



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH ZALÉVACÍHO MODULU PRO MOBILNÍ ROBOT

DESIGN OF WATERING MODULE FOR MOBILE ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Peter Vizváry

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Bc. Peter Vizváry**
Studijní program: Mechatronika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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 zalévacího modulu pro mobilní robot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z projektů řešených na VUT FSI je projekt zalévacího autonomního mobilního robotu, jehož cílem je navrhnout zařízení, které se bude autonomně pohybovat ve vnitřním prostředí, a zde detekovat, klasifikovat a zalévat kytky. Podstatnou součástí takového robotu je vlastní zalévací modul, který řeší jak nabrání vody z vnějšího zdroje, tak její distribuci ke kytkám. Návrh takového modulu je podstatou zadání této práce.

Cíle diplomové práce:

- 1/ navrhnete několik koncepcí zalévacího modulu a koncepce porovnejte z hlediska užitných vlastností, složitosti a ceny
- 2/ vyberte vhodnou koncepci, výběr zdůvodněte
- 3/ vybranou koncepci realizujte do fáze prototypu
- 4/ ověřte vlastnosti prototypu

Seznam doporučené literatury:

BUDYNAS R., NISBETT K.: Shigley's Mechanical Engineering Design 11th Edition, McGraw-Hill Education; 11th Edition, 2019.

RISHEL J.B.: Water Pumps and Pumping Systems, McGraw-Hill, 2002

doc. Ing. Jaroslav
Katolický,
Ph.D. děkan
fakulty

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca je zameraná na návrh zalievajúceho modulu pre mobilného robota. Hlavnými cieľmi práce sú návrhy rôznych koncepcií zalievajúceho modulu a ich následné porovnania, zakončené výberom finálnej koncepcie, ktorá ústi do jej realizácie vo forme prototypu s následným otestovaním jeho vlastností. Prvá časť práce je zameraná na rozbor problematiky a definíciu zadanej úlohy spolu s hlavnými parametrami a požiadavkami. Druhá časť obsahuje prehľad známych riešení danej problematiky a návrhy vlastných koncepcií zalievajúceho modulu a jeho jednotlivých súčastí. Návrhy sú porovnané a zhodnotené z hľadiska ich úžitkových vlastností, zložitosti a ceny. V tretej časti prichádza na základe hodnotenia najslubnejších variantov k výberu finálnej koncepcie a zároveň k návrhu a výberu finálneho konštrukčného riešenia. Štvrtá časť je zameraná na návrh a realizáciu prototypu, obsahuje výber a návrh potrebných komponentov, zostavenie modulu a vytvorenie riadiaceho programu zalievajúceho modulu. Záverečná, piata časť obsahuje testovanie funkčných vlastností prototypu, ich zhodnotenie a následné návrhy na jeho vylepšenie.

Kľúčové slová

Zalievajúci modul, zalievanie, čerpanie, rastliny, kvetináč, vertikálny pohyb, horizontálny pohyb, zalievajúci mechanizmus, čerpadlo, mobilný robot, variant, návrh, testovanie, prototyp, model

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the design of a watering module for a mobile robot. The main goals of this work are to design various concepts of the watering module and their subsequent comparison, ending with the selection of the final concept, which results in its implementation in the form of a prototype with subsequent testing of its properties. The first part of this work is focused on the analysis of the issue and the definition of the assigned task together with the main parameters and requirements. The second part contains an overview of known solutions to the issue and designs for own concepts of the watering module and its individual components. The designs are compared and evaluated in terms of their performance, complexity and price. In the third part, based on the evaluation of the most promising variants, there is a selection of the final concept and after that designing and selection of the final constructional solution. The fourth part is focused on the design and implementation of the prototype, contains the selection and design of the necessary components, module assembly and the creation of the control algorithm of the watering module. The final fifth part contains testing of the functional properties of the prototype, their evaluation and subsequent suggestions for its improvement.

Key words

Watering module, watering, pumping, plants, flowerpot, vertical movement, horizontal movement, watering mechanism, pump, mobile robot, variant, design, testing, prototype, model

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

VIZVÁRY, Peter. *Návrh zalévacieho modulu pro mobilní robot* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140184>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Krejsa

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému „Návrh zalévacího modulu pro mobilní robot“ vypracoval samostatne s použitím prameňov a odbornej literatúry uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu na konci tejto práce.

20. mája 2022

Peter Vizváry

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa rád poďakoval doc. Ing. Jiřimu Krejsovi, Ph.D. za cenné pripomienky a rady, ktoré mi poskytol pri vypracovaní záverečnej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať Miroslavu Čeplovi za jeho pomoc a nápady, Mariánovi Balážovi za pomoc s korektúrou a mojej snúbenici, rodine a priateľom za podporu.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CIELE PRÁCE	11
3	ROZBOR PROBLEMATIKY	12
3.1	MOTIVÁCIA	12
3.2	DEFINÍCIA ÚLOHY	12
3.3	OKRUHY RIEŠENIA	14
3.4	POŽIADAVKY NA RIEŠENIE	14
4	NÁVRH RÔZNYCH KONCEPCIÍ RIEŠENIA ZALIEVAJÚCEHO MODULU	16
4.1	PREHĽAD ZNÁMYCH RIEŠENÍ	16
4.1.1	<i>Popis variantov</i>	16
4.1.2	<i>Zhodnotenie</i>	22
4.2	VARIANTY VODNÉHO OKRUHU (ZALIEVANIE/ČERPANIE)	23
4.2.1	<i>Kompresor</i>	23
4.2.2	<i>Čerpadlo</i>	26
4.2.3	<i>Otvárateľný zásobník na robotovi s povrchovým čerpadlom</i>	32
4.3	VARIANTY ZALIEVAJÚCEHO/ČERPACIEHO MECHANIZMU	36
4.3.1	<i>Jedno rameno</i>	37
4.3.2	<i>Dve ramená</i>	38
4.3.3	<i>Tri ramená</i>	52
4.4	UCHOVÁVANIE VODY	55
5	VÝBER FINÁLNEHO VARIANTU ZALIEVAJÚCEHO MODULU	57
5.1	ZHODNOTENIE A VÝBER FINÁLNEHO VARIANTU	57
5.1.1	<i>Vodný okruh</i>	57
5.1.2	<i>Zalievajúci/čerpací mechanizmus</i>	59
5.2	VÝBER KONŠTRUKČNÉHO RIEŠENIA	61
5.2.1	<i>Vertikálny pohyb</i>	61
5.2.2	<i>Horizontálny pohyb</i>	63
5.2.3	<i>Čerpanie vody zo zdroja</i>	65
6	KONKRETIZÁCIA ČIASTKOVÝCH CIEĽOV	70
7	NÁVRH A REALIZÁCIA PROTOTYPU	71
7.1	VÝBER POTREBNÝCH KOMPONENTOV	71
7.2	NÁVRH ROTAČNEJ VÄZBY PRE HORIZONTÁLNY POHYB RAMENA	73
7.3	UMIESTNENIE VYBRANÝCH KOMPONENTOV A ZOSTAVENIE ZALIEVAJÚCEHO MODULU	76
7.4	SCHÉMA ELEKTRICKÉHO OBVODU	79
7.5	RIADIACI PROGRAM	80
8	TESTOVANIE VLASTNOSTÍ PROTOTYPU ZALIEVAJÚCEHO MODULU	86
8.1	TESTOVANIE VLASTNOSTÍ ČERPADLA	86
8.2	TESTOVANIE FUNKČNOSTI A PRESNOSTI ZALIEVAJÚCEHO MECHANIZMU	90
8.2.1	<i>Horizontálny pohyb</i>	91
8.2.2	<i>Vertikálny pohyb</i>	94
8.2.3	<i>Testovanie dojazdu robota ku kvetináču</i>	95
8.2.4	<i>Testovanie zalievania rastlín</i>	97
8.3	ZHODNOTENIE VLASTNOSTÍ PROTOTYPU A NÁVRHY NA JEHO VYLEPŠENIE	98
9	ZÁVER	100

10	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	102
11	ZOZNAM PRÍLOH	107
12	PRÍLOHY	108

1 ÚVOD

Jedným z najvýraznejších trendov dnešnej doby je automatizácia. V priemysle je táto téma aktuálna už desiatky rokov, avšak v poslednom čase je automatizácia populárna aj v domácnostiach bežných ľudí alebo podnikoch a firmách, ktoré priamo nesúvisia s priemyslom. Od najjednoduchších úloh ako automatický kávovar, cez ďalšie, typu robotický vysávač či robotická kosačka, až po tie komplexnejšie, ako sú autonómne domácnosti. Jedná sa o snahu oslobodiť ľudí od každodenných rutinných prác a taktiež zvýšiť efektívnosť daných činností.

Momentálne existuje celá rada činností a procesov každodenného života, ktoré je možné automatizovať. Prvotným cieľom tohto kolektívneho projektu, ktorého jednu časť tvorí táto diplomová práca, bolo vybrať si jednu konkrétnu činnosť a skúsiť ju automatizovať pomocou mobilného robota. Po dlhých úvahách a množstvách nápadov bola vybraná činnosť zalievania kvetín, resp. rastlín v kvetináčoch vo vnútorných priestoroch.

Ako už bolo zmienené vyššie, jedná sa o kolektívny projekt, pričom táto diplomová práca tvorí jednu jeho časť. Z dôvodu vzájomnej nadväznosti jednotlivých prác a pre čitateľa možnosti vytvorenia si uceleného obrazu o tomto projekte sú ďalej uvedené témy ostatných diplomových prác spolu s ich autormi:

- Komplexní návrh zalievacího mobilného robota – Bc. Podolinský Ondřej [1]
- Detekce a klasifikace objektů zájmu zalievacího robota zpracováním obrazu – Bc. Sladký Jiří [2]
- Návrh a realizace komunikačního rozhraní autonomního mobilního robota – Bc. Bajer Jan [3]
- Návrh a realizace strategie plánování pohybu mobilního robota – Bc. Doseděl Miroslav [4]

Poslednou témou a teda témou tejto diplomovej práce je *Návrh zalievacího modulu pro mobilní robot*. Začiatok práce je venovaný rozboru problematiky, v ktorom je zadaná úloha definovaná spolu s popisom základných parametrov, okruhov riešenia a požiadaviek na danú úlohu. Následne práca pokračuje ďalšou časťou, ktorej začiatok tvorí krátky prehľad známych riešení, na čo nadväzuje tvorba návrhov jednotlivých koncepcií zalievajúceho modulu, resp. jeho častí. Všetky návrhy boli porovnávané a hodnotené z hľadiska úžitkových vlastností, zložitosti a ceny. Na základe tohto rozboru a výsledného ohodnotenia je uskutočnený výber finálnej koncepcie zalievajúceho modulu, pre ktorú sú ďalej uvedené možnosti konštrukčných riešení s následným výberom toho najvhodnejšieho z každej oblasti. Druhá polovica tejto práce je zameraná na realizáciu a testovanie vytvoreného prototypu. Návrh prototypu začína výberom vhodných komponentov a pokračuje návrhom modelov potrebných súčastí následne vytvorených pomocou 3D tlače. Po zostavení modulu z jednotlivých komponentov bol vytvorený návrh elektrickej schémy pre ich vzájomné prepojenie a umožnenie komunikácie. Poslednú časť návrhu prototypu tvorí návrh riadiaceho programu, ktorý umožňuje komunikáciu medzi riadiacim systémom robota a zalievajúcim modulom a taktiež zabezpečuje jeho funkcionality. Záverečná časť práce je venovaná testovaniu vlastností a funkčnosti prototypu. Získané poznatky z testovania sú následne vyhodnotené a aj na ich základe sú uvedené návrhy na možné vylepšenia vlastností zalievajúceho modulu.

2 CIELE PRÁCE

Ciele tejto diplomovej práce sú zostavené chronologicky so vzájomnou logickou nadväznosťou. Keďže sa jedná o prácu, ktorej témou je návrh určitého funkčného mechanizmu (zalievajúceho modulu), prvým cieľom je vytvorenie rôznych návrhov a koncepcií. Za jeden z vedľajších cieľov je možné považovať aj vytvorenie krátkeho prehľadu známych riešení, z ktorých je možné následne pri tvorbe návrhov vychádzať. Vytvorené návrhy je následne potrebné porovnať z hľadiska úžitkových vlastností, zložitosti a ceny. Toto porovnanie následne vyústí do výberu vhodnej koncepcie na základe vhodnej hodnotiacej metódy, vďaka ktorej je možné tento výber relevantne zdôvodniť. Tretím cieľom je realizovať vybranú koncepciu do fázy prototypu, a to od jeho návrhu až po zostavenie a zabezpečenie požadovaných funkcionalít. Záverečným cieľom práce je otestovať vlastnosti vytvoreného prototypu, zhodnotiť ich a vyvodiť závery, na základe ktorých by následne bolo možné vykonať vhodné vylepšenia zalievajúceho modulu.

3 Rozbor problematiky

Ako už názov tejto kapitoly napovedá, jej obsahom bude rozbor problematiky zalievania rastlín pomocou autonómneho mobilného robota. V prvej časti je uvedená motivácia pre riešenie tejto problematiky. Nasleduje definovanie základných aspektov zadanej úlohy spolu s požadovanými parametrami, ktoré sú na zalievajúci modul kladené. Ďalej sú v skratke zhrnuté základné okruhy riešenia, na ktoré je možné riešenu úlohu rozdeliť. Na záver sú uvedené a v krátkosti popísané požiadavky na riešenie.

3.1 Motivácia

Kvety a rastliny v kvetináčoch tvoria neodmysliteľnú súčasť väčšiny domácností, ale napríklad aj kancelárií, chodieb v rôznych inštitúciách, firmách a nákupných centrách. Často je pritom možné vidieť, že práve vďaka rutinnej a pre človeka nie veľmi zaujímavej činnosti nie je starostlivosť o kvety ideálna. Práve ľudský faktor spôsobuje, že kvety nedostávajú potrebné množstvo vody v požadovaných časových intervaloch, a preto schnú a odumierajú. Jednou z hlavných motivácií tohto projektu je odbremenenie ľudí od tejto rutinnej činnosti, ktorú často zanedbávajú. Nemenej podstatné je aj to, aby sa kvetom dostávala pravidelná starostlivosť pri ich zalievaní.

Motiváciou pre tvorbu skupinového projektu v rámci diplomovej práce bolo vyskúšanie si tímovej spolupráce, s čím je spojené získanie skúseností do praxe a budúcich pracovných príležitostí.

3.2 Definícia úlohy

Aby bolo možné začať vytvárať samotné návrhy jednotlivých riešení, je potrebné si najprv úlohu definovať, identifikovať základné aspekty a jej kľúčové parametre, od ktorých sa ďalšie riešenie bude odvíjať.

Vykonávateľ úlohy:

Prvým aspektom je určenie vykonávateľa zadanej úlohy. Tým je v tomto prípade mobilný robot s diferenciálnym podvozkom. Jedná sa o robota Breach od firmy Bender Robotics, ktorý je vstupom ako do tejto diplomovej práce, tak aj do celého projektu. Fotografie robota sú umiestnené v Prílohe 1 priloženej k tejto práci (kapitola 11). [5]

Typ úlohy:

Jedná sa o autonómnu úlohu, kedy vykonávateľ (robot) plní zadanú úlohu bez potreby vonkajších zásahov od príslušných osôb.

Globálny cieľ úlohy:

Robot by mal byť schopný pohybovať sa v interiérových priestoroch, vyhýbať sa prekážkam, rozpoznávať rastliny a na základe dát z databázy ich zaliať daným množstvom vody pomocou zalievajúceho modulu umiestneného na robotovi a pri nedostatku vody v zásobníku si ju doplniť zo zdroja.

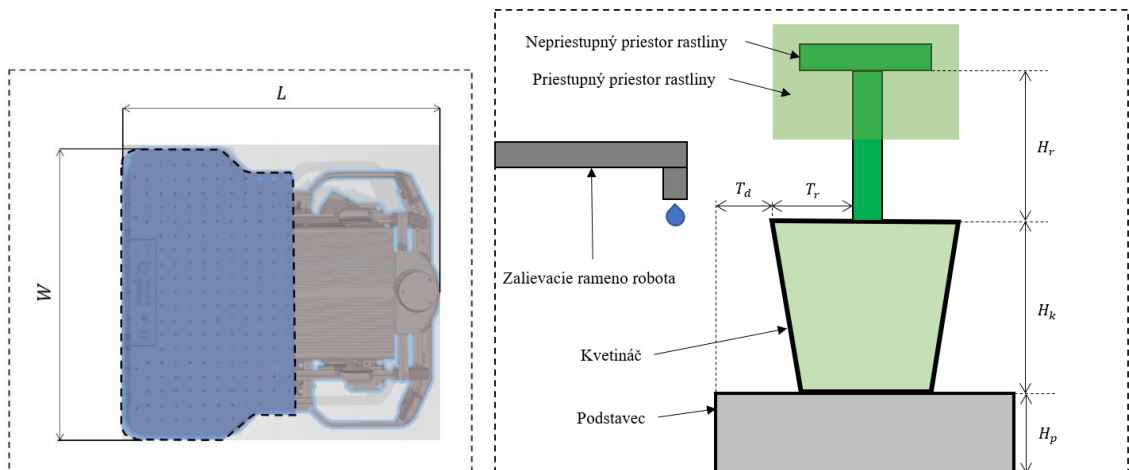
Parametre:

Hlavné parametre, ktoré je potrebné identifikovať pred určením požiadaviek na riešenie, je možné rozdeliť nasledovne:

- 1) Objem zásobníka vody – tento parameter závisí na viacerých faktoroch, ktorými sú:
 - a. Typ použitého mobilného robota – v tomto prípade sú dôležité najmä nosnosť robota a jeho rozmery. Definovanie parametru objemu vody v nádrži potom bude záležať od toho, ktorý z uvedených dvoch faktorov (nosnosť a rozmery robota) bude viac obmedzujúci.
 - b. Počet rastlín – jedná sa o rámcový odhad množstva zalievajúcich rastlín, vyplývajúci z definovania samotnej úlohy.
 - c. Množstvo vody, ktoré rastliny potrebujú pre jednorazové zaliatie a frekvencia zalievania – tento faktor je veľmi individuálny a záleží na druhoch použitých rastlín. Každý druh potrebuje iné množstvo vody v iných časových intervaloch.
- 2) Frekvencia zalievajúceho cyklu – tento parameter vyjadruje koľko rastlín je robot schopný za určitý čas zaliať. Závisí však na faktoroch ako:
 - a. Rozmiestnenie a vzdialenosti medzi rastlinami
 - b. Rýchlosti pohybu robota od jedného cieľa k druhému
 - c. Proces nastavenia zalievajúceho modulu do pozície pre zaliatie
- 3) Prietok vody vo vodnom okruhu – aké množstvo vody za určitý čas je zalievajúci modul schopný poskytnúť záleží najmä na nasledujúcich faktoroch:
 - a. Typ a výkon zariadenia určeného pre zabezpečenie transferu vody
 - b. Rozmery vodného okruhu – hadičky (priemer a celková dĺžka)
 - c. Výškový rozdiel medzi zariadením určeným pre transfer vody a vrchnou hranou kvetináča
- 4) Rozmerové parametre modulu – v akej maximálnej vzdialenosti od robota môže byť umiestnený kvetináč a v akej maximálnej výške sa môže nachádzať vrchná hrana kvetináča sú základné parametre kladené na zalievajúci modul. Podrobne sú dané parametre, spolu s parametrami použitého mobilného robota Breach, zobrazené na obrázku (Obrázok 3.1) a ich popis a hodnoty v tabuľke (Tabuľka 3-1). [6]

Tabuľka 3-1 – Rozmerové parametre modulu a kvetináča a parametre robota Breach

Parameter	Popis	Hodnota
M	Nosnosť mobilného robota Breach	max 20 kg
W	Šírka mobilného robota Breach	54 cm
L	Dĺžka mobilného robota Breach	62 cm
T_d	Dosah zalievajúceho ramena od prednej hrany robota po hranu kvetináča	max 0,4 m
T_r	Vnútorňý priestor kvetináča	minimalizácia
H_r	Výška prístupného priestoru nad kvetináčom	minimalizácia
H_k	Výška kvetináča	max 0,75 m
H_p	Výška podstavca, na ktorom môže byť kvetináč	max 0,3 m



Obrázok 3.1 – Schematické zakreslenie rozmerov robota Breach [6] a rozmerových parametrov modulu a kvetináča [1]

3.3 Okruhy riešenia

Z hľadiska funkcionality je vhodné si túto prácu rozdeliť do nasledujúcich okruhov:

Uchovávanie vody:

Táto oblasť zahŕňa jednak uchovávanie vody v zásobníku, umiestnenom na zalievajúcom module priamo na robotovi, tak aj v zdroji vody, určenom pre dopĺňanie zásob robota.

Čerpanie vody:

V prvom rade sa jedná o zvolenie samotného princípu, na ktorom bude založený transfer vody zo zdroja do zásobníka umiestneného na zalievajúcom module robota. Od tohto princípu sa následne odvíja návrh možného technického uskutočnenia transferu vody.

Zalievanie rastlín:

Aj v tomto prípade sa v prvom rade jedná o zvolenie princípu, na ktorom bude založený transfer vody zo zásobníka na zalievajúcom module robota do kvetináča. Na zvolenom princípe bude následne závisieť technické prevedenie tohto transferu.

3.4 Požiadavky na riešenie

Pred tvorbou jednotlivých variantov riešení je dôležité zhrnúť si požiadavky, ktoré vyplývajú z definície úlohy, pre ktorej splnenie je potrebné tieto požiadavky v čo najväčšej miere dodržať. U niektorých požiadaviek sa nejedná o konkrétne ohraňované hodnoty, ale napríklad o zistenie ideálnej hodnoty pre danú funkciu alebo o snahu zaistiť ideálny priebeh danej funkcionality.

Objem prevážanej vody:

Zvolenie ideálneho objemu zásobníka na robotovi, a to na základe vlastností použitého mobilného robota (nosnosť, rozmery) a na základe množstva a druhu zalievajúcich rastlín.

Prietok vody:

Prietok by nemal byť príliš veľký, aby voda pri zalievaní neskončila mimo kvetináča, a taktiež musí zohľadňovať najmenšie možné množstvo dodanej vody. Nemal by byť však ani príliš malý, aby proces zalievania netrval dlhšie, než je nevyhnutné. Zvolená hodnota prietoku by mala byť s určitou presnosťou dodržaná v ľubovoľnej výške stanoveného rozsahu výšky kvetináčov.

Transfer vody:

Je potrebné zvoliť dostatočný, avšak minimálny počet zariadení uskutočňujúcich transfer vody ako zo zdroja do zásobníka na robotovi (čerpanie), tak aj zo zásobníka do kvetináča (zalievanie).

Dosah zalievajúceho modulu:

Stanovenie dosahu zalievajúceho modulu (vzdialenosť medzi robotom a kvetináčom aj výška vrchnej hrany kvetináča od zeme) je dané definovaním zadanej úlohy a ďalej sa od neho odvíjajú návrhy jednotlivých variant.

Vertikálny pohyb koncového efektora zalievajúceho modulu:

Zaistenie plynulej zmeny výšky koncového efektora pre stanovený rozsah výšok kvetináčov.

Horizontálny pohyb koncového efektora zalievajúceho modulu:

Umožnenie horizontálneho polohovania koncového efektora, napríklad pri ťažšej dostupnosti kvetináča v priestore (náročnejšia prístupnosť ku kvetináču či prekážky blízko u kvetináča) alebo ak by aj pri ideálnej dostupnosti kvetináča nebolo polohovanie robota dostatočne presné.

Stabilná konštrukcia umožňujúca zmenu mierky:

Mechanická odolnosť je dôležitou požiadavkou pri návrhu a tvorbe prototypu, a to či už z hľadiska bezpečnosti, tak aj životnosti zalievajúceho modulu a robota ako celku. Pri návrhoch a výbere vhodného variantu je potrebné dbať na požiadavku umožnenia zmeny mierky zalievajúceho modulu (dosah koncového efektora, objem zásobníka) pri zachovaní jeho funkčnosti. Táto vlastnosť je dôležitá najmä pri tvorbe a testovaní prototypu.

Cena:

Pri hľadaní vhodných komponentov pre návrhy zalievajúceho modulu je potrebné brať do úvahy aj ich cenu. Tá závisí od typu a množstva použitých zariadení pre transfer vody, od použitých pohonov, senzorov, elektroniky a ostatných potrebných komponentov.

4 Návrh rôznych koncepcií riešenia zalievajúceho modulu

Obsahom tejto kapitoly sú návrhy rôznych koncepcií riešení zalievajúceho modulu. Na začiatku je uvedený krátky prehľad známych riešení, ktorého závery sú následne zohľadnené pri tvorbe vlastných návrhov. Táto kapitola obsahuje návrhy zalievajúceho modulu z principiálneho hľadiska. Nejedná sa teda o konkrétne technické riešenia jednotlivých návrhov. Tie sú predmetom nasledujúcej kapitoly. Návrhy sú rozdelené do troch podkapitol, pričom prvou z nich je návrh vodného okruhu, ktorý zabezpečí samotný proces zalievania a čerpania. Druhou je návrh mechanizmu, ktorý by umožnil pohyb koncového efektora v horizontálnom aj vertikálnom smere. Každý variant prejde procesom skúmania a hodnotenia jeho vlastností na základe kritérií, ktoré sú pre danú oblasť vyžadované. Treťou podkapitolou je rozbor uchovávaní vody na zalievajúcom module aj mimo neho.

4.1 Prehľad známych riešení

Jedným z dôvodov výberu témy autonómneho zalievania rastlín v interiéri pomocou mobilného robota bola nedostupnosť zariadenia s požadovanými funkcionalitami na trhu. Je možné nájsť čiastkové riešenia, avšak s obmedzenou použiteľnosťou. V podkapitole 4.1.1 sú uvedené niektoré zo známych riešení, ktorých cieľom bolo pomocou mobilného robota a určitého typu zalievajúceho modulu zalíť rastlinu.

4.1.1 Popis variantov

V tejto podkapitole sú v krátkosti popísané niektoré zo známych riešení mobilných robotov so zalievajúcim modulom.

Variant 1

Jedná sa o najjednoduchší dostupný variant zalievajúceho modulu (Obrázok 4.1). Má jedno vertikálne rameno s pevne danou výškou aj smerom koncového efektora. Okrem toho ešte obsahuje povrchové čerpadlo a nádobu na vodu. Jedná sa o veľmi jednoduchý koncept riešenia, ktorý má však veľmi veľa obmedzení a nespĺňal by hneď niekoľko požiadaviek zmienených v predchádzajúcej kapitole, ako napríklad plynulá zmena vo vertikálnom aj horizontálnom smere, dosah alebo by sa voda dostala z veľkej časti mimo kvetináča. Toto riešenie je teda zmienené nie pre jeho možnú použiteľnosť pri návrhu modulu v tejto diplomovej práci, ale pre znázornenie možného postupu od najjednoduchších variantov až po tie najzložitejšie. [7]



Obrázok 4.1 – Ukážka variantu 1, [7]

Variant 2

Jedná sa o podobné riešenie ako v prvom prípade, avšak je vo väčšej mierke a je inak konštrukčne riešené. Výška z ktorej sa vypúšťa voda, ako aj smer, sú pevne stanovené. Ako je možné z obrázku vidieť (Obrázok 4.2), tento typ zalievajúceho modulu je vhodný do exteriéru tam, kde voda, ktorá skončila mimo kvetináča v dôsledku nepresnosti tohto riešenia, nespôsobuje žiadne škody ani nevytvára potenciálne nebezpečenstvo či neakceptovateľnú situáciu. Záver u tohto riešenia je podobne ako v predchádzajúcom prípade: nevyhovujúce riešenie pre zadaný typ úlohy. [8]



Obrázok 4.2 - Ukážka variantu 2, [8]

Variant 3

Tento variant zalievajúceho modulu neprináša v oblasti výšky a polohovania koncového efektora zmenu v porovnaní s predchádzajúcimi variantmi, ale je tu možné vidieť iný prístup k umiestneniu nádoby na vodu (Obrázok 4.3). Jedná sa o riešenie, keď robot nemá dostatočne veľké rozmery na to, aby naňho mohla byť umiestnená nádoba s požadovaným objemom. Výhodou tohto riešenia je aj to, že eliminuje riziko vylitia alebo úniku vody priamo na robotovi, kde by mohla poškodiť elektroniku. Okrem nárastu veľkosti celého systému (robot + vozík s nádobou) je nevýhodou aj fakt, že pri vození nádoby na vodu na vozíku za robotom vzniká komplikácia pri reverzovaní pohybu robota. Pohyb smerom dozadu by bol buď značne skomplikovaný alebo úplne znemožnený. [9]



Obrázok 4.3 - Ukážka variantu 3, [9]

Variant 4

Riešenie s názvom *Aquarius* je ďalším z rady riešení s pevnou výškou a polohou koncového efektora (Obrázok 4.4). V tomto prípade je do značnej miery prispôsobené aj prostredie, v ktorom sa robot pohybuje (sledovanie čiary v uličkách medzi za sebou naskladanými kvetináčmi s konštantnými rozstupmi). To umožňuje použitie jedného zalievajúceho ramena na ľavej aj pravej strane robota. Koncový efektor sa pri procese zalievania nachádza nad kvetináčom, avšak detekcia kvetináčov a pohyb robota nie sú dostatočné na to, aby sa voda nedostala aj mimo kvetináča. Tento variant preto funguje len v špeciálnych podmienkach a nevyhovuje tak požiadavkám vyplývajúcim zo zadanej úlohy. [10]



Obrázok 4.4 - Ukážka variantu 4, [10]

Variant 5

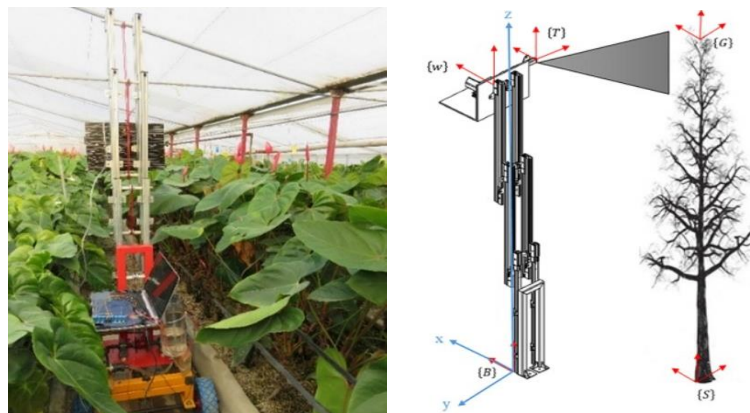
Nasledujúci variant riešenia je prvým, u ktorého sa objavuje zmena výšky koncového efektora. Ako je naznačené na obrázku (Obrázok 4.5), jedná sa o rotačný pohyb okolo osi x v rozpätí približne 90 stupňov. Možnosť zmeny výšky tu existuje, ale len vo veľmi malom rozsahu, pretože rotáciou okolo osi x sa mení aj natočenie koncového efektora a so zväčšujúcou sa výškou taktiež narastá riziko, že by sa prúd vody mohol dostať aj mimo kvetináč, a teda toto riešenie nie je vhodné pre väčšie rozsahy výšok kvetináčov. [11]



Obrázok 4.5 - Ukážka variantu 5, [11]

Variant 6

Aj v tomto riešení, podobne ako v predchádzajúcom prípade, sa jedná o zmenu výšky koncového efektora, avšak nie o čiastočnú v malom rozsahu, ale o plynulú vo veľkom rozsahu (Obrázok 4.6). Jedná sa o výsuvnú plošinu založenú na podobnom princípe ako u vysokozdvížných vozíkov. Aj keď sa v tomto konkrétnom prípade neobjavuje horizontálna zmena polohy koncového efektora, principiálne tu nie je prekážka pre zavedenie aj tejto funkcionality. Nevýhodou môže byť vyššia celková hmotnosť modulu. [12]



Obrázok 4.6 – Ukážka variantu 6, [12]

Variant 7

Nasledujúce riešenie obsahuje dve rotačné väzby, ktoré do určitej miery umožňujú zmenu výšky a aj zmenu dosahu koncového efektora (Obrázok 4.7). Výhodou tohto kinematického reťazca je možnosť zachovania natočenia koncového efektora vzhľadom ku kvetináču, na druhú stranu je nevýhodou to, že sa tak nedá uskutočniť bez vzájomnej zmeny dosahu a výšky (pohyby sú navzájom previazané, čo spôsobuje malý výškový pracovný rozsah). [13]



Obrázok 4.7 - Ukážka variantu 7, [13]

Variant 8

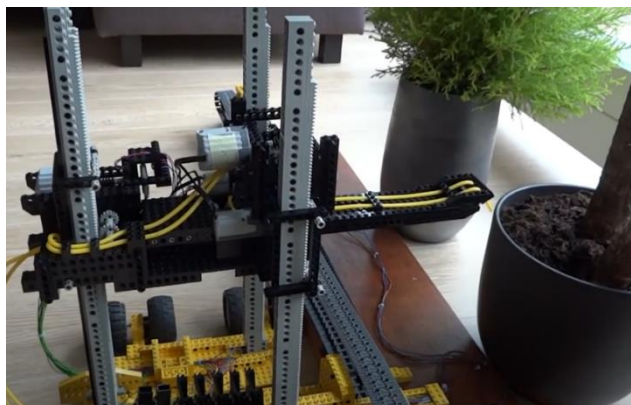
Vo variante zobrazenom na obrázku (Obrázok 4.8) je jediným pohybom ramena s koncovým efektorom zmena jeho dosahu. Tá je realizovaná pomocou elektrického lineárneho piestu (Obrázok 4.8 vpravo). Okrem neho je tu pomocou rovnakého princípu realizované ďalšie rameno, na ktorého koncovom efektore je umiestnený senzor vlhkosti (Obrázok 4.8 vľavo). Využitelnosť tohto variantu je z dôvodu absencie zmeny výšky aj možnosti polohovania koncového efektora veľmi malá. [14]



Obrázok 4.8 - Ukážka variantu 8, [14]

Variant 9

Riešenie zobrazené na nasledujúcom obrázku (Obrázok 4.9) obsahuje ako plynulú zmenu dosahu, tak aj plynulú zmenu výšky ramena. Horizontálna zmena jeho polohy je však realizovaná pohybom robotической platformy, na ktorej je táto konštrukcia umiestnená. Pri použití mobilného robota určeného pre túto diplomovú prácu by tento fakt mohol byť zdrojom problémov pri jeho pohybe ku kvetináču, identifikácii kvetiny a jeho polohovaní pre účely zalievajúceho modulu. [15]



Obrázok 4.9 - Ukážka variantu 9, [15]

Variant 10

Nasledujúci variant je svojím riešením zaujímavý aj napriek tomu, že jeho použitie je veľmi obmedzené (Obrázok 4.10). Zalievajúce rameno je vytvorené podobne, ako je tomu u nožnicových zdvihákov. Je teda možné ho stiahnuť do relatívne minimalistickej formy a naopak rozťahnuť do požadovaných rozmerov. Nevýhodou tohto riešenia je jeho fixnosť na zadanú polohu – nie je možná zmena výšky, horizontálnej polohy ani dosahu. Zaujímavosťou je riešenie umiestnenia nádoby s vodou, ktorá tvorí telo robota. Pri vyššej svetlej výške podvozku by jednou z možností mohlo byť umiestnenie nádoby s vodou zospodu robota. [16]



Obrázok 4.10 - Ukážka variantu 10, [16]

Variant 11

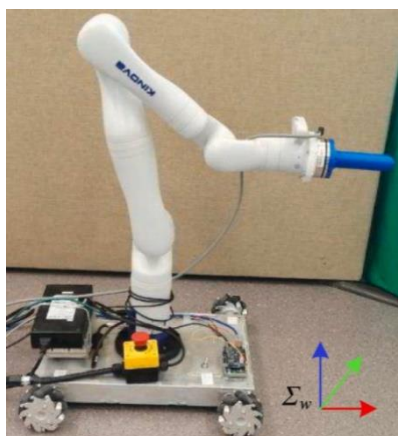
Riešenie, ktoré je zobrazené na obrázku (Obrázok 4.11) je svojou mechanickou konštrukciou určené výslovne do exteriéru. Je limitované výškou rastlín a rameno je umiestnené navrchu konštrukcie a smeruje nadol k rastline. Jedná sa o manipulátor s piatimi stupňami voľnosti, čo umožňuje dobrú manipuláciu s koncovým efektorom. Nič to však nemení na tom, že tento koncept je pre použitie v interiéri nevhodný. [17]



Obrázok 4.11 – Ukážka variantu 11, [17]

Variant 12

Posledný variant je špecifický tým, že jeho účel nie je spojený so zalievaním rastlín. Jedná sa o mobilného robota s manipulátorom so siedmimi stupňami voľnosti, určeného pre interakciu s človekom (Obrázok 4.12). Napriek tomu je toto riešenie uvedené spolu s ostatnými, pretože po pridaní vodného okruhu (nádoba na vodu, hadičky, zariadenie zabezpečujúce transfer vody) by mohlo fungovať aj na účel zadanej úlohy. Keďže rameno má až sedem stupňov voľnosti, je možné vo veľkom rozsahu meniť výšku, horizontálnu polohu, dosah aj natočenie ramena a koncového efektora. Nevýhodou je v tomto prípade fakt, že výroba tohto manipulátora by bola pre tento účel neefektívna a časovo aj finančne náročná, čo by pravdepodobne vyústilo do nutnosti zakúpenia daného manipulátora ako celku (narušenie významu cieľov a zadania tejto diplomovej práce). [18]



Obrázok 4.12 – Ukážka variantu 12, [18]

4.1.2 Zhodnotenie

Na základe popisu a rozboru jednotlivých variantov známych riešení je možné dospieť k záveru, že u väčšiny z nich je daná koncepcia zalievajúceho modulu menej vhodná ba až nevyhovujúca pre použitie v tejto práci, nakoľko nespĺňa niektoré zo základných požiadaviek riešenia. Aj z tohto dôvodu bude v ďalších podkapitolách uvedený podrobný rozbor rôznych variantov zalievajúceho mechanizmu aj vodného okruhu.

4.2 Varianty vodného okruhu (zalievanie/čerpanie)

V nasledujúcich podkapitolách je uvedený rozbor variantov vodného okruhu riešiaceho zalievanie a čerpanie vody. Vytvorené varianty nemajú pôvod v žiadnom dostupnom zdroji, jedná sa o vlastný prínos pri skúmaní potenciálne vhodných riešení. Každý variant obsahuje popis, schému, tabuľku s výhodami a nevýhodami, dostupnosť na trhu spolu s cenou a na záver zhodnotenie. Varianty sú hodnotené na základe kritérií, ktorým sú priradené váhy. Každý variant je bodovo ohodnotený od nuly až po maximálnu bodovú hranicu pre dané kritérium. Výsledným hodnotením je suma čiastkových hodnotení jednotlivých kritérií.

4.2.1 Kompresor

Popis variantu:

Variant pozostáva z uzavretej nádoby na vodu (zásobník vody na zalievajúcom module) s dvomi vývodmi, a to pre kompresor a zalievajúci mechanizmus. Kompresor zabezpečuje tlakovanie nádoby – vytvára podtlak pre čerpanie vody, resp. pretlak pre zalievanie. Čerpanie a zalievanie sa uskutočňuje prostredníctvom jedného vodného okruhu (jedna hadička – jeden vstup do nádoby).

V nádobe na vodu je umiestnený snímač tlaku, ktorý v spolupráci so snímačom prietoku monitoruje a udržiava požadovanú hodnotu prietoku. Senzory výšky hladiny fungujú ako indikátory minimálneho resp. maximálneho dovoleného množstva vody v nádobe.

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-1).

Tabuľka 4-1 – Výhody a nevýhody variantu riešenia vodného okruhu s kompresorom

<i>Výhody:</i>
Zalievanie aj čerpanie zaistené jedným zariadením (v prípade variantu s jedným kompresorom)
Využitie jedného vodného okruhu (pre zalievanie aj čerpanie)
Umiestnenie kompresora mimo zásobníka s vodou
<i>Nevýhody:</i>
Tlakovaný systém
Bez možnosti doplnenia vody ručne (v prípade potreby)
Vyššie požiadavky na zásobník vody – materiál, tvar, pevnosť, tesnosť a pod.
Vplyv cyklického namáhania na zásobník (únava materiálu)
Účinnosť zalievania/čerpania závisí na množstve zostávajúcej vody v zásobníku
Zložitejšia regulácia prietoku vody
Bez možnosti okamžitého zalievania, resp. čerpania vody

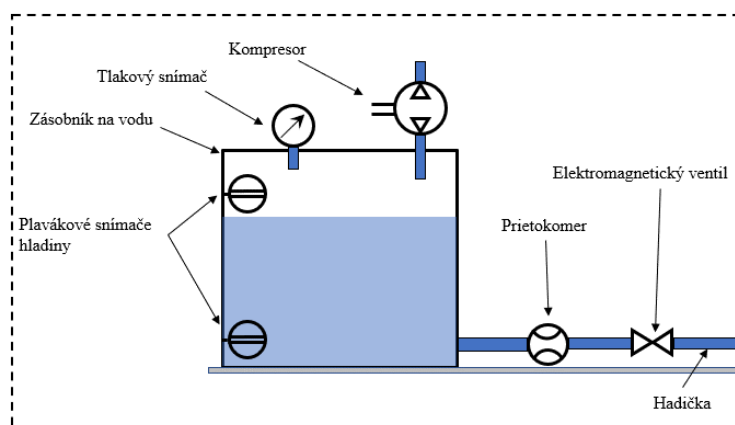
Dostupnosť na trhu:

Na trhu je možné nájsť kompresory určené buď zvlášť na pumpovanie a zvlášť na satie vzduchu alebo aj kompresory, ktoré umožňujú obe funkcie. Z tohto dôvodu bude ďalej táto podkapitola pokračovať v rozdelení na dve varianty.

Jeden kompresor

Ceny u najlacnejších dostupných produktov sa pohybujú okolo 40 – 60 €. Jedná sa teda o menej výhodný variant z ekonomického hľadiska, ale aj z hľadiska rozmerov a hmotnosti. Výhodou je použitie jediného zariadenia pre obsluhu zalievania aj čerpania. Príkladom takého produktu je kompresor AR10BL12, ktorý je zobrazený na obrázku (Obrázok 12.1) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-1) v prílohe 12.1.1 na konci práce. [19]

Schéma:

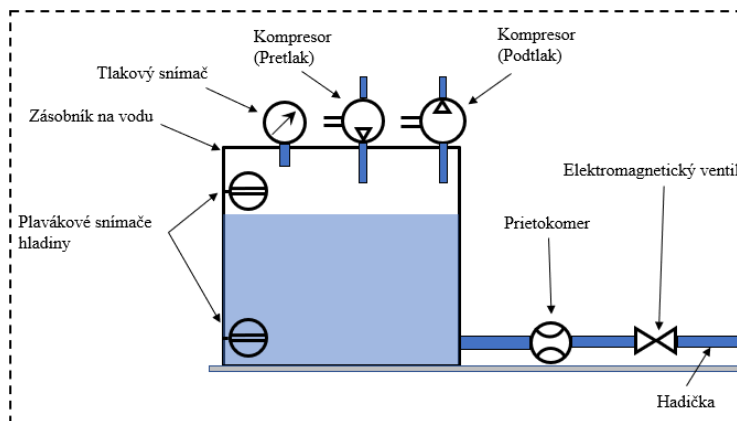


Obrázok 4.13 – Schéma variantu vodného okruhu s jedným kompresorom

Dva kompresory

Ceny u najlacnejších typov sa pohybujú v rozmedzí 5 – 15 €. V porovnaní s kompresorom, ktorý zabezpečuje oba smery prúdenia vzduchu sa teda jedná o citeľnú ekonomickú úsporu, a to dokonca aj pri použití dvoch jednoúčelových kompresorov. Výhodou sú aj menšie rozmery a nižšia hmotnosť. Naopak nevýhodou je nutnosť použitia dvoch zariadení pre zabezpečenie zalievania a čerpania, čo celkovo znižuje spoľahlivosť celého systému. Príkladom kompresorov, ktoré vytvárajú podtlak sú: Koge KPM27L, ktorý je zobrazený na obrázku (Obrázok 12.2) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-2) v prílohe 12.1.1 na konci práce, a druhým typom je Micro Air Pump 370-B, ktorý je zobrazený na obrázku (Obrázok 12.3) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-3) v prílohe 12.1.1 na konci práce. V prípade pretlaku sa jedná napríklad o kompresor Skoocom SC600, ktorý je zobrazený na obrázku (Obrázok 12.4) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-4) v prílohe 12.1.1 na konci práce. [20], [21], [22]

Schéma:



Obrázok 4.14 – Schéma variantu vodného okruhu s dvomi kompresormi

Zhodnotenie oboch variantov vodného okruhu s kompresorom:

Vo variante s kompresorom ako zariadením zabezpečujúcim transfer vody zo zdroja vody do zásobníka a zo zásobníka do kvetináča sa objavujú zvýšené požiadavky na vlastnosti zásobníka na vodu, ako: štruktúrna pevnosť, tesnosť, tvar a materiál, spôsobené vytváraním pretlaku a podtlaku v nádobe. V prípade dvoch jednoúčelových zariadení (jedno vytvárajúce pretlak a druhé podtlak) daný variant stráca výhodu použitia jediného zariadenia pre transfer vody, a taktiež je možné očakávať nižšiu účinnosť a spoľahlivosť systému ako celku. Použitie jedného kompresora vychádza finančne náročne, pričom nevýhodou je aj nedostupnosť na lokálnom trhu.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-2) je uvedené hodnotenie oboch variantov riešenia vodného okruhu s kompresorom na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-2 – Zhodnotenie variantov riešenia vodného okruhu s kompresorom

Kritérium	Body	
	Jeden kompresor	Dva kompresory
Nároky na zásobník vody	0.5/1.5	0.5/1.5
Regulácia prietoku vody	0.5/1.5	0.5/1.5
Okamžité zalievanie/čerpanie	0/1	0/1
Vedenie kabeláže do vody	0.5/0.5	0.5/0.5
Dostupnosť na trhu a cena	0.2/1	0.5/1
Účinnosť a životnosť	0.8/1.5	0.6/1.5
Počet zariadení obsluhujúci čerpanie/zalievanie	1/1	0.5/1
Konštrukčné riešenie a umiestnenie	1/2	0.7/2
Celkové hodnotenie	4.5/10	3.8/10

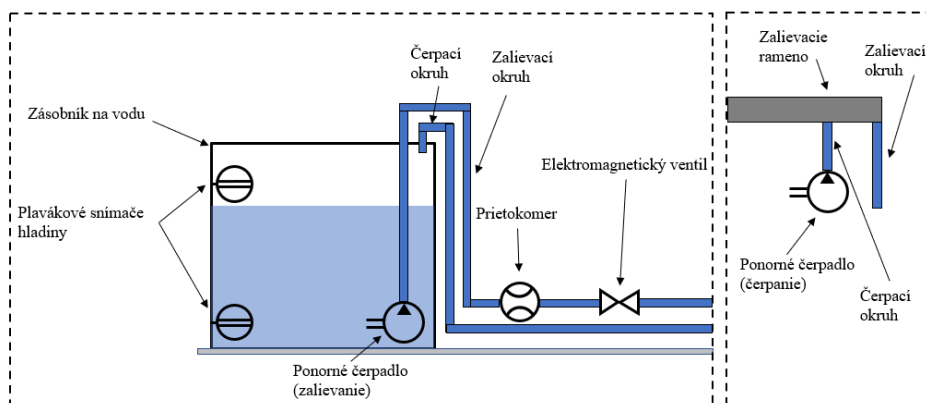
4.2.2 Čerpadlo

Dve ponorné čerpadlá

Popis variantu:

Zásobník na vodu tvorí uzavretá, ale na rozdiel od variantov s kompresormi netlakovaná nádoba. O transfer vody zo zdroja do zásobníka a zo zásobníka do kvetináča sa starajú dve ponorné čerpadlá. Tento typ čerpadiel pre svoju funkčnosť vyžaduje plné zaliatie vodou, musí sa teda nachádzať v danej nádobe pod úrovňou hladiny. Keďže sa v nich nachádza DC motor poháňajúci rotujúce obežné kolo s lopatkami, musí byť tento motor dobre izolovaný, aby sa doň nemohla žiadnym spôsobom dostať voda ani vlhkosť. V prípade tohto variantu je potrebné využiť dva vodné okruhy (jeden pre zalievanie a druhý pre čerpanie vody). Snímače výšky hladiny sú umiestnené v zásobníku pre detekciu minimálnej a maximálnej dovolenej výšky hladiny a pre kontrolu prietoku sa v zalievajúcom vodnom okruhu nachádza aj prietokový senzor. Zdroj vody pre zalievajúci modul je predpokladaný ako otvárateľná nádoba, ktorá je prístupná zhora.

Schéma:



Obrázok 4.15 – Schéma variantu vodného okruhu s dvomi ponornými čerpadlami

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-3).

Tabuľka 4-3 – Výhody a nevýhody variantu riešenia vodného okruhu s dvomi ponornými čerpadlami

Výhody:
Netlakovaný systém
Možnosť doplnenia vody ručne (v prípade potreby)
Menšie požiadavky na zásobník vody – materiál, tvar, pevnosť a pod.
Cenovo dostupný variant
Účinnosť zalievania/čerpania nezávisí na množstve zostávajúcej vody v zásobníku
Jednoduchšia regulácia prietoku vody
Možnosť okamžitého zalievania, resp. čerpania vody
Nevýhody:
Potreba zaliatia oboch čerpadiel – problém hlavne pri čerpadle určenom pre čerpanie
Umiestnenie čerpadla priamo na zalievajúcom mechanizme
Vedenie kabeláže čerpadiel do vody – zvýšené riziko poruchy, resp. zníženie životnosti
Použitie dvoch vodných okruhov

Dostupnosť na trhu:

Na trhu sa nachádzajú produkty v cenovom rozmedzí približne 2 – 30 €. Dôležitými parametrami sú maximálny prietok, výtlak či napájacie napätie. Problémom u niektorých typov je častá nedostupnosť niektorého z uvedených parametrov, prípadne nezhoda u hodnoty parametru. Ako príklad vhodných typov ponorných čerpadiel sú uvedené: čerpadlo ESES, ktoré je zobrazené na obrázku (Obrázok 12.5) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-5) v prílohe 12.1.1 na konci práce, a druhým typom je čerpadlo ECLIPSE, ktoré je zobrazené na obrázku (Obrázok 12.6) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-6) v prílohe 12.1.1 na konci práce. [23], [24]

Zhodnotenie variantu vodného okruhu s dvomi ponornými čerpadlami:

Výhodou riešenia s použitím čerpadla namiesto kompresora sú nižšie nároky na zásobník vody, ktorý nemusí byť tlakovaný – z toho vyplývajú nižšie nároky na materiál, tesnosť (ktorá však za normálneho atmosférického tlaku musí byť zaistená) a pod. Ďalšími výhodami sú napr. možnosť okamžitého zalievania resp. čerpania vody – oproti variantu s kompresorom, kedy sa v nádobe najprv musí vytvoriť daný podtlak či pretlak. Jednoduchšia je taktiež regulácia prietoku. Nevýhodou u ponorného čerpadla je nutnosť jeho zaliatia, čo môže spôsobovať ťažkosti hlavne pri riešení čerpania vody zo zdroja (čerpadlo by pravdepodobne muselo byť umiestnené na konci ramena a ponárať sa do zdroja vody). Ďalšou nevýhodou je vedenie kabeláže k čerpadlu do vody, čo by mohol byť potenciálny zdroj porúch a problémov.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-4) je uvedené hodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s dvomi ponornými čerpadlami na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-4 – Zhodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s dvomi ponornými čerpadlami

Kritérium	Body
Nároky na zásobník vody	1.5/1.5
Regulácia prietoku vody	1.5/1.5
Okamžité zalievanie/čerpanie	1/1
Vedenie kabeláže do vody	0/0.5
Dostupnosť na trhu a cena	1/1
Účinnosť a životnosť	0.5/1.5
Počet zariadení obsluhujúci čerpanie/zalievanie	0.5/1
Konštrukčné riešenie a umiestnenie	0.2/2
Celkové hodnotenie	6.2/10

Dve povrchové čerpadlá

Popis variantu:

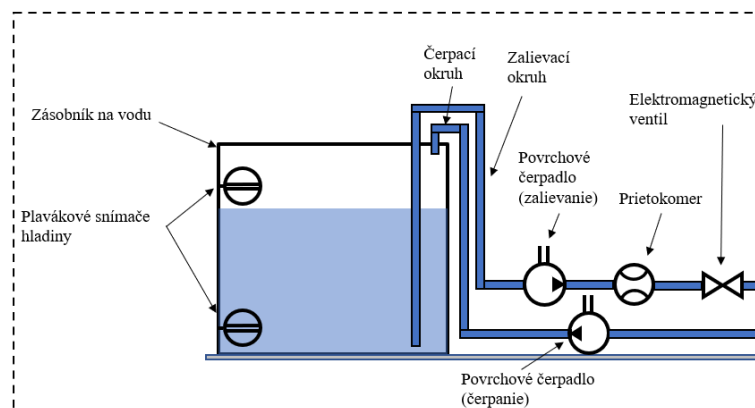
Podobne ako v prípade variantu s dvomi ponornými čerpadlami je nádoba na vodu uzavretá, ale netlakovaná. Transfer vody je zabezpečený dvomi povrchovými čerpadlami, z ktorých jedno je určené pre zalievanie a druhé pre čerpanie vody.

Jedná sa o typ čerpadiel, ktoré sú použiteľné mimo nádrže s vodou, nemusia resp. ani nesmú byť zaliate a nesmú prísť do kontaktu s vodou inak, ako cez hadičku. Existuje viacero princípov, na základe ktorých tieto čerpadlá pumpujú vodu zo zdroja do cieľového miesta, pričom niektoré vyžadujú mať už hadičku vedúcu od zdroja k čerpadlu naplnenú vodou (nie sú vhodné pre prevádzku naprázdno) a iné sú zasa schopné si vodu od zdroja cez pôvodne prázdnu hadičku natiahnuť až k čerpadlu a následne vytlačiť k cieľovému miestu (možná prevádzka naprázdno). [25], [26], [27]

Napr. membránové čerpadlo funguje na základe vytvárania pretlaku a podtlaku v silikónových piestoch pomocou rotujúceho vyoseného hriadeľa DC motora. Jeho výhodou je, že si dokáže vodu zo zdroja nasáť aj s pôvodne prázdnu hadičkou. Zubové čerpadlo vytláča vodu pomocou dvoch ozubených kolies a je potrebné, aby pred jeho spustením už bola hadička naplnená vodou. Peristaltické čerpadlo funguje dobre na presné dávkovanie a umožňuje obojsmerný chod, avšak má veľmi malý prietok. Špeciálny tvar konca hriadeľa DC motora vytláča vodu z hadičky a vytvára v nej zároveň podtlak pre nasatie ďalšieho množstva vody. [28], [29], [30]

Rovnako ako v predošlom variante je v zalievajúcom okruhu umiestnený prietokový snímač a v zásobníku dva plavákové senzory výšky hladiny. Zdroj vody pre účely čerpania vody do zásobníka na zalievajúcom module je predpokladaný ako otvárateľná nádoba s prístupom zhora.

Schéma:



Obrázok 4.16 – Schéma variantu vodného okruhu s dvomi povrchovými čerpadlami

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-5).

Tabuľka 4-5 – Výhody a nevýhody variantu riešenia vodného okruhu s dvomi povrchovými čerpadlami

Výhody:
Netlakovaný systém
Možnosť doplnenia vody ručne (v prípade potreby)
Menšie požiadavky na zásobník vody – materiál, tvar, pevnosť a pod.
Cenovo dostupný variant
Účinnosť zalievania/čerpania nezávisí na množstve zostávajúcej vody v zásobníku
Jednoduchšia regulácia prietoku vody
Možnosť okamžitého zalievania, resp. čerpania vody
Obe čerpadlá sú povrchové – nemusia byť ponorené pod hladinou
Nevýhody:
Povrchové čerpadlo by nemalo byť prevádzkované naprázdno (záleží na zvolenom type)
Zaistenie ochrany robota v prípade poruchy povrchového čerpadla
Použitie dvoch vodných okruhov

Dostupnosť na trhu:

Na trhu existuje veľa druhov povrchových čerpadiel v rôznych cenových kategóriách, veľkostiach a s rôznymi hodnotami parametrov. Z cenovo najdostupnejších typov boli ako vhodné vybrané nasledujúce: membránové čerpadlo so silentblokmi ESES R385, ktoré je zobrazené na obrázku (Obrázok 12.7) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-7) v prílohe 12.1.1 na konci práce. Ako ďalšie bolo vybrané zubové čerpadlo ECLIPSE, ktoré je zobrazené na obrázku (Obrázok 12.8) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené

v tabuľke (Tabuľka 12-8) v prílohe 12.1.1 na konci práce. Posledným vybraným typom bolo peristaltické čerpadlo INTLLAB, ktoré je zobrazené na obrázku (Obrázok 12.9) v prílohe 12.1.1 na konci práce a jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-9) v prílohe 12.1.1 na konci práce.

Zhodnotenie variantu vodného okruhu s dvomi povrchovými čerpadlami:

Výhody oproti použitiu kompresora sú uvedené v zhodnotení variantu v podkapitole *Dve ponorné čerpadlá*. V prípade povrchových čerpadiel, na rozdiel od použitia ponorných, je výhodou fakt, že čerpadlá nemusia byť zaliate vodou a kabeláž tak nezasahuje do vody – eliminácia rizika skratu motora čerpadla. Výhodou je taktiež väčšia variabilita umiestnenia čerpadiel na zalievajúci modul, pri tom je však potrebné zaistiť, aby sa pri poruche čerpadla (ak nastane) voda nedostala z modulu až na robota. Na trhu sa nachádza viacero typov povrchových čerpadiel v podobnej cenovej kategórii ako u ponorných čerpadiel.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-6) je uvedené hodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s dvomi povrchovými čerpadlami na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-6 – Zhodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s dvomi povrchovými čerpadlami

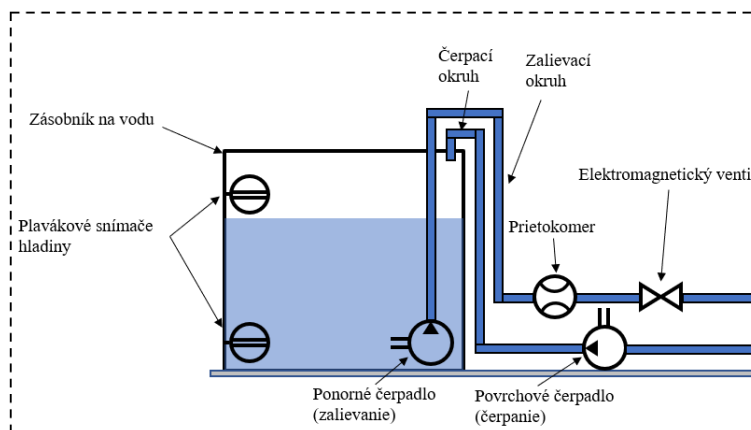
<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Nároky na zásobník vody	1.5/1.5
Regulácia prietoku vody	1.5/1.5
Okamžité zalievanie/čerpanie	1/1
Vedenie kabeláže do vody	0.5/0.5
Dostupnosť na trhu a cena	1/1
Účinnosť a životnosť	1/1.5
Počet zariadení obsluhujúci čerpanie/zalievanie	0.5/1
Konštrukčné riešenie a umiestnenie	0.7 /2
Celkové hodnotenie	7.7/10

Jedno povrchové a jedno ponorné čerpadlo

Popis variantu:

Tento variant je kombináciou predošlých variantov s čerpadlami. Povrchové čerpadlo je určené pre čerpanie vody zo zdroja do zásobníka a ponorné pre zaistenie zalievania zo zásobníka do kvetináča. Opäť sú v tomto variante využité dva vodné okruhy. Nádoba na vodu je uzavretá a netlakovaná a nachádzajú sa v nej dva senzory výšky hladiny pre určenie maximálnej a minimálnej dovolenej výšky hladiny. Informáciu o prietoku zabezpečuje prietokový snímač.

Schéma:



Obrázok 4.17 – Schéma variantu vodného okruhu s jedným povrchovým a jedným ponorným čerpadlom

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-7).

Tabuľka 4-7 – Výhody a nevýhody variantu riešenia vodného okruhu s jedným povrchovým a jedným ponorným čerpadlom

Výhody:
Netlakovaný systém
Možnosť doplnenia vody ručne (v prípade potreby)
Menšie požiadavky na zásobník vody – materiál, tvar, pevnosť a pod.
Cenovo dostupný variant
Účinnosť zalievania/čerpania nezávisí na množstve zostávajúcej vody v zásobníku
Jednoduchšia regulácia prietoku vody
Možnosť okamžitého zalievania, resp. čerpania vody
Čerpadlo určené pre čerpanie vody zo zdroja je povrchové – nemusí byť umiestnené na zalievajúcom ramene
Nevýhody:
Potreba zaliatia ponorného čerpadla
Zaistenie ochrany robota v prípade poruchy povrchového čerpadla
Vedenie kabeláže ponorného čerpadla do vody – zvýšené riziko poruchy, resp. zníženie životnosti
Použitie dvoch vodných okruhov

Dostupnosť na trhu:

Dostupnosť na trhu v prípade ponorných aj povrchových čerpadiel je popísaná v podkapitolách *Dve ponorné čerpadlá* a *Dve povrchové čerpadlá*.

Zhodnotenie variantu vodného okruhu s jedným povrchovým a jedným ponorným čerpadlom:

Výhody oproti použitiu kompresora sú uvedené v zhodnotení variantu v podkapitole *Dve ponorné čerpadlá*. V porovnaní s dvomi ponornými čerpadlami je výhodou použitie povrchového čerpadla určeného pre čerpanie vody zo zdroja, pretože čerpadlo nemusí byť umiestnené na koncovom efektore zalievajúcej konštrukcie a netreba ho ponárať do zdroja vody. Nevýhodou oproti dvom povrchovým čerpadlám je umiestnenie ponorného čerpadla určeného pre zalievanie do zásobníka na zalievajúcom module – vedenie kabeláže do vody môže znížiť spoľahlivosť celého systému. Z oboch typov je možné na trhu vybrať čerpadlo s vhodnými parametrami a v príslušnom cenovom rozmedzí.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-8) je uvedené hodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s jedným povrchovým a jedným ponorným čerpadlom na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-8 – Zhodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s jedným povrchovým a jedným ponorným čerpadlom

<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Nároky na zásobník vody	1.5/1.5
Regulácia prietoku vody	1.5/1.5
Okamžité zalievanie/čerpanie	1/1
Vedenie kabeláže do vody	0.2/0.5
Dostupnosť na trhu a cena	1/1
Účinnosť a životnosť	0.5/1.5
Počet zariadení obsluhujúci čerpanie/zalievanie	0.5/1
Konštrukčné riešenie a umiestnenie	0.7/2
Celkové hodnotenie	6.9/10

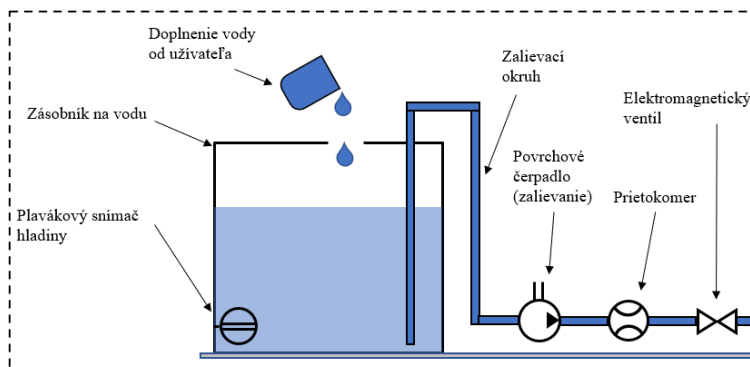
4.2.3 Otvárateľný zásobník na robotovi s povrchovým čerpadlom

Voda dopĺňaná užívateľom

Popis variantu:

Zásobník je v tomto variante dopĺňaný užívateľom cez uzatvárateľný otvor na vrchu nádoby. Zalievanie je zaistené povrchovým čerpadlom umiestneným na zalievajúcom module, z čoho vyplýva využitie jedného vodného okruhu, v ktorom sa nachádza aj prietokový snímač. Keďže je čerpanie zaistené užívateľom, v nádobe sa nachádza len jeden plavákový senzor výšky hladiny na určenie minimálnej dovolenej výšky, pri ktorej dostane užívateľ informáciu o nedostatku vody a potrebe jej doplnenia.

Schéma:



Obrázok 4.18 – Schéma variantu vodného okruhu s vodou dopĺňanou užívateľom a zalievaním pomocou povrchového čerpadla

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-9).

Tabuľka 4-9 – Výhody a nevýhody variantu riešenia vodného okruhu s vodou dopĺňanou užívateľom a zalievaním pomocou povrchového čerpadla

Výhody:
Netlakovaný systém
Možnosť doplnenia vody ručne
Menšie požiadavky na zásobník vody – materiál, tvar, pevnosť a pod.
Cenovo dostupný variant
Účinnosť zalievania/čerpania nezávisí na množstve zostávajúcej vody v zásobníku
Jednoduchšia regulácia prietoku vody pri zalievaní
Pre transfer vody je použité len jedno zariadenie (použitie jedného vodného okruhu)
Možnosť okamžitého zalievania
Bez vedenia kabeláže čerpadla do vody
Jednoduchší variant oproti predchádzajúcim
Nevýhody:
Strata autonómnosti – čerpanie vody do zásobníka zaisťuje užívateľ
Čerpanie bez možnosti automaticky regulovať prietok a zastavenie čerpania vody po dosiahnutí maximálnej dovolenej výšky – všetko závisí od užívateľa
Možnosť vylitia vody pri dopĺňaní od užívateľa – zlyhanie ľudského faktora
Zaistenie ochrany robota v prípade poruchy povrchového čerpadla

Dostupnosť na trhu:

Dostupnosť na trhu v prípade povrchových čerpadiel je popísaná v podkapitole *Dve povrchové čerpadlá*.

Zhodnotenie variantu vodného okruhu s vodou dopĺňanou užívatelom a zalievaním pomocou povrchového čerpadla:

Aj napriek množstvu výhod definuje tento variant najmä jedna veľká nevýhoda, a to je strata plnej autonómnosti celého systému z dôvodu zabezpečenia čerpania vody do zásobníka užívatelom. Systém ako celok by bol samostatný v procese zalievania, avšak len do chvíle, keď nastane nedostatok vody v zásobníku. Vtedy je nútený zastaviť ďalší proces zalievania a počkať na doplnenie vody od užívatel'a. Z tohto dôvodu je výsledné hodnotenie anulované pre porušenie základnej požiadavky systému (autonómnosti). Tento variant je vhodný len ako testovací, a to v prípade testovania oboch funkcií (zalievanie, čerpanie) zvlášť.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-10) je uvedené hodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s vodou dopĺňanou užívatelom a zalievaním pomocou povrchového čerpadla na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-10 – Zhodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s vodou dopĺňanou užívatelom a zalievaním pomocou povrchového čerpadla

<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Nároky na zásobník vody	1.5/1.5
Regulácia prietoku vody	1/1.5
Okamžité zalievanie/čerpanie	0.5/1
Vedenie kabeláže do vody	0.5/0.5
Dostupnosť na trhu a cena	1/1
Účinnosť a životnosť	0.5/1.5
Počet zariadení obsluhujúci čerpanie/zalievanie	1/1
Konštrukčné riešenie a umiestnenie	1,5/2
Celkové hodnotenie	7,5/10

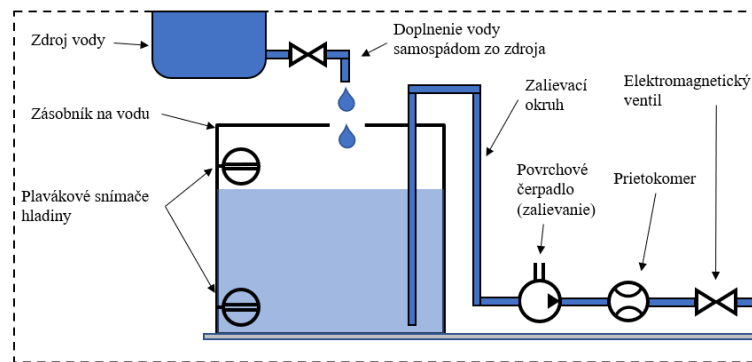
Voda dopĺňaná samospádom zo zdroja

Popis variantu:

Tento variant sa od predchádzajúceho líši v spôsobe čerpania vody do zásobníka. Ani v tomto prípade nie je potrebné zariadenie pre čerpanie vody, nakoľko je voda dopĺňaná do zásobníka automaticky samospádom. Výpustný ventil zdroja vody sa teda nachádza nad otvorom do zásobníka. Musí byť zaistené presné polohovanie, aby sa ventil vždy bezpečne a spoľahlivo nachádzal nad otvorom do zásobníka. Takýto zdroj vody by mohol byť následne súčasťou dokovacej stanice, v ktorej by robot dobíjal svoj akumulátor. Otváranie a zatváranie ventilu zdroja vody môže byť realizované viacerými spôsobmi, napríklad: aktivácia pohybom robota (robot svojím pohybom dopredu a dozadu otvára a uzatvára ventil – koncový senzor zabezpečí zastavenie pohybu pri maximálnom otvorení ventilu), aktivácia príjazdom robota na koncový senzor umiestnený na zdroji vody (umiestnenie obslužnej elektroniky a pohonu na otváranie a zatváranie ventilu priamo na zdroji vody) a aktivácia pomocou mechanizmu umiestneného na zalievajúcom

module (koncový senzor na zalievajúcom module je aktivovaný prízjazdom robota k zdroju vody a vhodný mechanizmus otvorí a zatvorí ventil). Z dôvodu zníženia rizika vyliatia vody z otvorenej nádoby (zásobníka) pri pohybe robota je potrebné zaistiť jej otváranie a zatváranie. V zásobníku sa nachádzajú plavákové senzory výšky hladiny a v zalievajúcom okruhu prietokový senzor.

Schéma:



Obrázok 4.19 – Schéma variantu vodného okruhu s vodou dopĺňanou samospádom zo zdroja a zalievaním pomocou povrchového čerpadla

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-11).

Tabuľka 4-11 – Výhody a nevýhody variantu riešenia vodného okruhu s vodou dopĺňanou samospádom zo zdroja a zalievaním pomocou povrchového čerpadla

Výhody:
Netlakovaný systém
Možnosť doplnenia vody ručne
Menšie požiadavky na zásobník vody – materiál, tvar, pevnosť a pod.
Cenovo dostupný variant
Účinnosť zalievania/čerpania nezávisí na množstve zostávajúcej vody v zásobníku
Jednoduchšia regulácia prietoku vody pri zalievaní
Pre transfer vody je použité len jedno zariadenie
Neprichádza k strate autonómnosti ako v predošlom variante
Možnosť okamžitého zalievania
Bez vedenia kabeláže čerpadla do vody
Nevýhody:
Vytvorenie spojenia medzi zásobníkom a zdrojom vody tak, aby bol ventil výpuste zdroja vody otváraný a zatváraný vždy bezpečne len nad otvorom do zásobníka
Vyššie riziko vyliatia vody pri čerpaní – možnosti poruchy
Zaistenie ochrany robota v prípade poruchy povrchového čerpadla

Dostupnosť na trhu:

Dostupnosť na trhu v prípade povrchových čerpadiel je popísaná v podkapitole *Dve povrchové čerpadlá*.

Zhodnotenie variantu vodného okruhu s vodou dopĺňanou samospádom zo zdroja a zalieváním pomocou povrchového čerpadla.:

Výhodou oproti predchádzajúcemu variantu je zachovanie autonómnosti celého systému. Taktiež zdieľa výhody použitia čerpadla namiesto kompresora a výhody povrchového čerpadla pre zalievanie. Nevýhodou u čerpania vody samospádom je možnosť vylitia vody a riziko poruchy, a to pri nesprávnom návrhu čerpacej sústavy alebo nedostatočne presnom polohovaní robota. Je potrebné klásť veľký dôraz pri návrhu procesu a mechanizmu čerpania vody kvôli eliminácii možných rizík.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-12) je uvedené hodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s vodou dopĺňanou samospádom zo zdroja a zalieváním pomocou povrchového čerpadla na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-12 – Zhodnotenie variantu riešenia vodného okruhu s vodou dopĺňanou samospádom zo zdroja a zalieváním pomocou povrchového čerpadla

<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Nároky na zásobník vody	1/1.5
Regulácia prietoku vody	1/1.5
Okamžité zalievanie/čerpanie	1/1
Vedenie kabeláže do vody	0.5/0.5
Dostupnosť na trhu a cena	1/1
Účinnosť a životnosť	1/1.5
Počet zariadení obsluhujúci čerpanie/zalievanie	1/1
Konštrukčné riešenie a umiestnenie	1.1/2
Celkové hodnotenie	7.6/10

4.3 Varianty zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu

V nasledujúcich podkapitolách je uvedený rozbor variantov zalievajúceho, resp. čerpacieho mechanizmu. Ani v tomto prípade nemajú vytvorené varianty pôvod v žiadnom dostupnom zdroji, jedná sa o vlastný prínos pri skúmaní potenciálne vhodných riešení. Každý variant, podobne ako u vodného okruhu, obsahuje popis, schému, tabuľku s výhodami a nevýhodami, ďalej pracovný priestor a na záver zhodnotenie. Varianty sú hodnotené na základe kritérií, ktorým sú priradené váhy. Každý variant je bodovo ohodnotený od nuly až po maximálnu bodovú hranicu pre dané kritérium. Výsledným hodnotením je suma čiastkových hodnotení jednotlivých kritérií.

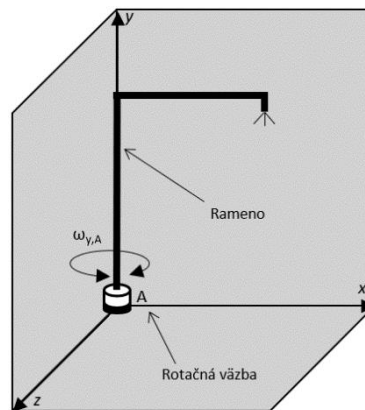
4.3.1 Jedno rameno

Jedna rotačná väzba

Popis variantu:

Zalievajúci mechanizmus je tvorený jedným ramenom v tvare „L“ (dve ramená navzájom pevne spojené pod uhlom 90°). Rotačná väzba A umožňuje ramenu horizontálny pohyb po kružnici spája rameno priamo s podstavou a os otáčania sa zhoduje s osou y.

Schéma:



Obrázok 4.20 – Schéma variantu s jedným ramenom a jednou rotačnou väzbou

Pracovný priestor:

Krivka – časť kružnice

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-13).

Tabuľka 4-13 – Výhody a nevýhody variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s jedným ramenom a jednou rotačnou väzbou

Výhody:
Jednoduchosť konštrukcie
Malý počet väzieb a pohonov
Nižšie náklady
Umožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Nevýhody:
Neumožňuje vertikálny pohyb koncového efektora
Malý pracovný priestor
Neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Nižšia stabilita konštrukcie

Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s jedným ramenom a jednou rotačnou väzbou:

Jedná sa o základný a najjednoduchší variant riešenia. Rotačná väzba, ktorá umožňuje horizontálny pohyb ramena spája podstavu a rameno. Z dôvodu tvaru ramena a požadovanej dĺžky dosahu na túto väzbu pôsobí výrazný moment, čo znižuje stabilitu konštrukcie, najmä pri pohybe robota. Veľkou nevýhodou je absencia vertikálneho pohybu ramena, čo zapríčiňuje aj jeho malý pracovný priestor tvorený len časťou kružnice. Takisto tento variant neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-14) je uvedené hodnotenie variantu riešenia riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s jedným ramenom a jednou rotačnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-14 – Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s jedným ramenom a jednou rotačnou väzbou

<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Jednoduchosť konštrukcie	1/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.5/1
Vertikálny pohyb	0/2.5
Horizontálny pohyb	2.5/2.5
Zmena dosahu	0/1
Náklady	0.5/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.5/1.5
Celkové hodnotenie	5/10

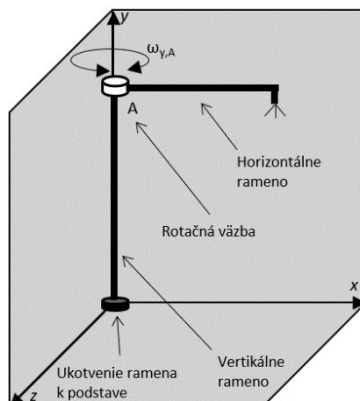
4.3.2 Dve ramená

Jedna rotačná väzba (variant A)

Popis variantu:

Variant je svojím tvarom aj výsledným pohybom podobný predchádzajúcemu variantu, ale s rozdielnym umiestnením rotačnej väzby A. Vertikálne rameno je napevno uchytené k podstave a horizontálne rameno je pripojené k vertikálnemu pomocou zmienenej rotačnej väzby. Os rotácie je totožná s osou y.

Schéma:



Obrázok 4.21 – Schéma variantu (A) s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou

Pracovný priestor:

Krivka – časť kružnice

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-15).

Tabuľka 4-15 – Výhody a nevýhody variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou

<i>Výhody:</i>
Jednoduchosť konštrukcie
Malý počet väzieb a pohonov
Nižšie náklady
Umožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Vyššia stabilita, nižšie riziko poruchy
<i>Nevýhody:</i>
Neumožňuje vertikálny pohyb koncového efektora
Malý pracovný priestor
Neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora

Zhodnotenie variantu (A) s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou:

Jedná sa o podobný variant ako v predchádzajúcom prípade. Rameno je ale rozdelené na vertikálne a horizontálne, pričom ich spája rotačná väzba, umožňujúca horizontálny pohyb. Jej umiestnenie v hornej časti vertikálneho ramena spolu s jeho pevným uchytením k základni zvyšuje celkovú stabilitu. Opäť však chýba možnosť vertikálneho pohybu a rovnako aj zmeny dosahu koncového efektora, s čím súvisí aj výsledný malý pracovný priestor. Absenciu vertikálneho pohybu nie je možné nahradiť iným spôsobom.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-16) je uvedené hodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-16 – Zhodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou

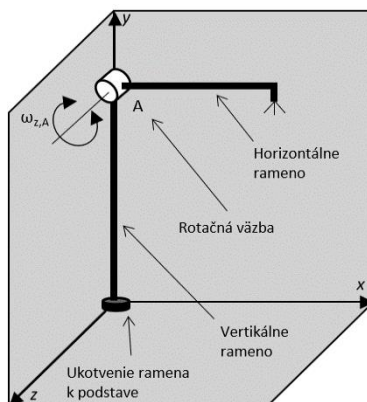
Kritérium	Body
Jednoduchosť konštrukcie	1/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	1/1
Vertikálny pohyb	0/2.5
Horizontálny pohyb	2.5/2.5
Zmena dosahu	0/1
Náklady	0.5/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.5/1.5
Celkové hodnotenie	5.5/10

Jedna rotačná väzba (variant B)

Popis variantu:

Rozdielom oproti predchádzajúcemu variantu je smer osi rotácie väzby A a v zmysle rozdelenia ramien na horizontálne a vertikálne, nakoľko horizontálne rameno v základnej polohe síce smeruje kolmo vzhľadom k vertikálnemu ramenu, ale väzba ktorá ich spája umožňuje len vertikálny pohyb. Os otáčania tejto väzby je zhodná s osou z.

Schéma:



Obrázok 4.22 – Schéma variantu (B) s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou

Pracovný priestor:

Krivka – časť kružnice

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-17).

Tabuľka 4-17 – Výhody a nevýhody variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou

<i>Výhody:</i>
Jednoduchosť konštrukcie
Malý počet väzieb a pohonov
Nižšia cena
Umožňuje vertikálny pohyb koncového efektora v menšom rozsahu
Vyššia stabilita, nižšie riziko poruchy
<i>Nevýhody:</i>
Neumožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Potreba presného polohovania ramena pohybom robota na základe obrazu z kamery
Malý pracovný priestor
Neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Prispôsobenie výškam kvetináčov len v malom rozsahu

Zhodnotenie variantu (B) s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou:

Variant je tvarom, počtom a umiestnením väzieb podobný predchádzajúcemu, ale podstatný rozdiel tvorí rozdielna os rotácie rotačnej väzby, ktorá v tomto prípade ramenu neumožňuje horizontálny pohyb, ale vertikálny. Mechanizmus teda nie je schopný horizontálne natačať a polohovať rameno, preto sa tento pohyb plne odvíja a je závislý od schopnosti robota presne polohovať a natočiť sa smerom ku kvetináču. Väzba umožňuje ramenu vertikálny pohyb po časti kružnice, avšak len v malom rozsahu okolo defaultnej polohy (natočenie 90° od vertikálneho ramena), aby neprišlo k veľkej zmene dosahu koncového efektora (v dôsledku pohybu po kružnici). Tieto faktory výrazne obmedzujú veľkosť a tvar pracovného priestoru zalievajúceho mechanizmu. Dosah ramena nie je možné meniť nezávisle na ostatných pohyboch.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-18) je uvedené hodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-18 – Zhodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou rotačnou väzbou

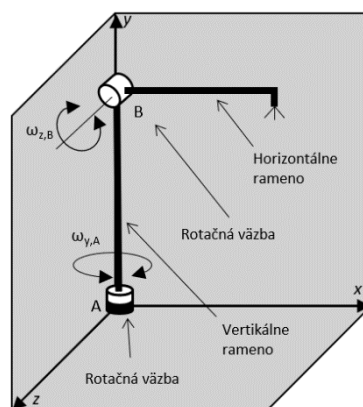
Kritérium	Body
Jednoduchosť konštrukcie	1/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	1/1
Vertikálny pohyb	1.5/2.5
Horizontálny pohyb	0/2.5
Zmena dosahu	0/1
Náklady	0.5/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.5/1.5
Celkové hodnotenie	4.5/10

Dve rotačné väzby (variant A)

Popis variantu:

Mechanizmus tvorí vertikálne rameno, uchytené cez rotačnú väzbu A k podstave, ktorá umožňuje ramenu rotačný pohyb okolo osi y. Horizontálne rameno, ktoré je s vertikálnym spojené cez rotačnú väzbu B, sa pohybuje okolo osi z vo vertikálnom smere.

Schéma:



Obrázok 4.23 – Schéma variantu (A) s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami

Pracovný priestor:

Plocha – časť guľovej plochy

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-19).

Tabuľka 4-19 – Výhody a nevýhody variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami

Výhody:
Umožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Umožňuje vertikálny pohyb koncového efektora v menšom rozsahu
Nevýhody:
Nižšia stabilita
Vyššie riziko poruchy
Neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Prispôsobenie výškam kvetináčov len v malom rozsahu

Zhodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami:

Jedná sa o prvý variant s dvomi rotačnými väzbami. Jedna umožňuje mechanizmu horizontálny pohyb okolo osi y a druhá vertikálny pohyb okolo osi z , avšak len v malom rozsahu, aby neprišlo k veľkej zmene dosahu a natočenia koncového efektora. Zmena dosahu ramena v osi x nezávisle na ostatných pohyboch nie je možná. Pracovným priestorom už nie je krivka, ale časť guľovej plochy. Keďže rameno nie je k podstave uchytané pevne, ale pomocou rotačnej väzby, pri pohybe robota môže prísť k zhoršeniu jeho stability. Náklady odvíjajúce sa aj od počtu pohonov, väzieb a zložitosti konštrukcie (nie je v tejto fáze určovaná konkrétne) sa môžu pohybovať približne v strede rozmedzia medzi jednoduchšími a zložitejšími variantmi.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-20) je uvedené hodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-20 – Zhodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami

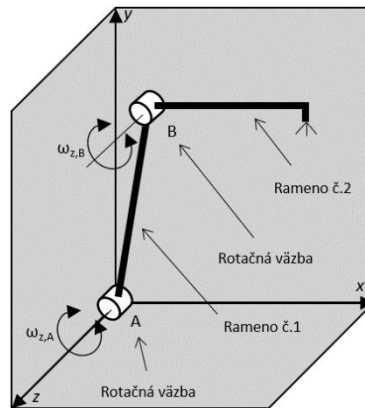
Kritérium	Body
Jednoduchosť konštrukcie	0.7/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.8/1
Vertikálny pohyb	1.5/2.5
Horizontálny pohyb	2.5/2.5
Zmena dosahu	0/1
Náklady	0.3/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	1/1.5
Celkové hodnotenie	6.8/10

Dve rotačné väzby (variant B)

Popis variantu:

Variant tvoria dve ramená a dve rotačné väzby. Rameno č.1 je uchytené rotačnou väzbou A s osou rotácie zhodnou s osou z k podstavu. K nemu je pripojené rameno č.2 rotačnou väzbou B, ktorej os otáčania je zhodná s osou z ako u prvej väzby. Mechanizmus môže meniť výšku aj dosah, ale len v určitom rozsahu a závisle na sebe. Nie je umožnený horizontálny pohyb.

Schéma:



Obrázok 4.24 – Schéma variantu (B) s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami

Pracovný priestor:

Plocha – časť medzikružia

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-21).

Tabuľka 4-21 – Výhody a nevýhody variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami

Výhody:
Umožňuje zmenu dosahu (závislý na kombinácii pohybov oboch ramien)
Pracovný priestor tvorí plochu
Umožňuje vertikálny pohyb koncového efektora v menšom rozsahu
Vyššia stabilita, nižšie riziko poruchy
Nevýhody:
Neumožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Potreba presného polohovania ramena pohybom robota na základe obrazu z kamery
Zložitejší variant a polohovanie ramena (výška a dosah ramena sú na sebe závislé)

Zhodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami:

Dve rotačné väzby umožňujú mechanizmu zmenu výšky aj zmenu dosahu koncového efektora, avšak tieto pohyby sú na sebe závislé. Zmena dosahu sa uskutočňuje súčasným pohybom oboch ramien tak, aby rameno č.2 bolo vždy paralelné k rovine podstavy. Výšku koncového efektora je možné meniť aj samostatne, ale len v malom rozsahu. Horizontálny pohyb nie je umožnený, preto je natočenie ramena v tejto rovine plne závislé od pohybu robota a jeho schopnosti presného polohovania. Pracovný priestor tvorí časť medzikružia, ale len vo vertikálnej rovine. Pri tejto kombinácii väzieb je potrebné klásť väčší dôraz na stabilitu konštrukcie, aby nedochádzalo k pohybu vo väzbách pri pohybe robota.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-22) je uvedené hodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-22 – Zhodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a dvomi rotačnými väzbami

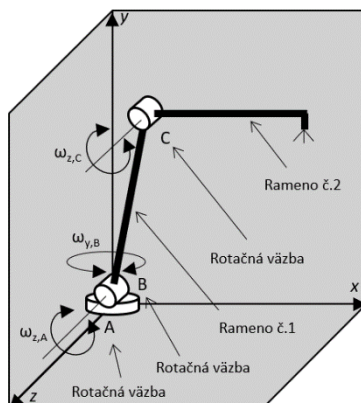
<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Jednoduchosť konštrukcie	0.6/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.6/1
Vertikálny pohyb	2/2.5
Horizontálny pohyb	0/2.5
Zmena dosahu	0.8/1
Náklady	0.3/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.5/1.5
Celkové hodnotenie	4.8/10

Tri rotačné väzby

Popis variantu:

Rameno č.1 je uchytené k podstave cez rotačné väzby *A* a *B*, ktoré mu umožňujú vertikálny aj horizontálny pohyb okolo osí *z* a *y*. K nemu je pomocou rotačnej väzby *C* pripojené druhé rameno, opäť s vertikálnym pohybom okolo osi *z*. Jedná sa o kombináciu variantu *Dve rotačné väzby (variant B)* a variantu *Jedna rotačná väzba*. Mechanizmus môže meniť dosah koncového efektora, avšak len v závislosti na pohyboch v oboch rotačných väzbách umožňujúcich vertikálny pohyb.

Schéma:



Obrázok 4.25 – Schéma variantu s dvomi ramenami a tromi rotačnými väzbami

Pracovný priestor:

Objem – časť objemu gule

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-23).

Tabuľka 4-23 – Výhody a nevýhody variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a tromi rotačnými väzbami

Výhody:
Umožňuje vertikálny pohyb koncového efektora v menšom rozsahu
Umožňuje zmenu dosahu (závislú na kombinácii pohybov oboch ramien)
Umožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Väčší pracovný priestor – časť objemu gule
Nevýhody:
Zložitosť konštrukcie
Zabezpečenie dostatočnej stability
Vyššie náklady
Vyšší počet väzieb a pohonov
Zložitejší riadiaci algoritmus polohovania

Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a tromi rotačnými väzbami:

Vyšší počet väzieb a pohonov zabezpečuje väčšiu variabilitu pohybu čoho výsledkom je aj väčší pracovný priestor. Rotačné väzby zabezpečujú horizontálne aj vertikálne polohovanie (v malom rozsahu). Kombináciou dvoch vertikálnych pohybov je možné doceliť aj zmenu dosahu, avšak v závislosti na zmene celkovej výšky. Čím je variant zložitejší a pribúda pohonov a väzieb, tým je pohyb síce komplexnejší a pracovný

priestor väčší, ale rovnakou mierou stúpajú požiadavky na pevnosť a stabilitu konštrukcie a takisto aj na náklady.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-24) je uvedené hodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a tromi rotačnými väzbami na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-24 – Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a tromi rotačnými väzbami

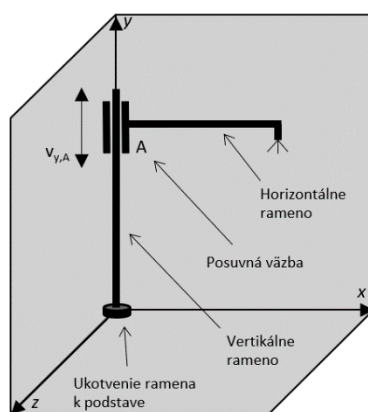
Kritérium	Body
Jednoduchosť konštrukcie	0.2/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.1/1
Vertikálny pohyb	2/2.5
Horizontálny pohyb	2.5/2.5
Zmena dosahu	1/1
Cena	0.1/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	1.2/1.5
Celkové hodnotenie	7.1/10

Jedna posuvná väzba (variant A)

Popis variantu:

Mechanizmus tvorí vertikálne rameno, ktoré je pevne uchytané k podstave a zároveň tvorí posuvnú väzbu A pre horizontálne rameno, ktorá mu umožňuje vertikálny pohyb. Os translácie sa zhoduje s osou y.

Schéma:



Obrázok 4.26 – Schéma variantu (A) s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou

Pracovný priestor:

Krivka – časť priamky

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-25).

Tabuľka 4-25 – Výhody a nevýhody variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou

<i>Výhody:</i>
Umožňuje plynulý vertikálny pohyb koncového efektora
Jednoduchosť konštrukcie
Malý počet väzieb a pohonov
Nižšie náklady
<i>Nevýhody:</i>
Neumožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Malý pracovný priestor
Stabilita a riziko poruchy závisia na konečnom konštrukčnom prevedení

Zhodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou:

Mechanizmus tvorí vertikálne rameno pevne uchytené k podstave, ktoré zároveň tvorí posuvnú väzbu umožňujúcu horizontálnemu ramenu plynulý vertikálny pohyb. Absencia možnosti horizontálneho pohybu či zmeny dosahu ramena výrazne znižuje použiteľnosť tohto variantu, z čoho vyplýva aj malý pracovný priestor, tvorený časťou priamky. Polohovanie a natočenie ramena je potrebné vykonať samotným pohybom robota. Stabilita horizontálneho ramena závisí od finálneho konštrukčného prevedenia posuvnej väzby.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-26) je uvedené hodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-26 – Zhodnotenie variantu (A) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou

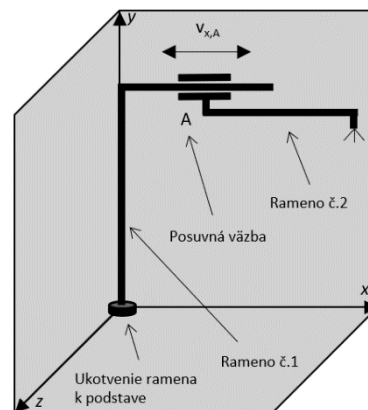
<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Jednoduchosť konštrukcie	0.8/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.6/1
Vertikálny pohyb	2.5/2.5
Horizontálny pohyb	0/2.5
Zmena dosahu	0/1
Náklady	0.9/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.5/1.5
Celkové hodnotenie	5.3/10

Jedna posuvná väzba (variant B)

Popis variantu:

Mechanizmus tvorí rameno č.1 v tvare „L“, ktoré je pevne uchytené k podstave, pričom jeho horizontálna časť tvorí posuvnú väzbu A pre rameno č.2, ktoré sa vysúva a zvyšuje tak dosah koncového efektora. Os translácie posuvnej väzby sa zhoduje s osou x.

Schéma:



Obrázok 4.27 – Schéma variantu (B) s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou

Pracovný priestor:

Krivka – časť priamky

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-27).

Tabuľka 4-27 – Výhody a nevýhody variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou

Výhody:
Umožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Malý počet väzieb a pohonov
Nižšie náklady
Stabilita konštrukcie
Nevýhody:
Neumožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Neumožňuje vertikálny pohyb koncového efektora
Malý pracovný priestor

Zhodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou:

Rameno č.1 tvorí základ mechanizmu a jeho horizontálna časť tvorí posuvnú väzbu A pre rameno č.2, čím umožňuje zmenu dosahu koncového efektora. Tento variant však neumožňuje ani vertikálny pohyb ramena, ani horizontálne polohovanie, čo výrazne obmedzuje jeho použiteľnosť. Jedná sa o jednoduchú, stabilnú konštrukciu s malým počtom väzieb a pohonov, ale s výrazne obmedzeným pracovným priestorom.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-28) je uvedené hodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-28 – Zhodnotenie variantu (B) riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami a jednou posuvnou väzbou

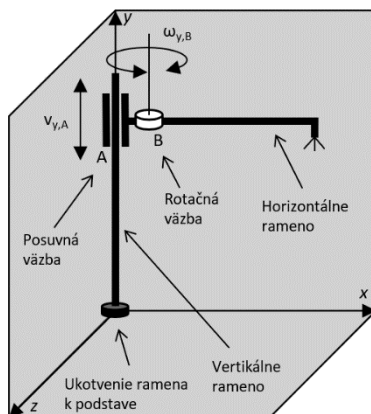
<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Jednoduchosť konštrukcie	0.9 /1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.7/1
Vertikálny pohyb	0/2.5
Horizontálny pohyb	0/2.5
Zmena dosahu	1/1
Náklady	0.5/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.5/1.5
Celkové hodnotenie	3.6/10

Jedna posuvná a jedna rotačná väzba

Popis variantu:

Variant obsahuje kombináciu rotačnej a posuvnej väzby. Vertikálne rameno je pevne uchytené k podstave a zároveň tvorí posuvnú väzbu A, ktorá zabezpečuje vertikálny pohyb horizontálneho ramena. Horizontálny pohyb tohto ramena zabezpečuje rotačná väzba B, ktorá sa nachádza medzi posuvnou väzbou a horizontálnym ramenom.

Schéma:



Obrázok 4.28 – Schéma variantu s dvomi ramenami, jednou posuvnou a jednou rotačnou väzbou

Pracovný priestor:

Plocha – časť steny valca

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-29).

Tabuľka 4-29 – Výhody a nevýhody variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami, jednou posuvnou a jednou rotačnou väzbou

<i>Výhody:</i>
Umožňuje plynulý vertikálny pohyb koncového efektora
Umožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Veľkosť a tvar pracovného priestoru
<i>Nevýhody:</i>
Neumožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Vyššie nároky na stabilitu horizontálneho ramena
Náročnosť a cena závisí od konštrukčného prevedenia väzieb

Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami, jednou posuvnou a jednou rotačnou väzbou:

Variant splňuje najdôležitejšie parametre týkajúce sa horizontálneho polohovania a vertikálneho pohybu, z čoho vyplýva aj použiteľný tvar a veľkosť pracovného priestoru. Nevýhodou je absencia možnosti zmeny dosahu koncového efektora, čo je ale do istej miery možné nahradiť pohybom samotného robota vpred resp. vzad. Jedná sa o jeden z jednoduchších a stabilnejších variantov mechanizmov, avšak do veľkej miery to závisí aj na konečnom konštrukčnom prevedení.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-30) je uvedené hodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami, jednou posuvnou a rotačnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-30 – Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s dvomi ramenami, jednou posuvnou a jednou rotačnou väzbou

Kritérium	Body
Jednoduchosť konštrukcie	0.4/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.5/1
Vertikálny pohyb	2.5/2.5
Horizontálny pohyb	2.5/2.5
Zmena dosahu	0/1
Náklady	0.3/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	1/1.5
Celkové hodnotenie	7.2/10

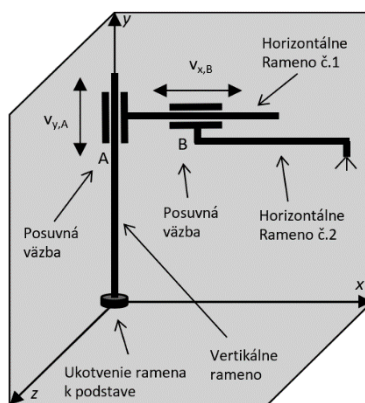
4.3.3 Tri ramená

Dve posuvné väzby

Popis variantu:

Konštrukcia sa skladá z troch ramien a dvoch posuvných väzieb. Vertikálne rameno je pevne uchytené k podstave a tvorí posuvnú väzbu A pre horizontálne rameno č.1 s osou translácie zhodnou s osou y, čím umožňuje vertikálny pohyb mechanizmu. Toto rameno zároveň tvorí posuvnú väzbu B pre horizontálne rameno č.2 s osou translácie zhodnou s osou x a umožňuje tak zmenu dosahu koncového efektora.

Schéma:



Obrázok 4.29 – Schéma variantu s tromi ramenami a dvomi posuvnými väzbami

Pracovný priestor:

Plocha – časť roviny v tvare obdĺžnika

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-31).

Tabuľka 4-31 – Výhody a nevýhody variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami a dvomi posuvnými väzbami

<i>Výhody:</i>
Umožňuje plynulý vertikálny pohyb koncového efektora
Umožňuje zmenu dosahu koncového efektora
<i>Nevýhody:</i>
Neumožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Zložitejšia konštrukcia
Náročnejšie zabezpečenie stability horizontálnych ramien
Výsledné náklady závisia od konštrukčného prevedenia posuvných väzieb s pohonmi
Tvar pracovného priestoru

Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami a dvomi posuvnými väzbami:

Kombinácia dvoch posuvných väzieb umožňuje mechanizmu docieľiť zmenu dosahu koncového efektora ako aj zmenu jeho výšky. Aj napriek tomu však tvar pracovného priestoru nie je ideálny z dôvodu absencie horizontálneho polohovania. To je potrebné zabezpečiť polohovaním robota voči kvetináču. Z dôvodu vysúvania tretieho ramena je potrebné venovať zvýšenú pozornosť realizácii väzieb a stabilite horizontálnych ramien.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-32) je uvedené hodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami a dvomi posuvnými väzbami na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-32 – Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami a dvomi posuvnými väzbami

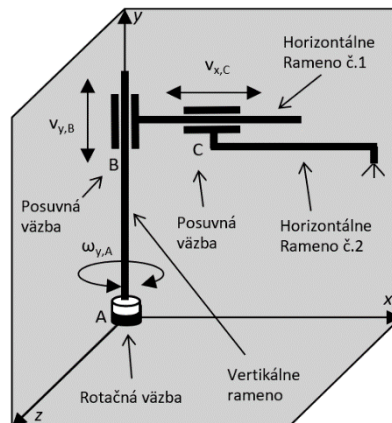
<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Jednoduchosť konštrukcie	0.2/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.3/1
Vertikálny pohyb	2.5/2.5
Horizontálny pohyb	0/2.5
Zmena dosahu	1/1
Náklady	0.2/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	0.8/1.5
Celkové hodnotenie	5.0/10

Dve posuvné a jedna rotačná väzba

Popis variantu:

Vertikálne rameno je uchytené k podstavu pomocou rotačnej väzby *A*, umožňujúcej horizontálny pohyb mechanizmu s osou rotácie zhodnou s osou *y*. Zároveň sa na tomto ramene nachádza posuvná väzba *B*, ku ktorej je uchytené horizontálne rameno č.1, čím je umožnený vertikálny pohyb s osou translácie stotožnenou s osou *y*. Toto rameno tvorí posuvnú väzbu *C* pre horizontálne rameno č.2 s osou translácie zhodnou s osou *x*, vďaka čomu je možná zmena dosahu koncového efektora.

Schéma:



Obrázok 4.30 – Schéma variantu s tromi ramenami, dvomi posuvnými a jednou rotačnou väzbou

Pracovný priestor:

Objem – časť objemu valca

Výhody a nevýhody:

Výhody a nevýhody variantu sú popísané v tabuľke (Tabuľka 4-33).

Tabuľka 4-33 – Výhody a nevýhody variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami, dvomi posuvnými a jednou rotačnou väzbou

Výhody:
Umožňuje plynulý vertikálny pohyb koncového efektora
Umožňuje horizontálny pohyb koncového efektora
Umožňuje zmenu dosahu koncového efektora
Ideálny tvar a veľkosť pracovného priestoru
Nevýhody:
Zložitosť konštrukcie
Vyšší počet väzieb a pohonov
Vyššie náklady
Vyššia náročnosť zabezpečenia stability konštrukcie a väzieb

Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami, dvomi posuvnými a jednou rotačnou väzbou:

Jedná sa o najzložitejší variant s kombináciou troch ramien a troch väzieb (jedna rotačná a dve posuvné). Veľkou výhodou je umožnenie všetkých troch druhov pohybu, a to vertikálneho a horizontálneho pohybu mechanizmu a zmeny dosahu koncového efektora. Vďaka tomu je tvar aj veľkosť pracovného priestoru ideálna a mechanizmus nie je závislý od pohybu a polohovania robota, ale je samostatne schopný dostať koncový efektor nad kvetináč. Umožnenie všetkých týchto vlastností však vytvára nevýhody v ďalších oblastiach. Veľký počet väzieb a pohonov značí vyššie náklady a zložitosť konštrukcie vytvára predpoklady pre možné zlyhania, poruchy, horšiu stabilitu a pod.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 4-34) je uvedené hodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami, dvomi posuvnými a jednou rotačnou väzbou na základe kritérií s priradenými váhami.

Tabuľka 4-34 – Zhodnotenie variantu riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu s tromi ramenami, dvomi posuvnými a jednou rotačnou väzbou

<i>Kritérium</i>	<i>Body</i>
Jednoduchosť konštrukcie	0.1/1
Riziko poruchy (pohony, väzby, stabilita)	0.1/1
Vertikálny pohyb	2.5/2.5
Horizontálny pohyb	2.5/2.5
Zmena dosahu	1/1
Náklady	0.1/0.5
Tvar a veľkosť pracovného priestoru	1.5/1.5
Celkové hodnotenie	7.8/10

4.4 Uchovávanie vody

Obsahom tejto podkapitoly je uchovávanie vody, ktoré sa realizuje v dvoch prípadoch, a to: zdroj vody a zásobník na zalievajúcom module robota. Pri oboch je uvedený popis spolu s požiadavkami a návrhmi riešení.

Zdroj vody:

Uchováva vodu určenú pre načerpanie pomocou zalievajúceho modulu. Je umiestnený na stálom mieste v interiéri. V prípade potreby môže byť použitých hneď niekoľko zdrojov vody. Požiadavkou pre tento typ nádoby je hodnota minimálneho objemu, ktorý musí byť väčší, ako je objem zásobníka. Ďalšie parametre ako tvar, rozmery, materiál sú variabilné a na funkciu nemajú vplyv.

Na výstupný otvor nádoby vplyva výber variantu vodného okruhu. V prípade variantov s dvomi ponornými, dvomi povrchovými aj jedným ponorným a jedným povrchovým čerpadlom sa jedná o voľne položenú nádobu na zemi, prípadne podložke. Nádoba má

otvorenú hladinu, preto sa čerpanie z nej vykonáva ponorením čerpadla (ponorného) alebo hadičky (v prípade povrchového čerpadla) do vody.

V prípade variantu čerpania vody samospádom je nádoba zdroju vody zvrchu uzavretá, umiestnená v určitej výške tak, aby pod ňu robot mohol zastaviť. Čerpanie sa vykonáva cez ventil umiestnený na dne alebo na stene blízko dna nádoby. Popis možností otvárania a zatvárania ventilu je popísaný v podkapitole *Voda dopĺňaná samospádom zo zdroja*.

Vo variante, v ktorom užívateľ sám dopĺňa vodu do zásobníka, nie je zdroj vody ako nádoba využitý.

Zdroj vody potrebuje mať zaistený stály prísun vody. V prípade veľkej nádoby je možné vodu doplniť užívateľom raz za určitý čas, v prípade menšej nádoby je vhodné mať zaistené automatické dopĺňanie vody. To môže byť vyriešené buď pomocou obslužnej elektroniky (vhodné ak je elektronika použitá aj pre obsluhu ventilu určeného pre čerpanie) alebo mechanicky, použitím napúšťacieho ventilu (ventil sa automaticky otvorí vždy, ak hladina v zdroji vody klesne pod určitú hodnotu).

Zásobník vody na zalievajúcom module:

Uchováva načerpanú vodu určenú pre zalievanie. Je umiestnený priamo na zalievajúcom module. Hlavnými požiadavkami pre tento typ nádoby sú objem, rozmery (tvar) a materiál. Objem nádoby súvisí s jej rozmermi, preto je výhodou možnosť pre daný objem nakombinovať rozmery tak, aby jeho umiestnenie na zalievajúci modul bolo čo najviac vyhovujúce (pri menších rozmeroch pôdorysu zalievajúceho modulu napríklad využiť viac výškový rozmer a pod). Ako už bolo zmienené v kapitole *Definícia úlohy*, objem závisí od nosnosti použitého robota *Breach*, od jeho rozmerov a od množstva rastlín a frekvencie ich zalievania. Materiál, z ktorého je nádoba vyrobená, by mal zabezpečovať dostatočnú tesnosť (hlavne v spojoch), nemal by príliš zvyšovať hmotnosť zalievajúceho modulu a mal by byť odolný voči korózii.

V závislosti na vybranom variante vodného okruhu sa líšia ďalšie požiadavky. V prípade variantu s kompresorom (prípadne dvomi) sa kladú vyššie požiadavky na tesnosť nádoby, pretože je v nej vytváraný podtlak resp. pretlak. S tým súvisí aj požiadavka na materiál, aby zaistil vyššiu štrukturálnu pevnosť a odolnosť voči cyklickému namáhaniu.

Vo variantoch, v ktorých sa nachádza ponorné čerpadlo určené pre zalievanie, musí byť toto čerpadlo upevnené na dne zásobníka aj s vedenou kabelážou, preto by v tomto prípade mala byť zaistená zvýšená bezpečnosť proti vzniku poruchy spôsobenou skratom.

Pri dopĺňaní vody samospádom zo zdroja musí byť zásobník odpovedajúcim spôsobom obstaraný schopnosťou aktivovať výpustný ventil na dne zdroja vody. Tieto možnosti sú popísané v podkapitole *Voda dopĺňaná samospádom zo zdroja*.

U dopĺňania vody užívateľom je zásobník obstaraný len krytom, ktorý užívateľ sám otvorí a následne aj zatvorí, aby sa voda pri pohybe robota nedostala von z nádoby.

Pre určenie maximálnej a minimálnej výšky hladiny v zásobníku sú v ňom umiestnené plavákové senzory hladiny. Fungujú na princípe koncového spínača, takže po prekročení maximálnej výšky hladiny pri čerpaní vody sa plavák aktivuje a čerpanie sa zastaví. Pri prekročení minimálnej výšky hladiny pri zalievaní sa druhý plavák aktivuje a systém dostane informáciu o potrebe doplnenia vody do zásobníka.

5 Výber finálneho variantu zalievajúceho modulu

Táto kapitola sa zaoberá výberom finálneho variantu zalievajúceho modulu, na základe ktorého v nasledujúcej kapitole prebieha návrh prototypu. Prvá časť nadväzuje na predchádzajúcu kapitolu o principiálnych návrhoch jednotlivých častí zalievajúceho modulu (vodný okruh, zalievajúci/čerpací mechanizmus), pričom na základe hodnotenia sú vybrané finálne varianty. V druhej časti sú pre finálny variant každej časti zalievajúceho modulu uvedené príklady možných konštrukčných riešení, ktorých vlastnosti sú vzájomne porovnané. Na základe záverečného zhodnotenia je následne vybraný finálny konštrukčný variant pre každú časť zalievajúceho modulu, z ktorého sa v nasledujúcej kapitole vychádza pri návrhu prototypu.

5.1 Zhodnotenie a výber finálneho variantu

V predchádzajúcej kapitole (4) boli uvedené varianty riešenia hlavných častí zalievajúceho modulu, a to vodného okruhu a zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu. U každého variantu bol uvedený jeho popis, zhrnutie hlavných výhod a nevýhod a zhodnotenie na základe vytvorených vážených kritérií. Suma hodnotení jednotlivých kritérií bola následne celkovým ohodnotením daného variantu. V nasledujúcich podkapitolách (5.1.1 a 5.1.2) sa na základe tohto hodnotenia dostanú do užšieho výberu varianty s najvyšším hodnotením a budú vzájomne porovnané. Na základe následného zhodnotenia pomocou rozhodujúcich kritérií bude vybraný finálny variant vodného okruhu a zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu.

5.1.1 Vodný okruh

V tejto podkapitole bude uvedený výber finálneho variantu vodného okruhu zalievajúceho modulu. Ako už bolo uvedené vyššie, varianty boli hodnotené váženými kritériami, pričom rozsah minimálneho a maximálneho možného hodnotenia bol 0 – 10 bodov. Jednotlivé varianty dosiahli hodnotenie v rozmedzí 2,8 – 7,7 bodu. Najvyššie hodnotenými variantmi boli: v podkapitole 4.2.2 *Dve povrchové čerpadlá* s hodnotením 7,7 bodu, a v podkapitole 4.2.3 *Voda dopĺňaná samospádom* z s hodnotením 7,6 bodu.

V nasledujúcej časti budú zhrnuté oba varianty, ich vzájomné porovnanie a konečný výber finálneho variantu.

Variant s dvomi povrchovými čerpadlami:

Variant obsahuje jedno samostatné povrchové čerpadlo pre zalievanie a druhé pre čerpanie. Rozdiel oproti druhému vybranému variantu spočíva v spôsobe čerpania vody (povrchovým čerpadlom) a v použítom zdroji vody (otvorená nádoba umiestnená na zemi, resp. na podstavci). Problém, ktorý je potrebné vyriešiť v tomto prípade je, ako zabezpečiť samotný proces čerpania vody zo zdroja cez hadičku. Hadička musí byť počas celej doby čerpania ponorená pod hladinou, ktorá však vďaka odčerpávaniu vody postupne klesá. Tento postupný pokles hladiny nie je možné kompenzovať vertikálnym

posuvom ramena, nakoľko by bolo rameno zastavené o hranu zdroja vody. Kompenzácia by musela spočívať buď v postupnom odvíjaní hadičky alebo by musela byť u zdroja vody zabezpečená okamžitá kompenzácia poklesu hladiny doplnením vody. Pre odvíjanie hadičky by bolo potrebné zabezpečiť samostatný pohon, možnosť navíjať a odvíjať hadičku bez rizika jej zalomenia, závažie na koniec hadičky, aby klesala kolmo nadol smerom ku dnu nádoby a nebola nadnášaná na hladine. V prípade variantu s dvomi povrchovými čerpadlami by nároky a požiadavky mali spočívať len na zalievajúcom module a zdroj vody v podobe voľne stojacej nádoby by nemal byť pre užívateľa zdrojom ďalších požiadaviek, ako je zabezpečenie konštantnej výšky hladiny v nádobe. V prípade užívania viacerých zalievajúcich robotov by však musela byť zabezpečená buď dostatočná kapacita zdroja vody, jeho časté dopĺňanie alebo umiestnenie viacerých zdrojov vody, čo v prípade voľne stojacích otvorených nádob s vodou v interiéri nie je pre užívateľa komfortné riešenie.

Variant s vodou dopĺňanou samospádom zo zdroja:

Nemá samostatné zariadenie na čerpanie vody (typu čerpadlo/kompresor), ale využíva samospádu zo zdroja vody. Do určitej miery sa teda v prípade tohto variantu presúva časť nárokov aj na zdroj vody. Keďže sa tu ale čerpanie vody neuskutočňuje cez zalievajúce rameno, spomenuté problémy a riziká u predchádzajúceho variantu v tomto prípade zanikajú. Čerpanie sa vykonáva zospodu nádoby (zdroja vody) do vrchnej časti zásobníka na robotovi. Robot aktivuje čerpací proces tým, že zájde pod zdroj vody umiestnený na podstavci a pohybom alebo prostredníctvom snímača aktivuje vypúšťací ventil a po načerpaní vody zase ventil uzatvorí. Podrobnejší popis je možné nájsť v kapitole *Uchovávanie vody* v časti *Zdroj vody*. Z dôvodu výšky vertikálneho ramena umiestneného v prednej časti robota by bolo potrebné, aby sa robot dostal pod zdroj vody svojou zadnou časťou (reverzným pohybom). Musela by byť zaručená schopnosť presne dopolohovať robota tak, aby bol zaistený bezpečný prechod vody medzi oboma nádobami, aby sa tak minimalizovalo riziko vylitia vody. Konštrukčných možností ako realizovať aktiváciu ventilu a bezpečné spojenie vývodov z oboch nádob existuje viacero. Z praktického hľadiska má tento variant oproti predchádzajúcemu navrch a to z dôvodu, že nádoba môže mať väčší objem, takže by naraz mohla slúžiť viacerým robotom, a takisto by sa jednalo o uzavretú nádobu, čo je pre zákazníka vyhovujúcejšie riešenie.

Zhodnotenie porovnania variantov vodného okruhu:

Pre zhodnotenie vzájomného porovnania oboch variantov bola vytvorená tabuľka s váženými kritériami, ktorými boli konštrukčné a mechanické požiadavky. Na základe popisu a rozboru kľúčových porovnávaných vlastností variantov v tejto podkapitole im boli priradené body k jednotlivým kritériám. Z výsledného hodnotenia vyplýva, že lepšie dané kritériá spĺňa variant *Voda dopĺňaná samospádom zo zdroja*. Kľúčovými výhodami boli absencia problému s navíjaním/odvíjaním hadičky a potrebného pohonu, ďalej absencia extra zariadenia pre vykonávanie transferu vody a výhoda uzavretej nádoby ako zdroja vody, vhodného pre väčší počet kooperujúcich robotov. Na základe týchto dôvodov bude tento variant zvolený ako *Finálny variant pre vodný okruh*.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 5-1) je uvedené hodnotenie oboch variantov riešenia vodného okruhu na základe kritérií s priradenými váhami a zvýraznenie vybraného finálneho variantu.

Tabuľka 5-1 – Zhodnotenie variantov riešenia vodného okruhu a výber finálneho variantu

Konštrukčné a mechanické požiadavky (Kritérium)	Body pre danú variantu	
	Dve povrchové čerpádlá	Voda dopĺňaná samospádom zo zdroja
Predlžovanie hadičky pri čerpaní – odvíjanie/navíjanie	0.5/2.5	2.5/2.5
Samostatné zariadenie pre čerpanie vody + extra pohon pre navíjanie hadičky	0.5/2.5	2.5/2.5
Zdroj vody – voľne stojaca otvorená nádobu/ nádoba s ventilom – problémy: robot/zákazník	1/2.5	2/2.5
Aktivačný mechanizmus, polohovanie robota	2.5/2.5	0.5/2.5
Celkové hodnotenie	4.5/10	7.5/10

5.1.2 Zalievajúci/čerpací mechanizmus

Podkapitola obsahuje výber finálneho variantu zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu. Všetky varianty z podkapitoly 4.3 boli ohodnotené na základe kritérií, pričom minimálne a maximálne hodnotenie bolo v rozsahu 0 – 10 bodov a jednotlivé varianty dosiahli hodnotenie v rozsahu 3,6 – 7,8 bodu. Do užšieho výberu boli vybrané 4 varianty s najlepším hodnotením v rozpätí jedného bodu. Jedná sa o varianty v podkapitole *Dve ramená: Dve rotačné väzby (variant A)* s hodnotením 6,8 bodu, *Tri rotačné väzby* s hodnotením 7,1 bodu, *Jedna posuvná a jedna rotačná väzba* s hodnotením 7,2 bodu, a v podkapitole *Tri ramená: Dve posuvné a jedna rotačná väzba* s hodnotením 7,8 bodu.

Okrem kritérií uvedených v hodnotení jednotlivých variantov je ďalším dôležitým faktorom konštrukčné riešenie. V ňom sa môže ukázať, že aj variant s dobrým hodnotením z predchádzajúcej kapitoly môže byť kvôli náročnej konštrukčnej realizovateľnosti vylúčený z užšieho výberu.

V nasledujúcej časti budú vybrané varianty zhodnotené z pohľadu konštrukčnej realizovateľnosti a náročnosti.

Variant: Dve ramená a dve rotačné väzby (variant A):

Jedná sa o variant s prijateľnou konštrukčnou náročnosťou a širším potenciálom pre možnosti realizácie mechanizmu. Zo všetkých štyroch vybraných variantov je tým najzákladnejším, avšak svojou koncepciou nie najvýhodnejším variantom. Schematicky je tento variant zobrazený na obrázku (Obrázok 4.23). Absencia riadenej zmeny dosahu by mohla byť kompenzovaná pohybom robota v rámci záverečnej fázy pohybu smerom

ku kvetináču, avšak nevýhodou je, že pri zmene výšky dochádza k natočeniu koncového efektora a takisto k nevhodnému spôsobu zmeny jeho dosahu. Pridaním servopohonu ako polohovacieho mechanizmu, by bolo možné vyriešiť natočenie koncového efektora, avšak znamenalo by to navýšenie počtu pohonov.

Variant: Dve ramená a tri rotačné väzby:

Konštrukčne náročnejší variant, kedy sa v podstate jedná o priestorový trojosí manipulátor, schematicky zobrazený na obrázku (Obrázok 4.25). Väzba, ktorá spája vertikálne rameno s podstavou by mala umožňovať rotačný horizontálny aj vertikálny pohyb daného ramena. Výhodou oproti predchádzajúcemu variantu je možnosť zmeny dosahu koncového efektora zalievajúceho mechanizmu, avšak na úkor zložitosti realizácie danej väzby, zložitosti riadiaceho algoritmu pre polohovanie koncového bodu a vzájomnej závislosti jednotlivých pohybov (zmena koncového dosahu je možná len pri zmene celkovej výšky kombináciou pohybu oboch ramien).

Variant: Dve ramená, jedna posuvná a jedna rotačná väzba:

V tomto prípade sa jedná o variant s nižšou konštrukčnou náročnosťou. Vďaka posuvnej vertikálnej väzbe je výška koncového efektora závislá len na dĺžke samotnej väzby a zároveň natočenie koncového efektora sa zachováva (kolmo nadol), ako je schematicky zobrazené na obrázku (Obrázok 4.28). Tieto faktory vytvárajú potenciál pre rôzne možnosti realizácie celého mechanizmu. Absenciu zmeny dosahu koncového efektora v rámci zalievajúceho modulu je možné kompenzovať polohovaním samotného robota (úpravou jeho vzdialenosti od kvetináča).

Variant: Tri ramená, dve posuvné a jedna rotačná väzba:

Opäť sa jedná z konštrukčného hľadiska o náročnejší variant. Prevedenie by do istej miery mohlo byť podobné ako v predchádzajúcom variante, ale horizontálne rameno by muselo umožňovať predĺženie dosahu koncového efektora podľa schémy na obrázku (Obrázok 4.30). Následne by muselo byť vyriešené predlžovanie hadičky a kabeláže tak, aby neprišlo k zalomeniu hadičky a zníženiu, resp. až zablokovaniu prietoku. So zvyšovaním dosahu narastajú aj nároky na prevedenie väzieb a celkovú pevnosť konštrukcie, nakoľko sa ťažisko horizontálneho ramena posúva ďalej od osi otáčania a zvyšuje sa tak záťažový moment.

Zhodnotenie porovnania variantov zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu:

Zo zhrnutia jednotlivých variantov je možné pridať k ich stávajúcemu hodnoteniu body zodpovedajúce konštrukčnému riešeniu a jeho náročnosti. Celkové hodnotenie je potom ich súčtom. Najvyššie bodové ohodnotenie získal variant s *Dvomi ramenami a jednou posuvnou a jednou rotačnou väzbou*. Jedná sa o variant, ktorý kompromisným spôsobom najlepšie vyhovuje stanoveným požiadavkám a preto bude zvolený ako *Finálny variant zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu*.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 5-2) je uvedené hodnotenie všetkých štyroch variantov riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu na základe kritérií s priradenými váhami a zvýraznenie vybraného finálneho variantu.

Tabuľka 5-2 – Zhodnotenie variantov riešenia zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu a výber finálneho variantu

Variant	Body		
	Predchádzajúce hodnotenie	Hodnotenie konštrukčnej náročnosti	Celkové hodnotenie
Dve ramená a dve rotačné väzby (variant A)	6,8/10	1,7/2,5	8,5/12,5
Dve ramená a tri rotačné väzby	7,1/10	0,5/2,5	7,6//12,5
Dve ramená, jedna posuvná a jedna rotačná väzba	7,2/10	2,2/2,5	9,4/12,5
Tri ramená, dve posuvné a jedna rotačná väzba	7,8/10	0,7/2,5	8,5/12,5

5.2 Výber konštrukčného riešenia

Po výbere finálneho variantu zalievajúceho modulu (vodného okruhu a zalievajúceho mechanizmu), ktorý sa zaoberá principiálnym riešením, je ešte potrebné pred samotným návrhom prototypu zvoliť konštrukčné riešenie daných častí. Jedná sa o spôsob prevedenia vertikálneho posuvu, horizontálneho rotačného pohybu a princíp fungovania čerpania vody samospádom zo zdroja. V nasledujúcich podkapitolách bude uvedených niekoľko návrhov so zdôvodnením výberu finálneho riešenia.

5.2.1 Vertikálny pohyb

Pre vertikálny pohyb ramena zalievajúceho modulu bol zvolený princíp posuvnej väzby. Tento pohyb je možné realizovať viacerými spôsobmi, pričom do úvahy sa pri finálnom výbere brali nasledujúce 3 riešenia:

Lineárne vedenie s pohybovou skrútkou:

Lineárne vedenie, zobrazené na obrázku (Obrázok 12.10) v prílohe 12.1.1 na konci práce, sa skladá z nosnej časti, ktorú môže tvoriť kovový profil o určitej dĺžke, prípadne iná pevná základňa. Ďalej obsahuje pohybovú skrútku (napr. trapézovú alebo guľôčkovú), jazdec s maticou, vodiace tyče a pohon väčšinou v podobe krokového motora. Výhodami tohto riešenia sú vysoká stabilita a pevnosť, samonosnosť – udržiavanie konštantnej výšky jazdca bez nutnosti vytvárania momentu na motore, vysoké rozlíšenie posuvu (desatiny mm) či dostupnosť na trhu v rôznych variantoch. Nevýhodami sú vyššia cena a nižšia rýchlosť posuvu. [31]

Nožnicový zdvihák:

Nožnicový zdvihák môže fungovať na základe viacerých princípov, z ktorých sú najznámejšie dva. Prvým je vymedzovanie vzdialenosti medzi dvomi protiláhlými bodmi v rovnakej výške pomocou pohybovej skrutky s pohonom, pričom jedna strana nie je pevne ukotvená, ale je uložená v posuvnej väzbe (Obrázok 12.11 v prílohe 12.1.1 na konci práce). Druhou možnosťou je hydraulický piest, ktorý spája a vymedzuje vzdialenosť medzi dvomi bodmi v rozdielnych výškach (Obrázok 12.12 v prílohe 12.1.1 na konci práce). Opäť je však jedna strana uložená pohyblivo v posuvnej väzbe, aby mohlo dôjsť k roztváraniu nožnicovej štruktúry. V prípade prvého variantu je výhodou samonosnosť, čo však neplatí pre druhý variant. Nevýhodou oboch variantov oproti lineárnemu vedeniu je potreba väčšieho priestoru z dôvodu veľkosti mechanizmu, čo v prípade obmedzeného priestoru daného veľkosťou robota môže byť značnou nevýhodou. Ďalšou nevýhodou je nižšia dostupnosť na trhu, vyššia cena, menší rozsah zdvíhu a vyššia hmotnosť. [32], [33]

Remeňový posuv:

Remeňový posuv, zobrazený na obrázku (Obrázok 12.13 v prílohe 12.1.1 na konci práce), sa využíva napr. u 3D tlačiarňí. Obsahuje pevnú základňu s vodiacimi tyčami, na ktorých je pohyblivo upevnený jazdec. Posuv jazdca zabezpečuje remeň, ktorý je na jednej strane poháňaný krokovým motorom a na druhej sa pohybuje cez voľnú kladku. Väčšinou sa tento typ používa pri horizontálnych posuvoch, pretože na rozdiel od lineárneho vedenia s pohybovou skrutkou nemá funkciu samonosnosti. Pri väčšom zaťažení môže vzniknúť riziko poškodenia, až pretrhnutia pásu. [34]

Zhodnotenie variantov konštrukčného riešenia vertikálneho pohybu:

V tejto podkapitole boli v krátkosti rozobrané a popísané 3 konštrukčné riešenia vertikálneho pohybu. Na základe vážených kritérií, vyplývajúcich z popísaných vlastností, boli jednotlivé varianty ohodnotené. Z výsledného bodového hodnotenia vyplýva, že najvhodnejším konštrukčným riešením vychádza variant s *Lineárnym vedením s pohybovou skrutkou*. Preto bude toto riešenie použité pri návrhu prototypu zalievajúceho modulu v nasledujúcej kapitole.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 5-3) je uvedené hodnotenie všetkých konštrukčných riešení vertikálneho posuvu na základe kritérií s priradenými váhami a zvýraznenie vybraného riešenia.

Tabuľka 5-3 – Zhodnotenie variantov konštrukčného riešenia vertikálneho posuvu a výber finálneho variantu

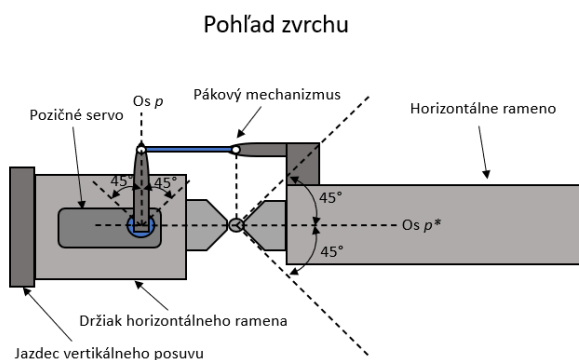
Kritérium	Konštrukčné riešenie		
	Lineárne vedenie s pohybovou skrutkou	Nožnicový zdvihák	Remeňový posuv
Samonosnosť	2,5/2,5	2,5/2,5	0/2,5
Potrebný priestor na robotovi	2,5/2,5	0,5/2,5	2,5/2,5
Nosnosť	1/1,5	1,5/1,5	0,5/1,5
Riziko poruchy	1,5/2	1,5/2	0,5/2
Dostupnosť na trhu a cena	1/1,5	0,5/1,5	1/1,5
Celkové hodnotenie	8,5/10	6,5/10	4,5/10

5.2.2 Horizontálny pohyb

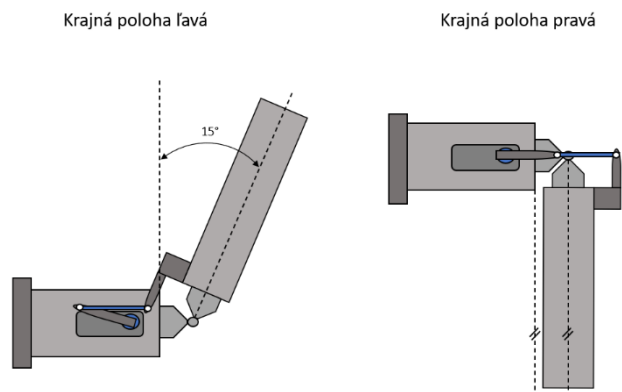
Pre horizontálny pohyb ramena bol zvolený variant s rotačnou väzbou. Možností, ako väzbu a rotačný pohyb konštrukčne realizovať, je viacero. V nasledujúcej časti budú uvedené 2 vytvorené riešenia, z ktorých bude vybrané jedno, a to bude následne použité pri návrhu prototypu zalievajúceho modulu.

Pákový mechanizmus so servopohonom:

Prvé konštrukčné riešenie, zobrazené na obrázku (Obrázok 5.1) pozostáva z držiaka, ktorý je upevnený na jazdcovi vertikálneho lineárneho vedenia a cez rotačnú väzbu, umožňujúcu rotáciu o 180° , je pripojené horizontálne rameno. Pomocou pákového mechanizmu je rameno spojené so servopohonom. Natočenie servopohonu sa cez pákový mechanizmus prenesie na horizontálne rameno v mierke 1:1. Krajné polohy, zobrazené na obrázku (Obrázok 5.2), boli zistené experimentálne zostavou vytvorenou na základe tejto schémy. Rameno servopohonu bolo schopné zabezpečiť uhlový rozsah približne 75° . Nevýhodou tohto riešenia je malá citlivosť a presnosť na konci horizontálneho ramena. Ďalšou nevýhodou je malý rozsah uhlu natočenia ramena – rameno nie je možné pri požadovanom dosahu zalievajúceho modulu týmto riešením natočiť tak, aby nepresahovalo pôdorys robota, čo pri jeho pohybe medzi kvetináčmi vytvára riziko kolízie. Výhodou je pomerne jednoduchá realizácia a cenová nenáročnosť.



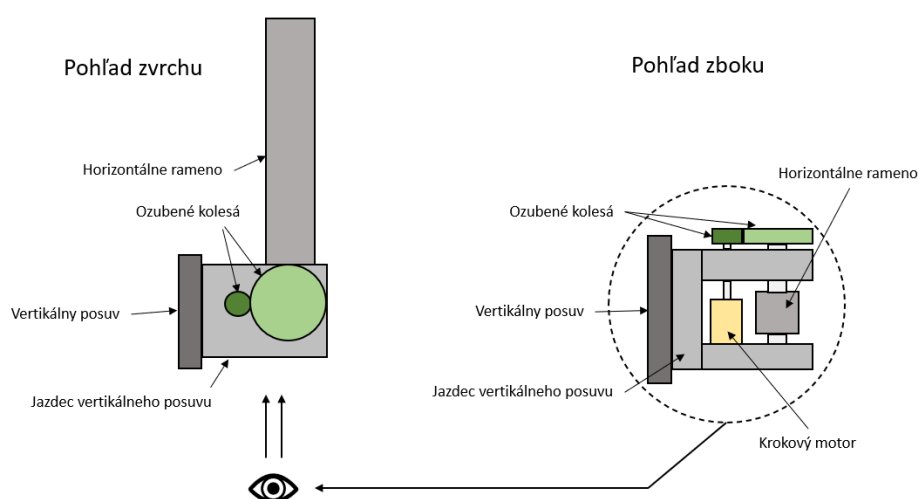
Obrázok 5.1 – Schéma variantu riešenia s pákovým mechanizmom a servopohonom



Obrázok 5.2 – Krajné polohy variantu riešenia s pákovým mechanizmom a servopohonom

Mechanizmus s ozubeným prevodom a krokovým motorom:

Druhý variant konštrukčného riešenia pozostáva z držiaka, ktorý je upevnený na jazdcovi vertikálneho lineárneho vedenia a z horizontálneho ramena, ktoré je v držiaku upevnené v rotačnej väzbe (Obrázok 5.3). Krokový motor zabezpečuje natáčanie ramena cez prevod vytvorený z ozubených kolies. Mechanizmus umožňuje rotáciu ramena o viac ako 180°. Výhodou je umožnenie natočenia ramena tak, aby nepresahovalo pôdorys robota (presah na bokoch robota nie je povolený, mierny presah za robota je možný), čo eliminuje riziko kolízie. Pohyb od, resp. ku kvetináču, ako aj natočenie ramena, môže realizovať aj samotný robot svojím pohybom, avšak na rozdiel od translačného pohybu, v ktorom sa dá dosiahnuť vysoká presnosť, v prípade horizontálneho natočenia je presnosť polohovania robotom malá. Ozubený prevod v kombinácii s krokovým motorom umožňuje dosiahnuť vysokú presnosť a citlivosť na konci horizontálneho ramena. S vyšším prevodom sa zvyšuje presnosť ale klesá uhlová rýchlosť ramena. Nevýhodou je vyššia cena a zložitejšia realizácia v porovnaní s predchádzajúcim variantom.



Obrázok 5.3 – Schéma variantu riešenia s ozubeným prevodom a krokovým motorom

Zhodnotenie variantov konštrukčného riešenia horizontálneho pohybu:

V tejto kapitole boli v krátkosti popísané dva varianty konštrukčného riešenia horizontálneho pohybu ramena zalievajúceho modulu. Na základe uvedených vlastností bola vytvorená tabuľka s váženými kritériami, pomocou ktorých boli jednotlivé vlastnosti riešení ohodnotené. Z hodnotenia vyplýva, že vhodnejším riešením pre realizáciu horizontálneho rotačného pohybu ramena zalievajúceho modulu je mechanizmus s ozubeným prevodom a krokovým motorom. Toto riešenie bude použité v ďalšej časti pri návrhu zalievajúceho modulu.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 5-4) je uvedené hodnotenie oboch konštrukčných riešení horizontálneho pohybu na základe kritérií s priradenými váhami a zvýraznenie vybraného riešenia.

Tabuľka 5-4 – Zhodnotenie variantov konštrukčného riešenia horizontálneho pohybu a výber finálneho variantu

Kritérium	Konštrukčné riešenie	
	Pákový mechanizmus so servopohonom	Mechanizmus s ozubeným prevodom a krokovým motorom
Uhlový rozsah	0,5/2	1,5/2
Presah pôdorysu robota horizontálnym ramenom	0,5/2,5	2/2,5
Presnosť a citlivosť na konci horizontálneho ramena	1/2,5	2,5/2,5
Cena	1,5/1,5	0,5/1,5
Náročnosť realizácie	1,5/1,5	0,5/1,5
Celkové hodnotenie	5/10	7/10

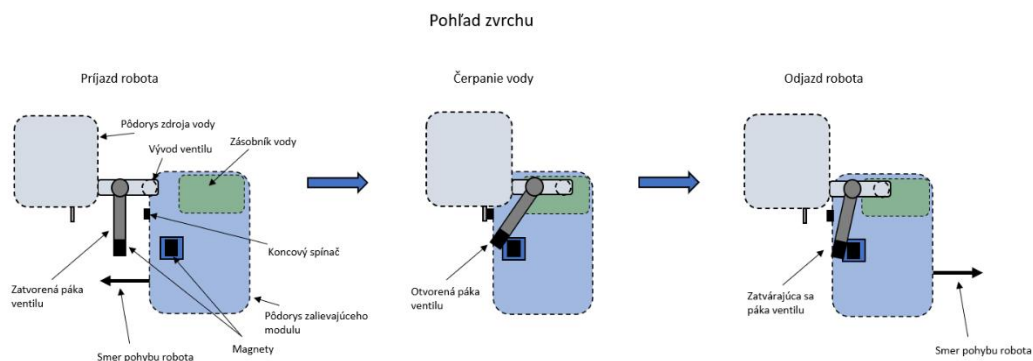
5.2.3 Čerpanie vody zo zdroja

Pre čerpanie vody zo zdroja do zásobníka na robotovi bol zvolený variant *Voda dopĺňaná samospádom zo zdroja*. Tento variant je opäť možné realizovať viacerými spôsobmi, pričom v nasledujúcej časti budú uvedené niektoré možné varianty konštrukčného riešenia. Tie sú rozdelené do okruhov: otváranie a zatváranie ventilu, zabezpečenie transferu vody do zásobníka a dopĺňanie zdroja vody.

Otváranie a zatváranie ventilu:

- cez páku s magnetmi* – jedná sa o mechanický variant, pri ktorom nie je potrebný žiadny pohon ani iná obslužná elektronika. Ventil na zdroji vody je otváraný pomocou páky jej otočením, ktorá je v defaultnom stave zatvorená. Páka obsahuje magnet, ktorý sa po priblížení robota pritiahne k druhému magnetu umiestnenému na výstupku zalievajúceho modulu. Ventil sa otvorí pohybom robota, kedy výstupok príde do kontaktu s pákou a otočí ňou, čo umožní prietok vody. Zastavenie pohybu robota je možné realizovať dotykom koncového spínača. Pre

uzatvorenie ventilu, opäť pohybom robota opačným smerom, je páka pritáhovaná magnetickou silou až do stavu, kedy sa ventil uzavrie a páka s výstupkom sa od seba oddelia.

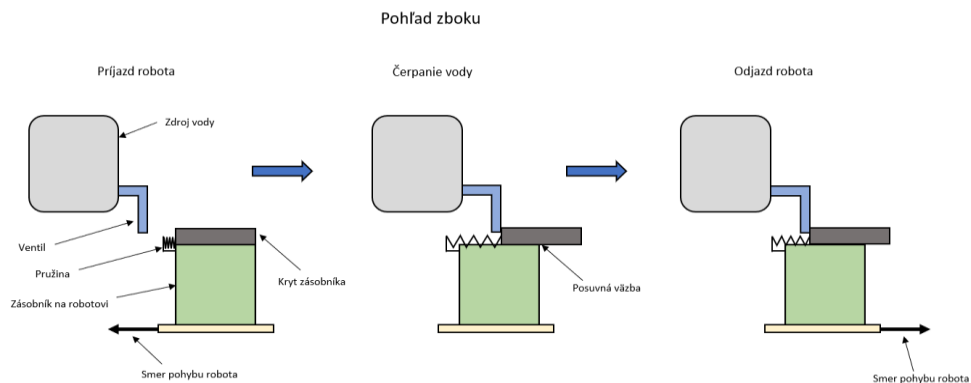


Obrázok 5.4 – Schéma otvárania a zatvárania ventilu cez páku s magnetmi

- b) *pomocou elektromagnetického ventilu* – v tomto variante nie je ventil otváraný mechanicky, pretože sa jedná o elektromagnetický ventil, ktorý je v defaultnom stave zatvorený a po privedení napätia na svorky sa ventil otvorí. Preto je v tomto variante počítané s vytvorením jednoduchého elektrického obvodu, ktorý by sa skladal len z malého zdroja napätia a koncového spínača, ktorý by sa aktivoval pohybom robota. Keďže by však zdroj vody mal byť súčasťou dokovacej stanice, kde by si aj robot dobíjal akumulátor, napájanie tohto obvodu by mohlo byť zabezpečené z rovnakého zdroja. Po dojazde robota na koncový spínač by sa ventil otvoril a umožnil tak prítok vody do zásobníka. Zatvorenie ventilu by prebiehalo pohybom robota naspäť a teda rozopnutím spínača.

Zabezpečenie transferu vody do zásobníka:

- a) *otváraním a zatváraním krytu zásobníka s pružinou* – pri pohybe robota je potrebné, aby bol zásobník uzavretý kvôli riziku vyliatia vody, najmä ak sa jej v ňom nachádza väčšie množstvo. Kryt by mal teda umožňovať automatické otvorenie a zatvorenie zásobníka. V tomto variante je využité mechanické otváranie krytu bez použitia ďalšieho pohonu a obslužnej elektroniky. Kryt je defaultne v stave „zatvorený“ a je uchytený pohyblivo v posuvnej väzbe na zásobníku. Kryt je následne otvorený pri pohybe robota pomocou vývodu samotného ventilu, ktorý ho odsunie. Zatvorenie prebieha spätným pohybom robota a pomocou pružiny je kryt pritiahnutý späť do zatvorenej polohy.



Obrázok 5.5 – Schéma zabezpečenia transferu vody do zásobníka otvorením a zatváraním krytu s pružinou

- b) *otváraním a zatváraním krytu zásobníka s pohonom* – ďalšou možnosťou ako otvárať a zatvárať kryt na zásobníku vody je pomocou elektrického pohonu. Vhodným pohonom môže byť v tomto prípade servopohon alebo krokový motor. Aktivácia pohonu pre otvorenie resp. zatvorenie krytu nádrže sa môže uskutočňovať napr. pomocou dojazdu robota na koncový senzor alebo ultrazvukovým snímačom polohy.
- c) *čerpaním vody cez lievik bez otvárania krytu zásobníka* – inou možnosťou je čerpanie vody bez otvárania krytu na zásobníku. V tomto prípade je zásobník do istej miery stále otvorený aj pri pohybe robota, avšak otvor je len malý, tak aby nehrozila možnosť vylitia. Polohovanie robota však nemusí byť dostatočne presné na to, aby dokázal zastaviť s otvorom do zásobníka presne pod ventilom. Preto by kryt zásobníka musel obsahovať kužeľovitý lievik, ktorý by umožnil načerpanie vody do zásobníka aj pri menej presnom polohovaní robota.

Doplňanie zdroja vody:

- a) *automaticky cez plavákový ventil* – dopĺňanie zdroja vody môže byť vyriešené napr. automaticky a to hneď pri poklese hladiny. Tento pokles je detekovaný plavákovým ventilom, ktorý sa následne otvorí a dopustí chýbajúci objem vody. Tento ventil je napojený na stály zdroj vody, napr. na potrubie vodovodu.
- b) *automaticky s plavákovým snímačom hladiny* – ďalšou možnosťou je opäť automatické dopustenie vody, avšak s použitím dvoch plavákových snímačov hladiny. Jeden sníma potrebné minimum pre aktiváciu dopĺňania a druhý potrebné maximum pre ukončenie dopĺňania vody. Pomocou týchto snímačov by bol ovládaný elektromagnetický ventil, napojený na stály zdroj vody. Bolo by potrebné vytvoriť elektrický obvod, ktorý by bol ovládaný buď mikrokontrolerom alebo by musel fungovať na princípe schodiskových vypínačov svetla (kedy jeden vypínač svetlo zapne a druhý vypne).
- c) *užívateľom* – poslednou možnosťou je dopĺňanie vody užívateľom, kedy by užívateľ v určitom časovom intervale spustil sám dopĺňanie vody do zásobníka.

Zhodnotenie variantov konštrukčného riešenia čerpania vody z nádrže:

V prípade otvárania a zatvárania ventilu je vo variante s pákou a magnetmi výhodou, že nepotrebuje žiadnu ďalšiu obslužnú elektroniku ani pohony či snímače. Nevýhodou môže byť potreba vyššej presnosti pri polohovaní robota, takisto zabezpečenie správneho fungovania mechanizmu a eliminovanie možnosti poruchy vplyvom kolízie. V prípade variantu s elektromagnetickým ventilom je malou nevýhodou potreba vlastného elektrického obvodu pre jeho napájanie, ktoré je však možné vyriešiť bez obslužnej elektroniky.

Pri zabezpečení transferu vody do zásobníka otváraním a zatváraním krytu s pružinou je výhodou, že nie je potrebný žiadny pohon ani iná elektronika či snímače. Otváranie a zatváranie je zabezpečené len mechanicky. Nevýhodou však môže byť vytvorenie samotného návrhu mechanizmu tak, aby bolo zabezpečené bezchybné fungovanie bez rizika poruchy či kolízie. V prípade druhého variantu s pohonom, ktorý zabezpečí otváranie a zatváranie krytu zásobníka je výhodou vyššia spoľahlivosť a nižšia rizikovosť poruchy a taktiež opakovateľnosť. Nevýhodou je potreba využitia ďalšieho pohonu v zalievajúcom module. Posledný variant s lievikom bez otvárania krytu má výhodu vo svojej jednoduchosťi a nepotrebnosti akýchkoľvek pohonov či elektroniky. Nevýhodou je, že zásobník je trvale otvorený (aj keď je otvor malý) a existuje riziko vyliatia vody.

Doplňanie vody do zdroja automaticky, pomocou plavákového ventilu, sa javí ako najpraktickejšie riešenie. Výhodou je, že pre svoje fungovanie nepotrebuje napájanie ani riadenie obslužnou elektronikou. Pri variante s plavákovými snímačmi hladiny je nevýhoda potreby napájacieho obvodu a riadenia pomocou mikrokontrolera. Posledný variant s doplňaním vody od užívateľa je síce najjednoduchší, ale stráca sa tým autonómnosť.

Výsledné hodnotenie všetkých variantov jednotlivých okruhov riešení čerpania vody zo zdroja na základe vážených kritérií je uvedené v tabuľke (Tabuľka 5-5). Zvýraznené varianty dosiahli najvyššie bodové ohodnotenie a je možné pre finálne riešenie zvoliť danú kombináciu variantov z jednotlivých okruhov.

Tabuľka 5-5 – Zhodnotenie variantov konštrukčného riešenia čerpania vody zo zdroja a výber finálnych variantov jednotlivých okruhov

Otváranie a zatváranie ventilu			
<i>Kritérium</i>	<i>Variant</i>		
	Elektromagnetický ventil	Páka + magnety	
Dodatočný pohon, elektronika, snímače	1/3	3/3	
Požiadavka vyššej presnosti polohovania robota	3/4	1/4	
Jednoduchosť a opakovateľnosť	2,5/3	1/3	
Celkové hodnotenie	6,5/10	5/10	
Zabezpečenie transferu vody do zásobníka			
<i>Kritérium</i>	<i>Variant</i>		
	Otvárateľný kryt s pružinou	Otvárateľný kryt s pohonom	Neotvárateľný kryt s lievikom
Dodatočný pohon, elektronika, snímače	3/3	1,5/3	3/3
Riziko poruchy mechanizmu	1/3	2,5/3	3/3
Riziko vyliatia vody	3/4	3,5/4	0/4
Celkové hodnotenie	7/10	7,5/10	6/10
Doplňanie zdroja vody			
<i>Kritérium</i>	<i>Variant</i>		
	Plavákový ventil	Plavákové snímače + eletromag. ventil	užívateľ
Dodatočný pohon, elektronika, snímače	4/5	1,5/5	5/5
Autonómnosť	5/5	5/5	0/5
Celkové hodnotenie	9/10	6,5/10	5/10

6 Konkretizácia čiastkových cieľov

Na základe konzultácie s vedúcim práce a analýzy náročnosti a rozsahu ďalšej časti práce bolo rozhodnuté upresniť čiastkové ciele týkajúce sa tvorby prototypu. Vychádzalo sa najmä z vybranej finálnej koncepcie prototypu z predchádzajúcej kapitoly. Je možné ju rozdeliť do dvoch hlavných častí, a to: zalievajúca časť a čerpacia časť. Prišlo tak k rozdeleniu prác na dva okruhy, pričom z dôvodu časovej aj konštrukčnej náročnosti prišlo k rozhodnutiu venovať sa pri tvorbe prototypu len jednému z týchto okruhov. V časti týkajúcej sa čerpania vody zo zdroja do zásobníka na module robota bol zvolený variant čerpania vody samospádom pomocou vybraného mechanického riešenia. Keďže ako dôležitejší okruh pre demonštráciu funkčnosti zalievajúceho robota, ako celku, bol určený okruh zalievania, pre čerpací okruh bol pri tvorbe prototypu zvolený najjednoduchší variant, a to doplnenie vody do zásobníka užívateľom. Ďalšia časť venovaná tvorbe prototypu bude teda zameraná na vytvorenie funkčného zalievajúceho okruhu.

7 Návrh a realizácia prototypu

Po výbere finálneho konštrukčného variantu v predchádzajúcej kapitole nasleduje návrh samotného prototypu. Prvá podkapitola je venovaná výberu komponentov, ktoré sú potrebné pre zostavenie modulu. V druhej podkapitole je uvedený priebeh návrhu rotačnej väzby pre horizontálny pohyb ramena. Obsahom tretej podkapitoly je umiestnenie vybraných komponentov na zalievajúci modul a jeho finálne zostavenie. Štvrtá podkapitola v krátkosti popisuje elektrickú schému, na základe ktorej sú prepojené jednotlivé komponenty. V záverečnej, piatej podkapitole je uvedený popis riadiaceho programu a jeho rozdelenia na jednotlivé úrovne komunikujúce medzi sebou.

Ako už bolo na začiatku tejto práce spomenuté, dôležitým faktorom pri výbere finálneho variantu a následnom návrhu prototypu je možnosť zmeny mierky bez vplyvu na funkčnosť. Z toho dôvodu a pre uľahčenie a urýchlenie testovania prototypu boli vybrané niektoré komponenty v zmenšenej verzii oproti hodnotám, ktoré sú uvedené v požiadavkách. Následná výmena komponentov by však prebehla ako „kus za kus“, teda bez nutnosti iných väčších úprav či zásahov do akejkoľvek časti návrhu prototypu.

7.1 Výber potrebných komponentov

Prvým krokom po uskutočnení výberu finálneho variantu zalievajúceho modulu v kapitole 5 je výber potrebných komponentov pre jeho zostavenie. Jedná sa o komponenty pre vertikálny pohyb ramena, horizontálny pohyb ramena, zalievanie, elektroniku a senzoriku. V tejto podkapitole budú uvedené už konkrétne vybrané komponenty s ich základnými parametrami a krátkym popisom. Parametre budú uvádzané podľa datasheetov jednotlivých komponentov.

Vertikálny pohyb

Pre vertikálny pohyb bol vybraný *CNC lineárny pohon* s dĺžkou posuvu 300 mm (táto dĺžka bola vybraná z dôvodu nedostupnosti lineárneho pohonu s väčšou dĺžkou na trhu v čase zostavovania prototypu), zobrazený na obrázku (Obrázok 12.14) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Konštrukcia sa skladá z hliníkového profilu, trapézovej skrutky so stúpaním 2 mm/otáčku, ktorá je poháňaná krokovým motorom T8x2 s napájaním 12 V, krútiacim momentom 45 Ncm a uhlom kroku motora 1,8°. Maximálne vertikálne zaťaženie je 15 kg. [35]

Horizontálny pohyb

Pre rotačný pohyb horizontálneho ramena bol vybraný *krokový motor HY200 1713 0033 bx04*, zobrazený na obrázku (Obrázok 12.15) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Jedná sa o hybridný krokový motor s 200 krokmi na otáčku (uhol kroku motora 1,8°), fázovým prúdom 0,33 A a štyrmi cievkami. Krútiaci moment motora je 13,7 Ncm (tzv. holding torque). [36]

Zalievanie/čerpanie

Ako zariadenie určené pre transfer vody (zalievanie) bolo vybrané *membránové čerpadlo ESES R385*, zobrazené na obrázku (Obrázok 12.16) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Jedná sa o povrchové čerpadlo, je teda umiestnené mimo nádrž s vodou. Napájacie napätie sa pohybuje v rozmedzí 6 – 12 V a prúd v rozmedzí 300 – 700 mA. Hodnota prietoku závisí na zvolenej hodnote napájacieho napätia, maximálne však môže dosahovať hodnotu 2 L/min. Maximálny dosah satia je 1 m. Prietok kvapaliny je možný len jedným smerom. Pre uľahčenie montáže a tlmenie vibrácií je čerpadlo osadené silentblokmi. [25]

Pre uchovávanie vody na zalievajúcom module bola ako zásobník zvolená plastová nádoba o objeme 4 L, zobrazená na obrázku (Obrázok 12.17) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Jej rozmery sú 210x80x240 mm (d/š/v). Jedná sa o nádobu s menším objemom, ktorá je určená hlavne pre testovanie prototypu. Po úspešnom otestovaní je možné následne prejsť k vyššiemu objemu, ktorý bude spĺňať obmedzenia dané typom mobilného robota. [37]

Elektronika

Ako riadiaca jednotka zalievajúceho modulu bola zvolená vývojová platforma *Arduino Uno*, ktorá je aj s popismi základných častí zobrazená na obrázku (Obrázok 12.18) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Je založená na procesore ATmega 328 P. Napájanie je možné buď cez externý napájací konektor pomocou 7 až 12 V alebo cez USB 2.0 typu B, ktoré zároveň tvorí programovací vstup. Doska obsahuje 14 digitálnych I/O pinov a 6 analógových pinov. Frekvencia procesora je 16 MHz. Samotná tvorba programu následne prebieha v programovacom prostredí Arduino IDE. [38], [39], [40]

Ďalším využitým komponentom je *Arduino CNC Shield*, zobrazený na obrázku (Obrázok 12.19) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Jedná sa o rozširovací modul, ktorý je primárne určený pre stavbu CNC strojov, 3D tlačiarň a pod. Externé napájacie napätie je možné voliť v rozsahu 12 – 36 V a napájanie riadiacej elektroniky je 5 V. Obsahuje 4 sloty pre drivery krokových motorov a pre každý je dostupný pin STEP a DIR, ktoré sú vyvedené k jednotlivým driverom a z druhej strany sú pripojené na digitálne piny mikrokontrolera. [41], [42]

Ako *driver pre ovládanie krokových motorov* bol vybraný *A4988*, ktorý je spolu so schematickým popisom zobrazený na obrázku (Obrázok 12.20) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Pre každý krokový motor je jeden samostatný driver. Je určený pre bipolárne krokové motory do 2 A. Driver je možné použiť samostatne, avšak pri použití viac ako jedného driveru je výhodné ich vložiť do slotov v CNC Shielde popísanom vyššie. Obsahuje piny pre STEP a DIR, pre napájanie a uzemnenie logického obvodu (3 – 5 V), 4 piny na ktoré sú vyvedené cievky krokového motora a pin na napájanie a uzemnenie krokového motora (8 – 35 V). [40], [43], [44]

Pre ovládanie DC motora čerpadla bol zvolený *H most s čipom L298N*, zobrazený na obrázku (Obrázok 12.21) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Napätie, ktoré je možné ovládať, sa môže pohybovať v rozsahu 5 – 35 V. Logické napätie je 5 V, pričom je možné ho napájať zo samostatného zdroja alebo pomocou *jumperu* si potrebné napätie obvod vyrobí sám z napájacieho napätia. Maximálny prúd, ktorý je možné dlhodobo dosiahnuť

je 2 A. Týmto H mostom je možné ovládať buď jeden 2-fázový krokový motor alebo dva DC motory. [45]

Pre vytvorenie spoločných napäťových úrovní (5V a GND) pre všetky potrebné komponenty bola vybraná doska plošných spojov, zobrazená na obrázku (Obrázok 12.22) v prílohe 12.1.2 na konci práce. [46]

Senzorika

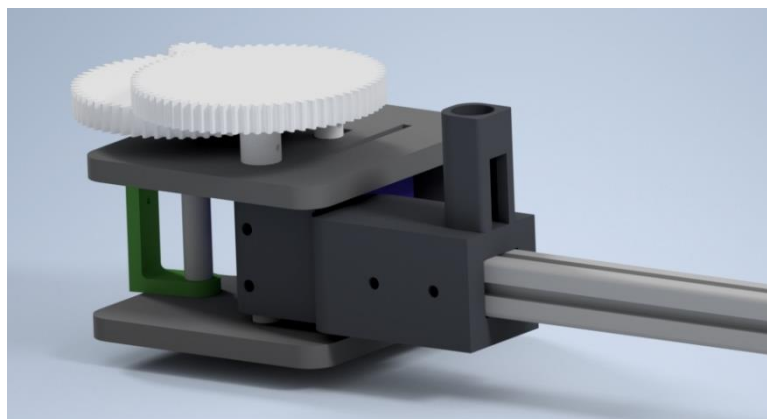
Prvým typom senzora, ktorý obsahuje zalievajúci modul je plavákový senzor výšky hladiny. Tento spínač existuje v prevedení montáže zvislo aj vodorovne, ako je možné vidieť na obrázku (Obrázok 12.23) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Plavák je možné namontovať do dolnej alebo hornej časti nádrže. Môže fungovať principiálne aj ako koncový spínač, ktorý ak sa nachádza pod pevne danou výškou hladiny určenou pri montáži, tak je obvod rozpojený – logická 0 (prípadne aj spojený – logická 1) a v prípade, že s nachádza nad hladinou, tak nastáva presne opačná situácia. [47], [48]

Ďalším použitým sensorom je ultrazvukový senzor HY-SRF05, zobrazený na obrázku (Obrázok 12.24) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Tento senzor je určený pre snímanie vzdialenosti medzi koncovým efektorom zalievajúceho modulu a podlahou, resp. kvetináčom. Napájacie napätie je 5 V. Senzor obsahuje piny TRIG a ECHO, ktoré po pripojení na mikrokontroler zabezpečujú vysielanie a prijímanie odrazeného signálu. Najvyššia možná presnosť udávaná výrobcom je 0,3 cm. Rozsah je udávaný ako 2 – 450 cm. Dôležitým parametrom je aj zorný uhol, ktorý je v tomto prípade 15°. [49]

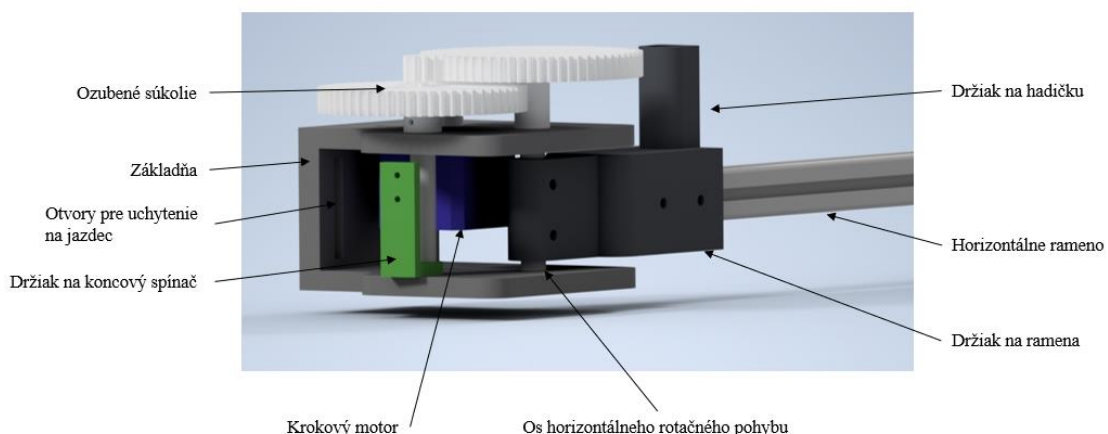
Posledným typom použitého senzora je koncový spínač WK601, zobrazený na obrázku (Obrázok 12.25) v prílohe 12.1.2 na konci práce. Pre modul je potrebné použiť najmenej dva tieto senzory, jeden pre každú os pohybu ako koncový (tzv. Homovací) senzor. Maximálne napätie udávané výrobcom je 250 V a prúd 5 A. Spínač obsahuje malú páku, ktorá umožňuje citlivejšie spínanie kontaktu. Je možné ho zapojiť ako NO (normally open) aj NC (normally closed). [50]

7.2 Návrh rotačnej väzby pre horizontálny pohyb ramena

Po výbere komponentov pre zalievajúci modul je ešte pred ich umiestnením a celkovým zostavením modulu potrebné vytvoriť rotačnú väzbu pre horizontálny pohyb. Na základe vybraného finálneho konštrukčného variantu tejto väzby v podkapitole 5.2.2, bol v programe *Autodesk Inventor Professional* vytvorený model, ktorý je zobrazený na obrázkoch (Obrázok 7.1 a Obrázok 7.2).



Obrázok 7.1 – Model rotačnej väzby horizontálneho ramena



Obrázok 7.2 – Popis komponentov modelu rotačnej väzby horizontálneho ramena

Keďže sa model skladá z niekoľkých častí, bol preto zostavovaný v súbore typu *Assembly*, v ktorom je možné zostavovať jednotlivé časti do jedného modelu a zviazať ich k sebe rôznymi podmienkami a obmedzeniami (*Constraints*). Jednotlivé časti boli modelované v súboroch typu *Part* a nachádzajú sa v Prílohe 2 priloženej k tejto práci (kapitola 11). Model sa skladá zo základne, ozubeného súkolia, dvoch hriadeľov, držiaka ramena a držiaka koncového senzora. V modeli sa nachádza aj zjednodušený model krokového motora, ktorý však slúži len pre vizualizáciu finálneho umiestnenia.

Základňa:

K základni sú upevnené všetky pevné aj pohyblivé časti a zároveň je základňa upevnená pomocou skrutiek cez výrezy k jazdca vertikálneho pojazdu. Špeciálne vybranie spolu s drážkami pre upevnenie krokového motora je vytvorené tak, aby bolo možné polohu motora v jednej osi upraviť, aby pri následnej montáži ozubeného súkolia bola zaistená ideálna vôľa medzi zubami kolies a neprichádzalo k vysokému treniu, zasekávaniu alebo naopak k preklzávaniu.

Ozubené súkolie:

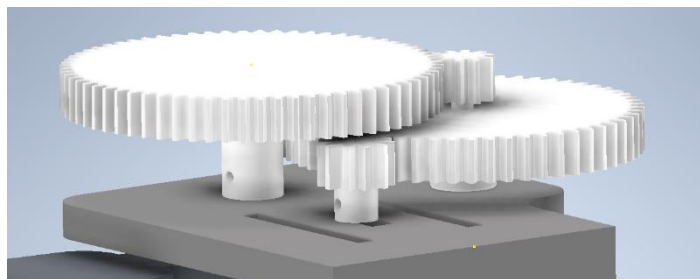
Návrh ozubeného súkolia prebiehal v dvoch fázach. Najprv bolo ozubené súkolie vytvorené na webovej stránke *Geargenerator.com*, kde bola vytvorená koncepcia so štyrmi ozubenými kolesami. Na základe určených rozmerov program automaticky vypočítal celkový prevod súkolia. Pre určenie požadovaného výsledného prevodu sa musel stanoviť odhad potrebnej uhlovej rýchlosti krokového motora a výslednú požadovanú uhlovú rýchlosť ramena, resp. dotyčnicovú rýchlosť koncového bodu ramena. Uhlová rýchlosť krokového motora je 1 otáčka/s. Optimálna uhlová rýchlosť ramena bola určená ako: $\omega_{ramena} = 10^\circ/\text{s}$ ($\frac{1}{18}\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$). Z týchto hodnôt je možné určiť prevod k :

$$k = \frac{360^\circ}{10^\circ} = 36 \quad (1)$$

Následne prepočtom dĺžky ramena $L = 0,5 \text{ m}$ bola určená dotyčnicová rýchlosť koncového bodu ramena:

$$v_{konc} = L \cdot \omega = 0,5 * \frac{1}{18}\pi = 8,7 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2)$$

Na základe týchto požadovaných parametrov a snahy čo najviac sa priblížiť optimálnemu prevodu $k = 36$, bolo v programe *Geargenerator.com* vytvorené ozubené súkolie, nachádzajúce sa v Prílohe 3 priloženej k tejto práci (kapitola 11). Výsledný dosiahnutý prevod bol $k = 36,3$. Tento prevod bol následne využitý v druhej fáze tvorby ozubeného súkolia, a to priamo v programe *Inventor*, v ktorom bola využitá možnosť generátora ozubených kolies, tzv. *Spur Gears*. Vytvorené boli dva páry ozubených kolies, každý pár obsahoval jedno menšie a jedno väčšie ozubené koleso (Obrázok 7.3). V prvom páre bolo menšie ozubené koleso hnacím kolesom, na ktoré sa následne upevnil hriadeľ krokového motora. Väčšie ozubené koleso z prvého páru je pevne spojené a osovo zhodné s menším kolesom z druhého páru. Hriadeľ posledného ozubeného kolesa je pevne spojený s držiakom ramena.



Obrázok 7.3 – Detail modelu ozubeného súkolia vytvoreného v programe *Inventor*

Držiak ramena:

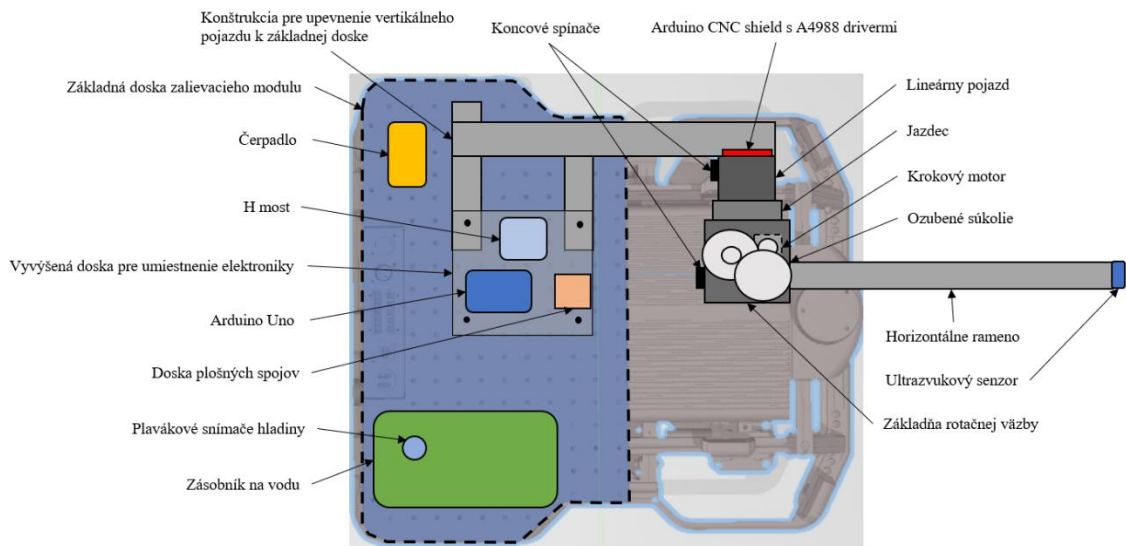
Je ďalšou súčasťou vytvorenou pomocou 3D tlače. Bol vytvorený tak, aby ho bolo možné pevne ukotviť k hriadeľu hnaného ozubeného kolesa. Horizontálne rameno je doň vsunuté a uchytané pevne pomocou skrutiek. Zároveň držiak koriguje zakrivenie hadičky tak, aby sa nezalomila.

Držiak koncového spínača:

Je pevne uchytený k základni a definuje homovaciú polohu horizontálneho ramena.

7.3 Umiestnenie vybraných komponentov a zostavenie zalievajúceho modulu

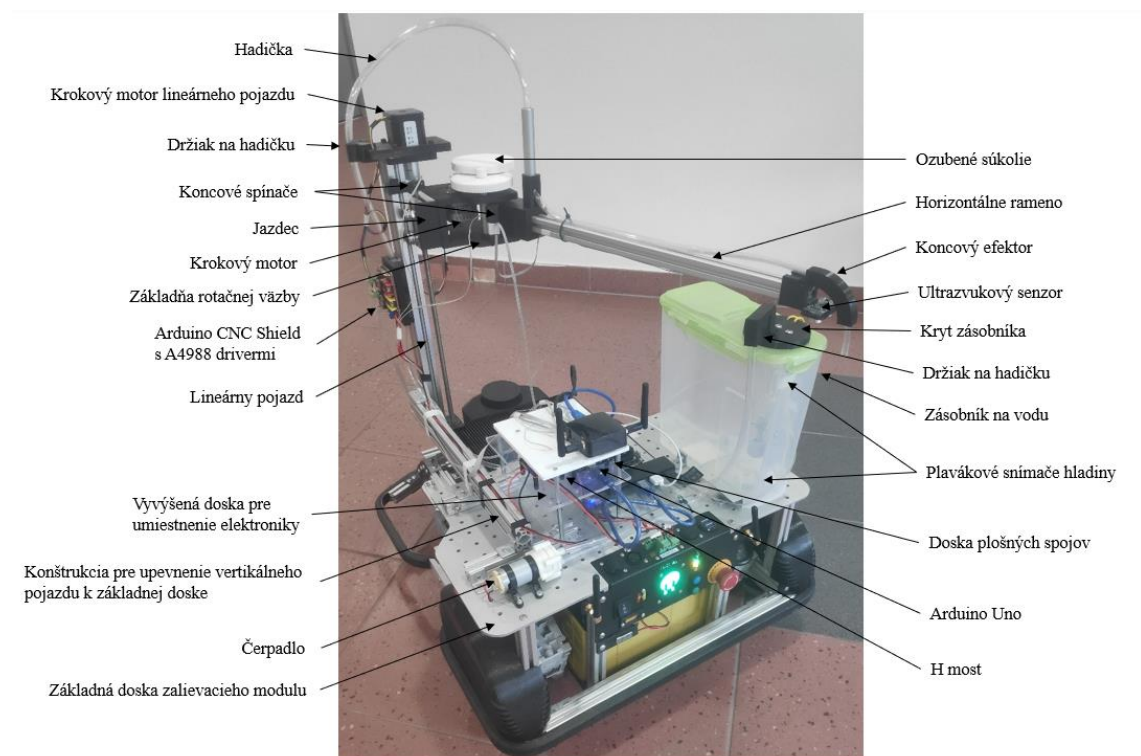
Po vybraní potrebných komponentov a vytlačení vytvoreného 3D modelu rotačnej väzby pre horizontálny pohyb nasleduje zostavenie všetkých súčastí do jedného modulu. Na nasledujúcom obrázku (Obrázok 7.4) je možné vidieť pôdorys robota spolu s umiestnením jednotlivých komponentov. Tie sú zobrazené schematicky pomocou farebne vyznačeného umiestnenia a jemu prislúchajúcemu popisu.



Obrázok 7.4 – Umiestnenie všetkých komponentov na zalievajúci modul

Na nasledujúcej fotografii (Obrázok 7.5) je možné vidieť umiestnenie komponentov na reálnom zalievajúcom module a jeho celkové zostavenie. Vrchná hliníková doska robota sa stala vďaka svojej pevnosti a prichytenému rastru vyvrtaných dier základnou doskou pre upevnenie jednotlivých komponentov. Z hliníkových profilov bola vytvorená konštrukcia, na ktorú sa následne upevnil vertikálny pojazd pomocou matíc na to určených a spojok v tvare „L“. Na jazdec vertikálneho pojazdu bola pomocou skrutiek upevnená základňa rotačnej väzby, spolu s ozubeným súkolím, krokovým motorom, koncovým spínačom a držiakom s horizontálnym ramenom. Na koniec horizontálneho ramena bol vytvorený pomocou 3D tlače koncový efektor, ktorého účelom je jednak nasmerovanie hadičky nad kvetináč, ale taktiež funguje aj ako držiak ultrazvukového senzoru. Pre koncový spínač vertikálneho posuvu bol vytvorený (opäť 3D tlačou) držiak, ktorý sa upevnil na vertikálny posuv k jeho hornému dorazu. Pre Arduino CNC Shield bol taktiež vytvorený držiak, ktorý bol následne umiestnený zo zadnej strany vertikálneho posuvu pre jednoduchší prístup k obom pohonom. Tento držiak zároveň slúži aj pre jedno

z upevnení hadičky, ktorá prechádza popod neho. Ďalšie upevnenia hadičky sa nachádzajú navrchu lineárneho pojazdu a na kryte zásobníka. Čerpadlo je upevnené cez silentbloky priamo k základnej doske tak, ako aj zásobník na vodu. Na zásobník bol pomocou 3D tlačou vytvorený kruhový kryt s otvormi pre kabeláž sensorov a hadičku. Zároveň bol na tento kryt prichytený držiak oboch plavákových sensorov hladiny. Mikrokontroler, H most a doska plošných spojov sú upevnené na vyvýšenej doske z plexiskla. Nad elektronikou je ešte umiestnený kryt s výrezmi pre vodenie kabeláže. Zostávajúci priestor na základnej doske bol ponechaný pre umiestnenie ďalšej elektroniky, ktorá je súčasťou diplomovej práce Bc. Podolinského [1]. Na záver bol vyskúšaný ochranný kryt zalievajúceho modulu. Modely a fotografie všetkých pomocných súčiastok vytvorených 3D tlačou je možné nájsť v Prílohe 1 a v Prílohe 4 priloženej k tejto práci (kapitola 11).

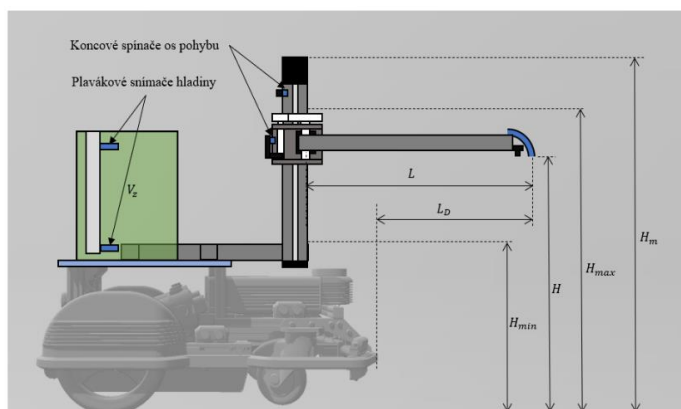


Obrázok 7.5 – Fotografia reálneho zalievajúceho modulu s umiestnenými komponentami

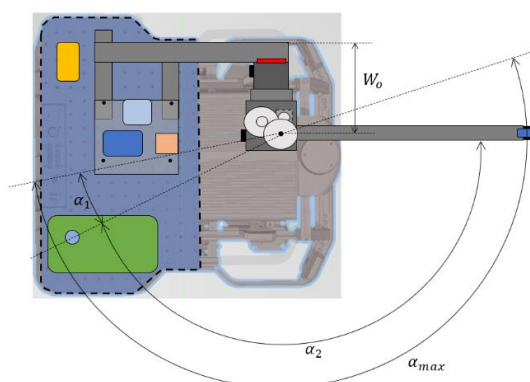
Obrázky (Obrázok 7.7 a Obrázok 7.6) zobrazujú zakótované základné parametre zostaveného prototypu zalievajúceho modulu. Hodnoty týchto parametrov spolu s ich popisom sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 7-1).

Tabuľka 7-1 – Základné parametre zostaveného zalievajúceho modulu

Označenie	Popis	Hodnota
L	Vzdialenosť koncového efektora od osi rotácie ramena	54 cm
L_D	Dosah koncového efektora ramena od hrany robota	40 cm
H	Výška koncového efektora ramena od podložky	-
H_{max}	Maximálna výška koncového efektora ramena	55 cm
H_{min}	Minimálna výška koncového efektora ramena	25 cm
H_m	Celková výška robota a zalievajúceho modulu	71 cm
V_m	Objem zásobníka vody na zalievajúcom module	4 L
W_o	Vzdialenosť osi rotácie ramena od bočnej hrany robota	24 cm
α_{max}	Maximálny uhlový rozsah ramena	190°
α_1	Uhol medzi homovacou a základnou polohou ramena	10°
α_2	Uhol medzi základnou a pracovnou polohou ramena	155°
D_h	Vnútorný priemer hadičky	6 mm
T_h	Hrúbka steny hadičky	1 mm
l_z	Celková použitá dĺžka hadičky pre zalievajúci okruh	200 cm
$l_{\check{c}}$	Celková použitá dĺžka hadičky pre čerpací okruh	70 cm
M_m	Hmotnosť zalievajúceho modulu	5,8 kg



Obrázok 7.6 – Zobrazenie základných parametrov zalievajúceho modulu (pohľad zo strany)



Obrázok 7.7 – Zobrazenie základných parametrov zalievajúceho modulu (pohľad zhora)

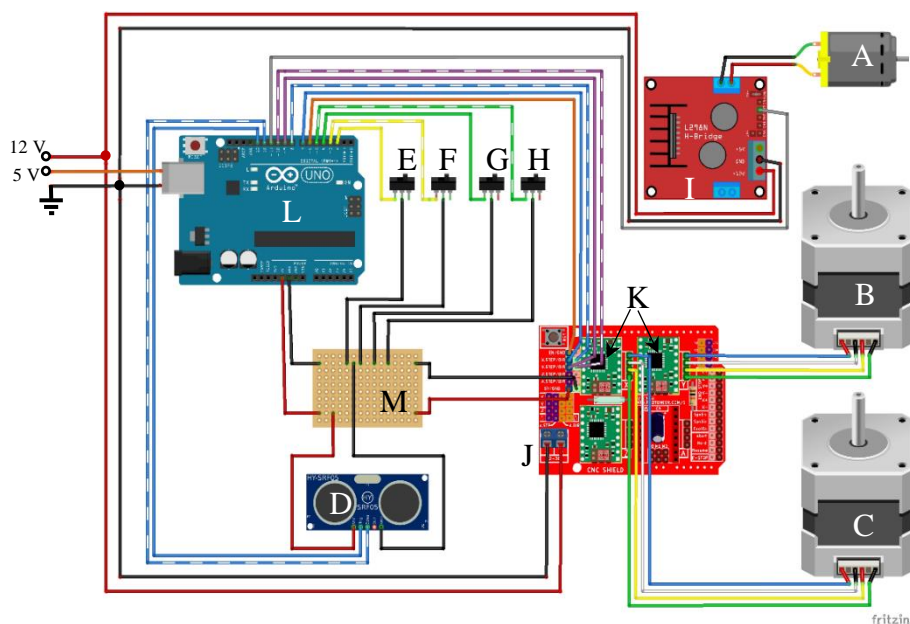
Na základne prevodu ozubeného súkolia $k = 36,3$ a dĺžky ramena $L = 54$ cm bola určená odchýlka koncového efektora δ na 1 krok krokového motora (krok motora je $1,8^\circ$):

$$\delta = \sin\left(\frac{1,8^\circ}{k}\right) \cdot L = \sin\left(\frac{1,8^\circ}{36,3}\right) \cdot 500 = 0,43 \text{ mm} \quad (3)$$

7.4 Schéma elektrického obvodu

Po rozmiestnení a upevnení komponentov ich následne bolo potrebné vzájomne prepojiť do jedného elektrického obvodu. Podrobná schéma zapojenia, vytvorená v programe *Fritzing* (obrázky niektorých komponentov boli prevzaté z [51], [52], [53]), je uvedená na obrázku (Obrázok 7.8). K tejto schéme je následne uvedená aj legenda pre vysvetlenie označenia jednotlivých súčiastok na obrázku zhrnutá v tabuľke (Tabuľka 7-2).

Napájanie sa uskutočňuje z akumulátora robota, ktorý má vyvedené konektory pre napájanie periférií pomocou 12 V (max. prúd 5 A) a 5 V (max. prúd 2 A). Napájanie 12 V bolo využité pre ovládacie prvky pohonov – Arduino CNC Shield pre napájanie oboch krokových motorov a H most pre napájanie DC motora čerpadla. 5 V konektor bol využitý pre napájanie mikrokontrolera. Z neho boli následne vyvedené napäťové úrovne 5V a GND na dosku plošných spojov, aby vytvorili spoločný uzol pre pripojenie všetkých súčiastok. Na GND sem boli pripojené oba koncové spínače aj oba plavákové snímače. Ultrazvukový snímač a logický obvod pre CNC Shield sem boli pripojené na GND aj 5V. Krokovým motorom boli identifikované vodiče jednotlivých cievok a pripojili sa na piny u príslušných driverov. Na piny mikrokontrolera boli privedené vodiče od ultrazvukového snímača (TRIG a ECHO), H mostu (ENABLE pre čerpadlo), CNC Shieldu (DIR a STEP pre oba krokové motory a ENABLE pre logický obvod) a koncových snímačov a plavákových snímačov, u ktorých bude následne vybraná možnosť zapojenia vstavaných pull-up rezistorov mikrokontrolera.



Obrázok 7.8 – Schéma zapojenia komponentov zalievajúceho modulu, [51], [52], [53]

Tabuľka 7-2 – Legenda k schéme zapojenia

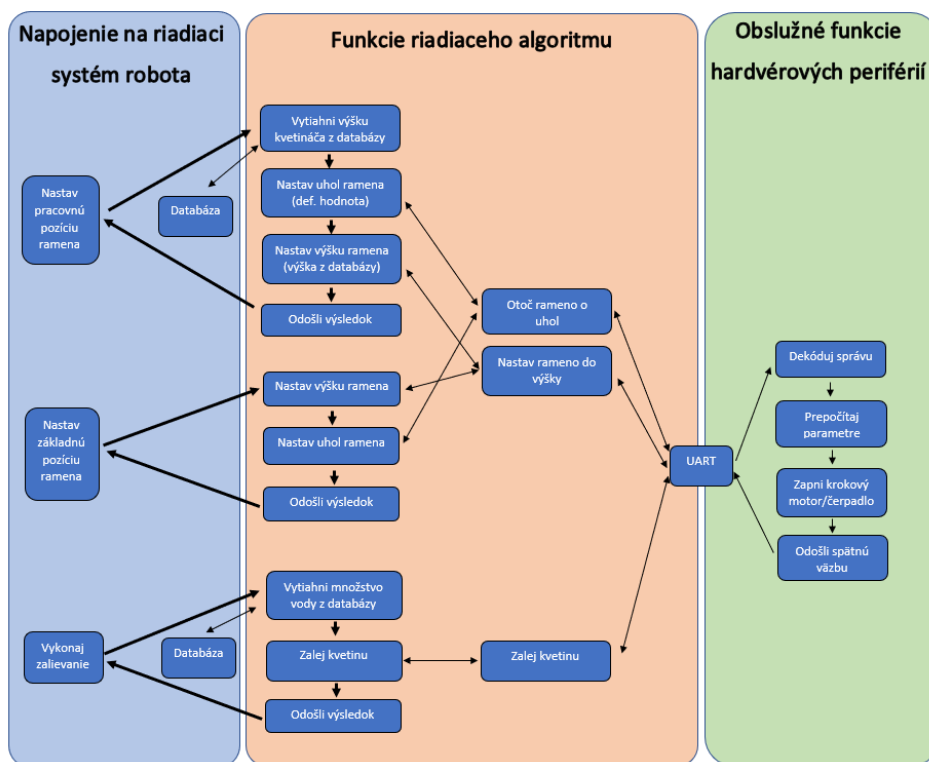
Označenie	Komponent
A	DC motor čerpadla
B	Krokový motor pre vertikálny posuv
C	Krokový motor pre horizontálne natočenie
D	Ultrazvukový senzor
E	Koncový spínač pre vertikálny pohyb ramena
F	Koncový spínač pre horizontálny pohyb ramena
G	Plavákový senzor minimálnej výšky hladiny v zásobníku
H	Plavákový senzor maximálnej výšky hladiny v zásobníku
I	H most L298N pre ovládanie DC motora čerpadla
J	CNC Shield pre ovládanie krokových motorov
K	Driver A4988 pre ovládanie krokových motorov
L	Mikrokontroler Arduino Uno
M	Doska plošných spojov (5V/GND)

7.5 Riadiaci program

Záverečnou časťou návrhu prototypu, po jeho zostavení a zapojení do elektrického obvodu, je vytvorenie riadiaceho programu, ktorý sa bude starať o obsluhu zalievajúceho modulu. Ten musí byť schopný jednak komunikovať s nadradeným systémom robota, tak vyhodnocovať a riešiť rozhodovacie procesy a nakoniec vykonávať zadané úlohy a požiadavky pomocou na to určených hardvérových periférií. Z tohto dôvodu je riadiaci program rozčlenený na tri časti: *napojenie na riadiaci systém robota, funkcie riadiaceho algoritmu, obslužné funkcie hardvérových periférií*. Tieto časti budú ďalej popísané a rozobrané. Prvé dve časti sa vykonávajú na počítači Jetson Nano, na ktorom pracuje celý systém robota. Posledná časť sa vykonáva na mikrokontroleri Arduino Uno a komunikácia s Jetsonom je zabezpečená cez sériovú linku.

Celková schéma riadiaceho programu

Pre lepšiu počiatočnú predstavu o vzájomnom prepojení a úlohách všetkých troch častí, bola vytvorená schéma riadiaceho programu, zobrazená na obrázku (Obrázok 7.9). Prvou časťou je napojenie na riadiaci systém robota, ktoré slúži pre zadávanie požiadaviek riadiacemu algoritmu, komunikáciu s databázou a odosielanie spätnej väzby naspäť do systému robota. Požiadavky na zaliatie, resp. nastavenie ramena do základnej a pracovnej pozície sú následne predané do druhej časti, v ktorej je implementovaný samotný riadiaci algoritmus pre jednotlivé vyvolané požiadavky. Na základe zvolených parametrov, resp. parametrov, ktoré sa nachádzajú v databáze systému sa vyvolávajú konkrétne požiadavky na zalievajúci modul, ktoré sú pomocou sériovej linky posielané do mikrokontrolera (Arduina). Jedná sa o tretiu časť riadiaceho programu, ktorá ovláda jednotlivé hardvérové periférie na základe získaných požiadaviek a odosiela spätnú väzbu o ich vykonaní.



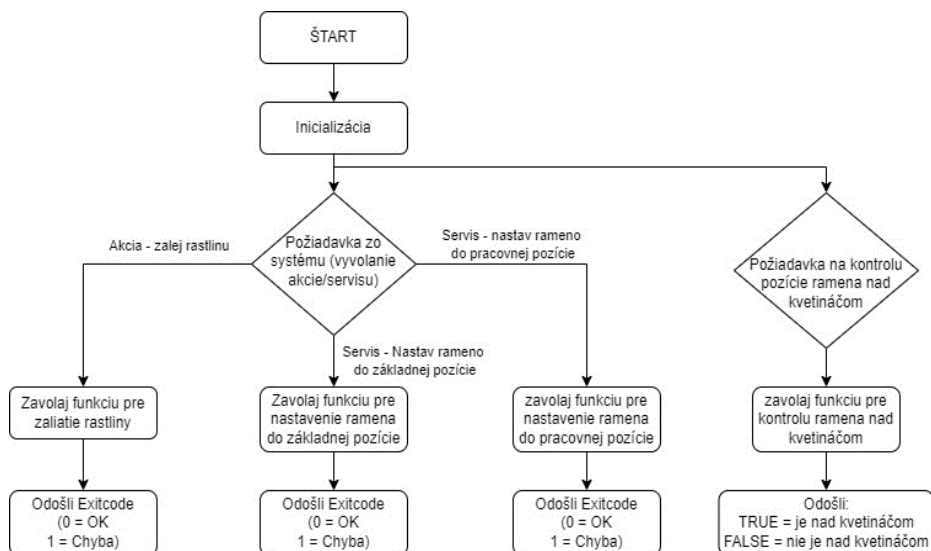
Obrázok 7.9 – Celková schéma riadiaceho programu

1. časť – Napojenie na riadiaci systém robota:

Táto časť riadiaceho programu priamo komunikuje so systémom robota, prebiehajúcom v ROSe. Robot Operating System (skr. ROS) nie je klasický operačný systém, ale „open-source“ súbor softvérových knižníc a nástrojov pre vytváranie a ovládanie robotických aplikácií. Robotický softvér na báze ROSu sa skladá z tzv. balíčkov, ktoré obsahujú implementáciu funkcionality, ktorá je do systému pripojená pomocou tzv. uzlu. Každý uzol potom môže komunikovať s ostatnými uzlami pomocou správ, služieb alebo akcií. Pre vytvorenie tejto časti programu bol využitý programovací jazyk Python.

V rámci tejto práce bolo úlohou vytvoriť vlastný ROS balíček, ktorý by obsahoval celú funkcionality zalievajúceho modulu. Tento balíček obsahuje implementáciu jednej akcie a dvoch služieb. Akcia sa týka vykonania zalievania a služby slúžia k prevedeniu ramena do pracovnej alebo základnej pozície. Vytvorený ROS balíček sa nachádza v Prílohe 5 priloženej k tejto práci (kapitola 11).

Na vývojovom diagrame (Obrázok 7.10) je uvedený priebeh 1. časti riadiaceho programu. Na začiatku príde k inicializácii a nadefinovaní akcie, ktorou je v tomto prípade funkcionality zalievania a ďalej servisov, ktorými sú: uvedenie zalievajúceho ramena do základnej pozície a do pracovnej pozície. Po vyvolaní akcie, resp. servisu, sa v programe vyvolá príslušná funkcia definovaná v 2. časti riadiaceho programu. Po jej vykonaní očakáva Exitcode, ktorý odošle naspäť do systému robota. Paralelne prebieha požiadavka na kontrolu pozície ramena nad kvetináčom, ktorá sa spustí po vyvolaní servisu uvedenia ramena do pracovnej pozície a do systému robota odosiela hodnotu TRUE resp. FALSE.

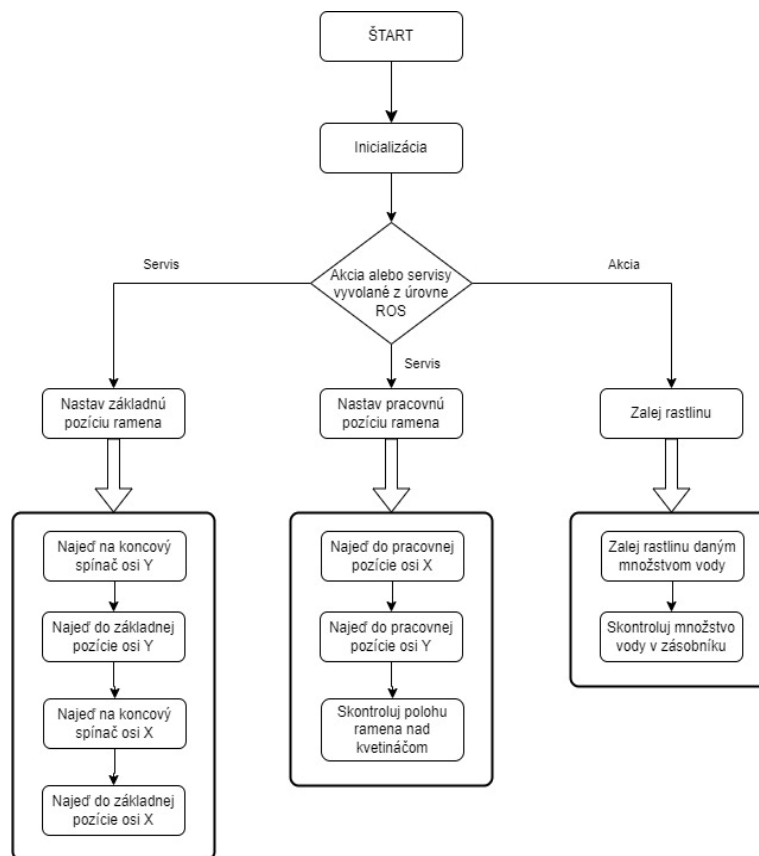


Obrázok 7.10 – Vývojový diagram 1. časti riadiaceho programu

2. časť – Funkcie riadiaceho algoritmu:

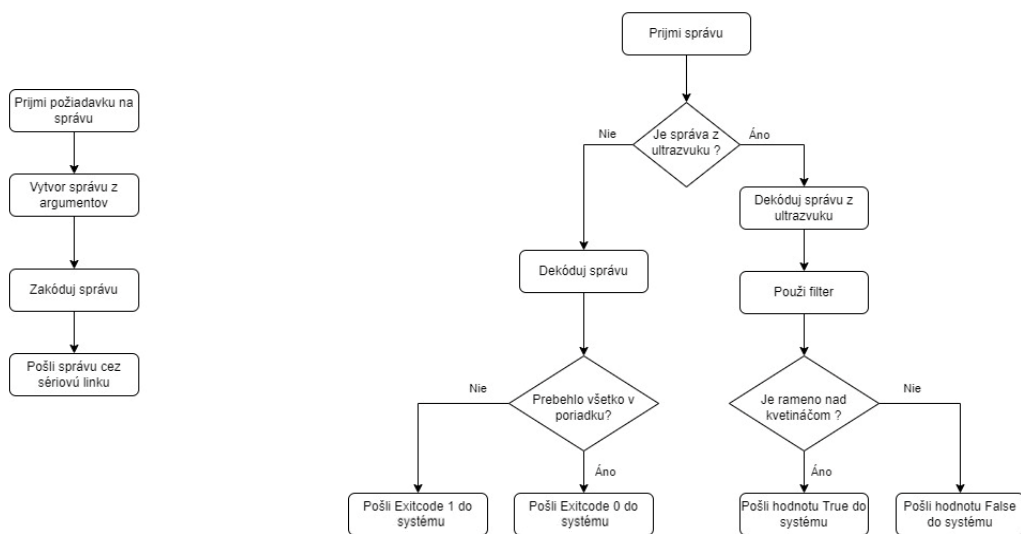
Programovací jazyk Python bol využitý aj pre vytvorenie 2. časti riadiaceho programu, ktorej úlohou je algoritmizácia požadovaného procesu. V tomto programovacom jazyku sa využívajú triedy (*class*) k definovaniu objektov, resp. k logickému usporiadaniu funkcií a dát. S takto definovanými triedami funkcií je ďalej možné pracovať a vyvolávať z nich jednotlivé funkcie aj v iných skriptoch. Vytvorená trieda pre 2. časť riadiaceho programu má názov *Module_fcns*. Obsahuje 3 základné funkcie, ktoré obsluhujú vyvolané akcie a servisy. Každá z týchto základných funkcií ďalej využíva pomocné funkcie, napr. na načítanie dát z databázy, prepočty parametrov, zostavovanie a odosielanie správ pre mikrokontroler a následne aj ich prijímanie a dekodovanie, poprípade aj vyhodnocovanie.

Na vývojovom diagrame (Obrázok 7.11) je uvedený priebeh 2. časti riadiaceho programu. Po spustení nastane inicializácia, v ktorej sú definované všetky používané parametre a takisto sa tu spúšťa funkcia pre inicializovanie sériovej linky pre komunikáciu s mikrokontrolerom. Nakoniec sa spúšťa funkcia pre uvedenie ramena do základnej pozície. Po inicializácii nasleduje vyvolanie jednej zo základných funkcií pre obsluhu zalievajúceho modulu. Napr. po vyvolaní funkcionality uvedenia ramena do základnej polohy, nasleduje sekvencia príkazov, ktoré spúšťajú jednotlivé pomocné funkcie, ako: „najed’ na koncový spínač osi Y“, „najed’ do základnej polohy osi Y“, „najed’ na koncový spínač osi X“, „najed’ do základnej polohy osi X“. Cieľom týchto funkcií je zostaviť správu, pozostávajúcu z dvoch argumentov: prvý argument (hodnoty 1 až 5) definuje jednotlivé stavy pre mikrokontroler, druhý argument obsahuje hodnotu parametru, určeného pre danú akciu.



Obrázok 7.11 – Vývojový diagram 2. časti riadiaceho programu

Na obrázku (Obrázok 7.12) je vývojový diagram, ktorý zobrazuje odosielanie a prijímanie správ (do, resp. z mikrokontrolera). Po zostavení správy z vytvorených argumentov je správa zakódovaná a následne odoslaná cez sériovú linku do mikrokontrolera na spracovanie. Po vykonaní danej činnosti príde naspäť z mikrokontrolera správa, ktorá sa najprv rozdelí podľa toho či sa jedná o správu z ultrazvuku, ktorá obsahuje číselne vypovedajúcu hodnotu parametra výšky nad kvetinačom alebo či sa jedná o binárnu hodnotu 1/0, ktorá hovorí o vykonaní (úspešnom/neúspešnom) zadanej akcie. Po rozdelení je správa dekodovaná a následne je do systému robota odoslaný Exitcode s výsledkom. Pri ultrazvuku je hodnota dekodovaného parametra ešte ďalej spracovávaná. Ultrazvuk detekuje výšku, v ktorej sa nachádza koncový efektor. Akonáhle ultrazvuk rozpozná zmenu výšky (rameno sa dostalo nad kvetinač), odošle do systému robota správu s hodnotou TRUE. Ultrazukový senzor dokáže občasne vyslať hodnotu, ktorá vyčnieva z radu snímaných hodnôt a jedná sa o chybné meranie. Pri experimentálnom overovaní tejto vlastnosti boli zistené najviac 2 po sebe nasledujúce chybné merania. Z tohto dôvodu bol vytvorený filter, ktorý umožní odoslanie hodnoty TRUE až po troch po sebe nasledujúcich správne snímaných hodnotách.

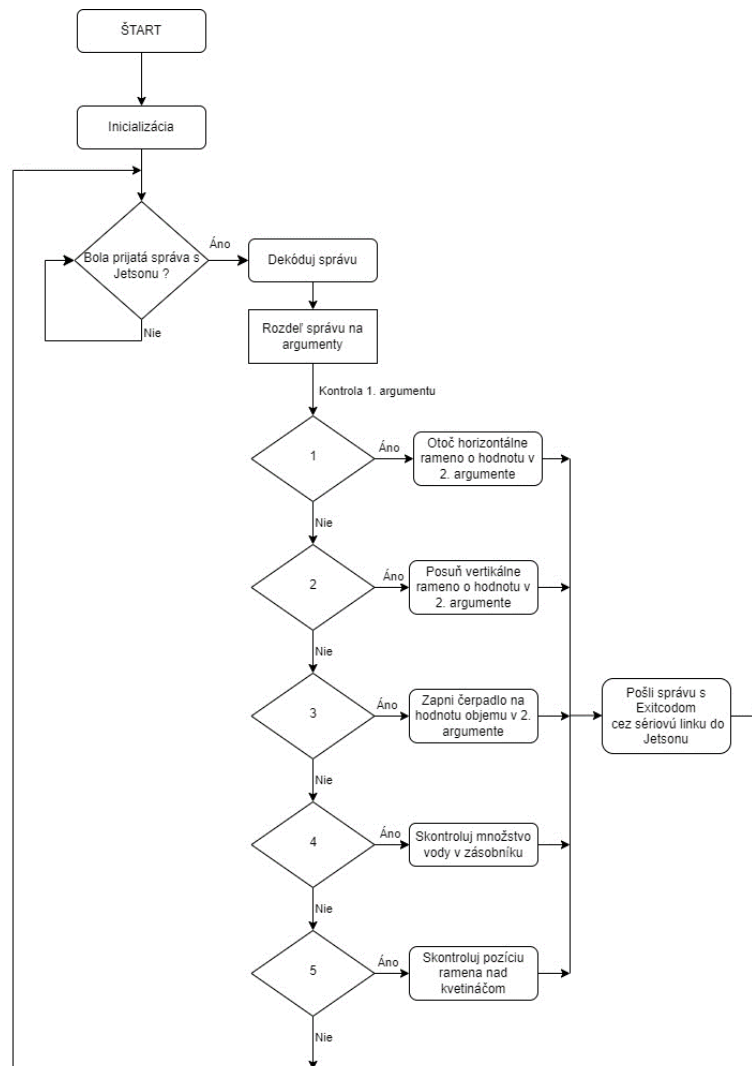


Obrázok 7.12 – Vľavo: vývojový diagram pre odosielanie správy, vpravo: vývojový diagram prijímanie správy

3. časť – Obslužné funkcie hardvérových periférií:

Jedná sa o tretiu časť riadiaceho programu. Komunikuje a riadi hardvérové periférie pripojené k mikrokontroleru. Ako programovacie prostredie bolo využité Arduino IDE. Na obrázku (Obrázok 7.13) je zobrazený vývojový diagram, ktorý popisuje priebeh 3. časti riadiaceho programu. Na začiatku sú importované potrebné knižnice (napr. Ultrasonic.h), nasleduje definícia digitálnych pinov a použitých premenných. V inicializácii sú piny nastavené ako OUTPUT, resp. INPUT. U koncových spínačov a plavákových senzorov je zvolená aj možnosť PULLUP, ktorá aktivuje vstavaný pull-up rezistor pre daný pin. Na záver inicializácie je zvolený *baudrate* a *timeout* sériovej linky.

Hlavný program sa skladá z *while* slučky, v ktorej čaká na prijatie správy cez sériovú linku z 2. časti riadiaceho programu. Akonáhle sa správa prijme, je dekodovaná a predaná na ďalšie spracovanie. To prebieha v ďalšej funkcii formou stavového automatu, pričom rozdeľovacím parametrom pre daný stav je prvý argument. Na základe tohto argumentu je následne spustená príslušná obslužná funkcia. Napríklad ak je prvý argument 1, stavový automat spustí funkciu pohybu horizontálneho ramena. Funkcie pre vertikálny a horizontálny pohyb spúšťajú ďalšie podradené funkcie, ktoré prepočítavajú zadaný uhol, resp. výšku na počet krokov, ktorý sa vloží do funkcie pre ovládanie krokových motorov (jedna funkcia ovláda na základe vstupných parametrov oba krokové motory, [42]). V tejto funkcii sa nachádza aj kontrola koncových spínačov pre jednotlivé osi pohybu. Ďalšia funkcia slúži na prepočet množstva vody potrebného na zaliatie rastliny na dobu, po ktorú musí byť čerpadlo zapnuté. Ďalšie funkcie obsluhujú ultrazvukový senzor a plavákové snímače výšky hladiny. Po dokončení požadovanej akcie sa program vráti z danej obslužnej funkcie späť do aktuálneho stavu stavového automatu a vtedy je mu umožnené cez sériovú linku odoslať do systému robota Exitcode 1/0 (OK/Chyba), resp. v prípade ultrazvuku je odoslaná hodnota výšky koncového efektora horizontálneho ramena nad podlahou či kvetináčom.



Obrázok 7.13 – Vývojový diagram 3. časti riadiaceho programu

8 Testovanie vlastností prototypu zalievajúceho modulu

Po kompletnom zostavení prototypu a vytvorení riadiaceho programu nasleduje jeho testovanie. V rámci testovania sú preverované vlastnosti jednotlivých komponentov v súčinnosti s vytvoreným riadiacim programom, ako aj celková funkčnosť prototypu. Prvá podkapitola je venovaná testovaniu vlastností vybraného čerpadla. Druhá podkapitola sa zaoberá testovaním funkčnosti a presnosti pohonov a pohybom zalievajúceho ramena. Taktiež je uvedený test dojazdov robota ku kvetináču so zaznamenanou polohou koncového efektora v priestore kvetináča. Posledným testom je dojazd robota ku kvetináču spoločne s jeho zaliatím. V záverečnej podkapitole sú uvedené námety na vylepšenie prototypu v kombinácii so zistenými poznatkami, či už pri samotnom návrhu, ale hlavne pri testovaní.

8.1 Testovanie vlastností čerpadla

Ako už bolo zmienené v kapitole o výbere finálneho variantu vodného okruhu, pre prototyp bolo vybrané povrchové membránové čerpadlo ESES R385, zobrazené na obrázku (Obrázok 12.16 v prílohe 12.1.2 na konci práce). Pre overenie funkčných vlastností a parametrov tohto čerpadla bolo vykonaných niekoľko testov. Aj napriek tomu, že sa to priamo netýka vlastností čerpadla, je potrebné zmieniť, že pri všetkých testoch bola zistená náchylnosť hadičky na zalomenie a skrútenie sa – tzn. zníženie prietoku. Je potrebné klásť veľký dôraz na to, aby nikde v konštrukcii pri vedení hadičky nehrozila možnosť jej zalomenia.

Výtlačná a sacia výška:

Cieľom testovania výtlačnej výšky bolo zistiť, či je toto čerpadlo schopné vytlačiť vodu do požadovanej výšky 1 metra, nakoľko v datasheete k tomuto čerpadlu hodnota parametru výtlačnej výšky nie je uvedená. Čerpadlo bolo napájané z jednosmerného napätia najprv 12 V (maximálna dovolená hodnota) a potom 6 V (minimálna dovolená hodnota). V oboch prípadoch čerpadlo vytlačilo vodu do výšky 1 metra bez problémov. Následne bola zvolená výtlačná výška 2 metre, pričom v oboch prípadoch napájacieho napätia (12 V aj 6 V) čerpadlo dokázalo do požadovanej výšky vodu bez problémov vytlačiť. Keďže výška 2 metre je dvojnásobkom požadovanej výtlačnej výšky, ďalej už hraničná výtlačná výška čerpadla skúmaná nebola.

Druhým experimentom bolo zistenie sacej výšky čerpadla, teda aký je možný výškový rozdiel medzi zdrojom vody a čerpadlom, pri ktorej čerpadlo dokáže vodu nasáť cez prázdnu hadičku. Opäť bolo použité minimálne aj maximálne dovolené napájacie napätie a výšky 1 m a 2 m. Ani v jednom prípade nenastal stav, kedy by malo čerpadlo problém nasáť vodu z danej výšky.

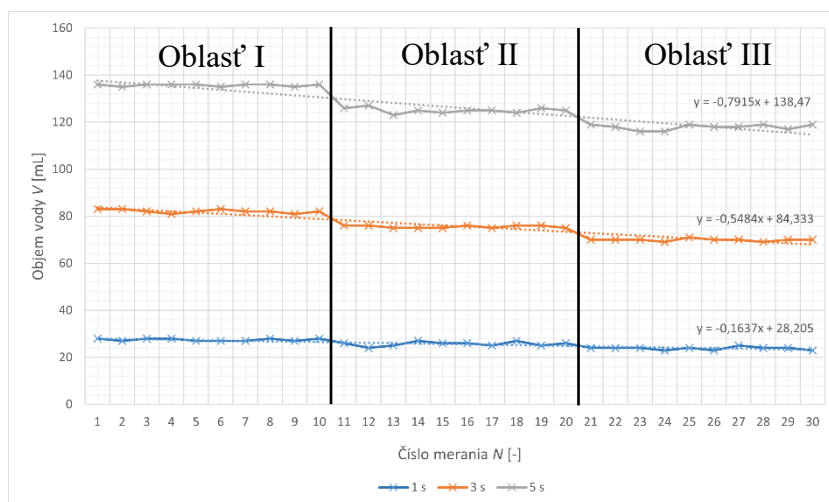
Aj napriek tomu, že oba experimenty čerpadlo úspešne absolvovalo, je potrebné poznamenať, že so zvyšujúcou sa výškou (sacou aj výtlačnou), tak ako aj so znižujúcim sa napájacím napätím sa zvyšoval čas, za ktorý čerpadlo dokázalo vodu vytlačiť, resp. nasáť.

Vplyv výtlačnej výšky na prietok:

Podstatou tohto testu bolo zistiť závislosti vytlačeného objemu vody na dobe zopnutia čerpadla a taktiež na výtlačnej výške. Testovanie prebiehalo pre nulovú, polovičnú a maximálnu výtlačnú výšku (určenú ako maximálnu výšku kvetináča na podstavci 1 m). Prietok bol stanovený pre rôzne časové intervaly, po dobu ktorých bolo na čerpadlo privedené napájacie napätie. Aby bola zabezpečená vždy rovnaká doba chodu čerpadla, o spínanie sa staral mikrokontroler. Z výsledných hodnôt objemu bol pre dané 3 výtlačné výšky vypočítaný priemerný prietok. Pre každú výtlačnú výšku boli určené 3 doby zopnutia čerpadla a pre každú sa vykonalo 10 meraní. Namerané hodnoty objemu a vypočítané hodnoty prietoku sú uvedené v Tabuľke (Tabuľka 12-10) v prílohe 12.2.1 na konci práce.

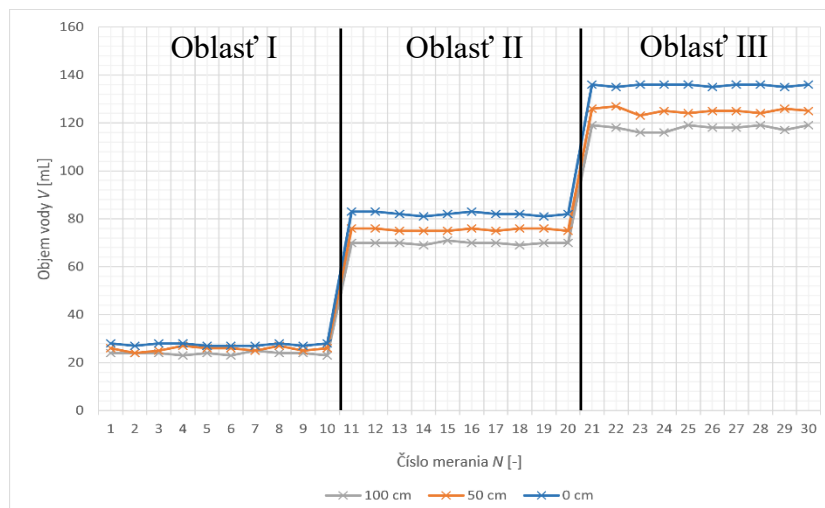
Z nameraných hodnôt vytlačeného objemu vody boli vytvorené grafy závislostí na výtlačnej výške a dobe zopnutia čerpadla.

Nasledujúci graf (Graf 1) zobrazuje závislosť objemu vody V na výtlačnej výške H , ktorá je v grafe reprezentovaná 3 oblasťami: Oblasť I (výtlačná výška $H = 0$ cm), Oblasť II ($H = 50$ cm) a Oblasť III ($H = 100$ cm). Sú v ňom zobrazené 3 priebehy odpovedajúce trom dobám zopnutia čerpadla t : 1 s, 3 s a 5 s. Z grafu je možné vidieť, že v prípade zopnutia čerpadla po dobu 1 s je priebeh vytlačeného objemu vody počas 10 meraní takmer konštantný. So zvyšujúcou sa dobou zopnutia čerpadla postupne priebehy viac klesajú, teda čím dlhšie čerpadlo pumpuje vodu, tým je vo väčšom rozmedzí výtlačnej výšky väčší rozdiel vo výslednom vytlačnom objeme vody.



Graf 1 – Závislosť objemu vody V na výtlačnej výške H pre 3 doby zopnutia čerpadla t

Nasledujúci graf (Graf 2) je tvorený závislosťou objemu vytlačenej vody V na dobe zopnutia čerpadla t , ktorá je v grafe reprezentovaná 3 oblasťami: Oblasť I (doba zopnutia čerpadla $t = 1$ s), Oblasť II ($t = 3$ s) a Oblasť III ($t = 5$ s). Sú na ňom zobrazené tri priebehy pre tri použité výtlačné výšky H : 0 cm, 50 cm a 100 cm. Z priebehov v grafe je možné vidieť, že pre jednotlivé doby zopnutia sú opakované pokusy merania vytlačeného objemu s miernou odchýlkou takmer konštantné. Avšak s väčšou výtlačnou výškou klesá celkový vytlačený objem vody. V porovnaní nulovej a maximálnej výtlačnej výšky (1 m) po dobu čerpania 5 s je rozdiel vytlačeného objemu vody približne 16 mL.



Graf 2 – Závislosť objemu vody V na dobe zopnutia čerpadla t pre 3 výtlačné výšky H

Meranie s prietokomerom a zistenie jeho vlastností:

Pôvodným zámerom pri tvorbe prototypu bolo využiť aj snímač prietoku v zalievajúcom okruhu, pre kontrolu prietoku a odhad pretečeného a zostávajúceho objemu vody v zásobníku. Z dôvodu, že zakúpený prietokomer bol dostupný až vo fáze, kedy bol prototyp zalievajúceho modulu zostavený a riadiaci program bol už vytvorený, bolo rozhodnuté tento snímač do modulu nezakomponovať, avšak pre zistenie jeho vlastností a prípadné budúce využitie bol tento komponent otestovaný. Jedná sa o turbínkový prietokomer YF-S401 (Obrázok 12.26 v prílohe 12.1.2 na konci práce), v ktorom prietok vody roztáča lopatky trubínky a na základe Hallovho javu je v podobe impulzov dodávaný signál do mikrokontrolera na spracovanie. [54]

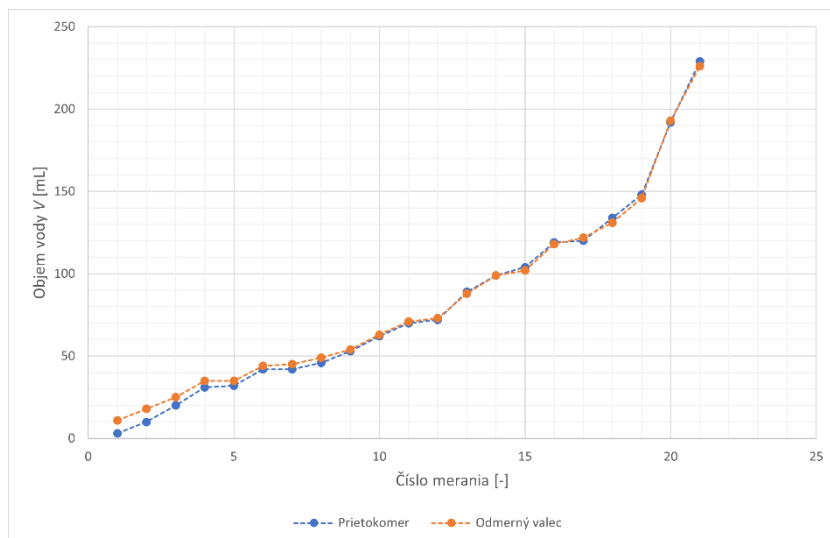
Na začiatku bolo potrebné zistiť prepočtový parameter prietokomeru – koľko mL vody je potrebných na vytvorenie 1 impulzu. Experiment bol vykonaný pre 10 hodnôt objemu vody, z ktorých sa vypočítali hodnoty prepočtovej konštanty pomocou vzťahu (3) a výsledná hodnota sa určila aritmetickým priemerom. Výsledné namerané hodnoty boli zapísané do tabuľky (Tabuľka 12-11) v prílohe 12.2.2 na konci práce.

$$k = \frac{N}{V} \quad (4)$$

, kde k je prepočtový parameter, V je objem vody a N je počet impulzov.

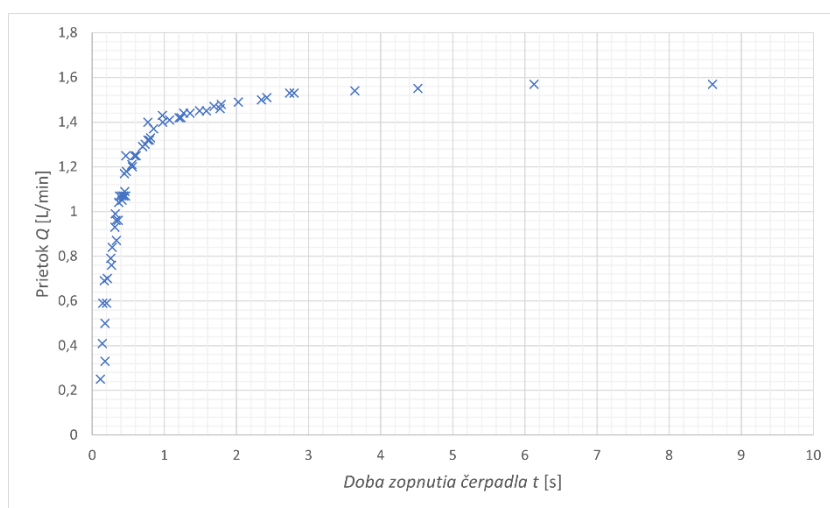
Výpočtom aritmetického priemeru hodnôt bola určená prepočtová konštantá k prietokomeru ako $2,062 \text{ mL}^{-1}$.

V nasledujúcom grafe (Graf 3) je zobrazené porovnanie meraní vytlačenej objemu vody pomocou prietokomeru a odmerného valca. Jednotlivé výsledky merania boli zoradené od najmenšieho objemu vody po najväčší. Z výsledku experimentu zobrazeného v grafe je možné si všimnúť väčších odchýlok v prípade nameraných hodnôt objemu do 50 mL. Od tejto hranice sú už odchýlky medzi oboma metódami merania minimálne. Tento fakt je možné prisúdiť všeobecnej vlastnosti turbínkových prietokomerov, ktoré pre dosiahnutie požadovanej presnosti merania potrebujú dosiahnuť určitý minimálny prietok kvapaliny.



Graf 3 – Porovnanie merania objemu vody s prietokomerom a odmerným valcom

Pre zistenie závislosti prietoku Q na dobe zopnutia čerpadla t bol vykonaný ďalší experiment, zobrazený v nasledujúcom grafe (Graf 4). Výtlačná výška bola v tomto prípade $H = 30$ cm. Pre meranie prietoku bol použitý prietokomer uvedený vyššie. Z výsledného priebehu je možné vidieť rýchly nábeh počas prvej sekundy čerpania a následné pomalé doťahovanie hodnoty prietoku na konštantnú úroveň. Ustálená hodnota prietoku je $1,57$ L/min, ktorá bola prvýkrát dosiahnutá za približne $6,1$ s. 90% z ustálenej hodnoty prietoku ($1,41$ L/min) bolo dosiahnutých za približne 1 s. Hodnoty prietoku v intervale $0 - 1$ s môžu byť skreslené vlastnosťou prietokomeru, ktorá bola zistená v predchádzajúcom experimente.

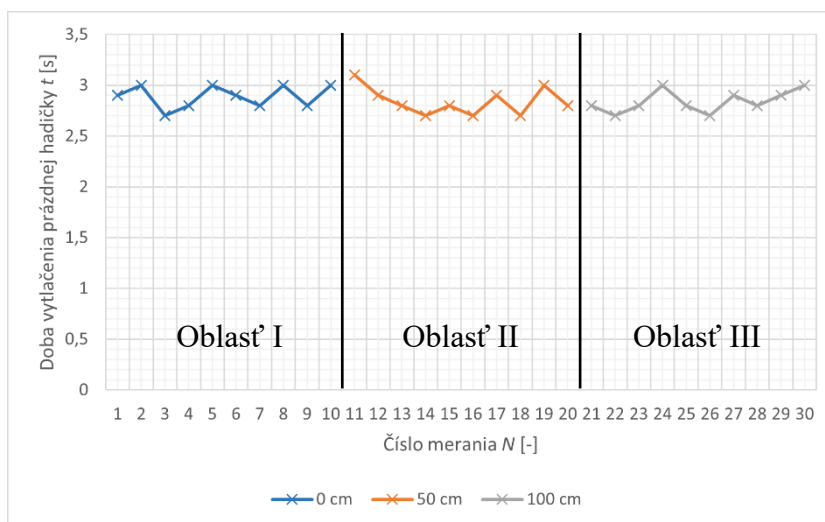


Graf 4 – Závislosť prietoku Q na dobe zopnutia čerpadla t (zmerané prietokomerom)

Vplyv prázdnej hadičky na zalievanie:

Posledným experimentom s čerpadlom bolo zistenie vplyvu výtlačnej výšky H na dobu vytlačania vzduchu z prázdnej hadičky t . Ak dopredu nie je zabezpečené zavodenie vodného okruhu, je vhodné zistiť ako dlho trvá vytlačenie vzduchu, resp. nasatie vody do čerpadla a jeho následné vytlačenie do požadovanej výšky. Preto boli pre tri rôzne výšky H zmerané časy t , za ktoré sa voda dostala zo zdroja cez pôvodne prázdnu hadičku až do cieľového miesta. Výsledky sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 12-12) v prílohe 12.2.3 na konci práce.

V nasledujúcom grafe (Graf 5) sú zobrazené výsledky experimentu. Graf je rozdelený na 3 oblasti podľa výtlačnej výšky: Oblasť I (výtlačná výška $H = 0$ cm), Oblasť II ($H = 50$ cm) a Oblasť III ($H = 100$ cm). Pri porovnaní nameraných hodnôt v jednotlivých výškach je možné usúdiť, že zmena výtlačnej výšky (v intervale 0 – 1 m) nemá výrazný vplyv na dobu vytlačenia vody zo zdroja do cieľového miesta cez prázdnu hadičku.



Graf 5 – Závislosť doby vytlačenia vody z prázdnej hadičky t na výtlačnej výške H

8.2 Testovanie funkčnosti a presnosti zalievajúceho mechanizmu

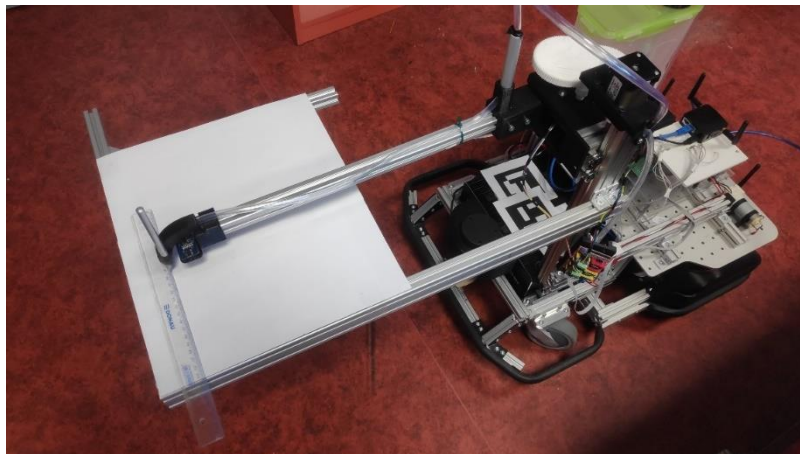
V nasledujúcich podkapitolách sú uvedené vykonané testy týkajúce sa zalievajúceho mechanizmu. Jedná sa o testovanie horizontálneho rotačného pohybu za účelom zistenia presnosti polohovania ramena. Ďalší test je zameraný na vertikálny pohyb pomocou lineárneho pojazdu. V poslednom teste sú vykonané testovacie dojazdy robota ku kvetináču pre zistenie presnosti polohovania koncového efektora pohybom robota a účinnosti detekcie hrany kvetináča z ultrazvukového senzora.

8.2.1 Horizontálny pohyb

Dôležitou súčasťou funkcionalít zalievajúceho modulu je horizontálny rotačný pohyb ramena umožňujúci polohovanie koncového efektora nad kvetináčom, ale aj uvedenie ramena do základnej pozície, v ktorej sa rameno nachádza počas pohybu robota medzi kvetináčmi. Pre otestovanie presnosti polohovania koncového efektora bola zostavená testovacia konštrukcia.

Popis testovacej konštrukcie:

Testovacia konštrukcia pozostáva z horizontálneho nosného ramena upevneného na lineárny pojazd robota a vedľajších pomocných ramien, na ktorých je umiestnená doska s dĺžkovým meradlom. Testovacia zostava je zobrazená na obrázku (Obrázok 8.1). Na koncovom efektore ramena bol umiestnený hrot, ktorého pozícia nad doskou s posuvným meradlom mohla byť zaznamenávaná (Obrázok 8.2).



Obrázok 8.1 – Fotografia testovacej konštrukcie upevnenej na zalievajúci modul



Obrázok 8.2 – Detail merania odchýlky koncového efektora pomocou hrotu a dĺžkového meradla

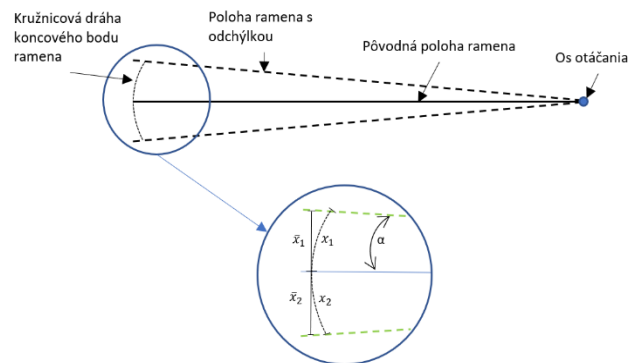
Popis testu:

Pri plánovaní tohto testu bola najprv skúšobne opakovane zmeraná odchýlka hrotu od pôvodnej polohy z dôvodu výberu meracej metódy. Po zistení, že sa jedná o odchýlky do 1 mm bolo rozhodnuté zanedbať pôvodnú dráhu ramena, ktorou bola kružnica a aproximovať túto zakrivenú dráhu pomocou úsečky medzi dvomi zisťovanými bodmi. Toto zdôvodnenie prebehlo na základe nasledujúceho výpočtu pri veľkosti odchýlky úsečky $\bar{x}_1 = 1$ mm a je zobrazené schematicky aj na obrázku (Obrázok 8.3):

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{\bar{x}_1}{L}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{500}\right) = 0,115^\circ \quad (5)$$

$$x_1 = \frac{2\pi L}{360^\circ} \cdot \alpha = \frac{2\pi \cdot 500}{360} \cdot 0,115 = 1,0036 \text{ mm} \quad (6)$$

Pri veľkosti odchýlky úsečky 1 mm by bola skutočná dĺžka oblúka väčšia iba o 3,6 μm .



Obrázok 8.3 – Zjednodušenie pohybu po kružnici koncového bodu ramena pomocou úsečky

Testovanie horizontálneho pohybu ramena prebiehalo pre dva varianty. Schematický popis testu spolu so základným popisom častí zalievajúceho modulu je zobrazený na obrázku (Obrázok 8.4).

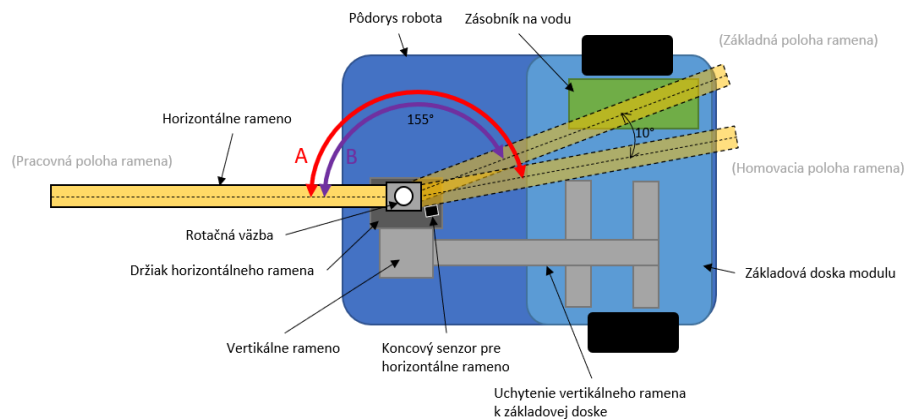
Variant A (Obrázok 8.4 – červená šípka)

Rameno je svojím pohybom dovedené až na koncový spínač, kde nastane vynulovanie polohy ramena (Homing), a jedná sa o tzv. homovacu polohu. Od tejto polohy je následne rameno uvedené do pracovnej polohy. Pri prvom dojazde ramena do pracovnej pozície je na doske zaznamenaná poloha hrotu. Následne je uskutočnených 20 opakovaní dojazdu do homovacej a pracovnej polohy, pričom pri každom dojazde je zaznamenaná odchýlka hrotu od pôvodnej polohy. Hodnoty odchýlok sú zaznamenané v tabuľke (Tabuľka 12-13) v prílohe 12.2.4 na konci práce.

Varianta B (Obrázok 8.4 – fialová šípka)

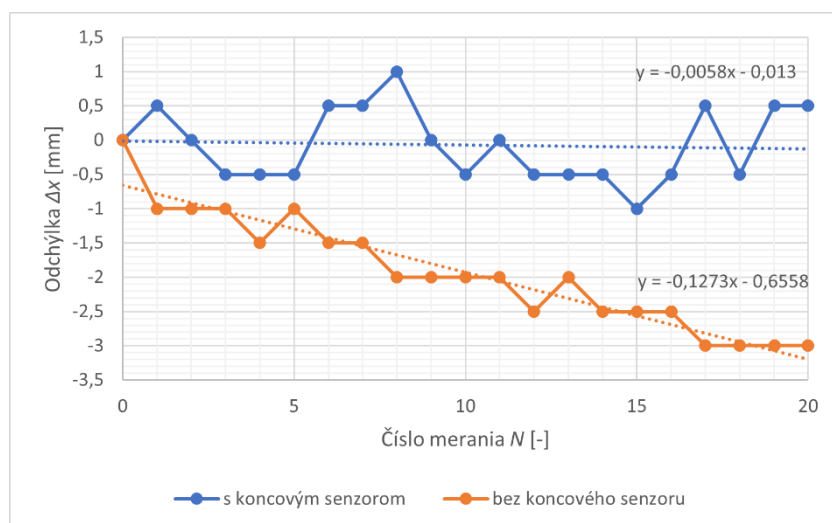
Rameno je v tomto prípade dovedené na koncový spínač len počas prvého dojazdu. Následne je rameno navádzané zo základnej do pracovnej polohy s 20 opakovaniami, pričom bola opäť zaznamenávaná odchýlka hrotu od pôvodnej polohy. Hodnoty odchýlok sú zaznamenané v tabuľke (Tabuľka 12-13) v prílohe 12.2.4 na konci práce.

Dôvodom rozdelenia testu na dva varianty je možnosť ich porovnania a zistenie chovania polohovania ramena s dojazdom na koncový spínač (Homing) a bez neho. Pred uskutočnením tohto testu bola nastavená automatická homovacia procedúra po zaliatí každej jednej rastliny. Na základe výsledkov tohto testu je možné zistiť, ako často je potrebné túto procedúru vykonávať.



Obrázok 8.4 – Schéma testovania horizontálneho pohybu ramena

Z hodnôt odchýlok uvedených v tabuľke (Tabuľka 12-13) v prílohe 12.2.4 na konci práce, bol vytvorený graf porovnania výsledkov z oboch variantov testu (Graf 6).



Graf 6 – Porovnanie odchýlok koncového efektora s dojazdom na koncový spínač a bez neho

Priebehy odchýlok zobrazené v grafe ukazujú, že vo variante A s dojazdom na koncový spínač sa odchýlka pohybuje v kladnej aj zápornej oblasti s takmer rovnomerným zastúpením. Trendová čiara tohto priebehu je takmer rovná konštante. Pri variante B bez dojazdu na koncový spínač je možné si všimnúť postupný trend odchýľovania sa od pôvodnej hodnoty do jedného smeru. Po 20. opakovaní testu sa jednalo o kumulatívnu odchýlku 3 mm od pôvodnej hodnoty na rozdiel od variantu A s kumulatívnou odchýlkou 1 mm. Jednoznačné vysvetlenie pre kumulovanie odchýlky v prípade variantu B nebolo zistené. Možné (avšak neoverené) vysvetlenia môžu byť napríklad: nedokonalé konštrukčné prevedenie, odchýlky pri určovaní celkového prevodu a uhlových prepočtov či strata kroku krokového motora. Výsledky testu sú zhrnuté v tabuľke (Tabuľka 12-14) v prílohe 12.2.5 na konci práce.

8.2.2 Vertikálny pohyb

Druhou zložkou pohybu ramena zalievajúceho modulu je vertikálny pohyb umožňujúci prispôbienie výškam jednotlivých kvetináčov v stanovenom rozsahu. Vertikálny pohyb je realizovaný pomocou lineárneho pojazdu s trapézovou skrútkou a krokovým motorom a je popísaný v podkapitole 7.1 v časti *Vertikálny pohyb*.

Jedna otáčka krokového motora zodpovedá 200 krokom, pričom stúpanie závitú je 2 mm. Z toho vyplýva, že jeden krok krokového motora zodpovedá 0,02 mm zdvihu jazdca s ramenom. Pri aplikácii, akou je vertikálne polohovanie ramena nad kvetináčom, je takto vysoké rozlíšenie nevyužiteľné a zbytočne kontraproduktívne. Pre túto aplikáciu je rozlíšenie v rámci milimetrov úplne dostačujúce.

Popis testu:

Pre overenie presnosti lineárneho pojazdu v maximálnom rozlíšení 0,5 mm boli vykonané 2 varianty testu.

Variant A

Zisťovanie odchýlky pri opakovanom dojazde medzi dvomi výškami. Bolo vykonaných 20 opakovaní.

Variant B

Zisťovanie odchýlky pri opakovanom dojazde z koncového spínača na danú výšku. Opäť bolo vykonaných 20 opakovaní.

Výsledky testu:

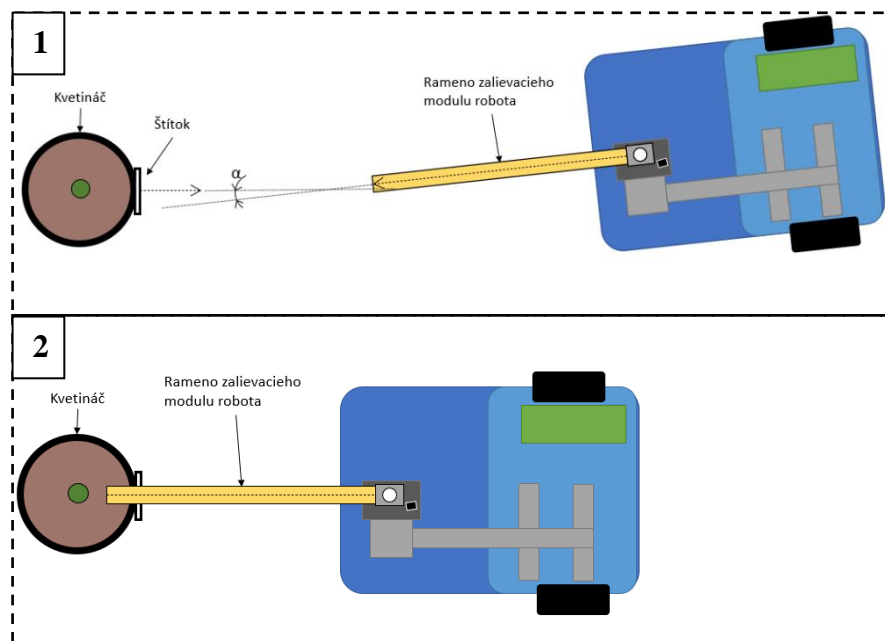
Po zmeraní vzdialeností medzi dvomi výškami u variantu A testu a medzi koncovým spínačom a danou výškou u variantu B testu bola zistená u oboch variantov odchýlka 0 mm od pôvodnej referenčnej hodnoty. Vzdialenosti sa merali s presnosťou na 0,5 mm.

8.2.3 Testovanie dojazdu robota ku kvetináču

Aj napriek tomu, že súčasťou tejto diplomovej práce nie je tvorba pohybu a polohovania samotného robota voči kvetináču, je potrebné túto funkcionálnosť otestovať, zhrnúť a zhodnotiť výsledky, nakoľko polohovanie robota ovplyvňuje aj polohovanie ramena zalievajúceho modulu. Zvolená koncepcia pohybu robota pozostáva zo 4 fáz. Jedná sa o globálny pohyb, identifikačný pohyb, pohyb ku kvetináču a pohyb od kvetináča. Pre zalievajúci modul je dôležitý pohyb ku kvetináču.

Popis pohybu robota a činnosti ramena zalievajúceho modulu:

Na začiatku pohybu robota ku kvetináču je rameno uvedené do pracovnej polohy (je nastavené defaultné natočenie ramena a výška nad kvetináčom podľa údajov z databázy) a na základe obrazu z kamery sa robot približuje ku štítiku na kvetináči. Pri tomto pohybe sa robot snaží udržiavať minimálny odklon od normály štítiku. Koncový efektor ramena sníma pomocou ultrazvukového senzora vzdialenosť kolmo nadol. Po detekovaní hrany kvetináča týmto senzorom je do systému odoslaná správa a pohyb robota je zastavený. Rameno zostane v danej pozícii nad kvetináčom a koncový efektor s ústím hadičky zaleje danú rastlinu. Schematické zobrazenie robota pri dojazde ku kvetináču je na nasledujúcom obrázku (Obrázok 8.5).

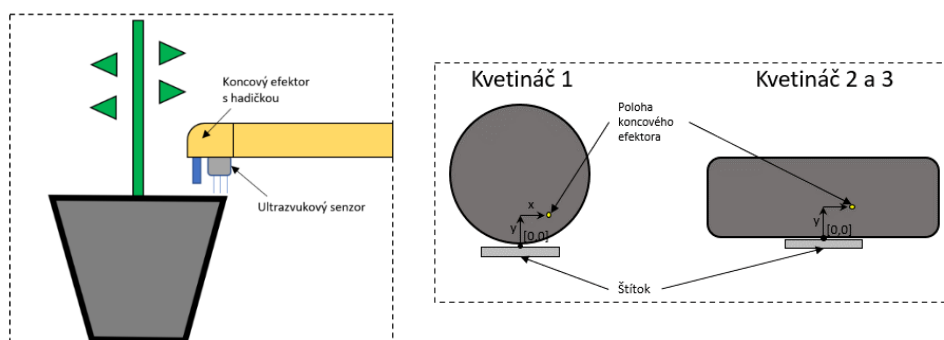


Obrázok 8.5 – Schematický popis pohybu robota ku kvetináču

Popis testu:

Na základe charakteristiky pohybu robota a snahy o minimalizáciu uhlu odklonu ramena od normály štítiku na kvetináči bol pre testovanie prototypu zvolený variant s defaultným nastavením horizontálneho natočenia ramena v pracovnej pozícii. Cieľom tohto testu je na základe opakovaného dojazdu robota ku kvetináčom vytvoriť sadu fotografií zachytávajúcich priestor nad kvetináčom spolu so zaznamenaním polohy koncového

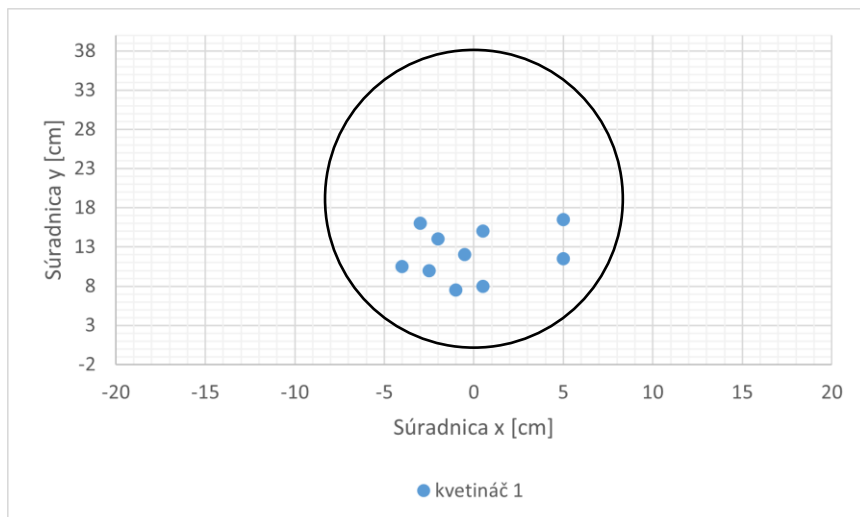
efektora v tomto priestore. Zároveň bolo cieľom otestovať zastavovanie robota pred kvetináčom, ktoré je zabezpečené ultrazvukovým senzorom a takisto aj meraním vzdialenosti na základe spracovania obrazu z kamery (Obrázok 8.6 vľavo). Vyhodnotením tohto testovania by malo byť stanovenie potreby korigovania horizontálneho natočenia ramena nad kvetináčom, ale aj potreba korekcie vzdialenosti robota od kvetináča. Testovanie prebiehalo na 3 rastlinách umiestnených v dvoch druhoch kvetináčov (Obrázok 8.6 vpravo), pričom pre každú rastlinu bolo vykonaných 10 dojazdov.



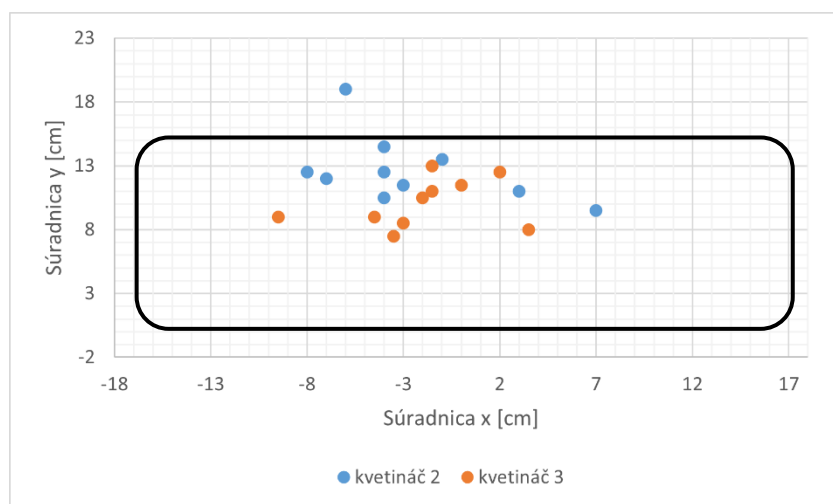
Obrázok 8.6 – Vľavo: detail koncového efektora ramena nad priestorom kvetináča, vpravo: typy testovaných kvetináčov a spôsob merania polohy koncového efektora

Výsledky testu:

Výsledná sada fotografií ramena s koncovým efektorm nad kvetináčom je uvedená v Prílohe 6 priloženej k tejto práci (kapitola 11). Na nasledujúcich grafoch (Graf 7 a Graf 8) sú zobrazené zaznamenané polohy koncového efektora nad kvetináčmi pri týchto dojazdoch. V prípade kruhového kvetináča je možné vidieť, že všetky polohy koncového efektora sa umiestnili nad priestorom kvetináča v bezpečnej vzdialenosti od hrany. Maximálny rozptyl na x -ovej osi je 9 cm a na y -ovej osi takisto 9 cm. V prípade obdĺžnikového kvetináča nastal jedenkrát prípad, kedy sa koncový efektora dostal až za hranu kvetináča. Pri testovaní na oboch rastlinách sa výsledná poloha nachádzala až v druhej polovici kvetináča, pričom polohy niektorých pokusov sa umiestnili až tesne k zadnej hrane kvetináča, čo sa nedá považovať za bezpečnú vzdialenosť. Maximálne rozptyly v x -ovej osi sa oproti predchádzajúcemu tvaru kvetináča zvýšili a naopak v y -ovej osi sa mierne znížili. Všeobecne je možné na základe meraní určiť, že robot dokáže opakovane zastavovať s koncovým efektorm nad kvetináčom v rozsahu 7 – 15 cm od prednej hrany kvetináča. Dôvodom pre neskoré zastavenie robota a umiestnenie koncového efektora ramena bližšie k zadnej hrane kvetináča môže byť použitie filtra v kombinácii s nízkou opakovacou frekvenciou. Testovanie ukázalo, že frekvencia odosielania, spracovania a prijímania dát z ultrazvuku je približne 5 Hz. Riešenie by tak mohlo priniesť napr. odstránenie filtra, avšak preferovanejšie riešenie by bolo zamerané na zvýšenie frekvencie detekcie.



Graf 7 – Polohy koncového efektora nad kruhovým kvetináčom



Graf 8 – Polohy koncového efektora nad obdĺžnikovými kvetináčmi

8.2.4 Testovanie zalievania rastlín

Po kompletnom otestovaní vlastností zalievajúceho modulu bol ako posledný test vykonaný celkový test zalatia rastliny spolu s dojazdom robota ku kvetináču. Po vykonaní viacerých dojazdov je možné zhodnotiť, že robot úspešne zalial kvetináč, ako je možné vidieť aj na nasledujúcej fotografii (Obrázok 8.7). Pri pohybe ramena, resp. robota ku kvetináču bol sledovaný koncový efekt, kvôli potenciálnemu úniku vody z hadičky. Vďaka podtlaku, ktorý vytvára membránové čerpadlo vo vodnom okruhu však žiadna voda pri pohybe robota neuniká. Koncový efekt sa nachádza v celom svojom uhlovom rozsahu mimo pôdorysu robota, takže aj v prípade neočakávanej poruchy je robot týmto spôsobom chránený. Taktiež bola úspešne otestovaná funkcia plavákových snímačov hladiny. Fotografie robota so zalievajúcim modulom v prostredí s kvetináčmi sú umiestnené v Prílohe 7 priloženej k tejto práci (kapitola 11).



Obrázok 8.7 – Fotografia zalievajúceho modulu robota pri procese zalievania

8.3 Zhodnotenie vlastností prototypu a návrhy na jeho vylepšenie

Zhodnotenie vlastností prototypu:

Testovanie prototypu ukázalo, že použitý typ povrchového čerpadla je vhodný pre tento typ aplikácie. Čerpadlo disponuje ideálnym prietokom vody, umožňuje chod naprázdno a rozdiel vo vytlačenej objeme vody v rámci stanoveného výškového rozsahu je minimálny. Nelineárna závislosť prietoku na čase je zanedbateľná, nakoľko už po 1 s sa dostáva na 90 % svojej ustálenej hodnoty. Vplyv prázdnej hadičky na dobu chodu čerpadla potrebnú pre vytlačenie vody do koncovkej výšky je taktiež minimálny. Testovaný prietokomer je použiteľný pre hodnoty vytlačeného objemu od 50 mL vyššie, pričom táto hodnota zároveň tvorí minimálnu možnú hodnotu zalatia rastliny.

Pri testovaní presnosti pohybu horizontálneho ramena boli zisťované odchýlky od vopred stanovenej polohy koncového efektora pri opakovaných dojazdoch. V prípade dojazdu na koncový spínač boli odchýlky v rozsahu -1 mm až 1 mm od definovanej polohy s takmer konštantou hodnotou trendovej čiary. Pri testovaní bez dojazdu na koncový senzor prišlo po 20 opakovaníach ku kumulácii odchýlky o 3 mm do jedného smeru. Z toho vyplýva, že nie je potrebné po každom zaliatí kvetináča opäť vykonávať homováciu procedúru, ale je možné ju vykonať napr. raz za 20 cyklov zalievania. V prípade testovania vertikálneho pohybu ramena bola zistená presnosť, ktorá ďaleko presahuje potreby tejto aplikácie. Pri testovaní dojazdu robota ku kvetináču a polohovania koncového efektora nad kvetináčom prišlo v 1 prípade z 30 k presiahnutiu vymedzeného priestoru. U hranatého kvetináča sa jednotlivé polohy koncového efektora nachádzali v druhej polovici priestoru kvetináča, pričom 3 pokusy boli do 2 cm od prednej hrany. Na záver bol vykonaný celkový test dojazdu robota ku kvetináču a zalatie rastliny. Po viacerých pokusoch je možné konštatovať úspešné otestovanie zalievajúceho modulu a robota ako celku. Kvetináč bol úspešne zaliaty a v priebehu testovania nevznikli žiadne komplikácie.

Návrhy na vylepšenia:

Pri testovaní bolo zistené, že existuje ešte veľa priestoru na vylepšenia. Jedným z vylepšení by mohlo byť napr. zvýšenie rýchlosti vertikálneho pohybu (počas testovania cca 1 cm/s). Dôležitým vylepšením by bola možnosť horizontálneho polohovania koncového efektora s pridaním väčšieho množstva senzorov (taktiež pre zabezpečenie proti kolízii do tvrdých častí rastliny). Existuje aj možnosť použitia kamery a následne spracovania obrazu, kedy by sa voľné priestory nad kvetináčom mohli hľadať pomocou umelej inteligencie. Ďalším potrebným vylepšením by bolo umožnenie zmeny dosahu ramena a to buď polohovaním samotného robota, alebo vytvorením tretej pohybovej osi na zalievajúcom ramene. Takisto by bolo vhodné zvýšiť frekvenciu detekcie z ultrazvukového senzoru. Prietokomer by mohol byť využitý pre kontrolu prietoku, ale taktiež pre odhad aktuálneho množstva vody v zásobníku. Zavzdušňovanie hadičky by mohlo byť odstránené použitím napr. elektromagnetického ventilu na konci vodného okruhu. Koncové spínače nie je potrebné využívať pri každom zalievajúcom cykle, ale len raz za určitý počet cyklov. Taktiež jedným z vylepšení by mohol byť nový návrh rotačnej väzby horizontálneho ramena. Vylepšenia, s ktorými sa počítalo už v priebehu práce, súvisia so zväčšením dosahu ramena, výšky vertikálneho ramena a zväčšením objemu zásobníka na pôvodne stanovené hodnoty. Ďalším veľkým vylepšením, ktoré nakoniec bolo nad rámec tejto práce by bolo vytvorenie čerpacej/dokovacej stanice pre zalievajúceho robota. Na záver by bolo vhodné uvažovať aj o návrhu estetického dizajnu zalievajúceho modulu.

9 ZÁVER

Pre záverečné zhrnutie obsahu a dosiahnutých výsledkov práce je vhodné si najprv pripomenúť ciele či už vyplývajúce zo zadania, alebo z priebehu práce, ktorých malo byť dosiahnuté:

- Vytvoriť krátky prehľad známych riešení a posúdiť ich vhodnosť pre riešenie zalievajúceho modulu v tejto práci
- Vytvoriť sadu rôznych koncepčných návrhov zalievajúceho modulu, resp. jeho častí
- Návrhy porovnať z hľadiska úžitkových vlastností, zložitosti a ceny
- Na základe hodnotiacich kritérií vybrať finálnu koncepciu zalievajúceho modulu a výber zdôvodniť
- Navrhnuť konštrukčné riešenia vybraného variantu a zvoliť najvhodnejší
- Návrh realizovať do podoby prototypu
- Otestovať funkčné vlastnosti prototypu, zhodnotiť ich a navrhnuť vhodné vylepšenia

Práca sa začína rozborom problematiky. Pred začiatkom akýchkoľvek návrhov bolo potrebné si najprv definovať samotnú úlohu a všetky jej dôležité aspekty a parametre, ktoré boli nevyhnutné pre nasledujúce riešenie. Úloha bola rozdelená na základné logické okruhy a určili sa najdôležitejšie požiadavky, ktoré bolo potrebné pri následných návrhoch zohľadniť.

Náplňou ďalšej fázy bola tvorba rôznych koncepcií riešenia zalievajúceho modulu, resp. jeho častí. Ešte predtým, než mohlo prísť k procesu návrhov, bol vytvorený prehľad známych riešení, ktorý odhalil ich základné nedostatky a umožnil tak prejsť k vytváraniu vlastných návrhov. Tie boli rozdelené na návrhy vodného okruhu a návrhy zalievajúceho/čerpacieho mechanizmu. Všetky návrhy prešli rovnakým procesom, a to od popisu, schémy, cez určenie základných výhod a nevýhod až po ohodnotenie, ktoré prebiehalo na základe vytvorených vážených kritérií. Toto hodnotenie bolo dôležité pri výbere finálneho variantu riešenia. Na záver tejto časti boli popísané požiadavky, vlastnosti a prípadné riešenia pre uchovávanie vody priamo na module robota aj mimo neho.

Po ukončení tvorby návrhov nasledoval výber finálnej koncepcie zalievajúceho modulu, v ktorom boli do úvahy brané len varianty s najlepším ohodnotením. Tieto varianty boli vzájomne porovnané, pričom sa bral ohľad aj na výslednú konštrukčnú náročnosť, uskutočniteľnosť a bezporuchovosť. Bolo vykonané finálne hodnotenie, na základe ktorého sa vybrali koncepcie riešenia pre vodný okruh aj zalievajúci/čerpací mechanizmus. Pre tieto riešenia boli vytvorené návrhy potenciálnych konštrukčných riešení, ktorých vlastnosti (výhody a nevýhody) boli zhodnotené a následne sa vybrali konkrétne konštrukčné riešenia.

Pred tvorbou prototypu prišlo po konzultácii s vedúcim práce k dohode, že sa bude u prototypu realizovať len časť týkajúca sa zalievania, a to z dôvodu veľkého výsledného rozsahu práce. Taktiež prišlo k rozhodnutiu realizovať prototyp v zmenšenej mierke z dôvodu dostupnosti dôležitých komponentov a rýchlejšieho a jednoduchšieho testovania prototypu. Dôležité je, že týmto zásahom neprišlo k zmene funkčných

vlastností a v prípade potreby je možné dané komponenty nahradiť ich ekvivalentom daných parametrov.

V ďalšej fáze sa pristúpilo k návrhu a realizácii samotného prototypu na základe vybranej finálnej koncepcie zalievajúceho modulu a konštrukčných riešení jednotlivých jeho častí. Na začiatku bol uskutočnený výber jednotlivých komponentov potrebných pre zostavenie modulu. Rotačná väzba horizontálneho pohybu ramena bola navrhnutá a vytvorená ako model a následne vytlačená pomocou 3D tlačne. Po zostavení modulu a prepojení jeho komponentov na základe vytvorenej elektrickej schémy prišlo k tvorbe riadiaceho programu. Ten pozostával z 3 častí: napojenie na riadiaci systém robota, funkcie riadiaceho algoritmu a obslužné funkcie hardvérových periférií.

Poslednou fázou bolo testovanie funkčných vlastností vytvoreného prototypu. Najprv boli otestované vlastnosti použitého čerpadla a následne bola otestovaná funkčnosť a presnosť zalievajúceho mechanizmu. Testy zahŕňali presnosť jednotlivých pohybov a polohovania koncového efektora zalievajúceho ramena nad kvetináčom. Záverečný test bol venovaný overeniu funkčnosti robota a zalievajúceho modulu ako celku pri dojazde ku kvetináču a zaliatu rastliny.

Testovanie ukázalo funkčnosť zalievajúceho modulu a robota ako celku, avšak odhalilo aj niektoré vhodné a potrebné vylepšenia. Tie sa týkajú horizontálneho polohovania ako aj zmeny dosahu koncového efektora nad priestorom kvetináča, následne ochrany a rozšírenia funkcionality koncového efektora, zvýšenia rýchlosti detekcie ultrazvukového senzora či napríklad potreby homovacej procedúry horizontálneho pohybu alebo zvýšenia rýchlosti vertikálneho pohybu.

Záverom je možné zhodnotiť, že všetky ciele práce boli splnené, keďže sa podarilo vytvoriť funkčný prototyp zalievajúceho modulu pre mobilného robota.

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] PODOLINSKÝ, Ondřej. *Komplexní návrh zalévacího mobilního robotu* [online]. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140183>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Krejsa.
- [2] SLADKÝ, Jiří. *Detekce a klasifikace objektů zájmu zalévacího robotu zpracováním obrazu* [online]. Brno, 2022. Dostupné také z: Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140181>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Krejsa.
- [3] BAJER, Jan. *Návrh a realizace komunikačního rozhraní autonomního mobilního robotu* [online]. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140227>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Stanislav Věchet.
- [4] DOSEDĚL, Miroslav. *Návrh a realizace strategie plánování pohybu mobilního robotu* [online]. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140228>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Stanislav Věchet.
- [5] BREACH mobilní robotická *platforma*. In: *Bender Robotics* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.benderrobotics.cz/breach.html>
- [6] Interné materiály *Bender Robotics*.
- [7] How to make *Autonomous plant watering robot*. In: Youtube [online]. 2018 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=TYTcrQv4ZMw>
- [8] How to make *Automatic Plant Watering system using Arduino UNO (Arduino Bluetooth Controlled)*. In: Youtube [online]. 2020 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=zFQ-gZ9sX_c&t=15s
- [9] *Automatic Plant Watering Robot*. In: Youtube [online]. 2017 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=RDBbccnu4U8>
- [10] *Aquarius: The watering robot*. In: Youtube [online]. 2013 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=JZC77oN252g>
- [11] How to make *Plants Watering Robot / Irrigation System*. In: Youtube [online]. 2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=4Q_Col2e8jU

- [12] HEJAZIPOOR, Hojat, *Jafar MASSAH, Mohsen SORYANI, Keyvan ASEFPOUR VAKILIAN* a Gholamreza CHEGINI. An intelligent spraying robot based on plant bulk volume: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2021, **180** [cit. 2022-05-16]. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2020.105859
- [13] Arduino Bluetooth Controlled *Soil Moisture Monitoring and Watering Robot*. In: Youtube [online]. 2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=6gYaU0NOUKg>
- [14] Autonomous Watering and *Fertilization Robot*. In: Youtube [online]. 2011 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=LVDdAyg6CM>
- [15] Useful LEGO plant *watering robot with Arduino*. In: Youtube [online]. 2012 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=cT-cQpHNkeI>
- [16] Autonomous plant watering *robot*. In: Youtube [online]. 2013 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OJXPhLLFjFs>
- [17] CRUZ ULLOA, Christyan, *Anne KRUS, Antonio BARRIENTOS, Jaime CERRO* a Constantino VALERO. Robotic Fertilization in Strip Cropping using a CNN Vegetables Detection-Characterization Method. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2022, 193 [cit. 2022-05-17]. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2022.106684
- [18] XING, Hongjun, *Ali TORABI, Liang DING, Haibo GAO, Zongquan DENG, Vivian MUSHAHWAR* a Mahdi TAVAKOLI. An admittance-controlled wheeled mobile manipulator for mobility assistance: Human–robot interaction estimation and redundancy resolution for enhanced force exertion ability. *Mechatronics* [online]. 2021, **74** [cit. 2022-05-17]. ISSN 09574158. Dostupné z: doi:10.1016/j.mechatronics.2021.102497
- [19] Miniature Vacuum Pump *ARI0BL12 Positive and Negative Pressure Type Piston Miniature Air Pump*. In: Aliexpress [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://aliexpress.ru/item/32834016793.html?sku_id=65134756757
- [20] KOGE DC 6V 9V 12V *Mini 370 Air Pump Suction Vacuum Pump Negative Pressure Pump*. In: Ebay [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/122253495775?_trkparms=amclsrc%3DITM%26aid%3D1110006%26algo%3DHOMESPLICE.SIM%26ao%3D1%26asc%3D20200818143230%26meid%3Dc37dcf9f17b44d1cac0ba4fdc3df2e54%26pid%3D101224%26rk%3D5%26rkt%3D5%26sd%3D122414863670%26itm%3D122253495775%26
- [21] DC 6V Small *Mini 370 Motor Air Pump Vacuum Pump Negative Pressure Suction Pump*. In: Ebay [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/263134517123>

- [22] Large Flow 15L *High Pressure Air Pump*. In: Skoocomtech [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <http://m.skoocomtech.com/air-pump/positive-pressure-pump/large-flow-15l-high-pressure-air-pump.html>
- [23] Ponorné čerpadlo mini *ultra-tiché DC 3-5V 120 L/H* - horizontální. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1271-eses-mini-čerpadlo.html?mena=2&gclid=Cj0KCQjwgMqSBhDCARIsAIIVN1Xs1BPI-POhuLx5-BxX1QsXj8PFeGuUapY9Xflv2LjeCwVIirOzd6YaAkrrEALw_wcB
- [24] Ponorné čerpadlo 12 V *ultra-tiché*. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/7728-ponorne-čerpadlo-12-v-ultra-tiche.html>
- [25] Vodní čerpadlo se *silentbloky DC 6-12V R385*. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/7521-vodni-čerpadlo-se-silentbloky-dc-6-12v-r385.html?gclid=CjwKCAjw_L6LBhBbEiwA4c46uijSdHXDI2Y00Ov5EN8fN-_Rn5BCKCGDnag6_KLBQ2ICTDb6oYVe0hoC5K8QAvD_BwE
- [26] Vodní čerpadlo DC 3-12V. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/958-vodni-čerpadlo-dc-3-12v.html>
- [27] INTLLAB Peristaltické čerpadlo 12V, 2~17 mL/min s konzolou typu L. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/120960-intllab-peristalticke-čerpadlo-12v-2-17-ml-min-s-konzolou-typu-l.html?mena=2&gclid=Cj0KCQjwgMqSBhDCARIsAIIVN1V6Yh778TIC9D9vkCixv6kAWMFd6lF39spkoe2oLir97gka0zc4u18aAiNkEALw_wcB
- [28] Membránové čerpadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Membr%C3%A1nov%C3%A9_%C4%8Derpadlo
- [29] Peristaltické čerpadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Peristaltick%C3%A9_%C4%8Derpadlo
- [30] Zubové čerpadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zubov%C3%A9_%C4%8Derpadlo
- [31] Prizmatický lineární pojezd 100mm s kuličkovým šoubem a krokovým motorem. In: Postav robota [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.postavrobota.cz/Prizmaticky-linearni-pojezd-100mm-s-kulickovym-soubem-a-krokovym-motorem-d1948.htm>
- [32] Zdvihák nožnicový 2T - HEYNER PROFI. In: Speedtech [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.speedtech.cz/product/31223/zdvihak-noznicovy-2t-heyner-profi>

- [33] NOŽNICOVÝ ZDVIHÁK DO *PODLAHY 3,2 T*. In: Procarosa [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.procarosa.sk/podlahovy-noznicovy-vytah-3-2-t/>
- [34] Řemenový lineární pojezd 200mm s *krokovým motorem*. In: Postav robota [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.postavrobota.cz/Remenovy-linearni-pojezd-200mm-s-krokovym-motorem-d2177.htm>
- [35] CNC lineární pohon 300 mm s *krokovým motorem T8x2*. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/5440-cnc-linearni-pohon-300-mm-s-krokovym-motorem.html>
- [36] HY200-1713-0033-BX04 - Hybridní *krokový motor 140Nmm 1.8° NEMA 17, MAE*. In: Distrelec [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/hybridni-krokovy-motor-140nmm-nema-17-mae-hy200-1713-0033-bx04/p/15422338>
- [37] Nádoba na cornflakes, *cereálie 3,5 lit, biela, ružová*. In: ABdomacnost [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.abdomacnost.sk/produkt/25743PM-nadoba-na-cornflakes-cerealie-35-lit-bielaruzova/>
- [38] Arduino UNO. In: *Arduino po slovensky [online]*. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://arduinoposlovensky.sk/hardware/arduino-uno/>
- [39] ARDUINO UNO. In: *Arduino admit [online]*. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://arduino.adamit.eu/>
- [40] VEIS, Samuel. *Přenosné automatizované pracoviště pro měření vzduchotechnických veličin*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Radek Vlach.
- [41] CNC Shield pro *3D Tiskárny pro Arduino*. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1132-cnc-shield-pro-3d-tiskarny-pro-arduino.html>
- [42] Arduino CNC Shield + *driver A4988 + motor 28BYJ-48*. In: Drátek návody [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/arduino-cnc-shield-driver-a4988-motor-28byj-48.html>
- [43] Motor driver A4988 *Pro Reprap 3D Tiskárny*. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1133-motor-driver-a4988-pro-reprap-3d-tiskarny.html>
- [44] 3D Printer Parts *A4988 With Heat Sink StepStick Stepper Motor Driver Carrier Reprap 4-layer PCB Replace 1.4 MKS GEN Board*. In: Aliexpress [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32808489727.html>
- [45] H můstek pro *krokový motor L298N Dual H Most DC*. In: Drátek [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/877-arduino-h-mustek-pro>

krokovy-motor-l298n-dual-h-most-dc.html?gclid=Cj0KCQjw06OTBhC_ARIsAAU1yOUUM-

- [46] 50x70mm oboustranná PCB *prototypová deska*. In: *Láskakit* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/50x70mm-oboustranna-pcb-prototypova-deska/?gclid=Cj0KCQjwspKUBhCvARIsAB2IYusooj7S5IHiou5OWH5JhEyEvhOWoEiAiFb_0q08SpO70C_L53ASwTAAp01EALw_wcB
- [47] Plovákový senzor vodní hladiny. In: *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1160-plovakovy-senzor-vodni-hladiny.html?gclid=Cj0KCQjw06OTBhC_ARIsAAU1yOXZq5Rfl_8RNENVqJtjl5EXNfnhmByYW7OnwaQ11ijaTx0kaff_FnMaArPtEALw_wcB
- [48] Plovákový senzor vodní hladiny, vodorovný. In: *Láskakit* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/plovakovy-senzor-vodni-hladiny--vodorovny/?gclid=Cj0KCQjw06OTBhC_ARIsAAU1yOUv03p5MdAFSLL166s1L3pWsoKhN_zWFIwhtaRpOTzkbzkbMDKCW0LUaArWFEALw_wcB
- [49] Měřič vzdálenosti ultrazvukový *5Pin HY-SRF05 pro Arduino*. In: *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1735-meric-vzdalenosti-ultrazvukovy-5pin-hy-srf05-pro-arduino.html>
- [50] Mini koncový spínač - *WK601 - 5 kusů*. In: *Botland* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://botland.cz/koncove-spinace/927-mini-koncovy-spinac-wk601-5-kusu-5904422309046.html>
- [51] *HY-SRF05 Ultrasonic Rangefinder.fzpz*. In: *Github* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://github.com/RafaGS/Fritzing/blob/master/HY-SRF05%20Ultrasonic%20Rangefinder.fzpz>
- [52] *Arduino_CNC_V3.00 .fzpz*. In: *Github* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://github.com/Protoneer/Fritzing_Parts
- [53] *H-Bridge with L298N motor driver*. In: *Fritzing Forum* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://forum.fritzing.org/t/h-bridge-with-l298n-motor-driver/7711>
- [54] *YF-S401 průtokoměr vody 0.3-6L/min*. In: *Láskakit* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/arduino-yf-s401-prutokomer-vody-0-3-6l-min/?gclid=Cj0KCQjw1ZeUBhDyARIsAOzAqQL0ii-IJmyVQ9wMsoRb4qVliNAiYJ-SgtJoqLc6D9itG__VLHUIJd8kaAmouEALw_wcB

11 ZOZNAM PRÍLOH

Táto kapitola obsahuje zoznam príloh, ktoré sú priložené externe k tejto diplomovej práci.

Príloha 1	Fotografie robota Breach	
Príloha 2	Modely vytvorených komponentov	Inventor
Príloha 3	Výpočet prevodu ozubeného súkolia	Geargenerator.com
Príloha 4	Fotografie zalievajúceho modulu	
Príloha 5	ROS balíček	
Príloha 6	Sada fotografií dojazdov robota ku kvetináču	
Príloha 7	Fotografie robota so zalievajúcim modulom	

12 PRÍLOHY

Táto kapitola obsahuje obrázky, fotografie a tabuľky, ktoré tvoria prílohu tejto práce.

12.1 Komponenty

Obsahom podkapitoly sú komponenty, na ktoré je pri tvorbe variantov riešení odkazované, a komponenty, ktoré boli využité pri tvorbe prototypu zalievajúceho modulu.

12.1.1 Komponenty uvedené pri tvorbe variantov riešení

Kompresor AR10BL12:

Tabuľka 12-1 – Základné parametre kompresora AR10BL12, [19]

<i>Parameter</i>	<i>Hodnota</i>
Prietok vzduchu bez záťaže	3 – 5 L/min
Maximálny tlak	180 kPa
Maximálne vákuum	-65 kPa
Napájacie napätie	6/12/24 V
Hmotnosť	195 g



Obrázok 12.1 – Kompresor AR10BL12, [19]

Kompresor Koge KPM27L:

Tabuľka 12-2 – Základné parametre kompresora Koge KPM27L, [20]

<i>Parameter</i>	<i>Hodnota</i>
Prietok vzduchu bez záťaže	1,8 L/min
Maximálny tlak	53,3 kPa
Maximálne vákuum	-33,3 kPa
Napájacie napätie	6 - 12 V
Hmotnosť	65 g



Obrázok 12.2 – Kompresor Koge KPM27L, [20]

Kompresor Micro Air Pump 370-B:

Tabuľka 12-3 – Základné parametre kompresora Micro Air Pump 370-B, [21]

Parameter	Hodnota
Prietok vzduchu bez záťaže	3,5 L/min
Maximálny tlak	160 kPa
Maximálne vákuum	-65 kPa
Napájacie napätie	6 V
Hmotnosť	neuvedené



Obrázok 12.3 – Kompresor Micro Air Pump 370-B, [21]

Kompresor Skoocom SC600:

Tabuľka 12-4 – Základné parametre kompresora Skoocom SC600, [22]

Parameter	Hodnota
Prietok vzduchu bez záťaže	15 L/min
Maximálny tlak	80 kPa
Napájacie napätie	12/24 V
Hmotnosť	neuvedené



Obrázok 12.4 – Kompresor Skoocom SC600, [22]

Ponorné čerpadlo ESES:

Tabuľka 12-5 – Základné parametre ponorného čerpadla ESES, [23]

<i>Parameter</i>	<i>Hodnota</i>
Výtlak	40 – 110 cm
Prietok	1,3 – 2 L/min
Napájacie napätie	2,5 – 6 V
Hmotnosť	neuveďené



Obrázok 12.5 – Ponorné čerpadlo ESES, [23]

Ponorné čerpadlo ECLIPSERA:

Tabuľka 12-6 – Základné parametre ponorného čerpadla ECLIPSERA, [24]

<i>Parameter</i>	<i>Hodnota</i>
Výtlak	až 300 cm
Prietok	až 4 L/min
Napájacie napätie	12 V
Hmotnosť	94 g



Obrázok 12.6 – Ponorné čerpadlo ECLIPSERA, [24]

Membránové čerpadlo ESES R385:

Tabuľka 12-7 – Základné parametre membránového čerpadla ESES R385, [25]

Parameter	Hodnota
Výtlak	neuvadené
Max. dosah satia	1 m
Prietok	1,5 – 2 L/min
Napájacie napätie	6 – 12 V
Prevádzka naprázdno	Áno
Hmotnosť	neuvadené



Obrázok 12.7 – Membránové čerpadlo ESES R385, [25]

Zubové čerpadlo ECLIPSERA:

Tabuľka 12-8 – Základné parametre zubového čerpadla ECLIPSERA, [26]

Parameter	Hodnota
Výtlak	neuvadené
Max. dosah satia	neuvadené
Prietok	1,2 L/min
Napájacie napätie	3 – 12 V
Prevádzka naprázdno	Nie
Hmotnosť	70 g



Obrázok 12.8 – Zubové čerpadlo ECLIPSE, [26]

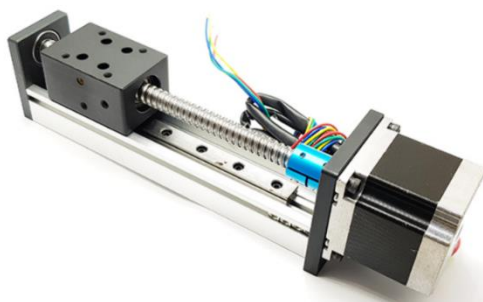
Peristaltické čerpadlo INTLLAB:

Tabuľka 12-9 – Základné parametre peristaltického čerpadla INTLLAB, [27]

Parameter	Hodnota
Výtlak	neuvadené
Max. dosah satia	neuvadené
Prietok	2 - 17 mL/min
Napájacie napätie	12 V
Prevádzka naprázdno	neuvadené
Hmotnosť	neuvadené



Obrázok 12.9 – Peristaltické čerpadlo INTLLAB, [27]



Obrázok 12.10 – Lineárny pojazd s guľočkovou skrutkou a krokovým motorom, [31]



Obrázok 12.11 – Nožnicový zdvihák so skrutkou, [32]



Obrázok 12.12 – Nožnicový zdvihák s hydraulickým piestom, [33]



Obrázok 12.13 – Remeňový lineárny pojazd s krokovým motorom, [34]

12.1.2 Komponenty použité pri tvorbe prototypu



Obrázok 12.14 – CNC lineárny pohon s krokovým motorom, [35]



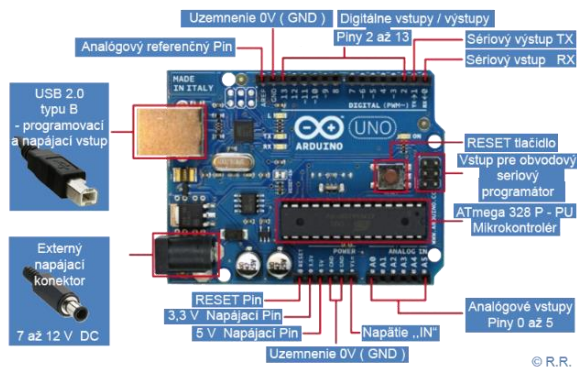
Obrázok 12.15 – Krokový motor HY200 1713 0033 bx04, [36]



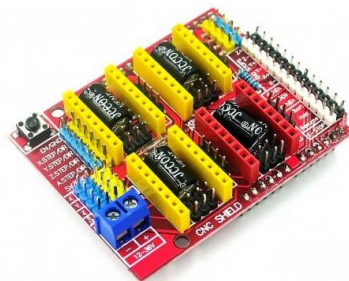
Obrázok 12.16 – Membránové čerpadlo ESES R385, [25]



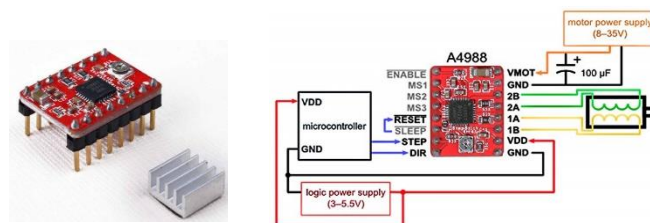
Obrázok 12.17 – nádoba použitá ako zásobník vody na zalievacom module, [37]



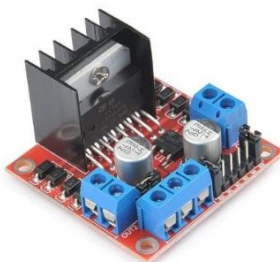
Obrázok 12.18 – Arduino Uno s popismi základných častí, [39]



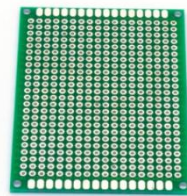
Obrázok 12.19 – Arduino CNC Shield, [41]



Obrázok 12.20 – Driver krokového motoru A4988 a jeho schéma, [43], [44]



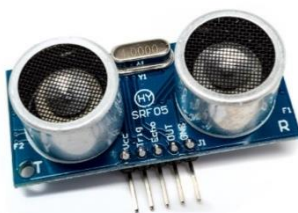
Obrázok 12.21 – H most L298N, [45]



Obrázok 12.22 – Doska plošných spojov, [46]



Obrázok 12.23 – Plavákový senzor s upevnením zvislo (vľavo) a plavákový senzor s upevnením vodorovne (vpravo), [47], [48]



Obrázok 12.24 – Ultrazvukový senzor vzdialenosti HY-SRF05, [49]



Obrázok 12.25 – Koncový spínač WK601, [50]



Obrázok 12.26 – Prietokomer YF-S401, [54]

12.2 Tabuľky meraní

V tejto podkapitole sú uvedené tabuľky meraní z jednotlivých testovanií vlastností prototypu zalievajúceho modulu.

12.2.1 Vplyv výtlačnej výšky na prietok

Tabuľka 12-10 – Množstvo vody V v závislosti na výtlačnej výške H pre rôzne doby zapnutia čerpadla t (plná hadička) a vypočítané hodnoty prietoku Q

H [cm]	t [s]	V [mL]	Q [mL/min]	H [cm]	t [s]	V [mL]	Q [mL/min]	H [cm]	t [s]	V [mL]	Q [mL/min]
0	1	28	28,0	50	1	26	26,0	100	1	24	24,0
		27	27,0			24	24,0			24	24,0
		28	28,0			25	25,0			24	24,0
		28	28,0			27	27,0			23	23,0
		27	27,0			26	26,0			24	24,0
		27	27,0			26	26,0			23	23,0
		27	27,0			25	25,0			25	25,0
		28	28,0			27	27,0			24	24,0
		27	27,0			25	25,0			24	24,0
		28	28,0			26	26,0			23	23,0
	3	83	27,7		76	25,3	70		23,3		
		83	27,7		76	25,3	70		23,3		
		82	27,3		75	25,0	70		23,3		
		81	27,0		75	25,0	69		23,0		
		82	27,3		75	25,0	71		23,7		
		83	27,7		76	25,3	70		23,3		
		82	27,3		75	25,0	70		23,3		
		82	27,3		76	25,3	69		23,0		
		81	27,0		76	25,3	70		23,3		
		82	27,3		75	25,0	70		23,3		
	5	136	27,2		126	25,2	119		23,8		
		135	27,0		127	25,4	118		23,6		
		136	27,2		123	24,6	116		23,2		
		136	27,2		125	25,0	116		23,2		
		136	27,2		124	24,8	119		23,8		
		135	27,0		125	25,0	118		23,6		
		136	27,2		125	25,0	118		23,6		
		136	27,2		124	24,8	119		23,8		
		135	27,0		126	25,2	117		23,4		
		136	27,2		125	25,0	119		23,8		
Priemer			27,3			25,3					23,6

12.2.2 Zistenie prepočtovej konštanty k prietokomera

Tabuľka 12-11 – Namerané hodnoty objemu V , počtu impulzov N a vypočítanej prepočtovej konštanty k

V [mL]	N [-]	k [1/mL]
641	1359	2,120
236	484	2,051
412	833	2,022
389	792	2,036
312	648	2,077
544	1143	2,101
275	556	2,022
569	1244	2,087
452	918	2,031
217	450	2,073

12.2.3 Vplyv výtlačnej výšky na dobu vytlačania vzduchu z prázdnej hadičky

Tabuľka 12-12 – Namerané hodnoty doby vytlačania vzduchu t z prázdnej hadičky v závislosti na výtlačnej výške H

H [cm]	t [s]	H [cm]	t [s]	H [cm]	t [s]
0	2,9	50	3,1	100	2,8
	3		2,9		2,7
	2,7		2,8		2,8
	2,8		2,7		3
	3		2,8		2,8
	2,9		2,7		2,7
	2,8		2,9		2,9
	3		2,7		2,8
	2,8		3		2,9
	3		2,8		3

12.2.4 Meranie odchýlky hrotu koncového efektora

Tabuľka 12-13 – Namerané odchýlky pri pohybe koncového efektora medzi dvomi polohami s dojazdom na koncový spínač a bez neho

Poradové číslo merania N [-]	Odchýlka x_A (s koncovým senzorom) [mm]	Odchýlka x_B (bez koncového senzoru) [mm]
0	0	0
1	0,5	-1
2	0	-1
3	-0,5	-1
4	-0,5	-1,5
5	-0,5	-1
6	0,5	-1,5
7	0,5	-1,5
8	1	-2
9	0	-2
10	-0,5	-2
11	0	-2
12	-0,5	-2,5
13	-0,5	-2
14	-0,5	-2,5
15	-1	-2,5
16	-0,5	-2,5
17	0,5	-3
18	-0,5	-3
19	0,5	-3
20	0,5	-3

12.2.5 Testovanie presnosti horizontálneho pohybu

Tabuľka 12-14 – Výsledky testovania presnosti horizontálneho pohybu ramena

Výsledok testu	Variant A	Variant B
Najväčšia odchýlka medzi dvomi opakovaniami	1 mm	1 mm
Kumulatívna odchýlka po 20. opakovaní	1 mm	-3 mm
Smernica trendovej čiary	-0,0058	-0,1273