

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav přístrojové a řídicí techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ROBOT PRO ČIŠTĚNÍ OKAPŮ

ROBOT FOR CLEANING GUTTERS

Praha 2021

Autor: Jiří Kasal

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Novák, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kasal** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **484134**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Robot pro čištění okapů

Název bakalářské práce anglicky:

Robot for cleaning gutters

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerši na téma automatických robotů, které lze využít pro inspekční nebo čistící práce v potrubí. Soustřeďte se na topologii okapů a zhodnoťte vzniklé požadavky na konstrukci čistícího robota pro zvolené podmínky.
- 2) Na základě rešerše navrhnete konstrukci robota, která by měla být funkční pro zvolenou topologii okapu a pracovní podmínky. Vzhledem k variabilitě provedení okapů se nepředpokládá univerzálnost robota.
- 3) Navrženého robota sestavte a otestujte na modelu okapu. Zhodnoťte dosažené praktické výsledky a navrhnete možná vylepšení, pokud se nějaká při experimentálním ověření objeví.

Seznam doporučené literatury:

- [1] OGAI, Harutoshi a Bishakh BHATTACHARYA. Pipe Inspection Robots for Structural Health and Condition Monitoring. New Delhi: Springer India, 2018. ISBN 9788132237495.
[2] TUR, Josep M. Mirats a William GARTHWAITE. Robotic devices for water main in-pipe inspection: A survey. Journal of Field Robotics [online]. 2010, 27(4), 491–508. ISSN 15564959. Dostupné z: doi:10.1002/rob.20347

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Novák, Ph.D., U12110.1

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Zdeněk Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních zdrojů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů.

Datum:

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Novákovi, Ph.D. za rady, odbornou pomoc a rychlé reakce na mé dotazy.

Anotace:

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval návrhem robota pro čištění okapů. Samotná práce je rozdělena do dvou částí. Rešeršní část se zabývá existujícími roboty pro čištění potrubí a popisem využitelnosti jednotlivých druhů podvozků v okapním systému. Druhá část práce se zabývá samotným návrhem konceptu robota. Nejprve jsou specifikovány požadavky a podmínky, které musí finální výrobek splňovat a následně na základě těchto specifikací a poznatků z první rešeršní části byl navržen, vyroben a otestován fungující prototyp.

Klíčová slova:

Potrubní robot, čistící robot, okapní robot, robot, okapní systém, čištění okapů

Annotation:

In my bachelor thesis I have dealt with designing a robot for gutter cleaning. The thesis is divided into two parts. The search part deals with existing robots for cleaning pipeline and with describing usability of individual type of chassis in gutter system. The second part deals with designing a robot concept itself. First the requirements and conditions, which the final product must fulfil, are specified and then the functional prototype is designed, made, and tested according to the specifications and the knowledge from the first search part.

Key words:

Pipe robot, cleaning robot, gutter robot, robot, gutter system, gutter cleaning

Obsah

Obsah	6
1 Úvod	7
2 Prostředí.....	7
2.1 Okapní systém	7
2.2 Podmínky a nečistoty v okapním systému	10
3 Potrubní roboti.....	11
3.1 Protlačovaný robot-Prase.....	11
3.2 Kolový robot	12
3.3 Pásový robot.....	12
3.4 Pásový nebo kolový robot rozepřený v trubce	13
3.5 Snake robot	13
4 Robot na čištění okapů.....	14
4.1 Existující řešení.....	14
4.2 Specifikace požadovaných vlastností a schopností robota	14
5 Prototyp robota pro čištění okapů.....	16
5.1 Návrh podvozku robota.....	16
5.2 Návrh vymetacího přípravku.....	18
5.3 Návrh pomocného ramene	19
5.4 Návrh a výběr komponent robota.....	20
5.5 Modelování a výroba robota.....	27
5.6 Software	30
5.7 Test robota, příprava na další iteraci návrhu	31
6 Závěr.....	34
Seznam zdrojů.....	35

1 Úvod

Technologický vývoj umožňuje využívat robotické prostředky v širokém spektru oblastí, dokonce i tam, kde by nám tato možnost před pár lety nepřišla reálná a užitečná. Jedna z těchto oblastí je například správa okapních systémů. Vývoj robota pro čištění okapů by se mohl zdát úsměvný nebo zbytečný, ale pokud se zamyslíme nad obtížností čištění okapů u výších budov, zjistíme jak důležitý se tento robot může stát, pokud bude dobře navržen.

Nevyčištěný okap nemá za následek pouze pomalé odtékání vody, ale žlaby mohou začít od svého dna hnit, přetéající voda může poničit fasádu a v zimě se v místě, kde přetéká žlab, začnou tvořit rampouchy, které poškozují okap a ohrožují osoby pohybující se pod okapem.

Cílem této práce je navrhnout robota včetně řízení, pro dálkové čištění okapů. Jelikož okapní systém může být velmi složitý, budeme muset přijmout neschopnost robota vyčistit celý systém. Například čištění vertikálních svodových potrubí okapního systému může být prováděno pomocí již existujících robotů, proto se zaměříme na schopnost pohybu a čištění robota v horizontálních žlabech. Rešeršní část práce je zaměřena na samotný okapní systém a na již existující konstrukce robotů určených pro čištění potrubí.

Druhá část práce se zabývá samotným návrhem robota a následnou výrobou prototypu. Tento prototyp nebude koncipován jako finální výrobek, spíše bude cílem otestovat zda myšlená konstrukce, hardwarové a softwarové řešení může splňovat požadované podmínky.

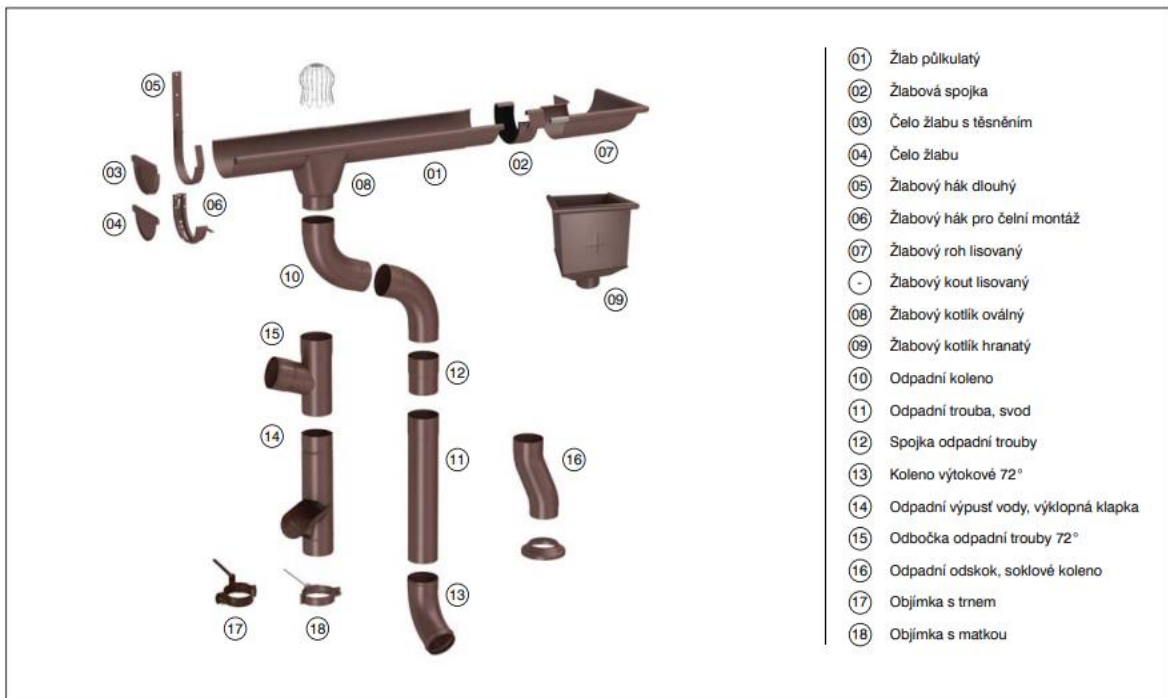
2 Prostředí

2.1 Okapní systém

Zaměříme se na systémy s půlkulatým žlabem a kruhovým svodem. Tyto systémy jsou nejvíce rozšířené a dostupné pro případné testování prototypu. Rozměry a konstrukce jednotlivých prvků jsou od různých výrobců velmi podobné, proto pro popis budeme využívat pouze systém DEKRAIN ROBUST [1]. Na obrázku 1 můžeme vidět veškeré prvky okapového systému a také veškerá místa, která budou komplikovat pohyb robota.

Mnoho omezení nepochází ze samotné konstrukce daného systému, ale z jeho umístění a pečlivosti dělníků, kteří dané okapy umísťují.

Dále se zaměříme na jednotlivé komponenty a problémy, které mohou nastat při pohybu skrz ně. Při následném návrhu konstrukce bude cílem co nejvíce z těchto problémů překonat. Ovšem musíme uvažovat i nad tím, zda nebude pro jednoduchost, funkčnost a cenu robota lepší přijmout, že některé překážky překonat nedokáže a bude třeba robota ručně přesunout za dané problematické místo.

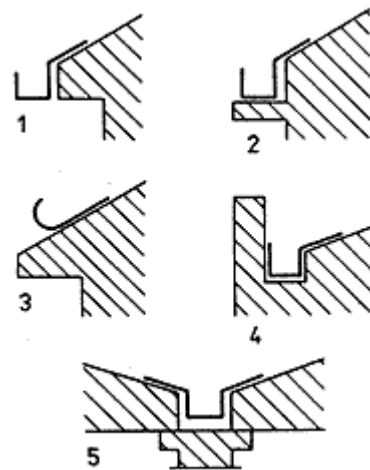


Obrázek 1 - Okapový systém DEKRAIN ROBUST [1]

a) Žlab půlkulatý (01)

Žlab je jedním ze základních prvků okapního systému, proto je třeba věnovat jeho tvaru a umístění v reálných podmínkách největší pozornost. Existuje více možností umístění střešního žlabu [2] (Obrázek 2), umístění žlabu nijak nelimituje jeho provedení (půlkulatý, nebo obdélníkový profil). Dále budeme uvažovat pouze půlkulatý profil žlabu.

- 1) podokapní
- 2) nadřímsový
- 3) nástřešní
- 4) zaatikový
- 5) mezistřešní



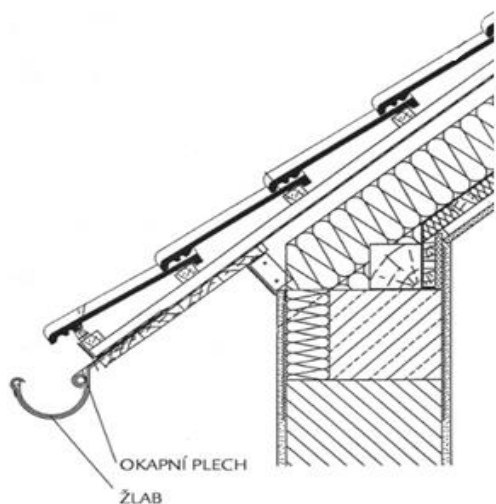
Obrázek 2 Druhy žlabů podle umístění [2]

Spojování jednotlivých žlabů se provádí přeložením konců o několik desítek milimetrů s následným měkkým pájením cínem [2], nebo může daný okapový systém obsahovat i žlabovou spojku. Spoje jednotlivých žlabů tedy nebudou představovat zásadní problém pro návrh robota.

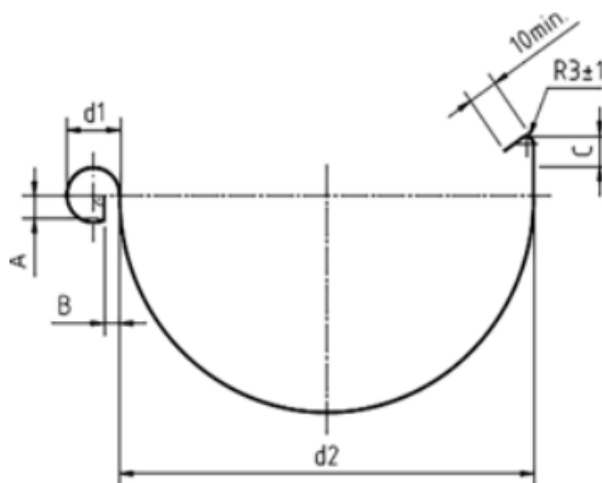
Způsob umístění žlabu může být při čištění velmi limitující. Zatímco v případě podokapního, nadřímsového a nástřešního umístění žlabu můžeme odpad z okapu pouze vymetat, v případě

zaatikového a mezistřešního umístění je nutné odpad ze žlabu dopravit až na okraj střechy a zde ho teprve vymést. Další faktor, který nás limituje ve velikosti robota je nejen velikost žlabu, ale také přesah střešní krytiny a její výška nad žlabem viz Obrázek 3.

Profil žlabu okapu (Obrázek 4) je na vnější straně zatočený, ale na vnitřní pouze ohnutý. Tato ohnutá část může být ostrá a mohla by poškodit případný ovládací vodič, nebo hadici s tlakovou vodou kterou by robot ke svému provozu, nebo ovládání potřeboval.



Obrázek 3 Umístění podokapního žlabu [27]



Obrázek 4 Geometrie žlabů DEKRAIN [1]

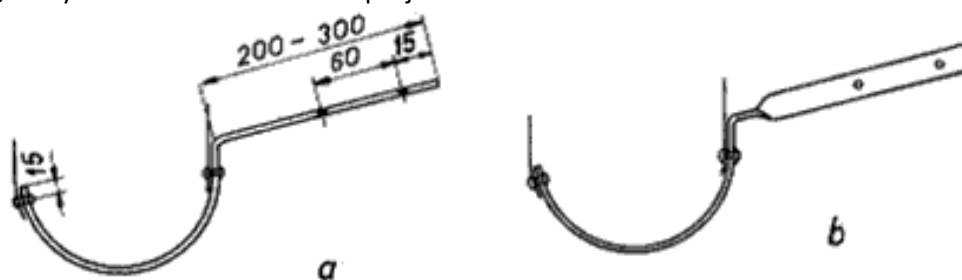
Samotný pohyb ve žlabu bude problematictější oproti pohybu v trubce, ale zároveň je žlab jedním ze základních prvků okapového systému, proto je nutné věnovat dostatečnou pozornost při samotném návrhu pohybu žlabem.

Rozměry d2 se vyrábí v případě systému DEKRAIN ROBUST ve velikostech 153,127 a 105 mm.[1]

b) Žlabový hák (05)

Žlabový hák slouží k upevnění žlabů k budově a většinou je upevněn přímo ke střešním krokům, nebo latím za pomoci vrtů [2]. Jejich špatné umístění může mít za následek špatný sklon okapu, díky čemuž se velmi brzo začnou na dně okapního žlabu usazovat nečistoty, které by se za normálních okolností zvládli pomocí deště odplavit do odpadu.

Mohlo by se zdát, že žlabový hák nijak robota v jeho práci neovlivní, bohužel v praxi jde o další zásadní problém. Žlab se do žlabového háku přichytí pouhým ohnutím zajišťovacího plechu na žlabovém háku. Pokud se tento hák neohne dostatečně hodně, omezuje nám značně prostor ve žlabu, kterým musí robot zvládnout projet.



Obrázek 5 Provedení žlabových háků [2]

c) Žlabový roh (07)

Pokud to bude možné, robot by měl umět zatáčet. Jak je vidět na Obrázek 1, žlabový roh je nejčastěji 90°, což by pro robota mohl být značný problém.

d) Odbočka odpadní roury (15)

Narozdíl od kolena pro odpadní rouru je zde potřeba, abychom si mohli vybrat, kterou cestou robot bude pokračovat. Tento výběr bude prakticky možný pouze v případě, kdy robot bude osazen kamerou s přímým přenosem do řídicího zařízení. Pokud ovšem výsledný robot bude určený pouze pro okapní žlaby, není nutné tomuto prvku věnovat pozornost.

e) Žlabový kotlík (08,09)

Jak hranatý, tak i oválný kotlík by měl obsahovat mřížku na zachytávání odpadu, přes tuto mřížku se robot nedostane a bude potřeba ho ručně přendat do další části okapového systému. Pokud kotlík nebude obsahovat mřížku může být problém s provedením napojení žlabu. Výrobce udává postup jakým kotlík napojit, ovšem v praxi průchozí díra z žlabu do kotlíku má ostré hrany a její tvar a velikost závisí na klempíři, který toto spojení prováděl.

f) Odpadní roura (11)

Odpadní roura slouží k odvodu dešťové vody do kanalizace. Aby se zamezilo odplavování nečistot do kanalizačního systému, odpadní roura je připojena nejdříve na lapač střešních splavenin viz Obrázek 6.

Pro systém DEKRAIN ROBUST se odpadní roury vyrábí s vnitřním průměrem 100 a 80mm. U dalších výrobců najdeme velikosti od 60mm až do 150mm. [1]



Obrázek 6 Lapač střešních splavenin [28]

2.2 Podmínky a nečistoty v okapním systému

V okapním systému a převážně v okapních žlabech se hromadí velké množství nečistot, které zabraňují správnému odtoku vody. Nejvíce zanešené bývají žlaby na podzim, kdy jsou přeplněné napadaného listí a drobných klacíků z okolních stromů. Pokud střešní krytina nad okapem není v nejlepším stavu, žlab mohou ucpávat i kousky této krytiny, které se samovolně uvolní. Problémem jsou i mechy a lišejníky, které ze střechy strhává vítr a déšť. Také se zde hromadí písek, hlína, nebo například ptačí trus.

Jak je zřejmé, okapní systém obsahuje spoustu drobných, ale i větších nečistot, jako jsou například ptačí hnízda. Odstraňování těchto nečistot se nemusí zdát nijak náročné, ale nesmíme zapomenout na vlhkost, případně stojící vodu, která ve žlabu může být. Vlhká směs listí, hlíny a dalších usazenin dokáže být velmi náročná pro odstranění. Velmi nebezpečná by byla snaha odplavit nečistoty odpadní rourou. V případě, kdy by se nános nečistot přesunul z okapního žlabu do odpadní roury, byla by situace ještě horší. Proto je nejlépe nečistoty z okapu přímo vybírat, nebo vymetat.

3 Potrubní roboti

V praxi se roboti v potrubí používají pro revize, jednoduché opravy a čištění. Jejich konstrukce je závislá na jejich účelu a druhu potrubí, kterým se budou pohybovat [3, 4]. Jelikož velká část okapního systému je v podstatě potrubí, pro čištění těchto částí by mohly být využity některé z existujících řešení robotů, případně můžeme využít některé z těchto konstrukcí.

Dělení dle způsobu čištění potrubí:

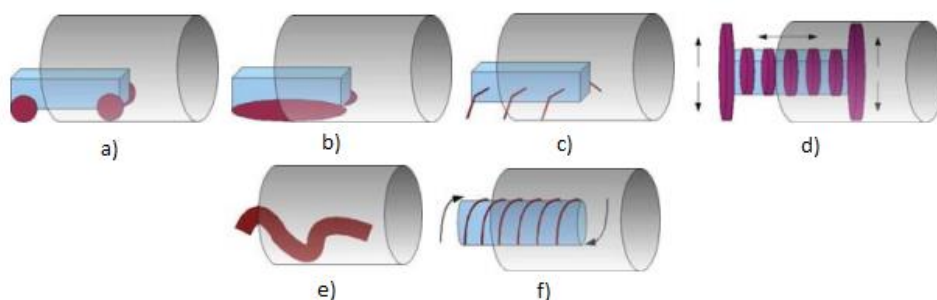
- Vysokotlaké čištění
- Čištění pomocí mechanického nářadí

Pro vysokotlaké čištění je nejčastěji využíván proud vody, kterým robot pomocí trysky odstraňuje nečistoty a následně je odplavuje potrubím pryč. Na robotu může být připevněno i mechanické nářadí, například rozbrušovací kotouče, řezací a zametací nářadí.

Pro každý typ aplikace, tvar a velikost potrubí je vhodná jiná konstrukce robota [5]. Mezi ty nejpoužívanější se řadí kolový robot, robot s pásovým pohonem, nebo také pro inspekční účely robot hadí konstrukce.

Dělení dle konstrukce (Obrázek 7):

- Kolový robot
- Pásový
- Kráčivý
- Protlačovaný robot-Prase
- Snake robot – hadí konstrukce
- Šroubový
- Rozepřený v trubce



Obrázek 7 Schémata druhů podvozků [6] – a)kolový b)pásový c)kráčivý d)pig(prase) e)snake(had) f)šroubový

3.1 Protlačovaný robot-Prase

Jde o kovovou schránku s potřebnými přístroji, která má na koncích utěšňující gumové disky (Obrázek 8). Toto zařízení je vloženo do potrubí, které je potřeba zkontrolovat, a následně je pomocí tlaku tekutiny protlačováno skrz celé potrubí [3, 7]. Aby toto bylo možné, je potřeba pro každý průměr trubky použít jiného robota nebo změnit průměr utěšňovacích disků.

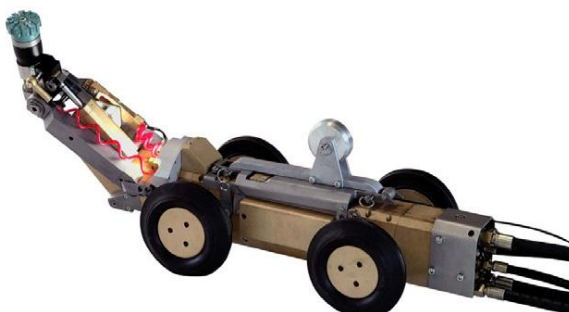
Vyžívá se například u dlouhých ropovodů a plynovodů, kde délka potrubí dosahuje několika kilometrů [7]. Zde může robot pomocí ultrazvukových senzorů kontrolovat například korozi potrubí.



Obrázek 8 - "prase" je vkládáno do potrubí pro test [7]

3.2 Kolový robot

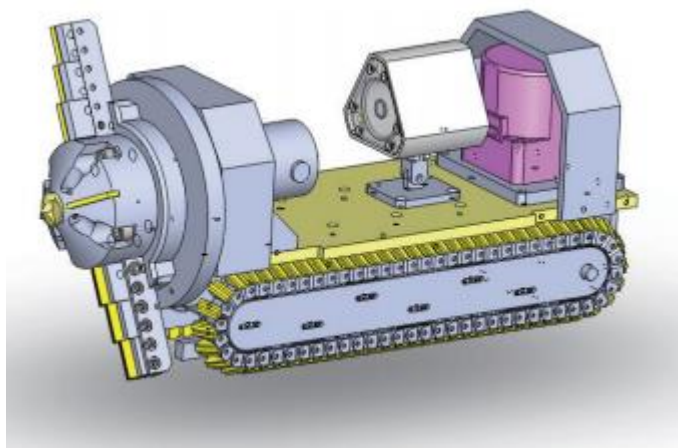
Nejčastěji jde o jednoduchou konstrukci s čtyřkolovým podvozkem [8, 3]. Výhodou tohoto podvozku je jeho jednoduchost a výsledná rychlost robota. Nevýhodou u tohoto typu podvozku je především jeho omezená možnost použití, jelikož konstrukce neumožňuje pohyb v horizontálním potrubí a překonávání případných překážek v potrubí je problematické. Může být použitý například jako robot s řezacím ramenem (Obrázek 9).



Obrázek 9 - HF 200 řezací robot [8]

3.3 Pásový robot

Konstrukce robota s dvěma pásy výrazně zlepšuje průchodnost robota přes překážky oproti kolovému robotu [9]. Tento robot také zvládne pouze mírné stoupání trubky a není určen pro svislý pohyb v potrubí. Vývojem takového robota, určeného k odstraňování usazenin v potrubí, se například zabýval projekt na Technické univerzitě v Ho Chi Minh ve Vietnamu (Obrázek 10). Tento robot má za úkol vyřešit tamní častý problém s ucpáváním kanalizačního potrubí.



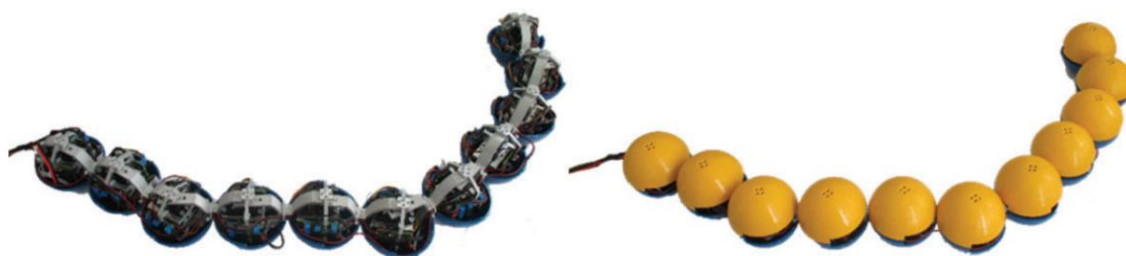
Obrázek 10 - robot vyvinutý na Ho Chi Minh UTE [9]

3.4 Pásový nebo kolový robot rozepřený v trubce

Tato konstrukce počítá se vzepřením robota v trubce, díky čemuž se dokáže pohybovat i ve svislém směru. Pro rozepření se používá speciální přítlačné kolečko, nebo je konstrukce uzpůsobena tak, aby se všechna kola (v případě kolového robota), nebo všechny pásy (v případě pásového robota) rovnoměrně roztáhly směrem od osy robota [3, 10]. Díky tomuto řešení se může robot přizpůsobit velikosti daného potrubí, ale zároveň zůstává čistícím nástrojem v jeho ose. Mechanické řešení podvozku je v tomto případě složitější než u předchozích případů, proto se používají spíše obvyklé kolové a pásové podvozky.

3.5 Snake robot

Je svojí konstrukcí a řízením nejvíce odlišný a také nejsložitější. Skládá se z jednotlivých segmentů, které jsou k sobě přichyceny pohyblivým kloubem [4]. Konstrukce a pohyb tohoto robota se podobá pohybu hada. Díky této konstrukci se robot dokáže dostat do potrubí s malým průměrem. Kvůli své složitosti se používá pouze jako revizní robot bez přídavných nástrojů.



Obrázek 11 Snake robot SnIPE [11]

4 Robot na čištění okapů

4.1 Existující řešení

Robotické čištění okapů je oblast, ve které neexistuje velké množství fungujících řešení. Jako jediného komerčně vyráběného můžeme uvést robota „Looj 330“ od společnosti iRobot (Obrázek 12).

Tento robot má pásovou konstrukci, tudíž není schopen pohybu ve vertikálním potrubí. Čištění potrubí provádí rotujícím kartáčem umístěným na přední straně robota. Tato konstrukce je velmi jednoduchá a v praxi použitelná, ale není vhodná pro složitější okapní systémy, kde například musí robot zvládnout zatáčet.[12]



Obrázek 12 - iRobot Looj 330 [12]

4.2 Specifikace požadovaných vlastností a schopností robota

Výsledný robot, určený pro čištění okapních systémů, by měl zvládat pohyb tímto systémem trubek a žlabů. Nejlépe by měl zvládat i přechod z jednotlivých rozměrů trubky, případně zatáčet v těchto trubkách. Ovšem aby robot našel na trhu své uplatnění, nesmí být příliš složitý a křehký, proto ve fázi návrhu budeme muset od některých požadavků upustit. Konstrukce robota musí být dále voděodolná, jelikož se předpokládá v okapním potrubí vysoká vlhkost, případně i proud vody. Robot bude především určený k čištění, proto musí být samotná konstrukce uzpůsobena pro připojení zařízení pro samotné čištění.

Výsledný robot by měl být schopný provádět i jednoduchou inspekční činnost, je tedy třeba robota vybavit elektronikou a proto nemůžeme uvažovat robota hnaného a ovládaného pouze hydraulicky. Dalším faktorem, který zamezuje využití hydraulického pohonu, jsou často ostré hrany v okapním systému, o které by se mohla zaseknout hydraulická hadice, případně by ji tyto hrany mohly poškodit. Stejný problém vzniká i v případě napájení a ovládání pomocí kabelu.

Tímto jsme shrnuli základní požadavky, které dále konkrétněji rozebereme a dle nich poté přistoupíme k samotnému návrhu 1. konceptu robota.

a) Základní parametry

Shrnutí nejdůležitějších parametrů, které by měl robot splňovat.

- Průchodnost žlabu o průměrech 150,127,105 mm
- Voděodolnost – krytí IP67 (v okapním systému může být stojící voda)
- Možnost dálkového řízení
- Možnost provádět vizuální kontrolu okapního systému
- Schopnost odstraňovat nečistoty z okapního systému

b) Podvozek

Podvozek je jednou ze základních mechanických částí. Aby robot nebyl poruchový, musí mít dostatečně tuhou konstrukci. Tato konstrukce by zároveň měla zamezit nechtěným pohybům robota v okamžiku čištění. Samozřejmostí je schopnost přizpůsobit se okapnímu systému. To může znamenat jak možnost průchodu jiným průměrem žlabu, tak i možnost zatáčet v 90° žlabovém rohu. Rychlost pohybu robota musí být dostatečně ovladatelná, aby byla možnost čisté části okapu projet rychleji a naopak v částech s velkými usazeninami zpomalit pohyb na minimum.

Kritéria pro řešení podvozku:

- Možnost přizpůsobení rozměrům okapního systému
- Dostatečná přilnavost k vlhkým stěnám okapního systému
- Malý poloměr otáčení
- Dostatečně tuhá konstrukce
- Stabilita v průběhu čištění
- Malý poloměr zatáčení
- Možnost řízení rychlosti pohybu

c) Čistící mechanismus

Bez správně fungujícího čistícího mechanismu by robot nemohl fungovat. Je potřeba, aby byl robot schopen odstranit jak drobné usazeniny na dně žlabu, tak i větší překážky. Pro správné fungování a snadnost používání, je nutné zajistit nad čistícím mechanismem dostatečnou kontrolu. Například v případě častého vymetání odpadu by mohlo docházet k nechtěnému zašpinění okolních stěn, proto zde bude nutné snížit otáčky čistícího mechanismu.

- Schopnost vymetat i jemný písek
- Možnost odstranění větších překážek – dřevěné větvičky, prázdná hnízda, ...
- Dostatečná ovladatelnost

d) Systém pro pohyb mimo vizuální kontakt

Pokud by měl být robot schopen pracovat i mimo místa s přímým vizuálním kontaktem, musí být opatřen dostatečným kamerovým systémem. Z tohoto systému musí být v průběhu čištění patrné kde se robot nachází a v jaké poloze jsou jeho jednotlivé části. Dále by pomocí tohoto systému mělo být možné konat jednoduchou inspekční činnost. Jelikož očekáváme v průběhu čištění zvýšené riziko zašpinění kamery, musí být umístěna v poloze, kde nedojde k jejímu zašpinění, případně musí být vybavena systémem který by ji očistil.

Inspekční činnost bude spočívat v kontrole průchodnosti okapního systému, stavu nátěru a kontrole spojů, zda nedošlo k jejich porušení.

- Vizuální kontrola nad procesem čištění
- Provádění inspekční činnosti
- Ochrana proti zašpinění a poškození

e) Ovládání a komunikace

Z důvodu nevhodnosti ovládání pomocí kabelu (možné poškození kabelu o ostré hrany okapního systému) budeme počítat přímo s možností bezdrátového řízení robota.

Pokud by měl být finální produkt konkurence schopný, je nutné, aby byl jednoduchý na ovládání a nevyžadoval pro svůj provoz žádné specializované vybavení. V dnešní době jsou velmi rozšířené chytré mobilní telefony, které by tedy bylo vhodné využít pro bezdrátové řízení robota. Většina

moderních telefonů podporuje komunikaci pomocí standardu IEEE 802.11 (Wi-Fi)[13] a Bluetooth. Komunikace tedy bude probíhat přes jeden z těchto standardů. Zároveň pro komfort uživatele musíme mít možnost ovládat robota ze zařízení s různými operačními systémy.

Pro plynulost ovládání vyžadujeme co nejmenší odezvu mezi robotem a řídicím zařízením. Na tuto odezvu bude mít vliv zvolený standard bezdrátové komunikace a je nutné tuto podmínku neopomenout. Zároveň s nízkou odezvou požadujeme i dostatečný dosah. V případě, kdy se obsluha robota bude pohybovat pod okapním žlabem, vystačí menší dosah pro nízké domy, ale pro výškové budovy je nutné, aby byl robot schopný se z místa vypuštění dostat až na konec okapního žlabu a zpět.

- Uživatelsky přívětivé a jednoduché
- Bezdrátová komunikace
- Možnost využití mobilních telefonů s různým operačním systémem
- Dostatečný dosah pro větší okapní systémy

f) Řídicí systém, hardware

Jelikož robot může operovat mimo zorné pole operátora, musí mít řídicí systém robota dostatečnou spolehlivost. Touto spolehlivostí je myšlena převážně schopnost robota v případě ztráty spojení, nebo přerušení komunikace, zvládnout samočinně spojení znovu navázat. Pokud budeme uvažovat bezdrátově řízeného robota, musí být jeho hardware schopný bezdrátové komunikace.

Dalším zásadním požadavkem je, aby dané hardwarové vybavení bylo uzpůsobené zátěži jednotlivých výkonných prvků. Samozřejmostí je možnost tyto výkonné prvky pomocí daného systému ovládat a komunikovat s nimi.

Pro návrh robota bude také důležitá celková velikost prostoru, který daný hardware bude potřebovat.

- Spolehlivost
- Řízení servomotorů, DCmotorů
- Možnost přenosu obrazu z kamerového systému robota
- Bezdrátová komunikace

5 Prototyp robota pro čištění okapů

5.1 Návrh podvozku robota

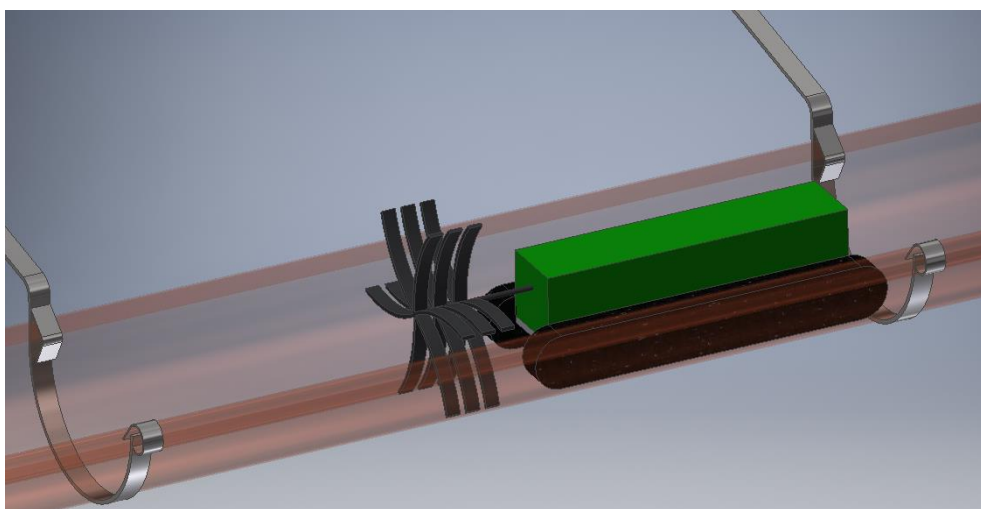
Nejprve si navrhnu možné mechanismy podvozku a z nich vyberu ten, který bude nejhodnější pro našeho robota. Jelikož dle specifikací výrobce [1] předpokládáme, že v každém žlabovém kotlíku je umístěn koš na zachytávání nečistot, bude se výsledný robot specializovat pouze na čištění okapních žlabů. Díky tomuto tvrzení není nutné, aby byl robot schopný vertikálního pohybu v potrubí, tudíž jeho konstrukce může být znatelněji jednodušší, což napomáhá požadavku dostatečně tuhé a odolné konstrukce.

Kráčivý podvozek by byl velmi složitý a náchylný k poškození. Robot se šroubovitým pohybem je vhodný pro potrubí, ale ve žlabu by mohl během čištění jednoduše vypadnout ze žlabu. Vhodné varianty mechanismu pohybu jsou kolové a pásové podvozky, kdy pásový podvozek nabízí větší přilnavost podvozku a lepší průchodnost. Oproti tomu jde na kolovém podvozku jednoduše změnit velikost pojezdových kol, díky čemuž může být robot využit pro více průměrů potrubí.

Jelikož je již pro jednoduché čištění vyvinutý robot „Looj 330“ [12], jsem z recenzí schopný dopředu odhadnout kde by mohl nastat problém. Vymetání pomocí vymetacího nástroje připevněného na přídi je funkční a nejjednodušší možné řešení, ale při jeho větším záběru může dojít ke ztrátě přilnavosti a robot „Looj 330“ se přetočí. Vzhledem k jeho konstrukci to nevádí, ale jelikož robot bude obsahovat i kamerový systém, je nutné tento problém odstranit.

a) Pásový podvozek

Nejdříve se zaměřím na návrh pásového podvozku. Dobré stability je možné dosáhnout pouze pokud pásy budou dostatečně dlouhé a široké. Zároveň také tato konstrukce potřebuje dostatek prostoru pro jednotlivé motory a HW. Pro zabezpečení proti protočení, bude nutné například opatřit robota přídržným zařízením, které se bude přidržovat hrany okapního žlabu. Toto zařízení schématicky návrh neobsahuje, jeho návrhem se budu zabývat až po určení druhu podvozku.

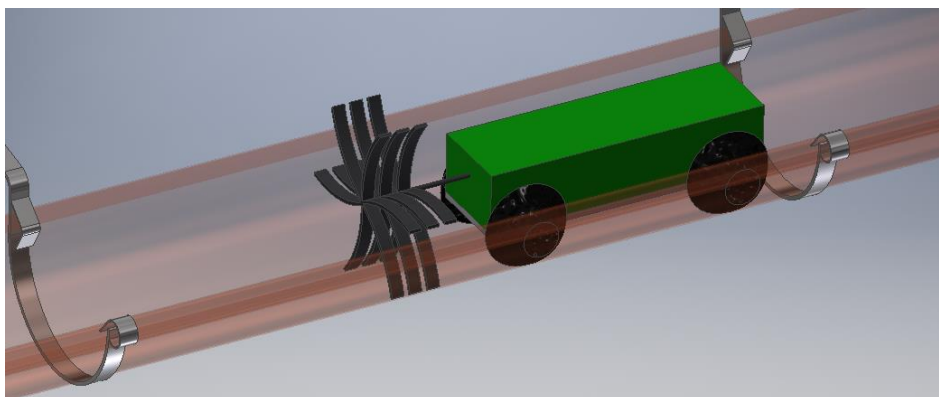


Obrázek 13 Návrh pásového podvozku

Jak je vidět na Obrázek 13, pokud budu požadovat patřičnou stabilitu robota, pásový podvozek bude příliš dlouhý pro zatáčení, proto by byl vhodný pouze pro přímé části.

b) Jednoduchý kolový podvozek

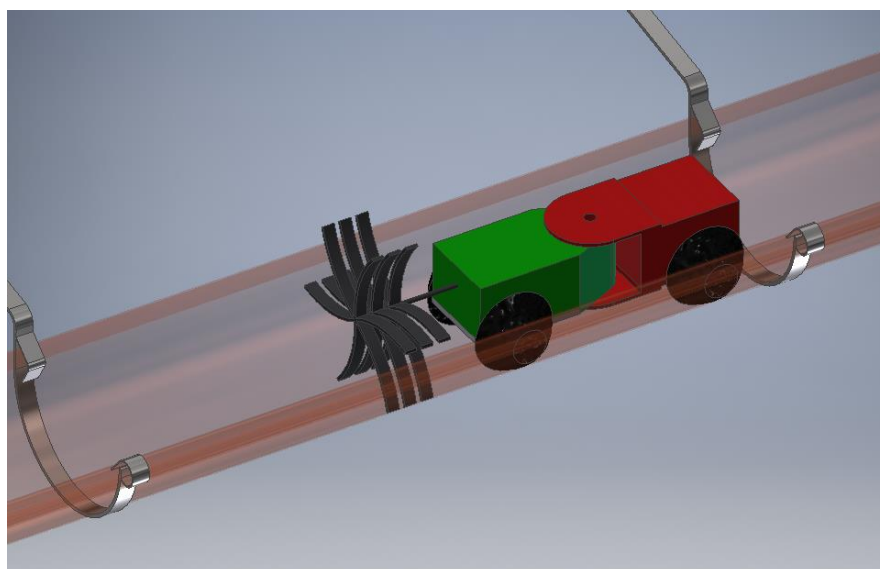
Tento návrh se zaměřuje na čistě kolový podvozek. Výhodou tohoto podvozku je možnost využití více velikostí pojezdových kol. Na Obrázek 14 vidíme, že pokud nevyužiji čistě válcová kola, ale asymetrická tak, aby měla co největší stykovou plochu s okapním žlabem, téměř se tento podvozek vyrovná pásovému. Ovšem i zde je komplikace s poloměrem otočení, robot by byl schopný čistit pouze přímé části potrubí.



Obrázek 14 Návrh jednoduchého kolového podvozku

c) Kolový podvozek s kloubem

U obou předešlých návrhů se potýkám s problémem při zatáčení. Inspiraci pro vyřešení tohoto problému by mohla poskytnout konstrukce Snake(hadího) robota. Ten se skládá z mnoha elementů, které slouží jako jakýsi kloub. Pokud by robot obsahoval pouze jeden kloub, nebo v případě nutnosti většího prostoru pro HW dva klouby, stále by měl být dostatečně tuhý a stabilní. Pro tuto konstrukci využiji kolové podvozky pro jednotlivé segmenty (Obrázek 15), protože při zatáčení bude docházet k prokluzům a v případě pásového podvozku by vznikalo zbytečně velké tření, které by zabraňovalo v zatočení.

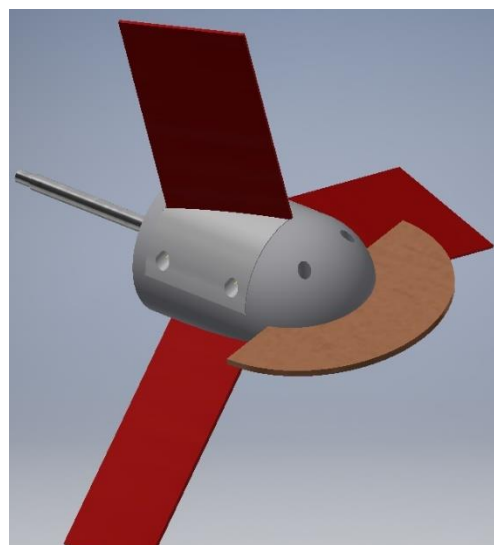


Obrázek 15 Návrh kolového podvozku s kloubem

Při správné konstrukci kloub poskytne možnost natočení obou segmentů až o 90° vůči sobě. To ovšem pro zatočení ve žlabovém rohu nestačí. Pokud špatně umístím osy náprav, robot se do zatáčky nevejde. Jelikož přední část obsahuje také poměrně dlouhý vymetací mechanismus, přední nápravu bude nutné umístit těsně k přední straně robota. Osu zadní nápravy umístím přibližně do 2/3 segmentu.

5.2 Návrh vymetacího přípravku

Vymetací mechanismus je nasunut na hřídeli a zajištěn pomocí šroubu, díky čemuž je možná jeho snadná výměna. Díky možnosti výměny můžeme využít jeden koncept robota pro otestování více druhů vymetacích mechanismů. První koncept vymetacího mechanismu můžeme osadit 3 lopatkami pro vymetání (Obrázek 16). Pro narušení a vymetání větších usazenin je možné do přední strany připevnit další pomocnou lopatku.



Obrázek 16 Vymetací přípravek

5.3 Návrh pomocného ramene

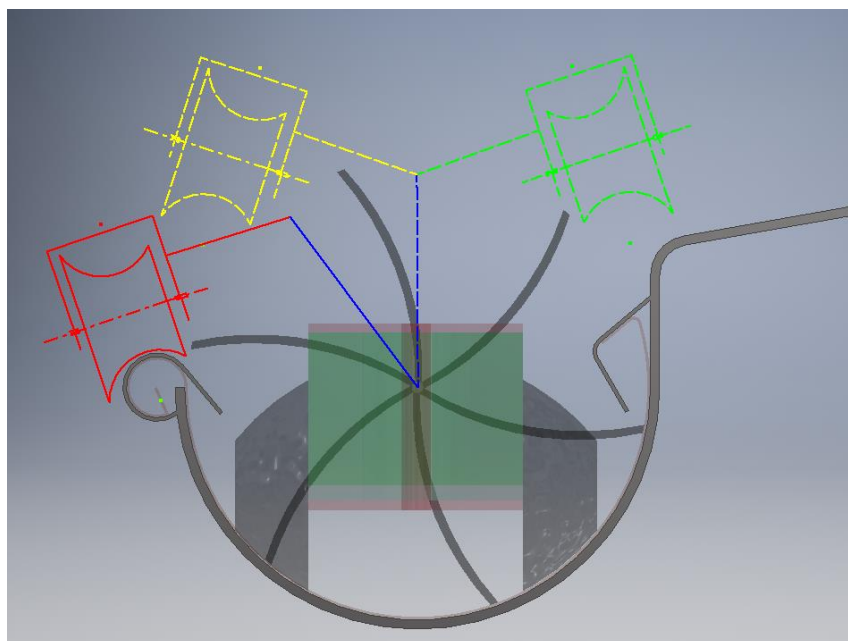
Z předešlých třech návrhů podvozku se jako nejvhodnější jeví kolový podvozek s kloubem, jelikož jako jediný by mohl být schopný projet pravouhlejším žlabovým rohem. Problém, který sdílí všechny tři návrhy je možnost protočení v okapním žlabu. Pokud by šlo o robota, který se pohybuje v potrubí, tento problém by vyřešilo například rozpěrné kolečko. V tomto případě bude řešení o něco těžší. Možné řešení jsou:

- 1) Připravit konstrukci na možnost protočení (robot bude schopný pohybu vzhůru nohama)
- 2) Zamezit protočení pomocí přidání pomocného ramene

Počítat s možností protočení je možné pouze u pásového podvozku a jednoduchého kolového. V případě podvozku s kloubem by v případě částečného protočení mohl být robot neschopný zatočit, proto musím dále počítat s pomocným ramenem.

Návrh pomocného ramene

Pomocné rameno se může dotýkat vnější hrany žlabu, čímž dodá robotu stabilitu a zabrání jeho protočení v momentě, kdy dojde k zaseknutí vymetacího mechanismu. Vnitřní hrana žlabu není vhodná, jelikož zde by překážely okapní háky, jak je vidět na Obrázek 17. Pokud nechceme limitovat směr, kterým se robot bude schopný pohybovat, musí být rameno možné jednoduše otočit nebo prohodit za druhé, které je natočené na pravou stranu. Změna celého ramene by mohla být problematická, tudíž bude vhodné, když první část (na Obrázek 17 modře zvýrazněna) zůstane stále připevněna k servomotoru a měnit se bude pouze vrchní část.

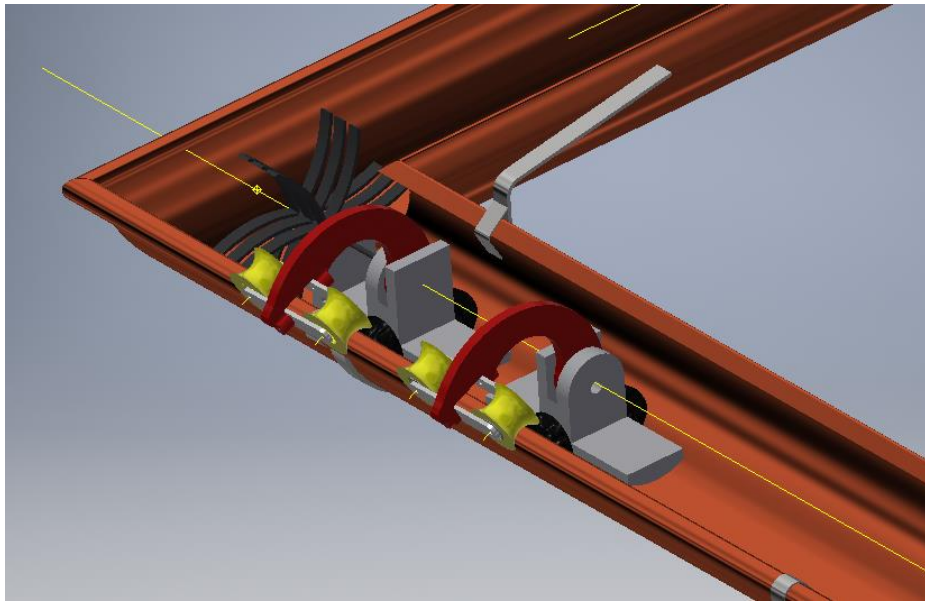


Obrázek 17 Schéma pomocného ramene s vodícím kolem

Důležitým faktorem, který ovlivní funkčnost pomocného ramene, je jeho umístění.

Pro nejlepší stabilitu by bylo vhodné umístit na robota dvě ramena, pro každý jeho segment jedno. Pokud bude robot zatáčet, bude nutné pomocné rameno zvednout a snížit výkon vymetacího mechanismu, aby nedošlo k protočení robota. Osu otáčení ramene umístím do osy žlabu, kde se zároveň bude nacházet osa mechanismu vymetáče. Díky osovému uložení bude moci být vodící kolečko na pomocném rameni stále v kontaktu s hranou okapu, i když by po zatočení došlo k mírnému naklonění robota.

Na vnější hraně žlabu sice nepřekáží samotné těleso okapního háku, ale jsou zde zahnuté zajišťovací plechy a spoje jednotlivých segmentů okapního systému. Pro zlepšení vedení umístíme na jedno pomocné rameno dvě vodící kola, viz Obrázek 18.



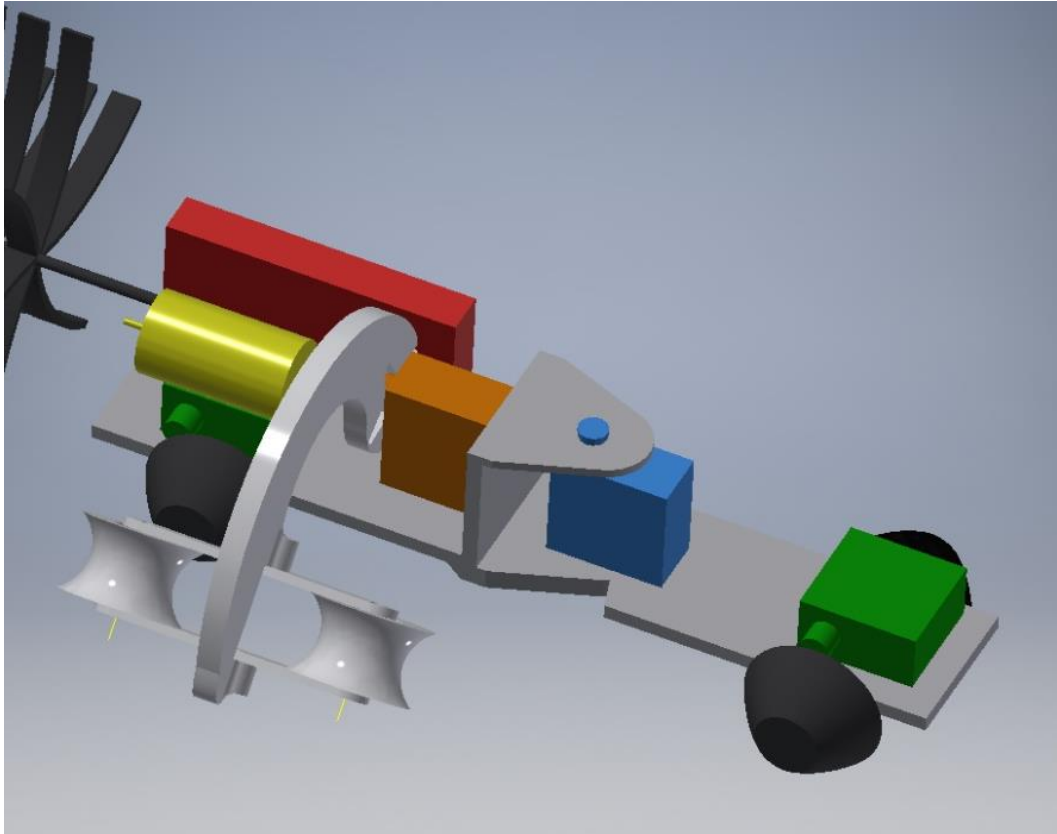
Obrázek 18 Návrh umístění pomocných ramen

Toto uspořádání by dodalo velkou stabilitu, ale zároveň by případné druhé rameno potřebovalo další prostor navíc, čímž by se celý robot prodloužil. Dále tedy uvažuji pouze jedno rameno umístěné co nejbližší přední části. Zároveň pro zjednodušení prvního konceptu robota počítám pouze s levým ramenem bez možnosti jeho otočení.

5.4 Návrh a výběr komponent robota

Dle předešlých voleb jednotlivých mechanismů vytvořím návrh uspořádání robota včetně motorů (Obrázek 19), které vzhledem k velikosti robota zabírají velmi značný prostor. Pro dobrou ovladatelnost volím pro pohon obou náprav upravené servomotory. Stejně tak volím servomotory pro natáčení kloubem i pomocné rameno. Pohon vymetacího zařízení bude zprostředkovávat DC motor. Robot obsahuje dvě baterie, v přední části a zadní části. Na ilustračním obrázku je zobrazena pouze baterie z přední části. V zadní části nad pohonem zadní nápravy bude umístěn veškerý HW společně s druhou baterií.

V této části zobrazuji až finální stupeň návrhu rozmístění motorů a baterií, jelikož návrh blíže souvisí s výběrem daných komponent a mnoho nedostatků daného řešení se odhalí až při konstrukci. Na Obrázek 19 se ještě nachází DC motor mimo osu robota. Toto uspořádání mělo za cíl vyrovnat těžiště vůči baterii umístěné na pravé straně robota. Ve finální verzi robota se v přední části nacházejí dvě baterie po stranách a DC motor je položen v ose robota nad hnací hřídelí vymetacího mechanismu. Toto uspořádání zvýší hmotnost přední části robota, čímž zvýším jeho stabilitu, ovšem zároveň s tím dojde k rozšíření robota do stran.



Obrázek 19 Návrh umístění motorů a přední baterie

Legenda

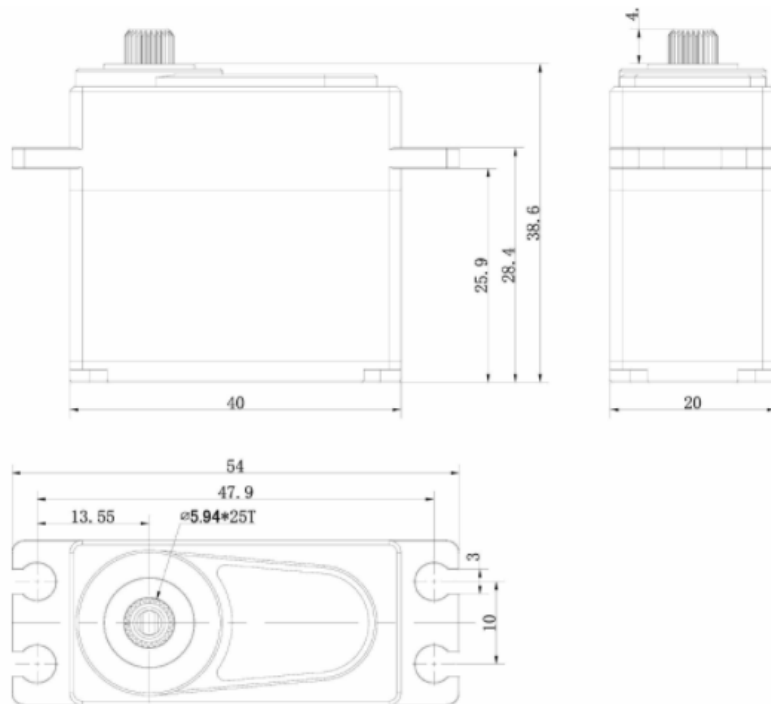
- modrá – servomotor pro natáčení kloubu
- Zelená – servomotory pro pohon náprav
- Oranžová – Servomotor pro naklápění ramene
- Žlutá – DCmotor pro pohon vymetacího mechanismu
- Červená – baterie

a) Pohon náprav

Hnaná bude přední i zadní náprava, čímž získám dobrou ovladatelnost robota, obzvláště při zatáčení. Pro snadnost ovládání a řízení motorů náprav využiji v konceptu upravený servomotor LJF 2125MG [14]. Úprava spočívá v nahrazení potenciometru rezistory, díky čemuž délkou PWM signálu z řídicí jednotky neudávám chtěnou polohu servomotoru, ale směr a rychlost otáček. Ve své podstatě jde o DC motor s vlastní elektronikou, řízenou pomocí PWM signálu. Mezi výstup upraveného servomotoru a osu kol vložíme ozubený převod s poměrem $i = 1$. V případě potřeby bude možné tento převod nahradit jiným s větším, nebo menším převodovým poměrem.

Servomotor – LJF 2125MG [14]

- Váha – 68 g
- Rychlost otáčení při napětí 7V – 60°/0,19s
- Točivý moment – 21 kg*cm (2,1 Nm)
- Neupravený rozsah natáčení - 120°
- voděodolný



Obrázek 20 Servomotor LJF 2125MG [14]

b) Natáčení kloubem robota

Pro možnost zatočení s robotem s přesně daným úhlem zatočením, je nutné v místě kloubu také využít servomotor. Pro pohon náprav využiji silný servomotor LJF 2125MG. Pro jednoduchost a snadnost případné opravy zvolím pro natáčení kloubu stejný typ servomotoru.

Po výsledném prototypu požaduji schopnost zatočení v 90° žlabovém rohu. Toto zatočení bude velmi složité a bude nutné, aby byl kloub schopný provést natočení téměř 90° jak na levou, tak i na pravou stranu. Z charakteristik servomotoru je zřejmé, že je schopný provést pouze natočení o 120°, místo námi požadovaných 180°. Jelikož při tvorbě prototypu nebyl k dispozici jiný vhodný typ servomotoru, připájel jsem mezi výstupy potenciometru 2k Ω rezistory, čímž jsem snížil citlivost servomotoru, ale zvětšil jeho pracovní úhel.

Servomotor – LJF 2125MG [14]

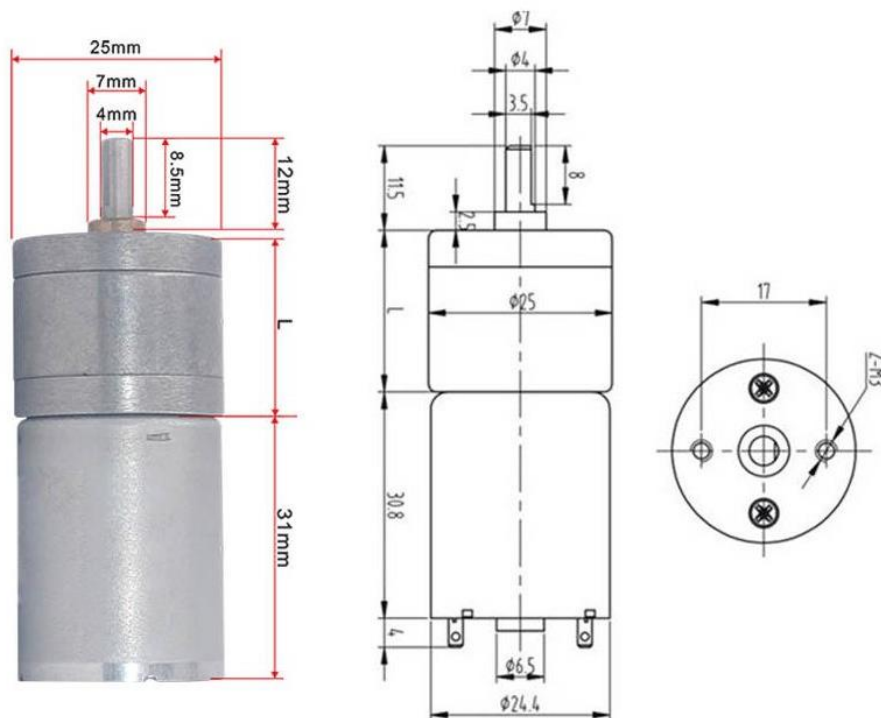
- Váha – 68 g
- Rychlost otáčení při napětí 7V – 60°/0,19s
- Točivý moment – 21 kg/cm (2,1 N/m)
- Upravený rozsah natáčení - 175°
- voděodolný

c) Natáčení ramene robota

Natáčení ramene robota musí být řízeno absolutně, stejně jako natáčení kloubu. Pokud bude robot vychýlen a bude nutné využít rameno pro jeho srovnání, bude muset daný pohon vyvinout dostatečný kroutící moment, aby překonal tření kol o stěny žlabu. Z těchto důvodů také volím servomotor LJF 2125MG bez jakýchkoliv úprav. Rameno bude připojeno přímo k servomotoru, čímž ušetříme místo a zkrátíme délku robota.

d) Pohon vymetacího mechanismu

Pro pohon vymetacího mechanismu bude nejhodnější obyčejný DC motor. K dispozici je motor JGA25 s několika možnými převodovkami [15]. Problémem a neznámým parametrem jsou ideální otáčky vymetacího mechanismu. Zvolím variantu motoru s otáčkami 620 ot/min na výstupu z převodovky motoru. Mezi výstup převodovky motoru a hnací hřídel vymetacího mechanismu vložím ozubený převod 3:1, kterým bude možné případně v průběhu testování změnit jmenovité otáčky vymetacího mechanismu.



Obrázek 21 DC motor JGA25-370 [15]

DC motor JGA25-370 12V [15]

- $L = 17 \text{ mm}$
- Otáčky bez zatížení - 620 ot/min
- Proud bez zatížení - 60 mA
- Jmenovitý proud – 450 mA
- Maximální točivý moment – 0,75kg*cm

e) Řídící jednotka

Pro jednoduché sestavení fungujícího konceptu není vhodné navrhovat vlastní design řídicí desky s procesorem, proto zvolím některou z dostupných vývojových desek.

Obecně můžeme říci, že pro opensource projekty jsou nejvíce využívány desky od společností Raspberry pi, nebo Arduino. Tyto platformy mají velkou komunitu uživatelů, což zjednoduší postup při tvorbě softwarové části robota.

Servomotory plánuji ovládat přes externí PWM modul, což nám sníží nutný počet pinů vývojové desky na minimum. Důležitým faktorem v tomto případě bude také proudový odběr komponent a jejich velikost. Jelikož robot bude obsahovat i kameru, musí daná platforma umožňovat i práci s ní a zároveň vyžadují schopnost bezdrátové komunikace.

Tabulka 1 Specifikace pro Raspberry Pi Zero W – zdroj [16]

Název	Raspberry Pi Zero W
Procesor(CPU)	ARM1176JZF-S
Frekvence procesoru	1000 MHz
Napájecí napětí	5V
Grafický procesor(GPU)	Broadcom VideoCore IV @ 250 MHz
Jmenovitý proudový odběr	100mA
Maximální proudový odběr	350mA
Připojení kamery	Mini CSI port
Bezdrátová komunikace	802.11n(Wi-Fi)
Rozměry	65 mm x 30 mm x 5 mm
Hmotnost	9 g

Tabulka 2 Specifikace pro Arduino Nano - zdroj [17]

Název	Arduino Nano
Procesor(CPU)	ATmega328
Frekvence procesoru	16 MHz
Napájecí napětí	5V
Grafický procesor(GPU)	-----
Jmenovitý proudový odběr	20mA
Připojení kamery	-----
Bezdrátová komunikace	Pomocí externího modulu
Rozměry	18 mm x 45 mm
Hmotnost	7 g

Dle popisů nejdůležitějších specifikací dvou zástupců (viz Tabulka 1 a Tabulka 2) můžeme říct, že vhodnějším řešením by bylo Arduino nano. Ale z důvodu nemožnosti zpracovávat obraz z videokamery musím zvolit vývojovou desku Raspberry Pi Zero W, která poskytne více možností v softwarovém řešení robota. Další velkou výhodou Raspberry Pi je její zabudovaný modul pro bezdrátovou komunikaci. Nevýhoda tohoto řešení je větší proudový odběr a vyšší pořizovací cena.

f) PWM modul

Řízení servomotorů probíhá pomocí PWM signálu. Raspberry Pi Zero W nezvládá větší proudové zátěže na výstupních pinech, proto použiji Servo PWM Pi modul [18] (Obrázek 22). Tento modul zvládá ovládat až 16 Servomotorů, s celkovým maximálním proudovým odběrem 600mA. Pro správnou funkčnost vyžaduje modul externí napájení 5V. V případě předpokládané větší zátěže je nutné servomotory napájet zvlášť a PWM modul využít pouze pro jejich ovládání. Jelikož očekávám větší zátěž, je nutné napájet servomotory odděleně.



Obrázek 22 PWM modul osazený na Raspberry Pi Zero W [18]

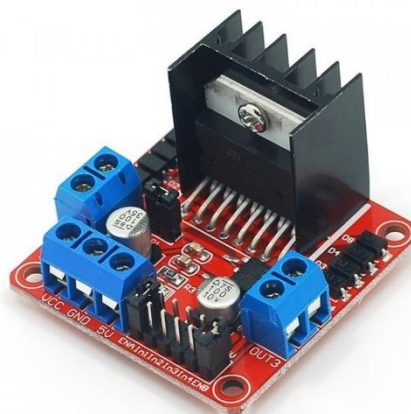
Připojení modulu je možné přímo pomocí 40pinového GPIO rozhraní, kdy komunikace mezi vývojovou deskou a PWM modulem probíhá pomocí I2C sběrnice. Společnost Abelectronik poskytuje k tomuto modulu i potřebné knihovny pro jazyky Python, C,C++ a Arduino, které dále využiji.

g) Ovládání DC motoru

V požadavcích vyžadují možnost regulovat otáčky DC motoru, proto je nutné využít H můstek pro jeho ovládání. V robotu použiji univerzální H můstek s hlavním čipem L298N (Obrázek 23).

Tabulka 3 Specifikace pro H můstek L298N – zdroj [19]

Název	Double H bridge driver
Napětí	5-35V
Maximální dlouhodobý proud	2A
Logické napětí	5V
Maximální výkon	25W
Rozměry	43 mm x 43 mm x26 mm
Hmotnost	26 g



Obrázek 23 H můstek – L298N [19]

h) Kamera

Vývojová deska Raspberry Pi zero W podporuje připojení kamery pomocí miniCSI konektoru. Pro jednoduchost využiji kameru určenou přímo pro vývojové desky Raspberry.

Tabulka 4 Specifikace Raspberry Pi kamery – zdroj [20]

Název	Raspberry Pi kamera V2
Čip	8Mpx Sony IMX219 CCD
Konektor	CSI
Rozměry	25 mm x 20 mm x 9 mm

Tato kamera je osazena konektorem CSI, proto bude nutné použít redukční kabel CSI-miniCSI. Tento redukční kabel je dodáván pouze ve dvou velikostech 3,8 cm a 15 cm. Z tohoto důvodu bude nutné, aby byla kamera umístěna blízko vývojové desky. Toto omezení mi dovoluje umístit kameru pouze do zadní části robota

i) Napájení

Systém napájení se skládá ze dvou základních částí, které jsou baterie a usměrňovač napětí pro řídicí jednotku. Oba tyto prvky musí být schopné bezpečně dodávat požadovaný proud a napětí.

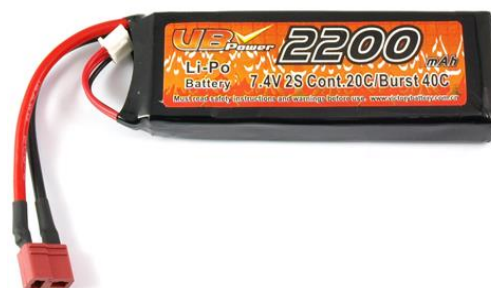
Pro nižší náklady první koncept robota osadím dvěma dvoučláňkovými bateriemi typu Li-pol, které mám k dispozici. Tento typ baterií je velmi náchylný na vybití pod dovolenou hodnotu napětí, při podvybití dochází k jejich nafouknutí a trvalému poškození. V případě prvního konceptu, který má za cíl zjistit, zda napájení z baterií poskytne dostatečnou dobu provozu, kontroluji napětí na bateriích přes servisní konektory malým externím zařízením. Finální robot by měl být schopný stav baterií hlídat sám a varovat uživatele při nízkém stavu baterie. Připojení baterií je provedeno

pomocí T-dean koncovky, díky čemuž je možné robota v průběhu testování napájet pomocí jakéhokoliv zdroje, který poskytuje napětí 7 V a je vybaven T-dean koncovkou.

První návrh rozmístění komponent počítal s umístěním jedné baterie do přední části a druhé do zadní. Pro lepší zatížení přední části jsou v prvním hotovém konceptu dvě baterie v přední části. Pokud by takto byla zadní část robota příliš lehká, můžeme baterii umístit i zde, ovšem uživatelsky již bude nepohodlné měnit baterie na 3 místech.

Tabulka 5 Specifikace 1. baterie – zdroj [21]

Název	VB Li-Pol
Napětí	7,4 V
Maximální vybíjecí proud	44 A
Kapacita	2200 mAh
Rozměry	104 mm x 35 mm x 17 mm
Hmotnost	26 g



Obrázek 24 Li-pol baterie 2200mAh

Tabulka 6 Specifikace 2. baterie

Název	Turnigy nano-tech
Napětí	7,4 V
Maximální vybíjecí proud	30 A
Kapacita	1200 mAh
Rozměry	118 mm x 16 mm x 15 mm
Hmotnost	26 g



Obrázek 25 Li-pol baterie 1200 mAh

Tabulka 7 Proudové odběry

Součást:	Proudový odběr:
Raspberry Pi Zero W	250 mA
PWM modul	20 mA
Servomotor	200 mA – Při zátěži až 1,5 A
DC motor	450 mA – při zátěži až 2 A

Z 1. baterie (Obrázek 24) bude napájen pouze DC motor, u kterého očekávám největší proudový odběr, který v průběhu čištění může být větší než 1 A. Servomotory na podvozku mají stálý proudový odběr a ten se pohybuje kolem hodnoty 600 mA na servomotor. Při stoupající zátěži dojde k samovolnému prokluzování kol podvozku. Druhá baterie tedy bude napájet řídicí jednotku a servomotory.

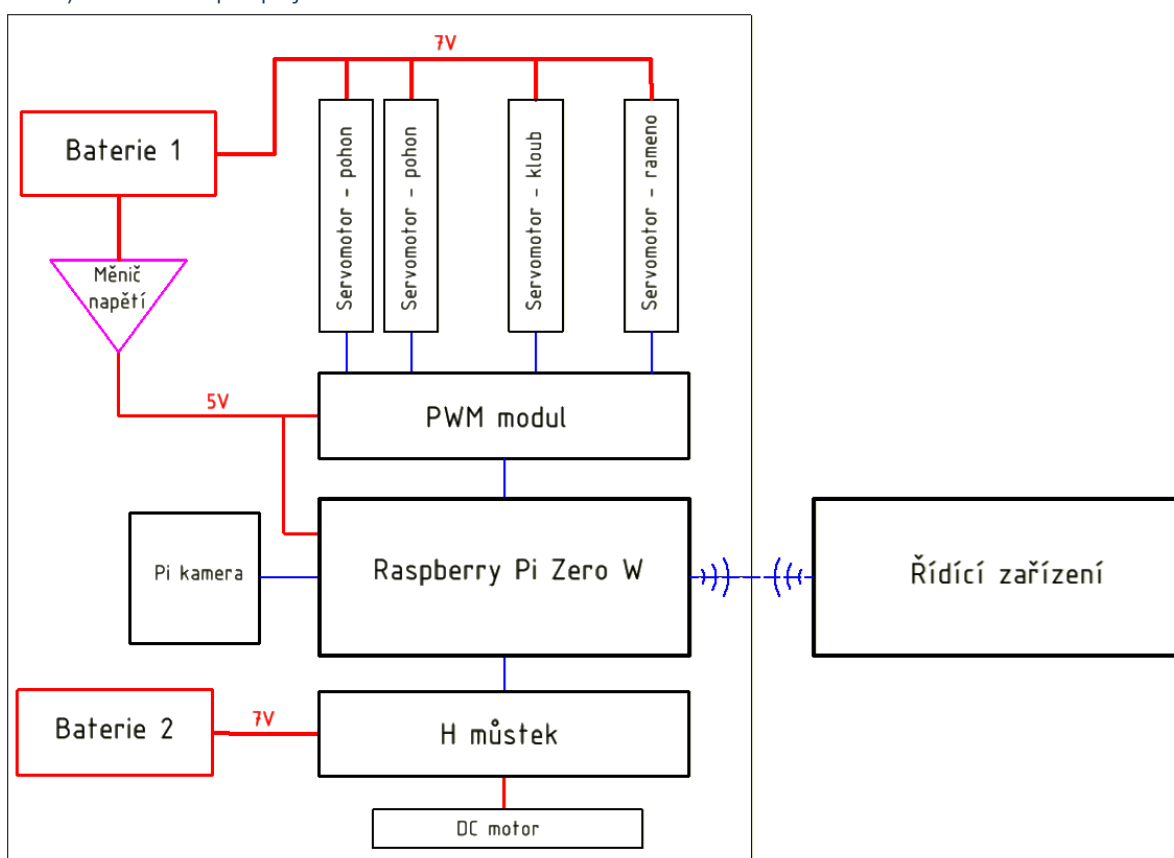
j) Měníč napětí

Řídící jednotka vyžaduje napájení 5 V. Jelikož baterie poskytují napětí 7,2 V je nutné využít měnič napětí. V prvním konceptu využiji Mini SMD step-down měnič.

Tabulka 8 Specifikace měniče napětí [22]

Název	Mini SMD step-down měnič
Výstupní napětí	5 V
Výstupní proud maximální	2 A bez chlazení
Rozměry	22 mm x 17,5 mm x 4,5 mm

k) Schéma propojení vnitřních součástí



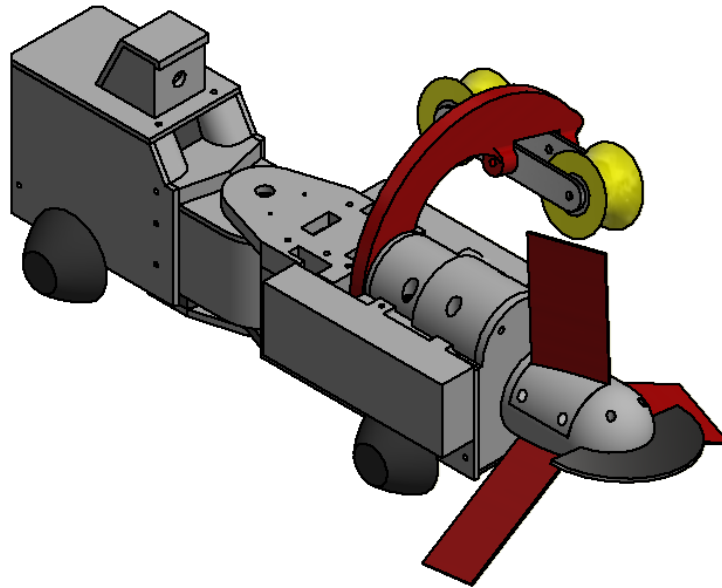
Obrázek 26 Schéma propojení vnitřních součástí

5.5 Modelování a výroba robota

Díky moderním technologiím se velmi zjednodušuje a zrychluje například i proces výroby prototypu. V tomto případě jsem k výrobě prototypu využil metodu 3D tisku, která mi umožnila značně urychlit proces výroby prototypu a zároveň jsem nemusel být limitován příliš jednoduchými modely, ale mohl jsem si dovolit části robota navrhovat jako složité modely.

Při modelování prototypu jsem kladl důraz především na mechanickou funkčnost a možnost otestování, zda zvolený podvozek a vymetací mechanismus splní mé požadavky. Z tohoto důvodu není prototyp voděodolný naopak je konstruován tak, aby byl snadný přístup k jednotlivým komponentám a byla možná jejich jednoduchá úprava či nahrazení za nové. Díky této myšlence mohu jednoduše upravit například kryt osy kol, aniž by bylo nutné tisknout nový celý přední segment. Pro zajištění dobré tuhosti jsou některé komponenty do sebe zaklesnuty pomocí výstupků

a pro spoje, kde není velké namáhání, jsem využil jednotný spojovací materiál – šroub do plechu DIN 7981C 2,2x9,5.



Obrázek 27 Celková sestava 1. prototypu robota

Pro tisk je využita 3D tiskárna Prusa i3 mk3S, která se řadí mezi lepší a přesnější, což mi umožní i tisk komponent jako jsou ozubené převody. Na tisk robota využiji převážně materiály PLA a PETG.

PLA

PLA je jedním z nejpoužívanějších materiálů, který nevyžaduje složitější nastavení tiskárny. Většina komponent robota bude tisknuta právě z PLA filamentu. [23]

- Snadný tisk
- Vhodný pro tisk větších komponent
- Snadná úprava

PETG CFJet carbon

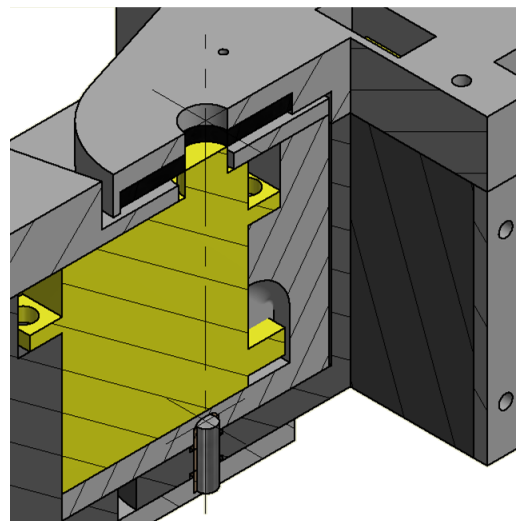
Tento materiál je pevnější a tužší než obyčejný PETG, jelikož obsahuje 20 % karbonových vláken [24]. Jeho pevnost využiji při tisknutí ozubených převodů, které samozřejmě po vytisknutí bude nutné dobrousit a začistit. Tyto převody nebudou dosahovat velké přesnosti, ale pro potřeby koncepčního modelu budou dostačující.

- Pevný
- Tvrdší než PLA

Následující část práce je věnována finálním řešením jednotlivých konstrukčních problémů a segmentů.

a) Kloub robota

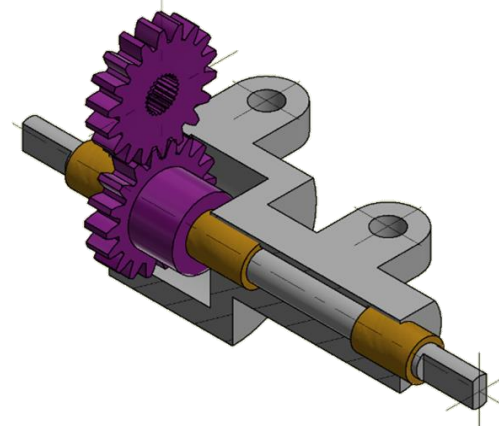
První a důležitou částí která nejvíce ovlivní tuhost a průchodnost robota je kloub mezi předním a zadním segmentem. Tento kloub musí umožňovat téměř 90° úhel zatočení. Servomotor je pevně přichycen k zadnímu segmentu robota. Na výstupní hřídel servomotoru je připojen horní kryt kloubu, který je zároveň přichycen k přednímu segmentu robota. Jak je vidět na Obrázek 28. Spodní část kloubu obsahuje ocelová pouzdra, ve kterých je umístěn čep kloubu. Tato konstrukce mi zajistí velmi dobrou tuhost celého kloubu robota.



Obrázek 28 Řez kloubem robota

b) Uchycení osy kol – náprava

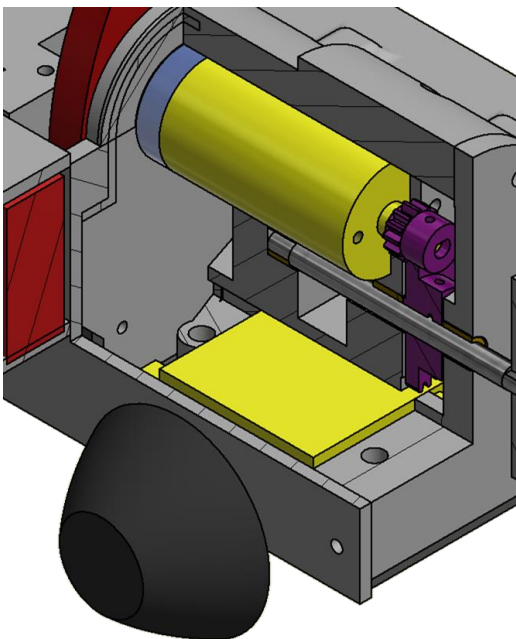
Správné uchycení osy kol jsem zajistil pomocí třech ocelových pouzder zalisovaných do každé nápravy (Obrázek 29). Celé těleso nápravy je odděleno od hlavní části segmentu, pro snadnou výměnu a kontrolu dílů. Na osu nápravy je pomocí zajišťovacího červíku přichyceno ozubené kolo, které zároveň zamezuje hřídeli v axiálním pohybu. Konce hřídele mají obdélníkový průřez pro snadné nasazení kol podvozku.



Obrázek 29 Detail uchycení osy kol

c) Přední segment

Dle návrhu musím do přední části umístit servomotor pro pomocné rameno, servomotor pro pohon podvozku a DC motor pro pohon vymetacího zařízení. Finální řešení umístění motorů, hřídele vymetacího mechanismu a ozubeného převodu je znázorněno na Obrázek 30. Servomotor pro pohon ramene je umístěn v zadní části předního segmentu.



Obrázek 30 Řez předním segmentem

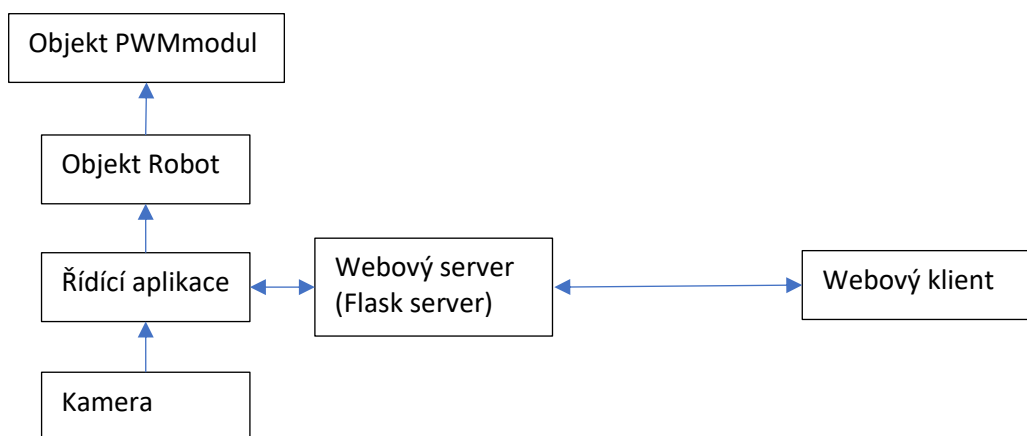
d) Zadní segment

Zadní segment robota je určen pro řídicí jednotku, H-můstek a měnič napětí. V horní části je nutné umístit kameru, která z této pozice bude schopna zobrazovat aktuální úhel zatočení robota, vzdálenost pomocného ramene od hrany žlabu a hrany tohoto žlabu. V případě potřeby konat s robotem revizní činnost je nutné otočit vrchní díl s kamerou, tak aby kamera směřovala za robota.

5.6 Software

Řízení robota musí být spolehlivé a uživatelsky komfortní. Proto je nutné vyvinout vhodný software pro řízení celého robota, který tyto požadavky splní. K řízení využiji chytrý mobilní telefon, čímž snížíme cenu za případný speciální ovladač.

Existuje více možností, jak docílit multiplatformního řešení. Jedna z možností je vyvinout ovládací aplikace na nejvyužívanější operační systémy mobilních telefonů. Tato možnost je vhodná pro finální řešení robota. První koncept robota má sloužit k analyzování jeho vlastností a jeho případným úpravám. Proto budu ovládání prvního konceptu řešit přes webový server, který bude spuštěn na platformě robota. Na tento server bude možné připojení z jakéhokoliv zařízení s webovým prohlížečem, čímž se velmi zjednoduší testování a úprava řídicího programu.



Obrázek 31 Schéma ovládání robota

Pro urychlení vývoje softwaru využiji veřejně dostupné fungující řešení [25], napsané v programovacím jazyce Python, které upravím dle svých požadavků.

Pokud dojde klientem ke změně některého z parametrů, Javascript pomocí knihovny socket.io [26] předá informaci webovému serveru, který ji zpracuje a dále předá Objektu Robot, který již zvládá ovládání jednotlivých akčních prvků (Obrázek 31).

a) Třída Robot

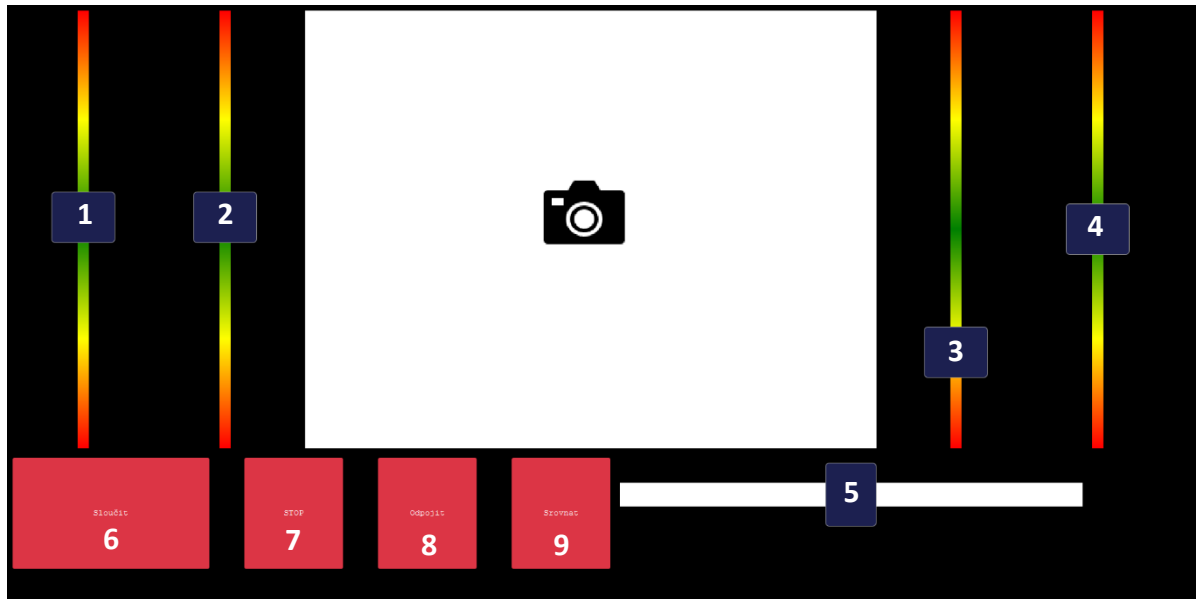
Řízení motorů obstarává třída Robot. Tuto třídu bude možné využít i ve finálním prototypu.

Při inicializaci objektu Robot dojde k nastavení jednotlivých GPIOpinů, inicializaci objektu PWMmodul a nastavení parametrů pro PWM signál. Třída robot obsahuje několik metod určených pro řízení robota.

Metody:

- rotor – na základě argumentu nastavuje rychlost DC motoru, který pohání vymetací zařízení
- pohon – na základě argumentu nastavuje rychlost a směr otáčení jednotlivých servomotorů určených pro pohon
- kloub – na základě argumentu natáčí servomotor ovládající kloub robota
- rameno – na základě argumentu nastavuje natočení ramene
- stop – slouží k okamžitému zastavení pohybu robota

b) Grafické uživatelské rozhraní (GUI)



Obrázek 32 Webové prostředí pro ovládání prototypu robota

Pomocí grafického uživatelského rozhraní musím být schopen lehce ovládat pohyb robota a zároveň sledovat přenos z kamery robota.

Funkce posuvníků a tlačítek (Obrázek 32)

1. Otáčky přední nápravy
2. Otáčky zadní nápravy
3. Natočení pomocného ramene
4. Otáčky vymetacího mechanismu
5. Natočení kloubu robota (zatáčení)
6. Tlačítko pro sjednocení posuvníků pro otáčky přední a zadní nápravy
7. Tlačítko Stop pro zastavení veškerého pohybu robota
8. Tlačítko pro odpojení od robota
9. Tlačítko pro srovnání kloubu pro přímý pohyb

Návrh webového prostředí, nastavení Flask serveru a snímání kamery jsem provedl tak, aby co nejvíce zjednodušilo testování prototypu. Zdrojové kódy celé řídicí aplikace by se pro finální verzi lišili, proto se jimi tato práce dále nebude zabývat.

5.7 Test robota, příprava na další iteraci návrhu

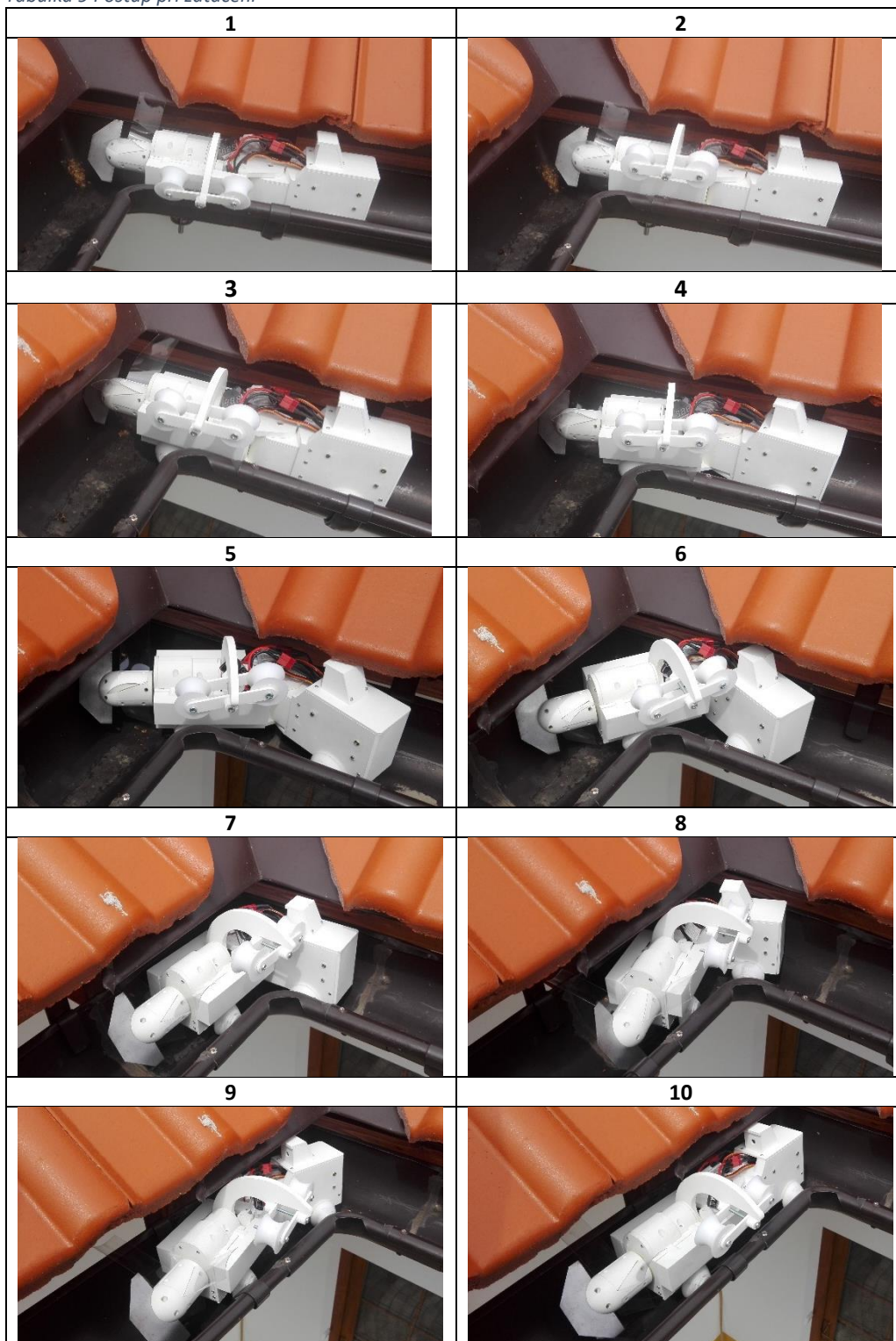
První testování proběhlo nejdříve v novém okapním žlabu, který byl přidělán k pracovnímu stolu. V této části testování proběhla zejména kontrola funkčnosti jednotlivých komponent a odladění komunikace robota s řídicím zařízením. Pro odladění komunikace byl k řízení nejprve využit počítač s operačním systémem Windows10, následně bylo odzkoušeno řízení robota z několika mobilních telefonů. Druhá část testování probíhala již v reálných podmínkách, konkrétněji v horizontálním okapním žlabu Dekrain robust.

a) Průjezdnost okapním žlabem

Základním požadavkem je schopnost pohybu v okapním žlabu. Tento pohyb robot v průběhu testování zvládal dobře i v případě vlhkého prostředí, avšak to již dochází k velkému prokluzování kol. Je nutné pro další prototyp zvolit jiný materiál kol.

Dalším velmi zásadním problémem je výška robota. V nejnvýše položených místech žlabu již docházelo ke tření krytu kamery o střešní krytinu. V případě použití v okapních žlebech s menším průměrem by výška robota byla zásadním problémem. Pro menší průměry žlabu, se špatně zahnutými přídržnými plechy, mohou také překážet kryty baterií.

Tabulka 9 Postup při zatáčení



b) Průjezdnost rohem okapního žlabu

Zásadní dovednost, nutná pro konkurenční schopnost, je možnost projetí rohem okapního žlabu. Jak můžeme vidět v Tabulka 9, projetí ve žlabu s průměrem 153 mm je možné, avšak velmi problematické. Po odstranění přední pomocné lopatky, již bylo zatočení plynulé. V případě menších průměrů žlabů by průjezd možný nebyl.

c) Vymetací mechanismus

Motor vymetacího mechanismu je příliš slabý pro vymetání těžších nečistot. Dále jsem v průběhu vymetání došel k závěru, že lopatky mechanismu jsou v prvním konceptu příliš měkké a ohebné, díky čemuž v průběhu vymetání dochází pouze k vymetání lehkého listí a podobných nečistot.

d) Úpravy pro další vývojový koncept

Problematický je celkový rozměr robota. Možné řešení může například být vytvoření třetího odděleného segmentu, který by obsahoval baterie a řídicí jednotku. Pomocné rameno by poté bylo přesunuto do části druhého segmentu, čímž by se výrazně zkrátila velikost prvního segmentu a tím i zlepšila průchodnost robota.

Pro lepší ovladatelnost je nutné změnit umístění kamery. Nejvhodnějším řešením by například bylo využití dvou kamer, jedné v přední části pro monitorování vymetacího mechanismu a druhé v zadní části, která by zajišťovala jednoduchou ovladatelnost při zatáčení a zvládala inspekční činnost.

Pro vymetací mechanismus je nutné vyrobit více možných prototypů a vyzkoušet různé materiály a tloušťky lopatek. Také je nutné zvolit silnější motor pro jeho pohon.

6 Závěr

Na základě rešeršní činnosti jsem zjistil, že doposud neexistuje žádný robot schopný čištění v celém okapním systému. Funkcí nejpodobnější jsou roboti určené pro pohyb v potrubí, avšak jejich konstrukce ve většině případů neumožňuje bezpečný pohyb v okapním žlabu. Existující robotické řešení umožňuje jednoduché čištění přímých částí, nicméně neumožňuje zatáčení ani pohyb ve vertikálním potrubí.

Nejdříve jsem si definoval schopnosti a vlastnosti robota, které je nutné, aby splňoval a zvládal pro pohyb v okapním systému. Nejdůležitější schopnosti, kterým jsem věnoval největší pozornost, jsou schopnost pohybu v okapním žlabu i v jeho rohu, možnost dálkové ovládní, schopnost čistit a možnost provádět jednoduchou inspekční činnost. V této části jsem také rozhodl o omezení robota pro pohyb v horizontálním směru.

Na základě analýzy využívaných konstrukcí robotů určených pro pohyb v potrubí, jsem zvolil mechanismus podvozku tak, aby byl schopný pohybu v okapním žlabu, byl schopný v něm zatáčet. Zároveň s mechanismem podvozku jsem navrhl způsob samotného čištění okapního žlabu a následně rozmístění jednotlivých komponent.

Poslední část této práce se zabývala samotnou výrobou prototypu, kdy jsem k výrobě jednotlivých dílů využil technologii 3Dtisku. Zajímavým poznatkem je poměrně vysoká přesnost 3Dtisku při správném nastavení, díky čemuž jsem mohl použít tuto technologii i pro tisk ozubení. Při vývoji a výrobě prototypu nebylo mojí snahou vytvořit finální fungující produkt, ale vytvořit prototyp, díky kterému budu schopný odzkoušet schopnost pohybu daného podvozku v okapním žlabu a funkčnost daného typu vymetacího mechanismu.

S výrobou prototypu souvisí i samotné naprogramování robota. Od zvoleného způsobu řešení ovládní (pomocí webového serveru) jsem nevyžadoval vysokou spolehlivost, avšak po správném odladění programu a hlavně komunikace mezi klientem a serverem, tento způsob řízení vyhovuje požadavkům, které by byly kladeny na řízení finálního výrobku. Samotná řídicí aplikace funguje spolehlivě a bylo by možné ji využít pro ovládní finálního řešení.

V průběhu testování jsem dospěl k závěru, že byl zvolen správný druh podvozku, který zvládá pohyb i ve vlhkém prostředí, ale pro lepší průchodnost je nutné zmenšit délku jednotlivých segmentů robota a případně robota o další segment rozšířit. Funkčním a nad očekávání prospěšným prvkem na robotovi je pomocné rameno, které mu při větší zátěži dodává stabilitu a zamezuje jeho protočení.

Tento návrh robota může posloužit jako základ pro průmyslový výzkum a vývoj robota, kdy tato práce a vytvořený prototyp dobře nastíní možná rizika a problémy, se kterými se bude muset budoucí vývojář vypořádat.

Seznam zdrojů

- [1] OKAPOVÝ SYSTÉM, Lakovaný. *ODVODŇOVACÍ SYSTÉMY 2020/05 Charakteristika systému* [online]. 2020 [vid. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://cdn1.idek.cz/dek/document/1100646517>
- [2] *Klempířské prvky a konstrukce - stavebnikomunita.cz* [online]. [vid. 2021-04-27]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/klempirske-prvky-a-konstrukce>
- [3] GARGADE, Atul A. a Dr. Shantipal S. OHOL. Development of In-pipe Inspection Robot. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* [online]. 2016. ISSN 2320334X. Dostupné z: doi:10.9790/1684-1304076472
- [4] WRIGHT, Cornell, Aaron JOHNSON, Aaron PECK, Zachary MCCORD, Allison NAAKTGEBOREN, Philip GIANFORTONI, Manuel GONZALEZ-RIVERO, Ross HATTON a Howie CHOSET. Design of a modular snake robot. In: *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* [online]. 2007, s. 2609–2614. ISBN 1424409128. Dostupné z: doi:10.1109/IROS.2007.4399617
- [5] LUK, B. L., A. A. COLLIE, D. S. COOKE a S. CHEN. *Walking and climbing service robots for safety inspection of nuclear reactor pressure vessels* [online]. B.m.: SAGE Publications Ltd. 2006. ISSN 00202940. Dostupné z: doi:10.1177/002029400603900201
- [6] TUR, Josep M.Mirats a William GARTHWAITE. Robotic devices for water main in-pipe inspection: A survey. *Journal of Field Robotics* [online]. 2010, 27(4), 491–508. ISSN 15564959. Dostupné z: doi:10.1002/rob.20347
- [7] OKAMOTO, Jun, Julio C. ADAMOWSKI, Marcos S.G. TSUZUKI, Flávio BUIOCHI a Claudio S. CAMERINI. Autonomous system for oil pipelines inspection. *Mechatronics* [online]. 1999, 9(7), 731–743. ISSN 09574158. Dostupné z: doi:10.1016/s0957-4158(99)00031-8
- [8] *Robotic Cutting | DrainsAid | Drain Repairs | Drains | Wakefield* [online]. [vid. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.drainsaid.com/commercial-drainage-services/robotic-cutting/>
- [9] TRUONG-THINH, Nguyen, Nguyen NGOC-PHUONG a Tuong PHUOC-THO. A study of pipe-cleaning and inspection robot. In: *2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2011* [online]. 2011, s. 2593–2598. ISBN 9781457721373. Dostupné z: doi:10.1109/ROBIO.2011.6181695
- [10] SALUNKE, Ajit, Swapnil RAMANI, Sujay SHIRODKAR, Osburn VAS a Kedar ACHARYA. Pipe Cleaning Robot. In: *2019 International Conference on Nascent Technologies in Engineering, ICNTE 2019 - Proceedings* [online]. 2019. ISBN 9781538691663. Dostupné z: doi:10.1109/ICNTE44896.2019.8945930
- [11] TREBUŇA, František, Ivan VIRGALA, Miroslav PÁSTOR, Tomáš LIPTÁK a Ľubica MIKOVÁ. An inspection of pipe by snake robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems* [online]. 2016. ISSN 17298814. Dostupné z: doi:10.1177/1729881416663668
- [12] *Robotický čistič okapů iRobot Looj 330 | RobotWorld.cz* [online]. [vid. 2020-11-23]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/irobot-looj-330>
- [13] IEEE 802.11. In: *Encyclopedia of Wireless Networks* [online]. B.m.: Springer International Publishing, 2020, s. 583–583. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-78262-1_300001

- [14] *LJF 2125mg Digital Servo Waterproof 180° 25kg Large Torque For Robot RC Car Boat buy on ZoodMall. LJF 2125mg Digital Servo Waterproof 180° 25kg Large Torque For Robot RC Car Boat: best prices, reviews, description.* [online]. [vid. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.zoodmall.com.lb/en/product/5926582/ljf-2125mg-digital-servo-waterproof-180-25kg-large-torque-for-robot-rc-car-boat/>
- [15] *Motor JGA25-370 12V s převodovkou.* | *laskarduino.cz* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/motor-jga25-370-12v-s-prevodovkou/>
- [16] *Raspberry Pi Zero W* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi/647-raspberry-pi-zero-w-4053199547425.html>
- [17] *Originální Vývojový kit Arduino Nano* | *dratek.cz* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1474-originalni-vyvojovy-kit-arduino-nano.html>
- [18] *Servo PWM Pi Zero - 16-channel, 12-bit PWM Controller* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.abelectronics.co.uk/p/72/servo-pwm-pi>
- [19] *Arduino H můstek pro krokový motor L298N Dual H Most DC* | *dratek.cz* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/877-arduino-h-mustek-pro-krokovy-motor-l298n-dual-h-most-dc.html>
- [20] *Raspberry Pi kamera V2* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/kategorie/329-raspberry-pi-kamera-modul-v2.html>
- [21] *Akumulátor VB Li-Pol 7,4V, 2200 mAh, 20C, VB Power* | *AirsoftGuns* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.airsoftguns.cz/akumulator-vb-li-pol-7-4v-2200-mah-20c-vb-power>
- [22] *Mini SMD step-down měnič 5V* | *laskarduino.cz* [online]. [vid. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/mini-smd-step-down-menic-5v/>
- [23] *PLA - bílá (1,75 mm; 1 kg)* | *Filament PM* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.filament-pm.cz/pla-bila-1-75-mm-1-kg/p61>
- [24] *PETG CFJet carbon - černá (1,75 mm; 0,5 kg)* | *Filament PM* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.filament-pm.cz/petg-cfjet-carbon-cerna-1-75-mm-0-5-kg/p41>
- [25] *GitHub - daydevelops/rpi_rover_tutorials* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: https://github.com/daydevelops/rpi_rover_tutorials
- [26] *Socket.IO* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://socket.io/>
- [27] *Detail okapu | Stavební právo, kontrolní listy, normy, příklady a doporučení pro oblast stavebnictví.* [online]. [vid. 2021-04-27]. Dostupné z: https://www.stavebniklub.cz/33/detail-okapu-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZxqzUYlp1AJILFjzSK3EIMo/
- [28] *Nová série lapačů střešních splavenin od HL Hutterer & Lechner - TZB-info* [online]. [vid. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/17169-nova-serie-lapacu-stresnich-splavenin-od-hl-hutterer-lechner>