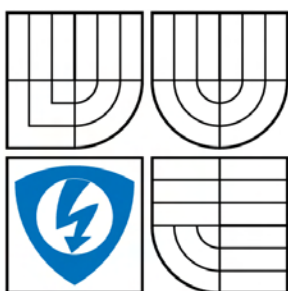


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MECHANICKÁ KONSTRUKCE MOBILNÍHO ROBOTU

MINIDARPA ROBOT - MECHANICAL DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

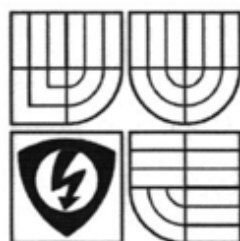
JAROSLAV LIBRA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KOPEČNÝ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

**Student:** Libra Jaroslav

**Ročník:** 3

**ID:** 78564

**Akademický rok:** 2007/08

**NÁZEV TÉMATU:**

## Mechanická konstrukce mobilního robotu

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Navrhňte mechanickou konstrukci mobilního robotu pro soutěž Minidarpa.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[www.robotika.cz](http://www.robotika.cz)

**Termín zadání:** 1.2.2008

**Termín odevzdání:** 2.6.2008

**Vedoucí projektu:** Ing. Lukáš Kopečný

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**

*předseda oborové rady*



**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Anotace**

Hlavním úkolem této práce je konstrukční návrh mobilního robota určeného pro soutěž Robotour. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci jednotlivých částí vlastního konstrukčního návrhu řešení, návrh a dimenzování akumulátoru a pohonu robota. Další část práce se zabývá vlastním konstrukčním provedením a výrobou plošných spojů řídicích modulů mobilního robota.

## **Klíčová slova**

robot, robotour, mobilní robot, mechanická konstrukce, autonomní robot, DARPA Grand Challenge

## **Annotation**

Main task of this bachelor's thesis is engineering design of mobile robot what is intended for competition Robotour. This thesis includes graphical documentation of component part of my constructional project, projecting and dimensioning of battery and electric drive. Next part is specialized in own constructional design and printed circuit making.

## **Keywords**

robot, robotour, mobile robot, gadgetry, autonomous robot, DARPA Grand Challenge

## **Bibliografická citace**

LIBRA, Jaroslav. Mechanická konstrukce mobilního robotu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. s.46, příloh.11. Vedoucí práce. Ing. Lukáš Kopečný

## **P r o h l á š e n í**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Mechanická konstrukce mobilního robotu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

## **P o d ě k o v á n í**

Děkuji tímto Ing. Lukáši Kopečnému, doc. Ing. Luďkovi Žaludovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne :

Podpis:

## SEZNAM:

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ:</b> .....	<b>4</b>
<b>SEZNAM TABULEK:</b> .....	<b>6</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK:</b> .....	<b>7</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
1.1 Co je robot.....	9
1.2 Rozdělení podvozků mobilních robotů .....	9
1.3 Minidarpa .....	10
1.3.1 Pravidla soutěže Robotour .....	10
<b>2. MOŽNOSTI ŘEŠENÍ</b> .....	<b>12</b>
2.1 Dětské auto.....	12
2.1.1 Biemme Scout Police.....	12
2.1.2 Rodeo Ranger .....	13
2.2 Vlastní návrh řešení .....	14
2.2.1 Podvozek a jeho rozměry.....	14
2.2.2 Kola.....	14
2.2.3 Motory .....	14
<b>3. NÁVRH ŘEŠENÍ ROBOTA</b> .....	<b>15</b>
3.1 Požadavky na robota .....	15
3.2 Návrh podvozku .....	15
3.2.1 Podvozek.....	15
3.2.2 Náboj kola.....	15
3.2.3 Hřídel hnaná a hnací .....	15
3.2.4 Řemenice a řemen.....	15
3.2.5 Hřídelová spojka .....	16
3.2.6 Disk kola .....	16
3.3 Návrh motorů .....	17
3.3.1 Požadované hodnoty .....	17
3.3.2 Vlastní výpočet: .....	17
3.3.3 MAXON motor.....	19

3.3.4 MAXON planetová převodovka.....	21
3.4 Návrh baterií .....	21
3.4.1 Parametry motocyklových baterií VARTA .....	22
3.4.2 Parametry standardních bez údržbových olověných akumulátorů .....	22
<b>4. VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ.....</b>	<b>24</b>
4.1 Podvozek robota.....	24
4.2 Náboje, hřídele a řemenice s hřídelovou spojkou .....	26
4.2.1 Náboj kola s hřídelí.....	26
4.2.2 Řemenice .....	28
4.2.3 Řemeny .....	29
4.2.4 Hřídelová spojka.....	29
4.3 Sestavení jednotlivých částí robota.....	30
4.3.1 Celková sestava náboje kola.....	30
4.3.2 Napínání řemene .....	30
4.3.3 Sestava podvozku .....	31
4.4 Rozmístění a zapojení elektroniky.....	32
4.4.1 Základní deska .....	32
4.4.2 Pevný disk 2.5“ .....	33
4.4.3 Pojistkový box .....	33
4.4.4 Svorkovnice pro uzemnění .....	34
4.4.5 Celkový pohled na uspořádání modulů .....	34
4.4.6 Uchycení sloupku kamery AXIS 2100.....	35
4.5 Výroba plošných spojů .....	36
4.5.1 Modul řízení motoru .....	37
4.5.2 Modul ultrazvuků.....	38
4.5.3 Modul řídicí logiky .....	39
4.5.4 Bezpečnostní modul.....	40
4.5.5 Modul kompasu a akcelerometru .....	41
4.5.6 Výroba pojistkového boxu.....	42
4.6 Celkové mechanické provedení .....	43
<b>5. ZÁVĚR.....</b>	<b>44</b>

**6. SEZNAM LITERATURY .....45**

## **SEZNAM OBRÁZKŮ:**

Obrázek 2.1: Biemme Scout Police .....	12
Obrázek 2.2: Rodeo Ranger .....	13
Obrázek 3.1: Dimenzování motoru .....	17
Obrázek 3.2 – Motor MAXON .....	20
Obrázek 3.3 – Řez planetové převodovky .....	21
Obrázek 3.4: Model návrhu řešení Robo-Kopa .....	23
Obrázek 4.1: Nařezané profily podvozku .....	24
Obrázek 4.2: Svařené profily do tvaru obdélníku .....	24
Obrázek 4.3: Profily pro výšku podvozku .....	25
Obrázek 4.4: Upravený rám .....	25
Obrázek 4.5: Výsledný rám.....	26
Obrázek 4.6: Nábojka – pohled shora .....	27
Obrázek 4.7: Nábojka-pohled boční .....	27
Obrázek 4.8: Hřídel s nalisovaným ložiskem .....	28
Obrázek 4.9: Řemenice .....	28
Obrázek 4.10: Polyuretanový řemen.....	29
Obrázek 4.11: Spojka .....	29
Obrázek 4.12: Celková sestava náboje,hřídele,spojky a řemenice .....	30
Obrázek 4.13: Detail napínání řemene.....	30
Obrázek 4.14: Pohon robota.....	31
Obrázek 4.15: Hliníková krabička pro řídicí elektroniku .....	31
Obrázek 4.16 – Uchycení základní desky .....	32
Obrázek 4.17 – Pevný disk .....	33
Obrázek 4.18 – Pojistkový box .....	33
Obrázek 4.19 – Svorkovnice pro uzemnění .....	34
Obrázek 4.20: Celkové rozmístění řídicí elektroniky .....	34
Obrázek 4.21 – Sloupek pro kameru AXIS 2100 .....	35
Obrázek 4.22 – Modul řízení motoru – pohled ze strany součástek .....	37
Obrázek 4.23 – Modul ultrazvuků – pohled ze strany součástek.....	38

Obrázek 4.24 – Modul řídicí logiky – pohled ze strany součástek .....	39
Obrázek 4.25 – Bezpečnostní modul – pohled ze strany součástek.....	40
Obrázek 4.26 – Modul kompasu a akcelerometru – pohled ze strany součástek.....	41
Obrázek 4.27 - Pojistkový box – pohled z vrchu .....	42
Obrázek 4.28 - Pojistkový box – pohled ze spodu.....	42
Obrázek 4.29 – Robo-Kop (stav k 1.5.2008) .....	43

## **SEZNAM TABULEK:**

Tabulka 3.1: Teoretický odebíraný proud zařízení .....	22
--	----

## SEZNAM ZKRATEK:

Symbol	Jednotka	Popis
$v$	$[\text{ms}^{-1}]$	rychlost robotu
$a$	$[\text{ms}^{-2}]$	zrychlení robotu
$m_{\text{rob}}$	$[\text{kg}]$	hmotnost robotu
$\alpha$	$[\text{°}]$	náklon robotu
$g$	$[\text{ms}^{-2}]$	gravitační zrychlení
$t_a$	$[\text{s}]$	čas zrychlení
$\mu$	$[-]$	součinitel smykového tření
$\varepsilon$	$[\text{rads}^{-2}]$	úhlové zrychlení
$r$	$[\text{m}]$	poloměr kola
$\eta$	$[-]$	účinnost převodovky
$n_{\text{mot}}$	$[\text{rpm}]$	nominální otáčky motoru
$J_{\text{kola}}$	$[\text{kgm}^2]$	moment setrvačnosti kola
$J_{\text{mot}}$	$[\text{kgm}^2]$	moment setrvačnosti motoru
$J_{\text{přev}}$	$[\text{kgm}^2]$	moment setrvačnosti převodovky
$m_{\text{kola}}$	$[\text{kg}]$	hmotnost kola
$\omega$	$[\text{rads}^{-1}]$	úhlová rychlost hřídele kola
$n_{\text{kola}}$	$[\text{ot/min}]$	otáčky kola
$J_{\text{mk}}$	$[\text{kgm}^2]$	moment setrvačnosti na stranu kola
$J_C$	$[\text{kgm}^2]$	celkový moment setrvačnosti
$F_G$	$[\text{N}]$	gravitační síla robotu
$F_W$	$[\text{N}]$	síla potřebná k překonání výšky
$F_N$	$[\text{N}]$	normálová síla
$F_f$	$[\text{N}]$	třecí odporová síla
$F_a$	$[\text{N}]$	odpor zrychlení způsobený setrvačností posuvných hmot
$F_S$	$[\text{N}]$	odpor zrychlení způsobený setrvačností rotujících hmot

$F_{app}$	[N]	celková síla nutná k pohybu
$P_{nakole}$	[W]	výkon na kole
$M_{nakole}$	[Nm]	moment na kole
$P_{motoru}$	[W]	celkový potřebný výkon motoru
$i$	[-]	převod převodovky

## 1. ÚVOD

V této bakalářské práci sem měl za úkol navrhnout nejvhodnější konstrukci mobilního robotu pro soutěž Minidarpa. První část práce obsahuje obecné informace o robotech, možnosti řešení návrhu a jeho teoretické zpracování. V druhé části je popsáno praktické zpracování návrhu, návrhové výpočty pohonu, výkresovou dokumentaci v programu CAD a výroba plošných spojů modulů mobilního robotu.

### 1.1 CO JE ROBOT

Robot je samostatně (autonomně) pracující stroj, vykonávající určené úkoly. Slovo robot bylo známo již v sedmnáctém století, ve významu otrocká práce podaných. Poprvé ve významu stroj ho použil český spisovatel Karel Čapek v divadelní hře R.U.R. Slovo mu poradil jeho bratr Josef Čapek, když se ho Karel ptal, jak umělou bytost pojmenovat. Původně zamýšlený labor zněl autorovi příliš papírově. [6]

### 1.2 ROZDĚLENÍ PODVOZKŮ MOBILNÍCH ROBOTŮ

- diferenciální podvozek – dvě hnaná kola, rovnováha udržována opěrnými body, nebo pasivním kolem (koly)
- synchronní podvozek – často 3 kola, každé se 2 stupni volnosti (může se otáčet i natáčet)
- trojkolový podvozek s řízeným předním kolem – 2 hnaná kola a jedno motoricky natáčené
- Ackermanův podvozek – 4 kola, 2 hnaná a 2 natáčená kola (každé mírně jinak, protože každé při zatáčení opisuje jinou dráhu); tyto podvozky mají běžné automobily
- trojúhelníkový podvozek s třemi nezávisle poháněnými koly, jejichž osy procházejí těžištěm a jejichž povrch (složený obvykle z malých koleček) umožňuje volný skluz ve směru osy
- podvozky se všesměrovými koly
- pásové podvozky

- kráčející podvozky
- kolové podvozky

### 1.3 MINIDARPA

Minidarpa je název pro soutěž Robotour, která se koná pravidelně v parku Stromovka v Praze. Je to závod autonomních outdoor (venkovních) robotů, která je ve zmenšené formě obdobná americké soutěži DARPA Grand Challenge. [2]

#### 1.3.1 Pravidla soutěže Robotour

Úkolem robotů je v zadaném časovém limitu 1h projet dráhu cca 1km dlouhou. Roboti musí být plně samostatní, nesjíždět z cesty a správně se rozhodovat na křižovatkách podle zadané mapy.

Trasa bude zadána pomocí sítě cest (RNDF - Road Network Definition File) a kontrolními body (MDF - Mission Definition File) stejným způsobem jako ve specifikaci trasy DARPA Urban Challenge. Síť cest bude k dispozici nejméně měsíc před soutěží a bude obsahovat všechny potenciální dovolené trasy. Kontrolní body dostanou týmy den před soutěží. Přestože trasa bude zadána v absolutních WGS84 souřadnicích, robot nemusí být vybaven GPS přijímačem. Z RNDF souboru lze snadno vygenerovat hrubý plánek Stromovky a cesta může být manuálně překódována do formátu (*po cca 25m zahni doprava, na další křižovatce rovně, ...*) Navíc si tým může trasu i s roboty projít den předem.

Tým může nasadit nejvýše tři roboty s kódovým označením: HEAD, BODY a TAIL. Roboti se na trati nesmí dotýkat a vzdálenost HEAD-BODY a BODY-TAIL nesmí přesáhnout 2m. Každý robot musí mít tlačítko PAUSE, které dočasně pozastaví jeho pohyb. Toto tlačítko bude použito při startu a při vyjetí z trasy.

Vyhrává tým, jehož roboti budou trasu nejlépe zdolávat. Trasa bude rozdělena na úseky 20m až 40m dlouhé s tím, že pevně budou dány *křižovatkové úseky* (5m před a 5m po) a vnitřní segmenty se pravidelně dorozdělí. Za zcela autonomní projetí úseku (tj. bez vracení na cestu) získává tým 1 bod (tzv. „bod za inteligenci“). Za dovezení jednoho kusu nákladu na konec segmentu získává tým „bod za náklad“. Každý robot může vézt jeden „náklad“. Celkem tedy může tým za

jeden úsek získat až 4 body. Pokud robot v úseku vyjede z cesty, nezíská za něj žádný bod a je tedy jedno zda veze náklad či ne.

Trasa povede po asfaltových parkových cestičkách. Při prvním vyjetí z cesty v rámci jednoho úseku, bude robot resp. kolona robotů pozastaven(a), navrácen(a) na cestu a pokus může pokračovat. Při druhém vyjetí v jednom úseku končí robot, který vyjede a všichni za ním. Pokud např. vyjede robot HEAD, tak roboti BODY a TAIL nejsou už vraceni. Pokud vyjedou, nemohou dále pokračovat. Pokud v úseku na podruhé vyjede BODY, automaticky končí i TAIL. O jejich včasné odklizení se musí postarat soutěžící tým.

Soutěž bude mít 5 kol, kdy na trase mohou být současně i roboti několika týmů (časový odstup mezi jednotlivými starty bude minimálně 5 minut). Rychlost v této soutěži nehraje roli (je omezena na 2.5m/s). Do celkového výsledku se sčítají body za úspěšně projeté úseky za všechna kola. Navíc pokud se robot nebude 60s pohybovat, bude aktuální pokus zastaven. [2]

## 2. MOŽNOSTI ŘEŠENÍ

Po dlouhodobém hledání na internetu jsem vybral tři možnosti řešení a ty jsem mezi sebou porovnal. První myšlenkou byly dětské auta, které jsem chtěl případně upravit na moje zadání. Druhou možností byl vlastní návrh řešení.

### 2.1 DĚTSKÉ AUTO

Z velkého výběru dětských aut na našem trhu jsem vybral dva modely, které vyhovovali a popsal jejich vlastnosti, výhody a nevýhody.

#### 2.1.1 Biemme Scout Police



Obrázek 2.1: Biemme Scout Police

- jeden elektromotor na 6V baterii
- maximální rychlost 4-6 km/h
- rozměry auta (d,š,v) : 94, 48, 48 cm
- cena 5565 Kč

Výhody

- nízká cena

Nevýhody

- rozměry, plastové kola, nesnadné upravování a montáž zařízení

### 2.1.2 Rodeo Ranger



Obrázek 2.2: Rodeo Ranger

- dva elektromotory na 12V o celkovém výkonu 340 W
- pohon obou zadních kol
- rychlost 4-8 km/h, váha 26 kg, maximální nosnost 50 kg
- vhodný pro provoz na zpevněné cesty i na travnaté povrchy
- cena 11 100 Kč

#### Výhody

- pohon obou zadních kol, váha 26 kg

#### Nevýhody

- vysoká cena, plastová kola, nesnadná montáž

## 2.2 VLASTNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ

Z velkého výběru konstrukcí a složitostí výroby, jsem vybral čtyřkolový podvozek, z důvodu záběru všech čtyř kol a velké stability při zdolávání překážek. Inspiroval jsem se běžně používaným smykovým nakladačem, který je řízený smykem a mezi jeho výborné vlastnosti patří stálý pohon všech čtyř kol a otáčení se namísto v těžko dostupném terénu. Nyní jsem postupně rozmýšlel teoretické rozměry a postupné zpracování.

### 2.2.1 Podvozek a jeho rozměry

Za ideální případ pro otáčení smykem je rozteč os kol a roztečí robota do čtverce. Ale v praxi se používá spíše větší rozteč robota než rozteč os kol.

### 2.2.2 Kola

Pro překonání překážky musí být kola co největší aby měl robot vysokou světlost podvozku. Dalším požadavkem jsou pláště s duší aby se daly kola podhustit pro lepší zdolávání nerovného terénu a docílení stabilního podvozku.

### 2.2.3 Motory

Pro smykový čtyřkolový podvozek použijeme dva stejné motory, které budou pohánět levou a pravou stranu samostatně, a tím zajistíme stálý pohon všech čtyř kol.

#### Výhody

- nízká hmotnost, vlastní uspořádání zařízení, velikost, záruka robustnosti a jednodušší pozdější úpravy

#### Nevýhody

- k otočení je potřeba 10x víc energie než při jízdě přímo
- cena

## 3. NÁVRH ŘEŠENÍ ROBOTY

### 3.1 POŽADAVKY NA ROBOTU

- pohon všech čtyř kol
- projet dráhu dlouhou cca 1 km ve stanoveném časovém limitu 1h
- rychlost robota 3-5 km/h, malé rozměry, nízká hmotnost, robustnost a světlost podvozku

### 3.2 NÁVRH PODVOZKU

Moje myšlenka vznikla jak už sem popsal v kapitole 2.2 tak, že jsem chtěl mít stálý pohon všech čtyř kol a jeho rychlé otáčení s velkou stabilitou a robustností.

#### 3.2.1 Podvozek

Celý podvozek je navržen jednoduchou konstrukcí do tvaru kvádrů o rozměrech (délka, šířka, výška) 500x400x200 mm. Pro konstrukci podvozku jsem použil obdélníkový profil o rozměrech (výška, šířka, tloušťka) 20x10x1 mm. Tento podvozek zajistí robustní stabilitu pro spojení levé a pravé strany při napínání řemenu. Celkový rám je vidět na výkresu Robo-Kop 5 v příloze.

#### 3.2.2 Náboj kola

Náboje kol, které bych chtěl použít k uchycení kola k rámu sem navrhnul a narýsoval podle požadovaných rozměrů, tak aby sem je mohl nechat vyrobit. Výkres Robo-Kop 3 s nábojem kola je umístěn v příloze.

#### 3.2.3 Hřídel hnaná a hnací

Hřídel hnaná a hnací budou vždy spojovat kolo s řemenicí. Hřídel hnací je ještě navíc připojená přímo k motoru. Hřídel hnaná je poháněná přes ozubený polyuretanový řemen hnací hřídelí. Obě hřídele jsem dostatečně naddimenzoval a narýsoval na výkresy Robo-Kop 1, Robo-Kop 2, které jsou umístěny v příloze.

#### 3.2.4 Řemenice a řemen

Hliníkové řemenice v monoblokovém provedení s roztečí zubů 10 mm. Maximální šířka ozubeného řemene 16 mm, velikost řemenice 18 zubů.

Polyuretanové řemeny se zuby lichoběžníkového průřezu, rozměrové údaje jsou metrické. Rozteč zubů 10 mm a profil řemene T. Jako tažný element se používá ocelové vlákno (standardně) nebo kevlar. Pro návrh jsem použil katalog firmy Mateza, který je v příloze 9,10.

### **3.2.5 Hřídelová spojka**

Hřídelová spojka, která spojuje planetovou převodovku s hřídelí kola sem zvolil pro jejich bezvůlové spojení a také pro tlumení vibrací a rázů. Spojka je vyrobená z hliníku a pružný mezikus je vyroben z polyuretanu. V katalogu, který je v příloze 11 jsem navrhnul velikost spojky 14.

### **3.2.6 Disk kola**

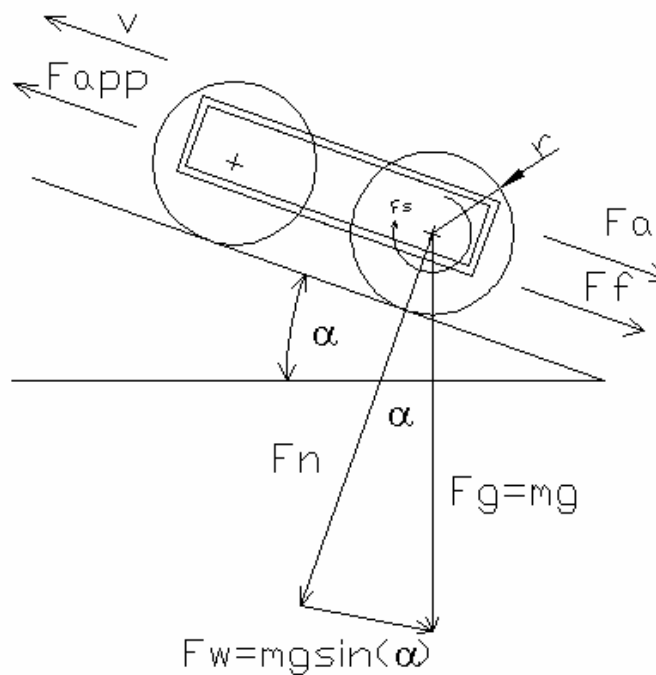
Pro vysokou světlost a zdolávání překážek sem chtěl kola co největší, ale na našem trhu sem našel dva typy kol. Plastové ráfky a bezdušové pláště nebo plechové ráfky a pláště s duší. Ani jeden typ se mi nelíbil z důvodu hmotnosti a uchycení k rámu. Tak sem narýsoval vlastní kola a nechal je vyrobit podle výkresu Robo-Kop 4, který je umístěn v příloze. Kola jsou vyrobena z hliníku a na nich je nanesená barevná vrstva eloxu.

### 3.3 NÁVRH MOTORŮ

Motory jsou dimenzovány podle následujících vztahů a na teoretický maximální náklon robotu. Výsledky vztahů jsou počítány pro oba motory.

#### 3.3.1 Požadované hodnoty

- rychlost robotu	$v$	$= 1.027$	$[\text{ms}^{-1}]$
- zrychlení robotu	$a$	$= 0.206$	$[\text{ms}^{-2}]$
- hmotnost robotu	$m_{\text{rob}}$	$= 27$	$[\text{kg}]$
- náklon robotu	$\alpha$	$= 10$	$[\text{°}]$



Obrázek 3.1: Dimenzování motoru

#### 3.3.2 Vlastní výpočet:

- konstanty

- gravitační zrychlení	$g$	$= 9.805$	$[\text{ms}^{-2}]$
- čas zrychlení	$t_a$	$= 5$	$[\text{s}]$
- součinitel smykového tření	$\mu$	$= 0.300$	$[-]$
- úhlové zrychlení	$\varepsilon$	$= 1.285$	$[\text{rads}^{-2}]$
- poloměr kola	$r$	$= 0.16$	$[\text{m}]$

- účinnost převodovky	$\eta$	= 0.7	[-]
- nominální otáčky motoru	$n_{\text{mot}}$	= 6910	[rpm]
- moment setrvačnosti kola	$J_{\text{kola}}$	= 1.39e-2	[kgm <sup>2</sup> ]
- moment setrvačnosti motoru	$J_{\text{mot}}$	= 3.35e-6	[kgm <sup>2</sup> ]
- moment setrvačnosti převodovky	$J_{\text{přev}}$	= 9.40e-7	[kgm <sup>2</sup> ]
- hmotnost kola	$m_{\text{kola}}$	= 1.2	[kg]

Úhlová rychlost hřídele kola:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1.027}{0.16} = 6.424 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet otáček na hřídeli kola:

$$n_{\text{kola}} = \frac{v \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{1.027 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 0.16} = 61.3 \text{ ot} / \text{min}$$

Moment setrvačnosti přepočítaný na kolo:

$$J_{\text{mk}} = J_{\text{mot}} i^2 = 3.35 \cdot 10^{-6} \cdot 113 = 4.25 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Celkový moment setrvačnosti:

$$J_{\text{C}} = J_{\text{kola}} + J_{\text{přř}} + J_{\text{mk}} = 1.39 \cdot 10^{-2} + 9.40 \cdot 10^{-7} + 4.25 \cdot 10^{-2} = 5.64 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Gravitační síla robota:

$$F_G = m_{\text{rob}} \cdot g = 27 \cdot 9.805 = 264.74 \text{ N}$$

Síla potřebná k překonání výškového rozdílu:

$$F_w = m_{\text{rob}} \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 27 \cdot 9.805 \cdot \sin(10^\circ) = 45.97 \text{ N}$$

Normálová síla:

$$F_N = \sqrt{(m \cdot g)^2 - F_w^2} = \sqrt{(27 \cdot 9.805)^2 - 45.97^2} = 260.72 \text{ N}$$

Třecí odporová síla:

$$F_f = \mu \cdot m_{\text{rob}} \cdot g \cdot \cos(\alpha) = 0.3 \cdot 27 \cdot 9.805 \cdot \cos(10^\circ) = 78.22 \text{ N}$$

Odpor zrychlení způsobený setrvačností posuvných hmot:

$$F_a = (m_{\text{rob}} - 4 \cdot m_{\text{kola}}) \cdot a = (27 - 4 \cdot 1.2) \cdot 0.206 = 4.56 \text{ N}$$

Odpor zrychlení způsobený setrvačností rotujících hmot:

$$F_S = \frac{1}{r} \cdot J_c \cdot \varepsilon = \frac{1}{0.16} \cdot 5.64 \cdot 10^{-2} \cdot 1.285 = 0.45 \text{ N}$$

Celková síla nutná k pohybu:

$$F_{app} = F_f + F_w + F_a + F_s = 78.22 + 45.97 + 4.56 + 0.45 = 129.18 \text{ N}$$

Výkon na kole:

$$P_{nakole} = F_{app} \cdot v = 129.18 \cdot 1.027 = 132.77 \text{ W}$$

Moment na kole:

$$M_{nakole} = \frac{P_{nakole}}{\omega} = \frac{132.77}{6.424} = 20.67 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Celkový potřebný výkon obou motorů:

$$P_{motoru} = \frac{P_{nakole}}{\eta} = \frac{132.77}{0.7} = 189.7 \text{ W}$$

Převod převodovky:

$$i = \frac{n_{mot}}{n_{kola}} = \frac{6910}{61.3} = 112.6$$

Z katalogu MAXON jsem vybral podle předchozích výpočtů dva DC motory RE-35 90W/24V a k tomu sem navrhnul planetové převodovky MAXON GP 42C s převodovým poměrem 1:113 a maximální zatížitelností 15 Nm. [5]

### 3.3.3 MAXON motor

Komutátorové motory, označované jako motory DC, přepínají proud do vinutí mechanickým přepínačem, který je tvořen lamelami komutátoru a kartáči. Při přepínání vzniká jiskření, které ovlivňuje život motoru. Vinutí maxon® potlačuje jiskření, zmenšuje ztráty a prodlužuje dobu života. Účinnost motorů je až 92%. [5]

#### Jiskření u motorů MAXON

Jiskra je elektrický oblouk, který vzniká mezi kartáčem a hranou odcházející lamely při přepínání směru proudu. Jiskření roste s rychlostí. Jiskření komutátorových motorů s vinutím maxon® bez železného jádra je mimořádně malé. Vinutí maxon® je samonosná trubka bez obvyklého železného jádra. Potlačuje

jiskření tak, že doba života motorů dosahuje až 20,000 h při rychlostech od 4,000 do 20,000 ot/min. Vinutí umožňuje i výrobu motorů s kovovými kartáči, kde se jiskření dále snižuje metodou CLL kondensátory v rotoru. Spolu s jádrem jsou odstraněny i ztráty jeho přemagnetováním při každé otáčce a setrvačná hmota.[5]

#### **Konstrukce motorů DC s mechanickou komutací**

Rotor motoru DC obsahuje homogenní samonosné vinutí maxon® bez feromagnetického jádra. Otáčí se v magnetickém poli permanentních magnetů statoru. Přívody do cívek kotvy jsou připojeny k lamelám komutátoru, které odebírají proud z kartáčů připojených ke statoru. Komutátor při otáčení přepojuje napájení sekcí cívek. Na vinutí působí Lorentzova síla a vzniká elektromagnetický moment.[5]

#### **Vlastnosti motorů MAXON DC:**

- Malé rozměry a hmotnost na 1 W.
- Dlouhá doba života i vysoko přes 20 000 hodin.
- Časová konstanta rozběhu do 10 ms.
- Kovové kartáče pro rovnoměrný chod a elektromagnetickou kompatibilitu.
- Grafitové kartáče pro časté rozběhy a přetížení.



**Obrázek 3.2 – Motor MAXON**

### 3.3.4 MAXON planetová převodovka

Planetové převodovky obsahují několik planetových stupňů řazených podél osy převodovky. Ozubená kola koncových stupňů jsou širší, takže převodovka s větším počtem stupňů má na výstupu vyšší přípustný krouticí moment. V každém stupni jsou v záběru 3 planetová kola a krouticí moment planetové převodovky proto několikanásobně převyšuje momenty přenášené převodovkami s předlohou. Tuková náplň je trvanlivá.[5]



Obrázek 3.3 – Řez planetové převodovky

## 3.4 NÁVRH BATERIÍ

Robot má projet dráhu cca 1km dlouhou a při průměrné rychlosti 3 km/h bude aktivně jezdit cca 20 minut, ale musím baterie naddimenzovat a proto budu uvažovat nejhorší možný případ (1 hodina). Při návrhu baterií uvažuji jejich hmotnost, rozměry, životnost, kapacitu a také i cenu, proto budu počítat s maximálním zatížením všech zařízení.

Motory a počítačový zdroj jsou napájeny 24 V tak proto musím použít dva 12V akumulátory spojené do série. Standardní bezúdržbové akumulátory s kapacitou 7 Ah se vyrábí se stejnými rozměry jako 9 Ah akumulátory a proto jsem zvolil

akumulátory s kapacitou 9Ah. V příloze 8 jsou kompletní technické informace vybraného akumulátoru.

zařízení	odebíraný proud
maximální nominální proud obou motorů	6.72 A
PC deska + počítačový zdroj	2.00 A
řízení + ultrazvuky + kamera	0.50 A
Celkem maximální odběr	9.22 A

**Tabulka 3.1: Teoretický odebíraný proud zařízení**

### 3.4.1 Parametry motocyklových baterií VARTA

označení - VARTA AGM 12 V/7Ah/110 A

hmotnost – 2,1 kg

rozměry(délka/šířka/výška) - 113/70/105mm

kapacita – 7 Ah

maximální vybíjecí proud – 110 A

Motocyklové baterie Varta nabízejí tyto přednosti: mají dlouhou životnost i v nejtěžších podmínkách. Díky robustní speciální konstrukci snesou vysokou zátěž. Vysoký startovací výkon díky elektrickým hodnotám převyšující DIN/EN. AGM baterie u nichž je elektrolyt zasáknutý do skelného rouna - Absorbent Glas Mat, baterii lze provozovat v libovolné poloze. [3]

#### **výhody:**

- nízká hmotnost
- vysoký vybíjecí proud
- malé rozměry

#### **nevýhody:**

- baterie nejsou určeny pro dlouhodobé hluboké vybíjení

### 3.4.2 Parametry standardních bez údržbových olovených akumulátorů

označení – CT 12-9L 12 V/9Ah Faston 250

hmotnost – 2,75 kg

rozměry(délka/šířka/výška) - 151/65/94mm

kapacita – 9 Ah

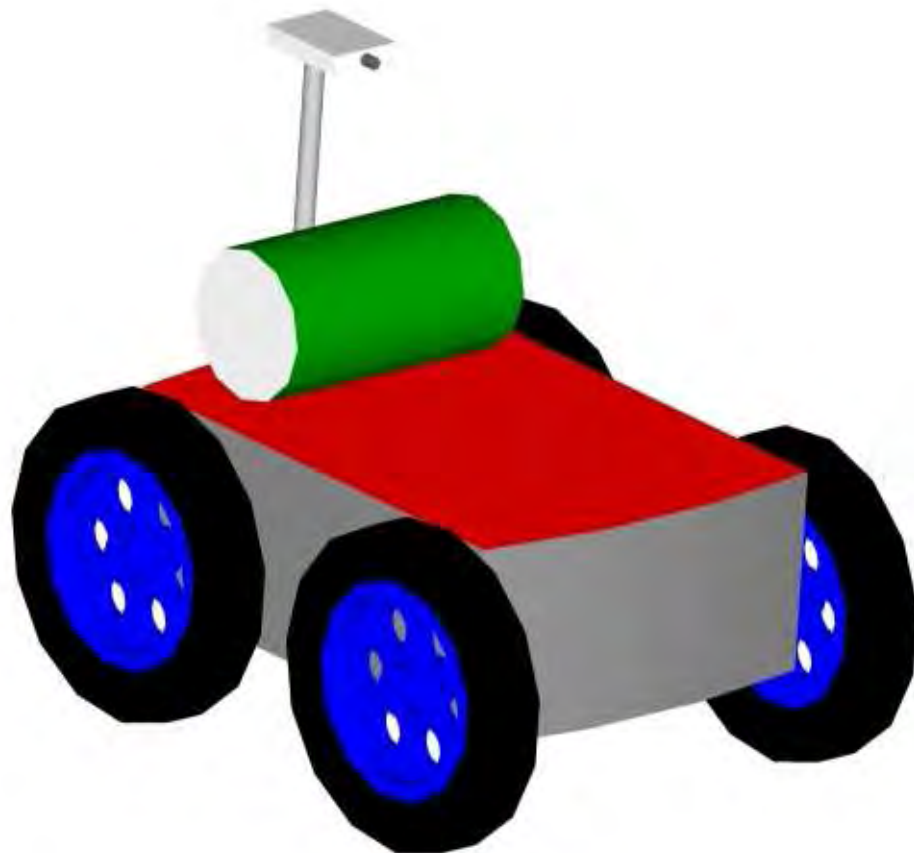
Bez údržbový, ventilem řízený olověný akumulátor s životností 5 let. Využití: náhradní baterie do záložních zdrojů UPS (GE, Powerware, APC atd.), telekomunikace, elektronické zabezpečovací a protipožární systémy (EZS, EPS, CCTV), zdravotnická technika apod. [8]

**výhody:**

- baterie jsou vhodné pro aplikace, kde je dlouhodobý odběr nízkého proudu
- vyšší kapacita akumulátoru

**nevýhody:**

- rozměry akumulátoru
- vyšší hmotnost

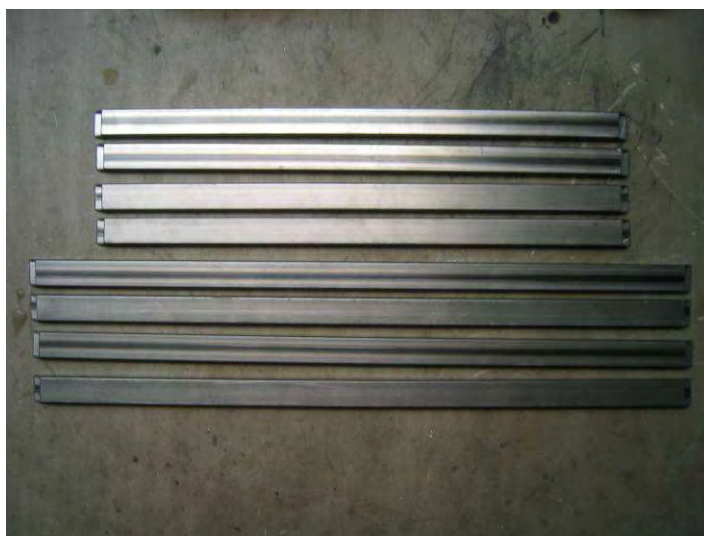


**Obrázek 3.4: Model návrhu řešení Robo-Kopa**

## 4. VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ

### 4.1 PODVOZEK ROBOTA

Postupně jsem nařezal profil na délky 400 a 500 mm pod úhlem 45°, tak jak je vidět na obrázku Obrázek 4.1



Obrázek 4.1: Nařezané profily podvozku

Poté jsem svařil dva přesné profilové obdélníky o rozměrech 500x400mm



Obrázek 4.2: Svařené profily do tvaru obdélníku

Nyní byl problém určit výšku konstrukce, z důvodu výšky karty u PCI

sběrnice na základní desce. Kdybychom tuto kartu pro rozšíření portů COM nepotřebovali a nebo sehnali úhlovou redukci na PCI sběrnici mohla být výška konstrukce menší. Celkovou výšku po přeměření karty zasunuté v základní desce jsem zvolil 200mm. Abych dostal celkovou výšku 200 mm, tak jsem nařezal profil na 8 stejných částí dlouhých 160 mm, jak je vidět na obrázku Obrázek 4.3.



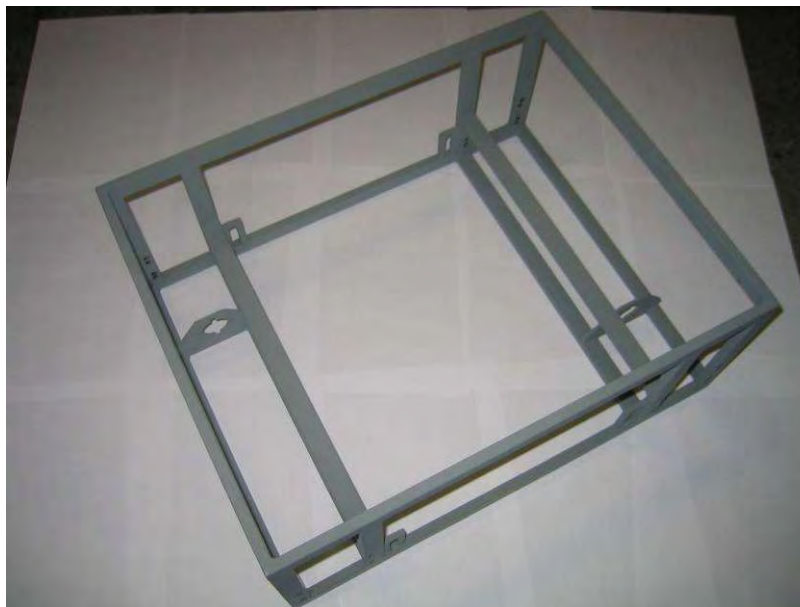
**Obrázek 4.3: Profily pro výšku podvozku**

Po přesném svařování všech částí a výztuh sem musel všechny svařované spoje řádně obrousit a popřípadě znovu převařit, aby byla zaručena pevnost celého podvozku.



**Obrázek 4.4: Upravený rám**

Na obrázku Obrázek 4.5 jsem ještě přivařil uchycení pohonu a pomocné příčky a celý rám jsem nastříkal základní barvou.



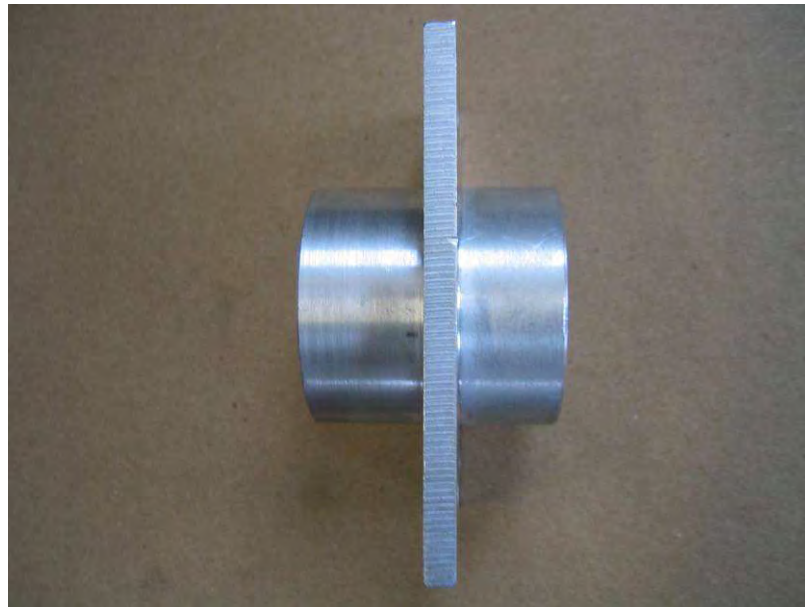
**Obrázek 4.5: Výsledný rám**

Podvozek má tvar kvádrů o rozměrech (délka, šířka, výška) 500 x 400 x 200 mm. Poměr roztečí os kol a roztečí robota jsem zvolil 400 : 507 mm, což pomáhá zlepšit otáčení robota na místě.

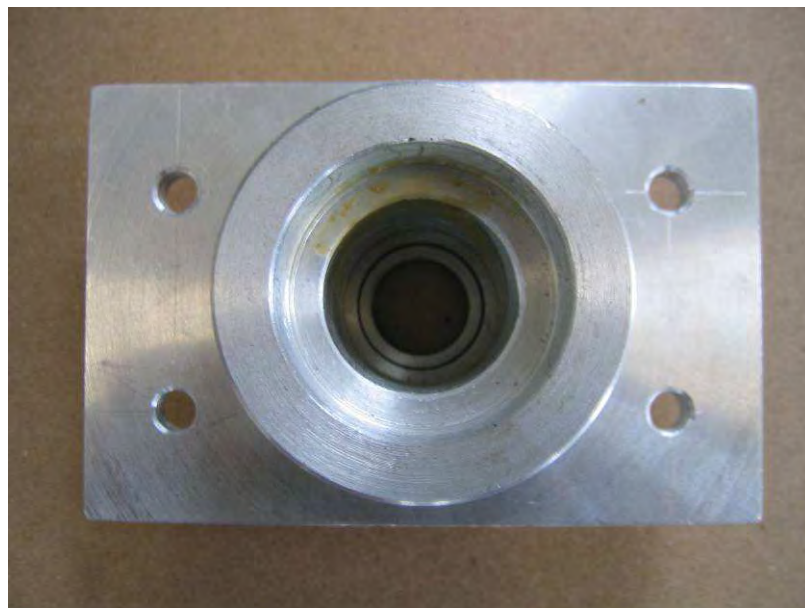
## **4.2 NÁBOJE, HŘÍDELE A ŘEMENICE S HŘÍDELOVOU SPOJKOU**

### **4.2.1 Náboj kola s hřídelí**

Jsou vyrobeny z duralu pro vysokou pevnost a nosnost. Každou nábojku drží čtyři imbus šrouby 6x25mm s pojistnými maticemi M6. Umístil jsem je na podvozek co nejnižší, tak abych dostal co největší světlost podvozku a aby šetřili místo pro další konstrukční prvky. Vyrobené náboje jsou vidět na obrázku Obrázek 4.6 Obrázek 4.7



**Obrázek 4.6: Nábojka – pohled shora**



**Obrázek 4.7: Nábojka-pohled boční**

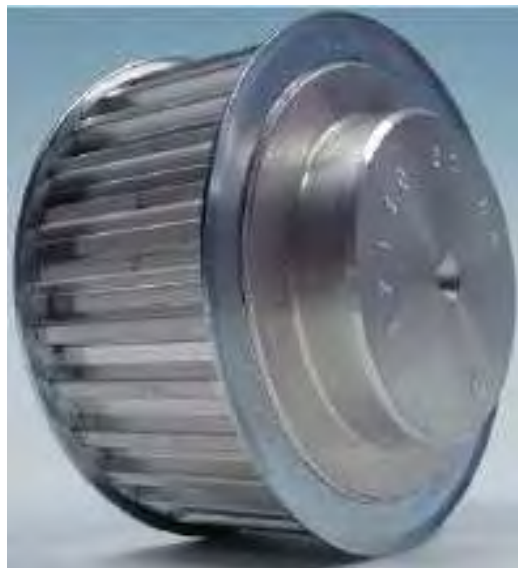
Hřídel má na obou stranách drážku na klínek dle normy DIN 6885-1 a také vnitřní závit M6 pro zajištění kol a hřídelové spojky. Hřídel je uložena v nábojce pomocí dvou ložisek s označením ZKL 6202. Ukázka hřídele viz Obrázek 4.8



**Obrázek 4.8: Hřídel s nalisovaným ložiskem**

#### **4.2.2 Řemenice**

Na jednotlivých nábojích je umístěna řemenice stejného průměru, tak aby byl zachován stejný převodový poměr. Z katalogu, který je obsažen v příloze 9 jsem vybral a použil řemenici 31 T10/18.



**Obrázek 4.9: Řemenice**

### 4.2.3 Řemeny

Pro spojení levé a pravé strany jsem použil polyuretanové řemeny, které mají ocelové výztuhy a lepší vlastnosti. Z katalogu v příloze 10 jsem vybral řemen T10-1100, jehož metrická rozteč zubů je 10 mm, šířka řemene je 16 mm, délka řemene 1100 mm.



Obrázek 4.10: Polyuretanový řemen

### 4.2.4 Hřídelová spojka

Spojku jsem použil pro bezvúlové spojení převodovky s hřídelí nábojky.



Obrázek 4.11: Spojka

### 4.3 SESTAVENÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ ROBOTA

#### 4.3.1 Celková sestava náboje kola



Obrázek 4.12: Celková sestava náboje, hřídele, spojky a řemenice

#### 4.3.2 Napínání řemene

Napínání řemene je zajištěno u každého náboje kola pomocí kladky, která navíc pomáhá vést řemen na řemenici, tak aby nedošlo k svléknutí řemene.



Obrázek 4.13: Detail napínání řemene

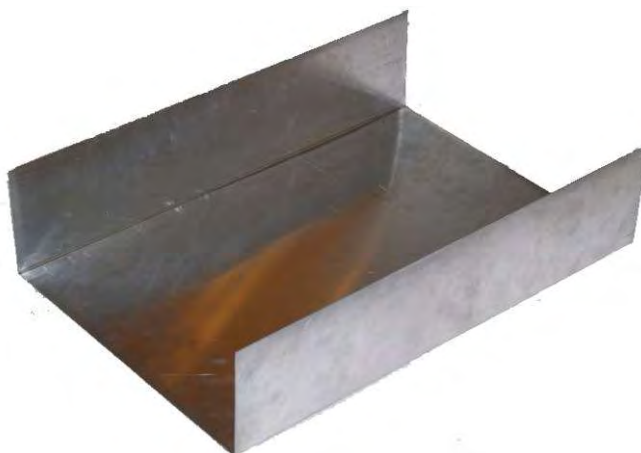
### 4.3.3 Sestava podvozku

Ve spodní části robota jsou umístěni motory s převodovkou, napínací kladky, řemeny, kola s náboji, tak jak je vidět na obrázku Obrázek 4.14.



**Obrázek 4.14: Pohon robota**

Nyní jsem vytvořil v horní části robota krabičku z hliníkového plechu o rozměrech(délka,šířka,výška,tloušťka) = (500,400,115,1.5)mm, tak abych oddělil řídicí elektroniku od pohonu. Potom jsem krabičku přišrouboval na podvozek robota a rozmístil řídicí elektroniku.



**Obrázek 4.15: Hliníková krabička pro řídicí elektroniku**

#### 4.4 ROZMÍSTĚNÍ A ZAPOJENÍ ELEKTRONIKY

Rozmístění elektroniky bylo především závislé na velikosti základní desky. Ostatní moduly se museli přizpůsobit do zbývajících neobsazených míst. Kladný pól od sériově spojených akumulátorů je veden přes hlavní vypínač a poté dále na pojistkový box. Záporný pól je veden přímo na svorkovnici, ke které jsou připojeny všechny záporné vodiče a v jediném bodě je zde připojen k rámu robotu, tak jak je vidět na obrázku Obrázek 4.19. Napájení modulů je jištěno vždy přes pojistkový box, který je vidět na obrázku Obrázek 4.18.

..

##### 4.4.1 Základní deska

Uchycení základní desky je provedeno pomocí plastových distančních sloupků.



Obrázek 4.16 – Uchycení základní desky

#### 4.4.2 Pevný disk 2.5“

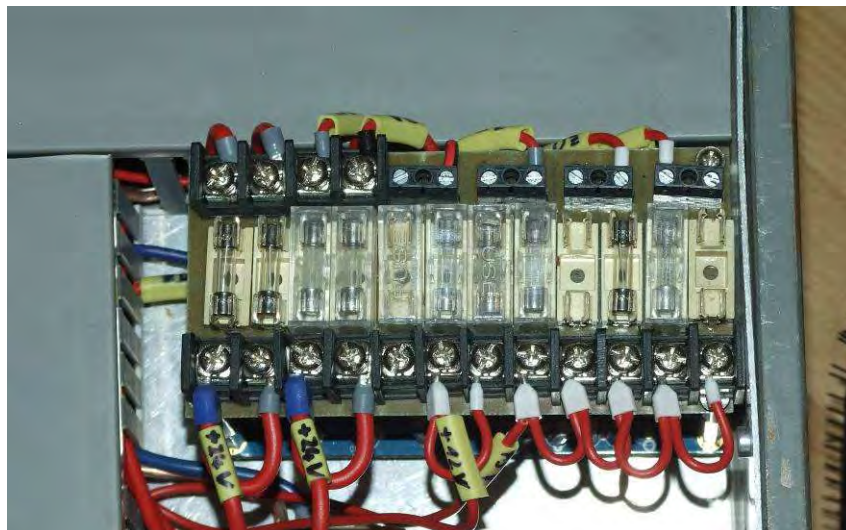
Disk uchycený v pěnovém obalu pro snížení vibrací od nerovného terénu.



Obrázek 4.17 – Pevný disk

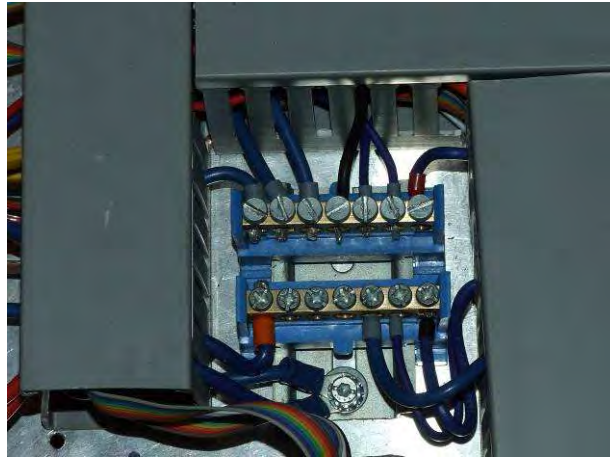
#### 4.4.3 Pojistkový box

Pojistkový box je uchycen na vysokých distančních sloupcích pod kterým je uchycen zdroj základní desky. Oba moduly jsou odizolovány od rámu robota.



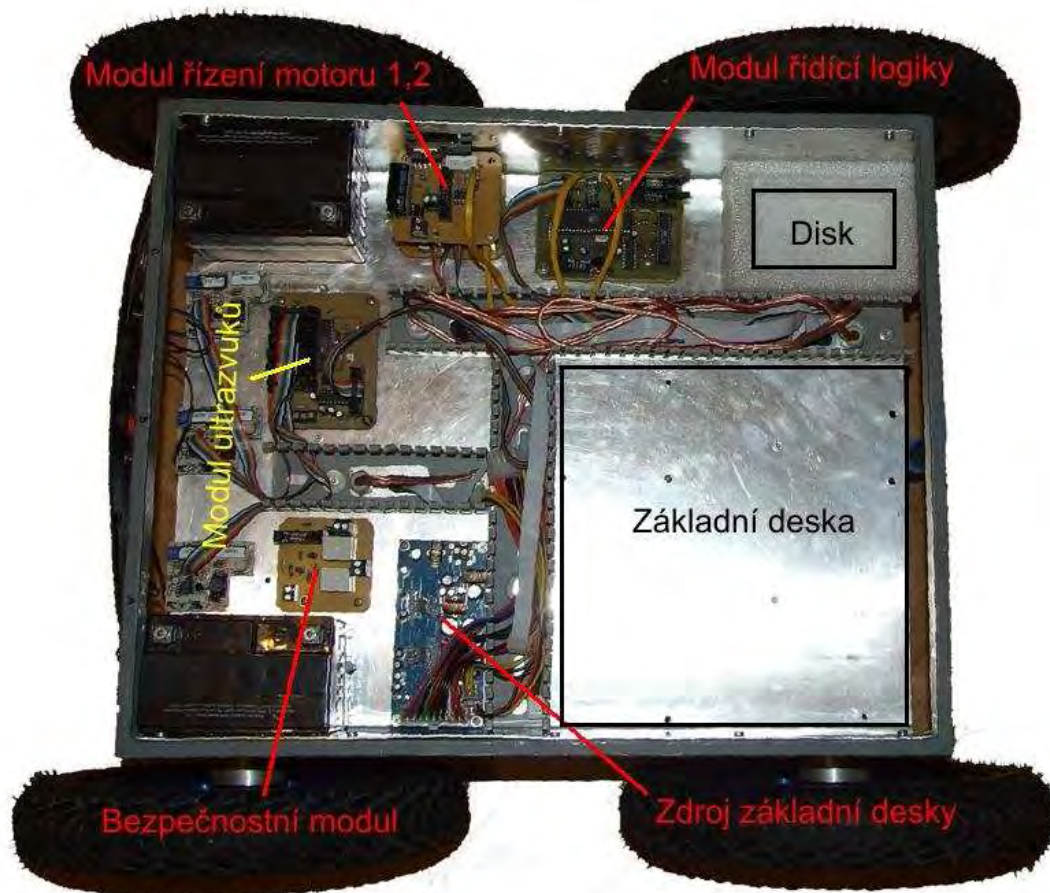
Obrázek 4.18 – Pojistkový box

#### 4.4.4 Svorkovnice pro uzemnění



Obrázek 4.19 – Svorkovnice pro uzemnění

#### 4.4.5 Celkový pohled na uspořádání modulů



Obrázek 4.20: Celkové rozmístění řídicí elektroniky

#### 4.4.6 Uchycení sloupku kamery AXIS 2100

Uchycení sloupku je zajištěno dvěma přichytkami, které jsou běžně používané pro rozvod v pneumatickém průmyslu. Sloupek průměru 18 mm je 65 cm vysoký a uvnitř vede napájení a síťový kabel pro kameru AXIS 2100. Na obrázku je názorně vidět přichycení karet do slotu PCI.



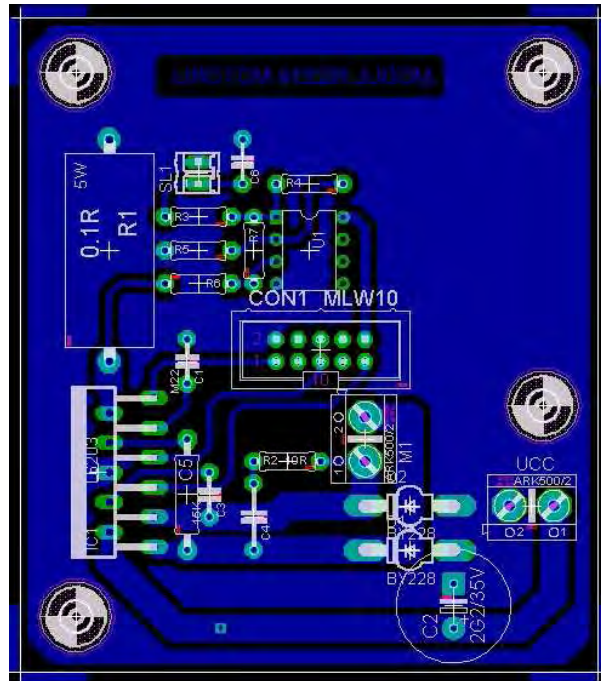
**Obrázek 4.21 – Sloupek pro kameru AXIS 2100**

#### 4.5 VÝROBA PLOŠNÝCH SPOJŮ

Pro návrh plošných spojů jsem použil program Eagle, protože jsem v něm už dříve navrhoval plošné spoje. V programu jsem navrhnul jednotlivé moduly (viz níže uvedené), jejich rozmístění součástek a zbývající plochu jsem vyplnil a spojil s GND. Nyní je potřeba vytisknout na laserové tiskárně (nejlépe přímo z programu Eagle) předlohu plošného spoje na speciální průsvitnou fólii. Zkontrolujeme kvalitu tisku a pro zlepšení kontrastu na fólii použijeme školní fixu na tabule a začerníme celou plochu plošného spoje. Po zaschnutí opatrně setřeme z folie černý fix a když se podíváme proti světlu tak se kontrast plošného spoje značně zlepšil. Tímto postupem jsem vytvořil i ostatní moduly.

Vystříhal jsem všechny moduly a nalepil je průsvitnou páskou na fotocitlivý cuprexit. Pro osvětlení jsem použil školní výbojku a nechal postupně osvětlit všechny moduly. Doba osvětlení je závislá na velikosti plošného spoje a na vzdálenosti od zdroje světla. Pokud je deska správně osvětlená, poznáme to podle zeleného nádechu osvětlených ploch. Po osvětlení jsem potopil jednotlivé desky do misky s vývojkou a počkal jsem na odplavení osvětleného laku. Po vyjmutí z vývojkou jsem desky opláchnul vodou. Pomocí leptacího roztoku na výrobu plošných spojů desky ponořím do misky a hlídám aby se vyleptala jen ta část, která má. Po úspěšném vyleptání desky opláchnu ve vodě a osuším. Nyní vyvrtám a osadím všechny součástky podle obrázků níže uvedených a po zapájení nanese ze strany spojů lak aby nedošlo k oxidaci měděné vrstvy.

#### 4.5.1 Modul řízení motoru

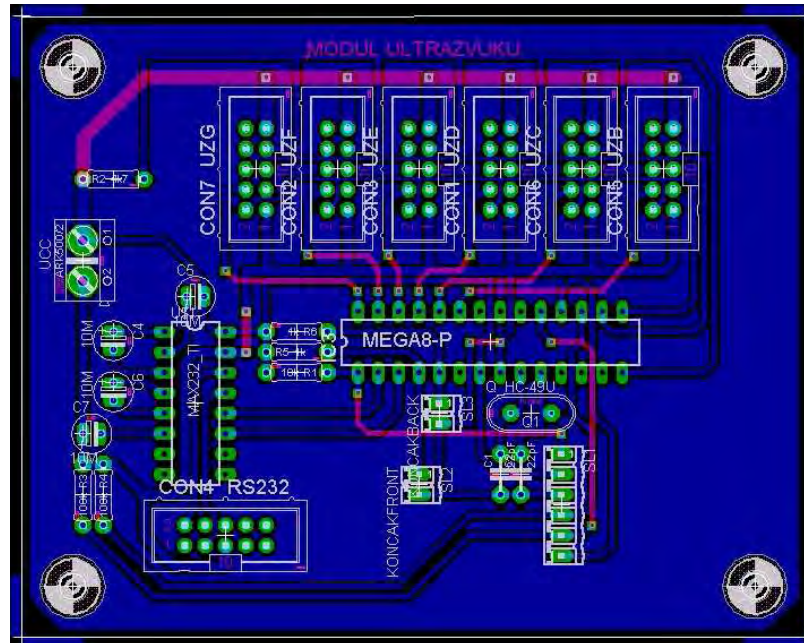


Obrázek 4.22 – Modul řízení motoru – pohled ze strany součástek

#### Výpis součástek:

Part	Value	Package	Position(mm)	Orientation
C1	M22	C-5	(19.05 35.56)	R270
C2	2G2/35V	C-EL_5+	(49.4919 7.5819)	R90
C3	15K	C-5	(21.5646 20.32)	R270
C4		C-7,5	(26.67 17.78)	R270
C5		R-12,7	(19.05 20.32)	R270
C6		C-5	(25.4 58.42)	R270
CON1	MLW10	MLW10G	(34.29 36.83)	R0
D1	BY228	SOD64-10	(44.45 13.9573)	R0
D2	BY228	SOD64-10	(44.45 19.05)	R0
IC1	L6203	MULTIWATT-11	(8.89 22.86)	R90
M1	ARK500/2	ARK500/2	(39.37 26.67)	R90
R1	0.1R	R-_5W	(10.16 48.26)	R270
R2	10R	R-7,5	(30.48 24.13)	R0
R3		R-7,5	(20.3454 52.1208)	R0
R4		R-7,5	(33.02 55.88)	R0
R5		R-7,5	(20.32 48.26)	R0
R6		R-7,5	(20.32 44.45)	R180
R7		R-7,5	(26.67 48.26)	R270
SL1		02P	(20.32 57.15)	R90
U1		DIL-08	(33.02 48.26)	R270
UCC	ARK500/2	ARK500/2	(58.42 19.05)	R180

## 4.5.2 Modul ultrazvuků

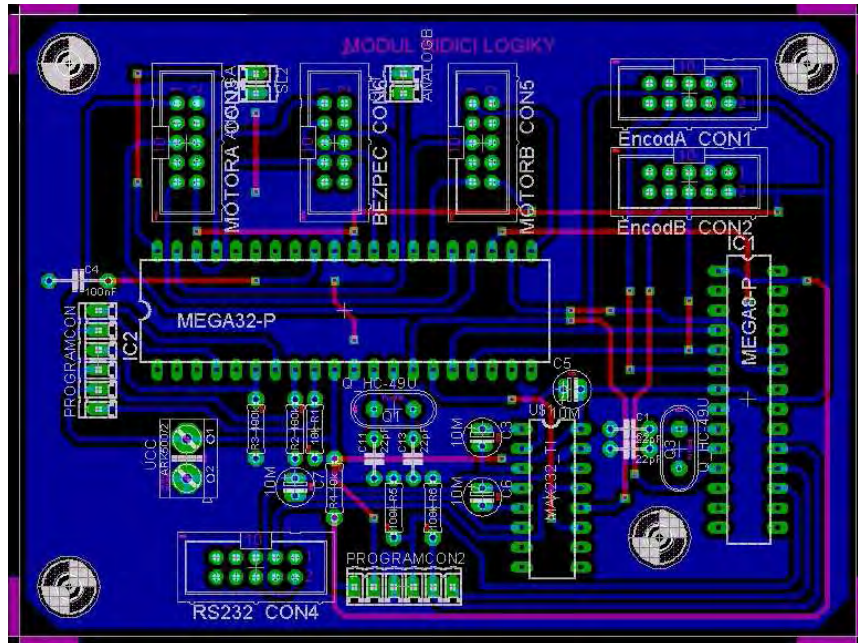


Obrázek 4.23 – Modul ultrazvuků – pohled ze strany součástek

### Výpis součástek:

Part	Value	Package	Position (mm)	Orientation
C1	22pF	C-5	(59.69 22.86)	R90
C2	22pF	C-5	(62.23 22.86)	R90
C4	10M	C-EL_2	(11.4173 40.6527)	R270
C5	10M	C-EL_2	(20.5486 45.0596)	R0
C6	10M	C-EL_2	(11.43 34.29)	R270
C7	10M	C-EL_2	(7.62 27.94)	R0
CON1	UZD	MLW10G	(59.69 60.96)	R90
CON2	UZF	MLW10G	(39.37 60.96)	R90
CON3	UZE	MLW10G	(49.53 60.96)	R90
CON4	RS232	MLW10G	(25.4 15.24)	R0
CON5	UZB	MLW10G	(80.01 60.96)	R90
CON6	UZC	MLW10G	(69.85 60.96)	R90
CON7	UZG	MLW10G	(29.21 60.96)	R90
IC3	MEGA8-P	DIL28-3	(58.42 39.37)	R0
Q1	Q_HC-49U	HC-49U	(63.5 30.48)	R180
R1	10k	R-7,5	(34.29 35.56)	R180
R2	4k7	R-7,5	(11.43 59.69)	R0
R3	100k	R-7,5	(7.62 20.32)	R270
R4	100k	R-7,5	(10.16 20.32)	R270
R5	1k	R-7,5	(34.29 38.1)	R0
R6	1k	R-7,5	(34.29 40.64)	R180
SL1		06P	(67.31 19.05)	R270
SL2	KONCAKFRONT	02P	(49.53 21.59)	R270
SL3	KONCAKBACK	02P	(52.07 30.48)	R270
U\$1	MAX232_TI	DIL16	(21.59 31.75)	R270
UCC	ARK500/2	ARK500/2	(7.62 49.53)	R270

### 4.5.3 Modul řídicí logiky



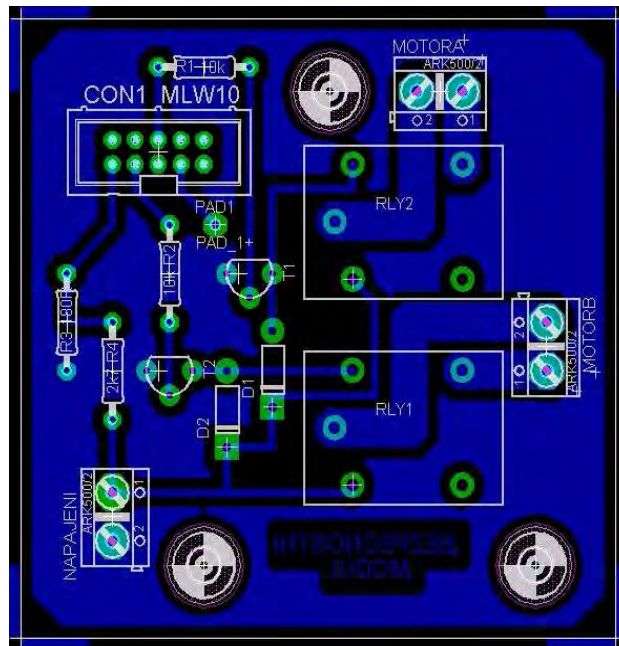
Obrázek 4.24 – Modul řídicí logiky – pohled ze strany součástek

#### Výpis součástek:

Part	Value	Package	Position (mm)	Orientation
C1	22pF	C-5	(78.74 26.67)	R0
C2	22pF	C-5	(78.74 24.13)	R0
C3	10M	C-EL_2	(59.69 26.67)	R270
C4	100nF	C-7,5	(7.62 45.72)	R0
C5	10M	C-EL_2	(70.1713 31.7565)	R0
C6	10M	C-EL_2	(59.69 19.05)	R270
C7	10M	C-EL_2	(35.56 20.32)	R270
C11	22pF	C-5	(45.72 22.86)	R90
C13	22pF	C-5	(50.8 22.86)	R90
CON1	EncodA	MLW10G	(86.36 69.85)	R180
CON2	EncodB	MLW10G	(86.36 58.42)	R180
CON3	MOTORA	MLW10G	(21.59 63.5)	R270
CON4	RS232	MLW10G	(30.48 8.89)	R180
CON5	MOTORB	MLW10G	(59.69 63.5)	R270
CON6	BEZPEC	MLW10G	(40.64 63.5)	R270
IC1	MEGA8-P	DIL28-3	(93.98 30.48)	R270
IC2	MEGA32-P	DIL40	(41.91 41.91)	R0
PROGRAMCON		06P	(10.16 35.56)	R90
PROGRAMCON2		06P	(49.53 6.35)	R0
Q1	Q_HC-49U	HC-49U	(48.26 29.21)	R180
Q3	Q_HC-49U	HC-49U	(85.09 24.13)	R90
R1	10k	R-7,5	(38.1 26.67)	R270
R2	100k	R-7,5	(35.56 26.67)	R90
R3	100k	R-7,5	(30.48 26.67)	R90
R4	10k	R-7,5	(40.64 19.05)	R90
R5	100k	R-7,5	(48.26 16.51)	R270
R6	100k	R-7,5	(53.34 16.51)	R270

SL1	ANALOGB	02P	(49.53 71.12)	R90
SL2	ANALOGA	02P	(30.48 71.12)	R270
UŠ1	MAX232_TI	DIL16	(68.58 17.78)	R270
UCC	ARK500/2	ARK500/2	(21.59 22.86)	R270

#### 4.5.4 Bezpečnostní modul

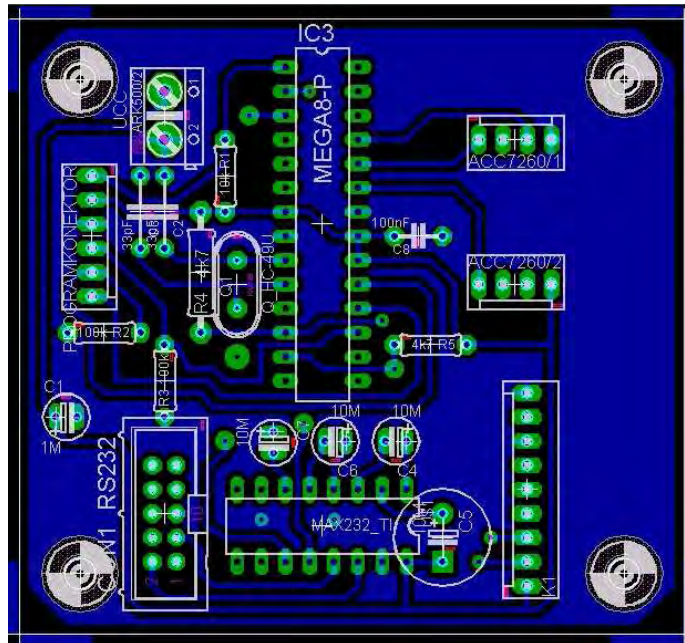


Obrázek 4.25 – Bezpečnostní modul – pohled ze strany součástek

#### Výpis součástek:

Part	Value	Package	Position (mm)	Orientation
CON1	MLW10	MLW10G	(15.24 50.8)	R0
D1		DO41	(27.94 24.13)	R90
D2		DO41	(22.86 19.939)	R90
MOTORA	ARK500/2	ARK500/2	(46.5201 57.1373)	R180
MOTORB	ARK500/2	ARK500/2	(58.42 30.48)	R90
NAPAJENI	ARK500/2	ARK500/2	(10.16 12.7)	R270
PAD1	PAD_1+	PAD_1	(21.59 43.18)	R0
R1	10k	R-10	(20.32 59.69)	R0
R2	10k	R-10	(16.51 38.1)	R270
R3	180R	R-10	(5.08 33.02)	R90
R4	2k7	R-10	(10.16 27.94)	R270
RLY1		RG5LE	(36.83 16.002)	R0
RLY2		RG5LE	(36.8554 37.5285)	R0
T1		TO-92C	(24.13 38.1)	R270
T2		TO-92C	(15.24 27.94)	R270

#### 4.5.5 Modul kompasu a akcelerometru



Obrázek 4.26 – Modul kompasu a akcelerometru – pohled ze strany součástek

#### Výpis součástek:

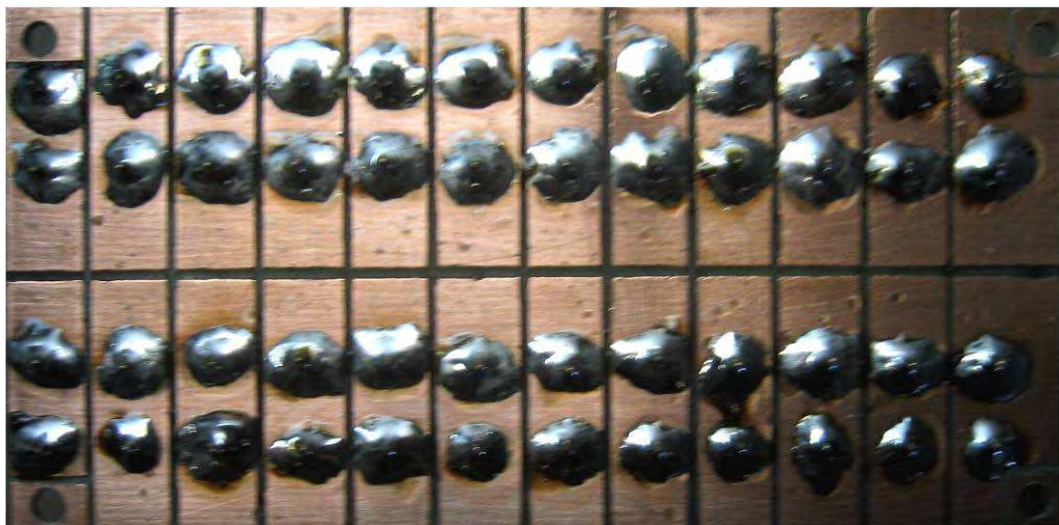
Part	Value	Package	Position(mm)	Orientation
ACC7260/1		PSH02-04	(52.07 52.07)	R0
ACC7260/2		PSH02-04	(52.07 36.83)	R180
C1	1M	C-EL_2	(3.81 22.86)	R0
C2	33pF	C-7,5	(15.24 44.45)	R270
C3	33pF	C-7,5	(12.7 44.45)	R270
C4	10M	C-EL_2	(40.64 20.32)	R180
C5	10M	C-EL_5	(44.45 10.16)	R270
C6	10M	C-EL_2	(34.29 20.32)	R180
C7	10M	C-EL_2	(26.67 21.2852)	R270
C8	100nF	C-5	(41.91 41.91)	R180
CON1	RS232	MLW10G	(15.24 12.7)	R90
IC3	MEGA8-P	DIL28-3	(31.75 43.18)	R270
K1		PSH02-09	(53.34 15.24)	R90
PROGRAMKONEKTOR		PSH02-06	(7.62 41.91)	R270
Q1	Q_HC-49U	HC-49U	(22.86 36.83)	R90
R1	10k	R-7,5	(21.59 48.26)	R270
R2	100k	R-7,5	(8.89 31.75)	R180
R3	100k	R-7,5	(15.24 26.67)	R90
R4	4k7	R-12,7	(19.05 38.1)	R90
R5	4k7	R-7,5	(43.18 30.48)	R180
U\$1	MAX232_TI	DIL16	(31.75 11.43)	R180
UCC	ARK500/2	ARK500/2	(15.24 54.61)	R270

#### 4.5.6 Výroba pojistkového boxu

Pojistkový box je navržen na 12 skleněných pojistek, přičemž jistím napájecí napětí 24V, napětí 12V a 5V ze základní desky PC. Pro každé napětí viz. výše uvedené sem nechal jednu pojistku rezervovanou. Pro jednoduchost výroby jsem použil již hotové držáky pojistek s krytkou do plošného spoje a pro připojení k jednotlivě odděleným pojistkám jsem použil svorkovnice pro maximální průřez vodiče 2,5 mm<sup>2</sup>. Jištěné napětí pak dále používám pro napájení motorů (24V), napájení kamery AXIS 2100 (12V) a pro napájení jednotlivých modulů (5V).

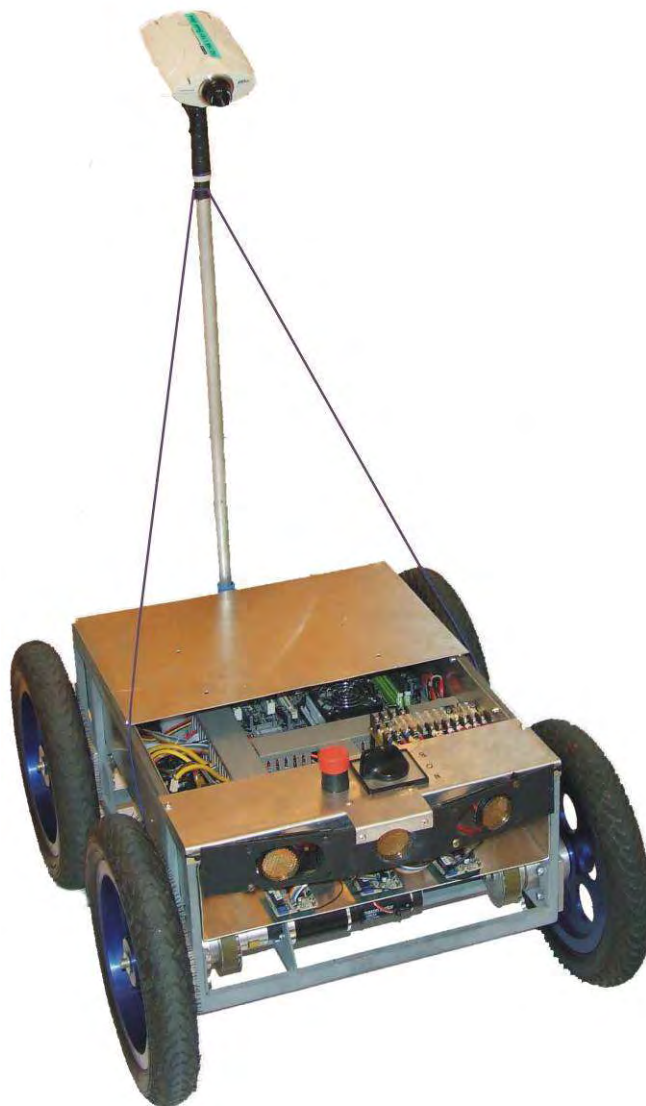


Obrázek 4.27 - Pojistkový box – pohled z vrchu



Obrázek 4.28 - Pojistkový box – pohled ze spodu

#### 4.6 CELKOVÉ MECHANICKÉ PROVEDENÍ



Obrázek 4.29 – Robo-Kop (stav k 1.5.2008)

## 5. ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl proveden konstrukční návrh mobilního autonomního kolového robota, který je určen pro překonání překážek na soutěži MINIDARPA.

Při výrobě podvozku jsem zjistil, že největší podíl na velikosti robota má základní deska počítače. Z důvodu nedostatku portů COM jsme museli použít externí čtyři COM porty do sběrnice PCI. Kvůli této kartě jsem musel předělat uchycení nábojů a napínacích kladek pro řemeny. Výhodou je zachování rozměrů robota, zvýšení světlosti podvozku a do budoucna připojení dalších karet.

Doposud jsem sestrojil kompletní podvozek, upevnil a vyrobil řídicí elektroniku, pomocí plastových příchytěk jsem upevnil sloupek a průmyslovou kameru, ultrazvukové snímače jsem umístil v přední části robota. Po kompletním upevnění všech zařízení budu řešit vnější vzhled robota.

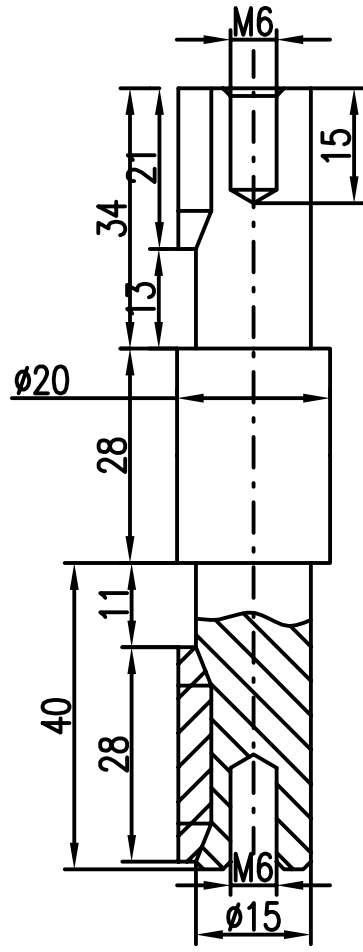
Díky stále rychlejšímu vývoji technologií, budou roboti více autonomní, inteligentní a budou stále větším kladným přínosem lidstvu.

## 6. SEZNAM LITERATURY

- [1] NOVÁK, P. Mobilní roboty pohony, senzory, řízení. Praha: Nakladatelství BEN, 2007. 248 stran. ISBN 80-7300-141-1
- [2] [www.robotika.cz](http://www.robotika.cz)
- [3] [www.varta.cz](http://www.varta.cz)
- [4] [www.mateza.cz](http://www.mateza.cz)
- [5] [www.uzimex.cz](http://www.uzimex.cz)
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [7] <http://www.darpa.mil/grandchallenge/>
- [8] <http://www.akumulatorybaterie.cz/Akumulatory/Akumulatory-dle-technologie/Olovene-akumulatory/Akumulator-CT-12-9L-12V-9Ah-Faston-250>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Robo-Kop 1 – výkres Hřídel hnaná
- Příloha 2 Robo-Kop 2 – výkres Hřídel hnací
- Příloha 3 Robo-Kop 3 – výkres Náboj kola
- Příloha 4 Robo-Kop 4 – výkres Disk kola
- Příloha 5 Robo-Kop 5 – výkres Rám
- Příloha 6 Robo-Kop 6 – výkres Vnitřní krabíčka
- Příloha 7 Akumulátor CT 12-9L
- Příloha 8 Katalog Mateza – jednořadá ložiska
- Příloha 9 Katalog Mateza – ozubené řemenice
- Příloha 10 Katalog Mateza – ozubené řemeny
- Příloha 11 Katalog Rotex – hřídelová spojka



KRESLIL

Libra Jaroslav

TŘÍDA

B3/AMT

DATUM

14.10.2007

MĚŘÍTKO

1:1

VUT

FEKT

NÁZEV

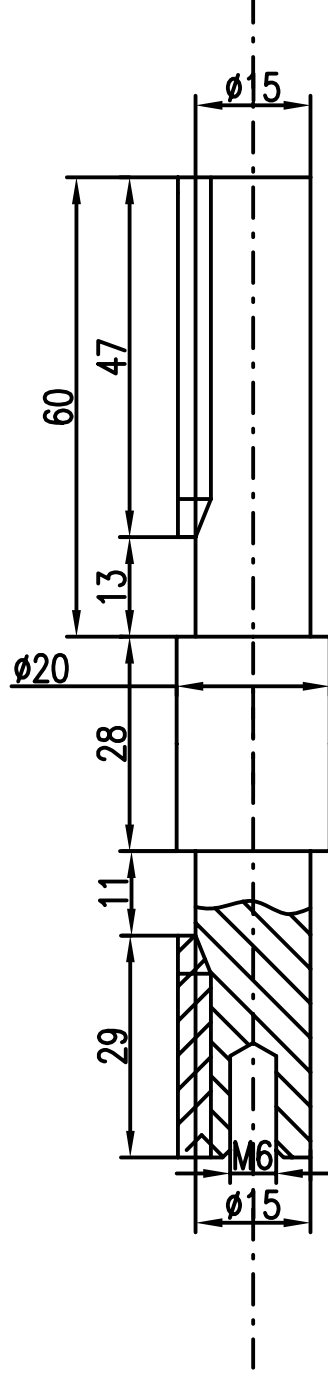
Hřídel hnaná

ČÍSLO VÝKRESU

Robo-Kop 1

LISTO

LIST



KRESLIL

Libra Jaroslav

TRÍDA

B3/AMT

DATUM

14.10.2007

MĚŘÍTKO

1:1

NÁZEV

Hřídel hnací

ČÍSLO VÝKRESU

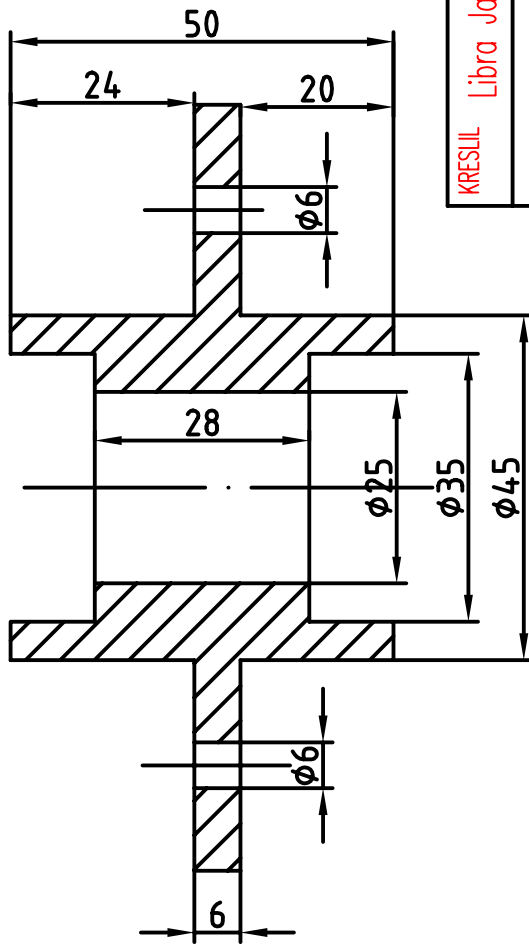
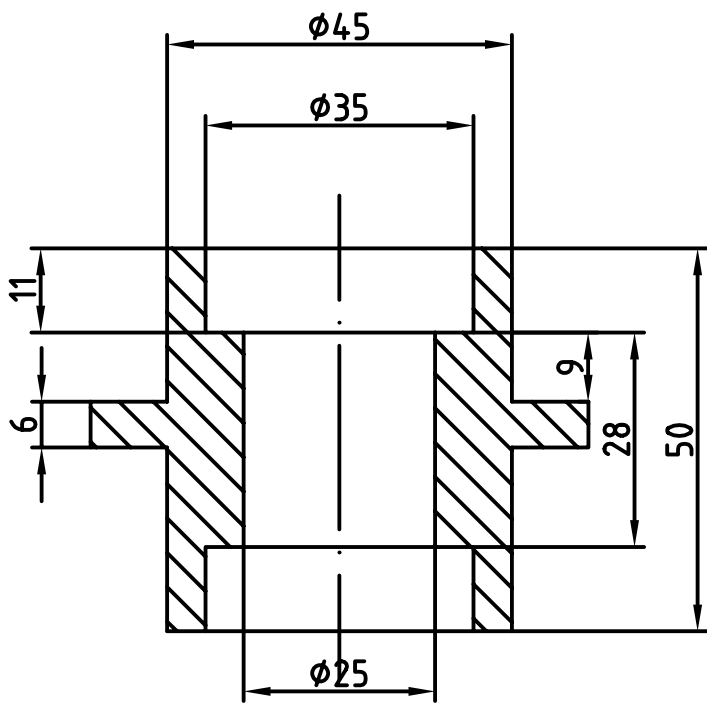
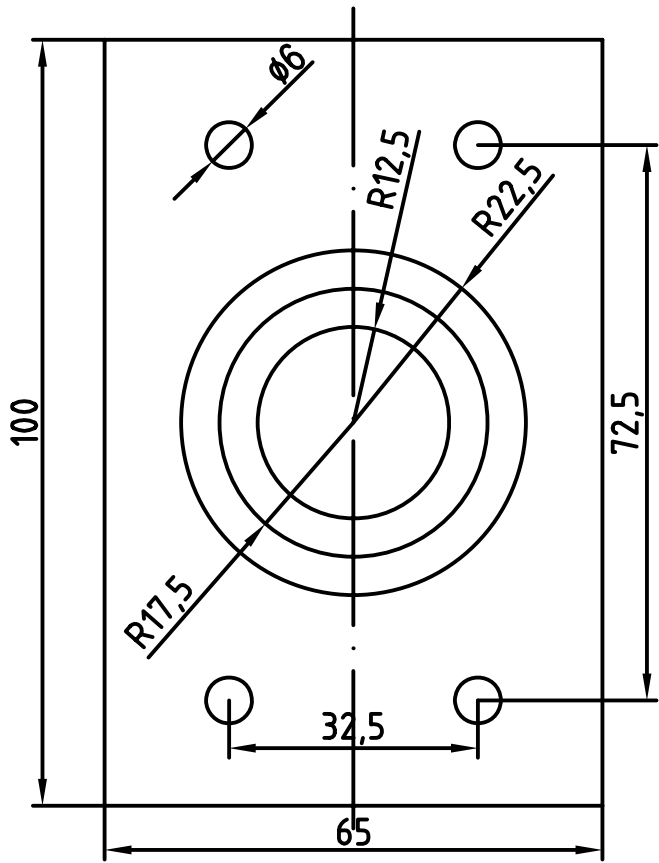
Robo-Kop 2

LISTO

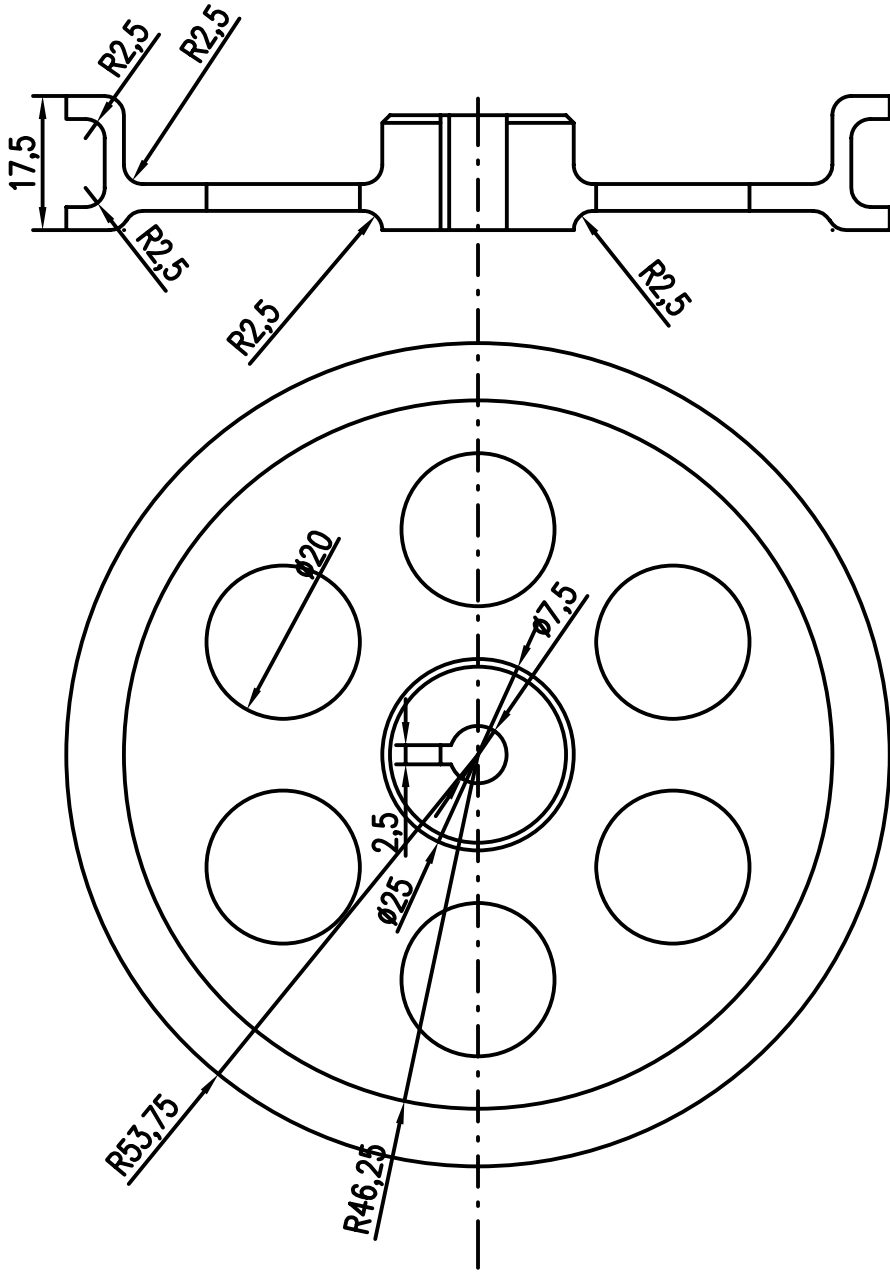
LST

VUT

FEKT



KRESLIL	Libra Jaroslav	TŘÍDA	B3/AMT	DATUM	16.10.2007	MĚŘÍTKO	1:1
VUT				NÁZEV			
FEKT				Náboj kola			
				ČÍSLO VÝKRESU			
				Robo-Kop 3			
				LISTO			
				LIST			



KRESLIL

Libra Jaroslav

TŘÍDA

B3/AMT

DATUM

20.10.2007

MĚŘÍTKO

1:2

NÁZEV

Disk kola

ČÍSLO VÝKRESU

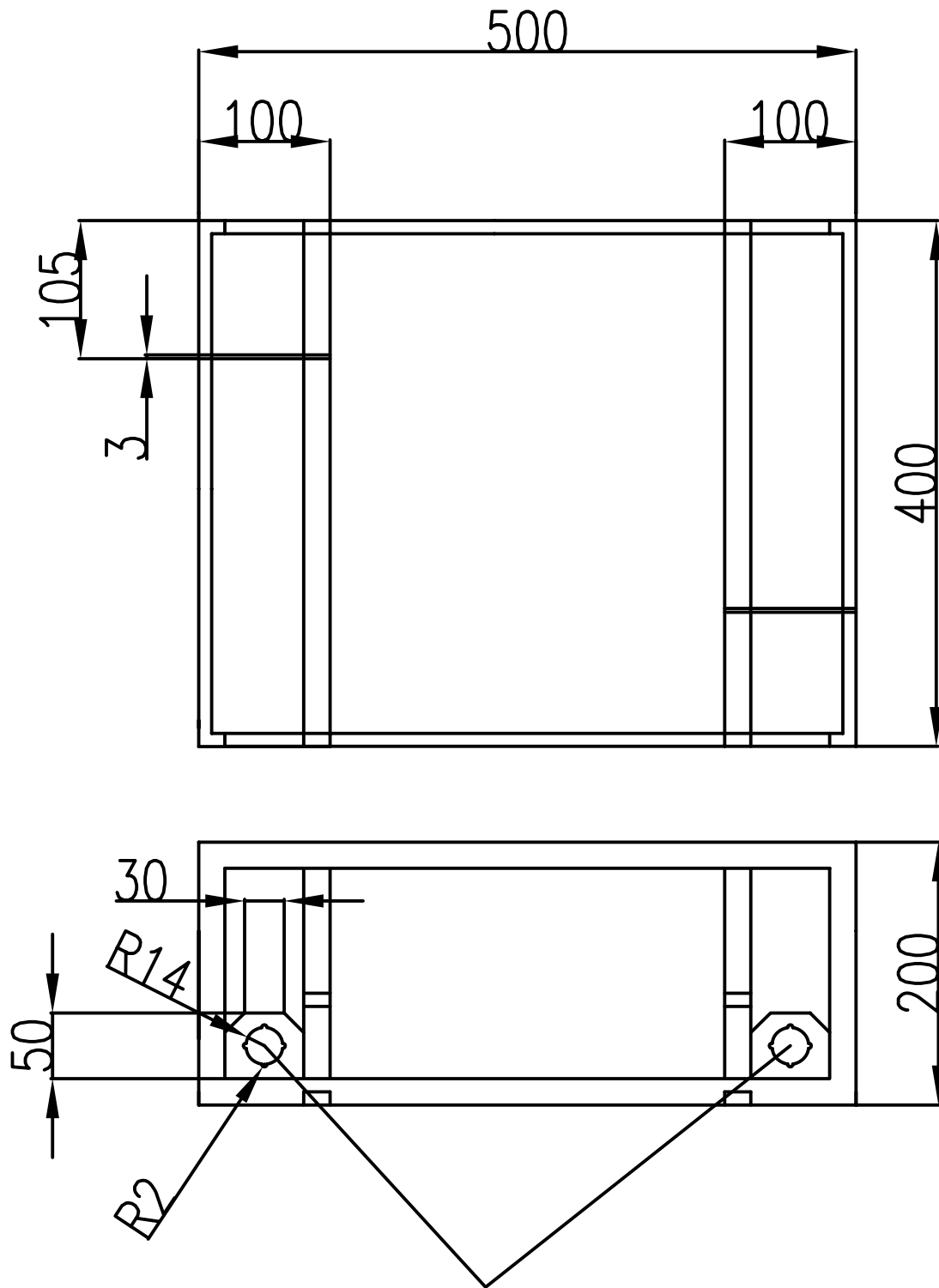
Robo-Kop 4

LISTO

LIST

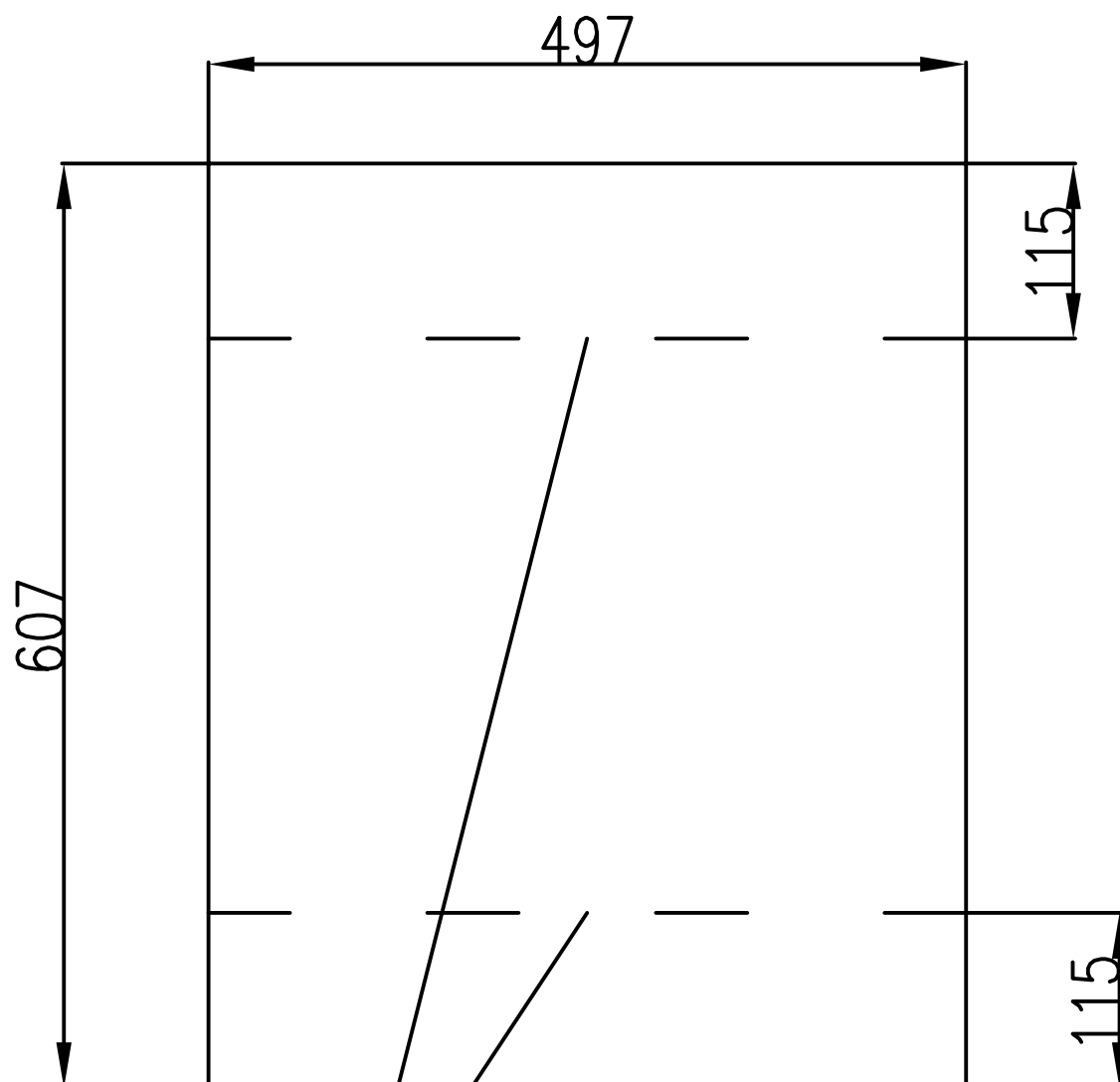
VUT

FEKT



Uchyčení motoru

KRESLIL	Libra Jaroslav	TŘÍDA	B3/AMT	DATUM	28.10.2007	MĚŘÍTKO	1:5
VUT FEKT		NÁZEV					
		Rám					
		ČÍSLO VÝKRESU					
		Robo-Kop 5					
						LISTO	LIST

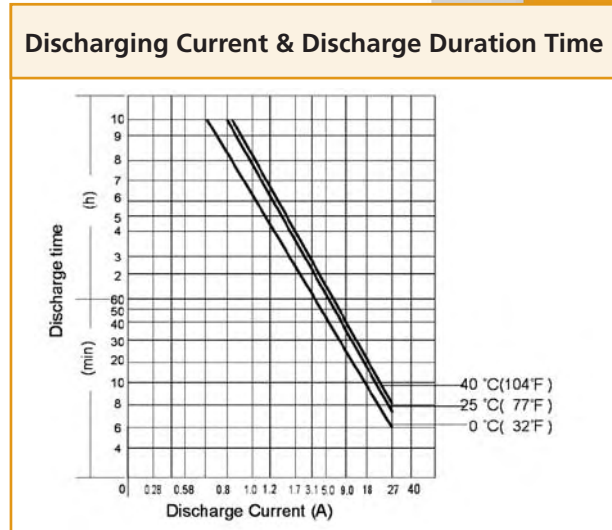
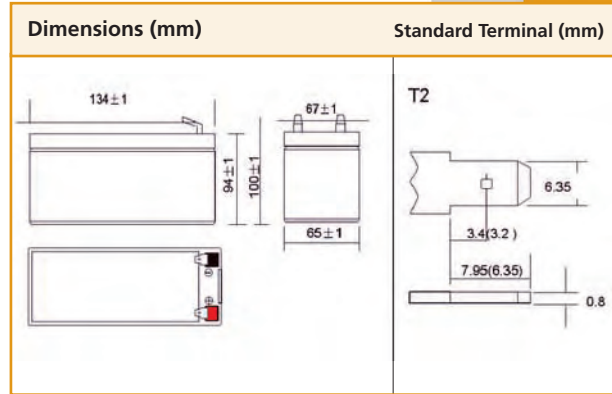


místo ohybu

KRESLIL	Libra Jaroslav	TŘÍDA	B3/AMT	DATUM	3.11.2007	MĚŘÍTKO	1:5
VUT FEKT		NÁZEV Vnitřní krabička					
		ČÍSLO VÝKRESU Robo-Kop 6					
						LISTŮ	LIST

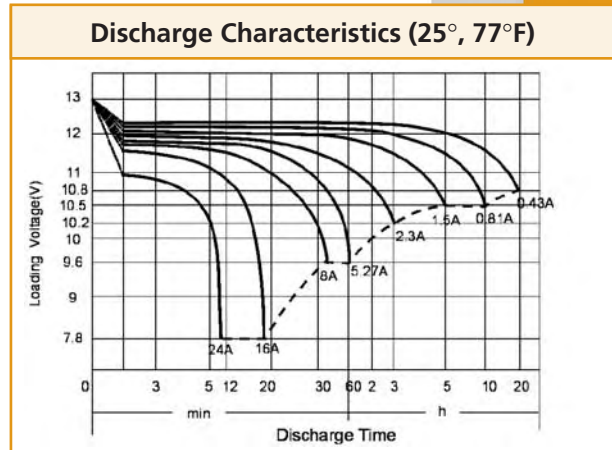


# CT 9-12



Physical Specification		
Nominal Voltage		12V
Nominal Capacity (20HR)		8.0AH
Dimension	Length	151 ± 1mm (5.95 inches)
	Width	65 ± 1mm (2.56 inches)
	Container Height	94 ± 1mm (3.70 inches)
	Total Height (with Terminal)	100 ± 1mm (3.94 inches)
Weight		Approx 2.75kg (6.06lbs)
Standard Terminal		T2

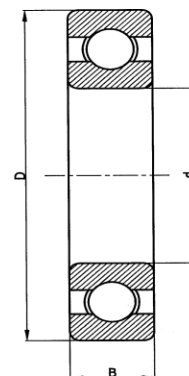
Electrical Specification					
Rated Capacity	20 hour rate (430mA)	8.6AH	Constant Voltage	Cycle	Initial Charging Current less than 2.7A. Voltage 14.4V- 15.0V at 25°C (77°F). Temp. Coefficient -30mV/C
	10 hour rate (810mA)	8.1AH			
	5 hour rate (1.50A)	7.5AH			
	1 hour rate (5.27A)	5.27AH			
	15 minute rate (17.5A)	4.38AH			
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%	Charge	Standby	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V-13.8V at 25°C(77°F). Temp. Coefficient -20mV/C
	25°C (77°F)	100%			
	0°C (32°F)	86%			



Constant Current (Amp) and Constant Power (Watt) Discharge Table (25°, 77°F)												
Time(minute) Final voltage/Cell	5	10	15	20	30	45	60	120	180	300	600	1200
Amp/Watt/Cell	1.3	1.3	1.3	1.3	1.6	1.6	1.67	1.7	1.75	1.75	1.75	1.8
A	39.69	24.30	17.5	13.93	10.13	7.29	5.27	3.16	2.31	1.50	0.81	0.43
W	67.23	46.25	35.0	27.38	20.01	14.50	10.45	6.32	4.54	3.00	1.62	0.86

## Kuličková ložiska

### Jednořadá kuličková ložiska



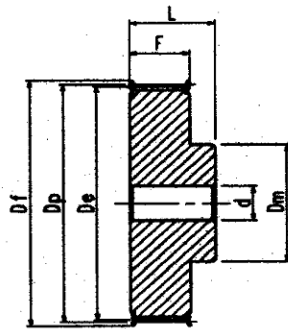
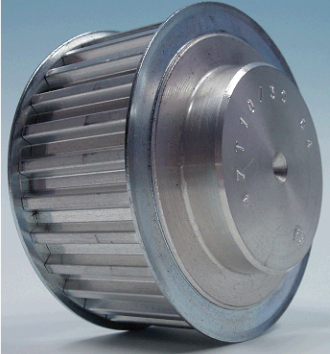
#### d 12 - 20 mm

Označení	d (mm)	Rozměry D (mm) B (mm)		Dynamická únosnost C (kN)	Statická únosnost Co (kN)	Mezní únavo- vové zatížení P <sub>V</sub> (kN)	Referenční otáčky (1/min)	Mezní otáčky (1/min)	Hmotnost (kg)
<b>61801</b>	12	21	5	1,43	0,67	0,028	70000	43000	0,0063
<b>61901</b>	12	24	6	2,25	0,98	0,043	67000	40000	0,011
<b>6001</b>	12	28	8	5,4	2,36	0,1	60000	38000	0,022
<b>16101</b>	12	30	8	5,07	2,36	0,1	56000	34000	0,023
<b>6201</b>	12	32	10	7,28	3,1	0,132	50000	32000	0,037
<b>6301</b>	12	37	12	10,1	4,15	0,176	45000	28000	0,06
<b>61802</b>	15	24	5	1,56	0,8	0,034	60000	38000	0,0074
<b>61902</b>	15	28	7	4,36	2,24	0,095	56000	34000	0,016
<b>16002</b>	15	32	8	5,85	2,85	0,12	50000	32000	0,025
<b>6002</b>	15	32	9	5,85	2,85	0,12	50000	32000	0,03
<b>6202</b>	15	35	11	8,06	3,75	0,16	43000	28000	0,045
<b>6302</b>	15	42	13	11,9	5,4	0,228	38000	24000	0,082
<b>61803</b>	17	26	5	1,68	0,93	0,039	56000	34000	0,0082
<b>61903</b>	17	30	7	4,62	2,55	0,108	50000	32000	0,018
<b>16003</b>	17	35	8	6,37	3,25	0,137	45000	28000	0,032
<b>6003</b>	17	35	10	6,37	3,25	0,137	45000	28000	0,039
<b>98203</b>	17	40	9	9,56	4,75	0,2	38000	24000	0,048
<b>6203</b>	17	40	12	9,95	4,75	0,2	38000	24000	0,065
<b>6203 ETN9</b>	17	40	12	11,4	5,4	0,228	38000	24000	0,064
<b>6303</b>	17	47	14	14,3	6,55	0,275	34000	22000	0,12
<b>6403</b>	17	62	17	22,9	10,8	0,455	28000	18000	0,27
<b>61804</b>	20	32	7	4,03	2,32	0,104	45000	28000	0,018
<b>61904</b>	20	37	9	6,37	3,65	0,156	43000	26000	0,038
<b>16004</b>	20	42	8	7,28	4,05	0,173	38000	24000	0,05
<b>98204 Y</b>	20	42	9	7,93	4,5	0,19	38000	24000	0,051
<b>6004</b>	20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069
<b>6204</b>	20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11
<b>6204 ETN9</b>	20	47	14	15,6	7,65	0,325	32000	20000	0,096
<b>6304</b>	20	52	15	16,8	7,8	0,335	30000	19000	0,14
<b>6304 ETN9</b>	20	52	15	18,2	9	0,38	30000	19000	0,14
<b>6404</b>	20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4

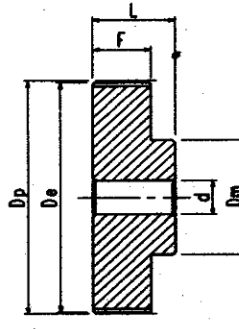
## Ozubené řemenice

### Profil T10

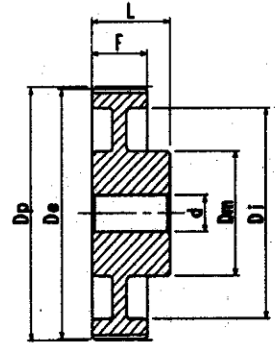
rozteč zubů 10 mm



2



3



4

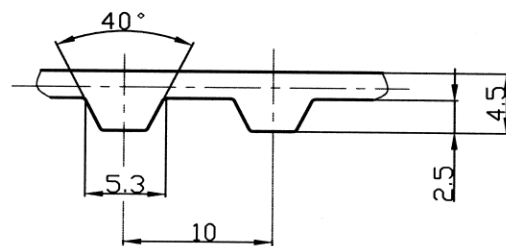
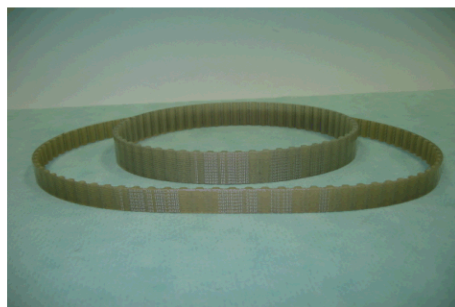
**31 T10 - pro řemen šíře 16 mm**

Označení řemenice	Počet zubů	Typ	Dp (mm)	De (mm)	Df (mm)	Dm (mm)	F (mm)	L (mm)	Materiál
31 T10/12	12	2	38,20	36,35	40	28	21	31	hliník
31 T10/14	14	2	44,56	42,70	46	32	21	31	
31 T10/15	15	2	47,75	45,90	50	32	21	31	
31 T10/16	16	2	50,93	49,05	55	35	21	31	
31 T10/18	18	2	57,30	55,45	62	40	21	31	
31 T10/19	19	2	60,48	58,60	67	44	21	31	
31 T10/20	20	2	63,66	61,80	67	46	21	31	
31 T10/22	22	2	70,03	68,15	73	52	21	31	
31 T10/24	24	2	76,39	74,55	80	58	21	31	
31 T10/25	25	2	79,58	77,70	84	60	21	31	
31 T10/26	26	2	82,76	80,90	88	60	21	31	
31 T10/27	27	2	85,94	84,10	88	60	21	31	
31 T10/28	28	2	89,13	87,25	94	60	21	31	
31 T10/30	30	2	95,49	93,65	98	60	21	31	
31 T10/32	32	2	101,86	100,00	108	65	21	31	
31 T10/36	36	2	114,59	112,75	118	70	21	31	
31 T10/40	40	3	127,32	125,45	129	80	21	31	
31 T10/44	44	4	140,06	138,20	-	88	21	31	
31 T10/48	48	4	152,79	150,95	-	95	21	31	
31 T10/60	60	4	190,99	189,10	-	110	21	31	

 Příklad označení - vzor objednávky: Řemenice **31 T10 28**

## Ozubené řemeny

### Profil T10



T 10

PROFIL T 10						
rozteč zubů 10 mm						
Označení řemene	Délka řemene (mm)	Počet zubů		Označení řemene	Délka řemene (mm)	Počet zubů
T10 260	260	26		T10 980	980	98
T10 320	320	32		T10 1000	1000	100
T10 370	370	37		T10 1010	1010	101
T10 400	400	40		T10 1050	1050	105
T10 410	410	41		T10 1080	1080	108
T10 440	440	44		T10 1100	1100	110
T10 450	450	45		T10 1110	1110	111
T10 500	500	50		T10 1140	1140	114
T10 530	530	53		T10 1150	1150	115
T10 550	550	55		T10 1200	1200	120
T10 560	560	56		T10 1210	1210	121
T10 600	600	60		T10 1240	1240	124
T10 610	610	61		T10 1250	1250	125
T10 630	630	63		T10 1300	1300	130
T10 650	650	65		T10 1320	1320	132
T10 660	660	66		T10 1350	1350	135
T10 690	690	69		T10 1390	1390	139
T10 700	700	70		T10 1400	1400	140
T10 720	720	72		T10 1420	1420	142
T10 750	750	75		T10 1440	1440	144
T10 780	780	78		T10 1450	1450	145
T10 800	800	80		T10 1460	1460	146
T10 810	810	81		T10 1500	1500	150
T10 840	840	84		T10 1560	1560	156
T10 850	850	85		T10 1600	1600	160
T10 880	880	88		T10 1610	1610	161
T10 890	890	89		T10 1700	1700	170
T10 900	900	90		T10 1750	1750	175
T10 910	910	91		T10 1780	1780	178
T10 920	920	92		T10 1800	1800	180
T10 950	950	95		T10 1880	1880	188
T10 960	960	96		T10 1960	1960	196
T10 970	970	97		T10 2250	2250	225
Standardní šířky řemenů:			16 mm	25 mm	32 mm	50 mm

Příklad označení - vzor objednávky: Řemen ozubený **50 T10 1560** OPTIBELT

## Technical data

ROTEX® sizes for all designs and materials	Max. Speed [1/min]		Twisting angle with		Torque [Nm]			Damping power [W] with +30 °C P <sub>KW</sub>	Torsion spring stiffness C <sub>dyn</sub> [ Nm / rad ]			
	30 m/s	40 m/s	T <sub>KN</sub> φ	T <sub>K max</sub> φ	Rated T <sub>KN</sub>	Max T <sub>K max</sub>	Vibratory T <sub>KW</sub>		1,00 T <sub>KN</sub>	0,75 T <sub>KN</sub>	0,50 T <sub>KN</sub>	0,25 T <sub>KN</sub>
<b>Spider from polyurethane 92 Shore A; colour yellow</b>												
14	19000	–	6,4°	10°	7,5	15	2,0	–	0,38x10 <sup>3</sup>	0,31x10 <sup>3</sup>	0,24x10 <sup>3</sup>	0,14x10 <sup>3</sup>
19	14000	19000			10	20	2,6	4,8	1,28x10 <sup>3</sup>	1,05x10 <sup>3</sup>	0,80x10 <sup>3</sup>	0,47x10 <sup>3</sup>
24	10600	14000			35	70	9,1	6,6	4,86x10 <sup>3</sup>	3,98x10 <sup>3</sup>	3,01x10 <sup>3</sup>	1,79x10 <sup>3</sup>
28	8500	11800			95	190	25	8,4	10,90x10 <sup>3</sup>	8,94x10 <sup>3</sup>	6,76x10 <sup>3</sup>	4,01x10 <sup>3</sup>
38	7100	9500			190	380	49	10,2	21,05x10 <sup>3</sup>	17,26x10 <sup>3</sup>	13,05x10 <sup>3</sup>	7,74x10 <sup>3</sup>
42	6000	8000			265	530	69	12,0	23,74x10 <sup>3</sup>	19,47x10 <sup>3</sup>	14,72x10 <sup>3</sup>	8,73x10 <sup>3</sup>
48	5600	7100			310	620	81	13,8	36,70x10 <sup>3</sup>	30,09x10 <sup>3</sup>	22,75x10 <sup>3</sup>	13,49x10 <sup>3</sup>
55	4750	6300			410	820	107	15,6	50,72x10 <sup>3</sup>	41,59x10 <sup>3</sup>	31,45x10 <sup>3</sup>	18,64x10 <sup>3</sup>
65	4250	5600	3,2°	5°	625	1250	163	18,0	97,13x10 <sup>3</sup>	79,65x10 <sup>3</sup>	60,22x10 <sup>3</sup>	35,70x10 <sup>3</sup>
75	3550	4750			1280	2560	333	21,6	113,32x10 <sup>3</sup>	92,92x10 <sup>3</sup>	70,26x10 <sup>3</sup>	41,65x10 <sup>3</sup>
90	2800	3750			2400	4800	624	30,0	190,09x10 <sup>3</sup>	155,87x10 <sup>3</sup>	117,86x10 <sup>3</sup>	69,86x10 <sup>3</sup>
100	2500	3350			3300	6600	858	36,0	253,08x10 <sup>3</sup>	207,53x10 <sup>3</sup>	156,91x10 <sup>3</sup>	93,01x10 <sup>3</sup>
110	2240	3000			4800	9600	1248	42,0	311,61x10 <sup>3</sup>	255,52x10 <sup>3</sup>	193,20x10 <sup>3</sup>	114,52x10 <sup>3</sup>
125	2000	2650			6650	13300	1729	48,0	474,86x10 <sup>3</sup>	389,39x10 <sup>3</sup>	294,41x10 <sup>3</sup>	174,51x10 <sup>3</sup>
140	1800	2360			8550	17100	2223	54,6	660,49x10 <sup>3</sup>	541,60x10 <sup>3</sup>	409,50x10 <sup>3</sup>	242,73x10 <sup>3</sup>
160	1500	2000			12800	25600	3328	75,0	890,36x10 <sup>3</sup>	730,10x10 <sup>3</sup>	552,03x10 <sup>3</sup>	327,21x10 <sup>3</sup>
180	1400	1800			18650	37300	4849	78,0	2568,56x10 <sup>3</sup>	2106,22x10 <sup>3</sup>	1592,51x10 <sup>3</sup>	943,95x10 <sup>3</sup>
<b>Spider from polyurethane 98 Shore A; from size 65 95 Shore A; colour red</b>												
14	19000	–	6,4°	10°	12,5	25	3,3	–	0,56x10 <sup>3</sup>	0,46x10 <sup>3</sup>	0,35x10 <sup>3</sup>	0,21x10 <sup>3</sup>
19	14000	19000			17	34	4,4	4,8	2,92x10 <sup>3</sup>	2,39x10 <sup>3</sup>	1,81x10 <sup>3</sup>	1,07x10 <sup>3</sup>
24	10600	14000			60	120	16	6,6	9,93x10 <sup>3</sup>	8,14x10 <sup>3</sup>	6,16x10 <sup>3</sup>	3,65x10 <sup>3</sup>
28	8500	11800			160	320	42	8,4	26,77x10 <sup>3</sup>	21,95x10 <sup>3</sup>	16,60x10 <sup>3</sup>	9,84x10 <sup>3</sup>
38	7100	9500			325	650	85	10,2	48,57x10 <sup>3</sup>	39,83x10 <sup>3</sup>	30,11x10 <sup>3</sup>	17,85x10 <sup>3</sup>
42	6000	8000			450	900	117	12,0	54,50x10 <sup>3</sup>	44,69x10 <sup>3</sup>	33,79x10 <sup>3</sup>	20,03x10 <sup>3</sup>
48	5600	7100			525	1050	137	13,8	65,29x10 <sup>3</sup>	53,54x10 <sup>3</sup>	40,48x10 <sup>3</sup>	24,00x10 <sup>3</sup>
55	4750	6300			685	1370	178	15,6	94,97x10 <sup>3</sup>	77,88x10 <sup>3</sup>	58,88x10 <sup>3</sup>	34,90x10 <sup>3</sup>
65	4250	5600	3,2°	5°	940	1880	244	18,0	129,51x10 <sup>3</sup>	106,20x10 <sup>3</sup>	80,30x10 <sup>3</sup>	47,60x10 <sup>3</sup>
75	3550	4750			1920	3840	499	21,6	197,50x10 <sup>3</sup>	161,95x10 <sup>3</sup>	122,45x10 <sup>3</sup>	72,58x10 <sup>3</sup>
90	2800	3750			3600	7200	936	30,0	312,20x10 <sup>3</sup>	256,00x10 <sup>3</sup>	193,56x10 <sup>3</sup>	114,73x10 <sup>3</sup>
100	2500	3350			4950	9900	1287	36,0	383,26x10 <sup>3</sup>	314,27x10 <sup>3</sup>	237,62x10 <sup>3</sup>	140,85x10 <sup>3</sup>
110	2240	3000			7200	14400	1872	42,0	690,06x10 <sup>3</sup>	565,85x10 <sup>3</sup>	427,84x10 <sup>3</sup>	253,60x10 <sup>3</sup>
125	2000	2650			10000	20000	2600	48,0	1343,64x10 <sup>3</sup>	1101,79x10 <sup>3</sup>	833,06x10 <sup>3</sup>	493,79x10 <sup>3</sup>
140	1800	2360			12800	25600	3328	54,6	1424,58x10 <sup>3</sup>	1168,16x10 <sup>3</sup>	883,24x10 <sup>3</sup>	523,54x10 <sup>3</sup>
160	1500	2000			19200	38400	4992	75,0	2482,23x10 <sup>3</sup>	2035,43x10 <sup>3</sup>	1538,98x10 <sup>3</sup>	912,22x10 <sup>3</sup>
180	1400	1800			28000	56000	7280	78,0	3561,45x10 <sup>3</sup>	2920,40x10 <sup>3</sup>	2208,10x10 <sup>3</sup>	1308,84x10 <sup>3</sup>
<b>Spider from polyurethane 64 Shore D-F; colour natural white with green tooth marking <sup>1)</sup></b>												
14	19000	–	4,5°	7,0°	16	32	4,2	9,0	0,76x10 <sup>3</sup>	0,62x10 <sup>3</sup>	0,47x10 <sup>3</sup>	0,28x10 <sup>3</sup>
19	14000	19000			21	42	5,5	7,2	5,35x10 <sup>3</sup>	4,39x10 <sup>3</sup>	3,32x10 <sup>3</sup>	1,97x10 <sup>3</sup>
24	10600	14000			75	150	19,5	9,9	15,11x10 <sup>3</sup>	12,39x10 <sup>3</sup>	9,37x10 <sup>3</sup>	5,55x10 <sup>3</sup>
28	8500	11800			200	400	52	12,6	27,52x10 <sup>3</sup>	22,57x10 <sup>3</sup>	17,06x10 <sup>3</sup>	10,12x10 <sup>3</sup>
38	7100	9500			405	810	105	15,3	70,15x10 <sup>3</sup>	57,52x10 <sup>3</sup>	43,49x10 <sup>3</sup>	25,78x10 <sup>3</sup>
42	6000	8000			560	1120	146	18,0	79,86x10 <sup>3</sup>	65,49x10 <sup>3</sup>	49,52x10 <sup>3</sup>	29,35x10 <sup>3</sup>
48	5600	7100			655	1310	170	20,7	95,51x10 <sup>3</sup>	78,32x10 <sup>3</sup>	59,22x10 <sup>3</sup>	35,10x10 <sup>3</sup>
55	4750	6300			825	1650	215	23,4	107,92x10 <sup>3</sup>	88,50x10 <sup>3</sup>	66,91x10 <sup>3</sup>	39,66x10 <sup>3</sup>
65	4250	5600	2,5°	3,6°	1175	2350	306	27,0	151,09x10 <sup>3</sup>	123,90x10 <sup>3</sup>	93,68x10 <sup>3</sup>	55,53x10 <sup>3</sup>
75	3550	4750			2400	4800	624	32,4	248,22x10 <sup>3</sup>	203,54x10 <sup>3</sup>	153,90x10 <sup>3</sup>	91,22x10 <sup>3</sup>
90	2800	3750			4500	9000	1170	45,0	674,52x10 <sup>3</sup>	553,11x10 <sup>3</sup>	418,20x10 <sup>3</sup>	247,89x10 <sup>3</sup>
100	2500	3350			6185	12370	1608	54,0	861,17x10 <sup>3</sup>	706,16x10 <sup>3</sup>	533,93x10 <sup>3</sup>	316,48x10 <sup>3</sup>
110	2240	3000			9000	18000	2340	63,0	1138,59x10 <sup>3</sup>	933,64x10 <sup>3</sup>	705,92x10 <sup>3</sup>	418,43x10 <sup>3</sup>
125	2000	2650			12500	25000	3250	72,0	1435,38x10 <sup>3</sup>	1177,01x10 <sup>3</sup>	889,93x10 <sup>3</sup>	527,50x10 <sup>3</sup>
140	1800	2360			16000	32000	4160	81,9	1780,73x10 <sup>3</sup>	1460,20x10 <sup>3</sup>	1104,05x10 <sup>3</sup>	654,42x10 <sup>3</sup>
160	1500	2000			24000	48000	6240	112,5	3075,80x10 <sup>3</sup>	2522,16x10 <sup>3</sup>	1907,00x10 <sup>3</sup>	1130,36x10 <sup>3</sup>
180	1400	1800			35000	70000	9100	117,0	6011,30x10 <sup>3</sup>	4929,27x10 <sup>3</sup>	3727,01x10 <sup>3</sup>	2209,15x10 <sup>3</sup>

Unless explicitly specified in your order, we will supply spiders with Shore hardness 92 A.

For peripheral speeds exceeding V = 30 m/sec., we would recommend only steel or nodular iron, respectively. Dynamic balancing required. 1) Hub material: EN-GJS-400-15 (GGG 40); steel

Spider from polyurethane	92 Shore A	95/98 Shore A	64 Shore D-F
Relative Damping Ψ [-]	0,80	0,80	0,75
Resonance factor V <sub>R</sub> [-]	7,90	7,90	8,50