



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



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

# **VZPŘIMOVAČÍ ELEKTRICKÝ INVALIDNÍ VOZÍK**

STAND-UP POWER WHEELCHAIR

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. VÁCLAV JUŘÍČEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MICHAL ČERNÝ, CSc.**

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Václav Juříček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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 diplomové práce:

### **Vzpřimovací elektrický invalidní vozík**

v anglickém jazyce:

### **Stand-up power wheelchair**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční vývoj vzpřimovacího elektrického invalidního vozíku a realizace prototypu.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ práce: konstrukční

Účel práce : pro potřeby průmyslu

Výstup RIV: funkční vzorek

Seznam odborné literatury:

Chundela, L.:Ergonomie, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2007.

Chundela, L.:Strojírenská ergonomie, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2009.

Erban, V.: Fyziologie práce a ergonomie, Nakladatelství TUL, Liberec, 2003.

Shigley, J. E. a spol.: Konstruování strojních součástí. VUTIUM Brno, 2010, pp.1186, ISBN 978-80-214-2629-0 □□

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Černý, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 29.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ANOTACE**

---

Práce pojednává o konstrukčním řešení a výrobě prototypu speciálního elektrického invalidního vozíku ve spolupráci s firmou Brano, a.s. Nevšední vlastností tohoto vozíku je schopnost uvést jeho uživatele do vzpřímené polohy, která mu nabízí větší samostatnost, soběstačnost a také z lékařského hlediska pozitivní vliv na tělesné funkce.

Obsahem práce je rešeršní část věnovaná současnému stavu poznání v dané problematice, konstrukční rozbor kompletní sestavy vozíku s detailním popisem jednotlivých komponent včetně důležitých výpočtů a analýz, dále pak popis a průběh testování vozíku. V závěru práce je uvedena sumarizace veškerých výsledků z konstrukčního, technologického i ekonomického hlediska.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

---

Vzpřimování, invalidní vozík, invalida

## **ANOTATION**

---

This thesis deals with the structural design and manufacture of special power wheelchair prototype in collaboration with company Brano. Remarkable feature of this wheelchair is the ability to pull its user to an upright position, offering the greater independence, self-sufficiency and medically positive impact on physical functions.

The content of this thesis is devoted to a search of the current state of knowledge in the matter, structural analysis of complete wheelchair assembly with a detailed description of each component including the important calculations and analyzes, as well as a description of the wheelchair testing. The conclusion presents summarization of all the results in structural, technological and economic terms.

## **KEYWORDS**

---

Upright, stand-up, wheelchair, disabled person

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

---

JUŘÍČEK, Václav. *Vzpřimovací elektrický invalidní vozík*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Michal Černý, CSc.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

---

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, za použití uvedených zdrojů literatury a pod odborným vedením pana doc. Ing. Michala Černého, CSc.

V Brně dne 23. května 2012

.....  
Bc. Václav Juříček

## **PODĚKOVÁNÍ**

---

Tímto děkuji panu doc. Ing. Michalu Černému, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Brano, a.s. za poskytnutí zázemí a prostředků pro vývoj a výrobu invalidního vozíku a také za umožnění zpracování této zajímavé tematiky do diplomové práce. V neposlední řadě bych velmi rád poděkoval své rodině, a to především za podporu během studia a při tvorbě této práce.

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
1.1 Historie	14
<b>2 ROZDĚLENÍ INVALIDNÍCH VOZÍKŮ</b>	<b>15</b>
2.1 Mechanické invalidní vozíky	15
2.1.1 Typy mechanických vozíků	15
2.2 Elektrické invalidní vozíky	17
2.2.1 Konstrukční rozbor	17
2.2.2 Aplikace elektrických vozíků	19
<b>3 VZPŘIMOVAČÍ INVALIDNÍ VOZÍKY</b>	<b>21</b>
3.1 Mechanické vzpřimovací vozíky	21
3.2 Elektrické vzpřimovací vozíky	22
3.2.1 Příklady elektrických vzpřimovacích vozíků	22
<b>4 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU – CÍL PRÁCE, TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA</b>	<b>25</b>
<b>5 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ</b>	<b>26</b>
<b>6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ</b>	<b>27</b>
<b>7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>28</b>
7.1 Navržené parametry	28
7.2 Zdvihací mechanismus	29
7.2.1 Kinematika a dynamika mechanismu	30
7.2.2 Konstrukce mechanismu	30
7.2.3 Ergonomické aspekty řešení	32
7.2.4 Prvky použité na mechanismu	33
7.2.5 Rozměrová adaptibilita	37
7.2.6 Uložení mechanismu	38
7.3 Podvozek	39
7.3.1 Mechanické prvky podvozku	39
7.3.2 Elektrický systém	43
7.4 Výpočty	46
7.4.1 Určení síly aktuátoru	46
7.4.2 Stanovení výkonu motorů	48
7.4.3 Odhad kapacity baterií	50
7.4.4 Rozbor těžiště	51
7.4.5 MKP analýza	54
7.5 FMEA	58
7.6 Cenová kalkulace	58
<b>8 VÝROBA A VZNIK PROTOTYPU</b>	<b>59</b>
<b>ZÁVĚR</b>	<b>61</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMOBOLŮ A ZKRATEK</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>71</b>

## ÚVOD

---

Člověk je lehce zranitelná bytost. Některé nemoci nebo úrazy mohou mít následky, které jsou patrné po celý zbytek života. Postižení lidé byli součástí lidstva od nepaměti. I dnes se s postižením lidí běžně setkáváme, ať už je to postižení v důsledku vrozené vady, nemoci nebo úrazu.

Pro mnohé lidi přináší postižení problémy s motorikou. Velká část z nich zůstane odkázána na invalidní vozík, což citelně ovlivňuje kvalitu jejich života. Naučit se žít s takovým handicapem není pro člověka snadný úkol a musí čelit mnoha nejen fyzickým ale i psychickým bariérám. K jejich překonávání jim pomáhají různé druhy pomůcek a vozíků pro invalidy dostupných na současném trhu. [10]

S moderní dobou a rozvíjejícím se zdravotnictvím přichází další technologie, které pomáhají takto postiženým lidem překonávat životní situace, které jsou pro zdravého člověka samozřejmostí a poskytují pro tyto postižené jedince možnost dalšího kroku k jejich větší samostatnosti. Zde bychom mohli zařadit i invalidní vzpřimovací vozík. Typ tohoto invalidního vozíku je schopen jeho uživateli zajistit nejen každodenní mobilitu, ale i vypořádání se s četným množstvím jiných překážek. Vzpřimovaná poloha primárně nabízí uživateli vozíku dostupnost výše položených předmětů a přepážek, např. na nádražích či úřadech. Dále má invalida možnost komunikace s lidmi „z očí do očí“, což přináší mnoho kladů především z psychologického hlediska. V neposlední řadě přináší vzpřimovaná poloha v lékařských ohledech pozitiva pro správnou funkci lidského organismu, jako je méně namáhaný krevní oběh, lepší peristaltika střev a také snížení nebezpečí vzniku dekubitů. [12, 13]

Cílem této práce je popis konstrukčního řešení a výroby prototypu speciálního elektrického invalidního vozíku ve spolupráci s firmou Brano, a.s. Na základě teoretické analýzy věnované současnému stavu poznání v dané problematice byla konstruována kompletní sestava vozíku s detailním popisem jednotlivých komponent. Práce popisuje průběh konstrukce a nutné korekce v průběhu testování vozíku. Předpokládaným vyústěním je sumarizace veškerých výsledků z konstrukčního, technologického i ekonomického hlediska.



## **1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ**

Invalidní vozíky představují různě vybavená a různě technicky provedená kolečková křesla. Mají za úkol zvýšit komfort péče o těžce nemocné a zlepšit soběstačnost samotných nemocných. Mohou sloužit čistě pro přesun postižené osoby nebo pro celodenní užívání. Pro pohyb invalidního vozíku jsou nutné zvláštní podmínky, jako je rovný povrch komunikací, bezbariérové nájezdy, výtahy, zvedací plošiny, či nízkopodlažní vozidla. [6]

### **1.1 Historie**

Nejstarším doposud doloženým záznamem o spojení kol a židle je rytina kolečkového křesla na čínské kamenné rakvi z 6. století. Další zmínka o jakémsi invalidním vozíku je datována o mnoho století později, přesně až na rok 1533. To řečtí a římské lékaři používali pojízdnou židli k projížděním a přemísťování nemocných a tělesně postižených.

První invalidní vozík na ruční pohon pochází z roku 1655, který zkonstruoval německý hodinář Stephan Farfler. Sám trpěl tělesným postižením po těžkém úrazu z dětství.

Následně dochází k postupnému vylepšování invalidních vozíků. V 18. století se vývoj zaměřuje na vzhled vozíků a také na pohodlí poskytované postiženým. Vozíky jsou vybaveny sklopnou zádovou opěrkou a nastavitelnými podnožkami pro nohy.

Vývoj invalidních vozíků pravděpodobně vedl ke vzniku bicyklu na konci 18. století. Od této doby je vývoj těchto dvou prostředků úzce spjat. Trendy a inovace jsou v těchto odvětvích shodné. Už tehdy byl také kladen důraz na snižování hmotnosti vozíku. Důkazem toho například bylo v druhé polovině 19. století nahrazení robustních dřevěných kol za lehčí kovová s drátovým výpletem, která měla ráfek osazen gumovými pneumatikami.

Na začátku 20. století vzniká první motorizovaný invalidní vozík v Londýně a v letech 1932 vytvářejí inženýři Everest a Jennings první skládací invalidní vozík. V průběhu 20. století postupuje vývoj dále a kromě interiérových a exteriérových provedení se objevují i invalidní vozíky určené pro sport. [5,6,7]

## 2 ROZDĚLENÍ INVALIDNÍCH VOZÍKŮ

---

**2**

Podle způsobu, jakým jsou současné invalidní vozíky uváděny do pohybu, by mohly být rozčleněny do 2 základních kategorií:

- mechanické invalidní vozíky
- elektrické invalidní vozíky

### 2.1 Mechanické invalidní vozíky

---

**2.1**

Tyto vozíky jsou uváděny do pohybu buď manuální silou samotného uživatele, nebo jsou tlačeny druhou osobou.

Vozík je tvořen většinou jednoduchou trubkovou konstrukcí, na které jsou uchyceny veškeré potřebné komponenty, jako kola, sedák, opěradlo, podnožky či područky a další příslušenství. Konstrukce vozíku bývá řešena tak, aby mohl být snadno složen a při převozu či skladování zabíral co nejméně místa. Zadní kola jsou větší v porovnání s předními a jsou uchycena na rámu letmo. Přední kolečka jsou uložena ve vidlicích, které jsou otočné kolem své osy o 360°, to zajišťuje vozíku jeho snadnou ovladatelnost a manévrování. [6,9]

#### 2.1.1 Typy mechanických vozíků

---

**2.1.1**

Existuje několik základních typů mechanických vozíků. Jednotlivé varianty se od sebe liší především podle způsobu jejich použití a aplikace. Některé vozíky jsou určeny k celodennímu užívání, jiné pouze k převozu pacienta, či ke sportovním aktivitám apod. Mechanické vozíky lze tedy dále rozdělit do následujících skupin:

##### *Standardní mechanické vozíky*

Tyto vozíky jsou určeny lidem, kteří je nevyužívají celý den, ale pouze na cesty ke svému přesunutí. Mají jednodušší konstrukci, bez možnosti nastavování, proto nejsou příliš komfortní. Zadní kola jsou vybavena obručemi, pomocí nichž uživatel uvádí vozík do pohybu. Disponují poměrně nízkou cenou a vyšší hmotností. [9]



Obr. 2.1-1: Standardní mechanický vozík [9]

### *Transportní mechanické vozíky*

Tento typ vozíku je využíván především v nemocnicích, či léčebnách pouze k převozu pacientů. Zadní kola jsou menší než u běžných vozíků, proto tento typ vozíku nemůže pacient pohánět sám, ale je tlačěn další osobou. [9]



Obr. 2.1-2: Transportní mechanický vozík [9]

### *Speciální mechanické vozíky*

Zde patří další typy jako [9]:

- Polohovací vozíky – se sklopnou zádivou opěrou a polohovatelnými stupačkami, pro možnost převozu uživatele vleže
- Nadměrně široké vozíky
- Vozíky se speciálními doplňky

### *Aktivní mechanické vozíky*

Tyto vozíky jsou určeny lidem, kteří vedou aktivní způsob života, tráví na vozíčku podstatnou část dne a jsou schopni se na něm pohybovat sami bez doprovodu. Je zde kladen velký důraz na pohodlí uživatele, proto musí být v podstatě vyráběny na míru. Vozíky tohoto typu disponují nízkou hmotností, což se spolu s výše zmíněnými požadavky podepisuje na celkové ceně. [9]

Jako příklad moderního aktivního vozíku může být uveden Panthera X. Rám je tvořen z uhlíkových vláken a vyroben pomocí nejmodernějších technologií z jednoho kusu. Díky tomu má nejen vysokou tuhost, ale především nízkou celkovou hmotnost, která činí 4,2 kg. [11, 29]



Obr. 2.1-3: Aktivní mechanický vozík Panthera X [29]

## 2.2 Elektrické invalidní vozíky

---

2.2

Jsou vozíky s vlastním pohonem ovládané samotným uživatelem obvykle pomocí joysticku u dálkového ovládání. Jsou určeny pro pacienty s těžkým postižením, kteří jsou však schopni fyzicky i mentálně vozík řídit. [7,9]

### 2.2.1 Konstrukční rozbor

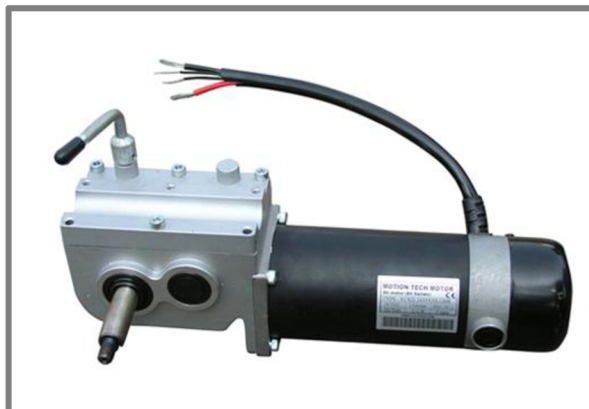
---

2.2.1

Z konstrukčního hlediska lze elektrický vozík rozdělit na mechanickou a elektrickou část. Do mechanické části můžeme zařadit nosný rám a veškeré prvky na něm zavěšené jako sedadlo, kola, atd. Elektrická část je kompletní systém starající se o pohon vozíku a může být rozčleněn do 3 základních subsystému [8]:

#### *Pohonná jednotka*

Pohonná jednotka je hnacím elementem vozíku, je většinou tvořena dvěma stejnosměrnými elektromotory (dále jen motory) se šnekovými převodovkami, které pracují při napětí 24 V. Motory bývají vybaveny elektromagnetickou brzdou z důvodu zajištění polohy vozíku ve chvílích, kdy nepracují. Na dnešním trhu nalezneme poměrně velké množství popisovaných motorů, nicméně ne všechny se hodí pro aplikaci na invalidní vozík. Motory spolu s převodkami pro invalidní vozík musí mít vhodný poměr jednotlivých parametrů tak, aby byl zachován dostatečný jízdní komfort a na druhou stranu také potřebný dojezd vozíku. Například kroutící moment pro překonání převýšení a kopců, či výstupní otáčky pro zajištění vhodné rychlosti vozíku. [8, 22]



Obr. 2.2-1: Elektromotor [8]

### ***Řídicí systém***

Slouží k řízení samotného vozíku, které je realizováno změnou otáček jednotlivých motorů. Řídicí systém se skládá z ovládání a řídicí jednotky.

Ovládání je na vozíku umístěno na dosah jeho uživatele a nejčastěji je realizováno ovládacím panelem s joystickem, pomocí kterého je určován směr jízdy. Ovládací panel je vybaven různými funkcemi jako volba rychlosti, ovládání světel, klakson apod. Dnes existuje poměrně velké množství alternativních způsobů ovládání vozíku, např. pomocí dotykového panelu, ústy, dechem aj.

Řídicí jednotka zpracovává signály z ovládání a obstarává řízení motorů či případně jiných dalších doplňkových pohonů a funkcí.

V současné době existuje několik společností, které se zabývají výrobou kompletních řídicích systémů přímo pro invalidní vozíky. Nabízí několik různých produktů, které jsou vhodné pro aplikaci na konkrétní typy invalidních vozíků. [8, 24]



Obr. 2.2-2: Ovládání [24]

### ***Baterie***

Baterie v invalidních vozících tvoří zdroj elektrické energie. Běžně jsou použity dvě, každá o napětí 12 V, které jsou zapojeny v sérii, aby pak celkový zdroj poskytl požadované napětí 24 V. Klíčovou vlastností baterie je její kapacita, čím je vyšší, tím

nabízí vozíku větší dojezd. S rostoucí kapacitou baterie však narůstají i její rozměry a hmotnost. Vhodné baterie pro aplikaci v invalidních vozících jsou tzv. trakční. Jedná se o speciální typ, navržený pro hluboké vybití, díky tomu méně podléhají opotřebení elektrod a snášejí tak lépe časté nabíjení a vybíjení. [8, 23]



Obr. 2.2-3: Baterie [21]

### 2.2.2 Aplikace elektrických vozíků

2.2.2

Elektrické invalidní vozíky je možné rozdělit do 2 skupin podle prostředí, ve kterém budou používány, a to na interiérové a exteriérové vozíky. [9]

#### *Interiérové vozíky*

Interiérové vozíky jsou obvykle menších velikostí z důvodů snazšího manévrování s vozíkem v bytě či v jiných uzavřených prostorech. Jejich motory nejsou příliš výkonné a baterie nemají velkou kapacitu, tudíž je i jejich dojezd značně omezen. Základní konstrukce těchto vozíků je spíše prostšího charakteru, podvozek nebývá vybaven odpružením. I přes jejich název jsou schopny zvládat pohyb venku po zpevněných površích, nedoporučuje se však jejich použití v místech s vyšším převýšením, kopcovitějším terénu apod. [9]



Obr. 2.2-4: Interiérový elektrický invalidní vozík [9]

### *Exteriérové vozíky*

Exteriérové vozíky disponují robustnějšími rozměry, vyšší nosností a schopností vypořádat se s terénními nerovnostmi. K tomu jim slouží odpružený podvozek, jenž absorbuje rázy a zachovává tak pohodlí uživatele. Jelikož se počítá s pohybem vozíku nejen během dne, musí být vybaven světly. Jsou používány v prostředí a místech tam, kde by měl invalida na mechanickém vozíku problém s překonáním výraznějších stoupání a celkově v kopcovitém terénu. Obecně jsou exteriérové vozíky obvykleji používaným typem elektrických vozíků. [9, 28]



Obr. 2.2-5: Exteriérový elektrický invalidní vozík [28]

### 3 VZPŘIMOVAČÍ INVALIDNÍ VOZÍKY

Vzpřimovací vozíky tvoří moderní speciální skupinu invalidních vozíků, jejichž jedinečnou vlastností je schopnost uvést uživatele vozíku do vzpřímené polohy, jinými slovy „postavit jej na nohy“. [13]

V současné době existuje několik druhů vzpřimovacích vozíků. Mohou být rozděleny obdobně jako klasické invalidní vozíky:

- Mechanické vzpřimovací vozíky
- Elektrické vzpřimovací vozíky

#### 3.1 Mechanické vzpřimovací vozíky

Jsou určeny pro fyzicky zdatnější jedince, jelikož nejen pohon vozíku, ale i jeho vzpřímení je obstaráváno vlastní silou uživatele. Na základním rámu tohoto mechanického vozíku je umístěna vzpřimovací sedačka, která je v případě potřeby uvedena do vertikální polohy. Součástí mechanismu, jenž poskytuje možnost vzpřímení sedačky, jsou tzv. plynové vzpěry. Tyto vzpěry napomáhají při vzpřimování uživateli vozíku zvedat mechanismus a naopak při uvádění sedačky do původní polohy zajišťují klidný a plynulý přechod zpět. [12, 13]

Jelikož v průběhu ani po vzpřímení není schopen uživatel vozík ovládat, je mechanismus vybaven speciálními nožičkami, které dosednou na zem, zamezí tak případnému pohybu vozíku a zvýší jeho stabilitu v této poloze. [13]

Názorným příkladem mechanického vzpřimovacího vozíku je LEVO active-easy LAE. [15]



Obr. 3.1-1: Mechanický vzpřimovací vozík [15]



## 3.2 Elektrické vzpřimovací vozíky

Jedná se o plně elektricky poháněná vozítka disponující možností vzpřímení sedačky, které probíhá na rozdíl od mechanických vzpřimovacích vozíků pomocí elektrických pohonů. Tyto vozíky jsou však běžně schopny kombinovat funkci vzpřímení i s několika dalšími funkcemi jako elevace sedačky, nezávislé naklápění opěradla či podnožek, případně uvedení celé sedačky do polohy vleže, a to vše také pomocí elektrických pohonů. Jelikož se očekává, že uživatel takového vozíku jej bude využívat podstatnou část dne, nabízí proto vozíky širokou škálu zmíněných funkcí, které výrazně zvyšují úroveň pohodlí. Avšak vzhledem k složitému konstrukčnímu provedení a využití komplikovaných elektronických systémů se jedná o velice drahé produkty, kdy konečná cena vozíku může odpovídat pořizovací ceně malého osobního automobilu. Tyto zmíněné vlastnosti se také výrazně podepisují na celkové hmotnosti vozíku, což je pochopitelně nežádoucí. S vyšší hmotností vozíku rostou požadavky na výkonnější pohon, větší kapacitu baterií a také na zázemí pro jeho převoz a přesouvání, což souvisí s jeho každodenním používáním. [12, 13]

### 3.2.1 Příklady elektrických vzpřimovacích vozíků

Dnes existuje na celém světě pouze několik společností, které se zabývají výrobou vzpřimovacích vozíků. Jako největšího průkopníka této technologie můžeme považovat firmu LEVO. Jedná se o švýcarskou společnost, která se přímo specializuje na výrobu jak mechanických, tak i elektrických vzpřimovacích vozíků. Již v předchozí kapitole byl představen jeden z produktů této firmy, zastupující mechanické vzpřimovací vozíky. Jako vhodný příklad elektrického vzpřimovacího vozíku byl zvolen taktéž produkt této společnosti, konkrétně se jedná o model C3. [14]

#### *Levo C3*

Tento vozík je v současné době považován za nejvyspělejší produkt, který v oblasti invalidních vozíků doposud vznikl. Systém využívá sofistikovaného řešení podvozku, kde jsou hnací kola umístěna v jeho středu. To umožňuje nebývale dobrou ovladatelnost, která se ocení především při manévrování v interiérových prostorech. Díky speciálnímu řešení pohonu jsou pomocí řemenů poháněna i přední kola, která jsou spolu s těmi středovými uložena v nezávislých kyvných nápravách. Toto řešení celkově zajišťuje velmi dobrou schopnost překonávání překážek jako např. patníků a také prostupnost v terénu, což ho činí vozíčkem vhodným pro použití i v exteriérovém prostředí. [16]

Mechanismus sedačky toho vozíku skrývá velice promyšlená řešení, nabízející široké možnosti polohování a celkově vysoký komfort a pohodlí. Základní parametry tohoto vozíku jsou uvedeny v tabulce 3.2-1.



Obr. 3.2-1: Vzpřimovací vozík LEVO C3 [16]



Obr. 3.2-2: Vzpřimovací vozík LEVO C3 [16]

Tab. 3.2-1: Parametry vozíku LEVO C3 [16]

Šířka x délka	63x96 cm
Nosnost	140 kg
Hmotnost	175 kg
Maximální rychlost	10 km/h
Dojezd	až 35 km
Cena	12000 €

Další firmou, která se také zabývá výrobou elektrických vzpřimovacích vozíků je Permobil. Tato společnost sídlí ve Švédsku a má dlouholetou tradici ve výrobě klasických elektrických invalidních vozíků. Mezi jejími produkty nalezneme pouze jeden, který disponuje speciální funkcí vzpřimování, jedná se o typ C500. [17]

**Permobil C500**

Tento vozík je primárně určen pro interiérové použití, nicméně je schopen pohybu i v lehkém terénu. Vzhledem k tomu má v porovnání s vozíkem LEVO C3 jednodušší řešení podvozku, avšak i zde nalezneme patřičné odpružení zachovávající jistý jízdní komfort. Naopak polohovatelná sedačka se zcela vyrovnává a v některých ohledech předčí funkce poskytované předchozím vozíkem. [18]

Parametry popisovaného vozíku jsou zmíněny v tabulce 3.2-2.



Obr. 3.2-3: Vzpřimovací vozík Permobil C500 [18]

Tab. 3.2-2: Parametry vozíku Permobil C500 [18]

Šířka x délka	67x122 cm
Nosnost	100 kg
Hmotnost	171 kg
Maximální rychlost	10 km/h
Dojezd	až 40 km
Cena	8000 €

## 4 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU – CÍL PRÁCE, TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

---

**4**

Hlavním cílem práce je vytvoření funkčního prototypu vzpřimovacího invalidního vozíku se spolehlivým a zároveň jednoduchým řešením konstrukce. Záměr této myšlenky je nabídnout co nejširší skupině invalidů takový vozík, který zvýší jejich samostatnost a kvalitu života. Důležitou součástí vzniku prototypu je také jeho testování za účelem ověření veškerých funkcí vozíku, kterými by měl disponovat. V první řadě se jedná o běžné funkce, jako jsou i u jiných klasických elektrických vozíčků, tedy jízdní vlastnosti, ovladatelnost, dojezd či jeho stabilita v různých podmínkách. Dále je nutné ověřit správnou funkci vzpřimování celého mechanismu, a to z ergonomického a kinematického hlediska. Ve vzpřimované poloze by měla být zachována mobilita vozíčku. Zde bychom se měli přesvědčit o dostatečné stabilitě celého systému nejen v případě, kdy bude uživatel s vozíčkem stát na místě, ale především právě v situacích, kdy se s ním bude pohybovat. Dalším důležitým krokem je otestování prototypu ve spolupráci s rehabilitačním ústavem v Hrabyni, kde bude vozíček vyzkoušen vybraným invalidou. Tato spolupráce se zkušenými odborníky v péči s invalidy a také s potenciaálními uživateli vozíku bude užitečná ke zdárnému dokončení sériové verze vozíku.

Vývoj prototypu je realizován ve spolupráci s firmou Brano, a.s. s ohledem na zavedení vozíku do sériové výroby. V případě sériové verze by měl vozík disponovat nízkou prodejní cenou, jež se vyrovná ceně běžných elektrických invalidních vozíků. Zároveň bude vozíček schopen konkurovat i těm vozíkům z vyšší cenové kategorie, které disponují také vzpřimovací funkcí. Požadavky pro sériovou výrobu je nutné brát na zřetel již při vývoji samotného prototypu a přiblížit se tak pokud možno co nejvíce sériové verzi.

Hlavním předpokladem vývoje prototypu je vytvoření speciální konstrukce, která zajistí spolu s vhodným elektrickým pohonem vzpřimovanou polohu invalidy. Dále je zapotřebí upravit konstrukci tak, aby se vozíček mohl pohybovat jak v interiéru, tak i v exteriéru po zpevněných površích. U prototypové verze není počítáno s použitím světel. Pohon vozíku musí být elektrický a měl by být zajištěn pomocí dvou elektromotorů vybavených elektromagnetickou brzdou. Vozíček musí být schopen vyvinout rychlost alespoň 8 km/h při zachování minimální dojezdové vzdálenosti 30 km. Dále je také nezbytné zajištění snadné ovladatelnosti vozíku a dostatečného pohodlí uživatele jak v klasické, tak i ve vzpřimované poloze. Vozíček by měl být variabilní a jeho jednotlivé části snadno nastavitelné pro zajištění požadovaného komfortu každému uživateli, jenž na vozíček usedne.

Prototyp je realizován na základě vykonstruovaného 3D modelu v CAD softwaru NX Unigraphics 7.5. Parametrický model celého invalidního vozíčku se skládá ze všech jeho funkčních částí, ze kterých je vytvořena kompletní 2D dokumentace dle podnikových norem firmy. Na vytvořeném 3D modelu je také postavena MKP analýza stanovených dílů či konstrukčních uzlů, u kterých se očekává vyšší koncentrace napětí. Pro zajištění maximální spolehlivosti a bezpečnosti komplexního konstrukčního řešení je v této práci využito i analýzy možného výskytu a vlivu vad FMEA.

Nejen vývoj, ale i samotná realizace prototypu, je prováděna ve spolupráci s firmou Brano, a.s., konkrétně v Jablonci nad Nisou, kde sídlí jedna z poboček firmy, která má pro vznik prototypu dostatečné zázemí.

## 5 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Před vývojem vozíku jen nutné shromáždit základní informace týkající se dané problematiky. Především pak vycházet z požadavků invalidů na vozík, jeho parametry a vlastnosti, aby mohl být konkurenceschopný.

Z hlediska samotného vývoje vozíku je důležité stanovit vhodný postup konstrukce tak, aby bylo docíleno požadovaných výsledků. Stěžejním podkladem pro vzpřimovací vozík je kinematické schéma, které popisuje základní princip vertikalizace sedačky a také naznačuje rozložení a umístění jednotlivých prvků zdvihacího mechanismu. Na základě kinematického schématu lze začít vytvářet 3D model samotného mechanismu sedačky, který musí odpovídat ergonomickým požadavkům. Jestliže je vytvořen základní model mechanismu, může být zahájena fáze vývoje podvozku vozíku. Podvozek musí konstrukčně a rozměrově odpovídat již vymodelovanému mechanismu. Konstrukce podvozku spočívá především ve vhodném rozložení jednotlivých funkčních komponent, jako jsou nápravy, pohony a další elementy. Zároveň si musí podvozek zachovat vhodnou polohu těžiště, kompaktní rozměry a odpovídat běžným rozměrovým stanovám jako je šířka rámu běžných dveří, dveří výtahů apod.

Při vývoji a konstruování jednotlivých prvků, s uvážením jejich funkcí a uložení, je důležitý cit pro danou situaci řešení a podpora odborné literatury [4].

Důležitým krokem je také vytvoření časového plánu, dle kterého bude vývoj vozíku a jeho další kroky postupovat:

- **červen 2011** – zahájení vývoje
- **červenec 2011** – benchmark, studování problematiky a získávání informací
- **září 2011** – výběr konkrétní varianty
- **říjen 2011** – seznam použitých dílů
- **prosinec 2011** – dokončení vývoje
- **leden 2012** – tvorba výkresové dokumentace
- **únor – březen 2012** – vznik prototypu
- **duben – květen 2012** – dokončení prototypu, ověření a testování jeho základních funkcí v rámci firmy Brano a.s.

## 6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

Z konstrukčního hlediska u poměrně rozsáhlých projektů jako je tento, existuje velké množství různých variant řešení jednotlivých konstrukčních skupin, částí, či uzlů. Rozhodl jsem se vyzdvihnout pouze zásadní následující dvě možnosti řešení, se kterými jsem se během vývoje vozíku setkal.

První z nich se týká zdvihacího mechanismu a jeho samotné realizace vzpřimování. To provádí elektrický pohon spolu s vhodným konstrukčním řešením mechanismu. Elektrický pohon neboli lineární aktuátor může být použit jeden, dva nebo i více pro naklápění jednotlivých částí mechanismu. S větším počtem použitých aktuátorů roste i úroveň pohodlí vozíku, který pak může disponovat nezávislým manipulováním separátních částí mechanismu. Na druhou stranu větší množství lineárních aktuátorů vyžaduje komplikovanější elektronické řízení a tím i složitější a nákladnější elektroniku, což se spolu s vyšším počtem pohonů podepisuje na celkové vyšší pořizovací ceně. Z toho důvodu bylo zvoleno pro prototypovou variantu ekonomičtější řešení s použitím jednoho aktuátoru jako pohonu vzpřimování mechanismu s jednodušším řízením na úkor nižšího pohodlí a variability vozíku.

Další varianty konstrukčního řešení se týkají podvozku vozíku. Konkrétně se jedná o volbu umístění hnaných kol – vpředu či vzadu. Pohon zadních kol je obecně vhodnější pro vozíčky používané primárně v exteriéru, kde tato koncepce lépe zvládá terénní překážky. Obecně se jedná o běžnější a častější řešení používané u vozíků s elektrickým pohonem. Nevýhodou umístění hmotnostně výraznějších motorů do zadní části vozíku je posun těžiště směrem dozadu, z toho důvodu bývají tyto vozíky vybaveny podpůrnými kolečky umístěnými za samotnými hnacími koly.

Naopak přední hnaná kola jsou používána u invalidních vozíků užívaných v interiérovém prostředí a to především z důvodu lepší ovladatelnosti a snazšího manévrování. Tento fakt je důsledkem umístění kol blíže ke středu vozíčku, který má pak menší rádius otáčení a také vhodnější rozložení hmotnosti a polohu těžiště.

Jelikož má vyvíjený vozík plnit univerzální úlohy a být schopen pohybu jak v interiérovém, tak exteriérovém prostředí, byly upřednostněny kritéria ovladatelnosti a manévrování vozíku. Z toho důvodu bylo zvoleno konstrukční řešení s předními hnanými koly.

## 7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole budou nejprve zmíněny základní informace a parametry vozíku. Dále pak bude vozík rozčleněn do jednotlivých celků, které budou následně podrobně popsány. V první řadě budou představeny komponenty, které byly vyrobeny v prototypové dílně firmy Brano, a.s. Další část této kapitoly se bude věnovat veškerým nakupovaným dílům, které jsou ve vozíku použity. Součástí této kapitoly jsou také potřebné výpočty konkrétních prvků a MKP analýzy vybraných dílů a konstrukčních uzlů.



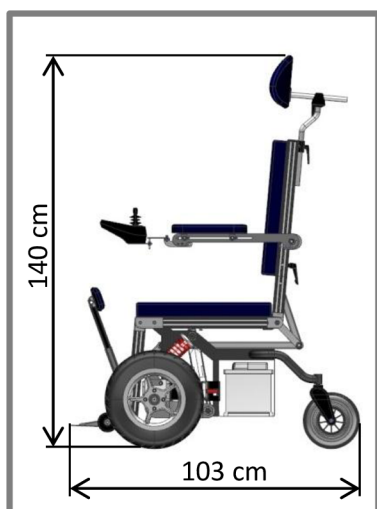
Obr. 7.0-1: Vzpřimovací vozík v základní poloze



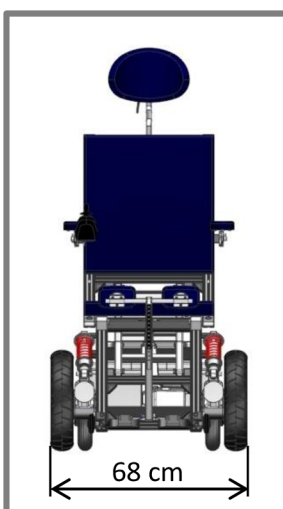
Obr. 7.0-2: Vozík ve vzpřimené poloze

### 7.1

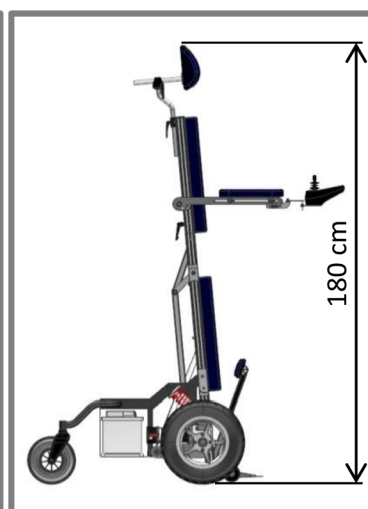
#### 7.1 Navržené parametry



Obr. 7.1-1: Vozík - pohled z boku 1



Obr. 7.1-2: Vozík - pohled zepředu



Obr. 7.1-3: Vozík - pohled z boku 2

V následující tabulce jsou uvedeny parametry konstruovaného vozíku v porovnání s těmi od konkurenčních vozíků.

V tomto srovnání lze vidět, že většina parametrů tohoto vozíku se téměř neliší od konkurenčních hodnot, až na hmotnost, kterou má výrazně nižší. Tento fakt je docílen jednoduchou konstrukcí, volbou lehkých materiálů jako je hliník a také minimálním počtem použitých pohonů pro polohování sedačky.

Tab. 7.1-1: Parametry vozíku v porovnání s konkurencí

Vozík	Levo C3	Permobil C500	Brano
Půdorys [cm]	63x105	67x122	68x103
Hmotnost [kg]	175	171	100
Nosnost [kg]	140	100	100
Rychlost [km/h]	10	10	10
Dojezd [km]	až 35	až 40	až 40

Z konstrukčního hlediska je možné rozdělit sestavu vozíku na dvě základní části:

- Zdvihací mechanismus
- Podvozek

## 7.2 Zdvihací mechanismus

7.2



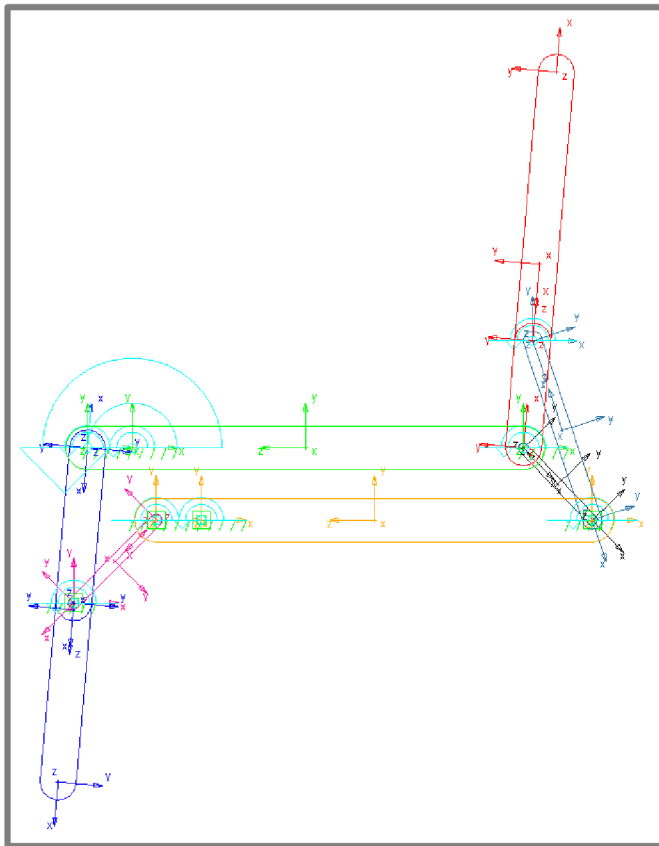
Obr. 7.2-1: Zdvihací mechanismus v základní poloze

Obr. 7.2-2: Vzpřímený zdvihací mechanismus

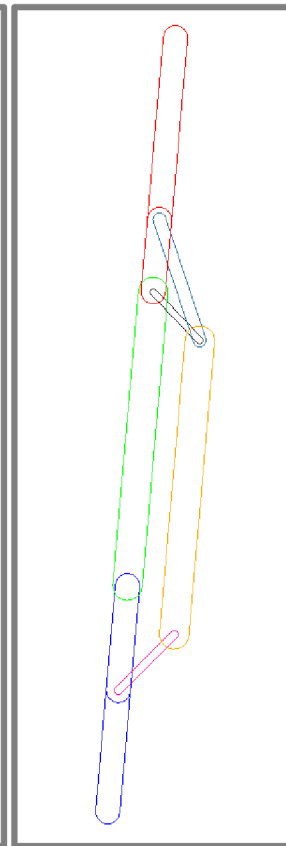


### 7.2.1 Kinematika a dynamika mechanismu

Zdvihací mechanismus je tvořen speciální konstrukcí, která v případě potřeby uvede uživatele vozíku do vzpřímené polohy. Konstrukce je navržena dle kinematického modelu, který vznikl v softwaru MD Adams. Model byl vytvořen ve 2D prostředí z jednotlivých vzájemně zavazbených prvků, které simulují v odpovídajícím měřítku reálné díly mechanismu a jejich spojení. Díky tomuto modelu mohla být ověřena a simulována správná funkce mechanismu. Dále také bylo možné stanovit v reálném čase průběh rychlostí a změny polohy vybraných bodů mechanismu, případně pomocí simulace zatížení určit průběh sil v konkrétních místech zdvihacího mechanismu.



Obr. 7.2-3: Kinematické schéma 1



Obr. 7.2-4: Kinematické schéma 2

### 7.2.2 Konstrukce mechanismu

Mechanismus může být rozdělen do tří základních celků, které se vůči sobě během elevace pohybují:

- Nožní část – opěrky, nohou apod.
- Sedací část – umístění sedáků, uchycení aktuátoru
- Opěrná část – tvoří oporu zad, uchycení loketních opěrek a opěrky hlavy

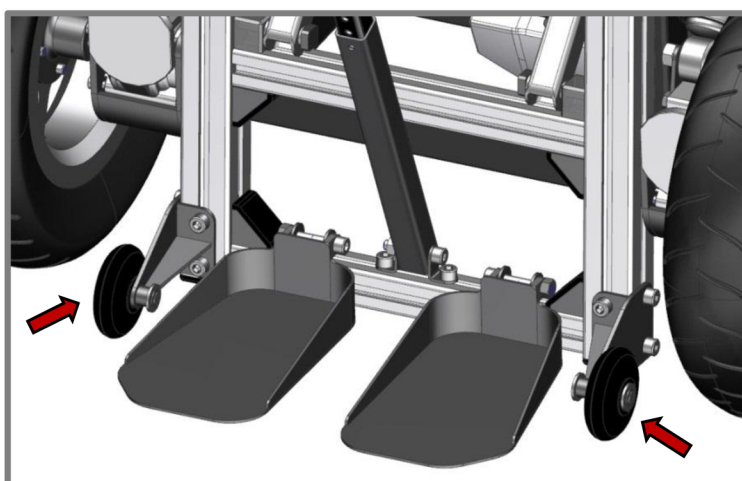
Vzpřimování je realizováno pomocí lineárního aktuátoru. Ten je uchycen za svou spodní část pevně k rámu podvozku a dále je jeho výsuvná tyč uchycena k sedací části zdvihacímu mechanismu, kdy při vysouvání tyče dochází ke zdvihání mechanismu. Pro správnou funkci vzpřimování musí být mechanismus kromě

základní konstrukce vybaven také tzv. podpůrnými profily, které zajišťují zachování rovnoběžnosti mezi opěrnou a nožní částí mechanismu. Díky tomu pak během vzpřimování zůstává zachován jejich úhel vůči povrchu vozovky oproti sedací části mechanismu, která se postupně naklápí. Při úplném vzpřimení dojde k vyrovnání všech tří částí mechanismu do jedné roviny.

Zdvihací mechanismus je vybaven tzv. podpůrnými kolečky, která jsou upevněna k nožní části mechanismu. Ve chvíli kdy dojde k úplnému vzpřimení mechanismu, dosednou tato kolečka na zem a zvýší tak stabilitu celého vozíku ve vzpřimené poloze.



Obr. 7.2-5: Průběh vzpřimování a dosednutí podpůrných koleček mechanismu k zemi

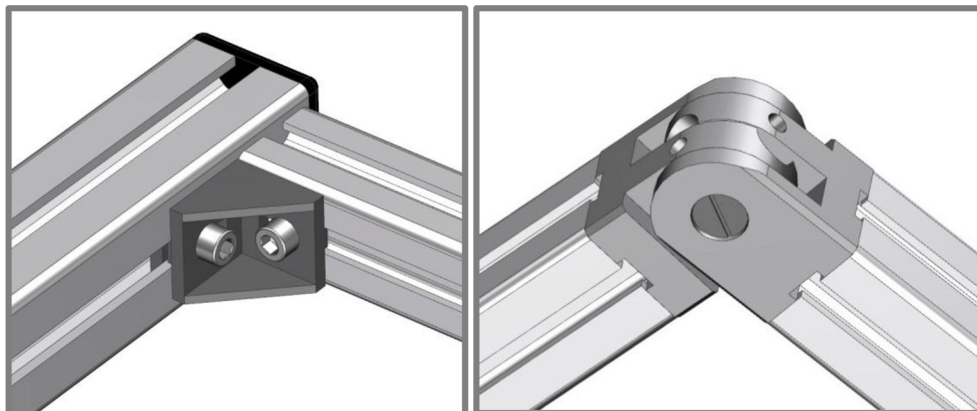


Obr. 7.2-6: Podpůrná kolečka mechanismu

Samotná konstrukce mechanismu je tvořena hliníkovými extrudovanými profily. Výhodou extrudovaných profilů je nízká hmotnost a také přítomnost T-drážek na všech čtyřech stranách podél každého profilu. T-drážky slouží ke spojení jednotlivých profilů k sobě, ale také k uchycení potřebných prvků jako je sedačka, opěrky, vedení, pásy apod.

Použité extrudované profily jsou dvojího rozměru:

- 40x40 mm - základní profily, které jsou použity po celé délce obou stran mechanismu
- 30x30 mm – profily, jenž tvoří příčky a zajišťují spojení mezi většími profily umístěných po stranách mechanismu



Obr. 7.2-7: Spojení profilů pom. úhelníku Obr. 7.2-8: Spojení profilů pomocí kloubu

Spojení jednotlivých profilů či celků mechanismu je realizováno pomocí speciálních úchytlů k tomu určených, případně pomocí kloubů, tam kde je vyžadováno otočné uložení. Tyto profily spolu se spojovacími prvky a dalším příslušenstvím dodala firma MOAS CS s.r.o.

Konstrukční řešení mechanismus využitím extrudovaných profilů nabízí širokou škálu variability a možnosti nastavení jednotlivých částí a prvků vůči sobě. Díky tomu lze celý mechanismus uzpůsobit na míru každému uživateli, jenž na vozík usedne.

### 7.2.3

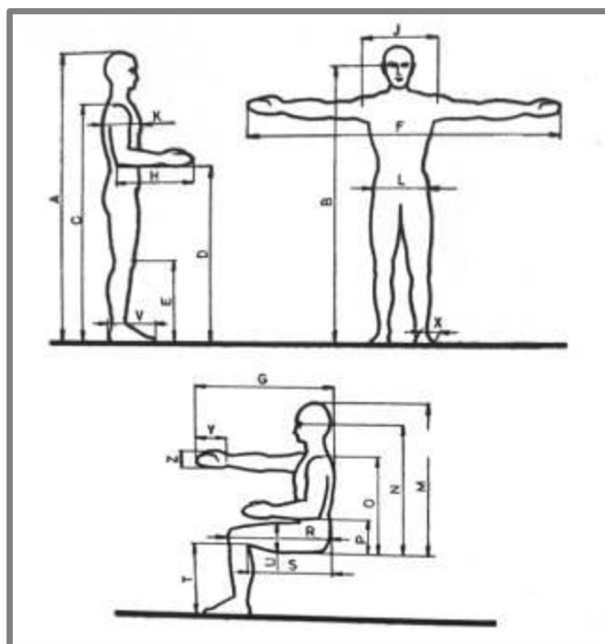
#### 7.2.3 Ergonomické aspekty řešení

Mechanismus je navržen dle základních ergonomických parametrů odpovídajících rozměrům lidského těla dle normy DIN 33402. [3]

Celý mechanismus je konstruován tak, aby byl maximálně variabilní a bylo možné nastavovat pokud možno nejvíce parametrů a vzájemně pohybovat s jednotlivými prvky, které jsou na mechanismu instalovány. Jako například úhel sklonu opěradla, výška loketních opěrek, hlavové opěrky, podnožky apod. Tyto jednotlivé komponenty jsou detailně rozebrány v následující kapitole, ve většině případů se jedná o originální pomůcky a příslušenství přímo určené k aplikaci na invalidní vozíky.

Avšak vzhledem k řešení konstrukce mechanismu a z důvodu jeho správné funkce po kinematické stránce, kdy během vzpřimování dochází k vzájemnému pohybu mezi danými částmi mechanismu, musely být jisté parametry zvoleny fixně. Především se jedná o hloubku sedací plochy, která byla stanovena dle již výše zmíněné normy a odpovídá 95 % percentil lidské populace. Celková sedací plocha je stanovena samotným sedákem, který je taktéž originálním příslušenstvím pro invalidní vozíky a je blíže popsán v další kapitole. [1, 2]

Kromě tohoto jediného pevně zvoleného parametru je vozíček plně nastavitelný a schopný poskytnout každému uživateli dostatečné pohodlí. Přestože se nejedná o parametr, jehož modifikace by zde byla nezbytná, může nastat případ, kdy si to situace bude vyžadovat (např. uživatelem bude dítě). Řešením takového problému by mohla být výroba vozíku „na míru“, případně ještě dodatečná konstrukční úprava nabízející možnost změny i tohoto parametru.



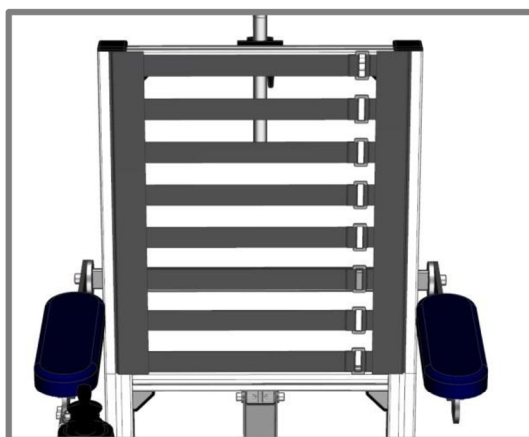
Obr. 7.2-9: Ergonomické schéma [1]

## 7.2.4 Prvky použité na mechanismu

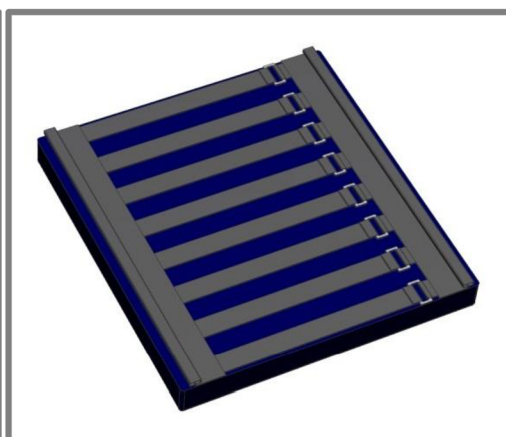
7.2.4

### Sedák/opěradlo

Sedák i opěradlo jsou tvořeny molitanovým polštářem umístěným na textilní podpoře. Polštář má rozměr 450x480 mm, je vybaven odnímatelným textilním obalem a k podpoře je přichycen pomocí suchého zipu. Textilní podpora se skládá z popruhů, které jsou na jedné straně pevně uchyceny a na druhé straně provlečeny plastovým okem a zajištěny suchým zipem. Změnou délky popruhů lze volit vhodný průvěs textilní podpory, která je upevněna v drážkách extrudovaných profilů pomocí lišt. Jedná se o jednoduché, nepříliš komfortní, ale velice levné řešení, které je pro aplikaci na prototyp dostačující. Může být však velmi snadno nahrazeno např. pohodlnou ergonomicky tvarovanou skořepinovou sedačkou jednoduše uchycenou v extrudovaných profilech.



Obr. 7.2-10: Umístění textilní podpory

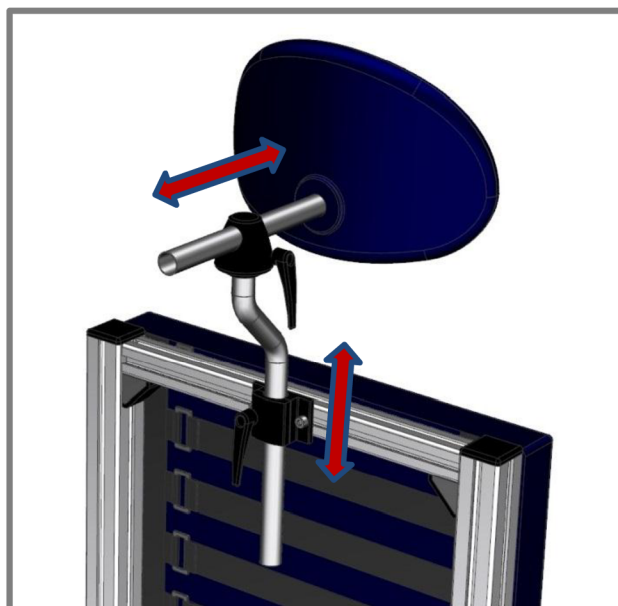


Obr. 7.2-11: Polstrování s textilní podporou

### Opěrka hlavy

Opěrka hlavy je tvořena polstrováním s pevným podkladem, který je připevněn k hliníkové trubce. Tato trubka je umístěna v posuvném vedení, díky tomu je možné opěrku nastavit jak výškově, tak i podélně ve směru jízdy.

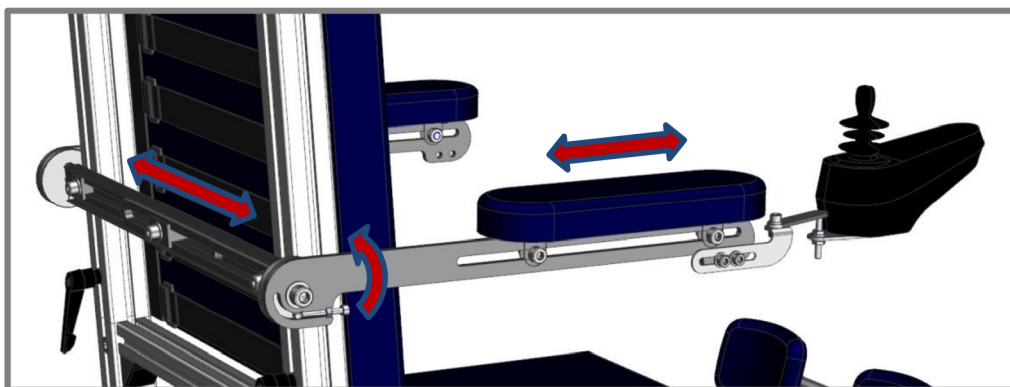
Kompletní hlavová opěrka je dodána firmou Otto Bock ČR, s.r.o., která se specializuje na výrobu příslušenství k invalidním vozíkům.



Obr. 7.2-12: Hlavová opěrka

### Loketní opěry

Loketní opěrky slouží jako opory rukou a je na nich uchycen řídicí panel ovládání vozíku, ten může být umístěn na pravé či levé opěrce dle potřeby. Konstrukce opěrek rukou je navržena s požadavky na možné nastavení její výšky od země, dále na nastavení vzdálenosti samotných polstrovaní od zádové opěry či na nastavení šířky mezi jednotlivými opěrkami. Opěrky mohou být nezávisle sklopeny, aby nepřekážely např. při nasedání či vysedání uživatele. Také lze nastavit úhel sklonu opěrek v jejich základní poloze.

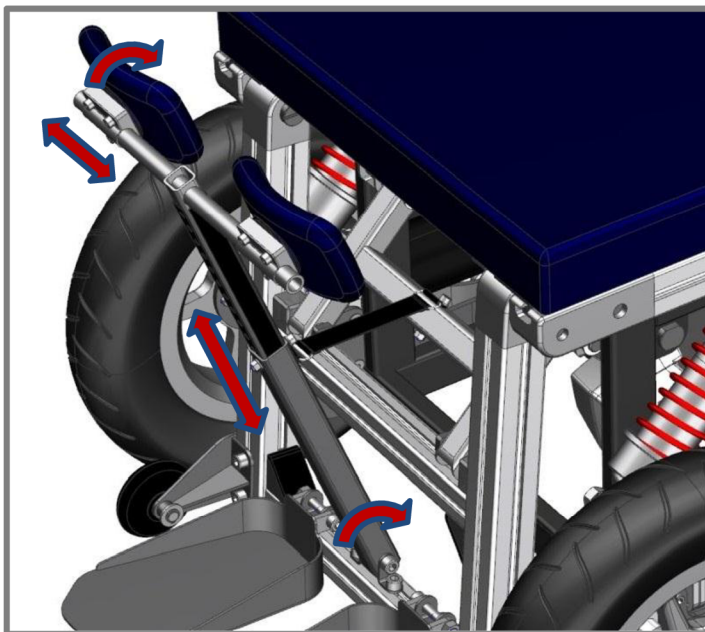


Obr. 7.2-13: Loketní opěrky

### *Kolenní opora*

Kolenní opora je využívána výhradně ve vzpřímené poloze, kdy dojde k zaklesnutí kolen uživatele vozíku do této opory, která tak brání sesunutí těla níže. Kolenní opora je tvořena dvěma ocelovými čtvercovými profily o tloušťce stěny 2 mm, kdy ten menší o rozměru 20x20 mm je posuvně uložen v profilu 25x25 mm z důvodů výškové nastavitelnosti opěry. Menší z profilů je svařen kolmo s tenkostěnnou trubkou, na níž jsou uchycena jednotlivá polstrování. Ta je možné buď posunutím či pootočením nastavit do požadované polohy.

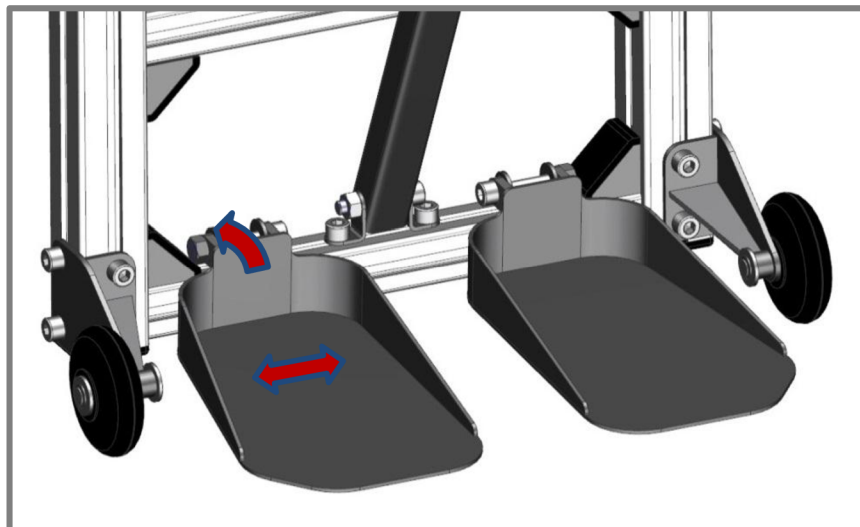
Kolenní opěra je zajištěna šroubem ve své spodní části a dále pak výše textilním popruhem ke zdvihacímu mechanismu. Textilním popruhem lze volit odklon kolenní opory vůči nožní části mechanismu.



Obr. 7.2-14: Kolenní opora

### *Podnožky*

Podnožky slouží jako opora chodidel nohou. Jsou tvořeny svařeným plechem tloušťky 2 mm a uchyceny pomocí dvou oušek k nožní části mechanismu. Podnožky jsou navrženy tak, aby mohly být sklopeny směrem vzhůru ze stejného důvodu jako loketní opěry, aby nepřekážely při nasedání či vysedání uživatele. Dále je také možné nastavit vzdálenost podnožek od sebe v podélném směru.



Obr. 7.2-15: Podnožky

### *Pásy*

Pásy jsou velice důležitým prvkem vzpřimovacích vozíků. Jejich úkolem je zajistit fixní polohu uživateli vozíku ve vzpřímené poloze, aby nemohlo dojít k sesunutí jeho těla. Vzhledem k vertikalizaci sedačky, při níž dochází ke změně úhlů a délek vůči jednotlivým částem mechanismu, musí být použity dva separátní pásy. Jeden umístěn na sedací části mechanismu, který zajišťuje stehna uživatele a druhý na opěrné části, který obepíná jeho hrud'. Jelikož by měl pás co nejpevněji zajišťovat polohu těla (nesmí být pružný) a na druhou stranu být co nejpohodlnější, je tvořen kombinací textilního popruhu s polstrovaným polštářkem. Textilní popruh dodává pásu jeho potřebnou pevnost a přišitý polstrovaný polštář zamezuje přímého kontaktu popruhu s tělem uživatele, což zachovává jistý standard pohodlí a vylučuje riziko vzniku odřenin či otlačenin těla uživatele.

Oba pásy se skládají ze dvou částí a jejich spojení je realizováno pomocí tzv. trojzubce. Ten umožňuje kromě bezpečného spojení pásu i jeho délkové nastavení. Každá část pásu je uchycena v boční drážce extrudovaného profilu mechanismu na otočném oku.



Obr. 7.2-16: Textilní popruh [30]



Obr. 7.2-17: Trojzubec [30]

### 7.2.5 Rozměrová adaptibilita

Vzhledem k tomu, že každý vozík musí být čas od času převážen či skladován, bylo během konstrukce uvažováno pro tento případ složení mechanismu za účelem minimalizace jeho rozměrů. Jako nejvhodnější řešení se jevila možnost sklopení zadové opěry mechanismu, díky čemuž dojde především k výraznému snížení výšky celého vozíku. Konstrukční provedení je následující. Extrudovaný profil po obou stranách opěrné části mechanismu je tvořen ze dvou kusů. Uvnitř obou profilů je umístěn čep s kloubem, který primárně slouží pouze k aretaci profilů k sobě. Ve spodním profilu je čep zajištěn pevně, kdežto v horním pomocí pojistné páčky. Při povolení pojistné páčky dojde k uvolnění horní opěrné části mechanismu, která může být vyzdvížena o přibližně 5 cm. V tuto chvíli dojde k obnažení čepu s kloubem, díky kterému je následně celá zadová opěra sklopena o více jak 90°.

Nejen výška, ale i délka vozíku může být snížena a to sklopením podnožek a pootočením vlečných kol. Avšak vzhledem k pevné konstrukci podvozku, nebylo možné redukovat šířku vozíku. Výsledné rozměry v porovnání s těmi běžnými jsou uvedeny v tabulce 7.2-1.



Obr. 7.2-18: Složený mechanismus vozíku 1



Obr. 7.2-19: Složený mechanismus vozíku 2

Tab. 7.2-1: Parametry vozíku v porovnání s konkurencí

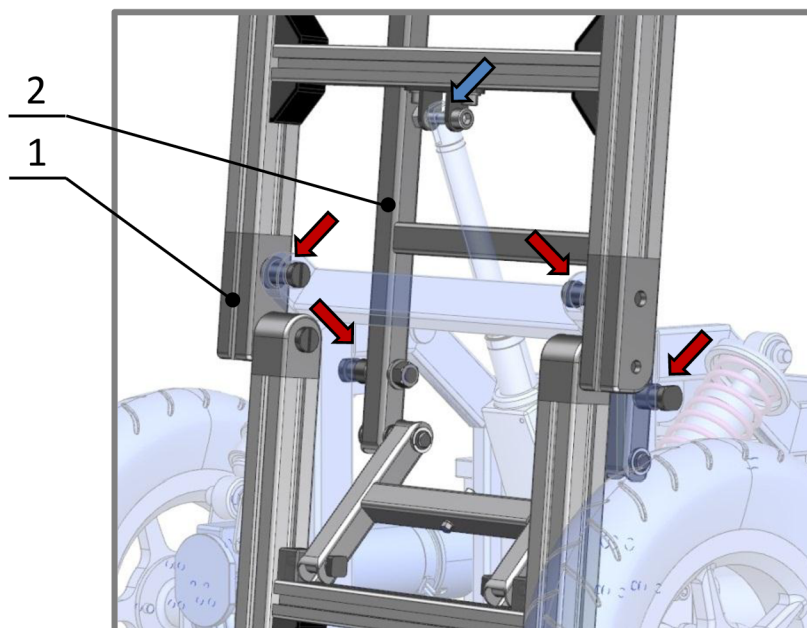
Rozměry	Běžné	Po složení
Šířka [cm]	68	68
Délka [cm]	103	83,4
Výška [cm]	140	77,5



**7.2.6 Uložení mechanismu**

Mechanismus je k podvozku přichycen po obou stranách pomocí otočných uložení, která poskytují mechanismu možnost pohybu a zároveň svou polohou plní důležitou roli z hlediska kinematiky a zajišťují tak jeho správný chod. K uložení mechanismu slouží pouzdra rámu, která jsou pomocí čepů spojena s kameny (1) sedací části mechanismu a také s tzv. podpůrnými profily (2) mechanismu. Další prvek, o kterém by se také dalo říci, že jistým způsobem plní funkci uložení mechanismu je lineární aktuátor.

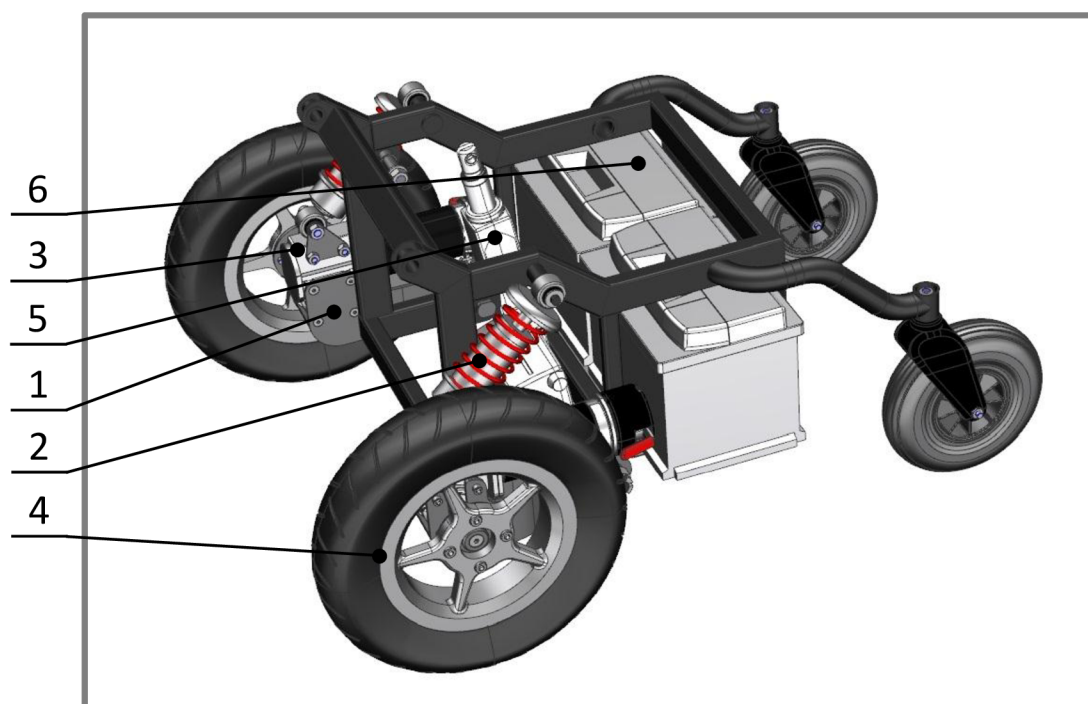
U jednotlivých uložení je nutné zvolit vhodné rozměrové tolerance tak, aby se mohly dané prvky snadno a bez většího odporu vzájemně pohybovat. [4]



Obr. 7.2-20: Uložení mechanismu na podvozku

## 7.3 Podvozek

Podvozek je základní částí celého vozíku, stará se o jeho pohon, je na něm uchycen zdvihací mechanismus a slouží jako prostor pro umístění funkčních komponent. Stěžejní částí podvozku je rám, na němž jsou upevněny další dílčí celky. Za účelem lepších jízdních vlastností a absorpce nerovností terénu je podvozek vybaven kyvnými nápravami (1) a tlumiči (2). V nápravách jsou umístěny elektromotory (3), zajišťující pohon vozíku pomocí velkých hnacích kol (4). Mezi nápravami je umístěn aktuátor (5), který se stará o vzpřimování zdvihacího mechanismu. Pohony jsou zásobovány energií ze dvou baterií (6), ty jsou umístěny v zadní části podvozku. Jelikož má podvozek přední hnaná kola, zadní kola musí být tzv. vlečná.



Obr. 7.3-1: Podvozek

Dále budou rozebrány nejprve mechanické komponenty podvozku a následně všechny elektrické prvky včetně elektroinstalace.

### 7.3.1 Mechanické prvky podvozku

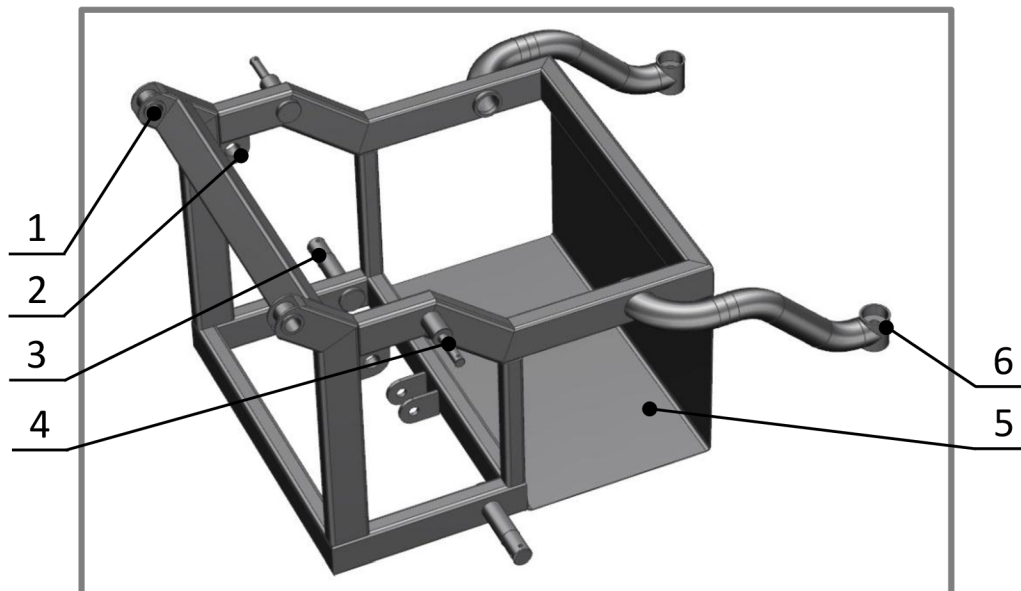
7.3.1

Zde budou popsány mechanické komponenty podvozku vyráběné v prototypové dílně a také další nakupované prvky. Kromě konstrukčního řešení bude nastíněn i způsob jejich uložení a také budou rozebrány z funkčního hlediska.

#### *Rám*

Jedná se o svařenec, který je tvořen z ocelových profilů o rozměru 40x20 mm, respektive 20x20 mm a tloušťce stěny 2 mm, dále z ohýbaných trubek o průměru 30 mm a tloušťce stěny 3 mm. Rám je navržen tak, aby respektoval konstrukci zdvihacího mechanismu, poskytl mu dostatek prostoru v průběhu elevace a také při dosažení vzpřímené polohy. Zároveň koncepce rámu zachovává vhodné upořádání a kompaktní rozměry celého podvozku.

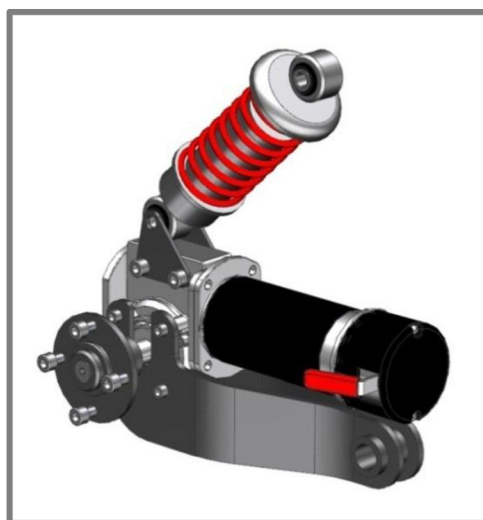
Zdvihací mechanismus je uložen na rámu pomocí pouzder (1), která jsou navařena v jeho profilech a pomocí přivařených úhelníků (2) s otvorem. Pro uložení kyvných náprav je rám opatřen čepy (3) o průměru 20 mm se závitem M20. Další čepy (4) rámu slouží pro uchycení oka tlumiče nápravy. Pro uložení baterií slouží k rámu přivařený plech (5). Trubky rámu spolu s navařenými pouzdry (6) slouží jako uchycení vlečných kol podvozku v dostatečné vzdálenosti od plechu baterií, tak aby se mohla kolečka bezpečně otočit o 360° kolem osy pouzdra.



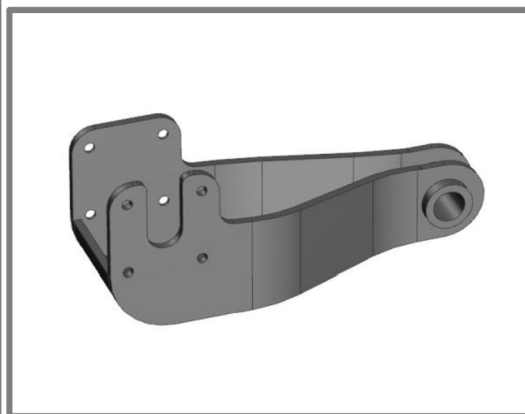
Obr. 7.3-2: Rám

### Nápravy

Nápravy zajišťují vozíku lepší jízdní vlastnosti a komfort díky absorpci překonávaných nerovností a terénu. Na podvozku vozíku jsou použity 2 nápravy, levá a pravá, které jsou zrcadlově symetrické. Náprava je konstruována na základě elektromotoru, ten je každé nápravě z každé strany uchycen pomocí 4 šroubů. Je tvořena z plechů tloušťky 6 mm svařených k sobě a pouzdra, díky kterému je uchycena k rámu podvozku.



Obr. 7.3-3: Kompletní náprava



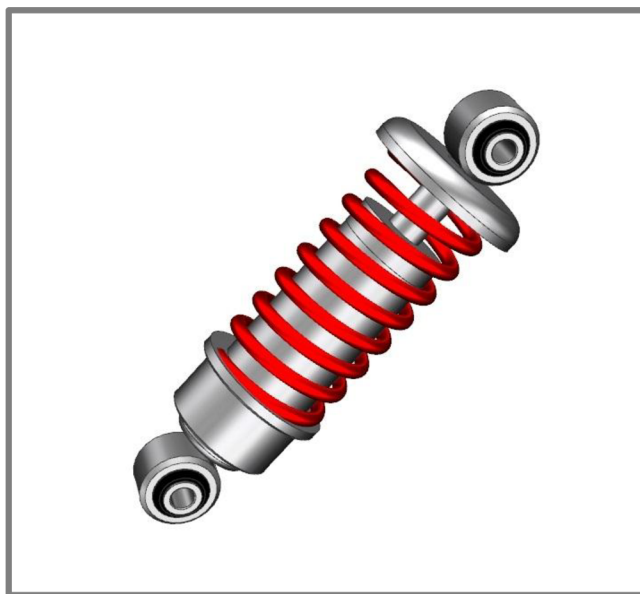
Obr. 7.3-4: Kyvné rameno nápravy

### Tlumič

Tlumič, který je použit na nápravě vozíku, pochází z produkce firmy Brano, a.s. Jedná se o sériové provedení tlumiče, který je původně koncipován pro odpružení kabiny nákladního vozu. Tlumič byl lehce upraven a především zkrácen na co nejmenší možnou rozteč ok (při zachování ostatních sériových dílů) za účelem dosažení minimálních zástavbových rozměrů. Zdvih tlumiče byl zvolen 60 mm. Dále byla stanovena vhodná pružina pro tuto aplikaci. Díky těmto úpravám mohl být tlumič využit k odpružení nápravy vozíku.

Konstrukce tlumiče je navržena tak, aby mohl být společně s pružinou dodatečně laděn a nastavován pro dosažení co nejvhodnějších jízdních vlastností vozíku vzhledem k překonávanému terénu (interiérové vs. exteriérové nastavení), či k jeho zatížení (hmotnosti uživatele).

Tlumič je uchycen k tělu šnekové převodovky motoru pomocí dvou plechů, důsledkem toho je spodní oko tlumiče v relativně ideální poloze nad osou hřídele a hnaného kola. Díky tomu může tlumič poměrně efektně vstřebávat síly, které jsou na nápravu a podvozek vyvíjeny. Z důvodu zachování dostatečného výkyvu nápravy, resp. zdvihu tlumiče, musel být tlumič uložen pod náklonem přibližně 40° vůči povrchu vozovky.



Obr. 7.3-5: Tlumič

### Hnací kola

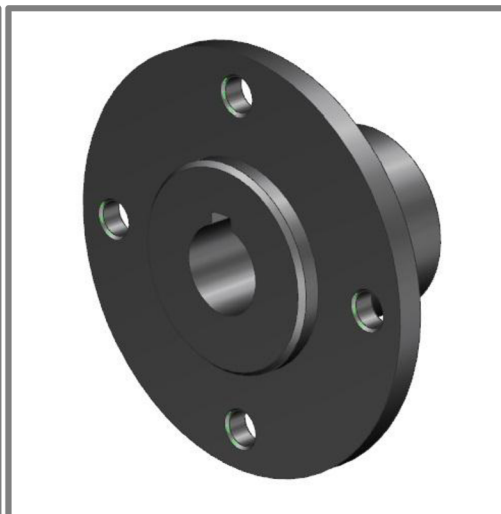
Hnané kolo je elementem na podvozku přenášející hnací sílu motoru na povrch vozovky a uvádí tak vozík do pohybu. Je tvořeno hliníkovým diskem a gumovým pláštěm, který je vyplněn foukanou duší. Vnější průměr pláště kola je 350 mm a jeho šíře odpovídá 80 mm.

Přípevnění kola k motoru je realizováno pomocí příruby. Ta je uložena na výstupní hřídeli šnekové převodovky pomocí pera a v axiálním směru aretována pomocí šroubu. Samotné kolo je přichyceno k přírubě pomocí 4 šroubů.

Kola jsou dodána firmou Rolko a určena přímo k použití na elektrické invalidní vozíky.



Obr. 7.3-6: Hnací kolo [25]



Obr. 7.3-7: Náboj kola

### *Vlečná kolečka*

Aplikace těchto koleček je nutná při použití takového způsobu řízení vozíku, tj. pomocí změny otáček hnacích kol. V tomto případě musí volná kolečka respektovat a přizpůsobovat se trajektorii vozíčku, určenou hnacími koly. Pokud by nebyla vlečná kolečka otočně uchycena, docházelo by k jejich smýkání a důsledkem by byla výrazně horší pohyblivost a ovladatelnost celého vozíku.

Vlečné kolečko je tvořeno plastovým diskem obklopeným gumovým pláštěm, který je vyplněn foukanou duší. V plastovém disku je náboj, pomocí kterého je kolečko otočně zavěšeno v plastové vidlici. Vidlice je vybavena obdobným nábojem s ložiskem, ten slouží k připevnění vidlice spolu s kolečkem k rámu podvozku a zajišťuje volné otáčení vidlice kolem své osy o 360°.

Vnější průměr kolečka odpovídá 200 mm a jeho šířka je 50 mm. Tato kolečka pochází z produkce firmy Delfi, s.r.o.



Obr. 7.3-8: Vidlice [27]



Obr. 7.3-9: Vlečné kolečko [26]

### 7.3.2 Elektrický systém

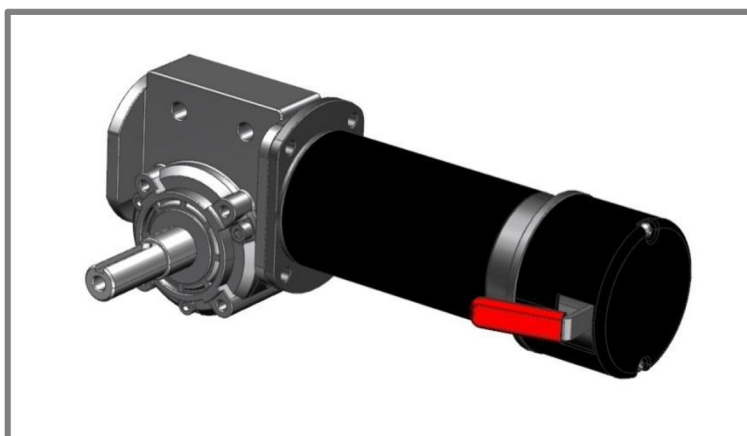
#### Elektromotor

Tento motor je spolu se svou šnekovou převodovkou speciálně určen pro aplikaci na invalidní vozíky. Díky tomu motor disponuje ideálními parametry, vhodnými pro pohyb invalidního vozíku. Jedná se o elektromotor vyráběný na Tchaj-wanu firmou MOTION TECH. Motor je vybaven elektromagnetickou brzdou s ručním odjištěním, která v případě nečinnosti motoru spolehlivě zachovává jeho aktuální polohu. Ruční odjištění elektromagnetické brzdy je nezbytnou vlastností motorů pro invalidní vozíky. V případě, že dojde k vybití baterií vozíku či k nenadálé poruše elektroniky mohou být motory manuálně odjištěny a vozíček pak bez větších problémů odtlačen ručně další osobou.

Základní parametry motoru jsou uvedeny v tabulce 7.3-1. Výkonové charakteristiky, další informace a dokumentace motoru jsou uvedeny v příloze č. 3.

Tab. 7.3-1: Parametry elektromotoru

Provozní napětí	24 V
Výkon	270 W
Krouticí moment	30 Nm
Výstupní otáčky	188 rpm
Rozměry	105 x 120 x 275 mm
Hmotnost	3,6 kg



Obr. 7.3-10: Motor

#### Lineární aktuátor

Lineární aktuátor je zařízení, které obstarává vertikalizaci vzpřimovacího mechanismu. Jedná se o elektrický systém, který transformuje rotační pohyb elektromotoru na lineární pohyb pístu. Tělo aktuátoru je pevně uchyceno k rámu podvozku a výsuvná tyč, neboli píst aktuátoru je uchycen za konstrukci zdvihacího mechanismu. Při vysouvání pístu dochází k elevaci mechanismu.

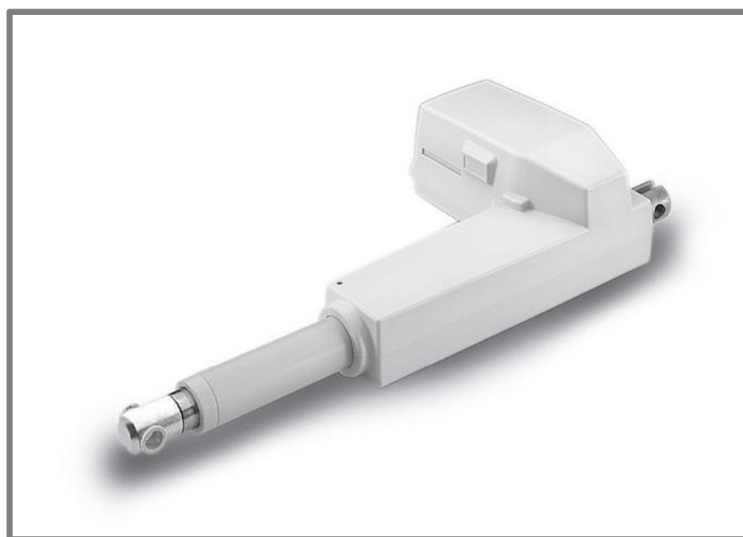
Umístění aktuátoru je vhodné volit tak, aby v prvních okamžicích vzpřimování, kdy je nejvíce zatěžován, působil kolmo k sedací části zdvihacího mechanismu a bylo tak využíváno maximum jeho produkované síly, zároveň nedocházelo k zatěžování

konstrukce nežádoucími složkami sil. Důležité je také umístění aktuátoru do co největší vzdálenosti od osy otáčení zdvihacího mechanismu, aby také nezatěžoval příliš velkými silami celou konstrukci vozíku. V takovém případě aktuátoru narůstá potřebná velikost zdvihu a s tím i jeho zástavbové rozměry. V neposlední řadě je také výrazným kritériem rychlost vysouvání pístní tyče aktuátoru, která přímo souvisí s časem vzpřimování mechanismu. Jelikož je rychlost pohybu pístní tyče závislá na produkované síle aktuátoru (čím vyšší síla, tím nižší rychlost), je nutné najít vhodný kompromis mezi velikostí produkované síly, zdvihu, zástavbových rozměrů a umístěním aktuátoru.

Aktuátor je produktem společnosti LINAK, konkrétní typ použitý na vozíčku se nazývá LA 31 Careline. Aktuátor je vybaven bezpečností maticí, která je schopna díky své samosvornosti bezpečně zachovat jakoukoliv zvolenou polohu mechanismu mezi možným náklonem 0-85° vůči povrchu. Dále jsou zde také použity koncové spínače, které zajistí při dosažení krajní polohy výsuvné tyče vypnutí jeho motoru. Základní parametry aktuátoru jsou uvedeny v tabulce 7.3-2. Další podrobné informace o aktuátoru jsou v příloze č. 4. [20]

Tab. 7.3-2: Parametry aktuátoru [20]

Provozní napětí	24 V
Zdvih	150 mm
Síla	6000 N
Čas elevace	max. 28 s
Rozměry	81x163x345 mm
Hmotnost	2,3 kg



Obr. 7.3-11: Lineární aktuátor [20]

### **Baterie**

Baterie slouží ve vozíku jako zdroj elektrické energie pro pohon motorů a aktuátoru. Jsou umístěny na plechu, který je součástí rámu podvozku. Zajištění baterií proti pohybu je provedeno pomocí šroubů připevněných k již zmíněnému plechu a pomocí textilního popruhu.

Vzhledem k výrazné hmotnosti baterií je nutné klást důraz na jejich umístění. Za účelem dosažení co nejnižší polohy těžiště vozíku je vhodné uložit baterie pokud možno co nejbližší k zemi, samozřejmě je nutné zachovat jistou světlou výšku podvozku. Díky nízké poloze těžiště si vozík zachovává lepší jízdní vlastnosti a především stabilitu. Ovšem pro vzpřímenou polohu vozíku není nutné pouze umístění baterií v co nejnižší pozici, ale také v pokud možno největší vzdálenosti od poháněných kol, kdy pak baterie slouží jako protizávaží člověku, jenž je umístěn ve vertikalizované sedačce. Tato problematika je dále podrobněji rozebrána v kapitole 7.4.4 věnované rozboru těžiště.

Baterie použité v invalidním vozíku jsou značky VARTA, jedná se o řadu Professional DeepCycle. Tyto baterie jsou vhodné pro aplikaci v invalidních vozících, jelikož jsou navrženy tak, aby odolávaly častým cyklům úplného vybíjení a nabíjení. [21]

Základní parametry baterie jsou uvedeny v tabulce 7.3-3.

Tab. 7.3-3: Parametry baterie [21]

Napětí	12 V
Kapacita	60 Ah
Rozměry	175x190x242 mm
Hmotnost	17 kg



Obr. 7.3-12: Trakční baterie [21]

### Řídicí systém

Pro vzpřimovací vozík je použit řídicí systém VR2 od společnosti PG drives technology. Jedná se o kompletní systém sloužící k řízení a ovládní celého vozíku. Velkou výhodou tohoto řídicího systému je schopnost řízení i lineárních aktuátorů, díky tomu nemusí být na vozík instalován další ovládací prvek. Od této společnosti, která sídlí ve Velké Británii, se podařilo získat jeden vzorek pro testování prototypu zdarma.

Řídicí systém se skládá z ovládacího panelu umístěného na loketní opěře a řídicí jednotky, která je spolu s další elektronikou uložena v podvozku vozíku.



Ovládací panel je vybaven joystickem pro určování směru jízdy, dále jsou zde tlačítka pro výběr aktuátoru, volbu rychlosti (1 až 5) či klakson. Nalezneme zde také indikátor stavu baterií. Ovládací panel je vybaven zdírkou typu Neutrik NCMX3, ta může být využita dvěma způsoby. Buďto pro zapojení konektoru od napájení, díky němuž jsou nabíjeny baterie skrze řídicí systém. Nebo další možností je připojení systému k PC za účelem programování řídicí jednotky pomocí speciálního softwaru, který je dodáván spolu s řídicím systémem. Tento software se nazývá PC mobility programmer a umožňuje velmi široké možnosti nastavení celého systému jako např. procentuální nastavení výkonu motoru, rozložení spektra 5 rychlostních stupňů, velikost akcelerace/decelerace, rychlosti zatáčení, citlivosti joysticku apod. Díky tomuto softwaru lze nastavit velice přesně požadované parametry motorů a tím i chování vozíku dle konkrétních potřeb uživatele s ohledem na jeho použití.

Řídicí jednotka je vybavena jednotlivými vstupy pro zapojení ovládacího panelu, motorů, až 2 aktuátorů, zdroje energie, externího příslušenství či modulu pro ovládání světel, který může být taktéž součástí celého řídicího systému. [24]

Další podrobnější informace o řídicím systému jsou uvedeny v příloze č. 5.



Obr. 7.3-13: Ovládací panel [24] Obr. 7.3-14: Řídicí jednotka ovládání [24]

## 7.4

### 7.4 Výpočty

#### 7.4.1

##### 7.4.1 Určení síly aktuátoru

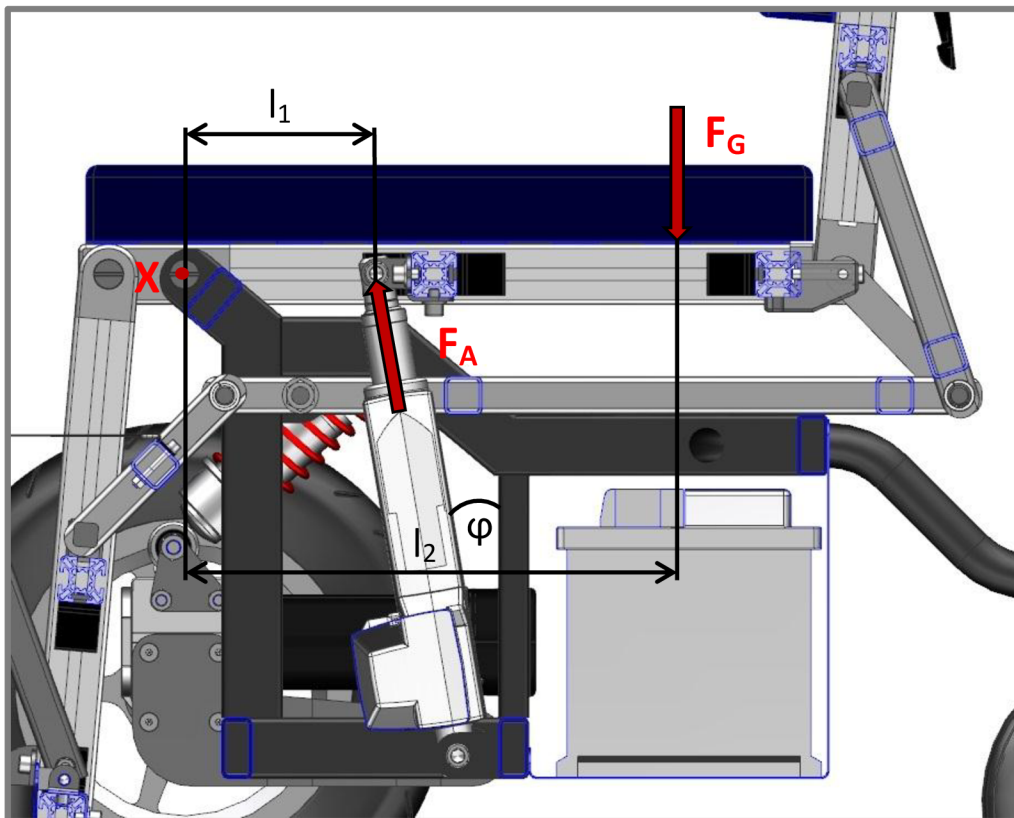
Lineární aktuátor musí vyvinout dostatečně velikou sílu, aby byl schopen vzpřímit zdvihací mechanismus spolu s uživatelem vozíku. Vychází se z předpokladu, že největší sílu musí aktuátor vyvinout hned na začátku zdvihání, kdy je ještě sedák ve vodorovné poloze a je tak nejvíce zatěžován hmotností uživatele vozíku, jejíž maximum je 100 kg. Jelikož aktuátor zvedá kromě uživatele vozíku také konstrukci mechanismu a překonává jistý odpor a tření, byl pro výpočet zvolen takový stav, při kterém musí aktuátor překonat sílu odpovídající břemenu 200 kg. Lehké naddimenzování vstupních parametrů příkladu zajistí bezpečné podmínky pro chod aktuátoru a bezproblémový průběh vzpřimování mechanismu.

Stanovení potřebné síly aktuátoru je provedeno pomocí momentové rovnováhy vzhledem k bodu X, kolem kterého se naklápí sedací část zdvihacího mechanismu. Aktuátor působící na rameni  $l_1$  kolmou složkou síly  $F_A$  k sedáku musí vytvořit větší moment než opačně působící síla  $F_G$  na rameni  $l_2$ .

Rameno  $l_1$ , na kterém působí aktuátor, přesně odpovídá takové hodnotě, aby při úplném vysunutí aktuátoru došlo zároveň k maximální vertikalizaci

vzpřimovacího mechanismu. Předpokládaná poloha působitě síly  $F_G$ , zastupující hmotnost uživatele a odpor kladený mechanismem, byla vzhledem k bodu X stanovena na  $\frac{3}{4}$  délky sedací části mechanismu.

Jelikož je ze zástavbových důvodů aktuátor mírně nakloněno úhel  $\varphi$ , tak nedochází k využití maxima jeho síly, ale část ní je pohlcena konstrukcí mechanismu, případně rámem podvozku.



Obr. 7.4-1: Schéma působení síly aktuátoru

#### Parametry:

$$F_G = 2000 \text{ N}$$

$$\varphi = 9,58^\circ$$

$$l_1 = 127 \text{ mm}$$

$$l_2 = 400 \text{ mm}$$

#### Stanovení síly:

$$M_A > M_G$$

$$F_A * \cos \varphi * l_1 > F_G * l_2$$

$$\Rightarrow F_A > \frac{F_G * l_2}{\cos \varphi * l_1} = \frac{2000 * 375}{\cos 9,58 * 127} = 5989 \text{ N}$$

$$\text{volím } F_A = 6000 \text{ N}$$

Nejnižší síla aktuátoru potřebná pro zajištění vertikalizace vzpřimovacího mechanismu je 5989 N. Z nabídky firmy Linak byl zvolen typ aktuátoru, který je schopen vyvinout sílu 6000 N.

Z tabulek uvedených v příloze č. 4 lze vyčíst rychlost pohybu pístní tyče aktuátoru. Ta odpovídá 5,4 mm/s při jeho plném zatížení. V takovém případě by úplné vysunutí aktuátoru a tedy maximální vertikalizace mechanismu zabrala nanejvýš 28 sekund. Při zasouvání aktuátoru se předpokládá, že pracuje v nezatíženém stavu, kdy může být rychlost pohybu pístní tyče až 8,2 mm/s. Při takové rychlosti je schopen aktuátor uvést zdvihací mechanismu do původní polohy za méně jak 20 vteřin.

## 7.4.2

**7.4.2 Stanovení výkonu motorů**

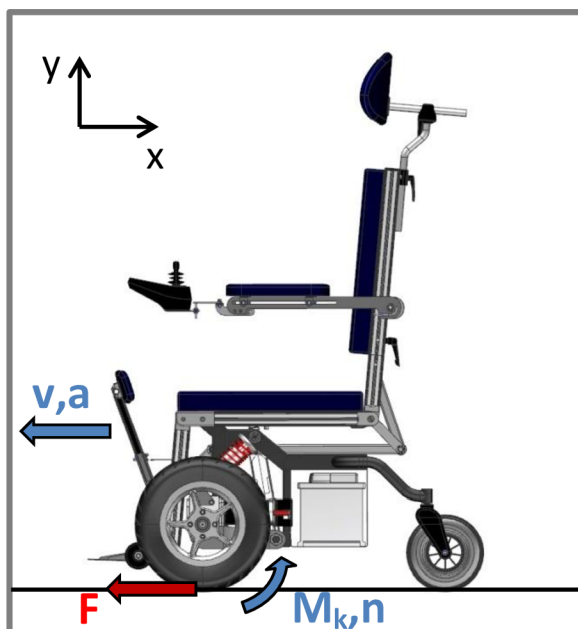
Elektromotory jakožto pohony invalidního vozíku jsou důležitým prvkem zajišťujícím jeho mobilitu. Tak aby byly zajištěny vhodné jízdní vlastnosti vozíčku, musí být správně zvoleny parametry motorů s ohledem na jeho hmotnost, požadovanou rychlost, průměr hnacích kol či schopnost pohybu v kopcovitém terénu. Z tohoto důvodu je důležité jednotlivé parametry vypočítat a navrhnout tak ideální řešení pro konkrétní typ vozíku.

**Charakteristiky vozíku:**

- Celková hmotnost zatíženého vozíku:  $m = 200 \text{ kg}$
- Poloměr hnacích kol:  $r = 0,175 \text{ m}$
- Předpokládaná účinnost elektromotoru:  $\eta = 75\%$

**Požadavky pro jízdu po rovině:**

- Maximální rychlost:  $v_{max} = 9 \text{ km/h} = 2,5 \text{ m/s}$
- Dosažení maximální rychlosti za čas:  $t = 10 \text{ s}$



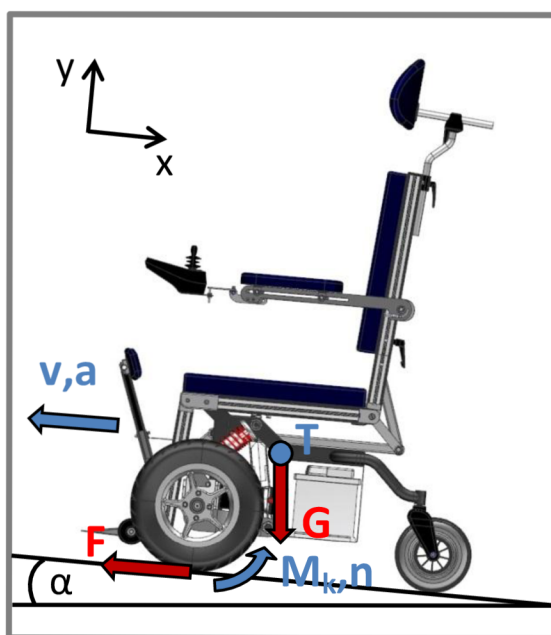
Obr. 7.4-2: Schéma jízdy po rovině

**Výpočet potřebného výkonu elektromotoru při jízdě po rovině:**

- Požadované zrychlení:  $a = \frac{v_{max}}{t} = \frac{2,5}{10} = 0,25 \text{ ms}^{-2}$
- Síla vynaložená pro dosažení rychlosti:  $F = m \cdot a = 200 \cdot 0,25 = 50 \text{ N}$
- Kroutící moment:  $M_k = F \cdot r = 50 \cdot 0,175 = 8,75 \text{ Nm}$
- Otáčky kola:  $n = \frac{v_{max}}{2\pi r} = \frac{2,5}{2\pi \cdot 0,175} = 2,27 \text{ s}^{-1} \sim 136 \text{ rpm}$
- Teoretický výkon motoru:  $P_{teor} = M_k \cdot 2\pi n = 8,75 \cdot 2\pi \cdot 2,27 = 125 \text{ W}$
- Reálný výkon elektromotoru:  $P_{real} = \frac{P_{teor.}}{\eta} = \frac{125}{0,75} = 167 \text{ W}$

**Požadavky pro jízdu do kopce:**

- Maximální rychlost:  $v_{max} = 6 \text{ km/h} = 1,67 \text{ m/s}$
- Dosažení rychlosti za čas:  $t = 10 \text{ s}$
- Úhel stoupání:  $\alpha = 12\% = 6,84^\circ$



Obr. 7.4-3: Schéma jízdy do kopce

**Výpočet potřebného výkonu elektromotoru při jízdě do kopce:**

- Požadované zrychlení:  $a = \frac{v_{max}}{t} = \frac{1,67}{10} = 0,17 \text{ ms}^{-2}$
- Síla vynaložená pro dosažení rychlosti:  $F = mg \cdot \sin \alpha + ma = 200 \cdot 9,81 \cdot \sin 6,84 + 200 \cdot 0,17 = 266 \text{ N}$
- Kroutící moment:  $M_k = F \cdot r = 266 \cdot 0,175 = 46,55 \text{ Nm}$
- Otáčky kola:  $n = \frac{v_{max}}{2\pi r} = \frac{1,67}{2\pi \cdot 0,175} = 1,52 \text{ s}^{-1} \sim 91 \text{ rpm}$

- Teoretický výkon motoru:  $P_{teor} = M_k \cdot 2\pi n = 46,55 \cdot 2\pi \cdot 0,175 = 445 \text{ W}$
- Reálný výkon elektromotoru:  $P_{real} = \frac{P_{teor}}{\eta} = \frac{445}{0,75} = 593 \text{ W}$

K těmto teoreticky vypočteným hodnotám není v praxi snadné nalézt motor s odpovídajícími parametry. Především pak takový motor, jehož parametry jsou vhodně vyvážené a zároveň si motor zachovává akceptovatelné rozměry, hmotnost a také přijatelnou cenu. Vzhledem k tomuto faktu, se musí při výběru motorů počítat s jistými kompromisy a ústupky.

V případě výběru motorů pro tento invalidní vozík byla hlavním kritériem jejich cena. I přes tuto skutečnost se podařilo nalézt motory přímo určené pro invalidní vozíky, díky čemuž mají poměrně vhodně vyvážené parametry.

Společný výkon použitých motorů činí dohromady 540 W, což je o něco méně než je vypočtený požadovaný výkon. Tento menší pokles výkonu se projeví především při překonávání kopcovitého terénu, kdy nebude vozík schopen dosáhnout požadovanou hodnotu rychlosti, která tedy bude nepatrně nižší.

Na druhou stranu aplikované motory disponují, ve srovnání s teoretickým výpočtem, vyšší hodnotou krouticího momentu, což nabízí možnost zdolávání výraznějišších převýšení pochopitelně taktéž při snížené maximální rychlosti.

Tab. 7.4-1: Porovnání parametrů elektromotoru

Parametry	Vypočtené	Reálné
Výkon	593 W	540 W
Krouticí moment	47 Nm	až 60 Nm
Výstupní otáčky	136 rpm	až 188 rpm

### 7.4.3

#### 7.4.3 Odhad kapacity baterií

Baterie vozíku, které slouží jako zdroj elektrické energie, musí disponovat vhodnými parametry, především pak kapacitou, vzhledem k docílení požadovaných provozních vlastností vozíku. Kapacita baterie přímo určuje energetickou výdrž respektive dojezd vozíku, její teoretická hodnota lze určit následujícím způsobem:

- Energie baterie:  $E_b = P_b \cdot t_b$
- Výkon baterie:  $P_b = U_b \cdot I_b$
- Doba, kterou protéká baterií proud I:  $t_b = \frac{C_b \cdot 3600}{I_b}$

Pokud je podělena energie dvou baterií výkonem pohonné soustavy  $P_s$ , lze určit dobu  $t_j$ , která stanovuje, jak dlouho budou schopny dvě baterie napájet pohonnou soustavu o patřičném výkonu.

- Doba napájení pohonné soustavy dvěma bateriemi:  $t_j = \frac{2 \cdot E_b}{P_s}$
- Dojezd vozíku:  $d = t_j \cdot v$

Na základě výše zmíněných vzorců lze určit teoretický vzorec pro výpočet kapacity baterie.

- Kapacita baterie:  $C_b = \frac{d \cdot P_b}{7200 \cdot U_b \cdot v}$

Předpokládané vstupní parametry:

- Dojezd vozíku:  $d = 40 \text{ km} = 40000 \text{ m}$
- Celkový výkon pohonné soustavy:  $P_s = 540 \text{ W}$
- Napětí baterie:  $U_b = 12 \text{ V}$
- Rychlost vozíku:  $v = 2,5 \text{ m/s}$

potom lze stanovit kapacitu takové baterie, která bude schopna kontinuálně dodávat elektrickou energii vozíku pohybujícího se danou rychlostí  $v$  délce trati  $d$ :

$$C_b = \frac{d \cdot P_b}{7200 \cdot U_b \cdot v} = \frac{40000 \cdot 540}{7200 \cdot 12 \cdot 2,5} = 100 \text{ Ah}$$

Použité baterie ve vozíku disponují kapacitou 60Ah, tudíž při zpětném výpočtu by byly schopny poskytnout, při stejných vstupních parametrech, dojezd odpovídající 24 km. Avšak je důležité brát na zřetel, že vozík během svého provozu nebude neustále využívat jak maximálního výkonu svých motorů tak ani své maximální rychlosti, čímž se bude reálný dojezd narůstat. V tomto výpočtu není zakomponován odběr elektrické energie aktuátorem při vzpřimování, či samotným řídicím systémem, což bude mít na velikost potencionálního dojezdu pochopitelně opačný vliv. V reálných podmínkách se bude na celkovém dojezdu vozíku podepisovat především prostředí, ve kterém se bude pohybovat a to z hlediska překonávaného terénu, či teploty prostředí, která má na kapacitu baterie taktéž výrazný vliv. Důležitým faktorem bude i množství provedených vzpřímení mechanismu pomocí aktuátoru. Jelikož do této problematiky vstupuje výrazný počet různých vlivů, bude pak možné reálný dojezd vozíku ověřit až samotnými provozními zkouškami.

Volba baterií byla založena na radě odborníka v dané problematice, inspiraci od konkurenčních vozíků a omezení v zástavbových rozměrech, dle kterých byly zvoleny baterie o maximálních odpovídajících rozměrech a tedy i možné instalovatelné kapacitě.

#### 7.4.4 Rozbor těžiště

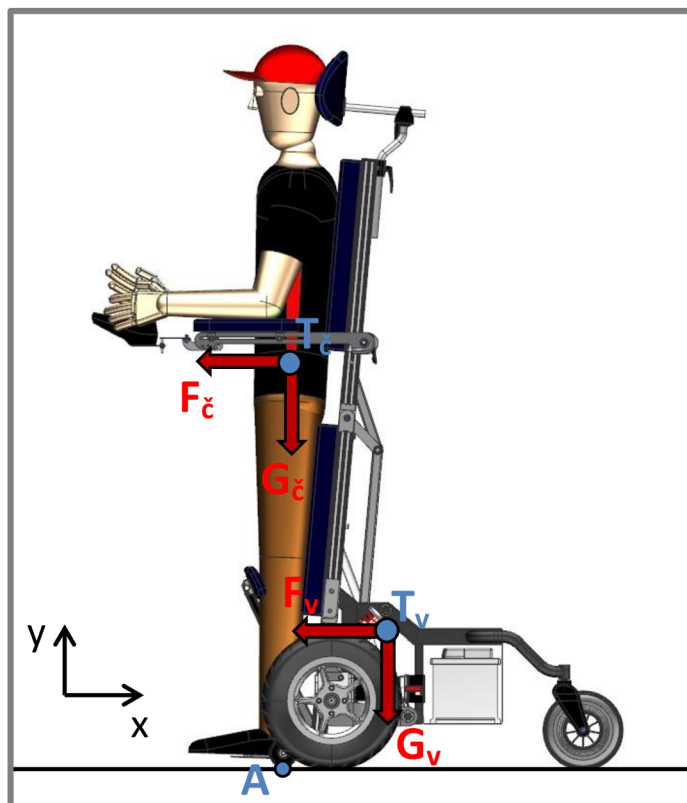
7.4.4

Vzpřímená poloha vozíku výrazně mění polohu jeho těžiště, z tohoto důvodu musí být proveden kontrolní výpočet pro ověření stability vozíku v dané poloze, aby nemohlo dojít k jeho překlopení směrem vpřed. U tohoto výpočtu není uvažováno ohrožení stability v příčném směru. Dále výpočet vychází z předpokladu, že vzpřimování vozíku či případně jeho pohyb ve vzpřímené poloze bude probíhat na dostatečně rovném povrchu, bez výskytu překážek, nerovností, či sklonu povrchu, což by mohlo mít na jeho stabilitu negativní vliv. Ověření stability vozíku bylo provedeno pro dva následující případy, kdy v obou je využita maximální nosnost vozíku 100 kg. Oba tyto případy vychází ze závislosti polohy těžiště samotného vzpřímeného vozíku a polohy těžiště jeho uživatele. Poloha těžiště vozíku byla stanovena pomocí 3D CAD softwaru, kde byly definovány materiály a hmotnosti

všem komponentům celé sestavy, tak aby odpovídaly realitě. Poloha těžiště osoby zatěžující vozík vychází z ergonomických hodnot a předpokladů.

#### Rozbor těžiště při deceleraci vozíku

Jelikož se počítá se zachováním mobility vozíku ve vzpřímené poloze, musí být proveden výpočet mezní decelerace, při níž nemůže dojít k překlopení vozíku. Výpočet vychází z momentové rovnováhy vzhledem k bodu A, což je místo styku podpůrných koleček vozíku s povrchem vozovky, kolem kterého by došlo k překlopení.



Obr. 7.4-4: Rozbor těžiště při deceleraci vozíku

Dáno:

- Hmotnost vozíku:  $m_v = 100 \text{ kg}$
- Hmotnost uživatele vozíku:  $m_č = 100 \text{ kg}$
- Vzdálenost těžiště vozíku  $T_v$  od bodu A:  $x_v = 274 \text{ mm}; y_v = 372 \text{ mm}$
- Vzdálenost těžiště uživatele vozíku  $T_č$  od bodu A:  $x_č = 20 \text{ mm}; y_č = 1050 \text{ mm}$

Platí:

$$\sum M_A = 0$$

$$F_č \cdot y_č + F_v \cdot y_v - G_č \cdot x_č - G_v \cdot x_v = 0$$

$$a \cdot m_{\zeta} \cdot y_{\zeta} + a \cdot m_v \cdot y_v - g \cdot m_{\zeta} \cdot x_{\zeta} - g \cdot m_v \cdot x_v = 0$$

Za předpokladu, že  $m_{\zeta} = m_v$  potom:

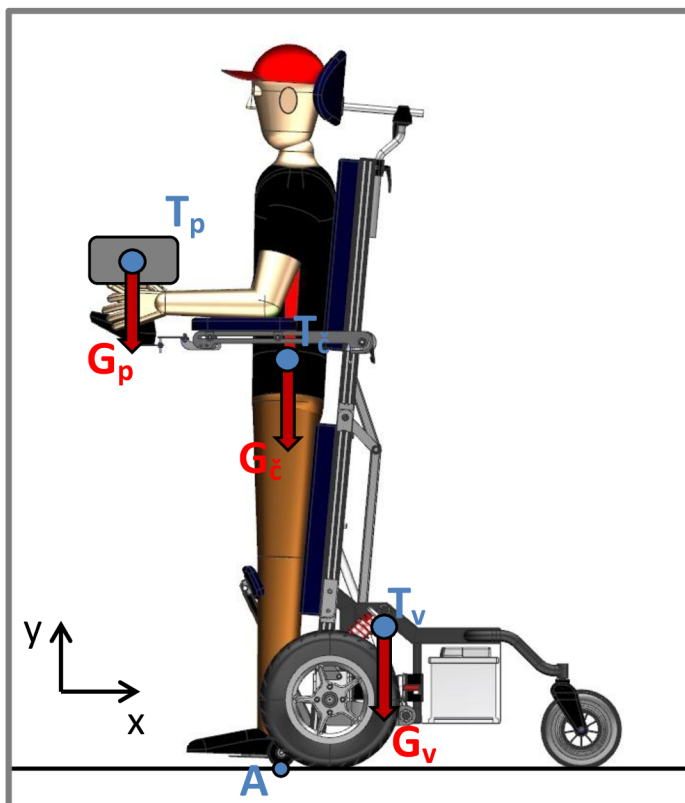
$$\Rightarrow a = g \frac{x_1 + x_2}{y_1 + y_2} = 9,81 \frac{20 + 284}{1050 + 372} = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Mezní decelerace, při níž by došlo ke ztrátě stability vozíku, odpovídá  $2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Jako bezpečná maximální hodnota je zvolena  $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , ta musí být definována v programu řídicího systému pro jízdní režim ve vzpřímené poloze. Tento režim slouží pouze k lokální a drobné manipulaci s vozíkem, má omezené parametry, především pak maximální rychlost, aby nemohlo dojít při pohybu vozíku k ohrožení bezpečnosti jeho uživatele. Pro představu bude-li zvolena maximální rychlost vozíku ve vzpřímené poloze 2 km/h, tak při dané deceleraci vozík zastaví na vzdálenosti 0,11 metru.

V případě potřeby dosažení vyšších hodnot decelerace se nabízí řešení – posunutí podpůrných koleček směrem vpřed, či vhodná konstrukční úprava vozíku za účelem snížení jeho těžiště, případně posunutí jej směrem vzad. Velký vliv na polohu těžiště mají baterie vozíku, které tvoří značnou část jeho hmotnosti. Jejich vhodnou lokací lze docílit příznivější polohy těžiště.

#### *Rozbor těžiště s předmětem v ruce uživatele*

Tento další případ rozboru stability definuje maximální váhu předmětu, který může uživatel vozíku uchopit do předpažených rukou v situaci, kdy vozík stojí na místě. I tato varianta vychází z momentové rovnováhy vzhledem k totožnému bodu A, kolem kterého může dojít k překlopení vozíku.



Obr. 7.4-5: Rozbor těžiště s předmětem v ruce uživatele



Dáno:

- Hmotnost vozíku:  $m_v = 100 \text{ kg}$
- Hmotnost uživatele vozíku:  $m_\zeta = 100 \text{ kg}$
- Vzdálenost těžiště vozíku  $T_v$  od bodu A:  $x_v = 274 \text{ mm}$
- Vzdálenost těžiště uživatele vozíku  $T_\zeta$  od bodu A:  $x_\zeta = 20 \text{ mm}$
- Vzdálenost těžiště předmětu  $T_p$  od bodu A:  $x_p = 700 \text{ mm}$

Platí:

$$\sum M_A = 0$$

$$G_p \cdot x_p - G_\zeta \cdot x_\zeta - G_v \cdot x_v = 0$$

$$m_p \cdot g \cdot x_p - m_\zeta \cdot g \cdot x_\zeta - m_v \cdot g \cdot x_v = 0$$

$$\Rightarrow m_p = \frac{m_\zeta \cdot x_\zeta + m_v \cdot x_v}{x_p} = \frac{100 \cdot 20 + 100 \cdot 284}{700} = 43,4 \text{ kg}$$

Maximální hmotnost předmětu, kterou může uživatel vozíku uchopit do předpažených rukou, odpovídá 43,4 kg. Jelikož se jedná o poměrně vysokou hodnotu, nepředpokládá se, že by byl uživatel schopen takový předmět unést a tudíž po této stránce je stabilita vozíku plně vyhovující.

#### 7.4.5

#### 7.4.5 MKP analýza

Z pevnostního hlediska je nezbytné analyzovat konkrétní komponenty a ověřit tak jejich správné konstrukční řešení a únosnost zatížení. Jako nejdůležitější součást pro analýzu byl zvolen rám podvozku. Jedná se o díl, u kterého lze předpokládat přenos velkých sil a zatížení. MKP analýza byla vyhotovena ve spolupráci s výpočtářem firmy Brano, a.s. Ing. Jiřím Pánkem, který se specializuje na pevnostní analýzy a má v tomto oboru značné zkušenosti. Pro vyhotovení analýzy byl využit software MSC MARC/MENTAT 2008R1.

V analýze rámu byly vytvořeny dva případy simulující statické zatížení. První z nich vychází z předpokladu, že je rám zatěžován hmotností uživatele a vlastní vahou vozíku v jeho běžné poloze. Druhý případ simuluje zatížení rámu v situaci, kdy je zcela vzpřímen zdvihací mechanismus.

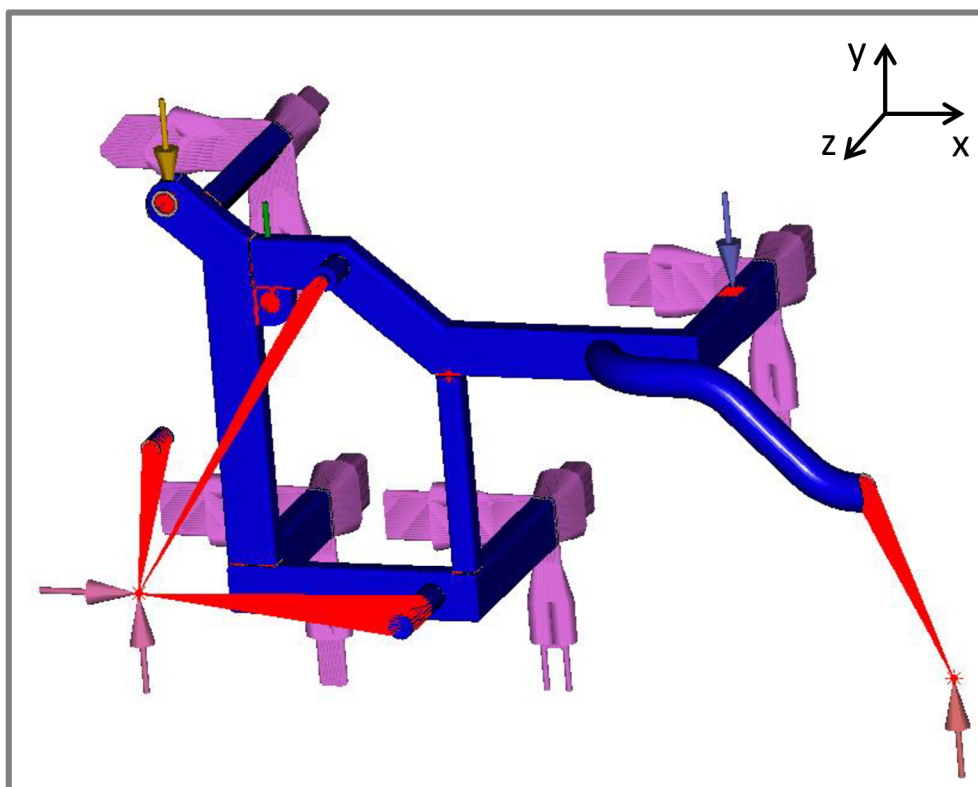
Pro usnadnění výpočtu bylo využito symetrie a mohla tak být analyzována pouze poloviční konstrukce rámu zatěžovaná také polovičními silami.

Tato analýza se zabývá pouze výpočtem samotné konstrukce, která je tvořena pomocí prvků SHELL. Čepy a pouzdra rámu nejsou v této analýze počítány, slouží pouze jako prvky pro zavazbení konstrukce, či k aplikacím síly. Pro úplnou analýzu rámu včetně těchto prvků by bylo nutné vytvořit objemovou úlohu, kde by bylo nezbytné i fyzicky domodelovat všechny svary. Nicméně pro nalezení základních kritických míst a orientačních hodnot maximálního napětí zcela postačí současná varianta řešení.

Materiál, ze kterého je rám vyroben je ocel 11 373, neboli S235JRH, jejíž mez kluzu  $R_e$  odpovídá hodnotě 235 MPa.

### Zavazbení rámu

Symetrická část rámu je zavazbena v daných místech, které odpovídají jejímu reálnému uložení. Jedná se o fixaci na přední nápravu spolu s tlumičem a na zadní vlečné kolo. Pro zjednodušení je však v těchto úlohách funkce tlumiče přední nápravy zanedbána. Jednotlivé profily konstrukce jsou dále fixovány v rovině symetrie xy, a mají tedy omezen pohyb v z-ovém směru a také rotace kolem osy x a y.



Obr. 7.4-1: Vazby a zatížení rámu pro MKP

Po umístění a vytvoření vazeb rámu mohlo být provedeno jeho zatížení. To se taktéž snaží simulovat co nejvěrnější podmínky zatížení blízké těm reálným. Byly stanoveny místa, ve kterých dochází ke kontaktu zdvihacího mechanismu a rámu, tudíž kterými dochází k přenosu sil a zatížení. V přední části rámu se jedná o 2 pouzdra, která slouží k otočnému uchycení mechanismu a dále je zde příčný profil v zadní části rámu, sloužící jako dosedací plocha pro podpůrné profily zdvihacího mechanismu.

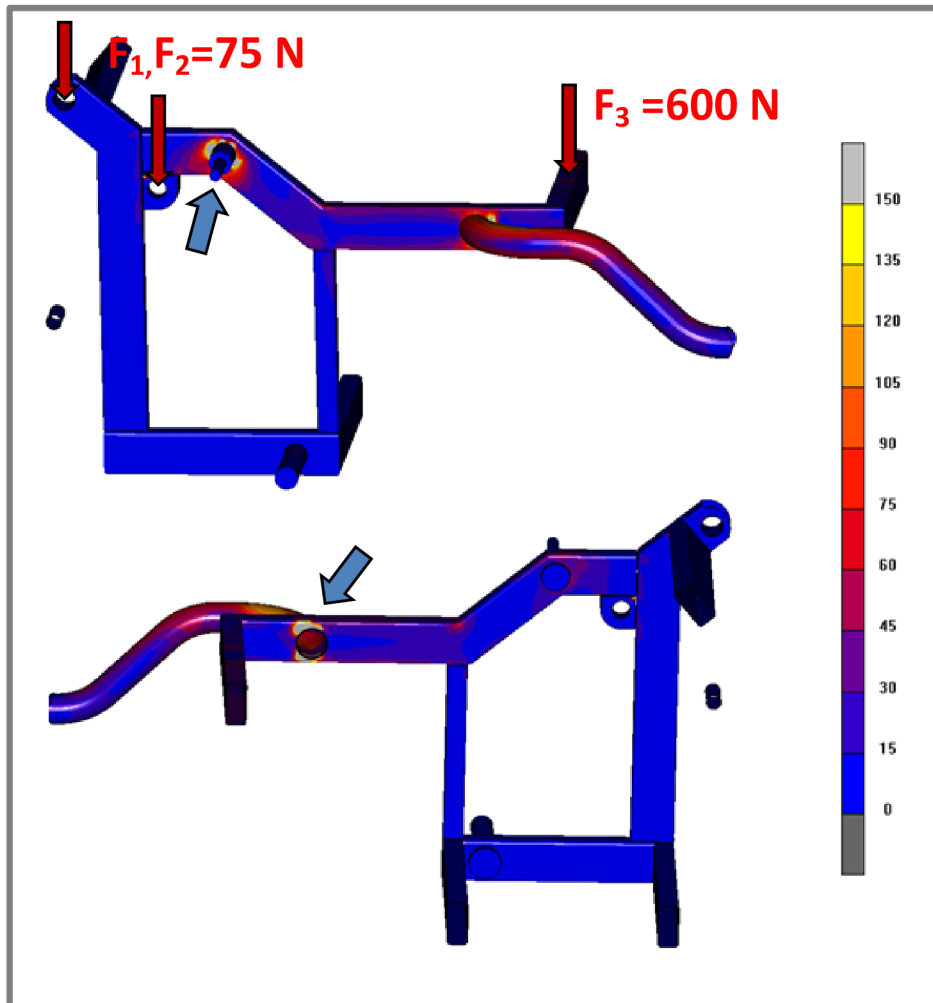
Zatížení je realizováno silami působícími v záporném směru osy y do výše zmíněných míst. Velikost jednotlivých sil závisí na daném způsobu zatížení, resp. poloze mechanismu, kdy se působíště přenášených sil mění.

Nyní následují dva simulované případy zatížení, které budou samostatně blíže popsány. Oba tyto případy vychází z předpokladu zatížení celého rámu břemenem o hmotnosti 150 kg. Vzhledem k tomu, že se jedná o symetrickou úlohu, musí být

tato hodnota snížena na polovinu a následně rozložena do jednotlivých zatěžujících sil.

#### *Zatížení rámu v klasické poloze vozíku*

Toto řešení vychází ze zatížení rámu zdvihacím mechanismem, který je ve své běžné poloze, to znamená, že uživatel na vozíku pouze sedí. V tomto uspořádání je výrazná část zatížení situována do zadní části rámu a tedy do místa působnosti síly  $F_3$ , pouze zlomek tohoto zatížení se promítne v silách na přední části rámu.



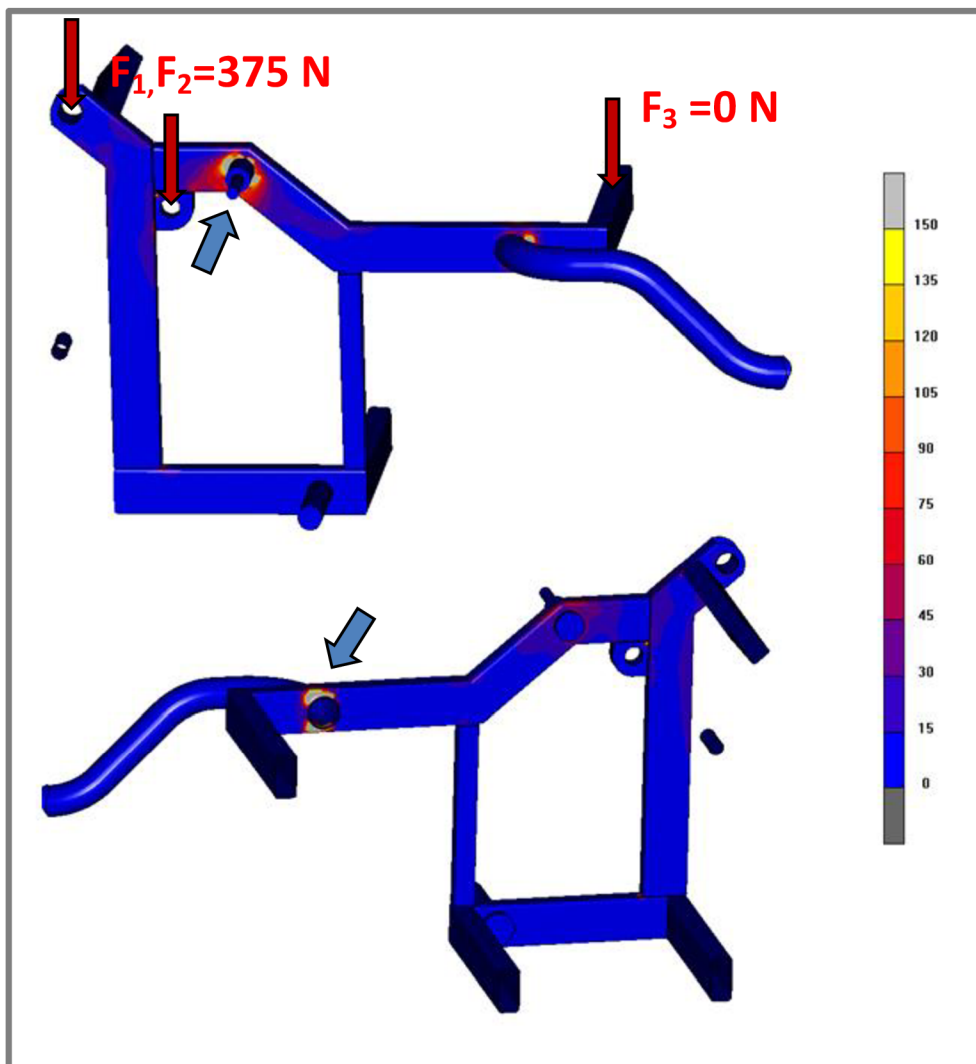
Obr. 7.4-2: MKP rámu, zatížení ve standardní poloze

Výsledkem zatížení je koncentrace napětí v místech označených modrými šipkami. První z nich je místo uložení čepu, který slouží k uchycení tlumiče. Z tohoto důvodu se dala předpokládat vyšší koncentrace napětí důsledkem sil přenášek od nápravy skrze tlumič. Dalším místem je spojení kruhové trubky s obdélníkovým profilem, která slouží k uchycení zadního vlečného kola. V tomto místě se taktéž dalo očekávat zvýšené napětí vzhledem k poměrně velké délce trubky, kde v jejím uchycení bude vznikat výrazný jak ohybový, tak i kroučící moment. Maximální hodnoty redukovaného napětí dle podmínky HMH v obou těchto místech se pohybují v okolí 155 MPa. Nejedná o zcela zanedbatelné hodnoty, nicméně po porovnání s mezí kluzu daného materiálu může být konstatováno, že není ohrožena bezpečnost vůči

meznímu stavu pružnosti. Budou-li svary ve výše uvedených místech vhodně dimenzovány a provedeny, měl by rám tomuto zatížení bez problému odolat.

#### *Zatížení rámu ve vzpřímené poloze vozíku*

V tomto případě je rám vystaven zatížení, které vytváří vzpřímený mechanismus spolu s uživatelem vozíku. Vzhledem ke vzpřímené poloze mechanismu, dochází k aplikaci a rozložení zatížení pouze do sil v přední části rámu, konkrétně do jeho pouzder a úhelníků, ve kterých je mechanismus uchycen. Z tohoto důvodu síla působící v zadní části rámu odpovídá nule.



Obr. 7.4-3: MKP rámu, zatížení ve vzpřímené poloze

U tohoto zatížení dochází nejen ke koncentraci napětí v totožných místech, ale dokonce i k dosažení přibližně stejných hodnot redukovaného napětí jako u předchozího řešení. Tudíž může být konstatováno i stejného výsledku: při porovnání maximální hodnoty redukovaného napětí dle podmínky HMM s mezí kluzu materiálu nemůže dojít k ohrožení bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti. Budou-li svary rámu ve vyznačených místech dostatečně dimenzovány a správně provedeny, pak rám odolá i zatížení ve vzpřímené poloze.

MKP analýza potvrzuje správné konstrukční řešení rámu a jeho schopnost odolat jistému zatížení. Nicméně skutečnou odolnost rámu prokáže až celkové testování vozíku v reálných podmínkách, které případně odhalí jeho kritická místa.

7.5

---

## 7.5 FMEA

Analýza možného výskytu a vlivu vad je dnes již poměrně častou součástí nových výrobků přicházející na trh. Cílem této analýzy je identifikovat místa možného vzniku vady při výrobě. Pro sestavení takovéto analýzy je nutná dokonalá znalost daného produktu a také odborný tým napříč více obory, jelikož pro každého člena je podstatná jiná část výroby. [31]

Invalidní vozík také prošel základní formou této analýzy. Jelikož se předpokládá jeho následující vývoj a případná sériová výroba, musí být tato analýza jeho nezbytnou součástí. Momentální varianta této analýzy pochází z raného vývoje vozíku a pouze nastiňuje její princip. Zabývá se případnými riziky poškození jednotlivých částí vozíku či nebezpečí jeho nehody jako celku. Analýza je uvedena v příloze č. 2.

7.6

---

## 7.6 Cenová kalkulace

Výsledná cena současné varianty prototypu se vyšplhala na 73 356,- Kč, jedná se však o částku udávající pouze náklady na materiál a nakupované komponenty, není zde zahrnuta práce na prototypu či náklady na výrobu dílů. Porovnáme-li tuto hodnotu s cenou konkurenčních vozíků, jedná se o poměrně uspokojivý výsledek. Faktem je také, že náklady na vznik jednoho vozíku by byly při sériové výrobě výrazně nižší, jelikož by cena nákladných nakupovaných komponentů při jejich větším odběru klesala. Tato poznámka směřuje především k pohonům, které tvoří více jak jednu čtvrtinu celkové ceny prototypu. Pro přesnější srovnání s konkurenčními vozíky je však nutné připočítat také náklady na výrobu prototypu, které cenová kalkulace nezahrnuje. Také vzhledem k tomu, že se nejedná o výsledné sériové řešení vozíku dá se předpokládat, že jeho cena bude ještě růst. Kompletní cenová kalkulace všech komponentů a dílů vozíku je uvedena v příloze č. 1.

## 8 VÝROBA A VZNIK PROTOTYPU

Vozík sestávající se z více než 600 komponentů provázela ne zcela jednoduchá výroba a sestavení. Jelikož některé nakupované díly vozíku pocházejí nejen z evropských zemí, ale také např. z Tchaj-wanu, bylo nutné vznik prototypu vhodně naplánovat a především nakupované komponenty s dostatečným předstihem objednat.

V průběhu objednávání potřebných komponentů mohla být postupně zahájena výroba dílů a prvků v prototypové dílně. V první řadě byl kladen důraz na svařované a stěžejní komponenty jako rám, nápravy atd. Také byla zadána externím firmám výroba tvarově složitějších a rozměrově větších plechových součástí, u kterých bylo nutné využít elektroerozivní drátovou rezačku. Dále byly vyráběny drobnější prvky a díly pocházející ze zdvihacího mechanismu, paralelně také probíhala výroba tlumičů vyvíjených pro tento účel. Po výrobě a kontrole svařovaných dílů bylo provedeno jejich kataforické lakování. Drobné součástky a díly, které slouží jako pohyblivé prvky, u nichž dochází k častému otěru ploch, byly podrobeny povrchové úpravě zinkováním.

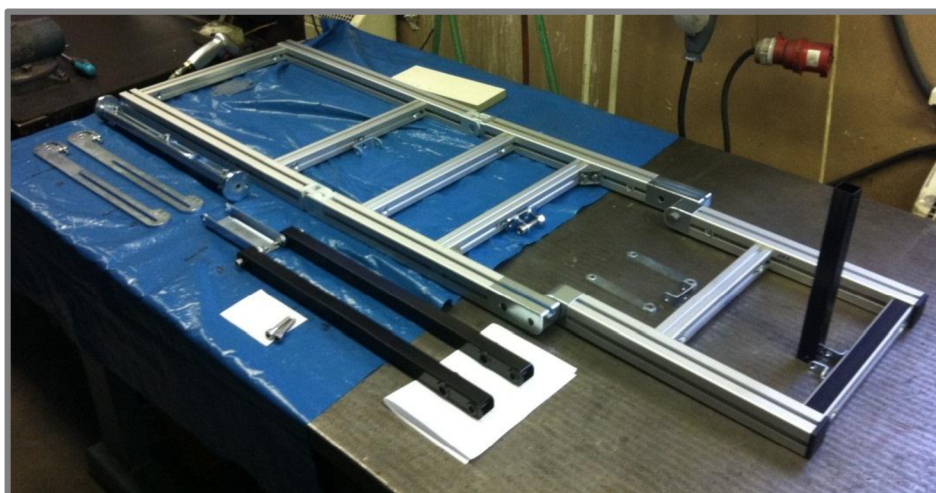


Obr. 8.0-1: Vyrobený rám

Jakmile firma obdržela všechny elektrické komponenty včetně řídicího systému, proběhlo jejich testovací zapojení, aniž by byly instalovány na vozík. Byla tak ověřena správná funkce dílčích celků a jejich odezva na samotný řídicí systém.

Po dokončení výroby mechanických komponent a ověření funkce elektrických prvků mohlo dojít k sestavení podvozku vozíku. Na rám byly instalovány veškeré komponenty včetně elektroinstalace a tedy podvozek jako celek mohl být podroben základní zkouškám v pohybu. Byla testována jeho mobilita, celková trajektorie podvozku, manévrovatelnost, schopnost tlumení nerovností pomocí náprav a tlumičů. Značná část ladění podvozku byla věnována programování jeho řídicí jednotky, kde bylo nutné nastavení jednotlivých rychlostních režimů a vyladění odezvy a citlivosti joysticku.

Při dosažení uspokojivých výsledků po testování podvozku mohla být zahájena kompletizace zdvihacího mechanismu. Ta spočívala ve složení konstrukce mechanismu z hliníkových profilů a instalaci všech dílčích celků a komponent.



Obr. 8.0-2: Vyrobený a zkompletovaný zdvihací mechanismus

Ve chvíli, kdy byl sestaven zdvihací mechanismus, mohlo dojít k jeho montáži na podvozek a zahájit tak kompletní testování celé sestavy vozíku. A tedy sledování a ověřování vzpřimovací funkce, její ergonomické aspekty, dále jízdní vlastnosti zatíženého vozíku jak v běžné tak i ve vzpřímené poloze, tuhost konstrukce, schopnost překonávání překážek, dojezd atd.



Obr. 8.0-3: Kompletní vyrobený vozík 1



Obr. 8.0-4: Kompletní vyrobený vozík 2

## ZÁVĚR

---

Předložený diplomový projekt s názvem „Vzpřimovací elektrický invalidní vozík“ reaguje na potřeby a ekonomické podmínky v oblasti trhu se zdravotními pomůckami. Z této podstaty vyvěrá i cíl práce (kapitola č. 4), který v první řadě spočívá v realizaci funkčního prototypu. Obsah práce je proporcionálně vyvážen a rozložen na část teoretické podstaty a samotné konstrukční zpracování daného problému.

Teoretický rozbor vychází striktně ze studia aktuálních trendů a literatury situované do oblasti elektrických vzpřimovacích vozíků. Tím se v celé šíři vnáší do povědomí ucelený obraz v projektu řešené problematiky.

Druhá část diplomového díla seznamuje přehledně s detaily vlastní koncepce konstrukčního řešení tohoto polohovacího přístroje. Přináší jednoduchý systém konstrukce spolu se spolehlivou funkčností, to zaručuje vozíku kompaktní rozměry a především nízkou hmotnost ve srovnání s konkurencí. Zdvihací mechanismus vozíku tvořený hliníkovými profily vyniká svou lehkostí a dynamikou, respektuje ergonomické parametry, nabízí širokou variabilitu a je schopen adaptability dle konkrétních uživatelů. Podvozek vozíku disponuje neobyčejnou obratností a manévrovatelností, která je velkou výhodou obzvláště v interiérových prostorech. Pro nezbytný komfort jízdy a pohyb v exteriéru je podvozek vybaven kyvnými nezávislými nápravami spolu s tlumiči, které společně poskytují perfektní absorpci překonávaných překážek a nerovností. Srdcem elektrického systému starajícího se o pohon vozíku je řídicí programovatelná jednotka propojená s ovládacím panelem, který nabízí intuitivní ovládání včetně možnosti volby jízdních režimů a další funkce. Výkonné elektromotory v kombinaci s touto jednotkou jsou dostatečně pružné a disponují jak velkou citlivostí při jemné manipulaci s vozíkem, tak i dostatečnou rychlostí a silou při překonávání větších vzdáleností či kopcovitého terénu. Důležitým prvkem realizující vzpřimování zdvihacího mechanismu je lineární aktuátor. Jedná se o spolehlivou elektrickou součást, která je připravena v každém okamžiku rychle a plynule vzpřimit uživatele vozíku. Zdrojem elektrické energie jsou vysokokapacitní trakční baterie poskytující její dostatečné množství po celou dobu dojezdu vozíku.

Zmíněné prvky elektrického systému jsou detailně propočítány a dimenzovány na adekvátní zatížení vozíku. Jejich parametry jsou vhodně vyváženy a poskytují tak vozíku ideální výkon pro jeho danou aplikaci. Výpočtová část práce také obsahuje MKP analýzu rámu podvozku, která potvrzuje jeho správné konstrukční řešení a odolnost proti značnému zatížení, kterému je vystaven. Značný důraz byl kladen na to, aby stabilita vozíku v jeho vzpřimované nebyla ohrožena. Pro dané konstrukční řešení byla mimo jiné stanovena maximální decelerace, kterou vozík může zpomalovat, či maximální hmotnost předmětu, který může být uchopen do předpažených rukou uživatele vozíku.

Vzhledem k výše zmíněným skutečnostem může být potvrzeno splnění primárního cíle práce a to vytvoření funkčního prototypu s jednoduchou a zároveň funkční konstrukcí.

Prototyp po kompletizaci prošel úspěšně základními testy funkčnosti a stability. V nejbližší době bude předán k dlouhodobému testování v rehabilitačním ústavu v Hrabyni, což přinese nové poznatky a informace potřebné k vytvoření a dokončení sériové varianty vozíku.



Cenová kalkulace dokazuje, že je splněn i sekundární cíl práce, který předpokládal nízkou prodejní cenu vozíku, jenž bude srovnatelná s elektrickými vozíky běžného typu. Tento fakt také potvrzuje potencionální konkurenceschopnost vozíku a možnost zaujmout relativně výhodnou pozici na trhu se zdravotními pomůckami. Je důležité brát na zřetel fakt, že se ještě nejedná o sériovou variantu řešení. Vzhledem k neukončenému vývoji vozíku se očekává, že jeho cena bude dále růst a to nejen z vývojového hlediska, ale také vzhledem k případným lékařským atestacím, bez kterých se sériová varianta neobejde.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

---

- [1] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 173 s. ISBN 978-80-01-03802-4.
- [2] CHUNDELA, Lubor. *Strojírenská ergonomie: příklady*. Vyd. 2. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007, 119 s. ISBN 978-80-01-03801-7.
- [3] ERBAN, Václav. *Fyziologie práce a ergonomie*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003, 160 s. ISBN 80-708-3767-5.
- [4] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [5] Wheeling in the New Millennium: The history of the wheelchair and the driving forces in wheelchair design today. *WheelchairNet* [online]. 2002-06-13 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: [http://www.wheelchairnet.org/WCN\\_WCU/SlideLectures/Sawatzky/WC\\_history.html](http://www.wheelchairnet.org/WCN_WCU/SlideLectures/Sawatzky/WC_history.html)
- [6] Wheelchair. *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wheelchair>
- [7] ŠAFAŘÍKOVÁ, Barbora. *Problematika cestování handicapovaných se zaměřením na dopravu a ubytování*. Hradec Králové, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Hradce Králové, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Ing. Eva Zbořilová.
- [8] FILIPEC, Petr. *Studie elektrického invalidního vozíku*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Pavel Švejda.
- [9] Invalidní vozíky. *Vaše poradna o zdravotních pomůckách* [online]. 2010 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.pomucky-poradna.cz/invalidni-voziky/>
- [10] Co znamená poškození míchy?. *Česká asociace paraplegiků* [online]. 2010 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.czepa.cz/poraneni-michy/>
- [11] British made 'Carbon Black' a wheelchair revolution. *Medilink* [online]. 2011-11-17 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: [http://www.medilink.co.uk/news/british\\_made\\_carbon\\_black\\_a\\_wheelchair\\_revolution\\_11-10-17.aspx](http://www.medilink.co.uk/news/british_made_carbon_black_a_wheelchair_revolution_11-10-17.aspx)
- [12] Standing for Life. *The Standing Company* [online]. 2009 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: [http://www.thestandingcompany.com/about/news\\_detail.php?id=15](http://www.thestandingcompany.com/about/news_detail.php?id=15)

- [13] REHABILITATION ENGINEERING & ASSISTIVE TECHNOLOGY SOCIETY OF NORTH AMERICA. *RESNA Position on the Application of Wheelchair Standing Devices*. Arlington, 2007. Dostupné z: [http://www.rstce.pitt.edu/RSTCE\\_Resources/Resna\\_position\\_on\\_wheelchair\\_standers.pdf](http://www.rstce.pitt.edu/RSTCE_Resources/Resna_position_on_wheelchair_standers.pdf)
- [14] About LEVO. *LEVO AG: The experts of standing* [online]. 2010 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.levo.ch/en/about-levo.html>
- [15] LEVO active-easy LAE. *LEVO AG: The expert of standing* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.levo.ch/en/products/levo-active-easy-lae.html>
- [16] LEVO C3. *LEVO AG: The expert of standing* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.levo.ch/en/products/levo-c3.html>
- [17] Vision and mission. *Permobil* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://permobil.com/Permobil-Export/About-us/>
- [18] C500 VS: A chair with a view. *Permobil* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://permobil.com/Permobil-Export/Products/Rehab/C500-VS/>
- [19] Elektrické vozíky: Permobil C500. *Ortoservis* [online]. 2005 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://ortoservis.cz/pages/elektricke\\_voziky/sub/Permobil/permobilC500.php](http://ortoservis.cz/pages/elektricke_voziky/sub/Permobil/permobilC500.php)
- [20] Lineární aktuátor LA31. *LINAK* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.linak.cz/products/Linear-Actuators.aspx?product=LA31+CARELINE>
- [21] VARTA PROFESSIONAL DEEP CYCLE. VARTA [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.varta-automotive.com/index.php?id=476&L=3>
- [22] Elektromotor. *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
- [23] Olověný akumulátor. *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Olověný\\_akumulátor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Olověný_akumulátor)
- [24] VR2. *PG drives technology* [online]. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://pgdt.com/products/vr2/index.html>
- [25] ROLKO. *Powerchairwheels*. 2006. Dostupné z: [http://rolko.info/cms/fileadmin/user\\_upload/files/pdf/Reha-Katalog/Rolko\\_e\\_stuhl\\_72.pdf](http://rolko.info/cms/fileadmin/user_upload/files/pdf/Reha-Katalog/Rolko_e_stuhl_72.pdf)

- [26] DELFI REHA. *Kolečka s foukaným pláštěm*. 2008. Dostupné z: <http://delfi-reha.cz/pdf/cze/01C-kolecka-s-foukanym-plastem.pdf>
- [27] DELFI REHA. *Vidlice pro kolečka*. 2008. Dostupné z: <http://delfi-reha.cz/pdf/cze/06-vidlice.pdf>
- [28] STREET CORPUS: The urban challenger. *Permobil* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://permobil.com/Permobil-Export/Products/Rehab/Street-Corpus/>
- [29] Panthera X. *Panthera* [online]. 2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.panthera.se/panthera\\_eng/products/X.htm](http://www.panthera.se/panthera_eng/products/X.htm)
- [30] *Plasty s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.plasty-jablonec.cz/>
- [31] FMEA. *Wikipedia* [online]. 2011, 29. 12. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/FMEA>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$F_G$	[N]	- síla odpovídající hmotnosti uživatele spolu s mechanismem
$F_A$	[N]	- síla vyvozená lineárním aktuátorem
$l_1$	[mm]	- vzdálenost působíště síly $F_A$ od bodu X
$l_2$	[mm]	- vzdálenost působíště síly $F_G$ od bodu X
$X$	[-]	- bod, kolem kterého dochází k otáčení a zdvihání mechanismu
$\varphi$	[°]	- úhel naklonění lineárního aktuátoru
$M_A$	[N·m]	- moment vyvozený silou $F_A$
$M_G$	[N·m]	- moment vyvozený silou $F_G$
$m$	[kg]	- celková hmotnost zatíženého vozíku
$r$	[m]	- poloměr hnacího kola
$\eta$	[%]	- předpokládaná účinnost elektromotoru
$v_{max}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	- maximální rychlost vozíku
$t$	[s]	- doba dosažení maximální rychlosti
$a$	[m·s <sup>-2</sup> ]	- zrychlení/decelerace vozíku
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	- gravitační zrychlení
$F$	[N]	- síla vynaložená pro dosažení maximální rychlosti
$G$	[N]	- tíhová síla zatíženého vozíku
$T$	[-]	- těžiště zatíženého vozíku
$M_k$	[N·m]	- kroutící moment
$n$	[s <sup>-1</sup> ]	- otáčky kola
$P_{teor}$	[W]	- teoretický výkon elektromotoru
$P_{real}$	[W]	- reálný výkon elektromotoru
$\alpha$	[°]	- úhel stoupání
$E_b$	[J]	- energie baterie
$P_b$	[W]	- výkon baterie
$I_b$	[A]	- proud protékající baterií
$U_b$	[V]	- napětí baterie
$t_b$	[s]	- doba, kterou protéká baterií proud $I_b$
$C_b$	[Ah]	- kapacita baterie
$t_j$	[s]	- doba napájení soustavy dvěma bateriemi
$P_s$	[W]	- výkon pohonné soustavy
$d$	[m]	- dojezd vozíku
$v$	[m·s <sup>-1</sup> ]	- rychlost vozíku
$m_v$	[kg]	- hmotnost vozíku
$m_{\check{c}}$	[kg]	- hmotnost uživatele vozíku
$A$	[-]	- bod kolem, kterého hrozí překlopení vozíku
$T_v$	[-]	- těžiště vozíku ve vzpřímené poloze
$T_{\check{c}}$	[-]	- těžiště uživatele vozíku
$T_p$	[-]	- těžiště předmětu uchopeného v ruce uživatele

$F_v$	[N]	- síla vyvozená decelerací vozíku
$F_{\xi}$	[N]	- síla vyvozená decelerací těla uživatele vozíku
$G_v$	[N]	- tíhová síla vozíku
$G_{\xi}$	[N]	- tíhová síla těla uživatele vozíku
$G_p$	[N]	- tíhová síla předmětu uchopeného v rukou uživatele
$x_v$	[mm]	- x-ová souřadnice vzdálenosti těžiště $T_v$ od bodu $A$
$x_{\xi}$	[mm]	- x-ová souřadnice vzdálenosti těžiště $T_{\xi}$ od bodu $A$
$y_v$	[mm]	- y-ová souřadnice vzdálenosti těžiště $T_v$ od bodu $A$
$y_{\xi}$	[mm]	- y-ová souřadnice vzdálenosti těžiště $T_{\xi}$ od bodu $A$
$F_1$	[N]	- zatěžující síla pouzdra v přední části rámu podvozku
$F_2$	[N]	- zatěžující síla úhelníku v přední části rámu podvozku
$F_3$	[N]	- zatěžující síla příčného profilu v zadní části rámu podvozku
2D		- dvoudimenzionální
3D		- trojdimenzionální
CAD		- počítačem podporované kreslení
MKP		- metoda konečných prvků
FMEA		- analýza možného výskytu a vlivu vad

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. 2.1-1:</b> Standardní mechanický vozík [9] .....	15
<b>Obr. 2.1-2:</b> Transportní mechanický vozík [9] .....	16
<b>Obr. 2.1-3:</b> Aktivní mechanický vozík Panthera X [29] .....	17
<b>Obr. 2.2-1:</b> Elektromotor [8] .....	18
<b>Obr. 2.2-2:</b> Ovládání [24] .....	18
<b>Obr. 2.2-3:</b> Baterie [21] .....	19
<b>Obr. 2.2-4:</b> Interiérový elektrický invalidní vozík [9] .....	19
<b>Obr. 2.2-5:</b> Exteriérový elektrický invalidní vozík [28] .....	20
<b>Obr. 3.1-1:</b> Mechanický vzpřimovací vozík [15] .....	21
<b>Obr. 3.2-1:</b> Vzpřimovací vozík LEVO C3 [16] .....	23
<b>Obr. 3.2-2:</b> Vzpřimovací vozík LEVO C3 [16] .....	23
<b>Obr. 3.2-3:</b> Vzpřimovací vozík Permobil C500 [18] .....	24
<b>Obr. 7.0-1:</b> Vzpřimovací vozík v základní poloze .....	28
<b>Obr. 7.0-2:</b> Vozík ve vzpřimené poloze .....	28
<b>Obr. 7.1-1:</b> Vozík - pohled z boku 1 .....	28
<b>Obr. 7.1-2:</b> Vozík - pohled zepředu .....	28
<b>Obr. 7.1-3:</b> Vozík - pohled z boku 2 .....	28
<b>Obr. 7.2-1:</b> Zdvihací mechanismus v základní poloze .....	29
<b>Obr. 7.2-2:</b> Vzpřimovaný zdvihací mechanismus .....	29
<b>Obr. 7.2-3:</b> Kinematické schéma 1 .....	30
<b>Obr. 7.2-4:</b> Kinematické schéma 2 .....	30
<b>Obr. 7.2-5:</b> Průběh vzpřimování a dosednutí podpůrných koleček mechanismu k zemi .....	31
<b>Obr. 7.2-6:</b> Podpůrná kolečka mechanismu .....	31
<b>Obr. 7.2-7:</b> Spojení profilů pom. úhelníku .....	32
<b>Obr. 7.2-8:</b> Spojení profilů pomocí kloubu .....	32
<b>Obr. 7.2-9:</b> Ergonomické schéma [1] .....	33
<b>Obr. 7.2-10:</b> Umístění textilní podpory .....	33
<b>Obr. 7.2-11:</b> Polstrování s textilní podporou .....	33
<b>Obr. 7.2-12:</b> Hlavová opěrka .....	34
<b>Obr. 7.2-13:</b> Loketní opěrky .....	34
<b>Obr. 7.2-14:</b> Kolenní opora .....	35
<b>Obr. 7.2-15:</b> Podnožky .....	36
<b>Obr. 7.2-16:</b> Textilní popruh [30] .....	36
<b>Obr. 7.2-17:</b> Trojzubec [30] .....	36
<b>Obr. 7.2-18:</b> Složený mechanismus vozíku 1 .....	37
<b>Obr. 7.2-19:</b> Složený mechanismus vozíku 2 .....	37
<b>Obr. 7.2-20:</b> Uložení mechanismu na podvozku .....	38
<b>Obr. 7.3-1:</b> Podvozek .....	39
<b>Obr. 7.3-2:</b> Rám .....	40
<b>Obr. 7.3-3:</b> Kompletní náprava .....	40
<b>Obr. 7.3-4:</b> Kyvné rameno nápravy .....	40
<b>Obr. 7.3-5:</b> Tlumič .....	41
<b>Obr. 7.3-6:</b> Hnací kolo [25] .....	42
<b>Obr. 7.3-7:</b> Náboj kola .....	42
<b>Obr. 7.3-8:</b> Vidlice [27] .....	42
<b>Obr. 7.3-9:</b> Vlečné kolečko [26] .....	42
<b>Obr. 7.3-10:</b> Motor .....	43

<b>Obr. 7.3-11:</b> Lineární aktuátor [20] .....	44
<b>Obr. 7.3-12:</b> Trakční baterie [21] .....	45
<b>Obr. 7.3-13:</b> Ovládací panel [24].....	46
<b>Obr. 7.3-14:</b> Řídící jednotka ovládání [24].....	46
<b>Obr. 7.4-1:</b> Schéma působení síly aktuátoru.....	47
<b>Obr. 7.4-2:</b> Schéma jízdy po rovině.....	48
<b>Obr. 7.4-3:</b> Schéma jízdy do kopce .....	49
<b>Obr. 7.4-4:</b> Rozbor těžiště při deceleraci vozíku .....	52
<b>Obr. 7.4-5:</b> Rozbor těžiště s předmětem v ruce uživatele .....	53
<b>Obr. 7.4-1:</b> Vazby a zatížení rámu pro MKP .....	55
<b>Obr. 7.4-2:</b> MKP rámu, zatížení ve standardní poloze .....	56
<b>Obr. 7.4-3:</b> MKP rámu, zatížení ve vzpřímené poloze .....	57
<b>Obr. 8.0-1:</b> Vyroběný rám .....	59
<b>Obr. 8.0-2:</b> Vyroběný a zkompletovaný zdvihací mechanismus .....	60
<b>Obr. 8.0-3:</b> Kompletní vyroběný vozík 1 .....	60
<b>Obr. 8.0-4:</b> Kompletní vyroběný vozík 2 .....	60



---

## SEZNAM TABULEK

<b>Tab. 3.2-1:</b> Parametry vozíku LEVO C3 [16] .....	23
<b>Tab. 3.2-2:</b> Parametry vozíku Permobil C500 [18] .....	24
<b>Tab. 7.1-1:</b> Parametry vozíku v porovnání s konkurencí .....	29
<b>Tab. 7.2-1:</b> Parametry vozíku v porovnání s konkurencí .....	37
<b>Tab. 7.3-1:</b> Parametry elektromotoru .....	43
<b>Tab. 7.3-2:</b> Parametry aktuátoru [20] .....	44
<b>Tab. 7.3-3:</b> Parametry baterie [21] .....	45
<b>Tab. 7.4-1:</b> Porovnání parametrů elektromotoru .....	50

## SEZNAM PŘÍLOH

---

- Příloha 1:** Cenová kalkulace vozíku  
**Příloha 2:** FMEA  
**Příloha 3:** Výkresová dokumentace a výkonová charakteristika elektromotorů  
**Příloha 4:** Dokumentace lineárního aktuátoru  
**Příloha 5:** Specifikace řídicího systému

### **Výkresová dokumentace:**

Výkres sestavení vzpřimovacího vozíku	č. v.: 01-IV12-00
Výkres podsestavy zdvihacího mechanismu	č. v.: 01-IV12-01
Výkres podsestavy levé nápravy	č. v.: 02-IV12-02
Výkres podsestavy pravé nápravy	č. v.: 02-IV12-03
Výrobní výkres rámu	č. v.: 02-IV12-04

*Poznámka* – Komplettní výkresová dokumentace bude pro nahlédnutí k dispozici během obhajoby práce.