

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NÁVRH A REALIZACE KONSTRUKCE AUTONOMNÍHO MOBILNÍHO ROBOTU

AUTONOMOUS MOBILE ROBOT DESIGN AND REALIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ŠIMON VRÁTIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Šimon Vrátil

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

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 a realizace konstrukce autonomního mobilního robotu

v anglickém jazyce:

Autonomous mobile robot design and realization

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je za pomoci internetu provést volbu robotické platformy pro indoor prostředí Ústavu automatizace a informatiky. Dalším cílem práce je realizace mechanické části autonomního robotu.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se s konstrukcemi mobilních autonomních robotů na internetu.
2. Na základě požadavků na indoor robot navrhnete vhodnou konstrukci mobilního autonomního robotu.
3. Proved'te vymodelování robotu v programu Autodesk Inventor.
4. Zrealizujte mechanickou část navrženého robotu.

Seznam odborné literatury:

[1] <http://robotika.cz>

[2] <http://www.robotika.sk>

[3] Dokumentace k programu Autodesk Inventor.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 5.1.2010

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu a výrobě funkčního vzorku podvozku autonomního robotu. Jsou posuzovány různé varianty řešení, hodnoceny jejich klady, zápory a z pohledu dostupných možností výroby a funkčnosti vzorku je vybráno nejvhodnější reálné řešení. V práci jsou popsány jednotlivé komponenty realizovaného řešení funkčního vzorku.

ABSTRACT

This bachelor's thesis discusses about the design and manufacture of a functional under carriage for an automon robot. Analysed are several solution options, with their pros and cons and avaliable manufacturing proceses. Selected is the most viable and realistic solution. The thesis covers individual components and the resulting outcome of a functioning model.

KLÍČOVÁ SLOVA

Autonomní mobilní robot, čtyřkolový podvozek

KEYWORDS

Autonomous mobile robot, fourwheel chassis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE MÉ PRÁCE

VRÁTIL, Š. *Návrh a konstrukce autonomního robotu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 49s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího a s použitím podkladů uvedených v přiloženém seznamu.

V Brně dne

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomášovi Maradovi, Ph.D. za odborné vedení, podnětné připomínky a čas, který mi věnoval v průběhu vypracovávání této práce.

Dále děkuji své rodině za podporu v dosavadním studiu i při tvorbě této práce.

Obsah:

1. Úvod.....	13
1.1. Historie.....	13
2. Přehled možných řešení konstrukce a senzoriky	17
2.1. Odometrie robotů	17
2.1.1. Všesměrové.....	17
2.1.2. Tank.....	18
2.1.3. Auto.....	18
2.1.4. Ackermanovo řízení.....	19
2.2. Typy konstrukce podvozku používané v praxi.....	19
2.2.1. Kráčivý podvozek	20
2.2.2. Pásový podvozek	20
2.2.3. Kolový podvozek.....	20
2.3. Přehled možností řešení pohonu a přenesení výkonu na nápravu	21
2.3.1. Ozubený převod	22
2.3.2. Řetězový převod.....	22
2.3.3. Řemenový převod.....	22
2.3.4. Realizace jedním motorem.....	23
2.3.5. Motory na nápravě	23
2.4. Možnosti senzoriky.....	23
2.4.1. Snímání otáček	24
2.4.2. Řízení natočení kol.....	25
2.4.3. Předpokládané osazení snímači vyhodnocující terén.....	27
3. Konstrukce.....	31
3.1. Návrh modelu.....	31
3.2. Konstrukce předního rámu.....	31
3.2.1. Závěsy předních kol.....	32
3.2.2. Uložení kol.....	33
3.2.3. Osazení předního rámu.....	33
3.3. Konstrukce zadního rámu.....	34
3.3.1. Osazení zadního rámu.....	35
4. Geometrie modelu a výpočty vlastností	37
4.1. Geometrie modelu	37
4.2. Základní rozměry robota.....	37
4.3. Výpočet poloměru otáčení.....	38
4.4. Výpočet rychlosti.....	38
4.5. Průchodnost terénem.....	39
4.6. Výpočet odometrie.....	39
4.7. Nosnost robotu.....	40
5. Ekonomické Vyhodnocení.....	41
6. Závěr.....	43
6. Seznam literatury a dalších zdrojů	45
7. Seznam symbolů a zkratek.....	47
8. Seznam Příloh.....	49

1. ÚVOD

V rámci mé bakalářské práce mám navrhnout a zhotovit podvozek robotizovaného vozíku, na kterém bude možné v další etapě odzkoušet programování řízení pohonu kol a řízení směru pohybu v návaznosti na překážky zjišťované laserovým snímačem Sick LMS-291. Podvozek má být navržen tak, aby mohl překonávat menší nerovnosti, aniž by ztrácel kontakt s povrchem a byl co možno nejlehčí. V podstatě se jedná o funkční vzorek, který by měl sloužit pro výuku studentů a prezentaci možností automatizovaného řízení.

Cílem této bakalářské práce je vyrobit platformu pro indoor autonomní robot. Platforma má být univerzální základ pro další práci osazení senzorikou a elektronikou.

Robot je určen jako předváděcí a motivační pomůcka pro výuku řízení, činnosti regulátorů apod. Další využití robotu je jako aktivní prezentace ústavu Informatiky a aplikovaného řízení a případné účasti školního týmu v robotických soutěžích.

Základními požadavky na platformu jsou:

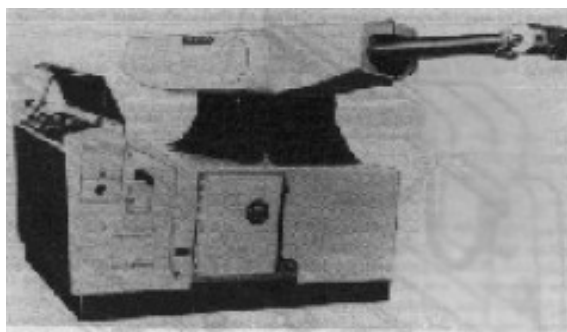
- zvolení vhodného podvozku
- navržení vyhovujícího pohonu a řízení
- dostatečná nosnost a pevnost konstrukce
- příprava na osazení senzory a laserového snímače Sick LMS-291
- další požadavky jsou shrnuty v tabulce (Tab.1)

Tabulka požadavků na konstrukci robotu	
Nosnost	10kg
Rychlost	3-5 km/h
Průchodnost terénem	50 mm (práh ve dveřích)
Obratnost	Poloměr otáčení min 700m
Příprava na osazení komponenty	Laserový snímač SICK LMS 291 Baterie Snímače otáček kol Netbook

Tab.1: Požadavky na konstrukci robotu

1.1. Historie

Z pohledu historie je poprvé použito slovo robot ve hře Karla Čapka R.U.R. v r. 1920. Bouřlivý rozvoj elektrotechniky v dalších letech umožnil první praktické aplikace, které spadají do oblasti robotiky. Jsou to např. po r. 1940 teleoperátory pro manipulaci s radioaktivními nebo jinými nebezpečnými materiály. První průmyslový robot UNIMATE byl uplatněn v r. 1961 u firmy General Motors (Obr.1). [1]



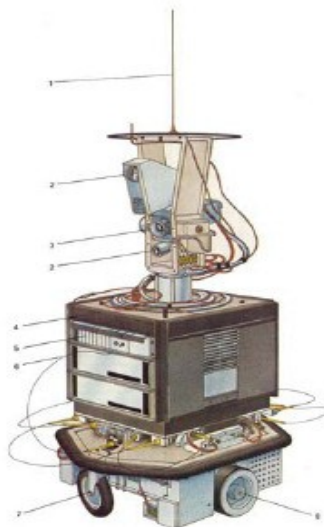
Obr. 1 První průmyslový robot UNIMATE. [1]

Dalším mezníkem bylo v roce 1964 založení laboratoře pro rozvoj umělé inteligence (UI) na Massachusetts Institute of Technology v USA.

V současné době jsou využívány plně robotizované výrobní linky a zejména v Japonsku se objevují roboty napodobující lidské pohyby, které jsou schopny vykonávat různé domácí práce. [1]

Svůj vývoj měly i autonomní pohyblivé roboty jako např.:

- v roce 1968 byl postaven robot SHAKEY vybavený viděním (*Obr.2*)



Obr. 2 Robot SHAKEY. [1]

- v roce 1997 byl na Marsu vysazen robot SOJOURNER (*Obr.3*)



Obr. 3 Robot SOJOURNER [1]

- v Československu byl Ústavem automatizace a měřicí techniky (UAMT) vyvinut autonomní robot U.T.A.R. (*Obr.4*)



Obr. 4 Autonomní robot U.T.A.R. [1]

V praxi se stále více objevují různé autonomní pohyblivé roboty, kteří usnadňují lidem práci (např. robotizované sekačky travních prostorů), nebo zajišťují bezpečnost lidí např. při zneškodňování a manipulaci s výbušninami, pomáhají při průzkumu nebezpečných či špatně dostupných prostorů apod.

2. PŘEHLED MOŽNÝCH ŘEŠENÍ KONSTRUKCE A SENZORIKY

2.1. Odometrie robotů

Slovo odometrie pochází ze spojení řeckých slov hodos (cestovat, cesta) a metron (měřit). Překlad nám napovídá, že odometrie napomáhá získat představu o pohybu robotu z dat získaných od enkodérů na kolech. Je to proces popisující transformaci dat získaných od enkodérů na změnu orientace a pozici robotu.

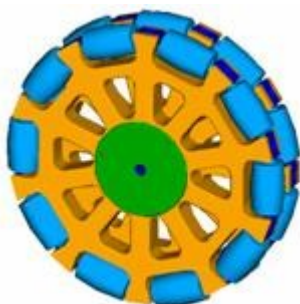
Pro získání správné odometrie je nutno znát geometrii modelu robotu. Modely robotů se zejména liší způsobem, jakým jsou schopny se pohybovat. [2]

Většinu mobilních kolových robotů lze rozdělit do následujících tří kategorií:

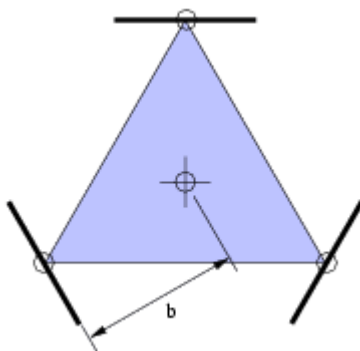
2.1.1. Všesměrové

Všesměrové, takzvané holonomní mobilní roboty mají počet stupňů volnosti rychlosti stejný jako počet stupňů volnosti pozice. To znamená, že robot může měnit rychlost nezávisle ve všech směrech. Příkladem holonomního vozidla je vznášedlo, jelikož není nijak omezováno při pohybu do stran.

V případě kolového podvozku je potřeba, aby byl robot osazen všesměrovými koly (Obr.5). Nejjednodušší konstrukce všesměrového robotu je osazení třemi všesměrovými koly do rovnostranného trojúhelníka. (Obr.6) [2]



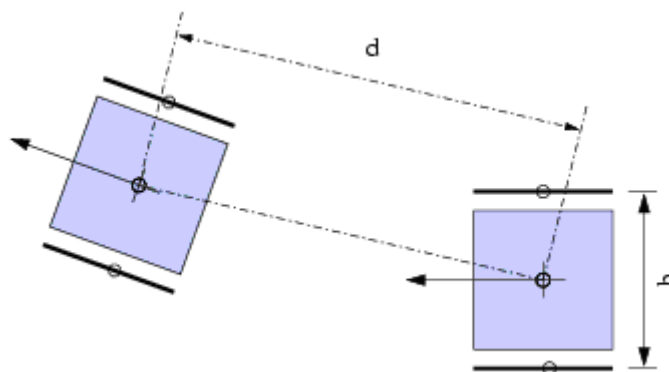
Obr. 5 Všesměrové kolo. [2]



Obr. 6 Příklad konstrukce všesměrového robotu. [2]

2.1.2. Tank

Jedním příkladem nonholonomních robotů je tzv. tank neboli diferenciálně řízený robot (*Obr. 7*).



Obr. 7 Diferenciální robot. [2]

Pohyb robotu je zajištěn pomocí dvou nezávisle poháněných kol, nebo náprav točících ve stejném, či opačném smyslu. Pokud se obě kola točí stejně rychle ve stejném smyslu, robot se pohybuje rovně vpřed či vzad. Točí-li se stejnou rychlostí v opačných směrech (proti sobě), robot se otáčí na místě okolo středu mezi nápravami.

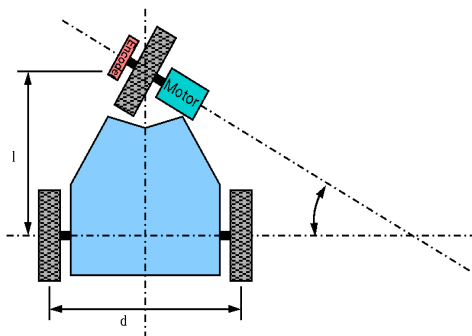
Další variantou pohybu robotu je otáčení kol ve stejném směru s nenulovým rozdílem rychlostí. V tom případě se robot pohybuje po kružnici a poloměr této kružnice závisí na rozdílu rychlostí kol. [2]

2.1.3. Auto

Do této kategorie spadají roboty, kteří svou konstrukcí připomínají automobil. Jsou to roboty, které mění orientaci natočením příslušné nápravy a poté pohonem vpřed či vzad. Tento způsob pohonu se také nazývá Ackermanovo řízení. Jelikož nejsou schopny nezávisle měnit svou orientaci na pozici, řadí se do skupiny robotů neholonomních. V kategorii AUTO je také robot mé bakalářské práce, proto jí budu zde dále rozvíjet.

Pro zjednodušení si model nejprve popíšeme na modelu tříkolky, kde tříkolka má jedno říditelné kolo a dvě kola s pohonem na jedné ose.

Kola s pohonem zajišťují pohyb vpřed či vzad, zatímco říditelné kolečko mění směr tohoto pohybu. Robot se tedy pohybuje po přímce nebo po kružnici v závislosti na natočení říditelného kola. Směr natočení říditelného kola a ujetá vzdálenost referenčního bodu jsou dva nezbytné údaje pro zjištění změny polohy. Na obrázku (*Obr. 8*) je model tříkolky s nenulovým natočením řídicího kola.

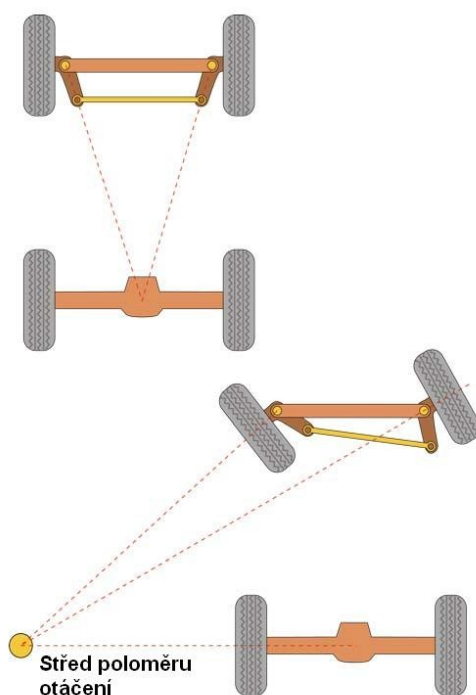


Obr. 8 Model tříkolky s nenulovým natočením kola. [2]

Pokud určíme jako referenční bod střed nápravy poháněných kol, bude nás zajímat, po jaké kružnici se bude bod pohybovat, tedy poloměr a střed této kružnice. Střed kružnice (střed otáčení) bude ležet vždy na ose nápravy buď vlevo, nebo vpravo od referenčního bodu, podle natočení říditelného kola. Je teoreticky možné, že referenční bod bude totožný se středem kružnice za předpokladu, že se říditelné kolečko natočí o 90° (za předpokladu, že je pohon na říditelném kole). [2]

2.1.4. Ackermanovo řízení

Ackermanovo řízení se zabývá řízením čtyřkolového podvozku. Má-li být správně určen střed otáčení, kolem kterého se robot pohybuje, je potřeba různého natočení kol na říditelné nápravě při vytočení kol. To znamená, že při natočení nápravy se vnitřní kolo natočí více, než kolo vnější (*Obr.9*). Tím se zajistí, že se obě kola říditelné nápravy odvalují po kružnicích se stejným středem a nedochází tak k tření mezi koly a povrchem vozovky. Jelikož se obě kola pohybují po kružnicích se stejným středem, je možno pro zjednodušení řízení je nahradit jedním pomyslným kolem odvalujícím se po kružnici s tímž středem a získáme model již zmiňované tříkolky. [2]



Obr. 9 Ackermanovo řízení. [3]

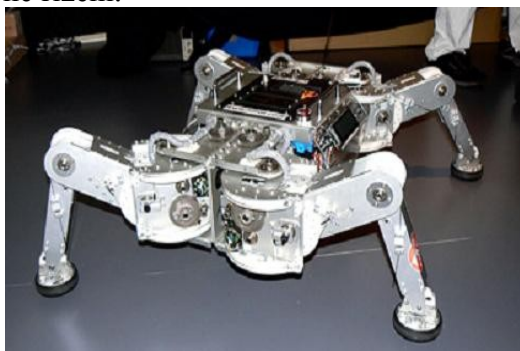
Z výpočtů, uvedených níže v kapitole 4.2 Výpočet odometrie, můžeme odvodit, že manévrovací schopnosti se tedy odvíjejí od dvou základních parametrů - vzdálenosti os přední a zadní nápravy (čím delší vzdálenost, tím menší manévrovatelnost) a dalším parametrem jsou limitní úhly natočení říditelného kola (čím větší limitní úhel, tím větší manévrovatelnost).

2.2. Typy konstrukce podvozku používané v praxi

V současné době se využívá mnoho různých druhů podvozků. Tento přehled slouží k seznámení s nejběžnějšími z nich a také jejich výhodami a nevýhodami.

2.2.1. Kráčivý podvozek

Pohyb nožního podvozku (*Obr.10*) zajišťuje zpravidla čtyři nebo šest noh, které jsou uloženy na kloubech. Výhoda podvozku je v překonávání překážek a možnosti chodit do schodů. Nevýhodou je pomalý a neohrabaný přesun po hladké ploše, složitá konstrukce, složité a energeticky náročné řízení.



Obr. 10 Kráčivý podvozek. [4]

2.2.2. Pásový podvozek

Pásový podvozek (*Obr.11*) je realizován dvěma pásovými skupinami. Každá tato skupina se skládá z gumového pásu, hnacího kola s motorem, volného napínacího kola a vodících kol. Pásový podvozek má výhodu jednodušší konstrukce a vysoké průchodnosti těžkým terénem. Zatačení je řešeno přibrždováním jedné z pásových skupin. Nevýhodou je však větší třecí odpor a prokluz pásů při jízdě na hladkém povrchu, což zhoršuje možnosti řízení.



Obr. 11 Pásový podvozek. [5]

2.2.3. Kolový podvozek

Součástí podvozku jsou kola zajišťující minimální třecí odpor robotu při jeho pohybu po pevné ploše, případné pružiny slouží k zachycení nárazů a tlumiče pro pohlcení energie těchto nárazů. Kolový podvozek pro tento typ robotů bývá realizován pomocí 3 a více kol, konstrukce se liší podle toho, po jakém povrchu se má robot pohybovat. Kolový podvozek je určen pro pohyb po pevném povrchu s žádnými, nebo mírnými terénními nerovnostmi.

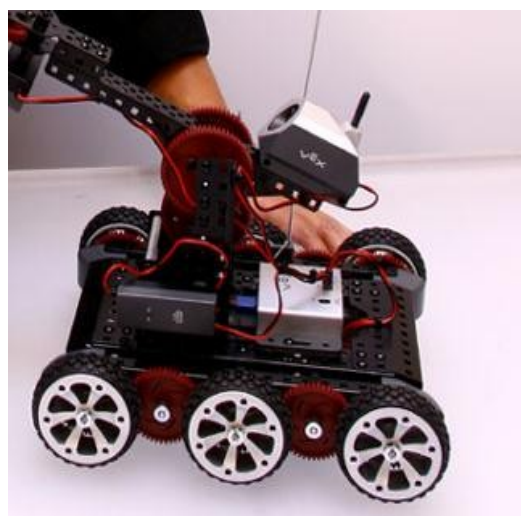
Tříkolový podvozek (*Obr.12a*) je konstrukčně jednoduchý, ale je vhodný pro hladký povrch bez větších nerovností-. Jeho výhodou je snadné zatáčení, které je zajištěno jedním ze tří kol pomocí servomotoru, zatímco zbylá dvě kola zpravidla zajišťují pohon.

Šesti- a vícekolový podvozek (*Obr.12b*) je naopak určen do těžšího terénu, zatáčení je zajištěno pomocí natáčení 1 nebo 2 náprav, zatímco poslední je připojena na pohon. Konstrukčně je velice náročný a využívá se pro pohyb v kombinaci těžkého terénu a hladkého bez překážek.

Čtyřkolový podvozek (*Obr.12c*) je vhodný pro hladké povrchy s mírnými nerovnostmi. Konstrukčně je obtížnější než tříkolový, ale méně než šestikolový. Pohon zajišťuje jedna z náprav a pomocí druhé robot zatáčí. Natáčecí náprava může být jak přední tak i zadní.



Obr. 12a Tříkolový podvozek. [6]



Obr. 12b Šestikolový podvozek. [7]



Obr. 12 c Čtyřkolový podvozek. [8]

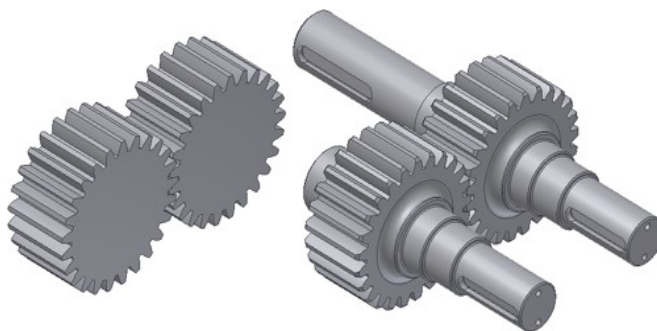
2.3. Přehled možností řešení pohonu a přenesení výkonu na nápravu

Při návrhu pohonu bylo zvažováno mnoho variant převodů na nápravu. Tento přehled shrnuje nejreálnější možnosti, jejich výhody a nevýhody. Požadavkem bylo, aby převod přenášel kroutící moment především bez prokluzů, protože na robotu se plánuje v dalších pracích zavést anti-block systém ABS a další prvky, které vyžadují pevný přenos momentu.

Cílem je vybrat řešení pohonu tak, aby splňovalo požadavky pro řízení a zároveň bylo konstrukčně co nejjednodušší a cenově dostupné.

2.3.1 Ozubený převod

Kola jsou ozubená a výkon je přenášen dotykem do sebe zapadajících zubů. Výhodou je možnost přenosu silného výkonu bez prokluzu a možnost velkého převodového poměru mezi koly. Nevýhodou je vysoká cena a náročnost na výrobu ozubených kol. Kola mohou být kovová či plastová. Kovová ozubená kola se využívají pro přenos velké síly. Naopak plastová přenášejí menší sílu, ale jejich výhodou je menší hlučnost než u kovových. Tento převod se využívá v různých zařízeních, kde je potřeba přenést výkon bez prokluzu či s velkými silami (*Obr.13*).



Obr. 13 Ozubený převod. [15]

2.3.2. Řetězový převod

Realizace je řešena pomocí řetězu navlečeného na ozubených kolech, síla je přenášena dotykem do sebe zapadajících zubů kola a řetězu. Výhodou řetězu je možnost přenášet velké síly bez prokluzu a lehce měnitelná délka řetězu. Nevýhodou je vysoká hlučnost a nutnost napínání řetězu (*Obr.14*).



Obr. 14 Řetězový převod. [9]

2.3.3. Řemenový převod

U řemenového převodu zajišťuje přenos síly plochý, klínový nebo ozubený řemen, který je navlečen na řemenici a napnut napínací kladkou či posuvnou řemenicí. Velikost přenesené síly je určena počtem řemenů nebo jejich šířkou a jejich výhodou je nízká hlučnost.

Ploché řemeny jsou konstrukčně nejjednodušší, ale přenesou nejmenší sílu oproti jiným řemenům o stejné šířce a mohou proklouznout. Klínové řemeny přenesou větší sílu než řemeny ploché, ale řemenice jsou složitější na výrobu a proto dražší. Při přenosu větších sil je

potřeba použít více řemenů vedle sebe. Ozubené řemeny dokážou přenést největší sílu na stejnou šířku řemenu, kterou přenáší do sebe zapadající zuby. Nevýhodou ozubených řemenů je náročná výroba řemenic (Obr.15).



Obr. 15 Řemenový převod. [10]

2.3.4. Realizace jedním motorem

Motor je uchycen v rámu a pomocí převodu je výkon přenesen na hřídel nápravy. Výhodou je jednoduchá konstrukce a snazší řízení pohonu. K tomu však je zapotřebí většího a silnějšího motoru a nelze mít na každém kole jiné otáčky, čímž není možné naprogramování elektronického diferenciálu, systému ABS (anti-block system) a podobně.

2.3.5. Motory na nápravě

Tato varianta je výhodná, jelikož tím odpadá nutnost výroby jakýchkoliv převodů, kde dochází ke ztrátám, hluku a popřípadě prokluzu, přesto není konstrukčně náročná. Nutností je však motor, který má přesně požadované otáčky výstupního hřídele hodící se pro daný problém.

2.4. Možnosti senzoriky

V robotice, kde se využívá pohonů, je nutné zjistit momentální polohu hřídelů motorů, měřit jejich úhlovou rychlost otáček či zrychlení. V případě krokových motorů je možné přesně řídit směr otáčení, úhlovou rychlost, zrychlení a určit polohu hřídele. V jiném případě je nutno využít zpětné vazby. Nejprve otočíme motorem a následně vyhodnotíme pomocí snímače jakou rychlostí, jakým zrychlením, směrem a o kolik stupňů se hřídel otočila. Dalším důležitým faktorem je vyhodnocení prostředí, ve kterém se robot pohybuje. Tato kapitola slouží k seznámení s předpokládanou možností osazení senzoriky k řízení robotu.

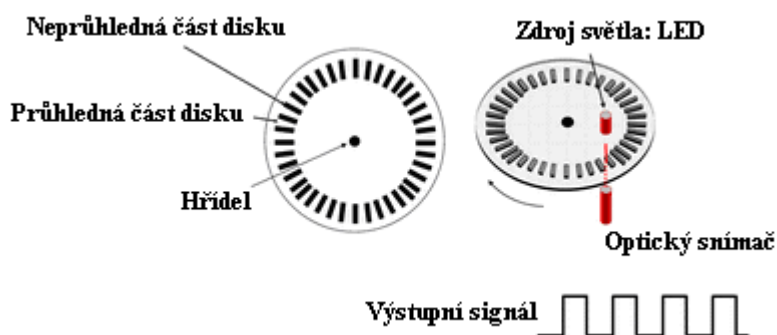
2.4.1. Snímání otáček

Jednou z nejdůležitějších informací pro řízení robotu je zjištění polohy, směru otáčení, zrychlení a rychlosti hřídele motoru na pohonu. Jelikož není motor na pohonu krokový, musíme informace zjistit pomocí enkodéru. Motory na pohonu GMN6MP026A FH7-1750 jsou vybaveny výstupní hřídelí na rotoru o průměru 4 mm. Tyto hřídele budou osazeny optickými enkodéry polohy pro řízení motorů.

Optické enkodéry polohy pro řízení motorů zajišťují převod rotačního pohybu na sekvenci elektrických digitálních impulsů. Dají se rozdělit do 2 základních skupin: inkrementální a absolutní. Pro toto použití je dostačující a vhodný inkrementální enkodér, proto se následující kapitola věnuje této konstrukci enkodéru. [11]

PRINCIP INKREMENTÁLNÍHO ENKODÉRU

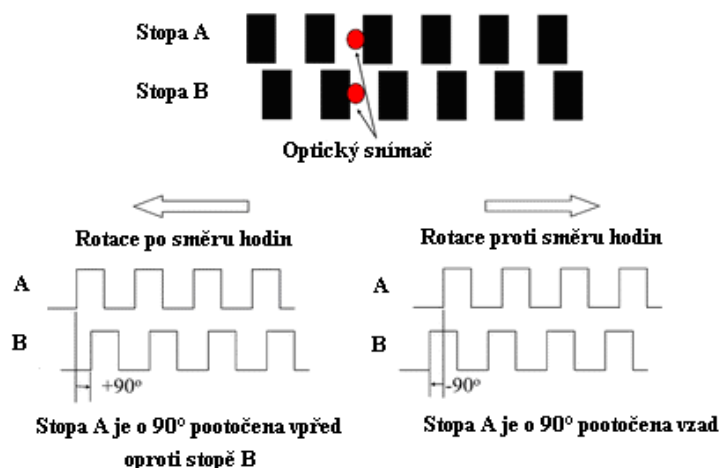
Princip funkce inkrementálního enkodéru funguje na tomto základě. Na spojovací hřídeli enkodéru, která je připevněna na hřídel motoru, je pevně připevněn disk, který se s ní otáčí. Před diskem je umístěn světelný zdroj (dioda LED), který vysílá světlo. Světlo diskem může procházet pouze průhlednými okénky, zatímco zbytek disku je neprůhledný a světlo pohlcuje (*Obr.16*). Na druhé straně disku je optický snímač, který je aktivován světelnými impulzy vytvořenými rotací disku a převádí je na obdélníkový signál, nebo elektrické impulzy. Pro zajištění generování signálu bez rušení je třeba elektrický signál zesílit a elektronicky zpracovat. Ke zlepšení kvality výstupního signálu se používá snímání v diferenciálním režimu, kdy se porovnávají dva totožné signály s opačnou fází, tedy pootočenou o 180° . Souhlasné rušení tak odstraní snímání rozdílu dvou signálů. [11]



Obr. 16 Princip rotačního optického enkodéru. [11]

VYHODNOCENÍ SIGNÁLU INKREMENTÁLNÍHO ENKODÉRU

Nejčastější enkodér generuje tři obdélníkové signály (A, B, 0). Signály A a B jsou vzájemně posunuty o 90° . Zpracováním kanálu A se získává informace o rychlosti otáčení hřídele. Pomocí sekvence generovaných stavů signálu A a B lze rozeznat směr otáčení (*Obr.17*). Nulový signál (0) je kanál, který určuje referenční neboli nulovou polohu enkodéru. [11]



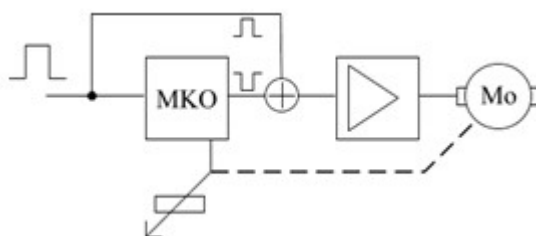
Obr. 17 Vyhodnocení signálu inkrementálního enkodéru. [11]

2.4.2. Řízení natočení kol

Natáčení kol přední nápravy zajišťuje modelářský krokový servomotor HS-5745 MG (Obr.18), který rozpozná svou polohu, tudíž není potřeba natočení kol snímat samostatným snímačem. Servomotor zjednodušeně pracuje na principu dle schématu (Obr.19).



Obr. 18 Servomotor HS-5745 MG.

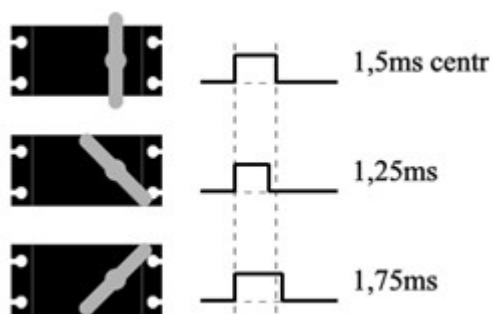


Obr. 19 Blokové schéma zapojení elektroniky servomotoru. [12]

Na vstup přijde řídicí impuls, spustí monostabilní klopný obvod, ten vygeneruje impuls, odpovídající momentální poloze hřídele v opačné polaritě, než je vstupní řídicí impuls. Oba dva impulzy jsou navzájem porovnány a vznikne nám nový rozdílový impuls, který je posléze zesílen můstkovým spínačem a způsobí roztočení elektromotoru požadovaným směrem. Elektromotor přes převodovku současně roztočí výstupní hřídel a

potenciometr, který funguje jako zpětná vazba do monostabilního klopného obvodu. Směr otáčení je takový, aby se délka impulsu generovaná monostabilním klopným obvodem přibližovala délce vstupního řídicího impulsu. V okamžiku kdy jsou impulzy stejně dlouhé, elektromotor se zastaví a momentální poloha odpovídá přijímanému řídicímu impulsu. [12]

Servomotor pracuje s kladnými řídicími impulsy o délce 1-2 ms, což jsou krajní polohy a délce 1,5 ms odpovídá střední poloha servomotoru. (Obr.20). Tyto impulzy se opakují po 20 ms a velikost impulsu je závislá na velikosti napájecího napětí servomotoru, které je u tohoto modelu 4,8-6V. [12]



Obr. 20 : Základní polohy servomotoru s délkou řídicích impulsů. [12]

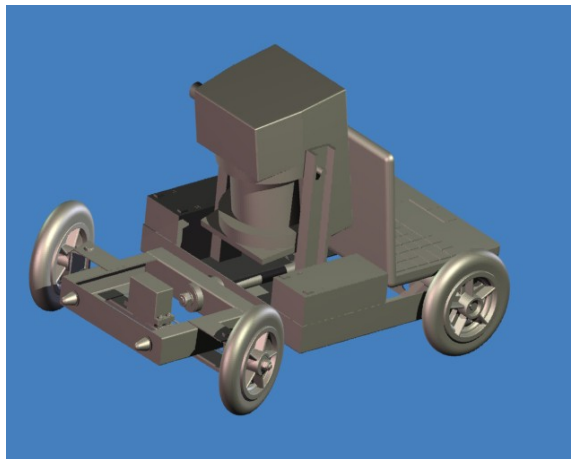
Základní údaje servomotoru jsou shrnuty v tabulce (Tab.2).

Servomotor HS-5745MG	
Napájení	4,8-6 V
Řídicí impuls	1-2 ms
Opakovací interval	20 ms
Krouticí moment při 4,8V	1,47 Nm
Rychlost při 4,8V	60°/0.18 s
Hmotnost	161 g

Tab.2: Základní údaje servomotoru. [13]

2.4.3. Předpokládané osazení snímači vyhodnocující terén

Platforma robotu je navržena na osazení stojanu s laserovým snímačem SICK LMS 291, který je hlavní skenovací jednotkou. Laser bude usazen na zadní části robotu dle *Obr.21*.



Obr. 21 Osazení robotu laserem SICK LMS 291.

Laserový měřicí skener LMS 291 (*Obr.22*) je produkt německé společnosti SICK, který funguje na principu bezkontaktního laserového dálkoměru a je vhodný pro vnitřní i vnější prostředí. K přenosu dat je využíváno sériové rozhraní RS232 nebo RS422, naměřená data lze dále zpracovávat pomocí software. Základní technické specifikace jsou v tabulce (*Tab.3*). [14]



Obr. 22 Laserový měřicí skener SICK LMS 291. [14]

Typ	LMS 291
Max. dosah (10% odrazivost)	80 m / 30 m
Úhel zorného pole	100° / 180 °
Úhlové rozlišení	0.25° / 0.5° / 1°
Doba odezvy	13 / 26 / 53 ms
Skenovací frekvence	18.7 / 37.5 / 75 Hz
Rozlišení	10 mm
Systematická chyba	+/- 35 mm
Třída laseru	Class 1
Krytí	IP 65
Provozní teplota	0° C... +50° C
Datové rozhraní	RS 232, RS 422
Datová přenosová rychlost	9,6 / 19,2 / 38,4 / 500 kBaud
Spínací výstupy	3 x PNP
Napájecí napětí	24 V DC +/- 15%
Příkon	20 W
Skladovací teplota	-30° C... +70° C
Hmotnost	4,5 kg
Rozměry (D x V x H)	156 x 155 x 210 mm

Tab.3: Tabulka specifikací snímače Sick LMS 291. [14]

Princip snímání spočívá v tom, že vysílač skeneru vyšle laserový impulz. Vyslaný impulz se odrazí od překážky a vrací se zpět do přijímače. Doba od vyslání do přijetí impulzu je přímo úměrná vzdálenosti překážky. K tomu, aby se paprsek od překážky odrazil, musí mít překážka určitou odrazivost a být v dosahu skeneru. Minimální nutná odrazivost překážky je 10%, s rostoucí vzdáleností roste také nutná odrazivost překážky. Odrazivost materiálů je uvedena v tabulce (Tab.4). [14]

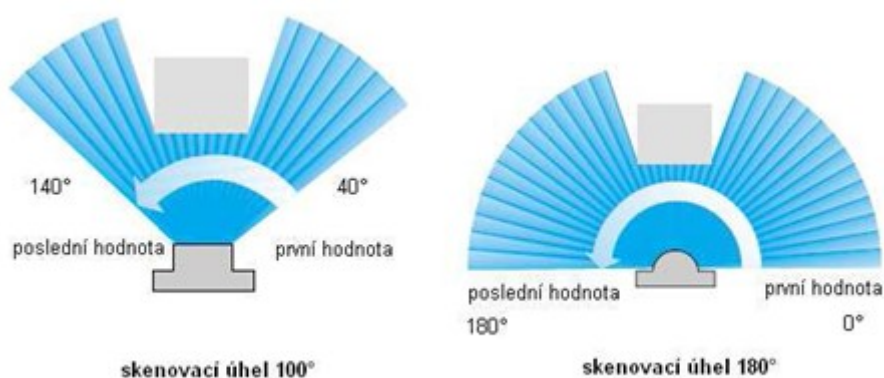
Materiál	Odrazivost [%]
Lepenka, matná černá	10
Lepenka, šedá	20
Dřevo (suché, špinavé)	40
PVC	50
Papír, matná bílá	80
Eloxovaný hliník	110 - 150
Rezavá ocel	120 - 150
Leštěná ocel	140 - 200
Reflektory	> 2000

Tab.4: Tabulka odrazivosti materiálů [14]

Častým negativním vlivem na měření skenerem je čistota předního krytu, přes který prochází paprsek, proto je nutno ho udržovat v čistotě.

Úhlové rozlišení skeneru je možné nastavit na 1°, 0.5° a 0,25°. S větším rozlišením

se prodlužuje odezva (13,33 - 53,33 ms) a zmenšuje zorný úhel podle tabulky (Tab.5), který je vždy symetrický podle středu (Obr.23). [14]



Obr. 23 Skenovací úhly. [14]

úhlové rozlišení skenovací úhel	skenovací úhel	max. počet naměřených hodnot
0,25°	100°	401
0,5°	180°	361
1°	180°	181

Tab.5: Tabulka zorných úhlů na základě rozlišení a počtu naměřených hodnot.

3. KONSTRUKCE

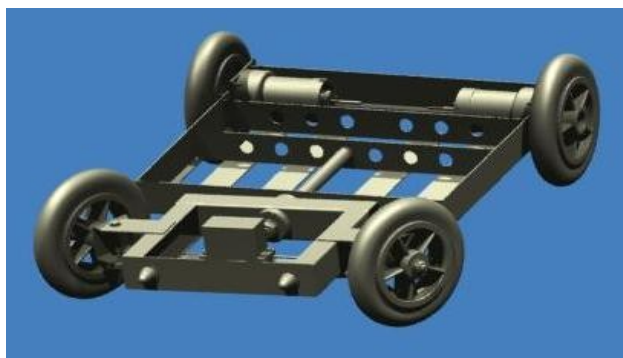
Z nashromážděných informací a požadavků jsem zvolil vhodnou konstrukci platformy a navrhnul 3D model.

Robot je určen převážně pro indoor prostředí, proto jsem si zvolil variantu čtyřkolového podvozku bez tlumičů. Tato varianta podvozku má zatáčení na přední nápravě a je vybavena nezávislým zavěšením náprav z důvodu, že terén bude převážně hladký s mírnými překážky jako práh atd.

Jelikož se mi podařilo zajistit dva převodové motory GMN6MP026A FH7-1750 o 110 ot/min na výstupním hřídeli, což jsou požadované otáčky nápravy, zvolil jsem pro svou práci variantu motoru na nápravě, protože je konstrukčně nejjednodušší a nejvhodnější pro toto zadání.

3.1. Návrh modelu

Fyzická realizace vychází z 3D modelu (*Obr.24*), který jsem vytvořil v CAD systému AutoDesk Inventor. V tomto prostředí jsem navrhl tvary a rozměry modelu. Výrobu jsem zahájil po schválení vedoucím mé práce.



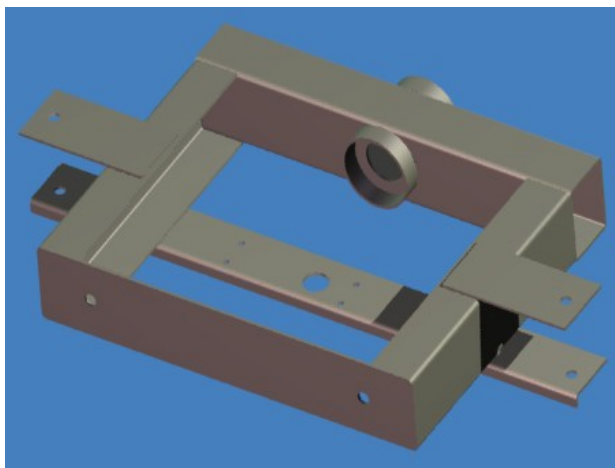
Obr. 24 3D model robotu.

Základem konstrukce je rám, který byl svařen metodou TIG pomocí netavící se wolframové elektrody z tenkostěnných nerezových profilů a pásovin. Nerezový materiál ČSN 17 040 byl zvolen z důvodu snadné svařitelnosti, vysoké pevnosti a odolnosti proti korozi. Rám není povrchově upraven, pouze chemicky očištěn gelem SAF WELD F a naleštěn pro získání lepšího vzhledu. Model má vnější rozměry 460 x 572 mm.

Samotný podvozek je řešen pomocí čtyř kol a kloubu mezi přední a zadní částí, který zajišťuje styk všech čtyř kol s povrchem při překonávání nerovností.

3.2. Konstrukce předního rámu

Přední část rámu robotu s rameny je svařena dle (*Obr.25*) z U profilu o rozměrech 40 x 26 mm a tloušťce 1,5 mm, pásovinu o šířce 40 mm a tloušťce 1,5 mm, L profilu o rozměrech 30 x 7 mm a tloušťce 1,5 mm a uzavřeného tenkostěnného profilu (jäckl) o rozměrech 40 x 30 mm. Po svaření má přední část rámu rozměry 191 x 422 mm.



Obr. 25 Přední rám.

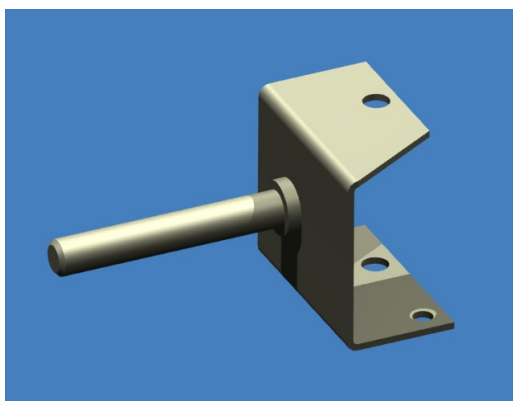
Nerezové profily jsou vyrobené z plechu o tloušťce 1,5 mm a za pomoci ruční ohýbačky plechů XK 2000/2 a pákových tabulových nůžek NTP 1000/2 naohýbané a nastříhané. Profily jsou dostatečně pevné a přesto lehké, aby byl model mobilní a lehko přenositelný.

K přednímu rámu jsou také přivařeny domečky pro ložiska 6202 RSC a doraz. Domečky mají rozměr o vnitřním průměru 35 mm H7 a hloubce 10 mm. Doraz je přivařen k rámu a po složení celé konstrukce zapadne do díry v zadní části rámu a brání tak protočení konstrukce.

Díry pro uložení závěsu o průměru 6 mm byly vyvrtány pomocí stojanové vrtačky se svěrákem z důvodu dodržení souososti. Dále byly vyvrtány díry o průměrech 3,4 mm, 6,6 mm dle ČSN EN 20273, 14 mm a 22 mm dle modelu na (Obr.25) pro osazení dalšími komponenty.

3.2.1. Závěsy předních kol

Závěsy předních kol (Obr.26) jsou pohyblivě připevněny k přední části rámu šroubem M6 x 53 v dírách o průměru 6 mm. Jelikož má dřík šroubu, kolem kterého se závěs otáčí, průměr 5,9 mm, vznikne nám uložení s vůlí.



Obr. 26 Levý závěs předního kola.

Závěsy jsou vyrobeny z U profilu o rozměru 40 x 25 mm a tloušťce 1,5 mm, ke kterým jsou přivařeny osičky kol o průměru 12 mm, délce 55 mm s osazením na průměr 8 mm f7 pro ložisko se závitem M8 dle modelu. V závěsech jsou vyvrtány díry 4,5 mm na

šroub s vnitřní šestihrannou hlavou M4 x 11 pro uchycení vodícího ramínka od servomotoru. Dále je závěs upraven zkosením hrany z důvodu zamezení vysouvání ostré hrany z konstrukce při vytočení kol.

3.2.2. Uložení kol

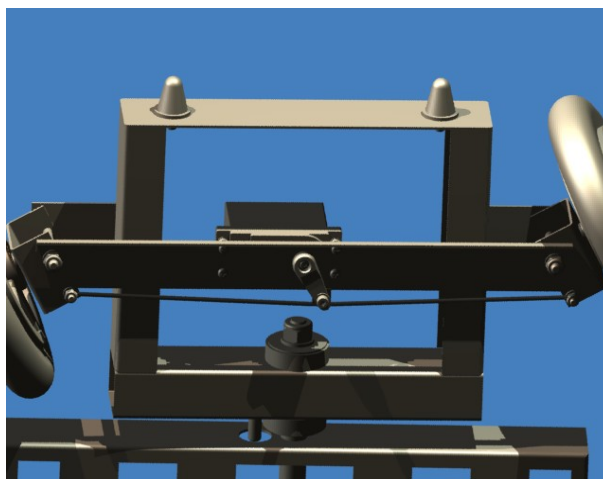
Kola přední nápravy Nordic Trainer o průměru 150 mm a tloušťce 36 mm jsou opatřena gumovými plášti s duší, pro lepší jízdní vlastnosti a tlumení rázů na nerovnostech terénu.

Jsou uložena na čtyřech ložiskách 608 2Z pro která jsou navržena, nalisovaných na osičce o průměru 8mm f7 z důvodu snížení tření. Axiální zajištění ložisek a kola je řešeno maticí M8 s podložkou, zakrytou plastovou krytkou pro lepší vzhled.

Pro zmenšení tření mezi závěsem kol a ramenem kostry jsem zvolil vložení namazané papírové vložky. Jelikož se jedná o indoor model a frekvence natáčení kol se nepředpokládá vysoká, je toto řešení vyhovující a nejlevnější.

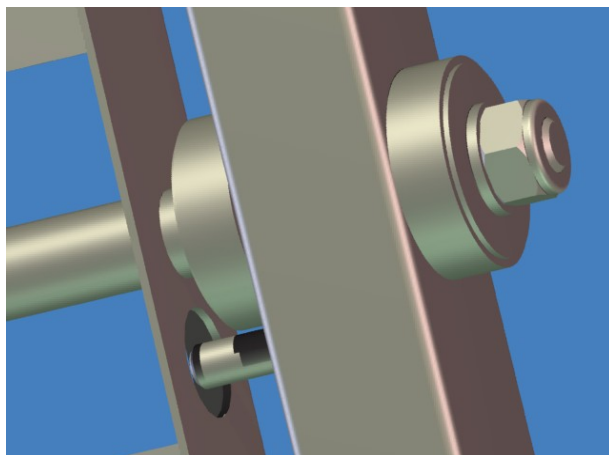
3.2.3. Osazení předního rámu

Ke vzpěře předního rámu je čtyřmi šrouby M3 x 20 mm s maticemi a podložkami přišroubován servomotor Hitec HS-5745MG, který pomocí ramínek otáčí závěsem předních kol viz *Obr.27*. Vodící ramínko od servomotoru k závěsu je vyrobeno z nerezového drátu o průměru 2,5 mm, na každém konci je ohnuté do oček o průměru 4,5 mm pro uchycení k závěsu kol pomocí šroubu M4 x 12 se samojistnou maticí a podložkami. Ke středu vodícího ramínka je přivařeno očko o průměru 4,5 mm pro uchycení ramínka od servomotoru pomocí šroubu M4 x 12 se samojistnou maticí a podložkami. Ramínko je předehtuté a jeho následnou deformací je možno upravovat sbíhavost či rozbíhavost přední nápravy. Vzpěra je vyztužena ohnutím do L profilu do rozměrů 30 x 7 mm o tloušťce 1,5 mm, čímž se zvětšila její pevnost a zároveň částečně chrání vodící ramínko od servomotoru k nápravám.



Obr. 27 Natáčení kol.

Přední část robotu je k zadní usazena na hřídeli o průměru 15 mm f7 pomocí 2 ložisek 6202 RSC uložených v domečkách upevněných na rámu přední části robotu. Ložiska jsou na hřídeli zajištěna proti axiálnímu vychýlení samojistnou maticí M10 s podložkou, rozpěrným kroužkem a osazením (*Obr.28*).

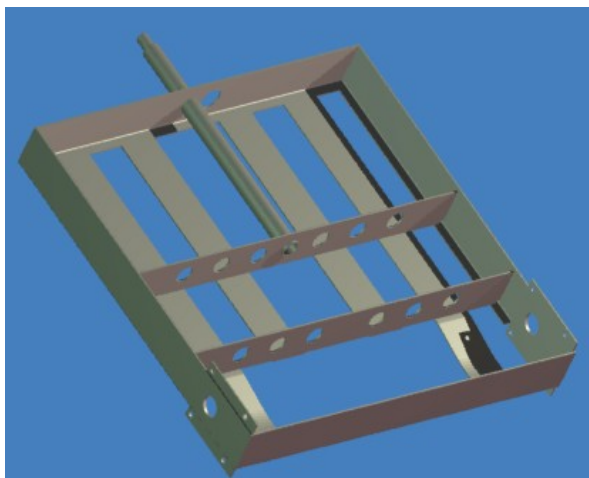


Obr. 28 Kloub mezi přední a zadní částí platformy.

Přední nárazník je řešen pomocí 2 silenbloků přišroubovaných na přední části kostry robotu.

3.3. Konstrukce zadního rámu

Zadní část rámu robotu je svařena dle 3D modelu (*Obr.29*) z L profilů o rozměrech 40 x 10 mm při tloušťce 1,5 mm a vzpěrami z pásoviny o rozměrech 35 x 1,5 mm. Po svaření má rám rozměry 350 x 400 mm.

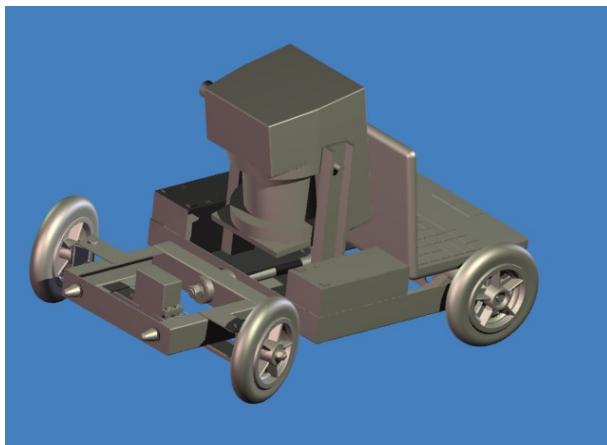


Obr. 29 Zadní rám.

K rámu je přivařena hřídel o průměru 16 mm a délce 225 mm, na které je usazena na ložiskách 6202 RSC přední část rámu. Průměr a usazení hřídele je navrženo tak, aby byl spoj mezi částmi rámu dostatečně pevný, jelikož bude hřídel namáhána na ohyb. Hřídel je upevněna k obvodové části rámu a ke vzpěře pro vyšší pevnost a zajištění souososti. Hřídel je částečně odlehčena dutinou o průměru 13 mm a délce 155 mm v nezatížené zadní části hřídele. Osazení o průměru 15 mm f7 x 50 mm pro usazení ložisek je ukončeno závitem M10 x 14 pro samojistnou matici, která slouží pro axiální zajištění ložisek.

3.3.1. Osazení zadního rámu

V zadní části rámu je navržen prostor pro usazení laserového skeneru Sick LMS 291, dvou olověných akumulátorů UT1213 VRLA 12V/1,3Ah 070025 Ultra Tech, další elektroniky a pohonu. Rozměry rámu jsou dostatečně velké, aby zde bylo možno usadit netbook o běžných rozměrech pro usnadnění programování (*Obr.30*).



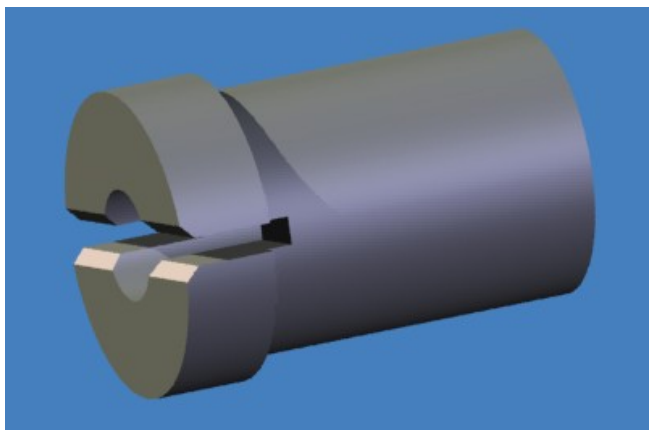
Obr. 30 Osazení robotu laserem SICK LMS 291.

Pohon je zajištěn dvěma motory GMN6MP026A 22V 110 ot/min s převodovkou a výstupními hřídeli pro enkodér. Každý motor je pevně přišroubován za přírubu čtyřmi šrouby M4 x s vnitřním šestihranem k vnitřní části rámu robotu. Pro odlehčení zatížení převodovky motoru je pouzdro výstupní hřídele motoru usazeno v díře o průměru 17 mm, o kterou je pouzdro při zatížení opřeno.

Kola jsou pevně přichycena přímo na hřídele motorů viz kapitola 2.3.5. „Motory na nápravě“

Zadní kola jsou Nordic Trainer o průměru 150 mm a tloušťce 36mm, opatřená gumovými plášti s duší, s nalisovaným nábojem.

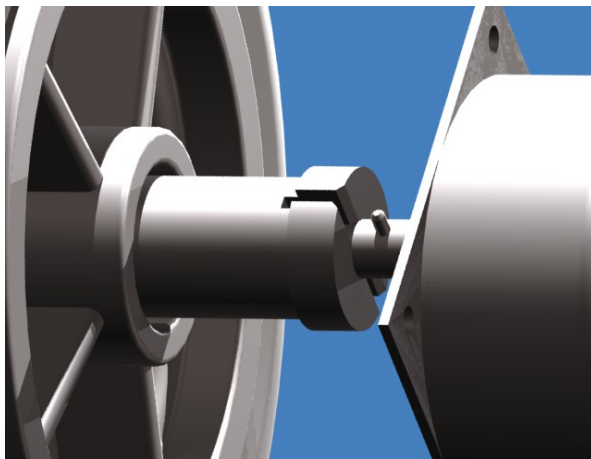
Náboj zadního kola na *Obr.31* je vysoustružen ze silikonové tyče dle obrázku. Vnější průměr 22 mm je osazen na 19,2mm o délce 26 mm pro nerozebíratelné nalisování do původního náboje kola o průměru 19 mm. Osazení vytváří axiální zajištění kola na náboji. Vnitřní průměr náboje je 8 mm a je nasazen na hřídel motoru o průměru 8 mm. Drážka o šířce 2 mm a hloubce 9 mm v čele náboje slouží na uložení čepu pro přenos výkonu.



Obr. 31 Náboj zadního kola.

V hřídelích motoru jsou od výroby vyvrtány díry o průměru 2mm, kterých je nyní využito pro přenesení výkonu pomocí čepu.

Čep na přenesení výkonu (průměr 2 mm x 15 mm) je navržen tak, aby šel vložit do původní díry na hřídeli motoru a zapadl do drážky na náboji kola, která ho zároveň radiálně zajišťuje. (Obr.32)

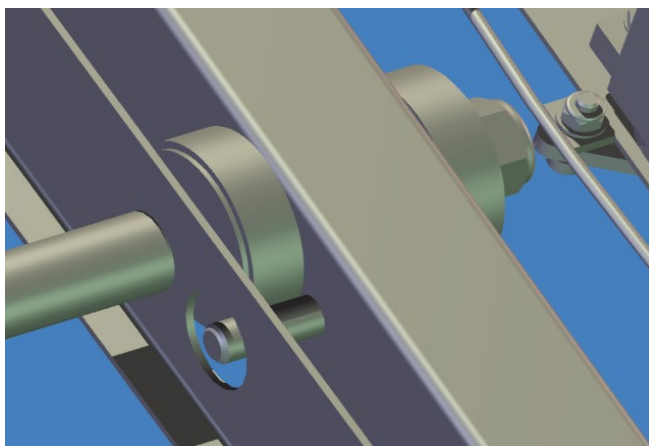


Obr. 32 Přenos výkonu z motoru na kolo.

V čele hřídele je vyvrtána díra se závitem M4 x 6mm pro šroub s vnitřní šestihlannou hlavou, který za pomoci podložky o průměru 22mm axiálně zajišťuje kolo.

Osa zadních kol je navržena tak, aby v případě nárazu na překážku robot narazil pláštěm kol a ne rámem, čímž se též ztlumí ráz.

Po zkompletování robotu je natočení přední a zadní části robotu omezeno dorazem (průměr 8 mm x 20 mm) v díře o průměru 20 mm podle Obr.34. Doraz omezuje vytočení částí rámu vůči sobě o 28° stupňů, což umožňuje překonání nerovností vysokých až 100 mm bez ztráty kontaktu všech čtyř kol s povrchem terénu.



Obr. 33 Doraz.

4. GEOMETRIE MODELU A VÝPOČTY VLASTNOSTÍ

4.1. Geometrie modelu

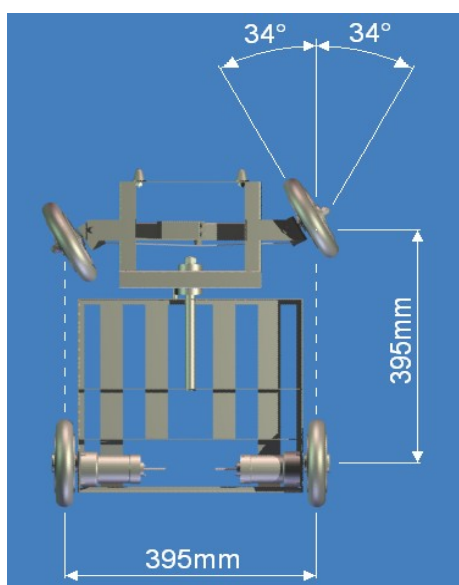
Platforma robota není z finančních a konstrukčních důvodů řízena Ackermanovým řízením, proto zde při zatáčení dochází ke tření mezi koly a vozovkou. Jelikož je toto tření malé a pro úlohu zanedbatelné, můžeme řídicí nápravu při vypočítávání odometriu nahradit řídicím kolem a získat tak zmíněný model tříkolky viz kapitola 2.1.3. „Auto“.

4.2. Základní rozměry robota

Rozměry platformy jsou navrženy tak, aby splňovaly všechny požadavky pro osazení komponenty, měla požadovanou průchodnost terénem a byla vizuálně vyvážená. Rozchod kol je 395mm, při celkové šířce 463mm. Rozvor kol je také 395mm při celkové délce 570mm, viz Obr.34. Další rozměry platformy jsou uvedeny v tabulce (Tab.6)

Rozměr	Hodnota
Celková délka	570mm
Celková šířka	463mm
max výška (bez kol)	108mm
Průměr kol	150mm
Rozvor kol	195mm
Světlost podvozku	195mm
Úhel natočení předních kol	2x 34°
Úhel natočení přední a zadní části	2x 14°

Tab.6: Tabulka základních rozměrů robotu.



Obr. 34 Základní rozměry robotu.

4.3. Výpočet poloměru otáčení

Jedním ze základních parametrů mobilního čtířkolového robota je zjištění poloměru otáčení na základě natočení kol. Výpočet minimálního poloměru otáčení a poloměr otáčení v závislosti na natočení kola je následující:

VÝPOČET STŘEDU OTÁČENÍ

Poloměr otáčení R je obecně roven

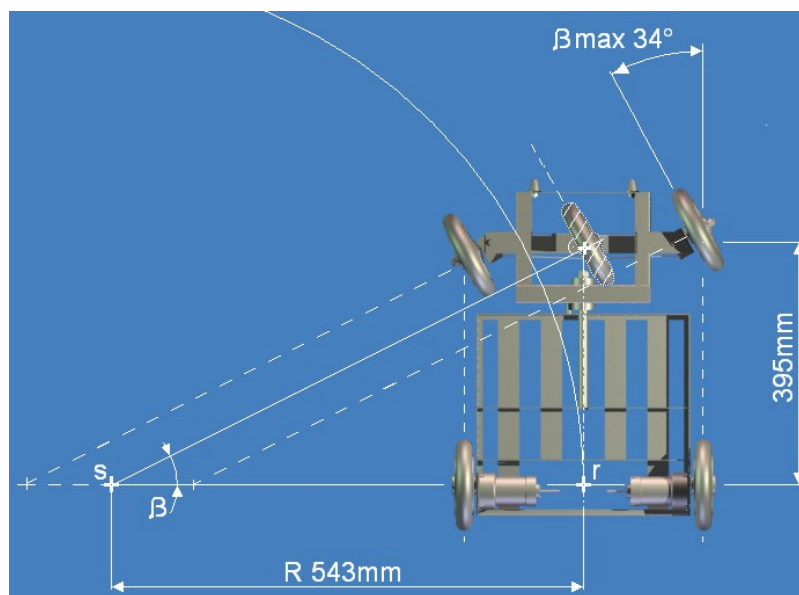
$$R = \frac{L}{\tan \beta} \quad (1)$$

, kde β je úhel natočení řídícího kola (nápravy) a L vzdálenost mezi nápravami.

VÝPOČET MINIMÁLNÍHO POLOMĚRU OTÁČENÍ

Po dosazení do vzorce (1) vzdálenosti náprav a limitního úhlu natočení kol vyrobené platformy získáme minimální radius, po kterém se bude robot moci pohybovat (*Obr.35*).

L ... Vzdálenost náprav [mm]	$L = 595\text{mm}$
β_{max} ... Limitní úhel natočení kola [°]	$\beta_{max} = 34^\circ$
$R_{min} = \frac{L}{\tan \beta} = \frac{595}{\tan 34^\circ} = 543\text{mm}$	(2)



Obr. 35 Minimální poloměr otáčení.

4.4. Výpočet rychlosti

Výpočet rychlosti vychází z otáček motoru a obvodu kola, podle vzorce

$$V = \omega t / s * O \quad (3)$$

VÝPOČET MAXIMÁLNÍ RYCHLOSTI

Pokud dosadíme do vzorce (3) maximální otáčky motoru dostaneme, maximální rychlost robota.

ot/s_{max} ...Maximální otáčky nápravy za sekundu [] $ot/s_{max}=1,833$
 O... Obvode kola [m] $O=0,471m$

$$V_{max}=ot/s_{max}*O=1,833*0,471=0,863\text{ m/s} \quad (4)$$

$$V_{max}=3,12\text{ km/h}$$

$$O=\pi * D=\pi * 0,15=0,471\text{ m} \quad (5)$$

D... průměr kola [m] $D = 0,15m$

PŘEVOD 1:26

Na jednu otáčku motoru se robot posune o 1/26 obvodu kola

$$K_z=\frac{O}{26}=\frac{0,471}{26}=0,01811\text{ m} \quad (6)$$

$$K_z=18,11\text{ mm}$$

O ... Obvod kola (5) [m] $O = 0,47728m$

K_z ujetá vzdálenost na 1 ot. motoru [mm]

4.5. Průchodnost terénem

Náklon přední a zadní nápravy je o 14° na každou stranu. To umožňuje překonávat překážky o max výšce 100mm bez ztráty kontaktu všech 4 kol.

4.6. Výpočet odometrie

VÝPOČET ZMĚNY ORIENTACE

Po vypočtení poloměru otáčení R jsme schopni zjistit změnu orientace v závislosti na ujeté vzdálenosti po vypočteném poloměru R.

Úhel změny orientace γ se rovná úhlu ujetému po poloměru otáčení R

$$\gamma=\frac{X*360^\circ}{2\pi R} \quad (7)$$

, kde R se rovná poloměru otáčení a X ujetá vzdálenost referenčního bodu.

Vzdálenost ujetou referenčním bodem X vypočítáme ze vzdáleností ujetých vnitřním a vnějším kolem hnané nápravy.

$$X=K_1+\frac{(K_2-K_1)}{2} \quad (8)$$

kde K_1 je vzdálenost ujetá vnitřním kolem a K_2 vzdálenost ujetá vnějším kolem.

Vzdálenosti K_1 a K_2 vypočítáme ze vzorců

$$K_1 = o_1 \pi D \quad (9a)$$

$$K_2 = o_2 \pi D \quad (9b)$$

, kde o_1 a o_2 je počet otáček vnitřního a vnějšího kola.

4.7. Nosnost robotu

Robot je navržen na zatížení 15 kg, což je předpokládaná váha osazení platformy. Kritické místo při zatížení jsou osy motorů pohonu, na kterých jsou přímo uloženy kola. Z dostupných zdrojů se nepodařilo získat maximální radiální zatížení os motorů, ani dostatek podkladů pro výpočet. Podle porovnávání motoru s jinými motory podobného typu by motory zatížení měli vydržet.

5. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Ekonomické vyhodnocení návratnosti není provedeno, jelikož se jedná o výukový a předváděcí model. Přikládám pouze vyčíslení hlavních nákladů, které byli vynaloženy při výrobě modelu.

Materiál-nerezové plechy.....	577 Kč
Stříhání plechů.....	300 Kč
Cena motrů 2ks.....	780 Kč
Kola 4ks	2200 Kč
Servo motor.....	1950 Kč
 Celkem.....	 5807 Kč

Do vyčíslení není započítána práce na výrobu, jelikož jsem model vyráběl vlastními silami.

6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s konstrukcemi mobilních autonomních robotů, její návržení, vymodelování v programu Autodesk Inventor a následná realizace mechanické části.

V teoretickém úvodě je rozpracována problematika odometrie robotu, typů podvozků, možnosti pohonů a senzoriky.

Konstrukční část se věnuje návrhu modelu, konstrukci rámu a uložení kol. Zvolená varianta podvozku byla výsledkem posouzení různých možností technického řešení s přihlédnutím na omezené možnosti použití výrobních zařízení a financování nákladů výroby.

Pozornost se dále zaměřuje na geometrii vyrobeného modelu, výpočtu minimálního poloměru otáčení a maximální rychlosti robotu.

Ekonomické zhodnocení bylo vytvořeno pouze na úrovni nákladů použitého materiálu pro výrobu fyzického modelu.

V příloze jsou uvedeny 4 fotografie skutečně vyrobeného modelu podvozku.

Následující vývoj a konstrukce mobilního autonomního robotu je úkolem další navazující práce, v které je nutno řešit řízení, adaptibilitu v prostoru, robotické vidění, stabilitu a komunikaci robotu s případným uživatelem.

6. SEZNAM LITERATURY A DALŠÍCH ZDROJŮ

- [1] CHURÝ, Lukáš. *Programujte.com* [online]. 2006-02-23 [cit. 2010-06-02]. Robotika I. Dostupné z WWW: <<http://programujte.com/?akce=clanek&cl=2006022101-robotika-i>>.
- [2] WINKLER, Zbyněk. *Robotika.cz* [online]. 2005-05-12 [cit. 2010-06-02]. Odometrie. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/guide/odometry/en>>.
- [3] *All Science Fair Projects* [online]. 2009-10-26 [cit. 2010-06-02]. Ackermann steering geometry. Dostupné z WWW: <http://www.all-science-fair-projects.com/science_fair_projects_encyclopedia/Ackermann_steering_geometry>.
- [4] *TechEBlog* [online]. 2006-07-24 [cit. 2010-06-02]. Strange Robots from Japan. Dostupné z WWW: <<http://www.techeblog.com/index.php/tech-gadget/strange-robots-from-japan>>.
- [5] *HardwareLogic* [online]. 2006-11-12 [cit. 2010-06-02]. A HardwareLogic Christmas: 2006. Dostupné z WWW: <<http://hardwarelogic.com/articles.php?id=5286&singlepage=1>>.
- [6] *GTM Electronic* [online]. 2010-01-03 [cit. 2010-06-02]. AUTO ROBOT KSR1 STAVEBNICE. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/cz/auto-robot-ksr1-stavebnice-p768-003.html>>.
- [7] *AltonOlsen* [online]. 2008-02-29 [cit. 2010-06-02]. Robot Magazine: VEXplorer Contest. Dostupné z WWW: <<http://antonolsen.com/2008/02/>>.
- [8] ŘEZÁČ, Kamil. *Field Robot 2009* [online]. 2009-08-14 [cit. 2010-06-02]. Robotika.cz. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/fieldrobot/2009/en>>.
- [9] *Autodily-dnd* [online]. 2006-01-23 [cit. 2010-06-02]. řetězové rozvody [1]. Dostupné z WWW: <<http://www.autodily-dnd.cz/skoda/felicia-ii/sada-rozvodoveho-retezu-d79697/>>.
- [10] Arconex s.r.o. *Arconex.sk* [online]. 2004 [cit. 2010-06-02]. Řemeny a řemenice. Dostupné z WWW: <http://www.arconex.sk/nahradeDiely/remene_remenice.html>.
- [11] *Jonatan.spse.pilsedu.cz* [online]. 2009-05-17 [cit. 2010-06-02]. Princip optických enkodérů polohy pro řízení motorů. Dostupné z WWW: <http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/opticke_ekodery.htm>.
- [12] *Vlastikd* [online]. 2001-08-26 [cit. 2010-06-02]. Jak funguje ... modelářské servo. Dostupné z WWW: <<http://vlastikd.webz.cz/bastl/serva.htm>>.
- [13] *Snailinstruments* [online]. 2010-02-02 [cit. 2010-06-02]. HS-5745MG. Dostupné z WWW: <http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&products_id=507>.
- [14] UHER, Ondřej. *3D LASEROVÝ DÁLKOMĚŘ VERTIKÁLNĚ POLOHOVATELNÝ* [online]. BRNO : VUTBR, 2008. 37 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z WWW: <http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2008/BP_Uher.pdf>.

[15] FOŘT, Petr; KLETEČKA, Jaroslav . DesignTech [online]. 2007-08-30 [cit. 2010-06-10]. Autodesk Inventor a týmové řešení projektů, 20. díl. Dostupné z WWW: <<http://www.designtech.cz/c/plm/plm/autodesk-inventor-20-dil.htm>>.

7. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

D...Průměr kola

K_1 ... vzdálenost ujetá vnitřním kolem

K_2 ... vzdálenost ujetá vnějším kolem

K_z ... ujetá vzdálenost kola na 1 otáčku

Kč ... koruna česká, měnová jednotka České republiky

kg ... kilogram, jednotka hmotnosti

L... Vzdálenost náprav

m... metr, jednotka délky

mm... milimetr, jednotka délky

O... obvod kola

ot... otáčky

R... poloměr otáčení

s... sekunda

V... Rychlost

X... ujetá vzdálenost referenčního bodu

°... úhlový stupeň, jednotka obloukového úhlu

β ... úhel natočení kol

γ ... se rovná úhlu ujetému po poloměru otáčení R

π ... Ludolfovo číslo

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – Fotografie skutečně vyrobeného modelu podvozku

Příloha č.2 - CD, které obsahuje:

- Elektronickou podobu bakalářské práce
- Příloha 3D model vytvořený v prostředí Autodesk Inventor

Příloha č.1 - Fotografie skutečně vyrobeného modelu podvozku

