání robota	128

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Využívané systémy robota	61
Tab. 2-2 Hlavní parametry robota	61
Tab. 3-1 Zhodnocení cílů	68
Tab. 4-1 Zhodnocení variant	81
Tab. 5-1 Hmotnost jednotlivých komponent robota	86
Tab. 5-2 Odhad ceny pro platformu	88
Tab. 5-3 Odhad ceny za modul postřiku a analýzy, celkové náklady	88
Tab. 8-1 Výsledek výzkumu dle RIV	132

13 SEZNAM PŘÍLOH

- Sumarizační poster
- Ergonomický poster
- Technický poster
- Designérský poster

Samostatné přílohy:

- Sumarizační poster
- Ergonomický poster
- Technický poster
- Designérský poster
- Fyzický model

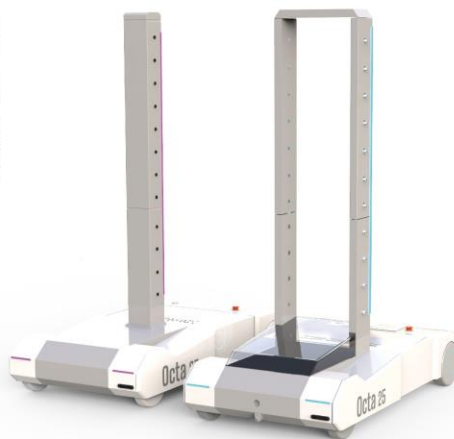
Octa 25

01
Sumarizační poster

Pro vývoj designu byla prvotně představena samotná vize celého konceptu. Robot pro hydroponické vertikální skleníky by mohl být v budoucnu využíván nejen ve vybudovaných sklenících, ale i v opuštěných budovách ve městech. Systém vertikálního hydroponického skleníku nabízí možnosti, jak efektivně pěstovat přímo ve městě, jelikož je to uměle vytvořený systém, který nepotřebuje půdu.

Aktuálně dochází k prudkému nárůstu nedostatku zaměstnanců v zemědělství, a proto musí farmáři hledat řešení, kdo se o plodiny ve skleníku postará. Čím dál více je zmiňováno využití autonomních robotů. Nejvyužívanější roboti jsou analyzační, kteří sledují stav rostlin a predikují objem plodin, následně dle výsledků analýzy je čteně využíván robot pro postřik plodin, který je ošetří a zabrání tak šíření případných škůdců.

Právě tyto dvě funkce bylo neefektivnější spojit do jednoho konceptního robota, který si může jednotlivé moduly (analýza a postřik) autonomně vyměňovat. Celý koncept vychází z myšlenky dvou dokovacích stanic, které slouží k dobíjení robota, dokování agrochemikálií a úschovu nepoužívaných modulů, které jsou zde diagnostikovány a servisovány. Jedná se o autonomní přístup stanic, na kterých si robot autonomně díky elektromagnetickému systému upínání připekne k platformě modul, který je aktuálně potřeba. Farmář, který vyhodnocuje díky aplikaci stav plodin a stav robota, definuje proces práce a využije modul, který aktuálně plodiny potřebují.



Design konceptního řešení robota pro hydroponické vertikální skleníky vychází z futuristické představy farmářů, z uspořádání struktur do kubistických celků, které budou odkazovat na dynamický vývoj celého systému. Pro tvarování byly podstatné tyto inspirace – kubistického tvarování broušených vizí a futuristických konceptů jiných produktů. Pro design byl zvolen jeden spojovací prvek a tím je část oktagonu, která se do designu promítá jak v půdorysu, tak v bokorysu.



Řešení dokovacích stanic a ovládání přes aplikaci

DESIGN AUTONOMNÍHO ROBOTA PRO SKLENÍKY / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Renata Křivková / Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / UK / OPD / 06/2025

T VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

odbor
průmyslového
designu

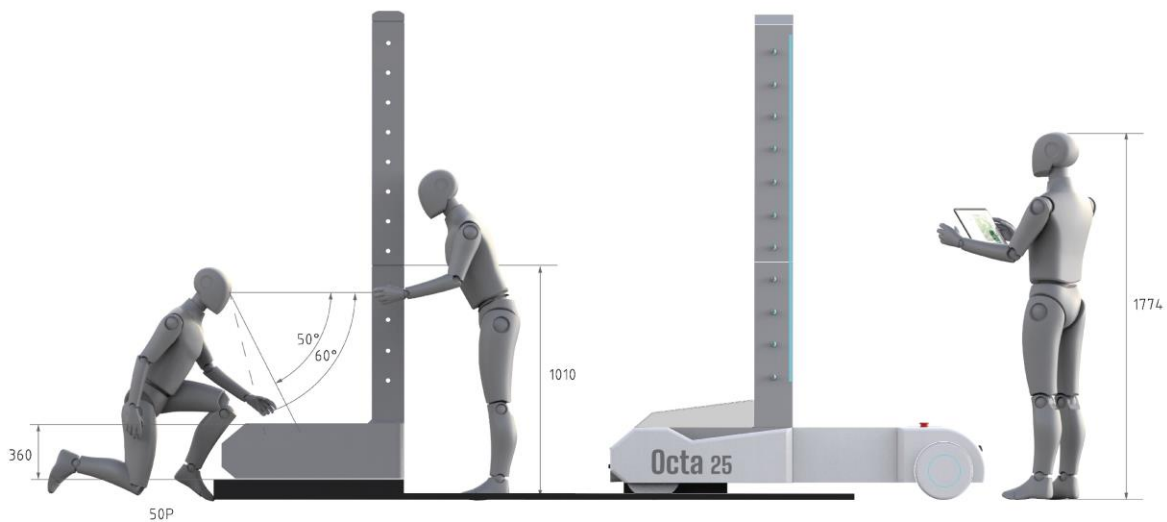
Octa 25

03 Ergonomický poster

Robot je primárně zcela autonomní a do kontaktu s člověkem přichází v případě, kdy uživatel sleduje displej na platformě robota. Robota lze zařadit do kategorie robota: pracovní kontakt, kontakt pomocí ovládačů, nevýrobní činnost, kontakt rukou.

Přístup k baterii a řídicí jednotce je vzhledem k výšce platformy 360 mm řešen pro člověka v kleče. Otevření kapoty v přední části robota probíhá automaticky přes aplikaci, pneumatické otvírání krytu umožnilo vytvořit estetické řešení přední masky a nebylo nutné vytvářet v krytu žádná madla či otvory pro manuální otevření krytu.

Přístup k servisu sloupu je dělen ve výšce 1010 mm, dělení vychází z řešení konstrukce, kdy základní sloup je svařen s celkovou konstrukcí platformy a je na něj šroubové upevněn duralový sloup. Horní část konstrukce je možné odejmout jako oddělené části konstrukce a je tak možné servisovat a čistit jednotlivé části. Samotné čištění trysek probíhá automaticky během výměny typu agrochemikálií.



Ergonomické řešení - výhled na display a schéma objemu nádrže

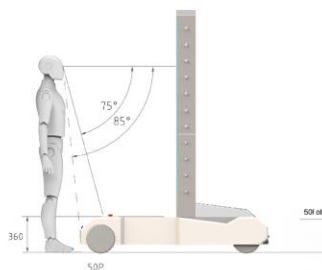
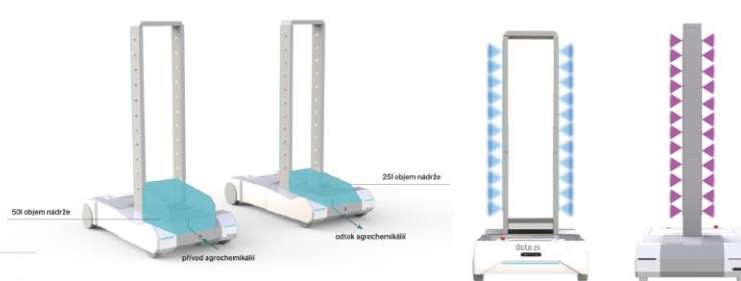


Schéma postřiku mikro-tryskami a analýza kamerami



Ergonomické ovládání - tlačítko on/off a nouzové tlačítko



DESIGN AUTONOMNÍHO ROBOTA PRO SKLENÍKY / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Renata Křivková / Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 06/2025

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ
V BRNĚ

ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

odbor
průmyslového
designu

Octa 25

Schéma vnitřních komponentů vycházelo z existujících řešení a technické analýzy. Samotné řešení bylo upraveno o přidání baterie, která je umístěna i v samotných modulech. V platformě jsou umístěny komponenty pro pohon robota – elektromotory, baterie, řídicí jednotka a senzory Lidar pro bezpečnost. Moduly a jejich vnitřní uspořádání je přizpůsobeno jejich funkci, analyzáční modul má v sobě umístěn procesor pro přenos a zaznamenávání dat získaných během projíždění řádků skleníku. Kromě funkčních částí pro analýzu plodin má navíc zabudovanou baterii. Modul postřiku je vybaven mikro-pumpou propojenou s mikro-tryskami, nádrží o objemu 25 litrů, rozmíchávačem pro usazené agrochemikálie a ventilem.

Navržený mechanismus slouží k rychlému, opakovatelnému a spolehlivému spojení dvou částí pomocí pasivního zámku tvořeného kolkem tlačeny pružinami. Tyto kolky se při spojení zasunou do připravených otvorů protikusu, čímž dojde k mechanickému zajištění spojení bez potřeby aktivního ovládání. Samotné

upnutí však není pouze závislé na kolicích a pružinách, ale také na vodícím mechanismu, který umožňuje přesné nasazení dílů do sebe. Pomocí drážek na okrajích jednotlivých částí se části spojí a vodí je do správné polohy, než dojde k upínacímu mechanismu, který uzamkne spojení.

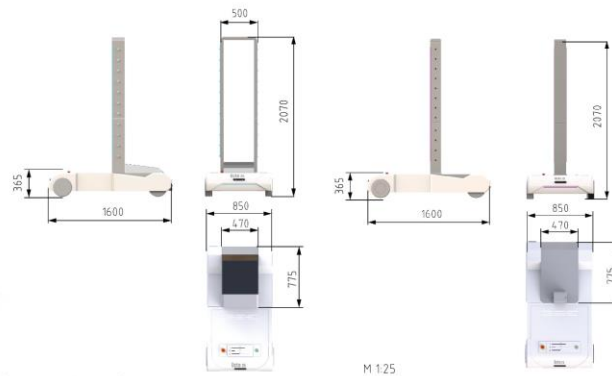
Hlavními prvky jsou upínací kolky, které jsou vedeny v přesných vodících otvorech. Na každém kolku je nasazena pružina, která tlačí kolík směrem ven, tedy do zajištěné polohy. Tyto kolíky tak po zasunutí dvou částí automaticky zapadnou na své místo a vytvoří pevný spoj.

Pro odjištění mechanismu je využit elektromagnet, jehož jádrem je pohyblivá kotva. Ta je mechanicky spojena s kolíky a působí na mechanismus, který kolíky stáhne zpět proti síle pružin. Po přivedení elektrického proudu do cívky elektromagnetu dojde k přitažení kotvy, čímž se uvolní spoj.

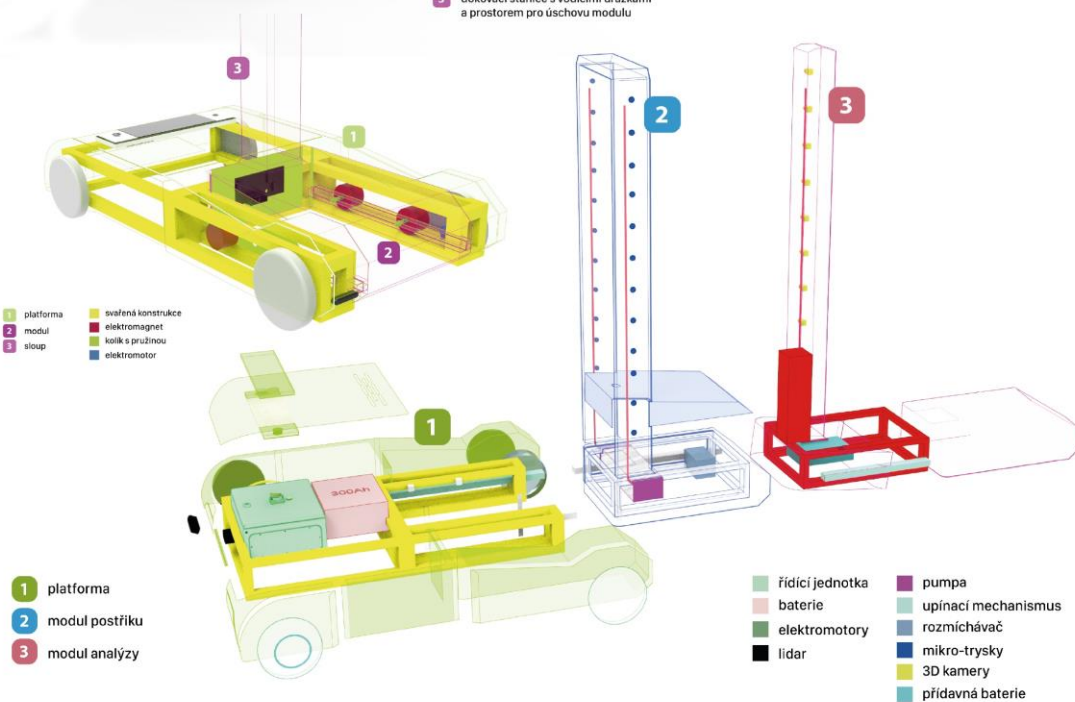
Schéma systému ve skleníku

Rozměrové řešení

Rozměry robota vychází z existujících řešení vertikálního hydroponického systému, kdy je šířka robota přizpůsobena řádkům skleníku a výška sloupu vychází z konkrétnímu řešení vertikálního systému.



- 1 platforma s modulem postřiku
- 2 modul analýzy
- 3 dokovací stanice s vodícími drážkami a prostorem pro úschovu modulu



DESIGN AUTONOMNÍHO ROBOTA PRO SKLENÍKY / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Renata Křivková / Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 06/2025



Autonomní robot pro skleníky

2025

Renata Křivková

vedoucí: akad. soch. Josef Sládek, ArtD.

Pro vývoj designů byla prvotně představena samotná vize celého konceptu. Aktuálně dochází k prudkému nárůstu nedostatku zaměstnanců v zemědělství, a proto jsou využíváni autonomní roboti pro různé funkce. Pro koncepční návrh byl zvolen systém platformy a dvou výměnných modulů - analýza plodin a postřik plodin. Analyzační modul sleduje stav rostlin a predikuje objem plodin, následně je dle výsledků analýzy využit robot pro postřik plodin, který je ošetří a zabrání tak šíření případných škůdců.

Jednotlivé moduly je možné autonomně vyměňovat. Celý koncept vychází z myšlenky dvou dokovacích stanic, které slouží k dobíjení robota, dokování agrochemikálií a úschovu nepoužívaných modulů, které jsou zde diagnostikovány a servisovány. Jedná se o autonomní přístup stanic, na kterých si robot autonomně vymění modul, který aktuálně potřebuje přes systém elektromagnetického upínání. Farmář, který díky aplikaci vyhodnocuje stav plodin, definuje proces práce a využije modul, který aktuálně plodiny potřebují.

