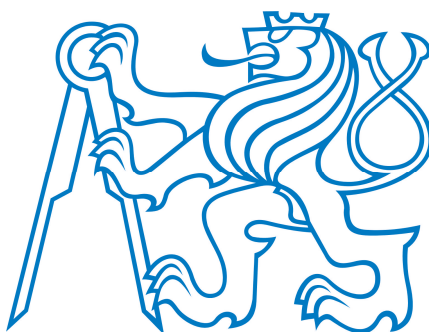


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav přístrojové a řídicí techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ROBOT PRO ČIŠTĚNÍ OKAPŮ

ROBOTIC EAVES CLENAER

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

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu této práce, panu doc. Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc, nápady a vstřícnost. Poděkování patří také celé mé rodině, která mi poskytovala po celou dobu zázemí, podporu a pomoc a bez nichž by tato práce nemohla vzniknout.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Herkommer** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **492473**
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:

Robotic eaves cleaner

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout robota, včetně řízení, pro dálkové čištění okapů. Robot musí být schopen i vertikálního pohybu a musí být přizpůsobený běžným rozměrům okapů.

Úkoly:

- 1) mechanický návrh, preference 3D tištěných dílů
- 2) výběr vhodných pohonů, motorů nebo serv, eventuálně senzorů, pokud se ukáží jako potřebné
- 3) realizace a experimentální ověření

Seznam doporučené literatury:

[1] Brauni, T.: Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems 3rd ed. 2008 Edition, Springer; 3rd ed. 2008 edition (October 24, 2008), ISBN-10: 3540705333

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Martin Novák, Ph.D. odbor elektrotechniky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce:



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



podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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.

2.5.2022

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Anotace

Tato práce se zabývá návrhem a následnou konstrukcí robota pro čištění okapů, který se oproti komerčním produktům vyznačuje možností vertikálního pohybu. Robot je schopen vyčistit okapový svod kruhového průřezu o průměru 100 mm, přičemž dosahuje rychlosti vertikálního pohybu 5,7 cm/s. Hmotnost činí 605 g, celková výška je 245 mm.

V úvodu práce je provedena rešerše již existujících výrobků určených k čištění okapů, a také robotů pro pohyb v potrubí. Dále se zabývá návrhem samotného robota, výběrem a popisem použitých součástí. V poslední části je experiment, který ověřuje funkčnost navrženého řešení.

Abstract

This thesis deals with designing and manufacturing of robotic eaves cleaner that is able to move in vertical direction unlike other commercial products. The robot is able to clean round tube with a diameter of 100 mm, vertical speed is 5,7 cm/s. The weight is 605 g, total height is 245 mm.

At the beginning of this bachelor thesis there is a research on existing products used for eaves cleaning as well as pipeline robots. The following part describes designing the robot and the selection of all the parts used. In the last section there is an experiment which proves the functionality of the newly designed device.

Obsah

1 Úvod	8
2 Teoretická část	9
2.1 Pracovní prostředí	9
2.2 Existující řešení	10
2.2.1 iRobot Looj 330	10
2.2.2 Sada na čištění potrubí a okapů Kärcher	11
2.2.3 Čistič okapů Fiskars QuikFit™	12
2.3 Způsoby čištění	13
2.4 Způsob pohybu	14
2.5 Výběr komponentů	16
2.5.1 Pohon roztahovacího mechanismu	16
2.5.2 Pohon kloubu	17
2.5.3 Pohon kartáče	17
2.5.4 Řídicí jednotka	17
2.5.5 Snímač proudu	18
2.5.6 Komunikace s dálkovým ovladačem	18
2.5.7 Pohon kol	18
2.5.8 Řízení motorů podvozku	20
2.6 Konstrukce	20
2.6.1 Podvozek	20
2.6.2 Pohon mechanismu	21
2.6.3 Čisticí kartáč	22
3 Praktická část	25
3.1 Servomotory MG995	25
3.2 Napájení	26
3.3 H-můstek	27
3.4 Stejnoseměrné motory	28
3.5 Snímač proudu	28
3.6 Bluetooth modul	29
3.7 Arduino	29
3.8 Komunikace telefon - Arduino	30
3.8.1 Telefon	31
3.8.2 Arduino	32

3.9 Experiment	33
3.9.1 Svislý pohyb	35
3.9.2 Překlápění	36
3.9.3 Vodorovný pohyb	37
3.9.4 Čištění	38
4 Závěr	39
Seznam použitého SW	43
Seznam příloh	44

1 Úvod

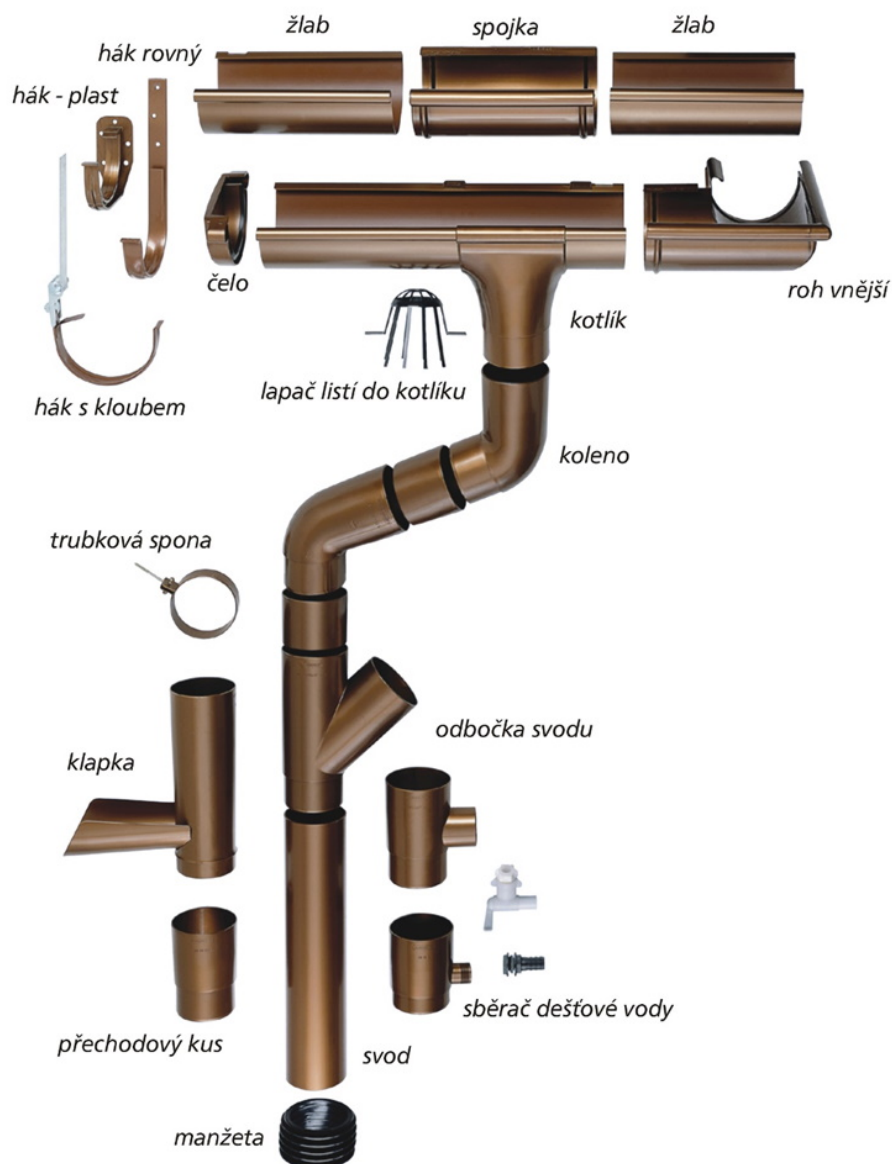
Okapy jsou dnes již nezbytnou součástí každého objektu. Působením vnějších povětrnostních a jiných vlivů ale často dochází k jejich znečištění, které může vést až k ucpání. Největší komplikací je fakt, že okapové žlaby bývají mnohdy umístěné ve výškách, a proto může být jejich manuální čištění obtížné a nebezpečné. Proto je vhodné tento proces zjednodušit použitím stroje.

Cílem této práce je navrhnout, zkonstruovat a následně sestavit robota na čištění okapů. Tento robot by měl usnadnit práci při čištění a také předejít vzniku nebezpečných situací při mechanickém čištění lidskou silou ve výškách. Požadavkem je, aby se zařízení pohybovalo nejen v horizontálním, ale i ve vertikálním směru - tedy aby jej bylo možné do okapu nasadit v bezpečném místě a zbytek práce nechat na robotovi. Dále je požadováno, aby byl robot přizpůsobitelný běžným rozměrům okapů z důvodu jejich variability. Mezi další požadavky patří, aby bylo možné zařízení ovládat na dálku. V neposlední řadě je vyžadováno, aby bylo co největší množství dílů vyrobeno metodou FDM 3D tisku z důvodu snadné dostupnosti této technologie.

2 Teoretická část

2.1 Pracovní prostředí

Nejprve je důležité říct, že tato práce se omezí na okapy kruhového průřezu. Robot by měl být použitelný pro určitá rozmezí průměrů okapů. V této části bude popsáno prostředí, ve kterém bude robot pracovat. Na základě těchto informací vzejdou požadavky na základní parametry robota.



Obr. 1: Přehled prvků okapového systému [1]

Jak je patrné z Obr. 1, okapní systém sestává z několika prvků. Přímo pod střechou budovy je na háčích umístěn okapový žlab. Důležité je, aby byl žlab montován tzv. do spádu, tedy aby voda odtékala správným směrem. Žlaby se vyrábí v určitých délkách a je-li potřeba delší žlab, použije se spojka propojující dva žlaby. V případě, že je žlab třeba uzavřít, aby

volným koncem nemohla vytékat voda na zem, použije se čelo. Naopak je-li žádoucí okap vést okolo budovy, využije se díl zvaný roh. Voda ze střechy je následně odváděna svodem buď do nádrže na dešťovou vodu, do sudu na zalévání nebo do odpadu. Na svodu může být dle potřeby umístěno koleno pro vytvoření záhybu.

Pro správný odtok vody je důležité, aby celý okapový systém byl čistý a průchodný. Znečištění a následné ucpání může být způsobeno z několika důvodů. Mezi nejčastější patří zanesení listím, mechy ze střechy, pískem a jinými nečistotami. V takovém případě je potřeba toto místo mechanicky zprůchodnit a přesně pro tyto účely by měl sloužit robot.

K ucpání většinou nedochází ve svodu, kromě jiného i vlivem působení gravitace. Naopak mezi nejčastější místa ucpání patří samotný žlab. Dá se tedy očekávat, že robot při vertikálním pohybu nebude muset překonávat pasivní odpory způsobené překážkami.

Práce robota by tedy měla spočívat v jeho nasazení do svodu, následném svislém pohybu vzhůru, překlopení do žlabu, kde by měl provést čištění. Po dokončení těchto úkonů by se opět měl přesunout zpět k operátorovi. Operátor resp. uživatel by měl mít po celou dobu nad robotem plnou kontrolu.

2.2 Existující řešení

V této části práce budou zmíněny již existující komerčně prodávané produkty určené k čištění okapů včetně jejich popisu. Je třeba zmínit, že i v dnešní době je čištění okapů prováděno primárně ručně. Proto ani nabídka zařízení pro pomoc s čištěním okapů není nikterak velká a na českém trhu jsou v současné době k dispozici tři produkty pro tento účel.

2.2.1 iRobot Looj 330

Dle výrobce se jedná o robotický čistič okapů. Přístroj je opatřen dvěma gumovými pásy, které obstarávají pohyb v okapovém žlabu. O samotné čištění se potom stará vpředu umístěný kartáč, který při procesu čištění rotuje a tím vyhazuje nečistoty. Dle polohy střechy lze měnit směr otáčení čistícího kartáče tak, aby nečistoty vyhazoval vždy mimo střechu.

Na těle robota se nachází několik tlačítek pro ovládání čistícího kartáče a pohyb pásů. Robota je ale možné ovládat i dálkovým ovladačem, který má dosah až 15 m [2].

Výhodou konstrukce zařízení je vodotěsnost, která umožňuje robota opláchnout zahradní hadicí po jeho použití. O napájení se stará lithium-iontový akumulátor o kapacitě 2600 mAh. Dle výrobce lze na jedno nabití vyčistit až 60 m okapu, a to v závislosti na míře znečištění. Především délkou robota je limitován jeho pohyb. Proto se může pohybovat pouze v přímých částech žlabu bez možnosti pohybu v okapových svodech. Z tohoto důvodu je potřeba jej nasadit přímo do žlabu např. ze žebříku. Výhody a nevýhody tohoto produktu jsou shrnuty níže.

Výhody

- + Vodotěsná konstrukce
- + Dálkové ovládání
- + Automatický mód

Nevýhody

- Nemožnost svislého pohybu a pohybu v rohu
- Nutnost nasadit robota ručně do žlabu
- Omezení kapacitou baterie



Obr. 2: Robotický čistič okapů iRobot Looj 330 [2]

2.2.2 Sada na čištění potrubí a okapů Kärcher

Jak již název napovídá, tato sada slouží nejen pro čištění okapů, ale lze ji využít také pro čištění trubek odpadů a podobně. Čištění probíhá pomocí vysokého tlaku vody, který je generován v tlakové myčce. Na hadici je poté připojena samotná čistící tryska.

Jak již bylo zmíněno výše, toto zařízení má více možných použití. Prvním je tryskání pomocí čtveřice zpětně směřovaných vysokotlakých paprsků, pomocí nichž lze čistit ucpané okapové svody či trubky s odpadem. Hlavice s tryskou je natlačena až za místo ucpání a následně je puštěn proud vody, který by měl ucpávku uvolnit [3]. Výhodou je, že znečištění následně odchází směrem k místu vložení hadice, proto dochází k posunu nečistot směrem k obsluze. Druhou možností využití je uplatnění v okapovém žlabu. Jedná se o pojezdový vozík, ke kterému je připojena hadice. Voda proudící hadicí pod vysokým tlakem je usměrněna pomocí několika trysek, které se starají o pohyb a zároveň i o čištění. Díky hadici o délce 20 m není třeba čištění provádět ze žebříku, ale například ze země. Shrnutí výhod i nevýhod je uvedeno níže.

Výhody

- + Jednoduchost použití
- + Možnost čištění svodů i žlabů
- + Čištění i odpadových trubek

Nevýhody

- Nepořádek ze stříkající vody
- Nutnost zásahu uživatele
- Nutnost vlastnit tlakovou myčku



Obr. 3: Čistič okapů a potrubí Kärcher [3]

2.2.3 Čistič okapů Fiskars QuikFit™

V tomto případě nelze hovořit o robotickém zařízení, neboť jde o mechanický čistič s násadou. Na teleskopickou tyč se připevní čisticí hlavice, na které je z jedné strany umístěn kartáč a z druhé plastová škrabka. Pouhým povolením šroubu lze nastavit potřebnou polohu škrabky i kartáče. S teleskopickou násadou lze dosáhnout celkové délky až 400 cm, díky čemuž se dá čištění provádět ze země bez nutnosti použití žebříku.

Čištění následně probíhá tak, že se s hlavicí posouvá do míst, která mají být vyčištěna. Touto sadou lze čistit pouze žlaby, nikoliv svody, což je dáno především velikostí čisticí hlavy, ale i konstrukcí násady. Plusy a mínusy tohoto řešení jsou shrnuty níže.

Výhody

- + Jednoduchost použití
- + Dosah až do výšky 600 cm
- + Snadná údržba

Nevýhody

- Nemožnost čištění svodů
- Nemožnost kontroly kvality vyčištění
- Manipulace při velkém vysunutí tyče



Obr. 4: Čistič okapů a Fiskars QuikFit™ [4]

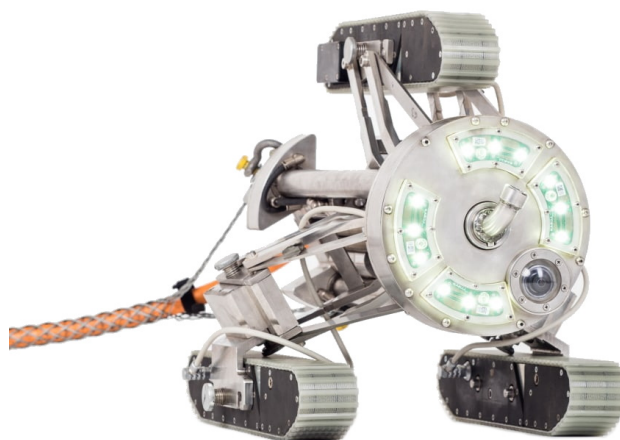
2.3 Způsoby čištění

Profesionální průmyslové systémy využívají pro čištění potrubí nejčastěji vysoký tlak vody. Ten zároveň slouží i pro pohyb čisticí hlavice vlivem reakční síly proudu vody. Příkladem může být čisticí systém na okapy a potrubí od firmy *Kärcher*. Ten používá čtveřici zpětně směřovaných vysokotlakých trysek pro odstraňování nečistot a zároveň pro pohyb. Nevýhodou tohoto řešení je však potřeba vlastnit vysokotlakou myčku. Dalším způsobem je čištění stlačeným vzduchem, nicméně i zde je potřeba mít další příslušenství (např. kompresor).

V konstrukci, kterou řeší tato práce, je kladen důraz na jednoduchost, proto vysokotlaké čištění jakýmkoliv médiem není vhodné. 3D tisk metodou FDM z materiálu PLA standardně nezajišťuje vodotěsnost dílů, proto je možné, že by stříkající voda zatekla do útrob robota, kde by následně mohlo dojít k poškození elektroniky. Dalším důvodem, proč není vhodné využít technologii vysokotlakého čištění, je omezený rozpočet a zástavbové rozměry. Je požadováno využívat běžně dostupné součástky určené pro hobby použití.

Firmy zabývající se prodejem robotů určených k inspekci potrubí nabízejí modely, které jsou určeny pro minimální průměr trubky 200 mm. Takovým příkladem může být *JettyRobot S* od české firmy JettyRobot (viz. Obr 5). Původně byl navržen k čištění klimatizačních potrubí metodou tryskání suchým ledem [5]. Od té doby prošel vývojem a dnes je vhodný pro celou škálu použití.

Průměry okapových svodů se však pohybují okolo 100 mm [1], proto musí být kladen důraz na minimalizaci rozměrů robota. Z výše popsaných důvodů se jeví jako nejlepší způsob mechanické čištění pomocí kartáče, podobné tomu, které používá *iRobot Looj 330* (Obr. 2). Toto řešení by mělo zachovat jednoduchost konstrukce a navíc odpadá nutnost použití dalšího příslušenství (hadice s vodou, stlačeným vzduchem). Pro pohon kartáče stačí pouze motor konající rotační pohyb.



Obr. 5: Robot pro inspekci potrubí JettyRobot S [5]

2.4 Způsob pohybu

Jak již bylo popsáno výše, robot musí být přizpůsobitelný určitému rozsahu průměrů okapových svodů. Toto rozmezí bude vycházet ze zatím neznámých konstrukčních omezení a velikosti použitých součástí. Dále je požadováno, aby byl robot schopen i svislého pohybu v trubce. Aby bylo možné realizovat pohyb, je třeba, aby byly hnací části v kontaktu s vnitřní stěnou svodu a vytvořily přítlak na tuto stěnu. K vytvoření přítlaku bude nutné použít určitý druh rozpěrného mechanismu. Přitlačením vznikne normálová síla kolmá na stěnu a směřující do osy potrubí. V závislosti na velikosti součinitele tření f následně vznikne třecí síla F_T , která zajistí, že robot nespadne, případně bude schopen pohybu vzhůru.

Řešení bude principiálně shodné se způsobem roztahování u robota *JettyRobot S*. Lze ale předpokládat, že kvůli jednoduchosti i úspoře místa budou místo pásů využita kola. Základní podmínkou statické rovnováhy, tedy pro to, aby robot nespadol, je, že výslednice všech třecích sil $\sum F_T$ musí být právě rovna tíhové síle G . Tíhová síla G je dána součinem celkové hmotnosti robota m a gravitačního zrychlení g . Toto lze vyjádřit jako:

$$\sum F_T = G, \quad (1)$$

tedy

$$f \cdot \sum F_N = m \cdot g. \quad (2)$$

Krouticí moment M_K pohonu je ovlivněn velikostí třecí síly F_T . Pro vytvoření pohybu je třeba, aby podíl krouticího momentu M_K a ramene obvodové síly r překonal třecí sílu F_T . Musí tedy platit

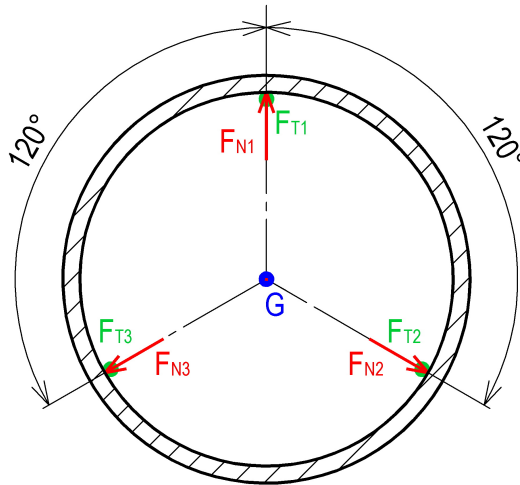
$$\frac{M_K}{r} \geq F_T. \quad (3)$$

Dále je třeba kontrolovat a ovládat velikost normálové síly F_N . Pokud by překonala určitou mez, mohl by nastat případ, kdy velikost obvodové síly způsobené krouticím momentem M_K pohonu již nebude dostačující pro překonání třecí síly způsobené přítlakem, a tak k pohybu vůbec nedojde.

Z hlediska mechanického namáhání všech dílů je výhodné, aby při co nejmenší normálové síle vznikala třecí síla maximální velikosti. Součinitel tření f je závislý především na dvou parametrech. Prvním je drsnost povrchů, které po sobě třou a tím druhým jsou materiály, ze kterých jsou obě tělesa zhotovena. Materiál okapu není předem znám, proto nelze velikost jeho součinitele tření ovlivnit. Stejně tak není možné nikterak ovlivnit drsnost povrchů, proto zbývá poslední možnost, a tou je volba materiálu pro pohon.

Jak již bylo zmíněno výše, snahou je nalézt takový materiál, jehož poměr třecí a normálové síly bude co nejvyšší. I přesto, že nelze uvést přesnou hodnotu součinitele smykového tření, neboť nebyla pro tuto kombinaci materiálů změřena, dá se obecně říci, že jako nejvhodnější materiál se jeví pryž, neboť hodnoty součinitele tření jsou ve srovnání s ostatními materiály vyšší [6]. Jelikož se očekává pohyb v okapových systémech kruhových průřezů, je třeba

tomuto přizpůsobit rozložení a způsob pohybu pohonu. Jelikož kružnice je určena právě třemi body, bylo navrženo, že i pohon bude mít s okapem styk ve třech bodech.



Obr. 6: Rozklad sil při přitlaku

Nezávislými parametry bude v tomto případě trojice sil F_{N1} , F_{N2} a F_{N3} . Z Obr. 6 je patrné, že díky symetrii bude platit

$$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_T = F_N \cdot f. \quad (4)$$

Dále z podmínky statické rovnováhy ve směru osy, kde působí tíhová síla lze psát

$$3 \cdot F_T - G = 0. \quad (5)$$

Tedy pro velikost třecí síly platí

$$F_T = \frac{G}{3}. \quad (6)$$

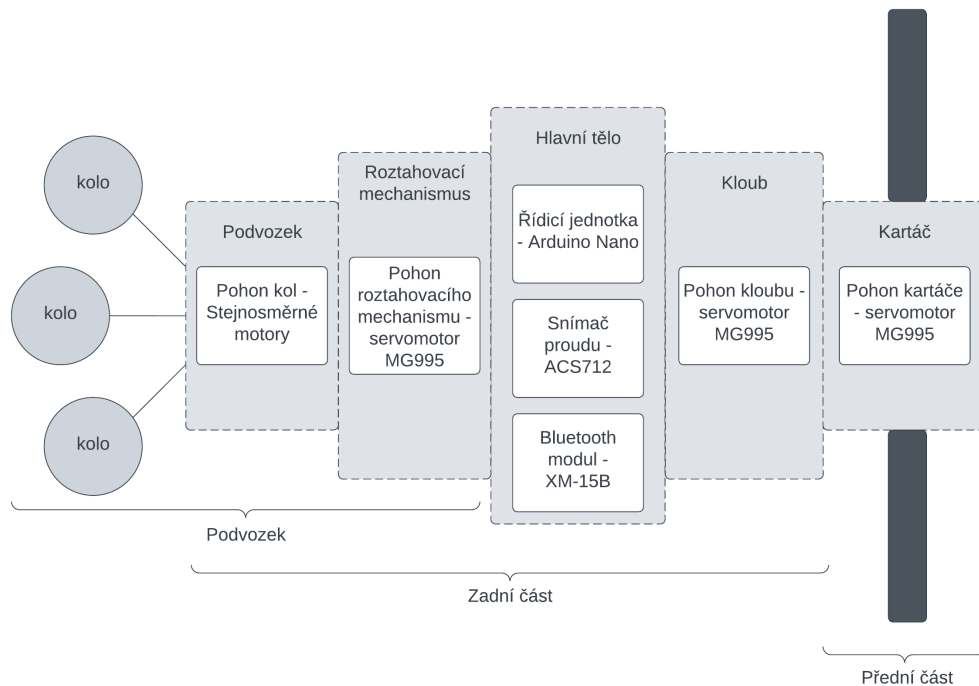
Pokud tedy bude známa hmotnost celého robota, bude možné navrhnout velikost třecí síly potřebné k udržení robota v rovnováze a z té následně dopočítat potřebnou velikost krouticího momentu pohonu. Tento moment je zásadní pro návrh motoru. Potřebný krouticí moment motoru se vypočítá jako

$$M_K = F_T \cdot r = \frac{G}{3} \cdot r, \quad (7)$$

kde r je rameno třecí síly (poloměr hnacího kola).

2.5 Výběr komponentů

K tomu, aby bylo možné vybrat motory na pohon kol, je třeba znát celkovou hmotnost robota, která je závislá na hmotnostech použitých dílů. Proto v této části budou vybrány a popsány jednotlivé součásti robota.



Obr. 7: Schéma jednotlivých částí robota

2.5.1 Pohon roztahovacího mechanismu

Pro pohon roztahovacího podvozku byl vybrán šroubový mechanismus. Jeho výhodou je jednoduchost a také samosvornost [7]. Kvůli silovým poměrům mezi maticí a šroubem nemůže dojít k situaci, že by vnější síla způsobila zatažení podvozku. Z důvodu dostupnosti byl pro účely pohybového šroubu zvolen metrický závit velikosti M6 namísto běžněji používaného lichoběžníkového závitu. Manipulace s podvozkem je tedy možná pouze pohybem šroubu.

Je vhodné, aby bylo možné jednoduše řídit rychlost roztahování či zatahování mechanismu. Pokud by byl použit stejnosměrný motor s převodovkou, bylo by nutné zařadit řídicí obvod, tzv. H-můstek, sloužící k přepólování motoru a jeho rotaci v obou směrech. Z těchto důvodů byl vybrán servomotor MG995. Ten již disponuje integrovanou elektronikou, proto řízení tohoto motoru probíhá pouze pomocí jednoho vodiče. Tento motor bude následně nutné upravit tak, aby byl schopen rotace o 360°. Navíc jsou tyto motory dodávány s celou řadou servo pák, což výrazně usnadňuje mechanické připevnění dalších částí na hřídel tohoto motoru.

2.5.2 Pohon kloubu

Vzhledem k požadavku, že robot musí být schopen i svislého pohybu, bylo vhodné rozdělit konstrukci na dvě části. Zadní, ke které bude připojen roztahovací podvozek, a přední, na které bude čistící kartáč. Tyto části budou spojeny motoricky ovládaným kloubem, který bude zajišťovat natočení přední části vůči zadní, což umožní přechod mezi svislým potrubím a okapovým žlabem. Kloub by měl zároveň zajistit i průchodnost v potrubích s úhlovými koleny. Rotace bude probíhat v rozsahu přibližně 90°. Proto bude i zde použit servomotor MG995. Ten díky zpětné vazbě umožňuje natočit výstupní hřídel na žádaný úhel.

2.5.3 Pohon kartáče

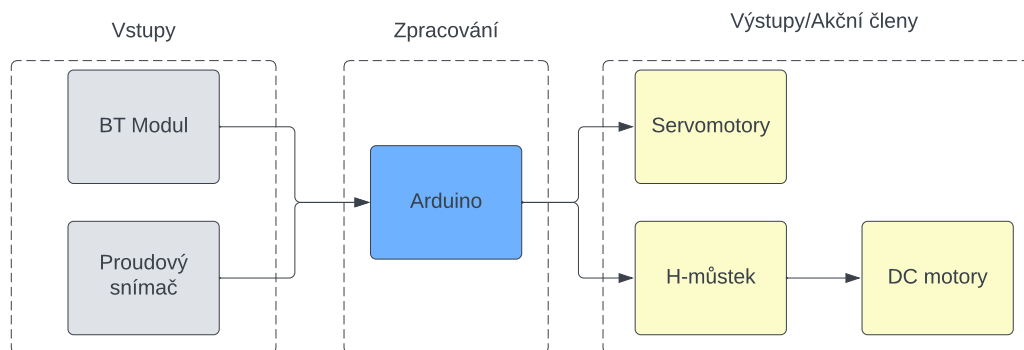
Od kartáče se očekává především dostatečný krouticí moment k tomu, aby byl schopen vyhodit nečistoty z okapního systému. I v tomto případě byl zvolen servomotor MG995.

Tab. 1: Parametry motoru MG995 [8]

Rozměry [mm]	41x20x43
Napětí [V]	4,8-7,2
Hmotnost [g]	55
Rychlost [s/60°]	0,17
Krouticí moment [kgcm]	9,4

2.5.4 Řídicí jednotka

Tato část bude mozkiem celého zařízení a bude se starat o přijímání příkazů z ovladače a zajišťovat řízení motorů. Z důvodu stísněných pracovních prostor je vhodné, aby byly rozměry řídicí jednotky co nejmenší. Pro tyto účely byl vybrán jednočipový mikropočítač Arduino Nano s procesorem ATmega328P. Tento mikrokontrolér disponuje 22 digitálními vstupně-výstupními piny, z nichž 8 pinů lze použít jako analogové vstupy a 6 pinů umožňuje PWM, tedy pulzně šířkovou modulaci [9]. Schéma řízení celého procesu je patrné z Obr. 8.



Obr. 8: Blokové schéma řízení

2.5.5 Snímač proudu

Při roztahování podvozku je třeba detekovat správnou přítlačnou sílu kol ke stěnám trubky. Toto lze realizovat několika způsoby, například měřením krouticího momentu, síly či jiných veličin. Zde bylo zvoleno měření proudu, který odebírá motor ovládající mechanismus. Proud totiž přímo ovlivňuje krouticí moment motoru. Proud při kontaktu se stěnou trubky naroste, a na základě informace o velikosti tohoto proudu lze rozpínání podvozku ukončit. Zvolen byl modul pro měření stejnosměrného proudu ACS712. Ten se vyrábí v několika verzích v závislosti na maximální hodnotě snímaného proudu [10]. Platí, že nižší rozsah znamená vyšší citlivost měření, proto byl zvolen nejnižší dostupný rozsah 5 A.

2.5.6 Komunikace s dálkovým ovladačem

Robot bude dálkově ovládán jednak z důvodu komfortu, jednak také proto, aby byl minimalizován potřebný počet vodičů mezi robotem a operátorem. Bylo rozhodnuto, že ovládání bude realizováno aplikací v mobilním telefonu s operačním systémem Android. Komunikace bude probíhat bezdrátově pomocí bluetooth. Jelikož deska Arduino Nano nepodporuje v základu bluetooth, bude k ní připojen bluetooth modul, který bude přijímat data z telefonu a pomocí sběrnice UART je bude odesílat do Arduino desky. Jedná se o modul pro bluetooth komunikaci XM-15B TTL s čipem HC-05.

2.5.7 Pohon kol

Pro výpočet potřebného krouticího momentu motoru je třeba znát celkovou hmotnost robota, nicméně tu ovlivňuje i hmotnost motorů, které dosud nejsou známy. Proto se dospělo k rozhodnutí provést přibližný výpočet hmotnosti robota bez hmotností neznámých motorů. Hmotnosti některých dílů byly známy, hmotnost 3D tištěných dílů byla odhadnuta tak, že byl vytvořen válec o průměru 90 mm a výšce 60 mm. Tento model byl následně vložen do sliceru pro 3D tisk. Poté byla nastavena očekávaná hodnota výplně, z čehož program vypočítal očekávanou spotřebu, a tím i hmotnost materiálu. Do Tab. 2 jsou zapsány očekávané hmotnosti jednotlivých částí robota.

Tab. 2: Hmotnosti jednotlivých komponentů

Komponenty	počet kusů	hmotnost 1 ks [g]	celková hmotnost [g]
Servomotor MG995	3	55	165
Arduino Nano	1	7	7
3D tisk	1	500	500
Proudový snímač	1	4	4
Bluetooth modul	1	4	4
H-můstek	2	26	52
Celkem	-	-	732

V tuto chvíli je známa přibližná hmotnost celého robota. Podrobný postup, jak se docílilo výsledku, je popsán níže.

Z přibližné hmotnosti robota vyplývá tíhová síla

$$G = m \cdot g = 732 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \doteq 7 \text{ N}. \quad (8)$$

V případě, že by hmotnost byla podhodnocena, bylo rozhodnuto, že k tíhové síle bude připočítána 20% rezerva.

$$1,2G = G \cdot 1,2 = 7 \cdot 1,2 \doteq 8 \text{ N}. \quad (9)$$

Jak již bylo uvedeno výše, podvozek robota bude v kontaktu se stěnou trubky ve 3 bodech. Nyní lze určit tíhovou sílu působící na jedno kolo jako

$$G_{kolo} = \frac{1,2G}{3} = \frac{8}{3} \doteq 3 \text{ N}. \quad (10)$$

Z rovnice 7 pro výpočet momentu zbývá jedna neznámá, kterou je poloměr kola r . Ten byl zvolen na hodnotu $r = 14 \text{ mm}$. Nyní lze určit krouticí moment

$$M_K = G_{kolo} \cdot r = 3 \cdot 14 = 42 \text{ Nmm}. \quad (11)$$

Pro usnadnění práce při výběru pohonu je vhodné vypočítaný moment převést na jednotku $gfcm$, v níž jsou uváděny momenty většiny modelářských motorů. Konstanta pro převod z jednotek Nmm na $gfcm$ je přibližně 10,197 [11].

$$M_{Kgfcm} = M_K \cdot 10,197 = 42 \cdot 10,197 \doteq 430 \text{ gfcm} \quad (12)$$

Pro větší přehlednost byly výsledky výpočtu shrnuty v Tab. 3.

Tab. 3: Parametry motorů

Tíhová síla G [N]	7
Rezerva 20% [N]	8
Poloměr kola r [mm]	14
Síla F na jedno kolo [N]	3
Moment na kolo M_k [Nmm]	42
Přepočet na [gfcm]	430

Především na základě vypočítaného krouticího momentu a dostupného sortimentu byl vybrán stejnosměrný motor s převodovkou o převodovém poměru 1:48. Ten poskytuje krouticí moment o velikosti 800 gfcm, což téměř dvojnásobně převyšuje vypočítanou hodnotu. Rozsah napájecího napětí je 3 až 6 V [12].

2.5.8 Řízení motorů podvozku

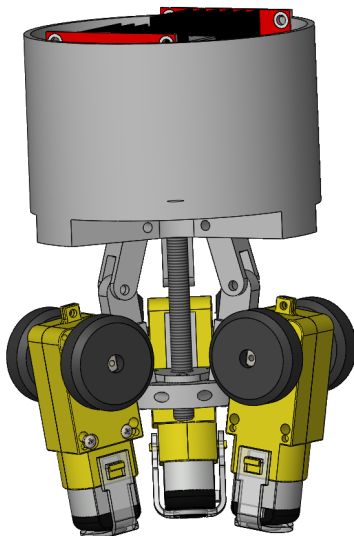
Pohyb robota musí být umožněn v obou směrech a je zároveň výhodné mít možnost ovládat i rychlost pohybu. Z tohoto důvodu musí být motory připojeny k tzv. H-můstku, který se stará o ovládání směru a rychlosti motorů. Zde bude použit modul L298N. Tento modul umožňuje řídit 2 motory, u každého z nich nezávisle nastavit směr a také rychlost otáčení. Pro řízení celkem 3 motorů musí být tedy použity 2 moduly H-můstku.

2.6 Konstrukce

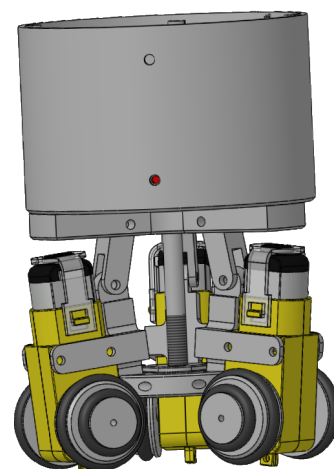
Na základě úvah o konceptu celého zařízení a výběru všech potřebných komponentů se mohlo přistoupit k vytvoření 3D modelu sestavy. Toto je nezbytné nejen z důvodu vizualizace celku, ale modely budou následně využity pro 3D tisk. Koncept byl takový, že všechny elektronické součástky budou umístěny do hlavního těla robota, které bude mít kruhový tvar. To zajistí optimální vyplnění místa v okapovém svodu.

2.6.1 Podvozek

Podvozek je tvořen celkem třemi motory upevněnými k ramenům mechanismu. Celý mechanismus potom tvoří šestice ramen spojených klouby tvořenými z hlazené oceli. Matice šroubového mechanismu je upevněna v platformě, která spojuje tři ramena pomocí kloubů. V prvním konceptu byly motory umístěny tak, že jejich hřídele byly blíže k tělu robota, takže tělesa motorů výrazně přesahovala jeho obrys. Tento koncept by mohl být problematický při překlápění z okapového svodu do žlabu, neboť by mohlo dojít k uvíznutí robota o těla motorů ve svodu. Z tohoto důvodu byla zvolena varianta s motory otočenými o 180° oproti původní konfiguraci. Tímto bude dosaženo, že poslední částí robota, která bude v kontaktu s okapovým svodem, bude přímo kolo motoru. Takto by nemělo docházet ke kolizím.



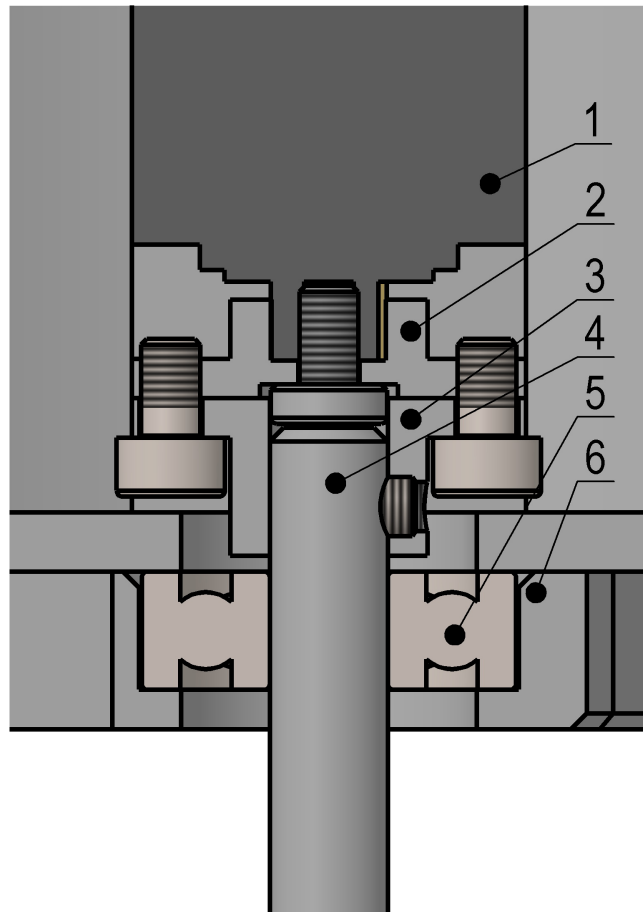
Obr. 9: Původní koncept



Obr. 10: Nový koncept

2.6.2 Pohon mechanismu

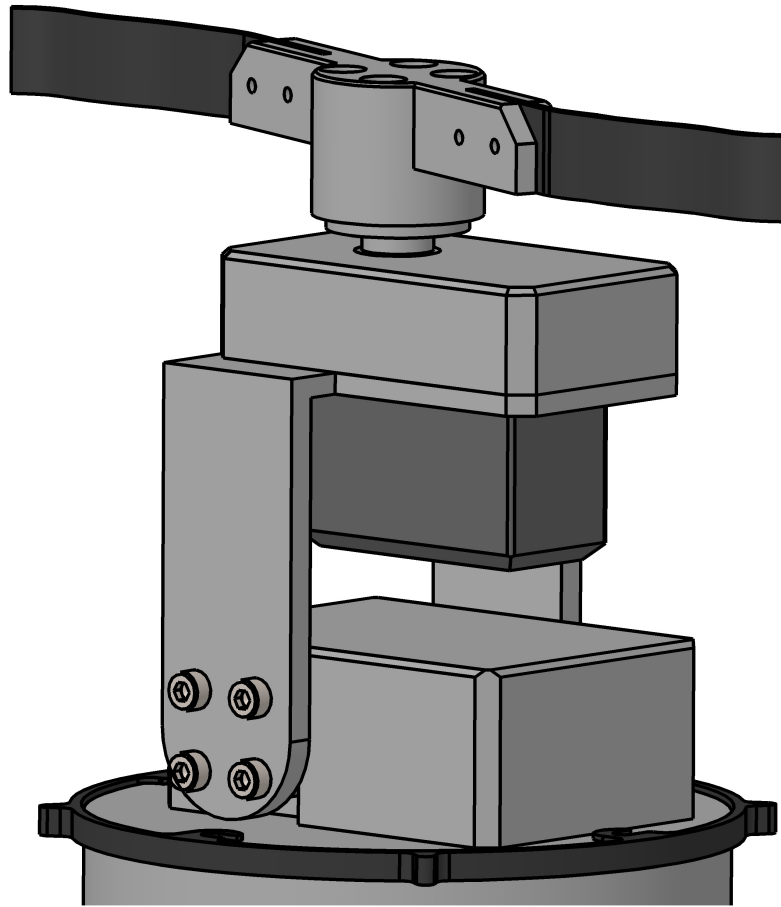
Jak již bylo popsáno výše, na pohon šroubu pro celý mechanismus je využit servomotor MG995 (1), na jehož hřídeli je nasazena servo páka (2), která je spojena s přírubou (3) upevňující pohybový šroub (4). V konzole (6), která slouží jako rám, ve kterém jsou uloženy všechny klouby ramen, je umístěno jednořadé radiální kuličkové ložisko 626 (5), které zajišťuje vedení šroubu. Detail řezu je na Obr. 11.



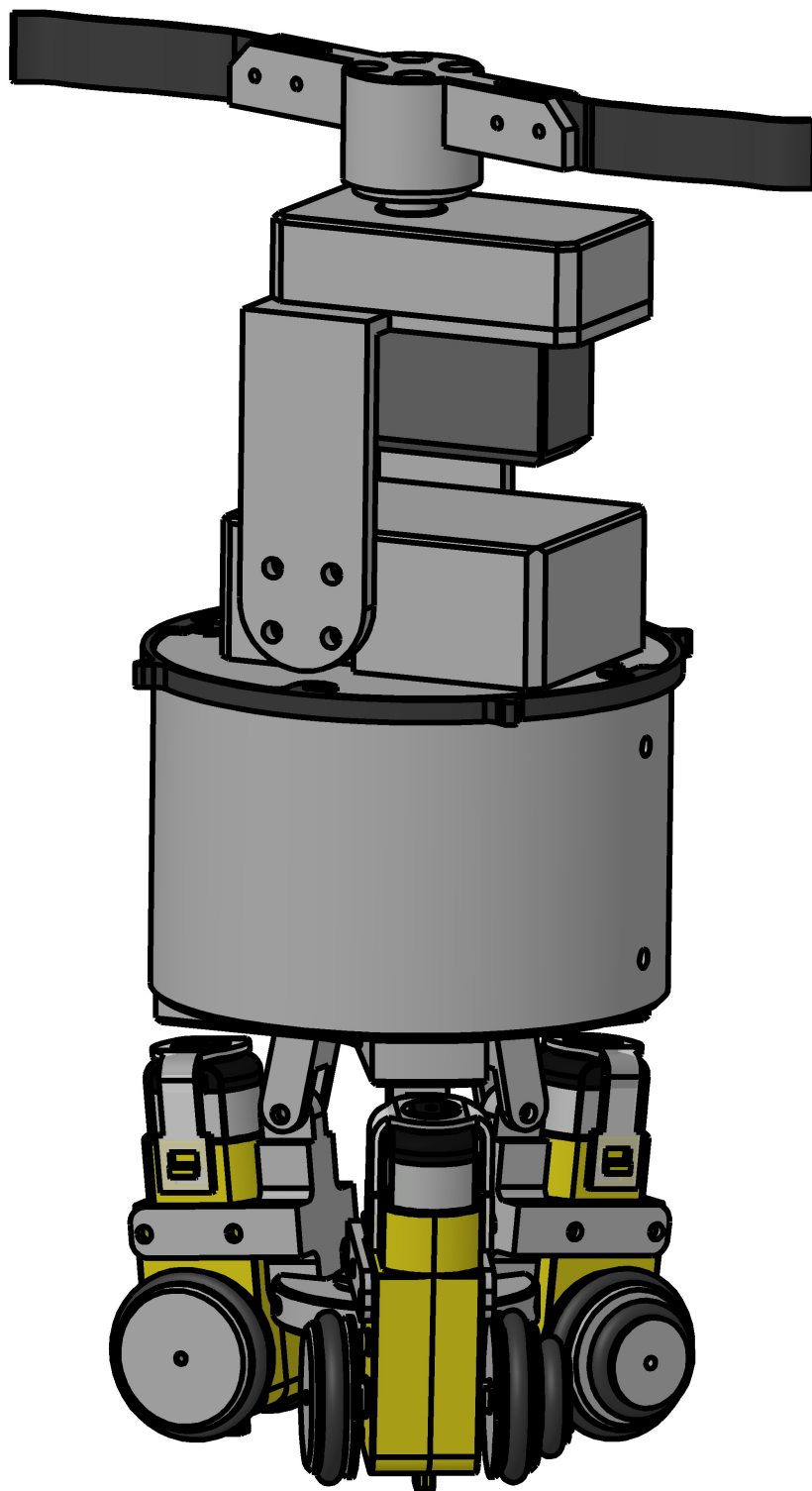
Obr. 11: Řez uložením šroubu

2.6.3 Čisticí kartáč

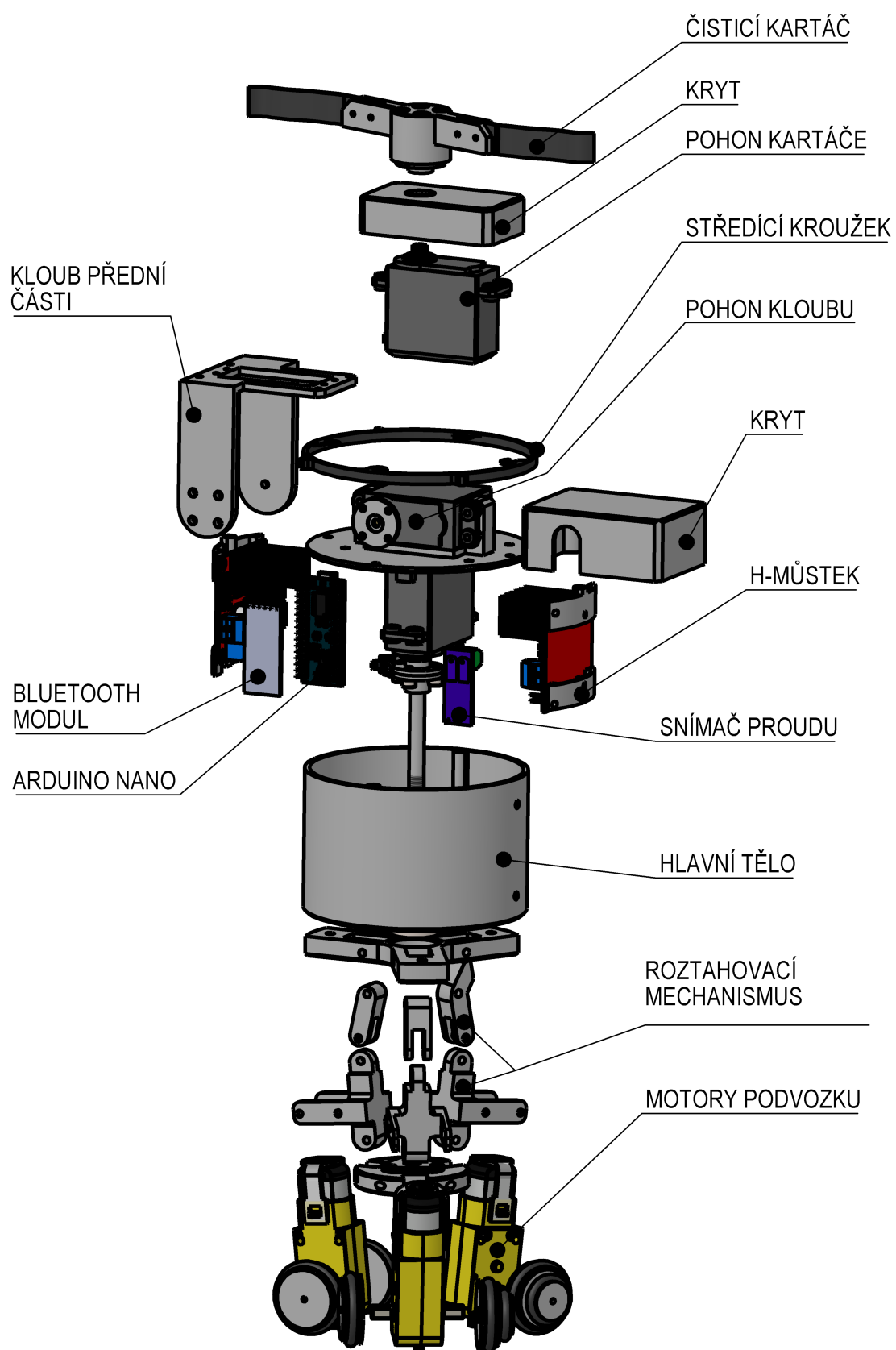
V přední části robota se nachází kartáč, který se stará o odstranění nečistot v okapovém systému. Tento čisticí prvek je připevněn na motoricky ovládaném kloubu. Kvůli asymetrickému umístění hřídele servomotoru nelze natáčení kloubu vůči svislé poloze provádět na obě strany. Docházelo by totiž ke kolizi ramena kloubu se samotným motorem. Proto je rozsah otáčení programově omezen na 90° pouze v jednom směru. Na konci kartáče jsou připevněny 2 gumové desky, které obstarávají samotné čištění.



Obr. 12: Čisticí kartáč robota



Obr. 13: Celkový pohled na robota



Obr. 14: Rozložený pohled

3 Praktická část

Po návrhu jednotlivých součástí bylo možné přistoupit k jejich výrobě. Většina dílů je zhotovena technologií FDM 3D tisku z materiálu PLA, z důvodu snadné dostupnosti tohoto materiálu.



Obr. 15: Dokončený robot

3.1 Servomotory MG995

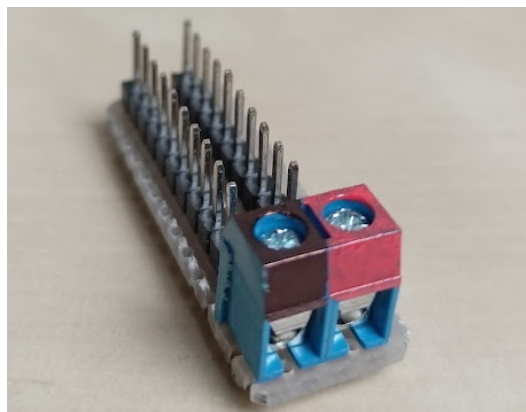
Použité servomotory MG995 se dodávají v několika verzích. Ty se liší v rozsahu rotace. Standardně jsou motory určeny pro rotaci v rozsahu cca 180°. V této konstrukci jsou ale potřeba dva motory (pro roztahování podvozku a pro pohon kartáče) s rozsahem rotace 360°. Bylo tedy třeba motory upravit - odstranit plastový kryt a vyjmout z ozubeného kola převodovky ocelový kolík, který slouží jako doraz pro omezení rotace, a následně vyjmout potenciometr, který obstarává zpětnou vazbu v podobě úhlu natočení výstupní hřídele.

Následně se místo potenciometru zapojí dva rezistory o hodnotě 2200Ω , které budou sloužit jako napěťový dělič, a přibližně odpovídají odporu, který by vznikl natočením potenciometru do poloviny své dráhy. Ovládání servomotorů probíhá pomocí zápisu požadovaného úhlu natočení výstupní hřídele v rozsahu $\langle 0^\circ; 180^\circ \rangle$. Nicméně v tomto případě hodnota 90° znamená, že servomotor stojí, a jakékoliv jiné hodnoty znamenají pohyb na jednu či druhou stranu. Čím dále je číslo od neutrální polohy 90° , tím vyšší otáčky motoru jsou [13]. To je způsobeno proporcionální složkou integrovaného spojitého regulátoru, který zvyšuje akční veličinu (rychlost otáčení motoru) v závislosti na velikosti regulační odchylky ve snaze dosáhnout co nejrychleji žádané hodnoty.

3.2 Napájení

Z důvodu úspory hmotnosti a zachování jednoduchosti bylo voleno napájení pomocí kabelu. Zařízení by bylo mobilnější při použití akumulátoru, nicméně by narostly celkové rozměry, a tím i hmotnost robota. Napájení je do těla robota přivedeno pomocí konektoru, který má ochranu proti vytržení. V případě nouze tedy lze robota vytáhnout za kabel.

Vzhledem k tomu, že potřebný počet napájecích pinů výrazně převyšuje možnosti desky Arduino, byl vytvořen napájecí "rozvaděč". Ten byl zhotoven na desce univerzálního plošného spoje. Obsahuje svorkovnici, do které se připojí vodiče vedoucí od konektoru, který se stará o napájení veškeré elektroniky umístěné v robotu. Dále jsou zde Dupont kolíkové lišty, přičemž na celou pravou řadu je přivedeno napájecí napětí a na levou řadu zemní potenciál. Celkem se zde nachází 10 přípojních bodů pro všechny periferie. Výhodou je, že všechny elektronické součástky mají téměř shodný rozsah napájecího napětí, a není tak třeba používat další měniče pro zvyšování či snižování napětí. Je nutné zajistit, aby napájecí napětí na přívodním kabelu bylo v rozmezí 5 až 5,5 V (vysvětlení viz. kapitola 3.7). Optimální je napětí přibližně v polovině uvedeného rozsahu, neboť dochází k úbytku napětí ve vodiči vlivem jeho odporu. Vodiče propojující konektor a rozvaděč mají patřičný průřez takový, aby se nadměrně nezahřívaly při průchodu proudu.



Obr. 16: Napájecí rozvaděč

3.3 H-můstek

H-můstek je obecně označení zapojení se čtyřmi spínacími prvky, které umožňuje přepólování bez nutnosti přepojování vodičů [14]. V tomto případě se jedná o integrovaný obvod, který se stará o řízení stejnosměrných motorů, které slouží jako pohon robota. Jedná se o zapojení se čtyřmi tranzistory, které umožňují přepólování motorů, a tím změnu směru otáčení. Modul disponuje třemi svorkovnicemi. Dvojice svorkovnic slouží pro připojení dvou vodičů, do nichž se zapojí motory. Třetí svorkovnice je určena k zapojení tří vodičů, kdy jedním z nich je vodič GND, tedy zem, další je vodič pro napájení řídicí elektroniky (5 V), a poslední vodič slouží přímo pro napájení motorů. Maximální napájecí napětí pro motory je až 35 V [15]. Dále je modul opatřen několika vstupy pro ovládání motorů, které jsou označeny následovně:

- ENA - ovládání otáček prvního výstupu
- IN1 - vstup pro ovládání prvního motoru
- IN2 - vstup pro ovládání prvního motoru
- IN3 - vstup pro ovládání druhého motoru
- IN4 - vstup pro ovládání druhého motoru
- ENB - ovládání otáček prvního výstupu

Ovládání všech těchto vstupů je zajištěno pomocí mikrokontroléru Arduino Nano. Regulace otáček u stejnosměrných motorů probíhá pomocí změny napájecího napětí. K těmto účelům slouží vstupy ENA a ENB. Tyto vstupy jsou ovládány PWM piny Arduina. Na uvedené piny je možné programově přivést napětí v rozmezí 0 až 5 V odpovídající úrovním v rozsahu 0 až 255. Směr otáčení motorů závisí na hodnotách napětí na vstupech IN1, IN2, IN3 a IN4. Jelikož se jedná o TTL logiku, znamená to, že 0 V odpovídá logické 0, a +5 V logické 1. Tedy pokud je na vstupu IN1 logická 1 a na vstupu IN2 logická 0, motor se otáčí na jednu stranu. Pokud je tomu naopak, motor se točí na druhou stranu. Totéž platí pro vstupy IN3 a IN4. Z výše popsaného vyplývá, že se jedná o logickou funkci XOR, jejíž pravdivostní tabulka je uvedena níže (Tab. 4). V případě, že na obou vstupech je buď logická 0 nebo logická 1, motor stojí. Pohyb motorů je navíc podmíněn tím, že napětí na vstupu ENA, resp. ENB musí být vyšší než 0 V.

Tab. 4: Pravdivostní tabulka logické funkce XOR

IN1 (IN3)	IN2 (IN4)	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

3.4 Stejnoseměrné motory

V této konstrukci jsou použity celkem 3 stejnosměrné motory. K dispozici byly 2 motory použité, a jeden nový. Po jejich zapojení, a vyzkoušení bylo zjištěno, že se jeden motor točí pomaleji než zbylé dva. Z obavy, že by neshoda v otáčkách mohla způsobit problémy při pohybu v okapovém svodu, bylo třeba tento problém hlouběji prozkoumat.

První domněnkou bylo, že jeden motor má převodovku s jiným převodovým poměrem, neboť se tyto motory vyrábějí v několika verzích s odlišnými převodovkami. Pro ověření této domněnky, že rozdíl otáček je skutečný, a nejedná se pouze o optickou iluzi, bylo natočeno krátké video pohybu jednotlivých motorů. Na hřídele všech motorů již byla připevněna kola, která byla opatřena značkou tak, aby bylo možné ve videu následně identifikovat polohu každého kola. Z analýzy videa vyplynulo, že rozdíl otáček mezi jednotlivými motory byl přibližně 20 %. To ale neodpovídalo rozdílu v převodových poměrech jednotlivých vyráběných verzí motorů.

Proto byl následně změřen odpor vinutí na terminálech motorů a tento rozdíl byl právě 20 %. Z tohoto bylo patrné, že dva použité motory byly ze starší výrobní šarže, kdy byly používány motory s jiným odporem vinutí. Proto bylo přikročeno ke koupi 3 ks nových motorů.

U těchto motorů byl rozdíl odporů vinutí a tím i rozdíl otáček maximálně 2 %, což již bylo přijatelné.

3.5 Snímač proudu

Jedná se v podstatě o ampérmetr umístěný v sériovém zapojení se servomotorem ovládajícím roztahovací mechanismus podvozku. Tento modul je Arduino-kompatibilní, což znamená, že má napěťový výstup v rozsahu 0 až 5 V. Pokud snímačem neprotéká žádný proud, vrací hodnotu, která odpovídá přesně polovině celkového rozsahu napětí [16]. Tedy pokud protéká snímačem kladný elektrický proud, je na jeho výstupu napětí 2,5 až 5 V v závislosti na velikosti protékajícího proudu. Naopak pokud je proud záporný, na výstupu snímače se objevuje napětí 0 až 2,5 V.

Výstup z tohoto snímače je přiveden na analogový pin desky Arduino. Následně je tato analogová hodnota převedena pomocí 10-bitového A/D převodníku na digitální hodnotu v rozsahu 0 až 1023. Tedy hodnota 512 (polovina rozsahu) znamená, že snímačem, resp. motorem neprotéká žádný proud. Hodnota vyšší než 512 odpovídá kladnému proudu, hodnota nižší znamená záporný elektrický proud. Na základě informace o velikosti proudu protékajícího motorem lze rozpoznat optimální přítlak kol ke stěně trubky, a ukončit tak roztahování podvozku.

Podrobnějšímu popisu i s praktickou ukázkou se věnuje kapitola 3.9.

3.6 Bluetooth modul

Tento modul je určený pro komunikaci s mobilním telefonem, kterým bude robot ovládán. Komunikace s Arduino deskou probíhá pomocí komunikačního protokolu UART (Universal asynchronous receiver-transmitter). Pro funkčnost modulu v dané aplikaci stačí připojit vodiče pouze na 4 piny, a to VCC, GND, RX, TX. Piny VCC a GND obstarávají napájení modulu. Vzhledem k tomu, že je tento modul TTL, je napájecí napětí 5 V. Piny RX a TX potom slouží pro samotnou komunikaci [17].

3.7 Arduino

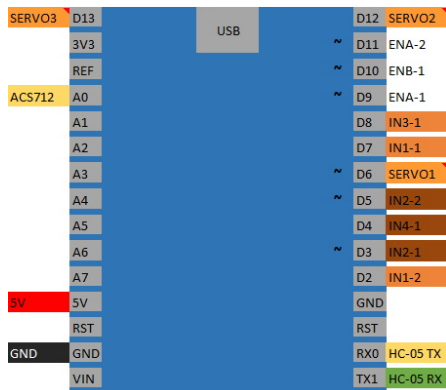
Jak již bylo zmíněno dříve, řízení celého robota bude zajišťovat mikrokontrolér Arduino Nano. Z důvodu shody napájecího napětí u většiny součástek (5 V) by bylo výhodné toto napětí využít i pro napájení desky Arduino. Typické vstupní napájecí napětí je však v rozmezí 7 až 12 V na pinu označeném VIN, což by v tomto případě znamenalo nutnost použití zvyšujícího měniče napětí. Napájení je zde proto přivedeno na pin 5V. Hrozí zde však nebezpečí zničení mikrokontroléru, neboť pin je přiveden přímo na procesor ATmega328P, který tak není chráněn například proti přepólování či vyššímu napětí než 5,5 V [18]. **Proto je velmi důležité, aby napájecí napětí nepřesáhlo tuto hodnotu!**

Před samotným zapojením bylo sestaveno schéma pro vytvoření představy, jak bude výsledné zapojení vypadat. Na analogový pin A0 je připojen výstup z proudového snímače ACS712. Nicméně jak je patrné z Obr. 18, oproti původnímu zapojení muselo dojít k několika změnám. První změnou bylo jiné zapojení komunikačních vodičů bluetooth modulu. Ačkoliv piny 0 a 1 na Arduino jsou přímo určeny pro komunikaci UART, jsou využívány i pro komunikaci po sériové lince s PC, která je navázána minimálně při nahrávání programu do desky Arduino. Pokud byl připojen bluetooth modul, nebylo možné do desky nahrát nový program. Z důvodu potřeby častého nahrávání programu při testování bylo rozhodnuto o přepojení komunikačních vodičů bluetooth modulu. To znamenalo použití Arduino knihovny SoftwareSerial, která umožňuje obsluhovat sériovou komunikaci na libovolně zvolených pinech [19].

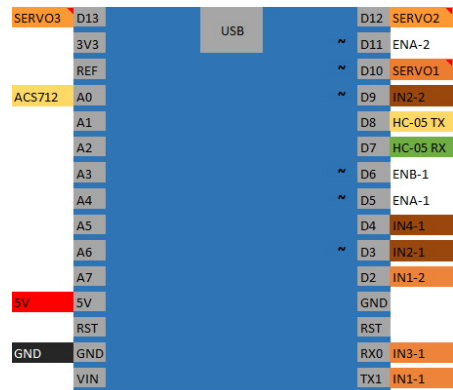
Další úpravou zapojení byl přesun vodičů pro ovládání otáček druhého a třetího DC motoru. Robot totiž nebyl schopen vertikálního pohybu v případě, že byly sníženy otáčky pomocí nastavení PWM střídavy na hodnotu nižší než 255.

Po vyjmutí robota z okapové roury bylo zjištěno, že hřídele dvou motorů se při nastavení jiných než maximálních otáček vůbec netočí. Vodiče pro regulaci otáček byly připojeny na piny 9 a 10. V dokumentaci k Arduino knihovně Servo se píše, že pokud je tato knihovna použita a byl zavolán příkaz `servo.attach()`, je znemožněna funkce PWM na pinech 9 a 10. To je z důvodu, že servomotory jsou ovládány krátkými pulzy. Pro generování těchto pulzů je využíván stejný časovač, který obsluhuje PWM modulaci [13]. Dále se zde uvádí, že po zavolání příkazu `servo.detach()` by se měla opět funkčnost PWM výstupů na těchto pinech

obnovit. Nicméně po krátkém hledání bylo zjištěno, že tato knihovna obsahuje chybu, která způsobuje, že PWM funkce nejsou ani po zavolání zmíněného příkazu k dispozici. Po přepojení těchto vodičů na jiné dva piny s podporou PWM již všechno fungovalo správně.



Obr. 17: Původní schéma zapojení do Arduina



Obr. 18: Nové schéma zapojení do Arduina

3.8 Komunikace telefon - Arduino

Pro ovládání robota je třeba komunikace mezi bluetooth modulem a mobilním telefonem. Cílem komunikace je zajistit ovládání všech potřebných prvků. Dále má být jednoduchá a přehledná. Proto bylo přistoupeno k odesílání číselných hodnot. Tato čísla reprezentují určité příkazy, případně rozsahy daných hodnot. V případě, že by byly odesílány textové řetězce, byla by práce s rozsahy složitější. Další výhodou tohoto způsobu komunikace je jednoduché zpracování v programu pro Arduino pomocí funkce *Serial.parseInt()*. Jednotlivé číselné hodnoty s vysvětlivkami jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5: Přehled navržené komunikace

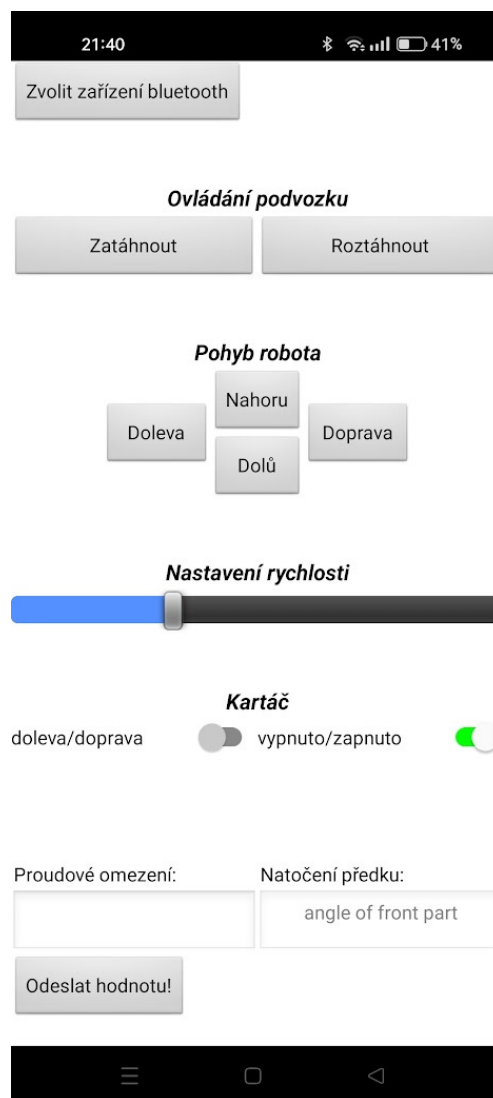
Prvek	Příkaz	Význam
Kola	-1	zastavit
	1	otáčení doprava
	2	otáčení doleva
Podvozek	88	zatáhnout
	92	zastavit
	96	roztáhnout
	100 až 255	rychlost kol
Kartáč	300	zastavit
	301	otáčení doprava
	302	otáčení doleva
Kloub	400	zastavit
	401	otáčení doprava
	402	otáčení doleva

Jak je patrné z Tab. 5, příkazy pro jednotlivé prvky jsou logicky členěny. Pro přehlednost bylo voleno odstupňování po stovkách. To umožňuje snadnou orientaci v příkazech. V případě potřeby je zde velká rezerva pro přidání dalších příkazů.

S výhodou je zde použit rozsah pro nastavení rychlosti kol podvozku. Rozsah přímo odpovídá velikosti PWM střídny, kterou je pomocí Arduina nastavena rychlost otáčení kol. Odpadá tak nutnost přepočtu na jiný rozsah.

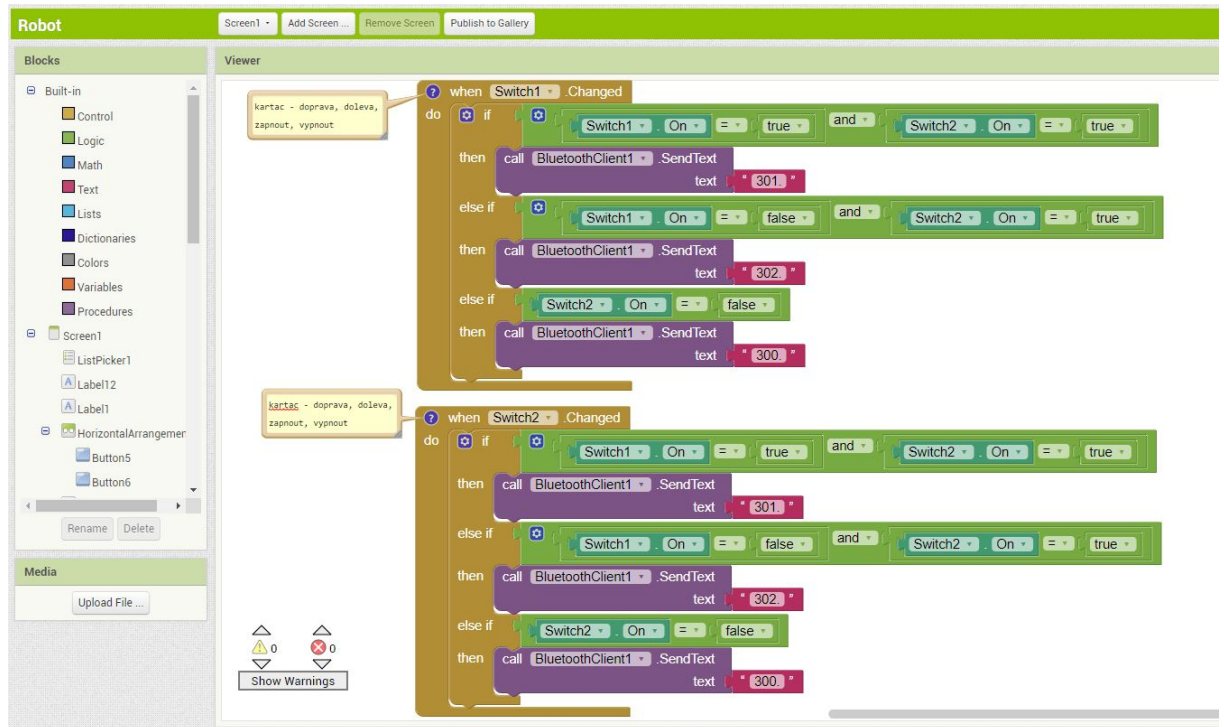
3.8.1 Telefon

Aplikace pro telefon byla vytvořena ve webové aplikaci MIT App Inventor, která umožňuje tvorbu aplikací pro OS Android pro různé účely. Samotná aplikace podporuje bluetooth komunikaci, což je pro dané účely nutné. První část tvorby spočívá ve vytvoření grafického prostředí aplikace. Vyskytuje se zde celá škála prvků - od nadpisů a štítků, přes tlačítka až po posuvníky.



Obr. 19: Aplikace pro ovládání robota

Ve druhé části se pomocí jednotlivých bloků programuje chování aplikace. Aplikace umožňuje nastavit chování podle událostí, například při zmáčknutí či puštění tlačítka, při změně polohy posuvníků, apod. Data jsou odesílána na základě zmáčknutí, či puštění tlačítek, při změně polohy posuvníku dojde k odeslání informace o otáčkách stejnosměrných motorů. Za odeslaným číslem je vždy doplněn jeden nečíselný znak, v tomto případě jde o znak “.” (vysvětleno dále).



Obr. 20: Ukázka blokového programu v prostředí MIT App Inventor

3.8.2 Arduino

Jak již bylo zmíněno výše, příjem dat z telefonu, respektive bluetooth modulu, probíhá pomocí integrované funkce *Serial.parseInt()*, která je volána v případě, kdy je zjištěno, že je na sériové lince k dispozici nějaká informace. Tato funkce slouží k prohledávání číselného řetězce, tedy proměnných typu int. Tento typ proměnné umožňuje uložit celočíselné hodnoty v rozsahu $\langle -32768; 32768 \rangle$ [20]. Tato funkce je zastavena, pokud vyprší časový limit jejího běhu, či pokud dojde k přečtení nečíselné hodnoty. Z tohoto důvodu je vždy za číslem odeslán znak “.”.

Struktura programu je velmi jednoduchá. Na základě přijaté hodnoty ze sériové linky je zavolána příslušná předem vytvořená funkce, která se stará o ovládání jednotlivých prvků. Po puštění tlačítka na telefonu je vždy odeslána hodnota, která zajistí zastavení daného pohybu.

3.9 Experiment

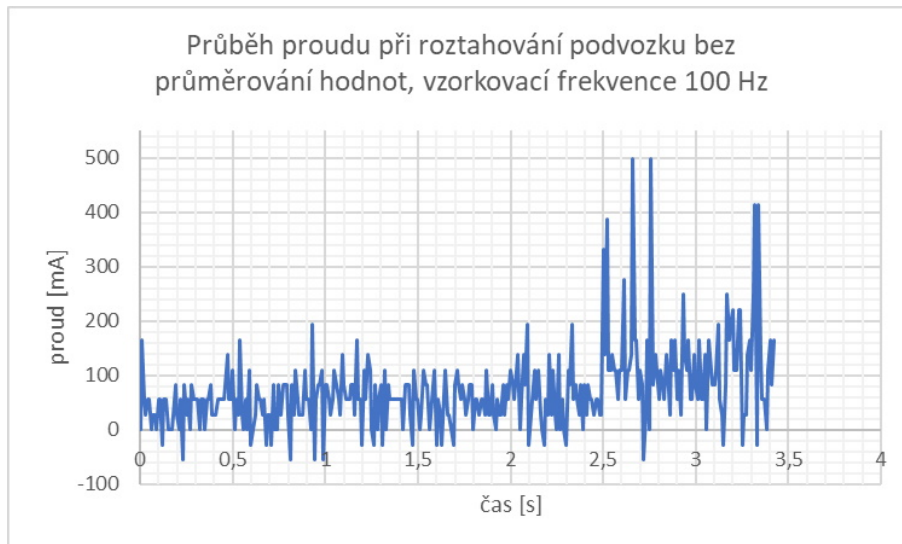
Pro potřeby testování pohybu v okapovém systému byl sestaven model okapu. Ten sestává z cca 60 cm dlouhé svislé okapové roury světlosti DN100, která vyústí uje v horizontální okapový žlab o délce 100 cm.



Obr. 21: Testovací model okapu

Kvůli délce robota není možné, aby dosahoval okapový svod až k zemi, musí končit cca 20 cm nad úrovní země, aby bylo možné robota do roury nasadit. Postup je tedy takový, že robot je umístěn do spodní části okapové roury, kde je rukou přidržen, aby mohla být roztahována kolečka, která následně zajišťují přítlak ke stěně. Díky přítomnosti proudového snímače se obsluha nemusí starat o načasování vypnutí roztahovacího procesu, neboť roztahování je při rozpoznání optimálního přítlaku automaticky ukončeno. Navíc pokud by byl přítlak nevyhovující, lze jej kdykoliv v mobilní aplikaci jednoduše přenastavit.

Při měření proudu je velmi důležitá zvolená vzorkovací frekvence, která je závislá na počtu měření a na časových úsecích mezi jednotlivými měřeními. Vhodné je proud změřit několikrát v krátkém intervalu a následně vypočítat aritmetický průměr. Na grafu 1 je vyobrazeno měření proudu při roztahování ve svodu bez průměrování naměřených hodnot při vzorkovací frekvenci 100 Hz. Jak je patrné, průběh je velmi neuhlazený. Výrazné zákmity nemusí být způsobeny pouze protékajícím proudem, ale vnějším rušením. Proto je velmi obtížné s těmito daty pracovat pro účely ukončení roztahování podvozku.



Graf 1: Měření proudu při roztahování, vzorkovací frekvence 100 Hz

Z tohoto důvodu bylo přikročeno k provedení měření s nižší frekvencí o hodnotě 25 Hz. Tedy pomocí for cyklu je 20x změřena hodnota proudu v intervalu 2 ms, čímž je dána vzorkovací frekvence. Následně je tato hodnota zprůměrována. Z grafu 2 je patrné, že průběh stále není hladký a hodnoty mají značný rozkmit.



Graf 2: Měření proudu při roztahování, vzorkovací frekvence 25 Hz

Proto následovalo snížení vzorkovací frekvence na 10 Hz zvýšením počtu měření v jednom cyklu na 50, přičemž interval 2 ms byl zachován. Z grafu 3 jsou již patrné jednotlivé fáze roztahování. V čase 0 až 3 s motor nekonal pohyb. Následně motor zahájil roztahování podvozku, přičemž proud měl téměř konstantní velikost. Přibližně v čase 12 s se nachází nárůst proudu signalizující přitlak kol ke stěnám svodu. Následuje strmý pokles v důsledku dosažení nastaveného vypínacího proudu (220 mA) a vypnutí motoru programem.

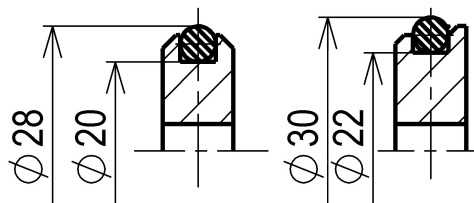


Graf 3: Měření proudu při roztahování, vzorkovací frekvence 10 Hz

3.9.1 Svislý pohyb

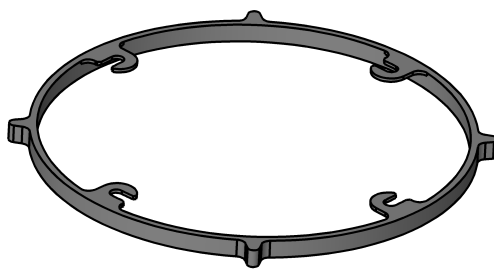
Základním předpokladem možnosti svislého pohybu bylo dodržení maximální hmotnosti robota s ohledem na krouticí moment vybraných motorů. Při momentu 800 gcm je maximální možná hmotnost cca 1,67 kg. Při návrhu byla odhadovaná hmotnost 732 g. Po vytištění a sestavení robota byla celková hmotnost robota 605 g. Hmotnostní rezerva tedy byla dostatečná, z čehož vyplývá, že zvolené motory vyhovují.

Při prvním pokusu o svislou jízdu vzhůru nebyl schopen robot dosáhnout přítlaku a neudržel se tak v okapovém svodu. Následně bylo zjištěno, že geometrie koleček není vhodná, neboť O-kroužky, jimiž jsou kolečka opatřena, se deformují příliš snadno. Tím se při roztahování o stěny roury opřely plastové části koleček, které mají nižší koeficient smykového tření. Ten nebyl dostatečný pro udržení robota ve stabilní poloze. Z tohoto důvodu byla provedena úprava geometrie tak, aby O-kroužky měly větší prostor k deformaci.



Obr. 22: Původní (vlevo) a nová (vpravo) verze koleček

Dalším problémem bylo, že robot měl ve svodu příliš mnoho prostoru, a tak se přivracel ke stěnám roury. V důsledku toho došlo k nerovnoměrnému zatížení jednotlivých motorů, což znemožňovalo jízdu. Z tohoto důvodu byl do konstrukce přidán středící kroužek, který zajistí souosost robota se svodem.



Obr. 23: Středící kroužek

Toto řešení se již ukázalo jako funkční. Středící kroužek je pro různé průměry svodů jednoduše vyměnitelný. S těmito úpravami je robot schopen svislého pohybu vzhůru rychlostí až 5,7 cm/s.



Obr. 24: Svislý pohyb robota ve svodu

3.9.2 Překlápění

Překlápění ze svislé roury do vodorovného žlabu probíhá pomocí natočení kloubu tak, aby bylo vychýleno těžiště mimo osu robota. To způsobí překlopení robota do žlabu. Nevýhodou tohoto řešení je skutečnost, že při nasazování robota do svodu se musí dbát na jeho správnou orientaci kloubu. Robot musí být kloubem natočen ve směru, ve kterém se následně bude ve žlabu pohybovat. Při experimentu se ukázalo, že robot se velmi často vzpříčí, neboť středící kroužek již není v kontaktu s okapovým svodem. Vhodné by bylo přidat středění robota ještě do jeho spodní části.

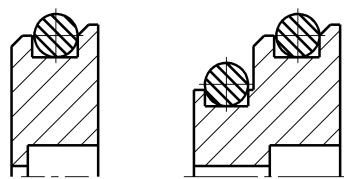


Obr. 25: Překlápění robota do žlabu

3.9.3 Vodorovný pohyb

Po překlopení už je robot schopen se pohybovat vodorovně. Jako problém se ukázal nedostatečný přítlak koleček ke žlabu. Tento problém bylo možné vyřešit přidáním závaží, nicméně to by mohlo vést k přílišnému nárůstu hmotnosti celého robota a následné nemožnosti svislého pohybu. Další nevýhodou tohoto řešení byl nedostatek místa v oblasti motorů, kam by bylo závaží třeba umístit.

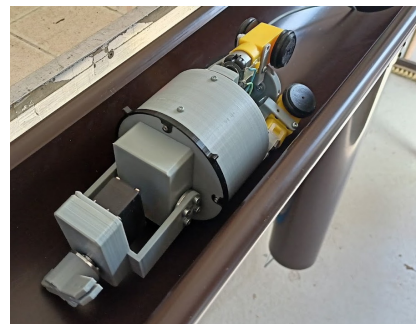
Další možností bylo zvětšení kontaktní plochy kol se žlabem. Z tohoto důvodu byla přidána na kolo další drážka pro gumový O-kroužek. Přesto při větším odporu v jízdě kolečka někdy proklouzávají.



Obr. 26: Zdvojené kolečko



Obr. 27: Pohled na kontakt koleček se žlabem



Obr. 28: Vodorovný pohyb robota

3.9.4 Čištění

V přední části robota je umístěna čistící rotační hlavice opatřená gumovými koncovkami. Otáčením gumového kartáče dochází k vyhazování nečistot z okapového žlabu. V závislosti na směru pohybu robota vůči poloze střechy lze v mobilní aplikaci nastavit směr otáčení kartáče tak, aby byly nečistoty vyhazovány směrem od střechy. Experiment ukázal, že při přílišném znečištění okapového žlabu nejsou gumové koncovky dostatečně tuhé. Při jejich kontaktu s těžšími nečistotami se koncovky prohnuły, a nedošlo tak k vyhození nečistot. Pokud by byly koncovky zhotoveny z méně poddajného materiálu, mohl by nastat problém při svislém pohybu, neboť by se nebyly schopny přizpůsobit tvaru okapového svodu.



Obr. 29: Detail čistící hlavice



Obr. 30: Vodorovný pohyb robota v reálném žlabu

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo sestavit robota na čištění okapů, který bude schopen i vertikálního pohybu. Při rešerši bylo zjištěno, že žádné zařízení pro tento účel není komerčně prodáváno. I přesto byly některé prvky jednotlivých produktů inspirací pro vyvíjenou konstrukci. Aby nebyl celý koncept příliš komplikovaný, bylo rozhodnuto, že robot bude určen pouze pro pohyb v okapech kruhových průřezů. Snahou bylo minimalizovat rozměry robota tak, aby byl schopen čistit i okapové systémy nejmenšího prodáváného průměru 60 mm. Ale již při předběžném modelování bylo patrné, že zejména kvůli velikosti zvolených elektronických komponent bude průměr okapu, jenž bude robot schopen vyčistit okolo 100 mm.

Po vymezení pracovních podmínek následovala tvorba 3D modelu celé sestavy robota. Jako poměrně obtížný se ukázal návrh motorů pro pohon robota, neboť nebyla zatím známa celková hmotnost, která přímo ovlivňovala potřebný krouticí moment motorů. Proto byl proveden odhad hmotnosti celé konstrukce. Následně mohl být dopočítán potřebný krouticí moment a vybrány konkrétní motory. Dále byly všechny díly vyrobeny a robot sestaven. Po sestavení bylo zjištěno, že skutečná hmotnost celku je nižší než odhadovaná, tudíž zvolené motory vyhovovaly.

Pro přizpůsobení se různým průměrům okapových svodů byl použit šroubový mechanismus ovládající roztahování podvozku. Z důvodu jednoduchosti a dostupnosti byl volen metrický závit namísto běžnějšího lichoběžníkového.

Výhodou robota je navržené dálkové ovládání, které probíhá prostřednictvím bluetooth komunikace mobilního telefonu a robota, tedy není třeba mít speciální ovladač.

Při následném experimentu se ukázala geometrie pohonných kol jako nevhodná, proto byla přepracována. Experiment sestával ze svislé jízdy okapovým svodem a následným přechodem do vodorovného žlabu. Jako problematické se ukázalo samotné překlápění, neboť ve chvíli, kdy robot vyjel svou vrchní částí nad svod, došlo k jeho vzpříčení a nebylo možné pokračovat v pohybu z důvodu nedostatečného krouticího momentu motorů. Potenciálním problémem zejména při pohybu ve žlabu by mohl být nedostatečný přítlak kol ke stěnám žlabu, kdy dojde k jejich prokluzu. Toto hrozí zejména při zhoršených podmínkách (mokrý, mastný povrch). Limitující je také maximální výška, které robot může dosáhnout, a to jednak z důvodu vlivu hmotnosti napájecího kabelu, ale také kvůli omezenému dosahu bluetooth.

Tato práce dokázala, že je reálné vytvořit zařízení, které bude schopno vertikálního i horizontálního pohybu. Zároveň nastínila několik problémů, s nimiž bylo třeba se vypořádat. Do budoucna by bylo vhodné vyřešit problémy týkající se přechodu mezi okapovým svodem a žlabem. V současné době není robot schopen návratu ze žlabu do svodu. Pro reálné použití by bylo třeba zakrýt pohybový šroub, aby nemohlo dojít k jeho kontaktu s nečistotami, a vyřešit také zpětnou vazbu o poloze robota např. kamerou.

Seznam použité literatury a zdrojů

1. *Přehled prvků okapu* [online]. 2021 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.nicoll.cz/produkty/destova-voda/plastove-okapy/prehled-prvku.html>.
2. *IRobot Looj 330* [online]. 2021 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://vysavace.heureka.cz/irobot-looj-330/#prehled/>.
3. *Čištění okapů a potrubí* [online]. 2021 [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.karcher.cz/cz/dum-a-zahrada/tipy-pro-pouziti/cistenipotrub.html>.
4. *Čistič okapů QuikFit* [online]. 2021 [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.fiskars.cz/vyrobky/zahrada/vymenny-system-quikfit/nasadte-dosahnete/cistic-okapu-quikfit-1001414>.
5. *JettyRobot S* [online]. 2021 [cit. 2021-10-27]. Dostupné z: <https://www.jettyrobot.com/technologie/?lang=cs>.
6. *Tabulka hodnot součinitele (koeficientu) smykového tření pro různé kombinace materiálů.* [Online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>.
7. E. SHIGLEY, Joseph; R. MISCHKE, Charles; G. BUDYNAS, Richard. *Konstruování strojních součástí.* Vutium, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
8. *Servomotor TowerPro MG995* [online]. 2021 [cit. 2021-10-27]. Dostupné z: <https://www.prostromo.cz/sales/Products-26521/>.
9. *Arduino Nano* [online]. 2021 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>.
10. *5A proudový senzor ACS712* [online]. 2021 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/40/1438011598.pdf>.
11. *Unit Converter* [online]. 2022 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/en-US/moment-of-force/9-1/gram-force%20centimeter-newton%20meter/>.
12. *TT motor s převodovkou - plastové převody* [online]. 2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/tt-motor-s-prevodovkou-plastove-prevody/>.
13. *Servo Library for Arduino* [online]. 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://github.com/arduino-libraries/Servo>.
14. *H-Bridges* [online]. 2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://learn.digilentinc.com/Documents/325>.
15. *H můstek pro krokový motor L298N Dual H Most DC* [online]. 2021 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/877-arduino-h-mustek-pro-krokovy-motor-l298n-dual-h-most-dc.html>.

16. *Proudový senzor ACS712* [online]. 2022 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/proudovy-senzor-ac712.html>.
17. *Bluetooth modul XM-15B TTL* [online]. 2021 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/bluetooth-modul-xm-15b-ttl/>.
18. *Vše o napájení Arduina* [online]. 2022 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://navody.drateg.cz/technikuv-blog/napajeni-arduina.html>.
19. *SoftwareSerial Example* [online]. 2021 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://github.com/arduino/ArduinoCore-avr/blob/master/libraries/SoftwareSerial/examples/SoftwareSerialExample/SoftwareSerialExample.ino>.
20. VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Vydání druhé. Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1	Přehled prvků okapového systému [1]	9
Obrázek 2	Robotický čistič okapů iRobot Looj 330 [2]	11
Obrázek 3	Čistič okapů a potrubí Kärcher [3]	12
Obrázek 4	Čistič okapů a Fiskars QuikFit™ [4]	12
Obrázek 5	Robot pro inspekci potrubí JettyRobot S [5]	13
Obrázek 6	Rozklad sil při přítlaku	15
Obrázek 7	Schéma jednotlivých částí robota	16
Obrázek 8	Blokové schéma řízení	17
Obrázek 9	Původní koncept	20
Obrázek 10	Nový koncept	20
Obrázek 11	Řez uložením šroubu	21
Obrázek 12	Čisticí kartáč robota	22
Obrázek 13	Celkový pohled na robota	23
Obrázek 14	Rozložený pohled	24
Obrázek 15	Dokončený robot	25
Obrázek 16	Napájecí rozvaděč	26
Obrázek 17	Původní schéma zapojení do Arduina	30
Obrázek 18	Nové schéma zapojení do Arduina	30
Obrázek 19	Aplikace pro ovládání robota	31
Obrázek 20	Ukázka blokového programu v prostředí MIT App Inventor	32
Obrázek 21	Testovací model okapu	33
Obrázek 22	Původní (vlevo) a nová (vpravo) verze koleček	35
Obrázek 23	Středící kroužek	36
Obrázek 24	Svislý pohyb robota ve svodu	36
Obrázek 25	Překlápění robota do žlabu	37
Obrázek 26	Zdvojené kolečko	37
Obrázek 27	Pohled na kontakt koleček se žlabem	37
Obrázek 28	Vodorovný pohyb robota	37
Obrázek 29	Detail čisticí hlavice	38
Obrázek 30	Vodorovný pohyb robota v reálném žlabu	38

Seznam grafů

Graf 1	Měření proudu při roztahování, vzorkovací frekvence 100 Hz	34
Graf 2	Měření proudu při roztahování, vzorkovací frekvence 25 Hz	34
Graf 3	Měření proudu při roztahování, vzorkovací frekvence 10 Hz	35

Seznam tabulek

Tabulka 1	Parametry motoru MG995 [8]	17
Tabulka 2	Hmotnosti jednotlivých komponentů	18
Tabulka 3	Parametry motorů	19
Tabulka 4	Pravdivostní tabulka logické funkce XOR	27
Tabulka 5	Přehled navržené komunikace	30

Seznam použitého SW

- Texmaker
- Solidworks 2019
- Arduino IDE
- MS Excel
- Paint.Net
- Lucidchart
- Cura

Seznam příloh

Příloha 1: Výkres přírubové spojky

Příloha 2: Výkres pohybového šroubu

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

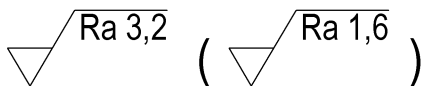
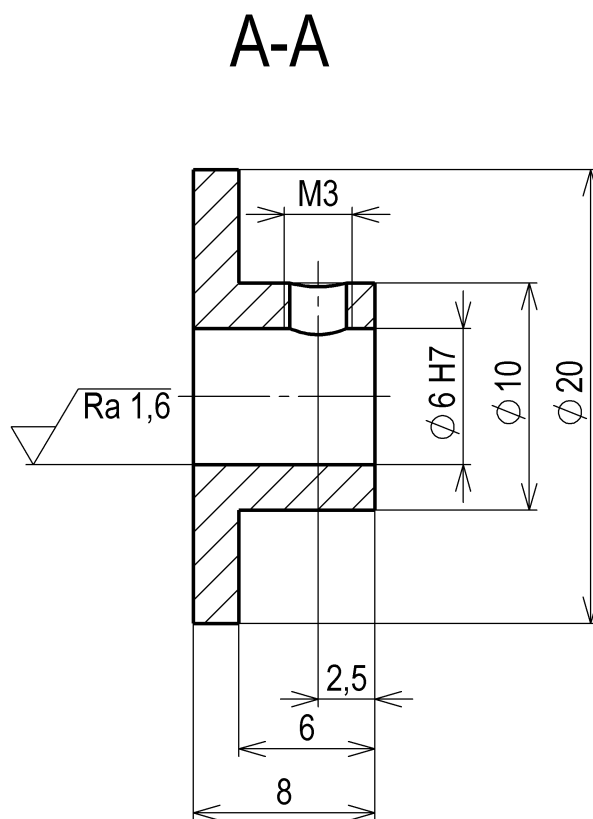
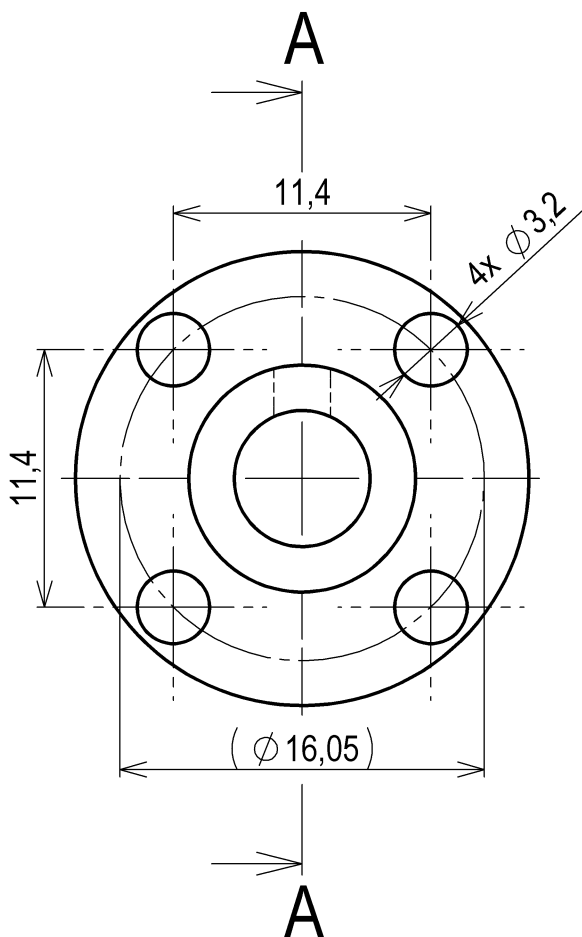
D

E

E

F

F



MATERIÁL: EN AW-6060

POLOTOVAR: 22x15

TOL. DLE ISO 8015

PŘESNOST ISO 2768 - mK

VŠEB. TOL. ISO 8062 -

+0,2	-0,1
+0,1	-0,2

INDEX ZMĚNA DATUM PODPIS

AUTOR	DATUM	PODPIS	DATUM	HMOTNOST	kg	MĚŘITKO
NAVRHL HERKOMMER P.		PŘEZK.		SESTAVA		2:1
KRESLIL HERKOMMER P.		SCHVÁLIL		KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ: (ISO E)

	ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	TYP:
		PŘÍRUBOVÁ SPOJKA ČÍSLO VÝKRESU BP-01	

LIST: 1/1

1

2

3

4

1 2 3 4

A

A

B

B

C

C

D

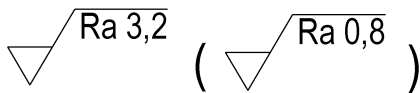
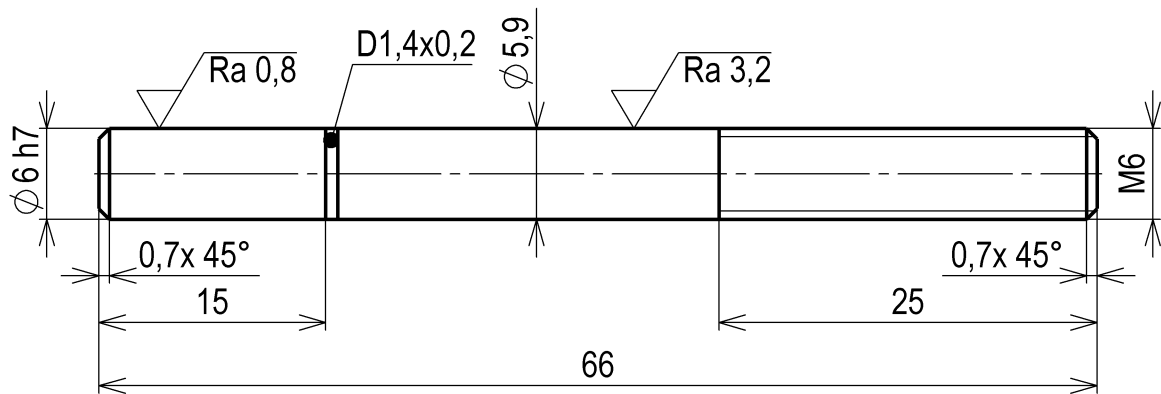
D

E

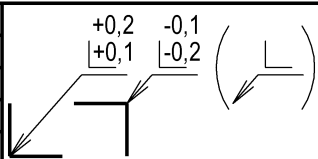
E

F

F



MATERIÁL: ČSN 11 500
 POLOTOVAR: TYČ KRUHOVÁ ČSN 42 5510 - 8x75
 TOL. DLE ISO 8015
 PŘESNOST ISO 2768 - mK
 VŠEB. TOL. ISO 8062 -



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

AUTOR	DATUM	PODPIS	DATUM	HMOTNOST	kg	MĚŘITKO
NAVRHL HERKOMMER P.				SESTAVA		1:1
KRESLIL HERKOMMER P.		PŘEZK. SCHVÁLIL		KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ: $\left[\begin{array}{c} \text{ISO} \\ \text{E} \end{array} \right]$ (ISO E)



NÁZEV: **POHYBOVÝ ŠROUB**
 TYP:
 ČÍSLO VÝKRESU: **BP-02**
 LIST: 1/1

1 2 3 4