Vysoká škola Báňská - Technická Universita Ostrava
Fakulta strojní

KONSTRUKČNÍ NÁVRH DVOUKOLOVÉHO MOBILNÍHO ROBOTU

Engineering Design of Two Wheel Mobile Robot

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:
Ing. Milan MIHOLA, Ph.D.

Autor:
Jakub MICHALSKI

Ostrava, 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Michalski**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: Konstrukční návrh dvoukolového mobilního robotu
Engineering Design of Two-Wheel Mobile Robot

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhněte varianty konstrukčního řešení dvoukolového mobilního robotu, vhodného pro pohyb ve vnitřním i venkovním prostředí, s možností doplnění o další komponenty o celkové maximální hmotnosti 2 kg.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujte.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kárník, L., Knoflíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
2. Schraft, R.F.,Volz, H. *Serviceroboter*. Springer – Verlag, Berlin, 1996.
3. Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
4. *ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. *ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA Fakulta strojní -5- OSTRAVA

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Jméno a příjmení autora:	Jakub Michalski
Název diplomové práce:	Konstrukční návrh dvoukolového robotu
Název práce v angličtině:	Engineering design of two wheel mobile robot
Katedra:	Robotiky
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Milan Mihola, Ph.D.
Rok obhajoby:	2015

Anotace

MICHALSKI, J. Konstrukční návrh dvoukolového mobilního robotu: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015. Vedoucí práce: Mihola, M.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem dvoukolového mobilního robotu. V úvodu jsou vysvětleny základní pojmy. V další kapitole jsou vypracovány varianty řešení, tyto varianty jsou vytvořeny jen jako koncepty, ne jako výsledné varianty. Z těchto konceptů je vybrána optimální varianta a jsou provedeny nutné návrhové výpočty a úprava konstrukce na finální verzi. V poslední řadě je zvolena elektronika senzorů a řízení. V závěru je provedena cenová kalkulace. Model robotu a technické výkresy jsou zhotoveny v programu Creo Parametric.

Klíčová slova

Dvoukolový robot, gyroskop, akcelerometr, motor, převodovka, ložiskový domek, kolo, hřídel

Annotation

MICHALSKI, J. Engineering design of two wheel mobile robot: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotic, 2015.
Thesis head: Mihola M.

Bachelor thesis deals with the structural design of two-wheel mobile robot. The introduction explains the basic concepts. In the next chapter are developed alternative variant, these variants are created only as concepts, not as a final option. From these concepts are selected optimum option and will makes the necessary design calculations and finish construction on the final version. In the last row are selected, sensors and control electronics. At the end is price calculating. Model of the robot and technical drawings are made in the program Creo Parametric.

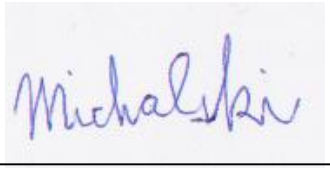
Keywords

Two-wheeled robot, gyroscope, accelerometer, engine, gearbox, bearing housing, wheel, shaft

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Konstrukční návrh dvoukolového mobilního robotu* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Milana Miholy, Ph.D. a uvedl v ní všechny použité literární a jiné odborné zdroje.

V Ostravě dne 18. května 2015

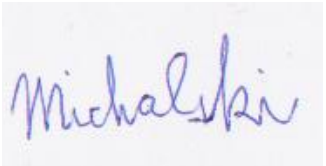


vlastnoruční podpis autora

Prohlašuji že:

- sem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2015



vlastnoruční podpis autora

Jména a příjmení autora práce	Jakub Michalski
Adresa trvalého bydliště autora práce	Písečná 56, Jablunkov 73991

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. za věcné rady a poznámky k mé práci. Dále pak kamarádům a rodičům.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 7
1 ÚVOD 9
2 ZÁKLADNÍ POJMY 10
2.1 MATEMATICKÝ MODEL 10
2.2 AKCELEROMETR 11
2.3 GYROSKOPICKÝ SNÍMAČ 11
3 ROZDĚLENÍ SERVISNÍCH ROBOTŮ 12
3.1 DŮVOD POUŽITÍ MOBILNÍCH SERVISNÍCH ROBOTŮ 12
3.2 POHONY MOBILNÍCH SERVISNÍCH ROBOTŮ 13
3.3 NAVIGACE A ŘÍZENÍ SERVISNÍCH MOBILNÍCH ROBOTŮ 13
4 REŠERŠE 14
4.1 GYROBOT 14
4.2 NBOT 15
4.3 EQUIBOT 16
4.4 FELIX GRASSER'S ROBOT 16
4.5 AUTOPILOT´S IMU ROBOT 17
4.6 SEEWAY 18
5 POŽADAVKOVÝ LIST 19
6 NÁVRH VARIANT ŘEEŠENÍ 19
6.1 PRVNÍ VARIANTA 20
6.2 DRUHÁ VARIANTA 22
6.3 TŘETÍ VARIANTA 24
7 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY 26
7.1 ZVOLENÁ KRITÉRIA 26
7.2 HODNOCENÍ KRITÉRIÍ 26
7.3 ÚROVEŇ KRITÉRIA 27
7.4 VÁHA VÝZNAMNOSTI 27
7.5 URČENÍ VÝZNAMNOSTI KRITÉRIÍ 28
7.6 URČENÍ VÁHY VÝZNAMNOSTI 29
7.7 HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT 30
8 RÁM ROBOTU 33
8.1 KONSTRUKCE RÁMU ROBOTU 33
9 NÁVRH POHONU ROBOTU 34
9.1 VÝPOČET ODPORU VALENÍM 35
9.2 VÝPOČET ODPORU PŮSOBENÍM VĚTRU 36
9.3 VÝPOČET ODPORU STOUPÁNÍM 37
9.4 VÝPOČET ODPORU ZRYCHLENÍM 37
9.5 VÝPOČET POTŘEBNÉHO MOMENTU A VÝKONU MOTORU 37
10 VOLBA POHONU 39

11 VOLBA BATERIÍ 40
12 NÁVRH ELEKTRONIKY 41
12.1 ŘIDÍCÍ POČÍTAČ 41
12.2 SENZORY 42
12.3 REGULÁTOR 42
12.4 KAMERA 43
12.5 WI-FI KARTA 43
12.6 MĚNIČE NAPĚTÍ 44
13 KONSTRUKCE ROBOTU 44
13.1 LOŽISKOVÁ JEDNOTKA 45
13.2 KRYTOVÁNÍ 45
13.3 UMÍSTĚNÍ JEDNOTIVÝCH KOMPONENT ROBOTU 46
14 CENOVÁ KALKULACE 46
15 ZÁVĚR 47
16 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 48
17 SEZNAM TABULEK 50
18 SEZNAM OBRÁZKŮ 50
19 SEZNAM PŘÍLOH 51

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	Střídavý proud	-
C	Kapacita	A · h
Cx	Součinitel vzdušného odporu	-
DC	Stejnosměrný proud	-
DOF	Stupeň volnosti	-
Fa	Odpor zrychlení	N
Fs	Odpor stoupání	N
Fv	Odpor valení	N
Fvz	Odpor větru	N
G	Tíha	N
GPS	Globální poziční systém	-
I	Proud	A
IMU	Inerciální měřící jednotka	-
Mh	Krouticí moment	N.m
Mhi	Redukovaný krouticí moment	N.m
P	Výkon	W
RC	Remote Control	-
Rk	Poloměr kola	mm
Sx	Čelní plocha vozidla	mm^2

f	Součinitel tření	-
g	Tíhové zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
i	Počet pohonů	-
m	Hmotnost	kg
n	Otáčky	ot/min
p	Počet srovnání	-
q	Významnost kritérií	-
t	Čas	s
v	Rychlost	m/s
α	Úhel stoupání roviny	°
ξ	Součet počtu voleb	-
Ш	Úhlová rychlost	s^{-1}

1 ÚVOD

Bakalářské práce se zabývá konstrukčním návrhem dvoukolového mobilního robotu. Robot by se měl dokázat pohybovat v otevřeném terénu, ale i v domácím prostředí.

Na začátku jsou vysvětleny základní pojmy, které je důležité si osvojit před samotným řešením problému. Dále jsou uvedeny konstrukce, již zkonstruovaných dvoukolových robotů, u kterých šlo najít informace, které jsou pro mou práci nezbytné.

V další kapitole jsou vypracovány varianty řešení. Tyto varianty jsou vytvořeny jen jako koncepty, ne jako výsledné varianty. Z těchto konceptů je vybrána optimální varianta a jsou provedeny další úpravy a zdokonalení samotné konstrukce robotu, jsou provedeny nutné návrhové výpočty.

V poslední řadě je zvolena elektronika senzorů a řízení. V závěru je provedena cenová kalkulace.

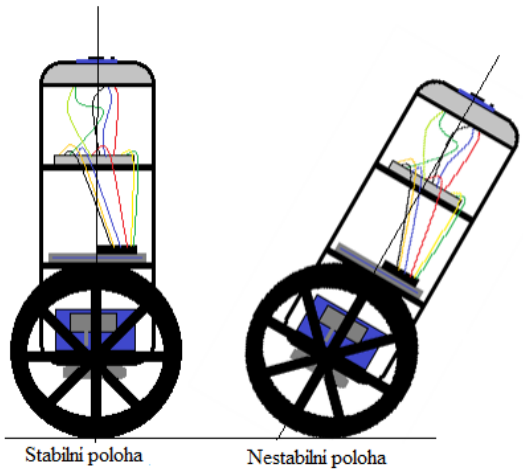
Model robotu a technické výkresy jsou zhotoveny v programu Creo Parametric.

2 ZÁKLADNÍ POJMY

Dvoukolý mobilní robot s osou kol umístěnou pod těžištěm těla robotu se po mechanické stránce chová jako inverzní kyvadlo. Tato vlastnost z něj dělá obecně nestabilní soustavu, kterou lze stabilizovat udržením ve stavu mechanické rovnováhy. Uvažujeme-li, že je každé z kol poháněno nezávisle, má robot v prostoru 3 stupně volnosti. Nezávislý pohon kol umožňuje robotu kromě přímočarého pohybu podél vodorovné osy kolmé na osu kol také rotaci okolo osy svislé – tedy zatáčení. V rámci řídicího systému je nutno aplikovat řadu častých problematik z oblasti automatického řízení, od zpracování signálu ze snímačů přes samotný řídicí algoritmus založený na matematickém modelu robotu až po řízení motorů. To je jedním z důvodů, proč je tato úloha velmi oblíbeným prostředkem výuky automatického řízení a mechatroniky. [1, 2]

2.1 MATEMATICKÝ MODEL

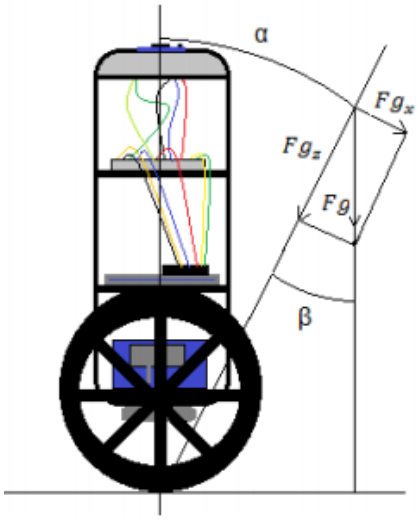
Model balančního robota má dvě hmotné polohy, základem regulace je docílení stabilní polohy robota z jakékoli nestabilní polohy v rámci fyzikálních a technických omezení. Pro matematický model lze balančního robota zjednodušit na příklad inverzního kyvadla s posuvnou základnou. Uvedením ramene kyvadla do stavu rovnováhy ve vertikální poloze, tedy kolmo na horizontální osu robota je dosažena stabilita systému. Samotný řídicí systém vyhodnocuje vychýlení robota a pohybem základny stabilizuje systém. [1, 2]



Obrázek 2-1Matematický model robotu [2]

2.2 AKCELEROMETR

Měří gravitační zrychlení v ose x a z, osy jsou na sebe vzájemně kolmé. Při otáčení akcelerometru se gravitační zrychlení promítá na obě osy, a proto lze pomocí goniometrických znalostí vypočítat úhel α. [1, 2]



Obrázek 2-2Matematický model robotu 2 [2]

2.3 GYROSKOPICKÝ SNÍMAČ

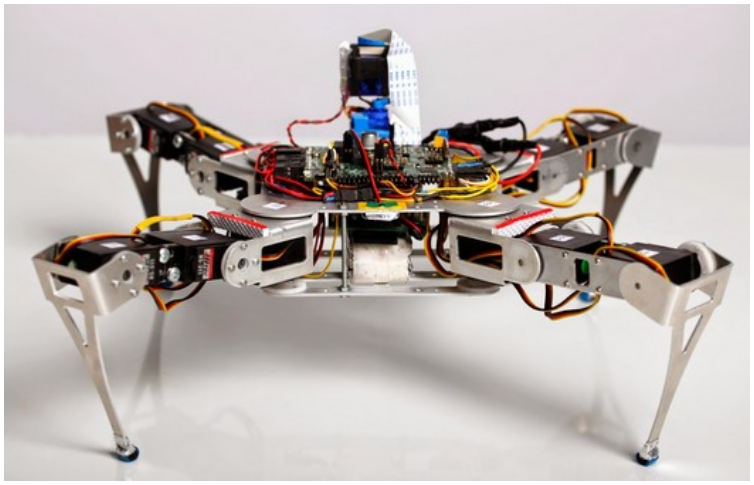
Snímá rotaci kolem měřené osy, kterou převádí na úhlovou rychlost ω(t). Úhlová rychlost je první derivací úhlu natočení θ, tedy zpětně je úhel natočení integrálem naměřené úhlové rychlosti. [2]

Obrázek 2-3Gyroskopický snímač [30]

3 ROZDĚLENÍ SERVISNÍCH ROBOTŮ

Rozdělit je můžeme na Biologické soustavy a Umělé soustavy.

Biologické soustavy vycházejí z konstrukce podobné zvířecím, lidským technologiím chůze, letu, nebo připomínají plazící se hady a ještěrky. Jsou to například kráčející, létající a plazivé soustavy. Umělé soustavy jsou například pásové, kolové a polštářové. [3]



Obrázek 3-1Kráčejcí robot [31]

3.1 DŮVOD POUŽITÍ MOBILNÍCH SERVISNÍCH ROBOTŮ

Mobilní servisní roboty používáme v mnoha odvětvích, například ve zdravotnictví, stavebnictví, v armádě, roboty používají hasiči, používáme je ve strojírenství pro monitorování, transport atd.

Tyto roboty používáme jak z důvodu usnadnění každodenní činnosti lidí, tak i v situacích, které jsou pro nás nebezpečné, nebo nedostupné. Například zneškodňování výbušnin, prozkoumáváním potrubí, nebo podmořského dna. Ke každé této práci se používá univerzální robot, který byl zkonstruován přesně pro daný úkol. [3]

3.2 POHONY MOBILNÍCH SERVISNÍCH ROBOTŮ

Pro pohon těchto robotů se nejčastěji používají stejnosměrné (DC) motory, krokové motory, střídavé (AC) motory, komutátorové, synchronní i asynchronní motory a servomotory.

Zdrojem energie robotů bývají buď baterie elektrických článků, které nelze nabít a znovu použít, nebo akumulátory, které lze nabít a znovu použít. [3]

Obrázek 3-2Motor Maxon [32]

3.3 NAVIGACE A ŘÍZENÍ SERVISNÍCH MOBILNÍCH ROBOTŮ

Řízení servisních mobilních robotů můžeme zprostředkovat mnohými metodami.

K těm nejjednodušším a nejpoužívanějším patří například metoda sledování vodící čáry. Tato metoda je založena na technologii sledování vodící čáry buď opticky, nebo pomocí Hallových senzorů. Tato meta je velmi spolehlivá.

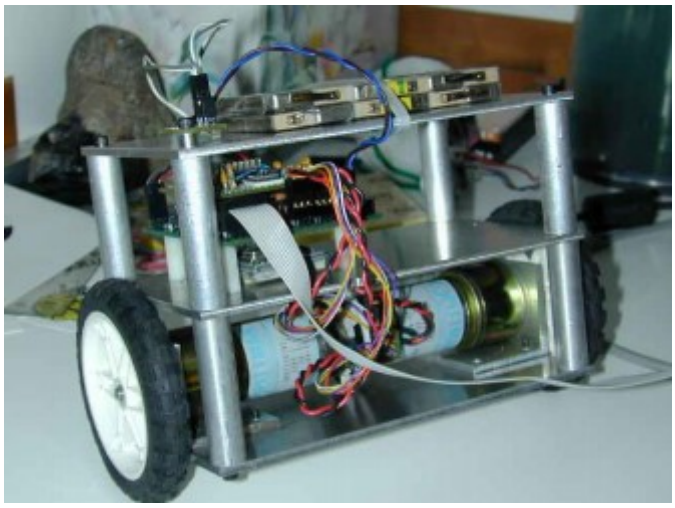
Dalšími metodami jsou GPS, Dead Reckoning, Inerciální Navigace, nebo navigace pomocí taktních a proximitních senzorů. [1, 3]

4 REŠERŠE

V následujícím přehledu je uvedeno několik zajímavých řešení dvoukolých mobilních robotů.

4.1 GYROBOT

Autorem tohoto jednoduchého robotu je robotik Larry Barello. Řídicí elektronika je založena na mikrořadiči Atmel ATMEGA16, pro snímání náklonu je robot osazen gyroskopem a akcelerometrem. Kola pohánějí dva nezávisle řízené stejnosměrné motory s enkodéry. Pro vyhodnocení náklonu se využívají údaje z gyroskopu. Řízení obstarává MISO PID regulátor s konstantními koeficienty. Ten v závislosti na natočení, úhlové rychlosti, vodorovné pozici a rychlosti těla robotu stanovuje krouticí moment, který je aplikován motory na kola robotu. [4]



Obrázek 4-1Gyrobot [4]

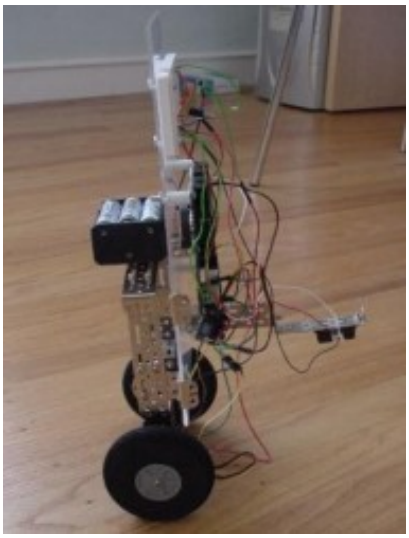
4.2 nBOT

Tento robot autora Davida Andersona prošel několika evolučními kroky. Nejprve to byl vozíček s kyvadlem, do fáze mobilního dvoukolového robota se dostal až ve své třetí verzi. Měření náklonu zajišťuje kompaktní inerciální měřicí jednotka (IMU), která je tvořena gyroskopem a akcelerometrem. Oproti předchozím verzím byla pozměněna stavba robotu, přesunem baterií do vyšší polohy došlo k posunu těžiště směrem nahoru, což vedlo ke zjednodušení stabilizace. Pojezdu se docílí změnou žádané hodnoty náklonu robotu, a ten pak musí zůstat v pohybu, aby byl vyvážen. Pro zatáčení je nutno k napětí jednoho motoru přidat a od napětí druhého motoru ubrat stejnou hodnotu, stabilita je pak zachována[5]

Obrázek 4-2nBOT [5]

4.3 EQUIBOT

Autorem tohoto robotu je Dan Piponi. Robot se značně liší od většiny ostatních v přístupu k senzorické soustavě. Místo jakékoliv inerciální senzoriky používá infračervený dálkoměr, kterým měří vzdálenost od země. Takto lze při znalosti geometrie robotu vyhodnotit náklon jeho těla. Pro pohon jsou použity dva modelářské servomotory s rozsahem natočení 360°, robot tedy není schopen plnohodnotného pojezdu, pouze balancování. Pro řízení je použit PI regulátor[6]



Obrázek 4-3Equibot [6]

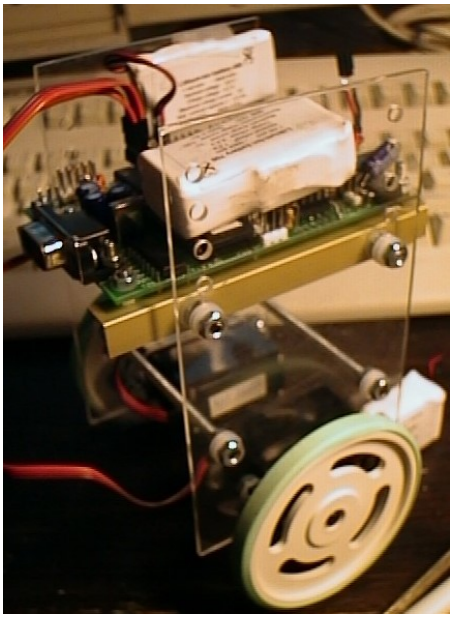
4.4 FELIX GRASSER'S ROBOT

Autorem tohoto robotu jsou studenti university Institute of Technology, Lausanne, Switzerland. Pohon tohoto robotu zajišťují dva DC motory, měření náklonu zajišťuje gyroskop. Hmotnost tohoto robotu je 12kg. Maximální rychlost 1,5m/h. Výška 650mm. [7]

Obrázek 4-4Grasser Robot[7]

4.5 AUTOPILOT´S IMU ROBOT

Tento robot je zatím ve vývoji, nedaří se stoprocentní vyrovnávání. Balancování je řešeno pomocí tzv. autopilot's IMU. Na tomto robotu je třeba ještě pár věcí vylepšit, ale pro mou práci je to dobrá inspirace. Pohon zajišťují dva servomotory. Konstrukce robotu je řešena pomocí plexiskla, ze kterých jsou vytvořeny bočnice robotu a pomocí kovových vzpěr jsou spolu spojeny. Výška robotu 154mm, šířka 116mm a délka 108mm. [8]



Obrázek 4-5IMU robot [8]

4.6 SEEWAY

Toto zařízení není pro mou práci moc přínosné, ale dá se říci, že využívá stejného, nebo podobného principu jako dvoukoloví mobilní roboti. Seeway je napodobenina Segwaye, je to jedinečné elektrické zařízení, které udržuje samostatně rovnováhu, funguje v každém terénu a snadno se ovládá. Vyvažování je realizováno pomocí čtyř gyroskopů, které jsou propojeny s řídící jednotkou a motory. Maximální síla motorů je 700W (2x350). Váží 45,9 Kg. Maximální rychlost vozítka je 18km/h. Dojezd 35 km. Oproti Segwayi je mnohem levnější. [9]

Obrázek 4-6 Seeway [9]

5 POŽADAVKOVÝ LIST

- Robot musí udržet stabilitu (i při průjezdu venkovním terénem)
- Musí překonat výšku prahu dveří 20mm
- Maximální rychlost robotu 3 km/h
- Robot by měl vydržet v provozu minimálně 1 hodinu
- Robot si musí nést zdroj energie (akumulátor)
- Minimální spotřeba energie
- Robot musí být odolný vůči povětrnostním podmínkám (prach, voda)
- Robot bude mít na sobě kameru
- Robot by měl být co nejlehčí
- Robot by měl být co nejlevnější
- Ovládací dosah do 100m v otevřeném prostranství
- Snadné a rychlé očištění robota po vykonané práci
- Možnost osazení robotu příslušenstvím o hmotnosti 2kg

6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

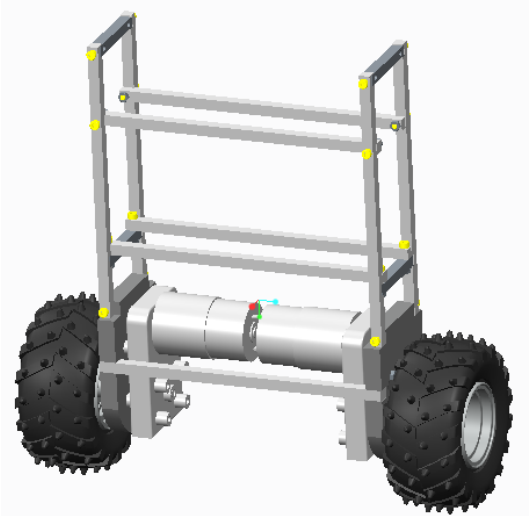
Práce obsahuje tři varianty různých řešení konstrukce robotu. Variant bylo vymodelováno více, aby mohla být provedena hodnotová analýza, díky které se vybere optimální varianta řešení. Tyto koncepty nejsou modelovány do detailu, nicméně pro posouzení a vybrání vhodné varianty nám tyto koncepty postačí.

Jedná se pouze o koncepty jednotlivých variant, kdy jsem řešil hlavně samotnou konstrukci rámu robotu a vybrání vhodných motorů a převodovek pro danou variantu. Jak uchytit převodovky a motory do samotného rámu a jak tím nejjednodušším a nejlepším způsobem převést hnací moment motoru na kolo.

6.1 PRVNÍ VARIANTA

V první variantě jsou použity takzvané „REAR SHAFT MOTORY“ firmy ETONM MOTOR[11], což jsou motory s planetovou převodovkou, která není umístěna klasicky podélně za motorem, ale je uložena svisle za motorem. Výhodou této koncepce je, že celková délka motoru a převodovky je výrazně menší, což je pro mou práci výrazné kritérium. Maximální výška robotu je 335mm. Šířka je 327mm a délka 140mm. Přibližná váha robotu bude 5,5 KG.

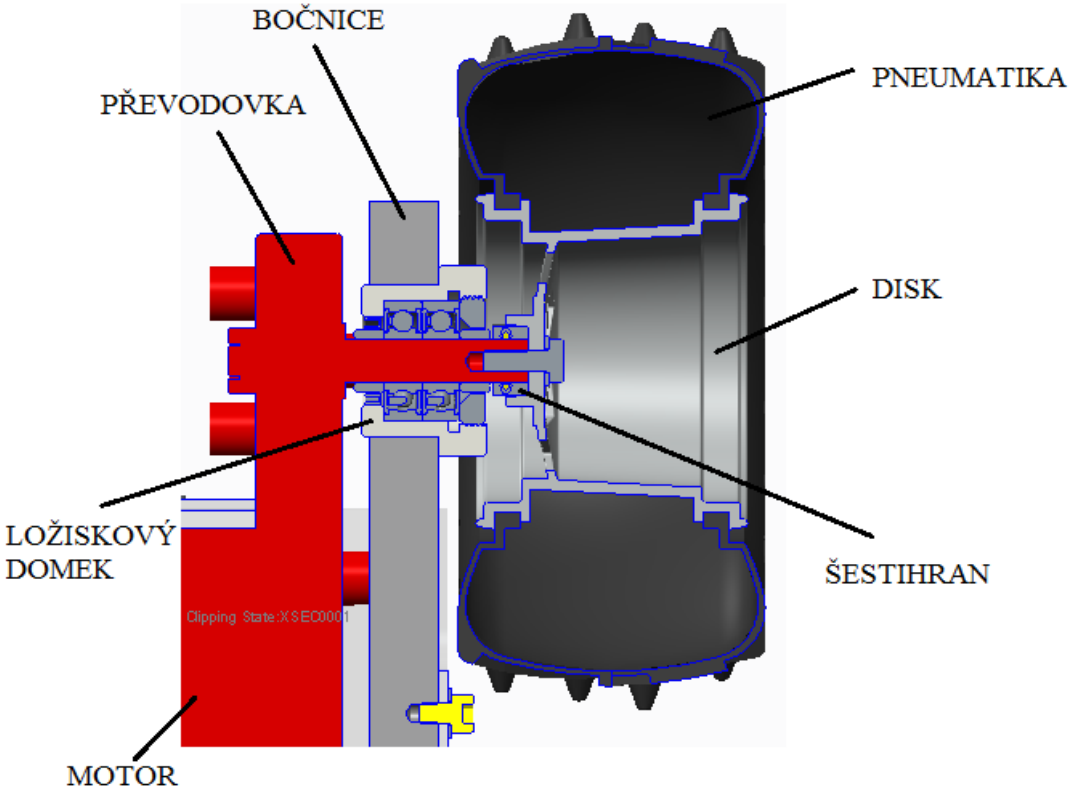
Robot je sestaven z hliníkových a ocelových profilů o rozměrech 8x8mm, které jsou do sebe vloženy, přišroubovány a v některých případech i slepeny. Motor s převodovkou je přišroubován k bočnici a výstupní hřídel z převodovky je přímo spojena s kolem. Na hřídeli je nasazená ložisková jednotka s kuličkovými ložisky. Robot bude mít terénní RC kola s plastovým diskem a vzorkem z tvrdé gumy o průměru 140mm a šířce 60mm.



Obrázek 6-1 Varianta č.1

Detail konstrukčního řešení hnacího uzlu:

Motor s převodovkou je přišroubován čtyřmi šrouby k bočnici robotu. Výstupní hřídel z převodovky je přímo spojená s kolem pomocí šestihranu a šroubu. Šestihran je na hřídeli přilepen a připevněn pomocí tzv. červíků. V bočnici je vložená ložisková jednotka, která obsahuje dvě kuličková ložiska.

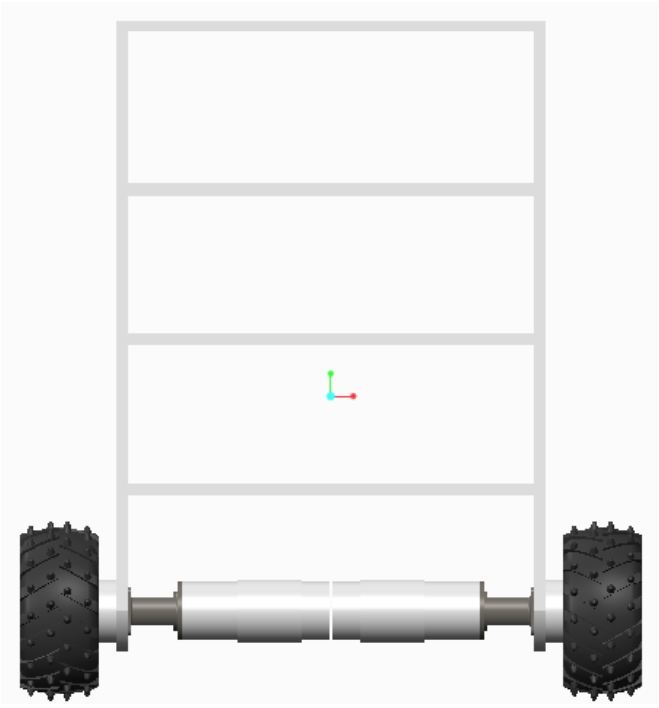


Obrázek 6-2Detail varianty č.1

6.2 DRUHÁ VARIANTA

V druhé variantě použity motor firmy DEVANTECH [20], což jsou motory běžně používané v robotice. Motor a převodovka jsou uloženy za sebou v ose kola, což zvětšuje šířku robotu. Maximální výška robotu je 400mm. Šířka je 440mm a délka 140mm. Přibližná váha robotu je 6 KG. Robot bude mít terénní RC kola s plastovým diskem a vzorkem z tvrdé gumy o průměru 140mm a šířce 60mm.

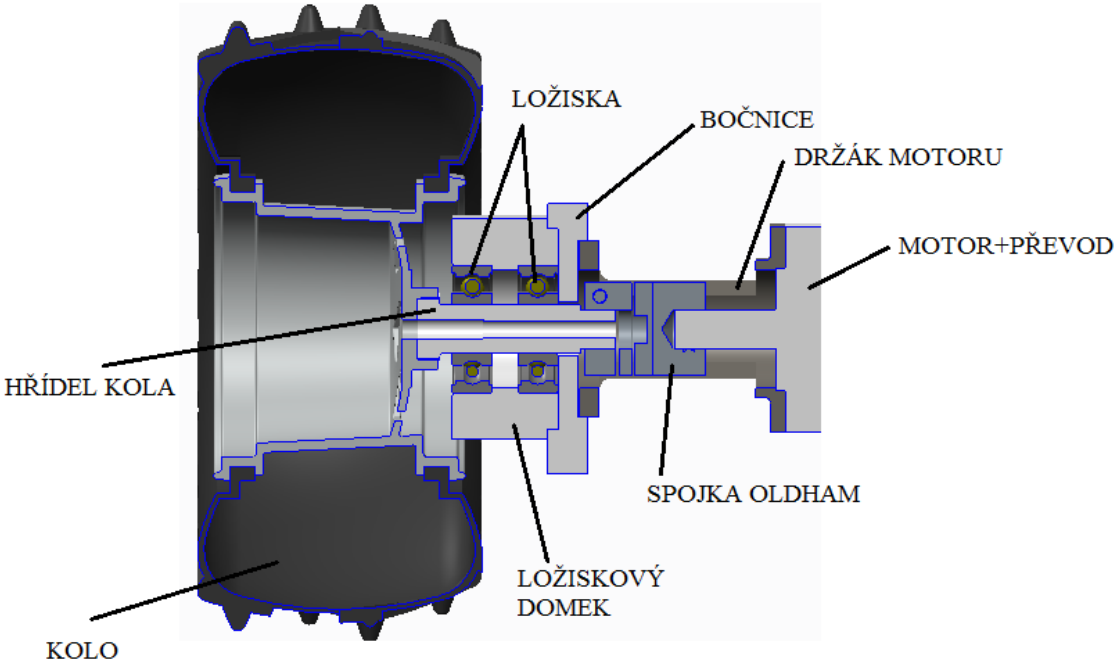
Robot je znova sestaven z hliníkových a ocelových profilů o rozměrech 8x8mm, které jsou do sebe vloženy, přišroubovány a v některých případech i slepeny. Motor s převodovkou je přišroubován k držáku, ve kterém se spojuje hřídel z převodovky s hřídelí kola. Výstupní hřídel z převodovky je spojena s hřídeli kola pomocí spojky Oldham[21]. Na hřídeli jsou nasazeny dvě kuličková ložiska, která jsou uložena v ložiskovém domečku. Domeček je vsazen a přišroubován do bočnice robotu.



Obrázek 6-3 Varianta č.2

Detail konstrukčního řešení hnacího uzlu:

Motor s převodovkou je přišroubován do držáku motoru, který je vložen a přišroubován do bočnice robotu. V tomto držáku se nachází spojka Oldham, která spojuje hřídel kola s výstupní hřídeli převodovky. Do druhé strany bočnice je vložen a přišroubován ložiskový domek, ve kterém jsou dvě kuličková ložiska. Kolo je k hřídeli znovu spojeno pomocí šestihranu a šroubu.

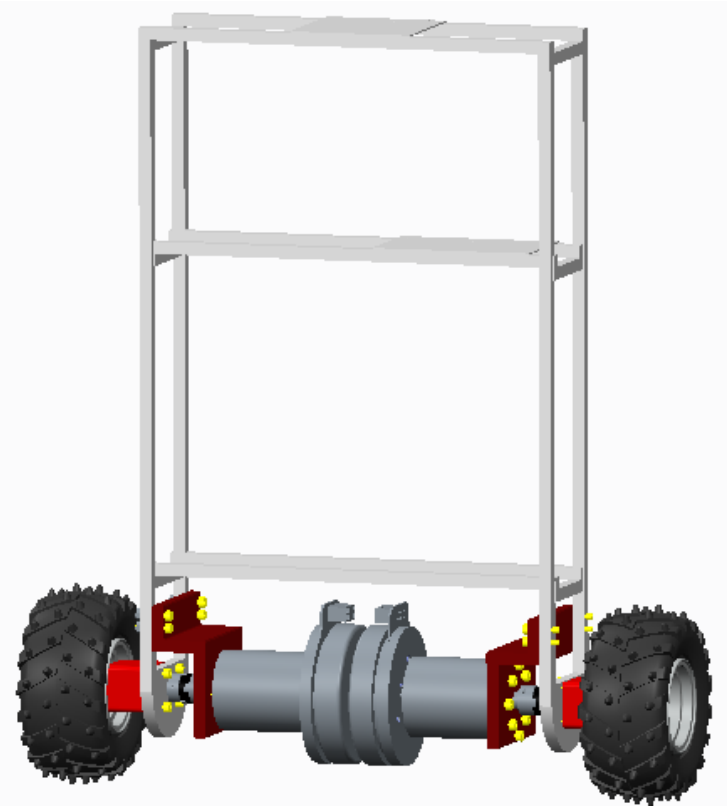


Obrázek 6-4 Detail varianty č.2

6.3 TŘETÍ VARIANTA

Ve třetí variantě jsou použity diskové motory s převodovkou firmy MAXON[22], což jsou motory běžně používané v robotice. Motor a převodovka jsou uloženy za sebou v ose kola, což zvětšuje šířku robotu, ale díky diskovým motorům není robot tak široký jako u varianty č. 2. Maximální výška robotu je 450mm. Šířka je 430mm a délka 140mm. Přibližná váha robotu je 6 KG. Robot bude mít terénní RC kola s plastovým diskem a vzorkem z tvrdé gumy o průměru 140mm a šířce 60mm.

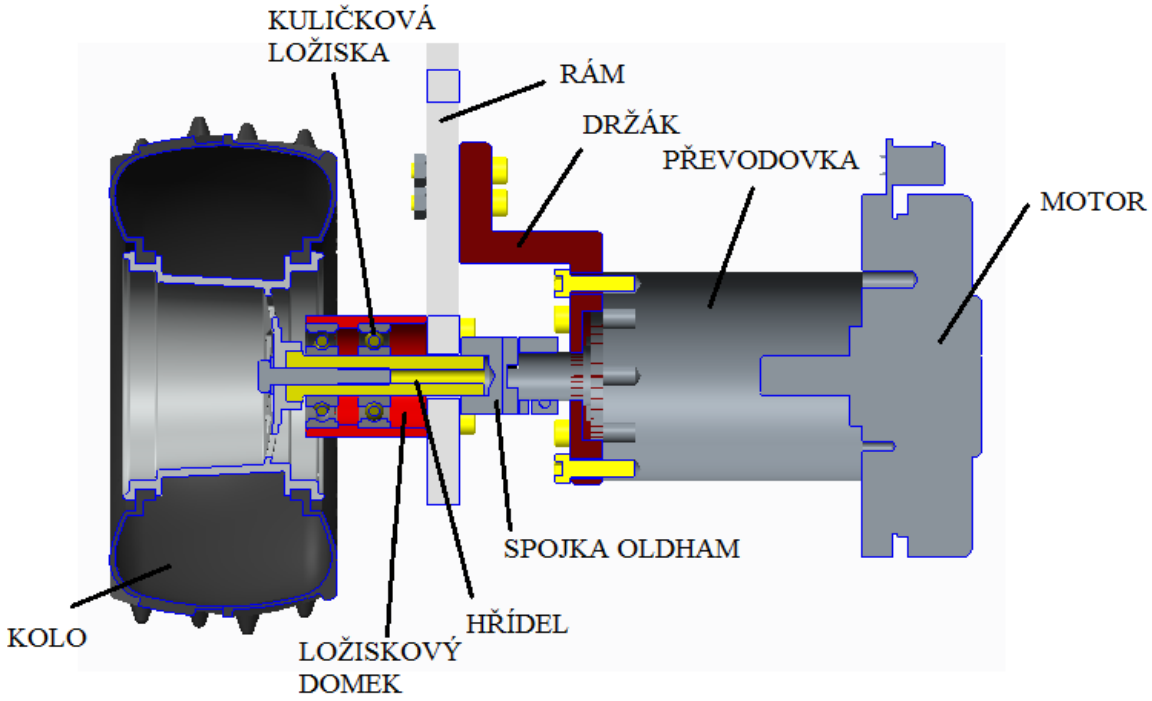
Robot je znova sestaven z hliníkových a ocelových profilů o rozměrech 8x8mm, které jsou do sebe vloženy, přišroubovány a v některých případech i slepeny. Motor s převodovkou je přišroubován k držáku. Výstupní hřídel je spojena s hřídeli kola pomocí spojky Oldham. Na hřídeli jsou nasazeny dvě kuličková ložiska, která jsou uložena v ložiskovém domečku. Domeček je vsazen a přišroubován do bočnice robotu.



Obrázek 6-5 varianta č.3

Detail konstrukčního řešení hnacího uzlu:

Motor s převodovkou je přišroubován do držáku motoru, který je přišroubován do rámu robotu. Z druhé strany rámu je vložen a přišroubován ložiskový domek, ve kterém jsou dvě kuličková ložiska. Kolo je k hřídeli znovu spojeno pomocí šestihranu a šroubu. Hřídel motoru je spojen s hřídeli kola pomocí spojky Oldham.



Obrázek 6-6 Detail varianty č.3

7 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Na základě požadavkového listu jsou zvolena kritéria, podle kterých bude vybrána optimální varianta. Ke každému kritériu bude udělena hodnota viz. Tabulka 6-3

7.1 Zvolená kritéria

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Hmotnost	Hmotnost modelu
K2	Průjezd	Schopnost projet překážkami
K3	Spotřeba Energie	Energetická náročnost
K4	Náklady	Náklady na potřebný materiál a komponenty k sestavení robotu.
K5	Rozměry	Velikost největšího rozměru (průjezd dveřmi)
K6	Konstrukce	Náročnost na výpočty, materiál, technologii a stavbu stroje.
K7	Odolnost	Odolnost vůči povětrnostním podmínkám

Tabulka 7-1 Kritéria

7.2 Hodnocení kritérií

Hodnocení kritérií Kritérium	Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3
K1 - Hmotnost	8	6	5
K2 - Průjezd	10	10	10
K3 - El. spotřeba	7	6	6
K4 - Náklady	6	6	3
K5 - Rozměry	8	7	7
K6 - Konstrukce	9	7	6
K7 – Odolnost	9	9	9

Tabulka 7-2Hodnocení kritérii

7.3 ÚROVEŇ KRITÉRIA

Hodnota k jednotlivým kritériím.

Úroveň kritéria	Hodnota
Vysoká	10
Velmi dobrá	8
Chvalitebná	6
Dobrá	4
Dostatečná	2
Nedostatečná	0

Tabulka 7-3Úroveň kritérií

7.4 VÁHA VÝZNAMNOSTI

VÝZNAMNOST	HODNOTA
NEJVYŠŠÍ	7
NEJNIŽŠÍ	1

Tabulka 7-4 Váha významnosti

7.5 URČENÍ VÝZNAMNOSTI KRITÉRIÍ

Použili jsme metodu porovnání páru v trojúhelníku. Kritérium, které je pro nás významnější, je označeno v tabulce tučně.

Porovnání kamaráda Jakuba Tilla

Porovnávané páry kritérií						Počet voleb (v)	Pořadí
K1	**K1**	**K1**	K1	K1	**K1**	4	**2**
K2	K3	K4	**K5**	**K6**	K7		
	K2	**K2**	K2	K2	**K2**	4	**2**
	K3	K4	**K5**	**K6**	K7		
		K3	K3	K3	K3	0	**7**
		K4	**K5**	**K6**	**K7**		
			K4	K4	**K4**	2	**3**
			K5	**K6**	K7		
				K5	**K5**	5	**1**
				K6	K7		
					K6	1	**4**
					K7	1	**4**
						Celkem 21	

Tabulka 7-5Porovnání Jakuba Tilla

Porovnání Jakuba Michalského

Porovnávané páry kritérií						Počet voleb (v)	Pořadí
K1	**K1**	**K1**	**K1**	K1	**K1**	5	**1**
K2	K3	K4	K5	**K6**	K7		
	K2	**K2**	K2	K2	**K2**	3	**3**
	K3	K4	**K5**	**K6**	K7		
		K3	K3	K3	**K3**	1	**5**
		K4	**K5**	**K6**	K7		
			K4	K4	**K4**	2	**4**
			K5	**K6**	K7		
				K5	**K5**	4	**2**
				K6	K7		
					K6	2	**4**
					K7	0	**7**
						Celkem 21	

Tabulka 7-6Porovnání Jakuba Michalského

7.6 URČENÍ VÁHY VÝZNAMNOSTI

Tabulka 7-7 Váha významnosti kritérií

Udává, významnost kritéria, čím větší číslo tím má kritérium vyšší významnost.

Kritérium	Váha významnosti
K1	4,5
K2	3,5
K3	0,5
K4	2
K5	4,5
K6	1,5
K7	0,5

Váha významnosti se určí pomocí vztahu

$$q = \frac{\in V_i}{p} \qquad \in V_i - součet\ počtu\ voleb\ jednotlivých\ kritérií$$

$$p - počet\ srovnání$$

7.7 HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

U hodnocení jednotlivých variant se násobí bodová hodnota kritéria každé varianty s příslušnou váhou významnosti daného kritéria. Jejich součtem pak vznikne vážený index kritéria.

Varianta č. 1

Kritérium	Bodová hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	8	4,5	36
K2	10	3,5	35
K3	7	0,5	3,5
K4	6	2	12
K5	8	4,5	63
K6	9	1,5	13,5
K7	9	0,5	4,5
Celkový součet indexů			167,5

Tabulka 7-8Index varianty č. 1

Varianta č. 2

Tabulka 7-9 Index varianty č.2

Kritérium	Bodová hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	6	4,5	**27**
K2	10	3,5	**35**
K3	6	0,5	**3**
K4	6	2	**12**
K5	7	4,5	**31,5**
K6	7	1,5	**10,5**
K7	9	0,5	**4,5**
Celkový součet indexů			**123,5**

Varianta č. 3

Tabulka 7-10 Index varianty č.3

Kritérium	Bodová hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	5	4,5	**22,5**
K2	10	3,5	**35**
K3	6	0,5	**3**
K4	3	2	**6**
K5	7	4,5	**31,5**
K6	6	1,5	**9**
K7	9	0,5	**4,5**
Celkový součet indexů			**111,5**

Pořadí variant:

Varianta	Součet vážených indexů	Pořadí
1	167,5	1
2	123,5	2
3	111,5	3

Tabulka 7-11Pořadí variant

Po provedení hodnotové analýzy, kterou jsme vypracovali, já a můj kamarád Jakub Till, vyšla jako optimální varianta, varianta č. 1. Což je varianta s Rear Shaft Motory.

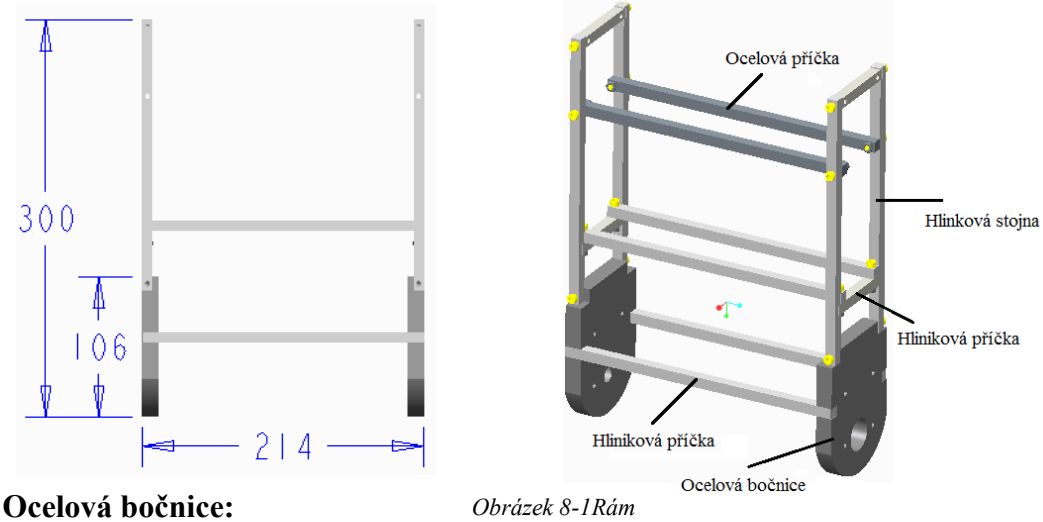
Robot bude vybaven gyroskopickými senzory a řídícím procesorem, který bude na základě hodnot podávaných gyroskopy vyhodnocovat polohu a bude posílat impulsy do řídících můstků a tím řídit motory, čímž se bude řídit stabilita celého robotu. Bude také vyhodnocovat signál, který mu posílá obsluha robotu z dálkového ovladače. Robot bude mít baterie a řídicí systém schovaný, čímž bude zajištěna ochrana proti prachu, nečistotám a vodě. Dále bude na robot instalována kamera pro přenos obrazu. Všechny tyto hodnoty a obraz se budou zobrazovat obsluze na display. Přenos signálu bude pomocí Wi-Fi adaptéru.

8 RÁM ROBOTU

V následujících bodech se budeme věnovat vybrané variantě, kterou do detailu představím. Budou se zde nacházet potřebné výpočty výběru motoru, elektroniky a přiblížení samotné konstrukce rámu robotu.

8.1 KONSTRUKCE RÁMU ROBOTU

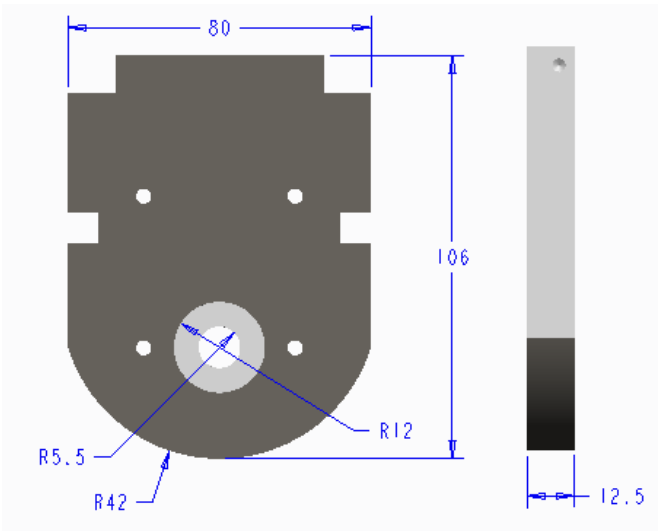
Rám robotu bude poskládán z hliníkových[25] a ocelových profilů[27]. Ocelové profily jsou použity tam, kde bude potřeba vyšší únosnosti. Jednotlivé příčky budou do sebe zasazeny a přišroubovány, někde se použije lepení.



Obrázek 8-1Rám

Ocelová bočnice:

Bočnice je vyrobena z ocelového plechu[28]. V bočnici je uložená ložisková jednotka.



Obrázek 8-2 Bočnice

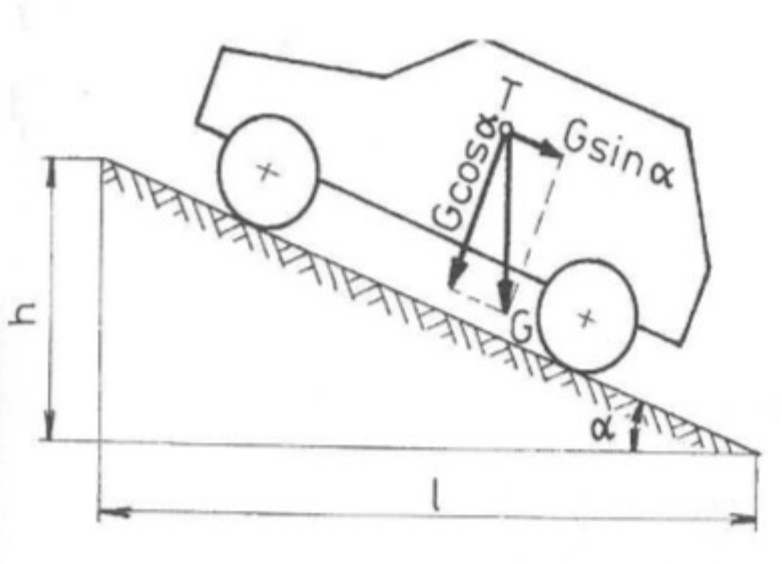
9 NÁVRH POHONU ROBOTU

Pro stanovení potřebného krouticího momentu a výkonu motoru je potřeba znát odpory, které působí proti pohybu robotu. Mezi tyto odpory se řadí odpor od zrychlení, valivý odpor, vzdušný odpor a odpor stoupání robotu. Po vypočtení těchto odporů můžeme začít s výběrem vhodného motoru a převodovky. [10]

Veličina	Hodnota	Jednotka
Průměr kola	140	mm
Celková hmotnost	12	Kg
Max. úhel stoupání	20	°
Maximální rychlost	3	km/h
Zrychlení	1	m/s
Součinitel valivého odporu	0,2	-
Součinitel tření	0,7	-
Počet hnaných kol	2	-
Čelní plocha robotu	59220	mm^2
Rychlost protivětru	20	km/h
Hustota vzduchu	1,25	kg/m^3
Výška překážky	20	mm
Doba v provozu	1	hod
Součinitel vzdušného odporu	0,5	-

Tabulka 9-1 Zadané veličiny

Pro výpočet návrhu pohonu budu vycházet z teorie návrhu pro automobil, který je znázorněny na obrázku.



Obrázek 9-1 Jízdní odpory [10]

9.1 VÝPOČET ODPORU VALENÍM

Odpor valením vzniká deformací pneumatiky a podložky, po kterém se kola pohybují. K výpočtu odporu vzniklého valením musíme znát úhel stoupání robotu, hmotnost, tíhové zrychlení a součinitel valivého odporu. Součinitel valivého odporu najdeme v tabulce. [10]

Povrch	f
Asfalt	0,01 – 0,02
Beton	0,015 – 0,025
Dlažba	0,02 – 0,03
Náledí	0,01 – 0,025
Bahnitá půda	0,20 – 0,30
Travnatý terén	0,081 – 0,015

Tabulka 9-2Součinitele valivého odporu

Odpor valení můžeme spočítat pomocí vztahu

$$F_V = G \cdot \cos(\alpha) \cdot f = m \cdot g \cdot cos(\alpha) \cdot f = 6 \cdot 9{,}81 \cdot \cos(20) \cdot 0{,}2 = 11{,}062N$$

Kde **G [N]** je tíha vozidla, **m [kg]** hmotnost na jedno kolo, **α [°]** úhel, který svírá rovina podložky s vodorovnou základnou, **f [-]** součinitel odporu a **g [m/s^2]** tíhové zrychlení.

9.2 VÝPOČET ODPORU PŮSOBENÍM VĚTRU

Tento odpor působí proti pohybu robotu, proto ho nesmíme ve výpočtu zanedbat. K výpočtu potřebujeme znát plochu, do které se vítr opře, rychlost větru, hustotu vzduchu a součinitel vzdušného odporu. Vztah je zjednodušený vzhledem k hmotnosti a rozměrům robotu. [10]

Typ vozidla	C_x[-]	$S_x[m^2]$
Osobní automobily	1,6 - 2	0,01 – 0,02
Sportovní automobily	1,3 - 1,6	0,015 – 0,025
Nákladní vozy	4 - 7	0,02 – 0,03

Tabulka 9-3Součinitele vzdušného odporu

Odpor působením větru můžeme spočítat pomocí vztahu

$$F_{vz} = C_x \cdot S_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_r = 0{,}1 \cdot 0{,}059 \cdot \frac{1{,}25}{2} \cdot 5{,}556 = 0{,}029N$$

Kde **v_r [m/s]** je výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla, **S_x [m^2]** je čelní plocha vozidla, **ρ [kg/m^3]** je měrná hmotnost vzduchu a **C_x [-]** je součinitel vzdušného odporu. Jak můžeme vidět, vzdušný odpor je zanedbatelný.

9.3 VÝPOČET ODPORU STOUPÁNÍM

Odpor působí proti pohybu robotu, při jízdě do kopce.

Odpor stoupání můžeme spočítat pomocí vztahu[10]

$$F_s = G \cdot \sin(\alpha) = m \cdot g \cdot sin(\alpha) = 6 \cdot 9{,}81 \cdot \sin(20) = 20{,}136N$$

Kde **G [N]** je tíha daného vozidla, **m [kg]** je hmotnost na jedno kolo, **α [°]** úhel stoupání nebo klesání, které vozidlo překonává, **g [m/s^2]** je tíhové zrychlení.

9.4 VÝPOČET ODPORU ZRYCHLENÍM

Je to síla působící proti pohybu robotu při rozjezdu. Potřebujeme znát hmotnost robotu a požadované zrychlení. Vztah je zjednodušený vzhledem k rozměrům a hmotnosti robotu. [10]

Odpor zrychlením můžeme spočítat pomocí vztahu

$$F_a = m \cdot a = 12 \cdot 1 = 12\ N$$

9.5 VÝPOČET POTŘEBNÉHO MOMENTU A VÝKONU MOTORU

Potřebný krouticí moment vypočteme tak, že sečteme všechny odpory a vynásobíme ramenem, na kterém působí. Což je v tomto případě poloměr kola. Výsledný moment můžeme vydělit dvěma, protože máme dva motory, které pohání každé kolo samostatně. Z tohoto momentu pak jednoduše vypočteme potřebný výkon pohonu. [10]

Výpočet potřebného momentu

$$M_h = (F_v + F_{vz} + F_s + F_a) \cdot R_k = (11{,}062 + 0{,}029 + 20{,}136 + 12) \cdot 0{,}07 = \mathbf{3{,}026\ N \cdot m}$$

$$M_{hi} = \frac{M_h}{i} = \frac{3{,}026}{2} = \mathbf{1{,}513\ N \cdot m}$$

Kde $\boldsymbol{M_h}$ **[N. m]** je potřebný krouticí moment, $\boldsymbol{M_{hi}}$ **[N. m]** je moment vztažená na počet pohonů, $\boldsymbol{F_v}$, $\boldsymbol{F_{vz}}$, $\boldsymbol{F_s}$, $\boldsymbol{F_a}$ jsou jednotlivé odpory, $\boldsymbol{R_k}$ **[m]** je poloměr kola.

Výpočet potřebného výkonu

Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{v}{R_k} = \frac{0{,}833}{0{,}07} = 11{,}9\ s^{-1}$$

Kde $\boldsymbol{\omega}$ **[s^{-1}]** je úhlová rychlost, **v [m· s^{-1}]**je rychlost robotu, $\boldsymbol{R_k}$**[m]** je poloměr kola.

Otáčky

$$n = \left(\frac{v}{2 \cdot \pi \cdot R_k}\right) \cdot 60 = \left(\frac{0{,}833}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}07}\right) \cdot 60 = 113{,}642\ ot/min$$

Kde $\boldsymbol{n}$ **[ot/min]** jsou otáčky, **v [m· s^{-1}]**je rychlost robotu, $\boldsymbol{R_k}$**[m]** je poloměr kola.

Výkon

$$P = M_{hi} \cdot \omega = 1{,}513 \cdot 11{,}9 = \mathbf{18{,}004\ W}$$

Na základě těchto výpočtů můžu začít vybírat ten správný motor, převodovku a elektroniku.

	Značka	Hodnota	Jednotka
Odpor valením	F_v	11,062	N
Odpor větru	F_{ve}	0,029	N
Odpor stoupáním	F_s	20,136	N
Odpor zrychlením	F_a	12	N
Hnací moment na kolo	M_{hi}	1,513	N.m
Výkon	P	18,004	W

Tabulka 9-4Vypočtené hodnoty

10 VOLBA POHONU

Na základě vypočtených parametrů pohonů, které musí motor s převodovkou splňovat, je zvolen motor firmy ETONM MOTOR. Jde o universální motory z Číny, které díky uspořádání motoru s převodovkou ušetří mnoho místa a celková šířka robotu se zmenší. Přišroubování pohonu k rámu robotu je velice jednoduché, použiji 4x Šroub M4. Další výhodou je, že rozměry výstupní hřídele z převodovky jde upravit, tudíž na prodlouženou hřídel mohu rovnou připevnit kolo. [11]

Obrázek 10-1Motor s převodovkou [11]

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT RATED LOAD		
	OPERATION RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE
			r/min	A	r/min	A	kg.cm
ET-CGM95A-12162	6.0-12.0	12.0	162	≤0.9	124	≤3.9	19
ET-CGM95A-12100	6.0-12.0	12.0	100	≤0.9	76	≤3.9	30
ET-CGM95A-1270	6.0-12.0	12.0	70	≤0.9	52	≤3.9	43
ET-CGM95A-1237	6.0-12.0	12.0	37	≤0.9	27	≤3.9	74
ET-CGM95A-1223	6.0-12.0	12.0	23	≤0.9	16	≤3.9	122
ET-CGM95A-1219	6.0-12.0	12.0	19	≤0.9	13.5	≤3.9	145
ET-CGM95A-1210	6.0-12.0	12.0	10	≤0.9	7	≤3.9	200*
ET-CGM95A-1209	6.0-12.0	12.0	9	≤0.9	6	≤3.9	200*
ET-CGM95A-1206	6.0-12.0	12.0	6	≤0.9	4	≤3.9	300*
ET-CGM95A-125.6	6.0-12.0	12.0	5.6	≤0.9	3.6	≤3.9	300*

Tabulka 10-1Referenční data motorů

11 VOLBA BATERIÍ

Pro napájení pohonů je potřeba zvolit akumulátor s napětím 12 V (viz tabulka 16), ze které můžeme vyčíst potřebný proud, který budou motory odebírat. Na základě stanovené doby provozu 1 hodiny se dopočte celková kapacita akumulátorů. Při návrhu akumulátorů je nutno počítat s tím, že pohony nebudou maximální proud odebírat stále. Dále je nutné započítat další elektronické součástky, které bude robot potřebovat. [12]

Kapacita baterií

$$C = I \cdot t \cdot i = 3{,}9 \cdot 1 \cdot 2 = \mathbf{7{,}8}\ \boldsymbol{A \cdot h}$$

Kde $\boldsymbol{C}[\mathbf{A \cdot h}]$ je kapacita, $\boldsymbol{I}[\mathbf{A}]$ proud, $\boldsymbol{t}[\mathbf{h}]$ čas provozu $\boldsymbol{i}[-]$ počet pohonů.

Na základě toho, že motor nebude maximální proud odebírat stále a odběr proudu zbývajících elektronických součástek je minimální, snížím kapacitu o 30%. Výsledná kapacita pak tedy je **5,46 A· *h*.**

Volím baterii Gens ACE LiPo Hardcase 5800 mAh. Tato baterie má příznivé rozměry, hmotnost a potřebnou kapacitu. [13]

Technické parametry baterie	
Napětí	14,8 V
Kapacita	5800 mAh
Rozměry	139 x 47 x 50 mm
Hmotnost	601 g
Konektor	JST/XH

Tabulka 11-1Parametry baterie

12 NÁVRH ELEKTRONIKY

Robot musí také obsahovat řídicí elektroniku, která zajistí jeho správný chod. Rovnováhu robotu budou udržovat motory, které budou dostávat signály z řídicí elektroniky.
Z požadavkového listu dále plyne, že robot musí mít na sobě zabudovanou venkovní kameru pro přenos obrazu. Data budou zpracovány pomocí počítače a vysílané pomocí Wi-Fi obsluze robotu na display. Práce se zabývá jen návrhem elektroniky, kterou robot bude potřebovat, neřeší samotné řízení a programování.

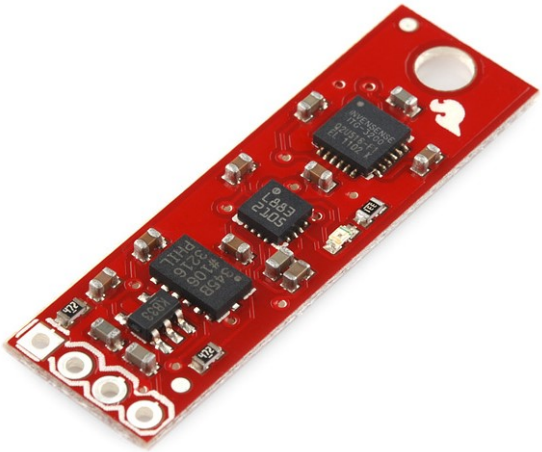
12.1 ŘIDÍCÍ POČÍTAČ

K řízení byl vybrán počítač Arduino. Arduino Uno je vývojová deska s mikrokontrolérem AVR Atmega328. Jedná se o základní verzi, ze které ostatní verze desek vychází. Samotná deska obsahuje 14 digitálních vstupů/výstupů a 6 analogových. Dále konektor k připojení externího napájení a resetovací tlačítko. Rovněž je na desce připojena jedna LED dioda, kterou lze ovládat. Ostatní volitelné periferie je nutné připojit zvlášť. Výhodou zařízení Arduino je jednoduché připojení k počítači a programování. Arduino je vybaveno micro USB konektorem a po připojení k PC se hlásí jako sériový port. Vlastní programování probíhá v jednoduchém prostředí Arduino IDE za pomoci jazyku odvozeného z Wiringu. Kód je velice přehledný a odděluje programátora od složité konfigurace hardwaru. [14]

Obrázek 12-1 Arduino, v pravo model Creo[14]

12.2 SENZORY

Byla zvolena deska SparkFun 9DOF Sensor Stick, která je běžně dostupná a levná, velmi malá senzorová deska s devíti stupni volnosti. Obsahuje akcelerometry, magnetometry a gyroskopy. [15]



Obrázek 12-2 Senzorová deska SparkFun [15]

12.3 REGULÁTOR

Regulátor je určený pro obousměrné i jednosměrné řízení otáček stejnosměrných motorů v modelech aut, letadel, lodí větroňů, rychlých člunů, ponorek, tanků a mechanických strojů napájených z akumulátorů typu Li-Ion/Li-Pol/Li-Fe(A123), NiCd / NiMH, Pb. Regulátor je chráněn systémem bezpečnostních ochran, které snižují riziko poškození regulátoru, akumulátorů a motoru. [16]

Obrázek 12-3 Regulátor otáček [16]

12.4 KAMERA

Byla zvolena Go Pro HD HERO3: White Edition kamera, která se může pochlubit zdokonalením výborných specifikacích slavné HD HERO kamery. Stejně jako u HD HERO je snadno přenosná a upevnitelná, vodotěsná a schopná zachytit širokoúhlé video. Také disponuje fotoaparátem s možností fotit až 3snímky/s. HD HERO3: White Edition má také zabudovaný Wi-Fi modul, pomocí kterého můžeme kameru ovládat ze vzdálenosti až 180m. Váží pouze 75g a její rozměry jsou 40x58x26 mm. [17]

Obrázek 12-4 GoPro kamera [17]

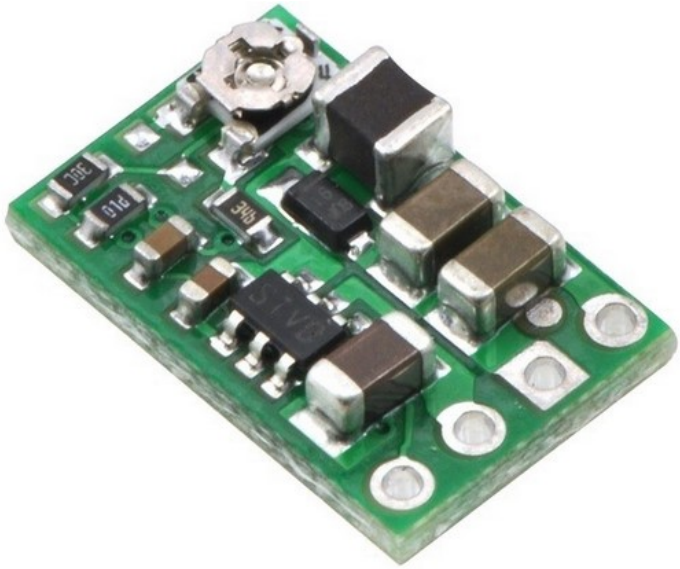
12.5 Wi-fi karta

Wi-fi karta bude sloužit pro komunikaci s robotem z operátorova stanoviště. Použita bude obyčejná, běžně dostupná karta TP-LINK TL-WN722N. [18]

Obrázek 12-5Wi-fi karta [18]

12.6 MĚNIČE NAPĚTÍ

Budou použity měniče napětí, pro motory a řídicí elektroniku. Snižující nastavitelný měnič 2.5-7.5V/300mA.Vstupní napětí 4.5-42V, výstupní napětí 2.5 až 7.5V. Výstupní proud až 300mA. Rozměry 15x10mm. [19]



Obrázek 12-6 Napěťový měnič [19]

13 KONSTRUKCE ROBOTU

Celá konstrukce je založena na principu tzv. žebřinové konstrukce, kdy jsou jednotlivé profily konstrukce k sobě šroubovány a lepeny (viz. kapitola č. 7.1). Díky této konstrukci vzniknou podlahy, na které se přilepí plastové desky o tloušťce 3mm [26] (možnost osazení robotu o více podlaží) a na tyto desky se připevní elektronika a baterie pomocí oboustanné lepicí pásky, která se používá pro lepení označení automobilů[23].

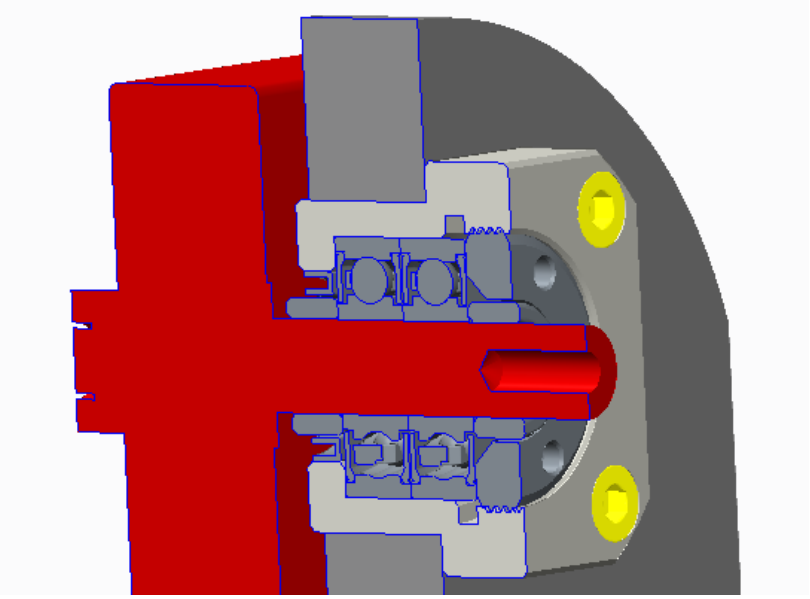
Jednou z podmínek bylo překonáni překážky v podobě prahu u dveří, což je asi 20mm. Další podmínkou byla jízda v terénu. Na základě těchto podmínek jsem navrhnul kola o průměru 140mm. Tyto kola jsou běžně dostupná v obchodech pro RC modely, používají se pro auta na dálková ovládání tzv. Buggy Cars. [24].

Kamera se přišroubuje na kryt robotu.

13.1 LOŽISKOVÁ JEDNOTKA

Byla vybrána ložisková jednotka FK-08 [29], jde o jednotku, která se skládá ze dvou kuličkových ložisek, je opatřena těsnícími kroužky, které zabraňují průniku nečistot do ložisek.

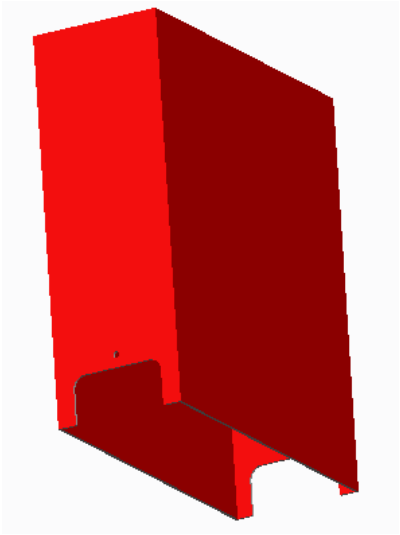
Tato jednotka se umístí do ocelové bočnice a přišroubuje se k ní pomocí čtyř šroubů.



Obrázek 13-1 Detail ložiskové jednotky

13.2 KRYTOVÁNÍ

Z požadavkového listu dále plyne, že robot musí být zakrytován. Z tohoto důvodu byl zvolen kryt, který se bude vyrábět z odolných plastový desek [26], které se k sobě přesně slepí. Vzniklý kryt se nasune na rám robotu a přišroubuje do bočnice. Krytování na spodní straně robotu bude řešeno jednoduchým přišroubováním plastové desky k příčkám robotu.



Obrázek 13-2Krytování

13.3 UMÍSTĚNÍ JEDNOTIVÝCH KOMPONENT ROBOTU

S ohledem na velice nízkou hmotnost elektronických součástek byly tyto součástky umístěny do spodního patra robotu. Baterie a kamera byly umístěny do horních pater robotu, z důvodu lepšího balancování robotu.

14 CENOVÁ KALKULACE

Komponenty	Cena [Kč]
Kamera	5 690
Baterie	3 324
Motory	4 200
Tyče 8x8mm	200
Plech bočnice	100
Arduino řídicí počítač	679
Regulátory otáček	869
Měniče napětí	229
Plastové desky krytování	1 179
WiFi karta	316
Senzorová deska 9DOF	1 225
Spojovací materiál	500
Ložiskový domek	1000
Výsledná předběžná cena	20 511

Tabulka 14-1 Kalkulace ceny

15 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést konstrukční návrh dvoukolového mobilního robotu, který by měl být schopný pohybu ve venkovním i domácím prostředí. Na začátku práce byla provedena rešerše, kde byly vybrány a představeny konstrukce dvoukolových robotů.

Ze zadání a po konzultaci s vedoucím práce byl sestaven požadavkový list, na jehož základě byly navrženy tři varianty. U všech tří variant zůstal rám robotu stejný, měnilo se jen uložení a přichycení motorů. V první variantě byly použity čínské motory s plochou převodovkou tzv. Rear shaft motors, díky kterým se zmenšila šířka robotu. Uchycení motoru s převodovkou k bočnici robotu je velice jednoduché a pro práci výhodné. Na výstupní hřídel se velice jednoduše připojilo kolo. V druhé variantě byly použity klasické motory, díky kterým se šířka robotu zvedla. Složitější byl i přenos krouticího momentu, protože se musela použit spojka Oldham. Musel se vytvořit držák, ve kterém by byl motor s převodovkou uchycen. Ve třetí variantě byly použity diskové motory firmy Maxon, díky kterým se znovu zmenšila šířka robotu. Bohužel cena těchto motorů a řídicí elektroniky mnohonásobně překročila cenu obou předchozích variant.

Po provedení hodnotové analýzy se jako optimální varianta jevila varianta č. 1. Tato varianta byla následně rozpracována, byly přiřazeny konkrétní motory a elektronika. Samotná konstrukce robotu je vytvořená z hliníkových a ocelových profilů, které jsou k sobě přilepeny a sešroubovány. Touto konstrukcí vznikly plochy, na které se dá připevnit elektronika a z požadavkového listu plynující zařízení o maximální hmotnosti 2kg. Do bočnice byla vložena ložisková jednotka s kuličkovými ložisky. Dále bylo použito terénní kolo, které používají modeláři pro svá Buggy auta na dálková ovládání. Díky těmto kolům bude robot odpružený a v terénu se bude snadně pohybovat. V poslední řadě bylo vytvořeno krytování a provedena cenová kalkulace.

Tato bakalářská práce byla zaměřena především na konstrukci robotu, neřeší řízení a propojení elektroniky s operátorem a počítačem.

Hmotnost	Cena	Šířka	Výška	Délka	Rychlost
8 kg	20 511 Kč	335 mm	337 mm	140 mm	3 km/h

Tabulka 15-1 Základní parametry

16 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Vít, ROBENEK. 2012. Návrh řídicího systému dvoukolového mobilního robotu. [online]. [cit. 2015- 02-21]. Dostupné z: http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2012/BP_Robenek.pdf

[2] Tomáš, KADLEC, 2014. Konstrukce a řízení nestabilního podvozku mobilního robotu. [online]. [cit. 2015- 02-21]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/55967/3/KadlecT_KonstrukceA%C5%98%C3%ADzen%C3%ADNestabiln%C3%ADhoPodvozkuMobiln%C3%ADhoRobotu_LH_2014.pdf

[3] Kárník, L., knoflíček, E., Marcinčin, J. N. Mobilní roboty. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-902746-2-5. [cit. 2015- 02-22].

[4] BARELLO, Larry. Gyrobot - a balancing robotic platform. [online]. [cit. 2015- 02-23]. Dostupné z: http://www.barello.net/Robots/gyrobot/index.htm

[5] ANDERSON, David. NBot Balancing Robot. [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: http://geology.heroy.smu.edu/~dpa-www/robo/nbot/

[6] PIPONI, Dan. Equibot the Balancing Robot. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://homepage.mac.com/sigfpe/Robotics/equibot.html

[7] Felix GRASSER, Felix Grasser's Joe le robot. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://leiwww.epfl.ch/joe/

[8] Bram, STOLK, Balancing a robot with Autopilot's IMU. [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://www.stolk.org/robotics/balance.html

[9] SEEWAY, Seeway, [online]. [cit. 2015-02-26: Dostupné z: http://www.czmarine.cz/segway/technika_data_segway.html

[10] Jízdní odpory vozidla. VŠB -TU Ostrava, FEI [online]. 2015 [cit. 2015-03-18]. Dostupné http://www.fei1.vsb.cz/kat430/data/epo/jizdni%20odpory%20vozidla.pdf

[11] ETONM MOTOR, Flat spur gear motors [online]. [cit. 2015-03-23: Dostupné z: http://www.etonm.com/products_detail/&productId=46.htm

[12] MAYER, Petr. Konstrukční návrh dvoukolového robotu určeného pro monitorování venkovního prostředí [online]. [cit. 2015- 03-27]. Dostupné z https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/94083/MAY0006_FS_B2341_2301R013_2012.pdf?sequence=1

[13] PECKA modelář. [online]. [cit. 2015-04-03]: Dostupné z: http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/akumulatory/aku-li-poly/hardcase/od-5001mah/4s/b-45c-5800-4s2p-hardcase-14-gens-ace-lipo-hardcase-4s-5800-mah-s-t-dean-konektorem-40c

[14] Arduino *UNO*. [online]. [cit. 2015-04-03]: Dostupné z: https://www.alza.cz/arduino-uno-rev3-d569244.htm

[15] SparkFun 9DOF Sensor Stick. [online]. [cit. 2015-04-03]: Dostupné z: https://www.sparkfun.com/products/10724

[16] PECKA modelář. [online]. [cit. 2015-04-03]: Dostupné z: http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/regulatory-otacek-a-

spinace/regulatory-pro-stejnosmerne-elektromotory/stejnosmerne-regulatory-pro-auta-a-lode/184316-jedno-obousmerny-regulator-mdd16

[17] Go Pro HD HERO3 White Edition. [online]. [cit. 2015-04-12]: Dostupné z: http://www.megapixel.cz/gopro-hd-hero3-white-edition?gclid=COKpyrbftMUCFakKwwodfLcAUQ

[18] TP-LINK. [online]. [cit. 2015-04-12]: Dostupné z: http://cz.tp-link.com/products/details/?model=TL-WN722N

[19] SNAIL Instrumens. [online]. [cit. 2015-04-15]: Dostupné z: http://www.snailshop.cz/snizujici/1307-pololu-step-down-voltage-regulator-d24v3alv.html

[20] DEVANTECH, Motors [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.robotshop.com/en/devantech-24v-49-1-gear-motor-encoder.html#description

[21] OLDHAM, Hřídelová spojka. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.teatechnik.cz/spojky-oldham

[22] MAXON MOTOR, EC 90 FLAT. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.maxonmotor.com/maxon/view/product/323772

[23] ADC, Auto doplňky, Oboustranná lepicí páska. [online]. [cit. 2015-05-03]: Dostupné z: http://www.auto-doplnky.com/lepici-paska-oboustranna-3-m-5-mm-70015-p7707

[24] ALI EXPRESS, Wheels. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.aliexpress.com/item/140mm-RC-1-8-Monster-Truck-Bigfoot-Tires-Wheel-Rim-17mm-HEX-Hub-Green-HSP-997G/1916447256.htm

[25] EHLINÍK.CZ, Hliniková tyč 8x8mm. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.ehlinik.cz/ploche-a-ctvercove-hlinikove-tyce-plochace-hranoly/kat-K300000101.html

[26] GASCONTROL PLAST, Plastové desky. [online]. [cit. 2015-04-25]: Dostupné z: http://www.gascontrolplast.cz/ceniky/plasty1.pdf

[27] FERONA, Tyče čtvercové 8x8mm. [online]. [cit. 2015-04-25]: Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=34097

[28] KONDOR HUTNÍ MATERIÁLY, Plechy. [online]. [cit. 2015-04-25]: Dostupné z: http://www.kondor.cz/plech-cerny-12mm-15x3m/d-78508

[29] CNC SHOP, Ložisková Jednotka FK08. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.cncshop.cz/wbk-loziskova-jednotka-pevne-uchyceni

[30] ROBOTICKÉ VZDĚLÁVANÍ, Gyroskopický senzor. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: https://lego.zcu.cz/web/rozsirujici-moduly-nxt/gyroskopicky-senzor

[31] JIŘÍ Kyzlink, Automatický polohovatelný stativ pro plynule pohybující se videozáznamy. [online]. [cit. 2015-04-23]: Dostupné z: http://www.sdelovacka.cz/?Sd%C4%9Blova%C4%8Dka:Pr%C3%A1ce_student%C5%AF:St%C5%99edo%C5%A1kolsk%C3%A9_pr%C3%A1ce

[32] MAXON Motor. [online]. [cit. 2015-04-25]: Dostupné z: http://www.maxonmotor.com.au/maxon/view/application/comp_000021CW

17 SEZNAM TABULEK

Tabulka 7-1 Kritéria....26
Tabulka 7-2Hodnocení kritérii....26
Tabulka 7-3Úroveň kritérií....27
Tabulka 7-4 Váha významnosti....27
Tabulka 7-5Porovnání Jakuba Tilla....28
Tabulka 7-6Porovnání Jakuba Michalského....28
Tabulka 7-7 Váha významnosti kritérií....29
Tabulka 7-8Index varianty č. 1....30
Tabulka 7-9 Index varianty č.2....31
Tabulka 7-10 Index varianty č.3....31
Tabulka 7-11Pořadí variant....32
Tabulka 9-1 Zadané veličiny....34
Tabulka 9-2Součinitele valivého odporu....35
Tabulka 9-3Součinitele vzdušného odporu....36
Tabulka 9-4Vypočtené hodnoty....38
Tabulka 10-1Referenční data motorů....39
Tabulka 11-1Parametry baterie....40
Tabulka 14-1 Kalkulace ceny....46
Tabulka 15-1 Základní parametry....47

18 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2-1Matematický model robotu [2]....10
Obrázek 2-2Matematický model robotu 2 [2]....11
Obrázek 2-3Gyroskopický snímač [30]....11
Obrázek 3-1Kráčející robot [31]....12
Obrázek 3-2Motor Maxon [32]....13
Obrázek 4-1Gyrobot [4]....14
Obrázek 4-2nBOT [5]....15
Obrázek 4-3Equibot [6]....16
Obrázek 4-4Grasser Robot[7]....16
Obrázek 4-5IMU robot [8]....17
Obrázek 4-6 Seeway [9]....18
Obrázek 6-1 Varianta č.1....20
Obrázek 6-2Detail varianty č.1....21
Obrázek 6-3 Varianta č.2....22
Obrázek 6-4 Detail varianty č.2....23
Obrázek 6-5 varianta č.3....24
Obrázek 6-6 Detail varianty č.3....25
Obrázek 8-1Rám....33
Obrázek 8-2 Bočnice....33
Obrázek 10-1Motor s převodovkou [11]....39
Obrázek 12-1 Arduino, v pravo model Creo[14]....41
Obrázek 12-2 Senzorová deska SparkFun [15]....42
Obrázek 12-3 Regulátor otáček [16]....42

Obrázek 12-4 GoPro kamera [17] 43
Obrázek 12-5Wi-fi karta [18] 43
Obrázek 12-6 Napěťový měnič [19] 44
Obrázek 13-1 Detail ložiskové jednotky 45
Obrázek 13-2Krytování 45

19 SEZNAM PŘÍLOH

1. Příloha — Sestavný výkres

   Výrobní výkresy

2. Příloha — CD Bakalářská práce MICHALSKI Jakub

Obsah CD:

Modely jednotlivých variant

Model vybrané varianty

Technické výkresy

Zpráva Bakalářské práce v pdf