

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

## NÁVRH A KONSTRUKCE PODVOZKU VLASTNÍHO ROBOTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN JANEČKA

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

# **NÁVRH A KONSTRUKCE PODVOZKU VLASTNÍHO ROBOTA**

DESIGN AND CONSTRUCTION OF YOUR OWN ROBOT CHASSIS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. JAN JANEČKA**

**VEDOUČÍ PRÁCE** Doc. Ing. Dipl.-Ing. MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2012

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá studií robotických podvozků a jejich vlastnostmi. V práci je dále kapitola zabývající se vybranými druhy senzorů. Pro tyto senzory je zjednodušeně naznačen jejich princip. Dále je zde popsán návrh vlastního podvozku. Tento podvozek je zrealizován a jeho výsledné plány a výrobní schémata jsou podrobně popsány. Podrobně je popsáno softwarové vybavení podvozku, který je díky tomuto schopen se vyhýbat překážkám. V poslední části se práce zabývá jednotlivými testy podvozku v různých situacích a jsou zmíněny maximální limity, kterých je schopen podvozek dosáhnout, nebo naopak minimální požadavky tohoto podvozku.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the study of different robotic chassis types, their properties and selected types of sensors, including their characteristics. Furthermore, the design and implementation of my own robotic chassis is presented. This robotic chassis was realized and all plans and production drawings are presented in my thesis. The software (firmware) for the control of my robotic chassis, including obstacle avoidance, is described in detail. The following chapter deals with tests of my chassis in various situations. The maximal and minimal limits of the realized robotic chassis are discussed in the final chapter.

## **Klíčová slova**

Robotický podvozek, senzory, motory, návrh, PWM, H-můstek, mikrokontoler.

## **Keywords**

The robot chassis, sensors, motors, design, PWM, H-bridge, microcontoler.

## **Citace**

Jan Janečka: Návrh a konstrukce podvozku vlastního robota, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

# Návrh a konstrukce podvozku vlastního robota

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tento semestrální projekt vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Dipl.-Ing. Martina Drahanského Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jan Janečka  
20. května 2012

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu za rady a podnětné názory při tvorbě této práce. Dále pak panu Ing. Jiřímu Janečkovi za pomoc při výrobě a finanční úhradě nosného rámu podvozku.

© Jan Janečka, 2012.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2 Teorie</b>	<b>4</b>
2.1 Typy podvozků . . . . .	4
2.1.1 Diferenciální podvozek . . . . .	4
2.1.2 Synchronní podvozek . . . . .	4
2.1.3 Ackermanův podvozek . . . . .	5
2.1.4 Podvozek se všesměrovými koly . . . . .	6
2.1.5 Tříkolový podvozek . . . . .	6
2.1.6 Pásový podvozek . . . . .	7
2.2 Motory . . . . .	8
2.2.1 Stejnoseměrný motor . . . . .	8
2.2.2 Rotační krokový motor . . . . .	9
2.3 Senzory . . . . .	10
2.3.1 Ultrazvukové dálkoměry . . . . .	10
2.3.2 Laserové dálkoměry . . . . .	12
2.3.3 Lidary . . . . .	12
2.3.4 IR čidla . . . . .	13
2.3.5 Kamery . . . . .	14
2.4 Baterie . . . . .	15
2.4.1 Palivové články . . . . .	15
2.4.2 Olověné baterie . . . . .	15
2.4.3 NiCd články . . . . .	17
2.4.4 NiMH články . . . . .	17
2.4.5 Lithiové články . . . . .	17
<b>3 Konstrukční návrh podvozku</b>	<b>18</b>
3.1 Typ podvozku . . . . .	18
3.2 Pohon podvozku . . . . .	18
3.3 Senzory . . . . .	18
3.3.1 Laserový dálkoměr . . . . .	19
3.3.2 IR čidlo . . . . .	19
3.4 Řízení . . . . .	19
<b>4 Konstrukce podvozku</b>	<b>21</b>
4.1 Nosný rám a pásy . . . . .	21
4.2 Baterie . . . . .	22
4.3 IR čidla . . . . .	23

4.4	H-můstky . . . . .	25
4.5	Řídicí elektronika . . . . .	27
4.5.1	Hlavní mikrokontroler . . . . .	27
4.5.2	Pomocný mikrokontroler . . . . .	28
4.6	Vlastní podvozek . . . . .	28
4.7	Řízení spotřeby . . . . .	29
4.8	Metriky podvozku . . . . .	30
4.9	Dálkové ovládání . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Firmware pro autonomní (inteligentní) řízení</b>	<b>32</b>
5.1	Popis chování . . . . .	32
5.1.1	Režim USER . . . . .	32
5.1.2	Režim SYSTEM . . . . .	32
5.2	Popis implementace . . . . .	33
5.2.1	Hlavní mikrokontroler . . . . .	33
5.2.2	Pomocný mikrokontroler . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Testování podvozku</b>	<b>39</b>
6.1	Vlastnosti podvozku . . . . .	39
6.2	Schopnost vyhýbat se překážkám . . . . .	39
6.2.1	Pravouhlé překážky . . . . .	40
6.2.2	Válcovité překážky . . . . .	42
6.2.3	Tenké, úzké překážky . . . . .	43
6.2.4	Zhodnocení testů . . . . .	44
6.3	Možnosti řešení problémů . . . . .	44
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>45</b>
7.1	Dosažené výsledky . . . . .	45
7.2	Problémy při vývoji . . . . .	45
7.3	Další možnosti vývoje . . . . .	46
7.4	Osobní přínos . . . . .	46
<b>A</b>	<b>Obsah CD</b>	<b>49</b>
<b>B</b>	<b>Výkresy a schémata</b>	<b>50</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Úkolem této práce bylo nastudovat informace týkající se návrhů podvozků robotů. Touto problematikou se budeme zabývat později v kapitole 2.1 A dále pak navrhnout jednoduchý podvozek, jehož velikost bude cca 30cm × 20cm. Navržený podvozek je následně zrealizován a je osazen laserovým dálkoměrem a IR čidly. Tyto senzory spolu s vlastním firmwarem umožňují tomuto podvozku vyhýbat se překážkám. Popisem jednotlivých sensorů se zabývá kapitola 2.3 a vlastní návrh podvozku je popsán v kapitole 3. V kapitole 2 jsou dále popsány jednotlivé typy podvozků, možnosti jejich pohonů a napájení. Detailní popis konstrukčních plánů a postupu výroby je v kapitole 4. Popsáním firmwaru podvozku se pak zabývá kapitola 5. V kapitole 6 se práce věnuje testování vytvořeného podvozku na různých překážkách. V závěru této práce je provedeno zhodnocení dosažených výsledků.

Motivací pro tuto práci bylo vytvořit si vlastní funkční podvozek, který by bylo možné dále rozšiřovat. Jakmile by podvozek dosáhl patřičné vybavenosti a schopností, chtěl bych se s ním zúčastnit některých amatérských soutěží.

# Kapitola 2

## Teorie

V této kapitole se seznámíme se základními typy a pohony podvozků a jejich funkčností. Dále budou probírány senzory, kterými by výsledný podvozek mohl být osazen. V poslední části si potom probereme možnosti napájení robotů a jim podobných mobilních zařízení.

### 2.1 Typy podvozků

V následující části budou popsány jednotlivé typy podvozků, jejich výhody a nevýhody. Informace obsažené v této části kapitoly jsou čerpány z [2] a [3].

#### 2.1.1 Diferenciální podvozek

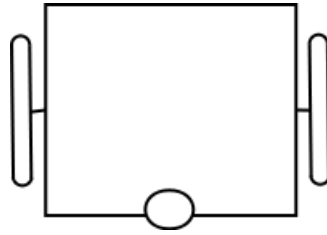
Diferenciální podvozek je tvořen dvěma hnanými koly, která jsou řízena nezávisle na sobě. Nejčastěji jsou používána kola s jedním stupněm volnosti, to znamená, že osa kola, kolem které se kolo otáčí, je paralelní s terénem. K pohonu těchto kol se používají stejnosměrné motory s enkodéry nebo krokové motory. Kromě hnacích kol podvozek potřebuje ještě opěrný bod, který je tvořen třecím elementem, nebo kolem se dvěma stupni volnosti. To znamená, že k paralelní ose je přidána další osa, nejčastěji kolmá k povrchu (kolo je potom podobné například kolečku u kolečkové židle). Podvozek je potom řízen (ovládán) rozdílnými (diferenciálními) rychlostmi jednotlivých kol.

Mezi výhody toho podvozku patří jeho cena díky jednoduchosti. Také je používán pro svou relativně velkou přesnost v odometrii pro navigaci robota. Dále jsou tyto podvozky známy svou vysokou manévrovatelností, jsou schopny se otočit na místě. Aby tato vlastnost byla ještě více posílena, mívají roboti často válcovitý tvar, což eliminuje jejich uváznutí v rozích. Tyto podvozky se nejčastěji využívají pro domácí účely, protože nejsou schopny překonávat překážky. Problémy jim působí i zdánlivě nízký práh u dveří. Proto by jejich nasazení v terénu bylo značně obtížné.

#### 2.1.2 Synchronní podvozek

Synchronní podvozky jsou tvořeny nejčastěji třemi koly se dvěma stupni volnosti. Rozmístění kol na podvozku tvoří nejčastěji rovnostranný trojúhelník a robot celkově je designován do tvaru válce. Všechna kola robota se otáčejí vždy stejným směrem a stejnou rychlostí. Toho lze dosáhnout pomocí sensorické sítě, ale nevýhodou potom je nutnost dvou motorů na každé kolo. Proto se dost často volí raději mechanické uspořádání. Konstrukce mechanických rozvodů je sice složitější, ale pro pohon libovolného počtu kol nám vystačí



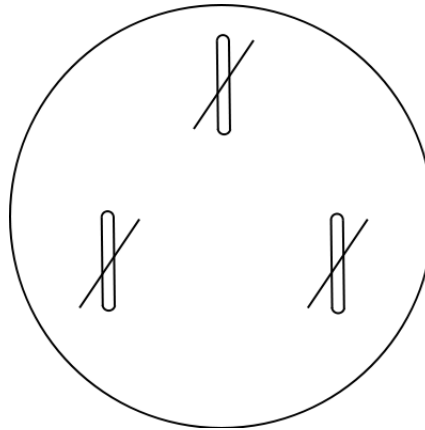


Obrázek 2.1: Schéma diferenciálního podvozku.

pouze dva motory.

Tento typ podvozku vyniká opět snadnou odometrií, protože všechna kola jsou vždy stejně natočená a urazí stejnou dráhu.

Výhody a nevýhody podvozku jsou obdobné jako u diferenciálního modelu. Vyniká snadnou manévrovatelností a stabilitou. Má problémy na nerovných površích a s překonáváním zdánlivě malých překážek. Proto i tento model je používán spíše v uzavřených prostorách než ve volném terénu.

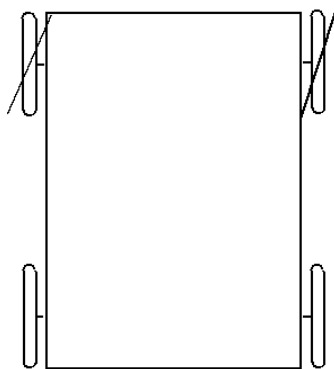


Obrázek 2.2: Schéma synchronního podvozku.

### 2.1.3 Ackermanův podvozek

Ackermanův podvozek je obdobný podvozku, který je znám u automobilů. V robotice se však nejvíce využívá uspořádání kol takové, kdy přední kola je možno natáčet a zadní kola jsou hnaná. Směr dráhy pohybu je tedy udáván natočením předních kol. Natočení každého kola je jiné, protože při zatáčení opisuje každé kolo jinou dráhu. Je však také možno natáčet obě kola stejně, v tomto případě dochází k prokluzu kol a ovládání je potom dosti nepřesné. Toto se projevuje zejména při vyšších rychlostech.

Podvozky tohoto typu se nejčastěji využívají pro roboty nesoucí těžší zátěž a jejich pracovní prostředí je tvořeno cestami s menšími překážkami. Pohybují se tedy v oteřeném prostoru, kde se jejich nevýhoda, a to nemožnost otočit se na místě, neprojevuje příliš na jejich manévrovatelnosti.



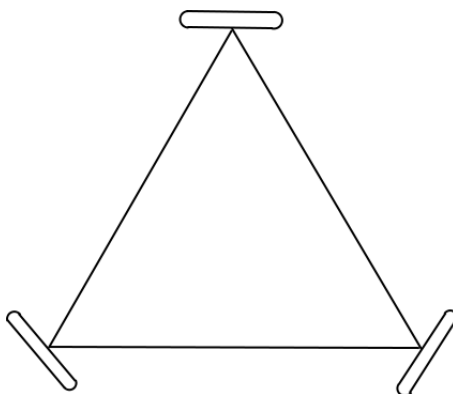
Obrázek 2.3: Schéma Ackermanova podvozku.

#### 2.1.4 Podvozek se všesměrovými koly

Takovýto podvozek není osazen běžnými koly, ale speciálními koly. Tato kola mají po obvodu válečky, které kolu umožňují i pohyb kolmý k běžnému směru. Kola jsou tak schopna se pohybovat do boku. Každé takovéto kolo je potom poháněno jedním motorem, je tedy potřeba alespoň tři motory pro jeden podvozek. Správné navržení podvozku umožňuje pohyb kterýmkoliv směrem anebo rotaci na místě, případně lze tyto pohyby kombinovat.

U tohoto typu podvozku je prakticky nemožné použít odometrii, protože jeho pohyb je založen na prokluzu jednotlivých kol. Také nasazení těchto podvozků v terénu je velmi problematické, protože nedokáží překonat větší překážky než je poloměr válečku, který je umístěn na obvodu všesměrového kola.

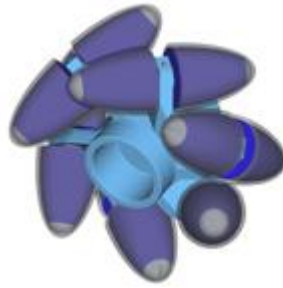
Tyto podvozky se nejčastěji využívají u manipulátorů, protože se mohou pohybovat kterýmkoliv směrem z výchozí pozice a není nutné natáčet celého robota.



Obrázek 2.4: Schéma podvozku se všesměrovými koly.

#### 2.1.5 Tříkolový podvozek

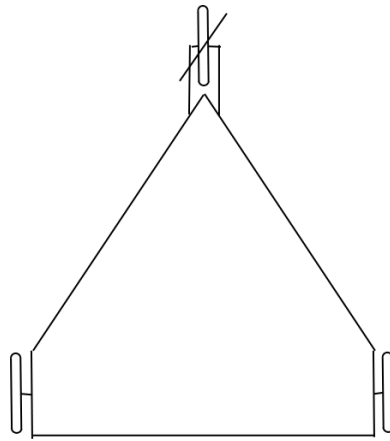
Tento typ má převážně zadní dvě kola poháněná motorem a přední kolo je motoricky natáčeno. Řízení podvozku je tedy snadné, hnací náprava je poháněna jedním motorem, který určuje rychlost pohybu. Přední kolo je natáčeno pomocí druhého motoru, pomocí něhož je udáván směr pohybu. Je zde také možno opět použít jednoduchou odometrii, jejíž chybovost s horším terémem narůstá.



Obrázek 2.5: Všesměrové kolo [10].

Výhodou tohoto podvozku je tedy možnost použití jej v horším terénu. Podvozky tohoto typu jsou schopny vézt i těžší zátěž.

Nevýhodou podvozku je nemožnost otočit se na místě, proto podvozek není příliš vhodný do místností, jelikož mu hrozí uváznutí v rozích.



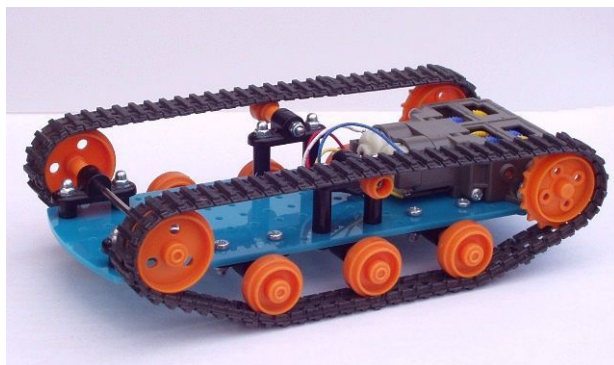
Obrázek 2.6: Schéma tříkolového podvozku.

### 2.1.6 Pásový podvozek

Pásový podvozek si je možno představit jako diferenciální podvozek alespoň co se týká kinematiky. Diferenční kola jsou rozšířena o pásy, které umožňují vyšší přilnavost k povrchu. Díky tomu, že pásy mají větší styčnou plochu s podložkou, mohou tyto podvozky překonávat daleko větší překážky a zvládat náročnější terén oproti kolovým podvozkům.

Avšak při otáčení se spoléhá na prokluz pásů. Proto není možno také využít klasické odometry k určování ujeté vzdálenosti. Zatáčení podvozku díky využívání prokluzu je také náročné na spotřebu elektrické energie. Může dosahovat i vyšších hodnot než jízda do strmého svahu. Elektronika řídicí motory musí být proto dimenzovaná na vyšší zátěž.

Někdy se místo pásů využívají řady kol umístěných takřka vedle sebe a spojených nejčastěji řetězem. Takováto sestava kol má obdobné vlastnosti jako pásy.



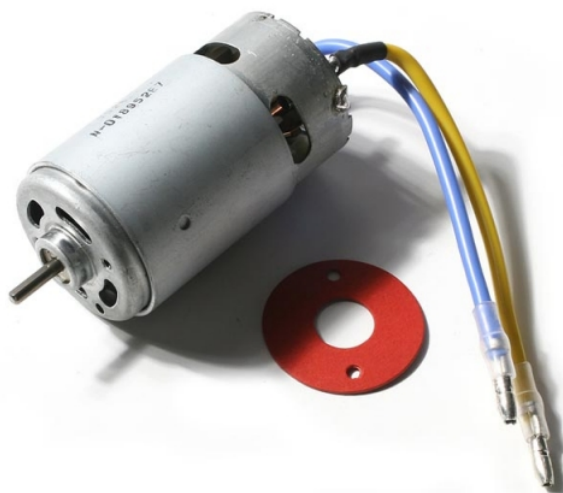
Obrázek 2.7: Ukázka pásového podvozku [11].

## 2.2 Motory

V následující kapitole budou popsány dva typy motorů spolu s jejich principy. Bude také zmíněn způsob řízení těchto motorů.

### 2.2.1 Stejnospěrný motor

Tento typ motoru je nejpoužívanějším typem motoru k pohonu podvozků robotů. Jeho největší výhodou je poměr hmotnosti ku výkonu. Je však zdrojem rušivých signálů díky komutátoru. A není bezúdržbovým článkem. Tyto motory pracují převážně na vysokých otáčkách a s nízkým momentem. Toto je pro pohon robota velmi nevhodné, avšak tento problém je řešitelný přidáním převodovky. Převodovky mohou být v jednom celku spolu s motorem a mohou být opatřeny enkodéry nebo snímači rychlosti otáček.



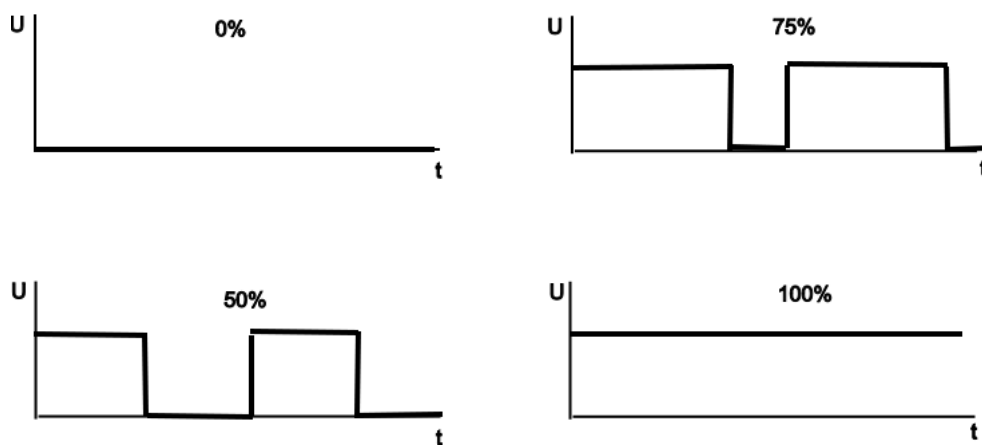
Obrázek 2.8: Stejnospěrný motor [12].

Motor se skládá ze statoru, rotoru a komutátoru. Stator může být tvořen permanentním magnetem anebo cívkou napájenou stejnosměrným napětím. Rotor je potom tvořen několika cívkami. Komutátor slouží k přivedení napětí na příslušnou cívku. Po přivedení napětí se

nezatížený motor roztočí a ustálí na jmenovitých otáčkách pro konkrétní motor. Směr toho otáčení je určen polaritou přivedeného napětí. Tyto elektromotory mají poměrně velkou účinnost, která dosahuje až 0,9.

Řízení počtu otáček se provádí postupným snižováním napětí, a tím dochází i ke snižování točivého momentu. Pokud bychom potřebovali snížit otáčky a zachovat moment, museli bychom využít vícestupňovou převodovku. Již zmiňované snižování napětí je prováděno pomocí pulsně šířkové modulace PWM (*Pulse Width Modulation*) [2].

PWM je periodické spínání a vypínání zdroje s nastavitelnou střídou. Střída udává dobu sepnutí zdroje vzhledem k periodě spínání. Ukázka takového signálu je na obrázku 2.9. Výhodou této metody je její jednoduchost, avšak je potřeba správně určit spínací frekvenci. Tato frekvence se odvíjí od cívek na motoru, zda jsou skutečně schopny reagovat na příslušné spínací frekvenci [2].



Obrázek 2.9: Ukázka PWM signálu.

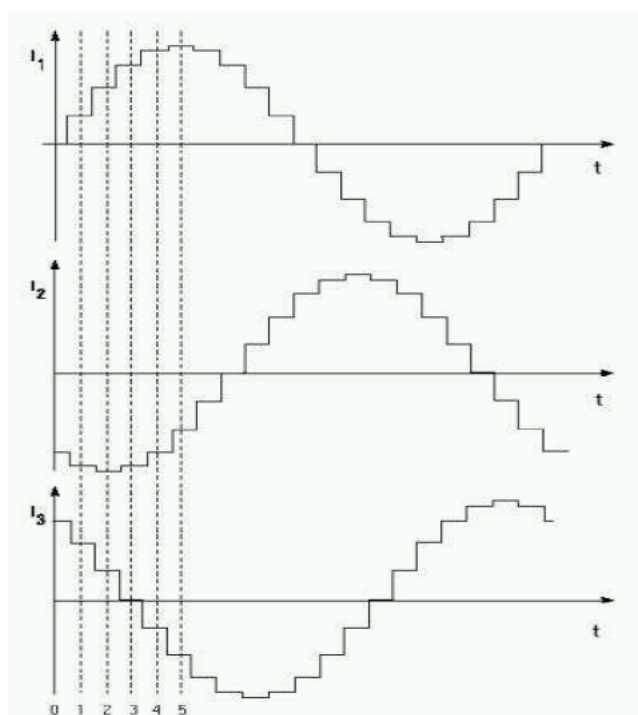
### 2.2.2 Rotační krokový motor

Největší uplatnění těchto motorů je při přesném otáčení ramen nebo posuvů, poloh podávacích pásů, dávkovačů, ale i jako samotných pohonů podvozků. Instalace těchto motorů je velmi snadná, nejsou totiž závislé na složitém nastavování regulátorů a jsou téměř bezúdržbové. Otáčení hřídele motoru se vykonává po krocích, každá otáčka hřídele se skládá z pevného počtu kroků, který je parametrem každého motoru. U těchto motorů se potom nebavíme o otáčkách motoru, ale počtu kroků za jednotku času. Další výhodou těchto motorů je využití maximálního momentu otáčení při každém kroku. Pro jemnější křokování se využívají vícefázové motory [5].



Obrázek 2.10: Rotační krokový motor a jeho části [5].

Řízení těchto vícefázových motorů se provádí pomocí vícefázového sinusového PWM signálu. Tento typ PWM signálu spočívá v přivádění různých úrovní proudů k cívkám rotoru, kde úrovně jednotlivých proudů leží na fázově posunutých sinusovkách. Rotor je potom schopen se otočit o jeden krok s maximálním točivým momentem. Ukázka takového třífázového proudového PWM je na obrázku 2.11. Na tomto obrázku je možno vidět fázově posunuté úrovně proudů, které jsou přivedeny k jednotlivým cívkám v průběhu otáčení motoru, tak aby bylo dosaženo již zmíněného maximálního točivého momentu [2].



Obrázek 2.11: PWM signály pro třífázový krokový motor [2].

## 2.3 Senzory

V této části kapitoly budou popsány vybrané typy senzorů spolu s jejich základními principy, výhodami a nevýhodami.

### 2.3.1 Ultrazvukové dálkoměry

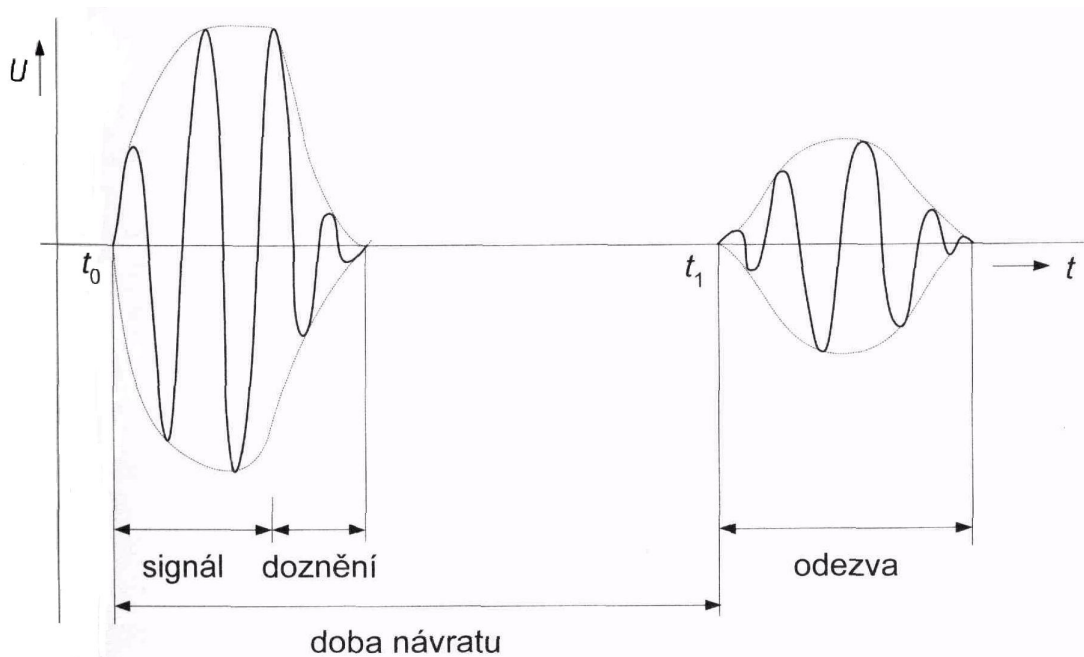
Základní princip ultrazvukového dálkoměru je postaven na principu sonaru. Princip sonaru je prostý. Vysílač vyšle zvukový signál do prostoru, který se odrazí od nejbližší překážky a vrací se zpět k přijímači, kde je následně zachycen. Vzdálenost je potom určena na základě doby mezi vysláním a přijetím signálu. Sensor se skládá z následujících částí, které pracují v uvedeném pořadí: snímač tvořený piezokeramickým měničem s budicími a přijímacími obvody, vyhodnocovacím obvodem, který je tvořen komparátorem v případě logického výstupu anebo zesilovačem v případě analogového výstupu.

Měníče zvuku jsou tvořeny piezokeramickými měniči. Piezokeramika má tu vlastnost, že po přiložení napětí mění svůj geometrický tvar. Piezokeramika spolu s kovem nebo sklem tvoří membránu. Tato membrána je potom buzena krátkodobě spínaným oscilátorem, který je

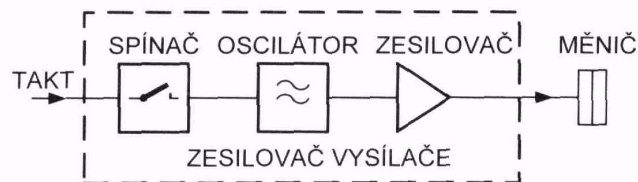
naladěný na rezonanční frekvenci.

Výhodou těchto senzorů je jejich nízká pořizovací cena. Maximální rozsah jsou až desítky metrů. Další výhodou je jejich rychlá odezva a poměrně velká oblast pokrytí. Jejich velikost a s ní spojená hmotnost je velmi malá.

Nevýhody senzorů souvisí s jejich činností. Především systémy s jednou jednotkou tvořící vysílač i přijímač. Vysílač po vyslání signálu musí dokmitat než bude schopen přijmout odražený signál. Této době se říká *mrtvý čas* [1]. Mezi další nevýhody patří přeslechy. K nim dochází v prostředích, kde je více zařízení se senzory na stejné frekvenci a nebo pokud samotné zařízení obsahuje více stejných senzorů. Problém spočívá v odražení signálu nebo několikanásobném odražení a přijetím přijímačem jiného senzoru. Výsledná vzdálenost na výstupu takového senzoru je potom chybná. Ke zkrácení signálu dochází při dopadu signálu na plochu, která není kolmá k senzoru (ideální případ). Naměřená vzdálenost je potom kratší než ve skutečnosti [1].



Obrázek 2.12: Zjednodušený časový průběh budícího napětí jednosystémového měniče [1].

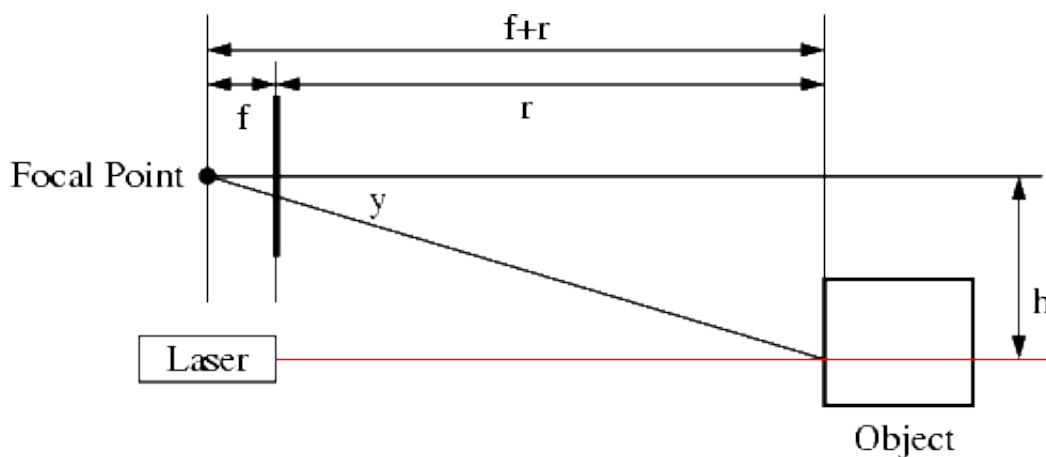


Obrázek 2.13: Blokové schéma čidla [1].

### 2.3.2 Laserové dálkoměry

Laser je z fyzikálního hlediska kvantově elektronický zesilovač elektromagnetického záření nejčastěji v oblasti viditelného světelného spektra a přilehlých vlnových délek. Laser je založen na stimulované emisi fotonů v aktivním prostředí. Za normálních podmínek se většina atomů, iontů nebo molekul, které tvoří aktivní prostředí laseru, nachází v nejnižším energetickém stavu. Jsou-li však tyto částice excitovány do vyšších energetických stavů vnějším zdrojem energie (intenzivní světelné záblesky, elektrický výboj), budou při přechodu do původního energetického stavu vyzařovat nekoherentní světelné záření. Tento jev se odehrává v laserové polovodičové diodě. Při průchodu fotonu kolem excitované částice dojde k její stimulaci a vyzáření fotonu stejné vlnové délky a směru pohybu jako původní foton. Tak dochází k postupnému zvyšování toku fotonů, které vytvářejí velmi intenzivní, koherentní svazek. Měření vzdálenosti je založeno převážně na elektronickém způsobu měření a nebo na optickém (triangulace ze známé základny). Obecně funguje elektronický dálkoměr následovně:

Elektromagnetické vlnění vychází z vysílače, odráží se na koncovém bodě na odrazném systému a vrací se zpět do přijímače umístěného na počátku měřené délky. Vzdálenost přijímače a vysílače si označíme  $h$ . Tento princip je také známý pod pojmem triangulace a je zobrazen na obrázku 2.14. Paprsek dopadající na přijímač je směřován optickou soustavou, díky čemuž mají senzory daný svůj rozsah měřitelné vzdálenosti. Vzdálenost optické soustavy a samotného přijímače označíme  $f$ . Pokud je předmět příliš blízko nebo daleko je odražený paprsek směřován mimo přijímač. Výsledná vzdálenost je potom měřitelná na základě protékajícího proudu a nebo napětí na přijímači, toto záleží na typu dálkoměru. Vzdálenost senzoru a předmětu je označena  $r$  a dráha, kterou urazí odražený paprsek je označena  $y$ . Na základě znalostí těchto hodnot, jsme schopni vypočítat hledanou vzdálenost  $r$  [1].



Obrázek 2.14: Princip triangulace [5].

### 2.3.3 Lidary

Lidary jsou prakticky laserové dálkoměry umožňující prostorové nasnímaní scény. Zdroje laserového paprsku jsou laserové diody. Detektory jsou tvořeny fotodiodami citlivými na stejné spektrum jako vysílají laserové diody. Tyto fotodiody musí být velmi citlivé, protože světelná energie velmi rapidně klesá. Optická soustava zajišťuje koncentraci paprsků do úz-



kého bodu a souosost s detekčním systémem. Toto je nejčastěji zajištěno polopropustným hranolem, někdy i zrcadlem. Tento prvek optické soustavy je umístěn na mechanickém otočném prvku, což umožňuje směřování paprsku vždy pod jiným úhlem. Tímto je zajištěno snímání a takovéto snímání je mnohonásobně rychlejší. Nezbytnou součástí lidarů jsou hodiny. Tyto hodiny musí být velmi přesné, aby byly schopny správně změřit dobu mezi vysláním a přijetím paprsku. Tato vzdálenost je vypočítána na základě rychlosti šíření světla. Ze znalosti vyslaného směru paprsků a odvozené vzdálenosti jsme schopni odvodit přesnou polohu bodu. Pomocí takovýchto bodů je možno sestavit celou scénu nacházející se v zorném poli lidarů.

Lidary jsou výhodné zejména díky své přesnosti snímání bodů, která je podpořena také hustou sítí těchto bodů. Nevýhodou je nebezpečí poškození zraku při příliš krátkých vzdálenostech. Nutný je také dostatečný výpočetní výkon pro zpracování velkého množství dat. Tato data obsahují i nasnímané nepotřebné body, protože lidar snímá téměř vše.



Obrázek 2.15: Ukázka různých modelů lidarů [7].

### 2.3.4 IR čidla

IR čidla jsou senzory, které patří do kategorie optických sensorů. Pomocí těchto čidel jsme schopni detekovat přítomnost předmětu. Základními prvky těchto čidel jsou luminiscenční diody a fototranzistory. Základní vlastností používaných prvků je přeměna elektrického proudu na elektromagnetické vlnění (světlo) a obráceně. Pod pojmem světlo se rozumí elektromagnetické spektrum v infračervené oblasti.

Luminiscenční diody jsou v podstatě polovodičové prvky s jedním PN přechodem. Po přiložení napětí v propustném směru, a tím i proudu, dochází ke vstříkávání elektronů do oblasti P a děr do oblasti N. Při rekombinačním procesu se uvolňuje energie, která byla elektronu dodána, aby se vymanil z valenční vrstvy. Tato energie se uvolňuje ve formě tepla anebo ve formě světelných kvant - fotonů, typ uvolněné energie závisí na typu rekombinace. Při nepřímé rekombinaci se uvolňuje teplo, kdežto při přímé světlo. Z tohoto důvodu musí být diody vyrobeny z materiálu převážně s přímou rekombinací. Hlavním představitelem je GaAs (*Gallium Arsenide*) [1]. Světelné spektrum tohoto materiálu leží v infračervené oblasti. Spektrum u těchto diod není tvořeno pouze jednou spektrální čarou, ale vytváří přibližně Gaussovo rozdělení.

Fototranzistory jsou prakticky fotodiody s tranzistorem jako zesilovačem fotonového proudu. Fototranzistory jsou obdobně teplotně závislé jako diody, proto je vhodné tyto prvky používat současně, kdy dochází k teplotní kompenzaci a měření tak nejsou tolik nepřesná.

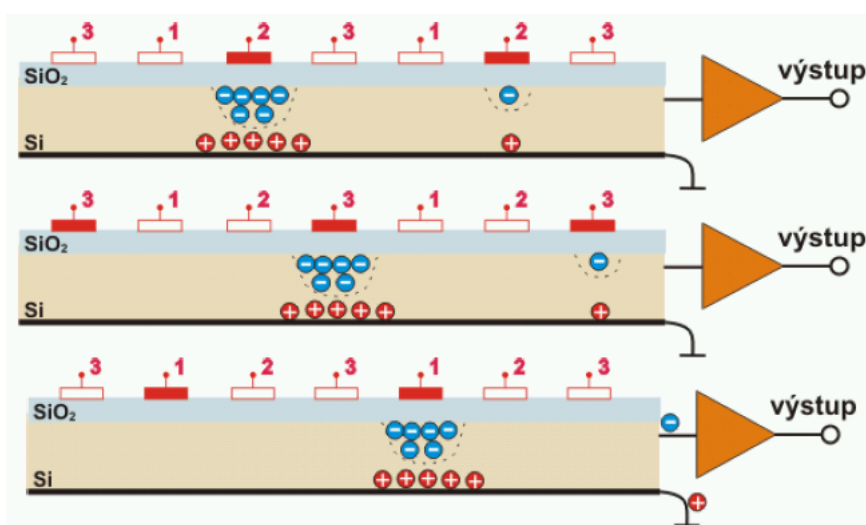
IR čidlo pracuje na principu reflexního senzoru. Světlo vyslané z diody se odrazí od nejbližšího předmětu, opět směrem k přijímači a část je odražena do okolního prostoru. Přijímač měří (snímá) světelný výkon a porovnává jej s nastavenou požadovanou hodnotou [1].



Obrázek 2.16: Ukázka IR čidel [11].

### 2.3.5 Kamery

Kamery jsou také dosti používanými senzory pro navádění. Ukázka různých typů kamer je zobrazena na obrázku 2.18. Pro snímání obrazu využívají CCD (*Charge Coupled Device*) [2] snímač, na který je světlo směřováno pomocí optické soustavy. CCD snímač využívá fyzikálního jevu, a to fotoefektu. Princip toho jevu je založen na schopnosti fotonu po nárazu do částice přemístit její elektron do excitovaného stavu. U polovodičů se takovýto elektron podílí na vodivosti a je možné ho odvést pomocí přiložených elektrod. Expozice obrazu a následné snímání na CCD snímači je zobrazeno na obrázku 2.17.



Obrázek 2.17: Snímání obrazu na CCD snímači [2].

Expozice se provádí přivedením kladného napětí na elektrody a nechá se působit světelné záření na snímač. Dopadající fotony excitují v polovodiči elektrony, které jsou následně přitahovány ke kladně nabitým elektrodám. Díry po elektronech jsou přitahovány naopak ke spodní elektrodě. Snímání obrazu je zahájeno po uzavření závěrky. Na elektrody 1,2,3 je přiveden třífázový hodinový signál. Střídání tohoto signálu umožňuje přesunovat shluky elektronů směrem k výstupnímu zesilovači. Tento zesilovač potom zesílí malý proud odpovídající nachytnému počtu elektronů a předá jej k dalšímu zpracování.



Obrázek 2.18: Ukázka různých typů kamer [7].

## 2.4 Baterie

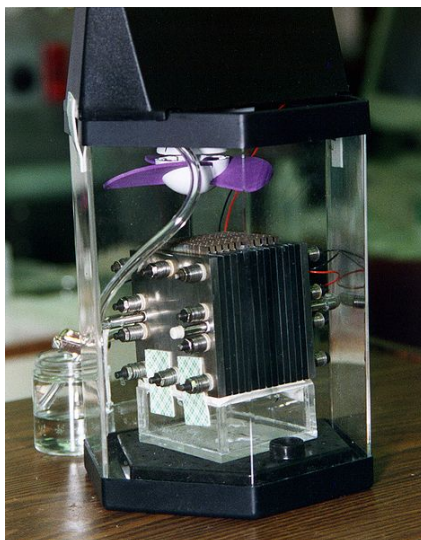
V následující části budou popsány nejčastěji používané baterie v robotice. Budou vyzvednuty jejich charakteristické vlastnosti a s tím spojené výhody a nevýhody. Nejdříve si ještě vysvětlíme základní veličiny, které se v souvislosti s bateriemi používají. Kapacita baterie je udávána v  $Ah$  (*ampér hodina*), případně  $mAh$ . Tato hodnota udává, kolik ampérů by mohla baterie dodávat po dobu jedné hodiny, než by došlo k jejímu vybití. Například baterie s kapacitou  $2000mAh$  je schopna dodávat  $2A$  po dobu jedné hodiny, nebo  $4A$  po dobu 30 minut a analogicky lze dopočítat čas pro jakoukoliv zátěž. Baterie však nedokážou dodávat neomezený proud. Maximální hodnota tohoto proudu je udávána v  $A$  nebo  $mA$ , což se dosti často zaměňuje s výše uvedenou veličinou. Nabíjecí baterie mají ještě takzvanou paměť. V tomto případě si pamatují jednotlivé nabíjecí cykly a při každém nabíjecím cyklu dochází k degradaci elektrolytického substrátu a jednotlivých elektrod. Toto má za následek snížení celkové kapacity baterie [16].

### 2.4.1 Palivové články

Palivové články jsou nově vznikajícím trendem. Tyto články zatím nejsou příliš rozšířené díky své poměrně vysoké pořizovací ceně. Ukázka jednoho z možných provedení článku je na obrázku 2.19. Palivové články přeměňují chemickou reakci paliva a oksylichovadla na elektrickou energii. Jako oksylichovadlo slouží vzdušný kyslík, který je přiveden na jednu z elektrod. Druhá elektroda je oddělena membránou a na tuto elektrodu je přivedeno potom palivo. Jako palivo se používá vodík nebo některé alkoholy a uhlovodíky. Kromě kyslíku mohou být jako oksylichovadla použity oxid chloričitý nebo chlór. Tyto články jsou pak schopny dodávat energii nepřetržitě dokud není přerušen přívod paliva nebo oksylichovadla. Každý článek tvořený dvěma elektrodami a membránou je schopen dodávat napětí  $0,5 - 0,95V$ . Vyšší napětí potom získáme zapojením několika článků do série. Proud, který je schopen tento článek dodávat závisí na celkové ploše všech článků. V dnešní době je průměrná hodnota rovna  $0,5W/cm^2$ . Tyto články jsou prozatím bezkonkurenční co se týče poměru hmotnosti/energie. [6].

### 2.4.2 Olověné baterie

Olověné baterie jsou jedny z nejstarších typů baterií do dnes používaných. Příklad takovéto baterie je na obrázku 2.20. Tyto baterie se stále používají díky své levné výrobě. Velkou nevýhodou těchto baterií je jejich hmotnost díky olovu, které obsahují. Z olova jsou vytvořeny jednotlivé elektrody, použité v těchto bateriích. Baterie pracují na principu elektrolýzy, tedy chemické reakce, která probíhá mezi elektrolytem a elektrodami. Kladné ionty jsou

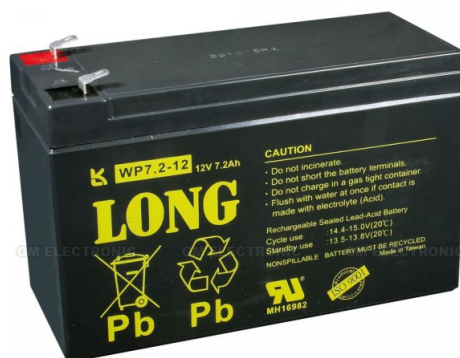


Obrázek 2.19: Palivový článek [6].

přitahovány k záporné elektrodě a záporné ionty jsou pak přitahovány ke kladné elektrodě a tím dochází ke vzniku elektrického napětí. Olověné baterie jsou třech typů:

- Wet cell - tzv. mokré neboli zaplavené články
- Gell cell - gelové články
- Absorbed Glass Matt (AGM)

Gell cell a AGM baterie jsou daleko dražší než obyčejné mokré články. Tyto baterie jsou však odlišné od klasických a to zejména tím, že nemají tendenci degradovat při opětovném dobíjení. Nevýhodou olověných baterií je jejich úplné vybití. Protože při tomto dochází k nenávratnému poškození elektrod vlivem oxidace. Proto je vhodné tyto baterie skladovat v nabitém stavu. Tyto baterie se vyrábějí nejčastěji v 6V a 12V provedení, kdy jejich kapacita dosahuje až několika desítek Ah [16].



Obrázek 2.20: Olověná baterie [17].

### 2.4.3 NiCd články

NiCd neboli Niklo Kadmiové baterie, jejichž jeden zástupce je uveden na obrázku 2.21 a), jsou velmi dobře cenově dostupné. Baterie vynikají schopností dodávat poměrně vysoké proudy, ale jejich životnost je omezená. Trpí totiž paměťovým efektem, kdy s každým jejich dobitím klesá jejich kapacita a tím i životnost. Baterie tohoto typu se vyrábí v provedení 1,2V až 1,5V a kapacitou, která je v rozmezí od stovek *mAh* až po jednotky *Ah*. Je také možné zakoupit set baterií, které jsou zalisované do jednoho pouzdra a napětí takovéto baterie je potom odvozeno od počtu dílčích článků, kterými je tvořen [16].



Obrázek 2.21: Ukázka různých typů baterií: a) NiCd (vlevo) b) NiMH (uprostřed) c) Lithiová (vpravo) [16].

### 2.4.4 NiMH články

NiMH je zkratka pro Nikl Metal Hybridové baterie. Tyto baterie dosahují vyšších kapacit než NiCd baterie, ale nedokáží dodávat tak vysoké proudy. Jeden ze zástupců těchto baterií je uveden na obrázku 2.21 b). Napěťové úrovně jsou stejné jako u předchozích baterií, ale kapacita baterie se pohybuje už v jednotkách *Ah*. Další výhodou těchto baterií je jejich možnost dobíjení i při jejich neuplném vybití, aniž bychom je tím poškodili. Hmotnost NiMH a NiCd baterií je velmi malá, proto jsou používány do menších zařízení, která mohou dosahovat omezených hmotností [16].

### 2.4.5 Lithiové články

Opět zde máme obrázek 2.21 c), který zobrazuje dalšího zástupce baterií, tentokrát se jedná o lithiový článek. Tyto baterie patří k nejmodernějším aktuálně používaným bateriím. Kombinují nejlepší vlastnosti NiCd a NiMH baterií. Jedná se především o vysokou kapacitu, která dosahuje až jednotek *Ah*. Stejně jako NiCd baterie dokážou i tyto baterie dodávat poměrně značný proud. Pokud se zaměříme na napěťové úrovně těchto baterií, vyrábějí se nejčastěji v provedení 3V až 3,7V. Tyto baterie bývají opět slučovány do kompaktních článků, kdy jejich napětí dosahuje vyšších úrovní. Tyto baterie dosahují, podobně jako předchozí dva typy baterií, poměrně nízké hmotnosti, dokonce i menší, vzhledem k jejich výkonu. Další výhodou těchto baterií je nulový paměťový efekt, takže je lze kdykoliv dobíjet. Cena těchto baterií je prozatím dosti vysoká ve srovnání s NiCd a NiMH bateriemi. Jsou však ekologičtější, ale o to více nebezpečné, protože lithium je snadno zapalitelný prvek a při kombinaci s vodou se uvolňuje značné množství vodíku. Proto nejsou tyto baterie vhodné pro roboty, pracující ve vysokých teplotách, či v hodně vlhkém prostředí [16].

## Kapitola 3

# Konstrukční návrh podvozku

V této kapitole budou popsány mnou zvolené parametry a součástky použité ve výsledném provedení podvozku.

### 3.1 Typ podvozku

Pro moji diplomovou práci jsem si zvolil pásový podvozek, který má dobré schopnosti práce i v horších podmínkách. Návrh tohoto podvozku je na obrázku 3.3. Konstrukce by měla být vyrobena z hliníku nebo duralu, aby podvozek nebyl příliš těžký. Kola pro pásy budou vyrobena z plastu. Samostatné pásy budou tvořeny ozubenými řemeny XL 300.

### 3.2 Pohon podvozku

Podvozek bude poháněn dvěma stejnosměrnými motory DS MOTOR WIK25GAD027. Tyto motory jsou opatřeny již převodovkou, takže nebude nutné konstruovat složité převody. Vstupní napájení motoru je 12VDC. Krouticí moment je 300mN.m při 95 RPM (RPM je počet otáček za minutu). Tyto motory jsou na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Motory pro vlastní podvozek DS MOTOR WIK25GAD027.

### 3.3 Senzory

Tato kapitola je zaměřena na senzory, kterými bude výsledný podvozek osazen. Dále je zde diskutováno rozmístění těchto senzorů.

### 3.3.1 Laserový dálkoměr

Hlavním senzorem pro měření přesné bodové vzdálenosti bude laserový dálkoměr Baumer OADM 250U1101/S14C. Vstupní napájení tohoto laseru je 15 - 28VDC, ale mám vyzkoušeno, že tento dálkoměr dokáže správně pracovat i při 12VDC. Laserový dálkoměr má pracovní rozsah 0.2m - 4m. Tuto hodnotu vrací v napětové úrovni 0VDC - 10VDC, která přímo úměrně odpovídá naměřené vzdálenosti. Pro kratší nebo naopak delší vzdálenost je návratová úroveň napětí 0VDC. Tento dálkoměr je na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Laserový dálkoměr Baumer OADM 250U1101/S14C.

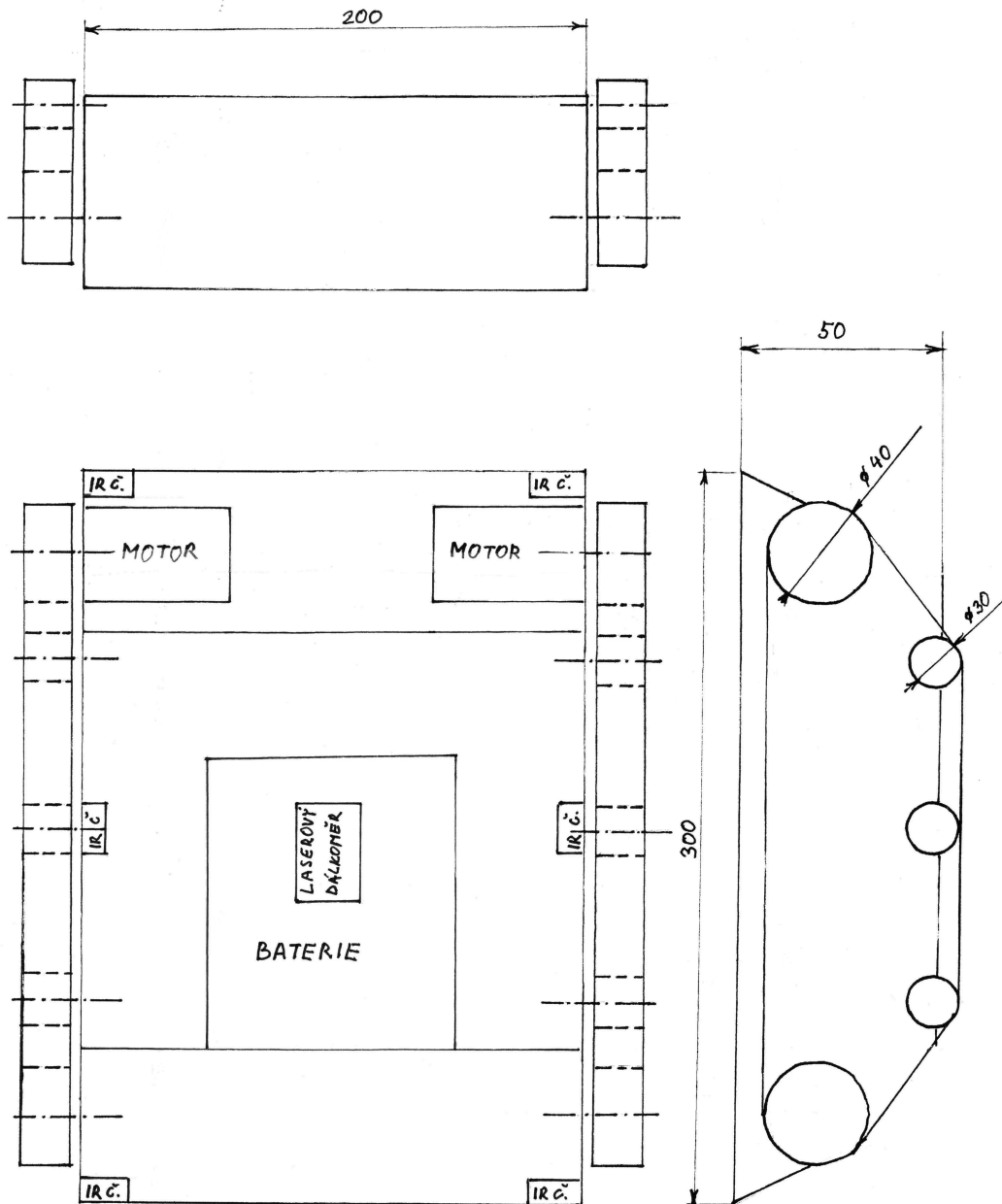
### 3.3.2 IR čidlo

IR čidla budou rozmístěna po obvodu podvozku za účelem včasné detekce nárazu. Podvozek by měl být schopen tedy včas zastavit a vyhnout se tak kolizi s překážkou. Čidla budou vyrobena z infračervených diod a fototranzistorů. Každé čidlo bude mít regulátor, umožňující manuální doladění vzdálenosti, na kterou bude čidlo reagovat nebezpečím nárazu. Tato čidla by měla být umístěna na rozích podvozku a jedno čidlo uprostřed nejdelší strany (strana s pásy).

## 3.4 Řízení

Hlavní řídicí jednotkou podvozku bude mikrokontroler ATmega8535. Tento mikrokontroler obsahuje všechny potřebné moduly. K řízení budou zapotřebí zejména dva PWM moduly, ADC převodník, akceptování externích přerušení. Pomocí PWM modulů budou řízeny oba motory, kdy každý signál bude řídit právě jeden motor. ADC převodník bude sloužit k převodu napětí z laserového dálkoměru. Externí přerušení budou potom vyvolávat IR čidla. Kromě tohoto hlavního mikrokontroleru bude zapotřebí další pomocné elektroniky. Do této skupiny potom patří odporové děliče, H-můstky pro řízení směru otáčení motorů a jejich napájení a další.

Inteligentní chování podvozku by mu mělo umožnit vyhnout se překážkám. Manévr pro vyhnout se překážce bude spuštěn, jakmile by mělo dojít k nárazu do překážky. Spuštění této operace bude spočívat v odpojení ovládaní podvozku od uživatele nebo nějakého vyššího řídicího systému, a následné objetí překážky s navrácením možnosti řízení. Podvozek by se měl dostat za překážku ve stejném směru, jako se k ní přiblížil (to znamená, jako kdyby projel skrz ni). Po tomto manévru bude opět navrženo řízení uživateli nebo vyššímu systému.



Obrázek 3.3: Návrh konstrukce podvozku.



## Kapitola 4

# Konstrukce podvozku

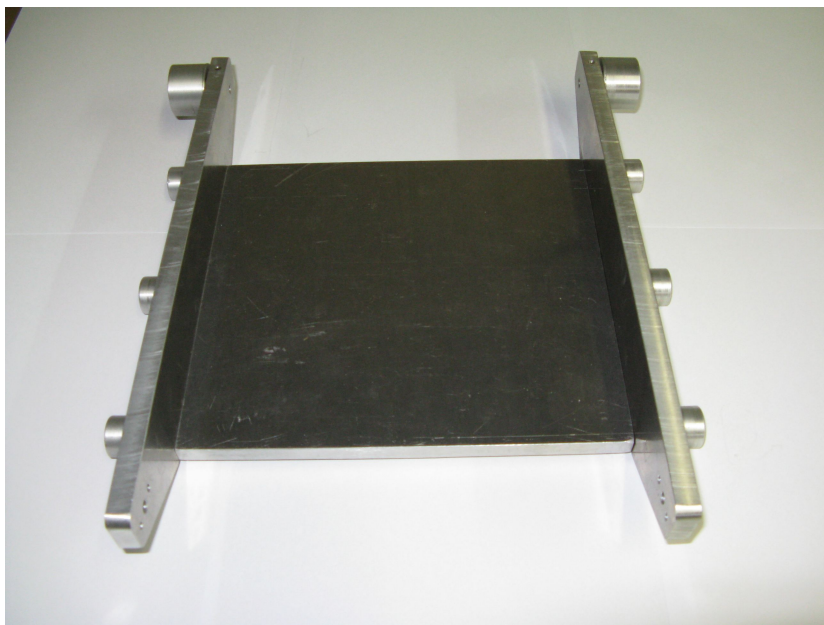
V této kapitole budou popsány jednotlivé části podvozku z konstrukčního hlediska. Budou také prezentovány plány pro konstrukci a schémata zapojení jednotlivých částí a také výsledné propojení v rámci celého robotického podvozku. Veškerá elektronická schémata jsou vytvořena v programu EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*) [15]. Desky plošných spojů jsou potom navrženy tak, aby byly jednostranné. Toto byl dosti důležitý požadavek, jelikož veškeré desky byly vyrobeny pomocí leptací technologie. Jejich výroba nebyla tedy na zakázku, ale vlastnoruční. Výrobní výkresy jsou potom vyracovány pomocí programu Autodesk Inventor.

### 4.1 Nosný rám a pásy

Nosný rám je vyroben z hliníku jehož tloušťka je 1 cm. Tento materiál byl zvolen pro jeho nízkou hmotnost a poměrně dosti velkou pevnost, která je při výše uvedené síle materiálu velmi vysoká. Kola podvozku jsou vyrobena z duralu, což je také lehký a poměrně pevný materiál. Jejich povrch je opracován s vyšší drsností, aby byla minimalizována možnost prokluzu pásu. Hnací kola jsou navíc na povrchu opatřena rádlováním, což je uměle vytvořené zdrsnění povrchu. Tato kola jsou nalisovaná na hřídeli, která je spojena s motorem spojovacím článkem. Tento článek je vyroben opět z duralu a je opatřen čtyřmi šroubky tzv. „červíky“. Tyto šroubky doléhají na plošky na hřídelích a brání tak jejímu prokluzu. Ostatní kola jsou kluzná a jejich hřídele jsou pevně spojeny s rámem. Všechna kola jsou opatřena po stranách vymežovacími kroužky s větším průměrem než je vlastní průměr kola, aby nedocházelo k sesmeknutí pásu, zejména při otáčení podvozku. Výsledná konstrukce je zobrazena na obrázku 4.1. Konstrukční plány nosného rámu jsou patrný z výkresů B.3, B.4 a B.5. Hnací kolo spolu s vymežovacími kroužky, svou vlastní hřídelí a spojovacím článkem je zobrazeno na výkrese B.6. Zadní kolo, které je ve stejné výšce jako přední kolo, je spolu se svou hřídelí a vymežovacími kolečky zobrazeno na výkrese B.7. Spodní opěrná kolečka, která jsou menší a také mají menší vymežovací kolečka než předchozí dvě kola, jsou na výkrese B.8. Vymežovací kolečka netvoří tak velký přesah z důvodů výšky profilu pásů. Veškeré sváry naznačeny na výkresech jsou vytvořeny kyslíko-acetylenovým plamenem a stříbrem (svařovací drát).

Pásy podvozku jsou vyrobeny z ozubeného pružného pásového řemenu. Tento pás je ustřižen přesně na míru, jehož délka je 62cm. Tato délka je menší, než délka dráhy, po které se pásy pohybují. Tím je snížena možnost prokluzu pásu na hnacích kolech, jelikož je napínán svou vlastní pružností. Pásy jsou slepeny v délce 5 zubů a následně sešity, tak aby nedošlo k

jejich rostržení. Pásky je možno vidět na obrázku 4.2.



Obrázek 4.1: Kostra podvozku.



Obrázek 4.2: Pásky podvozku.

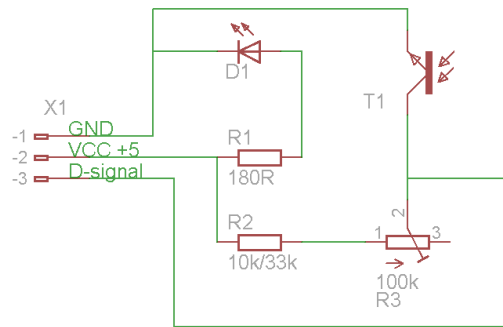
## 4.2 Baterie

Zdrojem energie podvozku je olověná baterie MH14533 s užitným napětím 12V. Kapacita této baterie je 7,2Ah. To znamená, že robotu může být po dobu jedné hodiny dodáván proud 7,2A. V reálu je však maximální proud této baterie 2,16A. Tato baterie byla zvolena kvůli její snadné dostupnosti. Její nevýhodou je však materiálové složení, a to zejména olovo, které značně zvyšuje její hmotnost. K baterii je připojen navíc 5V stabilizátor, který reguluje napětí na požadovanou úroveň tak, aby bylo možno napájet řídicí elektroniku,

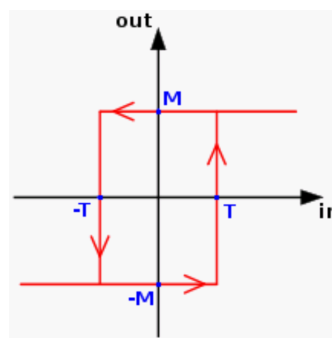
která vyšší napětí nesnese. Tento stabilizátor reguluje napětí z 12V, které je dodáváno baterií, na 5V. Maximální proud, který je schopen tento stabilizátor dodat je 1A, což pro potřeby řídicí elektroniky je dostačující množství. V mém případě jsem použil stabilizátor L7805CV. Baterie je spojena s podvozkiem pomocí dvou profilů s bočními držáky tak, aby bylo zabráněno pohybu baterie při jízdě.

### 4.3 IR čidla

Princip IR čidel byl zmíněn již dříve viz kapitola 2.3.4, proto se jím opět nebudu zabývat. Víme tedy, že každé IR čidlo obsahuje vysílač a přijímač. V našem případě je vysílač tvořen infra LED diodou s vlnovou délkou 940nm a přijímač je realizován fototranzistorem reagujícím na vlnovou délku 940nm. Vysílač a přijímač je umístěn do dřevěného profilu tak, aby byli navzájem odstíněni a nedocházelo tak k jejich vzájemnému rušení a zkreslování vzdálenosti. Čidla jsou napájena 5V, proto je k diodě sériově připojen 180Ω odpor. K tranzistoru je připojen předřadný odpor, který pro zpětná a dopředná čidla činí 10kΩ a pro boční čidla 33kΩ. K odporu je sériově připojen 100kΩ trimr, který je určen pro nastavení požadované reakční vzdálenosti. Celkové schéma zapojení je vyobrazeno na obrázku 4.3. Deska pro IR čidlo potom na obrázku B.1. Výstupní signál (úroveň napětí) je snímán a vyhodnocován



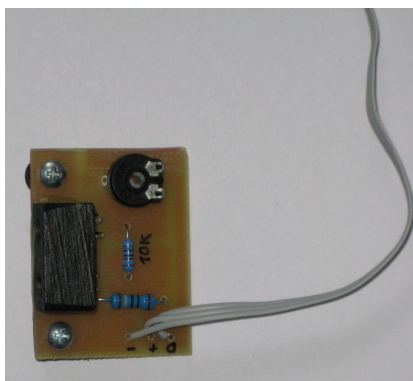
Obrázek 4.3: Schéma zapojení IR čidla.



Obrázek 4.4: Hystereze [8].

hysterezním prvkem, který je tvořen Schmittovým obvodem. Nejdříve se vrátím k pojmu hystereze [8]. Princip hystereze je patrný z obrázku 4.4. Kde  $M$  a  $-M$  označují hodnoty výstupního napětí při logické 1 respektive logické 0.  $T$  a  $-T$  označuje horní práh napětí

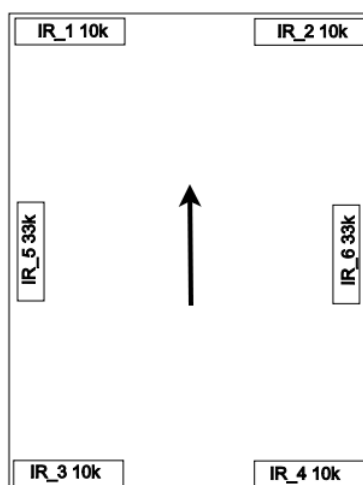
respektive dolní práh napětí. Díky tomu je také možno odstranit zákmity, jinak by docházelo k neustálému překlápění pokud by napětí kolísalo kolem prahového napětí. Schmittův obvod tedy realizuje hysterezi. Čidla jsou připojena ke Schmittovu obvodu 74HC14, jehož pozitivní práh je 2,4V a negativní práh je 1,4V. Samotná čidla jsou potom schopna reagovat na vzdálenost 3cm – 12cm v případě čidel s 10kΩ odporem a 4,5cm – 18cm v případě čidel s 33kΩ odporem. Výsledné čidlo je na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5: Vlastní IR čidlo.

Přesnost čidel je však dosti ovlivňována slunečním zářením. Při přímém oslnění sluncem je čidlo prakticky nepoužitelné. Optimální je pro čidlo tma, jelikož má vlastní zdroj světla, což prakticky není možné. Dobré výsledky jsou dosaženy při umělém osvětlení místnosti, nebo když intenzita denního světla poklesne cca o 30%. Záleží také na typu povrchu od kterého se paprsek z LED diody odráží. Ke zkreslení měřené vzdálenosti dochází zejména na černých a nebo lesklých površích.

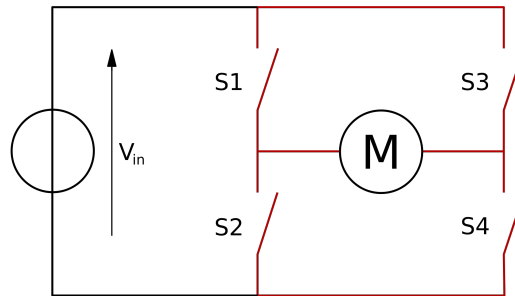
Podvozek má na přední straně umístěna dvě čidla s 10kΩ odporem. Každé čidlo je v jednom rohu. Tato čidla jsou rovněž umístěna na zadní straně podvozku. Uprostřed každé boční strany je umístěno čidlo s 33kΩ odporem. Rozmístění a označení čidel je také patrné z obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Schéma rozmístění a označení IR čidel.

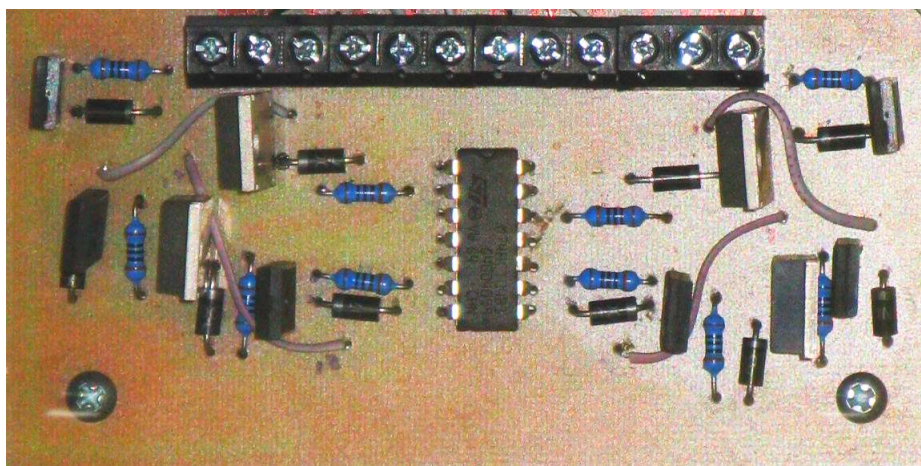
## 4.4 H-můstky

H-můstek [9] je obvod, který by se dal simulovat čtyřmi vypínači. Umožňuje přivedení napětí ke spotřebiči v požadovaném směru a je schopen mezi těmito směry také přepínat. Obrázek 4.7 vystihuje tento princip. Pokud by jsme sepnuli spínače S1 a S4, motor by se začal otáčet jedním směrem. V případě, že bychom tento směr chtěli obrátit, museli bychom sepnout spínače S2 a S3. Jiná kombinace sepnutí spínačů není možná, protože by došlo k vyzkratování zdroje. V praxi jsou spínače S1 a S3 nahrazeny tranzistory typu PNP a spínače S2 a S4 jsou nahrazeny tranzistory typu NPN.

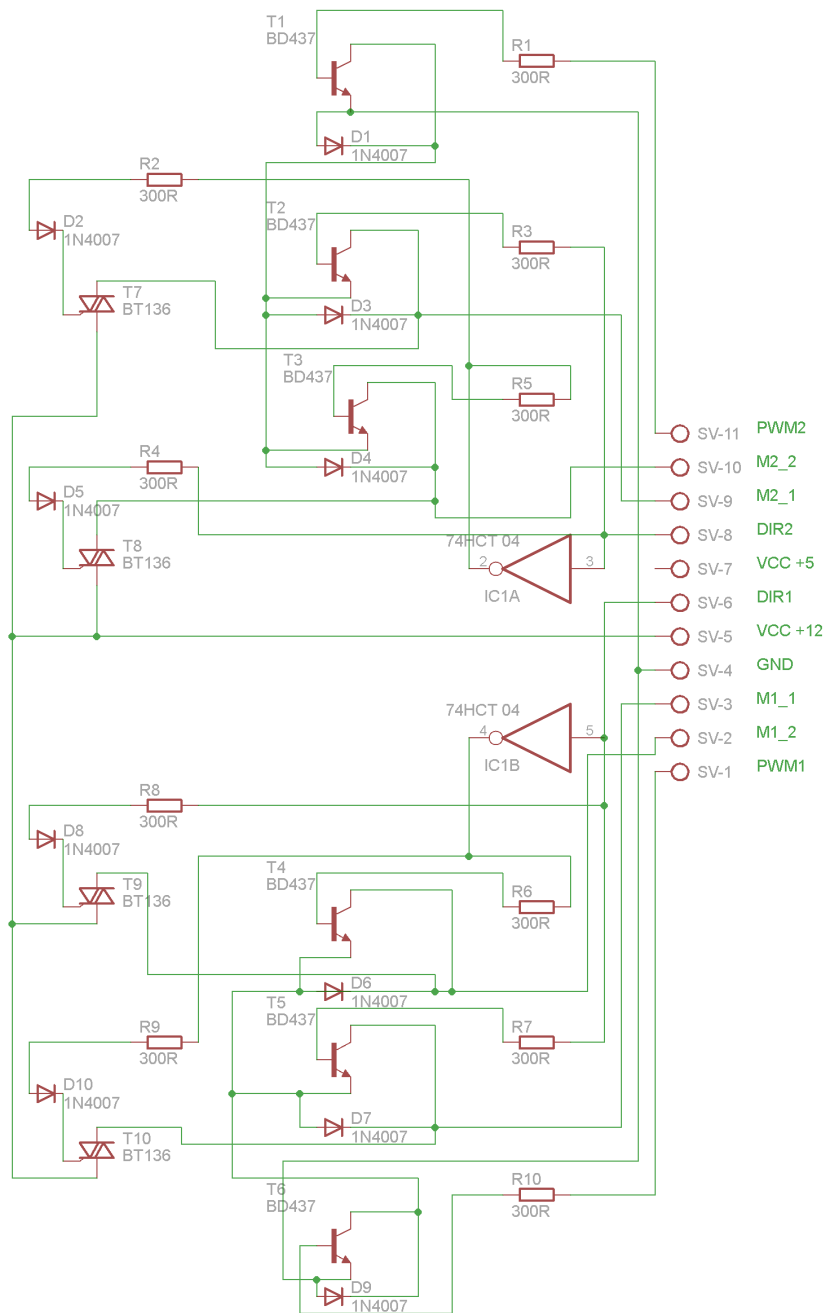


Obrázek 4.7: Princip H-můstku [9].

Princip H-můstku je tedy zřejmý a nyní si probereme moji implementaci. Můj H-můstek využívá také tranzistory typu NPN pro spínání vůči zemi, ale pro spínání vůči kladnému pólu zdroje jsem použil místo PNP tranzistorů triaky. Díky tomu je možno spínat obě části logickou 1, protože NPN tranzistor je spínán logickou 1, kdežto tranzistor PNP je spínán logickou 0. Díky tomu zapojení nepotřebují tolik inventurů pro realizaci tohoto můstku a spínání je tak mnohem názornější. K určení směru otáček motoru tedy postačuje jeden vodič. PWM signál je přiveden k dalšímu NPN tranzistoru, který připojuje, případně odpojuje oba NPN tranzistory od záporného pólu zdroje. Jelikož podvozek má dva motory jsou zkonstruovány tyto můstky dva. Schéma zapojení této dvojice H-můstků je na obrázku 4.9. Deska pro tyto můstky je zobrazena na obrázku B.2.



Obrázek 4.8: Vlastní dvojice H-můstků.

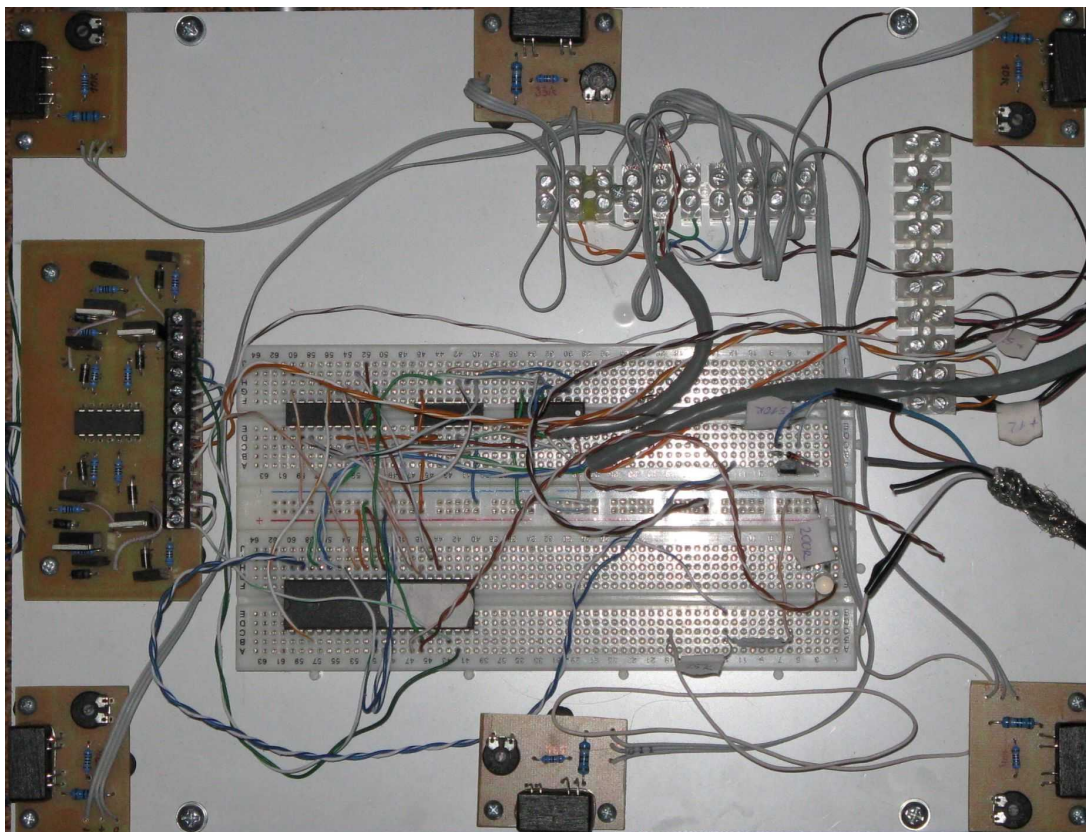


Obrázek 4.9: Schéma zapojení dvojice H-můstků.

Ovládání můstku je tedy velmi jednoduché pomocí logické 1, nebo logické 0, je určen směr otáčení motorů a následně po přivedení PWM signálu je dodáno motorům požadované napětí. Výše uvedené pořadí nastavování jednotlivých signálů musí být však striktně dodrženo. Není možné měnit směr otáčení motorů a přitom generovat PWM signál. V tomto případě by došlo ke zkratu a poškození můstku. Můstek je napájen 5V, které jsou určeny pro invertor a 12V, což je napětí, které požadují motory. Samotný můstek je však dimenzován až pro 50V s maximálním odběrem proudu až 4A. Výsledná realizace dvojice H-můstků je zobrazena na obrázku 4.8.

## 4.5 Řídicí elektronika

V této části se budeme věnovat řídicí elektronice podvozku, která je tvořena hlavně dvěma mikrokontrolery a to hlavním a pomocným. Schéma zapojení mikrokontrolerů a jejich připojených periférií je zobrazeno na schématu zapojení B.9. Veškerá řídicí elektronika kromě čidel a H-můstků je umístěna do nepájivého pole. Nepájivé pole je použito kvůli své flexibilitě, která umožnila nespočetné změny návrhu zapojení v průběhu vývoje, oproti napevno vyrobené desce, která by musela být na počátku navržena správně. Celkové již zapojené elektronické vybavení podvozku je na obrázku 4.10. Nyní si popíšeme jednotlivé mikrokontrolery a jejich úlohy.



Obrázek 4.10: Řídicí elektronika.

### 4.5.1 Hlavní mikrokontroler

Hlavní jednotka je reprezentována mikrokontrolerem od firmy Atmel, konkrétně modelem ATMega8535. Tento mikrokontroler je mimo jiné vybaven 8 kanálovým 10 bitovým AD převodníkem, schopností reakce až na 3 externí interrupty. Interrupt je přerušeni aktuálně vykonávaného programu a vykonání obslužné rutiny pro daný interrupt. Dále obsahuje 4 kanálový generátor PWM signálu. Pracovní frekvence je  $16\text{MHz}$ , disponuje  $8\text{kB}$  programovatelnou flash pamětí,  $512$  bajtovou programovatelnou EEPROM pamětí a  $512$  bajtovou SRAM pamětí pouze pro potřeby softwaru. Napájecí napětí je  $4,5 - 5,5\text{V}$ . Pouzdro je osazeno 40 piny, kdy pro komunikaci je možno využít čtyři 8 bitové porty PA, PB, PC, PD [13].

Úkolem tohoto mikrokontroleru je řídit celý podvozek. K této činnosti využívá dva módy **user**, kdy podvozek je ovládán vyšším systémem (uživatel) a jsou hlídány pouze případné kolize s překážkou a **system**, kdy je vyššímu systému (uživateli) odepřena možnost řídit pohyb podvozku. Podvozek se v tuto chvíli snaží najít cestu kolem překážky. K tomuto účelu potřebuje informace z čidel, které jsou vždy aktuálně vystaveny na 4 bitové sběrnici, zabazpečující komunikaci mezi mikrokontrolery. Mezi jednotlivými módy mikrokontroleru je přepínáno na základě vnějšího přerušení a nalezením cesty kolem překážky. Na základě potřeby je spínán laserový dálkoměr a pomocí AD převodníku je navzorkována výstupní napěťová úroveň dálkoměru, která slouží k výpočtu vzdálenosti. Dále zpracovává mikrokontroler signály od vyššího systému (dálkového ovládní) za účelem ovládní motorů. Motory jsou řízeny dvojicí H-můstků, jejichž správné nastavení zabezpečuje opět tento mikrokontroler. Rychlost otáček motorů je řízena pomocí PWM signálů, které jsou zasílány do H-můstků. V poslední řadě mikrokontroler řídí májaček, který signalizuje ve kterém módu se mikrokontroler nachází.

#### 4.5.2 Pomocný mikrokontroler

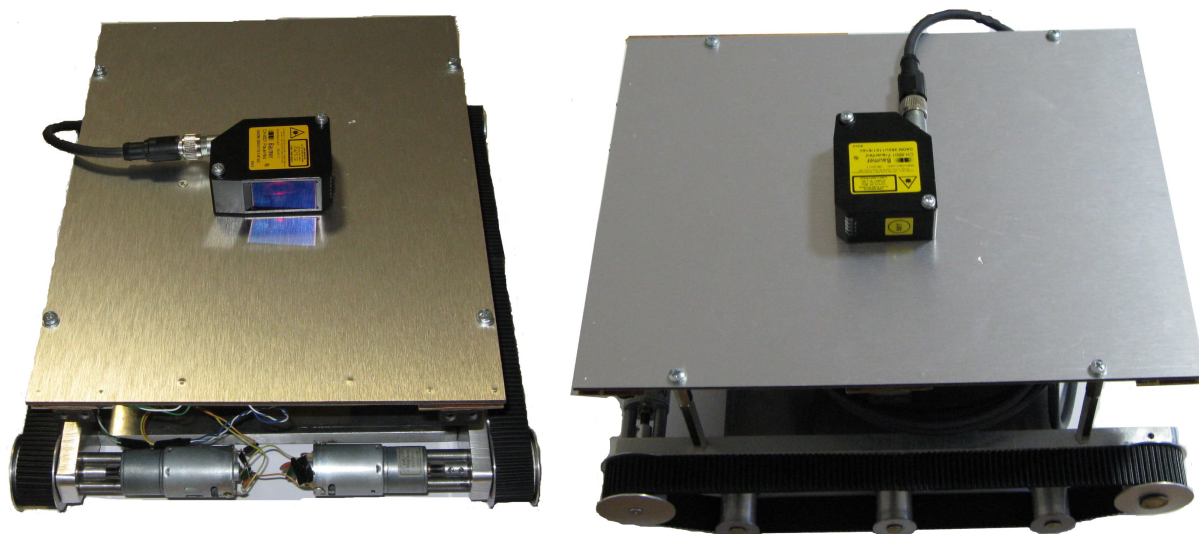
Pomocná jednotka je opět reprezentována mikrokontrolerem od firmy Atmel a to modelem ATTiny2313. Na tuto jednotku nejsou kladeny žádné speciální nároky, využívá jen vstupní a výstupní porty. Mikrokontroler pracuje na frekvenci  $20MHz$  při napájení  $4,5 - 5,5V$ . Obsahuje  $2kB$  programovatelnou flash paměť,  $128B$  programovatelnou EEPROM paměť a pro účely běžícího softwaru využívá  $128$  bajtovou SRAM paměť. Komunikace s externím prostředím je zajištěna pomocí  $18$  programovatelných pinů, přičemž celé pouzdro je osazeno  $20$  piny [14].

Ikdyž se jedná o pomocný mikrokontroler, plní taky nezanedbatelnou úlohu. V nekonečné smyčce kontroluje stav jednotlivých IR čidel. Mezi jednotlivými opakovanými kontrolami stavů čidel je vyčkáno po krátký časový interval, který odpovídá cca  $300ms$ . Tato časová prodleva je použita z důvodu snížení zákmitů na čidle vlivem rušivého odrazu, nebo aktuálnímu přibližování se k překážce, která by mohla být také v pohybu. V případě pozitivní detekce překážky je na sběrnici vystavena invertovaná hodnota čísla čidla, které tuto překážku detekovalo. V případě detekce překážky předními nebo zadními čidly je vyslána žádost o přerušení. Toto přerušení je zasláno jen jednou a to pouze v případě že hlavní mikrokontroler je v módu **user**.

## 4.6 Vlastní podvozek

Výsledný podvozek je tvořen nosným rámem se čtyřmi páry kluzných kol a jedním párem hnacích kol. Každý motor je k rámu přichycen dvěma šrouby a vystředěn dvěma, přesně ofrézovanými, distančními trubičkami. Kola jsou potom spojena hnacími pásy. K bočním stranám rámu jsou našroubovány distanční můstky, ke kterým je přišroubován hlavní panel. Tento panel je osazen IR čidly, jak je patrné ze schématu 4.6, dále je zde dvojitý H-můstek, svorkovnice pro snadnější připojení napájení a periférií a nepájivé pole, do kterého jsou vsazeny mikrokontrolery spolu s přídatnými dalšími elektrickými součástkami. Na druhé straně panelu je v jeho středu uchycen laserový dálkoměr. Výsledný podvozek je zobrazen na obrázku 4.11.





Obrázek 4.11: Výsledný podvozek.

## 4.7 Řízení spotřeby

Jelikož je robot napájen z baterie, nastává otázka, jak je to se spotřebou jednotlivých částí a jak je možno ušetřit pokud možno co nejvíce energie. Shrňme si jednotlivé části podvozku odebírající energii. Jednotlivé části jsou: motory, IR čidla, laserový dálkoměr, H-můstky, Schmittův obvod s invertorem, hlavní a pomocný mikrokontroler. Nyní si projdeme jednotlivé části, jejich možnosti a jejich skutečný stav.

Pro motory je situace jasná. Jsou v provozu pouze pokud se podvozek má pohybovat, jinak jsou v klidu a neodebírají žádný proud. S motory úzce souvisí H-můstek, tento obvod napájí motory a tak největší odběr je při provozu motorů. Jinak je pomocí tranzistoru, který je ovládán PWM signálem, odpojen téměř veškerý proud. Jediným prvkem v můstku, který spotřebovává proud je invertor, jehož provozní nároky při odpojeném můstku jsou téměř zanedbatelné. Mezi těmito prvky není tedy žádný podstatný systém, který by bylo nutné odpojit v rámci řízení spotřeby.

Dalším blokem spolu souvisejících součástek jsou IR čidla, Schmittův obvod a invertor. Ani jedna z těchto součástek nemůže být odpojena, protože informace z čidel jsou neustále potřeba, aby podvozek dokázal včas reagovat na situaci v jeho blízkém okolí. Schmittův obvod zpracovává úroveň napětí z IR čidel a pomocí invertoru jsou předchystána pro pomocný mikrokontroler k dalšímu zpracování a vyhodnocení.

Laserový dálkoměr, jehož proudový odběr může být až  $250mA$ , je velmi vhodným kandidátem pro snížení spotřeby. Tento senzor je využíván jen při hledání cesty, když se podvozek vyhýbá překážce. V případě řízení podvozku vyšším systémem (v tomto případě člověkem) je dálkoměr nevyužíván. Můžeme jej tedy pomocí hlavního mikrokontroleru a tranzistoru odpojit od napájení. Dálkoměr si hlavní mikrokontroler zapne až na základě své potřeby. Posledními součástkami podvozku jsou hlavní a pomocný mikrokontroler. Co se týče hlavního mikrokontroleru je situace velmi prostá. Tuto jednotku není možno odpojit od napájení, jelikož by tím přestal reagovat celý podvozek na jakoukoliv událost. Pokud by však k této situaci došlo, a hlavní mikrokontroler by se ocitl bez napájení, podvozek se nebude nekontrolovaně pohybovat. Pomocný mikrokontroler, který zpracovává informace z čidel, není možno také odpojit od napájení, jelikož by hlavní jednotka byla bez informací z čidel.

Pokud by tato situace nastala, mohlo by dojít k nekontrolovanému pohybu podvozku. Když už jsme zmínili nekontrolovaný pohyb podvozku, můžeme zmínit další situaci, kdy by k tomu mohlo dojít. Další situace může nastat v případě, že některé z čidel přestane fungovat správně.

## 4.8 Metriky podvozku

- Hmotnost rámu s motory: 2,53kg.
- Rozměry rámu s motory: 55mm × 285mm × 310mm (výška × šířka × hloubka).
- Hmotnost panelu s elektronikou: 0,74kg.
- Rozměry panelu s elektronikou: 65mm × 230mm × 300mm (výška × šířka × hloubka).
- Celková hmotnost: 5,76kg
- Celkové rozměry: 160mm × 285mm × 310mm (výška × šířka × hloubka).
- Maximální teoretická rychlost: 0,14  $\frac{m}{s}$
- Minimální teoretický manévrovací prostor: je tvořen kružnicí o poloměru 211mm.

## 4.9 Dálkové ovládání

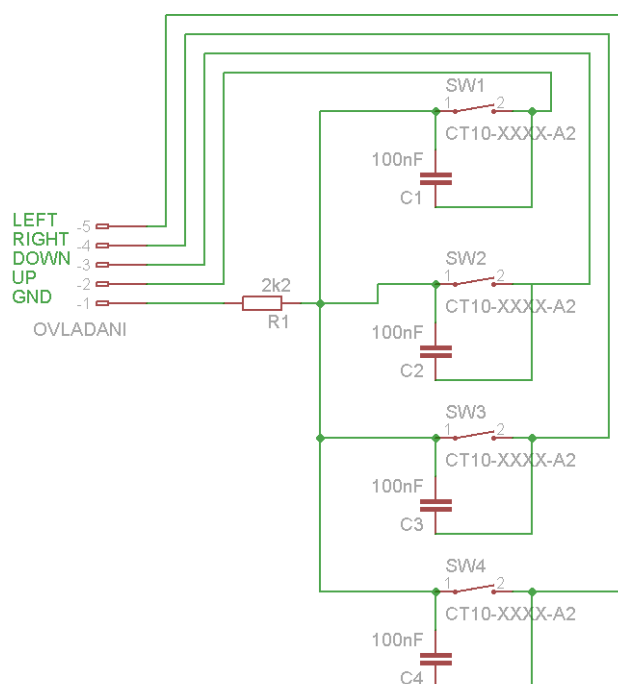
Dálkové ovládání, které je jedním z příslušenství robota, je pouze náhradou vyššího řídicího systému, který tento robot neobsahuje. Avšak pokud by tento systém byl implementován, není problém nahradit ovládání tímto systémem. Jelikož hlavní mikrokontroler přijímá čtyři signály: UP, DOWN, LEFT, RIGHT, které odpovídají směrům: dopředu, dozadu, doleva, doprava, odpovídá délka impulsu konkrétního signálu době běhu motorů. Ovládání je tvořeno čtyřmi tlačítky, jejichž rozmístění je totožné s kurzory klasické klávesnice. Ovládání je na obrázku 4.12. Kromě tlačítek obsahuje ovládání propojovací kabel, nejedná se tedy



Obrázek 4.12: Dálkové ovládání.

o bezdrátové ovládání. Délka kabelu je 4m, což vymezuje pracovní prostor ovládání. Dále ovládání obsahuje 2, 2k $\Omega$  ochranný odpor a keramické 100nF kondenzátory. Tyto kondenzátory slouží jako ochrana proti zákmitům na tlačítcích. K těmto zákmitům dochází vlivem

opotřebení kontaktů na tlačítku, nebo nedostatečně rychlému stiknutí tlačítka a držení tlačítka ve správné - sepnuté poloze. Celkové schéma zapojení tohoto ovládání je na obrázku 4.13.



Obrázek 4.13: Schéma zapojení dálkového ovládání.

## Kapitola 5

# Firmware pro autonomní (inteligentní) řízení

V této kapitole si popíšeme chování podvozku v jednotlivých situacích ve kterých by se mohl ocitnout. Dále bude podrobně popsána softwarová část jednotlivých mikrokontrolerů, při reakci na jednotlivé situace a především při hledání cesty okolo překážky.

### 5.1 Popis chování

Podvozek se může nacházet v jednou ze dvou modů **user** nebo **system**. V případě neočekávané chyby přechází podvozek do chybového stavu a to tak, aby neohrožoval okolí svým pohybem. Nyní si popíšeme chování podvozku v jednotlivých režimech.

#### 5.1.1 Režim USER

Základním a také výchozím režimem podvozku je uživatelský režim. V tomto režimu je vyššímu systému, v našem případě uživateli, zpřístupněno ovládání podvozku. Tento režim je signalizován zelenou barvou majáku. Uživateli je v tomto případě umožněno jezdit s podvozkem jak se mu zlíbí, dokud nedojde na situaci, kdy by měl nastat náraz do překážky. V tomto případě, ještě však před nárazem, přebírá řízení systém.

#### 5.1.2 Režim SYSTEM

Do tohoto režimu se podvozek dostává v případě, pokud by mělo dojít k nárazu do překážky. Uživateli je potom odepřena možnost podvozek jakkoliv ovládat. Podvozek při přechodu do toho režimu okamžitě zastaví oba dva motory, aby nedošlo k již zmiňovanému nárazu. Po dokončení všech neodkladných nastavení se podvozek pokusí vyhnout překážce, která se nachází před ním eventuálně za ním. Tento manévr je učiněn pomocí heuristiky, hledající cestu k objetí překážky. Princip této heuristiky je následující. Podvozek se před překážkou otočí doleva, pokud překážka byla detekována předními čidly, eventuálně doprava, pokud překážka byla detekována některým ze zadních čidel a provede měření vzdálenosti. Veškerá dále uvedená otáčení, pokud nebude uvedeno jinak budou vždy o 90 stupňů. Následně se zahájí pohyb podvozku dopředu dokud není nalezena možnost odbočení doprava nebo by došlo k nárazu. V případě možnosti odbočení doprava, podvozek provede opět měření vzdálenosti a rozdíl předchozí a aktuální vzdálenosti uloží jako posun v x-ovém směru. Pokud není nalezena odbočka je provedena aktualizace ujeté vzdálenosti v x-ovém směru a

podvozek začne couvat. V průběhu couvání hledá opět možnost odbočení doprava. Pokud je cesta nalezena provede se opět vyhodnocení ujeté vzdálenosti a podvozek zabočí. V opačném případě nebyla nalezena možnost jak překážku objet a systém přechází do chybového stavu. Pokud tedy podvozek našel možnost zabočení ať už při jízdě dopředu, nebo při zpětné jízdě, provede se příslušné zabočení. Nyní podvozek při jízdě dopředu hledá možnost zabočení doprava respektive doleva. V případě nalezení této možnosti se provede patřičný manévr k zabočení do příslušného směru. V opačném případě se podvozek dostane do stavu, ve kterém byl na počátku před zahájením hledání cesty. Pokud však podvozek odbočil, pokusí se dokončit objíždění překážky. Je-li to možné, musí se podvozek dostat na počáteční x-ovou souřadnici, a to na bod nula (startovací bod). Na závěr se podvozek natočí do počátečního směru, ve kterém se přiblížil k překážce. V případě, že není možno dosáhnout nulového bodu, podvozek pojedje dokud bude moci a poté zabočí doleva respektive doprava a snaží se opět najít odbočku doprava respektive doleva. Jakmile se podvozku podaří objet překážku, je uživateli opět navržena možnost řízení přechodem do režimu `user`.

## 5.2 Popis implementace

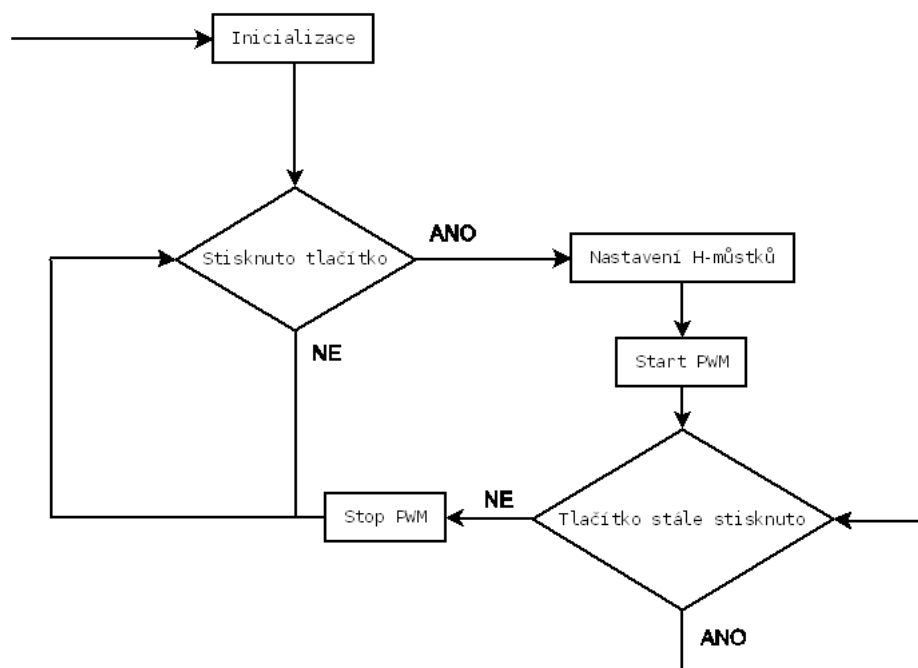
V následující části budou popsány implementace jednotlivých funkcí pro hlavní a pomocný mikrokontroler a samotná implementace výše zmíněné heuristiky.

### 5.2.1 Hlavní mikrokontroler

Jak už název napovídá jedná se o hlavní řídicí jednotku, proto tato jednotka bude mít na starost zpracovat a vyhodnotit veškerá dostupná data. Program se skládá z několika dílčích funkcí, které budou podrobně popsány později. Funkce `main` je tvořena poměrně rozsáhlou inicializací mikrokontroleru a smyčkou zpracovávající informace získané z dálkového ovládní. V inicializační části jsou nastaveny vstupní/výstupní porty, registry pro generování PWM signálů, registry pro AD převodník a registry týkající se interruptů. Nekonečná smyčka, která je typická pro mikrokontrolery, potom zpracovává informace přijaté z dálkového ovládní. Jak je vidět na vývojovém diagramu 5.1 jsou stisky tlačítek zpracovávány v této smyčce. Po stisku tlačítka a na základě jeho funkce jsou nastaveny signály pro H-můstky a to tak, aby bylo dosaženo požadovaného pohybu podvozku. Následně je spuštěno generování PWM signálu jehož doba běhu odpovídá době stisku příslušného tlačítka. Po uvolnění tlačítka je generování PWM signálu vypnuto a přejde se opět ke kontrole stisku tlačítek. Jedinou možností jak tuto smyčku opustit je za pomoci přerušení. Nyní tedy budou popsány jednotlivé dílčí funkce, které slouží převážně pro hledání cesty při objíždění překážky.

#### PWM řízení

PWM neboli pulzně šířková modulace slouží k řízení motorů, jak již bylo popsáno dříve. Generování tohoto signálu musí být spuštěno vždy až po nastavení H-můstků, aby nedošlo k případnému poškození můstku. Ke generování jsou využity vnitřní hodiny mikrokontroleru a předdělička, která tento čas dělí 8. Každý motor má svůj vlastní signál, aby bylo možno doladit motory v případě jejich různých otáček. K tomuto by však nemělo u stejných motorů dojít. V našem případě jsou použity dva stejné signály se střídou 80%. Po ukončení generování PWM signálu se vždy čeká 100ms, aby došlo k úplnému vypnutí můstků. V případě změny otáček některého z motorů a opětovného zapnutí generování PWM signálu



Obrázek 5.1: Vývojový diagram pro funkci main hlavního mikrokontroleru.

nemusí dojít k úplnému uzavření tranzistorů a triaků, a v tom případě by nastal nežádoucí zkrat.

### AD převod

AD převod slouží pro převedení analogové vzdálenosti získané z laseru na digitální. Tento převod je proveden funkcí `Read_ADC`, která nemá žádný vstupní parametr a její výstup - naměřená vzdálenost je typu `int16_t`. Inicializace AD převodníku je provedena při inicializaci celého programu. Funkce před samotným převodem vyšle signál pro spuštění laserového dálkoměru a poté je zahájeno čekání, než se laserový dálkoměr spustí. Tato prodleva trvá jednu sekundu. Poté je zahájen převod a aktivním čekáním je vyčkáno na dokončení převodu. Aktivní čekání je realizováno opakující se smyčkou, ve které je kontrolován příznak konce převodu. Tento příznak je na čtvrté pozici registru `ADCSRA`. Po ukončení převodu je vyslán signál pro vypnutí laserového dálkoměru a je přepočítána získaná hodnota napětí na reálnou vzdálenost. Vlastní přepočet vychází z přímé úměry mezi vzdáleností a úrovní napětí. Tato hodnota je pak vynásobena korekční konstantou, která byla experimentálně zjištěna a odpovídá úbytkům napětí, která jsou převážně způsobena odporovým děličem. Na závěr je k této hodnotě přičtena minimální reakční vzdálenost laserového dálkoměru, která je  $20\text{cm}$ . Takto vzniklá hodnota odpovídá naměřené vzdálenosti v centimetrech a je vrácena výše zmíněnou funkcí.

### Otáčení podvozku

Otáčení podvozku je jednou z nejdůležitějších částí při hledání cesty. Toto otáčení se provádí funkcemi `Turn_right` a `Turn_left`, přičemž otočení je vždy o  $90$  stupňů. Obrat je

potom proveden ve třech krocích, kdy mezi jednotlivými kroky je krátký pojezd dopředu a potom zpět. Toto se provádí kvůli tomu, aby se pásy srovnaly, a tím docházelo k menšímu prokluzu a manévr byl přesnější. Toto popojíždění bylo vyzorováno na řadě experimentů s podvozkem. Pro otočení potom stačí nastavit H-můstky tak, aby motory jely příslušným směrem podle zvolené strany otáčení. Následně se generuje PWM signál po experimentálně zjištěnou dobu, která je 6,9 sekundy.

### Zpracování přerušení

Při inicializaci programu jsou také nastaveny registry pro obsluhu interruptů, zejména pak externí interrupt INT2. Obsluha tohoto přerušení je volána s nástupnou hranou. Obslužná rutina je aktivována jako blokující, což znamená, že nemůže být přerušena jinou událostí. Na počátku obsluhy přerušení jsou zastaveny motory, aby nedošlo k nárazu. V této rutině je dále nastavena signalizace majáku do režimu `system` a na konci běhu rutiny je nastavena zpět do režimu `user`. Mezitím je však zavolána funkce `Find_way`, která se pokusí vyhnout překážce.

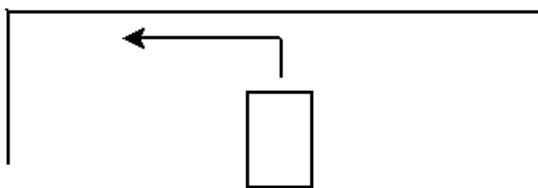
### Chybový stav

Veškeré chybové stavy, do kterých by se podvozek mohl dostat, končí voláním funkce `Error_state`. Tato funkce nejdříve zastaví motory, aby nemohlo dojít k nekontrolovanému pohybu podvozku a poté podvozek setrvá na stejné pozici s blikajícím majákem v režimu `system`. Tento stav musí řešit vyšší systém v tomto případě člověk, typicky restartem systému. Tyto stavy nastávají pouze při dynamické změně prostředí, se kterou podvozek nepočítá, nebo při nekorektní hodnotě získané z dálkoměru.

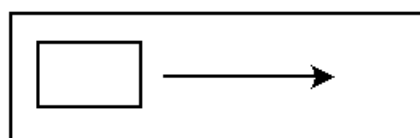
### Vyhledání cesty

Hledání cesty, po které je možno překážku objet, je realizováno funkcí `Find_way`. Tato funkce je tvořena konečným automatem, který je tvořen 6 stavy, jak vyplývá z výše popsané heuristiky. Nyní si projdeme jednotlivé stavy konečného automatu.

- Stav 1:  
Tento stav je počátečním stavem automatu. Nejprve se podvozek otočí doleva respektive doprava v případě detekce překážky předními respektive zadními čidly. Po otočení je naměřena výchozí vzdálenost a je zahájena cesta dopředu. Tato cesta trvá tak dlouho, dokud není nalezena možnost odbočit doprava. V tom případě se následajícím stavem stane stav 3. Pokud by mělo dojít však k nárazu podvozku přechází do stavu 2. Před každým přechodem do jiného stavu je provedena aktualizace ujeté vzdálenosti v x-ové souřadnici, aby se podvozek dokázal vrátit do původního směru. Tato aktualizace vzdálenosti se provádí pomocí laserového dálkoměru. Proto tento úkon nebudu již dále zdůrazňovat. Manévr podvozku ve stavu 1 je patrný na obrázku 5.2.
- Stav 2:  
Ve stavu 2 podvozek couvá zpět okolo překážky a snaží se najít možnost odbočení doprava. Pohyb podvozku v tomto stavu je patrný z obrázku 5.3. V případě nalezení možnosti odbočení doprava, je následujícím stavem automatu stav 4, v opačném případě podvozek není schopen se vyhnout překážce a přechází tak do chybového stavu, který byl zmíněn již dříve.



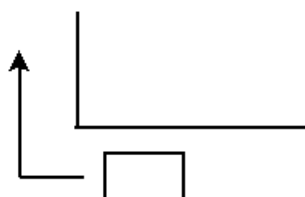
Obrázek 5.2: Pohyb podvozku ve stavu 1.



Obrázek 5.3: Pohyb podvozku ve stavu 2.

- Stav 3:

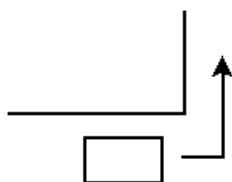
Z náčrtu na obrázku 5.4 je patrné, že podvozek při jízdě dopředu bude hledat možnost odbočení doprava, aby byl schopen dokončit objíždění překážky. Pokud je tedy možné odbočit doprava, přechází automat do stavu 5 v opačném případě se navrací zpět do stavu 1.



Obrázek 5.4: Pohyb podvozku ve stavu 3.

- Stav 4:

Tento stav je podobný stavu 3. Jelikož tomuto stavu předcházelo prohledávání při zpětné cestě, musí být hledána možnost odbočení doleva. Toto je patrné z náčrtu situace na obrázku 5.5. V případě nalezení této možnosti odbočení, se stane následujícím stavem stav 6. V opačném případě se podvozek otočí doleva a přejde do stavu 2.



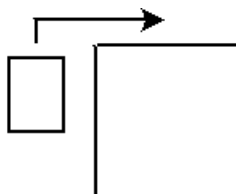
Obrázek 5.5: Pohyb podvozku ve stavu 4.

- Stav 5:

Jedná se o jeden ze stavů, ve kterém se podvozek snaží dokončit objíždění překážky. Situace je opět patrná z náčrtu 5.6. Nejdříve je provedeno zjištění zda-li je možné v



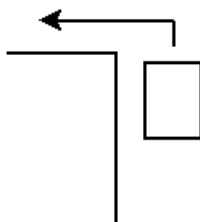
daném směru dokončit manévr. Pokud je to možné, je zahájeno závěrečné přiblížení, kdy se podvozek snaží popojet o takovou vzdálenost, aby souřadnice v x-ovém směru, kterou si postupně aktualizoval, byla nulová a tím dosáhl původního směru jízdy, po závěrečném otočení se do tohoto směru. V opačném případě podvozek jede dokud může a potom přejde zpět do stavu 3.



Obrázek 5.6: Pohyb podvozku ve stavu 5.

- Stav 6:

V tomto stavu se podvozek opět snaží dokončit objíždění překážky. A dostává se do něj ze situace, která je zobrazena na obrázku 5.7. Je-li tedy manévr možné dokončit je zahájeno závěrečné přiblížení, které bylo popsáno v předchozím stavu. V opačném případě podvozek jede dokud je to možné a poté přejde do stavu 4.



Obrázek 5.7: Pohyb podvozku ve stavu 6.

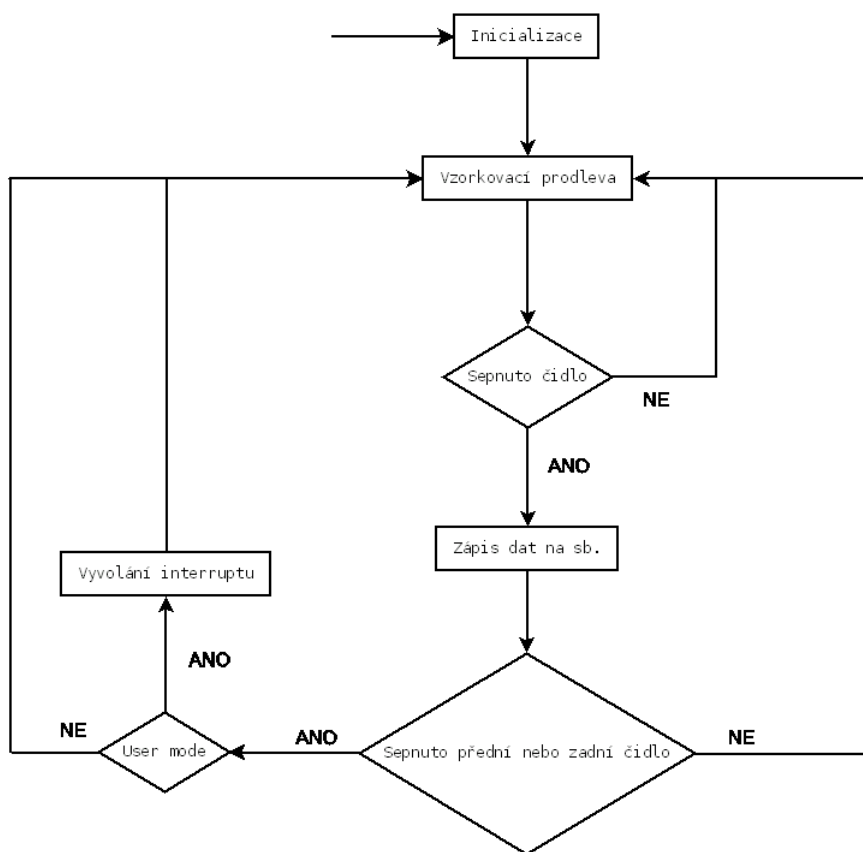
Při všech otáčecích manévrech kolem rohů jsou navíc provedeny pojezdy podvozku a to především ze dvou důvodů. Prvním důvodem je nutnost popojet s podvozkem za úroveň rohu, jelikož senzor je umístěn uprostřed jeho boční stěny. Pokud by se tento manévr neuskutečnil podvozek by při otáčení narazil do překážky. Manévr je realizován pouhým prodloužením směru jízdy o časovou konstantu `HALF_BEHIND_CORNER_MOVE`, která udává polovinu této doby a byla experimentálně zjištěna. Při výpočtu je totiž nutno brát v úvahu i napnutí pásů (odpor, který tímto vzniká), což je dosti obtížné určit. Proto je tato konstanta zjištěna experimentálně. Druhá situace, kdy je nutno s podvozkem popojet, je při přechodu do stavů 3 a 4. V tomto případě se jedná opět o prodloužení směru jízdy tentokrát na počátku. Díky tomuto posunu je sepnuto příslušné boční čidlo a podvozek tak snáze dokáže detekovat překážku, která se nachází vedle něj. Doba potřebná k tomuto posunu je uložena v konstantě `CORNER_MOVE`. Tato hodnota je opět experimentálně zjištěna a to ze stejného důvodu, který byl uveden výše.

Velikost výše popsaného programu a všech pomocných funkcí po překladu je 5142 bajtů a zabírá 62,8% celkové kapacity programové paměti mikrokontroleru a data programu tvoří 264 bajtů, která zabírají 51,6% datové paměti mikrokontroleru.

## 5.2.2 Pomocný mikrokontroler

Jak již bylo zmíněno dříve, tento mikrokontroler zpracovává informace ze senzorů. Tyto senzory jsou tvořeny šesti IR čidly, jejichž rozmístění a číselné označení je uvedeno na obrázku 4.6. Toto zpracování je prováděno s frekvencí  $2,5\text{Hz}$ . Frekvence je experimentálně zjištěna. Tato vzorkovací frekvence je použita z důvodu ustálení čidel při detekci překážky, a aby nebylo generováno zbytečně velké množství dat. Informace o sepnutém čidle je vystavena na čtyřbitovou jednosměrnou sběrnici a to v inverzním tvaru. To znamená, je-li sepnuto IR čidlo 1 jehož binární kód je 0001, je na sběrnici zapsána hodnota 1110. Toto je z důvodu přehlednějšího zpracování v hlavním mikrokontroleru. Dále tento mikrokontroler generuje přerušení pro hlavní MCU. Tato přerušení jsou generována jen jednou a jen v případě, kdy je podvozek v **user** módu a je provedena detekce překážky předními nebo zadními čidly. Toto vše je prováděno v nekonečné smyčce, jak je patrné z vývojového diagramu 5.8.

Při startu nebo po restartu mikrokontroleru je provedeno nastavení portů jako vstupní nebo výstupní dle potřeby. Velikost tohoto programu po překladu je 196 bajtů a zabírá 9,6% celkové kapacity programové paměti mikrokontroleru.



Obrázek 5.8: Vývojový diagram pro pomocný mikrokontroler.

## Kapitola 6

# Testování podvozku

Tato kapitola je zaměřena na testy, které byly s podvozkem provedeny, jejich popis a dosažené výsledky. Byly provedeny testy manévrovacích schopností podvozku a jeho horní hranice různých vlastností. Dále kapitola rozebírá jednotlivé testy, které byly provedeny v rámci pokusů vyhnout se překážkám.

### 6.1 Vlastnosti podvozku

Jízdní a manévrovací vlastnosti podvozku byly testovány na různých typech povrchů. Mezi nejhorší povrchy patřil písek bez pevného podkladu a poměrně měkké koberce (s dlouhými vlákny). Na těchto površích, díky svému nízkému profilu, nebyl podvozek schopen se prakticky pohnout. Naopak mezi ideální povrchy pro pohyb podvozku patří dřevo, lino, kameninová dlažba. Proto veškeré testy, ať už manévrovacích schopností, maximálních hranic podvozku nebo testů řídicího firmwaru, byly prováděny na površích tohoto typu. S podvozkem byly provedeny různé testy s následujícími výsledky.

- Maximální rychlost podvozku:  $0,06 \frac{m}{s}$ .
- Minimální manévrovací prostor: je tvořen kružnicí o poloměru 220mm.
- Maximální stoupání: 24%.
- Maximální nosnost: 1,4kg.

Z výše uvedených výsledků jednotlivých testů je patrné, že podvozek dosahuje jen poloviny teoretické rychlosti. Toto je způsobeno díky velkému napnutí pasů a také nemalé hmotnosti podvozku. Dále je zřejmé, že i manévrovací prostor podvozku je nepatrně větší. Zvětšení tohoto prostoru je zapříčiněno malými pojedy při otáčení podvozku. Stoupání podvozku bylo naměřeno jen s vlastní hmotností a dosahuje poměrně dobrého výsledku 24%. Toto v praxi znamená, že podvozek na 100m zvládne překonat převýšení 24m. Posledním zmíněným kritériem je nosnost podvozku. Tato hodnota udává další zátěž, kterou podvozek dokáže uvést a nezahrnuje tak vlastní hmotnost. Jelikož je podvozek osazen olověným akumulátorem, který je dosti těžký, nedokáže uvést již příliš velkou zátěž.

### 6.2 Schopnost vyhýbat se překážkám

V této části budou popsány různé situace ve kterých se podvozek ocitl v průběhu provádění různých testů. Každá situace bude podrobně popsána a taktéž bude provedeno její vyhod-

nocení. Situace jsou rozděleny podle typů překážek. Za úspěšné vyhnutí se překážce jsou brány výsledky pochopitelně s jistou tolerancí, jelikož podvozek neobsahuje tolik senzorů, aby byl schopen se pohybovat s přesností do centimetru.

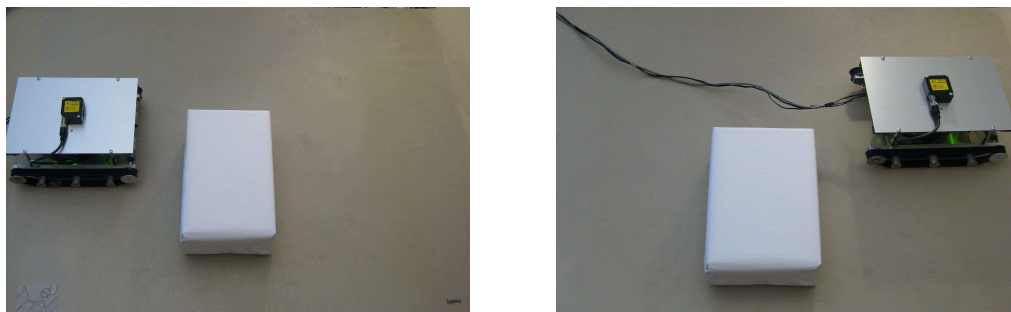
### 6.2.1 Pravoúhlé překážky

Za pravoúhlé překážky jsou považovány všechny takové překážky, jejichž půdorysem je obdélník nebo čtverec. Nyní si popíšeme různě sestavené dráhy z překážek tohoto typu.

#### Úspěšné pokusy

- Situace 1

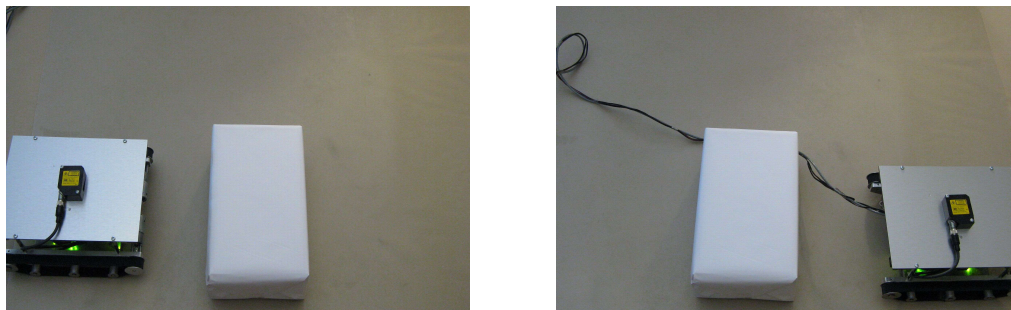
Na obrázku 6.1 a) je zobrazen směr příjezdu k překážce. Je také patrné, že se jedná o nejjednodušší variantu překážky, která je tvořena pouze jednou krabicí. Dále je z obrázku patrné, že podvozek detekuje překážku pouze svým pravým čidlem. Po detekci překážky je zahájen manévr, kterým podvozek úspěšně zvládne překážku objet. Výsledná pozice, do které se podvozek dostane po dokončení manévru, je na obrázku 6.1 b).



Obrázek 6.1: Pravoúhlé překážky, situace 1: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

- Situace 2

Tahle situace, jak je patrné z obrázku 6.2 a), je dosti podobná předchozí situaci. Podvozek pouze míří do středu překážky a musí tak objet její větší část, nepostačuje se pouze vyhnout rohu. Jak je vidět na obrázku 6.2 b) i tuto překážku podvozek úspěšně objel.



Obrázek 6.2: Pravoúhlé překážky, situace 2: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

- Situace 3

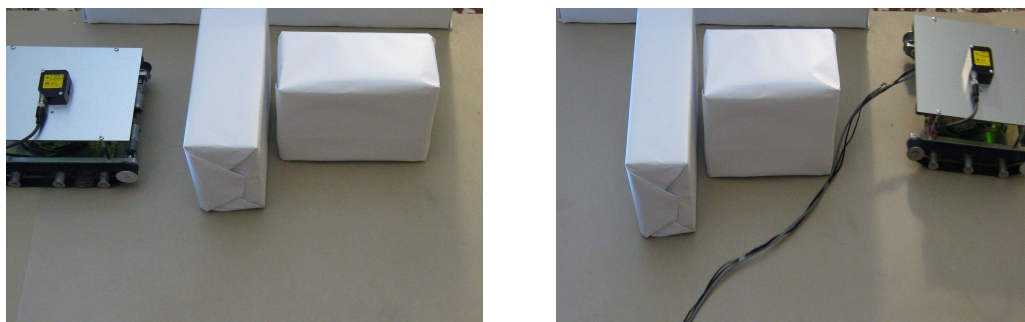
Následující situace už je složitější, což je patrné z obrázku 6.3 a). Překážková dráha je tvořena dvěma překážkami, připomínající obrácené písmeno „L“. Podvozek po detekci překážky zabočí doleva a následně musí vyhodnotit, že není možnost odbočit doprava a před ním se nachází další překážka, kterou musí také detekovat. Po úspěšné detekci se začne vracet a při zpětné cestě nalezne možnost jak překážku objet a manévr dokončí podobně jako v předchozích situacích. Úspěšné dokončení manévru je patrné z obrázku 6.3 b).



Obrázek 6.3: Pravoúhlé překážky, situace 3: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

- Situace 4

Tahle situace je opět podobná předchozí situaci, jak je možno vidět na obrázku 6.4 a). Podvozek po detekci první překážky a následném zjištění, že překážku není možno objet zleva se začne vracet a nalezne možnost objetí překážky zprava. Jakmile se dostane do fáze, kdy by mohl dokončit objetí překážky, jak tomu bylo v předchozím případě, detekuje další překážku. Této překážce se vyhne obdobným způsobem, jak bylo popsáno v situaci 2. Na obrázku 6.4 b) je potom patrná pozice podvozku po dokončení celého manévru.



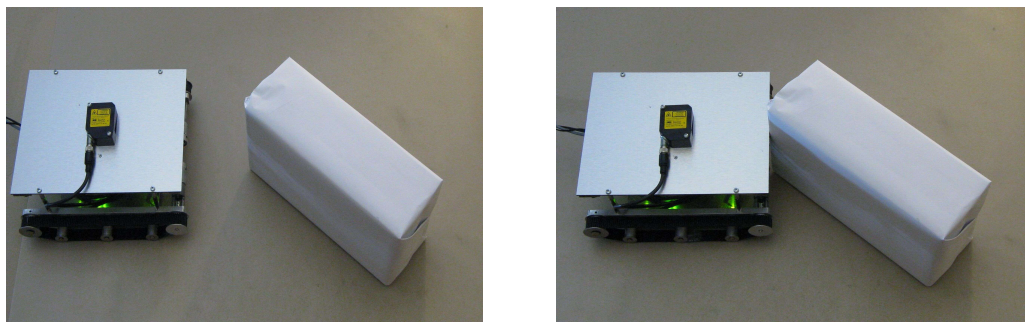
Obrázek 6.4: Pravoúhlé překážky, situace 4: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

### Neúspěšné pokusy

- Situace 5

Z obrázku 6.5 a) je patrné umístění překážky, ke které se podvozek blíží. Na obrázku 6.5 b) je patrné, že podvozek do této překážky narazil. K tomuto došlo, protože

podvozek nebyl schopen tuto překážku detekovat, jelikož jeho čidla jsou umístěna na rozích podvozku. Uprostřed podvozku není tedy umístěno žádné čidlo, které by bylo schopno detekovat roh této překážky.



Obrázek 6.5: Pravoúhlé překážky, situace 5: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

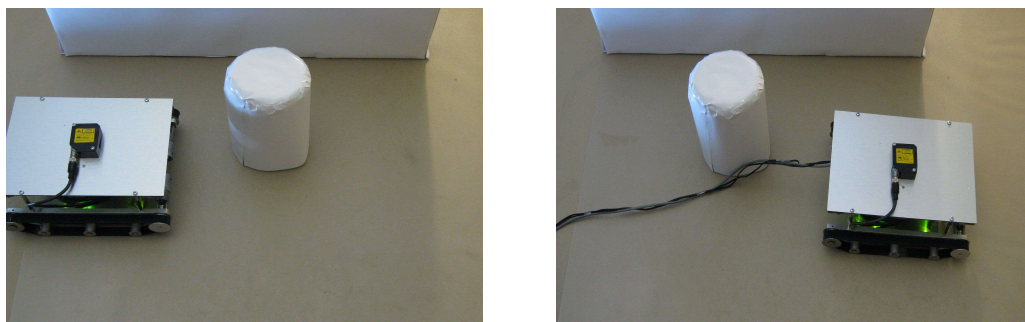
### 6.2.2 Válcovité překážky

Dalším typem překážek, se kterými bylo provedeno testování podvozku, jsou válcovité překážky. Půdorysem těchto překážek je kruh. Tyto překážky patří mezi dosti problémové co se jejich detekce týče.

#### Úspěšné pokusy

- Situace 1

Na obrázku 6.6 a) je vidět kombinace dvou překážek, kdy válcovitá překážka je umístěna před levým čidlem. Podvozek tuto překážku objede jak je vidět z obrázku 6.6 b), ale to jen díky tomu, že překážka je naproti předního čidla a boční čidla mají větší reakční vzdálenost. Jiná situace bude popsána v dalším experimentu.



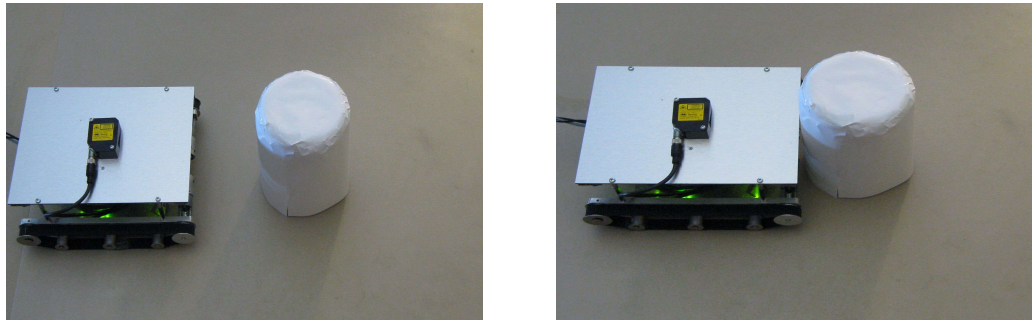
Obrázek 6.6: Válcovité překážky, situace 1: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

#### Neúspěšné pokusy

- Situace 2

Na rozdíl od předchozí situace, je v tomto případě překážka umístěna na osu dráhy

podvozku, jak je vidět na obrázku 6.7 a). Podvozek bude mít tak problém tuto překážku detekovat, protože tato situace je velmi podobná té, kdy se snažil detekovat roh krabice. Podvozek tedy do překážky narazí což je patrné z obrázku 6.7 b). Toto nastane díky tomu, že podvozek nemá čidlo pro detekci překážky uprostřed své čelní nebo zadní strany.



Obrázek 6.7: Válcovité překážky, situace 2: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

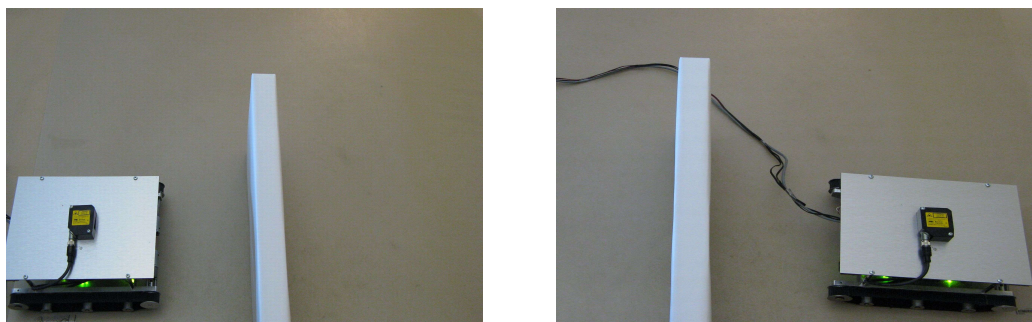
### 6.2.3 Tenké, úzké překážky

Půdorys těchto překážek může být libovolný. Já jsem použil překážku s obdélníkovým půdorysem. Podstatné je však, že překážka je široká cca 6 cm, což je poměrně málo.

#### Úspěšné pokusy

- Situace 1

V první situaci se podvozek pokusí objet tuto překážku, která je k němu téměř kolmá, což je patrné z obrázku 6.8 a). S detekcí této překážky tak podvozek nebude mít problém a následné vyhnutí mu také nečiní žádné potíže, což je patrné z obrázku 6.8 b).



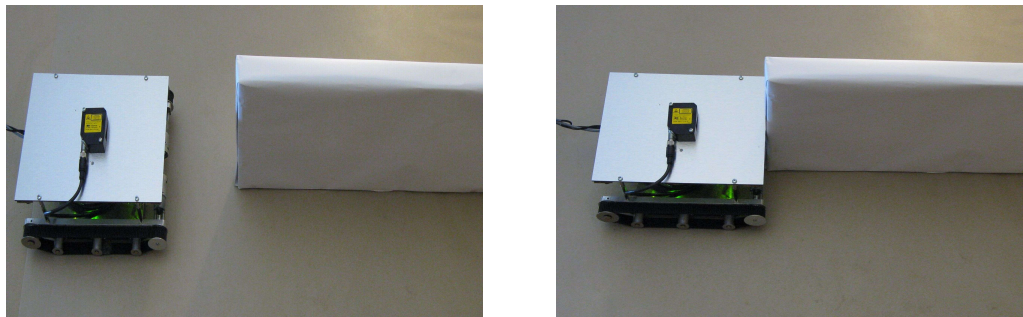
Obrázek 6.8: Tenké, úzké překážky, situace 1: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

#### Neúspěšné pokusy

- Situace 2

Tahle situace je od předchozí odlišná natočením překážky, což je patrné z obrázku

6.9 a). Překážka je natočena k podvozku svou nejužší stranou a je pro podvozek prakticky neviditelná. Toto je zřejmé z obrázku 6.9 b), na kterém je vidět náraz podvozku do překážky. Důvodem je opět rozmístění senzorů na podvozku, které není schopno tuto překážku rozpoznat.



Obrázek 6.9: Tenké, úzké překážky, situace 2: a) výchozí pozice (vlevo) b) koncová pozice (vpravo).

#### 6.2.4 Zhodnocení testů

Z výše uvedených testů podvozku je patrné, že podvozek má následující potíže při vyhýbání se překážce. Má problémy s malými překážkami, které není schopen detekovat, pokud se nenacházejí přímo před některým z jeho čidel. Stejně tak není schopen detekovat zaoblené překážky a rohy, které se nacházejí v ose jeho pohybu. Toto je způsobeno rozmístěním a počtem čidel, kterými je podvozek osazen. Nemá totiž žádné čidlo uprostřed přední nebo zadní strany, ale má pouze tato čidla na rozích. Naopak podvozek nedělá problémy vyhnout se překážkám, které jsou dostatečně velké. Zvládá také i složité situace sestavené z takovýchto překážek, jak bylo dokázáno v testu 6.2.1.

### 6.3 Možnosti řešení problémů

Z výše uvedených testů je patrné, že podvozek dosahuje poměrně nízké rychlosti a hmotnosti, kterou je schopen uvést. Tento problém by se dal odstranit osazením podvozku lehčí baterií, případně vyvrtáním odlehčovacích otvorů do rámu podvozku.

Další problém podvozku je detekce některých typů překážek, což dokazují i výše uvedené testy. Tento nedostatek by bylo možné odstranit dalšími čidly, která by byla umístěna mezi předními a zadními čidly. Pro odstranění „oslepnutí“ podvozku, vlivem slunečního záření, bych volil čidla pracující na jiném principu než infračerveném záření, například čidla založená na principu ultrazvuku. Čidla by se pak navzájem kompenzovala a potlačovala své nedostatky.



# Kapitola 7

## Závěr

V této práci jsou zmíněny různé druhy robotických podvozků spolu s jejich principy, výhodami a nevýhodami. Také je zde rozebrána problematika vybraných senzorů používaných v robotice a možnosti napájení mobilních robotických zařízení. Na základě těchto znalostí je vytvořen návrh vlastního robotického podvozku. Tento podvozek je následně zkonstruován a doplněn firmwarem pro autonomní (inteligentní) řízení, který umožňuje podvozku vyhnout se překážce. Kompletní podvozek byl podroben řadě testů, zejména pak jeho maximálním možnostem a schopnosti se vyhnout překážkám v různých předpřipravených dráhách. Velmi dlouhý čas, který byl stráven nad vývojem tohoto podvozku, je tak vykoupen funkčním vzorkem, který splňuje předepsané zadání ve všech bodech, a mnoha novými a především cennými praktickými zkušenostmi.

### 7.1 Dosažené výsledky

Výsledkem této práce je pásový podvozek poháněný dvěma stejnosměrnými motory. Tento podvozek je osazen šesti infračervenými čidly, laserovým dálkoměrem a mikrokontrolery, umožňující chod tohoto podvozku. Podvozek je možno řídit drátovým dálkovým ovládním. Při případné hrozbě nárazu do překážky se podvozek snaží této překážce vyhnout za pomoci autonomního (inteligentního) firmwaru. Úspěšnost vyhýbání se různým překážkám byla popsána v kapitole 6.2.

### 7.2 Problémy při vývoji

Jedním s velkých problémů při vývoji tohoto podvozku bylo sjíždění pásů z kol. Tato situace nastávala převážně při otáčení podvozku. S pásy souvisel i další problém a to jejich příliš velký prokluz. Tomuto problému nezábránilo ani dodatečné obrobení hnacích kol, které zvýšilo drsnost jejich povrchu, tzv. „orádlování“. Aby byl prokluz snížen byly vyrobeny nové kratší pásy a tím došlo k jejich většímu napnutí. Tato úprava bohužel vedla ke snížení rychlosti a s tím spojené i maximální nosnosti podvozku.

S elektronikou příliš velké problémy nenastávaly, kromě klasických problémů a to tzv. „studených obvodů“. Jedná se o problém kdy součástky nejsou vodivě spojeny, ač se tak opticky zdá být. Jediným podstatným problémem bylo již zmiňované sluneční záření, které značně ovlivňovalo IR čidla.

### 7.3 Další možnosti vývoje

Asi prioritním krokem dalšího vývoje by bylo optimalizování pohonu. Tato optimalizace by spočívala především ve výměně hnacího kola. Toto kolo by bylo nahrazeno ozubenou řemenicí, do které by přímo zapadaly zuby řemene, a tím by nemělo dojít k žádnému prokluzu. Pásky by potom musely být nahrazeny oboustrannými ozubenými řemeny, aby byl zachován styk zubů se styčnou plochou, po které se podvozek pohybuje. Vhodné by bylo osadit podvozek jinou lehčí baterií, což by také vedlo ke zlepšení jízdních vlastností podvozku.

Další krok vývoje by byl zaměřen na senzory, především IR čidla. Jelikož samotná IR čidla nejsou dostačující pro detekci překážky, bylo by vhodné tato čidla doplnit o další čidla pracující na jiném principu. Tato čidla by tak kompenzovala nevýhody stávajících IR čidel. Mohlo by se jednat například o čidla pracující na principu ultrazvuku. Dále by bylo vhodné podvozek osadit kompasem nebo jiným senzorem, který by umožnil přesné otáčení o určitý úhel. Dalším velkým krokem by bylo implementování vyššího řídicího systému. Tento systém by plánoval trasu pohybu a vytvářel mapy. Také by mohl řídit případné další akční členy.

### 7.4 Osobní přínos

V průběhu celé práce bylo nutno projít a seznámit se s postupy v řadě odvětví, zejména pak strojírenství, programování mikrokontrolerů a základy elektroniky. Jelikož podvozek neobsahuje žádné výukové kity, které mají řadu věcí předpřipravených. Autor se tak mohl setkat s různými úskalími, o kterých věděl jen teoreticky a vyzkoušet si jejich řešení v praxi. Výsledný podvozek je základem pro budoucího robota.

# Literatura

- [1] Martinek, J.: *Senzory v průmyslové praxi*. BEN, 2004, ISBN 80-7300-114-4.
- [2] Orság, F.: *Robotika na FIT - studijní opora* . 2006, 131s.
- [3] Šolc, F.; Žalud, L.: *Robotika na FEKT - studijní opora* . 2002, 61s.
- [4] *Baumer group* [online]. URL <<http://sensor.baumer.com>>, [cit. 2011-11-02]
- [5] Dlouhý, M.; Winkler, Z.: *Robotika* [online]. URL <[www.robotika.cz](http://www.robotika.cz)>, [cit. 2011-12-18]
- [6] *ENVIROS - Palivové články* [online]. URL <[http://www.enviros.cz/palivove\\_clanky/palivove\\_clanky.html](http://www.enviros.cz/palivove_clanky/palivove_clanky.html)>, [cit. 2011-12-03]
- [7] *RobotShop — Robot Store — Robots — Robot Parts — Robot Kits — Robot Toys* [online]. URL <<http://www.robotshop.com/>>, [cit. 2011-10-08]
- [8] *Hystereze - Wikipedie*[online]. URL <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hystereze>>, [cit. 2012-01-20]
- [9] *H-bridge - Robotika Wiki* [online]. c2009, URL <<http://wiki.robotika.cz/H-bridge>>, [cit. 2011-12-13]
- [10] *Katedra robototechniky VSB Ostrava*[online]. URL <<http://robot2.vsb.cz/>>, [cit. 2011-12-25]
- [11] *Snail Instruments* [online]. URL <<http://shop.snailinstruments.com/>>, [cit. 2011-11-13]
- [12] *RC modely* [online]. URL <<http://www.rcguru.cz/>>, [cit. 2011-11-13]
- [13] ATMEL Corporation.: *Datasheet: ATmega 8535* [online]. c2010, URL <<http://www.atmel.com/Images/doc2502.pdf>>, [cit. 2012-03-22]
- [14] ATMEL Corporation.: *Datasheet: ATtiny 2312* [online]. c2010, URL <<http://www.atmel.com/Images/doc2543.pdf>>, [cit. 2012-03-22]
- [15] Plíva, Z.: *EAGLE prakticky - řešení problémů při běžné práci*. BEN, 2007, ISBN 978-80-7300-227-5.
- [16] *How to Build a Robot Tutorial - Society of Robots* [online]. c2005, URL <<http://www.societyofrobots.com>>, [cit. 2011-04-11]
- [17] *GME electronic* [online]. URL <<http://www.gme.cz/>>, [cit. 2011-02-24]

- [18] Vobecký, J.; Záhlava, V.: *Elektronika : součástky a obvody, principy a příklady*.  
Grada Publishing, 2005, ISBN 80-247-1241-5.

# Dodatek A

## Obsah CD

K této práci je přiloženo CD s následujícím obsahem adresářů:

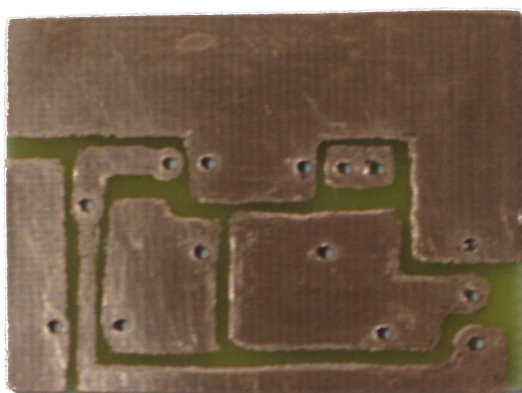
`src` - zdrojové kódy programů pro mikrokontrolery.

`tex` - obsah práce v  $\text{\LaTeX}$ .

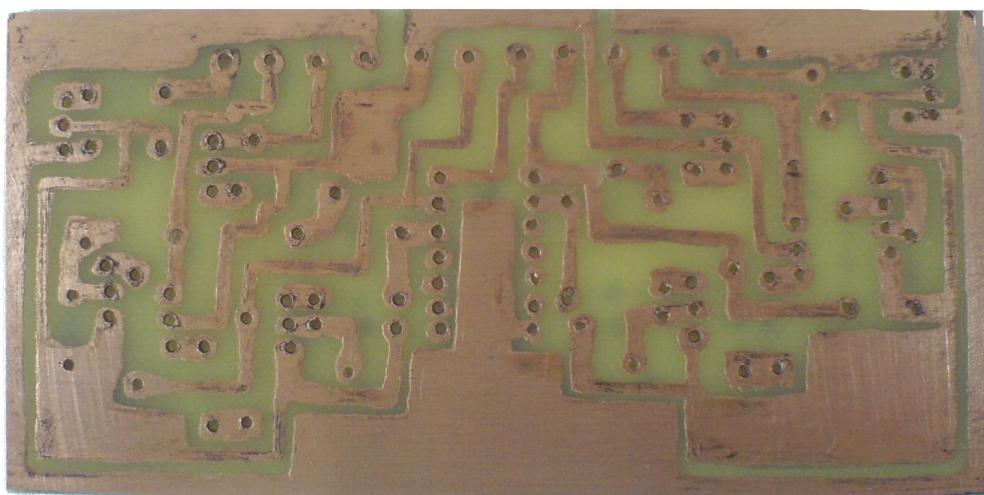
`doc` - obsah práce v pdf souboru.

## Dodatek B

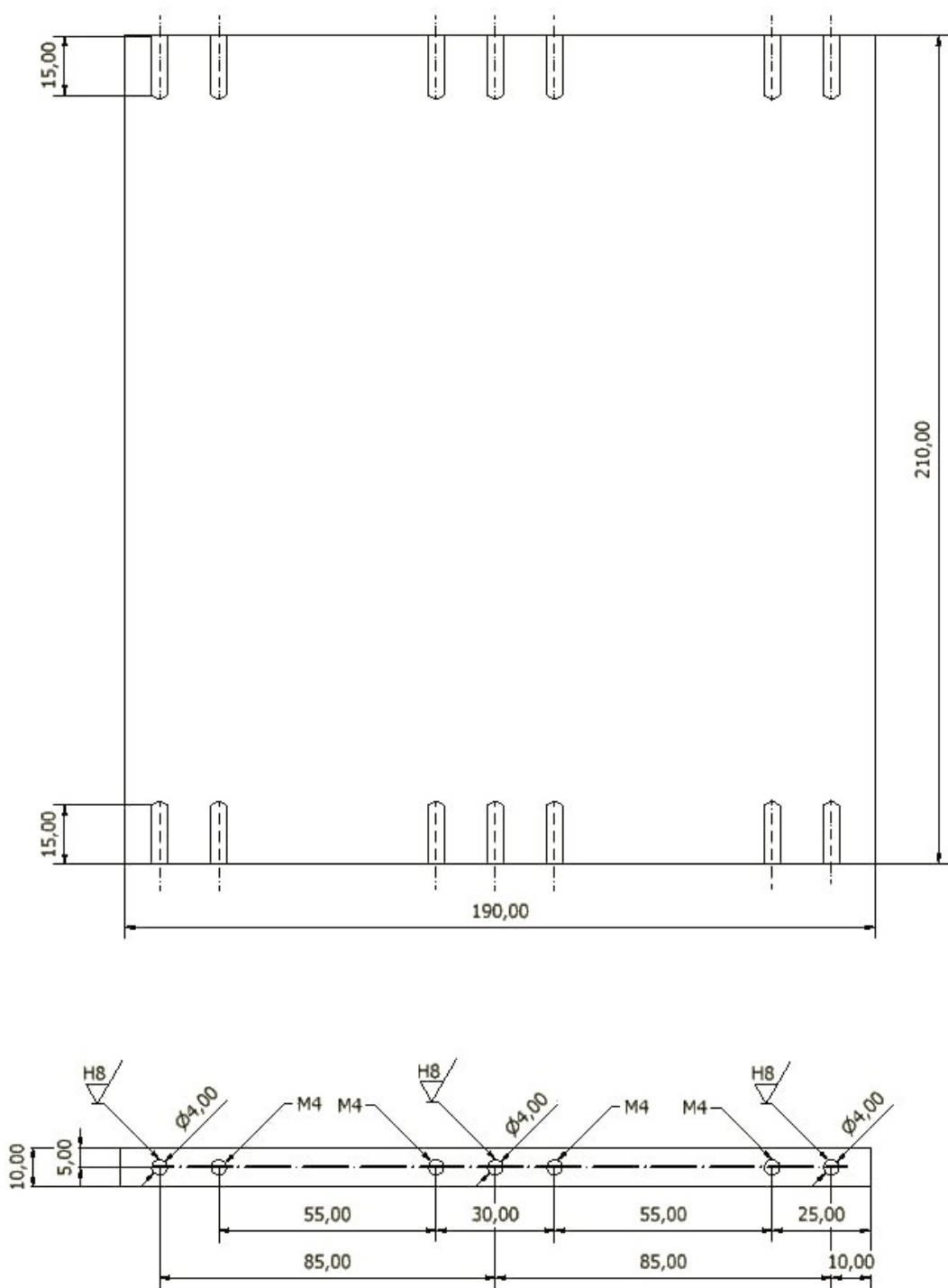
### Výkresy a schémata



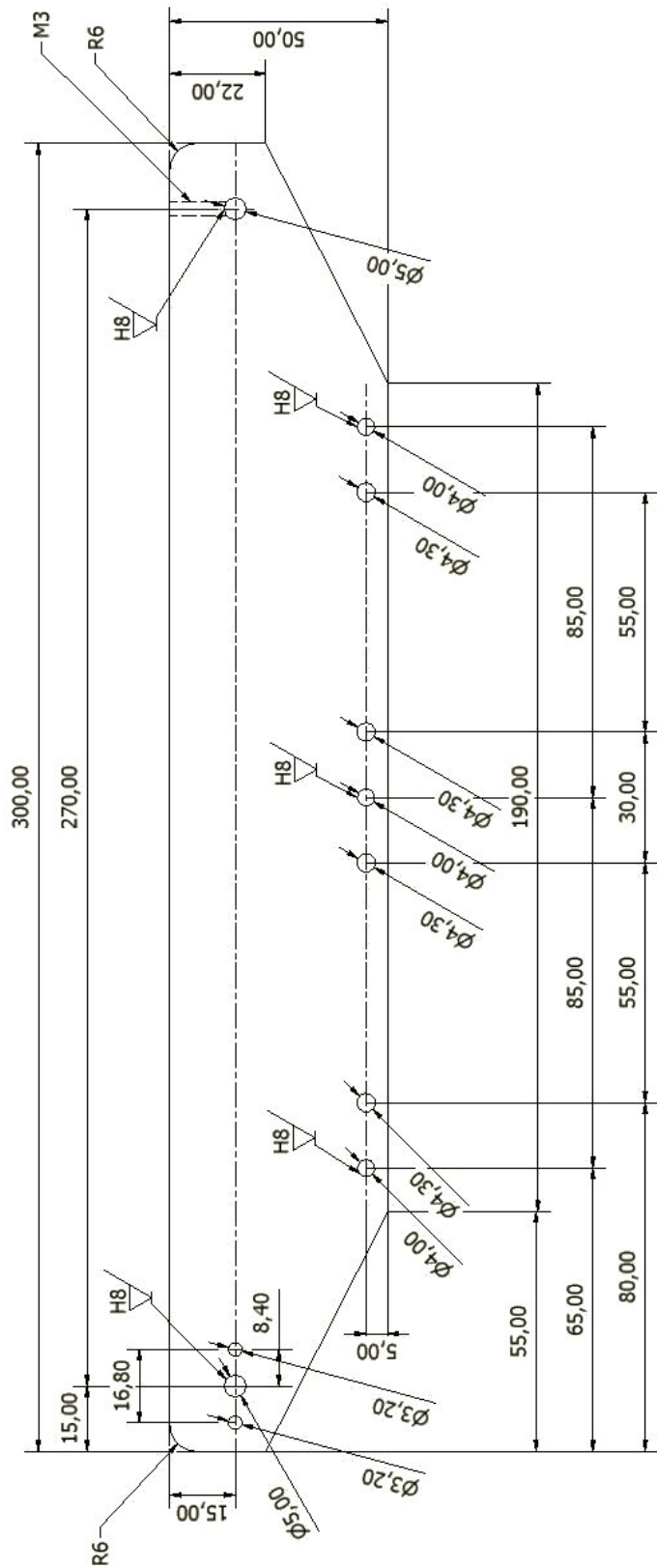
Obrázek B.1: Deska pro IR čidlo.



Obrázek B.2: Deska pro dvojité H-můstek.



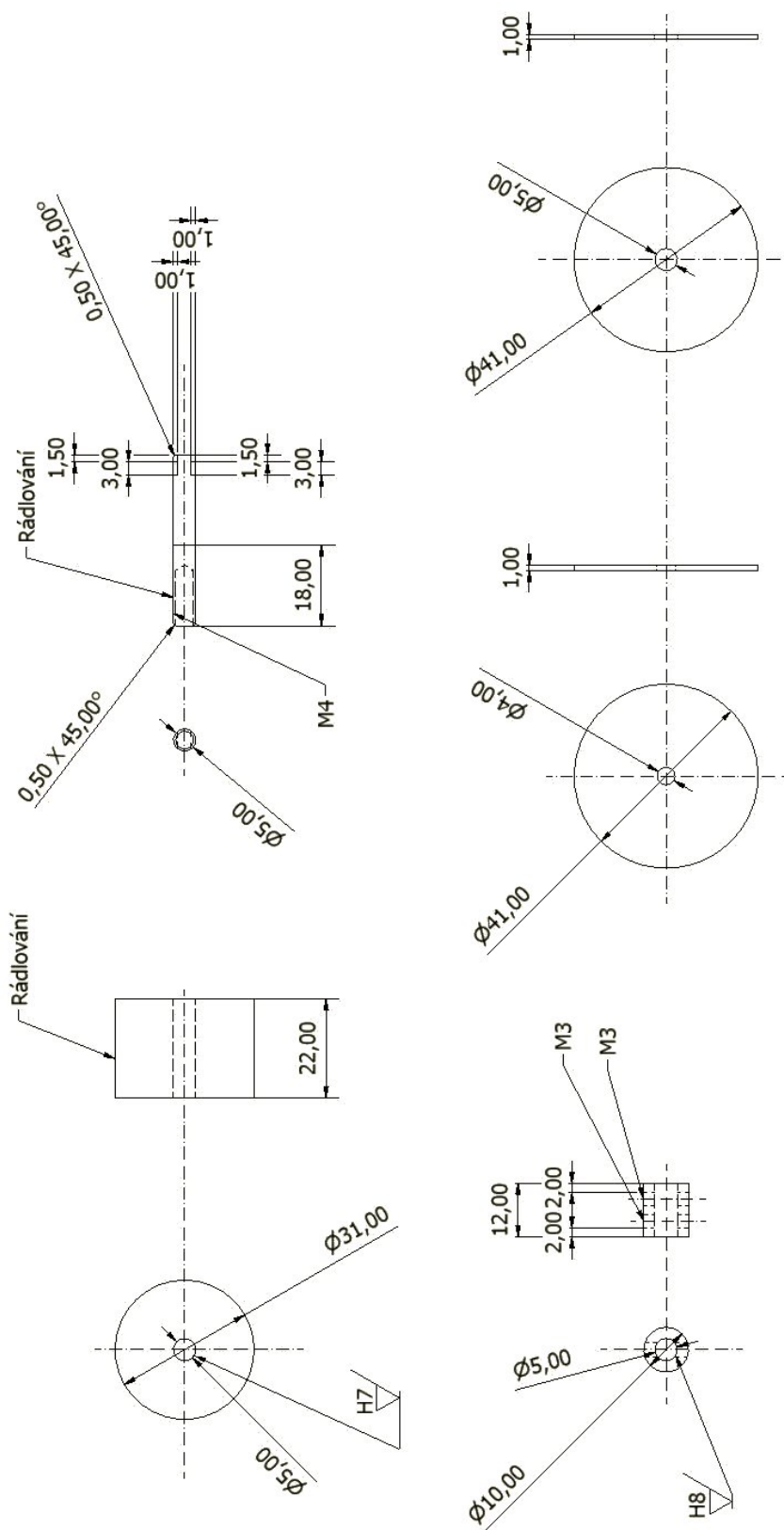
Obrázek B.3: Konstruktivní plány nosného rámu - podstava.



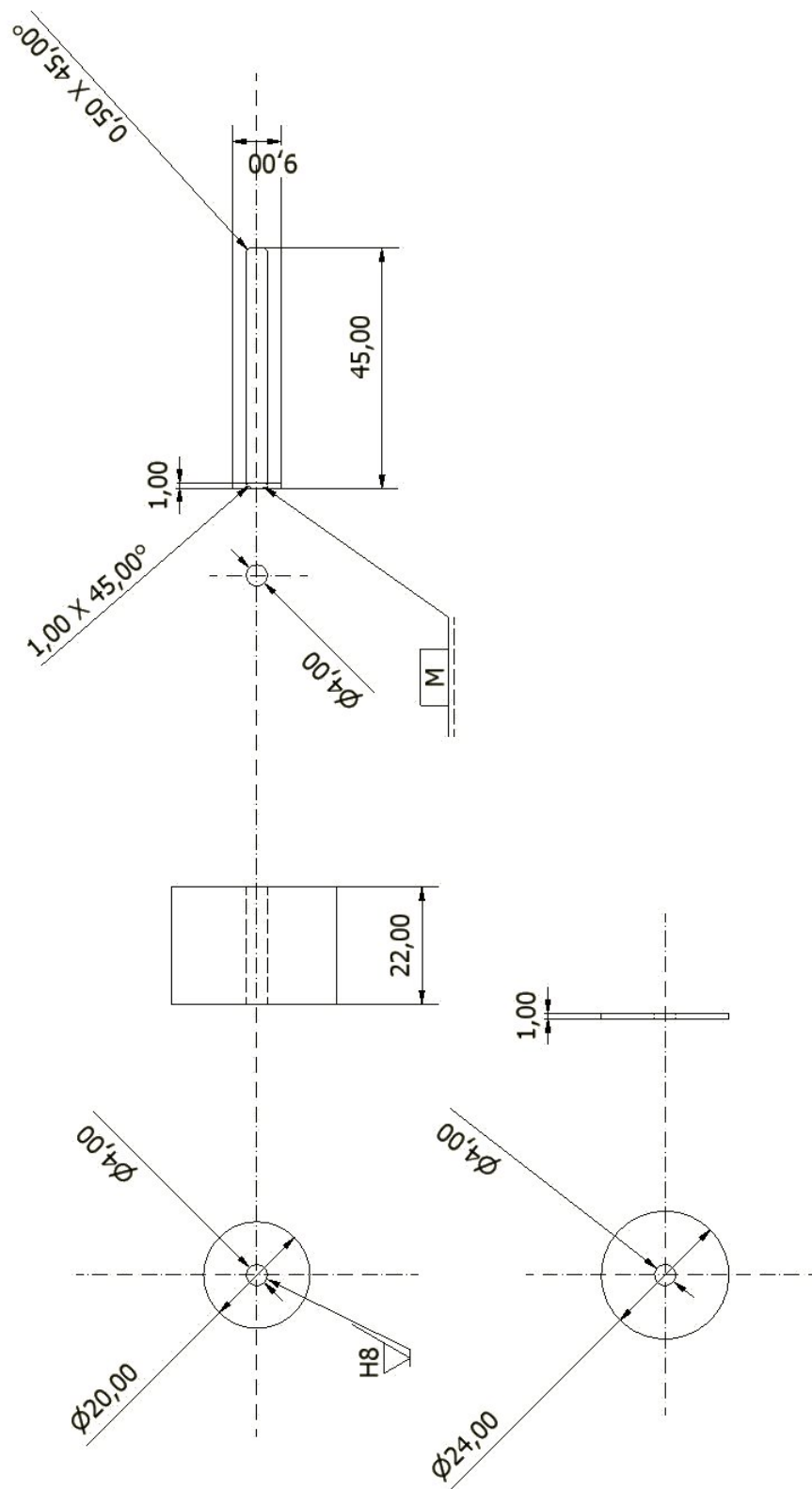
Obrázek B.4: Konstrukční plány nosného rámu - levý bok.



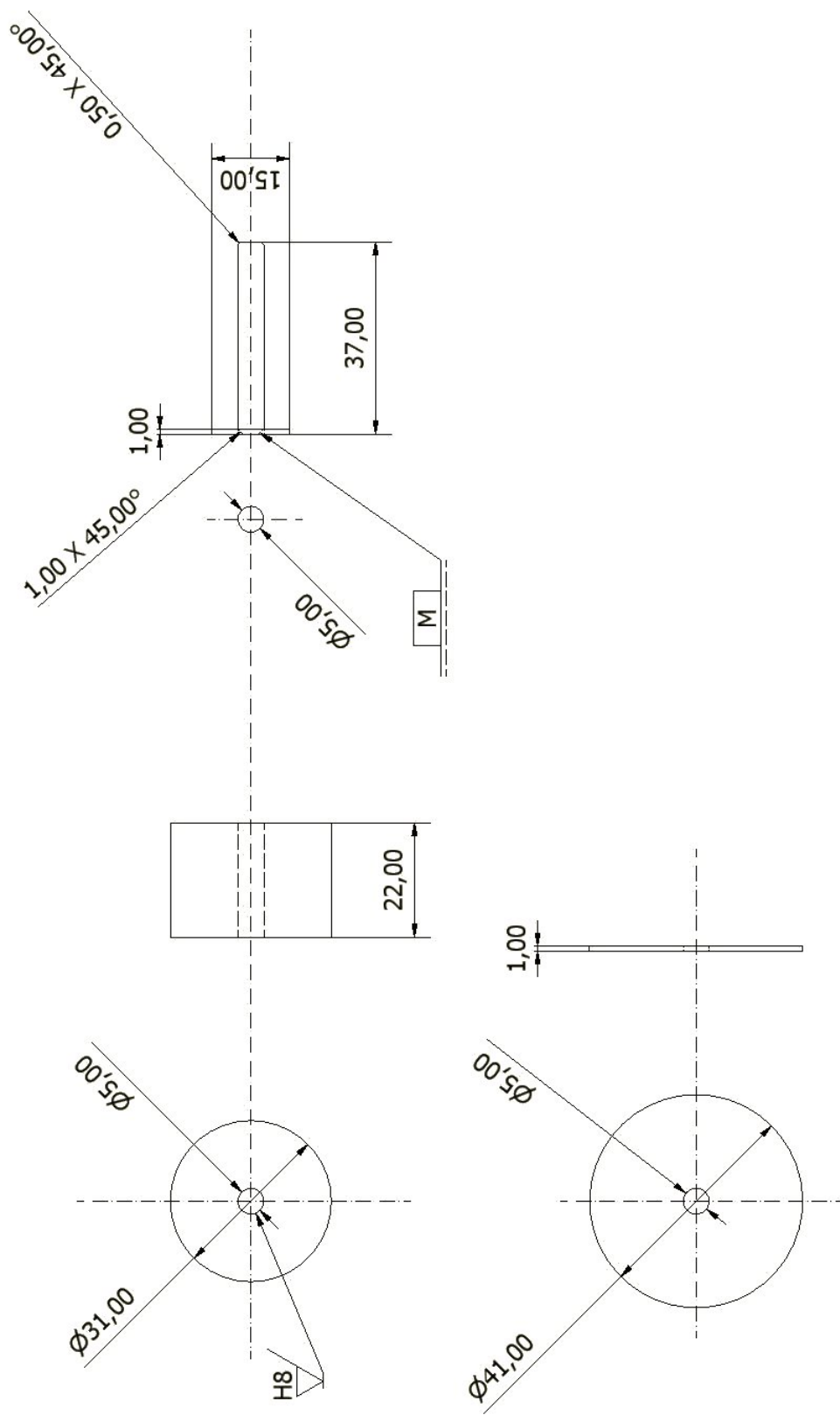




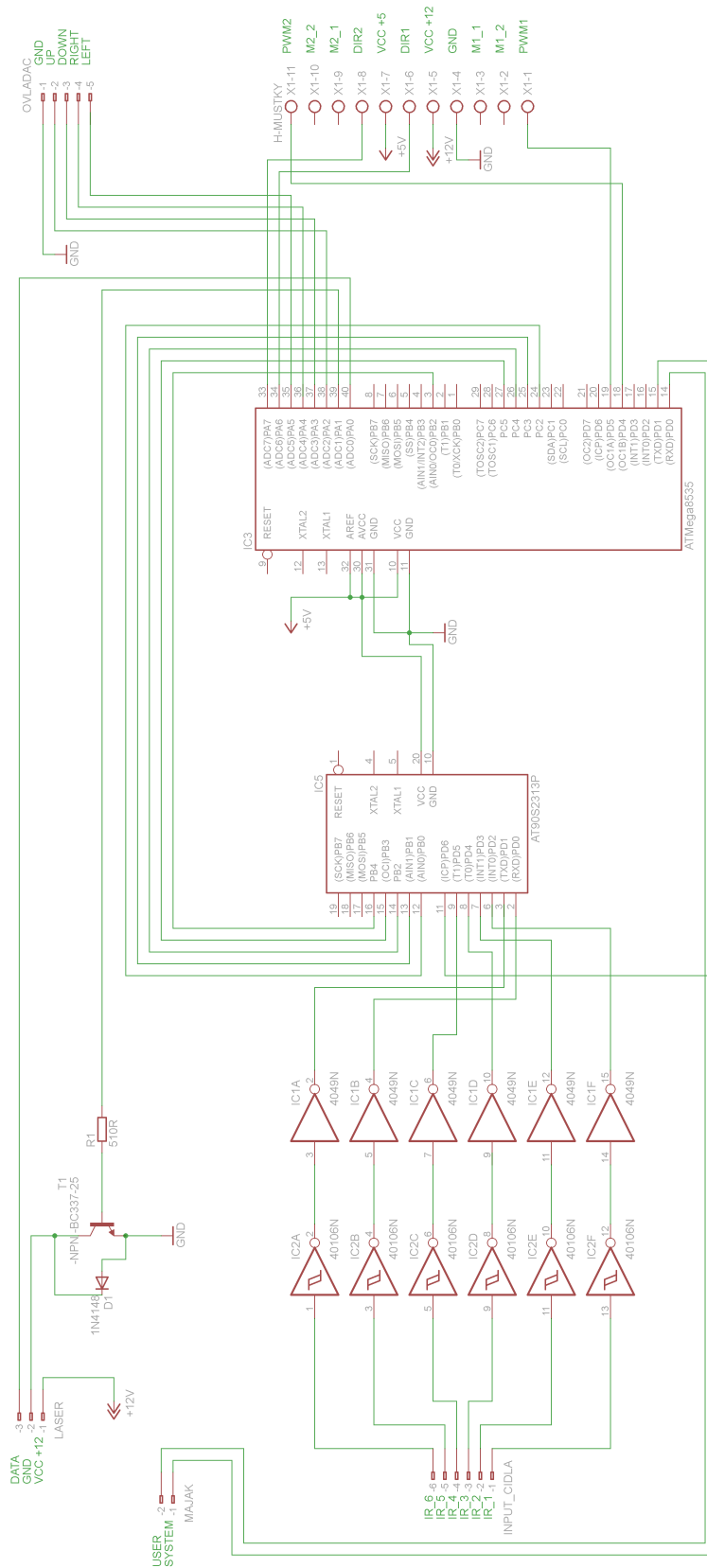
Obrázek B.6: Konstrukční plány hnacích kol.



Obrázek B.7: Konstrukční plány zadních kol.



Obrázek B.8: Konstrukční plány opěrných kol.



Obrázek B.9: Schéma zapojení mikrokontrolerů.