

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití senzorů v dopravní a manipulační technice

Autor: **Jiří ŠTĚNO**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jaromír HORÁK, CSc.**

Akademický rok 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří ŠTĚNO**
Osobní číslo: **S09B0498P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Využití senzorů v dopravní a manipulační technice**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem práce je shrnout možnosti využití senzorů v manipulační technice. Zhodnotit systémy řízení manipulátorů. Vypracovat konstrukční návrh automaticky ovládaného manipulátoru.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše používaných senzorů
2. Přehled systémů pro automaticky řízená vozidla
3. Vlastní konstrukční návrh
4. Ekonomická rozvaha
5. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

ROGERS, L. K. *Automatic Guided Vehicles. Modern Materials Handling*, 2011

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999


VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. Brno: nakl. Vlk, 2003

BISHOP, R. *Intelligent Vehicle Technology and Trends*. Boston: Artech, 2005

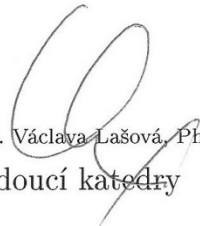
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Jaromíru Horákovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí množství informací, ochotu a trpělivost po celou dobu naší spolupráce.

Dále děkuji Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. za poskytnutí odborné konzultace a komponentů pro stavbu modelu a Ing. Petru Jandovi za poskytnutí cenných rad.

Nakonec bych rád poděkoval svému otci, který mě motivoval a byl mi velice nápomocen při dokončování této práce, a Ing. Veronice Vavruňkové, Ph.D. za pečlivé pročtení textu a provedenou jazykovou korekturu.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Štěno	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Horák, CSc.	Jméno Jaromír	
PRACOVNÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Využití senzorů v dopravní a manipulační technice		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	53	TEXTOVÁ ČÁST	33	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce shrnuje druhy systémů pro automaticky řízená vozidla a manipulační techniku, dále se zabývá přehledem senzorů pro navigování. V konstrukční části byl proveden návrh jednoho z autonomních manipulátorů, konkrétně byl vypracován konstrukční návrh a navigační systém plošinového vozíku na přepravu přepravků. Vybraný navigační systém byl uveden do provozu na modelovém vozíku.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Senzory, autonomní manipulátory, navigační systém, automaticky řízené vozidlo, navigování

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Štěno	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	2301R016 “Transport Vehicles and Handling Machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Horák, CSc.	Name Jaromír	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Using Sensors in Transport Vehicles and Handling Machinery		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	53	TEXT PART	33	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis summarizes guidance systems for autonomous vehicles and handling machinery. Summary of sensors used for guidance is in the next part of the thesis. In the design part an automatic guided vehicle was designed, namely the autonomous cart for transporting industrial boxes. The chosen guidance system was put into operation on a model cart.
KEY WORDS	Sensors, autonomous handling machinery, guidance systems, automatic guided vehicles, navigation

OBSAH

Přehled použitých zkratk	8
Přehled použitých symbolů	8
1 Úvod	9
1.1 Cíle práce	10
2 Přehled systémů pro automaticky řízená vozidla	11
2.1 Navigační systémy pro osobní automobily	11
2.1.1 Parkovací asistent	11
2.1.2 Autonomní vozidla	12
2.2 Navigační systémy používané pro manipulační techniku	13
2.2.1 Sledování vodící čáry	13
2.2.2 Laserová navigace	14
2.2.3 Inerciální (gyroskopická) navigace	15
2.2.4 Navigace podle přirozených prvků	15
3 Přehled používaných senzorů pro navigování	17
3.1 Sensory polohy	17
3.1.1 Pulzní laserový dálkoměr	17
3.1.2 LIDAR (Light Detection And Ranging)	18
3.2 Sensory intenzity magnetického pole	18
3.3 Optoelektronické senzory	18
3.4 Sensory úhlové rychlosti	18
3.4.1 Optický vláknový gyroskop	18
3.4.2 Gyroskop na principu Coriolisovy síly	19
3.5 Sensory zrychlení	20
3.5.1 Piezoelektrický akcelerometr	20
3.5.2 Kapacitní akcelerometr	20
3.5.3 Tenzometrický akcelerometr	21
3.5.4 Tepelný akcelerometr	21
3.6 Mikrosystémy	21
4 Vlastní konstrukční návrh	24
4.1 Výběr navigačního systému	24
4.2 Popis navigačního systému	24
4.3 Volba typu podvozku a řízení	26
4.4 Model	26
4.5 Popis algoritmu	27
4.6 Návrh vozíku	28
4.6.1 Koncepce rozložení komponentů	28
4.6.2 Dimenzování trakce	29
4.6.3 Výběr baterie	31
4.6.4 Návrh konstrukce	32
4.6.5 Výpočet konstrukce metodou konečných prvků	35
5 Ekonomické zhodnocení	40
5.1 Vlastní náklady na pořízení navrženého vozíku	40
5.2 Vyhodnocení ceny provozu autonomního vozíku	41
6 Závěr	42
Seznam použité literatury	43
Seznam obrázků	45
Seznam tabulek	45
Seznam příloh	45

Přehled použitých zkratk

AGC	automaticky řízený vozík (Automatic guided cart)
AGV	automaticky řízené vozidlo (Automatic guided vehicle)
AVR	počítačová architektura vyvinutá společností Atmel
BLDC	bezkartáčová motory napájený stejnosměrným proudem (Brushless DC motor)
DC	stejnosměrný proud (Direct current)
I/O	vstupně-výstupní (Input/output)
IPA	inteligentní parkovací asistent
IR	infračervený (Infrared)
LED	dioda emitující světlo (Light-emitting diode)
LGA	typ pouzdra integrovaných obvodů (Land grid array)
MKP	metoda konečných prvků
PWM	pulsně šířková modulace (Pulse-width modulation)
RF	radiofrekvenční signál
TDC	časově digitální převodník (Time to digital converter)

Přehled použitých symbolů

a	zrychlení	(ms^{-2})
C	kapacita kondenzátoru	(F)
C_P	cena práce pracovníka	(Kč)
C_V	cena provozování AGC	(Kč)
d	vzdálenost mezi deskovými elektrodami	(m)
E_k	kinetická energie	(J)
F	síla	(N)
f	součinitel odporu valení	(-)
G	tíha	(N)
H_P	hodinová mzda pracovníka	(Kčh^{-1})
H_V	cena provozu jedné hodiny AGC	(Kčh^{-1})
I	elektrický proud	(A)
m	hmotnost	(kg)
O_f	odpor valení	(N)
P	výkon	(W)
P_C	pořizovací cena AGC	(Kč)
S	plocha elektrod	(m^2)
t	čas	(s)
U	elektrické napětí	(V)
v	rychlost	(ms^{-1})
ϵ_0	permitivita vakua	(Fm^{-1})
ϵ_r	poměrná permitivita	(-)
η	účinnost	(-)
ω	úhlová rychlost	(rads^{-1})

1 Úvod

Neustálý tlak výrobců na zvyšování efektivnosti výroby vede ke zvyšování podílu automatizace procesů ve výrobě, a proto zavádění moderních technologií patří k současným trendům. Současné vědecké poznatky odhalily základní rozpor mezi schopností člověka ovládat a řídit různé stroje a zařízení s vysokými výkonnostními parametry v porovnání s jejich rychlostí.

Rychlost, miniaturizace, výkonnost výrobních prostředků vyústila v to, že lidská síla není kvůli omezeným smyslům schopna tyto procesy úspěšně vyhodnocovat, a tím pádem je i bezchybně řídit a ovládat. Vznikl požadavek na nahrazení lidské obsluhy, kvůli chybujícím lidskému faktoru, a dokonce i požadavek na odstranění zbytečných provozních nákladů vynakládaných na zaměstnance firem. Jednou z možností byla snaha výrobců zavádět různou úroveň robotizace a automatizace výroby. Sledovat různé parametry výroby bez zásahu lidského faktoru a lidskému činiteli přenechávat jen ty úkoly, které se neobejdou bez jeho, zatím ničím nenahraditelné, schopnosti logického myšlení a rozhodování.

Součástí jakéhokoliv výrobního procesu je neustálé přemísťování materiálu, polotovarů a hotových výrobků mezi jednotlivými pracovišti. Konec konců i přeprava finálních výrobků od výrobců ke končenému zákazníkovi klade důraz na zefektivnění.

Manipulace s materiálem a jeho přeprava ve výrobních podnicích je jednou z momentů ovlivňujících celkové náklady na výrobu daného výrobku, které má výrobce ve své moci. Snižovat náklady výroby v oblastech, které lze ovlivnit použitím nových technologií a organizace práce je jednou z cest jak dosáhnout zvoleného cíle.

Snižování podílu živé práce na rutinních, mnohdy i namáhavých činnostech, které se periodicky opakují je nejjednodušší za použití robotických manipulátorů, bezobslužných vozidel a robotů jako takových. Ve výrobních provozech se zpravidla naráží na vhodnost použití dopravních cest při zpracování výrobku od přijetí materiálu na sklad, dopravu polotovarů mezi jednotlivými operacemi, až po uskladnění finálního výrobku na sklad a jeho vyskladnění při prodeji.

Globalizace a koncentrace výroby s sebou přinesla trend výstavby rozměrných výrobních ploch, ve kterých vzniká aktuální problém efektivního přemísťování různých výrobních komponentů. Tito výrobci jsou nuceni hledat vhodná řešení, která nacházejí ve využívání různých přepravníků a bezobslužných vozíků.

Je nesporné, že pro užití dopravních cest u rozlehlých výrobních hal nebo skladů, se jeví použití různých manipulátorů jako nejvhodnější cesta ke snížení nákladů.

Každá výrobní linka má svůj začátek a konec, takže vznikají různá řešení jak dopravit materiál na začátek linky a jak dopravovat hotové výrobky na sklad hotových výrobků.

Rovněž může vzniknout potřeba vrátit rozpracovávaný polotovar zpět mezi různými stupni zpracování, například při nespojitě výrobní lince.

Tyto nahodilé přepravy lze řešit použitím vhodného pracovníka, který by komponenty výroby přemísťoval na daná místa nebo lze použít právě automaticky řízený vozík, který by přepravoval materiál po předem definované dráze nebo do předem známých uzlů výroby.

1.1 Cíle práce

V teoretické části shrnout druhy systémů pro automaticky řízená vozidla a manipulační techniku, vytvořit přehled senzorů pro navigování. Provést vlastní konstrukční návrh jednoho z autonomních manipulátorů, konkrétně plošinový vozík na přepravu přepravek.

Cílem práce bylo:

- vybrat vhodný navigační systém pro automaticky řízený vozík
- pokusit se vybraný navigační systém uvést do provozu na modelovém vozíku
- vybrat vhodný pohon, baterii a podvozek pro plošinový vozík na přepravu přepravek
- konstrukční návrh vozíku
- ekonomické zhodnocení

2 Přehled systémů pro automaticky řízená vozidla

2.1 Navigační systémy pro osobní automobily

2.1.1 Parkovací asistent

Trendem poslední doby v automobilovém průmyslu se stávají systémy, jež napomáhají při manévrování s vozidlem. Velmi rozšířený je tzv. parkovací asistent, který využívá parkovacích senzorů k určení vzdálenosti vozidla od překážek při samotném manévru.

Pokročilejším systémem je pak automatické parkování, známé jako inteligentní parkovací asistent (IPA). IPA dokáže předem vyhodnotit, zda bude vozidlo schopné do určeného prostoru zaparkovat a daný požadavek realizovat. Senzory v IPA jsou napojeny na řídicí jednotku vozu a procesor vypočítává polohu cíle a úhel parkování. Na základě těchto dat je ovládán elektrický posilovač řízení, což znamená, že systém převezme řízení a vůz je naveden na parkovací pozici. V těchto systémech je průkopníkem japonská automobilka Toyota, která je představila poprvé ve svém modelu Prius v roce 2003 [1]. Kromě parkovacích senzorů je zde použito také kamer. Ty ovšem nehrají žádnou roli v samotném navádění vozidla, snímají pouze okolí vozidla pro informovanost řidiče. [2, 3]

Parkovací senzory jsou senzory přiblížení. Spadají do dvou základních kategorií:

a. Ultrazvukové parkovací senzory

Jsou využívány řadou výrobců aut jako vestavěné systémy pojmenované různými obchodními názvy. Dostupné jsou i jako samostatný autodoplněk. Čidla pro automatické měření velikosti parkovacího místa se umisťují do zadního i předního nárazníku (obr. 1) a do modulů bočních blikačů. [4, 5]



Obrázek 1: Ultrazvukový senzor v nárazníku vozidla [6]

b. Elektromagnetické parkovací senzory

Dostupné jsou pouze jako autodoplněk. Jejich výhodou je instalace bez vrtání děr do nárazníku. Metalická páska, sloužící jako anténa, se nalepuje na vnitřní stranu nárazníku a zajišťuje detekci překážek po celé délce nárazníku (na rozdíl od ultrazvuku, který má mezi jednotlivými senzory hluchá místa). Detekuje všechny druhy překážek: chodce, vozidla, obrubníky, sloupy, ploty, zdi, vrata, apod. Oproti ultrazvukovému senzoru dovoluje více se přiblížit překážce. Nevýhodou je, že pracuje na dynamickém principu. Detekce překážky probíhá, jen pokud se vůči ní senzor pohybuje pomalu a plynule. [7]

Za zmínku dále stojí systém vyvíjený BMW Group, který umožňuje samočinné zajištění do garáže. Využito je zde principu sledování změny obrazců světlometů snímaných čelní kamerou, podle nichž se automobil vycentruje a zastaví před stěnou garáže. Tento systém je cílen pro majitele úzkých garáží, kde by nebylo možné otevřít dveře a je nutné vystoupit před garáží.

2.1.2 Autonomní vozidla

Autonomní vozidlo je schopné plnit transportní možnosti tradičních aut zcela bez řidiče. Je to cíl, kam směřují všechny dosavadní asistenční systémy, jež pomáhají řidiči minimalizovat či úplně eliminovat chybná rozhodnutí a nepozornost. Postupným zaváděním jednotlivých asistenčních systémů, fungujících samostatně a nezávisle na ostatních, se snižuje jejich cena a řidiči si na ně mohou postupně zvykat a získávat s nimi zkušenosti. Budou tedy připraveni přijmout komplexní systém autonomního řízení.

Autonomní řízení vyžaduje ovšem mnohem více než parkovací asistent, který byl popsán v kapitole 2.1.1. Nestačí sledovat statické objekty, je potřeba sledovat silnici a provoz na ní, dopravní značky, semaforey a hlavně vzniklé situace vyhodnotit, což není jednoduchý úkol. Okamžité rozhodování je dosud nejtěžším úkolem. Závisí hlavně na softwaru a použitých algoritmech. Toto je ovšem nad rámec této práce, zde budou rozebrány pouze známé systémy sledování okolí a senzory v nich použité. [8]

a. Stanley

Stanley je autonomní auto postavené Stanfordskou Univerzitou, které vyhrálo DARPA Grand Challenge 2005, a které bylo pro tuto soutěž postaveno, čemuž odpovídá i systém navigace. K navigaci používá pět jednotek LIDAR (Light Detection And Ranging) upevněných na střeše auta. LIDAR je obecně optická technologie měření vzdáleností nebo jiných vlastností objektů. Funguje na obdobném principu jako radar s tím rozdílem, že místo rádiových vln se využívá světelného (laserového) paprsku [9]. Tyto laserové dálkoměry se starají o vytvoření mapy cesty ve vzdálenosti 30 metrů a jejich funkce se doplňuje kamerou. Činnost laserů identifikující sjízdnu půdu potvrzuje software zpracovávající obraz videokamery, charakteristiky terénu se tedy musí shodovat. Poloha vozidla je určena GPS. Dále jsou použity gyroskopy a akcelerometry k sledování orientace vozidla a pro zpřesňování údajů z GPS a ostatních senzorů. Pokud je signál vysílačů GPS ztracen například kvůli tunelu, foto senzor v podběhu monitoruje dezén kola a tyto data pak slouží k extrapolování polohy vozidla od poslední známé z GPS. [10]

b. Google Driverless Car

Google Driverless Car je projekt Googlu auta bez řidiče schopného účastnit se plného provozu ve městě. Testuje se na šesti vozech Toyota Prius a na jednom Audi TT.

Systém udržuje odstup využitím tří radarů vpředu a jednoho v zadním nárazníku. Povolené rychlosti dodržuje na základě údajů uložených ve svých mapách. Auto řídí technologie LIDAR. Jednotka je v rotující věži na střeše a sleduje auta ve všech směrech v okolí na vzdálenost více než 60 metrů [11]. Obsaženy jsou dále GPS, interní pohybové senzory a zpřesňování pozice obdobně jako u Stanley, ovšem zde již není opticky snímán dezén kola, ale je zde instalován přímo odometr (měřič ujeté vzdálenosti) na zadním levém kole. Kamera u zpětného zrcátka má za úkol detekovat veškerá dopravní světla (semaforey, brzdové a směrové světla) a pomáhá palubnímu počítači rozeznávat pohybující se překážky, jako jsou chodci či cyklisté. Řidiči je samozřejmě kdykoliv umožněno převzít zpět kontrolu nad vozem sešlápnutím brzdového pedálu nebo točením volantem. [12]

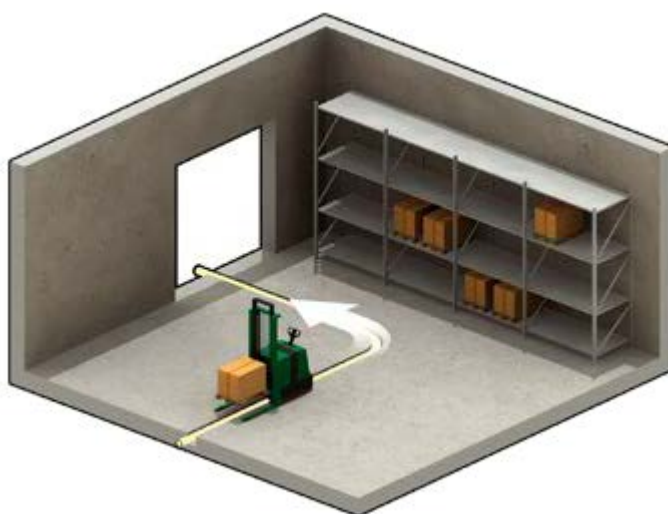
2.2 Navigační systémy používané pro manipulační techniku

2.2.1 Sledování vodící čáry

a. Drátová navigace

Přestože většina nových systémů používá nějaký typ bezdrátové navigace, některé systémy stále používají drátovou navigaci (obr. 2). Je to nejjednodušší, avšak spolehlivá forma navigace, určená pro stanovenou, předvídatelnou cestu.

Senzor je umístěn na spodní části vozidla a je namířen směrem k zemi. Drát je umístěn v drážce několik centimetrů pod povrchem podlahy. Senzor detekuje radiofrekvenční (RF) signál vysílaný z drátu a upravuje polohu vozidla pro udržení se na cestě. Pro změnu trasy se vozidlo přepne na jinou frekvenci. Vzhledem k tomu, že drážka pro drát musí být v podlaze vyříznuta, je systém drátové navigace používán převážně pro případy vyžadující vysoký stupeň přesnosti. [13, 14]



Obrázek 2: Znázornění drátové navigace [15]

b. Vodící pásy

Mnoho lehkých automaticky řízených vozíků (AGC) využívá navádění pomocí pásek (obr. 3) a používají se v případech, kde je rozhodující flexibilita cesty. Je také levnější než ostatní systémy.

Jsou používány pásy využívající dvou principů: magnetické nebo barevné (optické). AGC je vybaven vhodným vodícím senzorem, který sleduje cestu z pásek. Jednou z hlavních výhod pásek oproti drátovému navádění je to, že je lze snadno strhnout a přemístit v případě změny trasy. Také šetří náklady na drahé vyřezávání drážek do podlahy pro umístění drátu po celé délce trasy. Navíc jsou považovány za pasivní systém, protože pásy nevyžadují napájení trasy oproti drátovým systémům. Barevné pásy jsou levnější, jejich nevýhodou je však, že při použití na vysoce frekventovaných místech může dojít k poškození nebo ušpinění pásy. [13, 14]

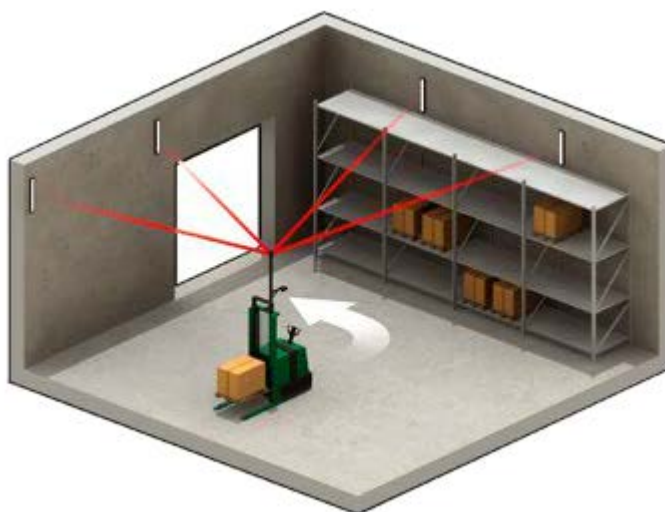


Obrázek 3: Automaticky řízený vozík naváděný pomocí pásky [15]

2.2.2 Laserová navigace

V polovině 80. let minulého století byla představena první bezdrátová navigace využívající laserových triangulačních bodů. Více než polovina automaticky řízených vozidel (AGV) používá laserové navádění (obr. 4), což je nejoblíbenější navigační systém v Severní Americe a západní Evropě.

Reflexní body jsou připevněny na sloupech, stěnách, strojích nebo tyčích asi 7,5 m od sebe. Každý bod je zmapován a označen jedinečnou x , y souřadnicí. Tyto souřadnice jsou načteny do paměti každého AGV. Každé AGV dále nese rotující věžičku s laserovým vysílačem a přijímačem. Pokud se laserový paprsek odrazí od reflexního bodu, je automaticky změřen úhel a vzdálenost. Zpracováním několika laserových odrazů najednou a porovnáním s uloženými souřadnicemi reflexních bodů může AGV vypočítat svou polohu. AGV pak porovná své vypočtené polohy s mapou souřadnice plánované cesty uložené v paměti a určuje řídicí instrukce. Laserové navádění se stalo velmi populární díky své přesnosti a flexibilitě, na druhou stranu představuje výzvu pro prostředí s překážkami, které mohou blokovat laserový signál. [13, 14]



Obrázek 4: Znárodnění laserové navigace [15]

2.2.3 Inerciální (gyroskopická) navigace

Nová forma bezdrátového navádění byla představena v polovině devadesátých let minulého století. Tato technologie se nazývá inerciální nebo gyro navigace (obr. 5). Je právě často používána v provozech se značným množstvím regálů, které by mohly blokovat laserový signál. Každý AGV je vybaven gyroskopem bez pohyblivých částí. Toto zařízení snímá velmi malé odchylky směru jízdy AGV. Stejně jako u laserové navigace, tak i zde je cesta soubor souřadnic uložených v paměti každého AGV. V podlaze jsou podél cesty umístěny malé magnety nebo pasivní RF značky přibližně každých 7,5 m. Tyto body jsou v jedné rovině s povrchem podlahy a je jim přiřazena x , y souřadnice. Tato informace je uložena v paměti AGV. Vestavěný gyroskop zaznamenává malé změny směru jízdy, což je porovnáváno s aktuální uloženou trasou. Na základě toho AGV upravuje svůj směr, aby se udrželo na předepsané trase. Značky v podlaze se používají, jako referenční body ke korekci malých chyb, které se nahromadily mezi jednotlivými značkami. AGV většinou sledují cestu po jednotlivých značkách. Inerciální navigace se hodí téměř do jakéhokoli prostředí včetně úzkých uliček nebo extrémních teplot, navíc má delší životnost než ostatní systémy. [13, 14]

Často se v inerciální navigaci používá kombinace gyroskopu s akcelerometry, kde gyroskop určuje pouze natočení AGV. Určení polohy mezi referenčními značkami je založeno na principu měření absolutního zrychlení akcelerometrem a následné dvojnásobné integrace výstupního signálu [16].



Obrázek 5: Znáznornění inerciální navigace [15]

2.2.4 Navigace podle přirozených prvků

Systém bez dodatečného vybavení pracovního prostoru se nazývá navigace podle přirozených prvků. [13, 14]

a. Laserové dálkoměry

Autonomní pohyb prostředku je založen na laserovém skenování okolního prostředí. Tím se získává konfigurace objektů a překážek v prostoru, ve které vozidlo vyhledává optimální cestu k cíli. Při pohybu se upřesňuje poloha vozidla na základě údajů z gyroskopu. Další upřesnění polohy probíhá porovnáním konfigurací okolního prostředí vozidla, získaných z původní a nové polohy vozidla. [13, 14]

b. Počítačové vidění (Camera-based imaging)

Počítačové vidění je nejnovější navigační technologie, která se čím dál více rozšiřuje. Hlavním důvodem pro její rostoucí oblíbenost není ani tak detekce překážek, jako spíše rozeznání nákladu. Například, palety uložené ručním vozíkem nemusí být přesně zarovnané, AGV kamera rozpozná díry pro paletizační vidle a podle toho je upraví. Technologie vyžaduje vysoký výpočetní výkon jak pro dynamické plánování trasy, tak pro algoritmy rozpoznávající objekty z obrazu, navíc neplatí pro pohyb robota žádná omezující pravidla. Mobilní robot vyhodnocuje prostředí v reálném čase, může se tak vyhnout překážkám a dosáhnout svého cíle v nejkratším čase. Výhodou je tedy flexibilita a dosažení libovolného místa. Také rychlá instalace těchto systémů do výrobního procesu snižuje doby prostojů. [13, 14]

3 Přehled používaných senzorů pro navigování

Senzor je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor je ekvivalentní pojmu snímač. Senzor jako primární zdroj informace snímá sledovanou fyzikální veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na měřicí veličinu – nejčastěji na veličinu elektrickou. [16]

3.1 Senzory polohy

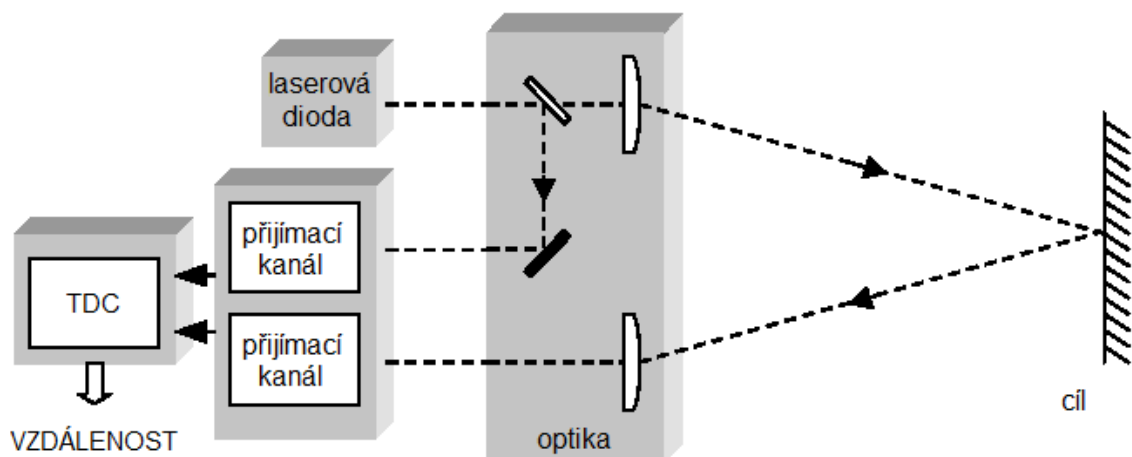
Určují polohu vozidla od okolních překážek nebo slouží k vyhodnocení, zda se vozidlo neoddaluje od definované dráhy.

3.1.1 Pulzní laserový dálkoměr

Laserové dálkoměry lze rozdělit podle principu jejich měření do několika kategorií. Jedna z těchto kategorií využívá techniku, ve které je vzdálenost měřena jako zpoždění laserového paprsku, tedy zpoždění pulzu laserového paprsku. Nazývá se také metoda doby letu.

Právě tento princip se používá pro měření absolutních vzdáleností v průmyslu, automobilovou bezpečnost, rychloměry, navigace vozidel, 3-D vidění, atd. Charakteristickými znaky pro všechny tyto typy měření jsou absence fyzického kontaktu a krátké časy měření přímo viditelného cíle. Typický rozsah měření bývá až několika desítek metrů nebo i několik kilometrů (zejména v případě vojenského použití). Přesnost měření se také mění podle potřeby, z několika málo metrů na milimetrovou přesnost. Nejdůležitějšími funkčními parametry jsou přesnost, rozsah měření a doba měření. [17]

Pulzní laserové dálkoměry se obvykle skládají z vysílače laserového impulsu, optiky, dvou přijímacích kanálů a časově digitálního převodníku, zkráceně TDC (Time to Digital Converter) a jeho schéma je znázorněno na obrázku 6. Pulzní vysílač vyšle krátký optický pulz (obvykle 2 až 20 ns) na viditelný cíl a přenosová doba je určena buď opticky, zachycením části pulzu odraženého polopropustnou plochou, nebo elektricky, ze signálu vstupujícího do laserové diody. Start pulzu je zpracován v přijímacím kanálu na logické úrovni a je poslán dál, do časově digitálního převodníku. V obou případech se vyslaný pulz odráží od měřeného cíle a je zachycen fotosnímačem v přijímacím kanále, kde je zpracován jako konečný čas a poslán do TDC na logické úrovni. TDC odečte oba časy a převede na digitální slovo, které představuje samotnou vzdálenost cíle [17]. V laserových dálkoměrech je možné využít Dopplerova efektu pro určení, zda se cíl přibližuje či vzdaluje a jak rychle.



3.1.2 LIDAR (Light Detection And Ranging)

Pracuje na stejném principu jako laserový dálkoměr. Zařízení, které lze přirovnat k LIDARu je radar. Ten vysílá také elektromagnetické vlnění, ovšem místo vlnové délky světla využívá mikrovlnné nebo radiové vlnění. LIDARy pro skenování širokého rozsahu mají horizontálně rotující hlavu stejně jako radary. Výhodou oproti radaru je vyšší přesnost plynoucí z kratší vlnové délky a dále větší škála „viditelných“ povrchů. Nevýhodou je, že jeho přesnost a dosah je limitován počasím.

3.2 Senzory intenzity magnetického pole

Používají se pro sledování intenzity magnetického pole, které je vytvořeno průtokem vysokofrekvenčního proudu drátem. Nejjednodušším senzorem je cívka, v níž se indukují napětí dle Faradayova zákona indukce.

3.3 Optoelektronické senzory

Čidlem optoelektronických snímačů je fotoelektrický senzor, ve kterém se využívá fotoelektrický jev. Senzory mohou být bodové (pro snímače mechanických veličin), čárové a plošné (pro robotiku). Jako bodový senzor je používají především: fotorezistor, fotočlánek, fototranzistor a různé typy fotodiod. Senzor je osvětlován infračerveným nebo viditelným světlem dle jeho spektrální citlivosti. Zdroj světla a senzor mohou být umístěné v jednom celku nebo mohou být oddělené. [18]

3.4 Senzory úhlové rychlosti

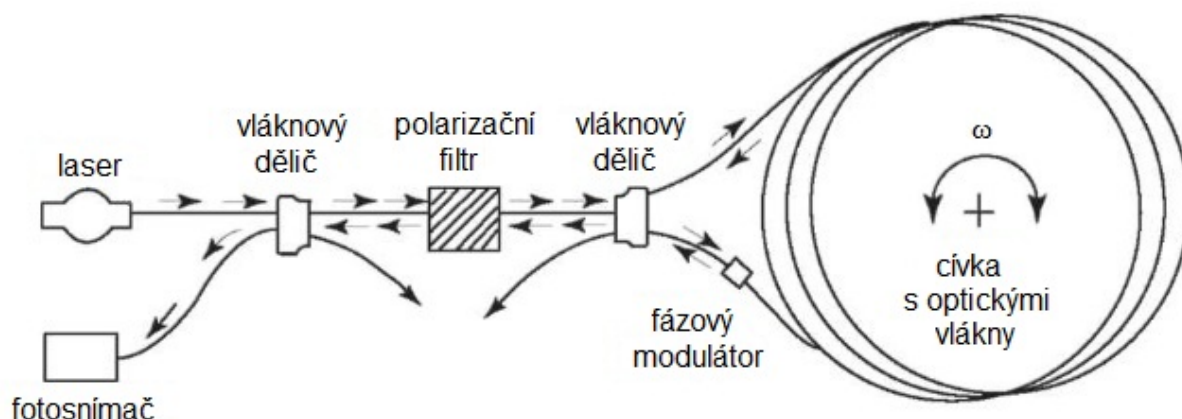
Senzory úhlové rychlosti slouží k určení natočení vozidla od známé výchozí polohy integrováním signálu.

3.4.1 Optický vláknový gyroskop

Tento gyroskop na rozdíl od mechanického neobsahuje žádné pohyblivé části, díky kterým je spolehlivý a nenáročný na údržbu. Natočení vůči inerciální soustavě se určuje optickou cestou a využívá se Sagnacova efektu. Sagnacův efekt je důsledek speciální teorie relativity.

Pokud je v neinerciální rotující soustavě uzavřená smyčka tvořící rovinu, která je kolmá na osu rotace, světelný signál vyslaný po smyčce v opačných směrech má rozdílnou rychlost šíření vůči neinerciální soustavě. Tedy signál, který je vyslán proti směru rotace smyčky, ji oběhne dříve, protože rychlost světla je stejná pro všechny pozorovatele v inerciální vztažné soustavě, stejná ve všech směrech, a nezávisí na rychlosti objektu vyzařujícího světlo. [19]

Zjednodušené schéma optického vláknového gyroskopu je na obrázku 7. Úhlová rychlost ω se určuje z fázového rozdílu. Citlivost může být zvýšena zvětšením délky optického vlákna, které pak tvoří cívku o délce až několik km [16].



Obrázek 7: Schéma optického vláknového gyroskopu [20]

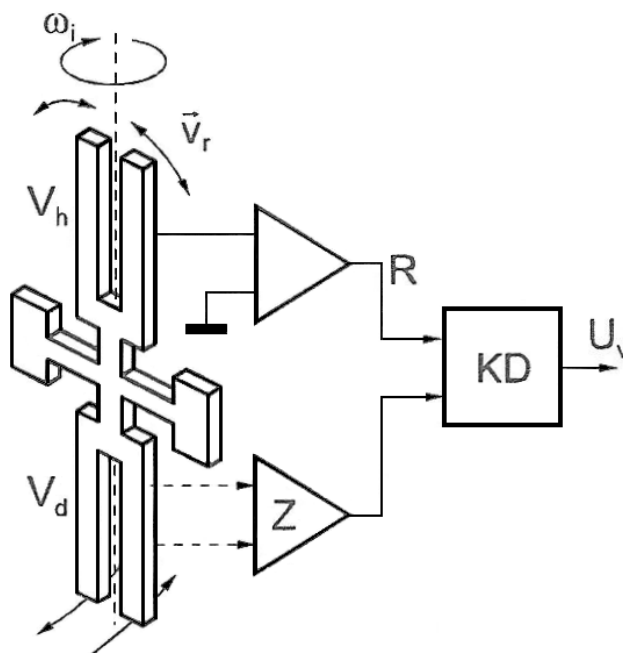
3.4.2 Gyroskop na principu Coriolisovy síly

Základ gyroskopu tvoří struktura kmitající vzhledem k pouzdru senzoru, což představuje relativní pohyb vůči němu, čili vůči neinerciální soustavě. Natáčení celého senzoru sledovanou úhlovou rychlostí ω představuje unášivý rotační pohyb.

Na obrázku 8 je znázorněn princip gyroskopu, kde je kmitající struktura ve formě vidlic (ladičky). Ramena horní vidlice V_h jsou rozkmitávána elektrostaticky v rovině plochy senzoru a radiální rychlost jejich pohybu má amplitudu v_r . Obě vidlice se otáčejí měřenou úhlovou rychlostí ω kolem hlavní osy. Tím vznikne Coriolisova síla daná vektorovým součinem

$$F = 2m \vec{\omega} \times \vec{v}_r. \quad (1)$$

Na ramena vidlice kmitající v protifázi působí dvojice Coriolisových sil, takže na spojnicí obou ramen vzniká krouticí moment M_k , úměrný měřené hodnotě ω . Periodicky proměnný moment M_k vybudí kmity spodní (snímací) vidlice V_d a jejich amplituda, úměrná ω , je snímána např. kapacitně. [16]



Obrázek 8: Schéma gyroskopu s kmitající vidlicí [16]

3.5 Senzory zrychlení

Senzory zrychlení neboli akcelerometry slouží k určení polohy od známého počátečního bodu za pomoci dvojnásobné integrace signálu. Vnitřní struktura senzoru bývá často podobná senzorům síly či deformace.

Akcelerometr využívá pro měření zrychlení setrvačnost hmoty. Seismická hmota o hmotnosti m se používá pro vytvoření síly

$$F = ma, \quad (2)$$

kterou se ovlivňuje citlivý prvek snímače. Všeobecně platí, že s větší hmotností m , tedy větší silou F , se dosáhne vyšší citlivosti snímače. Podle typu citlivého prvku se akcelerometry dále dělí. [18]

3.5.1 Piezoelektrický akcelerometr

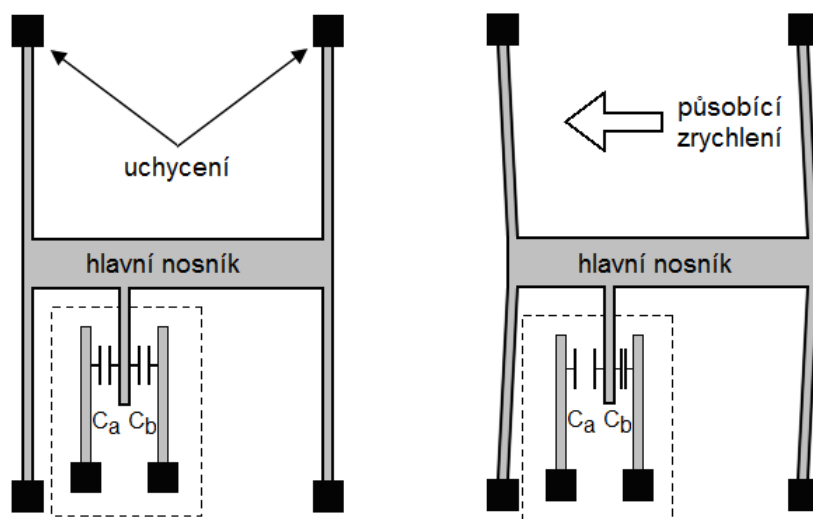
Princip spočívá v tom, že na piezoelektrický krystal působí síla od setrvačné hmoty. Deformace piezoelektrického článku od této síly je vyvolána tlakem, kombinací tlaku a tahu, smykem nebo ohybem. Při silovém působení na krystal, tedy jeho deformaci, vzniká náboj úměrný velikosti působícího zrychlení. Piezoelement představuje současně nejen mechanicko-elektrický převodník, ale i pružinu, vloženou mezi základnu snímače a setrvačnou hmotu. [21, 22]

3.5.2 Kapacitní akcelerometr

Struktura je založena na proměnné kapacitě tříelektrodového vzduchového kondenzátoru. Využívá se zde nelineární závislosti kapacity na vzdálenosti elektrod kondenzátoru dle vzorce

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (3)$$

kde C je kapacita kondenzátoru, ε_0 je permitivita vakua, ε_r je poměrná permitivita, S je plocha elektrod, d je vzdálenost mezi deskovými elektrodami. Opět je využit převod síly na zrychlení pomocí seismické hmoty v podobě nosníkové struktury. Pohyblivá elektroda je připevněna na nosník, který se při působení zrychlení posouvá. Pozice vůči krajním elektrodám, měřená kapacitně, určuje velikost zrychlení. Schéma kapacitního akcelerometru je na obrázku 9.



Obrázek 9: Schéma kapacitního akcelerometru

3.5.3 Tenzometrický akcelerometr

Seismická hmota o známé velikosti m deformuje pružnou část. Velikost deformace je měřena tenzometry a je mírou zrychlení a . Používají se buď drátkové, fóliové nebo pro vysokou citlivost tenzometry polovodičové. [22]

3.5.4 Tepelný akcelerometr

Tento akcelerometr funguje na odlišném principu než předešlé, nepracuje tedy se seismickou hmotou. Základními částmi jsou ohříváč v dutině, která je vyplněna tekutinou, a dva termočlánky umístěné symetricky na každé straně ohříváče. Elektrický ohříváč vytváří v tekutině symetrický teplotní gradient směřující k oběma termočládkům. Působící zrychlení narušuje tuto symetrii a vytváří tak rozdíl teplot mezi oběma termočládky, který je úměrný zrychlení.

3.6 Mikrosystémy

S rozvojem elektroniky se začaly některé polovodičové struktury postupně uplatňovat v mezioborových aplikacích. Jednoduché senzory byly připojeny k elektronickým obvodům s analogovým zpracováním signálu. Rozvoj integrovaných obvodů a integrované elektroniky postupem času umožnil vznik integrovaných systémů s integrovanými fyzikálními převodníky a elektronickými vyhodnocovacími obvody (v současné době se stále více uplatňuje digitální zpracování signálu) na jednom čipu. Vznikající mezioborové produkty sdružovaly různé typy

veličin (mechanické, tepelné, optické, magnetické, elektrické i chemické) v jeden celek. Mezioborové systémy začaly využívat moderní technologie zpracování polovodičových materiálů s podporou poznatků ze všech oborů. Vzniklý mezioborový systém se začal označovat pojmem mikrosystém, popř. mikrosystémové technologie. [23]

Vnitřní uspořádání mikrosystému je obecně tvořeno více bloky, zpravidla pracujícími alespoň v jedné bráně s elektrickým signálem. Jde zejména o vstupní snímací části (senzory), jednotky pro zpracování signálů (procesory), popř. akční členy (aktuátory) pro převod elektricky zpracovaného signálu do tvaru vhodného pro řízení fyzikálních veličin. Typický mikrosystém je charakterizován propojením dvou a více signálových (energetických) domén na jednom čipu, popř. multičipovém hybridu. Všechny existující veličiny je možné rozdělit do šesti hlavních signálových domén: elektrické, mechanické, optické (záření), biochemické, magnetické a tepelné. Do mechanické signálové domény lze zařadit např. tlak nebo zvuk, do tepelné domény teplotu apod. [23]

Mikrosystémy vykazují mnoho předností plynoucích z metod uplatňovaných při vývoji moderních elektronických integrovaných obvodů. Jsou to především: miniaturizace, malý příkon napájecí energie, monolitická nebo hybridní integrace (multičipy), kvalitativně nové funkce systému, zvýšení spolehlivosti, výroba ve velkých sériích snižujících cenu, realizace distribuovaných systémů apod. [23]

Vstupy a výstupy mikrosystémů (senzory a aktuátory) jsou navrženy pro zpracování jedné nebo více neelektrických veličin. Vnitřní uspořádání mikrosystému z hlediska převodu veličin, způsobu zpracování signálu a jeho tvaru na výstupu systému odpovídá vzájemnému spojení bloků pracujících s různými signálovými doménami (uvnitř nejčastěji s elektrickými). Označování mikrosystémů vyplývá z průniku signálových domén. Nejčastější kombinace jsou uvedeny v tabulce 1. [23]

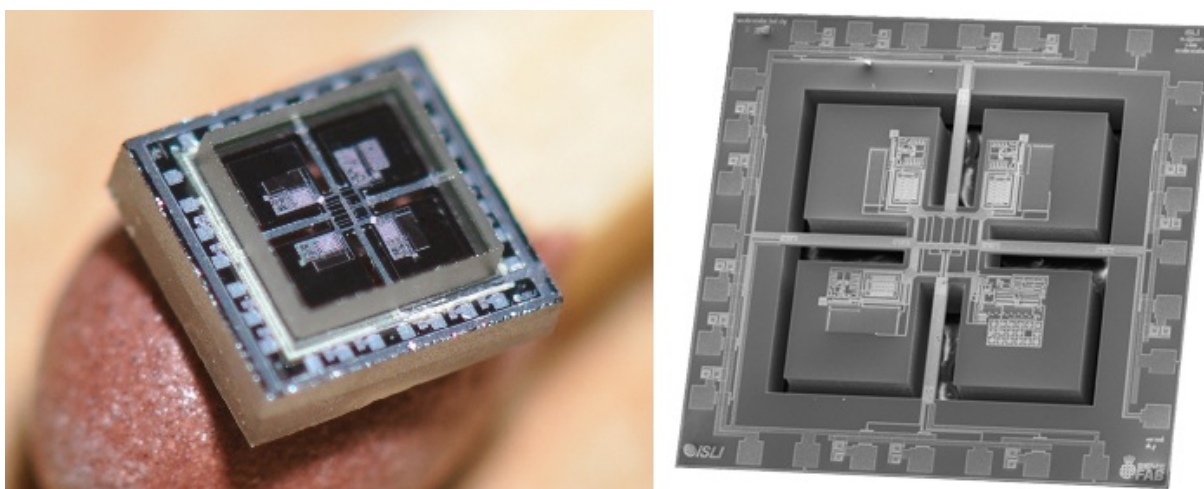
Tabulka 1: Označování mikrosystémů podle průniku signálových domén

MEMS	mikroelektromechanický systém
MOES	mikrooptoelektrický systém
MOMS	mikrooptomechanický systém
MOEMS	mikrooptoelektromechanický systém
BIOMEMS	mikrobioelektromechanický systém

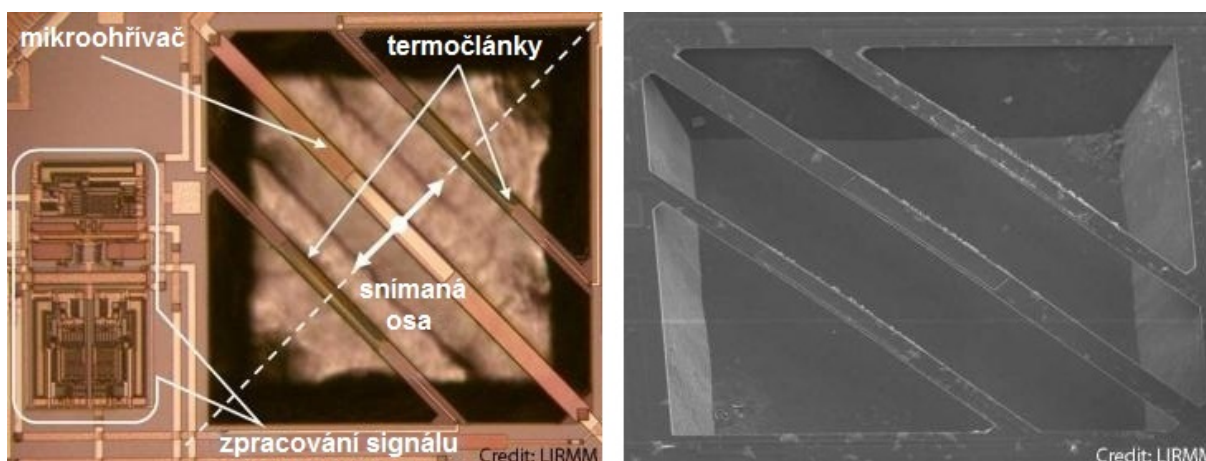
K typickým příkladům použití MOEMS patří např. čtečky čárových kódů, optické snímací hlavy přehrávačů CD a DVD, speciální optická zařízení (např. dalekohledy), optické komunikační systémy, zobrazovací systémy, adaptivní optická zařízení a systémy.

Struktury MEMS se využívají např. ke konstrukci křemíkových mikromotorků, mikromanipulátorů, mikroaktuátorů a senzorů pro snímání fyzikálních veličin v prostoru (tlak, akcelerace apod.). Mikromechanické součástky jsou menší (řádově mikrometry), lehčí, rychlejší a většinou přesnější než jejich makroskopické vzory. Integrované technologie výroby MEMS mimo jiné eliminují potřebu montovat diskrétní komponenty.

Akceleraci i otáčení je možné snímat ve všech 6 směrech pomocí akcelerometrů a gyroskopů. MEMS akcelerometry bývají v těchto provedeních: piezorezistivní (obr. 10), tepelné (obr. 11), tenzometrické a kapacitní. U MEMS gyroskopů jsou nejvíce rozšířeny různé druhy vibračních struktur, které jsou relativně jednoduché a levné. Většina MEMS je zapouzdřena v plastovém pouzdře LGA (Land Grid Array).



Obrázek 10: Monolitický 3osý piezorezistivní akcelerometr se senzorem tlaku [24]



Obrázek 11: MEMS Tepelný akcelerometr [25]

4 Vlastní konstrukční návrh

Navigační systém byl aplikován na vlastní konstrukci plošinového vozíku pro přepravky o rozměrech 600x400 mm. Ten je určen pro jízdu po výrobní hale nebo skladu, kde je předpokladem rovná podlaha. Další předpoklady byly čisté a suché prostředí bez extrémních teplot.

4.1 Výběr navigačního systému

Každý navigační systém je vhodný pro jinou aplikaci, což plyne z jeho výhod. Navrhovaný AGC vyžaduje především flexibilitu trasy (tj. rychlou a snadnou změnu trasy) a celkovou jednoduchost systému. Dále budou rozebrány druhy navigací, které se používají při manipulaci po halách.

Laserová navigace by nebylo možné aplikovat, protože senzor musí být umístěn ve výšce. Na AGC by musela být přimontována vysoká věž, aby signál nebyl blokován okolními předměty. Ta by mohla způsobit nestabilitu a navíc by konstrukce nemohla být tak kompaktní. Trasu uloženou v paměti AGC je potřeba předem vytvořit v nějakém softwaru.

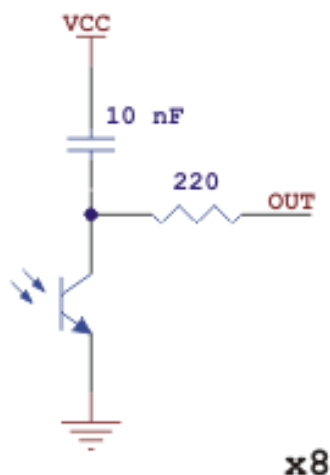
Inerciální navigace splňuje většinu požadavků, ovšem není nejjednodušší. Vyžaduje paměť pro trasu a opět software, ve kterém se trasa vytvoří. Samotné navigování vyžaduje poměrně složitý algoritmus, ve kterém se integruje signál a probíhá porovnávání.

Navigace podle přirozených prvků je zdaleka nejsložitější. Vyžaduje obrovský výpočetní výkon a musel by být na palubě AGC buď relativně výkonný počítač, jehož spotřeba by měla negativní vliv na výdrž baterie, nebo by se nezpracovaná data ze senzorů bezdrátově přenášela do serveru, kde by se zpracovala, a zpět by se odeslaly již zpracované instrukce pro řízení.

Nejlépe vyhovuje požadavkům právě systém sledování vodící čáry v její optické podobě. Uživatel může trasu jednoduše měnit pouhým přelepením obyčejné barevné pásky, není tedy potřeba software, ve kterém se trať naprogramuje. Čáru lze sledovat polem fototranzistorů a vyhodnocení polohy vozíku je na základě detekce čáry pod jedním z nich.

4.2 Popis navigačního systému

Pro sledování čáry byl vybrán modul Pololu QTR-8RC, který je zamýšlen přímo pro tuto aplikaci, může být ovšem obecně použit jako senzor odrazivosti. Modul nese 8 párů IR vysílačů (LED) a přijímačů (fototranzistor). Jsou rozmístěny rovnoměrně v řadě a rozteč mezi nimi činí 9,525 mm. Každý fototranzistor je zapojen do vybíjecího okruhu s kondenzátorem, jak je vidět na obrázku 12. Analogově čtená IR odrazivost se převádí na vybíjecí čas kondenzátoru a ten je už možné měřit digitální vstupně-výstupní (I/O) linkou na jakémkoliv mikrokontroléru. Kratší doba vybíjení indikuje lepší odrazivost, v praxi tedy světlejší povrch. Přibližné doby vybíjení jsou v rozmezí od několika desítek mikrosekund pro nejdrazivější povrch, až po několik milisekund pro povrchy bez odrazivosti. Přesný čas závisí na charakteristice I/O linky konkrétního mikrokontroléru.



Obrázek 12: Vybíjecí okruh [26]

IR LED diody jsou zapojeny po párech kvůli snížení spotřeby na polovinu. Jedna má odběr přibližně 20 až 25 mA, celková spotřeba modulu je do 100 mA.

Specifikace Pololu QTR-8RC:

- Operační napětí 3,3 nebo 5,0 V
- Napájecí proud 100 mA
- Výstupní formát digitální I/O
- Optimální snímací vzdálenost 3 mm
- Max. doporučená snímací vzdál. 9,5 mm

O příjem signálu, jeho vyhodnocení a ovládání řízení se bude starat platforma Arduino Uno. Byla vybrána kvůli snadnému programování. Tato deska je založená na mikrokontroléru ATmega328. Má 14 digitálních I/O pinů, 6 analogových pinů (nebudou využity), krystal generující frekvenci 16 MHz, USB konektor, napájecí konektor, port pro přímé programování a resetovací tlačítko.

Specifikace Arduino Uno:

- Mikrokontrolér ATmega328
- Provozní napětí 5 V
- Vstupní napětí (doporučené) 7 – 20 V
- Digitální I/O piny 14 (z nichž 6 umožňuje PWM výstup)

Úplné specifikace zde není nutné vypisovat a lze je najít na stránkách výrobce [27].

Při programování byl použit open-source software Arduino 1.0.1, který lze spustit mimo jiné i pod Windows. Pro snadnou tvorbu kódu při komunikaci s QTR-8RC byla použita knihovna funkcí Pololu AVR, která je určena pro mikrokontrolérové desky, založené na architektuře AVR jako jsou právě Arduino.

4.3 Volba typu podvozku a řízení

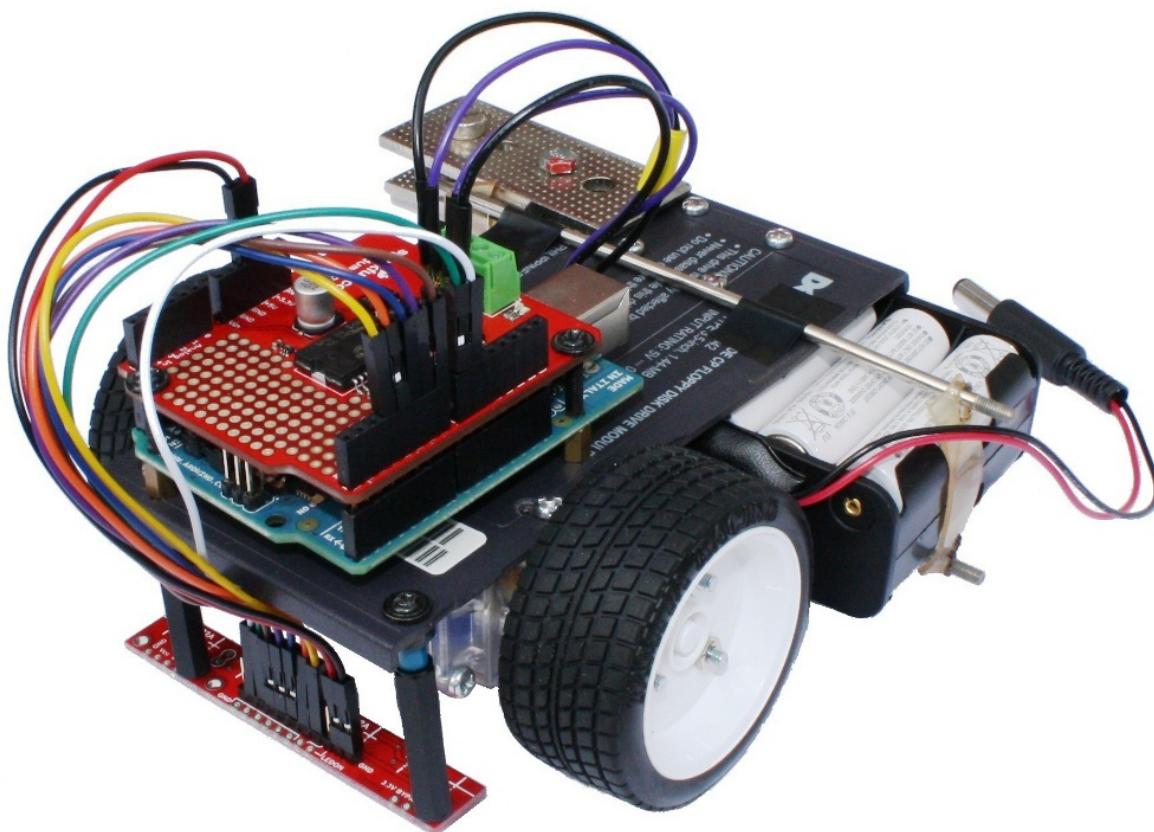
Vyloučeno bylo Ackermannovo řízení a i jiné typy řízení používající zatačecí kola. Jsou zbytečně složité na konstrukci a těžko se programují, je totiž potřeba předem znát geometrické parametry vozíku. Pro roboty se obvykle používá diferenciální řízení, kde změna orientace závisí na rozdílu rychlosti levého a pravého kola, tzn., že pro řízení i pohon stačí ovládat jen dva motory. Výhodou vedle jednoduchosti je i možnost otáčení na místě.

4.4 Model

Aby bylo možné navigační systém uvést do provozu, bylo potřeba sestavit modelového robota (obr. 13 a 14). Princip navigování zůstává stejný jak pro model, tak i pro konečné dílo. Navigační systém se zprovozní na modelu a bude přenositelný na AGC. Sensorové pole a modul s kontrolérem může zůstat stejný, tedy QTR-8RC v kombinaci s Arduino Uno.

Pro pohon modelu byly zvažovány buď upravené servomotory, nebo stejnosměrné (DC) motory. Výběr byl nakonec ovlivněn finálním AGC, a proto byly zvoleny DC motory. Servomotory nejsou původně zamýšleny pro trakci, princip řízení je odlišný a byla snaha se s modelem co nejvíce přiblížit dílu. V modelu byl použit Tamiya 89918 Double Gearbox Kit a podpěrná kulička Tamiya 70144 Ball Caster Kit (obr. 14).

K napájení motorů byla vybrána deska Ardumoto Motor Driver Shield, která je určená právě pro Arduino. Shield má integrovány dva H-můstky L298 a jsou k němu připojeny oba DC motory. Rychlost se řídí pomocí PWM a směr změnou polarity.



Obrázek 13: Modelový robotický vozík



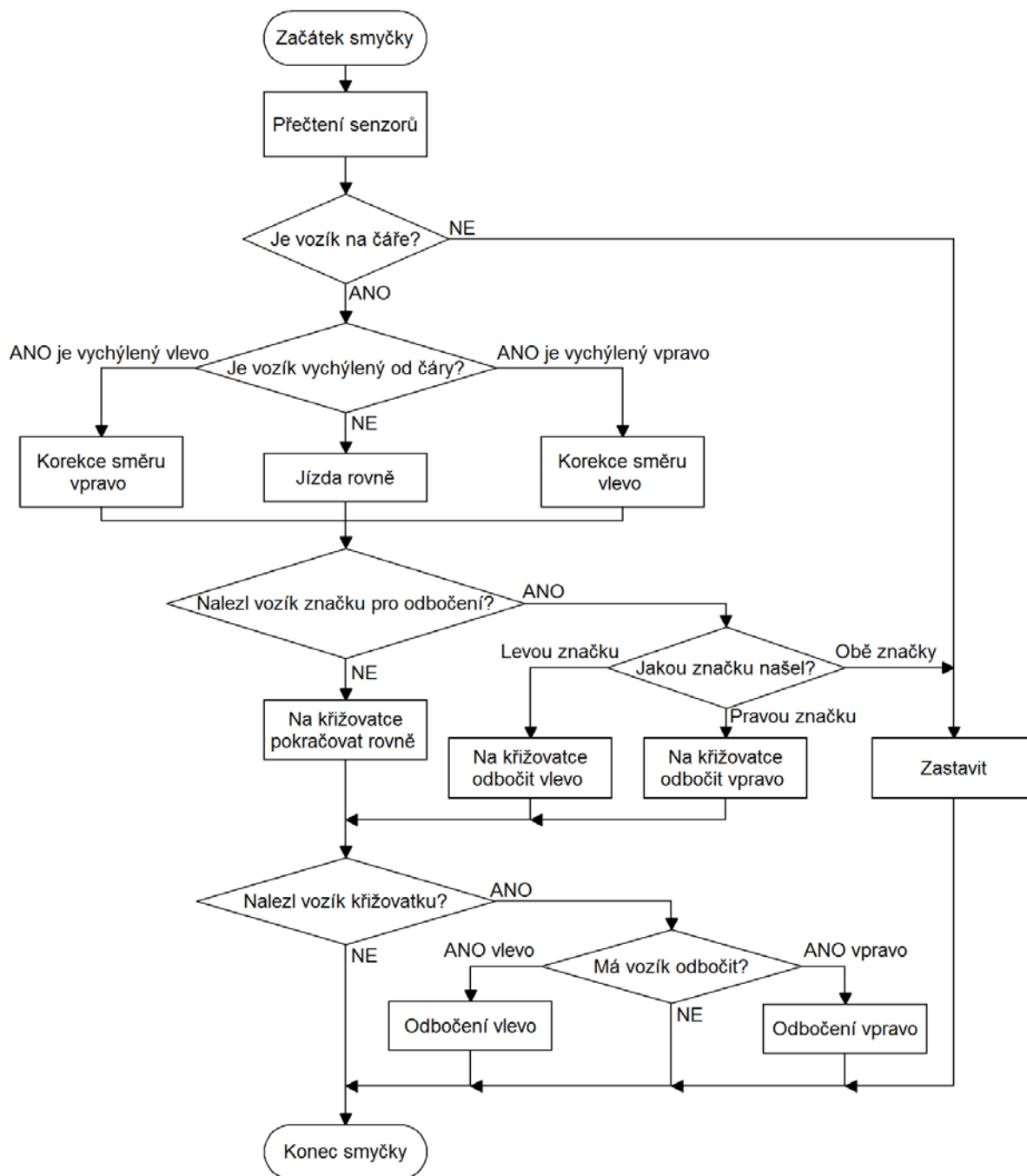
Obrázek 14: Spodek modelového vozíku

4.5 Popis algoritmu

Senzory byly naprogramovány na sledování černé čáry (pásky) na světlejším podkladě. Celkově bylo z 8 senzorů zapojeno 7. Prostřední 3 se staraly o udržení vozidla na čáře a zbylé detekovaly značky a křižovatky. Byl vymyšlen jednoduchý princip dávání instrukcí vozíku. Dva postraní senzory hledají značky. Pokud pravý senzor detekuje černou značku, znamená to, že jakmile vozík přijede na křižovatku, má odbočit doprava. Pokud levý senzor detekuje značku, vozík na křižovatce odbočí zase doleva. Pokud oba senzory detekují značku, znamená to, že má vozík zastavit. Opětovné uvedení do provozu, by se provedlo tlačítkem umístěným přímo na vozíku. Senzory zcela na stranách jsou určeny pro detekci křižovatek. Křižovatky musí být pouze pravoúhlé. Tento princip umožní uživateli jednoduše určit celou trasu i s jednotlivými stanovišti pouhým nalepením kousků pásky podél čáry.

Na obrázku 15 je vývojový diagram programu. Celá smyčka se opakuje dokola naprogramovanou frekvencí. Větvení postupu je znázorněno zjednodušeně pro přehlednost.

Opětovné uvedení do chodu tlačítkem po zastavení na značce v diagramu není, ovšem v programu je řešení nastíněno.



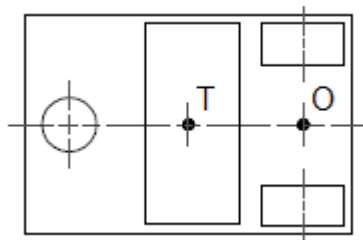
Obrázek 15: Vývojový diagram programu

4.6 Návrh vozíku

4.6.1 Konceptce rozložení komponentů

U konečného AGC bylo potřeba navrhnout vnitřní uspořádání, tedy kde budou umístěná kola a baterie. Samotná elektronika nemá velké nároky na místo a je možné jí umístit prakticky kamkoliv. Celková skříň AGC může být velmi kompaktní a není potřeba, aby šířka a délka přesahovaly rozměry přepravky.

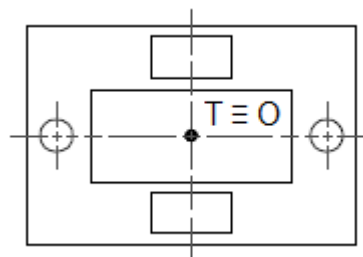
Byly uvažovány dvě varianty rozložení. První varianta je na obrázku 16. Jedná se o klasický podvozek na třech bodech, kde dvě poháněná kola jsou doplněna o třetí kolečko. To plní pouze funkci podpěry a může to být obyčejné volně se otáčející kolo (viz nákupní košíky).



Obrázek 16: První varianta vnitřního rozložení vozíku

První varianta se ukazovala jako velmi jednoduchá s velkým místem pro baterii. Nevýhodou tohoto rozložení byl problém při zatáčení na křižovatce, kdy zád' s podpěrným kolečkem by značně nabíhala. Navíc při otáčení kolem osy O, je potřeba rozpochybovat těžiště T, což není energeticky výhodné.

Jako vhodnější varianta se jeví uspořádání znázorněné na obrázku 17. Osa otáčení O je totožná se středem hmotnosti T. Celkový moment setrvačnosti k ose otáčení je zde menší, tzn., že při zatáčení na křižovatce nebude třeba vynaložit takovou energii. Dále přibýlo druhé podpěrné kolečko a průměr obou koleček je menší. Baterie byla umístěna do prostoru mezi všemi koly.



Obrázek 17: Druhá varianta vnitřního rozložení vozíku

4.6.2 Dimenzování trakce

Při dimenzování se vyšlo ze zjednodušující úvahy, že při pohybu vozíku provozní rychlostí v je velikost kinetické energie podle vztahu

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2, \quad (4)$$

kde E_k je kinetická energie, m je celková hmotnost vozíku, v je provozní rychlost.

Tuto energii je potřeba při rozjíždění dodat. Zjednodušení spočívá v zanedbání setrvačnosti rotačních částí, ovšem pro návrh je tento způsob dostačující. Rychlost byla navržena 2 ms^{-1} a celkovou hmotnost bylo nutné předem odhadnout. Nosnost přepravky je 30 kg [28] a její hmotnost je 2,28 kg [29]. Odhad bylo nezbytné udělat především pro následující komponenty: motory, baterie, rám (vč. podpěrných koleček). V tabulce 2 jsou uvedeny známé hmotnosti, odhadované a výsledná celková.

Tabulka 2: Odhad celkové hmotnosti

Komponent	Hmotnost [kg]
Nosnost přepravky	30
Hmotnost přepravky	2,28
Motory	2 x 4
Baterie	15
Rám (vč. koleček)	14,5
Celková hmotnost	69,78

Jelikož je toto pouze předběžný odhad, je dále počítáno se zaokrouhlenou hmotností na 70 kg.

Výkon motorů musí být takový, aby energie 140 J byla dodána v potřebném čase. Vozík se zkrátka musí rozjíždět rozumným zrychlením, v tomto případě bylo zvoleno zrychlení 1 ms^{-2} , což znamená, že se vozík rozjede na svou provozní rychlost za 2 sekundy. Celkový výkon pohonu musí být tedy

$$P = \frac{E_k}{t}, \quad (5)$$

kde P je výkon pohonu a t je doba rozjíždění. Výsledný výkon je 70 W a podle toho také byly vybírány motory.

Z počátku byly zvažovány různé motory od firem RAVEO, ATAS, DOGA nebo emb-papst. Záhy se ukázalo, že by bylo poměrně obtížné je vměstnat a uchytit do celkem kompaktní skříň AGC spolu s převodovkou a koly. Existují ale výrobci, kteří se zabývají vysoce integrovanými pohony, tzv. hub motory neboli motory umístěnými přímo v náboji kola. Jeden takový byl zvolen a sice HUB8SF od firmy UU Motor. Jedná se o bezkartáčový DC (BLDC) motor s 8“ pneumatikou.

Specifikace HUB8SF:

- Nominální napětí 24 V 200 W
- Nominální rychlost 8 kmh^{-1}
- Hmotnost 3,4 kg

Tento motor sice není úplně určen pro manipulační techniku, je ale určen pro pojízdná křesla nebo malé skútry. Potřebnými vlastnostmi, jako jsou výkon a únosnost, tedy disponuje. Mezi výhody hub motorů patří vysoký stupeň integrace. Kombinují kolo, motor, převodovku a uložení do jednoho celku. Mají velký točivý moment a vysokou účinnost až 86% [30].

BLDC motor se od komutátorového DC motoru liší strukturou, která je podobná střídavému 3fázovému. Obsahují však měnič, aby je bylo možné napájet DC proudem. Regulují se pomocí PWM a již není potřeba hledat výkonnější náhradu za Arduino Motor Driver Shield.

4.6.3 Výběr baterie

Kapacita baterie musí být taková, aby vozík mohl být v provozu celou směnu na jedno nabití. Výpočet kapacity proběhl za následujících předpokladů: 8 hodinová pracovní doba, plné zatížení vozíku po celou dobu, 50% doby uvažováno rozjíždění (energeticky nejnáročnější) a zbytek doby jízda provozní rychlostí. Ze vzorce pro elektrický výkon

$$P = UI, \quad (6)$$

kde P je výkon, U napětí a I el. proud, lze vyjádřit el. proud a započíst účinnost pohonu

$$I = \frac{P}{U\eta}, \quad (7)$$

kde η je účinnost pohonu. V obou stavech (rozjíždění, jízda) je nutné uvažovat jízdní odpory. Protože se jedná o malé rychlosti, bude odpor vzduchu zanedbán a zůstane pouze odpor valení (odpor stoupání je nulový vzhledem k předpokladu z kapitoly 4) [31]

$$O_f = fG, \quad (8)$$

kde O_f je odpor valení, f je součinitel odporu valení a G je celková tíha. Rovnice (8) se pak použije pro stanovení výkonu potřebného pro překonání jízdního odporu

$$P = O_f v. \quad (9)$$

Protože jde o lineární rovnici, stačí vzít pro rovnoměrně zrychlený rozjezd průměrnou hodnotu. V tabulce 3 jsou vypočtené hodnoty proudů pro dané stavy a potřebná kapacita baterie.

Tabulka 3: Kapacita baterie

Stav	Trvání stavu [h]	Výkon pohonu [W]	Účinnost pohonu [%]	Proud při 24 V [A]	Podíl stavu na kapacitě [Ah]
Rozjíždění	4	70 + 6,87	56	5,72	22,88
Jízda	4	13,73	80	0,72	2,88

Celková kapacita vyšla 25,76 Ah a podle tohoto údaje byla také vybírána baterie.

Vybrána byla dvojice trakčních gelových akumulátorů Yucell PG26-12.

Specifikace Yucell PG26-12:

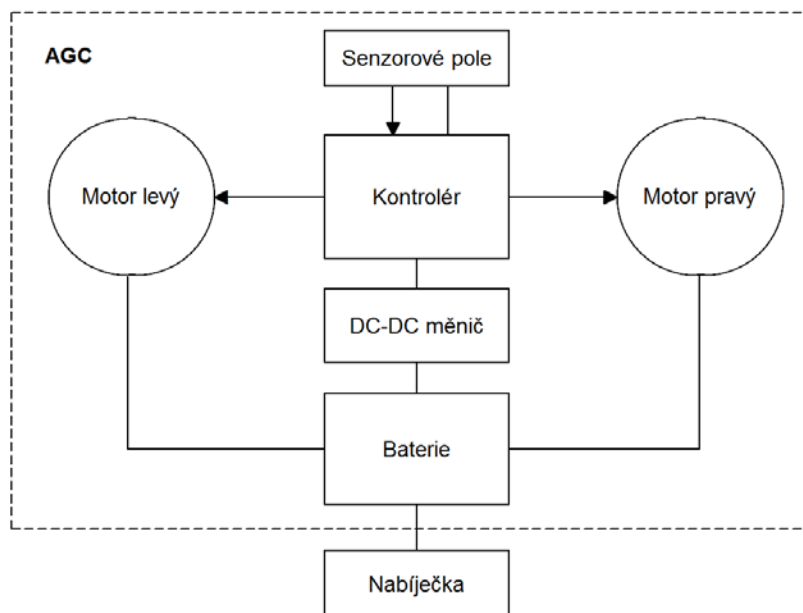
- Jmenovité napětí 12 V
- Kapacita 26 Ah
- Hmotnost 8,1 kg

Dvojice musí být zapojena do série, aby vytvořila napětí 24 V potřebné pro motory. Výhodou gelových akumulátorů je, že elektrolyt není v kapalném skupenství, ale je ztužen ve formě

tixotropního gelu, a tím je pevně vázán v útrokách článku baterie, díky čemuž je prakticky vyloučen jeho únik [32].

Kvůli napájení desky Arduino Uno bylo potřeba najít DC-DC regulátor napětí z 24 V na 5 V. Zvolen byl Pololu Step-Down Voltage Regulator D15V35F5S3.

Blokového schéma zapojení elektroniky je na obrázku 18. Šipky značí data a řízení, čáry napájení.



Obrázek 18: Blokové schéma zapojení elektroniky

4.6.4 Návrh konstrukce

Při návrhu konstrukce byl kladen důraz na jednoduchost a nízkou hmotnost. Při návrhu pohonu bylo počítáno s hmotností rámu 14,5 kg při celkové hmotnosti AGC 70 kg. Tuto hodnotu je potřeba přepočítat. V tabulce 4 jsou aktuální hmotnosti vybraných komponentů.

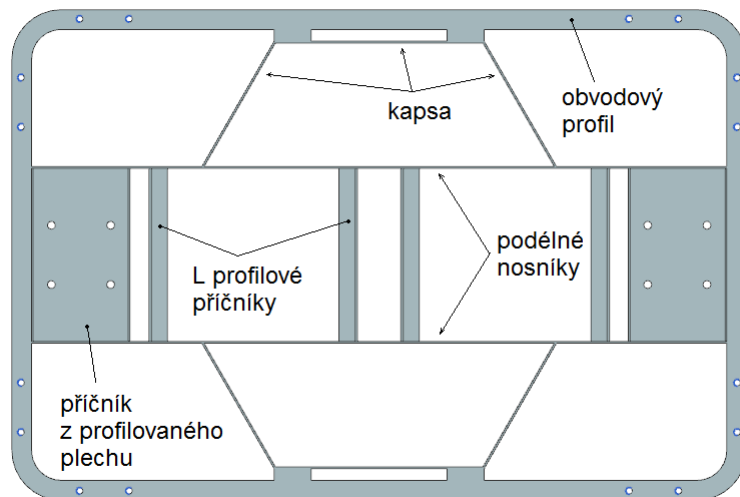
Tabulka 4: Hmotnosti komponentů

Komponent	Hmotnost [kg]
Nosnost přepravky	30
Hmotnost přepravky	2,28
Motory	2 x 3,4
Baterie	2 x 8,1
Celkem	55,28

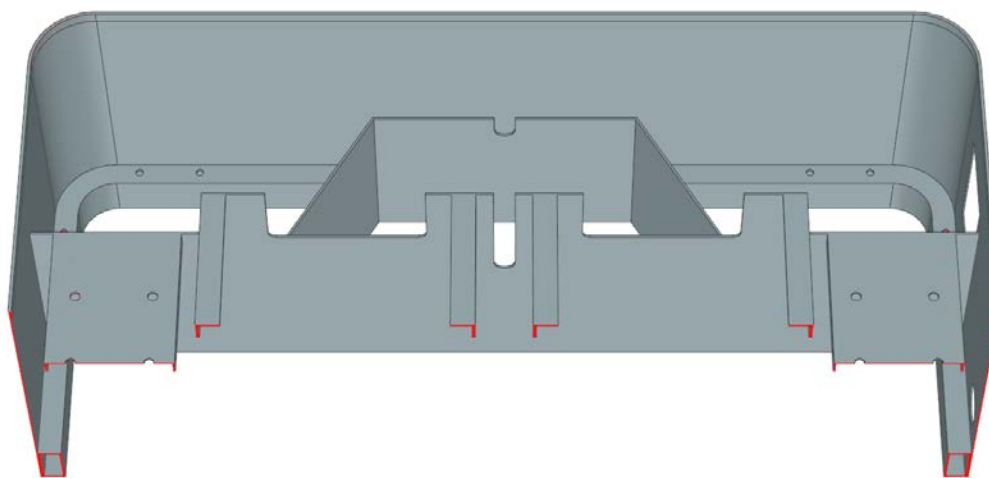
Hmotnost konstrukce, jako doplněk do 70 kg, tedy nesmí přesáhnout 14,72 kg.

Základ rámu (obr. 19) byl vytvořen dvěma podélnými nosníky v podobě plechů, které jsou spojeny šesticí příčnicí. Dva jsou tvořeny profilovanými plechy a jsou určeny pro uchycení podpěrných koleček, zbylé 4 jsou v podobě L profilů a nesou obě baterie. Pro uchycení hub motorů bylo nutné vytvořit jakési plechové kapsy po obou stranách nosníků. Kolem celého

vrchního obvodu je naohýbán uzavřený obdélníkový profil (jäckl), který spojuje konce nosníků s kapsami a celý rám zpevňuje. Obvod rámu kapotuje plechový plášť. Ten neslouží jako nosný díl, a proto může být jeho tloušťka menší než u nosníků a příčnýchků. Spodní hrana kapotáže je volná a bylo vhodné ji vyztužit lemem. Rám je svařen v jeden celek i s obvodovým plechem. Obrázek 20 ukazuje rám v podélném řezu.



Obrázek 19: Půdorys rámu



Obrázek 20: Podélný řez rámem

Vrch rámu zůstal volný pro snadnou montáž všech komponentů. Na jednoduchou smontovatelnost byl při návrhu brán zřetel. Po sestavení se přes volný prostor přišroubuje plechový kryt, jenž představuje přepravní plošinu. Přepravku má na místě držet 8 polypropylenových hranolů, umístěných blízko rohům. Přes ně také prochází šrouby držící kryt. Válcová hlava šroubů je zapuštěná do hranolů a dřík je zašroubován do závitů, vyříznutého v obvodovém jäcklu.

Konstrukce se jeví jako velice výhodná. V případě použití přepravek, dosedajících na obvodových nožičkách, se zatíží kryt v těsné blízkosti jäcklu. V případě přepravky s rovným dnem se zatížení roznese po nosnících a kapsách. Ani v jednom případě nemůže dojít k propadnutí krytu.

Volba podpěrných koleček byla předurčena prostorem mezi pláštěm a baterií, v němž je omezený kruhový prostor pro otáčení kolečka. Vešlo se zde otočné kolo TENTE 2470UOK050P40. Vyznačuje se nadprůměrně nízkým valivým odporem a velice nízkým opotřebením.

Specifikace TENTE 2470UOK050P40:

- Průměr kola 50 mm
- Hmotnost 0,221 kg
- Dynamická nosnost 50 kg
- Statická nosnost 100 kg

Materiál byl určen dle vybraných hutních polotovarů dostupných v obchodní společnosti Feron. V tabulce 5 je přehled jednotlivých konstrukčních prvků, hutních polotovarů a materiálů. Všechny materiály rámu mají zaručenou svařitelnost.

Tabulka 5: Polotovary konstrukce

Prvek	Polotovar	Materiál
Podélné nosníky	Plech 1,5 mm	11 321.21
Příčnický (plech)	Plech 1,5 mm	11 321.21
Příčnický (profil)	Profil L 15 x 15 x 2 mm	11 375.0
Obvodový profil	Jäckl 30 x 15 x 1,5 mm	11 375.0
Plášť	Plech 1 mm	11 321.21
Kryt	Plech 1,5 mm	17 348

Jako povrchová úprava konstrukce byl zvolen nátěr.

Pro upevnění sensorového modulu byl vytvořen plastový držák. Vypínač a nabíjecí konektor byl upevněn do panelu, který je zapuštěn pod povrchem pláště (obr. 21). USB konektor a resetovací tlačítko řídicí desky jsou schovány pod krytkou. Krytka se zavírá samotážně. Samotná řídicí deska je upevněna k podélnému nosníku pomocí distančních sloupků.



Obrázek 21: Uživatelské rozhraní na zádi

Celková hmotnost AGC dosáhla 66,95 kg bez propojovacích kabelů.

4.6.5 Výpočet konstrukce metodou konečných prvků

Pevnost a tuhost rámu byla zkontrolována metodou konečných prvků (MKP). Modelové těleso bylo vytvořeno samotným rámem bez pláště. Protože se všude objevují malé tloušťky stěn, bylo vhodné dimenzi úlohy redukovat na dvourozměrovou. V případě použití trojrozměrového výpočtového modelu by bylo nutné zvolit velmi jemnou síť, aby se prvky vešly do tloušťky nejmenší stěny. Při diskretizace modelu do takto zbytečně jemné struktury narůstá jak zaokrouhlovací chyba numerického řešení, tak i čas výpočtu.

Idealizace modelového tělesa proběhla zanedbáním malých děr a zaoblení, které by způsobovaly nežádoucí deformace prvků a tím snížení kvality sítě. Typ prvku byl zvolen čtyřúhelník s mezi uzly s velikostí 7,5 mm.

Stanovení okrajových podmínek řešení:

a. Upevnění modelu

V oblasti podpěrných koleček bylo zamezeno posuvu ve svislém směru. V oblasti šroubů držících hřídele hub motorů byly odebrány posuvy ve směru svislém a ve směru jízdy. Zamezení posledního posuvu bylo umístěno do oblasti, kde není očekáván gradient napětí a kde ovlivnění oblasti nehraje roli. Sešroubování kapes s podélnými nosníky bylo nasimulováno tuhými prvky (Rigid).

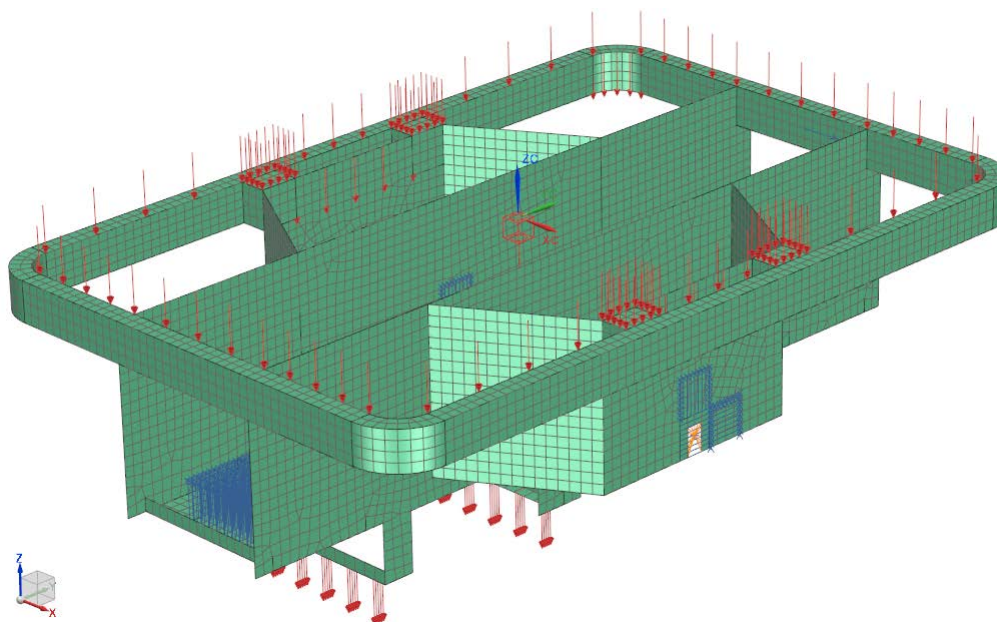
b. Stanovení zatížení modelu

Zatížení od nákladu (tíha plně naložené přepravky) bylo aplikováno ve dvou zatěžovacích stavech dle typu dna přepravky:

- po obvodu pro přepravku s obvodovými nožičkami
- na kapsy a nosníky pro přepravku s rovným dnem.

Zatížení od baterií bylo aplikováno na příslušné příčnický. Do zatížení byl započítán i vliv vlastní tíhy rámu.

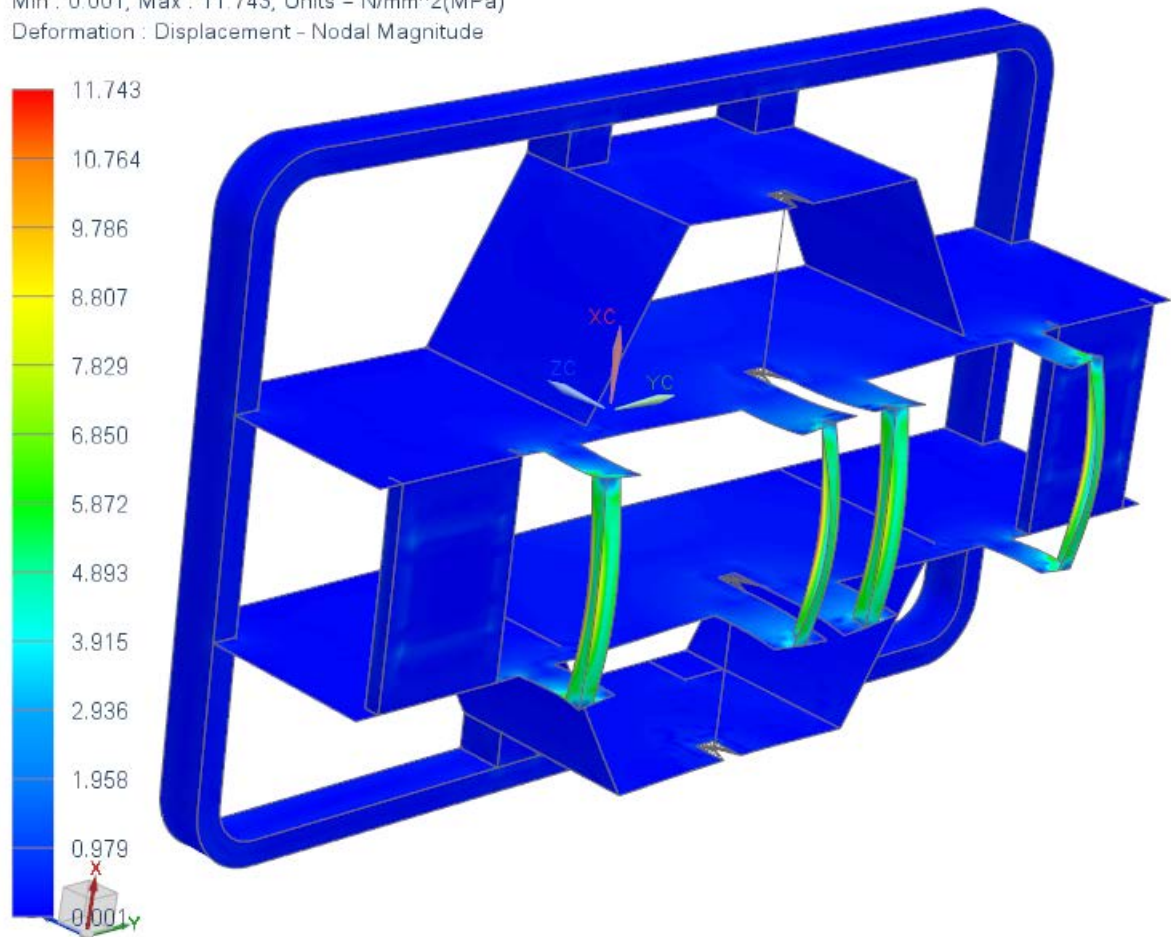
Na obrázku 22 je fyzikální model s definovanými okrajovými podmínkami s prvním zatěžovacím stavem.



Obrázek 22: Fyzikální model s okrajovými podmínkami

Výsledek prvního zatěžovacího stavu je obrázku 23. Maximální redukované napětí Von-Mises je 11,74 MPa.

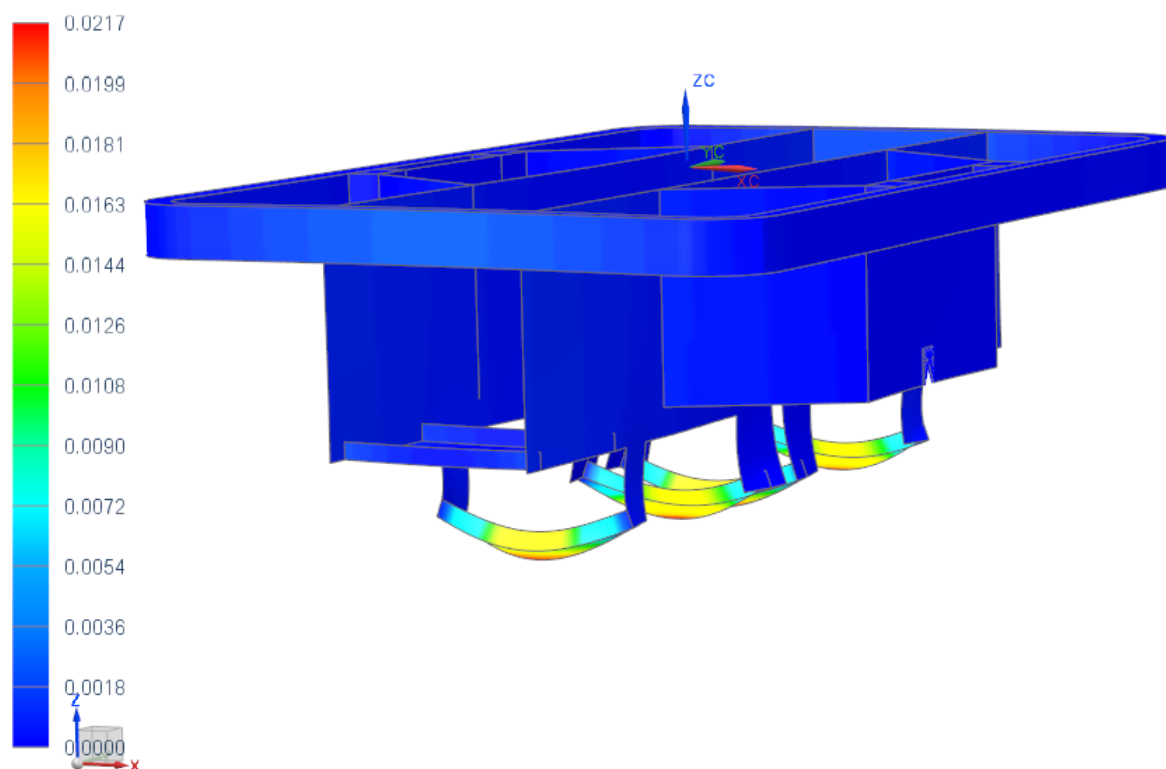
ram5_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Shell Section : Maximum
Min : 0.001, Max : 11.743, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 23: Redukované napětí Von-Mises – první zatěžovací stav

Příslušná posunutí ve svislém směru jsou na obrázku 24, jejichž maximálních hodnot 0,02 mm nabývají příčníky nesoucí baterie. Měřítko animace posunutí na obrázku je 1000:1.

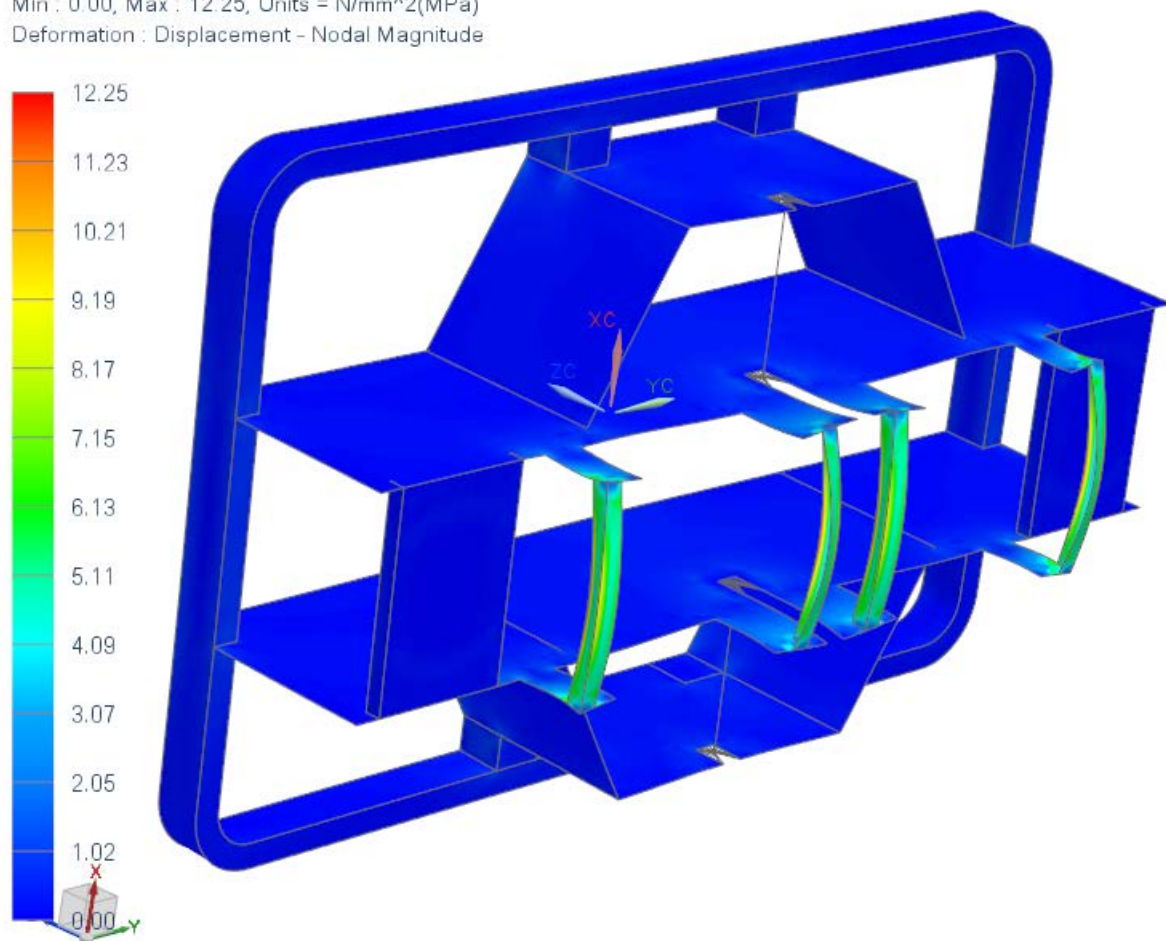
ram5_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Z
Min : 0.0000, Max : 0.0217, Units = mm
Absolute Value
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 24: Posunutí ve svislém směru – první zatěžovací stav

Výsledek druhého zatěžovacího stavu je obrázku 25. Maximální redukované napětí Von-Mises nepatrně narostlo na 12,25 MPa.

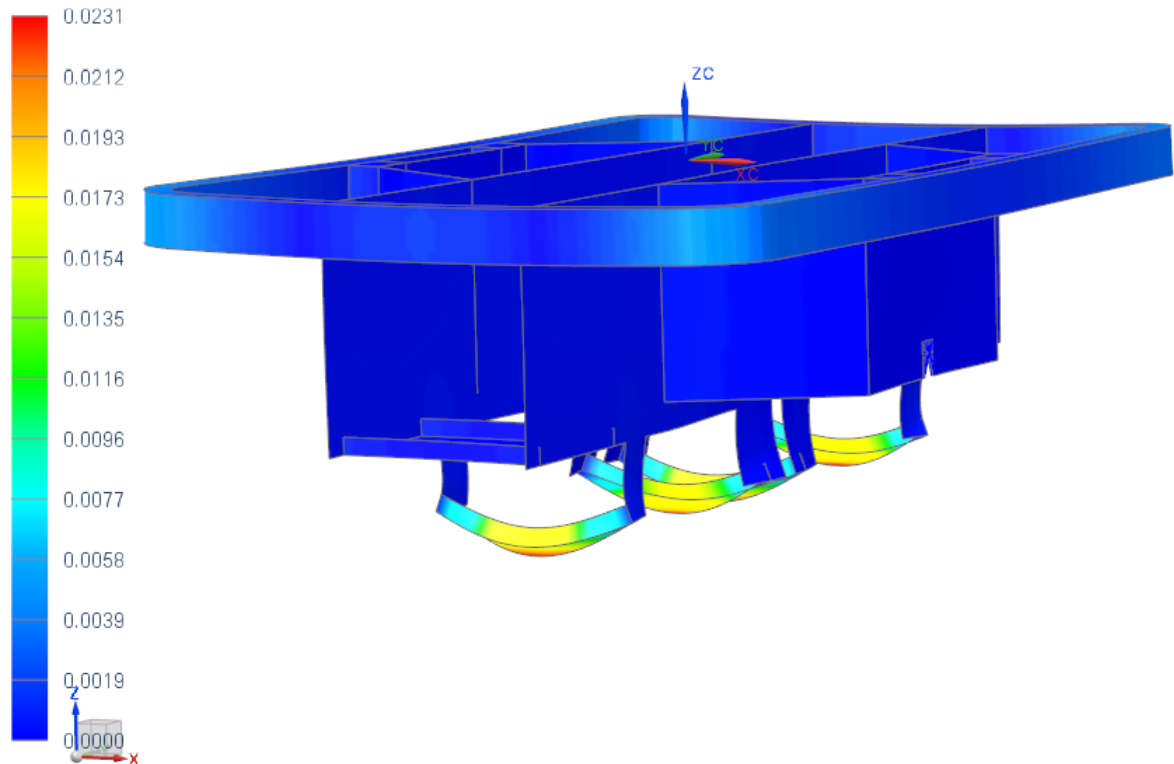
ram5_fem1_sim1 : Solution 2 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Shell Section : Maximum
Min : 0.00, Max : 12.25, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 25: Redukované napětí Von-Mises – druhý zatěžovací stav

Příslušná posunutí ve svislém směru k druhému zatěžovacímu stavu jsou na obrázku 26. Maximálních hodnot 0,02 mm nabývají opět příčnický nosoucí baterie. Měřítko animace posunutí na obrázku je 1000:1.

ram5_fem1_sim1 : Solution 2 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Z
Min : 0.0000, Max : 0.0231, Units = mm
Absolute Value
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 26: Posunutí ve svislém směru – druhý zatěžovací stav

Rozdíl mezi zprůměrovaným a nezprůměrovaným napětím byla 0,001 MPa, z čehož lze usoudit, že diskretizace byla provedena správně a dostatečně jemně.

Posunutí jsou malá, ve zbývajících směrech nabývala hodnot řádově v tisícinách mm, rám je velice tuhý. Optimalizace hmotnosti rámu odebráním materiálu, který nepřenáší žádné zatížení, již dále provedena nebyla.

5 Ekonomické zhodnocení

Z pohledu splnění základního ekonomického záměru, tj. zlevnění celkové výroby, musí být pořízení AGC finančně dostupné. Musí dojít ke skutečné úspoře fondu pracovní doby nebo alespoň ke snížení prostojů pracovní síly.

5.1 Vlastní náklady na pořízení navrženého vozíku

Vozík je navržen z běžně dostupných a sériově vyráběných komponentů a materiálů. Použitý materiál byl vybrán tak, aby nejlépe odpovídal výkonu a užitné hodnotě. AGC je vyroben z plechu a profilů (viz kapitola 4.6.4). Povrchová úprava plechu je provedena nástřikem barvy. Na montáž a sestavení nejsou kladeny žádné zvláštní nároky. AGC lze vyrobit běžně dostupnými dílenskými prostředky a nástroji.

Vybraná gelová trakční baterie snižuje náklady na provoz svojí bezúdržbovostí z hlediska kontroly a doplňování vody, delší životností, vyšší odolností proti hlubokému vybíjení a vysokou cyklickou odolností.

Výsledná cena AGC je daná součtem cen dílčích komponentů. Rekapitulace nákladů na pořízení AGC je v tabulce 6.

Tabulka 6: Cena pořízení AGC

Komponent	Množství (ks)	Cena (Kč/ks)	Cena (Kč)
Motor HUB8SF	2	2393	4786
Baterie Yucell PG26-12	2	1548	3096
Kontrolér Arduino Uno	1	680	680
Senzor Pololu QTR-8RC	1	311	311
Měnič Pololu D15V35F5S3	1	311	311
Otočné kolo 2470UOK050P40	2	75	150
Spojovací materiál	-	-	70
Kabeláž	-	-	139
Tlačítka, zásuvka	-	-	636
Náklady na výrobu rámu	1	15000	15000
Nabíječka VOLTCRAFT BC-024-10AT	1	4381	4381
Celkem			29560

Nutno dodat, že ceny konstrukce a kabeláže jsou orientační. Cena výroby konstrukce byla odhadnuta ve firmě Ferrum Servis. Cena kabeláže byla stanovena na základě cen ověřených u firmy GES-ELECTRONICS. Cena spojovacích materiálů byla určena dle ceníku firmy AKROS. Ceny tlačítek a zásuvek byly ověřeny u firem GES-ELECTRONICS a GM electronic.

5.2 Vyhodnocení ceny provozu autonomního vozíku

V reálném nasazení do provozu není jeden AGC schopen nahradit práci jednoho pracovníka, pouze přispívá k zvyšování produktivity jeho práce. Tento výpočet poukazuje na to, jak velký je rozdíl mezi cenou lidské práce a provozem AGC a dále na to, jak drahé je plýtvat lidskou prací na procesy, které je možné automatizovat.

Aby bylo možné porovnat provoz AGC s pracovní silou. Je třeba stanovit náklady na provoz jednotky času. Do provozních nákladů spojených s užíváním AGC se promítne pouze spotřeba elektrické energie na nabíjení baterií. Energie se spočte podle vzorce

$$E = UIt, \quad (10)$$

kde E je spotřeba el. energie, U je nabíjecí napětí, I je nabíjecí proud a t doba nabíjení. Jedno nabití představuje 8 h provozu.

Provozní náklady vozíku jsou v tabulce 7.

Tabulka 7: Provozní náklady AGC

Nabíjecí proud (A)	Nabíjecí napětí (V)	Doba nabíjení (h)	Cena za 1 kWh (Kč)	Cena 1 nabití (Kč)	Cena provozu 1 h (Kč)
2,6	29,2	10	5,10 [33]	3,87	0,48

Cena práce pracovníka se určí podle vztahu

$$C_p = t H_p, \quad (11)$$

kde C_p je cena práce pracovníka, t doba práce v hodinách, H_p hodinová mzda. Cena provozování AGC je dle vztahu

$$C_v = P_c + t H_v, \quad (12)$$

kde C_v je cena provozování AGC, P_c pořizovací cena, t doba práce v hodinách, H_v cena provozu jedné hodiny.

Řešení soustavy rovnic (11) a (12) určuje dobu, od které začíná být cena provozu AGC levnější než práce pracovníka. AGC od této doby až do konce životnosti šetří. Pro hodinovou mzdu pracovníka 100 Kč je tato doba 297 h, tj. přibližně 37 dní. Je nutné připomenout, že jeden AGC nedokáže nahradit samotného pracovníka, ale výrazně zvyšuje jeho produktivitu práce.

6 Závěr

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá zhodnocením používaných systémů pro autonomii v dopravní a manipulační technice. V kapitole 2 byly shrnuty systémy navigací. V kapitole 3 byly popsány senzory používané v těchto systémech, a to z hlediska jejich principů a použitých technologií. Důraz byl kladen na popis současných systémů navigace.

Na základě zhodnocení navigačních systémů byl vybrán konkrétní typ, který by nejlépe vyhovoval danému požadavku použití, tj. navigování plošinového vozíku pro přepravu přepravky o rozměru 600 x 400 mm. Byl vybrán navigační systém sledování vodící čáry v její optické podobě.

Pro sjednocení očekávaných předpokladů se skutečnými výsledky užití, byl sestaven model vozíku sledujícího černou čáru. Rovněž byl vytvořen program k ovládní a model vozíku byl oživen a uveden do provozu.

Na základě těchto poznatků byla navržena konstrukce konkrétního autonomního vozíku o nosnosti 30 kg. Ke konstrukci byly použity dostupné technologické komponenty. Byly použity hnacích hub motory, které kvalitativně i konstrukčně nejlépe vyhovovaly.

Řídící deska je shodná s modelem, je snadno programovatelná a odpovídá současnému technologickému pokroku.

Vnitřní uspořádání vozíku bylo provedeno tak, aby co nejlépe vyhovovalo reálným podmínkám provozu.

Samotná konstrukce byla navržena jako odolný skelet, který by odolával zatížení a nešetrnému zacházení ze strany obsluhy v běžném provozu. Pevnost a tuhost konstrukce byla následně zkontrolována metodou konečných prvků.

V souladu s tím, zda je účelné a ekonomické zavádět tyto autonomní vozíky v provozu, bylo provedeno ekonomické zhodnocení návratnosti vynaložených prostředků ve vztahu úspory lidských zdrojů a dále ve vztahu čerpání nákladů firmy při provozu konkrétního vozíku. Výsledkem je, že použitím autonomního vozíku se snižují celkové náklady provozu a to úsporou času pracovníkům, během kterého mohou vykonávat práce, jenž nelze snadno nahradit automatizací.

Vzhledem k možnostem použití dalších senzorů lze autonomní vozík v budoucnu vybavit propracovanějšími funkcemi. Počínaje automatickým zastavením před neočekávanou překážkou, ručním ovládním při transportu na pracovní dráhu a signalizací provozu či stavu baterie.

Seznam použité literatury

- [1] *AISIN – News Releases - Products, Events* [online]. [cit. 2012-02-09]
<<http://www.aisin.com/news/products/060929.html>
- [2] *Intelligentní parkovací asistent (IPA)* [online]. last revision 27. 6. 2012 [cit. 2012-02-09].
<http://www.toyota.cz/cars/new_cars/toyota_tech/ipa.tmex
- [3] *Intelligent Parking Assist System, a Smart Parking* [online]. [cit. 2012-02-09].
<<http://www.1234lab.com/intelligent-parking-assist-system-a-smart-parking.html>
- [4] *Technické okénko: parkovací asistenty BMW* [online]. c2011, [cit. 2012-02-15].
<<http://www.famousbmw.cz/technicke-okenko-parkovaci-asistenty-bmw/>
- [5] *Parking sensors* [online]. [cit. 2011-12-19]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_sensors
- [6] *Volvo Auto Czech* [online]. [cit. 2012-02-15]. <<http://www.volvocars.com/cz/>
- [7] *Universal Parking Sensor* [online]. [cit. 2012-02-15]
<<http://www.parkingdynamics.co.uk/Universal-Sensors/Parking-Dynamics-PD1/Parking-Dynamics-PD1-Parking-Sensor#description>
- [8] *Autodiagnostika / automobilové asistenční systémy, automobilové novinky* [online].
[cit. 2012-0x-yz]. <<http://www.carmotor.cz>
- [9] *Phoenix (sonda)* [online]. [cit. 2012-02-28].
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Phoenix_\(sonda\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Phoenix_(sonda))
- [10] *Stanley (vehicle)* [online]. [cit. 2012-02-27]
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Stanley_\(vehicle\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Stanley_(vehicle))
- [11] *Google driverless car* [online]. [cit. 2012-02-27].
<http://en.wikipedia.org/wiki/Google_driverless_car
- [12] *Autonomous Driving* [online]. [cit. 2012-02-27]
<<http://www.nytimes.com/imagepages/2010/10/10/science/10googleGrfxA.html?ref=science>
- [13] *The Basics of Automatic Guided Vehicle Systems: Navigation & Guidance* [online].
c2011, last revision 31. 1. 2011 [cit. 2011-11-3].
<<http://www.agvsystems.com/basics/nav.htm>
- [14] *Automated guided vehicle* [online]. last revision 12. 6. 2012 [cit. 2011-11-02].
<http://en.wikipedia.org/wiki/Automated_Guided_Vehicle
- [15] *NDC8 – brought to you by Kollmorge* [online]. last revision 17. 1. 2012 [cit. 2011-11-03]. <<http://ndc8.com/ndc8.html>
- [16] ĎAĎO, S., KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. 2. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1999, ISBN 80-01-02057-6
- [17] Pasi Palojärvi. *Pulsed time-of-flight laser rangefinding* [online]. c2003, [cit. 2012-03-14].
<<http://herkules.oulu.fi/isbn9514269667/html/c305.html>
- [18] KLEMENTEV, I., KYŠKA, R. *Elektrické meranie mechanických veličín*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1991
- [19] *Sagnacův efekt* [online]. [cit. 2012-03-20].
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sagnac%C5%AFv_efekt

- [20] *Spacecraft Guidance, Navigation and Control Systems* [online]. [cit. 2012-04-02]. <<http://what-when-how.com/space-science-and-technology/spacecraft-guidance-navigation-and-control-systems/>>
- [21] ZEHNULA, K. *Snímače neelektrických veličin*. 2.vyd. Praha: SNTL, 1983
- [22] KUNEŠ, J. *Měřicí technika, Měření neelektrických veličin I.-II.* Plzeň : VŠSE, 1991
- [23] HUSÁK, M. MEMS a mimosystémové technologie. *Automa*, 2008, č.11, s. 7-11
- [24] *MEMS* [online]. [cit. 2012-03-25]. <<http://www.isli.co.uk/case-studies/mems/>>
- [25] *Let there be MEMS* [online]. [cit. 2012-04-09]. <<http://www.chaehoi.com/R-D>>
- [26] *Pololu, QTR-8RC Reflectance Sensor Array* [online]. [cit. 2012-05-27]. <<http://www.pololu.com/catalog/product/961>>
- [27] *Arduino Uno* [online]. [cit. 2012-05-28]. <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>
- [28] *B2B Partner* [online]. [cit. 2012-06-01]. <<http://www.b2bpartner.cz/products/10000333/256005/>>
- [29] *Emporo* [online]. [cit. 2012-06-01]. <<http://www.emporo.cz/prepravka-plastova-euro-plna-seda-barva-600-x-400-x-320-mm/d-74637-c-3575/>>
- [30] *UU Motor* [online]. [cit. 2012-06-04]. <<http://www.uumotor.com/docs/hubmotor/HUB8SF-motor-data.pdf>>
- [31] KEMKA, V. *Mechanika jízdy vozidla [přednáška]*, Plzeň : ZČU, KKS, 2011
- [32] *Datasheet Yucell* [online]. [cit. 2012-06-05]. <<http://www.battery-import.cz/cms/modules/download/download.php?file=/user/souviselici-soubory/CZ%20datasheet%20YUCELL%20PG26.pdf>>
- [33] *Standard, elektřina, skupina ČEZ* [online]. [cit. 2012-06-11]. <<http://www.cez.cz/cs/prozakazniky/elektřina/ceny/firma/ceny/2012/zakladni-produktova-rada/standard.html>>

Použitý software

Arduino 1.0.1

Siemens NX 8.0

Seznam obrázků

Obrázek 1: Ultrazvukový senzor v nárazníku vozidla [6].....	11
Obrázek 2: Znázornění drátové navigace [15]	13
Obrázek 3: Automaticky řízený vozík naváděný pomocí pásky [15]	14
Obrázek 4: Znázornění laserové navigace [15]	14
Obrázek 5: Znázornění inerciální navigace [15]	15
Obrázek 6: Schéma pulzního laserového dálkoměru [17].....	17
Obrázek 7: Schéma optického vláknového gyroskopu [20].....	19
Obrázek 8: Schéma gyroskopu s kmitající vidlicí [16]	20
Obrázek 9: Schéma kapacitního akcelerometru	21
Obrázek 10: Monolitický 3osý piezorezistivní akcelerometr se senzorem tlaku [24]	23
Obrázek 11: MEMS Tepelný akcelerometr [25]	23
Obrázek 12: Vybíjecí okruh [26].....	25
Obrázek 13: Modelový robotický vozík.....	26
Obrázek 14: Spodek modelového vozíku.....	27
Obrázek 15: Vývojový diagram programu.....	28
Obrázek 16: První varianta vnitřního rozložení vozíku.....	29
Obrázek 17: Druhá varianta vnitřního rozložení vozíku	29
Obrázek 18: Blokové schéma zapojení elektroniky	32
Obrázek 19: Půdorys rámu	33
Obrázek 20: Podélný řez rámem	33
Obrázek 21: Uživatelské rozhraní na zádi.....	34
Obrázek 22: Fyzikální model s okrajovými podmínkami	35
Obrázek 23: Redukované napětí Von-Mises – první zatěžovací stav	36
Obrázek 24: Posunutí ve svislém směru – první zatěžovací stav	37
Obrázek 25: Redukované napětí Von-Mises – druhý zatěžovací stav	38
Obrázek 26: Posunutí ve svislém směru – druhý zatěžovací stav	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Označování mikrosystémů podle průniku signálových domén.....	22
Tabulka 2: Odhad celkové hmotnosti.....	30
Tabulka 3: Kapacita baterie.....	31
Tabulka 4: Hmotnosti komponentů	32
Tabulka 5: Polotovary konstrukce.....	34
Tabulka 6: Cena pořízení AGC	40
Tabulka 7: Provozní náklady AGC	41

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Kód programu pro modelový vozík sledující čáru
Příloha č. 2: CAD model navrženého autonomního vozíku

PŘÍLOHA č. 1

Kód programu pro modelový vozík sledující čáru

```

#include <QTRSensors.h>
#define NUM_SENSORS 7 // pocet pouzivanych senzoru
#define TIMEOUT 2500 // waits for 2500 us for sensor outputs to go low
#define EMITTER_PIN QTR_NO_EMITTER_PIN // IR emitor je stale zapnuty

// sensory 0 az 6 are jsou pripojeny na digitalni piny 3 az 9
QTRSensorsRC qtrrc((unsigned char[]) {3, 4, 5, 6, 7, 8, 9},
  NUM_SENSORS, TIMEOUT, EMITTER_PIN);
unsigned int sensorValues[NUM_SENSORS];

int pwm_a = 10;
int pwm_b = 11;
int dir_a = 12;
int dir_b = 13;
//const int buttonPin = 2; // tlacitko pro uvedeni do provozu je pripojeno na digitalni pin 2
//int jed_dal = 0; // promenna
int rychlost_prave = 0;
int rychlost_leva = 0;
int zatoc_doprava = 0;
int zatoc_doleva = 0;
int zastav = 0;

void setup() {
  pinMode(pwm_a, OUTPUT);
  pinMode(pwm_b, OUTPUT);
  pinMode(dir_a, OUTPUT);
  pinMode(dir_b, OUTPUT);
  //pinMode(buttonPin, INPUT); // nastavi digitalni pin tlacitka na input

  delay(500);
  int i;
  pinMode(14, OUTPUT);
  digitalWrite(14, HIGH); // turn on LED to indicate we are in calibration mode
  for (i = 0; i < 400; i++) { // make the calibration take about 10 seconds
    qtrrc.calibrate(); // reads all sensors 10 times at 2500 us per read (i.e. ~25 ms per call)
  }
  digitalWrite(14, LOW); // turn off LED to indicate we are through with calibration

  // print the calibration minimum values measured when emitters were on
  Serial.begin(9600);
  for (i = 0; i < NUM_SENSORS; i++) {
    Serial.print(qtrrc.calibratedMinimumOn[i]);
    Serial.print(' ');
  }
  Serial.println();

  // print the calibration maximum values measured when emitters were on
  for (i = 0; i < NUM_SENSORS; i++) {
    Serial.print(qtrrc.calibratedMaximumOn[i]);
    Serial.print(' ');
  }
  Serial.println();
  Serial.println();
  delay(1000);
}

void loop() {
  qtrrc.read(sensorValues);
  delay(10); // frekvence smycky, 10 ms = 100 Hz
}

```



```

//SLEDOVANI CARY
if (zastav != 1) {
  if (sensorValues[2] < 200 && sensorValues[3] < 200 && sensorValues[4] < 200) { // neni zadna cara -
zastavit!
  //STOP
  digitalWrite(dir_a, LOW); // smys otaceni motoru: LOW = vpred, HIGH = vzad
  digitalWrite(dir_b, LOW); // smys otaceni motoru: LOW = vpred, HIGH = vzad
  analogWrite(pwm_a, 0); // sirka pulzu: 0 = zastaveni motoru, 255 = maximalni rychlost
  analogWrite(pwm_b, 0); // sirka pulzu: 0 = zastaveni motoru, 255 = maximalni rychlost
  }
else if (sensorValues[3] > 300) { // jsme na care
  // jed dopredu s drobnymi korekcemi smeru
  rychlost_prave = 100 + (sensorValues[2] / 10) - (sensorValues[4] / 10);
  rychlost_leve = 100 + (sensorValues[4] / 10) - (sensorValues[2] / 10);
  digitalWrite(dir_a, LOW);
  digitalWrite(dir_b, LOW);
  analogWrite(pwm_a, rychlost_prave);
  analogWrite(pwm_b, rychlost_leve);
  }
else if (sensorValues[3] < 300 && sensorValues[4] > 200) { // nejsme na care, sensor vpravo je na care
  // korekce doprava - zrychlime leve kolo
  rychlost_prave = 100 - (sensorValues[4] / 15);
  rychlost_leve = 100 + (sensorValues[4] / 7);
  digitalWrite(dir_a, LOW);
  digitalWrite(dir_b, LOW);
  analogWrite(pwm_a, rychlost_prave); //prave
  analogWrite(pwm_b, rychlost_leve); //leve
  }
else if (sensorValues[3] < 300 && sensorValues[2] > 200) { // nejsme na care, sensor vlevo je na care
  // korekce doleva - zrychlime prave kolo
  rychlost_prave = 100 + (sensorValues[2] / 7);
  rychlost_leve = 100 - (sensorValues[2] / 15);
  digitalWrite(dir_a, LOW);
  digitalWrite(dir_b, LOW);
  analogWrite(pwm_a, rychlost_prave);
  analogWrite(pwm_b, rychlost_leve);
  };
}

//RESENI KRIZOVATEK
if (sensorValues[3] > 500 && (sensorValues[0] > 700 || sensorValues[6] > 700)) {
  // aspon jeden krajni je na care = jsme na krizovatece
  if (zatoc_doleva == 1) { // zahni doleva o 90st
    analogWrite(pwm_a, 100);
    analogWrite(pwm_b, 100);
    delay(500); //zpusobi, ze vozik bude po zatoceni vycentrovany na care
    digitalWrite(dir_a, LOW); //prave kolo vpred
    digitalWrite(dir_b, HIGH); //leve kolo vzad
    analogWrite(pwm_a, 100);
    analogWrite(pwm_b, 100);
    delay(1700); //doba otaceni
    digitalWrite(dir_a, LOW);
    digitalWrite(dir_b, LOW);
    zatoc_doleva = 0;
  }
else if (zatoc_doprava == 1) { // zahni doprava o 90st
    analogWrite(pwm_a, 100);
    analogWrite(pwm_b, 100);
    delay(500);
    digitalWrite(dir_a, HIGH); //prave kolo vzad
    digitalWrite(dir_b, LOW); //leve kolo vpred
  }
}

```

```

    analogWrite(pwm_a, 100);
    analogWrite(pwm_b, 100);
    delay(1700);           //doba otaceni
    digitalWrite(dir_a, LOW);
    digitalWrite(dir_b, LOW);
    zatoc_doprava = 0;
  }
  else {
    // nic nedelat na krizovatce
  };
}
//RESENI ZNACEK
if (sensorValues[3] > 700 && sensorValues[1] > 700 && sensorValues[0] < 300 && sensorValues[6] < 300)
{
  // nasli jsme znacku signalizujici zataceni az budeme na krizovatce zatocime doleva
  zatoc_doleva = 1;
}
if (sensorValues[3] > 700 && sensorValues[5] > 500 && sensorValues[0] < 300 && sensorValues[6] < 300)
{
  // nasli jsme znacku signalizujici zataceni az budeme na krizovatce zatocime doprava
  zatoc_doprava = 1;
}
if (sensorValues[1] > 800 && sensorValues[5] > 700 && sensorValues[1] > 700 && sensorValues[0] < 300
&& sensorValues[6] < 300) {
  // nasli jsme znacku signaluzujici bod zastaveni
  digitalWrite(dir_a, LOW);
  digitalWrite(dir_b, LOW);
  analogWrite(pwm_a, 0);
  analogWrite(pwm_b, 0);
  zastav = 1;
}
}
//TLACITKO PRO UVEDENI DO PROVOZU
/* jed_dal = digitalRead(buttonPin); //precte jestli je tlacitko zmackle
if (jed_dal == HIGH) {
  zastav = 0;
  digitalWrite(dir_a, LOW);
  digitalWrite(dir_b, LOW);
  analogWrite(pwm_a, 100);
  analogWrite(pwm_b, 100);
  delay(1500);           // jede rovne po nejakou dobu, aby celou znacku prejel
} */
}

```

PŘÍLOHA č. 2

CAD model navrženého autonomního vozíku

