

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta strojní – Ústav přístrojové a řídicí techniky**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**AUTONOMNÍ SNĚHOVÁ FRÉZA -  
NÁVRH KONCEPTU**

**AUTONOMOUS SNOWBLOWER - CONCEPTUAL DESIGN**

**Daniel Nigrin**

**2020/2021**

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

Datum: .....

.....  
podpis

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nigrin** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **473553**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající 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:

**Autonomní sněžová fréza - návrh konceptu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Autonomous snowblower - conceptual design**

Pokyny pro vypracování:

- Konceptně navrhnete, jak by fungovala autonomní sněžová fréza.
- Vyberte:
  - vhodné senzory, které umožní lokalizaci v prostoru a detekci překážek (překážky + osoby).
  - akční členy (pohony)
  - algoritmy řízení
- Vytvořte a sestavte model zařízení

Seznam doporučené literatury:

- [1] Sensing and Control for Autonomous Vehicles: Applications to Land, Water and Air Vehicles (Lecture Notes in Control and Information Sciences), Springer; 1st ed. 2017 edition (December 2, 2017), ISBN-13: 978-3319553719
- [2] Paul F. McManamon: LiDAR Technologies and Systems, ISBN: 9781510625396, 2019
- [3] Pinliang Dong, Qi Chen: LiDAR Remote Sensing and Applications, CRC Press, 2018, ISBN 9781138747241

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: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.09.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Martin 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

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá návrhem autonomní sněhové frézy. Teoretická část se zabývá koncepčním návrhem frézy. Návrh se skládá z návrhu podvozku, volby senzorů, technologie pohonu, akčních členů, akumulátorů a algoritmů. Praktická část se pak zabývá konstrukcí modelových zařízení, volbou akčních členů pro model a také výrobou součástí pomocí 3D tisku.

Klíčová slova: Autonomní zařízení, výroba robota, podvozek robota, mobilní robot, návrh modelového robota, 3D tisk, stavba robota, konstrukce robota

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the design of the autonomous snowblower. The theoretical part deals with the conceptual design of the autonomous snowblower. The design consists of a design of chassis, the choice of sensors, drive technology, actuators, accumulators and algorithms. The practical part also deals with the construction of the model device, the choice of the model's actuators, and the component's production via 3D printing.

Keywords: Autonomous device, fabrication of robot, robot's chassis, mobile robot, design of the mobile robot, 3D printing, the building of the robot, construction of the robot

## **Poděkování**

Tuto práci bych chtěl věnovat svému strýci Dr. Ing. Janu Vokřálovi, jenž 22. července 2021 náhle zemřel.

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mě během psaní této práce podporovali, mým rodičům, bratrům a mé přítelkyni. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za trpělivost, kterou se mnou měl.

# Obsah

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b>                               | 9  |
| <b>2</b> | <b>Koncepční návrh frézy</b>              | 10 |
| 2.1      | Konvenční fréza                           | 10 |
| 2.2      | Konstrukce mobilních robotů               | 11 |
| 2.2.1    | Kráčející roboti                          | 11 |
| 2.2.2    | Koloví roboti                             | 11 |
| 2.2.3    | Pásoví roboti                             | 12 |
| 2.3      | Návrh autonomní frézy                     | 13 |
| <b>3</b> | <b>Senzory</b>                            | 14 |
| 3.1      | GNSS (Global Navigation Satellite System) | 14 |
| 3.2      | Akcelerometr a Gyroskop                   | 15 |
| 3.2.1    | Gyroskop                                  | 15 |
| 3.2.2    | Akcelerometr                              | 16 |
| 3.3      | Digitální kompas                          | 16 |
| 3.4      | Radar, LiDAR, Sonar                       | 17 |
| 3.4.1    | Radar (Radio Detection And Ranging)       | 17 |
| 3.4.2    | LiDAR (Light Detection and Ranging)       | 17 |
| 3.4.3    | Sonar (Sound Navigation and Ranging)      | 17 |
| 3.4.4    | Porovnání rozsahu měření a přesnosti      | 18 |
| 3.5      | Kamera                                    | 18 |
| 3.5.1    | CCD                                       | 19 |
| 3.5.2    | CMOS                                      | 19 |
| 3.5.3    | Barevné kamery                            | 19 |
| 3.5.4    | Všesměrové kamery                         | 19 |
| 3.5.5    | Vizuální odometrie                        | 20 |
| 3.6      | Optical encoder (optický enkóder)         | 20 |
| 3.7      | Senzory v robotických vysavačích          | 20 |
| 3.8      | Volba senzorů                             | 21 |
| <b>4</b> | <b>Technologie pohonu</b>                 | 22 |
| 4.1      | Konvenční pohon                           | 22 |
| 4.2      | Elektrický pohon                          | 22 |
| 4.2.1    | BEV                                       | 22 |
| 4.2.2    | FCEV                                      | 22 |
| 4.3      | Hybridní pohon                            | 22 |
| 4.3.1    | Dělení podle typu spolupráce motorů       | 23 |
| 4.3.2    | Dělení podle úrovně hybridizace           | 23 |
| 4.4      | Volba pohonu                              | 24 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>5</b> | <b>Akční členy</b>  | 25 |
| 5.1      | Asynchronní motor   | 25 |
| 5.2      | Synchronní motor  | 25 |
| 5.3      | Stejnoseměrný motor   | 26 |
| 5.4      | BLDC motor  | 27 |
| 5.5      | Krokový motor   | 27 |
| 5.6      | Volba motoru  | 28 |
| <b>6</b> | <b>Akumulátory</b>  | 30 |
| 6.1      | Li-ion  | 30 |
| 6.2      | Li-pol  | 30 |
| 6.3      | LiFePo  | 31 |
| 6.4      | NiCd  | 31 |
| 6.5      | NiMH  | 31 |
| 6.6      | Olověný akumulátor  | 31 |
| 6.7      | Volba akumulátoru   | 32 |
| <b>7</b> | <b>Algoritmy</b>  | 33 |
| 7.1      | Konstrukce grafů  | 33 |
| 7.1.1    | Visibility diagram  | 33 |
| 7.1.2    | Voronoi diagram   | 33 |
| 7.1.3    | Exact cell decomposition  | 34 |
| 7.1.4    | Fixed-size cell decomposition                                   | 34 |
| 7.1.5    | Variable-size cell decomposition                                | 34 |
| 7.2      | Deterministic graph search (Deterministický grafový algoritmus) | 35 |
| 7.2.1    | Bread-first search (Prohledávání do šířky)                      | 35 |
| 7.2.2    | Depth-first search (Prohledávání do hloubky)                    | 35 |
| 7.2.3    | Dijkstrův algoritmus  | 35 |
| 7.2.4    | A*  | 35 |
| 7.2.5    | D*  | 36 |
| 7.3      | Algoritmy pro překonání překážek                                | 36 |
| 7.3.1    | Bug algorithm   | 36 |
| 7.3.2    | Vector field histogram  | 36 |
| 7.3.3    | Bubble band technique   | 36 |
| 7.4      | Volba algoritmu   | 37 |
| <b>8</b> | <b>Návrh a výroba modelu</b>                                    | 38 |
| 8.1      | Příprava před tiskem  | 38 |
| 8.2      | Výroba modelu   | 39 |
| 8.3      | Akční členy modelu  | 40 |
| 8.3.1    | Servomotor MG995  | 40 |
| 8.3.2    | Krokový motor NEMA 17HS4023                                     | 40 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 8.4      | Konstrukční řešení modelů . . . . .            | 41        |
| 8.4.1    | Ložiska a spojky . . . . .                     | 41        |
| 8.4.2    | Kola . . . . .                                 | 41        |
| 8.4.3    | Model 1 (s diferenciálním podvozkem) . . . . . | 43        |
| 8.4.4    | Model 2 (4x4) . . . . .                        | 45        |
| 8.4.5    | Model 3 (Všesměrový model) . . . . .           | 47        |
| <b>9</b> | <b>Závěr . . . . .</b>                         | <b>48</b> |
|          | <b>Seznam příloh . . . . .</b>                 | <b>55</b> |



# 1 Úvod

V dnešní době je velká snaha zajistit, co nejvyšší bezpečnost, účinnost a současně minimalizovat náklady. Proto jsou automatizace a robotizace velkými tématy, snažíme se je uplatnit nejen v průmyslu, ale také v běžných domácnostech. Trendem jsou v civilní oblasti hlavně autonomní auta, robotické sekačky nebo robotické vysavače. Tato vozidla jsou schopna se samostatně pohybovat v prostoru a to bez nutnosti zásahu člověka do řízení. Jsou toho schopna díky senzorům, které monitorují okolí a zaručují lokalizaci vozidla v prostoru. Tato data jsou zpracována softwarem (různými algoritmy), jež je schopen určit jakým směrem se má robot pohybovat. Na základě toho jsou pak ovládány jednotlivé motory tak, aby došlo k požadovanému pohybu.

Vědecká disciplína, která se zabývá částečně i těmito autonomními zařízeními se nazývá Mobilní robotika. Mobilní robotika se zabývá mechanikou, motory, senzory a schopnostmi vnímání a poznávání daného robota.[1]

Tato práce by se měla zabývat jak již je zřetelné z názvu návrhem autonomní sněhové frézy, její konstrukcí a volbou důležitých komponent, tak aby byla schopna samostatně bez vnější lidské pomoci odklízet sněh.

## 2 Koncepční návrh frézy

Předtím než začnu vytvářet nějakou představu o tom jak by autonomní fréza měla vypadat, bych se rád podíval na konvenční frézu, na její součásti a její konstrukční řešení (např. podvozku) následně bych se chtěl podívat na typy pohybu celkově u mobilních robotických zařízení.

### 2.1 Konvenční fréza

Sněhová fréza (viz. obrázek 1) je masivní zařízení, které je člověkem ovládáno pákami na ovládací desce, jsou zde páky na volbu rychlosti, přes spojku pouští připojují šnek frézy k motoru, dále řídicí páky, které připojují jednotlivá kola k motoru, řídicí páka výkonu motoru a páka na řídicí směr výhozu.[2]



**Obrázek 1:** Konvenční sněhová fréza

<https://www.zahradnitechnikavolejnik.cz/benzinove-snehove-frezy/hecht-9334-sq-benzinova-snehova-freza/>

Frézy mohou mít elektrický motor, jde vždy pouze o malé domácí frézy. Druhou možností je motor s vnitřním spalováním s malým objemem, přibližně 200-300cc, těmi jsou poháněny větší frézy. Těmito motory jsou nejen šnek frézy, ale případně (pokud tyto funkce fréza má) také oběžné kolo a kola pohonu.[2]

Další součástí a jednou z nejdůležitějších součástí je šnek frézy. Šnek vypadá jako spirála. Jakmile se roztočí je schopný nabírat sněh. U jedno stupňové frézy je nabraný sněh šnekem rovnou vyhazován skrz komín pryč. U dvou a tří stupňových fréz je nabraný sněh odhazován do oběžného kola. Oběžné kolo jako větrák pomáhá odhazovat sněh dodaný šnekem skrz komín.[2]

K pohybu může fréza používat, buď kola nebo pásy. Zatímco pásy jsou lepší do terénu, kola dobrou volbou při pohybu po rovině.[2]

## **2.2 Konstrukce mobilních robotů**

Ačkoliv musíme zachovat na autonomní fréze některé součásti z frézy konvenční jako jsou např.: šnek frézy, oběžné kolo nebo komín, bylo by teoreticky možné zamyslet se nad jiným typem pohybu a nahradit tak běžně používané kolové nebo pásové podvozky. Proto bych se podíval na možné konstrukce u mobilních robotů, mezi něž bychom mohli autonomní frézu také zařadit.

Podle konstrukce je možné dělit mobilní roboty na krácející roboty, kolové roboty a pásové roboty.[1]

### **2.2.1 Krácející roboti**

Tito roboti využívají k pohybu nohy, ve většině případů mají 2, 4 nebo 6 nohou, ale mohou mít také třeba jen jednu nohu. Tato koncepce vychází z přírody, jelikož lidé nebo hmyz využívají k pohybu nohy. Nohy robotů musí mít minimálně 2 stupně volnosti. Přidáním stupňů volnosti sice zlepšujeme manévrovatelnost, ale na druhou stranu si komplikujeme řízení a zvyšujeme hmotnost nohy. Jedno z výhod je, že tito roboti jsou schopni procházet hrbolatý terén, díky tomu že se nohama dotýkají země jen na několika bodech. Další výhodou je možnost překonat díry. Naopak nevýhodou této konstrukce je spotřeba energie, která je vyšší než u kolových robotů. Je to dáno tím, že kola poskytují plynulý pohyb, zatímco nohy neustále svůj pohyb mění. Spotřeby energie může být snížena zlepšením dynamiky pohybu.[1]

### **2.2.2 Kolové roboti**

Jde o nejoblíbenější konstrukci v oblasti mobilních robotů, jež zaručuje dobrou účinnost. Celkový návrh konstrukce takového podvozku se skládá z volby typu kol a návrhu geometrie.[1]

Hlavní typy kol jsou obyčejné kolo (standart wheel), vlečené kolo (castor wheel), Švédské kolo (Swedish wheel) a sférické kolo (spherical wheel) viz. obrázek 2.[1]

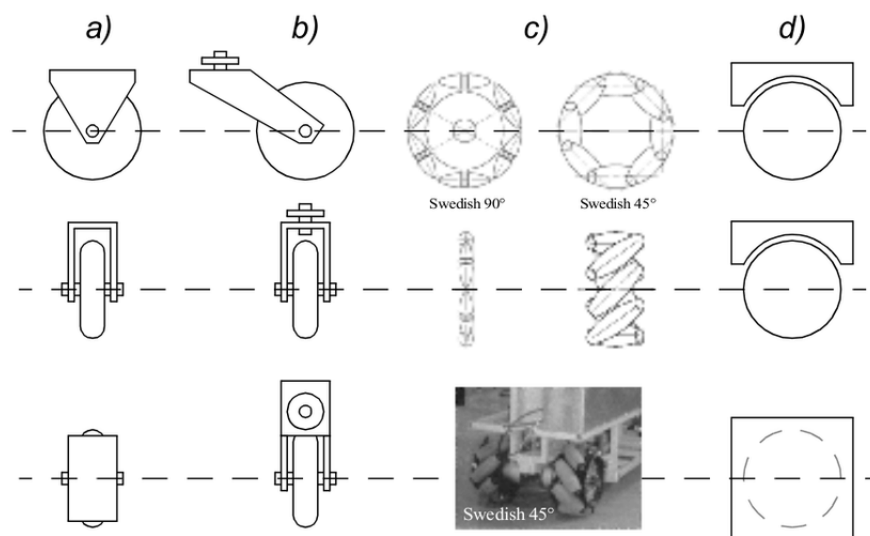
Asi nejzajímavějšími z těchto kol jsou Švédská kola, tam mají na sobě po obvodu rozloženy malé válečky ty mají mimoběžné osy vůči ose celého kola a mohou svírat buď 45 nebo 90 stupňů, podle toho je také Švédské kolo označeno.[1]

Ohledně geometrického uspořádání kol je množství konfigurací velké. Já bych se chtěl zastavit hlavně u tří uspořádání.

První je Diferenciální podvozek, který má dvě hnaná kola, každé jedním motorem a většinou má z důvodu stability ještě jedno kolo, které hnané není a jde buď o kolo vlečené nebo sférické kolo.[1]

Druhý podvozek je Ackermanův podvozek, ten není v robotice moc používán, ale zato je užíván téměř ve všech automobilech.[1]

Třetím podvozkem je pak všesměrový podvozek, všesměrové podvozky jsou, ale celá skupina podvozků a vykazují schopnost pohybu v jakémkoliv směru. Kola používaná v těchto podvozcích jsou hlavně Švédská kola, případně sférická kola nebo hnaná Castor kola. Asi nejběžnější konfigurací je podvozek se 4 Švédskými koly 45, kde je každé hnané svým motorem. Na základě různých pohybů jednotlivých kol, se může tento robot pohybovat jakýmkoliv směrem.[1]



Obrázek 2: Typy kol

[https://www.researchgate.net/publication/247162034\\_Auxiliary\\_mechanisms\\_for\\_telerobotics](https://www.researchgate.net/publication/247162034_Auxiliary_mechanisms_for_telerobotics)

### 2.2.3 Pásoví roboti

Díky větší ploše, jež díky pásům doléhá na zem, jsou pásoví roboti lepší volbou do terénu než koloví roboti. Nevýhodou je to, že při otáčení robota se pásy smýkají a není tak možné přesně určit centrum rotace robota.[1]

## 2.3 Návrh autonomní frézy

Jak jak můžeme výše vidět, jsou zde některé součásti, které u autonomní frézy budou stejné a nemůžeme je nahradit ani odstranit, jsou to např.: šnek frézy, komín nebo oběžné kolo. Z mého pohledu by bylo nejlepší nevytvářet pouze zařízení pro odklizení sněhu, ale vytvořit multifunkční podvozek, na který by bylo možné připevnit různá nástavce, např.: nástavec na sekání trávy nebo nástavec na čištění ulic.

Frézu bych dále navrhoval jako kolového robota, protože fréza měla jezdit hlavně po rovině. Z pohledu podvozku by asi nejlepší volbou byl z mého pohledu diferenciální podvozek nebo pásový podvozek stejně jako je tomu u konvenčních fréz. Rozhodně bych nevolil všesměrový podvozek, jenž by na sněhu nemusel fungovat správně.

Pokud bychom tedy volili jako akční členy elektromotory, mohli bychom využít 2 pro řízení (jeden na každé kolo), 1 elektromotor k odklizení sněhu, jenž by v případě multifunkčního podvozku mohl být využit k sekání nebo čištění ulic a 1 elektromotor k řízení komínu, kvůli řízení směru výhozu sněhu.

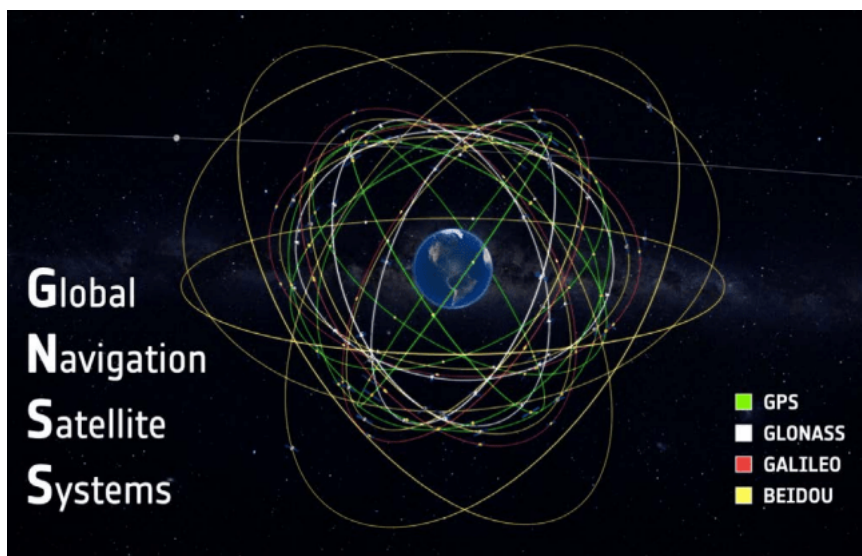
## 3 Senzory

### 3.1 GNSS (Global Navigation Satellite System)

Tímto pojmem jsou označovány satelitní systémy, které nám mohou poskytnout přesný čas a polohu. Mezi tyto systémy patří v této době GPS (USA), GLONASS (Rusko), Galileo (EU) a BeiDou (Čína).[3]

Základní princip fungování je pro všechny subsystemy stejný. Každý subsystem má své družice, které obíhají kolem planety Země. Každá družice vysílá informace o svém označení, poloze a času vyslání, tyto zprávy můžeme jako uživatelé přijímat pomocí přijímače, který podporuje danou technologii. Jelikož k určení polohy potřebujeme 4 hodnoty: čas, osu x(zeměpisnou šířku), osu y(zeměpisnou délku) a osu z(výšku), je nutné přijímat signál minimálně ze 4 vysílačů. Pokud je viditelných více družic, jejichž signál přijímáme, zvyšujeme tím přesnost určení polohy. Přesnost se, ale snižuje pokud jsme na méně odlehlém místě například mezi domy. Je to z důvodu menšího množství viditelných družic a také z důvodu neideálního rozmístění viditelných družic.

Družice jsou totiž v podstatě v jedné přímce, a proto je přesnost v kolmém směru velice nízká.[4] Za ideálních podmínek je přesnost lokalizace těmito systémy v jednotkách metrů. U GPS je přesnost do 5 metrů, GLONASS zajistí přesnost kolem 3 metrů a Galileo a BeiDou mají přesnost kolem 1 metru.[3]



**Obrázek 3:** Rozmístění oběžných drah satelitů GNSS

<https://electronics.drotek.com/improve-gnss-position-multi-constellation-multi-frequency-1/>

Tento senzor by mohl být dobře využitelný pro globální lokalizaci zařízení. Díky tomu ho můžeme využít jako výchozí pro sledování přibližné polohy v rámci mapy a k návrhu cesty v rámci mapy. Dále je možné odesílat tuto informaci do monitorovacího střediska,

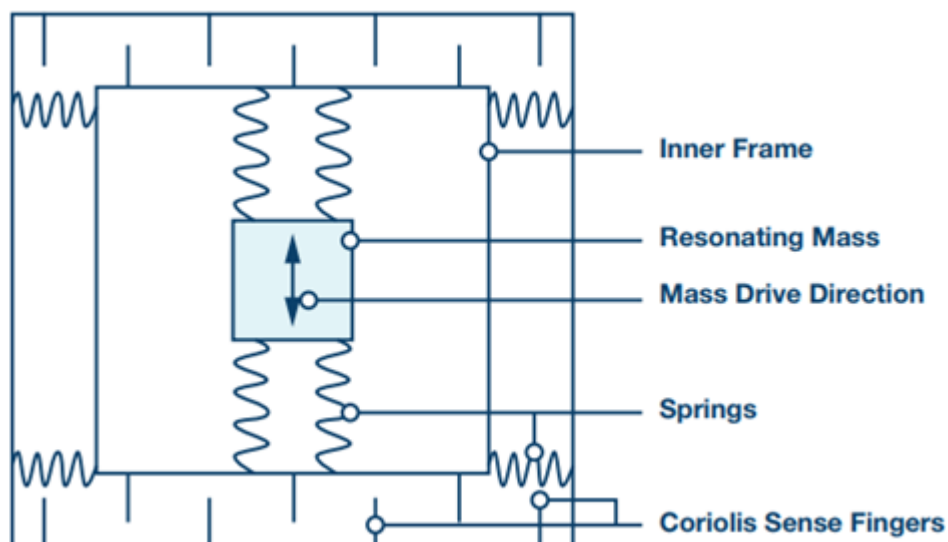
aby byla známa pozice frézy. To může být užitečné, pokud by se s frézou něco stalo, např. došlo poškození frézy. Díky této informaci by bylo možné frézu najít a opravit. Bohužel, tento senzor má malou přesnost (v rádech metrů) a ještě k tomu podmíněnou dobrými podmínkami. Proto by bylo dobré tento senzor doplnit jinými senzory, abychom mohli dosáhnout dostatečně přesné lokalizace zařízení.

## 3.2 Akcelerometr a Gyroskop

### 3.2.1 Gyroskop

Gyroskop je zařízení, kterým měříme rotaci vůči osám x,y,z, přesněji měříme úhlovou rychlost, z té jsme následně schopni vypočítat úhel natočení integrací. Typy gyroskopů jsou mechanický a MEMS (microelectromechanical systems), FOG (Fiber Optic Gyro) a RLG (Ring Laser Gyro).[5]

Princip fungování MEMS gyroskopu je založen na Coriolisově síle. Jde o nejlevnější gyroskopy, současně jsou náchylné k největším nepřesnostem. Součástí MEMS (microelectromechanical systems) gyroskopu je hmota oscilující kolmo k ose rotace harmonickým pohybem. Ta je umístěna na pružinách v rámu, jenž je rovněž připevněn pružinami k tělu gyroskopu v tečném směru k rotaci. Na rámu jsou také měřicí plošky. Jakmile začneme s gyroskopem otáčet, začne nám na hmotu působit Coriolisova síla, která způsobí vychýlení rámu. Plošky se přiblíží k sobě a chovají se jako elektrody kondenzátoru, můžeme tedy měřit změnu kapacity, jež je úměrná úhlové rychlosti.[6]



Obrázek 4: Rám MEMS gyroskopu

<https://www.analog.com/en/technical-articles/mems-gyroscope-provides-precision-inertial-sensing.html>

Fog (Fiber Optic Gyro) gyroskopy využívají Sagnacova efektu k měření natočení. Mezi dvěma paprsky které jsou vysílány skrz jedno vlákno proti sobě je měřena interference, která

odpovídá natočení.[5]

RLG (Ring Laser Gyro) gyroskop je dalším typem gyroskopu, jenž také funguje na optickém principu, a také Sagnacově efektu. Skládá se z laseru a zrcadel, je měřeno natočení z interference laserových paprsků. [5]

### 3.2.2 Akcelerometr

Akcelerometry jsou zařízení, pomocí nichž můžeme měřit zrychlení. Akcelerometr může měřit zrychlení statické (gravitační) nebo dynamické zrychlení. Při měření statického zrychlení můžeme zjistit natočení akcelerometru vůči zemskému povrchu, protože gravitační zrychlení působí ve směru kolmém na povrch země. Zrychlení dynamické měříme v případě, že dochází k posuvnému pohybu zařízení nebo jeho vibracím. Akcelerometry mohou být jednoosé, dvouosé nebo tříosé. Nejpoužívanější a nejběžnější jsou v dnešní době tříosé akcelerometry, ty kombinují 3 jednoosé akcelerometry, jenž každý měří zrychlení v jedné ose (X, Y nebo Z). Základními technologiemi měření zrychlení jsou MEMS, Piezoelektrická a Piezorezistivní.[7]

MEMS (microelectromechanical systems) akcelerometr je akcelerometr na jehož výstupu měříme kapacitu, říká se mu proto také kapacitní akcelerometr. Konstrukce se skládá z hmoty s malými ploškami, která je připevněna k pružině, a z pevných plošek, jakmile objekt, na kterém je akcelerometr zrychlíme, dojde k pohybu hmoty a změně vzdálenosti mezi ploškami hmoty a ploškami, které se nepohybují. Díky této změně vzdáleností ploch, neboli elektrod kondenzátoru, můžeme změřit kapacitu, která se mění úměrně s působícím zrychlením. Velkou výhodou těchto kondenzátorů je nízká cena, ta je však vykoupená menší přesností. [7, 8]

Piezorezistivní akcelerometry fungují na podobném principu jako tenzometry, při působení síly se piezorezistivní materiál deformuje a dochází tak ke změně jeho odporu, který je úměrný měřenému zrychlení. Na rozdíl od MEMS akcelerometrů dokáží měřit i rázy o vysoké amplitudě a frekvenci, nevýhodou je však vyšší pořizovací cena a nutnost kompenzovat změny teplot. [7]

Piezoelektrické akcelerometry fungují podobně jako akcelerometry Piezorezistivní, avšak na rozdíl od nich při deformaci naměříme napětí úměrné zrychlení. Tyto jsou užívané hlavně pro měření vibrací u strojů v průmyslovém odvětví. [7]

## 3.3 Digitální kompas

Tento senzor měří směr, kterým je natočený vzhledem k magnetickému poli země.[1]

Jde o dobrý doplněk k GNSS, protože nám je schopný směr, kterým jsme natočeni, aniž bychom se museli pohybovat. To by nám samotné GNSS senzory neřekli.



## 3.4 Radar, LiDAR, Sonar

Radar, LiDAR a Sonar jsou senzory, jež vysílají nějaký typ vlny (rádiová, světelná, zvuková), tato vlna se odráží od okolních objektů a vrací se zpět, senzor pak měří čas mezi vysláním a přijetím signálu. Ze znalosti rychlosti šíření dané vlny v daném prostředí a změřeném času, jsme schopni změřit vzdálenost okolních objektů.[9]

### 3.4.1 Radar (Radio Detection And Ranging)

Radar používá k měření vzdáleností odrazu rádiových vln. Výhodami Radaru jsou delší dosah a přesnost změřených vzdáleností není tak závislá na snížené viditelnosti jako u LiDARu.[10]

- Výhody - schopný měřit i za nízké viditelnosti, velký rozsah [1], dobrá cena, vysoká frekvence měření [11]
- Nevýhody - horší přesnost [13]

### 3.4.2 LiDAR (Light Detection and Ranging)

Oproti radaru jde o méně známé zařízení, avšak v poslední době stále více využívané, které měří vzdálenost na základě vysílání laserových pulzů a jejich odrazu zpět k přijímači LiDARu. Z těchto vzdáleností je pak možné vytvořit například 3D model okolí, ve kterém je senzor umístěn. LiDAR je v dnešní době využíván v archeologii nebo lesnictví, budoucnost použití LiDARu je však v autonomních vozidlech a zařízeních. S LiDarem je však spojena řada nevýhod, jeho funkce je velice závislá počasí. V případě snížené viditelnosti (sníh, mlha) jsou vypočítané vzdálenosti značně zkreslené, Proto je často doplněn dalšími senzory.[10] A dalšími nevýhodami jsou jeho cena a velikost.[11]

- Výhody - vysoká frekvence měření [11], velký rozsah, dobrá přesnost měření [1]
- Nevýhody - vysoká cena, velikost[11], problémy s měřením za špatné viditelnosti (např.:mlha) [1]

### 3.4.3 Sonar (Sound Navigation and Ranging)

Sonar využívá k měření vzdálenosti zvukové vlny. Technologie sonaru je starší než technologie LiDARu nebo radaru. Je typicky používán v ponorkách, výhodou je, že zvuk se vodou šíří, zato rádiové vlny a světlo se odráží. Specifickým typem je ultrazvukový senzor, který používá ultrazvuk.[11]

Frekvence ultrazvukových vln u těchto senzorů je 40 až 180 kHz. Běžné ultrazvukové senzory mají rozsah 12 cm až 5 m, pro mobilní roboty je možné sehnat senzory, které už od vzdálenosti 2 cm. Problémem senzoru je široký úhel, do kterého vysílána vlna, ten může být v rozsahu 20-40 stupňů, není tak možné měřit konkrétní body, můžeme pouze po změření říci,

že v dané oblasti vytyčené tímto úhlem (20-40 stupňů) je předmět ve změřené vzdálenosti. Ultrazvukový senzor může také trpět na špatný odraz od předmětů, tedy že se vlna nevrátí k senzoru, nebo že je předmět vyroben z látek, které ultrazvukovou vlnu pohltí, např.: pěna, kusy oblečení. Další z nevýhod tohoto senzoru je že měření je pomalé, díky tomu je měření rychle se pohybujících předmětů obtížné, z tohoto důvodu je nutné omezit rychlost robota, aby bylo měření tohoto senzoru možné.[1]



**Obrázek 5:** Ultrazvukový senzor HC-SR04

- Výhody - velice nízká cena, malá velikost [11]
- Nevýhody - nízká frekvence měření, malý rozsah, malá přesnost, velký úhel vysílání ultrazvukových vln [1]

#### 3.4.4 Porovnání rozsahu měření a přesnosti

| Senzor              | Rozsah       | Přesnost      |
|---------------------|--------------|---------------|
| LiDAR               | 2cm - 120m   | lepší než 2cm |
| Radar               | 0,4m až 100m | lepší než 5cm |
| Ultrazvukový senzor | 5cm - 12m    | 2cm           |

**Tabulka 1:** Srovnání LiDARu, Radaru a ultrazvukového senzoru [1, 12, 13]

### 3.5 Kamera

Princip funguje tak, že světlo dopadá na obrazový snímač, takovému senzoru se říká také čip, dnes jsou dostupné 2 typy čipů, CCD (charge coupled device) a CMOS (Complementary metal oxide on silicon).[1]

### 3.5.1 CCD

Celkově můžeme nad tímto čipem přemýšlet jako nad velkým množstvím kondenzátorů. Nejdříve jsou všechny kondenzátory nabitý. Jakmile začnou na tyto kondenzátory dopadat fotony, začnou se z nich uvolňovat elektrony, jež jsou zachyceny elektrickým polem. Následně dochází ke čtení pixelů. Ke čtení dochází tak, že postupně musí být řádky posouvány aby mohly být informace ze všech pixelů přečteny.[1]

### 3.5.2 CMOS

CMOS má podobně jako CCD velké množství pixelů rozložených v poli, ale vedle každého pixelu je několik tranzistorů. Tento čip má také obvod pro každý pixel. Jednou z výhod oproti CCD je tedy to, že nemusíme posouvat nabití pixelu po celé ploše a CMOS čipy jsou tak jednodušší než CCD např. z výrobního hlediska. CMOS jsou oproti CCD lepší např. pro nízko energetické použití, zatímco CCD mají lepší citlivost. Celkově jsou, ale mnohem více používány CMOS čipy.[1]

### 3.5.3 Barevné kamery

Barevného obrazu může být dosaženo dvěma způsoby, první možností je jednočipová technologie, druhou je pak využít 3 oddělené čipy.[1]

Jednočipová technologie má pixely rozloženy na čipu po čtveřicích 2x2, přes ně jsou použity červený, modrý a zelený filtr. Rozdělení je takové, že 1 pixel snímá modrou barvu, 1 pixel červenou a 2 pixely zelenou. Důvodem proč má zelená 2 pixely je to, že čipy jsou na zelenou citlivější. Tato technologie má nevýhodu v tom, že množství pixelů bylo redukováno tímto způsobem a nemá takové rozlišení jaké měl původní černobílý čip bez filtru.[1]

Druhá možnost poskytuje řešení problému předchozí technologie. Tím jsou 3 čipy, kde každý zachycuje pouze 1 barvu. Na základě spojení obrazu z těchto 3 čipů vzniká barevný obraz. Tyto čipy jsou výrazně dražší než předchozí technologie.[1]

### 3.5.4 Všesměrové kamery

Jde o kamery, jež mají rozsah vidění 180 nebo více stupňů. Jsou 3 typy všesměrových kamer.[1]

Prvním typem je dioptrická kamera ta využívá kameru v kombinaci se speciální čočkou. Dioptrické kamery dosahují rozsahu těsně nad 180 stupňů.[1]

Druhým typem je Katadioptrická kamera, jež je kombinací kamery se speciální zrcadlem (eliptické, parabolické, hyperbolické). Katadioptrická kamera dosahuje rozsahu až 360 stupňů ve vodorovné rovině a 180 stupňů v rovině na ní kolmé.[1]

Posledním typem jsou Polydioptrické kamery, které využívají několik kamer k zachycení okolí a jde o jediný typ, jenž nezkrusluje pohled.[1]

### **3.5.5 Vizuální odometrie**

Vizuální odometrie můžeme dosáhnout pomocí stereo kamery (skládá se ze 2 obyčejných kamer), případně pomocí jedné kamery, v tom případě ale neznáme měřítko, to můžeme získat pomocí informací ze senzorů nebo znalosti velikosti některého z předmětů na obrázku. U této metody sledování pohybu se může akumulovat chyba, ale může být redukována díky návratu na místa u nichž už dříve došlo k pozorování.[1]

## **3.6 Optical encoder (optický enkóder)**

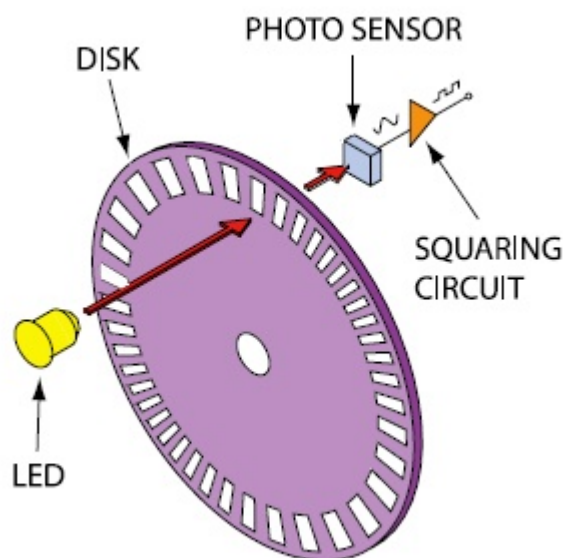
Jde o zařízení, díky kterému můžeme měřit rychlost otáček nebo natočení hřídele např. u motoru nebo u kola. Enkóder se skládá ze zdroje světla, ten je většinou překryt pevnou mřížkou, dále je zde rotující disk s rovnoměrně rozloženými dírkami (s mřížkou) a nakonec optický senzor. Když je disk správně natočen, světlo ze zdroje může procházet skrz díрку být zachyceno optickým senzorem na druhé straně, jakmile se disk pootočí, zdroj je diskem zakryt a optický senzor nemůže světlo zachytit. Díky tomu můžeme pozorovat při otáčení disku na výstupu z optického senzoru sinusovou vlnu. Tuto vlnu můžeme diskretizovat do obdélníkového signálu. Přesnost můžeme počítat v periodách na otáčku, používá se zkratka CPR (cycles per revolution). Běžně mají enkóдеры v robotických zařízeních 2000 CPR, v průmyslu mohou mít i 10000 CPR.[1]

Pokročilejší typ enkóderů se nazývá kvadrurní enkóder. Ten využívá druhý zdroj světla s druhým optickým senzorem a jsou vůči původní dvojici pootočený o 90 stupňů. Díky tomu získáváme 2 obdélníkové signály, které nám poskytnou informaci o směru otáčení a také nám 4 krát zlepši přesnost určení polohy, např. z 2000 CPR na 8000 CPR aniž bychom upravili samotný disk.[1]

## **3.7 Senzory v robotických vysavačích**

Celkově jde o senzory, jejichž název je často dán funkcí na vysavači a je zřejmě zjednodušen z marketingových důvodů. Jde o tzv.: Bump sensor (senzor nárazu), Cliff sensor (senzor schodů), Wall sensor (senzor stěny) a již výše zmíněný Optical encoder (optický enkóder).[14]

Bump sensor je v senzor, který dokáže zjistit náraz do cizího objektu. Cliff sensor a Wall sensor, jsou pak senzory využívající infračervené záření, Cliff sensor je na spodní straně vysavače a měří vzdálenost k podlaze, pokud by byla vzdálenost moc velká, je tímto senzorem eliminováno zničení pádem např. ze schodu. Wall sensor je umístěn na boku vysavače a měří vzdálenost vysavače od stěn.[14]



**Obrázek 6:** Optický enkóder

<https://www.analogictips.com/rotary-encoders-part-1-optical-encoders/>

### 3.8 Volba senzorů

Z mého pohledu by bylo vhodné určitě využít všechny systémy GNSS, jelikož zařízení bude pracovat venku je tato volba jasná, bohužel přesnost těchto senzorů je i při ideálních podmínkách pouze v řádech metrů, tento senzor by mohl být užitečný pro určení přibližné polohy. K GNSS bych určitě bych přidal digitální kompas, jenž nám je schopen říci, kterým směrem je fréza otočena vzhledem k magnetickému poli země.

Ke zlepšení přesnosti lokalizace by bylo dobré použít senzory měřící vzdálenost. Vzhledem k tomu, že fréza bude frézovat v zimě, je jasné, že padající sníh a mlha zkomplikují viditelnost, proto bych nevolil LiDAR, jenž za těchto podmínek může měřit špatně. Lepší volbou by tak byl Radar, jenž by detekoval vzdálené objekty a doplnil bych ho levnými ultra zvukovými senzory pro měření malých vzdáleností. Těmito senzory bychom byli schopni zjistit pozici naší frézy.

Dále by se nám mohli hodit také akcelerometr a gyroskop například ke zjištění náklonu frézy, nebo ke sledování zrychlení.

Senzory, který bych spíše neosazoval jsou optické enkóдеры, jelikož kola se na sněhu často smýkají. Pokud bychom navrhovali multifunkční zařízení, o kterém jsem psal výše, mohli by být enkóдеры užitečné. Náhradou za optické enkóдеры pro sněhovou frézu by mohla být stereo kamera, která by mohla být využita při vizuální odometrii.

## 4 Technologie pohonu

### 4.1 Konvenční pohon

Jde o v dnešní době nejběžnější pohon v osobní dopravě. V tomto případě je hlavní součástí motor s vnitřním spalováním. Princip spalovacího motoru je založen na spalování směsi fosilních paliv vzduchu uvnitř válců, díky tomu se může pohybovat píst ve válci. Píst je připojen k ojnici a ta pak ke klikové hřídeli, díky které je posuvný pohyb pístu transformován na pohyb rotační. Jako palivo můžou být použity benzín, nafta, CNG, LPG, ethanol nebo bionafta.[15]

### 4.2 Elektrický pohon

Existují dva hlavní typy pohonu, kde jsou akčními členy pouze elektromotory, Elektrický pohon na baterii (BEV) a Elektrický pohon s palivovými články (FCEV).[16]

#### 4.2.1 BEV

Elektrický pohon na baterii (BEV) je typ o pohonu, který využívá jeden či více elektromotorů, jež jsou napájeny z velkokapacitního akumulátoru. Ty je pak nutné nabít za zásuvky nebo speciální nabíjecí stanice.[16, 17]

#### 4.2.2 FCEV

Elektrický pohon s palivovými články (FCEV) je o pohon, který také využívá k pohonu elektromotory, ale ty už nejsou napájeny z baterie, zdrojem elektrické energie je totiž palivový článek. Palivo, které se u takovýchto vozidel používá je vodík.[18] Palivový článek má 3 části, ze kterých se skládá jsou to 2 elektrody (anoda a katoda), mezi kterými je elektrolyt. Na anodu je přiváděn vodík z tlakové nádrže, na katodu kyslík ze vzduchu. Vodík je na anodě rozdělen na elektron a kationt (kladně nabitý iont). Kationt následně přechází z anody na katodu přes elektrolyt a mezi elektrodami vznikne napětí. Na katodě se pak kyslík s vodíkem sloučí za vzniku vodní páry.[19]

### 4.3 Hybridní pohon

HEV pohony se vyznačují tím, že součástí je nejen elektromotor jako u čistě elektrických pohonů, ale také motor s vnitřním spalováním, tyto dva motory spolu kooperují. Jde o jakýsi mezistupeň mezi konvenčními pohony a pohony čistě elektrickými.[20]

### 4.3.1 Dělení podle typu spolupráce motorů

Forma spolupráce mezi elektromotorem a spalovacím motorem, je rozdělena na 3 typy. Jsou to sériové hybridy, paralelní hybridy a sériově paralelní hybridy. [20]

Sériový hybridní pohon má připojený spalovací motor k elektrickému generátoru (alternátoru), energie vyrobená generátorem pak napájí elektromotor. Energie dodávaná alternátorem, však nemusí být dostatečná, a proto je součástí systému také baterie, která vyrovnává rozdíl mezi spotřebou elektromotoru a energií dodanou generátorem. V tomto případě tedy není připojen přímo ke kolům vozidla a je tak možné ho držet v ideálních otáčkách a dosáhnout tak vysoké účinnosti.[20]

Paralelní hybridní pohon naopak má spalovací motor přímo připojený ke kolům vozidla, současně s elektromotorem. Auto tedy může být přímo poháněno buď elektromotorem, spalovacím motorem nebo kombinací těchto motorů. Výhodou je tedy možnost využití i výkonu spalovacího motoru k přímému pohonu vozidla.[20]

Sériově-paralelní hybridní pohon je v podstatě kombinací předchozích dvou typů, takže spalovací motor může být připojený na generátor nebo může být jeho výkon přiveden přímo na kola. Můžeme tak využít jak plný výkon obou motorů, pokud ho potřebujeme, ale pokud nám postačuje pouze výkon elektromotoru a využít spalovací motor za podmínek kdy má vysokou účinnost.[20]

### 4.3.2 Dělení podle úrovně hybridizace

Další dělení je podle úrovně hybridizace, tyto úrovně nám říkají, jak moc se elektrický motor celkově podílí na hybridním pohonu. V dnešní době je používáno dělení na Micro hybridy, Mild hybridy, Full hybridy a Plug-in hybridy.[20]

Micro hybrid má pouze malý elektromotor v formě starter/generátoru. Ten je použit například ke startování. Hlavní výhodou od vozidel se spalovacím motorem je možnost využít rekuperaci. Elektromotor se na přímém pohonu vůbec nepodílí.[20]

Mild hybridní pohon je už vyspělejší, má samozřejmě větší baterii a elektromotor. Může již také více pomáhat přímo s pohonem, tedy například při rozjezdu či zrychlení.[17, 20]

Full hybridní pohon už nepoužívá elektromotor jen jako doplněk ke spalovacímu motoru. Vozidlo je v této úrovni již schopno jet pouze na elektřinu.[20]

Plug-in hybrid (PHEV), je pak nejvyspělejší úrovní, jak již název vypovídá jde o hybridní pohon, jehož baterii můžeme nabíjet nejen rekuperací, ale také ze zásuvky.[20]

## 4.4 Volba pohonu

Vzhledem k aktuálním klimatickým problémům a snaze maximálně snižovat emise výfukových plynů je velice pravděpodobné, že bude vyvíjen tlak na využívání elektrických pohonů u většiny mobilních zařízení, podobně jako je tomu u automobilů. Spíše bych se přikláněl k BEV neboli elektrický pohon na baterii, jelikož baterie by mohli být výměnné. Další výhodou je to, že elektrická síť je v dnešní době velice rozšířená, a proto by bylo možné takovou autonomní frézu nabít téměř kdekoliv nebo by se podobně jako robotické vysavače mohla nabít sama v nabíjecí stanici.

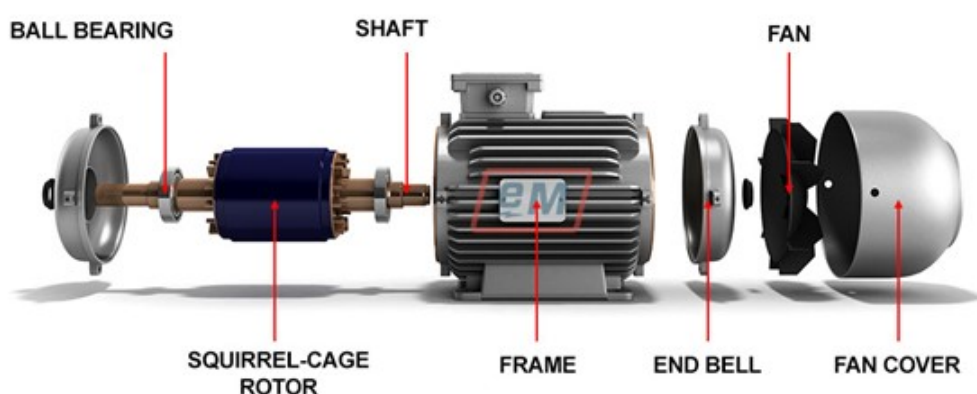


## 5 Akční členy

### 5.1 Asynchronní motor

Jde o jeden z nejpoužívanějších typů elektromotoru, hlavními důvody jsou spolehlivost a jednoduchá konstrukce motoru. Jde o motor napájený střídavým napětím.[21]

- Výhody - jednoduchá a odolná konstrukce, dobrá účinnost, nízká cena, samostartovací (pouze 3 fázová verze), jednoduchá údržba, malý hluk a vibrace [22]
- Nevýhody - komplikovaná regulace, malý točivý moment při rozjezdu [22]



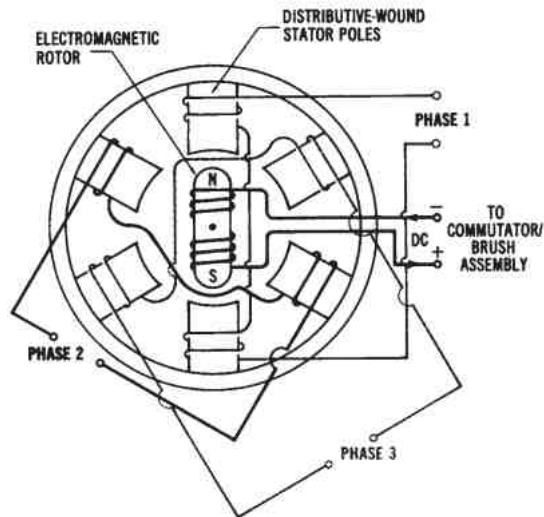
Obrázek 7: Aynchronní motor

<https://www.emotorsdirect.ca/knowledge-center/article/turndown-ratio-in-ac-motor-speed-control>

### 5.2 Synchronní motor

Synchronní motor je konstrukčně podobný jako motor asynchronní, hlavní rozdíl z pohledu konstrukce je v rotoru. U synchronního motoru je rotor konstruován jako cívka, která je protékána stejnosměrným proudem, díky tomu otáčky rotoru odpovídají frekvenci proudu procházejícímu statorovými cívkami. Synchronní motor je stejně jako asynchronní napájen střídavým napětím, připojeným na statoru. Synchronní stroje se ve velké míře používají jako alternátory v elektrárnách.[21]

- Výhody - vysoká účinnost, nezávislost otáček na zatížení [23]
- Nevýhody - nemůžeme rozjíždět pod zatížením, není samostartovací, komplikovaná regulace otáček, častá údržba [23]



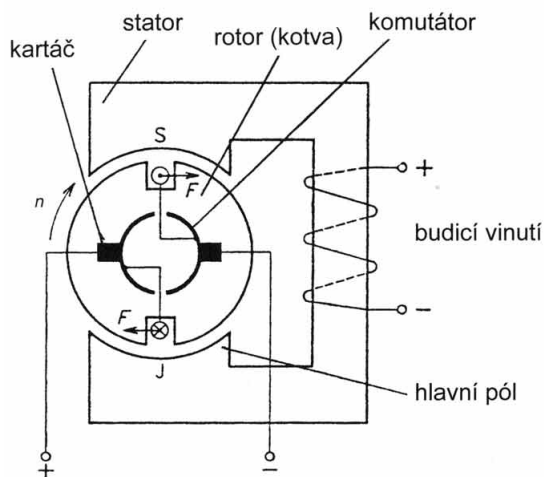
**Obrázek 8:** Schéma synchronního motoru

<https://electricallive.com/2015/03/construction-of-three-phase-synchronous-motor.html>

### 5.3 Stejnospměrný motor

Stejnospměrný motor funguje díky pólům na statoru, které vytvářejí magnetické pole a díky komutátoru. Komutátor je mechanická součást, na níž dosedají kartáče z grafitu, na ně je přiváděn stejnosměrný proud. Komutátor převádí proud z kartáčů do cívek na rotoru v takové směru, aby docházelo k rotaci kotvy v magnetickém poli.[24]

- Výhody - nízká cena, jednoduché levné řízení otáček [25]
- Nevýhody - malá účinnost, nutná údržba (kartáče), nižší rozsah otáček [25]



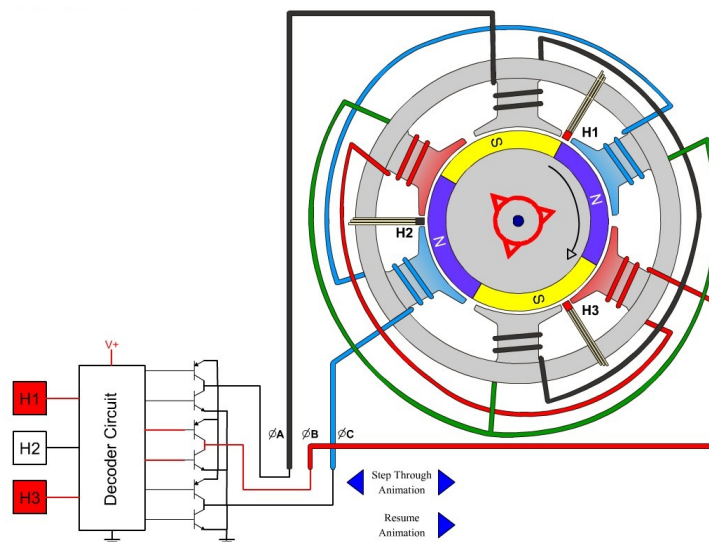
**Obrázek 9:** Schéma stejnosměrného motoru

<https://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnospmernych-motoru>

## 5.4 BLDC motor

BLDC (Brushless DC) motor je stejnosměrný stroj, jehož součástí je takzvaný "elektrický komutátor". Jde v podstatě o řídicí jednotku, která spíná jednotlivá statorová vinutí. K řízení je využívána také zpětná vazba, ve většině případů v podobě Hallovy sondy a ve většině případů je integrována do motoru. Tím, že se zde nenachází žádný mechanický komutátor, je zařízení z mechanického hlediska mnohem jednodušší a má tedy mnohem větší životnost než klasický stejnosměrný motor. Vzhledem k tomu, že jde o stejnosměrný motor, je BLDC motor využíván v zařízeních napájených z akumulátoru (tedy stejnosměrného zdroje) např.: elektro kola, invalidní vozíky, akumulátorové nářadí nebo drony.[26]

- Výhody - vysoká účinnost, plynulý rozjezd a zastavení, velký točivý moment při rozjezdu, malá velikost, malá hmotnost, dlouhá životnost, spolehlivost, malé vibrace, malá hlučnost [27]
- Nevýhody - vysoká cena [27]



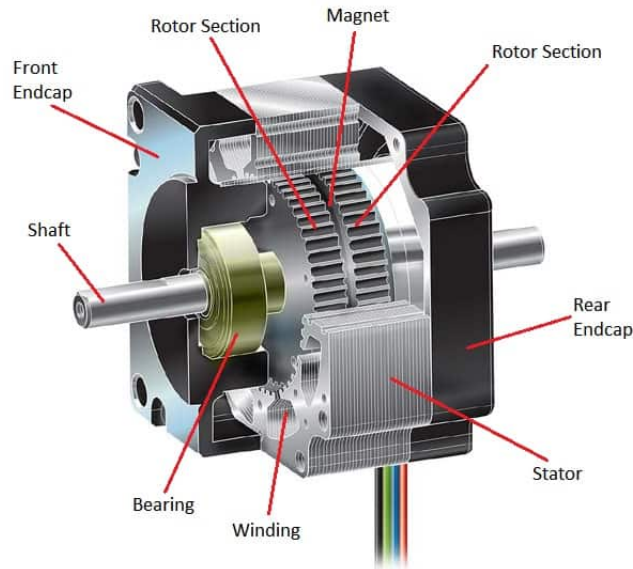
Obrázek 10: Schéma BLDC motoru

<https://electricalbaba.com/brushless-dc-blDC-motor/>

## 5.5 Krokový motor

U krokových motorů, se rotor pohybuje po krocích, každý krok odpovídá jednomu pulsu napájení, můžeme tak řídit nejen polohu natočení, ale i rychlost otáčení. Jednou z nevýhod je nutnost připojit motor přes elektronický ovladač (driver), díky kterému jsme schopni motor regulovat. Momenty dosahované krokovými motory se pohybují od jednotek mN.m do jednotek N.m. Typy krokových motorů jsou krokový motor s proměnou reluktancí, krokový motor s aktivním rotorem a hybridní krokový motor.[21]

- Výhody - životnost motoru, nízké náklady na údržbu, nepotřebuje zpětnou vazbu, velký točivý moment při nízkých otáčkách, vcelku levný [28]
- Nevýhody - nízká účinnost, malý moment při vysokých otáčkách [28]



**Obrázek 11:** Řez hybridním krokovým motorem

[https:](https://islproducts.com/design-note/stepper-motor-fundamentals/)

[//islproducts.com/design-note/stepper-motor-fundamentals/](https://islproducts.com/design-note/stepper-motor-fundamentals/)

## 5.6 Volba motoru

Při volbě motoru bych se určitě zaměřil na to, aby měl vysokou účinnost (abychom využili maximum energie) a velký točivý moment při rozjždění. Dalšími důležitými vlastnostmi jsou spolehlivost a životnost daného motoru, aby nebyla nutná častá údržba. Samozřejmě bych také chtěl, aby motor byl lehký a nevíbroval, jelikož vibrace by mohli mít špatný vliv na životnost celé konstrukce frézy. Je jasné, že bychom chtěli, aby byl motor se všemi těmito parametry také levný.

Z mého pohledu bych měl přidat ještě podmínku, aby mohl být motor napájený stejnosměrným napětím. Jelikož jsem již v předchozí kapitole vybral jako zdroj energie akumulátor, který je stejnosměrným zdrojem energie. Teoreticky by bylo možné tento problém vyřešit tzv. střídačem, abychom mohli použít také střídavé motory, ale z mého pohledu by to celý návrh zkomplikovalo, přidalo hmotnost a zvýšilo cenu.

Pokud si projdeme jednotlivé výše uvedené vlastnosti a jednotlivé výhody uvedených typů motorů, byl by nejlepší volbou BLDC motor. Ostatní motory jsou nevhodné kvůli malému točivému momentu při rozjezdu (Asynchronní motor), střídavému napájení (Asynchronní motor a Synchronní motor), malé účinnosti (Stejnoseměrný motor a Krokový motor), komplikované údržbě (Synchronní motor a Stejnoseměrný motor).

BLDC motor je pro nás ve všech ohledech ideální až na cenu. Pokud se navíc podíváme výše v jakých zařízeních je užíván, např.: invalidní vozíky a elektro kola, tak můžeme říci, že tento typ motoru je vhodný i pro naši frézu.

## 6 Akumulátory

### 6.1 Li-ion

- Výhody - vysoká hustota energie (200 Wh/kg), minimální samovybíjení, bez paměťového efektu, vysoký počet nabíjecích cyklů (500 - 2000 cyklů) [29], dobrá mechanická odolnost, nízká cena [30]
- Nevýhody - stárnutí, nebezpečí vznícení, problémy s podbitím [29], menší proudové zatížení, horší vlastnosti za nízkých teplot (pod 5 °C) [30]



**Obrázek 12:** Li-ion akumulátor

<https://www.avacom.cz/nabijeci-prumyslova-baterie-18650-samsung-2600mah-3-7v-liion-s-vyvody-do-z>

### 6.2 Li-pol

- Výhody - vysoká hustota energie, malé samovybíjení, nízká cena (ale vyšší než u Li-ion), malý vnitřní odpor, velký vybíjecí proud [30]
- Nevýhody - použití ochrany (přebití, podbití) [29], špatná mechanická odolnost (možnost požáru), provozní teploty 5-40 °C [30]



**Obrázek 13:** Li-pol akumulátor

<https://www.gme.cz/li-pol-akumulator-3-7v-1200mah-9x35x41mm>

### 6.3 LiFePo

- Výhody - bez paměťového efektu, dobrá bezpečnost a spolehlivost [30], dobrá chemická a tepelná stabilita, snadná likvidace, malé samovybití, velký počet nabíjecích cyklů (přes 1000 cyklů, až 10000 cyklů), velký rozsah teplot (-15 °C až 60 °C) [31]
- Nevýhody - vyšší ceny [30], menší hustota energie (120 Wh/kg) [31]

### 6.4 NiCd

- Výhody - schopnost pracovat za nízkých teplot, dobrá mechanická odolnost [30], malý vnitřní odpor, krátkodobě velký vybíjecí proud [33]
- Nevýhody - malá hustota energie [30], paměťový efekt, využití Kadmia (Toxický prvek) [32], poškození přebitím [33]

### 6.5 NiMH

- Výhody - oproti NiCd náhrada toxického Kadmia, vysoký počet cyklů (1000-3000) [32], malý vnitřní odpor [33]
- Nevýhody - paměťový efekt, samovybití (verze LSD - low self-Discharge tento problém řeší) [32], malá hustota energie (70 Wh/kg, ale lepší než NiCd o 50 procent) [33]



**Obrázek 14:** NiMH akumulátor

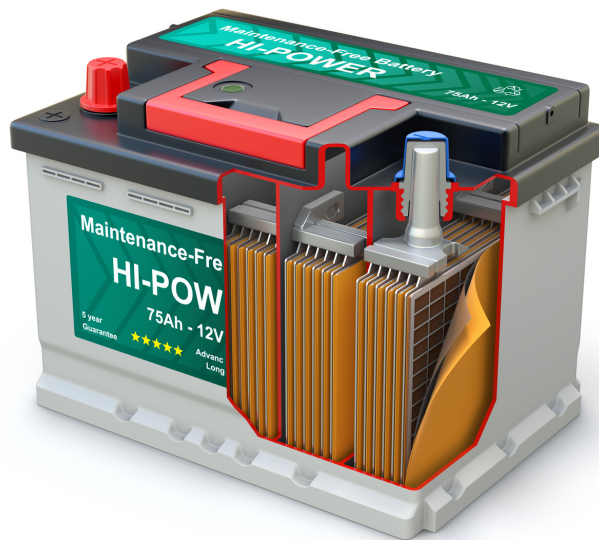
<https://www.gme.cz/>

akumulator-paskovy-nexcell-subc-nimh-3000mah-1-2v

### 6.6 Olověný akumulátor

- Výhody - dlouhá životnost [30], schopná dodávat velké proudy, zvládne přebití, nízká cena, vcelku malé samovybití [34]

- Nevýhody - malá hustota energie, horší mechanická odolnost [30], malý počet nabíjecích cyklů (300-500 cyklů), olovo není dobré pro životní prostředí [34]



**Obrázek 15:** Olověný akumulátor

<https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>

## 6.7 Volba akumulátoru

Od našeho akumulátoru bychom chtěli, aby měl velkou hustotu energie a vysoký počet cyklů, bez paměťového efektu, aby netrpěl samovybíjením, byl odolný, spolehlivý a schopný pracovat i za nízkých teplot a pokud by to bylo možné, aby byl takový akumulátor také levný. Samozřejmě každý akumulátor jak je vidět výše má určité výhody, ale také nevýhody a žádný dokonale nevykazuje mnou požadované parametry.

Proto je nutné udělat kompromis, z výše uvedených akumulátorů bych tedy vybral buď Li-ion nebo LiFePo. Ostatní jsou pro nás nevhodné kvůli samovybíjení (NiCd, NiMH), paměťovému efektu (NiCd, NiMH), malé hustotě energie (NiCd, NiMH, Olověný akumulátor) nebo malé mechanické odolnosti (Li-pol)

Li-ion je pro nás samozřejmě nevýhodný hlavně díky problémům s nízkými teplotami, to by bylo možné vyřešit přehříváním baterie.

LiFePo je sice možné užívat za nízkých teplot, ale mají menší hustotu a vyšší cenu. Pokud bychom nehleděli na cenu a nebyla by pro nás problematická vyšší hmotnost zařízení (případně kratší dojezd při stejné hmotnosti jako s Li-ion), byl by LiFePo akumulátor nejlepší volbou.



## 7 Algoritmy

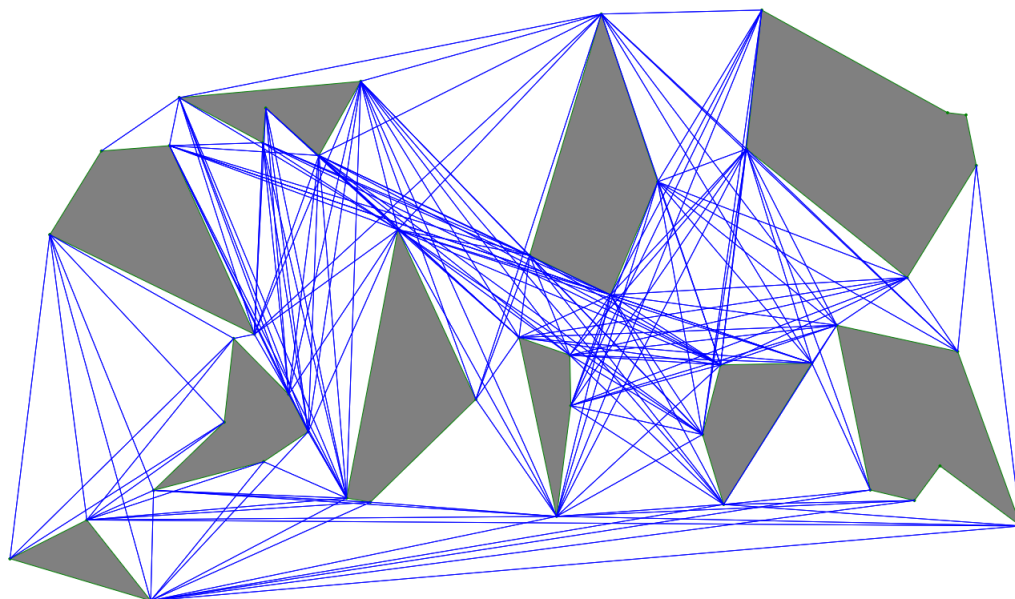
Můj předpoklad je takový, že fréza se bude pohybovat v oblastech pro něž bude mít připravenou mapu. Fréza tedy bude mít do jisté míry znalosti o okolí a na základě těchto znalostí si bude moci naplánovat cestu.

Takovou mapu jako používají lidi však algoritmy nejsou přímo schopny využít. Naši spojitou mapu tedy musíme převést na mapu diskrétní. Díky této diskretizaci jsme schopni vytvořit graf, jenž se skládá z hran a uzlů. Na základě tohoto grafu jsou níže popsány Deterministické grafové algoritmy schopny najít nejkratší cestu.[1]

### 7.1 Konstrukce grafů

#### 7.1.1 Visibility diagram

Najde vrcholy všech překážek a propojí je mezi sebou a také s počátečním a koncovým bodem úsečkami, tak aby úsečky nešli skrz překážky. Výhodou je že cesty jsou navrženy tak, že jdou těsně kolem překážek, aby robot nenarazil musí být zvětšeny překážky s ohledem na velikost robota.[1]



**Obrázek 16:** Visibility diagram

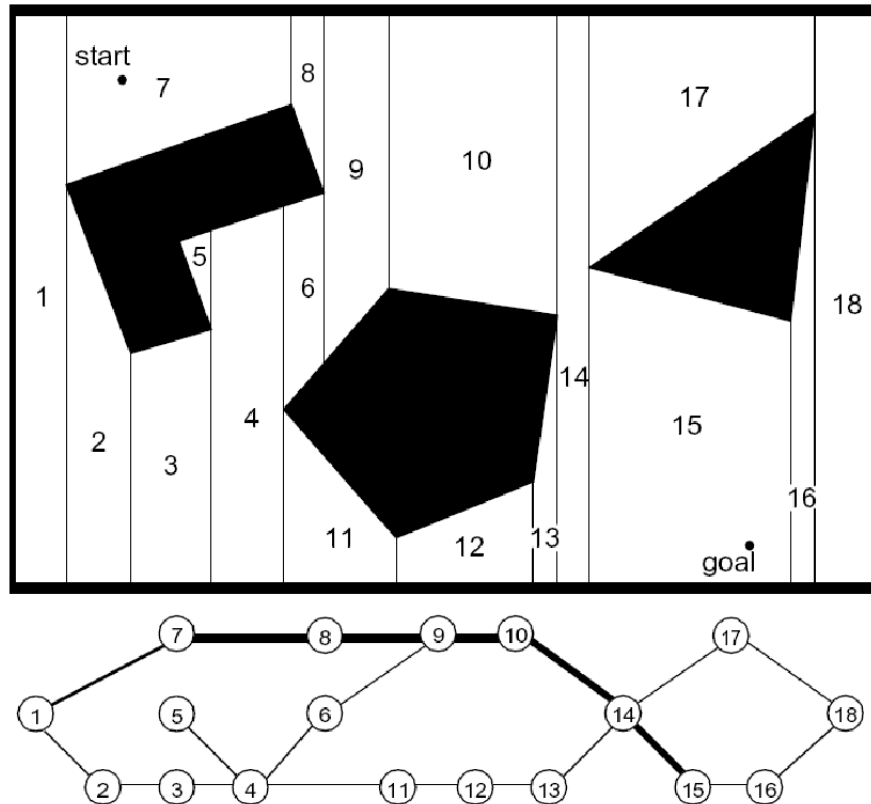
<https://fribbels.github.io/shortestpath/writeup.html>

#### 7.1.2 Voronoi diagram

Navržen tak, aby byla vzdálenost mezi robotem a překážkou co největší. Návrh je taková, aby cesta byla equidistantní vzhledem k překážkám. Problémem je, že navržená cesta není optimální, často je tato metoda také nevhodná pro roboty se senzory s krátkým dosahem.[1]

### 7.1.3 Exact cell decomposition

Tato metoda rozdělí mapu na základě geometrie překážek. Je vhodná pro prostředí s malým množstvím překážek. Čím více je totiž překážek, tím více musí být vytvořeno buněk.[1]



Obrázek 17: Exact cell decomposition

[https://www.researchgate.net/figure/Exact-Cell-Decomposition-Latombe-1991\\_fig3\\_235929101](https://www.researchgate.net/figure/Exact-Cell-Decomposition-Latombe-1991_fig3_235929101)

### 7.1.4 Fixed-size cell decomposition

Tato metoda rozdělí mapu na velké množství stejných buněk, velikost buněk nezávisí na objektech v okolí. Nevýhodou je nutnost velké paměti a možnost ztráty úzkých cest (řešením jsou menší buňky).[1]

### 7.1.5 Variable-size cell decomposition

Tato metoda vytvoří nejdříve základní mřížku a ta je na rozhraní překážek a volného prostoru zjemňována. Díky tomu ušetříme paměť oproti Fixed-size cell decomposition a také jsme schopni zachytit úzké cesty.[1]

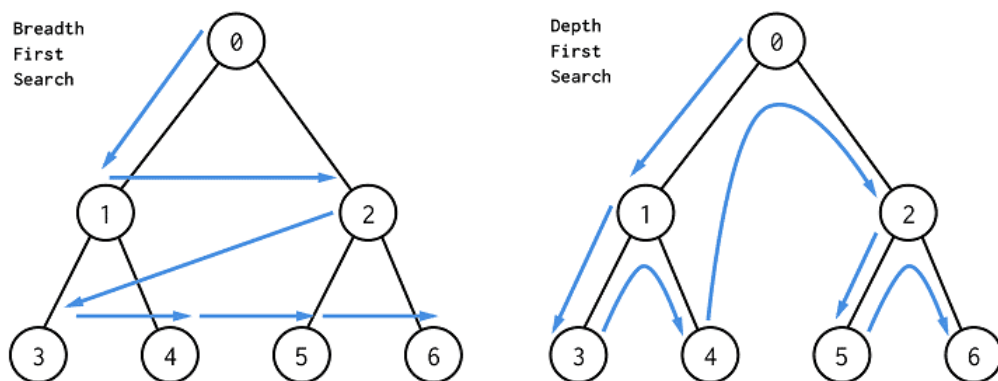
## 7.2 Deterministic graph search (Deterministický grafový algoritmus)

### 7.2.1 Bread-first search (Prohledávání do šířky)

Tento algoritmus nejdříve vyhledá všechny uzly sousedící s počátečním uzlem, dalším krokem je, že ke každému z těchto uzlů vyhledáme jeho sousedy. Algoritmus prochází graf tak, že nejbližší body jsou nalezeny nejdříve a nejvzdálenější nejpozději. Díky tomu jsou cesty seřazeny podle délky bez dalších výpočtů. V případě konstantní délky hran nám přímo vrací nejkratší cestu. Není vhodný pro cesty, kde mají hrany různé délky.[1]

### 7.2.2 Depth-first search (Prohledávání do hloubky)

Algoritmus prochází graf větví po větvi, to znamená, že nejdříve projde první větev od počátečního uzlu do uzlu nejvzdálenějšího, jakmile se tak stane algoritmus se vrací a vyhledává sousedy dalších uzlů.[1]



**Obrázek 18:** Porovnání Bread-first search a Depth-first search algoritmů

[https://www.freelancinggig.com/blog/2019/02/06/  
\what-is-the-difference-between-bfs-and-dfs-algorithms/](https://www.freelancinggig.com/blog/2019/02/06/what-is-the-difference-between-bfs-and-dfs-algorithms/)

### 7.2.3 Dijkstrův algoritmus

Funguje podobně jako Prohledávání do šířky, ale navíc může hledat i v grafech, kde hrany nemají konstantní délku. Podle vzdálenosti od počátečního bodu jsou uzly zařazeny do haldy.[1]

### 7.2.4 A\*

Jde o podobný algoritmus jako je Dijkstrův algoritmus až na to, že využívá také heuristiky. Heuristika je užívána jako zdroj vzdáleností uzlů od cíle. Podle funkce, která zahrnuje jak heuristicky získané vzdálenosti od cíle tak i vzdálenosti od počátečního uzlu, jsou uzly

zařazené do haldy. Ta je procházena dokud nenarazíme na cílový uzel. Díky heuristice může být tento algoritmus často účinnější než Dijkstrův algoritmus.[1]

### **7.2.5 D\***

D\* algoritmus je vylepšením algoritmu A\*. Vylepšení spočívá v tom, že jestliže byla na základě mapy vytvořena cesta a na základě informací ze sensorů zjistíme, že prostředí má jinou podobu než na mapě (překážky jsou na jiných místech), tak je D\* schopný využít původní cestu a pouze jí upravit na základě těchto změn. V případě A\* by muselo dojít k celkovému přepočítání cesty. U D\* je z tohoto důvodu cesta navrhována od cílového bodu.[1]

## **7.3 Algoritmy pro překonání překážek**

### **7.3.1 Bug algorithm**

Jde o nejjednodušší z algoritmů, díky němuž jsme schopni překonat překážky. Princip je takový, že se robot snaží objet překážku tak, že trajektorie neustále sleduje její stěny. Tento algoritmus má různé verze, příkladem mohou být Bug 1, Bug 2 a Tangent Bug.[1]

Bug 1 musí nejdříve objet celou překážku dokola. Následně dojede k bodu, jenž je nejbližší k cíli, a teprve potom opouští překážku a pokračuje k cíli.[1]

Bug 2 začíná s objížděním překážky podobně jako Bug 1, avšak jakmile je zaručena přímá cesta k cíli, opouští překážku a jede k cíli.[1]

Tangent Bug si vytváří, takzvaný local tangent graph na základě sledování okolí. Tento algoritmus si tak může zkrátit cestu díky znalosti pozic překážek a je také více účinný.[1]

### **7.3.2 Vector field histogram**

Se snaží zlepšit robustnost při překonávání překážek pomocí vytvoření lokální mapy okolí ve formě mřížky. Na základě této mapy vytvoří histogram pravděpodobností překážky v daném směru. Na základě tohoto histogramu nalezne směry, ve kterých je dostatečný prostor pro průjezd robota, dále vypočítáme nejlepší z těchto směrů na základě nákladové funkce.[1]

Rozšířením je pak verze Vector field histogram +, která zahrnuje podmínky spojené s kinematikou daného robota.[1]

### **7.3.3 Bubble band technique**

Základním principem je vytvoření bublin kolem základní trajektorie, abychom získali tuto trajektorii, potřebuje globální mapu a globální plánovač cesty. Tvar bubliny je dán tvarem robota a jeho možnými pohyby. Bubble band je schopný optimalizovat cestu tak aby byla hladká, a aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám energie během pohybu. Výhodou je

samozřejmě to, že do výpočtů trajektorie jsou zahrnuty rozměry zařízení. Nevýhodou je pak nutnost znát okolní prostředí.[1]

## **7.4 Volba algoritmu**

Ideální volbou by podle mě bylo převést mapu na graf pomocí Variable-size cell decomposition, protože potřebuje vcelku malé množství paměti, ale přitom je schopna zachytit i úzké cesty. Pro prohledání grafu bych zvolil D\* algoritmus, jenž je schopný dobře reagovat na změny v kombinaci s Bubble band technique, jenž je schopný cestu ještě vylepšit.

## 8 Návrh a výroba modelu

Model by měl zkonstruován tak, aby odrážel v určitém měřítku a určitých mezích reálné zařízení.

Celkově jsem se rozhodl vytvořit 3 modely, přičemž 1. z těchto modelů by mohl být předurčující pro reálnou autonomní sněhovou frézu. V případě 2. a 3. návrhu jde spíše o návrh pro laboratorní účely v oblasti robotiky, případně modely pro návrh robotů do vnitřních prostor, ne jako modely předurčující konstrukci autonomní sněhové frézy.

Všechny modely byly navrženy jako stavebnice, aby bylo možné vytvořit co nejvíce možných modelů s co nejmenším množstvím součástek. To znamená, že pokud máte vytvořený jeden z těchto modelů, přidáním a odebráním určitých součástek, jste schopni vytvořit model jiný, vždy ale budou některé součástky na těchto 2 modelech stejné. Navíc většina dílů byla vytisknuta na 3D tiskárně. Díky tomu je možné, aby si kdokoliv, kdo má přístup k daným souborům a 3D tiskárně vytiskl veškeré součástky potřebné pro stavbu, případně součástky, které mu chybí nebo je ztratil. Jediné součásti, jež nejsou tisknuty, jsou hřídele, ložiska, spojovací materiál a samozřejmě motory a veškerá elektronika.

### 8.1 Příprava před tiskem

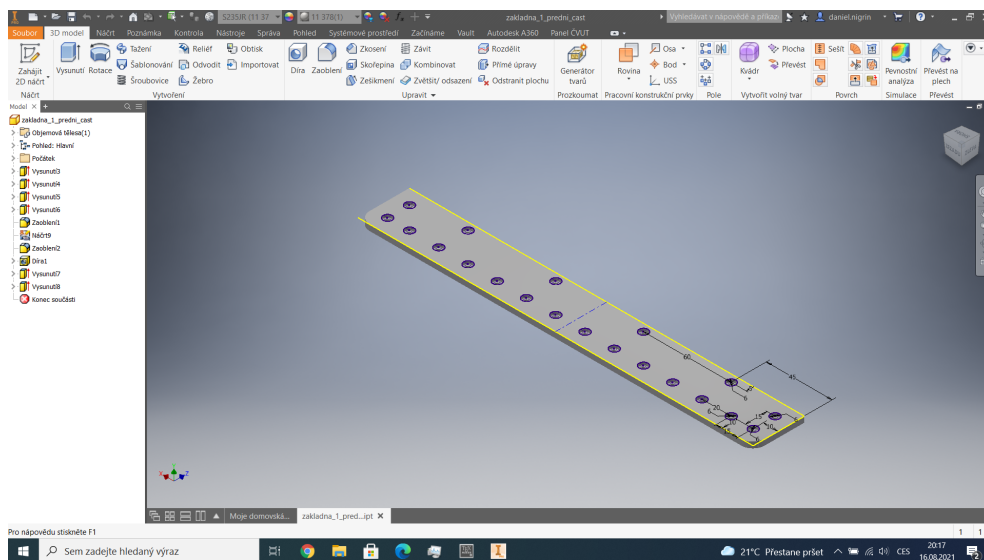
Pokud si chceme vytisknout vlastní součást, musíme si nejdříve vytvořit vlastní model, ten si můžeme vymodelovat v některém z CAD programů např.: Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360 nebo FreeCAD atd.. Model můžeme také získat pomocí 3D skeneru nebo případně můžeme využít volně dostupné modely z internetu.[35]

Pro pokračování je nutné soubor převést do formátu STL, pokud v něm ještě není. STL soubor je pak možné vložit do tak zvaného sliceru. Ten nám poskytuje různá nastavení tisku a změny parametrů tisku jako jsou např.: teplota podložky či trysky, výplň modelu, výška vrstvy nebo chlazení a mnoho dalších parametrů. Ve sliceru musíme také nastavit, o jaký model tiskárny jde (např. kvůli velikosti tiskové plochy), většinou má slicer databázi s tiskárnami. [35]

Model ve formátu STL můžeme do sliceru vložit, natočit a posunout ho tak jak potřebujeme, aby byl při tisku umístěn. Dale nastavíme parametry pro tisk. Nakonec můžeme uložit soubor do formátu G-code. Ten je vytvořen na základě rozřezání modelu na vrstvy, pro každou vrstvu jsou pak vytvořeny cesty, které odpovídají pohybu tiskové hlavy v dané vrstvě. Soubor ve formátu G-code je finálním souborem pro tiskárnu. Pokud hodláme v budoucnu upravovat nastavení tisku, pozici nebo tiskárnu, na které budeme tisknout, je dobré si celý projekt uložit ve formátu 3MF. Díky tomu budeme moci v budoucnu původní parametry ve sliceru upravit a vytvořit tak nový G-code.[35]

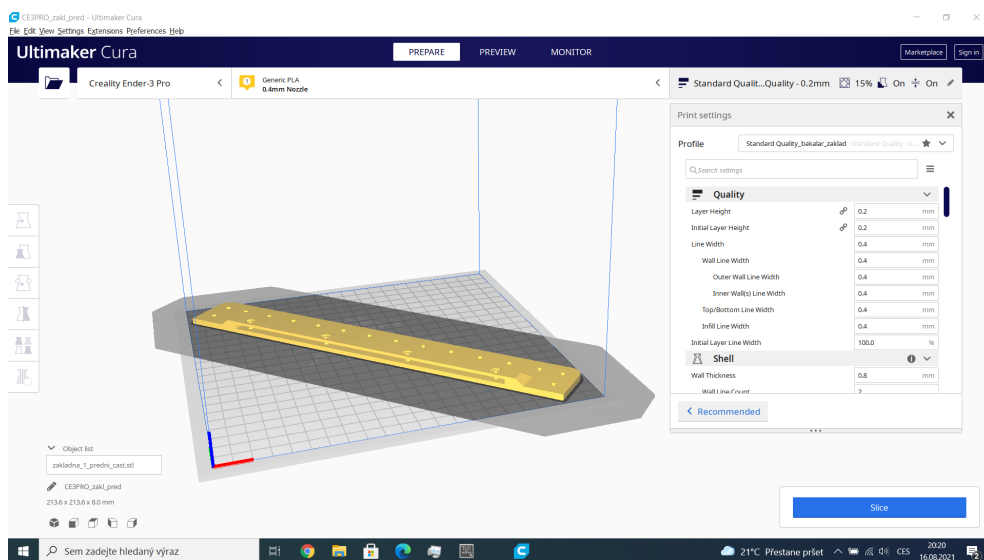
## 8.2 Výroba modelu

Výše je popsán způsob jakým probíhá výroba dílu, tedy nejdříve je nutné součást vymodelovat. Já jsem využil programu Autodesk Inventor jehož licenci mají studenti CVUT k dispozici zdarma.



Obrázek 19: Prostředí programu Autodesk Inventor

Dále jsem použil slice Cura od firmy Ultimaker, ten patří mezi nejlepší slicery a je dostupný zdarma.



Obrázek 20: Prostředí programu Ultimaker Cura

Samotný tisk probíhal na tiskárně Creality Ender 3 V2. Jde o velmi levnou tiskárnu s kartézským souřadným uspořádáním, která navazuje na Ender 3 a Ender 3 Pro. Na tiskárně jsem nic neměnil, dokonce ani firmware. Udělal jsem to hlavně kvůli tomu abych měl jistotu, že všechny tisky co jsem vytiskl byly stejně a nebyly ovlivněny individuálními úpravami

v průběhu návrhu dílů. Druhým důvodem proč jsem na tiskárně nic neměnil, byla snaha dokázat, že i levné a jednoduché tiskárny mohou v základní konfiguraci vytisknout velké množství dílů s vcelku dobrou přesností.

Filamenty jež jsem na výrobu používal byly pak od firmy EKO MB z PLA. PLA jsem volil, protože jsem byl v oblasti 3D tisku úplný začátečník a PLA je v tomto směru velice přátelské.

Trysku ani desku u PLA nemusíme zahřívat na takové teploty jako u jiných materiálů, má malou teplotní roztažnost a neodlepuje se od tiskové podložky.[37]

### 8.3 Akční členy modelu

Modely byly navrženy s ohledem na individuální výběr mezi dvěma motory, těmi jsou upravený servomotor MG995 a krokový motor NEMA 17HS4023.

#### 8.3.1 Servomotor MG995

Jde o servomotor s kovovými převody, hmotnost je 69g a kroutící moment může dosahovat při 6V až 1,5 N.m. Toto servo je možné sehnat také v úpravě, kde má rozsah 360 stupňů a může se otáčet kontinuálně.[38]



Obrázek 21: Servomotor MG995

#### 8.3.2 Krokový motor NEMA 17HS4023

Jde o dvoufázový, bipolární krokový motor, jenž má 200 kroků na otáčku, úhel jednoho kroku je tedy 1,8 stupně, kroutící moment je 0,14 N.m a hmotnost je 126 g.[39]





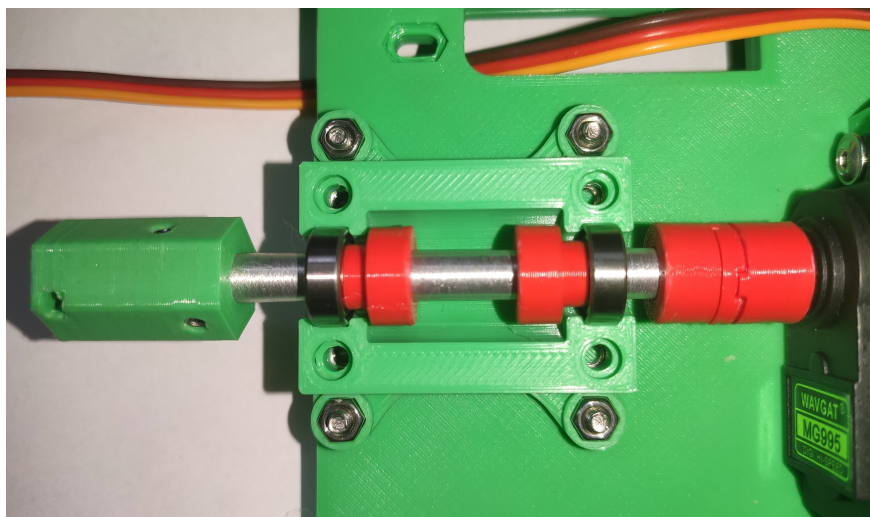
Obrázek 22: Krokový motor NEMA 17HS4023

## 8.4 Konstrukční řešení modelů

Ohledně modelů bych se chtěl zobrazit hodně obrázků a představit některé konstrukční prvky, jež jsem použil.

### 8.4.1 Ložiska a spojky

Na následujícím obrázku je vidět domeček pro ložiska. Hřídel je axiálně zajištěna pojistnými součástkami. Dále můžeme vidět vyrovnávací spojku, která je použita z důvodu možné nesouososti hřídele motoru a hnané hřídele. Na druhé straně je pak vidět spojovací šestiboký hranol, díky němuž je možné jednoduše vyměnit kolo a přenáší také kroučící moment.



Obrázek 23: Domeček pro ložiska, vyrovnávací spojka a spojka pro připojení kola

### 8.4.2 Kola

Jako kola jsem použil pro všechny modely kola typu Omni wheel (Švédská kola 90 stupňů), nejsou nezbytná u modelu 1, u modelu 2 by byla lepší tzv. mecanum wheel (Švédská kola

45 stupňů)[1], u modelu 3 však nezbytná jsou.[40]



**Obrázek 24:** Omni wheel (Švédské kolo 90) zepředu

Kola, která jsem navrhl já mají průměr 80 mm a šířku 30 mm. Po obvodu jsou rozloženy válečky ve dvou řadách, každá řada má 8 válečku, celkový počet válečku na kole je tedy 16.

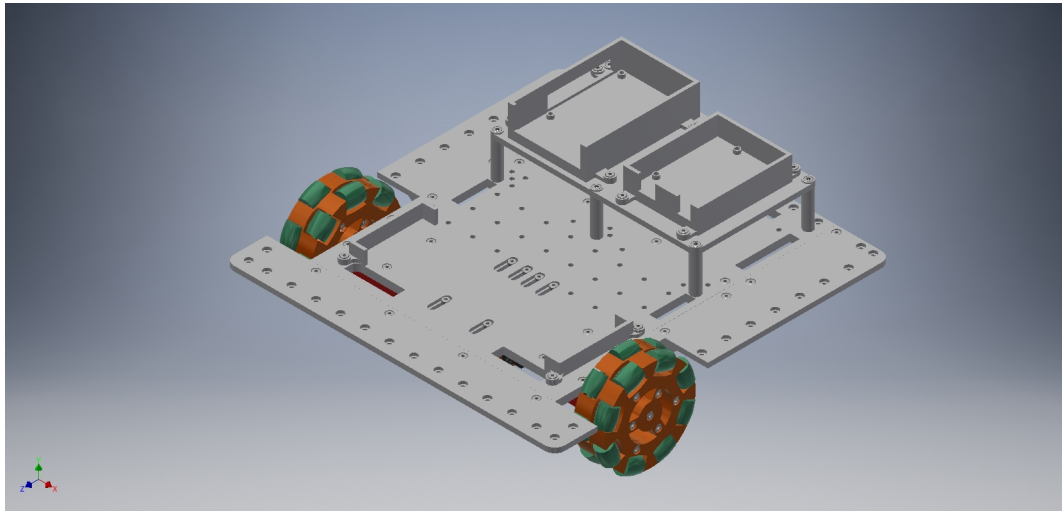


**Obrázek 25:** Omni wheel (Švédské kolo 90) zezadu

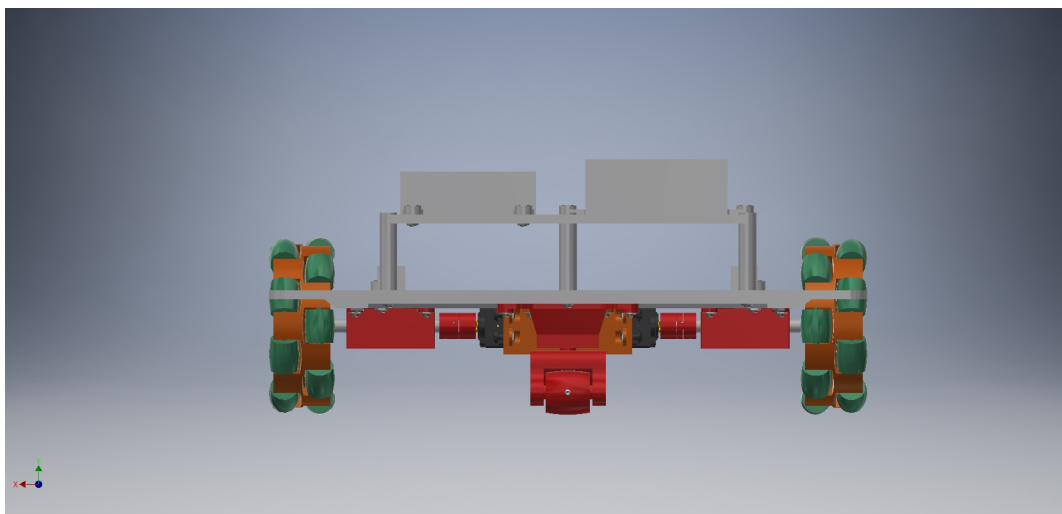
Ze zadní strany kola je pak vidět šestihřanný otvor, díky němuž je možné kolo připojit k spojovacímu šestibokému hranolu a přenášet tak kroutící moment z hřídele na kolo.

### 8.4.3 Model 1 (s diferenciálním podvozkem)

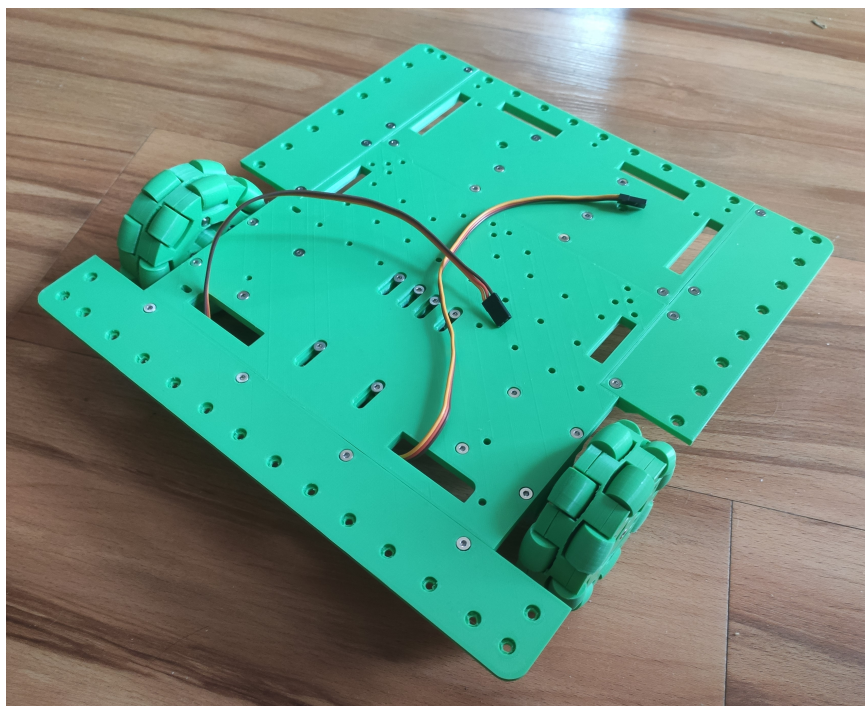
Tento model má dva motory, kde každý motor pohání jedno kolo a vzadu má jedno vlečené kolo. Rozměry tohoto podvozku jsou na délku 275 mm a na šířku 270 mm.



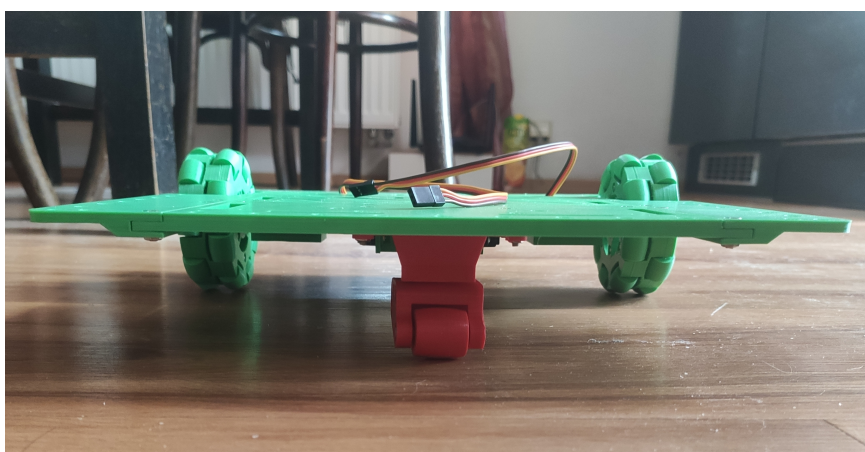
Obrázek 26: Model 1 pohled ze shora



Obrázek 27: Model 1 pohled zezadu



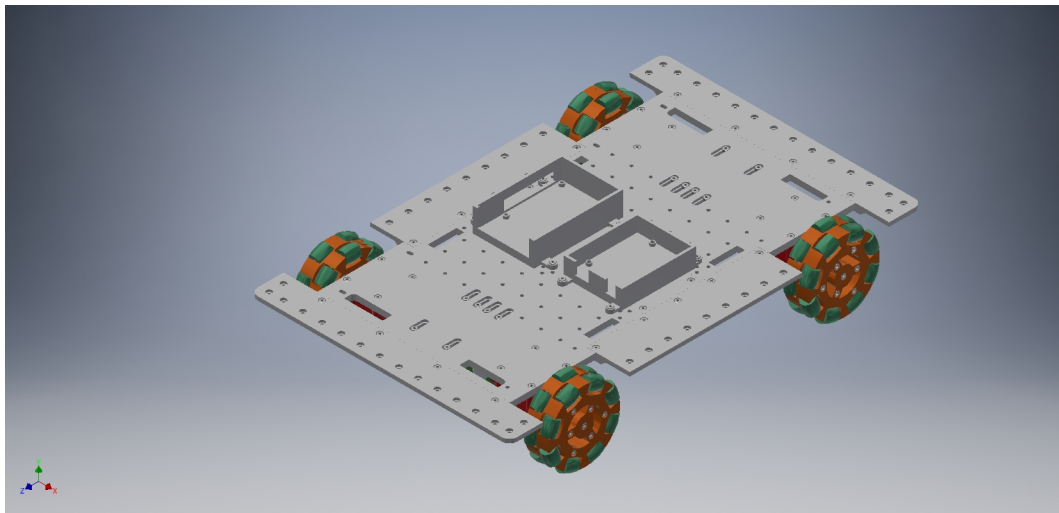
**Obrázek 28:** Sestavený model 1 pohled ze shora



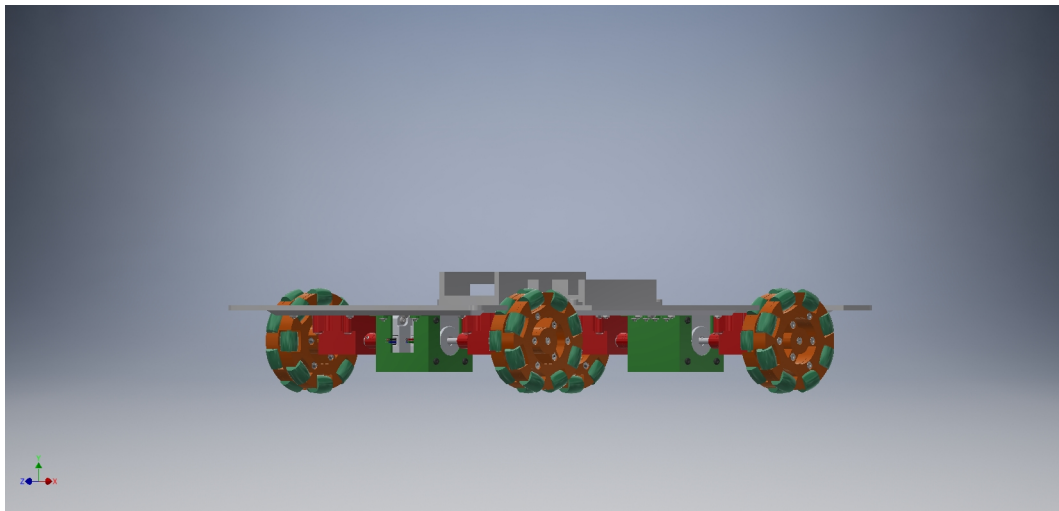
**Obrázek 29:** Sestavený model 1 pohled zezadu

#### 8.4.4 Model 2 (4x4)

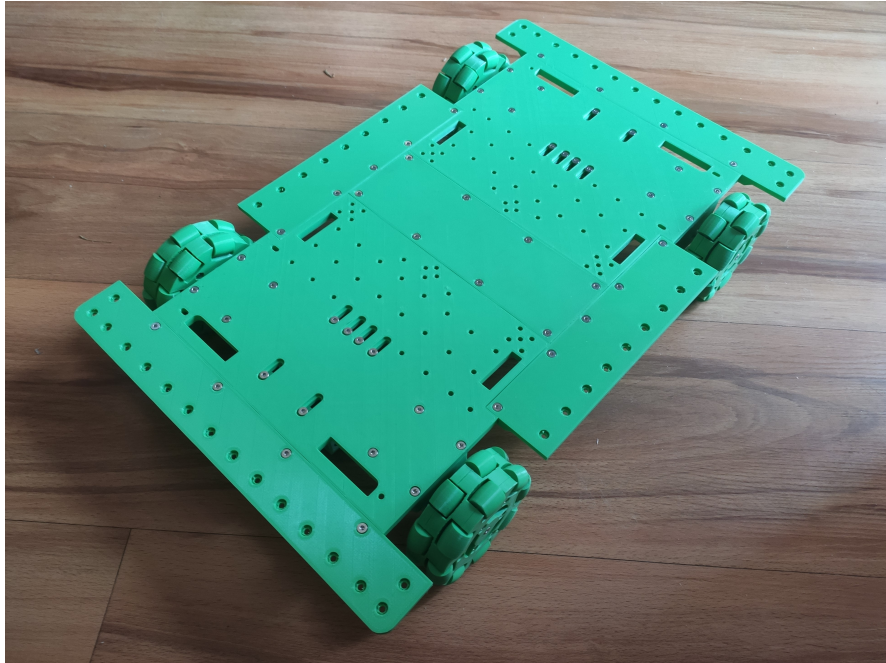
Tento model v každém rohu jedno kolo, každé kolo je hnané. U tohoto modelu je možné vybrat si mezi servomotorem a krokovým motorem. Rozměry tohoto podvozku jsou na délku 430 mm a na šířku 270 mm. Jak jsem již výše psal, tento podvozek by nebyl vhodný pro frézu. Vytvořil jsem ho, ale protože jsem tyto modely všechny vytvářel jako stavebnici, kde si můžete za použití několika dalších součástek podvozek změnit.



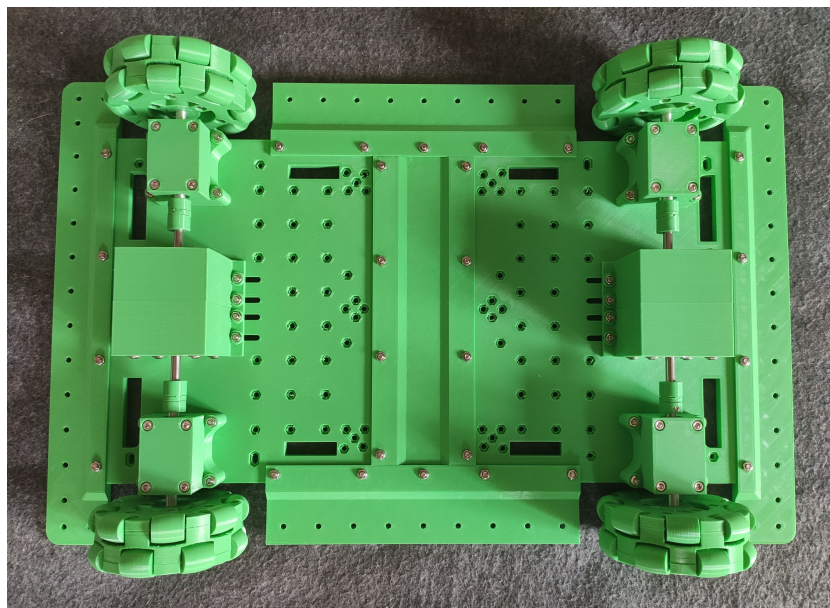
Obrázek 30: Model 2 pohled ze shora



Obrázek 31: Model 2 pohled z boku



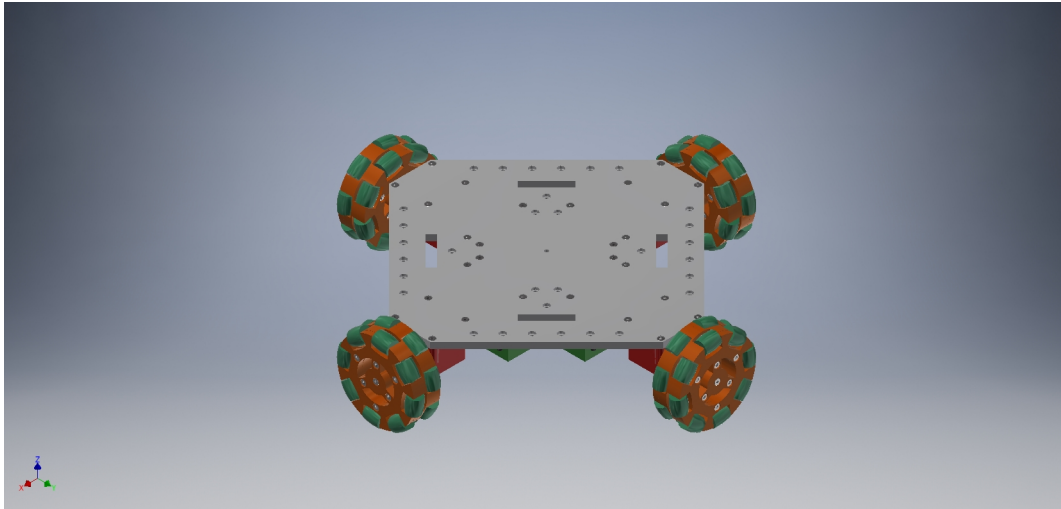
**Obrázek 32:** Sestavený model 2 pohled ze shora



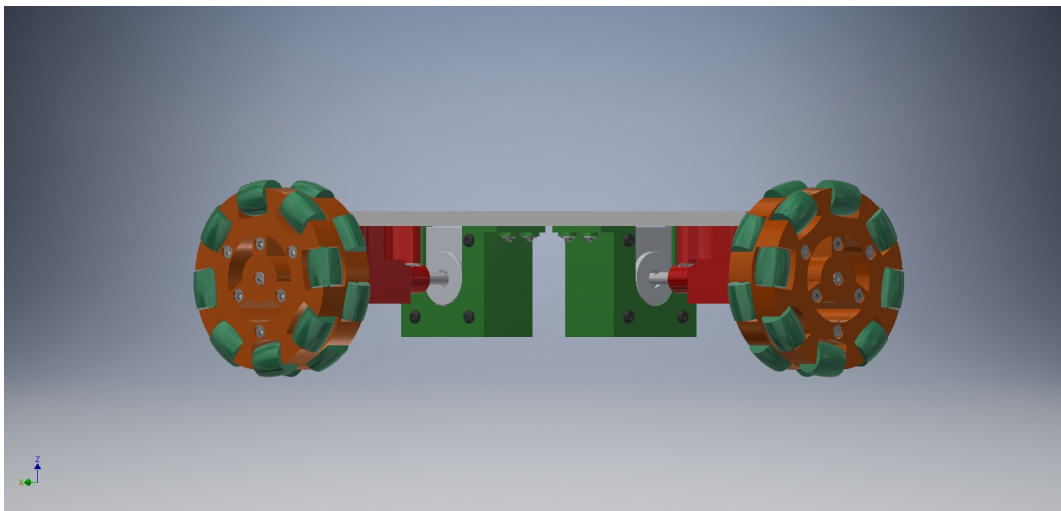
**Obrázek 33:** Sestavený model 2 pohled zespoda

#### 8.4.5 Model 3 (Všesměrový model)

Tento model má hřídele navzájem pootočené o 90 stupňů v horizontální rovině a využívá 4 Omni wheel.[40] Tento model jsem navrhl pouze pro použití krokových motorů. Jak jsem již výše psal, tento podvozek by stejně jako u modelu 2 nebyl vhodný pro frézu. Tento model by však mohl sloužit k seznámení s robotikou a k domácím pokusům.



Obrázek 34: Model 3 pohled ze shora



Obrázek 35: Model 3 pohled ze předu

## 9 Závěr

V této bakalářské práci jsem se v teoretické části zabýval popisem konvenční sněhové frézy a návrhem podvozku, ke kterému bylo představeno několik typů podvozku, v další části jsem se zabýval různými typy senzorů a jejich vlastnosti, na základě těchto informací jsme pak vybrali senzory vhodné pro autonomní frezu. Další část se pak zabývala vyhledáním vhodné technologie pohonu, vhodných akčních členů, baterií a algoritmů. V každé této části byly představeny vlastnosti ke každé z možností a na konci došlo k volbě optimálního řešení.

V praktické části jsem se zabýval výrobou modelových zařízení pomocí 3D tisku. Byly ukázány konstrukční řešení, výhody a nevýhody jednotlivých modelů a volba akčních členů k daným modelům.

Jednotlivá zařízení, jež jsem nakonec navrhl a některá také vytvořil, jsou v mnoha směrech odlišná. Jednou z hlavních odlišností je komplikovanost řízení pohybu jednotlivých modelů. Přičemž Model s diferenciálním podvozkem má pouze 2 řízená kola a jednoduché na řízení, naopak nejkomplicovanější je všesměrový model, jenž se může pohybovat jakýmkoliv směrem a má hnaná 4 kola. Přesto, že výsledná zařízení tak odlišná, je možné jeden model jednoduše přestavit na model jiný.

Samozřejmě tato zařízení nejsou dokonalá a určitě by si zasloužili některá vylepšení, např. k modelu 4x4 by bylo vhodné dodělat mecanum wheel (Švédská kola 45 stupňů), aby mohl být také všesměrový. Dále by bylo dobré vytvořit obyčejná kola s pneumatikami, tak aby se model s diferenciálním podvozkem více podobal reálnému zařízení. Poslední zdokonalení ohledně kol se týká válečků na omni wheel, které by bylo lepší vytisknout z gumy.

Další vylepšení bych viděl ve vyztužení konstrukce tak, aby snesla vyšší zatížení a také ve vytvoření držáků pro různé senzory pro přišroubování k podvozkům.



## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SIEGWART, Roland *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, [online]. MIT Press, 2011. ProQuest Ebook Central, [cit. 28.7.2021]. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=3339191>
- [2] REEVES, James: *How Does A Snow Blower Work? (All Different Types)* [online]. [cit. 17.8.2020]. Dostupné z: <https://www.snowblowerguides.com/how-does-a-snow-blower-work/>
- [3] PENG, Zhu: *Is China's BeiDou a Better Version of GPS and GLONASS?* [online]. [cit. 4.11.2020]. Dostupné z: <https://equalocean.com/analysis/2020082614631>
- [4] ŠTRONER, Martin: *Globální navigační satelitní systémy (GNSS)* [online]. [cit. 8.11.2020]. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie\\_geoinformatika/vy1/OBS/GNSS\\_obs.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/vy1/OBS/GNSS_obs.pdf)
- [5] *ABOUT GYRO SENSORS* [online]. [cit. 8.12.2020]. Dostupné z: [http://mems.tamagawa-seiki.com/en/tec\\_info/](http://mems.tamagawa-seiki.com/en/tec_info/)
- [6] WATSON, Jeff: *MEMS GYROSCOPE PROVIDES PRECISION INERTIAL SENSING IN HARSH, HIGH TEMPERATURE ENVIRONMENTS* [online]. [cit. 10.12.2020]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/MEMS-Gyroscope-Provides-Precision-Inertial-Sensing-in-Harsh-High-Temps.pdf>
- [7] *JAK FUNGUJE A K ČEMU SLOUŽÍ AKCELEROMETR?* [online]. 2020-10-09, [cit. 16.12.2020]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/22568/jak-funguje-a-k-cemu-slouzi-akcelerometr/#Jakie-sa-rodzaje-akcelerometrow>
- [8] *MEMS Accelerometer Gyroscope Magnetometer and Arduino* [online]. [cit. 17.12.2020]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/>
- [9] BRIDGES, Andrew: *Explainer: What are lidar, radar and sonar?* [online]. May 1, 2015, [cit. 17.12.2020]. Dostupné z: <https://www.sciencenewsforstudents.org/article/explainer-what-are-lidar-radar-and-sonar>

- [10] KILIÁN, Karel: *Čím se LIDAR liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech* [online]. 12. října 2018, [cit. 20.12.2020]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-autonomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>
- [11] TSYKTOR, Vasyl: *LIDAR vs Radar vs Sonar: Which Is Better for Self-Driving Cars?* [online]. 28/05/2018, [cit. 20.12.2020]. Dostupné z: <https://cyberpulse.info/lidar-vs-radar-vs-sonar/>
- [12] *Radar sensors RMS1000* [online]. [cit. 8.9.2021]. Dostupné z: <https://www.sick.com/ag/en/detection-and-ranging-solutions/radar-sensors/rms1000/c/g555591>
- [13] *Automotive mmWave radar sensors* [online]. [cit. 8.9.2021]. Dostupné z: <https://www.ti.com/sensors/mmwave-radar/automotive/overview.html>
- [14] BAGULEY, Richard, MCDONALD, Colin: *Appliance Science: How robotic vacuums navigate* [online]. Oct. 6, 2015, [cit. 2.1.2021]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/appliance-science-how-robotic-vacuums-navigate/>
- [15] *Internal Combustion Engine Basics* [online]. NOVEMBER 22, 2013, [cit. 28.1.2021]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/internal-combustion-engine-basics>
- [16] *DRUHÝ ELEKTROMOBILŮ – ZNÁTE JE VŠECHNY* [online]. 21. 3. 2019, [cit. 26.1.2021]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [17] *Types of Electric Vehicles* [online]. [cit. 28.1.2021]. Dostupné z: <https://www.evgo.com/why-evs/types-of-electric-vehicles/>
- [18] *Fuel Cell Electric Vehicles* [online]. [cit. 20.1.2021]. Dostupné z: [https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel\\_cell.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html)
- [19] *How does the Fuel Cell Work?* [online]. [cit. 28.1.2021]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/fuel\\_cell\\_technology](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/fuel_cell_technology)
- [20] CARDOSO, Daniel, FAEL Paulo, ESPÍRITO-SANTO António: *A review of micro and mild hybrid systems. Energy Reports* [online]. 13 September 2019, [cit. 25.1.2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egyrs.2019.08.077>
- [21] UHLÍŘ, Ivan: *Elektrické stroje a pohony* Praha: ČVUT, 2007, [cit. 4.3.2021]. ISBN 978-80-01-03730-0

- [22] *Induction Motor Advantages and Disadvantages Explained* [online]. [cit. 7.9.2021]. Dostupné z: <https://www.etechnog.com/2021/02/induction-motor-advantage-disadvantage.html>
- [23] *Advantages & Disadvantages of Synchronous Motors* [online]. [cit. 7.9.2021]. Dostupné z: <https://instrumentationtools.com/advantages-disadvantages-synchronous-motors/>
- [24] ROUBÍČEK, Ota: *Princip stejnosměrných motorů* [online]. 13.08.2008, [cit. 11.8.2021]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru>
- [25] *Brushed DC motor advantages and disadvantages* [online]. [cit. 8.9.2021]. Dostupné z: <https://www.ecstuff4u.com/2020/03/brushed-dc-motor-advantage-disadvantages.html>
- [26] ŠIMON, Josef: *BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu* [online]. 2011, [cit. 20.2.2021]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>
- [27] *Advantages and disadvantages of brushless DC motors* [online]. 2020-03-05, [cit. 5.9.2021]. Dostupné z: [http://www.szmotorplus.com/2020-03-15\\_52917.html](http://www.szmotorplus.com/2020-03-15_52917.html)
- [28] *What Is Stepper Motor?* [online]. April 28, 2020, [cit. 6.9.2021]. Dostupné z: <https://robu.in/what-are-the-advantages-disadvantageous-of-the-stepper-motor/>
- [29] *Baterie* [online]. [cit. 27.8.2021]. Dostupné z: <https://www.leaderfox.cz/data/content/baterie.pdf>
- [30] *Přehledné informace o typech akumulátorů* [online]. [cit. 2.9.2021]. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/prehledne-informace-o-typech-akumulatoru.html>
- [31] BECK, Anton: *LITHIUM IRON PHOSPHATE VS. LITHIUM-ION: DIFFERENCES AND ADVANTAGES* [online]. September 20, 2019, [cit. 28.8.2021]. Dostupné z: <https://blog.epectec.com/lithium-iron-phosphate-vs-lithium-ion-differences-and-advantages>
- [32] HRUŠKA, Pavel: *Nabíjecí baterie (akumulátory) - typy (NiMH, NiCd, NiZn, Li-ion, Li-pol), chemie, jak vybrat a koupit* [online]. 31.12.2016, [cit. 8.8.2021]. Dostupné z: <https://www.mrpear.net/cz/blog/1092/nabijeci-baterie-akumulatory-typy-nimh-nicd-nizn-li-ion-li-pol-chemie-jak-vybrat-a-koupit>

- [33] *NICKEL BATTERY TECHNOLOGIES* [online]. [cit. 27.8.2021]. Dostupné z: [https://www.epectec.com/batteries/nickel-battery-technologies.html?\\_ga=2.73144659.1333712118.1630143232-1579082864.1630143232](https://www.epectec.com/batteries/nickel-battery-technologies.html?_ga=2.73144659.1333712118.1630143232-1579082864.1630143232)
- [34] *How Do Lead Acid Batteries Work* [online]. [cit. 2.9.2021]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/battery-technology/how-do-lead-acid-batteries-work-technology.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/battery-technology/how-do-lead-acid-batteries-work-technology.php)
- [35] STRÍTESKÝ, Ondřej: *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. 2019,[cit. 1.8.2021]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>
- [36] HULLETTE, Tobias: *Direct Drive vs Bowden Extruder Setup: The Differences* [online]. Mar 20, 2021, [cit. 3.8.2021]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/direct-vs-bowden-extruder-technology-shootout/>
- [37] *PRŮVODCE MATERIÁLY* [online]. [cit. 4.8.2021]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- [38] *Servomotor, 13kg/cm, 360° MG995* [online]. [cit. 15.8.2021]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/servomotor-13kg-cm-360-mg995>
- [39] *Krokový motor NEMA 17 17HS4023 0,14Nm* [online]. [cit. 15.8.2021]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/krokovy-motor-nema-17-17hs4023-0-14nm/>
- [40] *Design and implementation Raspberry Pi-based omni-wheel mobile robot* [online]. November 2015 [cit. 15.8.2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/304291895\\_Design\\_and\\_implementation\\_Raspberry\\_Pi-based\\_omni-wheel\\_mobile\\_robot](https://www.researchgate.net/publication/304291895_Design_and_implementation_Raspberry_Pi-based_omni-wheel_mobile_robot)

## Seznam obrázků

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Konvenční sněhová fréza . . . . .   | 10 |
| 2  | Typy kol . . . . .  | 12 |
| 3  | Rozmístění oběžných drah satelitů GNSS . . . . .                              | 14 |
| 4  | Rám MEMS gyroskopu . . . . .  | 15 |
| 5  | Ultrazvukový senzor HC-SR04 . . . . .   | 18 |
| 6  | Optický enkóder . . . . .   | 21 |
| 7  | Aynchronní motor . . . . .  | 25 |
| 8  | Schéma synchronního motoru . . . . .  | 26 |
| 9  | Schéma stejnosměrného motoru . . . . .  | 26 |
| 10 | Schéma BLDC motoru . . . . .  | 27 |
| 11 | Řez hybridním krokovým motorem . . . . .                                      | 28 |
| 12 | Li-ion akumulátor . . . . .   | 30 |
| 13 | Li-pol akumulátor . . . . .   | 30 |
| 14 | NiMH akumulátor . . . . .   | 31 |
| 15 | Olověný akumulátor . . . . .  | 32 |
| 16 | Visibility diagram . . . . .  | 33 |
| 17 | Exact cell decomposition . . . . .  | 34 |
| 18 | Porovnání Bread-first search a Depth-first search algoritmů . . . . .         | 35 |
| 19 | Prostředí programu Autodesk Inventor . . . . .                                | 39 |
| 20 | Prostředí programu Ultimaker Cura . . . . .                                   | 39 |
| 21 | Servomotor MG995 . . . . .  | 40 |
| 22 | Krokový motor NEMA 17HS4023 . . . . .   | 41 |
| 23 | Domeček pro ložiska, vyrovnávací spojka a spojka pro připojení kola . . . . . | 41 |
| 24 | Omni wheel (Švédské kolo 90) zepředu . . . . .                                | 42 |
| 25 | Omni wheel (Švédské kolo 90) zezadu . . . . .                                 | 42 |
| 26 | Model 1 pohled ze shora . . . . .   | 43 |
| 27 | Model 1 pohled zezadu . . . . .   | 43 |
| 28 | Sestavený model 1 pohled ze shora . . . . .                                   | 44 |
| 29 | Sestavený model 1 pohled zezadu . . . . .                                     | 44 |
| 30 | Model 2 pohled ze shora . . . . .   | 45 |
| 31 | Model 2 pohled z boku . . . . .   | 45 |
| 32 | Sestavený model 2 pohled ze shora . . . . .                                   | 46 |
| 33 | Sestavený model 2 pohled zespoda . . . . .                                    | 46 |
| 34 | Model 3 pohled ze shora . . . . .   | 47 |
| 35 | Model 3 pohled ze předu . . . . .   | 47 |

# Seznam tabulek

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Srovnání LiDARu, Radaru a ultrazvukového senzoru . . . . . | 18 |
|---|--|----|

# Seznam příloh

Příloha 1: CAD, stl, 3mf a gcode soubory modelů