



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ROBOTICKÉ BUŇKY PRO RŮSTOVOU KOMORU V KONTEJNERU

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR A GROWTH CHAMBER IN A CONTAINER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Dobrovolná

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky |
| Studentka: | Bc. Lucie Dobrovolná |
| Studijní program: | Výrobní stroje, systémy a roboty |
| Studijní obor: | bez specializace |
| Vedoucí práce: | Ing. Petr Kočiš |
| Akademický rok: | 2022/23 |

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:

Návrh robotické buňky pro růstovou komoru v kontejneru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta(tky) je vyřešit problém s manipulací rostlin uvnitř růstové komory v kontejneru. Student(ka) musí vyřešit problémy jako například nepříznivé klima uvnitř komory, obecně malý prostor pro manipulaci, upevnění soustavy ke konstrukci kontejneru nebo samotnou manipulační úlohu.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Nejméně 3 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty pomocí multikriteriální analýzy.

Konstrukční návrh vybrané varianty.

Potřebné strojírenské výpočty.

Výkresová dokumentace.

Analýza rizik.

Ekonomické zhodnocení.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. : il. ISBN 978-80-260-6780-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem robotizovaného systému pro růstovou komoru instalovanou v lodním kontejneru. Práce je rozdělena do několika částí, nejprve se zabývá rešerší, následně systémovým rozbohem, ze kterého jsou získány důležité veličiny pro druhou část diplomové práce. V druhé části jsou rozebrány koncepční varianty a následně zvolena nejvhodnější pomocí multikriteriální analýzy. Třetí část se zabývá konstrukcí a jejími výpočty, následuje analýza rizik, ekonomické zhodnocení a diskuse.

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a robotic system for a growth chamber installed in a shipping container. The thesis is divided into several parts, first dealing with the research, followed by the system analysis, from which the important variables for the second part of the thesis are obtained. In the second part, the conceptual options are discussed and then the most suitable one is selected by means of a multicriteria analysis. The third part deals with the design and its calculations, followed by risk analysis, economic evaluation, and discussion.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotický systém, lodní kontejner, kultivace rostlin, kontrolované prostředí

KEYWORDS

Robotic system, shipping container, plant cultivation, controlled environment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOBROVOLNÁ, Lucie. *Návrh robotické buňky pro růstovou komoru v kontejneru* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145623>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Kočiš.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomohli s tvorbou diplomové práce, jedná se především o mého vedoucího Ing. Petra Kočiše, který mi s obrovskou ochotou věnoval svůj čas a cenné rady. Zároveň bych chtěla poděkovat mé rodině, přátelům a partnerovi za jejich podporu během celého studia. Ing. Jakobovi Hurníkovi, Ph.D. za rady při výpočtech.

Dále bych chtěla poděkovat kolegům z firmy PSI (Photon Systems Instruments), spol. s r.o., kteří se podíleli na tvorbě celého zařízení, jmenovitě – CEO Ing. Martinovi Trtílkovi za poskytnutí tématu a prostředí při zpracování konstrukční části. RNDr. Zuzaně Benedikty Ph.D. za její rady ohledně způsobu a podmínek pěstování v kontejneru a za veškerou dokumentaci, kterou mi poskytla. Ing. Pavlovi Novákovi za vývoj klimatické komory uvnitř kontejneru. Za zpracování softwarové části a hydroponie Ing. Josefovi Šmídovi a dalším, kteří se podíleli na celém vývoji. Jejich ochota sdílet informace přispěla k lepšímu porozumění tématu. Jejich odborné rady představovaly neocenitelný příspěvek k úspěšnému dokončení této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Kočiše a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5.2023

.....

Bc. Lucie Dobrovolná

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 13 |
| 2 | PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ | 15 |
| 2.1 | Mikropropagace | 15 |
| 2.2 | Hydroponie | 15 |
| 2.3 | Řešení na trhu | 15 |
| 2.3.1 | Drop & grow | 15 |
| 2.3.2 | Automatizovaná konopná farma..... | 17 |
| 2.3.3 | Iron Ox..... | 18 |
| 3 | SYSTÉMOVÝ ROZBOR | 19 |
| 3.1 | Problémová situace | 19 |
| 3.2 | Formulace problému | 19 |
| 3.2.1 | Popis experimentu | 20 |
| 3.2.2 | Členění kontejneru..... | 21 |
| 3.2.3 | FluorCam | 22 |
| 3.3 | Formulace cílů a řešení | 23 |
| 3.4 | Diagram postupu práce | 24 |
| 3.5 | Nalezení důležitých veličin..... | 25 |
| 3.5.1 | Vlhkost..... | 25 |
| 3.5.2 | Limitace rozměrů..... | 25 |
| 3.5.3 | Nosnost | 27 |
| 3.5.4 | Přesnost polohování..... | 27 |
| 3.5.5 | Počet os..... | 27 |
| 3.5.6 | Diagram důležitých veličin..... | 28 |
| 4 | KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ | 29 |
| 4.1 | Koncepční řešení přesunu trayů..... | 29 |
| 4.1.1 | Varianta A..... | 29 |
| 4.1.2 | Varianta B..... | 31 |
| 4.1.3 | Varianta C..... | 32 |
| 5 | MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA VARIANT | 34 |
| 6 | KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ | 38 |
| 6.1 | Výpočet..... | 38 |
| 6.2 | Robot..... | 43 |
| 6.2.1 | Gripper..... | 44 |
| 6.3 | Vývojový diagram robota | 47 |
| 6.4 | Lineární pojezd robota | 48 |
| 6.4.1 | Pojezd pod robota | 50 |
| 6.5 | Hydroponické regály..... | 51 |
| 6.6 | Plnicí okno | 54 |
| 6.7 | Konstrukce pro FluorCam | 55 |
| 6.8 | Konstrukce přípravny | 55 |
| 7 | ANALÝZA RIZIK | 57 |
| 7.1 | Určení mezních hodnot zařízení | 57 |
| 7.1.1 | Vymezení používání stroje | 57 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.1.2 | Vymezení času a prostoru | 57 |
| 7.2 | Identifikace nebezpečí spojených se zařízením..... | 58 |
| 7.3 | Odhad a zhodnocení rizika | 58 |
| 7.3.1 | Blokový diagram | 59 |
| 7.3.2 | Identifikace relevantních rizik..... | 60 |
| 7.3.3 | Identifikovatelná rizika | 61 |
| 7.3.4 | Analýza významných nebezpečí | 64 |
| 7.3.5 | Zhodnocení rizika a bezpečnostní opatření | 66 |
| 8 | VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE..... | 78 |
| 9 | EKONOMICNÉ ZHODNOCENÍ | 79 |
| 10 | ZHODNOCENÍ A DISKUSE | 80 |
| 11 | ZÁVĚR..... | 83 |
| 12 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 85 |
| 13 | SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK..... | 89 |
| 13.1 | Seznam zkratk..... | 89 |
| 13.2 | Seznam obrázků..... | 90 |
| 13.3 | Seznam tabulek..... | 91 |
| 14 | SEZNAM PŘÍLOH..... | 93 |

1 ÚVOD

V důsledku klimatické změny a růstu populace dochází k rozvoji moderních technologií pěstování rostlin. Mezi které patří produkce rostlin v uzavřených systémech v kontrolovaných podmínkách. Pěstování v kontejnerech zajišťuje produkci rostlin v kontrolovaných podmínkách. Dochází k eliminaci problémů, které provází tradiční pěstování na poli, jako je například choroby, škůdci a sucho.

Od vývoje těchto zařízení pro pěstování v kontejneru se očekává zvyšování produktivity, protože mohou být rostliny naskládány blíže k sobě, než je to na půdě. Systém zajistí každé rostlině dostatek živin, vodu i světlo. [1]

Tato diplomová práce je vytvořena ve spolupráci s firmou Photon Systems Instruments spol. s r.o. (dále jen PSI) a spočívá konstrukčním návrhu systému nazvaného TECH-IN-PLAR, určeného pro masovou produkci rostlin v kontrolovaných podmínkách metodou mikropropagace.

Jedná se o automatizovaný robotický systém uvnitř komory umožňující homogenně řídit mikroklimatické parametry a manipulaci s rostlinami. Součástí je monitorovací zařízení určené pro výzkum v oblasti rostlin. Cílem je dosáhnout plně automatizovaného provozu ve sterilních podmínkách.

Důležitým bodem úspěchu pro firmu PSI je docílit úspěšného zakořeňování ex vitro. Tato metoda není v současné době využívána v obchodním měřítku, kvůli nedostatku technologií a specializovaného hardwaru pro tento účel. [2]

Metoda mikropropagace je náročná na pracovní sílu i vybavení. Může být ekonomicky náročná v případě využití pro rostliny, které je možné množit ze semen, nebo řízkováním. Řešení může být automatizace procesů, to sníží nároky na lidskou práci. Jedním z cílů této práce je docílit sterilního prostředí, tento krok náročný, ale ne nemožný, proto je jedním z bodů této práce. [3]

Výsledkem této práce by měl být funkční prototyp, ve kterém budou splněny všechny předem stanovené podmínky. Prototyp by měl být umístěn v lodním kontejneru, který bude možné přepravovat od výrobce ke koncovému zákazníkovi. Kontejner nebude mít žádné speciální podmínky na prostor ani zázemí, může být umístěn na například na parkovišti. Nutný je pouze přívod vody a elektřiny.

Při vegetativním množení rostlin ve vodě se vyvinou kořeny, není nutné, aby měly rostliny půdu, mohou být pěstované v nosné matrici a živném roztoku na vodní bázi – hydroponicky. Proto je teoreticky možné, aby mohly rostliny přímo zakořenit ex – vitro v hydroponii. Problém je přechod rostlin do venkovního prostředí, vzhledem k jejich náchylnosti na okolní podmínky, proto se jim musí postupně měnit prostředí a adaptovat je. Vyvíjené zařízení by mělo být schopno řídit pěstební podmínky. Vzhledem k tomu je možno spojit kroky zakořeňování a adaptace na okolní podmínky do jednoho, což je hlavní cíl technologie Tech-In-Plar rooting. Během procesu je možné průběžně sledovat růst a zdravotní stav rostlin. [3]

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V následující kapitole bude popsán proces mikropropagace, hydroponie a následně rozebrána různá řešení na trhu.

2.1 Mikropropagace

Mikropropagace je klonové množení rostlin v laboratorních podmínkách, tedy in vitro. S využitím speciálních živných půd. Tento proces se dělí do několika fází, které budou dále popsány v následujících podkapitole 3.2.1. [4] Tento proces je využíván například v genetickém inženýrství pro produkci rostlin nebo jejich kultivarů, které nejsou schopny tvořit semena, klíčí dlouho, případně je náročné je množit například řízkováním. Tyto rostliny si zachovávají svoji genetickou informaci, což se využívá například při namnožení nové vyšlechtěné odrůdy, genetickém inženýrství nebo při získávání kultur nemocí. [3]

Výběr mateční rostliny je důležitý, pro produkci klonů, tedy řízků. [5]. Při výběru rostliny je nutné dbát na její kondici, jak je schopna růst a její fyziologický stav a vlastnost. Důležitým bodem pro odebrání vzorku je roční období, ale i konkrétní část rostliny. Bývá odebráno pletivo, případně explantát.

2.2 Hydroponie

Hydroponie je metoda pěstování rostlin bez půdy, za využití živného roztoku. Rostlina je připevněna v květináči pomocí pěstebního media, tím může být například kokosové vlákno, keramzit, nebo perlit. V této práci je využíván rockwool – což je čedičová vata s vápníkem. Zemina obsahuje mnoho organických a anorganických látek, které rostlina využívá k růstu, proto je nutné doplnit živiny pomocí živného roztoku a tím je nahradit. Hydroponie se neobejde bez vhodné ventilace a osvětlení. [6] Využívá o 90 % méně vody než tradiční zemědělství s minimálním prostorem. [7]

Růst rostlin je zajištěn díky biochemickému procesu zvaného fotosyntéza. Chlorofyl obsažený v zelených částech rostliny zachycuje sluneční světlo, jehož energii využívají ke štěpení molekul vody. Molekuly vodíku se spojují s oxidem uhličitým za vzniku sacharidů, které rostliny využívají k výživě. [7]

Hydroponické pěstování se dělí do dvou skupin. První je skupina pasivní, kde nejsou potřeba čerpadla. Využívá se gravitace, ale je nutné roztok kontrolovat, měnit, aby bylo zaručeno přesné dávkování živin. [6]

Aktivní systém je vybaven cirkulačním čerpadlem, které zajišťuje nucený oběh vody v uzavřeném systému. [6]

2.3 Řešení na trhu

Existují komerčně dostupné systémy pro pěstování rostlin, které budou dále podrobně popsány.

2.3.1 Drop & grow

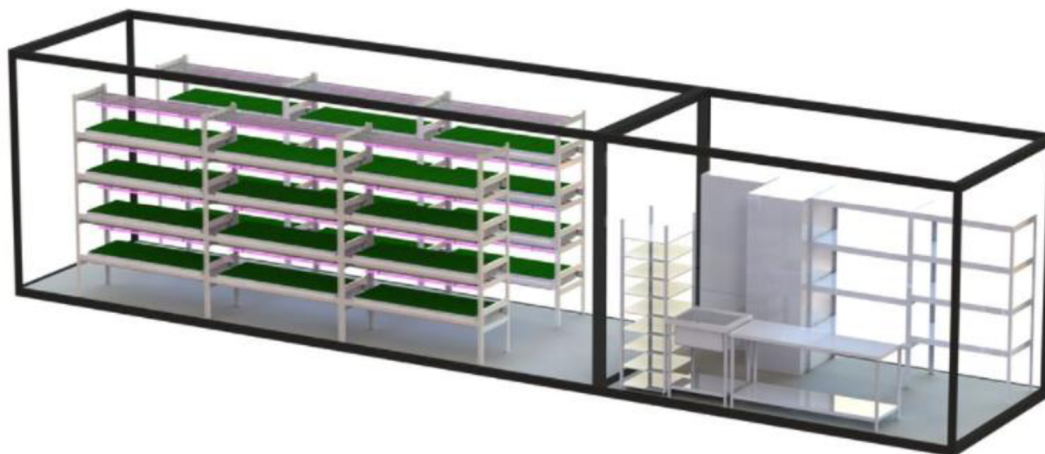
Jedná se o kontejnerové farmy, které jsou založené na systému LettUs Grow. Jedná se o vertikální farmářský systém, využívající aeroponickou technologii. Systém je řízen pomocí software Osrata, který umožňuje ovládat systém na dálku. Umožňuje vzdálené sledování a shromažďování klíčových poznatků [8].

Aeroponie je metoda pěstování rostlin bez půdy, používá se mlha bohatá na živiny místo vody, díky tomu je aeroponie úsporná na vodu. Poskytuje kořenům lepší přístup ke kyslíku a přesné množství živin. Rostliny jsou zavěšeny ve vzduchu, kde jsou vystaveny mlze s živinami. Velkou výhodou je, že rostliny není možné utopit, rostou rychleji, tím pádem mají více cyklů za rok. Díky způsobu růstu kořenů jsou snadno viditelné pro pozorování, ukázka zakořeněných rostlin je zobrazena na obrázku Obr. 1 [8].



Obr. 1 Ukázka zakořeněných rostlin [8]

Firma nabízí 2 varianty kontejneru, první je o rozměrech 24 m² pěstební plochy a k tomu přípravnu. Je vhodný pro začátečníky a pro pilotní nebo výzkumné projekty. Uspořádání této varianty Drop & grow je znázorněno na obrázku Obr. 2. Pěstební plocha druhé varianty je 48 m² vertikální pěstební plochy. Neobsahuje přípravnu plochu, proto je vhodný pouze v případě, že příprava obsažena jinde. [8]



Obr. 2 Rozložení kontejneru [8]

K systému jsou dodávány optimalizované recepty k růstu přibližně pro 30 druhů rostlin. Firma si slibuje velký dopad s využitím minima zdrojů. Pěstování bez použití půdy, pesticidů a s využitím o 95 % méně vody, než je využito ve venkovním zemědělství. [8]

K zamezení plísní a infekcí pomáhá poloha kořenů. Je to kvůli tomu, že semena zůstávají suchá s aeroponickým systémem. UV sterilizace a filtrace se používá během zachytávání a opětovném použití vody v systému. [8]

Cena kontejneru s pěstební plochou 24 m² je 2 569 536 Kč a u větší varianty je cena 3 264 822 Kč. Cena zahrnuje dopravu po UK, je přepočtena na české koruny dle aktuálního kurzu 1GBP = 30,23 Kč. [8]

Farma je uzpůsobená pro pěstování zeleniny, baby listových špenátů, ovocné plodiny a další. Kontejner je možné umístit kdekoliv, například na parkoviště. Důležitá je jen rovná zem, elektrina, přívod vody a wifi. Nepotřebuje stavební povolení, protože se jedná o dočasnou stavbu. [8]



Obr. 3 Regály v kontejneru [8]

2.3.2 Automatizovaná konopná farma

Firma Seedo buduje plně automatizovanou konopnou farmu, která dokáže zajistit konzistentní pupeny (farmaceutické kvality) po celý rok.

V tomto projektu je využíváno robotické paže, která je umístěna uvnitř kontejneru. Umožňuje přesun květináčů s rostlinami. K dohledu na provoz farmy je využit kamerový systém. Software zajišťuje optimální podmínky pěstování. Každý kontejner by měl být schopen produkovat až 150 kg sušených pupenů za rok. Tento projekt je zatím ve fázi konceptu. [9] Díky datům, která jsou získávána z kamer a senzorů je možné měnit pěstební podmínky v reálném čase bez lidského zásahu. K tomu systém využívá algoritmů strojového vidění. Je schopný optimalizovat parametry během růstového cyklu, jedná se o teplotu, vlhkost, vodu, osvětlení a živiny. V pravidelných časových intervalech jsou rostliny skenovány a získaná data jsou dále analyzována. [10] Farma v kontejneru bude fungovat bez pesticidů, je možné ji využít i na jiné rostlinným je zobrazena na Obr. 4. [10]



Obr. 4 Konopná farma [10]

2.3.3 Iron Ox

Iron Ox je firma, která se zabývá využitím robotiky ve sklenících, aby bylo zajištěno, že každá rostlina dostane správnou úroveň světla, vody i živin. Díky ní lze minimalizovat čas, který rostlina potřebuje k růstu, tedy propagaci. Tato vlastnost zvyšuje celkovou efektivitu a výnosy. [11] V Kalifornii je pomocí těchto robotů vytvořena jedna z prvních autonomně provozovaných farem na světě. Jedná se o čistý provoz bez využití pesticidů. Lidé pracují v oddělených prostorech, věnují se sázení a manipulují s rostlinami po sklizni. [13]

Firma nabízí různé typy robotů, které se pohybují v samotném skleníku. První je Grover, který přesouvá moduly pro pěstování dle jejich potřeb Obr. 5 - a). Dalším robotem je MAX – čerpací stanice, která přesouvá a monitoruje vodu, směs živin a pH každého modulu Obr. 5 - b). [11]



Obr. 5 Grover a) a Max b) [11]

Dalším zařízením je Angus, ten přenáší palety s moduly k robotickému rameni, kde jsou přeskupovány. Je vytvořen pro těžké zvedání a autonomní přesun po skleníku. [12]



Obr. 6 Angus [12]

Robotické rameno má 3D kameru, která je schopna naskenovat modely rostlin a pomocí algoritmu strojového učení kontrolovat kvalitu [13]. Rameno (Obr. 7) slouží k nabírání a přesazování sazenic do postupně prostornějších van. Samotnou sklizeň, setí a balení už vykonávají lidé. [12]



Obr. 7 Robotické rameno [12]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

V následující kapitole bude formulována problémová situace, popsán experiment a budou jasně stanoveny podstatné veličiny.

3.1 Problémová situace

Problémová situace při běžném pěstování se zásahem člověka může být kontaminace rostlin bakteriemi, plísněmi atp. V případě využití manipulátoru se dá ve velké míře kontaminaci rostlin zabránit. Na trhu schází řešení automatizovaných pěstíren, které jsou schopné pracovat s vysokou vlhkostí a vyšším tlakem, než je tlak atmosférický.

3.2 Formulace problému

V této diplomové práci by měla být vytvořena unikátní klimatická komora s manipulátorem. V komoře se budou pěstovat rostliny, pomocí množení in vitro a ex vitro. Komerčně dostupné systémy nenabízí růstový kontejner, který by byl obsluhován robotem a zároveň splňoval veškeré stanovené podmínky. Robotický systém umožňuje nepřetržitý provoz a sníží náklady na provoz. Přístup do kultivační části je zajištěn dveřmi, které musí být neustále přístupné v případě servisního zásahu.

Pro vhodnou analýzu problému byla vytvořena tabulka na obrázku Obr. 8, ve které jsou základní specifikace systému, které je vhodné splnit, není to však podmínkou.

| | |
|-------------------------------|--|
| Rozměry | |
| Vnější rozměry | 2,40 m (š) x 12,20 m (d) x 2,90 m (v) |
| Vnitřní rozměry | 2,20 m (š) x 10,40 m (d) x 2,00 m (v) |
| Celkový vnitřní objem | 45,76 m ³ |
| Výška polic | 0,25 m vzdálenost vzorku od světla |
| Počet polic | 8; 2 hydroponické regály, 4 police/regál |
| Kultivační kazety | 0,300 m (š) x 0,365 m (d); variabilní počet vzorků/kazetu (min 20) |
| Max Počet kazet | 80; min 1600 vzorků rostlinného materiálu/systém |
| Teplota | |
| Operační rozsah | od +15°C do +40°C |
| Stabilita | ±0,5°C |
| Prostorová homogenita | Nehomogenita max. 2°C |
| Koeficient teplotní vodivosti | 0.025 W/mK |
| Regulace | Možnost tvorby programů |
| Relativní vlhkost | |
| Operační rozsah | od 50% do 90% |
| Prostorová homogenita | Max. 5% |
| Regulace | Možnost tvorby programů |
| Iluminace | |
| Maximální intenzita | 400 μmol/m ² /s |
| Minimální intenzita | 15 μmol/m ² /s |
| Regulace | V rozsahu 0% - 100% nastavitelná intenzita, časování, modulace a diurnální cykly (rozbřesk, soumrak, oblaky). Růstová plocha nebo jednotlivé police mohou mít nezávislou a samostatní regulaci osvětlení. Možnost tvorby programů. |

Obr. 8 Vstupní hodnoty zařízení [15]

V případě nevhodné volby manipulátoru a chyby v programování může vzniknout kolize, která by mohla způsobit opět kontaminaci při opravě.

Lodní kontejner s vnitřním zařízením nabízí pouze omezený vnitřní prostor, do kterého je nutné vložit co největší množství táců s rostlinami (trayů) v regálech s hydroponií, manipulační prostor pro manipulátor s trayema, konstrukci pro FlourCam (popis zařízení v kapitole 3.2.3) a obslužnou polici.

Je nutné brát v úvahu samotnou kultivaci rostliny. Jedná se o proces, který je nutné zohlednit při návrhu kultivační komory. Kultivace rostliny a z ní vyplývající podstatné veličiny budou popsány v následující podkapitole.

3.2.1 Popis experimentu

Vzorek je převeden do sterilních podmínek – povrchovou sterilizací, nebo klíčením sterilizovaných semen *in vitro*. Následně je vzorek přemístěn na médium, které obsahuje sacharózu jako zdroj energie a je ztužený agarem, případně jiným želírovacím prostředkem. Médium musí obsahovat růstové regulátory – fytohormony. [3]

Další fází je multiplikace, kde v závislosti na typu média a fytohormonech roste pletivo. V mezikroku se může vytvářet kalus, to je vrstva ochranného pletiva, které chrání ránu vzniklou poškozením. Po vývinu výhonků jsou odděleny a umístěny na jiné médium, kde se vytvoří kořeny. Rostlinka, která vznikne tímto způsobem, vyžaduje sterilní prostředí, což znamená slabé osvětlení, vysokou vlhkost, absence patogenů. Nemá vyvinutou kutikulu (voskovitý povrch, který odpuzuje vodu), ani funkční průduchy, proto by při přenesení do venkovního prostředí může zahynout. Tomu předchází postupnou změnou těchto podmínek – snižuje se vlhkost, teplota, zvyšuje osvětlení. Po tomto procesu se může přemístit do skleníku, nebo na pole. [3]

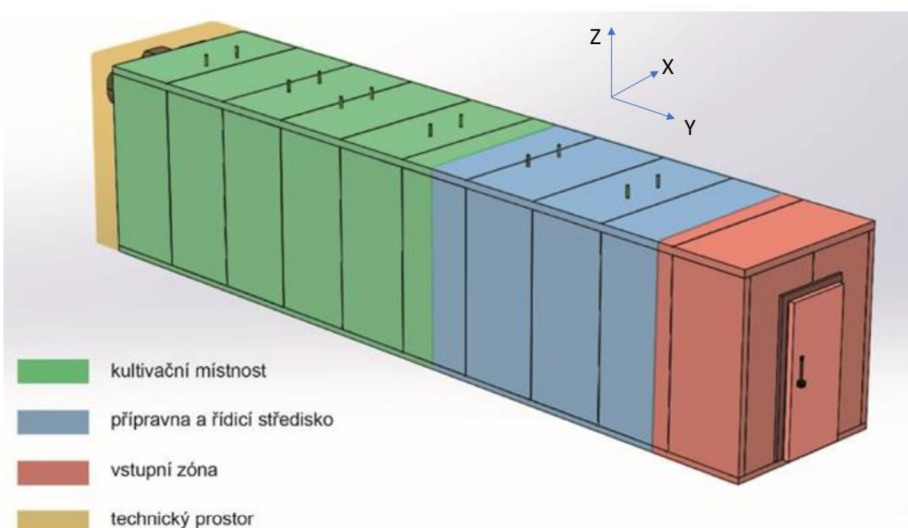
Výhonky rostlin jsou přesazeny ze sterilní nádoby s agarovým médiem do hydroponické matrice z minerální vaty. Pomocí řízení podmínek v zařízení by se rostliny postupně měly adaptovat na běžné prostředí. Postupně se mění relativní vlhkost z 90 % na 60 %, zvyšuje se intenzita osvětlení. Výsledkem by měla být hydroponická kultura zdravých a silných rostlin. Růstové fáze jsou monitorovány pomocí FluorCamu (popis zařízení v kapitole 3.2.3) s RGB kamerou. Měření růstu by mělo být zajištěné pomocí automatického podavače, který přesune táč do konstrukce s měřicím zařízením. Monitorování fyziologických parametrů je zajištěno softwarem Plant Screen od společnosti PSI. [3] Bližší popis experimentu není možný z důvodu utajení firemního procesu.



Obr. 9 Kalus [14]

3.2.2 Členění kontejneru

Kontejner by měl být rozčleněn na 4 segmenty, které budou sloužit k produkci rostlin. Tyto segmenty budou popsány v následujících podkapitolách. Rozložení kontejneru je zobrazeno na Obr. 10. Jeho následná analýza pomocí myšlenkové mapy je na Obr. 11. [15]



Obr. 10 Rozložení prostoru v kontejneru [15]

Kultivační místnost

Kultivační místnost je zeleně zvýrazněný prostor na Obr. 10. Místnost by měla být sterilizovatelná. Jedná se o základ celého projektu. V této místnosti by měla být obsažena automatizovaná linka s hydroponickými regály a osvětlením. Dále by měla obsahovat stanici, na které je možné průběžně monitorovat vzorky rostlinného materiálu, za použití obrazu z RGB kamery a sledování fyziologických parametrů fotosyntézy pomocí měření chlorofylové fluorescence. Prostor by měl být oddělen od přípravné zóny prosklenou přepážkou, umožňující obsluhu, případný vstup, ale i sledování procesů uvnitř komory bez narušení sterility. Tato místnost je předmětem zadání diplomové práce. [15]

Příprava a řídicí středisko

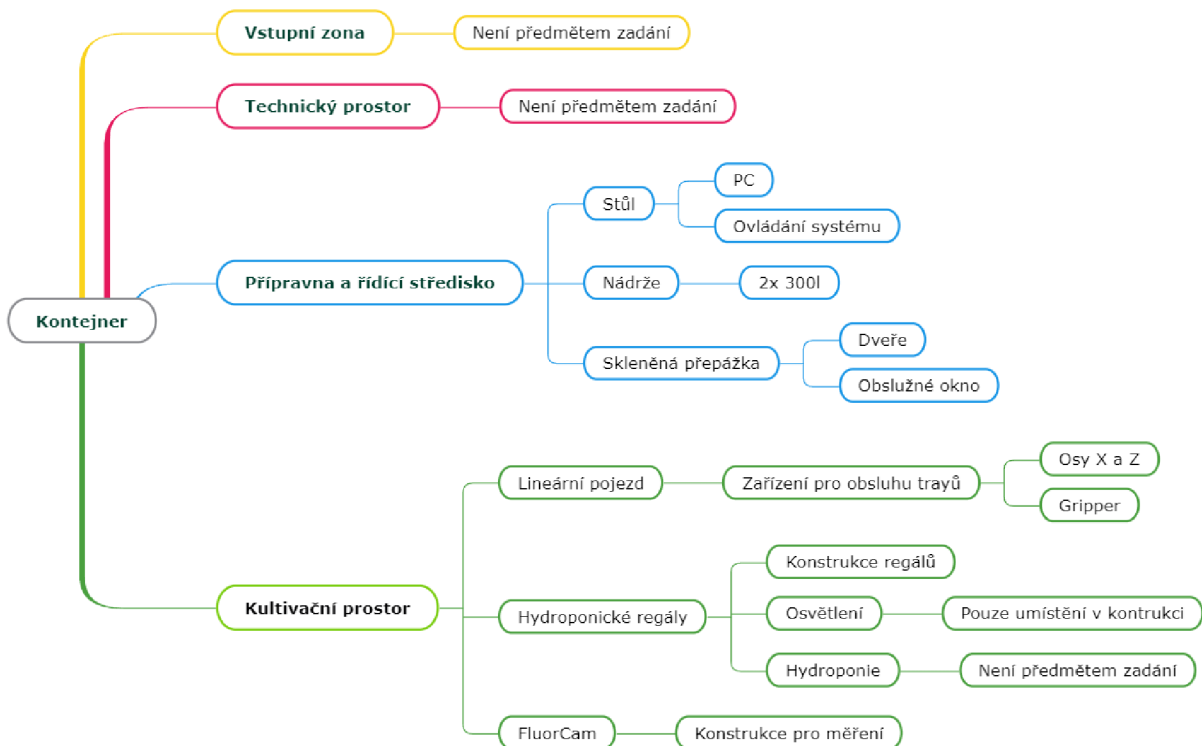
Jedná se o prostor, který je zvýrazněný modře na Obr. 10. Součástí řídicího prostoru je PC, nádrže na vodu, ve kterých bude i případné médium, předpokládaný objem je 2x 300 l. Dalším laboratorním zázemím by měl být dřez, odkapávač, přípravný stůl, prostor na vybavení a vzorky. Z řídicího prostoru lze pozorovat chod systému skrze skleněnou přepážku, případně přes kameru umístěnou v kultivační místnosti a na automatizované lince. Zmiňované okno v přepážce slouží pro obsluhu. Pomocí něj bude operátor vkládat vzorky rostlinného materiálu do kultivační místnosti. Pro tuto místnost budou vytvořeny pouze dílčí konstrukce pro obsluhu [15].

Vstupní zóna

Je zóna je červená oblast na Obr. 10 hned za vchodovými dveřmi, měla by obsahovat elektrické rozvaděče. [15]

Technický prostor

To je prostor umístěný až za kultivační místností, je přístupný z venku. Na Obr. 10 je to žlutá oblast. Je to technická místnost celého komplexu, měla by obsahovat tepelný výměník, centrální systém vzduchotechniky, přípojku na vodu a elektrickou energii. [15]



Obr. 11 Myšlenková mapa návrhu kontejneru

3.2.3 FluorCam

FluorCam (Obr. 12) je jedno v nejdůležitějších zařízeních v konstrukci, které zobrazuje kinetiku fluorescence chlorofylu. Je schopný měřit parametry vypovídající o fotosyntetické kapacitě rostlin, fyziologický a metabolický stav rostlin, včetně jejich náchylnosti různým stresovým podmínkám.

Dle podmínek ve specifikaci je FluorCam schopný fungovat v rozsahu teplot od 5 do 40 °C, jeho hmotnost je 63 kg a jeho provozní vlhkost je v rozsahu od 0 do 90 %. [16] Přetlak, který bude v kultivační místnosti, není ve specifikaci FluorCam deklarován, proto byly zjišťovány informace od pracovníků PSI. Menší přetlak do 10 % by neměl zařízení poškodit, ani ovlivnit jeho funkci. Tray s rostlinou by měl být ve vzdálenosti 400 mm od zařízení.



Obr. 12 FluorCam [15]

3.3 Formulace cílů a řešení

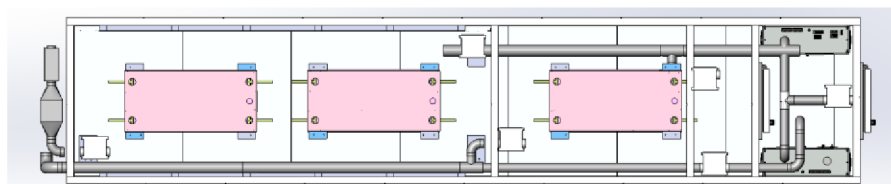
Cíle, které by měly být vyřešeny během tvorby této práce jsou:

- Rozbor současného stavu u řešené problematiky.
- Systémový rozbor dané problematiky.
- Návrh koncepčních variant manipulace s trayem.
- Multikriteriální zhodnocení variant.
- Návrh dílčích konstrukcí uvnitř kontejneru s ohledem na nepříznivé klima, malý prostor pro manipulaci, upevnění konstrukce.
- Technické výpočty.
- Analýza rizik.
- Zpracování výkresové dokumentace.
- Ekonomické zhodnocení.

Nejprve je důležité pomocí rozměru kontejneru a zadaných prvků stanovit základní rozmístění a dané maximální rozměry pro navrhované konstrukce. Nejdůležitější je navrhnout vhodný manipulátor pro manipulaci s trayem v komoře.

Dále je důležité stanovit části konstrukce, které nejsou předmětem zadání, ale je nutné s nimi po celou dobu návrhu pracovat. Jedním z produktů firmy PSI je upravovaný kontejner, který je schopný dosáhnout stanovené vlhkosti, teploty apod. Dalšími produkty, které nejsou předmětem zadání jsou zařízení, jako je rozvaděč, ovládací program, PC rack, světla. Sestava kontejneru, která je připravena pro konstrukci této diplomové práce je na Obr. 13.

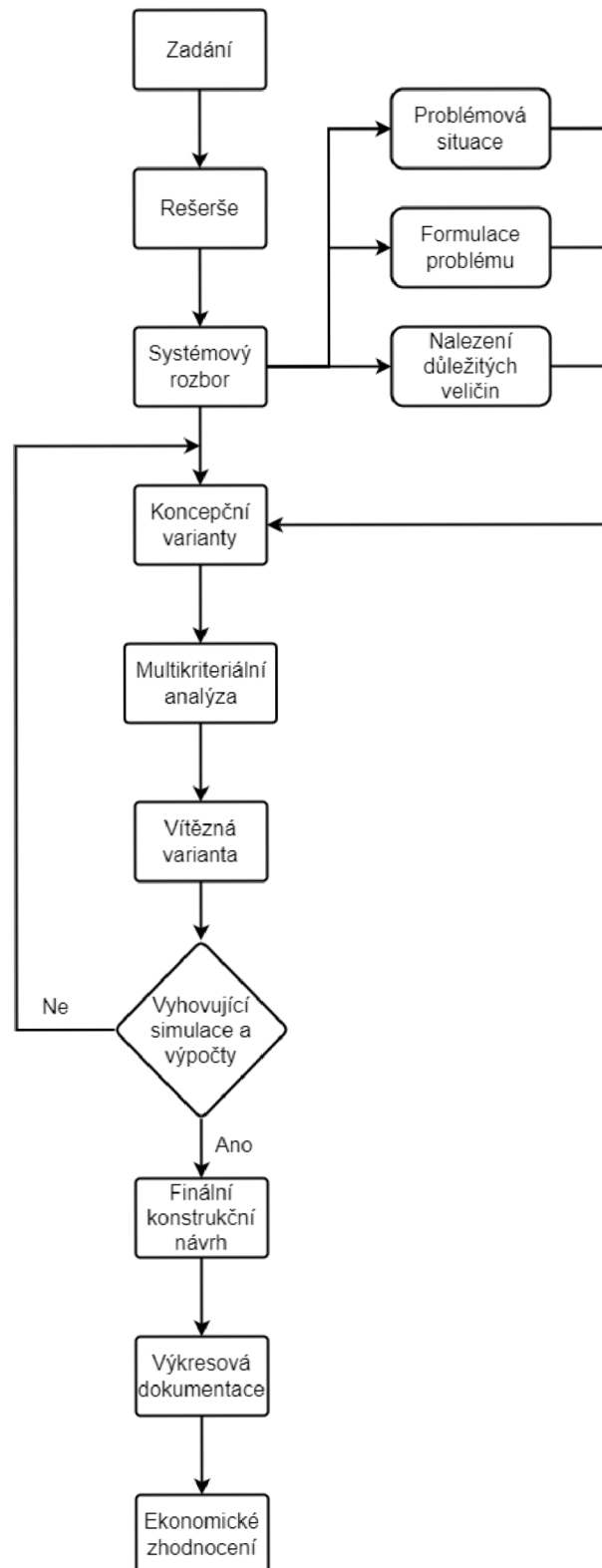
Stěny v kontejneru budou tvořeny z izolačních materiálů, aby byly dodrženy stabilní a homogenní podmínky v komoře. Jedna stěna by měla být tvořena z trojskla, aby bylo možné neinvazivně sledovat chování systému, bez zásahu do vnitřní atmosféry. [15] Samotná sestava kontejneru obsahuje enviromentální senzory, CO2 čidlo, zvlhčovač, odvlhčovač, výrobek demineralizované vody. [17]



Obr. 13 Sestava kontejneru [17]

3.4 Diagram postupu práce

Postup práce je znázorněn na digramu - Obr. 14. V první části práce je provedena rešerše a systémový rozbor. Následuje výběr vhodných variant metodou multikriteriální analýzy. Vítězná varianta bude ověřena výpočty a následně zkonstruována. Součástí práce je výkresová dokumentace a ekonomické zhodnocení.



Obr. 14 Diagram postupu práce

3.5 Nalezení důležitých veličin

V následující kapitole budou hodnoceny důležité veličiny, které budou rozhodující pro návrh a výběr komponent do konstrukcí v kultivační komoře. Jedná se primárně o rozměry, které jsou v kontejneru limitující a sníženy o jeho vestavbu. Je nutné za zabývat problematikou vyšší vlhkosti a přesností polohování. Naopak veličiny, které nejsou důležité, tak je rychlost pohybu, protože manipulátor se musí vzhledem k náchylnosti rostlin pohybovat v nižších rychlostech.

3.5.1 Vlhkost

Konstrukce musí být tvořena s ohledem na vlhkost, která není konstantní po celou dobu růstu, dosahuje až 90 %. Vzhledem k této vlastnosti kontejneru je nutné při návrhu volit vhodný materiál, primárně nerezová ocel, případně ostatní materiály opatřit vhodnou povrchovou úpravou. Další zařízení, které budou v kultivační místnosti musí být opatřena vhodnou ochranou proti vlhkosti. Manipulátor musí být schopen fungovat ve vlhkém prostředí, případně musí mít zajištěnou nějakou jinou ochranu, která zajistí správné fungování zařízení. Vlhkost je v komoře zajištěna ultrazvukovým zvlhčovačem, který je připojen k výrobníku deionizované vody. Dále je osazen dodatečnou UV sterilizací. [18]

3.5.2 Limitace rozměrů

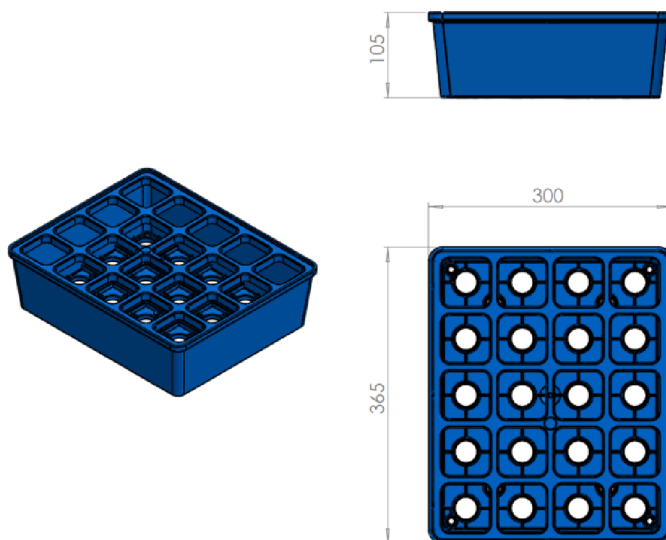
Rozměry nám udává velikost traye, světla, manipulátor, a hlavně velikost kontejneru. Tyto části jsou na sobě vzájemně závislé a udávají nám limitace rozměrů.

Kontejner

Lodní kontejner jsou dle specifikace rozměry vnější: délka 12 192 mm, šířka 2 438 mm, výška 2 896 mm a rozměry vnitřní: délka 11 989 mm, šířka 2 352 mm, výška 2 700 mm. Z těchto rozměrů vycházeli pracovníci PSI, kteří měli za úkol vytvořit vnitřní prostředí kontejneru, které bude splňovat všechny předem dané požadavky. Po zpracování všech důležitých komponent zbývá vnitřní rozměr kontejneru, do kterého se musí vložit komponenty dle zadání této práce. Kultivační komora má vnitřní rozměry: délka 5760 mm, šířka 1940 mm a výška 2047 mm.

Regály

Velikost regálů se odvíjí od velikosti traye, který je okótován na Obr. 15. Tray je ták, ve kterém jsou rostliny umístěny po celou dobu růstu v komoře. Je vyroben z materiálu HIPS, tedy konkrétně Synthos PS HI 336M. Tácy jsou produktem firmy PSI.

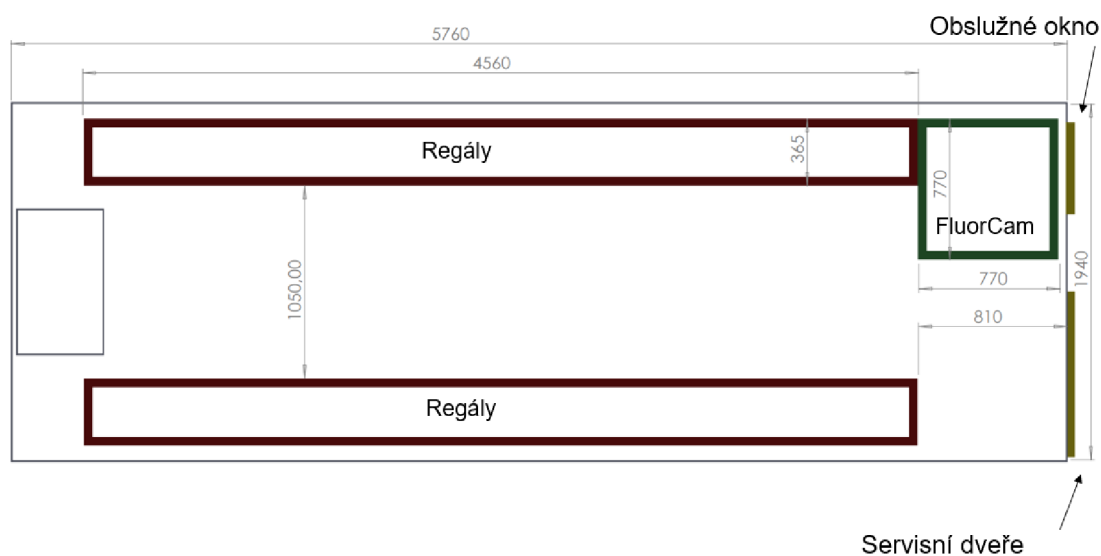


Obr. 15 Tray – rozměry

Při zachování potřebné vůle mezi trayi, alespoň 30 mm (tato vůle bude otestována po návrhu gripperu) a vůle pro konstrukci je nutné po stranách polic v regálu vymezit prostor pro hydroponické komponenty, musí být umístěna tak, aby všechny traye měly stejné podmínky pro cirkulaci vody. Nad každým trayem musí být umístěno světlo, které je dělitelné na délku 448 mm. Regály musí být hluboké alespoň 365 mm plus konstrukce okolo nich. Počet polic v regálu se odvíjí od vzdálenosti světelných modulů od traye 200–250 mm a samotné výšky kultivační komory 2105 mm. Regály musí být umístěny s určitou vůlí jak od stropu, tak od stěn. Výsledkem návrhu regálů je specifikace pro konstrukci světelných modulů (nejsou součástí zadání diplomové práce).

Manipulátor

Manipulátor je elektromechanický celek, který umožňuje uchopení táčů s rostlinami a jeho přesun mezi policemi. Jeho součástí je gripper, který slouží pro manipulaci s trayem. Z vymezeného prostoru na obrázku Obr. 16 vyplývá, že je vhodné zvolit manipulátor, který je schopný pohybu v prostoru 1050x4560 mm pro obsluhu regálů, do kterého je nutné započítat velikost traye a případného gripperu. Na konci komory se musí odečíst prostor pro zvlhčovač a odvlhčovač. Manipulátor musí být schopný obsluhovat i FluorCam, z čehož vyplývá, že se jeho manipulační vzdálenost prodlouží na 5330 mm po délce kontejneru. Vzhledem k tomu je velice pravděpodobné, že součástí manipulátoru bude muset být polohovací zařízení po delší straně kontejneru.



Obr. 16 Vymezení prostoru v kontejneru

Důležitou součástí návrhu rozložení jsou dveře, které musí být kdykoliv přístupné pro servis, či jiné případné problémy, které mohou nastat.

Světla

Světla zajišťují rovnoměrné osvětlení rostlin. Velikost světelných modulů je dána velikostí regálu a jejich samostatného skládání, světelné pásy lze skládat v délce po 448 mm. Světla musí přesahovat tray o 50-100 mm pro dosažení homogenity intenzity světla. Vyzařovací úhel světelných modulů je 120°

Intenzita světelných modulů je nastavitelná a její hodnotu udává parametr PPF – Photosynthetic photon flux density, udávající hustotu fotosynteticky aktivních fotonů, tedy kolik fotonů dopadne

na m^2 za jednu sekundu. Neudává celkové záření, ale intenzitu v daném místě. [19] Jeho intenzita je $250 \text{ umol/m}^2/\text{s}$ ve vzdálenosti 25 cm. Barvy světla jsou CW – Cool White, tedy studená bílá a FAR – červená. Obě budou řízeny samostatně.

Světla budou uchycené na konstrukci police pomocí hliníkového plechu, který musí být opatřen povrchovou úpravou, světla musí být zalakována, případně jinak chráněna před vlhkostí. Tento plech zároveň zajišťuje odvod tepla.

3.5.3 Nosnost

Manipulátor v kontejneru by měl mít stanovenou minimální nosnost, proto byl tray otestován pro případ nejhorších podmínek, tedy naplněn vhodným materiálem nasáknutým vodou, jeho maximální hmotnost byla potom 7,6 kg. Z čehož vyplývá, že konstrukce gripperu bude muset být tvořena s co nejnižší vahou a zároveň musí být vybrán manipulátor, který splňuje požadovanou nosnost.

3.5.4 Přesnost polohování

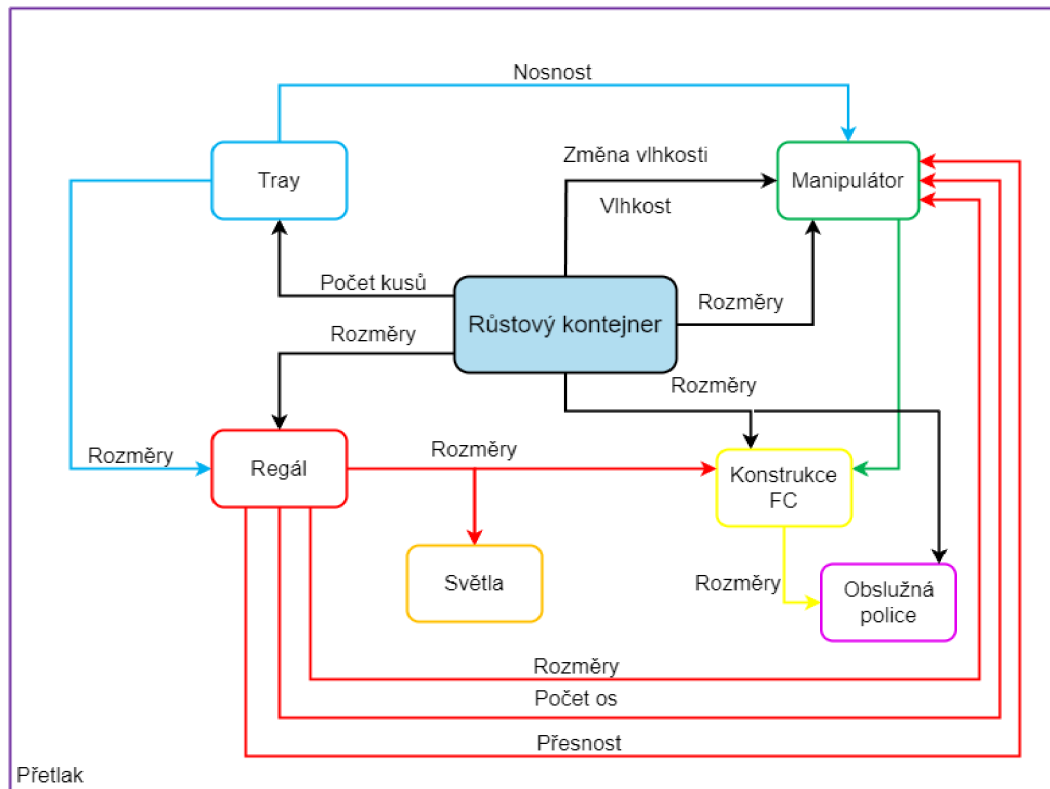
Pro výběr manipulátoru je důležité, aby byla zajištěna jeho přesnost polohování, ať už softwarově nebo případně hardwarově. V případě kolize manipulátoru s trayem by byla místnost kontaminována po vstupu pracovníka. Systém by měl být schopný pracovat automaticky, bez zásahu člověka, tudíž je nutné případným problémům předcházet. Přesnost polohování závisí na vůli, která vymezuje umístění trayů v hydroponické vaně, případně od gripperu, který by měl podebírat tray.

3.5.5 Počet os

Manipulátor musí být schopný se pohybovat v osách XYZ a v ose Y se otáčet. Což nám udává minimálně 4 stupně volnosti. Rotace v ose Z je důležitá, pro obsluhu obou regálů umístěných v komoře. Případně je možné využít systém, který má dva gripperu v ose Y, ale s případným zmenšením manipulačním prostoru, gripperu by musely být zasouvateľné.

3.5.6 Diagram důležitých veličin

Pro lepší pochopení závislostí komponent v růstovém kontejneru bylo vytvořeno schéma, které se nachází na Obr. 17. Kritickou částí celého systému je pěstební komora, na které jsou závislé všechny prvky v konstrukci, jedná se primárně o rozměrovou závislost, případně o schopnost kontejneru dosáhnout až 90 % vlhkosti.



Obr. 17 Schématické rozdělení závislostí veličin

Ze schématického rozdělení jsou jasně viditelné závislosti mezi jednotlivými komponentami v systému.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

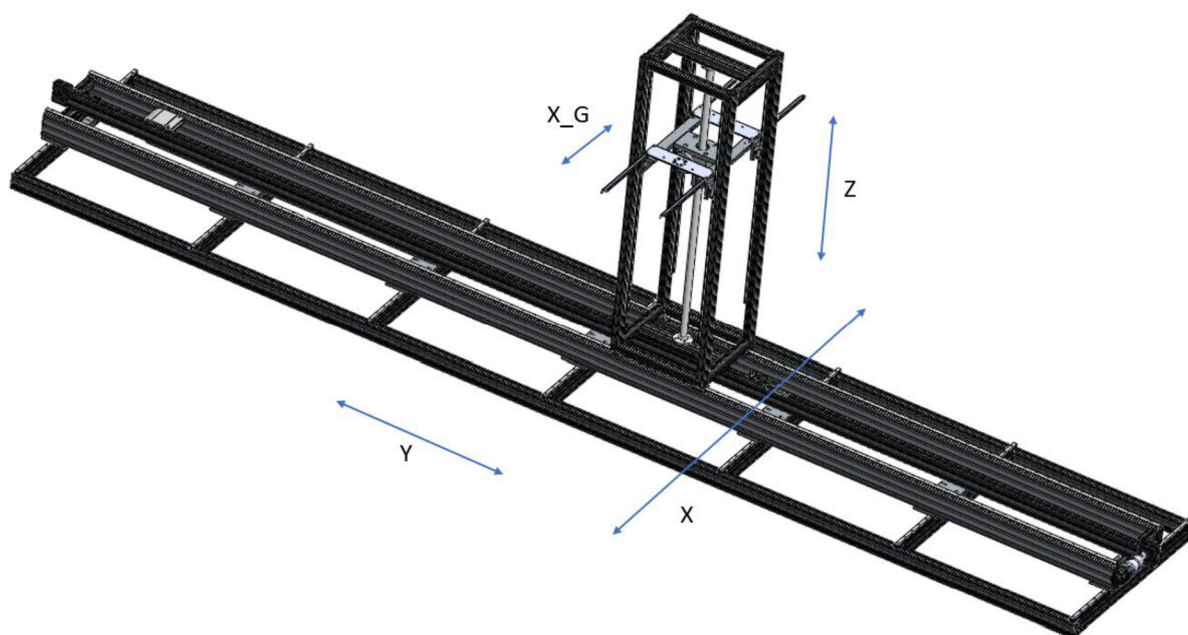
V následující kapitole budou na základě Systémového rozboru v kapitole 3. navržena různá koncepční řešení, ze kterých bude možné multikriteriální analýzou nejpříjemnější variantu manipulace s tácy.

4.1 Koncepční řešení přesunu trayů

Je důležité zaručit, aby se gripper dostal ke všem trayům, pro dosažení všech pozic je třeba zajistit pohyb pomocí všech 3 os. Tato kapitola bude věnována hlavně analýze zařízení, které bude pracovat s trayem, tedy přemísťovat ho z přípravné zóny do zóny kultivační, dále ho umísťovat na konstrukci se zařízením FluorCam, kde bude probíhat měření parametrů rostlin.

4.1.1 Varianta A

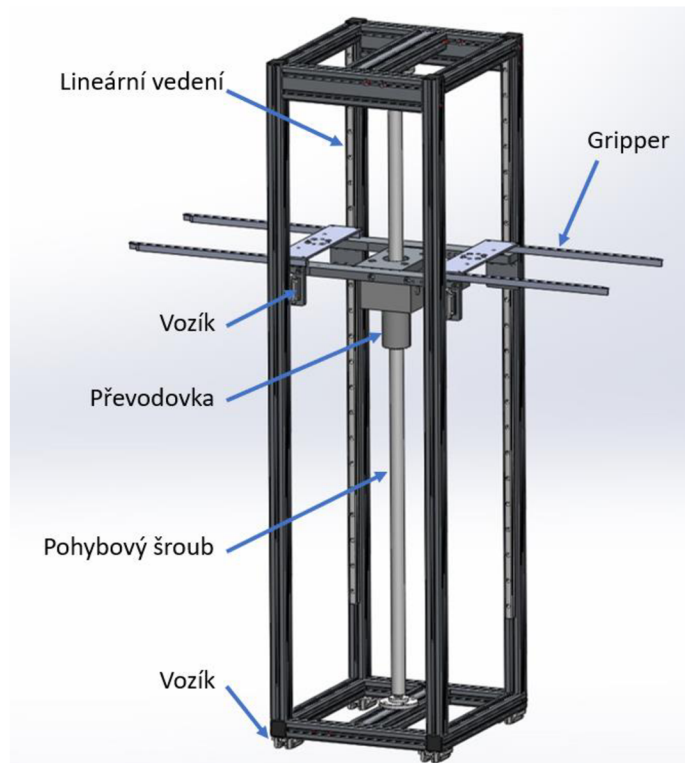
Pohyb je tvořen pomocí lineárního vedení. První koncepční varianta je navržena z hliníkových profilů s lineárním vedením poskládaných v osách XYZ a X_G, což je osa, která pohybuje se samotným gripperem, znázornění os je zobrazeno na obrázku Obr. 18.



Obr. 18 Osy – varianta A

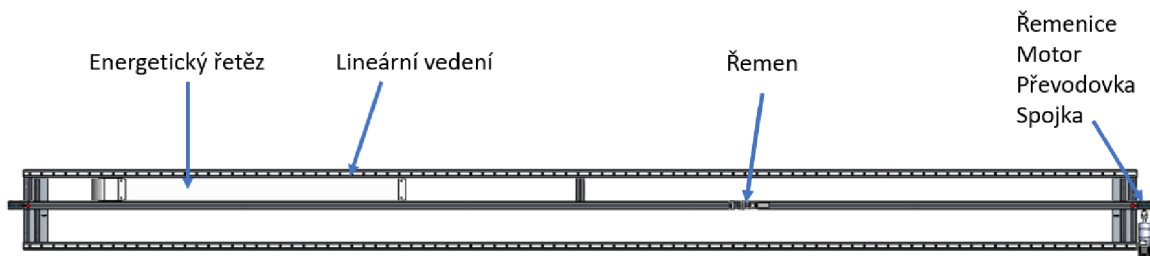
Pohyb v ose Z je tvořen pomocí pohybového šroubu a převodovky, která má na sobě připevněný gripper. Ten je tvořen z vidlice a propojovací desky. Aby konstrukce nemusela rotovat, je gripper umístěn na konstrukci 2x, pro obě strany hydroponických regálů. S gripperem je potřeba pohybovat z důvodu malého prostoru, proto se při použití na jedné straně opačná strana zasune, tento pohyb byl v této práci označen jako X_G.

Konstrukce osy Z a X_G (Obr. 19) se pohybuje na lineárním vedení složeném z kolejnic, profilů a poháněcí částí, která pohybuje konstrukcí pomocí řemenu. Tento směr pohybu kopíruje osu Y. Zajišťuje pohyb z jednoho konce kultivační místnosti na druhý.



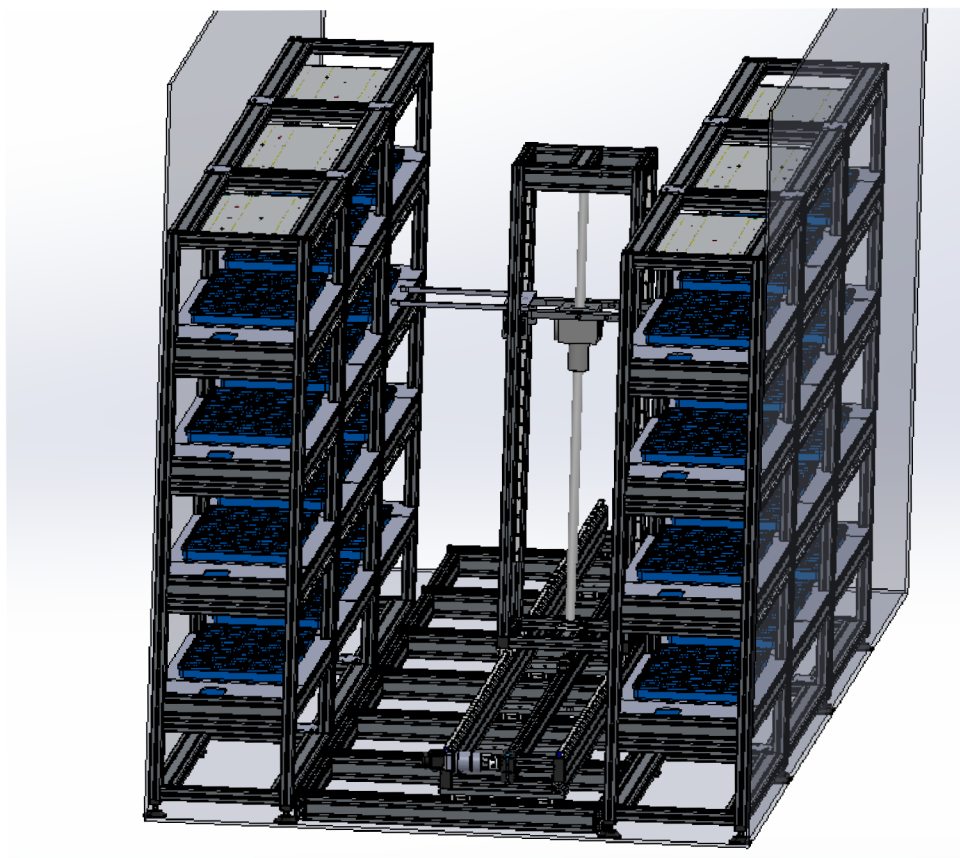
Obr. 19 Pojezdová konstrukce s gripprem

Oba zmiňované rámy se pohybují v kontejneru na ose Y. Tento pohyb zajišťuje, aby bylo možné pohybovat s trayem dovnitř i ven z regálu a zároveň umožňuje jeho přístup do konstrukce pro FluorCam, konstrukce je zobrazena na Obr. 20.



Obr. 20 Lineární vedení osy Y

Kompletní konstrukce je zobrazena na Obr. 21, kde lze vidět způsob nabírání traye a kompletní sestavení konstrukce.



Obr. 21 Kompletní konstrukce varianty A v kultivační místnosti

Nevýhoda této konstrukce spočívá v jejím polohování pomocí řemenu v ose Y. Je náročné nastavit konkrétní pozici. V případě, že gripper zastavení mimo stanovenou pozici, hrozí vznik kolize. Mezi gripperem a trayem není velký prostor, tudíž není ani velký prostor pro chybovost.

4.1.2 Varianta B

Pohyb pomocí portálového robotu KUKA by zajistilo velké možnosti rozsahu v případě manipulace s trayem. Robot má velké výhody v nosnosti, která se podle typu pohybuje od 16 do 600 kg. Přesnost opakování v pozicování je $\pm 0,1$ až $0,3$ mm [20]. Kartézský robot je znázorněn na Obr. 22 a jeho vlastnosti v Tab 1)



Obr. 22 Kartézský robot KUKA [20]

Tab 1) Porovnání KR 16L a KR 50L [20]

| Typ robotu | KR 16L | KR 50L |
|--|------------|------------|
| Jmenovitá nosnost | 16 kg | 50 kg |
| Počet os | 3 | 3 |
| Přesnost opakovaného nastavení polohy | ± 0,1 mm | ± 0,1 mm |
| Rychlost osy A1 | 3,0 m/s | 3,0 m/s |
| Rychlost osy A2 | 3,0 m/s | 2,0 m/s |
| Rychlost osy A3 | 4,0 m/s | 3,0 m/s |
| Základní zdvih A1 | 1 500 mm | 1 500 mm |
| Maximální zdvih A1 | 15 000 mm | 45 000 mm |
| Základní zdvih A2 | 500 mm | 500 mm |
| Maximální zdvih A2 | 1 000 mm | 1 500 mm |
| Základní zdvih A3 | 500 mm | 1 000 mm |
| Maximální zdvih A3 | 1 500 mm | 2 500 mm |
| Hmotnost, základní zdvih A1 – A3 (bez stojanu, bez zátěže) | asi 310 kg | asi 580 kg |

Vybraný robot s nosností 50 kg má zdvih v ose Z 2500 mm. O řadu menší robot s nosností 16 kg nemůže být vybrán, protože by neměl požadovaný rozsah v ose Z. [20]

Nevýhoda tohoto řešení spočívá ve velikosti robotu, v případě jeho umístění mezi regály bude zamezen kompletní přístup k regálům. Komora má být sice navržena jako sterilní, ale v případě jakéhokoliv problému nebo servisu je nutné mít do komory přístup.

4.1.3 Varianta C

Pro manipulaci pomocí robotického ramene je nutno zajistit polohování podél regálů s rostlinami. Robot většinou pracuje v 6 osách. Není úplně obvyklé využívat roboty v kontejneru vzhledem k malému prostoru na manipulaci.

Firma Omron vyvíjí kolaborativní roboty v několika řadách, vzhledem k požadované nosnosti a velikosti dosahu ramena je vhodná varianta TM12, která má nosnost 12 kg a dosah 1300 mm, je zobrazen na Obr. 23. [21]



Obr. 23 Robot Omron TM12 [21]

Společností, které se zabývají vývojem robotických ramen je velké množství, pro porovnání byl vybrán HCR-12A. Robot má totožnou nosnost i dosah, jako robot od firmy Omron. Pro snadnější rozhodování byla vytvořena

Tab 2), kde jsou porovnány specifikace obou variant.

Tab 2) Porovnání robotu Omron a HCR [21][22]

| | Omron TM12 | HCR-12A |
|-----------------|----------------|----------------|
| Nosnost | 12 kg | 12 kg |
| Dosah | 1300 mm | 1300 mm |
| Hmotnost | <u>32,8 kg</u> | 53 kg |
| Rychlost | 1,2 m/s | <u>1,3 m/s</u> |
| Rozsah kloubu 1 | <u>±270°</u> | ±180° |
| Rozsah kloubu 2 | <u>±180°</u> | ±150° |
| Rozsah kloubu 3 | <u>±166°</u> | ±165° |
| Rozsah kloubu 4 | ±180° | <u>±190°</u> |
| Rozsah kloubu 5 | <u>±180°</u> | ±170° |
| Rozsah kloubu 6 | ±270° | <u>±360°</u> |

Robotické rameno od společnosti Omron se zdá být podle porovnání vhodnější, přestože jejich rozdíly nejsou nějak výrazné. Výhodnější vlastnosti jsou vyznačeny podtrhnutím v

Tab 2.

Dále je nutné při pohybu s ramenem dbát na vyšší prostorovou náročnost. V případě obsluhování jednoho regálu se může stát, že rameno svojí zadní částí narazí do regálu na opačné straně.

Oproti předchozí variantě lineárního vedení může robot mít připevněnou kamerou, která by mohla skenovat kódy pro identifikaci přesné pozice v regálu. Tím se zamezí případné kolizi způsobené vlivem nepřesnosti polohování robotu v ose Y. V případě nutné obsluhy je možno robotem zajet úplně na stranu kontejneru, případě ho pohodlně obejít. V případě využití kolaborativního robotu by bylo nutné zajistit pohyb po kontejneru v ose Y. Řešení by mohlo být zvolenou kombinací těchto řešení. Pohyb po kontejneru pomocí lineárního vedení a zároveň přesun trayů pomocí kolaborativního robotu.

Bezpečnost kolaborativního robota

Kolaborativní robot je navržen tak, aby mohl bezpečně pracovat vedle člověka. Obsahuje prvky, které mu dávají například zpětnou vazbu ohledně síly, servomotory s nízkou setrvačností, technologii pro detekci kolizí nebo pružné akční členy [21]. Každý kloub je vybaven senzorem síly, který v případě kolize robota zastaví, případně se dají využít externí senzory. [23]

Robot je kompaktnější než konvenční robot, má lehčí rám, zaoblené hrany a minimalizuje skřípnutí. Robot sleduje sílu a rychlost a detekuje přítomnost překážky v pracovním prostoru. Lidský kontakt je rozdělen na přechodný a kvazistatický. Přechodný se týká kontaktu, kdy není sevřený a kvazistatický, který zahrnuje situace, které způsobují skřípnutí [24]. Splňuje bezpečnostní normu ISO 10218-1, ISO 10218-2 a technickou specifikaci ISO TS-15066, které definují bezpečnostní funkce a výkon kolaborativního robota. Jedná se o standardy a pokyny pro funkce výuky kolaborativních robotů. [24]

5 MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA VARIANT

Nejvýhodnější varianta byla vybrána na základě multikriteriální analýzy. Spočívá ve výběru reprezentativních parametrů a přiřazením jejich váhy podle důležitosti, kterou určuje autor práce. Analýza je tedy objektivní posouzení a minimalizuje subjektivní předpoklady. [25]

Kritéria pro analýzu jsou:

- K1: Výroba
- K2: Montáž
- K3: Přesnost polohování
- K4: Rozměr manipulátoru
- K5: Dosah manipulátoru
- K6: Cena/náklady na výrobu
- K7: Odolnost vůči vodě

Kritéria K1, K2 a K6 sice nevyplývají přímo ze systémového rozboru, ale jedná se o důležité kritéria z ekonomického hlediska. Systémový rozbor řeší primárně technické parametry.

Tab 3) Párové porovnání kritérií

| Kritérium | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | Σ | Pořadí |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----------|--------|
| K1 | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | 1 | 7. |
| K2 | | K2 | K3 | K4 | K5 | K2 | K7 | 3 | 5. |
| K3 | | | K3 | K4 | K3 | K3 | K7 | 5 | 3. |
| K4 | | | | K4 | K4 | K4 | K7 | 6 | 2. |
| K5 | | | | | K5 | K5 | K7 | 4 | 4. |
| K6 | | | | | | K6 | K7 | 2 | 6. |
| K7 | | | | | | | K7 | 7 | 1. |

Pro stanovení vah byla vytvořena tabulka Tab 3) párového srovnání dle Dobřického. Každé kritérium v tabulce je vzájemně porovnáno. Počet opakování v trojúhelníkové matici udává výsledné pořadí kritérií. [25]

Dále je nutné vytvořit tabulku, ve které budou uvedena výsledná kritéria z Tab 3 ve vzestupném pořadí v řádcích i sloupcích. Opět se budou spolu porovnávat a následně se jim bude připisovat bodové hodnocení dle jejich „blízkosti“. Následný součet bodů v každém řádku bude využit pro výpočet výsledné váhy kritéria. [25]

$$q_j = \frac{BHV_j}{\sum_{j=1}^k BHV_j} \quad (1)$$

Vztah (1) pro výpočet váhy významnosti je tvořen z BHV_j – bodová hodnota významnosti pro každé kritérium, k – celkový počet kritérií. [25] Bodové hodnocení kritérií je zobrazeno v tabulce Tab 4).

Tab 4) Stupnice bodového hodnocení kritérií

| Stupně hodnocení | |
|------------------|---|
| Blízko | 1 |
| Středně | 2 |
| Daleko | 3 |

V následující tabulce Tab 5) jsou stanoveny váhy kritérií.

Tab 5) Matrice pro stanovení váh kritérií

| Kritérium | K7 | K4 | K3 | K5 | K2 | K6 | K1 | Σ | Váha q_j |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----------|------------|
| K7 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 13 | 0,30 |
| K4 | | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 9 | 0,21 |
| K3 | | | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 9 | 0,21 |
| K5 | | | | 1 | 2 | 1 | 2 | 6 | 0,14 |
| K2 | | | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 0,07 |
| K6 | | | | | | 1 | 1 | 2 | 0,05 |
| K1 | | | | | | | 1 | 1 | 0,02 |
| Součet: | | | | | | | | 43 | 1 |

Podle požadavků na konstrukci budou vytvořeny tabulky Tab 7) - 10), kde budou uděleny stupně hodnocení a následně vynásobeny váhou kritéria. Stupně hodnocení jsou zobrazeny v tabulce Tab 6).

Tab 6) Bodová stupnice hodnocení

| Stupně hodnocení | |
|---------------------|---|
| Nejvíce vyhovující | 5 |
| Více vyhovující | 4 |
| Průměrně vyhovující | 3 |
| Méně vyhovující | 2 |
| Nejméně vyhovující | 1 |

Tab 7) Jednotlivá hodnocení variant

| Kritérium | Název kritéria | Varianta A | Varianta B | Varianta C |
|-----------|------------------------|------------|------------|------------|
| K1 | Výroba | 1 | 5 | 5 |
| K2 | Montáž | 1 | 4 | 5 |
| K3 | Přesnost polohování | 2 | 4 | 4 |
| K4 | Rozměr | 2 | 1 | 5 |
| K5 | Dosah manipulátoru | 5 | 3 | 4 |
| K6 | Cena/náklady na výrobu | 1 | 2 | 3 |
| K7 | Odolnost vůči vodě | 3 | 3 | 3 |

Tab 8) Hodnocení varianty A

| Varianta A | | | |
|------------|------------------|---------------|----------------|
| Kritérium | Bodové hodnocení | Váha kritéria | Vážené hodnoty |
| K1 | 1 | 0,02 | 0,02 |
| K2 | 1 | 0,07 | 0,07 |
| K3 | 2 | 0,21 | 0,42 |
| K4 | 2 | 0,21 | 0,42 |
| K5 | 5 | 0,14 | 0,70 |
| K6 | 1 | 0,05 | 0,05 |
| K7 | 3 | 0,30 | 0,90 |
| | | | Σ 2,57 |

Tab 9) Hodnocení varianty B

| Varianta B | | | |
|------------|------------------|---------------|----------------|
| Kritérium | Bodové hodnocení | Váha kritéria | Vážené hodnoty |
| K1 | 5 | 0,02 | 0,12 |
| K2 | 4 | 0,07 | 0,28 |
| K3 | 4 | 0,21 | 0,84 |
| K4 | 1 | 0,21 | 0,21 |
| K5 | 3 | 0,14 | 0,42 |
| K6 | 2 | 0,05 | 0,09 |
| K7 | 3 | 0,30 | 0,91 |
| | | | Σ 2,86 |

Tab 10) Hodnocení varianty C

| Varianta C | | | |
|------------|------------------|---------------|----------------|
| Kritérium | Bodové hodnocení | Váha kritéria | Vážené hodnoty |
| K1 | 5 | 0,02 | 0,12 |
| K2 | 5 | 0,07 | 0,35 |
| K3 | 4 | 0,21 | 0,84 |
| K4 | 5 | 0,21 | 1,05 |
| K5 | 4 | 0,14 | 0,56 |
| K6 | 3 | 0,05 | 0,14 |
| K7 | 3 | 0,30 | 0,91 |
| | | | Σ 3,95 |

Na základě hodnocení jednotlivých variant lze vytvořit tabulku, kde jsou uvedeny jednotlivé váhy a na základě nich určit pořadí jednotlivých řešení.

Tab 11) Celkové hodnocení variant

| Konceptní varianta | Celková vážená hodnota | Výsledné pořadí |
|--------------------|------------------------|-----------------|
| Varianta A | 2,57 | 3. |
| Varianta B | 2,86 | 2. |
| Varianta C | 3,95 | 1. |

Z multikriteriální analýzy vyplývá, že nejvhodnější řešení je varianta C. Výhodou tohoto řešení je snadná montáž, jednoduché řešení polohování a malé rozměry, které zároveň umožňují velký dosah.

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V následující kapitole bude proveden návrh konstrukce vycházející z poznatků z koncepční části. Tento návrh bude zadán do výroby jako první prototyp. Některé dílčí části konstrukce budou vyráběny v předstihu a testovány před následným zavedením do kontejneru. Jedná se primárně o gripper.

6.1 Výpočet

V následující kapitole bude proveden výpočet a na základě něj ověřeno, zda jsou vybrané prvky v konstrukci vhodně zvolené. Prvky do konstrukce jsou voleny na základě jejich dostupnosti v souladu s požadavky s kritérii K1, K2 a K6. Je tedy nutné ověřit, zda jsou dané prvky dostačující, případně zvolit alternativní prvky. Pro určení vhodnosti vybraných komponent vycházíme z předběžného návrhu, ze kterého bude nejdříve zjištěna hmotnost a následně další specifikace nutné pro výpočet.

Tab 12) Hmotnost pojezdu s robotem

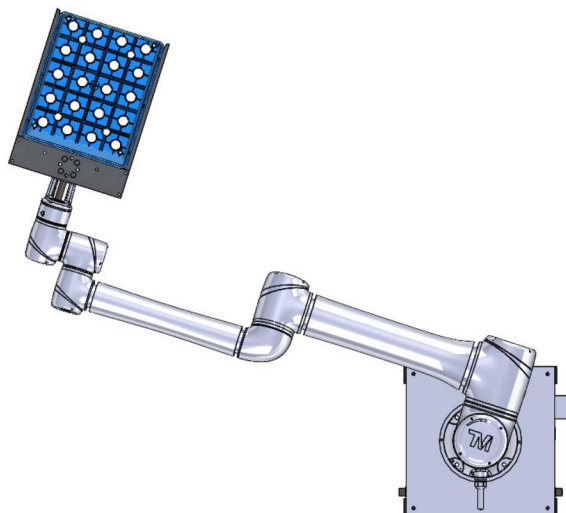
| | Hmotnost [kg] |
|------------------|---------------|
| Robot | 32,8 |
| Nosnost | 12 |
| Profily | 6,6 |
| Sloup | 12 |
| Deska pod robota | 4,5 |
| Ostatní | 2 |
| Celkem | 69,9 |

Tab 13) Hodnoty pro výpočet

| Označení | Popis | Hodnota |
|------------|----------------------------|----------------------|
| m_{pr} | Hmotnost pojezdu s robotem | 69,9 kg |
| g | Gravitační konstanta | 9,8 m/s ² |
| R | Délka dosahu robota | 1300 mm |
| L | Velikost gripperu s trayem | 523 mm |
| m_{tray} | Hmotnost traye | 12 kg |
| v | Rychlost pojezdu | 0,5 m/s |

Vozíčky

Vozíčky, které byly zvoleny na základě koncepční varianty musí být zkontrolovány na statickou únosnost v nejnáročnější variantě natočení, která je zobrazena na Obr. 24. Není nutné počítat dynamickou únosnost vzhledem k nízkým rychlostem pojezdu.

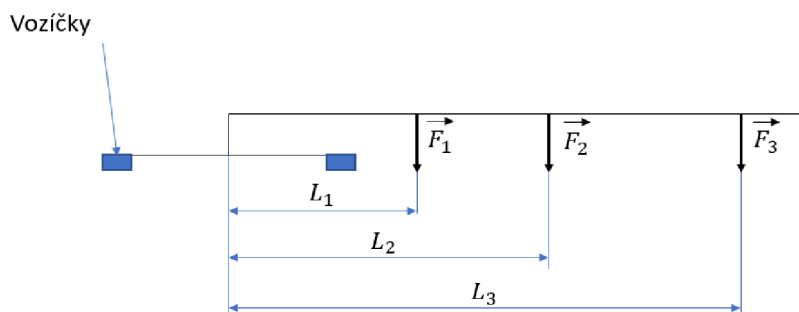


Obr. 24 Nejnáročnější natočení robotu pro výpočet voziček

Tab 14) Vozičky CPC-AR20MN – parametry [26]

| Označení | Popis | Hodnota |
|-----------------|--------------------|---------|
| C_0 | Únosnost vozičku | 30 kN |
| $F_{\text{tř}}$ | Třecí síla vozičku | 0,75 N |

Pro výpočet statické únosnosti voziček je nutné vypočtený moment působící na vozičky v nekritičtější poloze z působících sil, jedná se o sílu vyplývající ze zatížení robotu, gripperu a traye, síly jsou vynásobeny vzdálenostmi jejich těžiště od středu robotu. Výpočet je prováděn dle vztahu (2). Schématické rozložení sil a místa těžiště je zobrazeno na Obr. 25.



Obr. 25 Rozkreslení sil působících na vozičky

$$F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2 + F_3 \cdot L_3 - M = 0 \quad (2)$$

$$m_1 \cdot L_1 \cdot g + m_2 \cdot L_2 \cdot g + m_3 \cdot L_3 \cdot g - M = 0$$

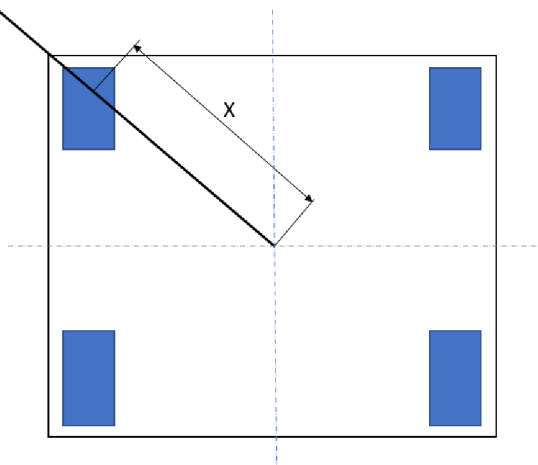
$$M = -(m_1 \cdot L_1 \cdot g + m_2 \cdot L_2 \cdot g + m_3 \cdot L_3 \cdot g)$$

$$M = -(32,8 \cdot 0,6 \cdot 9,8 + 2 \cdot 1,26 \cdot 9,8 + 10 \cdot 2,71 \cdot 9,8)$$

$$M = -483,14 \text{ Nm}$$

Pro výpočet zatížení voziček je nutné využít vypočítaný moment a rameno vzdálenosti voziček, kde x je 0,25 m od osy v nekritičtějším natažení robotu – robot je vůči pojezdu natočen úhlopříčně, v této situaci je rameno, které působí na moment nejdelší – označení vztahu (3). Pro znázornění nekritičtější polohy robotu je vytvořen schématický obrázek Obr. 26.

Nejkritičtější natažení robotu



Obr. 26 Kritické natažení robotu

$$M = F_x \cdot x + F_x \cdot x \quad (3)$$

$$M = 2 \cdot F_x \cdot x$$

$$F_x = \frac{M}{2 \cdot x}$$

$$F_x = \frac{483,14}{2 \cdot 0,25}$$

$$F_x = 966,28 \text{ N}$$

Statická bezpečnost S_0 je volena dle zatížení, které je pro tuto práci stanoveno v rozmezí 1,25 – 3, pro výpočet bude zvolena hodnota 2. Ekvivalentní statické zatížení vozíku P_0 – vztah (4) se skládá ze součtu sil působících na vozíčky a zatížení působící v ose robotu. Statická účinnost je vypočítána ze vztahu (5).

$$P_0 = F_x + \frac{F_G}{4} \quad (4)$$

$$P_0 = F_x + \frac{m_c \cdot g}{4}$$

$$P_0 = 966,28 + \frac{69,9 \cdot 9,8}{4}$$

$$P_0 = 1137,5 \text{ N}$$

$$C_0 = S_0 \cdot P_0 \quad (5)$$

$$C_0 = 2 \cdot 1137,5$$

$$C_0 = 2275,1 \text{ N} \leq 30000 \text{ N}$$

Po porovnání výsledku statické únosnosti vypočítané a statickou únosností vozíčků ze stanovených parametrů lze říct, že vozíčky vyhovují stanoveným parametrům výrobcem.

Výpočet pohonné soustavy

Při uvažování standartní situace, kdy se systém rozjíždí, působí na sestavu třecí a setrvačná síla, proto je nutné zahrnout tuto situaci do výpočtu a ověřit funkčnost vybraných komponent. Koeficient bezpečnosti je zvolen 1,5 – slouží pro lehké předimenzování komponent. Pro výpočty jsou vytvořeny tabulky 16) – 19).

Tab 15) Spojka GESM 19/24 - parametry [27]

| Označení | Popis | Hodnota |
|------------|---------------------------|---------|
| M_s | Jmenovitý kroutící moment | 10 Nm |
| M_{maxs} | Maximální kroutící moment | 20 Nm |

Tab 16) Řemenice 8 40 R25 VK14 a řemen – parametry [28]

| Označení | Popis | Hodnota |
|------------|----------------------------|---------|
| M_{Kmax} | Maximální moment | 20 Nm |
| p | Posuv na 1 otáčku řemenice | 150 mm |
| M_T | Třecí moment | 0,3 Nm |
| P | Výkon řemenu | 30 kW |

Nejprve je nutné vypočítat z momentu spojky, tedy nejslabšího článku, zrychlení, které je důležité pro další výpočty maximálního momentu, k výpočtu byl využit vztah (6).

$$M_s = 4 \cdot F_{tř} \cdot R + F_s \cdot R + M_T \quad (6)$$

$$M_s = 4 \cdot F_{tř} \cdot R + m_c \cdot a \cdot R + M_T$$

$$a = \frac{M_s - 4 \cdot F_{tř} \cdot R - M_T}{m_c \cdot R}$$

$$a = \frac{10 - 4 \cdot 0,75 \cdot 0,2 - 0,3}{69,9 \cdot 0,2}$$

$$a = 0,65 \text{ m/s}^2$$

Při ověření maximálního momentu spojky by měl být využit předem stanovený koeficient bezpečnosti, vztah (7).

$$M_{maxs} = k \cdot (4 \cdot F_{tř} \cdot R + F_s \cdot R) + M_T \quad (7)$$

$$M_{maxs} = k \cdot (4 \cdot F_{tř} \cdot R + m_c \cdot a \cdot R) + M_T$$

$$M_{maxs} = 1,5 \cdot (4 \cdot 0,75 \cdot 0,2 + 69,9 \cdot 0,65 \cdot 0,2) + 0,3$$

$$M_{maxs} = 14,83 \text{ Nm} < 20 \text{ Nm}$$

Maximální kroutící moment spojky je nižší než při nejkritičtější situaci, proto spojka vyhovuje, jedná se o krátkodobou situaci při rozjezdu, kdy na zařízení působí nejvíce odporu.

Kroutící moment, který je potřebný na rozpohybování sestavy na řemenici je vypočítán dle vztahu (8).

$$M_{maxř} = k \cdot (4 \cdot F_{tř} \cdot R + F_s \cdot R) \quad (8)$$

$$M_{maxř} = k \cdot (4 \cdot F_{tř} \cdot R + m_c \cdot a \cdot R)$$

$$M_{maxř} = 1,5 \cdot (4 \cdot 0,75 \cdot 0,2 + 69,9 \cdot 0,65 \cdot 0,2)$$

$$M_{max\check{r}} = 14,53 \text{ Nm} < 20 \text{ Nm}$$

Kroutící moment je nižší než maximální kroutící moment řemenice, tudíž vyhovuje zadání.

Tab 17) Převodovka PGII-060 2ST – parametry [29]

| Označení | Popis | Hodnota |
|-------------------|------------------------------------|----------|
| T _{2N} | Jmenovitý výstupní kroutící moment | 40 Nm |
| ST | Stupeň | 2 |
| - | Převod | 1:30 |
| M _{maxp} | Max. akcelerační moment | 72 Nm |
| N _{1N} | Jmenovité vstupní otáčky | 4000 rpm |

Hodnoty pro spojku jsou stejné jako pro převodovku, proto stačí porovnat kroutící moment.

$$M_{maxp} = M_{maxs} = 14,83 \text{ Nm} < 40 \text{ Nm}$$

Tab 18) Motor R88M-1M20030T-BS2 – parametry [30]

| Označení | Popis | Hodnota |
|-------------------|---------------------------|----------|
| P _j | Jmenovitý výkon | 0,2 kW |
| n _j | Jmenovité otáčky | 3000 rpm |
| M _{kj} | Jmenovitý kroutící moment | 0,637 Nm |
| M _{kmax} | Maximální kroutící moment | 2,2 Nm |

Pro výpočet momentu motoru je nutné sestavit rovnici (9), kde bude zahrnuta účinnost, převodový poměr převodovky i moment tření, který působí v řemenici, na druhé straně rovnice působí třecí síla z vozíčků a síla setrvačná.

$$M \cdot \mu \cdot i - M_T = k \cdot (4 \cdot F_{t\check{r}} \cdot R + R \cdot F_s) \quad (9)$$

$$M = \frac{k \cdot (4 \cdot F_{t\check{r}} \cdot R + R \cdot m_c \cdot a) + M_T}{\mu \cdot i}$$

$$M = \frac{1,5 \cdot (4 \cdot 0,75 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 69,9 \cdot 0,65) + 0,3}{0,97 \cdot 30}$$

$$M = 0,51 \text{ Nm} < 0,637 \text{ Nm}$$

Z výsledku výpočtu momentu vychází motor jako dostačující pro tuto aplikaci pro jmenovitý i maximální výkon.

Následně je nutné vypočítat rychlost motoru dle vztahu 10.

$$v_{max} = \frac{n_m}{i} \cdot p \quad (10)$$

$$v_{max} = \frac{3000}{30} \cdot 0,15$$

$$v_{max} = 15 \text{ m/s} < 0,5 \text{ m/s}$$

Maximální rychlost motoru je výrazně nižší než požadovaná rychlost motoru.

Pro výpočet maximální možné síly na řemen F_u bude využit vztah 11 a pro výpočet síly, která působí na řemen v konstrukci je vypočítána dle vztahu 12. [31]

$$F_u = \frac{10^3 \cdot P}{v} \quad (11)$$

$$F_u = \frac{10^3 \cdot 30}{0,5}$$

$$F_u = 60\,000\,N$$

$$F_{\check{y}} = 4 \cdot F_{t\check{y}} + F_s \quad (12)$$

$$F_{\check{y}} = 4 \cdot F_{t\check{y}} + m_c \cdot a$$

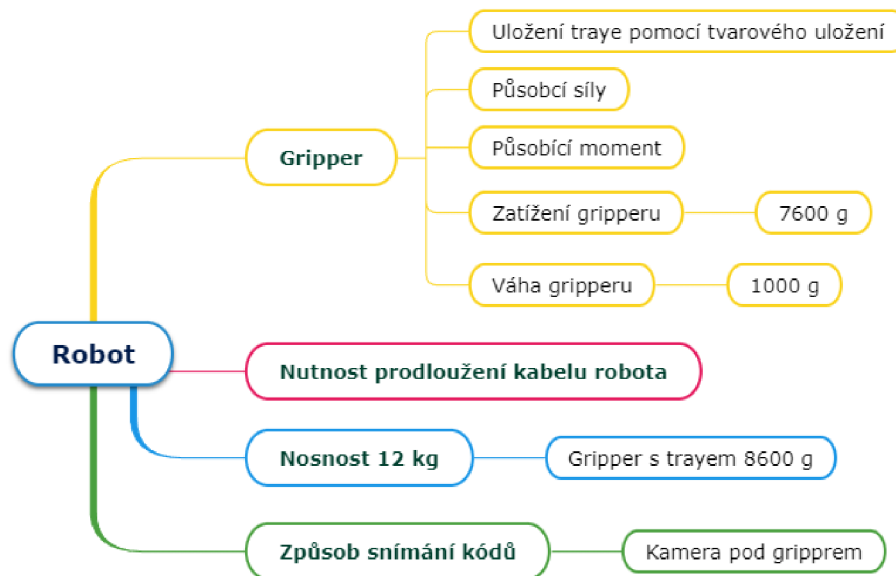
$$F_{\check{y}} = 4 \cdot 0,75 + 69,9 \cdot 0,65$$

$$F_{\check{y}} = 48,43\,N < 60\,000\,N$$

Síla působící na řemen je výrazně nižší než maximální síla řemene vycházející z výpočtu F_u , důvodem je předem stanovená nízká rychlost pohybu konstrukce. Proto lze říct, že řemen vyhovuje.

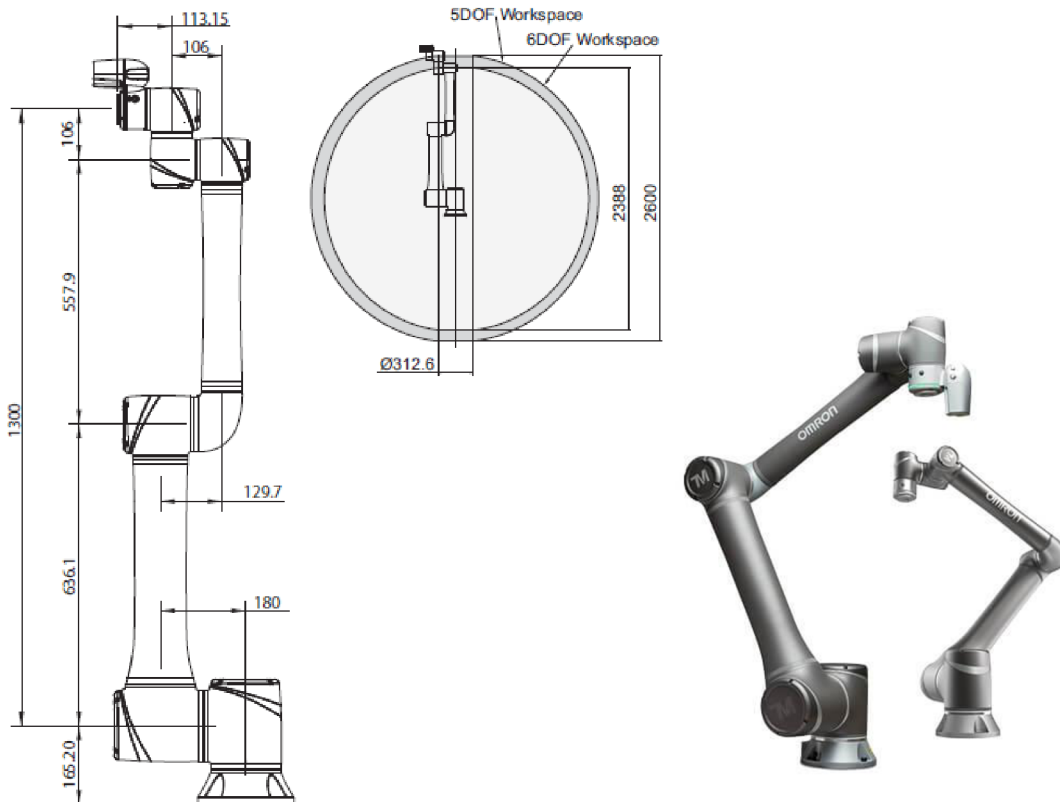
6.2 Robot

Pro výběr robota byla vytvořena myšlenková mapa přístupu viz Obr. 27.



Obr. 27 Myšlenková mapa návrhu robotu

Na základě kapitoly 4.1.3 byl vybrán robot od firmy Omron. Na Obr. 28 je zobrazen robot s připevněnou kameru, určenou pro čtení kódů a na základě nich identifikovat přesnou pozici konkrétního traye. V nákresu na obrázku 28 jsou uvedeny rozměry jednotlivých částí robota, které budou sloužit k dalšímu návrhu konstrukce.

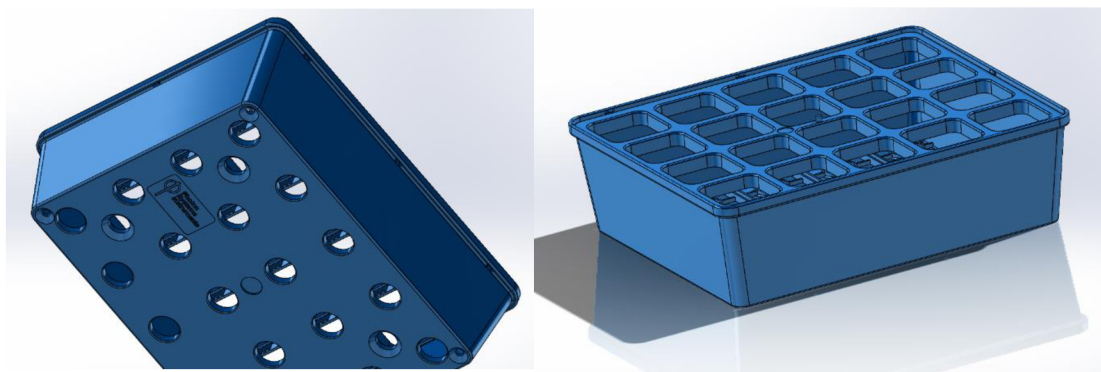


Obr. 28 a) Výkres robotu, b) Robot Omron TM12 [21]

Pro přesnou manipulaci robotu je připevněna kamera, která snímá kódy, ty jsou umístěny v přesné pozici pod každým trayem na hydroponickém regálu. Robot posouván k požadovanému trayu, zaměří kód, podle něj se srovná do správné polohy, aby mohl tray vhodně nabrat, případně položit. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu napínání řemenu v pojezdu pod robotem, časem v něm vzniká nepřesnost. Kolize traye a jeho vysypání by znamenalo, že obsluha bude muset vstoupit do místnosti a tím pádem už nebudou zaručeny její podmínky. Kontrolní box, který ovládá robota je umístěn v přípravné místnosti.

6.2.1 Gripper

Součástí robotu je tzv. gripper, který slouží robotu k uchopování traye a potom přemísťování po kontejneru mezi růstovou plochou, měřicím zařízením a obslužným oknem. Vzhled traye je zobrazen na Obr. 29.



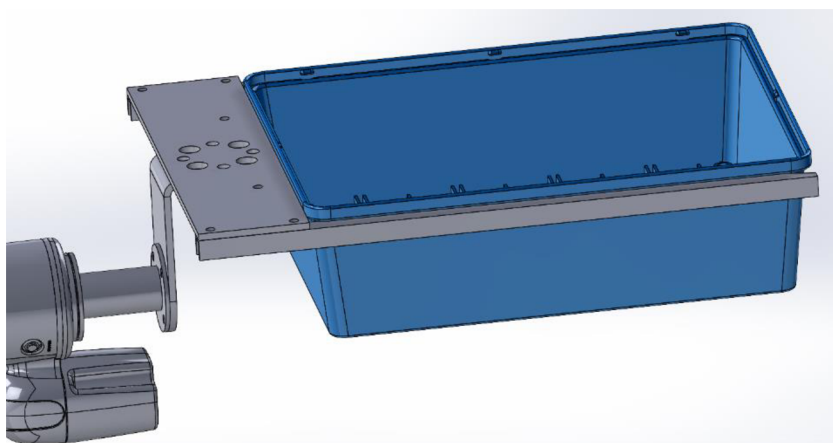
Obr. 29 Tray pohled a) pohled b)

Na obrázku Obr. 30 je vidět příruba, kterou má robot připravenou pro použití gripperu. Vzhledem k tvaru traye je nutné, aby gripper měl 2 vidlice po stranách, jsou zvoleny z hliníkového profilu ve tvaru U. Vidlice spojuje hliníková deska, tento materiál byl zvolen kvůli nízké nosnosti robota, která je pouze 12 kg. Deska musí být opatřena eloxovanou povrchovou úpravou. Na přírubu od robota navazuje navařená tyč z nerezové oceli a další stejná příruba. Ta je přišroubovaná k ohnutému plechu z nerezové oceli, který drží zmiňovanou desku s vidlicemi. Konstrukce bude ověřena v programu Ansys, zda vyhovuje z hlediska pevnosti. Požadovaná nosnost gripperu je 8 kg.



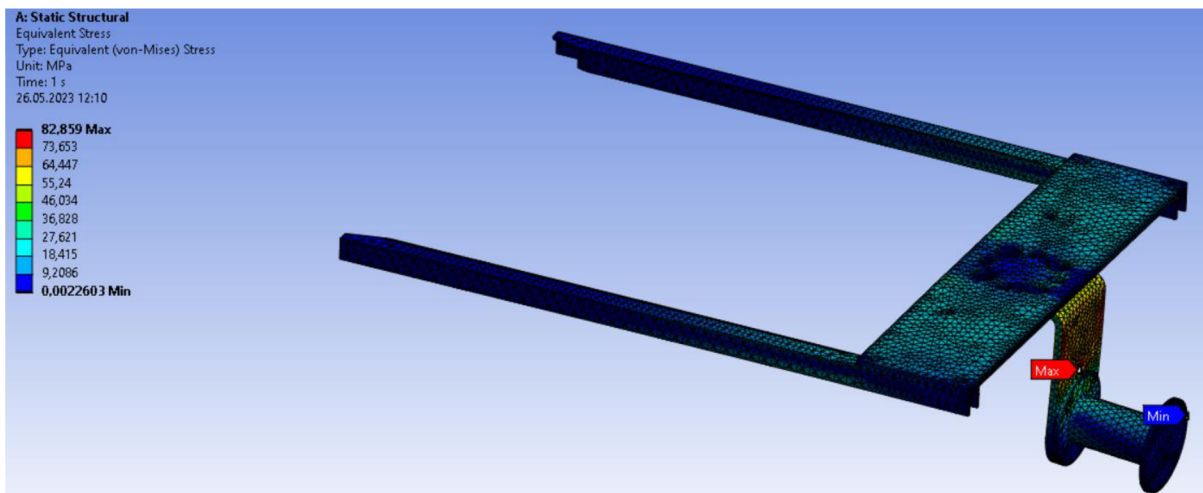
Obr. 30 Návrh gripperu

Přichycení k robotu s gripprem je zobrazeno na Obr. 31, včetně způsobu přesunu samotného traye.



Obr. 31 Uchycení traye

Model gripperu byl podroben analýze v programu Ansys 2023 R1, studentská verze. V simulaci byla příruba, přes kterou se gripper připojuje k robotu zvolena jako fixní. S modelem bylo uvažováno jako s jedním dílem. Zátížení působící na hliníkové vidlice bylo zvoleno 76 N a jeho umístění kopíruje situaci dle skutečnosti.

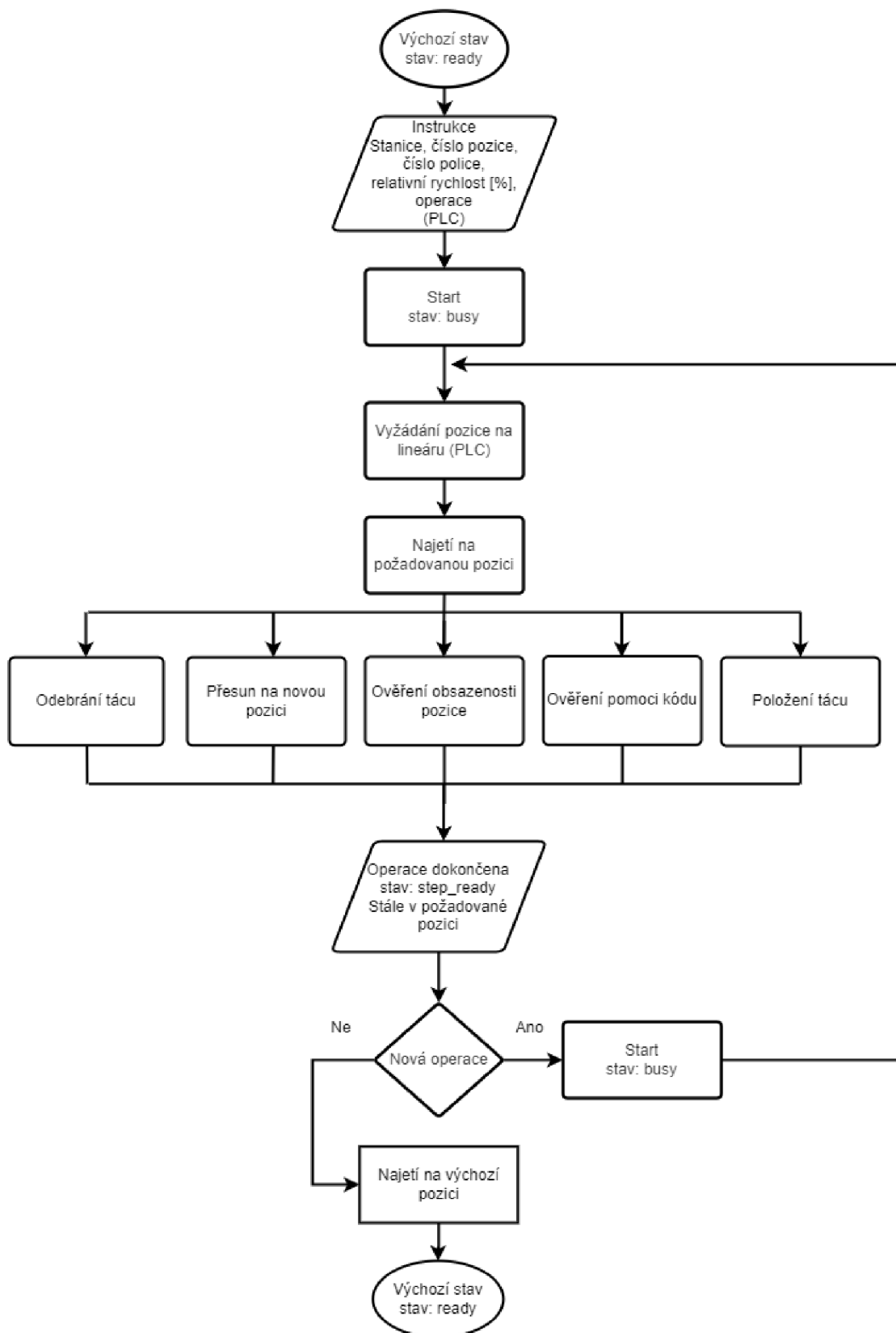


Obr. 32 Výpočet napětí (von Mises) - Ansys

Výsledek analýzy napětí (von Mises) je 82,86 MPa. Nejvyšší zatížení na plechu z nerezové oceli dle Obr. 32 se nachází na plechu z nerezové oceli. Řešení by mělo poskytovat dostatečnou stabilitu a podporu traye při přesunu, tento závěr byl ověřen s prototypem gripperu – vyhovuje.

6.3 Vývojový diagram robota

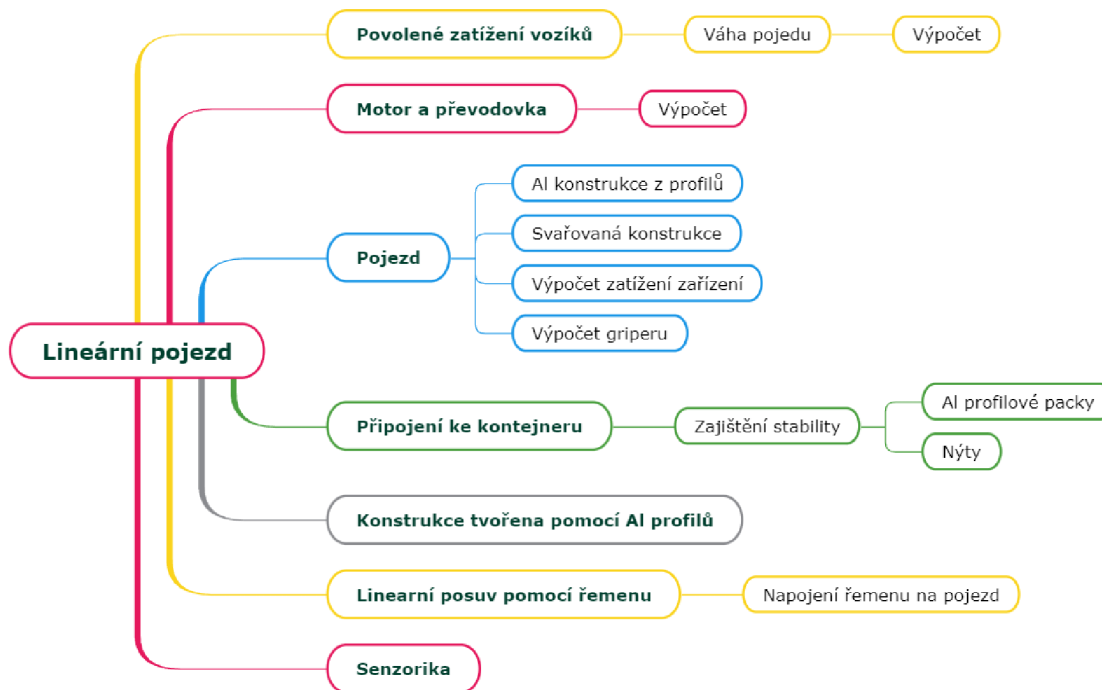
Na Obr. 33. Je zobrazen vývojový diagram postupu operací robota. Postup programu je vytvořen za spolupráce s programátorem PSI.



Obr. 33 Vývojový diagram robota

6.4 Lineární pojezd robota

Myšlenková mapa přístupu k návrhu pojezdu je vytvořena na Obr. 34. Popisuje závislosti při vývoji konstrukce, která bude pohybovat robotem. Při návrhu je nutné řešit všechny zmíněné kroky v myšlenkové mapě.

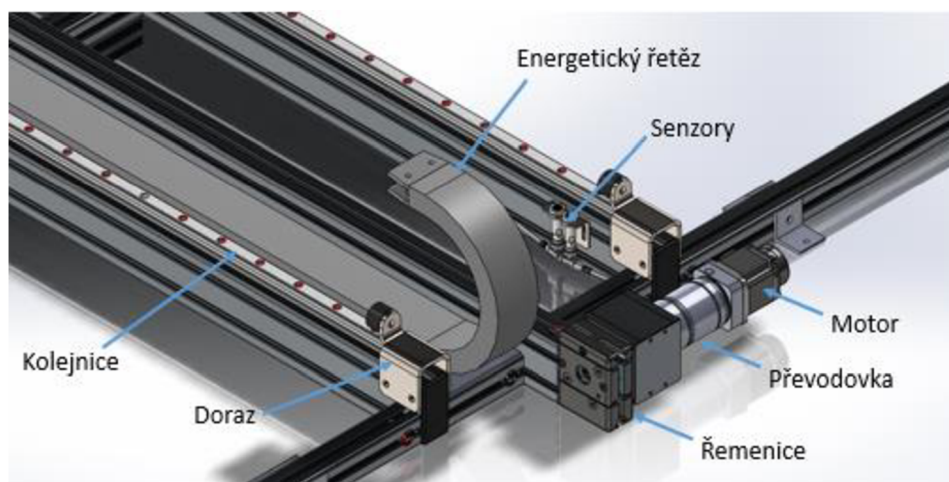


Obr. 34 Myšlenková mapa postupu návrhu lineárního pojezdu

Konstrukce lineárního zařízení, vybraného na základě koncepční části, se skládá z hliníkových profilů dodávaných firmou Haberkorn. Tyto eloxované profily slouží jako konstrukční prvky, na kterých jsou umístěny kolejnice od společnosti Raveo. Kolejnice slouží k lineárnímu pohybu robota. V prostředním profilu je umístěn řemen, který plní funkci hnacího prvku. Na lineárním vedení je umístěna konstrukce se vozičky, jejíž podrobný popis je v kapitole 6.4.1. Pro pohyb lineárního zařízení byl zvolen řemen, který je poháněn motorem s převodovkou. Krouticí moment z motoru je přenesen přes převodovku a spojku do řemenice – reverzní jednotky rozvodového řemene, kde je převeden z rotačního pohybu na posuvný pohyb, který umožňuje pohyb pojezdu.

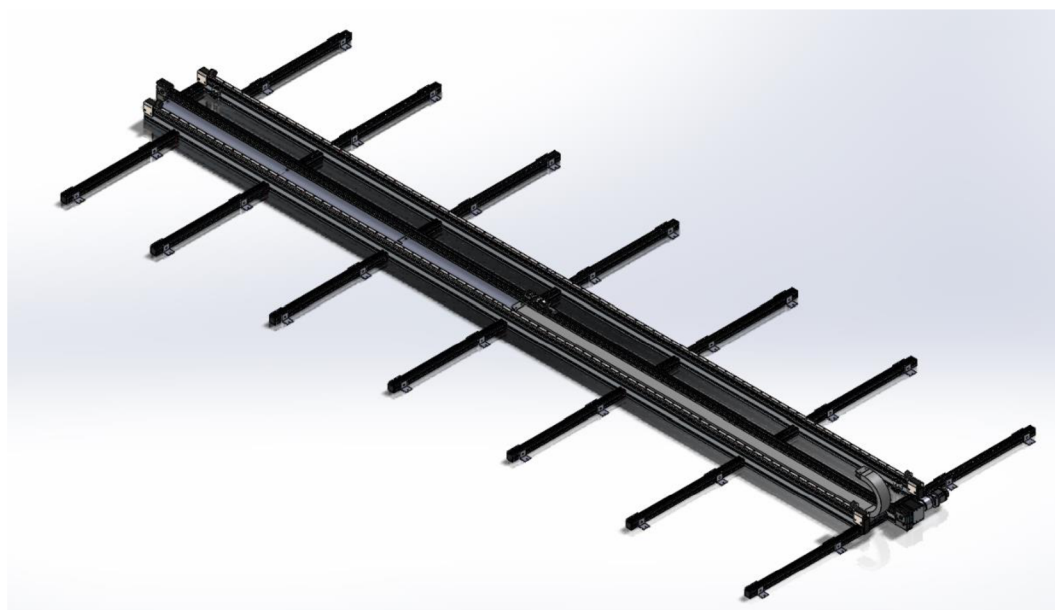
Řemen T10 dle specifikace určen pro výkon až 30 kW a rychlostí do 10 000 ot /min, obvodové rychlosti až 60 m/s. účinnost až 90 %. Je bezúdržbový, obsahuje ocelové kordy, vlhkost by neměla mít vliv na roztažnost řemenu, v žádné ze specifikací není uvedena její limitace. [33]

Motor a převodovka, které jsou umístěny v konstrukci jsou zvoleny na základě dostupnosti, proto byla ověřena jejich vhodnost v kapitole 6.1 Výpočet. Jedná se o motor 1M20030T – BS2, který má krytí IP67 – zajišťuje vodotěsnost při ponoření do hloubky 1 m po dobu 30 min. a je prachotěsný. Převodovka PGII-060 2ST R88M-1M20030T – provozní teplota převodovky je 0-90 °C a krytí IP65, což znamená, že je prachotěsná a zároveň odolná proti tryskající vodě. Tyto parametry jsou důležité vzhledem k 90 % vlhkosti v kultivační místnosti, ve které se budou nacházet.



Obr. 35 Lineární zařízení pod robota

K robotu je nutné dovést kabely. K tomu je využito energetického řetězu od firmy Igus 1500.050.100.0. Ten je zobrazen v modelu včetně převodovky s motorem na obrázku Obr. 35. Na koncích kolejnice jsou umístěny senzory Omron-E2B-M12KS04-M1. Senzory jsou na obou stranách, na jedné straně tvoří takzvaný konec, na druhé konec a home. Tyto senzory snímají plech z nerezové oceli, který je umístěn na pojezdu. V případě selhání senzorů je využit mechanický doraz, skládající se z nerezového ohnutého plechu se silentblokem.

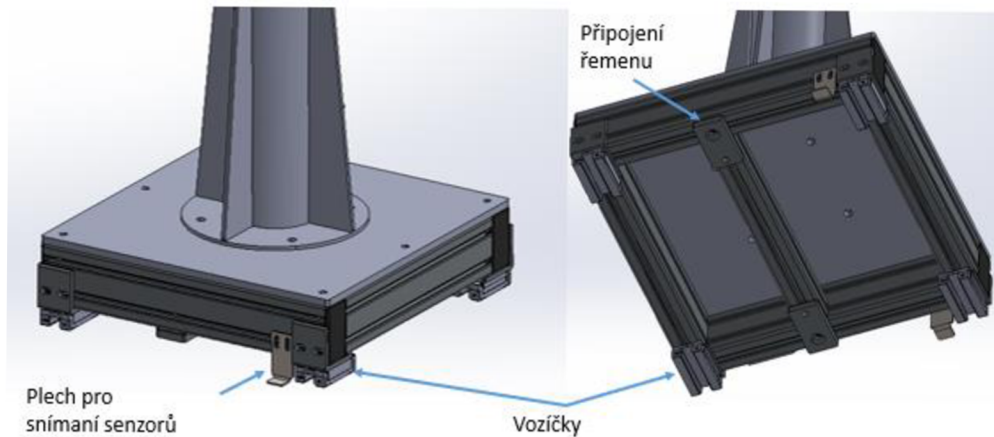


Obr. 36 Kompletní sestava lineárního zařízení

Výsledné zařízení je po stranách připevněno profily, pomocí kterých udržuje stabilitu. K profilům po stranách jsou připevněny profily ve tvaru L, které obsahují díry pro nýty. Ty jsou využívány k připevnění k podlaze. Aby se zamezilo protékání kapalin pod podlahu, je nutné, aby nýty byly zaizolovány silikonem.

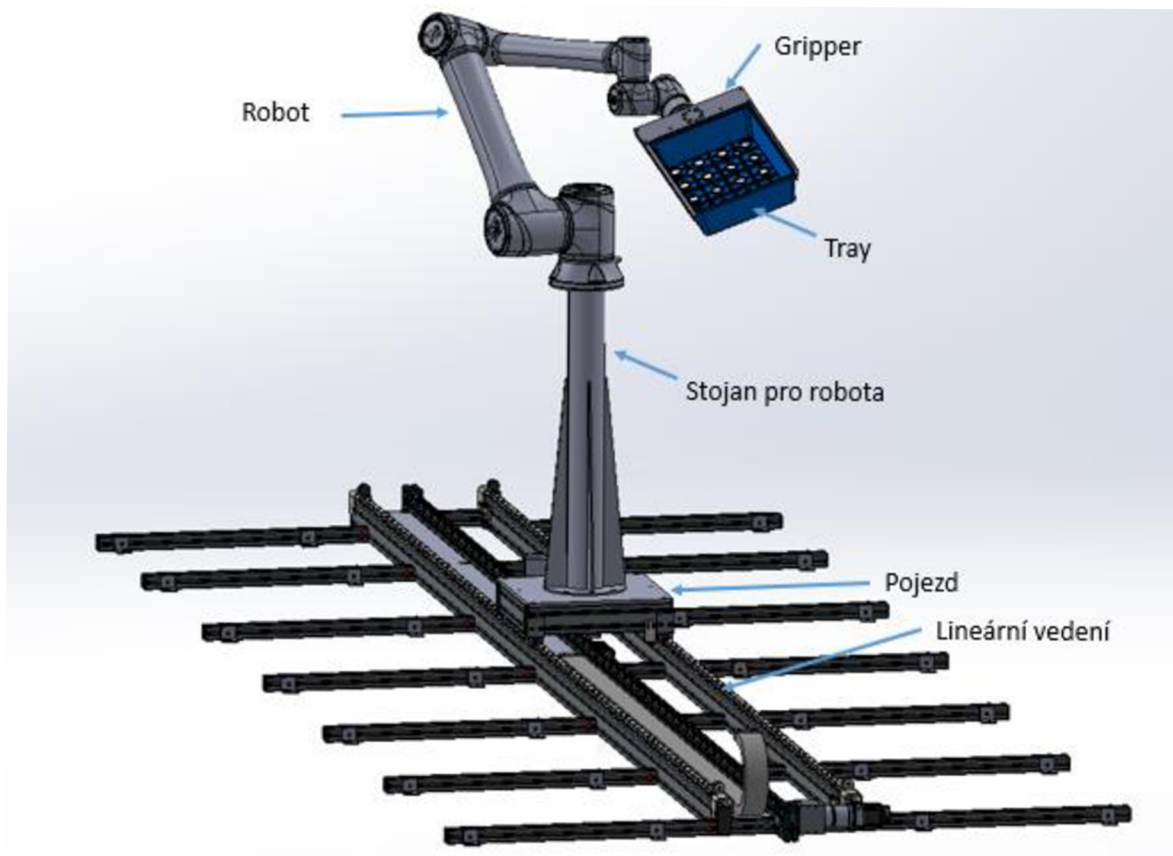
6.4.1 Pojezd pod robota

Pojezd je tvořen hliníkovou deskou, která leží na profilech. Konstrukce je pomocí L profilu přichycena k vozičkům, které slouží pro pohybování na kolejnicích. Energetický řetěz je přichycen pomocí ohnutého hliníkového plechu s eloxovanou povrchovou úpravou. Na hliníkové desce je přišroubován stojan pod robota, který je kompletně svařený z nerezové oceli a opatřen vrstvou bílého komaxitu. Konstrukce pojezdu je zobrazena na Obr. 37.



Obr. 37 Pojezd pod robota

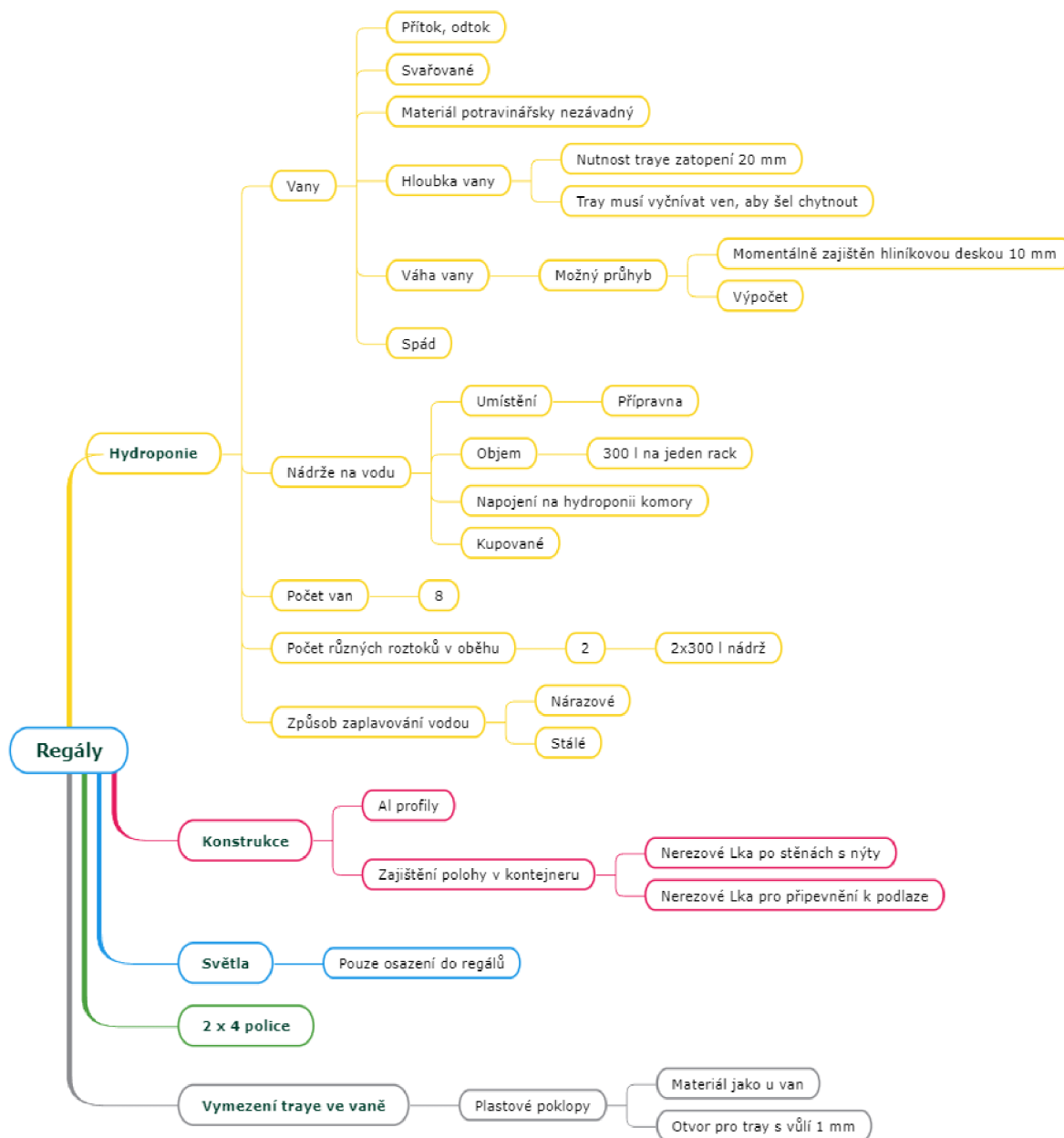
Na Obr. 38 je zobrazen model kompletní sestavy lineárního vedení s pojezdem a robotem.



Obr. 38 Sestava lineárního zařízení s pojezdem, robotem a gripperem

6.5 Hydroponické regály

Pro regály byla vytvořena myšlenková mapa, která je zobrazena na Obr. 39.

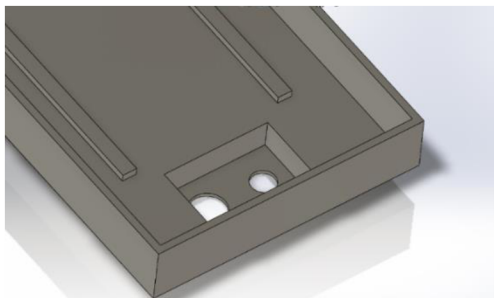


Obr. 39 Myšlenková mapa regálů

Každá police obsahuje integrované LED osvětlení. Jeho spektrální složení je zvoleno na základě testu, které je součástí patentového řízení. Světla jsou tvořena z vysokého počtu LED diod, což umožňuje docílení homogenního osvětlení v celé růstové ploše. Je využito LED diod s účinností 120 lm/W, jejich teplo je odváděno pomocí chladiče LED, který jej odvádí mimo kultivační prostor. Výška police by měla být na základě specifikace mezi 200-250 mm, tato vzdálenost udává výšku police.

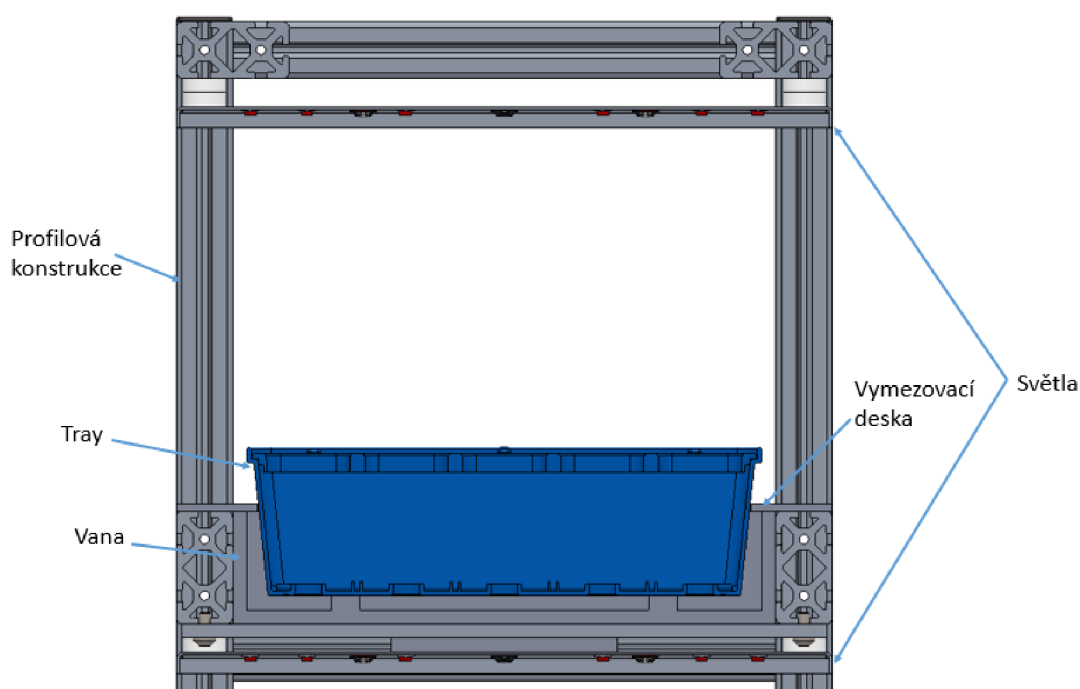
V regálech je možno zalévat automaticky, použité medium je sterilizováno pomocí UV. Vana by měla být zaplavována 20 mm nad dno traye, dále by měla být pod spádem, který se zajistí pomocí noh pod regály, nohy jsou od firmy Haberkorn, je možné jim měnit výšku.

Spád by měl dosahovat 7 mm, což nohy s rozsahem 80 mm splňují. Vany jsou svařeny z plastu, který je vhodný pro potravinářské využití PPC – UV. Dále tam jsou navařeny proužky o tloušťce 10 mm, aby se umožnila cirkulace vody a zároveň tray neležel v sedlinách. Na obou koncích van jsou připevněny snížené odtoky a přítoky, v nich bude připevněna hydroponie, zmiňované prvky jsou zobrazeny na Obr. 40.



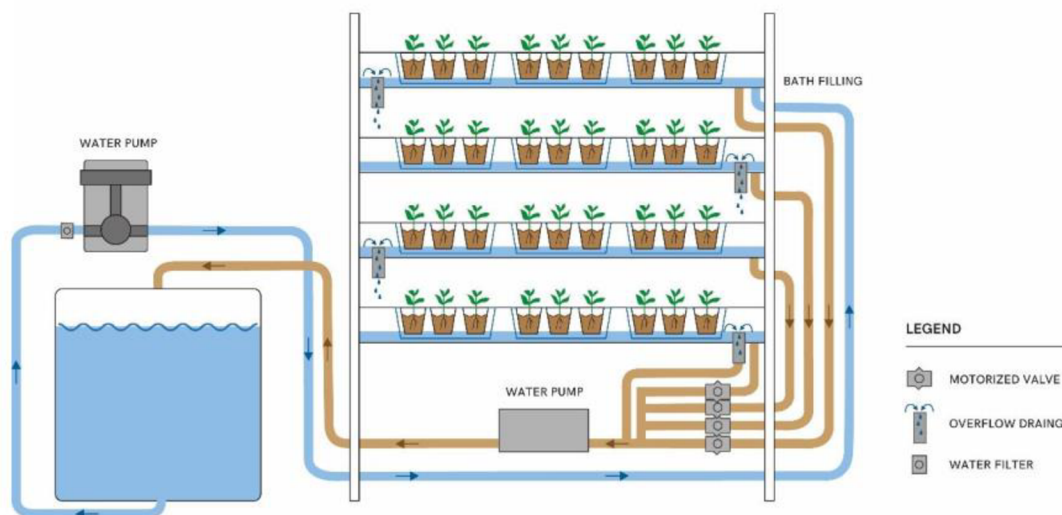
Obr. 40 Model vany

Vany jsou zasazeny v konstrukci z profilů v regálu, jsou podloženy jak profily, tak hliníkovými deskami. Traye jsou vystředěny v regálu pomocí horních desek, které jsou ze stejného plastu jako vany (Obr. 41). Jejich další funkce je zamezování průchodu světla do vody, v případě průchodu mohou vznikat nežádoucí řasy. Krycí desky na koncích van jsou pro krytí samostatných hydroponických prvků a jejich obsluhu. Díra zde vytvořená je pro přívod vody.



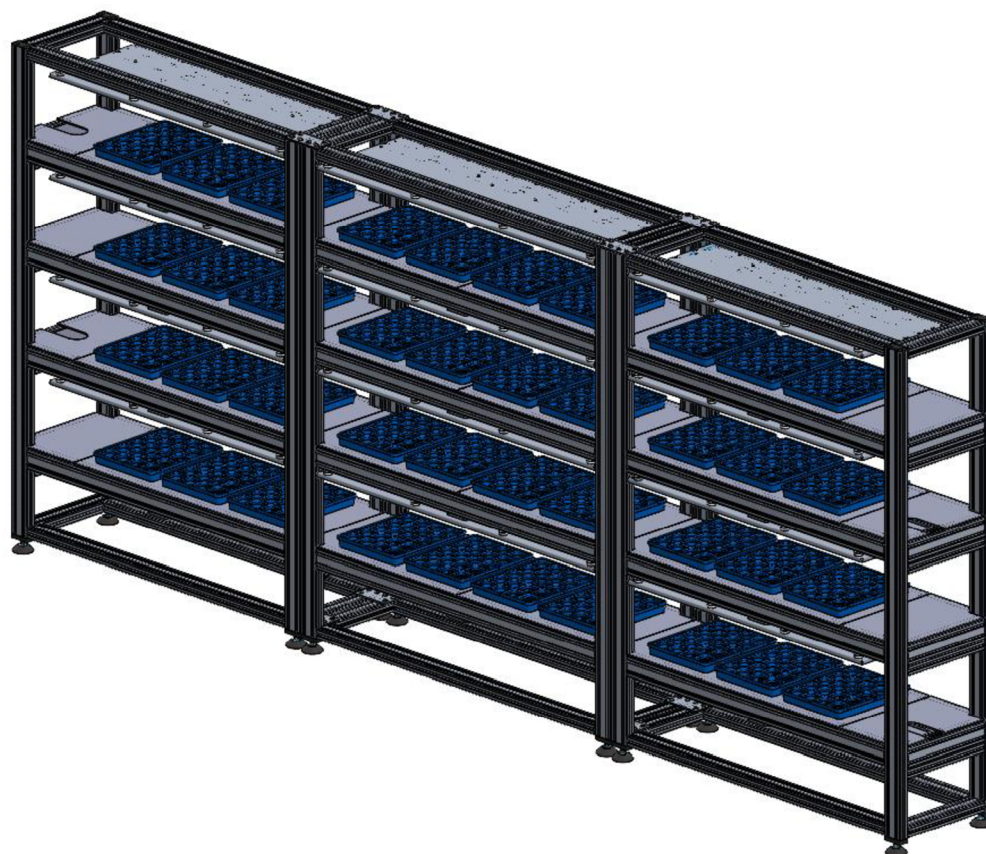
Obr. 41 Řez modelem regálu

Hydroponie se skládá z dvou samostatných okruhů, které označujeme jako hydroponie 1 a hydroponie 2. Je tedy možné separátně kultivovat ve dvou odlišných sektorech s dvěma odlišnými medii. Medium je v nádrži, ze které je přečerpáváno přes germicidní lampu do nejvyšší police regálu. Medium pomocí přepadu přetéká do dalších polic až do výtoků, ze kterého pokračuje zpět do nádrže. Hydroponie obsahuje 2 nádrže o objemu 300 l, 2 čerpadla, motorizované ventily, vodní filtr a UV germicidní lampu [34]. Schématické znázornění hydroponie je zobrazeno na obrázku Obr. 42.



Obr. 42 Schématické znázornění hydroponie [34]

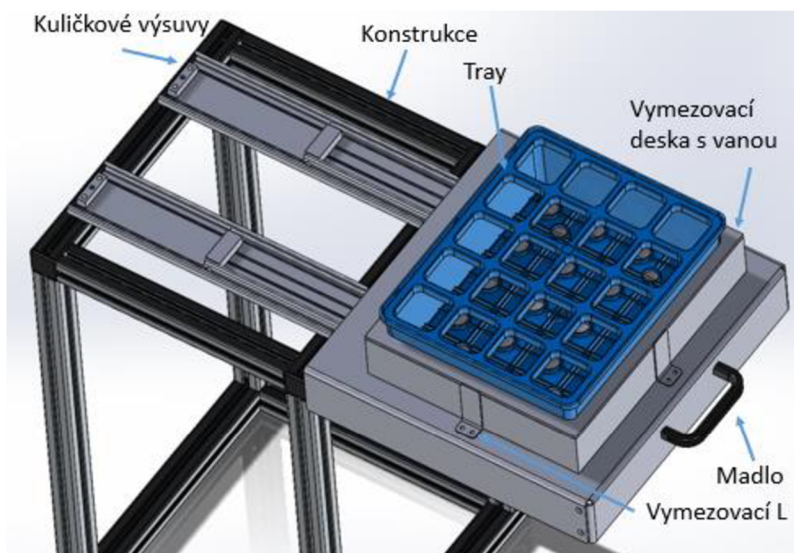
Vzhledem k výsledkům kapitoly 3.5.2 Limitace rozměrů – velikost kultivační místnosti, vzdálenosti světla a dalším, lze říct, že se do jednoho regálu vleze 40 trayů, tedy 80 na celý kontejner. Kompletní sestava regálů včetně trayů je zobrazena na Obr. 43.



Obr. 43 Sestava hydroponických regálů

6.6 Plnicí okno

Pro oddělení mezi přípravnou a technickou částí kontejneru se používá přepážka, která je vybavena obslužným oknem. Toto okno slouží pro obsluhu, během které se vkládá nebo odebírá tray. Tímto způsobem je zajištěna obsluha kontejneru. Aby nedocházelo k přenosu bakterií do kultivační místnosti a nebyl kontaminován prostor po otevření plnicího okna, v kultivační místnosti je udržován přetlak 15 Pa, který brání vstupu bakterií.

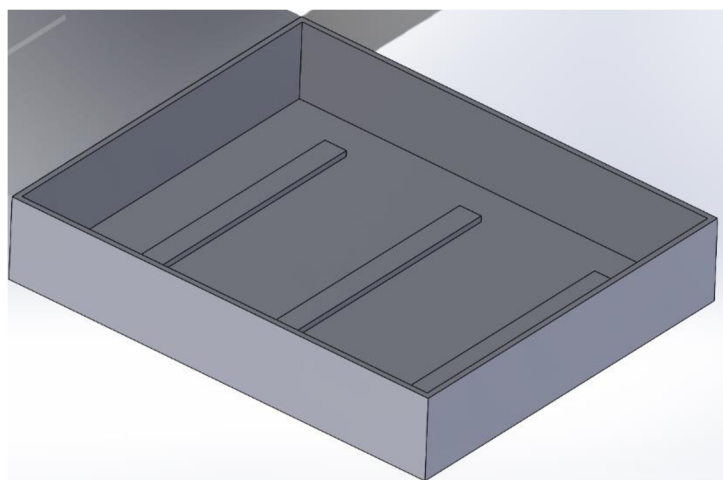


Obr. 44 Výsuvná police pro obslužné okno

Konstrukce je tvořena opět z profilů, na kterých jsou připevněny teleskopické výsuvy (Obr. 44). K nim je připevněn ohnutý plech s madlem. Na plechu je uložena vana, tu je nutné pravidelně vytahovat a čistit, proto je víko pouze položeno a vana aretována pomocí plechů.

Na ocelovém plechu, ze kterého je tvořen šuplík je provedena povrchová úprava – komaxit bílý, je to z důvodu, aby na materiálu nevznikala koroze a zároveň vypadal esteticky.

Předpokládá se, že robot bude obsluhovat traye i v případě, že budou zalité vodou, proto musí být zajištěna vana i ve stanici pro obsluhu, aby měla voda kam odkapávat. Vana má přivařené plastové pásky, které slouží jako vyvýšení traye, z důvodu možného vzniku sedlin na dně vany (Obr. 45).

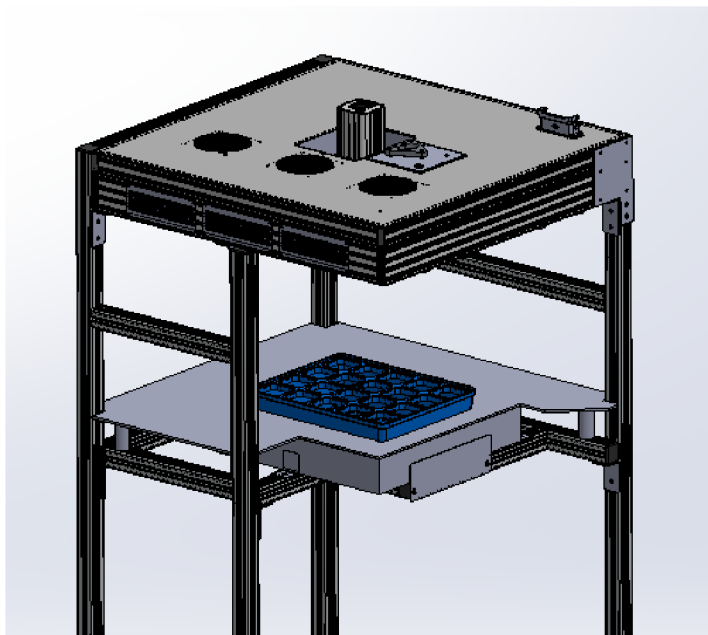


Obr. 45 Model vany pro výsuvnou polici

6.7 Konstrukce pro FluorCam

Konstrukce pro FluorCam musí být pevná a zároveň nesmí zavazet robotu. FluorCam musí měřit ze vzdálenosti 400 mm od rostliny. Tray je umístěn ve vaně, která obsahuje odtok, je zajištěna bočními plechy, které ji vymezují na pozici.

Pro vymezení pozice traye je nahoře umístěna plastová deska, která zároveň brání i průniku světla, díky kterému by vznikaly řasy. Po stranách jsou umístěny ertacetalové sloupky, které udržují stabilitu desky. Na konstrukci je posazené zařízení FluorCam, pro zajištění polohy je využito plechů z nerezové oceli po stranách.



Obr. 46 Konstrukce pro FluorCam

Konstrukce FluorCamu (Obr. 46) je podepřena ve dvou bodech ze spodní strany a dvou bodech z vnější strany. Police pro tray je držena pomocí plechů z nerezové oceli, které jsou přichyceny v konstrukci tak, aby byla vzdálenost horní plochy traye od spodní strany FluorCamu 400 mm. V případě, že budou v konstrukce větší rostliny, je možno se pohybovat v drážkách konstrukce. Šrouby v polici jsou zvoleny hvězdicové, které jdou povolit bez použití nářadí pouze rukou.

6.8 Konstrukce přípravný

Přípravná musí obsahovat dvě nádrže na vodu, které dokážou pojmout množství pro každý regál. Proto musí každá nádrž mít objem 300 l.



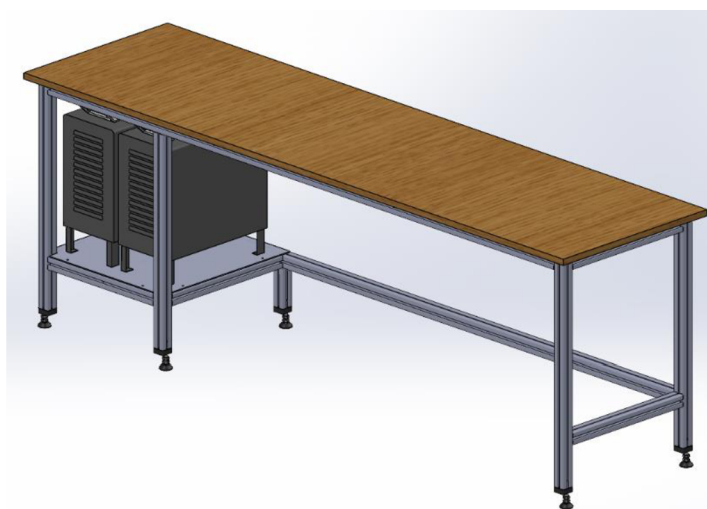
Obr. 47 Vybraná nádrž 300 l [34]

Byla vybrána nádrž, která má požadovaný objem a rozměry 800x1000x600 mm. Nádrž má atest pro styk s potravinami a je odolná vůči většině chemikálií [34]. Je zobrazena na Obr. 47. Na nádrži musí být připevněny senzory, které budou snímat výšku hladiny. Tyto senzory lze připevnit k trubkám, které jsou po stranách nádrže. Nad nádržemi je vhodný prostor, který byl využit na umístění čerpadel, zbytek může sloužit jako odkládací plocha. Konstrukce je tvořena z profilů 40x40 mm od firmy Haberkorn. Police jsou podloženy z voděodolné překližky o tloušťce 18 mm, model je zobrazen na Obr. 48.



Obr. 48 Model konstrukce s nádržemi

Dále je v přípravě umístěn stůl, který slouží pro obsluhu. Je to jednoduchá konstrukce tvořená z profilů a dubové desky, jeho model je zobrazen na Obr. 49. Dále obsahuje polici pro PC a Control box pro robota.



Obr. 49 Model pracovního stolu

7 ANALÝZA RIZIK

Analýza rizik byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 12100:2011, která stanovuje základní principy, terminologii a metodiku pro zajištění bezpečnosti při konstrukci strojních zařízení. Tato norma slouží jako užitečný nástroj pro konstruktéry, poskytující jim pomoc při hodnocení a snižování rizik [36].

Norma ČSN EN ISO 12100:2011 vychází z rozsáhlých znalostí a zkušeností v oblasti konstrukce, praxe, nehod, úrazů a rizik spojených se strojními zařízeními. Popisuje postupy pro identifikaci nebezpečí, jejich odhad a hodnocení rizik v různých fázích životního cyklu stroje. Součástí normy jsou také směrnice pro dokumentaci a ověřování procesu hodnocení rizika a snižování rizika, které vedou k eliminaci nebezpečí a přijetí účinných opatření ke snížení rizika [36].

Podle normy ČSN EN ISO 12100:2011 zahrnuje posouzení rizika následující kroky [36]:

- Určení mezních hodnot strojního zařízení.
- Identifikace nebezpečí spojených se zařízením.
- Odhad rizika pro každou identifikovanou nebezpečnou situaci.
- Zhodnocení rizika a rozhodnutí o zavedení bezpečnostních opatření pro snížení rizika.

7.1 Určení mezních hodnot zařízení

Provedení analýzy rizik strojního zařízení začíná určením jeho mezních hodnot pro celý životní cyklus. To znamená, že je nezbytné identifikovat veškeré vlastnosti a výkonnostní parametry stroje, a to jak pro samotné zařízení, tak i pro integrovaný proces a související osoby, prostředí nebo produkty. Tato identifikace se zaměřuje na stanovení hranic a přípustných hodnot, které ovlivňují chování a funkčnost stroje. [37]

7.1.1 Vymezení používání stroje

Při stanovení mezních hodnot strojního zařízení je prvním krokem vymezení jeho používání, které zahrnuje jak předpokládané, tak potenciálně nesprávné způsoby využití stroje. Tento proces zahrnuje několik hledisek [37]:

- Různé provozní režimy stroje a způsoby zásahů uživatelů. Jsou zohledněny různé způsoby provozu stroje a možné zásahy uživatelů, včetně situací, které by mohly vzniknout při selhání stroje.
- Uživatelé s různými charakteristikami. Berou se v úvahu osobní charakteristiky uživatelů, jako je věk, pohlaví, fyzická omezení a dominantní ruka (pravák/levák). Tyto faktory mohou ovlivnit schopnost uživatele bezpečně pracovat se strojem.
- Úroveň zácvičení, zkušeností a dovedností uživatelů.
- Bezpečnost ostatních osob: Zohledňuje se riziko pro ostatní osoby spojené s provozem strojního zařízení, které lze předvídat.

Tyto aspekty jsou brány v potaz při stanovení mezních hodnot strojního zařízení v souladu s příslušnými normami a směrnici [37].

7.1.2 Vymezení času a prostoru

Dalším významným faktorem je stanovení mezní hodnoty životnosti stroje a příslušných nástrojů, stejně jako komponentů, které jsou podléhají opotřebení a vyžadují údržbu.

To zahrnuje určení časového intervalu, po kterém je nezbytné provést údržbu a případně vyměnit opotřebované části. [37]

Rovněž je důležité definovat omezení a vymezení prostoru, které se týkají interakce mezi strojem a osobami v daném prostředí. Je nezbytné zohlednit požadavky na bezpečný provoz stroje ve vztahu k přítomnosti osob. Současně je nutné vzít v úvahu přívod elektrické energie do stroje a zajistit odpovídající napájení. [37]

Mezi další faktory vymezení patří například vlastnosti zpracování materiálu a požadovaná úroveň čistoty prostředí, což zahrnuje teplotu, vlhkost a stupeň znečištění prostředí pro provoz strojního zařízení. [37]

7.2 Identifikace nebezpečí spojených se zařízením

Při analýze rizik je důležité zohlednit všechna rizika, která se mohou vyskytovat po celou dobu životního cyklu strojního zařízení, ať už trvale nebo neočekávaně. Správná identifikace rizik vyžaduje pečlivé zohlednění všech činností spojených se zařízením, včetně činností prováděných obsluhou, údržbou a technikem při práci se strojem. Je třeba zahrnout všechny mechanismy stroje a také zpracovávaný materiál. Při identifikaci nebezpečí by konstruktér měl zohlednit vzájemné interakce mezi člověkem a strojem, možné stavové podmínky stroje, nepředvídatelné chování obsluhy nebo předvídatelné selhání stroje [37].

7.3 Odhad a zhodnocení rizika

Pro každé identifikované nebezpečí je důležité posoudit velikost rizika prostřednictvím odhadu závažnosti různých prvků. Při této evaluaci je nutné zohlednit několik hledisek, která jsou relevantní pro hodnocení rizika [37].

Po provedení odhadu rizika je důležité provést jeho hodnocení a posoudit, zda bylo dosaženo požadovaného snížení rizika. Je nutné ověřit, zda byla vybrána a použita vhodná ochranná opatření. Přiměřené snížení rizika je stanoveno po aplikaci každého ze tří kroků, které vedou ke snížení rizika [37].

Tímto přístupem je zajištěno, že rizika jsou řádně identifikována, hodnocena a minimalizována a že je dosaženo požadovaného bezpečnostního standardu.

Při hodnocení a snižování rizik se zohledňuje pravděpodobnost výskytu škodlivé události a závažnost následků. Následující stupnice určuje závažnost škod [37]:

S – závažnost škody na zdraví

- S0 žádné nebezpečí, bez potenciálního zranění,
- S1 lehké zranění, bez závažných následků / dočasné následky,
- S2 těžké zranění (trvalé následky),
- S3 smrt nebo těžké zranění více osob (např. trvalá invalidita více osob nebo smrt jedné).

A – četnost a doba trvání ohrožení

- A1 doba trvání je zřídka až častěji,
- A2 doba trvání je často až trvale.

Možnost vyhnout se hrozbě

- E1 možné,
- E2 možné za určitých podmínek / okolností,
- E3 stěží možné.

W – pravděpodobnost vzniku nebezpečné události

- W1 malá,
- W2 střední (událost je pravděpodobná vícekrát za provozu stroje),
- W3 velká (událost je častá).

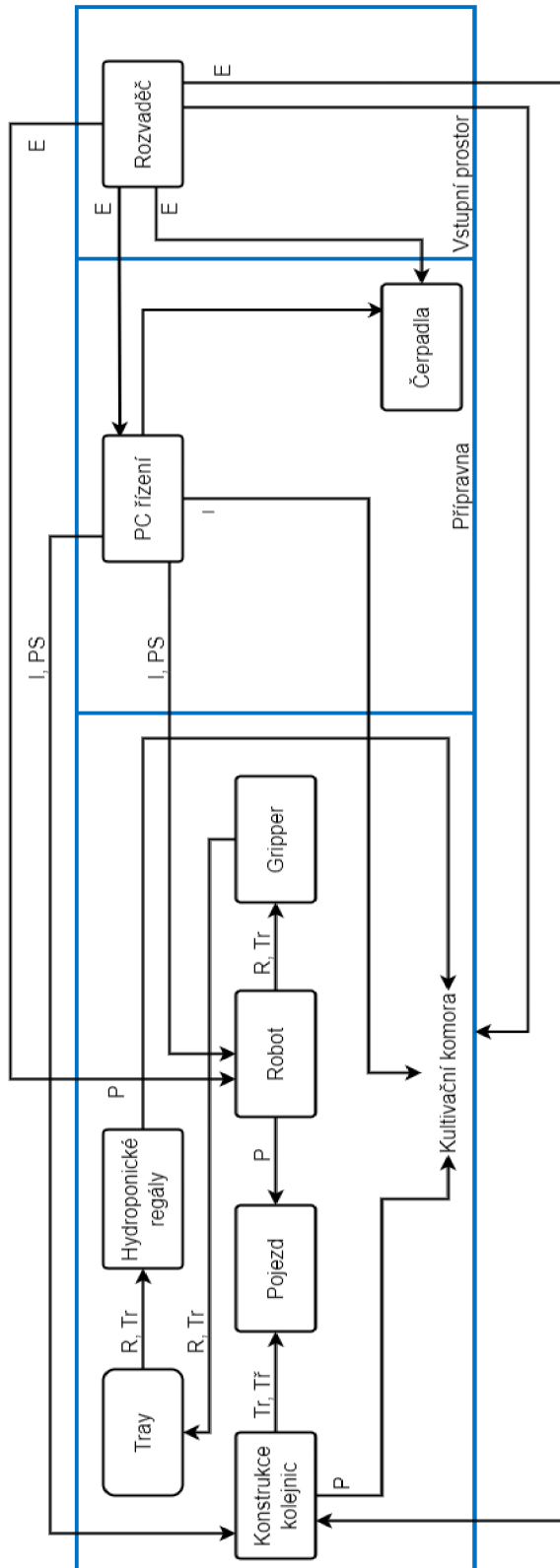
Tab 19) Odhad velikosti rizik

| S0 – Žádné nebezpečí | | | | W1 | W2 | W3 |
|----------------------|-----------|-----------|----|----|----|----|
| Start | S1 | A1 | E1 | 0 | 0 | 1 |
| | | | E2 | 0 | 1 | 2 |
| | | | E3 | 1 | 2 | 3 |
| | | A2 | E1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | E2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | E3 | 4 | 5 | 6 |
| | S2 | A1 | E1 | 5 | 6 | 7 |
| | | | E2 | 6 | 7 | 8 |
| | | | E3 | 7 | 8 | 9 |
| | | A2 | E1 | 8 | 9 | 10 |
| | | | E2 | 9 | 10 | 11 |
| | | | E3 | 10 | 11 | 12 |
| | S3 | A1 | E1 | 11 | 12 | 13 |
| | | | E2 | 12 | 13 | 14 |
| | | | E3 | 13 | 14 | 15 |
| | | A2 | E1 | 14 | 15 | 16 |
| | | | E2 | 15 | 16 | 17 |
| | | | E3 | 16 | 17 | 18 |

Zelená 0–4 znamená akceptovatelné riziko, žlutá 4–6 akceptovatelné riziko po ověření, červená 7-18 neakceptovatelné, musí být zajištěno opatření.

7.3.1 Blokový diagram

První část analýzy spočívá v tvorbě blokového diagramu na Obr. 50. Diagram znázorňuje komponenty zařízení a interakce mezi nimi.



Legenda

- I - Informace
- E - Elektrická energie
- R - Rotace
- Tř - Třecí síla
- Tr - Translace
- P - Polohová vazba
- PS - Pasivní polohová vazba

Obr. 50 Blokový diagram kontejneru

7.3.2 Identifikace relevantních rizik

Tab 20) Přehled nebezpečných prostor zařízení

| Název součásti | Poloha součásti v systému | Typ nebezpečí podle normy ČSN ISO 12100 | Id. č. dle normy ČSN ISO 12100 |
|---------------------|---------------------------------|--|---|
| Tray | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí | 5.3-1, 5.1-1, 1.5-4, 1.2-3 |
| Konstrukce kolejnic | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí, Elektrická nebezpečí | 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 2.3-2, 2.2-2, 2.3-3, 2.4-2, 1.1-5, 1.5-2, 1.2-4 |
| Pojezd | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí | 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 1.1-2, 1.2-1, 6.1-2 |
| Robot | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí, Elektrická nebezpečí | 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 2.3-2, 2.2-2, 2.3-3, 2.4-2, 1.1-5, 1.5-2, 1.2-4 |
| Gripper | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí | 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 1.1-2, 1.2-1, 6.1-2, 4.1-2 |
| Hydroponické regály | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí, Nebezpečí způsobená materiálem/ látkami | 4.1-1, 2.1-1, 2.2-1, 2.2-2, 2.2-3, 2.2-4, 1.4-1, 1.4-3, 1.5-2, 6.1-3 |
| PC řízení | Přípravna – prostor pro obsluhu | Elektrická nebezpečí, Mechanická nebezpečí, Ergonomická nebezpečí | 2.1-1, 2.2-1, 2.2-3, 2.4-2, 2.3-3, 3.1-1, 2.3-1, 1.1-6, 1.2-3, 5.2-1, 1.4-1 |
| Čerpadlo | Přípravna – prostor pro obsluhu | Elektrická nebezpečí, Mechanická nebezpečí, Nebezpečí způsobená materiálem/ látkami, Tepelná nebezpečí | 4.1-1, 2.1-1, 2.2-1, 2.2-2, 2.2-3, 2.2-4, 1.4-1, 1.4-3, 1.5-2, 6.1-3, 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 1.1-2, 1.2-1, 6.1-2 |
| Rozvaděč | Vstupní prostor | Elektrická nebezpečí, Mechanická nebezpečí, Tepelná nebezpečí | 4.1-1, 2.1-1, 2.2-1, 2.2-2, 2.2-3, 2.2-4, 1.4-1, 1.4-3, 1.5-2, 6.1-3, 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 1.1-2, 1.2-1, 6.1-2 |
| Obslužné okno | Kultivační komora | Mechanická nebezpečí, Ergonomická nebezpečí | 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 1.1-2, 1.2-1, 6.1-2, 4.1-2, 5.4-1, 5.2-1 |
| Pracovní stůl | Přípravna – prostor pro obsluhu | Mechanická nebezpečí, Ergonomická nebezpečí | 1.2-3, 1.1-6, 1.4-1, 1.5-3, 1.1-2, 1.2-1, 6.1-2, 4.1-2, 5.4-1, 5.2-1 |

7.3.3 Identifikovatelná rizika

Tab 21) Přehled identifikovaných závažných nebezpečí

| Přehled identifikovaných závažných nebezpečí | |
|---|--|
| 1 | Mechanická nebezpečí |
| 1.1 | Nebezpečí stlačením |
| 1.1-1 | Nebezpečí stlačení při vykládání velkých částí stroje |
| 1.1-2 | Nebezpečí stlačení při montáži stroje a manipulaci s jeho velkými částmi |
| 1.1-3 | Nebezpečí stlačení při nakládání stroje a manipulaci s jeho velkými částmi |
| 1.1-4 | Při výměně rozměrných částí hrozí přimáčknutí při manipulaci s nimi |
| 1.1-5 | Nebezpečí stlačení při vykládání/ nakládání velkých částí stroje |
| 1.1-6 | Nebezpečí stlačení při manipulaci s výrobkem |
| 1.2 | Nebezpečí pořezáním |
| 1.2-1 | Při sestavování stroje hrozí pořezání o ostré hrany stroje |
| 1.2-2 | Gripper se může otáčet a jeho ostrá část může způsobit pořezání |
| 1.2-3 | Při manipulaci s nástroji může dojít k pořezání |
| 1.2-4 | Při demontáži stroje a jeho jednotlivých částí se lze pořezat ostré hrany |
| 1.3 | Nebezpečí odřením |
| 1.2-3 | Při balení stroje se lze odřít o drsné plochy |
| 1.2-4 | Při sestavování stroje se lze odřít o drsné plochy |
| 1.4 | Nebezpečí uklouznutím a zakopnutím |
| 1.4-1 | Při doplňování provozních kapalin může dojít k jejich rozlítí provozních kapalin může dojít k uklouznutí na nich |
| 1.4-2 | Nebezpečí vystříknutím |
| 1.4-3 | Při plnění provozních kapalin může dojít k jejich vystříknutí do oka |
| 1.5 | Nebezpečí naražením |
| 1.5-1 | Při demontáži stroje se může uvolnit jeho část a narazit do člověka |
| 1.5-2 | Při odvozu stroje a jeho špatném zajištění se může uvolnit část stroje a na někoho spadnout |
| 1.5-3 | Při montáži stroje může člověk narazit o vyčnívající část konstrukce |
| 1.5-4 | Při pohybu gripperu může dojít k nárazu |
| 2 | Nebezpečí úrazu el. proudem |
| 2.1 | Nebezpečí požáru |
| 2.1-1 | Nebezpečí vzniku požáru při poruše stroje. |
| 2.2 | Nebezpečí smrti el. proudem |
| 2.2-1 | Při zapojování stroje pod proudem může dojít ke kontaktu člověka se živými částmi stroje a jeho usmrcení |
| 2.2-2 | Při opravování el. součástí pod proudem může dojít k usmrcení el. proudem |

| | |
|----------|--|
| 2.2-3 | Při odpojování stroje pod proudem může dojít ke kontaktu člověka se živými částmi stroje a usmrcení |
| 2.3 | Nebezpečí úrazu el. proudem |
| 2.3-1 | Při zapojování stroje pod proudem může dojít ke kontaktu člověka se živými částmi stroje a zranění |
| 2.3-2 | Při opravování el. součástí pod proudem může dojít k poranění el. proudem |
| 2.3-3 | Při odpojování stroje pod proudem může dojít ke kontaktu člověka se živými částmi stroje a následnému poranění od el. proudu |
| 2.4 | Nebezpečí popálenin |
| 2.4-1 | Při zapojování stroje může dojít ke kontaktu člověka s el. proudem a jeho popálení |
| 2.4-2 | Při odpojování stroje může dojít ke kontaktu člověka s el. proudem a jeho popálení |
| 3 | Tepelná nebezpečí |
| 3.1 | Popálení |
| 3.1-1 | Popálení od porouchaného elektrického zařízení |
| 4 | Materiálová nebezpečí |
| 4.1 | Nebezpečí infekce |
| 4.1-1 | Nebezpečí infekce při styku kůže/otevřené rány s olejem hrozí infekce |
| 4.1-2 | Nebezpečí infekce při styku kůže/otevřené rány s olejem při doplňování provozních kapalin |
| 4.1-3 | Nebezpečí infekce při čištění stroje – špinavých ploch a jejich styku s kůží/otevřené rány – hrozí infekce |
| 4.1-4 | Při práci se starými součásti stroje, které jsou znečištěny hrozí infekce |
| 5 | Nebezpečí způsobená špatnou ergonomií |
| 5.1 | Nebezpečí způsobená nepohodlím |
| 5.1-1 | Nebezpečí způsobena špatným umístěním ovládacího panelu u stroje |
| 5.2 | Nebezpečí způsobena únavou |
| 5.2-1 | Z důvodu špatného pracovního prostoru hrozí zbytečné namáhání při obsluze stroje |
| 5.3 | Nebezpečí způsobená stresem |
| 5.3-1 | Z důvodu nepohodlného pracovního prostředí může nastat stres |
| 5.4 | Nebezpečí způsobená svalově kosterní poškození |
| 5.4-1 | Z důvodu špatného pracovního prostoru hrozí zbytečné namáhání při obsluze stroje, což může vést k zdravotním problémům |
| 6 | Nebezpečí spojená s environmentem, ve kterém je stroj používán |
| 6.1 | Lidská chyba |
| 6.1-1 | Lidská chyba špatného nastavení průtoku kapaliny |

| | |
|----------|---|
| 6.1-2 | Lidská chyba špatné montáže/demontáže |
| 6.1-3 | Lidská chyba vylití kapaliny |
| 6.1-4 | Lidská chyba pád stroje |
| 7 | Nebezpečí způsobená neočekávaným spuštěním |
| 7.1 | Obnovení přívodu energie po jejím přerušení |
| 7.1-1 | Neočekávané spuštění stroje po obnovení dodávek energie |

7.3.4 Analýza významných nebezpečí

V této kapitole jsou uvedena rizika spojená s jednotlivými fázemi životního cyklu zařízení. Nejkritičtější rizika, která byla identifikována, jsou zvýrazněna šedě a pro 8 z nich byla navržena vzorová preventivní opatření.

Tab 22) Analýza významných nebezpečí během životních cyklů zařízení

| ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ – ŽIVOTNÍ CYKLUS | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|-----------|---|--------------------|---|---|---|----|--|
| Poř. číslo | Fáze životního cyklu | Typ nebezpečí (dle ČSN EN ISO 12100) | | Popis nebezpečné události: | Určení míry rizika | | | | | |
| | | Stručný popis | id. číslo | | S | A | E | W | MR | |
| 1 | Výroba | | | | | | | | | |
| 1.1 | Montáž podsestav | Stlačení | 1.1-2 | Při montáži podsestav může dojít ke stlačení končetin mezi jednotlivé komponenty, pořezání o ostré hrany nebo k lidské chybě při montáži. | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 | |
| | | Pořezání | 1.2-1 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 | |
| | | Narazení | 1.5-3 | | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | |
| | | Lidská chyba | 6.1-2 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 | |
| 1.2 | Kompletace | Stlačení | 1.1-2 | Při montáži může dojít ke stlačení končetin mezi jednotlivé komponenty, pořezání o ostré hrany nebo k lidské chybě při montáži. | 2 | 2 | 3 | 3 | 12 | |
| | | Pořezání | 1.2-1 | | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | |
| | | Narazení | 1.5-3 | | 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | |
| | | Lidská chyba | 6.1-2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | |
| 2 | Doprava | | | | | | | | | |
| 2.1 | Nakládání, přeprava, vykládání | Stlačení | 1.1-1 | Při transportu zařízení může dojít k zavalení člověka a tím pádem jeho zranění, případně smrti. | 3 | 1 | 2 | 2 | 13 | |
| | | Lidská chyba | 6.1-4 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | |
| 3 | Montáž a instalace, uvedení do provozu | | | | | | | | | |
| 3.1 | Plnění provozními kapalinami | Infekce | 4.1-2 | Při plnění provozními kapalinami může dojít k rozlítí provozní kapaliny nebo její vystříknutí. | 2 | 2 | 2 | 1 | 9 | |
| | | Uklouznutí a zakopnutí | 1.4-1 | | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 | |
| | | Vystříknutí | 1.4-3 | | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 | |
| 3.2 | Zapojení do el. sítě | Požár | 2.1-1 | Při zapojování do el. sítě hrozí nebezpečí úrazu el. proudem. | 2 | 1 | 1 | 3 | 7 | |
| | | Smrt el. proudem | 2.2-1 | | 3 | 2 | 3 | 2 | 17 | |
| | | Úraz el. proudem | 2.3-1 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 | |
| | | Popálení | 3.1-1 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 | |
| 4 | Provoz | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------|--|------------------------|-------|---|---|---|---|---|----|
| 4.1 | Obsluha stolu | Stlačení | 1.1-6 | Při obsluze stolu může dojít ke stlačení, případnému pořezání se u práce s ním nebo o zakopnutí. | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| | | Pořezání | 1.2-3 | | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Nepohodlí | 5.2-1 | | 2 | 2 | 2 | 3 | 11 |
| | | Uklouznutí a zakopnutí | 1.4-1 | | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 |
| 4.2 | Obsluha okýnka | Pořezání | 1.2-3 | Při obsluze okýnka může dojít k nárazu robotem a pořezání o gripper. Špatné umístění okýnka může způsobit zdravotní problémy při obsluze. | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Nepohodlí | 5.4-1 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 |
| | | Naražení | 1.5-4 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |
| 4.3 | Práce s trayem | Stres | 5.3-1 | Při obsluze trayu hrozí nepohodlí z práce a tím způsobeným stresem, pracovník se může narazit, případně pořezat při tvorbě materiálu. | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Nepohodlí | 5.1-1 | | 2 | 1 | 2 | 3 | 8 |
| | | Naražení | 1.5-4 | | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| | | Pořezání | 1.2-3 | | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 5 | Údržba stroje | | | | | | | | |
| 5.1 | Doplňování hydroponie | Vystříknutí | 1.5-2 | Při doplňování hydroponie může dojít k jejich rozlítí, možném vystříknutí a následném uklouznutím. | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Lidská chyba | 6.1-3 | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| | | Uklouznutí a zakopnutí | 1.4-1 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |
| 5.2 | Čištění stroje | Pořezání | 1.2-4 | Při čištění stroje dochází ke styku s provozními medii, ostrými částmi stroje. | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| | | Uklouznutí a zakopnutí | 1.4-1 | | 2 | 1 | 2 | 3 | 8 |
| | | Vystříknutí | 1.4-3 | | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| | | Naražení | 1.5-3 | | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Infekce | 4.1-3 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 |
| 5.3 | Mazání | Pořezání | 1.2-3 | Při mazání může dojít k pořezání, naražení a případnému uklouznutí na mazivu. | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Uklouznutí a zakopnutí | 1.4-1 | | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| | | Naražení | 1.5-3 | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 5.4 | Výměna opotřebovaných částí | Pořezání | 1.2-3 | Při výměně a manipulacemi s částmi stroje, může dojít k poranění. | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| | | Stlačení | 1.1-6 | | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 6 | Vyhledávání závad a jejich odstraňování | | | | | | | | |
| 6.1 | Opravování | Pořezání | 1.2-3 | Při odstraňování závad stroje může dojít k pořezání, stlačení při manipulaci s jeho částmi. K úrazu od el. energie. Nepohodlí k špatně dosažitelným částem. | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |
| | | Stlačení | 1.1-6 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |
| | | Úraz el. proudem | 2.3-2 | | 2 | 2 | 1 | 2 | 9 |
| | | Smrt el. proudem | 2.2-2 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 16 |
| | | Naražení | 1.5-3 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |
| 7 | Vyřazení z provozu, demontáž | | | | | | | | |
| 7.1 | Odpojení el. energie | Úraz el. proudem | 2.3-3 | Při odpojení stroje od sítě může dojít k různým druhům poranění od el. proudu, případně smrt. | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |
| | | Smrt el. proudem | 2.2-3 | | 3 | 2 | 1 | 2 | 15 |
| | | Popálení | 2.4-2 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 |
| 7.2 | Demontáž stroje | Stlačení | 1.1-5 | | 3 | 1 | 2 | 2 | 13 |
| | | Naražení | 1.5-2 | | 2 | 1 | 1 | 3 | 7 |

| | | | | | | | | | |
|-----|--------------|----------|-------|--|---|---|---|---|----|
| | | Pořezání | 1.2-4 | Při demontáži stroje může dojít k naražení/ přimáčknutí od těžkých částí stroje, případnému pořezání. | 2 | 1 | 1 | 3 | 7 |
| 7.3 | Odvoz stroje | Stlačení | 1.1-5 | Při transportu zařízení může dojít k zavalení člověka – stlačení a tím pádem jeho zranění, případně smrti. | 3 | 2 | 2 | 2 | 16 |
| | | Naražení | 1.5-1 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 7 |

7.3.5 Zhodnocení rizika a bezpečnostní opatření

Abychom minimalizovali hodnotu každého neakceptovatelného rizika, je nutné provést tři kroky směřující k dosažení co nejnižší přijatelné hodnoty. Vzhledem k rozsahu této práce není možné zpracovat všechny formuláře, proto bylo vypracováno pouze 8 nejkritičtějších rizik.

| | | | | |
|---|--|--|----------------------------------|--|
| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | | |
| | | 1 Mechanická nebezpečí | | |
| 1.1-2 | 1.2 | Nebezpečí stlačení při montáži stroje a manipulaci s jeho velkými částmi | | |
| Životní etapa stroje: | Výroba | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor | | |
| Ohrožené osoby: | Montér | Provozní stav stroje: Výroba | | |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při montáži může dojít ke stlačení končetin mezi jednotlivé komponenty. | | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 12 | |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E3 – stěží možné | | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W3 – velká, častý výskyt | | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | | |
| Popis opatření: | Zohlednit při návrhu konstrukce komponent jejich kompletaci. To znamená, že konstrukce se budou do kontejneru přemísťovat po částech, které budou jednoduše smontovatelné. | | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 7 | |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | | |

| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |
|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| Popis opatření: | Během montáže musí mít pracovník vhodné pracovní oblečení, boty s bezpečnostní třídou S3, sepnuté vlasy. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:3 Informace pro používání | | | |
| Popis opatření: | Pracovník musí mít školení BOZP. Montáž probíhá dle montážního postupu zohledňující bezpečnost. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – malá nebo nepravděpodobná | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 |

| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
|--------------------------|----------------------------------|--|---|
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 6 Nebezpečí spojená s environmentem, ve kterém je stroj používán | |
| 6.1-4 | 2.1 | Lidská chyba pád stroje | |
| Životní etapa stroje: | Doprava | | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor |
| Ohrožené osoby: | Pracovník – doprava | | Provozní stav stroje: Montáž a instalace, uvedení do provozu |

| | | | |
|--|--|--|----------------------------------|
| Popis nebezpečné situace/události: | Při transportu zařízení může dojít k zavalení člověka a tím pádem jeho zranění, případně smrti. | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S3 – smrt | Velikost rizika 13 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |
| Popis opatření: | Během přesunu kontejneru budou umístěny v pracovním prostoru jeřábu zábrany. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 6 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W1 – malá | |
| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |
| Popis opatření: | Během montáže musí mít pracovník vhodné pracovní oblečení, boty s bezpečnostní třídou S3, sepnuté vlasy. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 5 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E1-možné | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W1 – malá | |
| Krok:3 Informace pro používání | | | |
| Popis opatření: | Pracovník musí mít školení BOZP a platné školení jeřábníka ČSN ISO 12480-1. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E1-možné | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W1 – malá | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | Bc. Lucie Dobrovolná | | 20.05.2023 |

| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
|--|---|--|---|
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 2 Nebezpečí úrazu el. Proudem | |
| 2.2-1 | 3.2 | Při zapojování stroje pod proudem může dojít ke kontaktu člověka se živými částmi stroje a jeho usmrcení | |
| Životní etapa stroje: | Montáž a instalace, uvedení do provozu | | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor |
| Ohrožené osoby: | Pracovník | | Provozní stav stroje: Montáž a instalace, uvedení do provozu |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při zapojování do el. sítě hrozí nebezpečí úrazu el. proudem. | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S3 – smrt | Velikost rizika 17 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E3 – stěží možné | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |
| Popis opatření: | Kabely by měly být umístěny v ochranných kabelových žlabech. Neživé části by měly být vhodně ochráněny. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 6 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W1 – malá | |
| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |
| Popis opatření: | Provedení elektro-revize zařízení. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 6 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |

| | | | |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------|
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W1 – malá | |
| Krok:3 Informace pro používání | | | |
| Popis opatření: | Práce smí být prováděny pouze prověřenou a proškolenou osobou s elektrotechnickou kvalifikací dle vyhl. 50/1978 Sb. Na zařízení by měly být umístěny výstražné štítky upozorňující na elektrické zařízení. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | 0 |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W1 – malá | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 |

| | | | |
|--|--|--|---|
| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 5 Nebezpečí způsobená špatnou ergonomií | |
| 5.2-1 | 4.1 | Z důvodu špatného pracovního prostoru hrozí zbytečné namáhání při obsluze stroje | |
| Životní etapa stroje: | Provoz | | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor |
| Ohrožené osoby: | Pracovník | | Provozní stav stroje: Provoz |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při obsluze stolu může vzniknout v důsledku špatné ergonomie zdravotní následek. | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | 11 |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W3 – velká, častý výskyt | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |

| | |
|-----------------|---|
| Popis opatření: | Stůl vybaven nohama s možnou polohovatelností, aby u něj mohl pracovník v případě potřeby stát. |
|-----------------|---|

| | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 7 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |

Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření

| | |
|-----------------|--|
| Popis opatření: | U stolu by měla být umístěna vhodná kancelářská židle. |
|-----------------|--|

| | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |

Krok:3 Informace pro používání

| | |
|-----------------|---|
| Popis opatření: | U stolu umístěny obrázky pro správné rozcvičení při sedavé práci a pro správné nastavení stolu. |
|-----------------|---|

| | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |

| | | |
|-------------------------------------|----------------------|------------|
| Validace: Opatření jsou dostačující | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 |
|-------------------------------------|----------------------|------------|

| | | | |
|--------------------------|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 2 Nebezpečí úrazu el. proudem | |

| | | | |
|--|--|---|----------------------------------|
| 2.2-2 | 6.1 | Při opravování el. součástí pod proudem může dojít k usmrcení el. Proudem | |
| Životní etapa stroje: | Vyhledávání závad a jejich odstraňování | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor | |
| Ohrožené osoby: | Technik | Provozní stav stroje: Vyhledávání závad a jejich odstraňování | |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při odstraňování závad stroje může dojít k úrazu od el. energie, případně smrti. | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S3 – smrt | Velikost rizika 16 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |
| Popis opatření: | Kabely by měly být umístěny v ochranných kabelových žlabech. Neživé části by měly být vhodně ochráněny. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 10 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |
| Popis opatření: | Provedení výchozí elektro – revize zařízení dle normy ČSN 33 1500. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:3 Informace pro používání | | | |
| Popis opatření: | Práce smí být prováděny pouze prověřenou a proškolenou osobou s elektrotechnickou kvalifikací dle vyhl. 50/1978 Sb. Na zařízení by měly být umístěny výstražné štítky upozorňující na elektrické zařízení. | | |

| | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 2 Nebezpečí úrazu el. Proudem | |
| 2.2-3 | 7.1 | Při opravování el. součástí pod proudem může dojít k usmrcení el. Proudem | |
| Životní etapa stroje: | Vyřazení z provozu, demontáž | | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor |
| Ohrožené osoby: | Technik | | Provozní stav stroje: Vyřazení z provozu, demontáž |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při odstraňování závad stroje může dojít k úrazu od el. energie, případně smrti. | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S3 – smrt | Velikost rizika 15 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |
| Popis opatření: | Kabely by měly být umístěny v ochranných kabelových žlabech. Neživé části by měly být vhodně ochráněny. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 10 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |

| | | | |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| Popis opatření: | Provedení výchozí elektro – revize zařízení dle normy ČSN 33 1500. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:3 Informace pro používání | | | |
| Popis opatření: | Práce smí být prováděny pouze prověřenou a proškolenou osobou s elektrotechnickou kvalifikací dle vyhl. 50/1978 Sb. Na zařízení by měly být umístěny výstražné štítky upozorňující na elektrické zařízení. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 | |

| | | | |
|------------------------------------|--|--|---|
| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 1 Mechanická nebezpečí | |
| 1.1-5 | 7.2 | Nebezpečí stlačení při montáži stroje a manipulaci s jeho velkými částmi | |
| Životní etapa stroje: | Vyřazení z provozu, demontáž | | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor |
| Ohrožené osoby: | Montér | | Provozní stav stroje: Vyřazení z provozu, demontáž |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při demontáži stroje může dojít k naražení/ přimáčknutí od těžkých částí stroje. | | |

| | | | |
|--|--|--|----------------------------------|
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S3 – smrt | Velikost rizika 13 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |
| Popis opatření: | Zohlednit při návrhu konstrukce komponent jejich demontáž. To znamená, že konstrukce se budou do kontejneru přemísťovat po částech, které budou jednoduše smontovatelné. Spojovací materiál bude volen tak, aby byl lehce přístupný. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 7 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |
| Popis opatření: | Během montáže musí mít pracovník vhodné pracovní oblečení, boty s bezpečnostní třídou S3, sepnuté vlasy. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:3 Informace pro používání | | | |
| Popis opatření: | Pracovník musí mít školení BOZP. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 1 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 |

| VUT v Brně, FSI ÚVSSR | FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA | | Stroj: Robotická buňka v kontejneru |
|--|--|--|---|
| | Zpracovala: Bc. Lucie Dobrovolná | | Datum: 20.5.2023 |
| Číslo nebezpečí | Identif. číslo | Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 | |
| | | 1 Mechanická nebezpečí | |
| 1.1-5 | 7.3 | Nebezpečí stlačení při montáži stroje a manipulaci s jeho velkými částmi | |
| Životní etapa stroje: | Vyřazení z provozu, demontáž | | Nebezpečný prostor: Pracovní prostor |
| Ohrožené osoby: | Montér | Provozní stav stroje: Vyřazení z provozu, demontáž | |
| Popis nebezpečné situace/události: | Při transportu zařízení může dojít k zavalení člověka – stlačení a tím pádem jeho zranění, případně smrti. | | |
| Počáteční riziko: | Závažnost možné škody na zdraví | S3 – smrt | Velikost rizika 16 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E2-možné za určitých podmínek | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci | | | |
| Popis opatření: | Během přesunu kontejneru budou umístěny v pracovním prostoru jeřábu zábrany. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S2 – těžké zranění s trvalými následky | Velikost rizika 9 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E1-možné | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření | | | |
| Popis opatření: | Během montáže musí mít pracovník vhodné pracovní oblečení, boty s bezpečnostní třídou S3, sepnuté vlasy. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika 3 |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A2 – často až trvale | |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E1-možné | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |

| Krok:3 Informace pro používání | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|-----------------|
| Popis opatření: | Pracovník musí mít školení BOZP a platné školení jeřábníka ČSN ISO 12480-1. | | |
| Snížené riziko po opatření | Závažnost možné škody na zdraví | S1 – lehké zranění, dočasné následky | Velikost rizika |
| | Četnost a doba trvání ohrožení | A1 – zřídka až častěji | 1 |
| | Možnost vyvarování se nebezpečí | E1-možné | |
| | Možnost vzniku nebezpečné události | W2 – střední | |
| Validace: Opatření jsou dostačující | | Bc. Lucie Dobrovolná | 20.05.2023 |

8 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkresová dokumentace byla zpracována v programu SolidWorks. Pro zpracování byly vybrány výkresy sestav a výkres hlavní sestavy. Vzhledem k tomu, že je diplomová práce z prostředí firmy PSI, nebylo možné vytvářet podrobnou dokumentaci, ale odevzdávat modely zařízení.

Způsob pojmenování výkresů byl zvolen:

Iniciály autora (LD) - Zařízení (TP) - Typ výkresu (HS – hlavní sestava, PS – podsestava a D – díl) - Pořadové číslo

| Název | Číslo výkresu |
|--|---------------|
| Stojan pro robota – TM12 | LD-TP-D-01 |
| Plastová vana | LD-TP-D-02 |
| Lineární pojezd pro robota | LD-TP-PS-01 |
| Gripper | LD-TP-PS-02 |
| Sestava hydroponických regálů | LD-TP-PS-03 |
| Pojezd pro robota | LD-TP-PS-04 |
| Sestava konstrukce FluorCam | LD-TP-PS-05 |
| Obslužná police | LD-TP-PS-06 |
| Robotická buňka pro růstovou komoru v kontejneru | LD-TP-HS-01 |

9 EKONOMICNÉ ZHODNOCENÍ

V následující tabulce je zahrnuto ekonomické zhodnocení z hlediska materiálu. Jedná se o přibližné ceny nakupovaných komponent.

Tab 23) Cena a počet komponentů

| Prvek | Cena za kus, nebo metr [Kč] | Množství [ks; m] | Celkem cena [Kč] |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|
| Profil 80x40 | 775 | 157 | 121 673 |
| Profil 40x40 | 585 | 13 | 7 883 |
| Patka | 535 | 24 | 12 840 |
| Noha | 255 | 24 | 6 120 |
| Řemenice | 4 000 | 2 | 8 000 |
| Napínák řemene | 1 700 | 1 | 1 700 |
| Řemen | 225 | 9 | 2 025 |
| Domek pojezdu | 754 | 1 | 754 |
| Převodovka | 9 785 | 1 | 9 785 |
| Motor | 14 584 | 1 | 14 584 |
| Kolejnice | 1 676 | 9 | 15 084 |
| Vozíček | 480 | 4 | 1 920 |
| Spojka | 1 816 | 1 | 1 816 |
| Doraz | 300 | 4 | 1 200 |
| Platová vana | 8 900 | 8 | 71 200 |
| Hřídel | 262 | 1 | 262 |
| Povrchová úprava kolejnic | 880 | 1 | 880 |
| Spojovací materiál | - | - | 20 000 |
| Senzor | 2 790 | 3 | 8 370 |
| Robot Omron TM12, kamera, DC napájení | 781 360 | 1 | 781 360 |
| Oblek na robota | 2 000 | 1 | 2 000 |
| Cena celkem | | | 1 089 456 Kč |

Cena konstrukce, spojovacího materiálu a dalších komponent vychází na 1 089 457 Kč. Do ekonomického zhodnocení nebyla započítána práce.

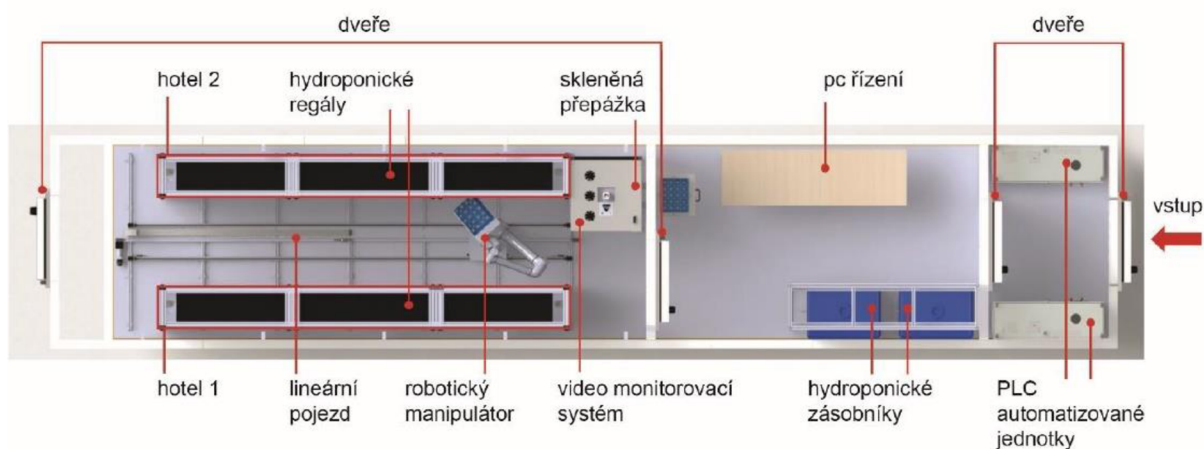
10 ZHODNOCENÍ A DISKUSE

V rámci této práce byla vytvořena konstrukce robotické buňky v kontejneru, která je unikátní vzhledem ke své sterilitě, schopnosti homogenně regulovat mikroklimatické parametry. Výsledky této diplomové práce byly aplikovány v praxi. Vyrobená konstrukce funguje na základě předem stanovených parametrů. Jeho finální vzhled z venkovní části je zobrazen na Obr. 51. Na základě vytvořeného prototypu lze říct, že předem stanovené cíle byly splněny.



Obr. 51 Kontejner na pozemku firmy PSI [3]

Finální rozložení vnitřní části kontejneru je zobrazeno na obrázku Obr. 52. Vestavba v přípravě obsahuje konstrukci pracovního stolu. Hydroponické zásobníky na protější straně zajišťují dostatek vody do celého systému a zároveň jejich konstrukce umožňuje uložení čerpadel. Je oddělena skleněnou přepážkou, která dovoluje obsluhu kultivační místnosti a zároveň servisní přístup. V kultivační místnosti jsou umístěny regály, které obsahují dohromady 80 trayů, každý regál je ovládán samostatně. Robotické rameno je schopno se dostat do nejvyšších polic regálu a zároveň využít prostor ve spodní části kontejneru. Po delší straně kultivační místnosti jej přemísťuje lineární pojezd, který umožňuje obsluhu zařízení FluorCam i obslužné police. Robotické rameno umožňuje přesun do pozice na konci kontejneru, díky tomu je možná obsluha, servis, případně čištění.



Obr. 52 Finální rozložení kontejneru

Zařízení uvnitř kultivační místnosti odolává změnám teplot, vlhkosti. Je schopné pracovat s udržení sterility. Může být využito při plně automatizované pěstování rostlin. Je kompaktní a uživatel ho může mít postaven na parkovišti, je k tomu potřeba jen elektrická energie a voda. V robotické buňce je možné produkovat rostliny bez klimatického vlivu, není závislý na počasí, může produkovat rostliny bez rizika plísní, bakterií atd. Jedná se o jediné zařízení na trhu.

Možným dalším pokračováním by mohlo být zjednodušení konstrukce, vytvoření estetičtějších variant – primárně obslužné police a gripperu, případně by konstrukce mohla být zjednodušena na výrobu i následnou montáž. Kolejnice usazené na lineárním pojezdu by mohly být zvoleny z nerezové oceli, varianta je sice dražší než v případě využití povrchové úpravy, ale byla by značně jednodušší. Z důvodu firemního zadání byl zvolen kolaborativní robot, protože je to z firemního hlediska jednodušší řešení. I přesto by mohla koncepční varianta A dotažena k lepším výsledkům. Toto řešení by stálo za úvahu při masové produkci robotických buněk v kontejneru.

Na obrázku Obr. 53 je vyfocena přípravná, lze na něm vidět skleněná přepážka s obslužným oknem.



Obr. 53 Obslužné okno

Na obrázku Obr. 54 je zobrazen gripper, který je z hlediska funkčnosti vhodný a otestovaný. Na pravé straně obrázku je znázorněna ukázka práce robotu s gripperem a trayem plným bazalky.



Obr. 54 Přesun traye pomocí gripperu

Finální prostor kultivační místnosti je vyfocen na obrázku Obr. 55. Lze vidět malý prostor, ve kterém se robot musí pohybovat. Zároveň jsou viditelné výsledky na rostlinách.



Obr. 55 Finální sestava kontejneru

11 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh robotické buňky pro růstovou komoru v kontejneru. V první části práce byla rozebrána rešerše, která obsahovala současný stav poznání.

Následovala kapitola třetí – Systémový rozbor, kde se stanovily veličiny, které jsou důležité pro návrh robotické buňky, bylo vytvořeno přehledné schéma, znázorňující potřebný prostor pro jednotlivé komponenty.

Na systémový rozbor navazovala kapitola 4 – Koncepční řešení, ve které byly vytvořeny tři varianty způsobu manipulace s trayem. Následně v další kapitole využita multikriteriální analýza, pomocí které bylo vybráno optimální řešení pro tuto aplikaci – Varianta C. Tedy varianta, využívající robotické rameno, pochybuje se po kontejneru pomocí lineárního vedení.

V další kapitole konstrukční řešení byly nejprve na základě dostupnosti komponent vytvořeny výpočty, které zkontrolovaly komponenty z hlediska sil a momentů. Další částí této kapitoly bylo vytvoření konstrukčního řešení zakládajícího se na koncepční variantě C. Konstrukční část byla popsána a podložena vhodnými obrázky s popiskem pro jasné pochopení problematiky.

V kapitole sedm – Analýza rizik byla konstrukce subjektivně zanalyzována z hlediska bezpečnosti na základě normy ČSN EN ISO 12100:2011. Subjektivně byla posouzena četnost výskytu nebezpečných událostí a úrovně jejich závažnosti. Na nejkritičtěji hodnocené byly vytvořeny opatření, které mají případným událostem zamezit.

Výkresová dokumentace zahrnuje výkresy sestav, hlavní sestavy, svařence a svařované plastové vany. Následující ekonomické hodnocení byla na základě odhadnutých cen komponent.

Z hlediska požadovaných parametrů splňuje konstrukce většinu požadavků. Na základě modelu a výkresové dokumentace byl vyroben prototyp, který splňuje předem stanovené požadavky. Existují možnosti, jak vylepšit funkčnost prototypu, případně jeho estetickou stránku. Další testování s odstupem času ukáže případné nedostatky zařízení.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Farm In A Box: The Ultimate Guide To Container Farming. *FARMERS REVIEW AFRICA* [online]. Mailing Times media, 2021, 16.3.2021 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <http://farmersreviewafrica.com/container-farming/>
- [2] PSI (Photon Systems Instruments), spol. s r.o. TECH-IN-PLAR – technologická základna pro rychlou produkci rostlinného materiálu metodou mikropropagace. [21.10.2022].
- [3] BENEDIKTY, Zuzana. PHOTON SYSTEMS INSTRUMENTS, SPOL. s. r. o. Technologický Komplex "TECH-IN-PLAR": Dokumentace ověřené technologie. Drásov, 2021.
- [4] KNITL, Michal. Využití mikropropagace u vybraných druhů ohrožených dřevin. Olomouc, 2011. Bakalářská práce. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI Přírodovědecká fakulta Katedra botaniky. Vedoucí práce RNDr. Božena Navrátilová, Ph.D.
- [5] Mateční rostlina. Cannapedia [online]. Praha: Cannapedia [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www.cannapedia.cz/cs/slovník-konopnych-pojmu/matecni-rostlina>
- [6] Hydroponie – co vlastně obnáší a jak začít? HiGarden.cz - Vše pro Indoor a Outdoor pěstování [online]. Praha: Pobo Page Builder [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.higarden.cz/blog/hydroponie-co-obnasi-a-jak-zacit/>
- [7] ROBINSON, Brock. What Are Hydroponic Systems and How Do They Work?. Fresh Water Systems [online]. Greenville: Fresh Water Systems, 2019, 06.09.2019 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-are-hydroponic-systems>
- [8] DROP & GROW™: Aeroponic container farms powered by LettUs Grow. LettUs GROW [online]. Bristol: LettUs GROW [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <https://www.lettusgrow.com/container-farm>
- [9] MARCHES, Kieron. Automated cannabis farm employs robotic arms and AI to help marijuana industry grow. Designboom [online]. designboom, 2019, 08.04.2019 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.designboom.com/technology/seedo-lab-automated-cannabis-farm-robotic-arms-artificial-intelligence-04-08-2019/>
- [10] Automated Commercial Containers for Cannabis Cultivation. AgriTechTomorrow [online]. Huntington Beach: AgriTechTomorrow.com, 2019, 30.9.2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.agritechtomorrow.com/article/2019/09/automated-commercial-containers-for-cannabis-cultivation/11680>
- [11] Iron Ox: Technology [online]. Iron Ox [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://ironox.com/technology/>
- [12] TARANTOLA, Andrew. The future of indoor agriculture is vertical farms run by robots. Engadget: Technology News & Reviews [online]. Yahoo, 3.10.2018 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: https://www.engadget.com/2018-10-03-future-indoor-agriculture-vertical-farms-robots.html?guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAMx9k_mtIhWioe6zyIRdA91zl8lnliLzHIVXLx8MjW4ycgn9qUD3_pR0FDk6Of2u8vUp3uu_T0DKRbd_BpeiaAIqUBeZZDmrXBCdLZeEkhdeFmqRXJ4stuA

XbMUNP5BCW3ixcXMn6uuh0eJcsILaCRG0lh_JO4v2AsYlhWTztnic&guccounter=2

- [13] FATER, Luke. Fresh Produce, Brought to You by Robots. Atlas Obscura – Curious and Wondrous Travel Destinations [online]. Atlas Obscura, 2019, 8.8.2019 [cit. 2022-01-29]. Dostupné z: <https://www.atlasobscura.com/articles/california-robot-farm-produce>
- [14] What is difference between callus [online]. In: 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://cs.weblogographic.com/what-is-difference-between-callus>
- [15] BENEDIKTY, Zuzana. PHOTON SYSTEMS INSTRUMENTS, SPOL. s. r. o. Technologický komplex Tech-In-Plar: DOKUMENTACE PROTOTYP. Drásov, 2021.
- [16] PHOTON SYSTEMS INSTRUMENTS, SPOL. s. r. o. FluorCam 1300. Drásov.
- [17] BENEDIKTY, Zuzana. PHOTON SYSTEMS INSTRUMENTS, SPOL. S. R. O. Growth Capsule - robotic system: Kontrolní protokol. Drásov, 2021.
- [18] BENEDIKTY, Zuzana. PHOTON SYSTEMS INSTRUMENTS, SPOL. S. R. O. Precizně regulovaný kultivační prostor Growth Capsule – robotic system: Dokumentace funkčního vzorku. Drásov, 2021.
- [19] Metriky pro měření pěstebního světla – PPF, PPFd, DLI. Growmarket [online]. Praha: Naarden International, 2020, 29.09.2020 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/a/metriky-pro-mereni-pestebniho-svetla-ppf-ppfd-dli>
- [20] Lineární robot | KUKA AG. industrial intelligence 4.0_beyond automation | KUKA AG [online]. KUKA AG 2023 [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/line%C3%A1rn%C3%AD-robot>
- [21] Omron: Kolaborativní roboty [online]. Omron [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/collaborative-robots>
- [22] Raveo: HANWHA HCR-12A [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/hcr-12a>
- [23] SLÁMA, Martin. Kolaborativní roboty ve strojírenském průmyslu [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124600>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [24] A guide to collaborative robot safety: Strategies for ensuring safe operation in collaborative applications. In: Industrial.omron.eu [online]. industrial.omron.eu, 2019, 2019 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: https://assets.omron.eu/downloads/publication/en/v2/cobot_safety_expert_article_en.pdf
- [25] KAZDA, Tomáš. Stavebnicový systém stavby hlavních dílů multifunkčního obráběcího centra soustružnického typu s vodorovnou osou. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139990>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Marek.
- [26] LINEÁRNÍ KULIČKOVÉ VEDENÍ – ARC/HRC. Raveo [online]. Raveo [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/linearni-kulickove-vedeni-ARHR>

- [27] Svěrný hliníkový náboj spojky GESM. Haberkorn [online]. Haberkorn [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/index.php?cl=details&anid=JC040001E1&pgNr=6>
- [28] Timing-Belt Reverse Unit 8 40 R25 VK14. Item [online]. Item [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://cz-product.item24.com/cs/detaily-produktu/products/timing-belt-reverse-units-1001586078/timing-belt-reverse-unit-8-40-r25-vk14-33726/>
- [29] PŘÍMÉ PLANETOVÉ PŘEVODOVKY APEX DYNAMICS – ŘADA PGII. Raveo [online]. Raveo [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/apex-PGII>
- [30] R88M-1M20030T-BS2. Industrial.omron.eu [online]. Industrial.omron.eu [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/R88M-1M20030T-BS2>
- [31] Technický pokyn pro ozubené řemeny 22052 a 22057. Norelem [online]. Norelem [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/katalog-obrazku/produkt-25362/60261-22052-22057-technicky-pokyn-pro-ozubene-remeny-cz.pdf>
- [32] Technický pokyn pro ozubené řemeny 22052 a 22057. Norelem [online]. Norelem [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/katalog-obrazku/produkt-25362/60261-22052-22057-technicky-pokyn-pro-ozubene-remeny-cz.pdf>
- [33] Polyuretanové ozubené řemeny.. Contitech [online]. Contitech [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/katalog-obrazku/produkt-25362/60261-22052-22057-technicky-pokyn-pro-ozubene-remeny-cz.pdf>
- [34] BENEDIKTY, Zuzana. PSI (PHOTON SYSTEMS INSTRUMENTS), SPOL. S R.O. Automatizovaný programovatelný hydroponický modul: DOKUMENTACE FUNKČNÍHO VZORKU. Drásov, 2021.
- [35] NOVÝ IBC UN KONTEJNER 300 L. PNobaly [online]. PNobaly [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.pnobaly.cz/novy-ibc-un-kontejner-300-l/>
- [36] ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [37] MAN, Lukáš. Návrh konstrukce strojní pásové brusky [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139779>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

13 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

13.1 Seznam zkratek

| Zkratka | Význam | Jednotka |
|-------------|---|----------|
| PSI | Photon Systems Instruments), spol. s r.o. | - |
| m_{pr} | Hmotnost pojezdu s robotem | kg |
| g | Gravitační konstanta | m/s^2 |
| R | Délka dosahu robota | mm |
| m_{tray} | Hmotnost traye | kg |
| v | Rychlost pojezdu | m/s |
| M_r | Maximální moment ve směru X | Nm |
| M_p | Maximální moment ve směru Y | Nm |
| C_0 | Únosnost vozičku | kN |
| $F_{tř}$ | Třecí síla vozičku | N |
| M_{Kmax} | Maximální moment | Nm |
| M_T | Třecí moment | Nm |
| P_j | Jmenovitý výkon | kW |
| n_j | Jmenovité otáčky | rpm |
| M_{kj} | Jmenovitý kroutící moment | Nm |
| M_{kmax} | Maximální kroutící moment motoru | Nm |
| T_{2N} | Jmenovitý výstupní kroutící moment | Nm |
| ST | Stupeň | - |
| M_{maxp} | Max. akcelerační moment | Nm |
| N_{1N} | Jmenovité vstupní otáčky | rpm |
| F_{2rB} | Max. Radiální zatížení | N |
| F_{2aB} | Max. Axiální zatížení | N |
| M_s | Jmenovitý kroutící moment spojky | Nm |
| M_{maxs} | Maximální kroutící moment spojky | Nm |
| C_{Tstat} | Torzni tuhost statická | Nm/rad |
| C_{Tdyn} | Torzni tuhost dynamická | Nm/rad |
| C_r | Radiální tuhost | Nm/rad |
| P | Výkon řemenu | kW |
| P_0 | Ekvivalentní statické zatížení vozíku | N |
| Haberkorn | Haberkorn Ulmer s.r.o. | - |
| $M_{maxř}$ | Maximální kroutící moment řemenice | Nm |

13.2 Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Ukázka zakořeněných rostlin [8]..... | 16 |
| Obr. 2 Rozložení kontejneru [8] | 16 |
| Obr. 3 Regály v kontejneru [8] | 17 |
| Obr. 4 Konopná farma [10] | 17 |
| Obr. 5 Grover a) a Max b) [11] | 18 |
| Obr. 6 Angus [12]..... | 18 |
| Obr. 7 Robotické rameno [12]..... | 18 |
| Obr. 8 Vstupní hodnoty zařízení [15]..... | 19 |
| Obr. 9 Kalus [14] | 20 |
| Obr. 10 Rozložení prostoru v kontejneru [15]..... | 21 |
| Obr. 11 Myšlenková mapa návrhu kontejneru | 22 |
| Obr. 12 FluorCam [15] | 22 |
| Obr. 13 Sestava kontejneru [17] | 23 |
| Obr. 14 Diagram postupu práce..... | 24 |
| Obr. 15 Tray – rozměry | 25 |
| Obr. 16 Vymezení prostoru v kontejneru | 26 |
| Obr. 17 Schématické rozdělení závislostí veličin..... | 28 |
| Obr. 18 Osy – varianta A..... | 29 |
| Obr. 19 Pojezdová konstrukce s gripprem..... | 30 |
| Obr. 20 Lineární vedení osy Y | 30 |
| Obr. 21 Kompletní konstrukce varianty A v kultivační místnosti..... | 31 |
| Obr. 22 Kartézský robot KUKA [20] | 31 |
| Obr. 23 Robot Omron TM12 [21] | 32 |
| Obr. 24 Nejnáročnější natočení robotu pro výpočet vozíčků | 39 |
| Obr. 25 Rozkreslení sil působících na vozíčky | 39 |
| Obr. 26 Kritické natočení robotu | 40 |
| Obr. 27 Myšlenková mapa návrhu robotu | 43 |
| Obr. 28 a) Výkres robotu, b) Robot Omron TM12 [21]..... | 44 |
| Obr. 29 Tray pohled a) pohled b) | 44 |
| Obr. 30 Návrh gripperu | 45 |
| Obr. 31 Uchycení traye..... | 45 |
| Obr. 32 Výpočet napětí (von Mises) - Ansys | 46 |
| Obr. 33 Vývojový diagram robota..... | 47 |
| Obr. 34 Myšlenková mapa postupu návrhu lineárního pojezdu | 48 |
| Obr. 35 Lineární zařízení pod robota..... | 49 |
| Obr. 36 Kompletní sestava lineárního zařízení | 49 |
| Obr. 37 Pojezd pod robota..... | 50 |
| Obr. 38 Sestava lineárního zařízení s pojezdem, robotem a gripperem | 50 |
| Obr. 39 Myšlenková mapa regálů..... | 51 |
| Obr. 40 Model vany | 52 |
| Obr. 41 Řez modelem regálu..... | 52 |
| Obr. 42 Schématické znázornění hydroponie [34] | 53 |
| Obr. 43 Sestava hydroponických regálů..... | 53 |
| Obr. 44 Výsuvná police pro obslužné okno | 54 |
| Obr. 45 Model vany pro výsuvnou polici..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Obr. 46 Konstrukce pro FluorCam | 55 |
| Obr. 47 Vybraná nádrž 300 l [34]..... | 55 |
| Obr. 48 Model konstrukce s nádržemi | 56 |
| Obr. 49 Model pracovního stolu | 56 |
| Obr. 50 Blokový diagram kontejneru | 60 |
| Obr. 51 Kontejner na pozemku firmy PSI [3]..... | 80 |
| Obr. 52 Finální rozložení kontejneru | 80 |
| Obr. 53 Obslužné okno | 81 |
| Obr. 54 Přesun traye pomocí gripperu | 81 |
| Obr. 55 Finální sestava kontejneru | 82 |

13.3 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab 1) Porovnání KR 16L a KR 50L [20] | 32 |
| Tab 2) Porovnání robotu Omron a HCR [21][22] | 33 |
| Tab 3) Párové porovnání kritérií | 34 |
| Tab 4) Stupnice bodového hodnocení kritérií | 35 |
| Tab 5) Matrice pro stanovení váh kritérií | 35 |
| Tab 6) Bodová stupnice hodnocení..... | 35 |
| Tab 7) Jednotlivá hodnocení variant..... | 36 |
| Tab 8) Hodnocení varianty A | 36 |
| Tab 9) Hodnocení varianty B..... | 36 |
| Tab 10) Hodnocení varianty C..... | 37 |
| Tab 11) Celkové hodnocení variant | 37 |
| Tab 12) Hmotnost pojezdu s robotem..... | 38 |
| Tab 13) Hodnoty pro výpočet | 38 |
| Tab 14) Vozíčky CPC-AR20MN – parametry [26]..... | 39 |
| Tab 15) Spojka GESM 19/24 - parametry [27] | 41 |
| Tab 16) Řemenice 8 40 R25 VK14 a řemen – parametry [28]..... | 41 |
| Tab 17) Převodovka PGII-060 2ST – parametry [29] | 42 |
| Tab 18) Motor R88M-1M20030T-BS2 – parametry [30] | 42 |
| Tab 19) Odhad velikosti rizik | 59 |
| Tab 20) Přehled nebezpečných prostor zařízení | 60 |
| Tab 21) Přehled identifikovaných závažných nebezpečí..... | 61 |
| Tab 22) Analýza významných nebezpečí během životních cyklů zařízení | 64 |
| Tab 23) Cena a počet komponentů | 79 |

14 SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|--|-------------|
| Stojan pro robota – TM12 | LD-TP-D-01 |
| Plastová vana | LD-TP-D-02 |
| Lineární pojezd pro robota | LD-TP-PS-01 |
| Gripper | LD-TP-PS-02 |
| Sestava hydroponických regálů | LD-TP-PS-03 |
| Pojezd pro robota | LD-TP-PS-04 |
| Sestava konstrukce FluorCam | LD-TP-PS-05 |
| Obslužná police | LD-TP-PS-06 |
| Robotická buňka pro růstovou komoru v kontejneru | LD-TP-HS-01 |