



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH KONSTRUKCE MALÉHO MOBILNÍHO ROBOTU PRO VÝUKOVÉ ÚČELY

DESIGN OF A SMALL MOBILE ROBOT FOR EDUCATIONAL PURPOSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Gabriel Železník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Gabriel Železník**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Daniel Zuth, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh konstrukce malého mobilního robotu pro výukové účely

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat návrhem konstrukce pohyblivého robotu pro výukové účely. Konstrukce robotu bude z velké části tisknutelná na 3D tiskárně a bude se skládat z běžně dostupných prvků pro snadnou výrobu více kusů. Robot bude komunikovat bezdrátově s nadřazeným řídicím systémem.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti malých mobilních robotů a senzorů.
Výběr vhodných komponent pro konstrukci.
Návrh konstrukce včetně sensoriky.
Návrh API rozhraní pro komunikaci s nadřazeným systémem.
Výkresová dokumentace navrženého řešení.
Vyhodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001411.

MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky ... Praha: BEN - technická literatura, 2003. μ C & praxe. ISBN 8073000776.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh konstrukčního řešení malého edukačního mobilního robotu, s možností výroby většiny dílu pomocí 3D tisku.

Práce je dělená na rešeršní část, návrhovou a realizační. Rešeršní část stručně popisuje zařazení robotu a rozdělení jeho jednotlivých subsystémů. V rámci rešerše jsou dále popsány tři komerčně dostupné stavebnice a princip a možnosti 3D tisku. Návrhová část se odráží od výběru elektroniky a postupně pojednává o jednotlivých konstrukčních řešeních, včetně návrhu API rozhraní. Poslední část realizační, představuje tři modifikace vycházející z návrhu, které jsou doplněny poznámkami k tisku z různých materiálů.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is focused on the design solution for a small educational mobile robot, with the possibility of producing most of the parts using 3D printing.

The work is divided into research, design and implementation. The research part briefly describes a classification of the robot and the division of its individual subsystems. The research also describes three commercially available kits and the principle of 3D printing. The design part is reflected in the choice of electronics and gradually discusses the individual design solutions, including the design of API ;. The last part of the implementation presents three modifications based on the design, which are supplemented by notes for printing from various materials.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mobilní robot, 3D tisk, diferenciální řízení, edukační sestava

KEYWORDS

Mobile robot, 3D printing, differential drive, educational set

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽELEZNÍK, Gabriel. *Návrh konstrukce malého mobilního robotu pro výukové účely* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124760>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Daniel Zuth

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Danielu Zuthovi Ph.D. za odborné a vždy ochotné rady, kterými korigoval směr práce od začátku až do konce. Děkuji studentské skupině BRAWLBOYS za všechnu motivaci a inspiraci kterou mi poskytla. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině za všechnu podporu, zejména pak hlavnímu sponzorovi práce, mému bratru Kristiánovi.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26.6.2020

.....
Gabriel Železník

1 OBSAH

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | SERVISNÍ ROBOTY | 17 |
| 2.1 | SUBSYSTÉM MOBILITY | 17 |
| 2.1.1 | Diferenčně řízené mobilní roboty | 18 |
| 2.1.2 | Ackermanův způsob řízení | 18 |
| 2.2 | POHONNÝ SUBSYSTÉM | 18 |
| 2.2.1 | Stejnoseměrný motor | 18 |
| 2.2.2 | Krokový motor | 19 |
| 2.2.3 | Servomotor | 19 |
| 2.3 | SENZORICKÝ SUBSYSTÉM | 19 |
| 2.3.1 | Interní senzory | 19 |
| 2.3.2 | Externí senzory | 19 |
| 2.4 | ŘÍDÍCÍ SUBSYSTÉM | 20 |
| 2.4.1 | Mikrokontroler | 20 |
| 3 | DOSTUPNÉ VYUKOVÉ ROBOTY | 21 |
| 3.1 | Pololu 3pi robot | 21 |
| 3.2 | GoPiGo3 Robot | 22 |
| 3.3 | Dobot AI-Starter | 23 |
| 4 | MOBILNÍ ROBOTY A VYUŽITÍ 3D TISKU | 25 |
| 4.1 | Principy tisku | 25 |
| 4.2 | Materiály | 25 |
| 4.3 | Optimalizace tisku | 26 |
| 5 | VLASTNÍ NÁVRH | 27 |
| 5.1 | Výběr součástí | 27 |
| 5.2 | Návrh pohonného systému | 29 |
| 5.3 | Návrh podvozku | 31 |
| 5.4 | Umístění elektroniky | 33 |
| 5.5 | Řešení karoserie | 35 |
| 5.5.1 | Boční díly karoserie | 35 |
| 5.5.2 | Přední díl karoserie | 36 |
| 5.5.3 | Zadní díly karoserie | 36 |
| 5.5.4 | Kapota | 37 |
| 5.5.5 | Shrnutí řešení karoserie | 37 |
| 5.6 | Návrh API rozhraní | 38 |
| 5.7 | Shrnutí návrhu konstrukce | 40 |
| 6 | SESTAVENÍ A VARIANTY KONSTRUKCE | 43 |
| 6.1 | GABOT Standart | 43 |
| 6.2 | GABOT Transport | 44 |
| 6.3 | GABOT Truck | 46 |
| 6.4 | Shrnutí výroby a modifikací návrhu | 48 |
| 7 | ZÁVĚR | 49 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 51 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKU, TABULEK A PŘÍLOH | 54 |
| 9.1 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 54 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 9.2 | SEZNAM TABULEK | 55 |
| 9.3 | SEZNAM PŘÍLOH..... | 55 |
| 9.3.1 | SEZNAM PŘILOŽENÝCH STL. SOUBORŮ..... | 55 |
| 9.3.2 | SEZNAM PŘILOŽENÝCH VÝKRESŮ | 56 |

1 ÚVOD

Běžné výukové roboty jsou užitečné do doby, než si osvojíme jejich kompletní řízení. Většina komerčně dostupných robotů je odložena na policičku po odzkoušení manuálem nabízených úloh. Tato skutečnost je dána převážně tím, že dostupné roboty nenabízejí velký prostor pro vlastní rozšíření, z čehož plyne obtížné zapojení robotů do komplexnějších úloh.

Zanedbáme-li nyní pořizovací cenu a zaměříme se na vztah mezi rozměrem a funkcí, zjistíme, že nárůst velikosti robotu je mnohdy neúměrný tomu, co dokáže. Nadměrná velikost může znamenat zásadní omezení při řešení pohybu, nebo kooperace více stejných robotů ve stísněných prostorech. Navíc platí, že větší rozměr znamená i větší hmotnost, jejíž nárůst má negativní vliv na dynamiku robotu. Můžeme se tedy setkat s dvěma typy edukačních sestav. Prvním typem jsou malé roboty, které zpravidla nemají řešenou odometrii a jejich pohyb je omezen na sledování čáry, nebo vyhýbání se překážkám. Druhým typem jsou mobilní roboty, které odometrii řešenou mají, ale neefektivně využívají prostor, který zabírají.

V první řadě je cílem této práce navrhnout konstrukci robotu tak, aby poměr mezi funkcí a velikostí byl co nejlepší a zároveň bylo řešení dostupné a výhodné z hlediska finančního. Za těmito účely se na výrobu uvažuje využití 3D tisku, který se stal dostupnou a relativně přesnou výrobní technologií, a to zejména pokud jde o rozměrově malé objekty. Zároveň lze díky 3D tisku efektivně přizpůsobit geometrii konstrukce vybraným elektrickým komponentám, a tak redukovat rozměry robotu.

Dalším cílem je navrhnout robot, na který se po získání programovacích zkušeností nebude jen prášit. Jinými slovy navrhnout takovou stavebnici, pro kterou bude osvojení základů programování začátkem v užívání, nikoliv koncem. Tohoto cíle bude dosaženo za pomoci osazení robotu elektronikou natolik výkonnou, aby nebránila jeho zapojení ani při náročnějších úlohách. Aby uživatel nebyl omezen na využití pouze vybrané elektroniky, bude zaručena flexibilita, díky které bude možno měnit jednotlivé senzory a jejich celkové složení.

Pro efektivní uplatnění robotů na pracovištích různého typu, musí být zajištěna snadná přizpůsobitelnost robotu daným požadavkům. Největší množství mobilních robotů vzniká na univerzitách a jsou vyráběny jen pro úzké spektrum činností. Má-li být konstrukce flexibilní, musí být i jednotlivé systémy navrženy s ohledem na snadné přizpůsobení daným požadavkům. Flexibilita návrhu bude demonstrována na modifikacích, založených principiálně na stejném konstrukčním podkladu, ale s rozdílnými preferencemi v užití.

Návrh konstrukce bude proveden s možností úplné automatizace a kontrolou prostřednictvím bezdrátové komunikace. S autonomním chováním je spojena možnost samostatného dobíjení na dobíjecích stanicích. Konstrukce by měla být vybavena prostředky, umožňující snadnou implementaci dobíjecích konektorů.

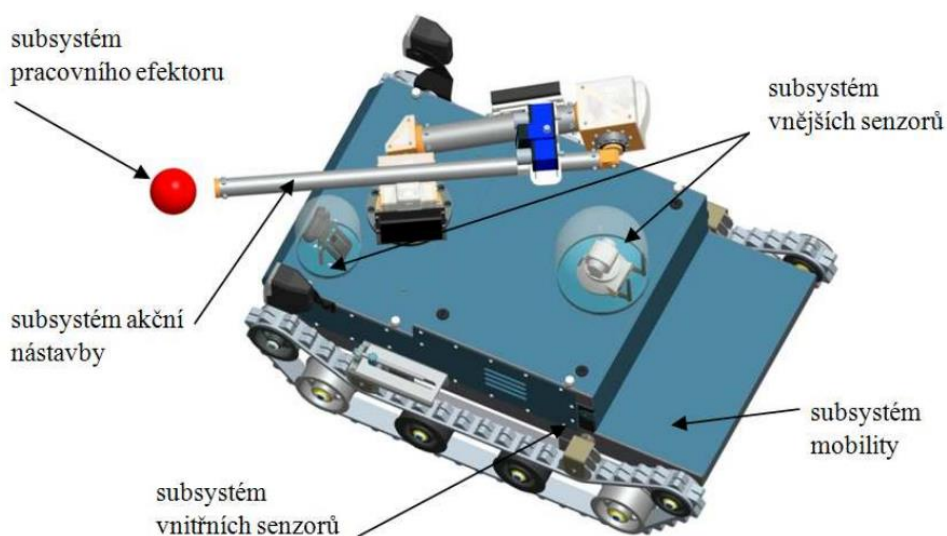
Výsledný návrh by měl představovat edukační pomůcku, sloužící širokému spektru uživatelů, a to od úplných programátorských začátečníků, až po pokročilé programátory.

2 SERVISNÍ ROBOTY

Název servisní roboty pochází z anglického „service robot“ a představuje dynamicky se rozvíjející odvětví robotů určených pro neprůmyslovou praxi. Jedná se tedy o roboty, kteří neprodukují zboží, ale vykonávají činnost prospěšnou člověku. Na trhu jsou tyto roboty zastoupeny především ve formě autonomních vysavačů, sekaček na trávu a výukových robotů. Ve většině případů vnikají nové typy na půdě univerzit v rámci realizace vědecko-výzkumných úkolů.

Z hlediska klasifikace lze chápat mobilní servisní robot jako počítačem řízený integrovaný technický systém, který je schopen samostatného pohybu v prostoru pomocí vlastního lokomočního ústrojí. Je schopen autonomní, cílově orientované interakce s reálným okolím pomocí prostředků umělé inteligence v souladu s instrukcemi operátora. [1]

Servisní robot lze popsat jako strukturovaný technický systém s umělou inteligencí, který je sestaven z funkčně a konstrukčně vázaných subsystémů.



Obr. 2.1 Systémový model mobilního servisního robota [1]

2.1 SUBSYSTÉM MOBILITY

Mezi základní rozdělení servisních mobilních robotů patří způsob realizace pohybu. Ten se odvíjí zejména od prostředí, ve kterém se má robot pohybovat. Velkou skupinu tvoří biomechanické principy mobility. Do této skupiny patří kráčející roboty, které se dále dělí podle počtu končetin, a roboty plazící se. Další skupinou jsou roboty s kolovým podvozkem, které se dělí podle počtu kol, a poslední skupinou jsou roboty pásové.

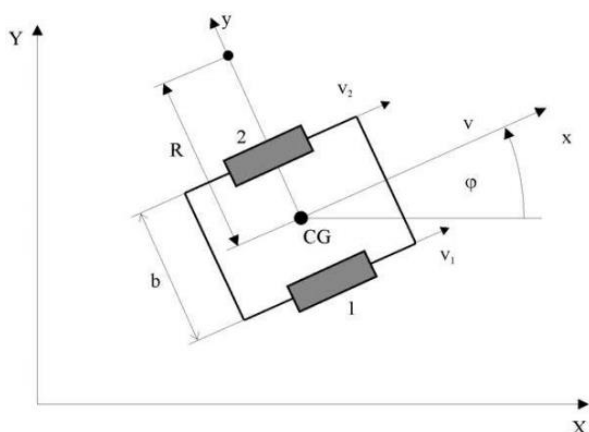
Pro stručnost je dále zaměřeno pouze na roboty s kolovým podvozkem osazeným třemi nebo čtyřmi koly. Tato skupina představuje drtivou většinu kolových robotů všech velikostí. Podvozek je staticky i dynamicky vyvážený, tudíž není potřebné gyroskopické vyvažování. Z hlediska uspořádání hnacích a volně otočných kol a způsobu jejich řízení rozlišujeme roboty s diferenčním řízením, roboty s více stupni volnosti, synchronně řízené nebo roboty řízené Ackermanovým způsobem.

2.1.1 Diferenčně řízené mobilní roboty

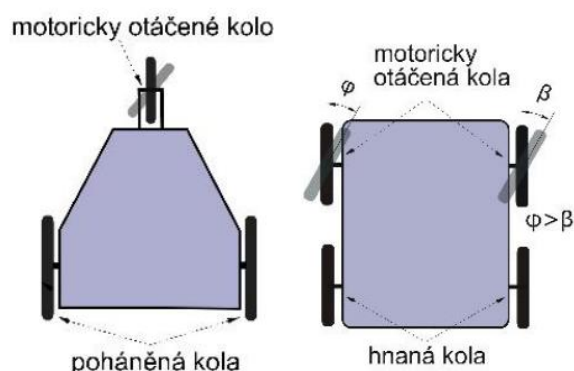
Diferenčně řízený robot má směrová kola neřiditelná a otáčení hnacích kol je řízeno nezávisle. Pohyb a řízení robotu je realizováno rozdílnými rychlostmi hnaných kol. Největší výhodou tohoto způsobu řízení je možnost otočit se na místě kolem svislé osy procházející středem spojnice kol. Toho lze výhodně využít při manévrování v těsných prostorech.

2.1.2 Ackermanův způsob řízení

Čtyřkolová varianta podvozku má dvě kola hnaná, která musí být opatřena mechanickým nebo elektrickým diferenciálem a dvě kola otočná nepoháněná. Tříkolová varianta podvozku má jedno kolo poháněné a dvě řiditelné, popřípadě naopak. Tento způsob řízení poskytuje dobré výsledky nezávisle na kvalitě povrchu.



Obr. 2.2 Model diferenčního podvozku [2]



Obr. 2.3 Ackermanův podvozek tří a čtyřkolý [3]

2.2 POHONNÝ SUBSYSTÉM

Pohonný subsystém je součástí subsystému mobility. V oblasti pohonu mobilních robotů se nejčastěji používají elektromotory.

2.2.1 Stejnosměrný motor

Stejnosměrný motor s permanentním magnetem je v oblasti mobilních robotů nejčastěji používaný typ motoru. Jeho výhody jsou příznivý poměr výkon/hmotnost, relativně snadné řízení otáček, široký výběr a dostupnost. Nevýhodou je složitější rychlostní a polohové řízení.

Stejnosměrný motor obvykle pracuje na relativně vysokých otáčkách a nízkém momentu. Z toho důvodu se používá v kombinaci s převodovkou.

2.2.2 Krokový motor

Běžně se používají tři typy krokových motorů. Krokový motor s pasivním nebo aktivním rotorem a krokový motor hybridní.

Krokový motor s pasivním rotorem je založen na principu změn reluktance magnetického obvodu při otáčení rotoru. Rotor i stator je většinou složen z ocelových plechů. Velikost kroku je 15° . Krokový motor s aktivním rotorem má pohyb založen na působení magnetických sil. Rotor je tvořen permanentními magnety. Výhodou oproti motorům s pasivním odporem je větší krouticí moment. Naopak nevýhodou je větší velikost kroku. Hybridní krokový motor je kombinací dvou předešlých a v praxi je nejvyužívanější.

2.2.3 Servomotor

Servomotor je levné a dostupné řešení pohonu využívané u malých školních robotů. Obsahem serva je stejnosměrný motorek, převodovka a s výstupní hřídelí spřažený potenciometr, který slouží jako senzor úhlu natočení. Úhel natočení bývá u většiny servomotorů $\pm 90^\circ$. Drobnou mechanickou úpravou se dá u některých typů servomotoru omezení úhlu natočení odstranit.



Obr. 1.4 Stejnosměrný motor [4] Obr. 1.5 Krokový motor [5] Obr. 1.6 Servomotor [6]

2.3 SENZORICKÝ SUBSYSTÉM

Tento subsystém je možné rozdělit na dvě základní části. První část je tvořená vlastními senzory a druhá realizuje komunikaci mezi jednotlivými subsystémy. Samotné senzory se dále dělí na interní – měřící parametry robotu a externí – měřící parametry okolí robotu. Podle výstupního signálu se dělí na analogové a digitální.

2.3.1 Interní senzory

Jsou to senzory monitorující například stav baterie nebo teplotu robotu. Pro účely navigace podávají informace o poloze a rychlosti jednotlivých pohonů. Mezi interní senzory patří senzory natočení. Jsou buď analogové – měření změny elektrické veličiny, nebo digitální – bezdotykové měření pro neomezený úhel natočení. Podle způsobu měření je dělíme na přírůstkové (inkrementální) a absolutní.

2.3.2 Externí senzory

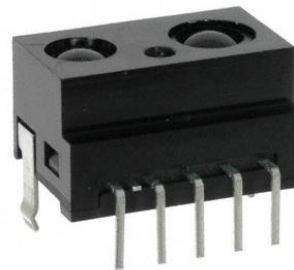
Na základě způsobu měření lze rozlišit dvě základní skupiny externích senzorů a to pasivní, které vyhodnocují pouze přijaté záření z okolí a aktivní, které vyhodnocují vlastní i odražené záření.

Důležitý senzor pro možný pohyb robotu je infračervený detektor překážek (IR senzor). IR senzor se používá k detekování překážek v blízkém okolí robotu (řádově centimetry). Principem IR senzorů je detekce odraženého infračerveného světla od překážky. Světlo bývá emitováno infračervenou LED diodou a detekováno fototranzistorem, který je citlivý v oblasti infračerveného záření.

Pro měření překážek na větší vzdálenost je možné využít sonar. Sonar je založen na měření doby mezi vysláním akustického signálu a přijetím odraženého akustického signálu – echa. Díky nízké rychlosti zvuku ve vzduchu je doba mezi vysláním a přijetím kratší než u laserových a infračervených senzorů. Nevýhodou těchto senzorů je vyšší perioda měření (0.1 s) a vysoké tlumení ultrazvukového signálu (40 kHz).



Obr. 2.7 Ultrazvukový měřič vzdálenosti [7]



Obr. 2.8 IR detektor překážek [8]

2.4 ŘÍDÍCÍ SUBSYSTÉM

Řídicí subsystém a program tvoří mozek robotu. Jeho hardwarová část musí být schopná kvalitativně i kvantitativně načítat informace od senzorického subsystému. Program následně zajišťuje příslušnou reakci akčních členů. Výběr řídicího subsystému je ovlivněn mnohými faktory, mezi které patří – prostředí ve kterém bude robot pracovat, co všechno bude muset subsystém řídit, které senzory bude ovládat a v neposlední řadě rozměry a hmotnost.

Koncepcí řešení tohoto subsystému je řada. Pro řízení mobilních robotů menších rozměrů se velmi často využívá distribuované řízení, při kterém se na řízení podílí separátně více než jeden mikrokontroler. Díky tomuto způsobu řízení můžeme na jednotlivých subsystémech pracovat odděleně. V praxi to znamená, že řízení operačně náročného systému, jako je například pohonný subsystém, obstarává jeden mikrokontroler, zatímco druhý mikrokontroler řídí skupinu operačně méně náročných subsystémů. Další variantou pro řízení většího počtu malých mobilních robotů je decentralizované řízení. V tomto případě je jeden centrální server, představující mozek celého systému, který na základě algoritmu řídí činnost jednotlivých robotů. Komunikace mezi robotem a centrálou je zprostředkována pomocí mikrokontrolerů.

2.4.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler je jednočipový počítač tvořený jednoduchým integrovaným obvodem. Největší oblibě se těší mikrokontroler řady 8051 vyvinutý v roce 1980 společností Intel. Na bázi tohoto již relativně starého mikrokontroleru vznikla celá řada modifikací od různých firem. Jedním z ukazatelů výkonu mikrokontroleru je MIPS (milion instructions per second). Zkratka udává počet miliónů zpracovaných celočíselných údajů za sekundu.

3 DOSTUPNÉ VYUKOVÉ ROBOTY

Jak již bylo zmíněno dříve, na trhu je možné vybírat z široké škály edukačních robotů, které podle stupně obtížnosti programování jsou určeny pro děti na základních, středních i vysokých školách. Výukový robot pro základní školy je obvykle snadno programovatelný skrze software vyvinutý výrobcem, jako je například Scratch nebo Code.org. Do těchto sestav není ve většině případů možno zasáhnout ve smyslu přidání, nebo nahrazení určité komponenty.

U robotů vhodných pro střední a vysoké školy je možné upravovat elektrickou konfiguraci. Uživatel má v omezené míře možnost přidávat, nebo zaměňovat elektrické komponenty. Programování už není tak triviální, často se jedná o Arduino IDE (Integrated Development Environment), které se svou syntaxí již mnoho neliší od programování v jazyku C, nebo C++.

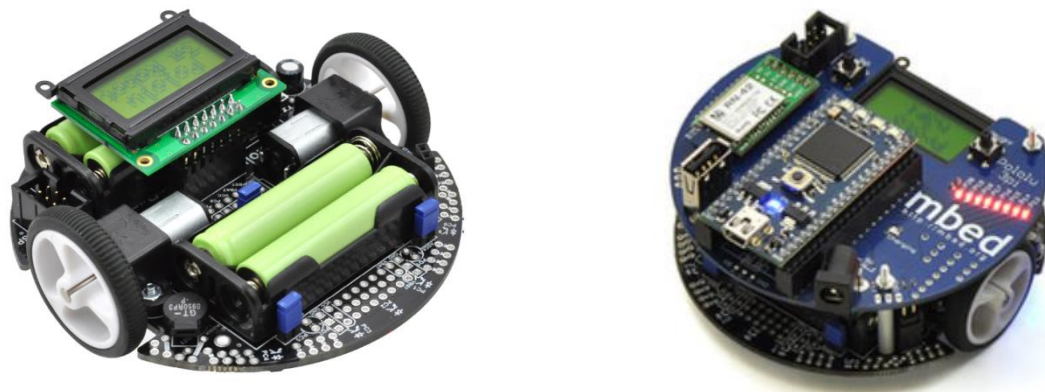
Následovat bude stručný rozbor tří komerčně dostupných stavebnic, které jsou založeny na diferenčně řízeném podvozku a rozměrově se řadí mezi malé edukační roboty.

3.1 Pololu 3pi robot

3pi je mobilní robot, který je ve své základní verzi vhodný pro sledování čáry nebo řešení bludiště. Podvozek robotu tvoří pájená deska o průměru 95 mm, která se pohybuje pomocí dvou mikro-kovových zpřevodovaných motorů, pohánějících 32 mm kola, uložená ve středu desky. K stabilitě přispívá všesměrová kulička. Řízení motorů zajišťuje dvoumotorový řadič TB6612FNG. Maximální rychlost uváděná výrobcem je 90-100 cm/s. Mozkem této soustavy je mikroprocesor ATmega328 AVR, na který jsou kromě motorů připojeny reflexivní senzory, malý LCD display a piezo bzučák. Vše je napájeno čtyřmi AAA bateriemi a díky regulátoru napětí je zajištěn konstantní provoz motoru při 9,25 V. 3pi je pohodlně programovatelný v GNU C nebo C++ a kompatibilní s platformou Arduino.

Pokud není cílem zůstat jen u blikajících ledek a 16 znakového displeje, nabízí se možnost rozšířit robot o další pájecí desku, která vytvoří 3pi druhou úroveň. Ačkoliv je možné přidat další elektroniku, k dispozici máme velice omezený počet volných pinů. Pro pokročilejší programování tedy připadá v úvahu druhá modifikace, která obsahuje mbed, umožňující připojit jednu z výkonných 32bitových vývojových desek ARM a bezdrátového modulu. Při zachování displeje, je už před přidáním vlastní elektroniky obsazena větší polovina plochy, tudíž pro programátorské variace zůstává pouze úzká kruhová výseč.

Maximálně rozšířená sestava umožňuje zapojení libovolných senzorů, avšak postrádá řešení odometrie. Přidání enkodérů není možné, a pohyb je tímto omezen na sledování čáry nebo vyhýbání se překážkám. Kruhovitá konstrukce s koly uprostřed má výhodu v umístění osy otáčení ve svém středu, která umožňuje otáčení na velice malém prostoru. Podvozek ale disponuje pouze jedním podpěrným kolem, a jelikož kromě displeje je většina hmoty soustředěná na střed, může se stát, že při přidání vlastní elektroniky bude robot nestabilní. 3pi není žádným způsobem krytován. V případě kolize je tedy elektronika vystavena přímému nebezpečí poškození.



Obr. 3.9 Pololu 3pi v základní a maximálně rozšířené verzi [9]

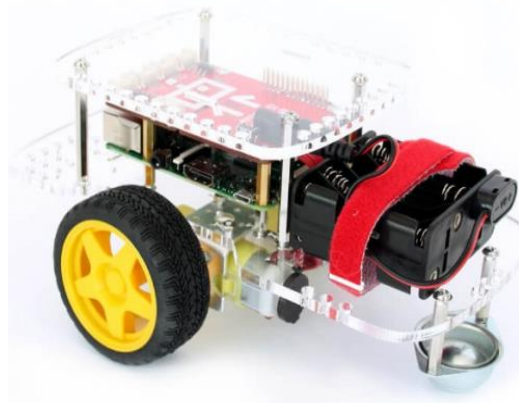
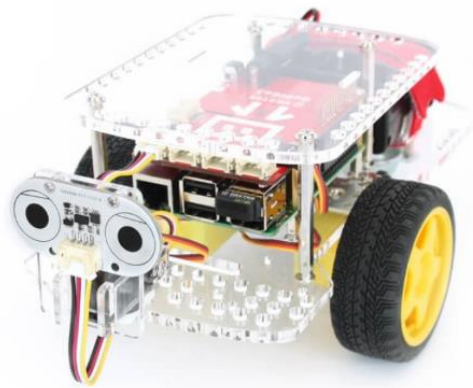
3.2 GoPiGo3 Robot

GoPiGo3 je kolový robot s diferenciálním řízením, kterého je možné zakoupit ve formě stavebnice. Konstrukce je tvořena obdélníkovým podvozkem z akrylu o rozměrech 200x100mm, na kterém jsou ze spodu umístěny dva servomotory a z vrchu pouzdro na 8 AAA baterii a dvojce desek s elektronikou. Prostor pro vlastní projekty tvoří akrylová deska o rozměrech 120x100mm připojena k podvozku pomocí distančních sloupků.

Zpřevodované servomotory dokážou nezatíženému robotu udělit rychlost 34 cm/s. Možnost řízení a navigace je zajištěna pomocí dvou optických enkodérů s rozlišením 18 CPR. Sestava se pohybuje na dvou 66,8 mm poháněných kolech a na podpěrné kovové kuličce v pouzdru.

Elektronika je založená na desce Raspberry Pi 3, na kterou je připojena GoPiGo deska, která obsahuje kontrolér SN7544, chip ATmega328, optické enkodéry, senzor pro sledování čáry a analog/digital porty, které je možné využít pro zapojení vlastní senzorky. Komunikace s ostatními senzory je pomocí I2C. Horní akrylová deska a volné porty dávají prostor pro vlastní návrh projektů. Vlastní program lze do robotu nahrát prostřednictvím SD karty. Pro začátečníky je vhodný DexterOS, ve kterém se uživatel seznámí se základy kódování. Pro pokročilé je Python Programming, ve kterém je možné robot ovládat pomocí kompasu nebo GPS.

Stavebnice firmy Dexter představuje dobrou základnu pro naučení základů programování a využití senzorů. Nabízí se otázka, jak by byla realizovatelná kolaborace více robotů na menším prostoru, jako je například školní lavice. Při započítání šířky kol jsou rozměry robotu 200x140x105 mm. Osa rotace není uprostřed, což představuje stěžující okolnosti při zatáčení. Zád' robotu je protažená jen kvůli uložení tužkových baterií, které kromě rozměrů značně zvyšují váhu. Robot nemá žádnou karoserii chránící elektroniku při kolizi či nečistotami prostředí.



Obr. 3.10 GoPiGo 3 [11]

3.3 Dobot AI-Starter

AI-Starter je výukový robot, který jako jeden z mála přichází s kompletním hliníkovým krytováním. Sestava je založená na tříkolovém podvozku s diferenciálním řízením. Hnaná kola o průměru 67 mm pohání DC motor s převodovkou a enkodérem s maximálními otáčkami 100 r/min. Mozkem je 8bitový chip ATmega2560 zasazený v desce DuDuino, která je kompatibilní s Arduinem.

Robot, o rozměrech 195mmx172mmx79mm, je osazen třemi sonary, jedním infračerveným senzorem a senzorem pro sledování čáry. Napájení je zajišťováno Li-ion baterií, kterou je možné nabíjet pomocí USB kabelu. AI-Starter má na své vrchní části nákladovou plochu, kterou je možné zatížit maximální vahou 500 g.

Robot neposkytuje žádnou další možnost elektronického rozšíření. Všechny senzory včetně enkodérů jsou napojeny na jeden chip, který bude jen stěží zvládat zpracovávat všechny signály, což povede k pomalým odezvám na řídicí impulzy. Celkové rozměry neumožňují řešení kooperačních úloh více robotů na malém prostoru a na větších vzdálenostech se projeví malá rychlost, která je dána převodem 1:48.



Obr. 3.11 Dobot AI-Starter [12]

4 MOBILNÍ ROBOTY A VYUŽITÍ 3D TISKU

3D tisk je bránou k novým možnostem při řešení konstrukcí malých mobilních robotů. Výhod této výrobní technologie je několik. V první řadě je to dostupnost. Cena, za kterou je možné pořídit si vlastní 3D tiskárnu stále klesá a obsluha takové tiskárny vyžaduje minimální zkušenosti. 3D tisk neklade meze fantazii, tudíž je možné s relativně dobrou přesností vyrábět předměty navržené v kterémkoliv 3D modeláři. Je dostupná celá řada různých typů plastů s odlišnými vlastnostmi a požadavky na tisk. Z finančního hlediska se 3D tisk řadí k technologiím dostupným široké veřejnosti. To však neznamená, že je jeho využití vhodné za každé situace. Hlavním problémem této technologie je výrobní čas, který se i u malých částí pohybuje v řádu hodin. Vzhledem k této skutečnosti se v sériové výrobě 3D tisk téměř nepoužívá.

Aby byl mobilní robot při malých rozměrech schopen řešit co největší množství úloh, musí být jeho konstrukce plně funkční a zároveň lehce přizpůsobitelná požadavkům uživatele. Dalším důležitým předpokladem je mechanická odolnost konstrukce, která je ovlivněna převážně tloušťkou stěn a hustotou jejich výplně. K eliminaci nevyužitelného prostoru je zapotřebí maximálně přizpůsobit tvar konstrukce jednotlivým elektronickým a mechanickým komponentám, což povede k vytváření složitých a těžce vyrobitelných tvarů. Složitá geometrie není pro 3D tisk překážkou. Jeho užití poskytuje konstruktérovi široké možnosti pro prostorovou optimalizaci konstrukce.



Obr. 4.12 Prusa MK3 [13]

4.1 Principy tisku

3D tisk patří do kategorie aditivní výroby. Jedná se o postupné nanášení vrstev metodou tavení, popřípadě spékání. Model vytvořený v libovolném 3D modeláři se nahraje do programu nazývaném Slicer, ve kterém se vytváří síť a upravují parametry tisku. Parametry jsou závislé na geometrii a požadované kvalitě výtisku. Jejich nastavení má přímý vliv na hmotnost modelu a délku výroby.

4.2 Materiály

Výběr materiálu se odvíjí od požadavků na mechanické vlastnosti. Prodává se ve formě vláken, nazývaných filament. Mezi nejrozšířenější patří ABS, PLA, PET-G.

PLA je biologický rozložitelný plast, který má teplotu tavení okolo 220°C. Je uživatelsky nejprívětivější, pro potraviny nezávadný a při tisku neprodukuje téměř žádné výpary. V porovnání s jmenovanými materiály mírně zaostává v mechanických vlastnostech.

ABS je termoplast na bázi oleje. Teplota tavení je okolo 250°C. Během chlazení vykazuje smršťování, z toho důvodu je nutné vyhřívat podložku tiskárny. Během tisku produkuje výpary a není vhodný pro styk s potravinami. ABS si zachovává dobré mechanické vlastnosti i za vyšších teplot.

PET-G je nejběžnější plast na světě. Přípona „G“ znamená modifikovaný glykol, který se přidává během polymerace za účelem zvýšení houževnatosti. Tento materiál představuje kompromis mezi výše zmíněnými plasty.



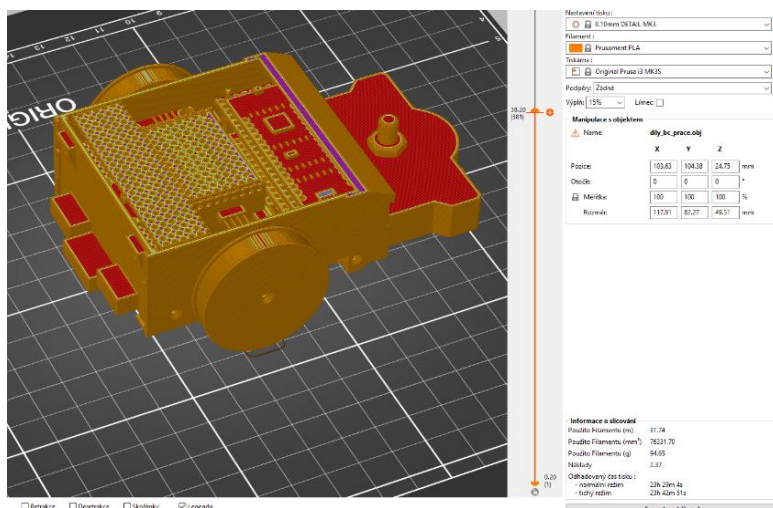
Obr. 4.13 Druhy filamentu, zleva – PLA, ABS, PET-G [14]

4.3 Optimalizace tisku

Pro dosažení požadované kvality 3D tisku je ve sliceru několik možností optimalizace. Jelikož nic není zadarmo, je třeba se vždy rozhodnout, který z parametrů je pro nás důležitější.

Jedním ze základních parametrů je výška vrstvy. Snižováním lze dosáhnout plynulejšího a hladšího povrchu, ale dojde k prodloužení délky tisku. Při tisku namáhaných dílů hraje velkou roli hustota vnitřní výplně. Běžná hodnota je 15 %. Je dobré si uvědomit, že na úkor zvýšené pevnosti, nám narůstá cena, délka tisku a hmotnost modelu. Slicery dále umožňují výběr vzoru vnitřní výplně, nastavení počtu plných horních, nebo spodních vrstev a další možnosti, díky kterým lze dosáhnout výtisku dle představ.

Mimo softwarové nastavení je možné kvalitu ovlivnit i změnou průměru trysky. Běžný průměr je 0.4 mm. Při využití trysky menšího průměru lze dosáhnout lepších detailů v rovině podložky, avšak délka tisku se prodlouží až čtyřnásobně. Pro rozměrově větší modely, které jsou méně náročné na detail, mohou přijít v úvahu i trysky s větším průměrem. K dostání jsou trysky o průměru 0.6 mm, nebo 1 mm.



Obr. 4.14 Prostředí PrusaSliceru

5 VLASTNÍ NÁVRH

Na základě rozboru výše uvedených sestav lze definovat základní nedostatky dostupných edukačních robotů. Malé roboty nemají řešenou odometrii a jejich hardwarová výbava umožňuje řešit skromné množství úloh. Na druhé straně výkonnější roboty s řešenou odometrii jsou rozměrově předimenzovány. Celkově lze říct, že prostor pro vlastní modifikace je u všech sestav velice omezený. Roboty z pravidla nemají řešenou ochrannou karoserii a když už ano, jsou účelově vyhrazeny pro úzké spektrum úloh bez možnosti dalších změn. Na základě těchto faktů, jsou stanoveny cíle návrhu konstrukce.

Cílem konstrukce navrženého robotu je mít maximálně využitý prostor, řešenou odometrii a plnohodnotnou sensoriku. Konstrukce má být navržena tak, aby bylo možné přizpůsobit robot k řešení rozdílných úloh. Dalším cílem je agilita, a to nejen mechanická, ale i elektrická. Počítá se s kompletním řešením ochranné karoserie, která nebude překážkou při dalším rozšiřování funkcí robotu. Předpokládá se, že robot bude operovat v laboratorním prostředí, ve kterém se bude umět pohybovat, sbírat data z okolí a spolupracovat s dalšími roboty. Řízení bude zajišťovat nadřazený systém, s kterým bude komunikovat pomocí Wifi.

Z možných variant řešení řízení je pro malý mobilní robot nejvýhodnější diferenciální způsob, protože pro pohon i změnu směru je zapotřebí pouze dvou motorů.

Vlastní návrh robota začíná výběrem komponent, které mají hlavní vliv na geometrii konstrukce. Uvažované součástky lze rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří součásti, u kterých se nepředpokládá jejich záměna a svými rozměry přímo ovlivní velikost robotu. Zde patří motory, baterie, enkodéry, podpurná kulička a senzory pro detekci překážek. Druhá skupina jsou součásti, které bude možné vyměnit za jiné podle potřeby uživatele. Do této skupiny patří vnitřní i vnější sensorika nebo řídicí desky normalizované velikosti.

5.1 Výběr součástí

Následovat bude přehled uvažovaných součástí pro vlastní návrh sestavy.

Napájení robotu bude skrze Li-pol akumulátor s kapacitou 1200 mAh a napětím 3,7 V. Díky vysoké hustotě energie, má tento typ baterie velice dobrý poměr kapacita/rozměr. Konkrétní rozměry použité baterie jsou 5x42x50mm. Mezi další výhody patří snadné nabíjení a téměř žádné samovybití.



Pro pohon byly voleny stejnosměrné miniaturní motory *Obr. 5.15 Li-pol akumulátor [17]* s vysokými otáčkami. Elektromotor typu NMB K30 je poměrem velikost/otáčky vhodnou variantou pro tento koncept. Řízení motoru bude zprostředkované skrze dvoumotorový řadič TB6612FNG, který má zabudovanou ochranu proti přehřátí i nízkému napětí a filtrační kondenzátory na obou filtračních napájecích vedeních. Otáčky každého motoru se řídí PWM až do 100kHz.

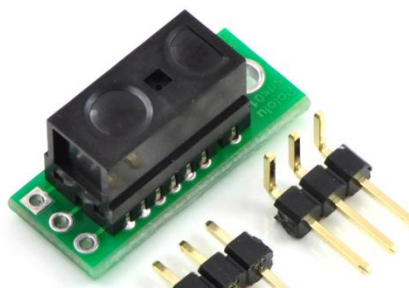
Odometrie bude zajištěna pomocí optických enkodérů, snímajících otáčky hřídele. Díky umístění enkodéru uvnitř karoserie bude zabráněno znečišťujícím vlivům prostředí, které

mohou vézt k odchylkám při řízení. Při návrhu konstrukce je počítáno s fotoelektrickým snímačem značky Hewlett-Packard, jehož ocelový disk o průměru 22 mm má 100 sekcí.



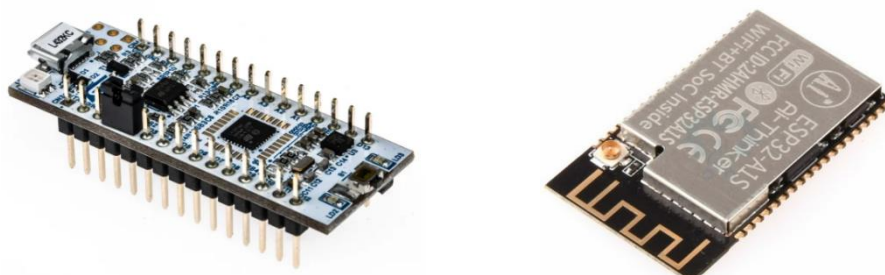
Obr. 5.16 Zleva miniaturní elektromotor [18], dvoumotorový řadič TB6612FNG [19], fotoelektrický snímač otáček [20]

Další komponenta, které bude přizpůsoben podvozek robotu, je infračervený měřič vzdálenosti. Podvozek bude osazen čtyřmi senzory. Dva vpředu pro detekci překážek při pohybu a dva vzadu pro možnou kooperaci s dalšími roboty. V návrhu jsou využity odrazové senzory Sharp GP2Y0D810Z0F. Digitální senzory jsou na měření vzdálenosti do deseti centimetrů a díky periodě měření 2.56 ms jsou ideální volbou vzhledem k poměru rychlost odezvy/velikost senzoru. Jedinou nevýhodou těchto senzorů je vyšší cena.



Obr.5.17 Digitální senzor vzdálenosti [8]

U další elektroniky se uvažuje možnost záměny dle potřeby, a to díky rozšířenému a sjednocenému rozložení pinů dle platformy Arduino nano. Mozkem robotu budou dvě vývojové desky Nukleo-L432KC s mikrokontrolerem STM32L4, které díky jádra ARM Cortex M4 poskytuje 100 DMIPS. K dispozici je 256 KB Flash paměti a 64 kB SRAM paměti. Deska podporuje konektivitu s Arduino Nano. Komunikace bude zprostředkovávána pomocí Wifi modulu ESP32-A1S 2.4 GHz, která je osazená 32bitovým vysoce integrovaným mikroprocesorem. Díky GPIO pinů bude při větším rozšíření sensoriky robotu možné tento modul využít také pro řízení.

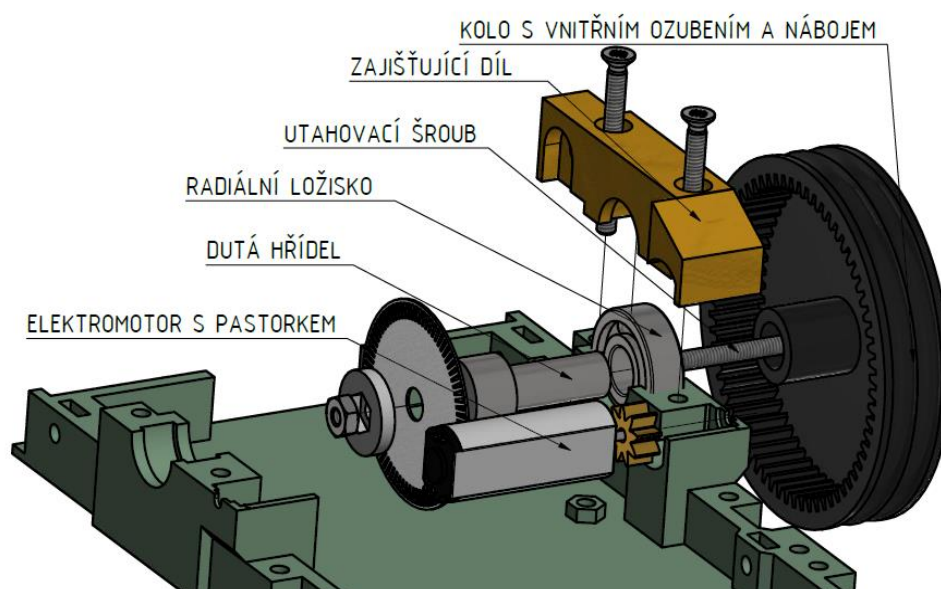


Obr. 5.18 Vývojová deska Nukleo-L432KC [21] a Wifi modul ESP32 [22]

Do základní sensoriky, kterou bude robot vybaven dále spadá Akcelometr, magnetometr, senzor teploty a tlaku a senzor pro sledování čáry.

5.2 Návrh pohonného systému

Uložení kol je řešeno s ohledem na minimalizaci prostoru, který bude zabírat. Minimalizace je realizována uložení motoru v minimální možné vzdálenosti od hřídele. Tato minimální vzdálenost je ovlivněna nejmenší přípustnou tloušťkou stěny a zároveň průměrem disku fotoelektrického snímače otáček, který by v případě nedodržení této vzdálenosti drhnul o skříň motoru.



Obr. 5.19 Schéma uložení kola

Elektromotor je uložen v pouzdru umístěném na podvozku a z vrchu zajištěn pojistným dílem. Pojistný díl je navržen s mírným přesahem, díky kterému je zamezeno posuvu motoru. Na hřídeli motoru, která má průměr jeden milimetr, je nalisován pastorek. Pastorek má modul 0.5 mm a deset zubů [23]. Dimenzování hnaného kola je na základě modulu pastorku a rozteče kol, která fixuje polohu elektromotoru. Hodnota rozteče je určena iteračním způsobem. Je nutné vzít v potaz rozměry ložiska, šroubů, matic a rozměr optického enkodéru. Dypočítání potřebných rozměrů je pomocí vztahů teorie ozubení [24].

průměrem, konkrétně 2 mm. Kolo má dále kromě ozubení předtištěný otvor, kterým je protažen šroub, drážku pro vložení O-kroužků a náboj do kterého je vsunuta hřídel. Hřídel je složena z užší části, rozměrově odpovídající vnitřnímu průměru ložiska, a širší části, která průměrem kopíruje vnitřní kroužek ložiska. Samotná hřídel je dutý válec, proto je možné pro její výrobu využít rovněž 3D tisk (experimentálně ověřeno).

Kolo je s hřídelí spojeno pomocí šroubu M2 x 25 mm, který je na druhém konci utažen maticí uloženou v předtištěném díle. Axiální posuv vnějšího kroužku ložiska je zamezen uložením v drážce, která je z poloviny vytištěna v podvozku a z poloviny na zajišťujícím díle, kterým je celé ložisko zakotveno. Tento díl je k podvozku připevněn pomocí dvou šroubů M20x2 a matic uložených ze spodní strany podvozku.

Vnitřní průměr drážky pro O-kroužek je 36 mm. Pro zajištění statické polohy na kole, je zvolen pryžový O-kroužek o vnitřním průměru 34 mm s kruhovým profilem a průměru 3 mm [25]. Na jedno kolo se uvažuje s dvěma kroužky. V úvahu připadá použití pouze jednoho kroužku s širším profilem, ale v takovém případě, by se zvětšila světlá výška podvozku a tím i celkový rozměr robotu.

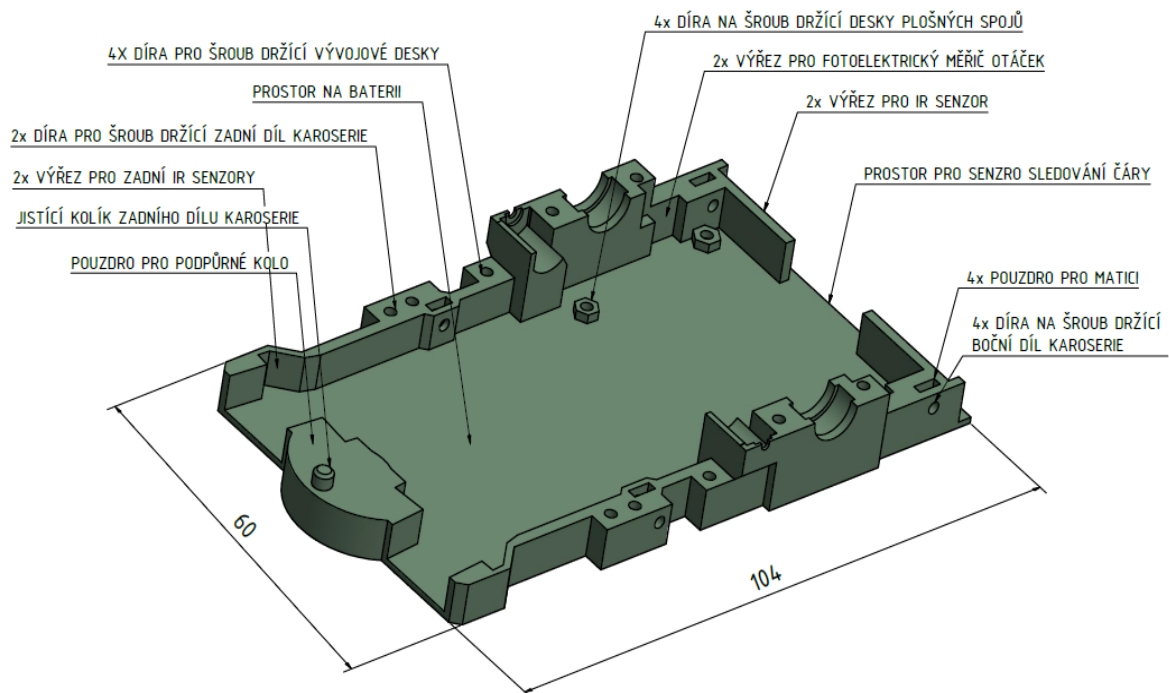
Vzhledem k tomu, že ložiska nebudou přenášet velká zatížení, je jejich výběr uskutečněn pouze z hlediska minimalizace rozměru. Ohled je třeba brát na průměr hřídele, kterou musí být protažen utahovací šroub. Pro vnitřní průměr 5 mm se jeví jako neoptimálnější varianta kuličkové ložisko EZO MR105ZZ – 5x10x4 mm [26].

5.3 Návrh podvozku

Provoz navrhovaného mobilního robotu se uvažuje v laboratorních podmínkách, tudíž se nekladou žádné podmínky na světlou výšku podvozku. Podvozek je navržen s ohledem na minimalizaci materiálu a hmotnosti. Pro jeho tisk se předpokládá s běžným průměrem trysky 0.4 mm.

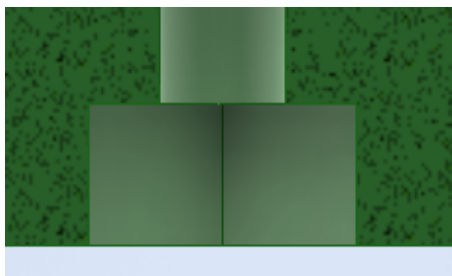
Řešení odometrie bývá poměrně prostorově náročné. Pro uložení fotoelektrického snímače je na podvozku vymodelované vybrání, do kterého se snímač zasune a z vrchu přichytí šroubem k pojistnému dílu. Díky tvarovému přizpůsobení podvozku konkrétnímu typu enkodéru je zajištěna jeho poloha a zároveň je zvětšen prostor určený k umístění elektroniky.

Jako podpůrné kolo se uvažuje všesměrová kulička o průměru 10 mm [27]. Pouzdro v podvozku je svými rozměry přizpůsobené plastové kuličce značky Pololu a jeho poloha bude zafixována lepidlem. Všechny díry jsou uvažovány pro šrouby M2 a pouzdra pro šestihřanné matice M2. Ze spodní strany podvozku jsou rovněž kapsy pro matky, díky kterým je možné všechny šrouby patřičně utáhnout bez předvrtávání závitů. Spodní vrstva podvozku o tloušťce 1 mm je vytištěná z plných vrstev, zbytek má nastavenou hustotu výplně na 15 %. Při rozvržení jednotlivých děr a pouzder na podvozku, je nutné respektovat minimální tloušťku stěny, kterou dokáže tiskárna vytisknout. Tato tloušťka je dána průměrem trysky. Zároveň je brána v úvahu síla, která vznikne při dotažení šroubů. Aby nedocházelo k borcení stěn, je stanovena minimální tloušťka na 0.5 mm. Podrobnější rozměry podvozku jsou dohledatelné ve výkresech v příloze.



Obr. 5.21 Popis podvozku

Pouzdra pro matky na spodní straně podvozku jsou z hlediska tisku dosti náročné, a to z důvodu, že v momentě, kdy tisk dojde do výšky pouzdra pro matici dochází k takzvanému přemostění. Přemostovací vrstva je vrstva, která se tiskne bez podpor čili ve vzduchu. Malou vzdálenost, jako je šířka matice M2 není problém přemostit. Problém, který zde vzniká je v důsledku díry pro šroub, protože tiskárna musí vytvořit přemostovací vrstvu a zároveň ve stejné vrstvě udělat otvor pro šroub. Díra pro šroub se tiskne ve vzduchu a tím dochází ke zborcení vrstvy. Aby bylo tomuto jevu zabráněno, změní se geometrie horní vrstvy pouzdra z přímého na kuželový. Díky této změně, již není generována přemostovací vrstva a nedochází ke zborcení.



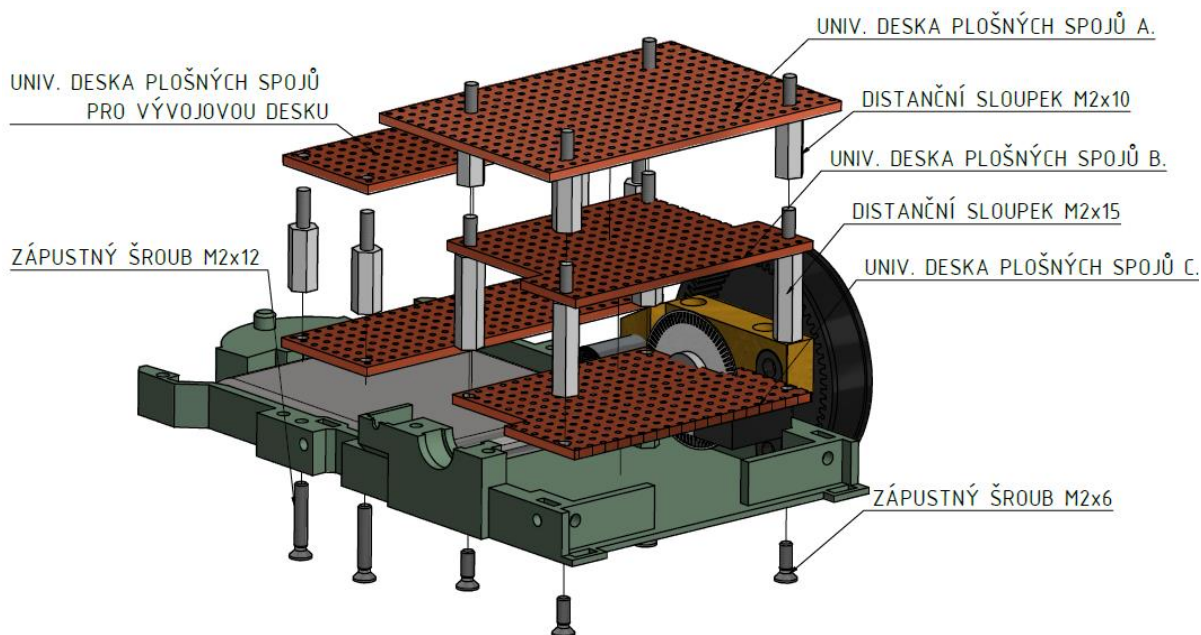
Obr. 5.22 Náhle ukončené pouzdro pro matku



Obr. 5.23 Postupně ukončené pouzdro pro matku

5.4 Umístění elektroniky

Komerčně dostupné edukační roboty jsou zpravidla vždy opatřeny kompletní deskou plošných spojů. Tato varianta je optimální z hlediska rozměrových požadavků, ale není v možnostech jedné bakalářské práce zahrnout jejich kompletní návrh. V tomto případě bude užita univerzální deska plošných spojů, která bude pomocí distančních sloupků umístěna ve třech patrech. Propojování elektroniky bude zajištěno pomocí pájených, popřípadě nepájených spojů. Komunikace mezi mikrokontrolery bude zajištěna pomocí I2C sběrnice, která je v porovnání se sběrnicí SPI mírně pomalejší, ale k propojení komponent vyžaduje menší množství konektorů.



Obr. 5.24 Schéma uložení univerzálních desek plošných spojů

V přední části robotu jsou umístěny desky sloužící k připojení uživatelsky zvolené elektroniky a v zadní části jsou nad sebou dvě univerzální desky, rozměrově vyhrazeny pro umístění vývojových desek. Spodní deska C je umístěná na distančních podložkách, které jsou součástí podvozku. Díky tomu je zajištěna možnost vést spodní stranou vodivé cesty, nebo umístit konektor pro nepájený spoj. Pohyb desky je zamezen díky distančním sloupkům, které jsou uchyceny ze spodní strany podvozku šrouby. Je využito kovových sloupků se závitem M2. V rámci snížení hmotnosti by přicházely v úvahu sloupky z umělé hmoty, ale ty se nevyrábějí v provedení šroub-matice se závitem M2.

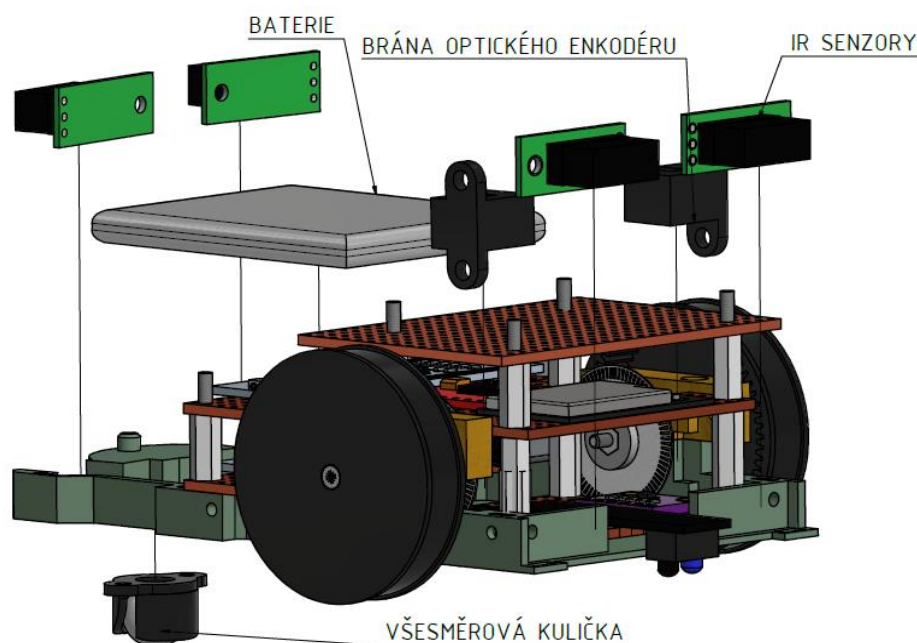


Obr. 5.25 Obsazení desek plošných

Rozmístění komponent, díky kterého budou splněny základní požadované funkce je následující. Na spodní desce C je umístěn senzor pro sledování čáry spolu s akcelometrem a senzorem teploty, vlhkosti a tlaku. Konektory od IR senzorů na přední části podvozku je možné táhnout pod deskou C, nebo zbylý prostor na desce využít na vytvoření vodivé cesty. Deska plošných spojů B je osazena ESP modulem a driverem motorů. Zbytek prostoru by bylo vhodné využít pro propojení enkodérů s řídicí deskou, a tím zkrátit potřebnou délka konektorů, která by mohla být omezující v průběhu úprav a modifikací.

Tímto uložením jsou zajištěny senzory i drivery. Deska plošných spojů A zůstává zcela volná pro uživatelské potřeby. V případě, že dvě vývojové desky Nucleo by nebyly schopny urdit přidané senzory, dojde na řadu využití pinů na ESP modulu. Toto konstrukční řešení, přináší široký prostor pro vlastní úpravy a optimalizaci, a to nejen volným prostorem, který nabízí, ale také snadnou manipulací, díky které nebude problém tyto úpravy provádět. Další výhodou je skutečnost, že toto řešení bude snadně aplikovatelné i v případě, že budeme mít předem vyrobené desky plošných spojů, které by ušetřily další místo. Vzniklý prostor by mohl být využit pro silnější motory, díky kterým by robot mohl operovat v horších podmínkách. Potřebná pružnost konstrukce při úpravách je zajištěna výrobní technologií, kterou je u většiny částí 3D tisk.

Jak již bylo zmíněno, geometrie podvozku je přizpůsobena pouze určitému typu baterie a IR senzoru, které jsou uvedeny výše. Fixace baterie bude zajištěna dílem karoserie, který bude podrobně popsán v následující kapitole. Jelikož varianta upevnění IR senzorů pomocí šroubu a matky zabírá mnoho prostoru a přidává hmotnost, je zvolena fixace dílem karoserie a malého množství lepidla. Lepidlo je užito za účelem pevné pozice i v případě, kdy se na robotu provádí úpravy a karoserie je sejmutá.



Obr. 5.26 Schéma robotu bez karoserie

5.5 Řešení karoserie

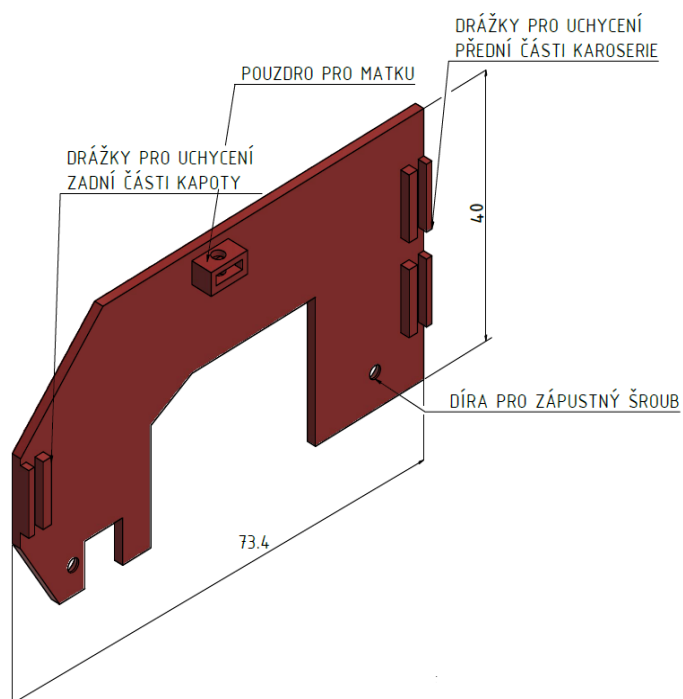
Hlavním účelem karoserie je protekce elektroniky před vlivy okolního prostředí jako je prach a nečistoty pracoviště. Zároveň karoserie slouží jako ochrana při interakci s okolními objekty, nebo spolupracujícími roboty.

Karoserie by neměla omezovat elektrické úpravy, tudíž by měla být snadno demontovatelná. Měla by zajišťovat patřičnou ochranu, ale nepřidávat na celkové hmotnosti a velikosti robotu. Karoserie by měla být navržena tak, aby byla nositelkou dalších funkčních prvků, jako je osvětlení, tažné zařízení nebo připojení nabíjecího konektoru.

Návrh celé karoserie je přizpůsoben výrobě pomocí 3D tisku. Jistě by bylo nejsnazší celou karoserii navrhnout jako jeden díl, který by byl připevněn k podvozku pomocí šroubů. V tom nám však brání právě 3D tisk, díky kterého není možné vytisknout takto členitý skořepinový objekt, a proto je nutné karoserii rozdělit na několik dílčích dílů. Každý díl karoserie musí mít jednu stranu plochou, která bude tvořit spodní vrstvu při tisku, tudíž nemůže obsahovat žádné výčnělky. Tato skutečnost je poměrně omezující při návrhu, neboť všechny drážky, pouzdra pro matky a jiné elementy musí být umístěny jen jedním směrem od stěny karoserie.

5.5.1 Boční díly karoserie

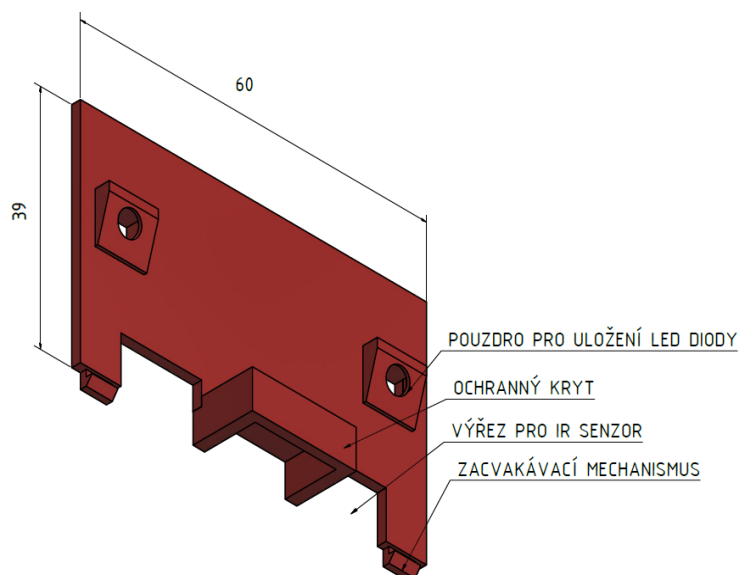
Boční díly tvoří základ celého krytování. Při montáži jsou instalovány jako první, protože uchycují ostatní části karoserie. Kryty na obou stranách jsou upevněny pomocí dvou šroubů k podvozku. Součástí tohoto dílu jsou drážky pro uchycení předního a zadního dílu karoserie. Drážky jsou navrženy s mírnou vřelí, která umožní snadnou montáž a demontáž. Hloubka a délka drážky je navržena tak, aby byla bezpečně zajištěna poloha přední části karoserie. Dále je na bočním díle pouzdro pro matku, která je součástí šroubového spoje, díky kterého se následně připevní kapota. Výřezy v dílu kopírují tvar podvozku.



Obr 5.27 Schéma bočního krytu karoserie

5.5.2 Přední díl karoserie

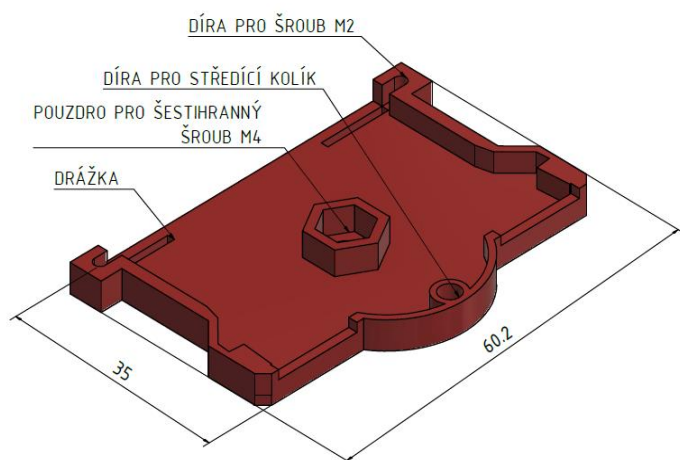
Poté, co jsou k podvozku přišroubovány boční díly, lze snadno usadit do drážek přední část karoserie, která se zacvakne do podvozku a následně zajistí kapotou. Tento díl není připevňován šrouby, a to především z důvodů redukce hmotnosti. Na tomto díle jsou pouzdra pro osvětlení. V návrhu se uvažuje s LED diodou SMD. Kryt světel je navržen pod takovým úhlem, aby se robot mohl orientovat pomocí sledování čáry, nebo terčů i za tmy. Umístění otvorů je ve výšce umožňující pohodlné zapojení světel do desky plošných spojů. Součástí předního dílu je také ochranný kryt, který primárně chrání senzor sledování čáry. Zároveň při čelním nárazu nebo srážce slouží tento kryt jako beranidlo, které ochrání přední část robotu.



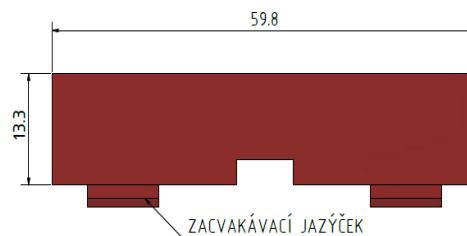
Obr. 5.28 Schéma předního dílu karoserie

5.5.3 Zadní díly karoserie

Zadní část karoserie je tvořena krytem baterie a krytem vývojových desek. Kryt baterie je k podvozku přichycen dvěma šrouby na jedné straně a na straně druhé je pozice zajištěna pouze kolíkem. Ze spodní strany je pouzdro tvaru šestihorného šroubu M6, které kromě šroubu, jistí umístění baterie. Umístění šroubu představuje možnost přidání tažného zařízení, díky kterému bude robot schopen táhnout nebo převážet materiál. V jiném případě je možné na zadní kryt pomocí šroubu umístit kameru, popřípadě jiné zařízení snímající okolí. Přiložením krytu je zároveň zajištěna poloha zadních IR senzorů. Do drážek umístěných v přední části dílu se zacvakne zadní kryt, který má ve svém středu otvor pro vedení případné kabeláže od zařízení připevněném na zádi.



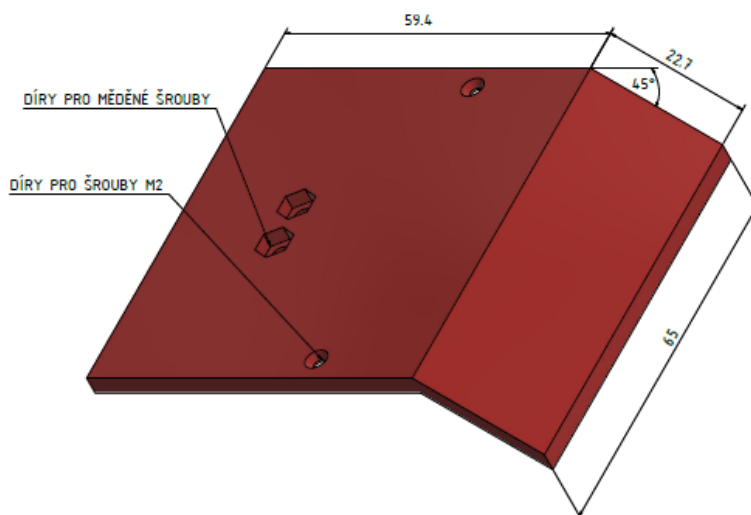
Obr. 5.29 Schéma krytu baterie



Obr. 5.30 Schéma zadního krytu

5.5.4 Kapota

Kapota je tvořena vodorovnou a zkosenou částí. Aby bylo možné kapotu vytisknout jako jeden díl, nesmí úhel zkosení přesáhnout úhel 45 stupňů. V případě že by se tak stalo, bylo by zapotřebí generovat při tisku podpory, čímž by u takto přímého dílu došlo k velkému zhoršení kvality povrchu. Celý horní díl má vystouplý okraj, který s mírným přesahem pro nasazení, uzavírá celý prostor elektroniky. Díky tomuto olemování je pojištěna vodorovnost bočních krytů, a tím i poloha předního a zadního dílu karoserie v drážkách. Pro zajištění celkové tuhosti je kapota přišroubována dvěma šrouby k bočním dílům.

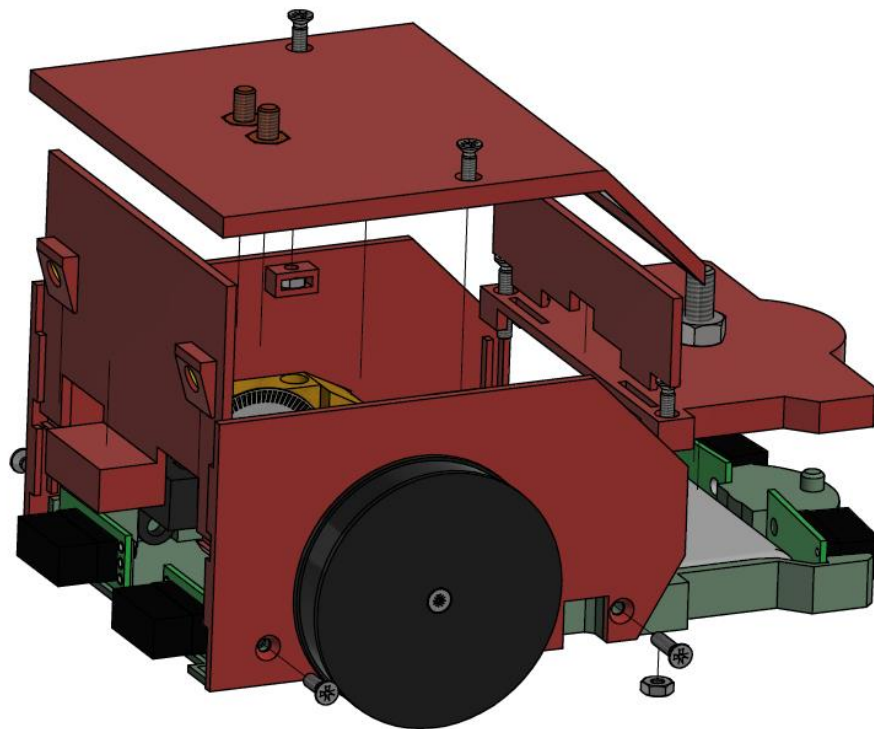


Obr. 5.31 Schéma kapoty

Jedním z cílů návrhu konstrukce robotu je možnost plně automatizovaného chování. Aby robot mohl plynule fungovat bez zásahu lidské osoby, musí být zajištěna možnost autonomního dobíjení. V kategorii malých mobilních robotů jde zpravidla vždy o dobíjecí stanici, do které robot sám dojde, a to pomocí sledování čáry, nebo díky rozmístění navigačních terčů. Vzhledem k tomu, že každý uživatel může mít na svém pracovišti jiný typ dobíjecí stanice, s jiným způsobem kontaktu mezi robotem a nabíječkou, není možné robot vybavit jedním univerzálním konektorem. Z toho důvodu je na kapotě připraven otvor pro matku a měděný šroub, pomocí kterého bude možné připojit na střechu robotu vhodný modul podle vlastní potřeby.

5.5.5 Shrnutí řešení karoserie

Celá karoserie je složena z šesti dílů, které jsou s podvozkem spojeny pomocí šroubů a zacvakávacích mechanismů. Díky důkladnému ohledu na výrobu pomocí 3D tisku je možné všechny díly tisknout za běžných podmínek, bez nutnosti generování podpor. Hmotnost karoserie bez uvážení šroubů se pohybuje okolo 30 g. Při montáži je použito osm šroubů se zápusťnou hlavou a osm šestihranných matic M2. Celková hmotnost spojovacího materiálu se pohybuje okolo 1 g. Úpravy v elektronice se pohodlně dají provádět po odmontování kapoty a vysunutí předního a zadního dílu karoserie. Dohromady jde o odšroubování dvou šroubů, což činí všechny opravy a optimalizace velice snadnými.



Obr. 5.32 Schéma montáže kapoty

5.6 Návrh API rozhraní

Když už je zřejmé, jak bude robot vypadat a jakou elektronikou bude vybaven, může být sestaven návrh API. API je zkratka pro anglický výraz Application Programming Interface, který ve světě informatiky označuje rozhraní pro aplikace. Člověk, který se s tímto termínem setkává poprvé, si pro snadné pochopení může představit zákazníka v restauraci, který si chce z kuchyně objednat pokrm. Stejně jako zákazník komunikuje s kuchyní skrze jídelní lístek a číšníka, komunikuje robot s nadřazeným systémem pomocí seznamu příkazu a API rozhraní. A podobně, jako v restauraci nelze objednat něco mimo nabídku, nelze zasílat robotu příkazy které nezná. Za účelem komplexního pojetí návrhu bude následovat seznam základních příkazů pro komunikaci s robotem.

set_constants()

Příkaz pro zadání neměnných parametrů, ovlivňující funkce robotu, jako například průměr kol.

drive_straight(speed)

Příkaz pro pohyb robotu dopředu a dozadu v závislosti na kladné, nebo záporné hodnotě rychlosti.

turn(angel)

Příkaz pro změnu směru. Pro kladné hodnoty úhlu zatočení do pravé strany, pro záporné do levé.

drive_distance(speed, distanc)

Příkaz pro nastavení určité vzdálenosti pohybu přímého.

drive_curve(speed, angel, distanc)

Příkaz pro vykonání křivočarého pohybu.

set_safe_distance(distance)

Příkaz pro stanovení maximálního přiblížení k překážce.

help()

Vypsání seznamu nápovědy.

onboard_sensors()

Příkaz pro vypsání všech zapojených senzorů.

stop()

Zastavení pohybu a činnosti robotu včetně sensorického systému.

pause()

Pozastavení činnosti robotu.

continue()

Znovu obnovení činnosti.

spin(angel)

Rozdíl od příkazu turn, spočívá v otáčení na místě kolem své osy. Při příkazu turn, je v pohybu jeden motor, zatímco druhý stojí, v tomto příkazu se točí oba motory v opačném směru.

drive_location(speed, location)

Příkaz pro dosažení stanoveného bodu.

recharge(speed, location)

Příkaz, při kterém zajede robot zpátky do nabíjecí stanice.

battery()

Vypsání hodnoty napětí.

follow()

Příkaz pro následování trajektorie pohybu jiného robotu.

line_follow()

Příkaz pro aktivaci sledování senzoru sledování čáry.

object_distance()

Vypsání vzdálenosti detekovaných objektů.

location_propeties()

Vypsání hodnot ze senzoru pro měření parametrů okolí.

led_on()

Zapnutí LED světel.

act_speed()

Příkaz pro vypsání aktuální rychlosti.

task1(speed,location)

Příkaz pro objetí určeného okruhu s průběžným měřením teploty a vlhkosti.

5.7 Shrnutí návrhu konstrukce

Celková hmotnost robotu je 250 g. Největší podíl na hmotnosti mají elektronické součásti, které byly především vybírány s ohledem na minimalizaci rozměrů. Váha podvozku a kol je 35 g. Při návrhu podvozku byla hmotnost jedním z hlavních aspektů, na které byl brán zřetel a výsledkem je naprostá eliminace nefunkčního prostoru, jak je patrné z obrázku a popisu výše. Karosérie se na hmotnosti podílí 30 g. Ve výše uvedeném návrhu je tloušťka karosérie jeden a půl milimetru. Tato tloušťka je minimální přípustná a s ohledem na provozní podmínky zcela dostačující. V případě požadavku větší odolnosti krytování robotu je možné bez problému tloušťku navýšit. Poslední díl z celkové hmotnosti je tvořen spojovacím materiálem, který váží 37 g, z toho 18 g jsou distanční sloupky a 19 g matice a šrouby průměru M2. Výběr kovových distančních sloupek byl již odůvodněn v kapitole 5.4 a šroubový spoj se závitem M2 je optimální volbou vzhledem k hmotnosti, rozměrům a požadované pevnosti spoje.

Cena jednotlivých komponent je uvedena v tabulce. Ceny tištěných dílů jsou vyhodnoceny jako podíl hmotnosti dílu ku hmotnosti celé cívky, jejíž cena je dohledatelná na patřičných webových stránkách [14]. Cena energie spotřebovaná při tisku se neuvažuje. Ceny elektrických komponent jsou vybírány převážně z českých e-shopů. Je pravděpodobné, že při odběru většího množství součástí ze zahraničí bude cena nižší.

| Elektrické komponenty | Počet kusů | Cena za kus |
|---|------------|----------------|
| Vývojové desky Nukleo-L432KC [21] | 2 | 261 Kč |
| Li-pol akumulátor s kapacitou 1200 mAh a napětím 3,7 V [17] | 1 | 195 Kč |
| Elektro motor NMB K30 [18] | 2 | 35 Kč |
| Dvoumotorový řadič TB6612FNG [19] | 1 | 108 Kč |
| Fotoelektrický snímač otáček Hewlett-Packard [20] | 2 | 186 Kč |
| Digitální senzor vzdálenosti Sharp GP2Y0D810Z0F [8] | 4 | 180 Kč |
| Ai-Thinker ESP32-A1S 2.4GHz [22] | 1 | 236 Kč |
| Arduino Infračervený senzor sledování čáry [35] | 1 | 39 Kč |
| Cena elektrických komponent celkem | | 2262 Kč |

Tab. 1. Přehled elektrických komponent

U elektroniky by bylo možné ušetřit záměnou Nukleo desek za vývojové desky Arduino nano, které jsou levnější, ale méně výkonné. Další redukce ceny by byla možná nahrazením zvoleného ESP modulu, který zároveň rozšiřuje množství využitelných GPIO pinů, obyčejným ESP modulem, sloužícím pouze jako Wifi přijímač. Poměrně tučnou položkou jsou senzory vzdálenosti, které však není možné nahradit rozměrově stejnými a zároveň levnějšími senzory.

| Mechanické komponenty | Počet kusů | Cena za kus |
|--|------------|---------------|
| Podvozek, kola a jejich uložení | 1 | 18 Kč |
| EZO MR105ZZ-5x10x4 Kuličkové ložisko [26] | 2 | 84 Kč |
| Mosazný pastorek 10Z 0.5M H2.5, otvor 1 mm [23] | 2 | 74 Kč |
| Všesměrová Pololu kulička plastová 10 mm [27] | 1 | 64 Kč |
| Celá karosérie | 1 | 15 Kč |
| LED dioda SMD5050 | 2 | 7 Kč |
| O-kroužek Dichtomatik NBR 70-35.00 x 3.00 [25] | 4 | 6,6 Kč |
| Univerzální plošný spoj (celková plocha 8500 mm ²) | 1 | 21 Kč |
| Distanční sloupek se závitem M2x15 [28] | 4 | 3,6 Kč |
| Distanční sloupek se závitem M2x10 [28] | 8 | 5,2 Kč |
| Šroub záпустný phillips DIN 965 M2x20 nerez A2 [28] | 4 | 0,64 Kč |
| Šroub záпустný s drážkou DIN 963 M2x25 nerez A2 [28] | 2 | 0,62 Kč |
| Šroub záпустný phillips DIN 965 M2x6 nerez A2 [28] | 4 | 0,31 Kč |
| Šroub záпустný phillips DIN 965 M2x8 nerez A2 [28] | 8 | 0,29 Kč |
| Šroub záпустný phillips DIN 965 M2x10 nerez A2 [28] | 2 | 0,33 Kč |
| Šroub záпустný phillips DIN 965 M2x12 nerez A2 [28] | 2 | 0,26 Kč |
| Matice DIN 934 M2 nerez A2 | 16 | 0,39 Kč |
| Cena mechanických komponent celkem | | 550 Kč |

Tab. 2. Přehled mechanických komponent

Je pozoruhodné, že celkové náklady na tištěné díly, které tvoří základ celého návrhu jsou 32 Kč. Tento fakt jen potvrzuje skutečnost, že pro tento návrh je 3D tisk vhodnou výrobní technologií, a to nejen z hlediska celkové flexibility návrhu, ale také z hlediska finančního.

Celková cena robotu s ohledem na kusovou výrobu vychází na 2812 Kč. Tato cena v sobě nezahrnuje náklady na spotřebovanou energii při tisku a náklady na nařezání univerzálních desek plošných spojů na požadovaný rozměr.

Mnohé funkce a vlastnosti navrženého robotu byly postupně zmiňovány v předešlých kapitolách. Pro stručné porovnání návrhu se zmíněnou konkurencí je uvedena tabulka základních parametrů.

| Název | Rozměr | Váha | Řešení odometrie | Karoserie | Možnost vlastního rozšíření | Cena |
|-------------------|---------------|-------|------------------|-----------|-----------------------------|---------|
| Pololu m3pi Robot | Ø 95 mm | 290 g | Ne | Ne | Ano | 4000 Kč |
| GoPiGo3 Robot | 200x140x105mm | 950 g | Ano | Ne | Ano | 4600 Kč |
| Dobot AI-Starter | 195x172x79mm | 810 g | Ano | Ano | Minimální | 5000 Kč |
| Navržený robot | 118x80x50 mm | 250 g | Ano | Ano | Ano | 2600 Kč |

Tab. 3. Srovnání uvedených robotů

Porovnání cen je jen orientační, neboť kromě samotného robotu mají konkurenti v ceně započítané určité služby jako vlastní software nebo možnost reklamace. Na druhou stranu se jedná o sériovou výrobu, tudíž ceny za výrobní materiál mohou být nižší. Podstatné je porovnání hmotností a velikosti. V těchto kategoriích předstihuje navržený robot zmíněné konkurenty. Nejmenšího rozměru bylo možné dosáhnout maximálním využitím daného

prostoru, což sebou přináší geometricky složité tvary, které je možné pohodlně vyrobit díky 3D tisku. Jedním z hlavních důvodů nízké váhy navržené stavebnice je použití li-pol baterie, zatímco ostatní konkurenti používají obyčejné AAA baterie, které jsou v odpovídajícím množství mnohem těžší.

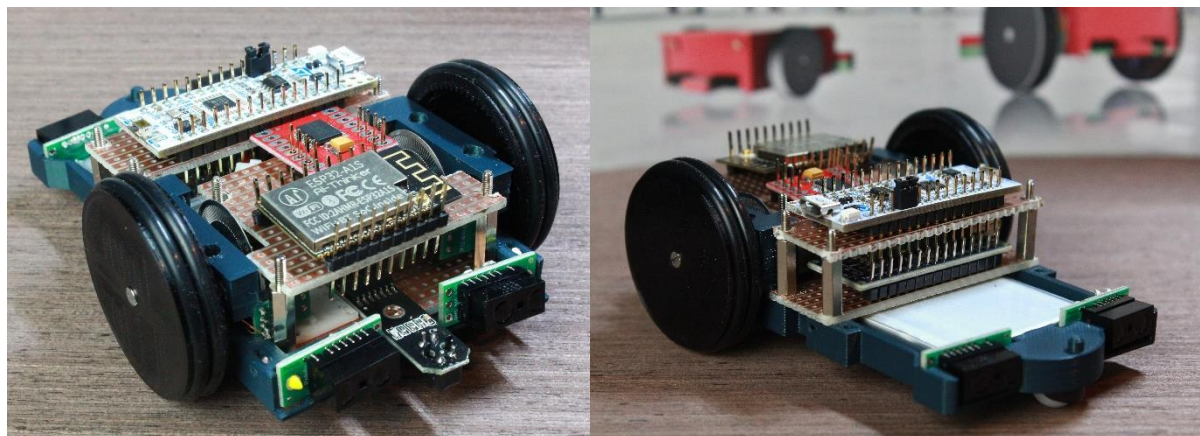
Při celkovém pohledu na tabulku se potvrzuje výše zmíněné pravidlo. Je dostupné velké množství malých, hloupých robotů, anebo robotů chytrých, ale zbytečně velkých. Navržená stavebnice spojuje obě pozitivní vlastnosti. Možnosti vlastní optimalizace budou rozvedeny v následující kapitole, ale už nyní je zřejmé, že mezi komerčními edukačními roboty není laťka nastavená příliš vysoko.

6 SESTAVENÍ A VARIANTY KONSTRUKCE

Vzhledem ke kompletnímu návrhu bude nyní pojednáno o výrobě a montáži robotu, včetně poznatků k samotnému tisku jednotlivých dílů z různých materiálů. Postupně v této kapitole budou představeny tři varianty konstrukce, které vycházejí z návrhu v kapitole pět. Pro přehlednější popisování jednotlivých variant je zaveden název celého konceptu.

6.1 GABOT Standart

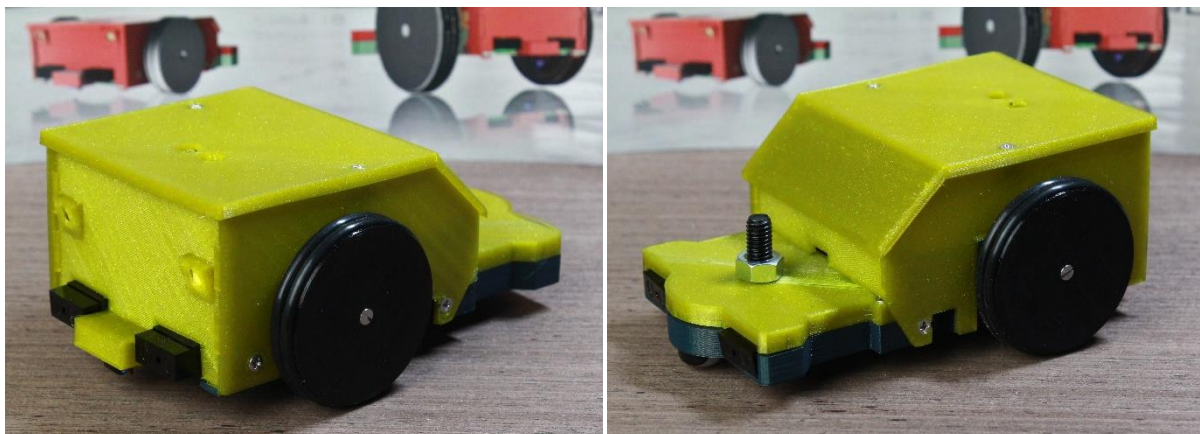
První varianta je totožná s návrhem. Při tisku dílu jsou využity dva materiály. Podvozek, pojistné díly a hřídele jsou vytištěny z PLA struny. Samotný podvozek je geometricky komplikovaný díl již od první vrstvy, z toho důvodu je vhodné snížit rychlost tisku. Jelikož jsou v PrusaSliceru přednastaveny zvlášť rychlosti jednotlivých typů vrstev, je nejjednodušší snížit rychlost přímo na tiskárně, kde je možné procentuálně upravit všechny typy rychlostí najednou. Konkrétně pro podvozek byla rychlost při tisku první vrstvy snížena na padesát procent a při tisku dalších vrstev na sedmdesát pět procent. Tyto procentuální údaje platí pouze při použití PrusaSliceru a tisku na tiskárnách od Průši. Jiné slicery a tiskárny mohou mít základní rychlosti pohybů nastaveny jinak. Díky dobrému návrhu byly všechny drážky a pouzdra pro matky a šrouby bez problému vytištěny a zvolené rozměry byly vhodné pro snadné zavedení šroubů a matek. Zvolený přesah pojistného dílu pro uložení motoru je rovněž dostačující a po utažení dílu šrouby je motor pevně ukotven.



Obr. 6.33 Podvozek a elektronika GABOTU Standart

Na obrázku 6.33 je možné vidět kompletní uložení základní elektroniky, tak jak byla navržena v kapitole 5.4. Prototyp robotu uvažuje se spojováním jednotlivých součástí kombinací pájených a nepájených spojů. Z obrázku je patrné, že spojování bude vzhledem k malému prostoru poměrně náročné, proto jak už bylo zmíněno výše, univerzální desky plošných spojů

budou nahrazeny navrženými DPS, čímž se usnadní provádění všech oprav a úprav. Na fotkách není zobrazena horní univerzální deska plošných spojů, která je volná pro uživatelské rozšíření



Obr 6.34 GABOT Standart s karoserii

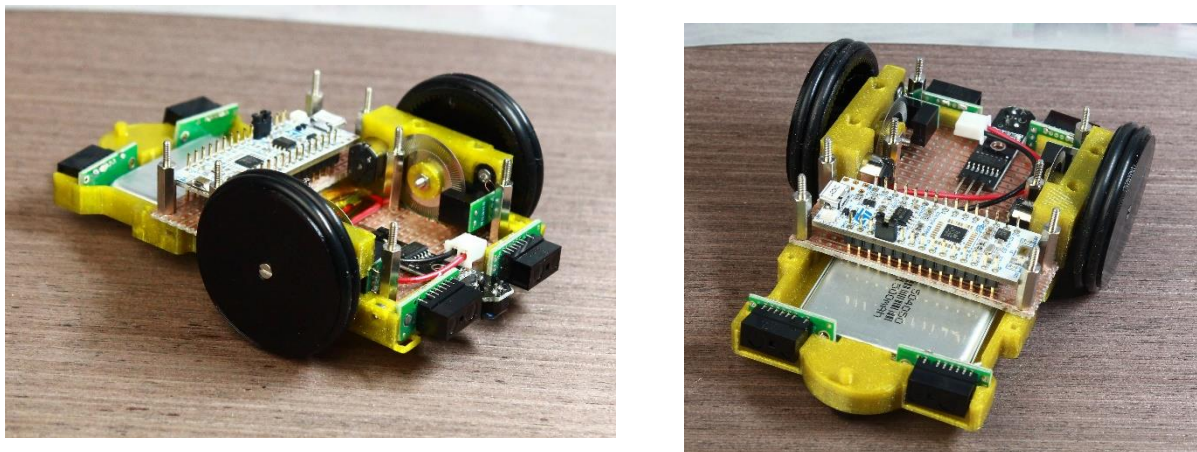
Karoserie GABOTU Standart je tištěna z materiálu PET-G. Samotný tisk tohoto materiálu je mírně komplikovanější. Zatímco u PLA bylo snížení rychlosti spíše pojistkou dobrého výtisku, u PET-G je to téměř povinností, zejména u první vrstvy, která se hůře přichytává na podložku. Další věc, kterou je dobré při tisku PET-G pohlídat, je nastavení výšky trysky nad podložkou. Pro dosažení optimální první vrstvy je potřeba snížit vzdálenost trysky od podložky řádově o pár setin milimetru. Tisk tohoto materiálu je náročnější i z hlediska teplot tavení, což sebou přináší i potřebu vyhřívané podložky, která přispívá k pozvolnému chladnutí taveného materiálu a omezuje jeho smršťování. Při tisku byla díky boxu udržována konstantní teplota okolí na čtyřiceti stupních celsia, a to z důvodu snížení rychlosti ochlazování nataveného filamentu.

Díly karoserie tištěné z PET-G mají dobrou poddajnost a pružnost, což se pozitivně projevilo již při instalaci. Zacvakávací jazýčky bez problému vydrží opakované nasazování a sundávání, a to i při minimální tloušťce, s kterou jsou navrhovány.

6.2 GABOT Transport

Určitě může nastat situace, kdy robot bude řešit úlohu, která nebude vyžadovat rozšířenou sensoriku, a tudíž prostor pro ni vymezený zůstane nevyužitý. Může se jednat o úlohy při kterých by se hodila větší dynamika, protože robot bude překonávat větší vzdálenosti. Pro takové případy je zde modifikace transport, která nemá třetí volnou desku plošných spojů, ale na rozdíl od standartní verze má větší motory s vyšším kroutícím momentem [30]. Změna velikosti motoru mění osovou vzdálenost hřídele kola a hřídele motoru. V kapitole 5.2 je uvedeno, že návrh kola se odvíjí od modulu pastorku a osové vzdálenosti. Aby návrh pohonného systému byl plně funkční, je potřeba se vrátit k uvedeným vztahům a dosadit aktuální rozměry.

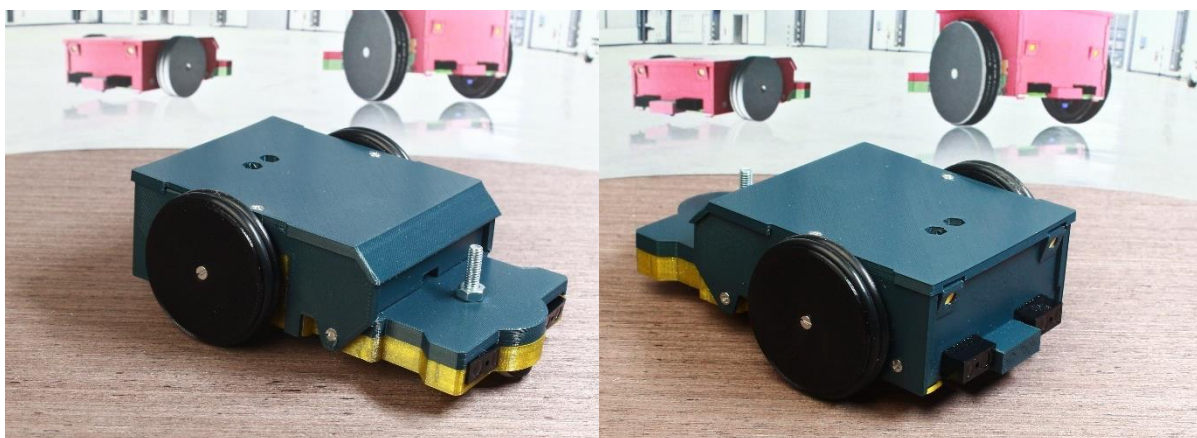
Podvozek je v tomto případě tisknut z PET-G a při tisku platí stejná pravidla, která jsou uvedena výše. PET-G je poměrně poddajný materiál a v momentě, kdy je třeba utáhnout pojistný díl, začne šroub se záпустnou hlavou namísto vyvolávání přepětí ve spoji, prohlubovat předtíštěnou drážku. Pojistný díl je sice pevně spojen s podvozkem, ale je otázkou, zda by během provozu nedošlo k postupnému uvolňování motoru, popřípadě ložisek. Podobný jev se objevuje i při dotahování optických enkodérů, a to s tím rozdílem, že se do drážky nezapouští šroub ale matka. Pozitivním projevem plasticity materiálu je odolnost při nasazování karoserie do drážek.



Obr. 6.35 Uložení kol a elektroniky GABOTU Transport

Velikou výhodou použití Li-pol baterie je široká variace kapacit a rozměrů dostupných baterií. V prototypu, jak už bylo uvedeno, je použita baterie s kapacitou 1200 mAh o rozměrech 42x50x5 mm. Kdyby bylo zapotřebí vyšší kapacity, lze zvolit baterii mírně většího rozměru, a to sice 40,5x55x6,9 mm, která má kapacitu 1800 mAh. Aby výběr baterie nebyl pevně fixován návrhem konstrukce, je podvozek navržen tak, aby bylo možné použít baterii o šířce do 45 mm a délce 55 mm. Pro zajištění polohy baterie zadním dílem karoserie, je nutné dle výběru typu baterie upravit výšku přiléhající drážky.

Na obrázku 6.35 lze dobře vidět těsné uložení disku fotoelektrického snímače otáček. Aby toto uložení i přes prostorovou stísněnost bylo funkční a nikde nedřelo, je nutné zajistit sousost hřídele a disku. Nejlehčím způsobem, jakým to lze provést, je opatřit pouzdro na matici dotahující hřídel středící drážkou.



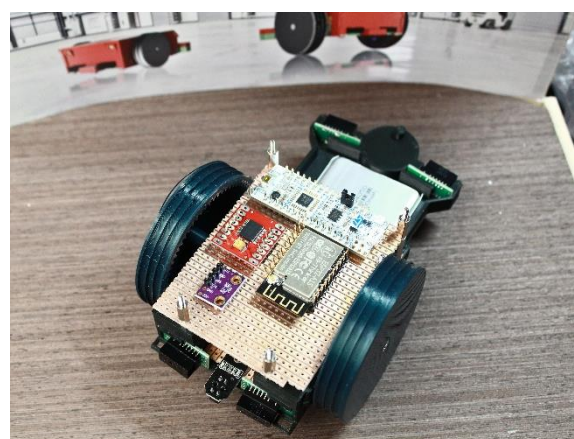
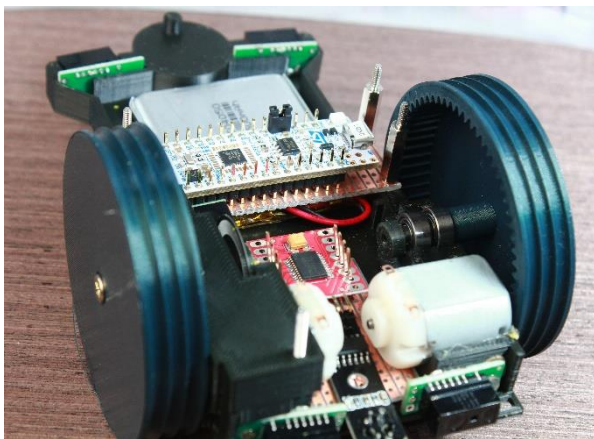
Obr. 6.36 Kompletní GABOT Transport

Při tisku karoserie bylo v tomto případě použito PLA. Opět bylo aplikováno zpomalení první vrstvy, které bylo zmíněno již výše. Zacvakávací jazýčky se však snadněji odlomí, stejně jako boční drážka na kapotě. V případě využití tohoto materiálu je nutné brát na tyto skutečnosti zřetel a na zmíněných místech přidat materiál.

Robot je opatřen stejně jako standartní verze zadním šroubem pro připojení tažného zařízení, vlečky nebo kamery. Transport má protáhlejší střechu, která by se dala rovněž využít jako nosný prvek přídatného zařízení. Systém skládání karoserie je stejný jako u standartní verze. Celkové rozměry této modifikace jsou 118x81x43 mm.

6.3 GABOT Truck

Oba předešní GABOTI jsou svou světlou výškou podvozku a výkonem motoru určeni do laboratorních podmínek. To nemusí nutně platit pro modifikaci Truck, která nejenže má světlou výšku podvozku 18 mm, ale zároveň je osazena DC motory 130 [31], které jsou o poznání výkonnější.



Obr. 6.37 Uložení kol a elektroniky GABOTU Truck

První změna na podvozku spočívá v prohození polohy motorů a enkodérů. Tato změna je provedena za účelem přenesení hmoty do přední části robotu, což vede k lepší přilnavosti kol při záběru. Stejně jako u předchozího modelu se s větším motorem mění osová vzdálenost, tudíž je nutné opět přepočítat velikost kol. Modelování samotného kola je v Inventoru velice snadné. Po vypočtení potřebných hodnot ze vztahů na straně dvacet devět, se v prostředí Inventoru vytvoří nová sestava, ve které se využije funkce návrhu čelního ozubeného kola. Po zadání hodnot do tabulky se vygeneruje celé ozubení. Vzhledem k tomu, že potřebujeme jen profil zubů, využijeme funkce „Přenést profil zubů“, čímž se vytvoří nová součást s požadovanou geometrií zubů. Šířka kola je pro lepší záběr rozšířena, tím přibude třetí drážka pro O-kroužek. Průměr profilu kroužku zůstává 3 mm, ale jeho vnitřní průměr má nyní 60 mm [32].

Pro efektivní přenos kroutícího momentu z motoru na kolo je hřídel uložena ve dvou ložiscích, čímž je vymezena vůle ložiska, která by při větší osové vzdálenosti mohla nepříjemně ovlivnit styk zubů. Ložiska jsou rozměrově stejná [26], jako v případě standartní verze. Světlé výšce musela být přizpůsobená i podpůrná všesměrová kulička. I v tomto případě je vybírána z běžně dostupných všesměrových kuliček značky Pololu, tentokrát o průměru 19 mm [29]. Aby

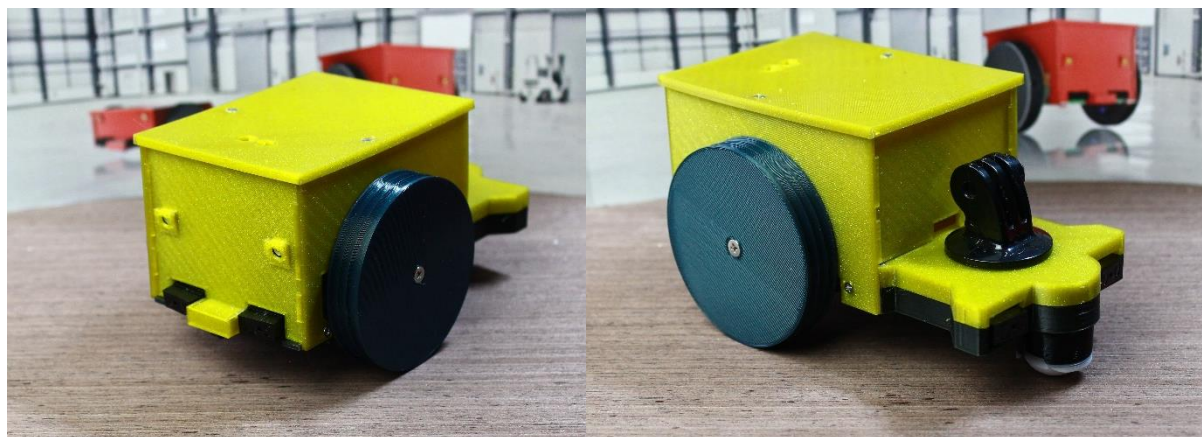
rozšiřování bylo komplexní, je nutné myslet i na baterii. GABOT Truck může být osazen baterií o rozměrech až 52x60x9 mm. Baterie těchto rozměrů mají kapacitu pohybující se okolo 3000 mAh.

Složení a upevnění univerzálních desek plošných spojů, muselo být přizpůsobeno rozšířenému subsystému mobility. Spodní deska je zúžená, a přichycená pouze dvěma šrouby. V prototypu je osazena senzorem sledování čáry a driverem motorů. Spodní deska vymezená pro uložení řídicí elektroniky, je ponechána beze změny, ale druhá deska, již není samostatně, ale tvoří jeden kus společně s deskou pro sensoriku viz obr. 6.37. Tato prostřední deska je ukotvená z jedné strany na pojistném dílu, který je pro tento účel vybaven šroubem, a z druhé strany leží na distančních sloupcích.

Při těchto zvýšených parametrech, které nyní robot nabízí, není možné zachovat jeho původní rozměry. Truck modifikace má rozměry 148x94x77 mm, což znamená délkový nárůst o 30 mm, šířkový o 14 mm a výškový o 20 mm. Kromě silnějšího pohonného systému má Truck větší prostor na elektroniku. Standartní verze má 78 cm² na umístění elektrických komponent, Transport modifikace 54,4 cm² a Truck 122 cm².

Podvozek, pojistné díly a hřídele této varianty jsou tisknuté z ABS. Tento materiál má nejvyšší teplotu tavení, což způsobuje značné smršťování při tuhnutí. Aby se zabránilo rozměrovým odchylkám, nastavuje se vyhřívání podložky na sto stupňů celsia a stejně jako v předešlých případech je vhodné snížit rychlost tisku. Při tisku z ABS je stejně jako v případě PET-G užitečné použít box na 3D tiskárnu, který udrží konstantní teplotu okolo čtyřiceti stupňů celsia. Díly vytisknuté z ABS mají větší pevnost než v případě PLA a PET-G, ale nejsou tak plastické.

V případě podvozku je pevnost přednější, protože nedochází k protahování pouzder a zahloubení spojovacího materiálu, což umožní patřičně utáhnout zejména díly pohonného systému. Zároveň si ABS uchovává pevnostní vlastnosti i za vyšších teplot, což může být při plném zatížení veškeré elektroniky užitečné.



Obr. 6.38 Kompletní GABOT Truck

Karoserie Trucku je stejně jako v případě Standartní verze z PET-G a platí vše, co bylo napsáno výše. GABOT Truck má velký volný prostor na zadním krytu stejně jako na kapotě. Ve spojení s mechanickým a elektronickým výkonem, který tato varianta nabízí, je možná celá řada využití.

6.4 Shrnutí výroby a modifikací návrhu

Výběr materiálu pro tisk dílu se odvíjí od podmínek, které jsou k dispozici. V případě, že tiskárna není schopná vyhřívat podložku na uvedené teploty a není možné zajistit stálou vyšší teplotu prostředí, bude nejlepší tisknout podvozek i karoserii z PLA. S užitím tohoto materiálu lze i za běžných podmínek dosáhnout perfektní kvality tisku. V případě, že jsou splněny podmínky pro tisk materiálu s vyšší teplotou tavení, je z pevnostního hlediska optimální varianta tisknout podvozek z ABS a karoserii z PET-G.

Představení jednotlivých modifikací není za účelem vztyčit hranice, mezi kterými by se konstrukce měla pohybovat. Jde spíše o snahu názorně předvést flexibilitu řešení a způsob jakým lze konstrukci přizpůsobit různým podmínkám. V praxi by se tato flexibilita mohla projevit následovně. V momentě, kdy dojde k zjištění, že během plnění komplexní robotické úlohy je potřeba převést jednu věc z bodu do bodu rychleji, než použitý robot dokáže, nebude nutné hledat nový rychlejší robot a utrácet velké peníze za jeho pořízení, ani trávit hodiny začleněním robotu do daného prostředí. Proces úpravy robotu je následovný. Opatří se silnější motory a jejich rozměrům se přizpůsobí podvozek s pojistnými díly. Na internetu jsou k dispozici kompletní údaje o výkonu a rozměru motorů, díky kterým je výběr velice snadný. Následně bude potřeba přepočítat osovou vzdálenost a vygenerovat nové ozubení. Výslednému rozměru kola se musí přizpůsobit uložení všesměrové kuličky tak, aby robot byl ve vodorovné poloze. Balení všesměrových kuliček Pololu [27], [29], obsahuje vždy distanční podložky, pomocí kterých lze nastavovat jejich vzdálenost od podkladu. V případě, že by neseděla žádná podložka v balení, stačí upravit výšku drážky pro kuličku na podvozku. Při přizpůsobování robota nemusí být rychlost jediným řídicím parametrem. Může nastat situace, kdy bude nutné operovat ve velice stísněném prostoru, ve kterém si neporadí žádný z uvedených robotů. V takové situaci bude celkový rozměr řídicím parametrem a postup úprav velice podobný. Opět se začne výběrem motoru. Při snaze minimalizovat rozměry, přicházejí v úvahu vysoko otáčkové mikro motory, které se běžně používají pro pohon vrtulí dronů. Při jejich použití by přenos kroutícího momentu nebyl realizován ozubeným převodem, ale přímým odvalováním hřídele po vnitřní straně kola. Zbytek úprav je stejný. Přizpůsobení rozměru podvozku s pojistným dílem, a po uvážení potřebného místa pro elektroniku, úprava celkové šířky a délky podvozku.

Je možné, že zmíněné úpravy by někomu mohly připadat zdlouhavé a náročné, ale v zásadě jde o skupinu jednoduchých tvarových úprav, které lze v Inventoru pomocí příkazu „Přímé úpravy“ udělat poměrně rychle. Dále je nutné vzít v úvahu, že každá použitá modifikace zůstává nadále plně k dispozici a je plně reprodukovatelná. V univerzitním prostředí může vzniknout spousta nových modifikací, a uživatel, který bude zprovozňovat nové robotické pracoviště, si bude moci velice snadně vybrat roboty podle parametrů, které se mu budou hodit.



Obr. 6.39 GABOT modifikace

7 ZÁVĚR

Návrh rozměrů jednotlivých částí konstrukce a funkčnost spojů byly prakticky ověřeny vytisknutím všech dílů a použitím reálných elektronických součástí. Vzhledem k tomu, že v rámci této práce nedošlo k oživení robotu, nebylo možné ověřit některé problematické body návrhu. Konkrétně se jedná o tisk kola, prostor pro vedení kabelů a přenos kroutícího momentu z motoru na kolo. Pro případ, že by se vyskytl při zavádění robotu do provozu některý ze zmíněných problémů, bude lepší předem zmínit možnosti jejich řešení.

Velikost ozubení je svázána s modulem pastorku, který je ovlivněn průměrem výstupního hřídele motoru. Moduly ozubení pro pastorek s dírou 1 mm, se pohybují do velikosti 0.8 mm, z čehož plyne poměrně malá výška zubů. Ve vlastním návrhu je doporučena pro tisk ozubení tryska s menším průměrem, díky které lze dosáhnout lepšího tvaru zubu. Při použití této trysky, jsou kladeny větší požadavky na kroutící moment motoru, který protahuje filament tavící hlavou. Pro případ, že tiskárna nedisponuje parametry potřebnými k tisku s menším průměrem trysky, nabízejí se dvě alternativní řešení. První, již zmíněné řešení, je vnitřní ozubení jako samostatná komponenta vlepená do vytisknutého kola. Toto vnitřní ozubení by mohlo být rovněž z umělé hmoty, ale vyrobeno technologií, která dosahuje větší přesnosti při výrobě malých dílů. Druhá možnost řešení je opatřit robot motorem s větším průměrem výstupní hřídele. Čínský trh s elektrotechnikou nabízí široký výběr mini elektromotorů, které mají při podobných celkových rozměrech výstupní hřídel o průměru 2 mm. Na tuto velikost hřídele se dají opatřit pastorky s větším modulem, a díky tomu je následný tisk kola včetně ozubení již bezproblémový.

Druhým teoretickým problémem je vnitřní vůle v ložisku, která by i v případě malé rozteče kola s hřídelí, mohla mít nepříjemný vliv při přenášení kroutícího momentu. V takovém případě bude nutné přidat druhé ložisko, které zamezí vlivům vnitřní vůle. Zabudování druhého ložiska může být provedeno podobně jako v případě modifikace Truck, nebo rozšířit podvozek v oblasti uložení kola, a tím ušetřit prostor pro elektroniku. Tato druhá možnost je vhodná zejména pro modifikaci Transport, která je ochuzena o vrchní desku plošných spojů.

Poslední teoretický problém se týká zejména prototypu, který uvažuje s použitím univerzálních desek plošných spojů. Návrh byl proveden s ohledem na budoucí rozšíření navrženými DPS, které již nejsou tak náročné na prostor při propojování. Z toho důvodu může uživatel postrádat větší prostor při zapojování jednotlivých součástí. Tato skutečnost se dotýká zejména modifikace Transport, která neumožňuje takový rozptyl elektroniky, jako modifikace s větší plochou univerzálních desek plošných spojů.

Technický vývoj jde stále kupředu a bez správného pochopení základů a schopnosti těchto základů aplikovat, není možné proniknout do principů technických řešení současnosti. S tím, jak jde dopředu technika, by měla jít dopředu i úroveň výuky technických předmětů, a proto je nutné, aby docházelo k osvojování teoretických znalostí jejich přímým uplatněním v praxi. Za tímto účelem vznikají edukační sestavy, které využívají dnes dostupné možnosti k předání různých druhů dovedností. Prostředky, které umožňují aplikovat návrh této práce jako edukační prostředek pro širokou veřejnost, spočívají převážně v dostupnosti 3D tisku, dále ve vlastnictví osobního počítače téměř u všech dnešních studentů a v široké nabídce online obchodů v odvětví elektrotechniky.

Aby byla sestava komplexní edukační prostředek, měla by začít podrobným návodem pro vymodelování jednotlivých dílů v Inventoru, protože již po vytvoření první standardní modifikace robotu, bude uživateli umožněno proniknout do podstaty celé konstrukce a

provádět další budoucí úpravy již zcela samostatně. Po vymodelování přichází na řadu samostatný tisk jednotlivých partů. Správné nastavení parametrů při tisku si člověk nejspíše osvojí při samostatném zkoušení. 3D tisk je postupný výrobní proces, tudíž v momentě, kdy začíná být zřejmé, že výtisk bude obsahovat nepříjemné vady, může být proces okamžitě zastaven. Tím je možné eliminovat ztráty materiálu. K nejvíce selháním při tisku dochází při nanášení první vrstvy, tudíž ztráty způsobené během optimalizace konfigurace jsou minimální. Při tisku GABOTU je uživateli umožněno kromě osvojení základního nastavení tiskárny, také vhodně kombinovat různé průměry nanášecí trysky, nebo pochopit vlastnosti jednotlivých materiálů přímo v praxi. Výroba vlastního robotu, a to od prvního modelu až po konečné sestavení, dává uživateli možnost proniknout do konstrukčního řešení jako celku, což může pomoci v následném uvedení do provozu. Samotné oživení robot je vrcholem celého edukačního procesu. Aby však tento vrchol nebyl rychle pomíjivý, musí být konstrukce navržena tak, aby dokázala držet krok s uživatelskými schopnostmi a nabízet vždy nové, složitější a komplexnější řešení robotické úlohy. Programátorský nováček si osvojí základy programování a řízení při úlohách jako je sledování čáry nebo vyhýbání se překážkám. Všechny modifikace jsou v základu vybaveny senzorem pro sledování čáry a senzory pro detekování překážek. Po získání úvodních znalostí řízení čeká na uživatele mnoho různých senzorů, kterými může GABOTY osadit a následně skrze ně získávat informace z okolí. GABOTI jsou vybaveny dvěma vývojovými deskami, včetně rozšíření množství PINŮ díky ESP modulu, které umožní vyhodnocovat poměrně velké množství dat. Další level představuje komunikace s robotem pomocí WIFI, díky které bude možné nejen robot ovládat, ale řídit všechny jeho senzory a další připojená zařízení. Bezdrátovým zadáváním úkolů může postupně vzniknout automatizovaný proces, který bude řešit danou úlohu již zcela samostatně. Při zapojení více robotů do práce bude díky různým modifikacím robota možné vhodně rozdělovat jednotlivé úkony, čímž bude dosaženo větší efektivity. Společná kooperace více GABOTŮ tvořících dohromady jeden centrálně řízený systém, který vykonává užitečnou práci, je finální úroveň, kterou tento koncept nabízí.

Stavebnice GABOT by měla po absolvování celého procesu poskytnout uživateli, dříve neznalému laikovi, znalost modelování, 3D tisku i programování. Aby to však bylo možné, bude nutné do budoucna sestavit srozumitelné návody popisující a zároveň vysvětlující jednotlivé kroky. Skutečnost, že koncept je do budoucna popisován zejména jako edukační, neznamená, že by zkušeny programátor nenašel pro GABOTY využití. Po sestavení kompletního návrhu desek plošných spojů bude možné koncept GABOTŮ efektivně využít téměř v každém laboratorním prostředí, a to s možností lehkého přizpůsobení konstrukce vlastním požadavkům a volbou vyhovující modifikace.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] Model diferenciálního podvozku. In: /www.vutbr.cz [online]. Brno, 2011 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40210
- [3] Aplikace Ackermanova řízení na mobilním robotu. BRNO, 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [4] Stejnoseměrný motor Motraxe [online]. In: [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/stejnosemny-motor-motraxe-12-0-v-dc-0-244-a-0-91-nmm-13800-ot-min-prumer-hrdele-2-0-mm.k1711496>
- [5] Krokový motor. In: TME [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/pololu-1200/krokovye-motory/pololu/stepper-motor-bipolar>
- [6] Servo SG90 9g micro motor. In: Arduino [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/897-eses-servo-motor-9g.html>
- [7] Ultrazvukový měřič vzdálenosti HY-SRF05. In: Arduino N8vodz [online]. Havlíčkův Brod, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/ultrazvukovy-meric-vzdalenosti-hy-srf05.html>
- [8] Sharp GP2Y0D810Z0F Digital Distance Sensor 10cm. Snail Shop [online]. Beroun, 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/ir-vzdalenost/448-sharp-gp2y0d810z0f-digital-distance-sensor-10cm.html>
- [9] Pololu 3pi rozšířená verze. In: Pololu [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/975>
- [10] Pololu Corporation. Pololu: Robotics & Electronic [online]. 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/>
- [11] GoPiGo 3. In: Dexter Industries [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://shop.dexterindustries.com/gopigo-beginner-starter-kit/>
- [12] DOBOT AI-Starter. In: DOBOT [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.dobot.cc/products/dobot-ai-starter-specification.html>
- [13] Prusa Research mk3s. Prusa3D [online]. 2018, 2018 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/original-prusa-i3-mk3/>
- [14] Material. MaterialPro 3D [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>
- [15] NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0141-1.
- [16] Praktické aplikace servisních robotů. In: PRAKTICKÉ APLIKACE SERVISNÍCH ROBOTŮ [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava: Ladislav Kárník, 2011 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2727-8.pdf>
- [17] Li-pol akumulátor. In: Arduino-Shop [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/3059-li-pol-akumulator-3-7v-1200mah-9x35x41mm.html?gclid=Cj0KCQjwybD0BRDyARIsACyS8ms2xPurzw4NDRFKvRyidnAgREpAHPKDS0t1EH9p2jRyYWMJziBkaAsmWEALw_wcB

- [18] Elektromotor NMB K30. In: GM eletronic [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/elektromotor-nmb-k30-miniaturni-3-6v>
- [19] Dvoumotorový řadič TB6612FNG. In: Laskarduino [online]. laskarduino.cz [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/dvoumotorovy-radic-tb6612fng/>
- [20] Fotoelektrický snímač otáček Hewlett-Packard. In: <https://arduino-shop.cz/> [online]. ECLIPSE s.r.o [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1296-fotoelektricky-snimac-otacek-hewlett-packard.html>
- [21] Vývojová deska Nukleo-L432KC. In: RS [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://cz.rs-online.com/web/p/vyvojove-sady-pro-procesory-a-mikrokontrolery/1438574/?cm_mmc=aff-_-cz-_-findchip-_-1438574&utm_medium=buyNow&utm_source=supplyFrame
- [22] Wifi modul ESP32-A1S. In: Laskarduino [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/ai-thinker-esp32-a1s-2-4ghz-wifi-bluetooth-modul/>
- [23] Mosazný pastorek 10Z 0.5M H2.5, otvor 1mm. In: <https://www.mojecr.cz/> [online]. Brno: 2020 © mojecr.cz, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.mojecr.cz/https://www.mojecr.cz/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=122208&Itemid=435&glid=CjwKCAjw88v3BRBFEiwApwLevRMhya6HM2oqVQQ3F4jrgNj9lJIXyr4DwpRAFiJQT410jZkP5pYwzxC_0gQAvD_BwE
- [24] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [25] O-kroužek Dichtomatik EPDM 70 - 34.00 x 3.00. In: Mateza [online]. Brno, 1991–2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/o-krouzek-dichtomatik-epdm-70-34-00-x-3-00>
- [26] EZO MR105ZZ - 5x10x4 Kuličkové ložisko. In: Mateza [online]. Brno, 1991–2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/kulickove-lozisko-ezo-mr105zz-5x10x4>
- [27] Pololu Ball Caster with 3/8" Plastic Ball. Pololu [online]. Pololu Corporation, 2001–2020 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/950>
- [28] Spojovací-material.net. Spojovací-material.net [online]. Brno: Prumex, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/>
- [29] BALL CASTER WITH 3/4" PLASTIC BALL POLOLU. In: TME [online]. TME Czech republic s.r.o, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/pololu-954/prislusenstvi-robotiky-a-rc/pololu/ball-caster-with-3-4-plastic-ball/?brutto=1&glid=CjwKCAjw88v3BRBFEiwApwLevf8s26kJ0ELtbbaHbnGHkv67PQdgsSH_uBSOn8CEpJFqRL6ey1G6BRoCtyAQAvD_BwE
- [30] Elektromotorek 3V F-SFF-M20VA. In: GM eletronic [online]. GM electronic, spol., 1991–2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/elektromotorek-3v-f-sff-m20va>
- [31] Elektromotor 3 - 6V, typ 130. In: GM eletronic [online]. GM electronic, spol., 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/elektromotor-3-6v-typ-130>
- [32] O-kroužek Dichtomatik NBR 70 -60.00 x 3.00. In: Mateza [online]. Brno: Mateza spol s r.o., 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/o-krouzek-dichtomatik-nbr-70-60-00-x-3-00>

- [33] DOBOT AI-Starter. DOBOT [online]. 2018 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.dobot.cc/products/dobot-ai-starter-overview.html>
- [34] Mikrokontroler. IT SLOVNÍK [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/mikrokontroler>
- [35] Arduino Infračervený senzor sledování čáry. In: Laskarduino [online]. laskarduino.cz, 2001–2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/arduino-infracervený-senzor-sledování-čáry/>

9 SEZNAM OBRÁZKU, TABULEK A PŘÍLOH

9.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1.1 Systémový model mobilního servisního robotu [1] | 16 |
| Obr. 2.2 Model diferenciálního podvozku [2]..... | 16 |
| Obr. 2.3 Ackermanův podvozek tří a čtyřkolý [3]..... | 17 |
| Obr. 2.4 Stejnoseměrný motor [4]..... | 18 |
| Obr. 2.5 Krokový motor [5] | 18 |
| Obr. 2.6 Servomotor [6] | 18 |
| Obr. 2.7 Ultrazvukový měřič vzdálenosti [7]..... | 19 |
| Obr. 2.8 IR detektor překážek [8] | 19 |
| Obr. 3.9 Pololu 3pi v základní a maximálně rozšířené verzi [9] | 22 |
| Obr. 3.10 GoPiGo 3 [11] | 23 |
| Obr. 3.11 Dobot AI-Starter [12] | 23 |
| Obr. 4.12 Prusa MK3 [13] | 24 |
| Obr. 4.13 Druhy filamentu, PLA, ABS, PET-G [14] | 25 |
| Obr. 4.14 Prostředí PrusaSliceru..... | 25 |
| Obr. 5.15 Li-úpu akumulátor [17]..... | 26 |
| Obr. 5.16 Miniaturní elektro motor [18], dvoumotorový řadit [19], snímač otáček [20]..... | 27 |
| Obr. 5.17 Digitaln9 senzor vzdálenosti [8] | 27 |
| Obr. 5.18 Vývojová deska Nukleo-L432KC [21] a Wifi modul ESP32 [21]..... | 28 |
| Obr. 5.19 Schéma uložení kola..... | 28 |
| Obr. 5.20 Rozměry uložení kola..... | 29 |
| Obr. 5.21 Popis podvozku | 31 |
| Obr. 5.22 Náhle ukončení pouzdra pro matku | 32 |
| Obr. 5.23 Postupně ukončené pouzdro pro matku | 32 |
| Obr. 5.24 Schéma uložení univerzálních desek plošných spojů..... | 32 |
| Obr. 5.25 Obsazení desek plošných spojů C a B | 32 |
| Obr. 5.26 Schéma robotu bez karoserie..... | 34 |
| Obr. 5.27 Schéma bočního krytu karoserie..... | 35 |
| Obr. 5.28 Schéma předního dílu karoserie..... | 35 |
| Obr. 5.29 Schéma krytu baterie..... | 36 |

| | |
|---|----|
| Obr. 5.30 Schéma zadního krytu..... | 36 |
| Obr. 5.31 Schéma kapoty..... | 36 |
| Obr. 5.32 Schéma montáže karoserie..... | 37 |
| Obr. 6.33 Podvozek a elektronika GABOTU standart..... | 42 |
| Obr. 6.34 GABOT standart s karoserií..... | 43 |
| Obr. 6.35 Uložení kol a elektroniky GABOTU Transport..... | 44 |
| Obr. 6.36 Kompletní GABOT Transport..... | 45 |
| Obr. 6.37 Uložení kol a elektroniky GABOTU Truck..... | 45 |
| Obr. 6.38 Kompletní GABOT Truck..... | 47 |
| Obr. 6.39 GABOT modifikace..... | 48 |

9.2 SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1. Přehled elektrických komponent..... | 34 |
| Tab. 2. Přehled mechanických komponent..... | 35 |
| Tab. 3. Srovnání uvedených robotů..... | 35 |

9.3 SEZNAM PŘÍLOH

9.3.1 SEZNAM PŘILOŽENÝCH STL. SOUBORŮ

1. Podvozek_GABOT_Standart
2. Podvozek_GABOT_Transport
3. Podvozek_GABOT_Truck
4. Pojistny_dil_levy_GABOT_Standart
5. Pojistny_dil_levy_GABOT_Transport
6. Pojistny_dil_levy_GABOT_Truck
7. Pojistny_dil_pravy_GABOT_Standart
8. Pojistny_dil_pravy_GABOT_Transport
9. Pojistny_dil_pravy_GABOT_Truck
10. Kolo_GABOT_Standart
11. Kolo_GABOT_Transport
12. Kolo_GABOT_Truck
13. Hridel_GABOT_S_T
14. Hridel_GABOT_Truck
15. Pouzdro_na_matku_hridele_GABOT_S_T

16. Pouzdro_na_matku_hridele_GABOT_Truck
17. Bocni_panel_levy_GABOT_Standart
18. Bocni_panel_levy_GABOT_Transport
19. Bocni_panel_levy_GABOT_Truck
20. Bocni_panel_pravy_GABOT_Standart
21. Bocni_panel_pravy_GABOT_Transport
22. Bocni_panel_pravy_GABOT_Truck
23. Kapota_GABOT_Standart
24. Kapota_GABOT_Transport
25. Kapota_GABOT_Truck
26. Predek_GABOT_Standart
27. Predek_GABOT_Transport
28. Predek_GABOT_Truck
29. Strecha_GABOT_Standart
30. Strecha_GABOT_Transport
31. Strecha_GABOT_Truck
32. Zadek_GABOT_Standart
33. Zadek_GABOT_Transport
34. Zadek_GABOT_Truck

9.3.2 SEZNAM PŘILOŽENÝCH VÝKRESŮ

1. Obrysový výkres GABOT_STANDART
2. Obrysový výkres GABOT_TRANSPORT
3. Obrysový výkres GABOT_TRUCK

