

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

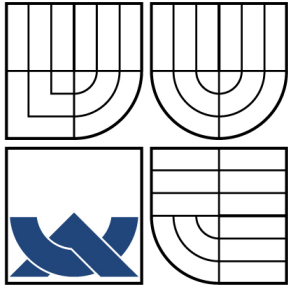
STUDIE ELEKTRICKÉHO INVALIDNÍHO VOZÍKU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

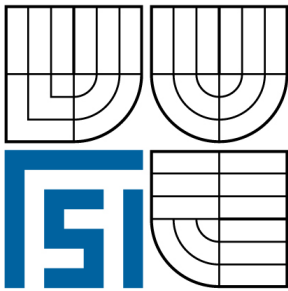
PETR FILIPEC

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

STUDIE ELEKTRICKÉHO INVALIDNÍHO VOZÍKU

A PROBLEM OF ELECTRIC POWERED WHEELCHAIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR FILIPEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠVEJDA

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Filipec

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

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Studie elektrického invalidního vozíku

v anglickém jazyce:

A problem of electric powered wheelchair

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování rešeršní studie týkající se problematiky elektrických invalidních vozíků s vlastními závěry a návrhy studenta.

Cíle bakalářské práce:

- seznámte se s problematikou elektrických invalidních vozíků ve světě
- na základě získaných informací vypracujte rešeršní studii s ucelenou a logicky uspořádanou strukturou
- navrhnete funkční zdokonalení vybrané části invalidního vozíku

Seznam odborné literatury:

- 1.Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- 2.Kratochvíl: Mechanika těles - dynamika, skriptum FSI VUT v Brně
- 3.Noskievič: Modelování a identifikace systémů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Švejda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 13.11.2008

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá rešeršní studií elektrického invalidního vozíku a vlastním návrhem pro jeho vylepšení. Na začátku je popsána základní charakteristika elektrického invalidního vozíku. Práce pokračuje rešeršní studií řídicích systémů. Dále jsou v práci zpracované statistiky z dotazníků veřejného průzkumu. Na základě těchto informací je vytvořen nástroj pro sestavení nejvhodnější kombinace výkonu motoru a kapacity baterie.

Abstract

This work deals with the research electric powered wheelchair and one's own project for its improvement. At the beginning a basic characterization of powered electric wheelchair is described. The work continues with a study of research control systems. Next, statistics are worked up from opinion poll. Instrument for optimalization engine power and battery capacity is created in terms of this information.

Bibliografická citace

FILIPEC, P. *Studie elektrického invalidního vozíku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Švejda.

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury, internetových zdrojů a pod vedením vedoucího BP.

Petr Filipec, Brno, 2009

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své práce panu Ing. Pavlu Švejdovi za cenné podněty a inspirující rady, které mi v souvislosti s mou bakalářskou prací poskytl. Děkuji také všem lidem, kteří byli ochotni spolupracovat během veřejného průzkumu, a tak sdělit své cenné zkušenosti a nápady.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Základní charakteristika elektrického invalidního vozíku.....	11
2.1	Pohonná soustava.....	12
2.2	Baterie.....	13
2.3	Řídicí systém.....	14
3	Řízení elektrického vozíku pomocí RTAI.....	16
3.1	Funkce řízení pomocí RTAI.....	16
3.2	Hardware a jeho součásti.....	17
3.2.1	Počítač.....	18
3.2.2	Ovládací panel.....	18
3.2.3	Systém senzorů.....	18
3.2.4	Výkonový systém.....	18
3.3	Software.....	18
3.3.1	Grafické rozhraní.....	19
3.3.2	Přídavné ovladače.....	20
3.4	Testování řízení pomocí RTAI.....	20
3.5	Celkové zhodnocení řízení pomocí RTAI.....	21
4	Řízení elektrického vozíku pomocí SWCS.....	22
4.1	Funkce řízení pomocí SWCS.....	23
4.2	Hardware a jeho součásti.....	23
4.2.1	Počítač.....	23
4.2.2	Systém senzorů.....	24
4.2.2.1	Ultrazvukové a infračervené senzory.....	24
4.2.2.2	Infračervený senzor pro odhalování schodišť a šikmých ploch.....	25
4.2.3	Regulační elektronika.....	26
4.3	Software	26
4.4	Testování řízení pomocí SWCS.....	27
4.5	Zhodnocení řízení pomocí SWCS.....	27
5	Veřejný průzkum nejčastějších problémů s elektrickými vozíky.....	28
5.1	Nejčastější problémy elektrických vozíků.....	28
5.1.1	Pohonná soustava.....	28
5.1.2	Baterie.....	28
5.1.3	Pneumatiky.....	29
5.1.4	Stabilita.....	29
5.1.5	Obecné problémy.....	29
5.2	Návrhy uživatelů pro vylepšení elektrického vozíku.....	31
5.2.1	Vylepšení ovládacího panelu.....	31
5.2.2	Vylepšení sedadla.....	31
5.2.3	Obecná vylepšení	32

6	Návrh nejvhodnější kombinace motoru a baterie pro elektrický vozík.....	33
6.1	Návrh nejvhodnějšího motoru.....	33
6.1.1	Postup výpočtu P_{max}	35
6.1.1.1	Redukce hmotnostních parametrů.....	35
6.1.1.2	Redukce silových parametrů.....	36
6.1.1.3	Výpočet P_{max}	37
6.1.2	Návrh nejvhodnějšího výkonu motoru.....	37
6.2	Návrh nejvhodnější baterie.....	38
6.2.1	Postup výpočtu C_b	38
6.2.1.1	Plynulá jízda do kopce a z kopce.....	39
6.2.1.2	Plynulá jízda po vodorovné ploše.....	40
6.2.2	Návrh nejvhodnější kapacity baterie	40
6.3	Zkouška návrhu motoru a baterie.....	41
6.4	Grafické uživatelské rozhraní pro návrh motoru a baterie	42
7	Závěr.....	45
8	Literatura a odkazy.....	47
9	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	48
10	Přílohy.....	50
10.1	Schéma hardwaru řízení elektrického vozíku pomocí RTAI.....	50
10.2	Schéma hardwaru řízení elektrického vozíku pomocí SWCS.....	51
10.3	Vzorové případy a jejich řešení pro navigační software SWCS.....	52
10.4	Vývojový diagram modelu.....	53

1 Úvod

Tato práce se zabývá rešeršní studií elektrického invalidního vozíku a také vlastním návrhem pro jeho vylepšení. Elektrické invalidní vozíky (dále jen elektrické vozíky) jsou v dnešním světě velmi rozšířené a s příchodem nových technických trendů se objevují stále lepší a kvalitnější, které se postižené osobě stále více přizpůsobují a pomáhají ji tak k lepšímu životu a větší samostatnosti.

Rešeršní studie je z velké části věnována systémům pro řízení funkcí elektrického vozíku. V této práci se zabýváme především těmito dvěma typy. Řízení elektrického vozíku pomocí RTAI (Real-Time Application Interface) a SWCS (Smart Wheelchair Component System). U každého jsou popsány jejich charakteristické funkce, technické vybavení a spousta jiných důležitých faktorů.

Součástí této bakalářské práce jsou také statistiky zpracované z dotazníků veřejného průzkumu nejčastějších problémů s elektrickými vozíky. Informace byly získány přímo od jejich uživatelů, kteří jsou s těmito přístroji v každodenním kontaktu.

Tyto informace nám posloužily jako motivační materiál pro vytvoření vlastního návrhu. Jeho funkcí je navržení nejvhodnější kombinace motoru a baterie elektrického vozíku. Pro splnění tohoto úkolu byl sestaven model v programu MATLAB. Pro snadnější komunikaci mezi modelem a uživatelem bylo také v tomto prostředí sestaveno grafické uživatelské rozhraní.

2 Základní charakteristika elektrického invalidního vozíku

Elektrický vozík lze rozdělit na **mechanickou** a **elektrickou** část. Do mechanické části můžeme například zařadit základní kostru, sedadlo, kola.. atd. Z hlediska funkčnosti je pro nás ovšem důležitější elektrická část, kterou lze rozdělit na tyto subsystemy:

- Pohonná soustava
- Baterie
- Řídicí systém



Obr. 2.1: Elektrický invalidní vozík [1]

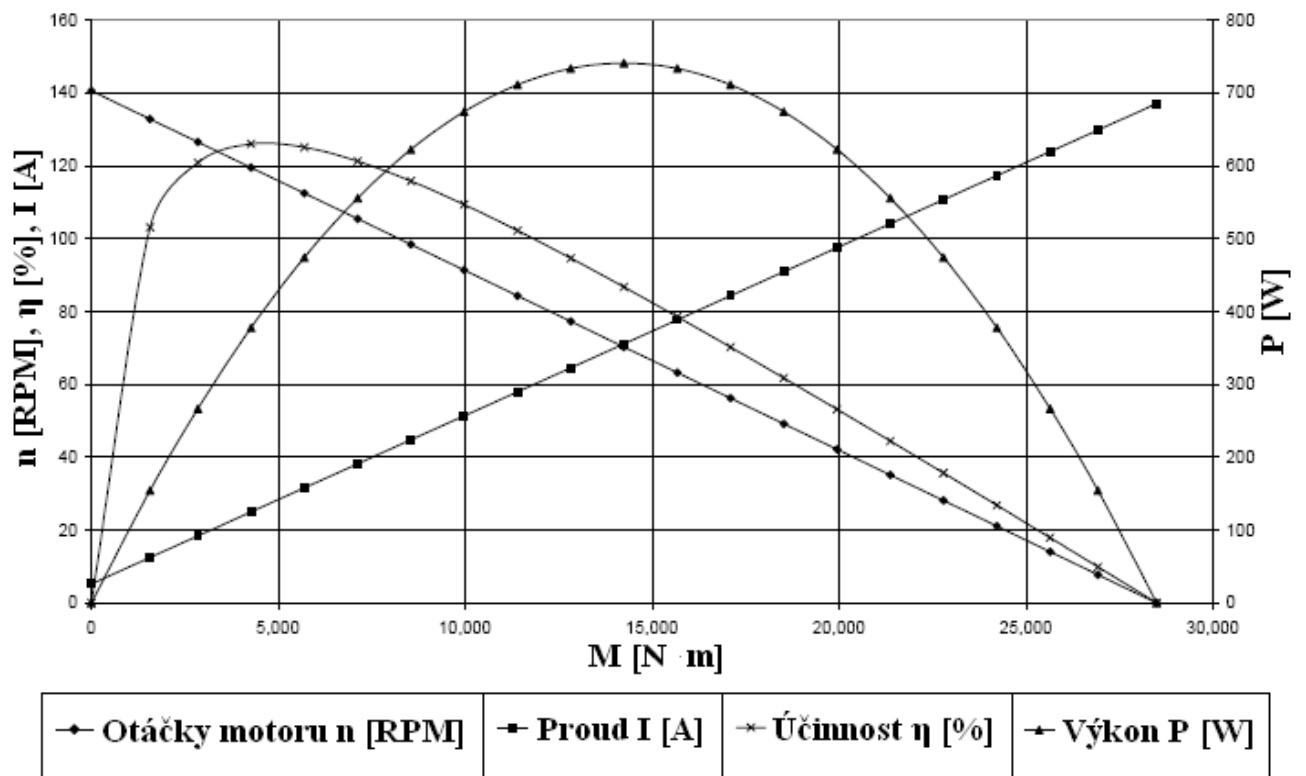
2.1 Pohonná soustava

Pohonná soustava elektrických vozíků je nejčastěji tvořena dvěma stejnosměrnými elektromotory (dále jen motory) o provozním napětí $U_m = 24V$. Na dnešním trhu můžeme nalézt celou řadu motorů tohoto druhu. Mnoho z nich má univerzální využití, ale lze vyhledat i takové, které jsou speciálně upravené přímo pro elektrické vozíky. Tyto typy obsahují například redukci výstupních otáček, takže jsou tak už předem upraveny pro rychlost, která je adekvátní běžné rychlosti elektrických vozíků. Pro názornost je na obr. 2.2 zobrazen jeden z motorů určených přímo pro elektrické vozíky.



Obr. 2.2: Stejnosměrný elektromotor [2]

Mnoho důležitých informací lze získat z jeho zátěžové charakteristiky. Na obr. 2.3 je zobrazen graf závislosti otáček, účinnosti, proudu a výkonu na kroutícím momentu. Velmi důležitá je právě hodnota kroutícího momentu, kterou můžeme regulovat změnou provozního proudu. Zajímavá je také křivka účinnosti, jelikož podle jejího extrému lze vyčíst, při jakém výkonu má motor právě největší účinnost. V kapitole popisující vlastní návrh se budeme podrobněji zabývat dalšími vlastnostmi motorů.



Obr. 2.3: Graf závislosti otáček, účinnosti, proudu a výkonu na kroutícím momentu [2]

2.2 Baterie

Baterii můžeme definovat jako soustavu dvou a více propojených elektrochemických článků, které tvoří ucelený zdroj stejnosměrné elektrické energie [3]. Elektrické vozíky jsou většinou vybaveny dvěma bateriemi, které mají na svorkách napětí $U_b = 12V$. Jejich klíčovou vlastností je kapacita C_b . Jednotkou této veličiny je Ah (Ampere – hodina) [13]. Na dnešním trhu můžeme nalézt spoustu druhů baterií. Mezi ty nejpoužívanější patří tyto:

- **AGM baterie (Absorbed Glass Mat batteries)** - Elektrolyt těchto baterií je nasáklý ve skelné vatě, která je umístěna mezi elektrodami [4].
- **VRLA baterie (Valve Regulated Lead Acid batteries)** - VRLA jsou olověné baterie řízené ventilem [4].
- **Gelové baterie** - Elektrolyt těchto baterií je zahuštěný ve formě gelu.



Obr. 2.4: Gelová baterie [1]

Nabíjecí systém pro baterie je buď součástí elektrického vozíku, a nebo lze pořídit jako samostatný přístroj. Podrobnější informace o vlastnostech baterií jsou opět rozvedeny v kapitole pro vlastní návrh.

2.3 Řídicí systém

Řídicí systém pracuje jako řídicí centrum pro funkce elektrického vozíku. Existují dva základní druhy:

- **Integrovaný řídicí systém** - Obsahuje všechny nezbytné součásti v ochranné skříni s joystickem. Elektrické vozíky nižší úrovně provedení jsou vybaveny právě těmito systémy, které zvládají řízení základní mobility.
- **Modulární řídicí systém** - Je rozdělen do různých částí elektrického vozíku a splňuje tak různé funkce dílčích prvků přístroje. Toto řízení je mnohem propracovanější a díky jeho vlastnostem je elektrický vozík schopen autonomního pohybu. Obsahuje také joystick nebo určitý typ manuálního ovladače.

Srovnání integrovaného a modulárního řídicího systému je zobrazeno v tab. 2.5.

Tab. 2.5: Srovnání integrovaného a modulárního řídicího systému [1]

Druhy řídicích systémů:	Integrovaný řídicí systém	Modulární řídicí systém
Výhody:	nízká cena, jednoduchost	velká přizpůsobitelnost, možnost se rozdělit na více částí
Nevýhody:	malá přizpůsobitelnost, velké rozměry	vysoká cena

Elektrický vozík může být řízen například těmito koncepty:

- SWCS (Smart Wheelchair Component System)
- RTAI (Real-Time Application Interface)
- OMNI (Office Manoeuvrability Navigational Intelligence)
- IWS (Intelligent Wheelchair System)
- CPWNS (Computer Power Wheelchair Navigation System)

Vzhledem k tomu, že se současná technická vyspělost elektrických vozíků zvyšuje zdokonalováním modulárních řídicích systémů, budeme se tak přednostně jimi zabývat v následujících kapitolách. Z uvedených příkladů nejlépe charakterizují modulární řídicí systém koncepty RTAI a SWCS. Jejich vlastnosti jsou uvedeny níže. Podrobnosti o jednotlivých součástech elektrického vozíku jsou dále rozvedeny v literatuře [1].

3 Řízení elektrického vozíku pomocí RTAI

V dnešním světě existuje spousta lidí s těžkým pohybovým postižením, pro které je řízení běžných elektrických vozíků nedostačující. Tito lidé jsou zcela odkázáni na pomoc druhých. Vědci se tento problém snaží vyřešit a nalézt řešení i pro tyto těžce postižené. Jednou z variant je řízení elektrického vozíku pomocí RTAI, což je rozšíření operačního systému Linux pro real-time aplikace. S jeho pomocí je elektrický vozík schopen automatizovat běžné navigační úkoly. To znamená automaticky lokalizovat okolní předměty, za včas se jim vyhnout, a tak uživatele dopravit bezpečně na požadované místo. To je po technické stránce dosti náročný úkol. RTAI je instalován na počítači, který je připojen k běžnému elektrickému vozíku značky Permobil. K standardnímu vybavení jsou navíc připojeny snímače, senzory a LCD display. Tento řídicí systém byl vědeckým týmem již testován. Výsledky jsou uvedeny níže. Budeme se dále zabývat jeho funkcemi a jednotlivými částmi:

- Funkce řízení
- Hardware a jeho součásti
- Software
- Testování řízení
- Zhodnocení řízení

3.1 Funkce řízení pomocí RTAI

Uživatel předává pokyny řídicímu systému prostřednictvím joysticku. Tyto informace jsou v pravidelných intervalech zaznamenávány. Během této doby zpracovávají senzory, umístěné na elektrickém vozíku, zprávu o okolním prostředí. Obě informace jsou posílány do počítače, jehož hlavním úkolem je zpracovat vstupní signály a vytvořit konečný signál pro výkonový systém. Tento povel je pak převeden na pohonnou soustavu.



Obr. 3.1: Upravený elektrický vozík Chairmen [5]

3.2 Hardware a jeho součásti

Hardware je rozdělen do čtyř základních skupin:

- Počítač
- Ovládací panel
- Systém senzorů
- Výkonový systém

3.2.1 Počítač

Počítač je namontovaný na zadní straně elektrického vozíku a má za úkol zpracovávat vstupní signály a vytvořit konečný signál pro výkonový systém.

3.2.2 Ovládací panel

Ovládací panel je umístěn u pravého opěradla a slouží ke komunikaci mezi uživatelem a elektrickým vozíkem. Pokyny joystickem (nebo LCD displejem) jsou zaznamenány na ovládacím panelu. Tyto signály jsou v pravidelných intervalech posílány do počítače přes sběrnici RS 232 k dalšímu zpracování.

3.2.3 Systém senzorů

Abychom dosáhli autonomní pohyblivosti, tak je zapotřebí připojit systém senzorů. Sensory detekují okolní objekty a jsou umístěny ve snímací skříni (senzory typu LRF - Laser Range Finder) a na nožních opěrkách. Snímací skříň je připevněna na 176 cm vysoké hliníkové podpěře a nakloněna k zemskému povrchu pod úhlem 25°. Úhel a výška jsou navrženy přesně tak, aby bylo zaručeno co nejefektivnější snímání. S počítačem je spojena přes sběrnici RS 422.

Technické parametry senzorů:

- Snímací interval $T_L = 26$ ms
- Zpracování signálu je 733 b
- Rychlost přesunu dat je 500 K

3.2.4 Výkonový systém

Výkonový systém převádí zpracované signály z počítače na pohonnou soustavu přes sběrnici RS 232. V příloze 10.1 je zobrazeno celkové schéma hardwaru řídicího systému.

3.3 Software

Velkou výhodou operačního systému Linux jsou nízké náklady na jeho pořízení a možnost modifikace dle požadavků návrhu. Existuje spousta výzkumných skupin, které vyvíjejí řídicí systémy pod komerčně dostupnými operačními systémy, jako jsou například Windows CE nebo QNX.

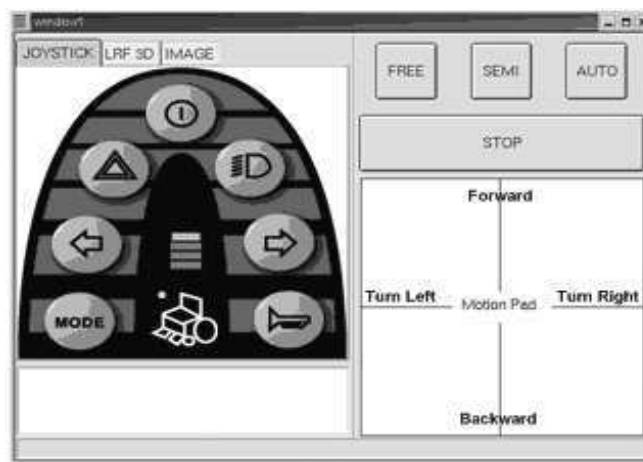
Úkoly softwaru můžeme rozdělit na dva základní druhy:

- **Úkoly v oblasti Real-Time** - Řadíme mezi ně všechny úkoly probíhající v reálném čase (např. detekce okolních předmětů nebo řízení motorů).
- **Úkoly v oblasti Non-real-Time** - Řadíme mezi ně všechny úkoly, které neprobíhají v reálném čase. Tuto oblast můžeme rozdělit na:
 - Grafické rozhraní
 - Přídavné ovladače

3.3.1 Grafické rozhraní

Grafické rozhraní je sestaveno pomocí nástrojů, které jsou součástí operačního systému GNU/Linux. Zobrazuje se prostřednictvím dotykového LCD displeje, kterého především využívají lidé s výrazně sníženou osobní mobilitou. Jeho funkce mohou v plné míře nahradit joystick.

Na levé straně je simulován ovládací panel, pomocí něhož uživatel řídí elektrický vozík. Na pravé straně nás informuje o současném stavu rychlosti. Svislá osa vyjadřuje rychlost směrem dopředu a dozadu. Vodorovná pak zachycuje rychlost rotace nalevo či napravo.



Obr. 3.2: Ukázka grafického rozhraní [5]

3.3.2 Přídavné ovladače

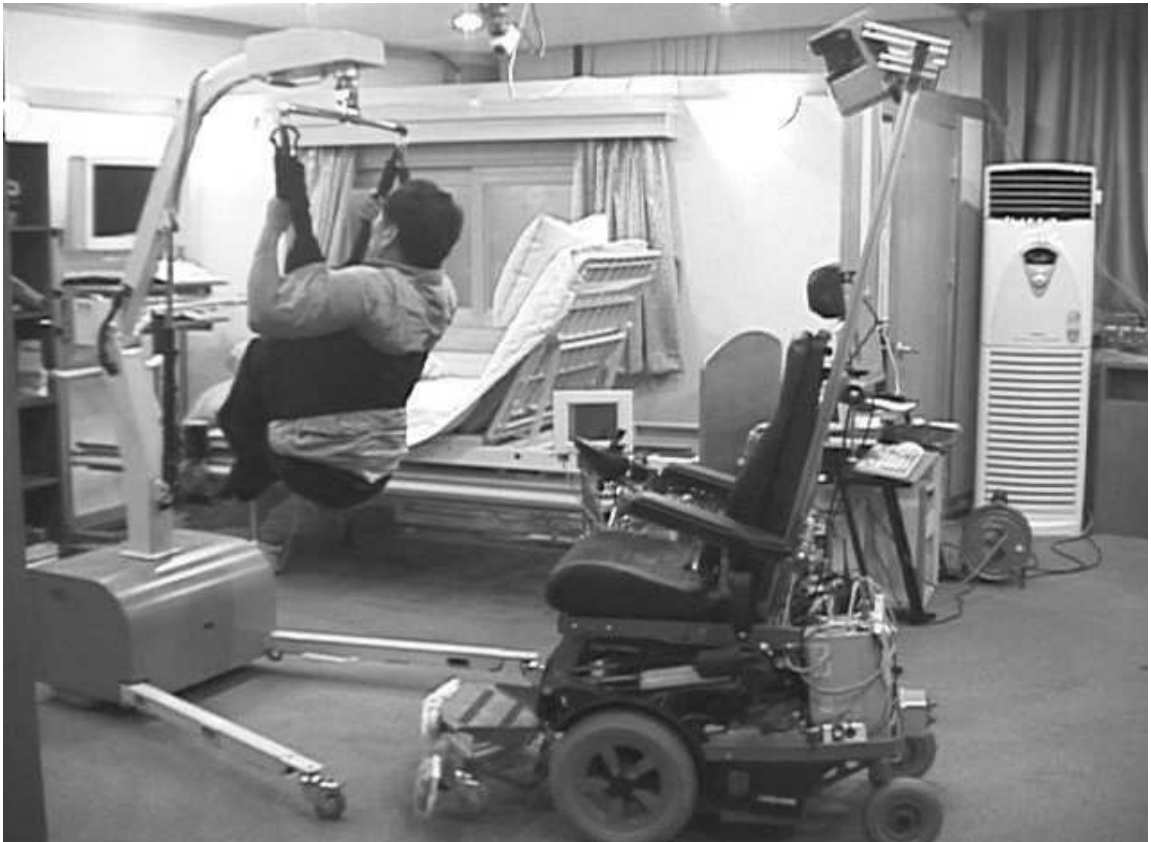
Přídavné ovladače jsou součástí řídicího panelu. Dokážou ovládat běžné spotřebiče v domácnosti. Uživatel má pak ovladače na jednom místě. To je velice praktické a důmyslné řešení. Může ovládat například televizi, či světla. Funkčnost je zajištěna přes domácí síťový server. Další volba ovládání je prostřednictvím lidského hlasu. Komunikace mezi grafickým rozhraním a přídavnými ovladači je zajištěna sdílenou pamětí.

3.4 Testování řízení pomocí RTAI

Vědecký tým tento řídicí systém již testoval. Jeho cílem bylo dostat postiženou osobu z lůžka na elektrický vozík bez jakékoliv jiné asistence. Aby transport osoby z lůžka na sedadlo proběhl hladce, musí vozík zaujmout správnou pozici k přepravnému zařízení. To je zajištěno senzory typu LRF na vysoké hliníkové podpěře, které dostanou za úkol lokalizovat přepravní zařízení. Elektrický vozík je pak schopen zaujmout ideální místo a umožnit osobě bezpečné dosednutí.



Obr. 3.3: Elektrický vozík Chairmen během testování [5]



Obr. 3.4: Elektrický vozík Chairmen se snaží zaujmout ideální pozici pro transport osoby [5]

3.5 Celkové zhodnocení řízení pomocí RTAI

Testování vědeckým týmem proběhlo úspěšně. Elektrický vozík vždy zaujal cílenou pozici, a tak uživateli zajistil bezpečné dosednutí. Výhodou řídicího systému RTAI je jeho variabilita v oblasti řízení. Nevýhodou je jeho technická náročnost a s tím i související vysoké náklady na zhotovení a případné opravy. Podrobnosti o tomto řídicím systému dále rozvedeny v literatuře [5].

Budeme se dále zabývat jeho funkcemi a jednotlivými částmi, tak jak je uvedeno níže:

- Funkce řízení
- Hardware a jeho součásti
- Software
- Testování řídicího systému
- Zhodnocení řídicího systému

4.1 Funkce řízení pomocí SWCS

System SWCS je „vložen“ do standardního řídicího systému (viz příloha 10.2). Část A znázorňuje počáteční fázi, kde uživatel vydává řídicí povely pomocí joysticku. Tento signál je dále zpracován SWCS v části B. Skádá se z PC a systému senzorů (část C a D). SWCS čte informace ze vstupní jednotky a posílá revidovaný signál k řídicí jednotce motoru (část E). Ta jedná s tímto příkazem, jako by přišel přímo ze vstupní jednotky. Revidovaný signál je totožný se vstupním signálem. Mění se pouze v případě blížící se překážky. Aby nedošlo ke srážce, tak SWCS upraví vstupní signál tak, aby se elektrický vozík bariéry zavčas vyhnul. Energie je do SWCS dodávána z baterií elektrického vozíku (část F).

4.2 Hardware a jeho součásti

Hardware SWCS je rozdělen na tyto části:

- Počítač
- Systém senzorů
- Regulační elektronika

4.2.1 Počítač

Počítač má za úkol zpracovávat vstupní signály a vytvořit konečný signál pro výkonový systém. Tento proces je vykonán pomocí softwaru, který je na něm nainstalován.

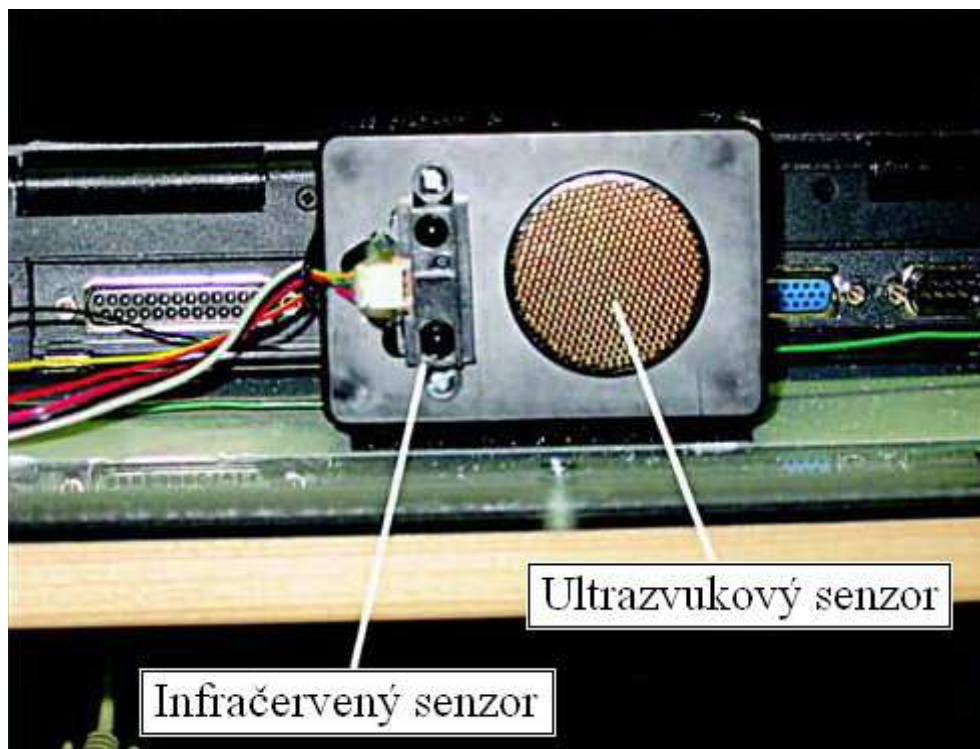
4.2.2 Systém senzorů

Systém senzorů je složen z těchto druhů:

- Ultrazvukové senzory
- Infračervené senzory
- Čidla

4.2.2.1 Ultrazvukové a infračervené senzory

Energie pro senzory je čerpána z baterií elektrického vozíku. Regulátor napětí dodává 5 V do infračerveného senzoru a 12 V do ultrazvukového senzoru. Ultrazvukový a infračervený senzor jsou společně uloženy v ochranném pouzdře, které nazýváme **senzorová jednotka**.

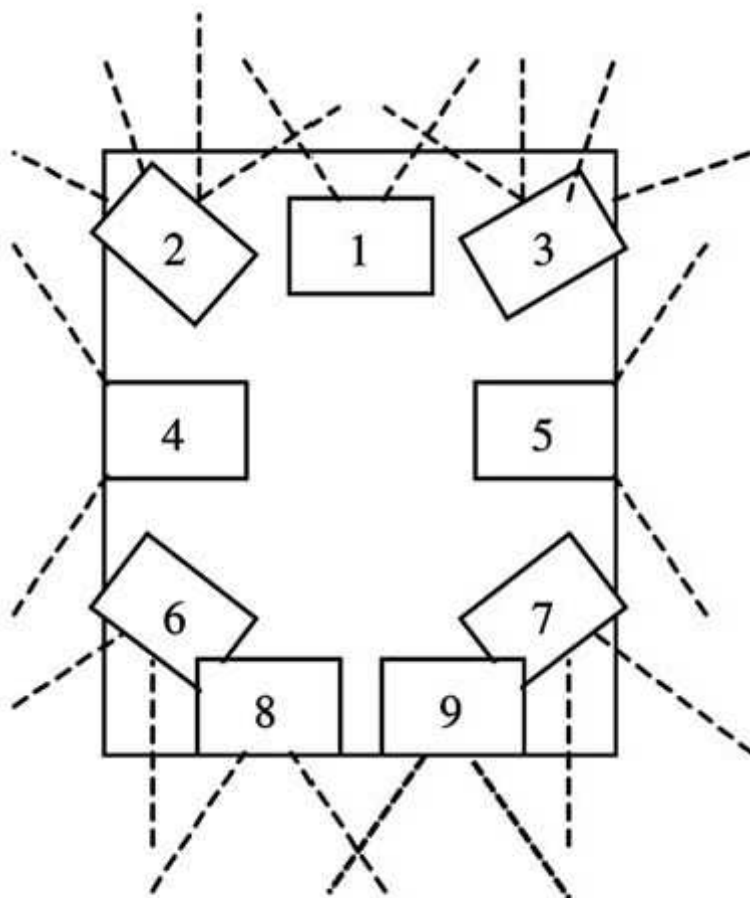


Obr. 4.2: Senzorová jednotka [6]

Dosahuje rozměrů 8,5 x 5,5 x 4,0 cm. Celkem 11 senzorových jednotek je vhodně rozmístěno po celém elektrickém vozíku. Jeden z návrhů pro rozmístění senzorových jednotek je ukázán na obr. 4.3. Přesné uspořádání je u každého typu vozíku individuální. U jednotek 2 a 3 byl

detektor a infračervený senzor umístěn tak, aby jejich paprsky byly ve směru kolmém. U ostatních jednotek jsou paprsky orientovány ve stejném směru. Tato změna byla provedena pro lepší detekci okolních předmětů. Vhodná poloha senzorových jednotek nám zaručuje lokalizaci objektu od 8cm do 50cm. Jestliže by paprsek infračerveného senzoru nebyl pod správným úhlem (velikost úhlu byla zjištěna empirickou metodou), informace o bariéře by přišla pozdě (opěradla na nohy by již byly v kontaktu s objektem).

Přední část elektrického vozíku

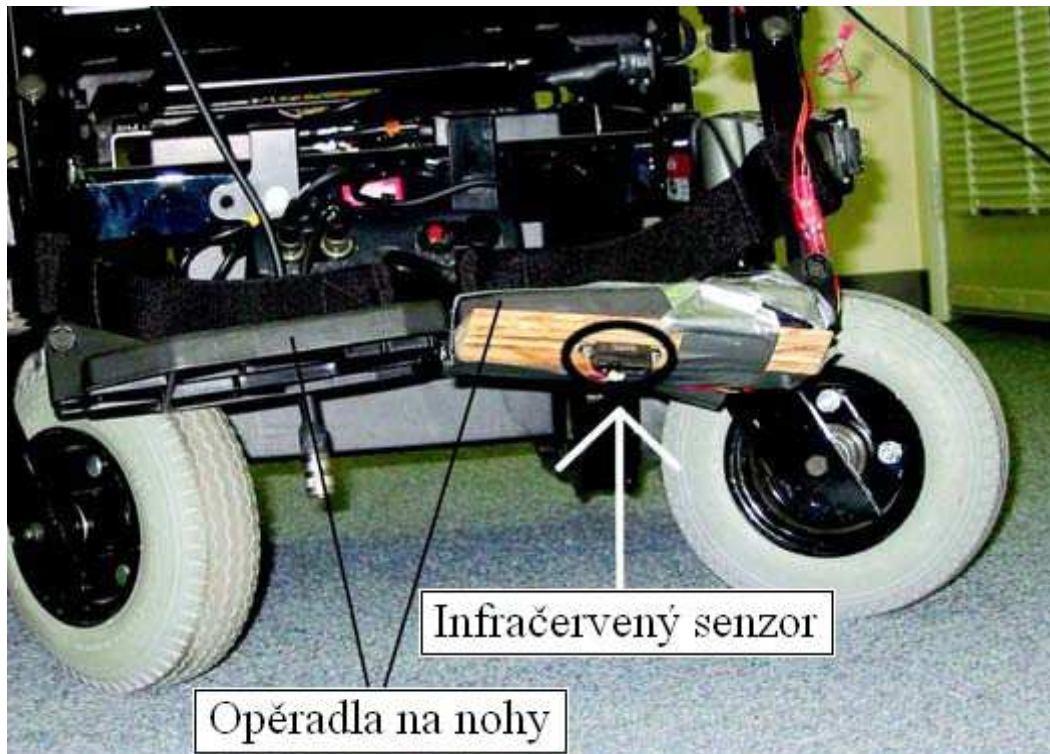


Obr. 4.3: Návrh pro rozmístění senzorových jednotek [6]

4.2.2.2 Infračervený senzor pro odhalování schodišť a šikmých ploch

K odhalování schodišť a šikmých ploch je užíváno infračerveného senzoru Sharp GP2D12, který je připevněn k jednomu z opěradel na nohy. Jeho přesné umístění je zobrazeno na obr. 4.4. Důležitým faktorem je zavčas odhalit bariéru a dát příkaz k zastavení elektrického

vozíku. Infračervený senzor byl testován v otevřeném a uzavřeném prostoru pod úhlem 45° a 60° k zemskému povrchu.



Obr. 4.4: Infračervený senzor Sharp GP2D12 [6]

4.2.3 Regulační elektronika

Regulační elektronika slouží k převedení vstupního signálu od uživatele do PC, kde je informace dále zpracována. U elektrických vozíků, na kterých bylo SWCS testováno, se elektronika v ovládacích panelech liší, a proto také užíváme různé druhy regulační elektroniky.

4.3 Software

Software je naprogramován v C++. Jeho hlavním úkolem je řešit situace, kdy hrozí srážka elektrického vozíku s překážkou. V takovém to případě software upraví vstupní signál tak, aby se elektrický vozík bariéře zavčas vyhnul. Pro tyto situace byl sestaven seznam vzorových případů, u kterých kolize nejčastěji vznikají. U každého z nich je také uvedeno řešení, které software pošle ve formě revidovaného signálu pohonné soustavě. Seznam vzorových případů a jejich řešení je zobrazen v příloze 10.3.

V praxi se můžeme setkat s případy, kdy bude muset elektrický vozík řešit více situací najednou. Celkové řešení tak bude mnohem komplikovanější. Tento problém je vyřešen přepínačem, který umožní uživateli vyřešit tyto situace pomocí manuálního ovládání (např. joystickem).

4.4 Testování řízení pomocí SWCS

SWCS byl testován vědeckým týmem na čtyřech různých elektrických vozících. Zkoušky se několikrát za sebou opakovaly a během nich probíhala úprava softwaru do finální podoby. Testování bylo prováděno z následujících hledisek:

- Udržování bezpečné vzdálenosti od překážek
- Zjišťování překážek různých velikostí
- Schopnost projet vchodem
- Schopnost projet úzkou chodbou
- Schopnost přijet k předmětu v dostatečné blízkosti

4.5 Zhodnocení řízení pomocí SWCS

Budoucí práce tohoto projektu spočívá v komercializaci řídicího systému. Hlavním úkolem je vylepšit hardware a software.

Hardware je třeba vybavit levnější elektronikou, aby ho bylo možné uvést na trh. Během testování se software musel individuálně upravovat pro každý elektrický vozík zvlášť. V budoucnu se plánuje sestavit takový software, který bude univerzální pro všechny druhy elektrických vozíků a automaticky se pak doladí do potřebného stavu. Univerzálnost elektronických součástí SWCS bude dalším rozhodujícím faktorem k dosažení úspěchu. Velký problém bude také činit specifické rozmístění senzorů. Ten budou řešit školení lékaři spolu s uživatelem. Infračervený senzor bude v budoucnu nahrazen laserovým dálkoměrem. V současné době je však pořízení této technologie velmi drahé. Podrobnosti o tomto řídicím systému dále rozvedeny v literatuře [6].

5 Veřejný průzkum nejčastějších problémů s elektrickými vozíky

Nejvíce informací o nejčastějších problémech s elektrickými vozíky lze získat přímo od jejich uživatelů. Sestavil jsem proto dotazníky, na základě kterých byly tyto informace získány (viz literatura [7]). Mnoho cenných rad mi také poskytlo brněnské sdružení Liga za práva vozíčkářů, Paracentrum Fenix a v neposlední řadě také pan Lauternbach, který je servisním technikem elektrických vozíků firmy STORM.

Dotazník vyplnilo 28 uživatelů elektrických vozíků z tří různých brněnských lokalit. S těmito lidmi bylo velice přínosné spolupracovat. Kromě informací ohledně **nejčastějších problémů s elektrickými vozíky** podali spoustu **vlastních návrhů pro jejich vylepšení**. Jednotlivé problémy jsou statisticky zpracovány a vyhodnoceny v následujících diagramech.

5.1 Nejčastější problémy elektrických vozíků

Nejčastější problémy vznikají zejména v těchto částech:

- Pohonná soustava
- Baterie
- Pneumatiky
- Problémy se stabilitou
- Obecné problémy

5.1.1 Pohonná soustava

Při každodenním používání elektrického vozíku začínají vážnější problémy s motory většinou po třech letech. Jízda pak není plynulá, ale trhavá.

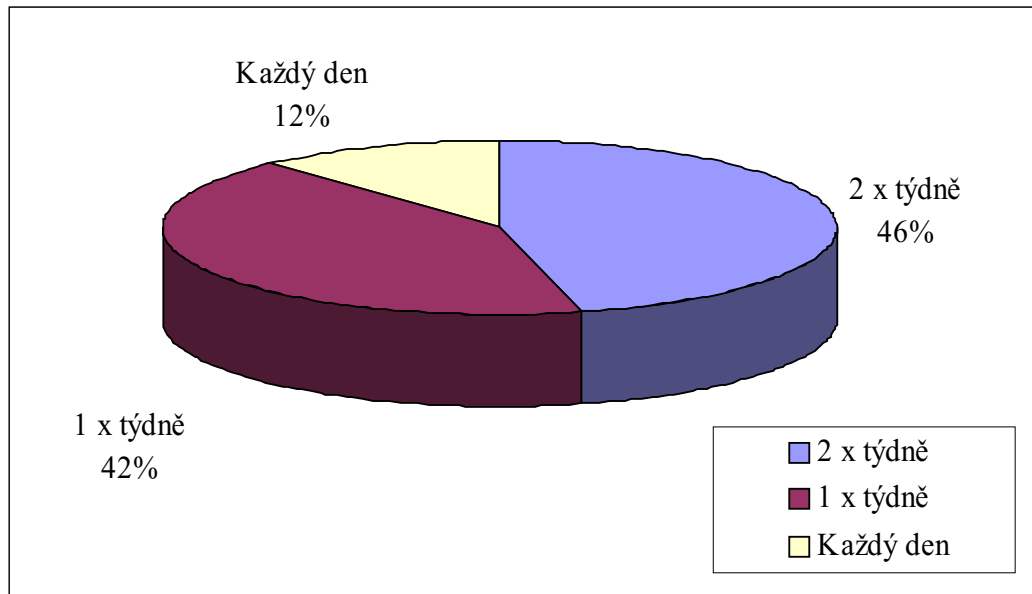
Rozhodující vlastností motoru je jeho výkon. Pro mnohé uživatele jsou hodnoty výkonů motorů nedostačující. Elektrické vozíky musí mnohdy zvládnout jízdu v nerovném terénu, či do strmého stoupání. Pro splnění těchto požadavků musí být elektrický vozík vybaven takovými motory, které dosahují vyššího výkonu.

5.1.2 Baterie

Životnost baterií je odhadována také kolem tří let. Rozhodující vlastností baterie je její kapacita. Stejně jako u výkonu motoru bývá často nedostačující také hodnota kapacity baterie. Někteří uživatelé podnikají delší výlety, kde je zapotřebí vlastnit baterie s vysokou kapacitou.

Baterie se musí nabíjet v různých časových intervalech (záleží např. na terénu, počtu ujetých kilometrů.. atd.). Různé periody nabíjení jsou zobrazeny na obr. 5.1. Použité hodnoty

ve všech diagramech jsou zpracovány z odevzdaných dotazníků.



Obr. 5.1: Různé periody nabíjení baterií [7]

5.1.3 Pneumatiky

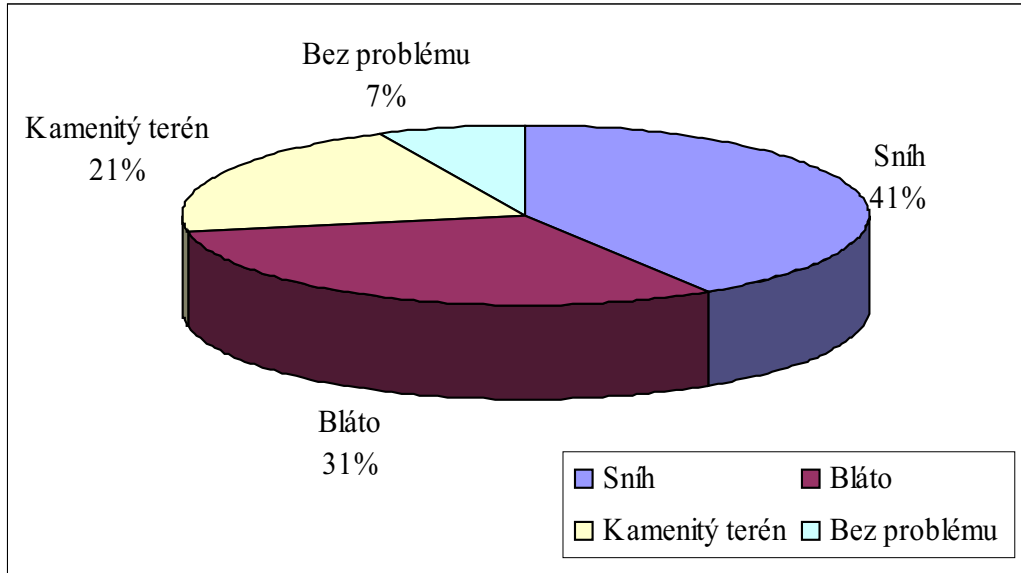
Pneumatiky elektrických vozíků jsou velmi zatěžovány a brzy se opotřebují (vznikají defekty). Pláště se musí měnit každých šest měsíců. Často vznikají problémy i s prokluzováním kol. Na obr. 5.2 jsou zobrazeny jednotlivé typy terénů, u kterých dochází nejčastěji k prokluzování.

5.1.4 Stabilita

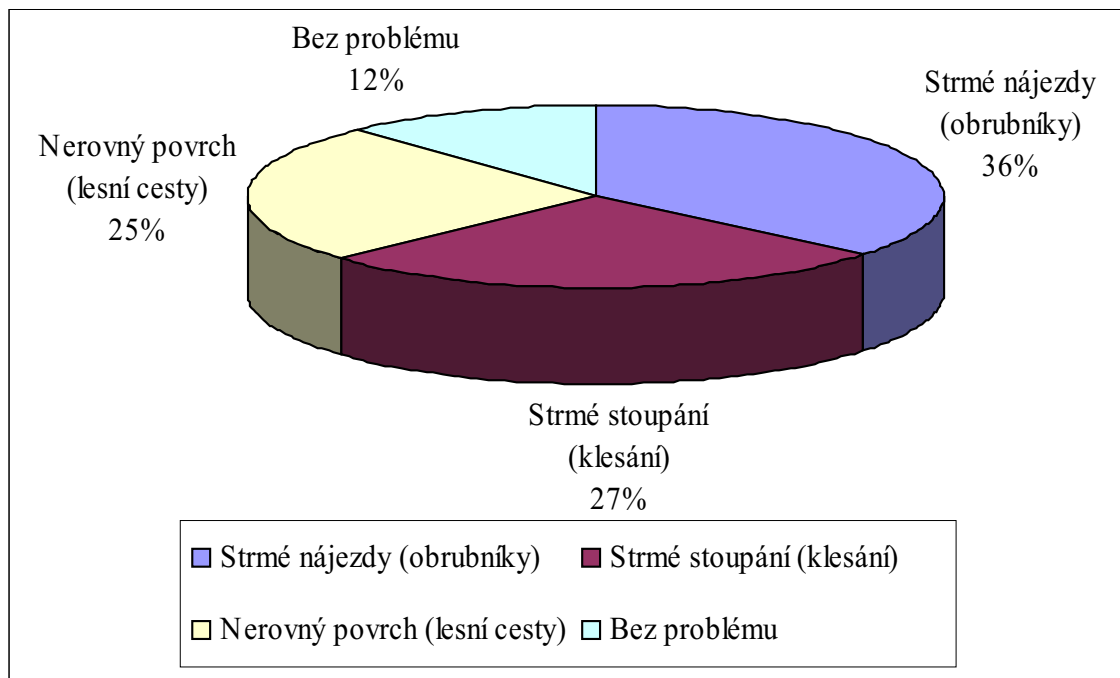
Problémy se stabilitou elektrického vozíku vznikají v různých typech terénů, jak je zobrazeno na obr. 5.3.

5.1.5 Obecné problémy

Kromě technických problémů jsme byli obeznámeni i s nedostatky po ekonomické stránce. Velké problémy bývají s těžšími poruchami a následnými výměnami jednotlivých dílů, které jsou většinou dováženy ze země Evropské unie. Na tyto náhradní díly musí uživatel čekat až tři týdny. V České republice se zatím elektrické vozíky nevyrábějí, a tak je pořízení těchto přístrojů a jejich náhradních dílů až nepřiměřeně drahé. Elektrické vozíky jsou potom propláceny pojišťovnou jen omezenému počtu invalidů. Zavedení výroby těchto přístrojů u nás je zatím bohužel ve velmi vzdálené budoucnosti. Kromě velkého počátečního kapitálu je také velmi nákladné testování nově vyrobených elektrických vozíků, aby se mohly objevit na komerčním trhu.



Obr. 5.2: Problémy s prokluzováním kol elektrického vozíku v různých typech terénů [7]



Obr. 5.3: Problémy se stabilitou elektrického vozíku v různých typech terénů [7]

5.2 Návrhy uživatelů pro vylepšení elektrického vozíku

Nejvíce návrhů pro vylepšení bylo v oblasti **ovládacího panelu a sedadla**.

5.2.1 Vylepšení ovládacího panelu

- Možnost nastavení různých režimů citlivosti ovládací jednotky – Je vhodné především pro uživatele s těžším postižením, kteří mají sníženou citlivost při ovládání elektrického vozíku například pomocí joysticku. Toto zdokonalení by mělo velký význam především z hlediska bezpečnosti uživatele.
- Vytvořit multifunkční zařízení, které by sloužilo jako tachometr a zároveň plnilo funkci ukazatele zbylé kapacity
- Bezpečnostní uzamčení ovládacího panelu
- Ovládací panel lépe odolnější vůči vodě
- Možnost nastavení tichého režimu ovládání
- Silnější klakson

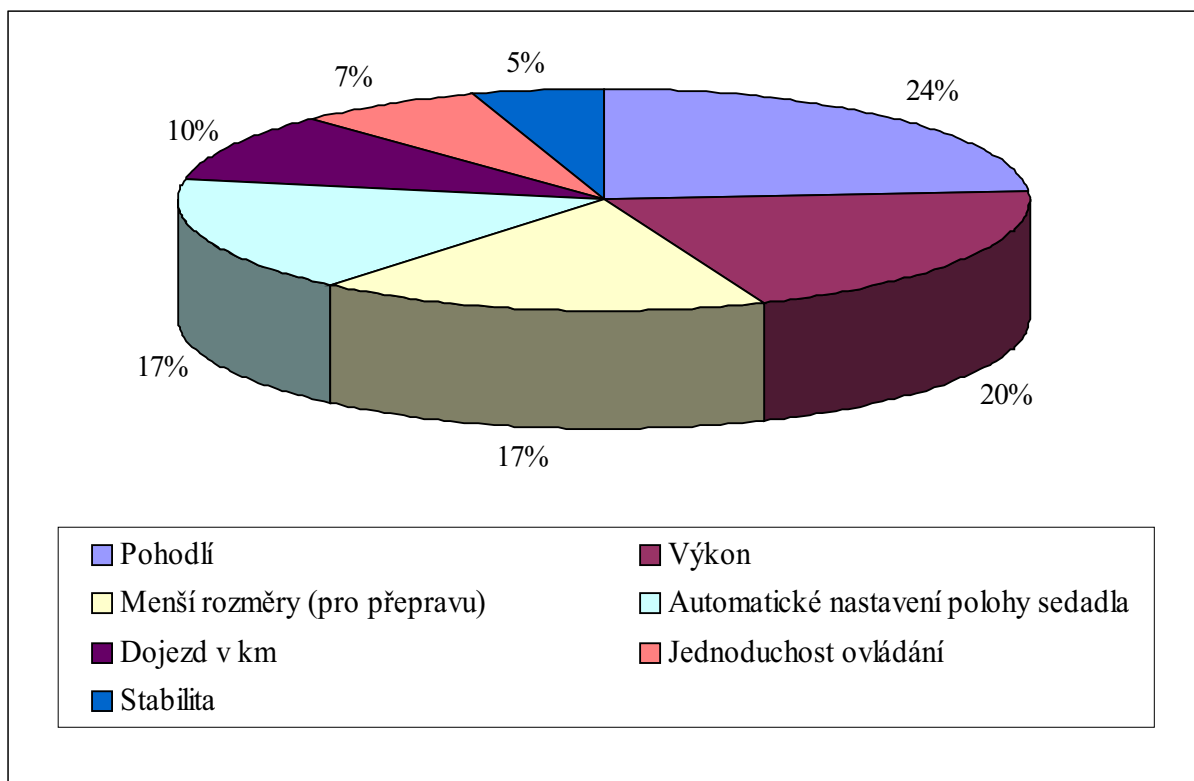
5.2.2 Vylepšení sedadla

- **Sedací část** - Plná plechová konstrukce je nepraktické řešení. Při použití potahů z textilu má uživatel nohy v přirozenější poloze. Kovový materiál je vhodné použít pouze pro rám sedadla. Potahy by měly být z materiálu proti pocení.
- **Boční opěradla** - Bočních opěradel existuje spousta druhů. Některé typy jsou vhodné na delší cesty, jiné jsou velmi praktické do interiéru. Dobré řešení je sestavit sedadlo s vyměnitelnými bočními opěradly. Nejlepší jsou opěradla plná, která uživatele chrání před vnějšími vlivy.
- **Opěradla na nohy** - Tato opěradla jsou vyráběna z plastu. Pro uživatele jsou nepraktická, neboť jsou ohebná a velmi rychle se opotřebují.

5.2.3 Obecná vylepšení

- Možnost nasazení řetězů na kola do terénu (sníh, bláto)
- Plná kola bez možnosti defektu (s přihlédnutím na hmotnost kol)
- Vyhřívané sedadlo
- Kapsy na bočních stranách sedadla
- Zpětná zrcátka
- Možnost připevnit střechu, která by chránila uživatele před vnějšími vlivy

Poslední statistika je zobrazena na obr. 5.4. Ten zachycuje stěžejní vlastnosti elektrického vozíku z pohledu uživatelů.



Obr. 5.4: Stěžejní vlastnosti elektrického vozíku z pohledu uživatelů [7]

6 Návrh nejvhodnější kombinace motoru a baterie pro elektrický vozík

Z výsledků veřejného průzkumu bylo také zřejmé, že mnoho uživatelů není spokojeno s technickými parametry svého elektrického vozíku. Především se jedná o kapacitu baterie a výkon motoru. Bežný elektrický vozík je většinou vybaven středně silnými motory a bateriemi o průměrných kapacitách, které jsou pro splnění náročnějších požadavků nedostačující (např. pro rozjezd s uživatelem o nadprůměrné hmotnosti, pro delší dojezd na jedno nabití, nebo pro vyjetí kopce s větším sklonem stoupání).

Tento problém lze vyřešit výměnou starých motorů a baterií za nejvhodnější. Pojmem „nejvhodnější“ máme na mysli takové typy motoru a baterie, které jsou schopny zvládnout všechny zadané požadavky, a přitom budou cenově nejpříjemnější. Při výměně počítáme i se změnou hmotnosti elektrického vozíku, která má při návrhu velký význam.

Pro tyto účely byl sestaven **model** v programu MATLAB. **Vstupními parametry** do modelu jsou požadované veličiny, které si volí uživatel. Mezi nejdůležitější patří tyto:

- Hmotnost elektrického vozíku m_1
- Hmotnost uživatele m_2
- Maximální sklon stoupání β
- Dojezd elektrického vozíku d

Na základě vstupních parametrů nám pak model navrhne následující **výstupní parametry**:

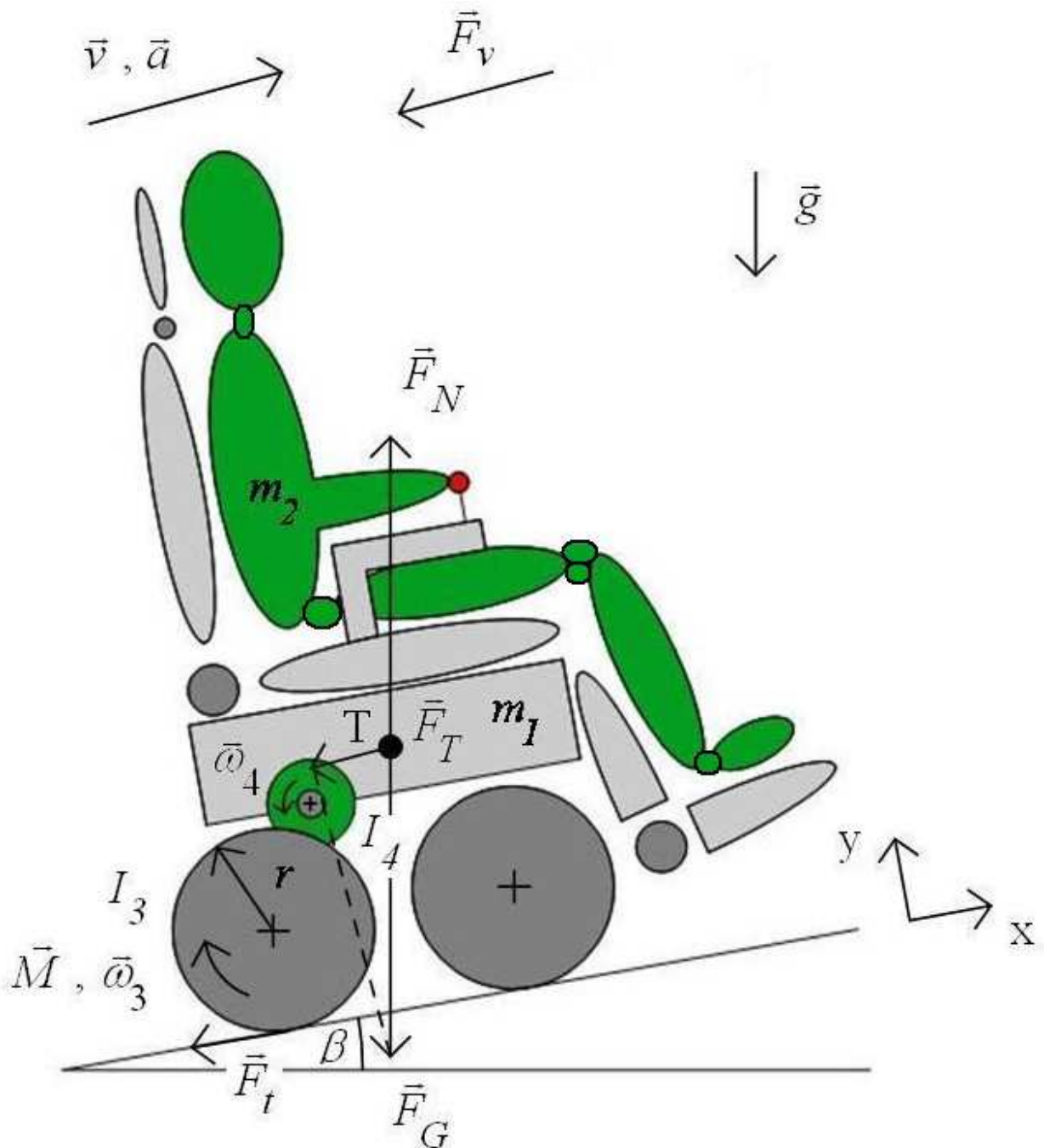
- Nejvhodnější výkon motoru P_n
- Nejvhodnější kapacita baterie C_n

Konkrétní postupy návrhů jsou uvedeny níže.

6.1 Návrh nejvhodnějšího motoru

Cena motoru se pohybuje téměř přímo úměrně s jeho výkonem, a proto bude našim úkolem nejprve teoreticky vypočítat maximální výkon motoru P_{max} (tj. výkon motoru, kterého je třeba dosáhnout při rozjezdu na nakloněné rovině o maximálním sklonu stoupání β), a pak podle výsledné hodnoty navrhnout nejvhodnější výkon motoru P_n (tzn. zvolit ze seznamu komerčně dostupných motorů takový, aby jeho výkon zvládl všechny požadované parametry a zároveň neměl příliš velkou rezervu ve výkonu, která by se mohla výrazně projevit v jeho ceně).

Je nutno dodat, že P_{max} je výkon pro samotný motor a ne pro celou pohonnou soustavu. Většina elektrických vozíků je vybavena dvěma stejnosměrnými motory.



Obr. 6.1: Schéma řešené soustavy

6.1.1 Postup výpočtu P_{max}

Pro vytvoření matematického modelu jsem použil metodu redukce, kterou dělíme na redukci hmotnostních a silových parametrů. V této úloze redukuje na rám elektrického vozíku. Redukci provádíme na translační pohyb podle vztahu (viz literatura [8]):

$$F_{red} = m_{red} \cdot a \quad (6.1)$$

Kde F_{red} je redukce silových parametrů
 m_{red} je redukce hmotnostních parametrů
 a je zrychlení elektrického vozíku

6.1.1.1 Redukce hmotnostních parametrů

Redukci hmotnostních parametrů stanovíme na základě rovnosti kinetické energie soustavy před redukcí a kinetické energie soustavy po redukcí [8]. Obecně platí vztah:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot v_i^2 + \sum_{j=1}^m \frac{1}{2} \cdot I_j \cdot \omega_j^2 = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot v^2 \quad (6.2)$$

Po dosazení konkrétních veličin dostaneme rovnici:

$$\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot m_k \cdot v^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m_4 \cdot v^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot I_4 \cdot \omega_4^2 + 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot v^2 + 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot I_3 \cdot \omega_3^2 = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot v^2 \quad (6.3)$$

Kde m_k je hmotnost karoserie elektrického vozíku
 m_2 je hmotnost uživatele
 m_3 je hmotnost kola
 m_4 je hmotnost původního motoru
 I_3 je moment setrvačnosti kola
 I_4 je moment setrvačnosti motoru
 v je rychlost elektrického vozíku
 ω_3 je úhlová rychlost kola
 ω_4 je úhlová rychlost hřídele motoru

Po příslušné úpravě dostaneme vztah:

$$m_{red} = m_1 + m_2 + 4 \cdot I_3 \cdot \frac{1}{r^2} \quad (6.4)$$

Kde r je poloměr kola
 m_1 je hmotnost elektrického vozíku

$$m_1 = m_k + 2 \cdot m_4 + 4 \cdot m_3 \quad (6.5)$$

Moment setrvačnosti motoru I_4 můžeme zanedbat a pro moment setrvačnosti kola I_3 užíváme vztah:

$$I_3 = \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot r^2 \quad (6.6)$$

Konečný vztah pro m_{red} je pak ve tvaru:

$$m_{red} = m_1 + m_2 + 2 \cdot m_3 \quad (6.7)$$

6.1.1.2 Redukce silových parametrů

Redukci silových parametrů stanovíme na základě rovnosti výkonů nebo prací silové soustavy působící na soustavu před redukcí a po redukcí soustavy [8]. Obecně platí vztah:

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot v_i + \sum_{j=1}^m M_j \cdot \omega_j = F_{red} \cdot v \quad (6.8)$$

Po dosazení konkrétních veličin dostaneme rovnici:

$$M_k \cdot \omega_3 - F_T \cdot v - F_t \cdot v = F_{red} \cdot v$$

Kde M_k je kroutící moment kola

F_T je tíhová síla, která působí na elektrický vozík v ose x

F_t je valivý odpor kol [13]

$$F_T = F_G \cdot \sin \beta \quad (6.9)$$

$$F_t = \frac{\xi \cdot F_N}{r} \quad (6.10)$$

$$F_G = (m_1 + m_2) \cdot g \quad (6.11)$$

$$F_N = (m_1 + m_2) \cdot g \quad (6.12)$$

Kde F_G je tíhová síla

β je maximální sklon stoupání

ξ je konstanta valivého odporu

F_N je normálová síla

g je gravitační zrychlení

Konečný vztah pro F_{red} je pak ve tvaru:

$$F_{red} = \frac{M_k}{r} - F_T - F_t \quad (6.13)$$

6.1.1.3 Výpočet P_{max}

Jestliže uvážíme, že výkon poháněných kol je roven výkonu motoru, pak výsledný výkon můžeme vyjádřit ve vztahu:

$$P = \frac{1}{2} \cdot M_k \cdot \omega_3 \quad (6.14)$$

Rovnici dělíme dvěma, neboť nás nezajímá výkon pohonné soustavy, ale pouze výkon jednoho motoru (pohonná soustava obsahuje dva motory). Ztráty v převodech neuvažujeme. Ze vztahu pro výpočet redukce silových parametrů vyjádříme kroučící moment kola. Po úpravě pak dostaneme vztah:

$$M_k = (F_{red} + F_T + F_t) \cdot r \quad (6.15)$$

Po dosazení a úpravě pak dostaneme konečný vztah pro P_{max} ve tvaru:

$$P_{max} = \frac{1}{2} \cdot (F_{red} + F_T + F_t) \cdot v \quad (6.16)$$

Jestliže budou oba motory dosahovat tohoto výkonu, pak se elektrický vozík bude schopen rozjet z klidové polohy na rychlost v a to zrychlením a do kopce o maximálním sklonu stoupání β . Do výpočtu nezahrnujeme odpor prostředí, jelikož se elektrický vozík pohybuje zrychlením a . Odporová síla by pak měla nelineární průběh.

6.1.2 Návrh nejvhodnějšího výkonu motoru

Z vytvořeného seznamu různých motorů, seřazených vzestupně podle výkonu, navrhne na základě výkonu P_{max} nejvhodnější výkon motoru P_n . Jedná se o stejnosměrné motory o provozním napětí 24V, které jsou komerčně dostupné.

Tab. 6.2: Seznam motorů (seřazených vzestupně podle výkonu) [9], [10], [11], [12]

Výrobce	Provozní napětí [V]	Výkon [W]	Výstupní otáčky [rpm]	Hmotnost [kg]	Výrobní číslo
Creatic	24	170	135	6	W110
Creatic	24	200	120	6,5	W104
Rupu	24	250	100	7	RP-D-250
Rupu	24	320	103	7	RP-D-320
Shihlin	24	400	185	6,7	DC GM
Exmek	24	450	140	7	MB086FG-SP
Unite	24	600	260	4,5	9716
ASI	24	750	141	7,5	10738-2
Shihlin	24	900	120	6,5	DC GM

6.2 Návrh nejvhodnější baterie

Naším úkolem bude nejprve teoreticky vypočítat kapacitu baterie C_b , a pak podle výsledné hodnoty navrhnout nejvhodnější kapacitu baterie C_n (tzn. zvolit ze seznamu komerčně dostupných baterií takovou, aby její kapacita zvládla plánovaný dojezd a zároveň neměla příliš velkou kapacitní rezervu, která by se mohla výrazně projevit v její ceně). Je nutno také dodat, že většina elektrických vozíků je vybavena dvěma bateriemi, které mají na svorkách napětí $U_b = 12V$. Jelikož pohonná soustava těchto vozíků tvoří dva motory pod provozním napětím $U_m = 24V$, tak baterie zapojujeme do serie. Tím pádem vychází energeticky jedna baterie na výkon jednoho motoru.

6.2.1 Postup výpočtu C_b

Abychom stanovili nejvhodnější kapacitu baterie odpovídající požadovaným parametrům soustavy, tak si nejprve stanovíme algoritmus obecného výpočtu, jakým stanovíme dojezd elektrického vozíku na základě zadané kapacity baterie. Použité vztahy jsou převzaty z literatury [13]. Energii baterie E_b vypočteme pomocí vztahu:

$$E_b = P_b \cdot t_b \quad (6.17)$$

Kde P_b je výkon baterie
 t_b je doba, po kterou protéká baterií proud I_b

$$P_b = U_b \cdot I_b \quad (6.18)$$

$$t_b = \frac{C_b \cdot 3600}{I_b} \quad (6.19)$$

Kde U_b je napětí na svorkách baterie
 I_b je proud protékající baterií

Jestliže podělíme energii dvou baterií výkonem pohonné soustavy P_s , tak dostáváme dobu t_j , která nám říká, jak dlouho budou schopny dvě baterie napájet pohonnou soustavu o patřičném výkonu.

$$t_j = \frac{2 \cdot E_b}{P_s} \quad (6.20)$$

Nyní již stačí vypočítat dojezd elektrického vozíku d pomocí vztahu:

$$d = t_j \cdot v \quad (6.21)$$

Ukázali jsme si obecný postup, jak odvodit obecný vztah pro dojezd elektrického vozíku. Na základě těchto vzorců můžeme zapsat vztah:

$$C_b = \frac{d \cdot P_s}{7200 \cdot U_b \cdot v} \quad (6.22)$$

Vypočítat přesnou hodnotu kapacity baterie je velmi komplikované. Musíme brát v úvahu spoustu situací, při kterých se baterie vybíjí různou rychlostí (např. při rozjíždění, zpomalování, plynulé jízdě, či jízdě do kopce a z kopce). Abychom si situaci ulehčili, tak bereme v úvahu dva případy:

- Plynulá jízda do kopce a z kopce
- Plynulá jízda po vodorovné ploše

Do výpočtu nezahrnujeme energii potřebnou pro rozjíždění a zpomalování, neboť se množství těchto úkonů u jednotlivých uživatelů vždy různí a je velmi těžké stanovit nějaký obecný počet. Navíc je dojezd elektrického vozíku v tomto případě chápán jako vzdálenost ujetá v exteriéru, kde je počet rozjíždění a zpomalování pro náš výpočet zanedbatelný. Část energie se spotřebuje pro řídicí systém. Tyto ztráty také neuvažujeme.

6.2.1.1 Plynulá jízda do kopce a z kopce

Uvažujme případ vybíjení baterie, kdy se elektrický vozík pohybuje rovnoměrnou průměrnou rychlostí v_p do kopce o průměrném sklonu stoupání (tyto hodnoty převzaty z literatury [7]). Jestliže bereme v úvahu, že spotřeba energie baterie při plynulé jízdě do kopce je přibližně stejná jako při plynulé jízdě z kopce, a že celkový profil cesty je tvořen z 50% stoupáním a klesáním, pak pro tento případ výkon pohonné soustavy označujeme jako P_{st} a vypočteme ho podle vztahu:

$$P_{st} = (F_T + F_t + F_v) \cdot v_p \quad (6.23)$$

Kde F_v je odpor prostředí [13]

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v_p^2 \quad (6.24)$$

Kde C je součinitel odporu
 ρ je hustota prostředí
 S je obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu

Kapacitu baterie pro plynulou jízdu dokopce a z kopce C_{b1} tedy vypočteme podle vztahu:

$$C_{b1} = \frac{d \cdot (F_T + F_t + F_v)}{14400 \cdot U_b} \quad (6.25)$$

6.2.1.2 Plynulá jízda po vodorovné ploše

Uvažujme případ vybíjení baterie, kdy se elektrický vozík pohybuje rovnoměrnou rychlostí v_p po vodorovné ploše. Jestliže bereme v úvahu, že celkový profil cesty je tvořen z 50% vodorovnou plochou, pak pro tento případ výkon pohonné soustavy označujeme jako P_{s2} a vypočteme ho podle vztahu:

$$P_{s2} = (F_t + F_v) \cdot v_p \quad (6.26)$$

Tíhová síla, která působí na elektrický vozík v ose x, je v tomto případě rovna nule. Kapacitu baterie pro plynulou jízdu po vodorovné ploše C_{b2} tedy vypočteme podle vztahu:

$$C_{b2} = \frac{d \cdot (F_t + F_v)}{14400 \cdot U_b} \quad (6.27)$$

Celkovou kapacitu baterie C_b tedy vypočteme podle vztahu:

$$C_b = C_{b1} + C_{b2} \quad (6.28)$$

6.2.2 Návrh nejvhodnější kapacity baterie

Z vytvořeného seznamu různých baterií, seřazených vzestupně podle kapacity, navrhneme na základě kapacity C_b nejvhodnější kapacitu baterie C_n . Jedná se o baterie, které jsou komerčně dostupné.

6.3 Zkouška návrhu motoru a baterie

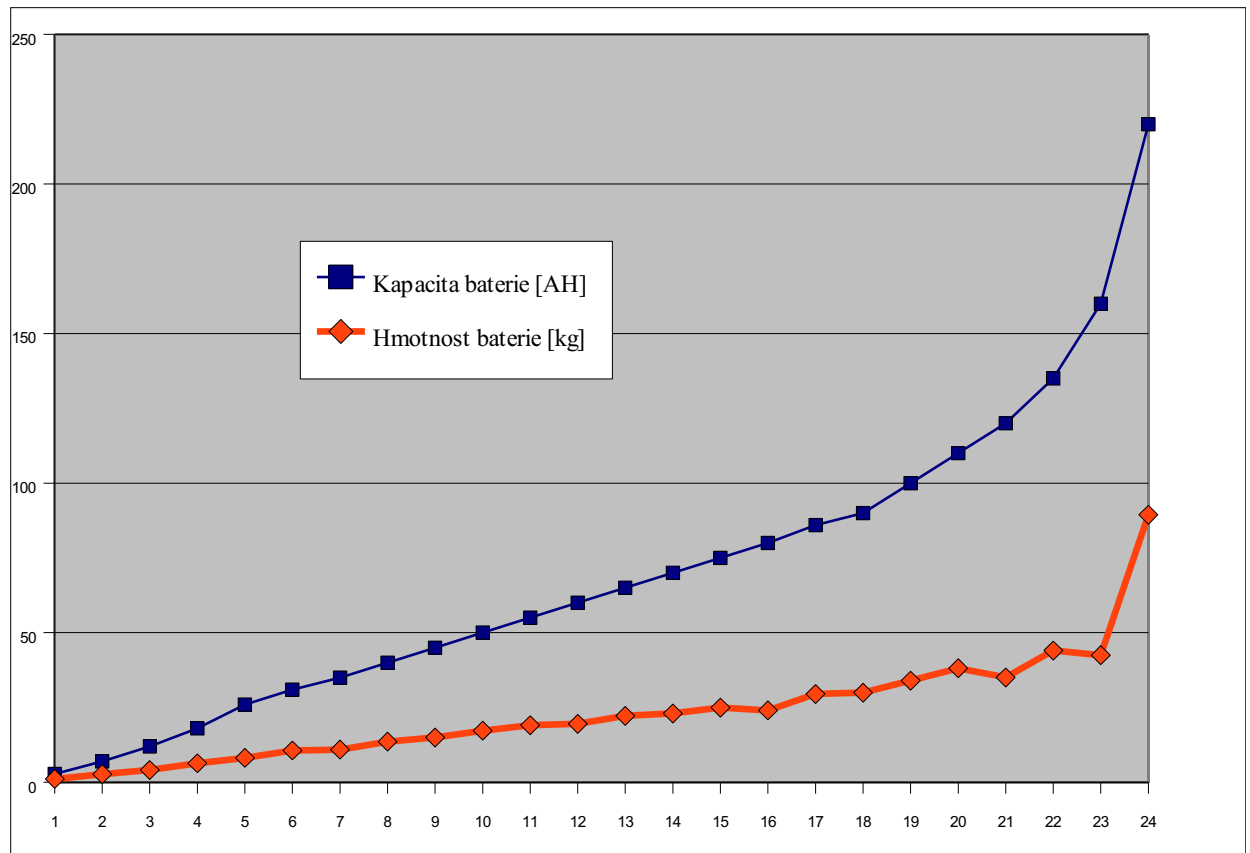
První návrh nejvhodnější kombinace motoru a baterie není konečný. Hmotnost celé soustavy se nám po výměně součástí změnila, a tak model musí provést všechny výpočty s novými hmotnostmi (tzv. Zkouška návrhu motoru a baterie).

Naším cílem je, aby původní návrh motoru a baterie měl stejný výsledek jako aktuální návrh motoru a baterie elektrického vozíku s novou hmotností. Výpočty dělíme do jednotlivých cyklů, které model opakuje celkem desetkrát. Výsledky posledního početního cyklu považujeme za konečné.

Na obr. 6.4 jsou zobrazeny hmotnosti a kapacity jednotlivých baterií. S rostoucí kapacitou baterie roste i její hmotnost, a proto je nutné zavádět výpočty do cyklů. Pro lepší pochopení funkce modelu jsem vytvořil jeho vývojový diagram, kde jsou zobrazeny všechny jeho základní operace (viz příloha 10.4).

Tab. 6.3: Seznam baterií (seřazených vzestupně podle kapacity) [14]

Typ baterie	Výstupní napětí [V]	Kapacita [AH]	Hmotnost [kg]	Výrobní číslo
VRLA	12	2,8	1,12	NP2.8-12
AGM	12	7	2,72	UB-1280
AGM	12	12	4,09	UB-12120
AGM	12	18	6,36	UB-12180
AGM	12	26	8,17	UB-12260
GEL	12	31	10,62	MU-1 SLD G
AGM	12	35	10,9	UB-12350
AGM	12	40	13,62	U1-40
AGM	12	45	14,98	DG 12-45
AGM	12	50	17,25	M22NF SLD G
AGM	12	55	19,07	UB-12550
GEL	12	60	19,52	M34SLDG
AGM	12	65	22,2	1PS-126PS
AGM	12	70	23	RA 12-70
AGM	12	75	24,97	UB-12750
AGM	12	80	24,06	GPC-1280
GEL	12	86	29,51	8G27
AGM	12	90	29,96	UB-12900
VRLA	12	100	33,96	BC12100PORT
AGM	12	110	38,14	58-GPS12-370
AGM	12	120	35,03	TR120-12A
AGM	12	135	44,04	58-GPS-12-135
VRLA	12	160	42,5	CPC 150-12
GEL	12	220	89,44	TG220-12



Obr. 6.4: Hmotnosti a kapacity jednotlivých baterií [14]

6.4 Grafické uživatelské rozhraní pro návrh motoru a baterie

Pro snadnější práci se skriptem bylo vytvořeno GUI (Graphical User Interface). Toto grafické uživatelské rozhraní bylo sestaveno v programu MATLAB pomocí editoru GUIDE (Graphical User Interface Development Environment).

K této bakalářské práci jsou přiloženy dva soubory:

- *Filipec_BP_2009_Vlastni_navrh.m*
- *Filipec_BP_2009_Vlastni_navrh.fig*

Obr. 6.5: Grafické uživatelské rozhraní pro návrh motoru a baterie

Otevřením modelu pod názvem *Filipec_BP_2009_Vlastni_navrh.m* se nám zobrazí zdrojový kód, jehož jednotlivé části jsou okomentovány. Po spuštění tohoto modelu se nám zobrazí grafické uživatelské rozhraní (viz obr. 6.5). V levém okně můžeme zadat všechny vstupní parametry. Mnohé z nich jsme uvedli v úvodu tohoto návrhu. Zde jsou uvedeny další:

- Hmotnost kola m_3
- Hmotnost původního motoru m_4
- Hmotnost původní baterie m_5
- Minimální rychlost elektrického vozíku v_l (rychlost ve stoupání, do které nám bude elektrický vozík akcelarovat za čas t)
- Poloměr kola r

- Doba akcelerace t
- Rozdíl hmotností mezi aktuálními a původními součástmi (motory a baterie) m_s
- Počet cyklů R

Poslední dva vstupní parametry m_s a R slouží jako počáteční hodnoty, a proto je není třeba měnit. V pravých dvou oknech se nám po stisknutí tlačítka „Výpočet“ zobrazí kromě nejvhodnějšího výkonu motoru a kapacity baterie také příslušný výrobce, typ součásti a její výrobní číslo. Stisknutím tlačítka „Reset“ se nám výsledky vynulují. Toto grafické uživatelské rozhraní jsme vytvořili na základě získaných informací z literatury [15].

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit rešeršní studii elektrického vozíku s logicky uspořádanou strukturou a pak na základě získaných informací z různých zdrojů navrhnout možná vylepšení.

Na začátku práce je uvedena základní charakteristika elektrického vozíku. Zde je jeho elektrická část rozdělena do tří základních skupin, které čtenáře seznámí se základními vlastnostmi pohonné soustavy, baterie a řídicího systému. Práce pokračuje rešeršní studií různých typů řídicích systémů, kde jsou jejich vlastnosti dále rozvedeny.

Velkým přínosem pro tuto práci byl veřejný průzkum zabývající se nejčastějšími problémy elektrických vozíků. Uživatelé podali spoustu informací, na základě kterých jsou zhotoveny statistiky a sepsány různé návrhy pro vylepšení. Zpracované statistiky ohledně pohonných soustav a baterií nám posloužily jako motivační materiál pro vytvoření vlastního návrhu.

Vlastní návrh je realizován pomocí modelu sestaveného v programu MATLAB, který dokáže navrhnout nejvhodnější kombinaci motoru a baterie pro elektrický vozík na základě vstupních parametrů zadaných uživatelem. Grafické uživatelské rozhraní splňuje všechny požadované funkce. Při dosazování různých hodnot vstupních parametrů dosáhl model vždy po několika cyklech dobrých konečných výsledků (doporučený výkon motoru a kapacita baterie odpovídaly hodnotám vstupních parametrů). Hodnota nejvhodnějšího výkonu a kapacity se vzrůstajícím počtem cyklů konverguje k určité hodnotě. V extrémních případech se hodnota při početních zkouškách ustálila až po pátém cyklu. Model je proto nastaven s rezervou na deset cyklů, které jsou pro správnost výpočtu dostačující.

Náměty pro budoucí práci můžeme nalézt především v kapitolách veřejného průzkumu a vlastního návrhu. Z diagramu 5.3 je zřejmé, že problémy se stabilitou vznikají převážně při překonávání strmých nájezdů a při jízdě do strmého spouštění. Námětem by tedy mohl být výpočet maximálního zrychlení, při kterém bude soustava ještě stabilní (do výpočtu zahrneme výšku těžiště soustavy od zemského povrchu, hmotnost soustavy.. atd.). Vhodným budoucím projektem je také řešení problému s prokluzováním kol (viz diagram 5.2). U vlastního návrhu můžeme provést praktické testování modelu na konkrétním elektrickém vozíku, či realizovat návrh nejvhodnější převodové soustavy.

8 Literatura a odkazy

- [1] Electric-wheelchair-on.net:, <http://www.electric-wheelchair-on.net/accessories/>, 2008-02
- [2] ASI Technologies, Inc.:', <http://www.asidrives.com/pdf/adl100.pdf>, 2008-03
- [3] Battery Expert:', <http://www.battery.cz/baterie-info>, 2009-03
- [4] FCC Public:', http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25994, 2009-03
- [5] Chong Hui Kim:', <http://www.linuxdevices.com/files/rtlws-2004/ChongHuiKim.pdf>, 2008 - 02
- [6] Richard Simpson, PhD, ATP:', <http://www.cs.cmu.edu/~illah/PAPERS/simpson.pdf>, 2009-03
- [7] Dotazníky z veřejného průzkumu nejčastějších problémů s elektrickými vozíky, 2008-04
- [8] Malenovský, E., Houfek, L., Švancara, P., Krejčí, P.: *Studijní opory z dynamiky*:', <http://www.umt.fme.vutbr.cz/~pkrejci/opory/dynamika/index.html>, 2009-02
- [9] Creatic:', http://www.creatic-hfec.com/strong-03/1_txtlist_4/06.htm, 2009-03
- [10] Rupu:', <http://www.ruipuco.com/english/product11.asp?id=202>, 2009-03
- [11] Shihlin Electric:', http://www.allproducts.com/ee/seec/05-dc_gear_motor.html, 2009-03
- [12] Wuxi Junhong:', <http://www.made-in-china.com/showroom/exmekmade/>, 2009-03
- [13] Wikipedia.org:', <http://www.cs.wikipedia.org/>, 2009-04
- [14] Battery – Web:', <http://www.batteryweb.com/wheelchair-batteries.cfm>, 2009-03
- [15] Zaplatílek, K., Doňar, B.: *MATLAB - tvorba uživatelských aplikací*, 1. vyd. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-133-0, 2009-04

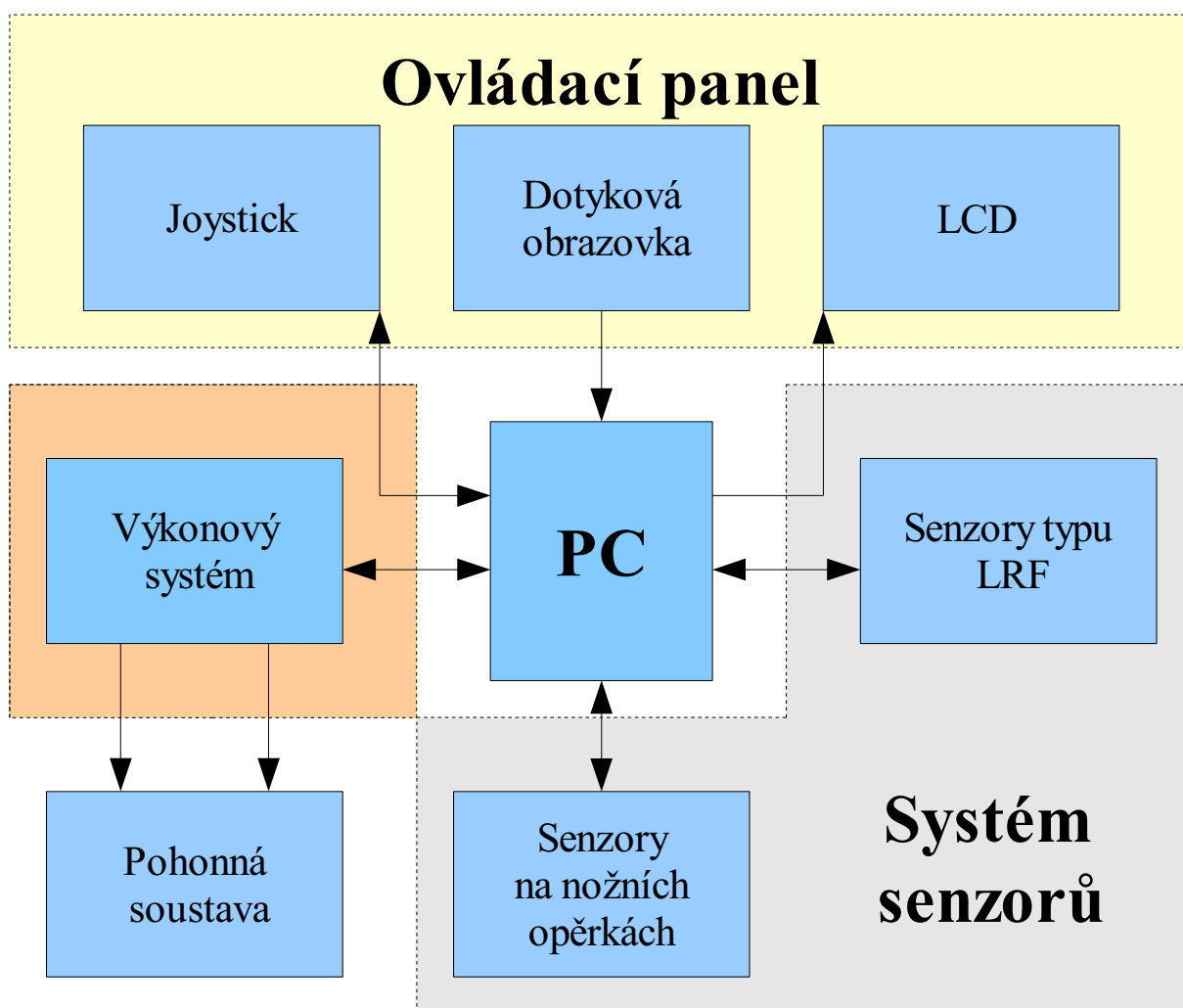
9 Seznam použitých symbolů a zkratek

β	Maximální sklon stoupání [<i>rad</i>]
η	Účinnost motoru [%]
ζ	Konstanta valivého odporu [<i>m</i>]
ρ	Hustota prostředí [<i>kg/m³</i>]
ω_3	Úhlová rychlost kola [<i>rad/s</i>]
ω_4	Úhlová rychlost hřídele motoru [<i>rad/s</i>]
ω_j	Obecná úhlová rychlost [<i>rad/s</i>]
a	Zrychlení elektrického vozíku [<i>m/s²</i>]
C	Součinitel odporu [-]
C_b	Kapacita baterie [<i>AH</i>]
C_{b1}	Kapacita baterie potřebná pro plynulou jízdu do kopce a z kopce [<i>AH</i>]
C_{b2}	Kapacita baterie potřebná pro plynulou jízdu po vodorovné ploše [<i>AH</i>]
C_n	Nejvhodnější kapacita baterie [<i>AH</i>]
d	Dojezd elektrického vozíku [<i>m</i>]
E	Energie baterie [<i>J</i>]
F_G	Tíhová síla [<i>N</i>]
F_i	Obecná síla [<i>N</i>]
F_N	Normálová síla [<i>N</i>]
F_{red}	Redukce silových parametrů [<i>N</i>]
F_T	Tíhová síla, která působí na elektrický vozík v ose x [<i>N</i>]
F_t	Valivý odpor kol [<i>N</i>]
F_v	Odpor prostředí [<i>N</i>]
g	Gravitační zrychlení [<i>m/s²</i>]
I	Provozní proud motoru [<i>A</i>]
I_3	Moment setrvačnosti kola [<i>kg · m²</i>]
I_4	Moment setrvačnosti motoru [<i>kg · m²</i>]
I_b	Proud protékající baterií [<i>A</i>]
I_j	Obecný moment setrvačnosti [<i>kg · m²</i>]
M	Kroutící moment motoru [<i>N · m</i>]
M_k	Kroutící moment kola [<i>N · m</i>]
M_j	Obecný moment [<i>N · m</i>]
m	Počet těles vykonávající rotační a obecný rovinný pohyb
m_1	Hmotnost elektrického vozíku [<i>kg</i>]
m_2	Hmotnost uživatele [<i>kg</i>]
m_3	Hmotnost kola [<i>kg</i>]
m_4	Hmotnost původního motoru [<i>kg</i>]
m_5	Hmotnost původní baterie [<i>kg</i>]
m_6	Hmotnost nejvhodnějšího motoru [<i>kg</i>]
m_7	Hmotnost nejvhodnější baterie [<i>kg</i>]

m_g	Rozdíl hmotností mezi aktuálními a původními součástmi [kg]
m_i	Obecná hmotnost [kg]
m_k	Hmotnost karoserie elektrického vozíku [kg]
m_{red}	Redukce hmotnostních parametrů [kg]
n	Počet těles vykonávající translační a obecný rovinný pohyb
n_m	Otáčky motoru [RPM]
P	Výkon motoru [W]
P_b	Výkon baterie [W]
P_{max}	Maximální výkon motoru [W]
P_n	Nejvhodnější výkon motoru [W]
P_s	Výkon pohonné soustavy [W]
P_{s1}	Výkon pohonné soustavy potřebný pro plynulou jízdu do kopce a z kopce [W]
P_{s2}	Výkon pohonné soustavy potřebný pro plynulou jízdu po vodorovné ploše [W]
R	Počet cyklů [-]
r	Poloměr kola [m]
S	Obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu [m ²]
T_L	Regenerační interval [s]
t	Doba akcelerace [s]
t_b	Doba po kterou protéká baterií proud I_b [s]
t_j	Doba napájení pohonné soustavy [s]
U_b	Napětí na svorkách baterie [V]
U_m	Provozní napětí motoru [V]
v	Rychlost elektrického vozíku [m/s]
v_l	Minimální rychlost elektrického vozíku [m/s]
v_i	Obecná rychlost [m/s]
v_p	Rovnoměrná průměrná rychlost elektrického vozíku [m/s]
AGM	Absorbed Glass Mat
C++	Programovací jazyk
CE	Compact Embedded
CPWNS	Computer Power Wheelchair Navigation System
GNU	Operační systém
GUI	Graphical User Interface
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment
IWS	Intelligent Wheelchair System
LCD	Liquid Crystal Display
LRF	Laser Range Finder
OMNI	Office Manoeuvrability Navigational Intelligence
PC	Personal Computer
QNX	Operační systém
RTAI	Real Time Application Interface
SJ	Senzorová jednotka
SWCS	Smart Wheelchair Component System
VRLA	Valve Regulated Lead Acid

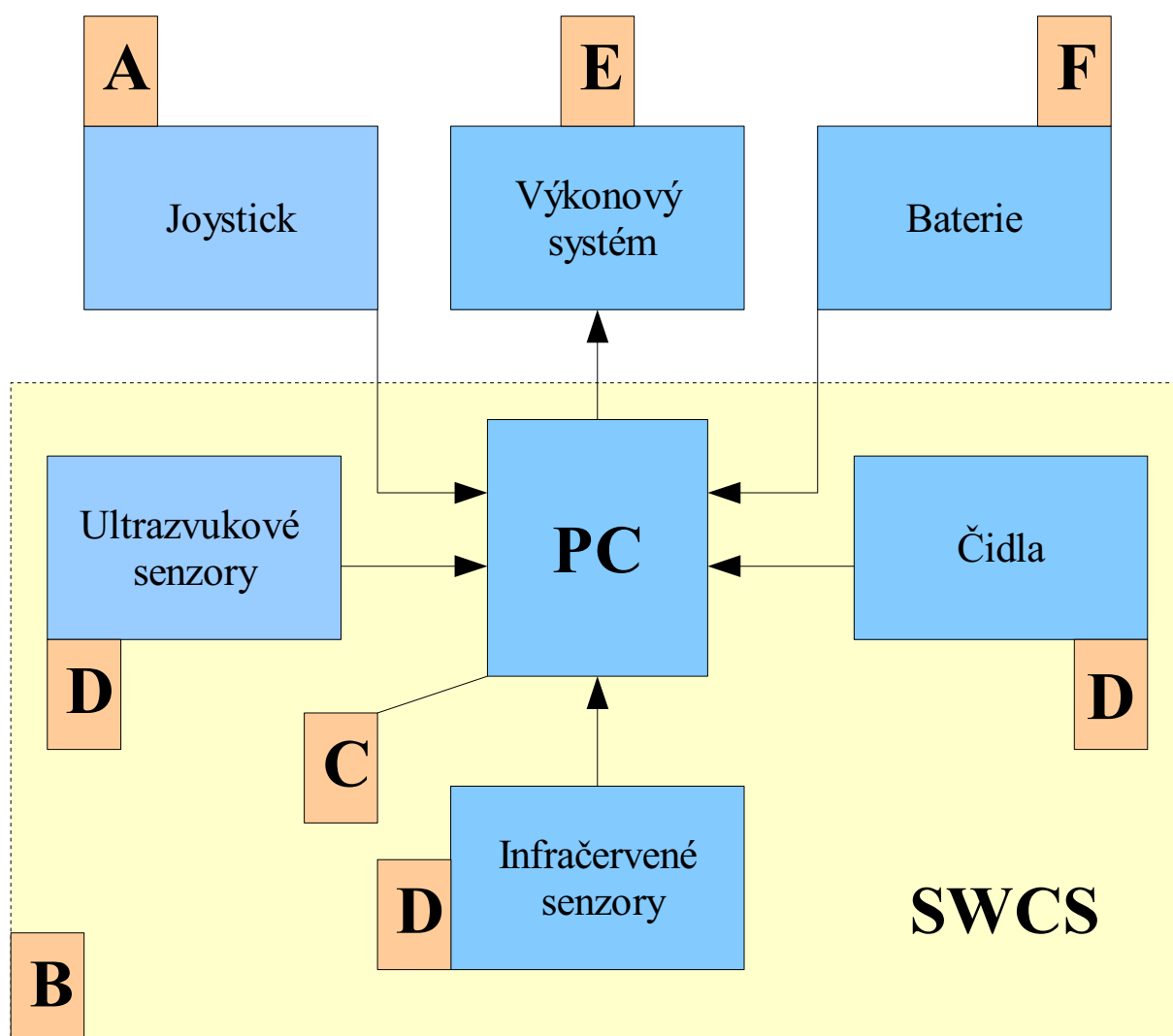
10 Přílohy

10.1 Schéma hardwaru řízení elektrického vozíku pomocí RTAI



Obr. 10.1: Schéma hardwaru řízení elektrického vozíku pomocí RTAI [5]

10.2 Schéma hardwaru řízení elektrického vozíku pomocí SWCS



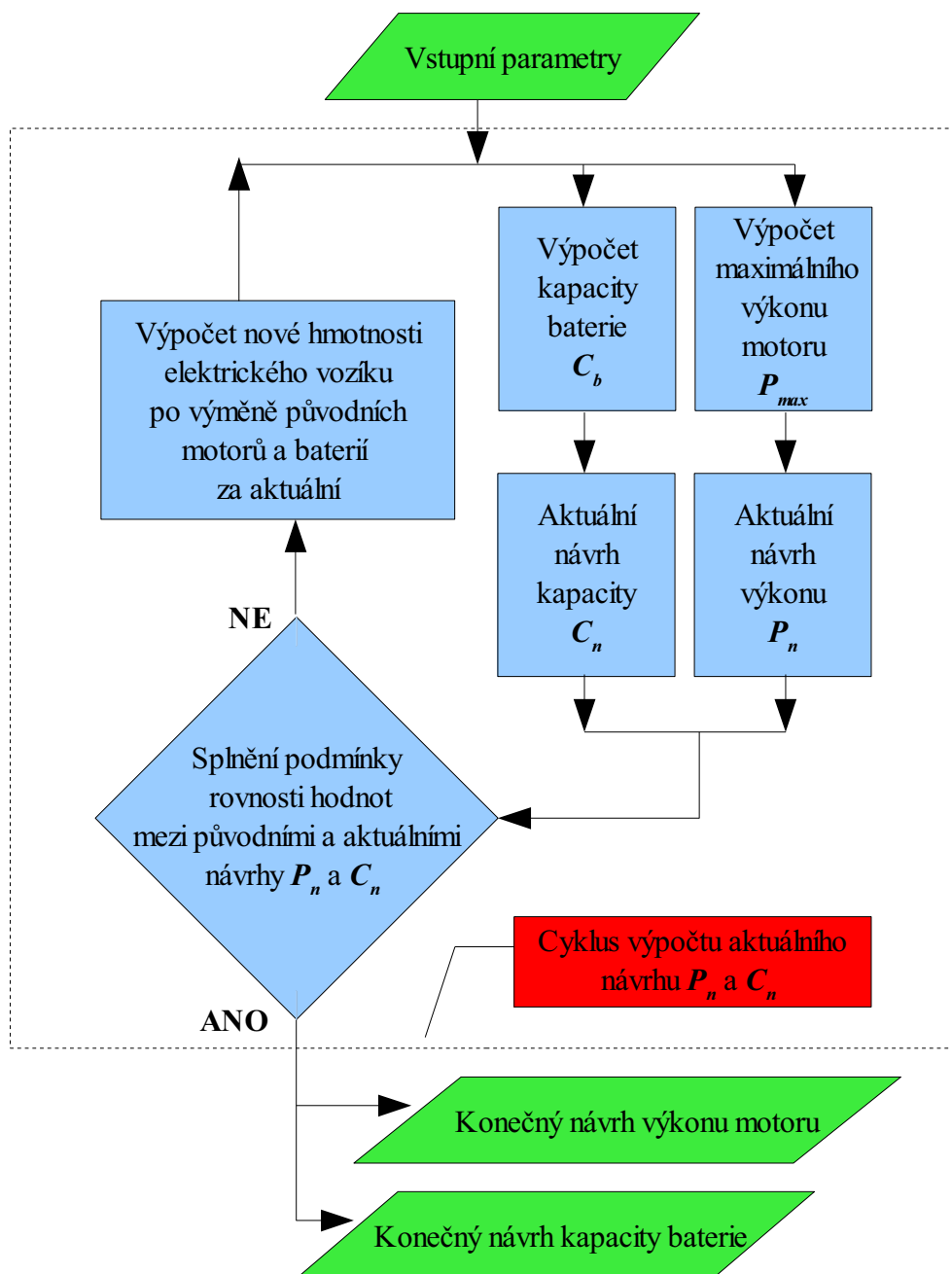
Obr. 10.2: Schéma hardwaru řízení elektrického vozíku pomocí SWCS [6]

10.3 Vzorové případy a jejich řešení pro navigační software SWCS

Tab. 10.3: Vzorové případy a jejich řešení pro navigační software SWCS [6]

Vzorové případy	Signály ovládací jednotky (joystick)	Signály SJ (senzorová jednotka)	Reakce elektrického vozíku
Bariéra před elektrickým vozíkem	Směr dopředu	SJ 1, 2 nebo 3 dává signál k zastavení	Zastaví se
Bariéra před elektrickým vozíkem	Směr dopředu	SJ 1, 2 nebo 3 dává signál ke zpomalení	Zpomalí se
Bariéra za elektrickým vozíkem	Směr dozadu	SJ 8, 9, 10 nebo 11 dává signál k zastavení	Zastaví se
Bariéra za elektrickým vozíkem	Směr dozadu	SJ 8, 9, 10 nebo 11 dává signál ke zpomalení	Zpomalí se
Bariéra vpravo (levá strana je volná)	Rotace doprava	SJ 3, 5, 7 nebo 8 dává signál k zastavení	Rotace vlevo (pryč od bariéry)
Bariéra vpravo (levá strana je volná)	Rotace doprava	SJ 3, 5, 7 nebo 8 dává signál ke zpomalení	Sníží rychlost rotace vpravo
Bariéra vlevo (pravá strana je volná)	Rotace vlevo	SJ 2, 4, 6 nebo 9 dává signál k zastavení	Rotace vpravo (pryč od bariéry)
Bariéra vlevo (pravá strana je volná)	Rotace vlevo	SJ 2, 4, 6 nebo 9 dává signál ke zpomalení	Sníží rychlost rotace vlevo
Bariéra vlevo i vpravo	Rotace vlevo nebo vpravo	SJ 2, 4, 6 nebo 9 a současně SJ 3, 5, 7 nebo 8 dává signál k zastavení	Nebude se otáčet vlevo ani vpravo

10.4 Vývojový diagram modelu



Obr. 10.4: Vývojový diagram modelu