

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program:
Studijní zaměření:

2302T040 Strojní inženýrství
Konstrukce zdravotnické techniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pomůcka pro tělesně postižené určená pro překonávání obtížného terénu

Autor:

Bc. Václav Panuška

Vedoucí práce:

Ing. Roman Čermák, PhD.

Akademický rok 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav PANUŠKA**
Osobní číslo: **S11N0032P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce zdravotnické techniky**
Název tématu: **Pomůcka pro tělesně postižené určená pro překonávání obtížného terénu**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Zmapujte podle možností aktuální nabídku podobných zařízení na trhu v ČR a ve světě. Zpracujte požadavkový list pro navrhované zařízení. Vypracujte varianty konstrukčního řešení a proveďte jejich zhodnocení. Vypracujte konstrukční návrh vybrané varianty. Proveďte potřebné technické výpočty a simulace. Zpracujte potřebnou výkresovou dokumentaci zařízení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Specifikace požadavků, rešerše dostupných realizací
2. Varianty konstrukčního řešení
3. Konstrukční návrh vybrané varianty
4. Výpočty, simulace, technická dokumentace

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

BRONZINO, D. J. *The Biomedical Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000

KHENG, T. Y. *Rehabilitation Engineering*. Vukovar: In-Tech, 2009

LANCIONI, G.E., SIGAFOOS, J., O'REILLY, M.F., SINGH, N. N. *Assistive Technology*. : Springer Verlag, 2013

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**


Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Barták**

KKS

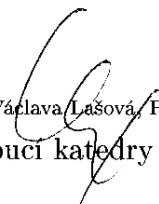
Datum zadání diplomové práce: **24. září 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.

děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 24. září 2012

Prohlášení o autorství:

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

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.“

V Plzni dne:

.....

(Podpis autora)

Poděkování

„Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi pomáhali při tvorbě této diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Bartákovi, kteří toto téma vymysleli a kteří mi věnovali svůj drahocenný čas ohledně vedení, potažmo konzultací k této diplomové práci. Dále mé díky patří Davidu Lukešovi za jeho cenné a přínosné rady při tvorbě této práce.“

„Také bych chtěl poděkovat své rodině a všem blízkým za podporu během celého studia na vysoké škole.“

Václav Panuška, Oselce, 23. května 2013

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Panuška	Jméno Václav	
STUDIJNÍ OBOR	2302T040 „Konstrukce zdravotnické techniky“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, PhD.	Jméno Roman	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Pomůcka pro tělesně postižené určená pro překonávání obtížného terénu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	143	TEXTOVÁ ČÁST	101	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh pomůcky pro tělesně postižené, pomocí které by mohli zdolávat obtížnější terény. Za obtížnější terén jsou považovány lesní cesty, kamenitý, písčinný nebo zasněžený terén nebo také městské parky se špatným přístupem.</p> <p>V práci jsme zmapovali současný trh s těmito pomůckami, který je velmi široký.</p> <p>Udělali jsme vlastní návrh několika řešení, ze kterých jsme vybrali jedno finální, které jsme dále zpracovali a podrobili výpočetní analýze. Navrhli jsme řídicí elektroniku vozíku a odhadli jeho hrubou výrobní cenu.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Invalidní vozík do terénu, hub motory, motory pro invalidní vozíky, stabilita tříkolového vozíku, tělesně postižení, norma ČSN EN 12184,</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Panuška	Name Václav	
FIELD OF STUDY	2302T040 “ Medical Technique Design“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, PhD.	Name Roman	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Device for physically disabled people intended for overcoming difficult terrain		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	143	TEXT PART	101	GRAPHICAL PART	20
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This diploma thesis is focused on design study of wheelchair for overcoming difficult terrains. The difficult terrain is represented by snow terrain, sand terrain, forrest roads or rocky roads.</p> <p>Several proposals have been made, subsequently the best designe have been chosen. This design study have been undergone to FEM calculations. In the next steps the wheelchair electronics have been made. In the final step the rough price of the wheelchair have been determined.</p>
KEY WORDS	Terrain wheelchair, hub motors, wheelchair motors, stability of 3 wheeled chassis, disabled people, standard ČSN EN 12184

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Historie invalidních vozíků	1
1.2	Trh s invalidními vozíky dnes	2
1.3	Problematika běžných mechanických a elektrických vozíků pro jízdu v obtížných terénech	3
1.3.1	Přednosti a omezení běžných mechanických invalidních vozíků pro jízdu v terénu	4
1.3.2	Přednosti a omezení elektrických vozíků pro jízdu v terénu	4
1.4	Invalidní vozíky a jejich uživatelé	5
1.4.1	Tělesná postižení	5
2	Dostupnost invalidních vozíků pro obtížné terény	8
2.1	Mechanické (manuální) vozíky	8
2.1.1	Baloon Off Road Wheelchair	8
2.1.2	Mountain Trike	9
2.1.3	TREKINETIC Wheelchair	10
2.1.4	Shrnutí - mechanické (manuální) vozíky	10
2.2	Elektrické vozíky	11
2.2.1	Kolové elektrické vozíky	11
2.2.2	Pásové elektrické vozíky	18
2.2.3	Shrnutí - elektrické vozíky	20
2.3	Podvozky pro invalidní vozíky	21
2.3.1	Kolové podvozky	21
2.3.2	Pásové podvozky	22
2.3.3	Shrnutí - podvozky pro invalidní vozíky	23
3	Technická norma ČSN EN 12184	25
3.1	Všeobecné požadavky	25
3.2	Konstrukční požadavky a požadavky na funkční způsobilost	26
3.2.1	Opěry nohou, bérců a paží	26
3.2.2	Brzdové systémy	26
3.2.3	Volnoběh	26
3.2.4	Hmotnost jednotlivých dílů	27
3.2.5	Pouzdra a schránky na baterie	27
3.2.6	Ovládací prvky určené k obsluze uživatelem	27
3.2.7	Ovládací síly	28
3.3	Doporučené konstrukční vlastnosti	28
3.3.1	Zařízení proti převrácení	28

3.3.2	Opěrka hlavy	28
3.3.3	Ukazatele poruch a stavu baterie	28
3.3.4	Osvětlení	29
4	Antropometrie člověka a ergonomie vozíku	30
4.1	Ergonomie vozíku	31
4.2	Sedací systémy pro invalidní vozíky	31
4.2.1	Sedací systémy společnosti Handicare	31
4.2.2	Sedací systémy společnosti Permobil	32
5	Požadavky na vozík a Engineering Design Science	34
5.1	Dotazník	34
5.1.1	Vyhodnocení dotazníku	34
5.2	Vlastnosti vozíku	38
5.2.1	Přepravitelnost vozíku	38
5.2.2	Tuhost a stabilita rámu	39
5.2.3	Váha a velikost	40
5.2.4	Doba výdrže baterií	41
5.2.5	Pohon a úroveň překonávání překážek	42
5.2.6	Způsob využívání pomůcky	42
5.2.7	Cena	42
5.3	Engineering Design Science	42
5.3.1	Návrh invalidního vozíku do obtížných podmínek pomocí EDS	43
5.3.2	Morfologická matice	44
5.4	Konstrukční varianty	45
5.4.1	Varianta A	46
5.4.2	Varianta B	46
5.4.3	Varianta C	47
5.4.4	Varianta D	48
5.4.5	Varianty E a F	48
5.4.6	Varianta G	49
6	Návrh technických parametrů vozíku	50
6.1	Pneumatiky	50
6.2	Pohonná jednotka	50
6.2.1	Potřebné parametry motoru	51
6.2.2	Elektromotory	52
6.2.3	Vybraný typ motoru	54
6.3	Akumulátor(y)	55
6.4	Brzdy	57
6.5	Zdvihací mechanismus sedáku	58
6.5.1	LINAK LA23	58
6.6	Návrh odpružení podsedadlového rámu	59
6.6.1	Návrh pružin	59
6.6.2	Výběr pružiny	60
7	Konstrukční návrh	62

8	Elektronika a řízení vozíku	70
8.1	Přehled funkcí a jejich realizace	71
8.1.1	Blokové schéma zapojení	71
8.1.2	Řízení kol	72
8.1.3	Ovládání sedáku	74
8.1.4	Hlídání náklonu vozíku	74
8.1.5	Klakson	75
8.1.6	Volitelná výbava	75
8.1.7	Potřebné vstupy a výstupy řídicí jednotky	75
8.1.8	Celkový počet potřebných digitálních vstupů a výstupů řídicí jednotky	77
8.1.9	Ovládací prvky	77
8.2	Návrh řízení na modelu	78
8.2.1	Výběr řídicí jednotky	78
8.3	Pilotní realizace některých funkcí na laboratorním modelu	79
8.3.1	Signalizace náklonu	79
8.3.2	Simulace jízdy vozíku	80
9	Stabilita tříkolového vozíku	82
9.1	Analytické výpočty stability vozíku	83
9.1.1	Příčná stabilita	83
9.1.2	Podélná stabilita	87
9.1.3	Směrová stabilita	87
9.2	Výpočet boční stability se zadanými parametry	88
10	Výpočty a simulace	89
10.1	Simulace rámu	89
10.1.1	Průběh napětí v rámu	90
10.1.2	Deformace rámu	93
10.2	Simulace předního dorazu	93
10.2.1	Průběh napětí v předním dorazu	94
10.2.2	Deformace předního rámu	95
11	Odhad výrobních nákladů a zhodnocení technické úrovně vozíku	97
11.1	Hrubý odhad nákladů na výrobu vozíku	97
11.2	Zhodnocení technického zpracování vozíku a splnění počátečních požadavků	99
12	Závěr	100
A	Dotazník	A1
A.1	Otázky kladené v dotazníku	A1
A.2	Vyhodnocení dotazníku	A2
A.2.1	Typy obtížných terénu	A2
A.2.2	Způsob využití vozíku	A2
A.2.3	Přepravitelnost a složitelnost vozíku	A3
A.2.4	Hmotnost vozíku	A4
A.2.5	Homologace pro běžný provoz	A6
A.2.6	Designová stránka vozíku	A6

A.2.7	Nutnost vlastnit více vozíků	A6
B	Technická norma ČSN EN 12184	B1
C	Rendery konstrukčního řešení	C1
D	Programy pro řízení laboratorního modelu	D1
D.1	Program hlídající náklon laboratorního modelu	D1
D.2	Program umožňující ovládání laboratorního modelu pomocí joysticku	D1

Seznam obrázků

1.1	První invalidní vozík	2
1.2	První invalidní vozík na evropském kontinentě	2
1.3	První ručně poháněný invalidní vozík	3
1.4	Vozíky z 20. století	3
1.5	Rozdělení plegiků	7
2.1	Vozíky s balónovými koly	9
2.2	Mountain Trike	10
2.3	TREKINETIC Wheelchair	10
2.4	Adventure Power Wheelchair	12
2.5	Otáčení kloubu vozíku Extreme 8	13
2.6	Magic Mobility Extreme X8	13
2.7	Magic Mobility Frontier X5	14
2.8	Vozíky TerrainHopper	15
2.9	Otto Bock C2000	16
2.10	Otto Bock SuperFour	17
2.11	Permobil X850	18
2.12	Tank Chair	19
2.13	Vozíky společnosti Action Manufacturing	20
2.14	Minimální výška plošiny podvozků	22
2.15	No Boundaries Off-Road Wheelchair	22
2.16	Otto Bock ScoutCrawler	23
2.17	Přeprava podvozku ScoutCrawler v kufru automobilu	24
4.1	Příklad obrázku antropometrie	30
4.2	Sedeo Lite	32
4.3	Sedeo Pro	32
4.4	Sedací systémy společnosti Permobil	33
5.1	Postižení uživatelů	35
5.2	Věk uživatelů	36
5.3	Bydliště uživatelů	37
5.4	Typ vozíku	37
5.5	Typ pohonu	38
5.6	Cena vozíku	39
5.7	Přídavná zadní kolečka	40
5.8	Černá skříňka - transformační proces	43
5.9	Rozšířená černá skříňka	43

5.10	Koncept varianty A	46
5.11	Koncept varianty A s příhradovým rámem	47
5.12	Varianta G	49
6.1	Schématická jízda do kopce	51
6.2	Ukázka hub motoru v drátovém ráfku	53
6.3	Ukázka planetové převodovky uvnitř hub motoru	54
6.4	Hub motor SWX135	54
6.5	Motory montované přímo k rámu	55
6.6	LiFePO ₄ akumulátor	57
6.7	Změna polohy těžiště	58
6.8	Lineární pohon LINAK LA23	59
6.9	Odtlumení sedáku	60
7.1	Celkový pohled na vozík	63
7.2	Pohled na uložení motoru a redukce k rámu	63
7.3	Pohled na podsestavu kola s motorem, redukcí a kotoučovou brzdou	64
7.4	Pohled podsestavu rámu	64
7.5	Pohled podsestavu rámu	65
7.6	Dorazy sedacího systému	65
7.7	Pohled na podsestavu zadního kola	66
7.8	Pohled na sedací systém	67
7.9	Mechanická provozní brzda	67
7.10	Pohled na přední opěrku vozíku	68
7.11	Pohled na přední opěrku vozíku	68
7.12	Výkres vozíku s hlavními rozměry vozíku	69
8.1	Blokové schéma vozíku	71
8.2	Otáčení na místě	73
8.3	Blokové schéma principu piezoelektrického akcelerometru	75
8.4	Řídící jednotka Arduino Mega 2560	78
8.5	Laboratorní model signalizace náklonu	79
8.6	Zapojení akcelerometru	80
8.7	Laboratorní model ovládní vozíku pomocí joysticku	81
9.1	Průjezd zatáčkou	84
9.2	Výpočet ramen e a f	85
9.3	Jízda po svahu	86
10.1	Síť konečných prvků modelu rámu	90
10.2	Pohled na zjednodušený rám s okrajovými podmínkami	91
10.3	Průběh redukovaného napětí Von Mises rámem	91
10.4	Průběh redukovaného napětí Von Mises rámem - detail	92
10.5	Špička napětí v místě uchycení lineárního pohonu	92
10.6	Špička napětí na podsedadlovém rámu v místě svaru	93
10.7	Zvýšené napětí na hřídeli motoru	93
10.8	Celková deformace rámu po zatížení 2000 N	94
10.9	Okrajové podmínky rámu předního dorazu	94

10.10	Síť rámu předního dorazu	95
10.11	Průběh redukovaného napětí Von Mises rámem předního dorazu	95
10.12	Deformace předního dorazu ve směru osy z	96
A.1	Oblast využití vozíku	A3
A.2	Způsob využívání vozíku	A4
A.3	Možnost přepravitelnosti vozíku	A4
A.4	Složitelnost a rozebiratelnost vozíku	A5
A.5	Hmotnost vozíku	A5
A.6	Možnost provozu na pozemních komunikacích	A6
A.7	Důležitost vzhledové stránky vozíku	A7
A.8	Nutnost vlastnit více vozíků	A7
B.1	Dosah uživatele vozíku	B1
C.1	Zadní pohled na vozík	C1
C.2	Boční pohled na vozík	C2
C.3	Přední pohled na vozík bez sedadla	C2
C.4	Zadní pohled na vozík bez sedadla	C3
C.5	Horní pohled na podsestavu rámu	C3
C.6	Boční pohled na podsestavu rámu	C4
C.7	Přední pohled na podsestavu rámu	C4
C.8	Přední pohled na vozík	C5
C.9	Boční pohled na vozík ve snížené poloze	C6
C.10	Boční pohled na vozík ve zvýšené poloze	C7
C.11	Pohled na vozík s jinou kombinací barev	C8

Seznam tabulek

5.1	Kompletní návrh TrfP	44
5.2	Morfologická Matice	45
6.1	Požadavky vozíku pro výpočet výkonu elektromotoru(\hat{u})	51
8.1	Tabulka zapojení a označení konektorů	72
8.2	Tabulka hodnot pro výpočet počtu výstupních otáček motoru	73
8.3	Potřebný počet vstupů a výstupů na řídicí jednotce	77
9.1	Parametry vozíku pro výpočet stability	88
11.1	Hrubý odhad výrobních nákladů	98
B.1	Požadavky na vozík podle typových tříd	B2

Abstrakt

S rostoucím počtem tělesně postižených, v mladém či aktivním věku, úměrně roste i poptávka trhu po technických zařízeních, která pomohou tělesně postiženým provádět běžné aktivity zdravého člověka a vrátit se tak zpět k aktivnímu životu. Těmito aktivitami mohou být například procházky a toulky přírodou, procházky po pláži, jízdy zasněženou krajinou či sportovní aktivity. Z hlediska ceny jsou tyto speciální vozíky většinou pro široké spektrum tělesně postižených nedostupné. Cena většiny těchto vozíků (v základní verzi) začíná na ceně někde okolo dvou set tisíc korun a mohou se vyšplhat téměř k milionu korun.

Zadáním této práce je navrhnout takový vozík pro obtížné terény, který by měl shodné, nebo ještě lepší, vlastnosti s vozíky, které je možné v současnosti koupit na trhu, a zároveň, aby byl cenově dostupnější všem tělesně postiženým.

Po zmapování téměř všech možných typů vozíků a podvozků pro náročnější terény jsme se pustili do vlastního návrhu takového vozíku. Při návrhu jsme vycházeli z dotazníku, který jsme si vytvořili a rozeslali mezi tělesně postižené. Z dotazníku vyplynulo, že klíčovými parametry vozíku budou bezpečnost, cena, váha, možnost přepravitelnosti a vlastní zdroj pohonu.

Návrh jsme také podrobili výpočtové simulaci, kde jsme si ověřili celkové mechanické vlastnosti, především tedy rámu. Pro výpočty jsme použili metodu konečných prvků (MKP).

Ve finále jsme zhodnotili náš koncept (koncepty) z technicko-ekonomického hlediska. Kde jsme si ověřili, jestli jsme dodrželi náš cíl a nepřesáhli jsme cenu vozíku, kterou jsme si stanovili.

1

Úvod

Dovolte mi, abych tuto práci začal krátkým citátem:

„It is a waste of time to be angry about my disability. One has to get on with life and I haven't done badly. People won't have time for you if you are always angry or complaining.“

Stephen Hawking

Invalidní vozíky jsou celosvětově nejrozšířenější kompenzační pomůckou pro tělesně postižené. V meziročním srovnání počet postižených lidí každoročně stoupá, i proto je důležité se zaměřit na podporu a pomoc těmto lidem. Pro tyto lidi jsou každodenní činnosti „zdravých“ lidí těžko zvládnutelné, někdy zcela nezvládnutelné (podle typu postižení). Z tohoto důvodu vznikly a dále vznikají společnosti, které se snaží svými produkty či službami pomoci těmto lidem překonávat nástrahy běžného dne.

1.1 Historie invalidních vozíků

První zmínky o vozících pro postižené lidi se datují do doby okolo 13. století před naším letopočtem, kdy Číňané vynalezli první takto upravená křesla ([Obr. 1.1](#)).

V Evropě se jako první invalidní vozíky objevily různé části nábytku s přidanými kolečky o něco později, přesněji 530 let před naším letopočtem ([Obr. 1.2](#)). V tomto řeckém řešení byla k dětské postýlce přimontována malá kolečka, která umožňovala postýlce se snadněji pohybovat po místnosti.

Prvotně nebyly tyto vozíky používány pro handicapované, ale byly používány pro transport nemocných k doktorovi. Až počátkem novověku byla takto upravená křesla použita jako vozík pro postižené. Ovšem, takto upravené vozíky si mohli dovolit pouze společensky významní občané, například baroni, králové, kněží a další.

V roce 1655 si mladý beznohý hodinář Stephen Farfler z Norimberka postavil vlastní vozík s ručním pohonem. Využil pro to svých znalostí z převodů v hodinách, které převedl na pohon



Obrázek 1.1: První invalidní vozík vyobrazen na kamenné rytině (13. stol.p.n.l. - Čína) [4]



Obrázek 1.2: První invalidní vozík datovaný na evropském kontinentě (530 p.n.l. - Řecko) [4]

kol pomocí kliky.

Kolečková křesla se dále vyvíjela, a stále vyvíjí, pro větší mobilitu a větší samostatnost uživatelů. Na počátku minulého století už vozíky vzhledově připomínaly vozíky dnešní konstrukce viz [Obr. 1.4a](#). První design vozíku, jak ho známe dnes, sestavili v roce 1932 pánové Herbert Everest a Harrym Jenningsem ([Obr. 1.4b](#)). Kvůli nehodě v dolu přišel Herbert Everest o možnost chůze, proto se svým kolegou sestavili tenhle vozík, aby i nadále zůstal mobilním.

1.2 Trh s invalidními vozíky dnes

Současný trh se nezaměřuje na uživatele pouze jako na nemocného, ale jde mnohem dále. Trh je plný designově propracovaných vozíků, sportovních vozíků (tenis, ragby, basketbal, jízdní kola a další), elektrických vozíků a speciálních vozíků s nejrůznějším druhem specializace. Při porozhlédnutí se na trhu můžeme najít vozíky s robotickým ramenem, inteligentní robotické



Obrázek 1.3: První ručně poháněný invalidní vozík (1655 - Anglie) [4]



(a) Vozík z počátku 20. století [5]



(b) Jeden z prvních designů moderního vozíku [6]

Obrázek 1.4: Vozíky z 20. století

vozíky nebo vozíky napájené sluneční energií. Největším problémem takto vybavených vozíků je jejich cena. Není neobvyklé, že za specializovaný sportovní vozík může majitel zaplatit až stovky tisíc korun.

1.3 Problematika běžných mechanických a elektrických vozíků pro jízdu v obtížných terénech

V této sekci si hnedka zpočátku zadefinujeme termín „obtížný terén“. Obtížným terénem pro vozíky může být zvýšený obrubník u silnice či chodníku nebo lesní terén. Obtížným terénem si definujeme takové překážky, které omezují tělesně postiženého v takové míře, že musí využít

pomoc druhé osoby. Obtížnou překážkou mohou být například:

- obrubníky u chodníku či silnice,
- schody,
- lesní či polní cesty,
- písčité či kamenité pláže,
- lesy a pole,
- zasněžené cesty či chodníky,
- zledovatělý povrch chodníků či vozovek.

Všimněme si, že zde vozíky nedělíme na mechanické a elektrické. Obtížné podmínky budeme brát pro obě kategorie stejné, i když je jasné, že v terénu budou více omezeny mechanické invalidní vozíky. O výhodách a nevýhodách invalidních vozíků pojednávají následující řádky.

1.3.1 Přednosti a omezení běžných mechanických invalidních vozíků pro jízdu v terénu

Obecnými přednostmi všech běžných invalidních vozíků jsou jejich lehkost, skladatelnost, přepravitelnost a univerzálnost. Pro jízdu v terénu se z těchto vyjmenovaných vlastností uplatní pouze lehkost. Jelikož jsou běžné moderní invalidní vozíky vyráběny z lehkých hliníkových slitin (rámy většiny moderních vozíků jsou svařeny z duralu), tak se jejich váha pohybuje okolo 15 - 20 kilogramů. Tato hmotnost zaručuje nižší spotřebu energie (lidské, elektrické či ze spalovacího motoru).

Pro jízdu v terénu mají mechanické vozíky více nevýhod než-li výhod. Pohledem na tyto vozíky zjistíme, že největší nevýhodou těchto vozíků pro pohyb v terénu (obtížných podmínkách) jsou zřejmě jejich malá přední kolečka, která mají snahu se snadno bořit do terénu (písek, sníh, kamenité povrchy, kořeny v lese a tak dále). Nejsou to pouze tato malá kolečka, ale i samotný ruční pohon, který znesnadňuje pohyb v obtížném terénu. Postižený, který „zapadl“, nemá dostatečnou sílu (páku), aby mohl pohnout koly a vyjet ze zapadlého místa. Dalším problémem je šíře kol, která napomáhá snadnému uvíznutí v blátivém, zasněženém či písčitém prostředí.

Proti pohybu v terénu je také celková stavba vozíku, která není primárně konstruována pro pohyb v těchto podmínkách. Konstrukce je vymyšlena tak, aby s ní šlo velmi jednoduše manipulovat na malém prostoru, většinou domovní a bytové prostory, také aby šla snadno složit a převést. Toto jsou hlavní přednosti mechanických vozíků (viz dále).

1.3.2 Přednosti a omezení elektrických vozíků pro jízdu v terénu

Elektrické invalidní vozíky se vyznačují větší průjezdností terénem než-li vozíky mechanické. Jejich průjezdnost je ovšem limitována nízkou světlou výškou vozíku. Také výška těžiště, která je u většiny elektrických vozíků vyšší než-li u mechanických vozíků, ovlivňuje úroveň terénu, který je vozík schopen zdolat. Výška těžiště totiž přímo ovlivňuje stabilitu vozíku, která charakterizuje bezpečnost jízdy při průjezdu náročným terénem.

S větší průjezdností vozíku souvisí jejich větší a celkově širší kolečka vozíku, která jsou méně náchylná k uvíznutí v terénu.

Budeme-li brát zřetel i na cenu, tak můžeme s nadsázkou říci, že největším omezením pro jízdu elektrických vozíků v terénu bude právě jejich cena. Ceny těchto vozíků se pohybují od sto tisíc korun výše.

1.4 Invalidní vozíky a jejich uživatelé

V posledních letech je, ne moc příjemným, trendem vzrůstající počet tělesně postižených. Tento počet roste s následky dopravních nehod, obezitou a nebo vzrůstajícím počtem starších osob, což je zapříčiněno prodlužováním věku života. Mějme na paměti, že i starší lidé, kteří mohou v omezené míře chodit jsou také zahrnuti do skupiny tělesně postižených. Chůze těchto lidí už není tak aktivní a dynamická jako tomu bylo v jejich nižším věku.

Právě invalidní vozíky poskytují tělesně postiženým větší mobilitu a také možnost účastnit se různých aktivit, které pomáhají zlepšit běh života i zdraví. Nicméně, vozíčkáři mohou mít problémy s poháněním a ovládáním vozíků na různých površích, příkladem může být bahno, sníh a nebo mokrá písek. V poslední době vzrůstá, nejen u vozíčkářů, obliba výletů do přírody. V zájmu společností, které se zabývají výrobou invalidních vozíků, je nevyhnutelné, aby do svého produktového portfolia zahrnuly i vozíky, které jsou schopny jezdit a spolehlivě překonávat obtížné terény.

1.4.1 Tělesná postižení

Tělesné postižení, nebo-li handicap, je takový druh postižení, které omezuje pohybové schopnosti člověka, což má dále za následek omezení jeho kognitivních, emocionálních a sociálních výkonů. Příčinou bývají poruchy pohybového aparátu týkající se kostí, kloubů, svalů, šlach i cévního zásobení.

První skupinou postižení jsou postižení dědičná, také nazývaná postiženými vrozenými. Tato postižení vznikají už během těhotenství nebo při porodu. Druhou skupinou jsou postižení získaná během života, například kvůli amputaci, svalové dystrofii¹, dětské mozkové obrně nebo kvůli poranění pohybového ústrojí následkem automobilové nehody.

Klasifikace tělesně postižených na vozíku

V této podkapitole si hrubě nastíníme rozdělení osob s postižením pohybového aparátu. Začneme vrozenými vadami, kterých je jednoznačně méně, než-li postižení získaných v průběhu života.

Dětská mozková obrna je častým zdravotním problémem, který postihuje svalovou hybnost. Dětská mozková obrna (**DMO**) začíná už v předporodním stavu (pacient se s **DMO** vždy narodí) a trvá celý život. Je to porucha centrálního nervového systému (**CNS**), která se naplno projeví naplno až okolo třetího roku života. Problém **DMO** je takový, že postižené svaly nedokážou přijímat pro ně velmi důležité látky, což má za následek, že svaly jsou permanentně ztuhlé a stažené (spastické). [2]

¹Svalová dystrofie - degenerativní onemocnění svalstva

Spina bifida je vrozená vada charakterizovaná defektem páteře ve střední čáře, který má za následek prolaps obsahu páteřního kanálu. Tento defekt může být lokalizován dorzálně nebo ventrálně². Dorzální defekty se dále dělí na defekty kryté a nekryté. Nekryté defekty mohou být asymptomatické nebo s lokálním nálezem hypertrichózy či hyperpigmentace. U nekrytých dorzálních defektů rozlišujeme spinu bifidu s meningokélou, meningomyelokélou a meningokélou s myeloschizou. Prognóza těchto vrozených vad je jak s hlediska mortality, tak i morbidity velmi závažná. Spina bifida patří mezi tzv. rozštěpové vady neurální trubice - NTD (z anglického Neural Tube Defects). [8]

Další kategorií jsou postižení získaná v průběhu života. Příčinami těchto postižení jsou většinou automobilové nehody, nemoci nebo například pracovní úrazy. Opět si popíšeme nejzákladnější druhy postižení, se kterými se můžeme setkat.

Amputace končetin je postižení končetin, které se dělí do skupin *A1 - A9*. Nás se ovšem budou týkat pouze skupiny *A1 - A4*, které v sobě zahrnují amputaci dolních končetin (**DK**). Ovšem, i skupina *A9* v sobě zahrnuje amputaci **DK**, ale zároveň i amputaci končetin horních, proto ji nebudeme v našem výčtu uvažovat. K amputaci končetiny dochází v nejzazším případě, kdy neexistuje jiná možnost. Amputace může být následek autonehody, pracovního zranění či nemoci.

- A1 - oboustranná amputace nad kolenem
- A2 - jednostranná amputace nad kolenem
- A3 - oboustranná amputace pod kolenem
- A4 - jednostranná amputace nad kolenem

Plegie latinsky *plégia* je volně překládáno jako ochrnutí. Ochrnutí mají mnoho podob, označují se podle toho, jakou část těla postihly. Postižené osoby mohou mít postiženu jednu končetinu, dně končetiny a nebo všechny čtyři končetiny. Podle tohoto se postižení nazývají monoplegici (postižena jedna končetina), hemiplegici (postižena levá nebo pravá strana těla), paraplegici (postižena horní nebo dolní polovina těla) a kvadruplegici (postiženy jsou všechny čtyři končetiny).

Na **Obr. 1.5** jsou popsány druhy paraparézy a paraplegie respektive kvadruparézy a kvadruplegie. Z **Obr. 1.5** je patrné, že čím dále od mozku podél páteře je mícha poraněna, tím je postižení slabšího charakteru. Je-li mícha postižena na spodní části páteře, tedy mezi obratli $S2^3$ a $L4^4$, ochrnutí je pouze paretické⁵. Paretický člověk může obvykle vykonávat všechny pohyby a činnosti jako zdravý člověk, ale v omezené míře. Oproti tomu, je-li porušena mícha v horní oblasti, tedy oblasti krku (mezi obratli $C4-C5^6$), postižení jsou vážnější. Ochrnutí se nazývá kvadruplegie, je to nejtěžší forma míšního ochrnutí. Postižený je zcela závislý na okolí, ke svému potřebuje elektrický vozík.

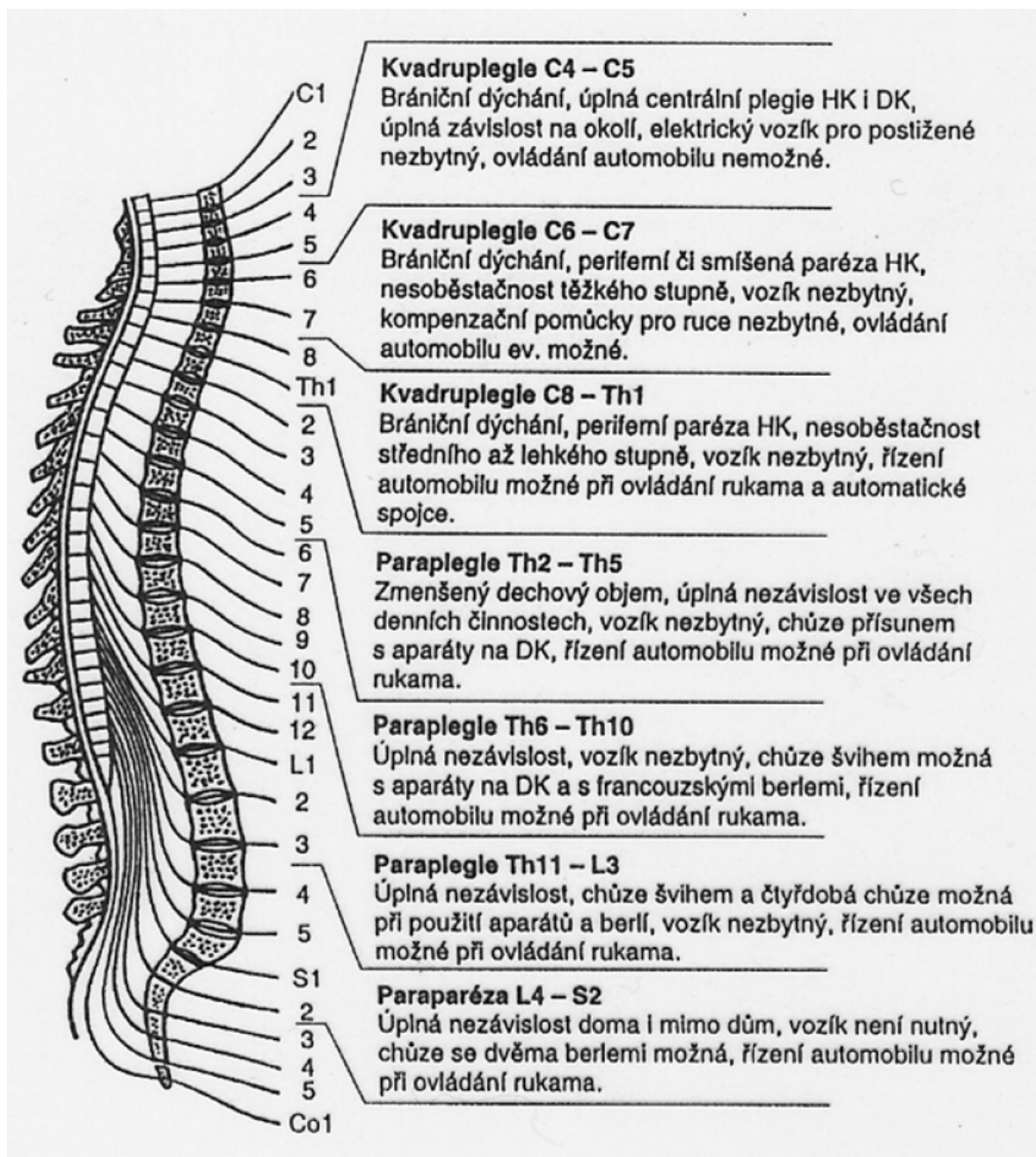
²Dorzální, ventrální - směry určující polohu na těle

³S - Vertebra sacralis (křížový obratel)

⁴L - Vertebra lumbalis (bederní obratel)

⁵Paréza - neúplná obrna, částečná ztráta schopností volných pohybů [7]

⁶C - vertebra cervicalis (krční obratel)



Obrázek 1.5: Rozdělení plegických pacientů podle místa poranění míchy) [3]

2

Dostupnost invalidních vozíků pro obtížné terény

V dnešní době je trh plný různých typů invalidních vozíků. Chceme-li však provozovat neobvyklé aktivity, trh už není tak plný. Na tuzemském trhu není mnoho výrobců, kteří by se zaměřovali na speciální invalidní vozíky (sportovní, robotické, inteligentní). V tomto ohledu je na tom nejlépe trh ve Spojených státech amerických a v Japonsku. Většina firem, které se zabývají prodejem a distribucí speciálních invalidních vozíků, nakupuje tyto produkty právě zde. Proč jsou tyto zaplněny více těmito produkty plyne asi z toho, že je zde společnost více nakloněna k potřebám tělesně postižených. Druhým důvodem může být také to, že jsou firmy v těchto zemích více prediktivní a už teď se snaží vyrábět takové produkty, které budou více potřeba například až za 10 let.

Vozíků, pro různé ať už sportovní, nebo i rekreační využití je celá spousta, stačí si pouze stanovit kritéria vozíku, pro které účely bude využíván. V našem případě se zaobíráme myšlenkou vozíku, se kterým by byl možný pohyb v obtížném terénu. Jak se dočteme dále, těchto vozíků je celá řada.

V této sekci se budeme snažit popsat různé principy vozíků, které jsou schopny zdolávat náročné terény. Následně jsou vybrány jejich zástupci, kteří jsou detailněji rozepsány.

2.1 Mechanické (manuální) vozíky

Pod pojmem mechanický vozík si představme takový vozík, který ke svému pohybu potřebuje manuální sílu, buď uživatele nebo druhé osoby. Je pravda, že firem, které se zabývají výrobou těchto vozíků, není mnoho. Některé se ovšem najdou, proto si o nich také něco málo povíme.

2.1.1 Baloon Off Road Wheelchair

Čtyřkolový vozík s originálním názvem *Baloon Off Road Wheelchair*, je vhodný pro jízdu na plážích (Obr 2.1a) nebo na sněhu (Obr 2.1b). Poněvadž tyto vozíky zpravidla nemají elektrický pohon, jsou vhodné pouze pro méně náročnější terény a krátké vzdálenosti. Hlavním poznávacím znakem těchto vozíků jsou velká balónová kola. Nejdůležitějším rozměrem těchto

kol není, jak by se mohlo zdát průměr, ale jejich šíře. Šíře běžných balónových kol dostupných na trhu se pohybuje od 12 do 20 centimetrů.

Konstrukce vozíků je velmi podobná běžným invalidním vozíkům. Jsou to tedy vozíky jednodušších a lehkých konstrukcí z lehkých materiálů, které můžeme využít na procházky po pláži, na procházky po polních cestách nebo v zimních měsících pro jízdu po zasněžených místech. Široká kola zabezpečí, že se celý vozík nezaboří do písku, ani do sněhu.

Co bude u těchto vozíků asi největší výhodou, bude jejich cena. Jejich cena se pohybuje v řádů tisíců možná pár desetitisíců korun. To je určitě dobrý předpoklad, aby byly i tyto vozíky na trhu žádané.



(a) Vozík s balónovými koly na pláži



(b) Vozík s balónovými koly na sněhu

Obrázek 2.1: Vozíky s balónovými koly [11]

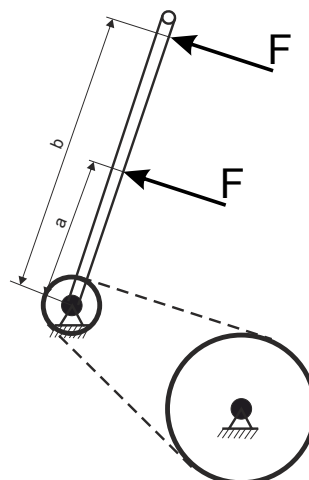
2.1.2 Mountain Trike

Mechanický vozík *Mountain Trike* (Obr. 2.2a) je vyvíjen anglickými inženýry Timem Morganem a Johnem Wardlem. Tito dva pánové si založili menší společnost, která se zabývá právě výrobou vozíků tohoto typu.

Při prvním pohledu na tento vozík vidíme dvě velká kola, velikostně podobná kolům horských kol (24" nebo 26"). Vzadu za sedákem je umístěno další, menší kolo, určené k zajištění stability a k umožnění snazšího zatáčení. Tento typ vozíků má ještě další kolečka, umístěná vpředu, která plní bezpečnostní funkci proti přepadnutí. Pro komfortnější jízdu v terénu je sedák vozíku odpružen nezávislými pružino vzduchovými tlumiči. Pohon zajišťuje uživatel vozíku pomocí páky, které má po svých bocích. Páky jsou přes zubová kolečka a řetěz spojena s kolem, které pohání. Podle vzdálenosti úchopu od spodní části je měněna potřebná síla k pohybu vozíku. Jinak řečeno, vzdáleností úchytu od spodní části páky měníme převod. Uchopíme-li páku na jejím vzdálenějším konci, bude to nízký převod, a naopak, uchopíme-li páku co nejbližší k ozubenému kolu, převod bude vysoký (viz Obr. 2.2b). Samozřejmým vybavením tohoto vozíku jsou účinné kotoučové brzdy, které poskytují vozíku, potažmo jeho uživateli, dostatek brzdící síly na zastavení vozíku.



(a) Mountain Trike [12]



(b) Převod na páce

Obrázek 2.2: Mountain Trike

2.1.3 TREKINETIC Wheelchair

Podobným typem je vozík s označením *TREKINETIC Wheelchair*. Má mnoho shodných prvků s předešlým modelem, například stejně rozmístěná kola nebo odpružení sedáku. Ovšem, tento vozík se pohání stejně jako běžný invalidní vozík, tedy pomocí obroučích vně kola. Tyto obrouče zároveň slouží i pro brzdění, takže není potřeba extra brzd, jako je tomu u předchozího typu.



Obrázek 2.3: TREKINETIC Wheelchair [13]

2.1.4 Shrnutí - mechanické (manuální) vozíky

V této kapitole jsme se snažili popsat hlavní směry konstrukcí této kategorie mechanických (manuálních) vozíků. Všechny tyto vozíky se vyznačují svou jednoduchostí, lehkostí a hlavně

cenou. Ceny se u těchto vozíků pohybují podle typu zhruba od 10 do 100 tisíc korun¹.

Mechanické sportovní vozíky jsou určeny především pro sportovně založené typy. Jsou nejlevnější variantou vozíků, které jsou schopny překonávat obtížné terény. Úroveň terénu, který jsou tyto vozíky schopny překonat, není taková, jako u elektrických vozíků. Úspěšně ale zvládnou překonat polní a lesní cesty, obrubníky, nízké schody a další podobné překážky.

Je ale také potřeba říci, že jsou tyto vozíky určeny pouze pro paraparetické nebo paraplegické uživatele.

2.2 Elektrické vozíky

Širší nabídka vozíků, než-li je tomu u mechanických vozíků, je na poli elektrických vozíků. Použitím externího zdroje energie můžeme přemýšlet nad sofistikovanějšími a mnohem vydařenějšími konstrukcemi než-li je tomu u mechanických vozíků. Máme-li zdroj elektrické energie, může k vozíku (pomůcce) připojit externí zařízení, která pomohou zvýšit komfort a bezpečnost jízdy. Mohou to být například světla, která umožní provozovat zařízení i za snížených viditelných podmínek, může to být klakson, ale také například rádio, které může zpříjemnit chvílky při jízdě.

Je zřejmé, že elektrické vozíky nemohou mít pouze samé výhody. Mají i hodně nevýhod, mezi které patří například cena, velikost, údržba, nutnost nabíjení akumulátorů a další. Již dříve bylo řečeno, že největším trhem s těmito vozíky jsou Spojené státy americké, kde najdeme širokou škálu těchto vozíků. V dalších podsekcích si tedy ukážeme možné zástupce těchto elektrických vozíků.

2.2.1 Kolové elektrické vozíky

Pro překonání obtížných podmínek, ať jsou to obrubníky, schody, lesní terén a podobné, je zapotřebí velké síly, stabilního podvozku (proti přepadnutí) a potřebná výška podvozku. Toto vše splňují kolové elektrické vozíky. Sílu určíme výkonem elektromotorů (2 nebo 4 elektromotory), stabilitu vozíku zajistíme pomocí vhodně umístěného těžiště a světlost, která souvisí s těžištěm, můžeme ovlivnit například vhodným výběrem velikosti kol.

Na trhu jsou již nyní různé typy kolových vozíků. Liší se například počtem kol nebo stavbou rámu. Většina těchto vozíků disponuje čtyřmi koly, ale jsou i takové, které mají kol šest. Co se týče konstrukce těchto vozíků, tak můžeme říci, že se na trhu vyskytují dva druhy konstrukcí elektrických kolových vozíků pro obtížné terény. První druh velmi připomíná běžnou stavební konstrukci běžných elektrických vozíků (Obr. 2.4), druhý typ zase připomíná svou bytelností jakási plážová buggy vozítka pro jednu osobu (Obr. 2.8, 2.9). Vozíky s rámem druhého typu, poskytují uživatelům větší bezpečnost při projíždění velmi náročného terénu. Ovšem, s objemností rámu narůstá i celková hmotnost vozíku.

Dále bude představen krátký výčet dříve popsaných skupin vozíků. To znamená, popíšeme si zástupce čtyř a šesti kolových vozíků, a také zástupce bezrámových vozíků a vozíků s jednoduchým rámem.

¹Ceny jsou přepočítávány odhadem k aktuálnímu kurzu dolaru (eura); nebyly nalezeny žádné ceny českých výrobců (prodejců)

Adventure Power Chair

Adventure Power Chair (Obr. 2.4) je zástupcem čtyřkolových bezrámových vozíků. Je to modulární vozík s pohonem všech čtyř kol. Tento vozík byl designován pro co možná nejširší oblast použití, proto ho můžeme využít jak na silnicích, mimo ně, tak i v interiérech. Vozík se vyznačuje velkou spolehlivostí, bezpečností jízdy, trakcí a dobrým pocitem z jízdy. Moderní výkonné elektrické jednotky mají nižší spotřebu energie než konvenční elektromotory. Z tohoto důvodu umožňují o 45% delší dojezd. Nejmodernější brzdový systém pomocí rekuperace navrací získanou energii zpět do akumulátorů, což ještě více prodlužuje dojezd vozíku. Všechny hlavní komponenty tohoto vozíku, jako jsou kola, sedák a baterie jdou jednoduše odjímat bez potřeby použití náradí, proto lze vozík jednoduše rozložit a složit. Rozebraný vozík poté můžeme snadno naložit do automobilu a převézt. [9]

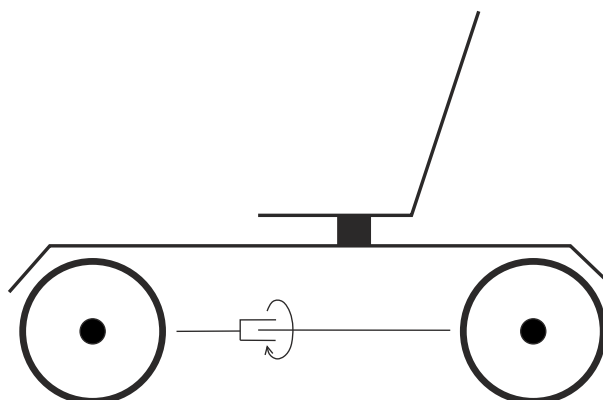


Obrázek 2.4: Adventure Power Wheelchair [14]

Magic Mobility Extreme X8

Výrobcem vozíku *Magic Mobility Extreme X8* je společnost *Magic Mobility*. Tato společnost vyrábí i další vozíky do stížených podmínek, například *Frontier V6* a *Frontier X5*.

Vozík *Extreme X8* je opět zástupcem čtyřkolových bezrámových vozíků. Nejnovější verze tohoto vozíku dokáže díky novým vysoce výkonným elektromotorům „uhánět“ rychlostí až 10 km/hod. Výkonné elektromotory ve spojení se systémem pohonu 4x4 dokáží překonat velmi obtížné terény. K tomu, aby byl tento vozík schopen tyto terény překonat, jsou zde další dva technické prvky, které k tomu dopomáhají. Jedním z nich je kloubový podvozek. Tento kloubový podvozek se otáčí kolem horizontální osy ve směru pohybu (Obr. 2.5). Druhým prvkem je zamčení řízení. Zamčeným řízením myslíme takovou funkci, která dává držící kola v jedné stopě, dokonce i při přejíždění velmi obtížných překážek (schody, pařezy, velké kameny, meze a další). Dalším z technických provedení, které stojí za zmínku, je možnost zvednutí sedáku pomocí zdvihacího mechanismu. Tento zdvihací mechanismus umožňuje zvednout sedadlo až do výšky 25 centimetrů nad základnu a natáčet ho v prostoru až do náklonu 50°. Dále by bylo dobré, říci si něco o rozměrech vozíku. Základna vozíku má rozměry 1150 x 710 milimetrů. Tyto rozměry umožňují vozíku jednoduše projíždět bytové prostory.



Obrázek 2.5: Otáčení kloubu vozíku Extreme 8



(a) Extreme X8 v základní poloze [15]



(b) Extreme X8 ve zdvižené poloze [15]

Obrázek 2.6: Magic Mobility Extreme X8

Magic Mobility Frontier X5

Dalším produktem společnosti *Magic Mobility* je vozík s označením *Frontier X5*. Slovo *frontier* lze z angličtiny přeložit do češtiny jako hranice. Společnost ho takto pojmenovala zřejmě proto, protože tento vozík dokáže zdolávat mnohem tvrdší terény než běžné elektrické vozíky.

Tento vozík se v mnohých parametrech podobá vozíku s označením *Extreme X5*. Je zde ale několik rozdílů. Tento vozík má na rozdíl od předchozího modelu poháněná pouze dvě kola z celkových šesti. Dosahované rychlosti jsou stejné, velikost poháněných kol je opět 14" (řídící kola mají průměr 12,5"), zatížení vozíku pacientem je 180 kilogramů, stejně jako u předchozího modelu, dokonce i celkové půdorysné rozměry jsou de facto stejné. Proto je také možný jeho pohyb v interiérových prostorech. pohyb v interiérových prostorech je možný, ale jeho dominantou je překonávání obtížných terénů.

I tento vozík je vybaven zvedákem sedáku se stejnými parametry jako předchozí vozík též společnosti. Zvedák má dvojí využití. První, zvyšování polohy pacienta. To využijeme



Obrázek 2.7: Magic Mobility Frontier X5 [16]

například v marketech, kdy potřebujeme dosáhnout na horní regál. Druhou, změna těžiště vozíku. Chceme-li sjíždět například strmou mez, vozík automaticky napolohuje sedá tak, aby byl v co nejpříznivější pozici.

TerrainHopper Overlander

Další společností, která se zabývá výrobou a distribucí elektrických vozíků pro obtížné podmínky je společnost *TerrainHopper*. Portfolio této firmy je velmi široké. Jejich vozíky nesou označení *Overlander*. Společnost *TerrainHopper* nabízí vozíky s označením:

- Overlander 2C,
- Overlander 2R,
- Overlander 2CF,
- Overlander 2CR,
- Overlander 4C,
- Overlander Wheelchair.

Podrobné specifikace a vlastnosti těchto vozíků má výrobce na svých webových stránkách www.terrainhopper.com. My si povíme pouze o dvou produktech této firmy, a to o *Overlander 2R* (Obr. 2.8a) a *Overlander Wheelchair* (Obr. 2.8b). O těchto proto, protože mají stejné technické specifikace, ale jinak řešené šasi.

Overlander 2R je vozík se systémem pohonu zadních kol, který uspokojivě překoná všechny druhy terénů - bahno, sníh, mokrá píseň a další. Je uzpůsoben pro provoz na pozemních komunikacích, takže má všechny homologační prvky. Na webu výrobce můžeme najít hlavní přednosti a vlastnosti tohoto vozíku:

- nezávislé tlumení všech kol,



(a) Overlander 2R



(b) Overlander Wheelchair

Obrázek 2.8: Vozíky společnosti TerrainHopper [17]

- pohon zadních kol,
- odjímatelný boční trubkový rám,
- připojitelnou baldachýnovou střechu, která chrání posádku při jízdě lesem,
- hliníková kola vysoké pevnosti.

Z popisu je tedy vidět, že konstrukce vozíku *Overlander 2R* uspokojivě chrání posádku. Z tohoto vozíku vychází další produkt společnosti *TerrainHopper*, vozítko *Overlander Wheelchair* (Obr. 2.8b). *Overlander Wheelchair* je bezrámové vozítko, které se skládá ze čtyřkolového podvozku s hnací přední nápravou a sedáku. O pohon se starají dva elektromotory, které jsou umístěny na rámu vozíku. Tlumení posádky zde zajišťuje spojení rám - sedák, kde je odpružený sedák. Jedná se o jednodušší variantu vozíku specifikace 2R.

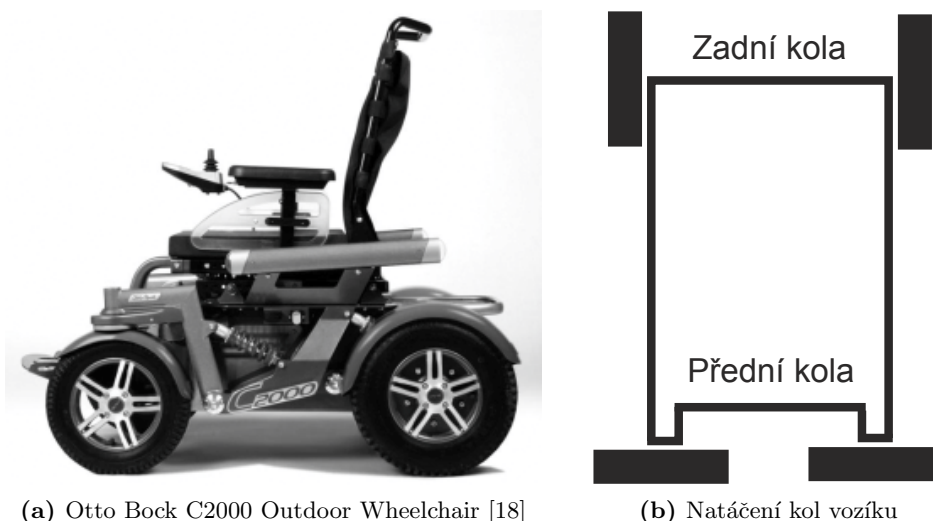
Otto Bock C2000

Společnost *Otto Bock* nemusíme dlouze představovat. Jedná se o německou společnost, která má zastoupení i v České Republice. Společnost má široké portfolio výrobků pro tělesně postižené. Nejedná se pouze jen o invalidní vozíky, ale i protézy, rehabilitační pomůcky a ortézy. Nás ale zajímají pouze vozíky pro obtížné podmínky, které má tato společnost ve své nabídce.

Prvním z nich je vozík s označením C2000 Outdoor Wheelchair (Obr. 2.9). Je to opět čtyřkolový vozík s lehkým rámem určen především pro outdoorové využití. K pohonu pomáhají dva elektromotory, které pohání buď přední nebo zadní nápravu. Tyto motory dokáží vozík rozpohybovat až na rychlost 14 km/hod. Baterie, kterými je vozík vybaven, dokáží zásobovat elektromotory energií až na dlouhých 60 kilometrů. Jeho rozměry, 1220 x 690 milimetrů (délka x šířka), umožňují pohyb i ve vnitřních prostorech budov, i když je tenhle vozík prvotně využíván ve vnějších prostorách. Vozík můžou využít všichni ti, kteří váží méně než 260 kilogramů, což je maximální nosnost vozíku. Vozítko C2000 je schopno vyjet svah se stoupáním 40% (22°).

Unikátní vlastností tohoto vozíku je jeho řízení. K otáčení slouží ta náprava, která je určená jako hnací. Jinými slovy, zvolíme-li si zadní kola jako hnací, budou tato kola zároveň použita jako kola řízená. To by nebylo nic až tak unikátního. To co je unikátní je, možnost otočení kol až do úhlu 90°. Jelikož jsou tato kola hnací, není problém, aby tato kola mohla být otočena do tohoto úhlu. Z toho plyne i malý rádius nutný k otočení. Tento rádius je pouhých 94 centimetrů pro otočení na místě.

Mezi další samozřejmá vybavení vozíku patří například osvětlení vozíku pro snížené vizuální podmínky nebo zadní nosič pro zavazadla, který pojme zavazadla až do váhy 50 kilogramů. Jelikož toto zařízení je vyráběno firmou *Otto Bock* tak je zřejmé, že nebude patřit mezi ty levnější. Jeho cena se na českém trhu pohybuje v základní verzi okolo 254 tisíc korun².



Obrázek 2.9: Otto Bock C2000

²Cena dostupná 1.12.2012 na adrese <http://mujvozik.cz/voziky/elektricke-voziky/c2000/>

Otto Bock SuperFour

Dalším vozíkem z produkce společnosti *Otto Bock* je vozík s označením *SuperFour*. *SuperFour* je plně orámovaný hybridní vozík, který je určen do těch nejtěžších terénů. Vozík je vybaven čtyřmi silnými elektromotory, které pohání všechna čtyři kola. Je zde ale i nízko objemový benzínový spalovací motor, který se při poklesu kapacity baterií sepne a baterie dobije. Na jedno nabití je tenhle téměř tři sta kilogramů vážící vozík schopen ujet úctyhodných 200 kilometrů. Tato vzdálenost dovoluje projíždět terénem celé hodiny, aniž bychom museli mít strach, že někde uvízneme. Rychlost je o jeden či dva kilometry v hodině vyšší než u předchozího modelu. Stoupavost vozíku v terénu je shodná se stoupavostí modelu *C2000*, tedy 40%.

Inovativní funkcí je funkce u sedací jednotky, která se stisknutím knoflíku posune před přední osu pro pohodlné nastupování a vystupování. Nastupování není zrovna jednoduché, když se koukneme na celkové rozměry vozíku. Šířka vozíku o deset centimetrů překračuje metrovou hranici, délka se blíží k hodnotě dvou metrů a výška atakuje výšku průměrného člověka. Podle rozměrů je zřejmé, že toto vozítko si nebude moci dovolit městský člověk, který bydlí v bytě 1+KK. Je to spíše vozík pro ty, co mají rodinný domek a hodně peněz. Toto vozítko stojí totiž v základní výbavě neuvěřitelných 895 tisíc korun³.



Obrázek 2.10: Otto Bock SuperFour [19]

Permobil X850

Tento offroadový vozík renomovaného Švédského výrobce (Obr. 2.11), firmy Permobil, je určen především pro ty uživatele, kteří podstatnou měrou užívají vozík i k jízdě ve velmi nepříznivém exteriéru. Tento vozík má přestavitelný rozvor, tedy přestavitelnou vzdálenost mezi osami předního a zadního kola.

Tato skutečnost, spolu s předními koly o velikosti 13" (zadní kola 15"), zajišťuje při větším rozvoru velmi výrazně zvýšenou průchodnost tohoto vozíku terénem a jeho stabilitu i v náročných situacích. Změna rozvoru kol je možná buď mechanicky (s pomocí náradí) nebo elektronicky. Elektronicky ovládaná změna rozvoru je výhodná zejména v těch případech,

³Cena dostupná 1.12.2012 na adrese <http://mujvozik.cz/voziky/elektricke-voziky/superfour/>

kdy je vozík používán střídavě v interiéru a exteriéru. Tato prodloužená koncepce vozíku však vyžaduje pro otočení vozíku o 180° prostor minimálně 193 cm.

Pro jízdu v provozu je vozík vybaven předními i koncovými světly. Otáčení kol vozíku je uskutečňováno servomotory v předních kolech. Spolu s nimi se natáčí ve směru jízdy i přední světlomety (adaptivní světlomety). Vozík je též vybaven vysokokapacitními bezúdržbovými bateriemi, které při maximální rychlosti až 15 km/hod vozíku umožňují dojezd na jedno nabití v závislosti na náročnosti terénu 35 - 45 kilometrů. Základní provedení vozíku je možno doplnit o elektronicky polohovatelnou zádovou opěrku, elektronicky ovládanou loketní opěrku, elektronicky nastavitelnou výšku sedáku a o již zmíněný elektronicky přestavitelný rozvor kol.

Vozík je vybaven anatomickou sedačkou CORPUS 3G, která může být v textilním, koženkovém, nebo inkontinentním provedení. Sedačku je možno volit z osmi rozměrových variant, zádovou opěrku pak z šesti variant. Loketní opěrky jsou výškově stavitelné a volitelná je i jejich délka. I v základním provedení je mechanicky nastavitelná výška sedačky a sklon zádové opěrky. Součástí dodávky je i plně automatická nabíječka. Základní cena modelu je 189 900 korun⁴. [21]



Obrázek 2.11: Permobil X850 [20]

2.2.2 Pásové elektrické vozíky

Pásové elektrické vozíky jsou určeny do extrémních podmínek. Dokáží projet nejobtížnější terén, jakým je například hluboký sníh, bahno či bažiny. Aby byl tento vozík schopen projet tyto terény, musí mít navržen silnou elektrickou pohonnou jednotku a k tomu odpovídající baterie. Díky těmto parametrům se úměrně zvyšují rozměrové, hmotnostní a cenové parametry vozíku.

Pásy, které zaručují vysoký stupeň překonání obtížných podmínek, mají také několik nevýhod. První z nich je určitě cena. I když se v poslední době velmi rozmohl trh s těmito pásovými jednotkami, a to díky terénním čtyřkolkám, stále jsou velmi drahé. Například, pásové jednotky s označením *TATOU 4S* jsou u českých prodejců k mání od 100 do 150 tisíc korun (4 kusy pásů). Druhou jejich velkou nevýhodou je velká styčná plocha s povrchem,

⁴Cena dostupná na www.ortoservis.cz/pages/elektricke_voziky/sub/Permobil/permobilX850.php

kde působí velká tření. Pro překonání těchto tření spotřebujeme mnoho energie, která se bere z baterií, které následně nemusí vydržet dostatečnou dobu. Řešením je navržení baterií s větší kapacitou, ale s touto myšlenkou dále roste cena, váha a rozměry.

Tank Chair

Tank Chair (Obr. 2.12) je jedním z nejznámějších zástupců pásových vozíků pro obtížné terény. Rám tohoto vozíku tvoří svařené profilové trubky z vysokopevnostní oceli. V rámu jsou uloženy baterie a elektromotor. Dvou koňový elektrický motor poskytuje vozíku dostatek síly pro překonání i těch nejobtížnějších terénů. Tento motor je schopen pomocí řízení plynule měnit rychlost až do rychlosti 8 km/hod. Olovené baterie s kapacitou 17 Ah zásobují motor energií téměř 1,5 hodiny (podle typu terénu).

Na pevném a tuhém rámu jsou z boku přimontovány masivní pásy. Tyto pásy poskytují přenos výkonu od elektromotoru na zem. Na Obr. 2.12 vidíme šířku pásů vzhledem k celkové velikosti vozíku. Šířka pásů se pohybuje okolo hranice 300 milimetrů u různých výrobců. Čtyři pásy *TATOU 4S* od společnosti *Comoplast* mají styčnou plochu se zemí 1,3 m², to znamená, že dva pásy mají tuto styčnou plochu 2,6 m². S velkou potřebou výkonu, pro překonání tření mezi pásy a zemí, se snižuje doba využití kapacity baterie.

Cena tohoto vozíku se také nepohybuje někde příznivě. Ve Spojených státech amerických se tento vozík prodává za cenu 15 tisíc dolarů, tedy 271 950 Kč⁵.



Obrázek 2.12: Tank Chair [22]

Action Trackchair a Action Trackstander

Action Trackchair (Obr. 2.13a) a *Action Trackstander* (Obr. 2.13b) jsou produkty společnosti *Action Manufacturing*. Jak už název těchto vozíků napovídá, rozdíl je mezi nimi v tom, že vozík *Action Trackstander* má tu možnost postavit uživatele do vzpřímené polohy. V jiných ohledech jsou tyto vozíky velmi podobné, proto budeme vozíky popisovat zcela obecně pro oba typy.

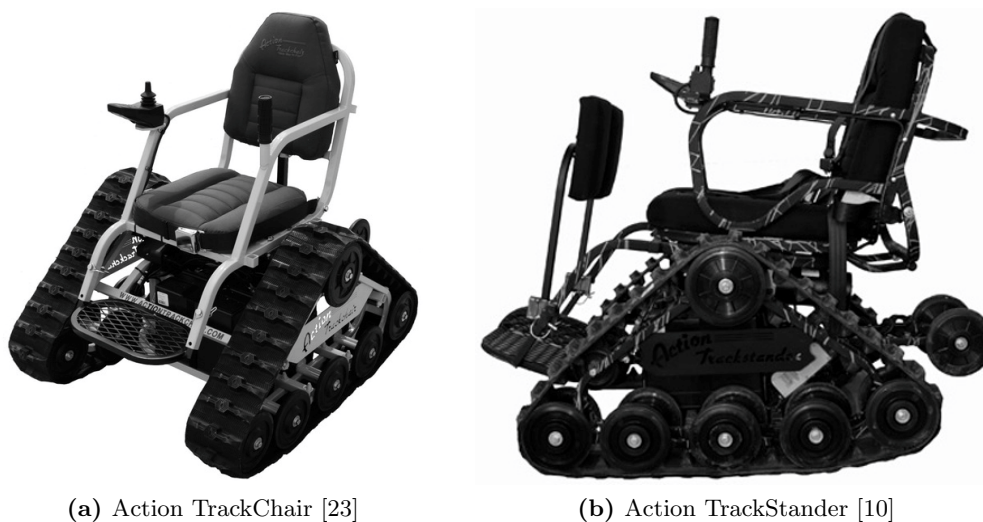
⁵Cena přepočítána pomocí kurzu dostupného na <http://www.kurzy.cz/kurzy-men/>, dne 3.12.2012

Společnost *Action Manufacturing* vyrábí vozíky v několika řadách vzhledem k velikosti vozíku. Velikost se udává šířkou vozíku. Vozíky lze tedy dostat v šířkách od 33" do 41", tedy od 84 do 104 milimetrů, v pěti řadách. Výška vozíku a výška posedu zůstává u všech velikostí stejná.

O pohon se starají dva 24 V stejnosměrné motory, které dokáží pohánět vozík rychlostí až 8 km/hod. Dobré je zde zmínit i baterie, které mají dostatek kapacity pro zásobování vozíku až na 11 kilometrů.

Vozík je ovládán pomocí jednoho joysticku. Není to tedy jako v tanku nebo *Bobcatu*, kde jsou joysticky pro ovládání každého pásu zvlášť. I když není ovládání dvou pásové, vozík je stejně jako tank nebo *Bobcat* schopen se otočit na místě. I díky těmto vlastnostem a širokým pásům dokáže zdat i ty nejnáročnější terény, které si můžeme představit.

Tyto vozíky hojně využívají myslivci, hajní, rybáři, a všichni ti, kteří se při své práci, nebo při svých koníčcích, pohybují v těžko dostupných místech.



(a) Action TrackChair [23]

(b) Action TrackStander [10]

Obrázek 2.13: Vozíky společnosti Action Manufacturing

2.2.3 Shrnutí - elektrické vozíky

V sekci 2.2 jsme si něco málo pověděli o elektrických vozících pro obtížné podmínky, které se v současnosti dají na trhu sehnat. Byly vyjmenovány různé typy elektrických vozíků, s různou úrovní překonání překážek nebo s rozdílnou bezpečností a stabilitou.

Elektrické vozíky (kolové i pásové) mají slibné výkonové parametry. O pohon se starají dva nebo čtyři elektromotory (dle počtu poháněných kol), většinou o výkonu 500 W. Není neobvyklé u těchto vozíků najít i nezávislé zavěšení kol s nezávislým odpružením. Moderní typy baterií jsou schopny zásobovat vozíky energií na vzdálenosti až 30 kilometrů. Při průměrné rychlosti vozíku 8 km/hod, jsou to celé 4 hodiny jízdy. Samozřejmě, čím větší obtížnost terénu, tím se zkracuje celkový dojezd vozíku.

Důležitým faktorem u těchto vozíků je ten, že poskytují postiženému další stupeň volnosti, který doposud neměl. Vozíky mohou mít různé nevýhody typu cena, žádné odkládací místo pro osobní věci nebo malý výkon. Ale, umožní-li svému uživateli pohyb v dosud nedostupném terénu, všechny tyto nevýhody se rázem smaží.

Vypsány nebyly všechny vozíky nabízené na trhu. Při prohledání internetu každý narazí na další vozíky těchto specifikací. Za zmínku stojí také vozíky *The Viking 4×4*, *OmegaTrac OffRoad Wheelchair* nebo *Frontier V6*. I tyto vozíky mají výborné schopnosti pro zdolávání obtížných terénů.

2.3 Podvozky pro invalidní vozíky

V této sekci si povíme něco o další, méně časté, variantě pohybu vozíku v obtížných podmínkách. Nejedná se čistě o pohyb vozíku v terénu, ale o pohyb podvozku, na kterém je invalidní vozík zaaretován. Podvozky mají vlastní pohon a vlastní baterie a jsou určeny pro širokou škálu mechanických vozíků. Samozřejmě, jsou také vhodné i pro elektrické vozíky, které nemají takové schopnosti jízdy v obtížném terénu.

Podvozek je mezičlánkem mezi vozíkem a zemí. Vozíkem se jednoduše najede na plošinu podvozku, ke kterému se následně vozík zaaretuje. Možností aretací vozíků je spousta. Každá z firem vyrábějící podvozky pro vozíky má buď svůj nebo již dříve patentovaný systém jiné společnosti. Aretace vozíků se totiž nevyužívá pouze zde. Dalšími místy, kde můžeme najít aretační zařízení pro vozík, jmenujme například městskou dopravu, železniční a leteckou dopravu nebo speciální automobily pro vozíčkáře. Aretace mohou být různého typu. Může se jednat o ližiny, na které vozík najede, nebo například o speciální zámek, který uzamkne vozík v dané poloze. Může se také jednat o systém uchycení pomocí pásů, který je znám z městské hromadné dopravy.

Z důvodu vysokého těžiště může být podvozek nestabilní při průjezdu obtížným terénem. Převrácení podvozku s vozíkem je nežádoucí. Vzhledem k vysokému těžišti, u některých podvozků, to není zcela nemožné. Nežádoucí je také pohyb vozíku po plošině, proto musí být aretační zařízení navrženo tak, aby tomuto jevu zabránilo. Podvozky nemohou jezdit velkými rychlostmi, to je také důsledek vysokého těžiště podvozku. S malými rychlostmi souvisí i fakt, že tyto podvozky jsou většinou navrhovány bez jakéhokoliv tlumení.

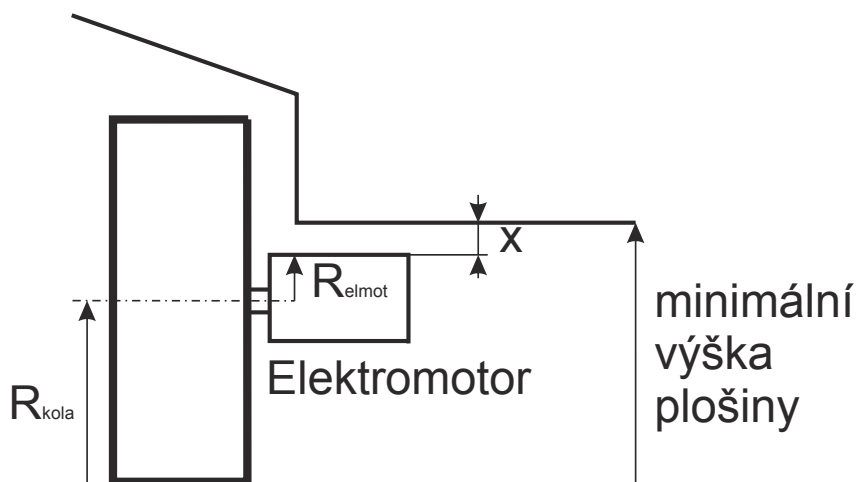
2.3.1 Kolové podvozky

Kolové podvozky jsou jedním z možných typů podvozků pro invalidní vozíky. Většinou se jedná o speciální čtyř nebo šesti kolové podvozky, které jsou schopny přepravovat vozíčkáře i s jejich invalidním vozíkem. Jelikož musí být tyto vozíky schopny překonat obtížné terény, musí k tomu mít adekvátní průměr kol. Dalším požadavkem je rovná plošina, na které vozík stojí. Tyto vozíky jsou většinou poháněny přímo, nikoliv pomocí převodovky, proto je minimální výška plošiny nad středem kola, jak ukazuje Obr. 2.14. Tato úvaha samozřejmě bude platit i pro pásové vozíky.

No Boundaries Off-Road Wheelchair

No Boundaries Off-Road Wheelchair je kolový podvozek umožňující uživatelům pohyb v obtížných podmínkách. Je to čtyř kolový vozík s poháněnými předními koly. Zadní kola se starají o řízení podvozku. Stejně, jako zmíněné vozíky v předchozích kapitolách, tak i tento podvozek je vhodný pro terény jako jsou například bláto, sníh nebo písek.

Těžiště tohoto vozíku je velmi vysoko, dokonce výše, než tomu je u pásových podvozků (*ScoutCrawler* od společnosti *Otto Bock*), proto je nebezpečné s tímto podvozkem překonávat větší boční svahy, kde vzniká velký klopný moment.



Obrázek 2.14: Minimální výška plošiny podvozků

Tento podvozek je výsledkem práce amerických studentů, kteří ho vytvořili jako demonstrační ukázkou ke své roční práci. To je zřejmě důvod, proč nejsou zveřejněna žádná jeho technická data, ani cena.



Obrázek 2.15: No Boundaries Off-Road Wheelchair [26]

2.3.2 Pásové podvozky

Jinou variantou kolových vozíků jsou pásové vozíky. Namísto kol používají pásy podobné těm, které pohání sněžné rolby, akorát v menším provedení. Pásy jsou většinou celogumové, proto je možné s tímto vozíkem jezdit po všech komunikacích (silnice, chodníky, parky, dětská hřiště

a podobné). Pásové vozíky mohou mít dva nebo čtyři pásy.

Klasickým a asi nejznámějším zástupcem těchto pásových podvozků je vozík od společnosti *Otto Bock* s obchodním označením *ScoutCrawler*. V následující podsekcí si tento podvozek krátce představíme.

Otto Bock ScoutCrawler

Podvozek od společnosti *Otto Bock* (Obr. 2.16) je určen pro všechny druhy obtížných terénů. Dokáže překonat terény jako jsou bláto, sníh, písek, lesní terény a podobné. Dokáže překonat $\pm 17^\circ$ svah. K tomuto mu dopomáhají dva robustní gumové pásy, které jsou poháněny dvěma 250W elektromotory. Elektromotory dokáží rozpohybovat tento podvozek, se zátěží až 140 kilogramů, na 6 km/hod. Elektromotory v kooperaci s lithium iontovými bateriemi dokáží pohánět vozík na trase dlouhé 12 kilometrů. Tyto baterie mohou být opakovaně nabíjeny, výrobce udává, že při nabíjení na 75% kapacity mohou být nabity až 700 krát.

Podvozek je i přes svoje rozměry 1000 x 1080 milimetrů (délka x šířka) docela lehký, váží pouhých 60 kilogramů, a to i s bateriemi, které váží 7,5 kilogramu. Po rozebrání je tento vozík snadno přepravitelný v kufru auta střední nebo vyšší střední třídy. Na Obr. 2.17 je vidět podvozek v kufru automobilu Audi A6 kombi.

Vstupní nájezdový prostor 665 milimetrů umožňuje nájezd velkému množství běžných mechanických invalidních vozíků. Relativnímu pohybu vozíku po plošině zamezuje protiskluzový povrch plošiny. K protiskluzovému povrchu se ještě přidává aretační systém, který úplně zafixuje vozík na podvozku.

Ovládání podvozku je uskutečněno pomocí joysticku, který je upevněn na madlech, která jsou napevno spojena s podvozkem.



(a) Otto Bock ScoutCrawler



(b) Otto Bock ScoutCrawler

Obrázek 2.16: ScoutCrawler [24]

2.3.3 Shrnutí - podvozky pro invalidní vozíky

V předchozích podsekcích jsme si řekli něco o další možnosti pohybu tělesně postižených v terénu. Je to nejméně obvyklý způsob jízdy v obtížném terénu, ať už je to z důvodu vysoké



Obrázek 2.17: Převážení podvozku ScoutCrawler v kufru automobilu [25]

ceny, pocitu bezpečnosti nebo z úplně jiných důvodů. Bezpečnost vozíků je dána jejich provozní rychlostí, která se u různých typů vozíků pohybuje okolo 6 km/hod. Svými rozměry se jedná o zařízení, která jsou větší, než elektrické vozíky pro obtížné podmínky, i když je vidět na [Obr. 2.17](#), že jdou vozíky po snadném rozebrání převážet i v běžném, nijak upraveném, autě.

3

Technická norma ČSN EN 12184

Při konstrukci vozíku jsme dbali na doporučení a nařízení normy ČSN EN 12184. Tato norma stanovuje požadavky na konstrukci a metody zkoušení konstrukce elektricky poháněných invalidních vozíků a také požadavky a zkoušení pro nabíjecí zařízení, tedy na náš případ.

Tato norma je určena pro elektrické invalidní vozíky, které nepřesahují rychlost 15 km/hod a jsou určeny pro přepravu osob s maximální hmotností 100 kilogramů. Norma ČSN EN 12814 se ale nevztahuje na speciální nebo sportovní elektrické vozíky.

I když pro nás tato norma není závazná, budeme se jí snažit při konstrukci držet a dodržovat. Je možné, že v některém/některých případech ji budeme muset obejít, což by ale nemělo vést k jejímu plnému ignorování. V následujících sekcích a podsekcích jsou vybrané části normy, které jsou pro nás důležité a zajímavé.

3.1 Všeobecné požadavky

Každý invalidní vozík musí podle normy ČSN EN 12182 stanovené požadavky na [27]:

- určenou funkci a technickou dokumentaci;
- odnímatelné pomůcky;
- upevňovací prvky pro jedno použití;
- biologickou snášenlivost a toxicitu;
- znečišťující části a rezidua;
- infekční a mikrobiologickou kontaminaci;
- přetékání, rozlití, unikání a vnikání kapalin;
- bezpečnost pohyblivých dílů;
- ochranu před zachycením části lidského čela;

- skládací a nastavovací mechanismy;
- povrchy, rohy a hrany;
- programovatelné elektronické systémy;
- klinické hodnocení;
- ergonomii.

3.2 Konstrukční požadavky a požadavky na funkční způsobilost

3.2.1 Opěry nohou, bérců a paží

Vozík musí být vybaven opěrami nohou, které slouží k umístění a připevnění nohou k vozíku. Všechny součásti vozíku, které jsou pohyblivé, výkyvné či odnímatelné a zároveň slouží jako opěry nohou, bérců nebo paží, musí:

- zahrnovat prostředky pro jejich bezpečné upevnění v jakémkoliv provozní poloze;
- být nastavitelné, a to maximálně po 25 milimetrech;
- být přístupné a ovladatelné pomocníkem nebo uživatelem (dosahy uživatele vozíku a pomocníka jsou uvedeny v příloze B, Obr. B.1);
- být ovladatelné bez použití nástrojů.

3.2.2 Brzdové systémy

Každý vozík, bez ohledu na to, jestli je mechanický nebo elektrický, musí být vybaven brzdovým systémem.

Brzdový systém musí:

- být přístupný a ovladatelný uživatelem nebo pomocníkem;
- být v dosahu uživatele, je-li určen pro použití uživatelem (dosahy uživatele vozíku a pomocníka jsou uvedeny v příloze B, Obr. B.1);
- mít maximální ovládací síly pro zabrzdění a odbrzdění nepřesahující hodnoty určené v tabulce (viz Tabulka B.1).

3.2.3 Volnoběh

Invalidní vozík musí být vybaven volnoběhem, který musí:

- být přístupný a ovladatelný uživatelem nebo pomocníkem, nebo oběma, podle výrobcem určeného účelu použití;
- být v dosažitelné vzdálenosti stanovené v příloze B (Obr. B.1), má-li být ovládán uživatelem;

- ovládací síly pro zapnutí a vypnutí nesmějí přesahovat hodnoty uvedené v tabulce (viz [Tabulka B.1](#));
- být ovladatelný bez odpojování jakýchkoli částí;
- být nezávislý na proudu z baterie pro systém motorového pohonu;
- mít dvě definované polohy včetně zřetelného označení volnoběžného a hnacího režimu;
- zabránit použití systému hnacího ustrojí vozíku, je-li v činnosti jakákoliv část volnoběhu.

3.2.4 Hmotnost jednotlivých dílů

Je-li invalidní vozík určen k přepravě v rozloženém stavu, musí být každý díl:

- lehčí než 10 kilogramů;
- opatřen vhodným manipulačním zařízením (madlem, rukojetí, ...).

Výrobce musí v návodu k použití uvést tato místa vhodná k manipulaci. Musí také uvést návod k demontáži, zvedání, přenášení a sestavování.

3.2.5 Pouzdra a schránky na baterie

Pouzdra a schránky na baterie musí:

- umožňovat přístup za účelem kontroly a údržby bez použití náradí;
- poskytovat ochranu před vniknutím kapalin schránky;
- poskytovat takovou ochranu, která zamezí dotyku jakýchkoli předmětů se svorkami baterie (zamezení zkratu);
- být odolné proti chemické a elektrochemické korozi.

POZNÁMKA: Pouzdra a schránky musí být opatřeny větracími otvory. Větrací otvory musí být umístěny na boční straně, v nejvyšším bodě a jejich celková plocha musí být větší než 100 mm². Tyto otvory jsou určeny k tomu, aby umožnily únik plynu.

3.2.6 Ovládací prvky určené k obsluze uživatelem

Všechny ovládací prvky ovládané uživatelem musí být v jeho dosažitelné vzdálenosti (dosahy uživatele vozíku a pomocníka jsou uvedeny v příloze B, [Obr. B.1](#)). Týká se to těchto ovládacích prvků (pokud je jimi vozík vybaven):

- spínače stavu *ZAPNUTO* - *VYPNUTO*;
- regulátoru rychlosti;
- přenastavení rychlosti;
- provozní brzdy;

- parkovací brzdy;
- akustického výstražného zařízení;
- ukazatele směru;
- ručních ovládacích prvků řízení;
- ovladačů světel;
- nastavení sedadla;
- odnímatelných dílů (opěrky paží, bérců, ...);
- volnoběhu.

3.2.7 Ovládací síly

Všechny ovládací síly, které jsou nutné pro ovládání ovládacích prvků, nesmí překročit maximální dovolené síly uvedené v [Tabulce B.1](#).

Dále, všechny hlavice ovládacích prvků musí mít uvedenu číselnou hodnotu kroutícího momentu. Maximální povolený kroutící moment, který vzniká vlivem tření při otáčení, musí být menší než $0,05 \cdot D$ (kde D je průměr hlavice) u hlavíc větších než 25 milimetrů v průměru a $0,035 \cdot D$, u hlavíc menších než 25 milimetrů.

3.3 Doporučené konstrukční vlastnosti

3.3.1 Zařízení proti převrácení

Pokud je vozík vybaven zařízením, které plní bezpečnostní funkci proti převrácení, nesmí se tato zařízení během používání pohnout ze své předem nastavené polohy. Nesmí také během používání vozíku ztratit svoji funkci, tedy zabránit převrácení nestabilního vozíku.

Tato zařízení mají být umístěna tak, aby zbytečně neprodlužovala celkovou délku vozíku.

Zařízení proti převrácení mají být opatřena štítky varováním, které udávají informaci o tom, zda je zařízení proti převrácení připevněno nebo sejmuto.

3.3.2 Opěrka hlavy

Umožňuje-li konstrukce sedadla naklopení sedáku či opěrky zad o více než 25° od vertikály, mělo by být sedadlo opatřeno opěrkou hlavy nebo alespoň úchyty na její dodatečné připevnění.

Opěrka hlavy by měla být ve výšce 680 mm až 844 mm od roviny sedáku.

3.3.3 Ukazatele poruch a stavu baterie

Každý vozík využívající elektrický zdroj pro pohon a provoz dalších součástí, má být vybaven detekcí a ukazatelem stavu poruch na jeho elektrické instalaci.

Vozík by měl být vybaven ukazatelem, který ukazuje jeho aktuální stav baterie.

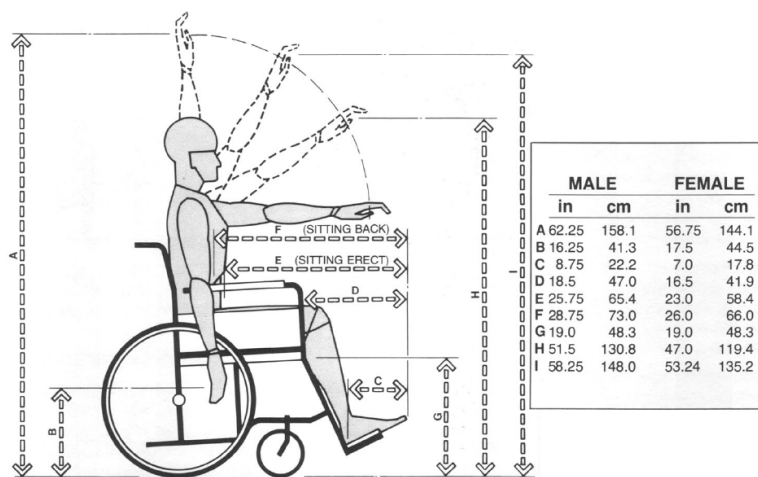
3.3.4 Osvětlení

Vozíky mohou podléhat národním požadavkům na osvětlovací tělesa a reflektory. Neexistují-li žádné takové požadavky, výrobce by se měl snažit dodržovat příslušné dohody osvětlení u automobilů (76/56/EHS, 97/28/EHS).

4

Antropometrie člověka a ergonomie vozíku

Při návrhu technických zařízení, ať už je navrhováno pro zdravé nebo tělesně postižené, se musí dbát na jeho rozměry a ergonomii. Při tomto konstruktérům a designérům pomáhá antropometrie člověka (Obr. 4.1). Antropometrie je jedna ze základních metod antropologie (nauky o člověku). Antropometrie je systém měření a pozorování lidského těla a jeho částí. Na lidském těle jsou určeny body, mezi kterými se měří jednotlivé rozměry. Jsou to většinou místa, kde je kostra překryta pouze kůží, nikoli svaly či tukem (například loket - rameno, koleno - kyčel, koleno kotník a podobné).



Obrázek 4.1: Příklad obrázku antropometrie [?]

4.1 Ergonomie vozíku

Ergonomie invalidních vozíků je nedílnou součástí jeho konstrukce. Jinou ergonomii bude mít mechanický vozík pro paraplegiky (paraparetiky), jinou zase elektrický vozík pro kvadruple-giky (kvadruparetiky).

Jelikož je vozík konstruován pro obtížné podmínky, předpokládejme, že se vozík bude většinu času pohybovat po nerovných površích. Proto je kvalita sezení jednou z nejdůležitějších věcí co se návrhu týče. Je možné navrhnout vlastní sedací systém s polohováním různých částí, výhodnější je ale tuto součást vozíku kupovat od výrobců sedadel. Totiž, samotný vývoj sedacího systému by vydal minimálně na diplomovou práci, ne-li na disertační.

4.2 Sedací systémy pro invalidní vozíky

Při dlouhodobém sezení na pohovce, ležení v posteli nebo při dlouhodobé jízdě v autě si musí každý člověk několikrát *přesednout*. Tohle ale člověk upoutaný na lůžko nebo na vozík nemůže. Z tohoto důvodu mohou u vozíčkářů při dlouhodobém sezení vznikat proleženiny, tak zvané dekubity.

Moderní zdravotnické postele a sedací systémy pro invalidní vozíky tuto problematiku řeší již řadu let. Existuje mnoho způsobů, jak lze zabránit vzniku dekubitů, však popis těchto způsobů nespadá do tématu a rozsahu této diplomové práce. Budeme tedy brát fakt, že nějaké systémy existují a je nutno s nimi počítat.

4.2.1 Sedací systémy společnosti Handicare

Společnost *Handicare* byla založena počátkem 80. let 20. století v Norsku. Společnost nevyrábí pouze sedací systémy, ale také elektrické, manuální a dětské vozíky, skútry pro straší lidi a chodítka. Elektrické vozíky nesou název *Puma* a jsou osazeny sedacími systémy *Sedeo*.

Sedeo Lite

Společnost *Handicare* nabízí dva typy sedacích systémů. Prvním, základním, typem je systém s označením *Lite*. *Sedeo Lite* je sedák s velkými možnostmi nastavení.

Sedeo Lite i druhý typ sedacího systému *Sedeo Pro* jsou vyráběny a skládány na zakázku. To znamená, že si každý člověk v objednávkovém formuláři vyberou rozměry sedadla, které vyhovují jeho postavě. V zásadě se jedná o velikost sedacího polštáře. Ten může mít velikost (délka šířka) od 42 x 40 centimetrů až do 51 x 46 centimetrů. Tuto možnost už můžeme brát jako první možnost nastavení.

Vlastní konstrukce sedadla umožňuje další nastavení, která slouží k pohodlnému posedu na vozíku. *Sedeo Lite* má dva druhy nastavení, ruční a elektronické. Ručně se nastavuje hloubka zádové opěrky, šíře loketních opěrek, výška loketní opěrky a šíře a délka nožních opěrek. Tato nastavení nám umožní přestavit délkové rozměry od 20 až do 50 centimetrů.

Elektronicky můžeme nastavit úhel u nožní a zádové opěrky. Oba tyto pohyby vykonávají elektropohony umístěné v klubech těchto opěrek. Obě tyto opěrky lze přestavit až o úhel 35°, což nám umožňuje variovat s posedem uživatele.

Cenu tohoto sedacího systému není snadné určit. Jelikož jsou to sedadla „na míru“, cena každého sedadla bude rozdílná. Ovšem, můžeme říci, že cena sedadla, obsahující všechny základní prvky se pohybuje okolo 40 tisíc korun.



Obrázek 4.2: Sedeo Lite [30]

Sedeo Pro

Sedeo Pro je vyšší řada řady *Lite*. Tato řada disponuje kompletním, plně elektronickým systémem nastavení všech dostupných stavitelných částí. To ovšem vyžaduje vyšší počet elektropohonů, a tedy vzrůst váhy. Váha je vyvažována použitím lehčích materiálů.

Sedeo Pro je i designově propracovanější, což se hodí u designových vozíků. Zaměříme-li se i zde na cenu, tak ta se pohybuje od 55 tisíc korun výše, což je o více než třetinu ceny řady *Lite*.



Obrázek 4.3: Sedeo Pro [30]

4.2.2 Sedací systémy společnosti Permobil

Společnost *Permobil* je další společností, která se zabývá stavbou elektricky poháněných vozíků (viz podsekcce 2.2.1), a k tomu všemu i konstrukcí vlastních sedacích systémů. Celková

koncepte konstrukce je velmi podobná, proto není nutné ji tu zde znovu popisovat. Společnost *Permobil* má ve svém portfoliu opět několik řad sedacích systémů jak pro dospělé, tak pro děti ([Obr. 4.4a](#) a [Obr. 4.4b](#)).



(a) Tension Seat [31]



(b) Corpus 3G [32]

Obrázek 4.4: Sedací systémy společnosti Permobil

5

Požadavky na vozík a Engineering Design Science

Ve druhé kapitole jsme si něco málo řekli o běžných mechanický a elektrických vozících a také o současných vozících schopných zdolávat náročnější terény.

Nyní je ten správný čas si rozmyslet, co od našeho vozíku požadujeme my. Proto jsme se rozhodli, ještě před samotným návrhem, vytvořit dotazník, který by nám měl pomoci si upřesnit, co vlastně od vozíku požadujeme. Dotazník obsahoval otázky, ve kterých jsme se ptali tělesně postižených na vlastnosti vozíku, které by měl podle nich vozík do terénu mít. Pro relevantnost výsledků, byl tento dotazník rozeslán mezi několik desítek tělesně postižených, ze kterých jsme získaly necelé tři desítky odpovědí. Při návrhu pomůcky budeme brát velký zřetel na výstupy z tohoto dotazníku.

V druhé části této kapitoly vezmeme všechny naše požadavky na vozík a pomocí Engineering Design Science (EDS) uděláme návrh parametrů našeho vozíku.

5.1 Dotazník

Každá malá či velká společnost si dělá před návrhem svého produktu průzkum trhu, který ji napoví, jaký produkt je v aktuální době na trhu žádaný. My jsme k tomu přistoupili stejným způsobem. Vytvořili jsme dotazník o devatenácti otázkách, ve kterých byli respondenti dotazováni na osobní i na praktické otázky ohledně pomůcky (vozíku) pro překonávání obtížných terénů. Osobní otázky byly mířeny na druh postižení, věk a polohu bydliště. Tyto otázky pomohou zjistit, jaká skupina tělesně postižených bude tyto vozíky využívat. Otázky kladené na technické specifikace vozíku se týkaly například typu pohonu, doby výdrže baterií, přepravitelnosti nebo ceny vozíku.

Dotazník byl vytvořen pomocí Java aplikace Google. Otázky kladené v dotazníku jsou uvedeny v příloze [A](#).

5.1.1 Vyhodnocení dotazníku

Dotazník byl vystaven na portálu www.vozejkov.cz. Bohužel, zde jsme získali pouhé tři odpovědi. Proto jsme se rozhodli oslovit Davida Lukeše, jednatele České asociace paraplegiků

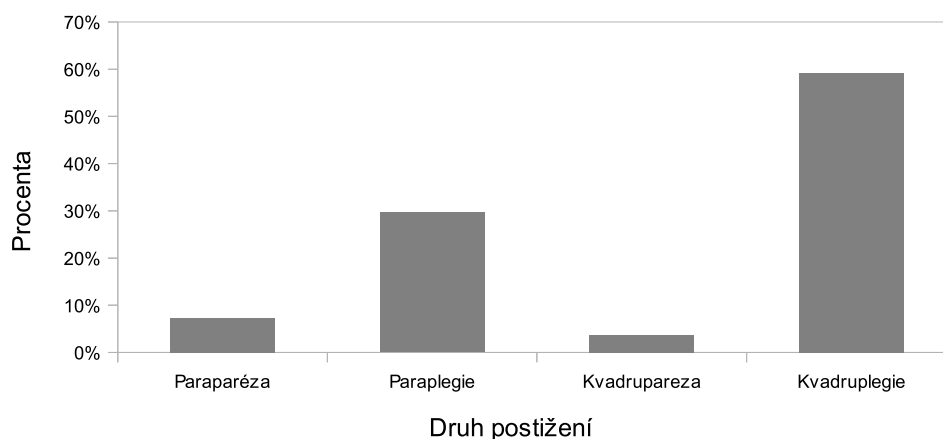
- CZEPA, který nám pomohl sehnat další odpovědi, důležité pro relevantnost dotazníku. Konečný počet odpovědí se zastavil na čísle 28¹.

Data z dotazníku byla následně zpracována a vyhodnocena. Výstupem z dotazníku jsou grafy, které nalezneme v příloze A.2. Některé, pro nás důležité, grafy si popíšeme už zde.

Charakteristika respondentů

Grafy na Obr. 5.1, Obr. 5.2, Obr. 5.3 zobrazují charakteristiky respondentů. Graf Obr. 5.1 ukazuje typy tělesných postižení respondentů. Podle Obr. 1.5 si můžeme udělat obrázek, v jakých místech mají respondenti porušenou míchu. Nejvíce dotazovaných je kvadruplegiků (postiženy všechny čtyři končetiny), necelých 60%. Druhou nejvíce zastoupenou skupinou jsou paraplegici, lidé, kteří mají postiženy končetiny v páru (nohy nebo ruce). Tato skupina postihuje 30% dotazovaných. Sedm procent dotazovaných uvedlo, že trpí paraparézou, tedy částečnou ztrátou pohybu dvou stejných končetin. Zbývá 4% respondentů uvedla jako druh jejich postižení kvadruparézu, postižení, které postihuje částečnou ztrátou pohybu všechny čtyři končetiny.

Postižení respondentů



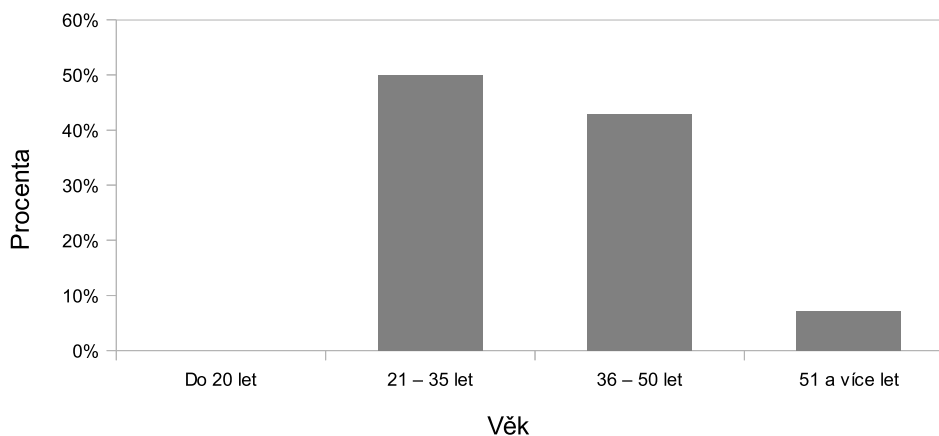
Obrázek 5.1: Postižení uživatelů

Z dotazníku jsme se dozvěděli, že nejvíce postižených, kteří by rádi na vozíku zdolávali obtížné terény, je mezi kvadruplegiky. Tedy mezi lidmi, kteří nejsou schopni ovládat a kontrolovat pohyb svých všech končetin. Je proto důležité, abychom při návrhu pomůcky (vozíku) mysleli na potřeby těchto lidí.

Obr. 5.2 v grafu zobrazuje věk respondentů. Nejvíce postižených je ve věku mezi 21 - 35 roky, méně postižených je mezi 36 - 50 rokem života a nejméně respondentů je starších 51 let.

¹Dotazník byl z důvodů dalších povinností a celkové práce na diplomové práci uzavřen 2013-01-03. Odpovědi, které přišly po tomto datu nebyly brány v potaz.

Věk respondentů



Obrázek 5.2: Věk uživatelů

V dotazníku jsme se také zajímali, odkud respondenti pochází. Nejvíce tělesně postižených, kteří by rádi pomůcky do obtížných terénů využili pochází z obcí (do 1000 obyvatel) a menších měst (do 10 tisíc obyvatel). Tyto dvě skupiny zaujímají více jak polovinu odpovědí. Dalšími významnými skupinami jsou lidé z větších měst a velkoměst. Obě tyto skupiny zaujímají shodně 18% odpovědí na tuto otázku (viz Obr. 5.3).

Závěrem lze říci, že nejvíce postižených jsou kvadruplegici, ve věku mezi 21 - 35 let a pochází z obcí a městeček. Primárně by měla být pomůcka (vozík) konstruována pro tuto skupinu obyvatel. Důležité je uvědomit si, co je pro tyto skupiny důležité a podle toho pomůcku (vozík) uzpůsobit.

Typ vozíku a jeho pohon

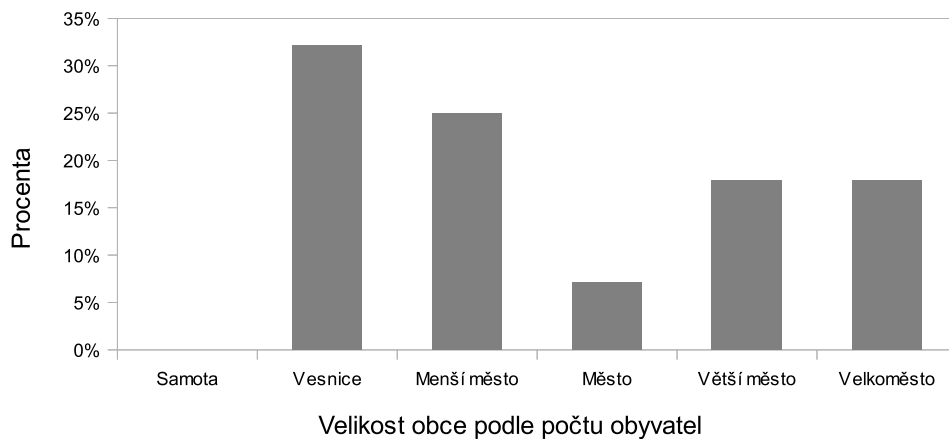
Jedna z otázek v dotazníku byla, jaký typ pomůcky (vozíku) si respondenti představují. Typů vozíků je hned několik. V zásadě se bavíme o čtyřech typech pomůcek (vozíků). Jedná se tedy o kolové a pásové vozíky, přídatné zařízení k vozíku a podvozek pod vozík.

Při výběru z těchto možností respondenti nejvíce zaškrtnuli možnost kolového vozíku, a to skoro v polovině odpovědí. Druhou nejvíce vybranou skupinou bylo přídatné zařízení k vozíku. Třicet šest procent dotazovaných by si dokázalo představit, že by k vozíku jednoduše připojovali zařízení, které by mělo vlastní pohonnou jednotku, možná i vlastní zdroj elektrické energie. Méně důvěry dostal pásový vozík a speciální podvozek pod běžný vozík.

Z dotazníku tedy vyplynulo (Obr. 5.4), že bychom se měli při návrhu pomůcky (vozíku) zaobírat dvěma možnými směry. Buď to kolovou konstrukcí a nebo konstrukcí extra zařízení, které se k běžnému vozíku snadno připojí a vozík potáhne. My se přikloníme k první variantě, tedy ke variantě kolového vozíku.

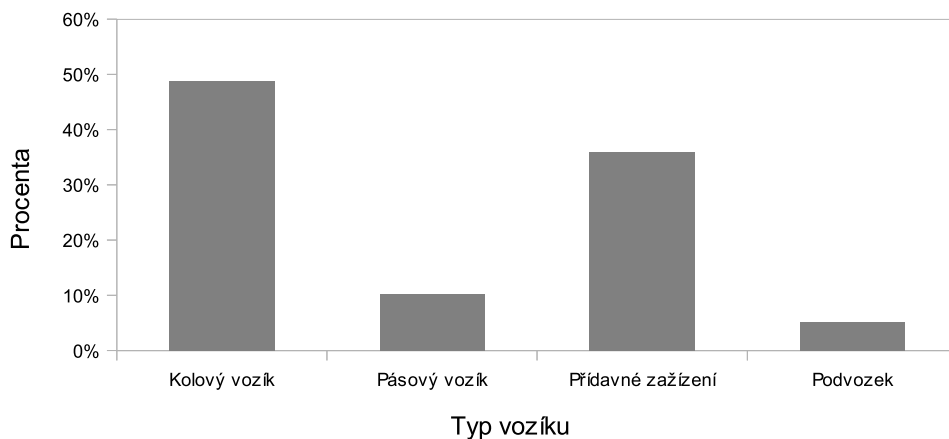
Pro pohon vozíku zvolíme elektromotor. Toto tvrzení máme opět podloženo dalším výstupem z dotazníku, viz Obr. 5.5. Celých 43% respondentů si přeje tento typ pohonu. Méně dotazovaných si přeje ruční pohon. Jsou to především paraplegici, kteří si přejí vozík pouze

Bydliště



Obrázek 5.3: Bydliště uživatelů

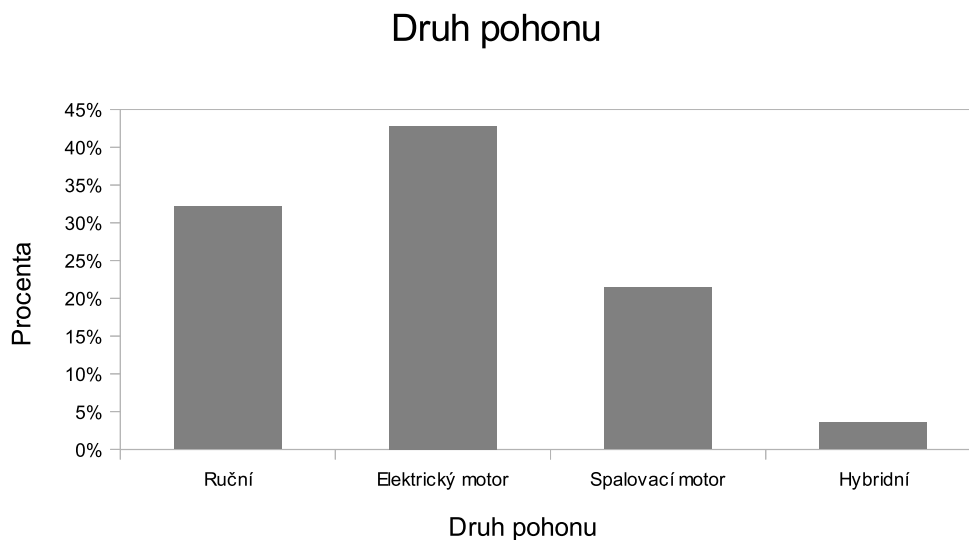
Typ vozíku



Obrázek 5.4: Typ vozíku

s ručním pohonem. Pro další variantu pohonu, pro spalovací motor, je 21% respondentů. Pro poslední, hybridní, typ pohonu jsou pouhá 4% dotazovaných.

S pohonem úzce souvisí i baterie. Všichni ti, kteří zodpověděli jako pohon vozítka elektrický motor, také shodně zodpověděli, že by si přáli, aby doba využitelnosti baterií byla delší než dvě hodiny. Jestliže se budeme bavit o průměrné rychlosti vozítka okolo 10 km/hod, budeme požadovat dojezd okolo 25 - 30 kilometrů. Dojezd bude ovšem závislý na obtížnosti terénu.



Obrázek 5.5: Typ pohonu

Cena vozíku

Důležitým faktorem trhu je cena. Cena je faktor, který většinou rozhoduje o koupi produktu. Proto jsme do dotazníku zahrnuli i tuto otázku. Na Obr. 5.6 je ukázán graf, který reprezentuje data z dotazníku. Je tedy jasné, že dotazovaní by si přáli, aby cena vozítka, pro obtížné terény nepřesáhla 150 tisíc korun. V dotazníku byla také otázka *Vlastní požadavek*, kde mohli respondenti vyjádřit svůj vlastní názor k vozítku. Proto někteří z nich uvedli i cenu vozítka. Uvedli, že by si přáli, aby cena vozítka nepřesáhla 100 tisíc korun.

Musíme tedy brát ohled i na tuto stránku. Je jasné, že s objemem produkce budou klesat celkové náklady. U těchto artiklů nemůžeme ale předpokládat, že se budou vyrábět v desetitisících kusech, objem výroby se bude pohybovat v tisících kusech ročně, proto náklady na jednici budou vyšší než-li u vozíků masové produkce.

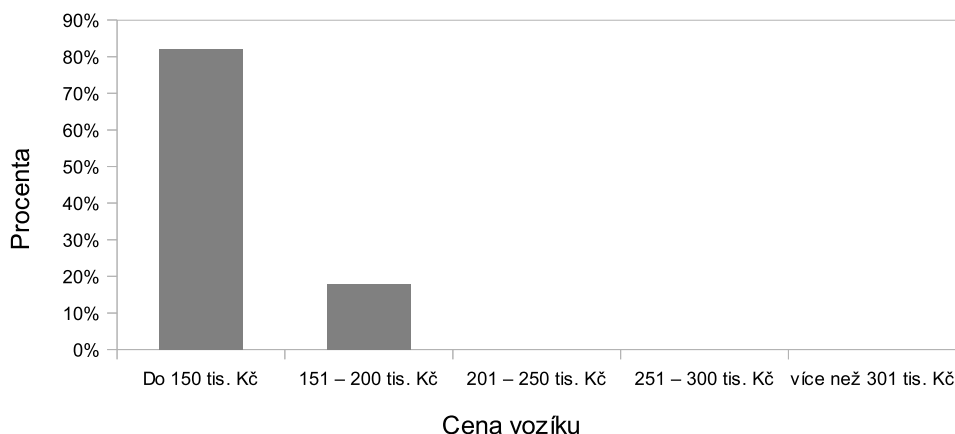
5.2 Vlastnosti vozíku

Nyní jsme si představili některé výstupy z dotazníku a je na čase si určit, co od vozíku požadujeme. Naše myšlenka při návrhu vozíku pro obtížné podmínky je taková, že by se jednalo o lehký (v porovnání s ostatními elektrickými terénními vozíky), skladatelný elektrický vozík, který by byl dostatečně tuhý, stabilní, a zároveň přepravitelný v kufru automobilu. Chceme, aby byl schopen zdolávat obtížnější terény, chceme, aby byl cenově dostupný a také chceme, aby byl v terénu bezpečný.

5.2.1 Přepravitelnost vozíku

Přepravitelnost je důležitou vlastností vozíku pro ty uživatele, kteří chtějí využívat vozík každý den. Pro snadnou přepravitelnost slouží některé parametry vozíku, kterými jsou například:

Cena vozíku podle respondentů



Obrázek 5.6: Cena vozíku

- váha,
- rozměry,
- skladatelnost.

Pohledem na tyto vlastnosti můžeme jednoznačně určit, zda-li bude vozík přepravitelný nebo obtížně přepravitelný. Určitě existují mezi uživateli vozíků zástupci obou skupin, ti, kteří by si přáli mobilní přepravitelný vozík, ale i ti, kterým by vyhovoval jednoúčelový vozík, který by měli například na chatě a tam s ním vyjžděli do přírody.

Skladatelnost, smontovatelnost a rozebiratelnost vozíku

Navážeme-li na předchozí text, tak s otázkou přepravitelnosti úzce souvisí i rozebiratelnost a smontovatelnost. Většina automobilů nemá takové prostory, aby se tam vešel vozík bez toho, aniž by se musel nějakým způsobem složit či nějak rozmontovat. Ať už při skládání, rozkládání nebo při demontáži je důležité myslet na to, aby nemusel uživatel zbytečně použít běžného či speciálního náradí. Každý úkon by měl být schopen uživatel (nebo jeho pomocník) udělat bez použití náradí, například pomocí rychloupínačů, excentrů, ručně utažitelných matek či bajonetových uzávěrů.

Na místě je také otázka, zda-li se nevydat cestou modulárních prvků pomůcky. Jinými slovy, pomůcka by se skládala z několika částí. Například z hlavního svařeného rámu, ke kterému by se jednoduchým, ale za to s dostatečně zajištěnou bezpečností a tuhostí, přidávaly další díly pomůcky jako například kola, motory, baterie, sedlo a další.

5.2.2 Tuhost a stabilita rámu

Projíždění terénu, ať už s vozidly, čtyřkolkami nebo s vozíky, klade vysoké nároky na tuhost rámu. Je zcela nevhodné, aby se vozík při projíždění terénu či překonávání překážky kýval ze



Obrázek 5.7: Pomocná přídavná zadní kolečka (vozík Action Trackstander TR2020) [10]

strany na stranu a nebo měl dokonce tendenci přepadnout.

Jestliže konstrukce vozíku nebude dostatečně tuhá, nároky na pohon se budou zvyšovat, v závislosti na tuhosti rámu. Má-li rám tendenci se „kroutit“, pohonná jednotka bude muset tuto elasticitu rámu při pohybu překonat. Při pohybu v obtížných podmínkách bude mít rám tendenci se více „kroutit“, proto bude muset být na tuhost pohlíženo s větším důrazem.

Tuhost se dá zjistit různými způsoby. U rámu se většinou zjišťuje jejich torzní tuhost. Torzní tuhost rámu můžeme zjistit jak pomocí analytického, tak i numerického řešení. Pro numerické výpočty tuhosti můžeme využít moderních softwarových nástrojů, například softwarů pro výpočty metodou konečných prvků (dále jen MKP).

S tuhostí, jakožto bezpečností, jede na jedné koleji i stabilita vozíku. Bude-li mít konstrukce vozíku sedák relativně vysoko, jeho těžiště bude vysoko a při projíždění obtížným terénem může mít vozík snahu přepadnout. To je nežádoucí stav. Některé konstrukce mají pro tento případ přídavná přední a zadní kolečka, která zajišťují maximální možný úhel naklonění vozíku v přímém směru tak, aby byla zachována bezpečnost uživatele proti přepadnutí, viz [Obr. 5.7](#).

Vozík může mít tendenci se překloupit také v bočním směru, například při jízdě po svahu. Tuto stabilitu můžeme opět zajistit několika způsoby. Například širší základny, tedy rozchodem kol. Opět i zde platí, že čím níže je celkové těžiště, tím je lepší stabilita vozíku. O stabilitě vozíku je více napsáno v kapitole [9](#).

5.2.3 Váha a velikost

Dalšími, velmi důležitými, faktory vozíku jsou jeho hmotnost a jeho velikost. Od hmotnosti se odvíjí další vlastnosti vozíku, jakými jsou například manévrovatelnost, celková mobilita vozíku, přepravitelnost a spotřeba energie. Při návrhu jakéhokoliv technického zařízení, pro účely pohybu, je důležitá hmotnost. Jestliže takovéto zařízení nemá nějaký externí zdroj výkonu, například elektrický nebo spalovací motor, každý kilogram navíc je při delší době používání velkou zátěží.

Poněvadž s hmotností roste i spotřeba energie, je nutné i u externích zdrojů energie dbát na hmotnost, jelikož na tom závisí celkový dojezd vozíku. U spalovacího motoru to není až tak

znatelné, ale u elektrického pohonu, respektive u baterií, jakož to zdroje elektrické energie, je to znatelnější.

Nové technologie při výrobě baterií dokáží vytvořit takový zdroj energie, který dokáže zásobovat energii automobil i na vzdálenost přesahující 150 kilometrů. Je zřejmé, že v automobilech jsou baterie větších kapacit, srovnáme-li ale hmotnost automobilu a pomůcky pro tělesně postižené a jejich možnou reálnou kapacitu baterií, dojdeme k závěru, že dojezdy se mohou s mírnou odchylkou shodovat. Vždy ale rozhoduje cena, která je u takovýchto baterií příliš vysoká.

Výdrž ovšem bude záležet na tom, jakým terénem se bude pomůcka pohybovat. Na rovinném městském povrchu je reálné, aby měl vozík dostatek energie pro ujetí 50 kilometrů. Ovšem, bude-li uživatel jezdit v lesním terénu, kde je potřeba více energie pro zásobení motorů, dojezd se sníží až o desítky kilometrů.

Konstrukční materiály

S váhou, potažmo s velikostí, úzce souvisí použité konstrukční materiály. Některé vozíky jsou vyráběny z ocelových profilů či trubek, což má za následek vyšší hmotnost. Větší část z nich je ale konstruována z lehkých hliníkových slitin (duralů), které mají poměrně vysoké pevnosti a zároveň nízkou měrnou hmotnost (přibližně 3,5x nižší než ocel).

V našem případě jsme se rozhodli použít hliníkových slitin, přesněji slitiny s označením EN AW 6026, která má zajištěnou dobrou korozní odolnost, dobrou svařitelnost a dobrou obrobitelnost. Tato hliníková slitina je slitina hliníku - křemíku (0,6 - 1,4%) - hořčíku (0,6 - 1,2%) - manganu (0,2 - 1,0%). Zastoupeny jsou zde i další prvky - Fe, Cu, Bi, Zn, Pb, Cr a Ti.

Jelikož duralové slitiny nevykazují výraznou mez kluzu, platí zde smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$. Prodejci dodávají tuto slitinu ve dvou stavech:

- T8 - stav po rozpouštěcím žíhání, tváření za studena s následným umělým stárnutím,
- T9 - stav po rozpouštěcím žíhání, po umělém stárnutím a následným tvářením za studena

V prvním případě má slitina smluvní mez kluzu $R_{p0,2} = 315\text{MPa}$, v druhém případě má $R_{p0,2} = 330\text{MPa}$.

5.2.4 Doba výdrže baterií

S hmotností úzce souvisí i výdrž a velikost baterií. Je logické, že čím těžší vozík, tím více energie bude potřeba pro jeho pohyb.

V současné době je v automobilovém průmyslu trendem vyrábět „zelené“ automobily. A jelikož je automobilový průmysl velice silný, kde se vyrábí v objemové produkci sta tisíců kusů ročně, mnoho výrobců baterií se soustředí na vývoj baterií, jako zdroj elektrické energie pro elektrické motory. Jelikož je na poli mnoho silných výrobců baterií, potom i vývoj jde velkými kroky kupředu. Není proto složité vybrat ten správný typ baterie pro daný typ vozíku.

Výdrž, potažmo kapacita, baterií je velmi důležitá. Určuje totiž fakt, jak moc mobilní vozík bude. Jinak řečeno, vydrží-li baterie zásobovat motor energií pouhých 5 kilometrů, je zřejmé, že takovéto vozítko bude určeno maximálně do městského prostředí. Na druhou stranu, bude-li pomůcka schopna překonat desítky kilometrů, její uživatel bude moci jezdit i na odlehlejší místa, která jsou dalece vzdálená nějakému zdroji elektrické energie.

5.2.5 Pohon a úroveň překonávání překážek

Po zpracování výsledků dotazníku je jasné, který typ pohonu použijeme. S elektrickým pohonem, který budeme brát jako zdroj síly, bude pomůcka schopna překonat daleko širší oblast obtížných překážek, až skoro po ty nejobtížnější, jakými jsou například hluboký sníh, lesní terén či kamenité nezpevněné cesty. Je to také jediná možnost pro kvadruplegické uživatele, kteří nemají, tedy kromě spalovacího motoru, jinou možnost.

Většina terénních vozíků je poháněna dvěma nebo čtyřmi elektromotory o síle 250 - 500W. Tyto, většinou z převodované, elektromotory poskytují dostatečnou sílu a točivý moment pro zdolání náročného terénu.

5.2.6 Způsob využívání pomůcky

Důležité je si pro účel konstrukce vymežit oblast využití této pomůcky. Určitě bude rozdíl, zda-li budou uživatelé pomůcku využívat spíše ve sportovním duchu nebo by spíše uvítali její užitnější složku použití. Při zjištění, jakou vlastnost si trh žádá se můžeme zaměřit na celkovou konstrukci a koncepci pomůcky (vozíku).

Sportovněji založená pomůcka bude mít mnoho společných prvků například se čtyřkolkami. Celá koncepce podvozku se bude lišit od podvozku užitnější koncepce. Celkové těžiště by muselo být co možná nejnižší, aby šlo s vozíkem jezdit vyššími rychlostmi. Určitě bude důležité dobré odtlumení pomůcky, poněvadž při vyšších rychlostech by nemusela být zajištěna stabilita pomůcky.

Na druhou stranu, u vycházkových (užitnějších) vozíků se bude více hledět na užitnější stránku. Například na odkládací místa. I mezi tělesně postiženými může být mnoho vášnivých houbařů, kteří ale nemají žádné takové zařízení, které by jim umožnilo výlet do lesa. Nemusí to být ale pouze jen příklad houbaření, ale i obyčejných nákupů, kdy potřebujeme mít nějaké odkládací místo.

Je tedy vidět, že podle způsobu používání pomůcky budeme muset na pomůcku pohlížet z různých úhlů pohledu, a to jak z hlediska pohonů, podvozku nebo užitkovosti.

5.2.7 Cena

Nejrozhodnějším faktorem ke koupi bude stejně jako u všech ostatních artiklů cena. Cena ovlivňuje zákazníky asi nejvíce. Při konstrukci musíme tedy myslet i na tento fakt. Musíme ale myslet i na konkurenceschopnost produktu. Konkurenceschopný produkt je takový produkt, který má odpovídající vlastnosti v uspokojivé kvalitě a je-li cenově dostupný.

Určitý obrázek o ceně si můžeme udělat už před celkovým návrhem produktu. Stačí si pouze projít informační zdroje (webové stránky, katalogové listy, propagační materiály a další) ostatních výrobců podobných produktů. Už tehdy se můžeme rozhodnout, jakou cestou se vydáme.

5.3 Engineering Design Science

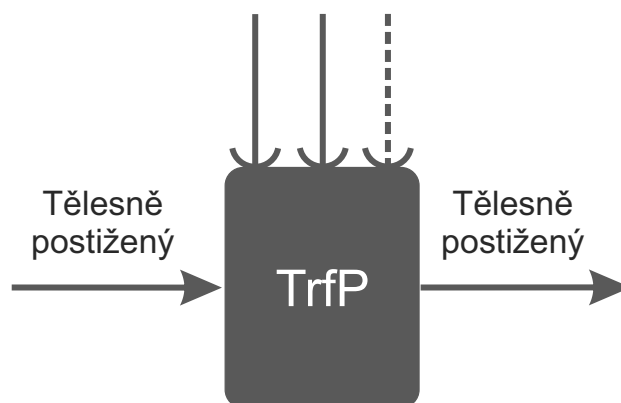
EDS je moderní teoretický vědní obor, který se snaží konstruktérům poskytnout nejlepší možné řešení problému. EDS by měl pomoci k identifikaci, zobecnění, ověření a systematickému zpracování poznatků pro racionální a kreativní navržení technických produktů (TP).

5.3.1 Návrh invalidního vozíku do obtížných podmínek pomocí EDS

EDS tedy pomáhá najít konstruktérovi nejlepší řešení dané problematiky. Vychází z popsání daného problému. V našem případě je tím problémem konstrukce vozíku pro obtížné podmínky.

Použijeme-li pro návrh vozíku systém EDS, prvním krokem pro návrh bude sestavení tak zvané „černé skříňky“. „Černá skříňka“ popisuje pouze vstupní a výstupní stav technického systému (TS) bez ohledu na jeho vnitřní strukturu procesy.

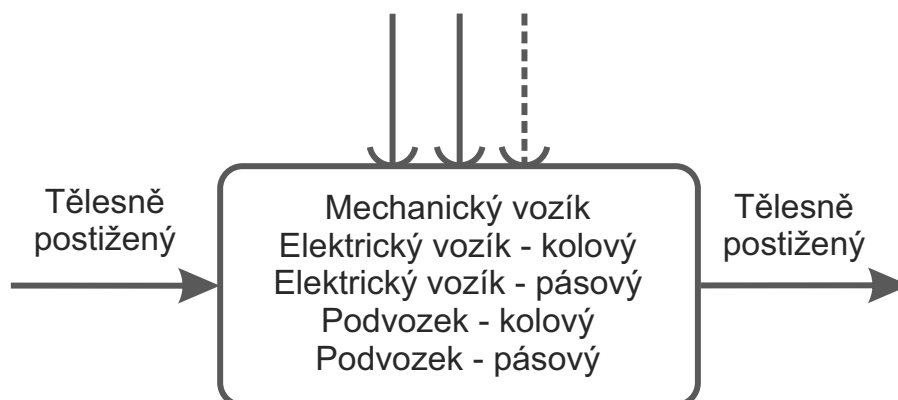
Černou skříňkou (Obr. 5.8) myslíme transformační proces (TrfP), který transformuje vstupní veličinu na výstupní veličinu. Na TrfP působí kromě vstupu a výstupu i jednotlivé vnější operátory (člověk, energie, okolí a další).



Obrázek 5.8: Černá skříňka - transformační proces

Vstupem a výstupem je pro nás tělesně postižený, tedy uživatel. Vstupem je požadavek na přepravení uživatele, výstupem je přepravený uživatel. Černá skříňka neřeší procesy, které tento TrfP uskutečňují, řeší pouze vstup a výstup TrfP.

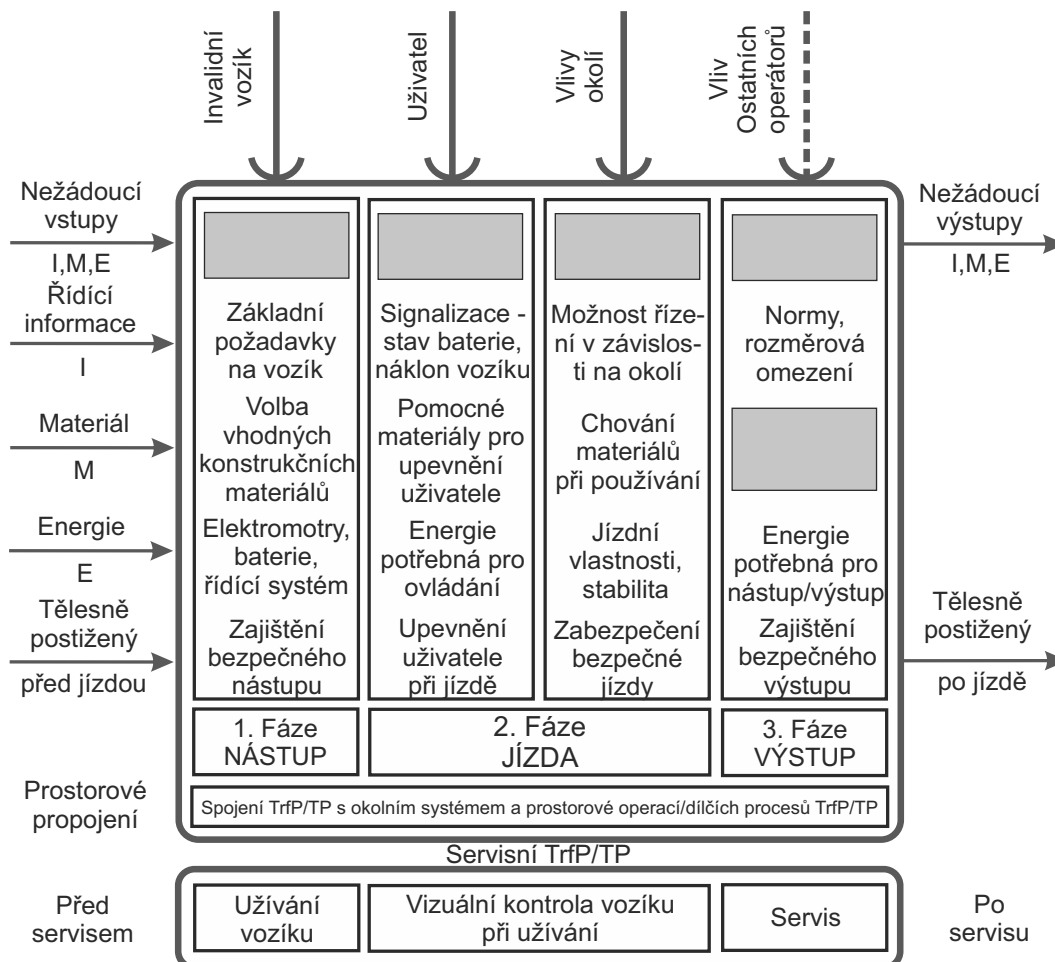
Černá skříňka je rozšířena o několik možností TrfP, kterými lze dosáhnout k uskutečnění TrfP. V podstatě se jedná o již dříve zmíněné typy invalidních vozíků z kapitoly 2 na straně 8. Tedy, TrfP zde budou typy vozíků, které je možné v současnosti sehnat na trhu (Obr. 5.9).



Obrázek 5.9: Rozšířená černá skříňka

Třetím, a posledním, krokem návrhu je úplné rozpracování rozšířené černé skříňky, tedy

vypracování úplného provozního transformačního procesu. V této fázi určíme jednotlivé vstupy, jednotlivé výstupy a účinky všech možných operátorů, které na TrfP působí. Vše je zobrazeno v Tab. 5.1.



Tabulka 5.1: Kompletní návrh TrfP

5.3.2 Morfologická matice

Morfologická matice (Tab. 5.2) je nástroj pro konstruktéry, který pomáhá vybrat optimální řešení konstrukce.

Morfologická matice se sestaví tak, že si konstruktér vypíše všechny důležité funkce produktu a jejich možná provedení. Poté každému řešení přiřadí váhu a vybere se optimální řešení problému.

5.4 Konstrukční varianty

Většina námi navržených variant bude mít několik schodných rysů. Tyto rysy se týkají jejich vlastností, které vyplynuly z dotazníku. Tedy, všechny varianty budou skladatelné, také budou

Orgán	Funkce	Varianty provedení			
Rám	Skladatelnost	Skladatelný		Neskladatelný	
Pohon	Pohonná energie	Ruční pohon	Elektromotor Hub motor	Rámový motor	Spalovací motor
Koncepce		2 kola	3 kola	4 kola	
Brzdy	Provozní brzdy	Mechanické		Elektrické	
Brzdy	Ovládání aretační brzdy	Bez aretační brzdy	Ruční	Mechanické	Elektronické
Kola	Umožnění pohybu	12"	16"	18"	20" 24"
Baterie	Zásobník energie	10Ah	12Ah	15Ah	20Ah
Ovládání	Způsob řízení vozíku	Řidítka		Volant	Joystick
Sedací systém	Typ sedadla	Elektron. nastavení	Mechan. nastavení	Bez nastavení	Kombinace nastavení
Šířka vozíku	Maximální šířka vozíku	do 700 mm	do 800 mm	do 900 mm	do 1000 mm
Maximální zatížení	Hmotnost uživatele	do 80 kg	do 100 kg	do 120 kg	do 150 kg

Poznámka: Varianta A - červená cesta
 Varianta B - modrá cesta
 Varianta C - zelená cesta
 Varianta D - oranžová cesta
 Varianta E - žlutá cesta
 Varianta F - fialová cesta
 Varianta G - hnědá cesta

Tabulka 5.2: Morfologická matice

mít elektrický pohon, budou široké maximálně 800 milimetrů a jejich maximální zátěž bude 100 kilogramů. Některé varianty se budou lišit třeba jen minimálně, například velikostí kol nebo druhem motoru. Rozdíly mezi variantami jsou popsány níže.

5.4.1 Varianta A

Varianta A (Obr. 5.10) reprezentuje skladatelnou variantu. Jedná se o variantu s hub motorem a třemi koly. Tato koncepce uvažuje vpředu dvě 24" kola a vzadu jedno menší, 8", které plní funkci otáčecí.



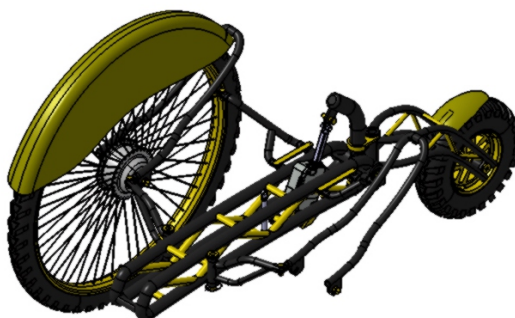
Obrázek 5.10: Koncept varianty A

Pro lepší jízdní vlastnosti bylo v plánu vytvořit takový rám, který by byl schopen, pomocí nějakého prvku, měnit svou světlovou výšku. Nakonec jsme vymysleli kloubový systém, který byl ovládán pomocí lineárního pohonu. Tento pohon měl rozsah 0 - 200 milimetrů, jeho původní poloha byla nastavena na polovinu rozsahu, tedy 100 milimetrů. Lineární pohon mohl tedy zvyšovat či snižovat světlovou výšku vozíku. Zvyšování světlé výšky, tedy i těžiště, se hodilo při jízdě do kopce, kdy byl pasažér více nakloněn na přední kola, která měla následně lepší záběr.

Nevýhodou této varianty byl omezený prostor pro optimální pro uložení sedadla (sedacího systému). Jednalo se o to, že se konec zadní kyvné páky při snižování světlé výšky vozíku pohyboval po kružnici okolo otočného místa směrem dopředu, kde mohl následně narazit do sedáku. Tento problém by šel vyřešit kratším koncem zadní kyvné páky, který vyčnívá směrem nad otočný bod kloubu, potom bychom ale nedosáhli takového výškového rozdílu mezi normální polohou a polohou při sníženém podvozku. Dalším možným řešením by mohlo být přepákování, pomocí kterého bychom ušetřili místo a zachovali přijatelnou výšku pro snižování/zvyšování podvozku. My jsme se rozhodli tento problém řešit pomocí trubkového příhradového rámu (viz Obr. 5.11), ve kterém byl uložen lineární pohon. Tedy, ušetřili jsme místo nad kloubem a nemuseli jsme ho dělat složitější, jak by tomu bylo při návrhu přepákování.

5.4.2 Varianta B

Varianta B Má stejný základ jako varianta A. Rozdíl mezi těmito variantami je pouze ve velikosti kol a jejich motorech. U varianty B byl při návrhu použit hub motor lisovaný, nebo jiným způsobem připevněný, v hliníkovém ráfku. Tyto motory, respektive ráfky se vyrábějí ve velikostech 12, 16, 18 a 20 palců. Kola mají hezký design a vypadají na pohled krásně, jenže, při návrhových výpočtech výkonových parametrů motorů jsme došli k závěru, že v současnosti



Obrázek 5.11: Koncept varianty A s příhradovým rámem

žádný z na trhu dostupných hub motorů svými parametry nesplňuje naše požadavky. V této chvíli jsme obě varianty s hub motory zavrhlí a hledali další možné alternativy.

Hlavním důvodem, proč jsme zpočátku přišli s řešením hub motorů bylo jejich umístění v kole. Této vlastnosti jsme chtěli využít pro snadnou rozebíratelnost a smontovatelnost vozíku. Všechny ostatní motory, které bychom mohli využít musejí být napevno přimontované k rámu. Zde ale nastává problém z hlediska celkové hmotnosti jednotlivých komponent po rozebrání. Norma ČSN EN 12184 (viz kapitola 3, stránka 25) nám jasně říká, že hmotnost jednotlivých odjímatelných komponent vozíku by neměla přesáhnout 10 kilogramů. Kdybychom vzali průměrnou hmotnost motoru 5 kilogram, tak jen motory budou mít 10 kilogramů.

5.4.3 Varianta C

U varianty C jsme opět uvažovali tříkolový podvozek předchozích koncepcí, tedy 2 velká kola vpředu a jedno malé otáčecí vzadu. V této chvíli jsme už z návrhových výpočtů motorů věděli, že musíme hledat velmi silné elektrické motory. Motory vyhovující našim parametrům bývají už většinou nějakým způsobem zpřevodované, aby na výstupní hřídeli poskytovaly dané parametry.

Našli jsme typ motoru, tak zvaný transaxle motor (viz. Obr. 6.5), který svými parametry vyhovoval našemu návrhu. Jenže, i zde byly jisté problémy. Největším byla jeho hmotnost a rozměry. Zakomponovat tento typ motoru do koncepce rámu by nebyl až takový problém, ale, jestliže váží samotný motor 14 kilogramů, byl by problém s jeho montážní a demontáží. Další problém byl s jeho celkovými rozměry. Největší průměr těchto motorů je téměř 250 milimetrů. A celková délka motoru je 625 milimetrů². Ani jeden tento rozměrů není vyhovující, proto jsme i tuto variantu zamítli.

V této chvíli jsme se paralelně s hledáním vhodných motorů rozhlíželi po nějakých sedacích systémech. Chtěli jsme, aby měl námi uvažovaný sedací systém alespoň nějakou možnost elektrického nastavení. Dlouhou dobu se nám nedařilo najít nějakého výrobce těchto sedacích systémů. Poté jsme jich pár našli a kontaktovali. Kontaktovali jsme je proto, protože jsme

²Poznámka: Rozměry jsou odhadovány z rozměrů přepravní krabice, kterou výrobce udává u informací při zasílání.

chtěli znát některé rozměry sedáků, abychom mohli vymyslet nějaký systém připevnění. Na naše emaily žádná z firem nezareagovala. Po určité době jsme našli nějaké materiály, která nám pomohly a my mohli vymyslet systém upevnění sedacího systému.

5.4.4 Varianta D

Přelomovou variantou byla varianta D. Zde jsme přišli s úplně novým typem rámu. Varianta D je zároveň naší finální variantou, kterou jsme dále rozpracovali. Popisu této varianty je věnována celá následující kapitola.

Koncepce dvě velká kola vpředu jedno malé vzadu zůstala. Zmenšil se průměr kol na 20", to z toho důvodu, že s průměrem kol se také zvyšují nároky na výkonové parametry motoru(ů).

V této chvíli jsme už měli také vybraný sedací systém od společnosti *Sedeo*, který poskytuje celou řadu mechanických a elektronických nastavení.

Měli jsme už vybrány i motory. Jelikož museli být tyto motory napevno přimontovány k rámu, museli jsme řešit otázku jejich snadné rozebíratelnosti/smontovatelnosti. Napadla nás možnost využít redukčního členu mezi rámem a motorem. Motor jsme pomocí šroubů upevnili k tomuto mezičlenu a pro tento mezičlen jsme na rámu vymysleli speciální systém upínání (viz následující kapitola).

Jelikož jsme tuto variantu zpracovávali více komplexněji, došla zde řada i na otázku brzd. Tyto motory mají své dvě vlastní brzdy, provozí elektromagnetickou a aretační mechanickou. Museli jsme se dále zamyslet, co se stane, přestane-li provozní brzda z jakéhokoliv důvod fungovat (vybitá baterie, uvolněný kontakt). Vozík by byl nebrzditelný. Z tohoto důvodu jsme rozhodli připojit k vozíku další provozní brzdu. Tato brzda je mechanická, takže není závislá na elektrické energii. V první fázi jsme uvažovali brzdu, která by se vlivem přítlačné síly třela o pláště kol a tím by vyvozovala brzdnou sílu. Narazili jsme zde na problém z hlediska uložení této brzdy. Jelikož máme úzký rám (cirka 250 milimetrů), držáky těchto brzd by museli hodně vyčnívat, což by přineslo problémy při skladatelnosti. Tak nás napadlo využít cyklistických bubnových brzd. Nevýhodou těchto brzd byl jejich náboj. Většina cyklistických bubnových brzd se vyrábí s průměrem náboje 12 milimetrů, což je málo, jelikož námi vybraný motor má výstupní hřídel o průměru 17 milimetrů. U této varianty brzd také naskytl problém z hlediska přenosu výkonu na kolo. na motoru je drážka pro pero, takže bychom museli každý náboj speciálně upravovat, což by nebylo jak technicky, tak ekonomicky výhodné. Rozhodli jsme se tedy využít opět cyklistických, ale nyní už kotoučových brzd. Jejich cena je o něco málo vyšší, ale máme jistotu snadného připevnění ke kolu. U této varianty jsme si museli navrhnout vlastní náboj kola, takový, aby měl drážku pro pero a vnitřní průměr náboje odpovídající průměru náboje hřídele motoru. Také musel mít možnost pevného připevnění disku pro kotoučovou brzdu.

Po vyřešení všech těchto problémů jsme dostali finální variantu našeho vozíku, která je rozebrána v další kapitole.

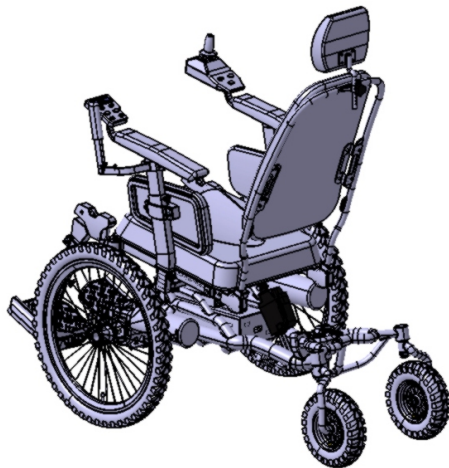
5.4.5 Varianty E a F

Rozdíl mezi finální variantou D a variantami E a F je pouze v ovládní aretační brzdy. U naší finální varianty je aretační brzda ovládána ručně, u těchto variant je aretační brzda ovládána mechanicky pomocí táhla, respektive elektronicky. Jiný rozdíl mezi těmito variantami není.

5.4.6 Varianta G

Všechny tyto varianty měly koncepci s třemi koly. U této varianty jsme přemýšleli o verzi se čtyřmi koly (Obr. 5.12). Tato varianta by určitě přinesla větší stabilitu vozíku, zároveň ale menší manévrovatelnost ve složitějším terénu. Také s sebou nese horší manipulovatelnost při skládání do automobilu a také má větší rozměry při složení.

Tato varianta není zcela zavržena, je možné jí brát jako jednu z možných alternativ dalšího vývoje.



Obrázek 5.12: Varianta G

6

Návrh technických parametrů vozíku

Jízda v obtížných terénech klade nemalé nároky na technickou, respektive výkonovou složku vozíku, ale také na složku tuhosti. Z dotazníku (viz kapitoly 5.1.1 a A.2) vyplynula celková použitelnost vozíku. Chceme-li zařadit vozík do nějaké skupiny, tak to bude vozík, který bude schopen překonávat obtížnější terény, jeho maximální rychlost bude okolo 12 - 15 km/hod a dojezd by se měl pohybovat okolo 15 - 20 kilometrů na jedno nabití.

6.1 Pneumatiky

Základem vozíku pro náročné podmínky je dobře zvolený rozměr a vzorek pneumatik. Aby byl vozík schopen překonat jisté náročné překážky, musí mít jeho pneumatiky rozumný rozměr, čím větší, tím lepší. Toto platí pouze co se týče překonání překážek v terénu. Na druhé straně vah je výkon motoru, který se se zvětšujícím rozměrem pneumatik musí také zvyšovat. Jelikož jsou elektromotory omezeny co se výkonu týče, musíme najít kompromis mezi velikostí pneumatik a výkonem motoru.

V našem návrhu jsme se rozhodli využít kol s pneumatikami o rozměrech 20 x 1,75 palce. Pneumatiky tohoto rozměru nám zabezpečí průchodnost i průjezdnost náročnějším terénem, a zároveň nebudou klást takové nároky na technické parametry motoru (výkon, točivý moment).

Třetí kolo našeho tříkolového podvozku je určeno k otáčení. Je uloženo v otočné vidlici, která umožňuje jeho pohyb o 360°. Zde není potřeba mít velké rozměry kola, ba naopak, zde je výhodné uložit kolo s menšími rozměry než jsou kola přední. Vybrali jsme tedy kolo o průměru ráfku 8". Kolo, respektive uložení kola ponese také velkou část zatížení, je tedy nutné, aby tento spoj byl schopen tato zatížení přenést.

6.2 Pohonná jednotka

Hlavním účelem tohoto vozíku bude schopnost zdolávat obtížné terény, proto je důležité navrhnout správné parametry motoru(ů). Výkon a moment motoru budeme tedy počítat hlavně

pro případ jízdy lesem. Pouze pro informaci si vypočteme i jízdu po rovině.

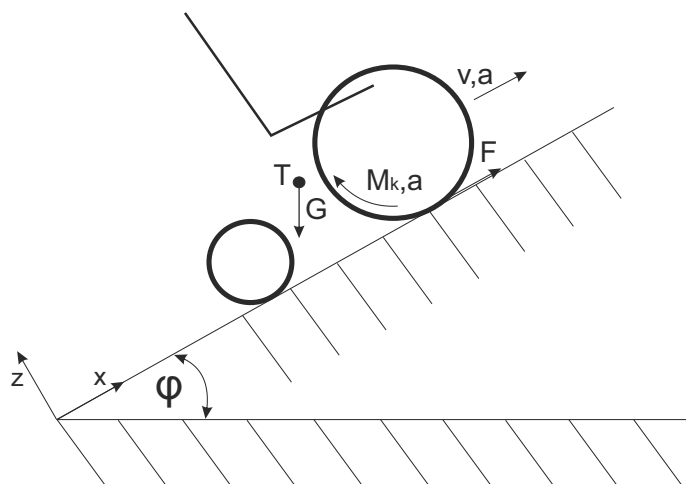
6.2.1 Potřebné parametry motoru

Elektromotor je základní pohonnou jednotkou téměř všech elektrických invalidních vozíků. Pro správný návrh elektromotoru(ů) je důležité znát některé parametry. Těmito parametry jsou:

Celková hmotnost vozíku m (i s uživatelem)	$m = 150 \text{ kg}$
Rozměr hnacích kol 20"	$d \approx 530$ (s pláštěm)
Účinnost elektromotoru μ	$\mu = 75\%$
Maximální rychlost po rovině $v_{max_{rov}}$	$v_{max_{rov}} = 12 \text{ km/hod}$
Maximální rychlost do kopce $v_{max_{kop}}$	$v_{max_{kop}} = 4 \text{ km/hod}$
Požadovaná stoupavost φ	$\varphi = 50\% = 22,5^\circ$
Zrychlení po rovině a_r	$a = 1,0 \text{ m/s}^{-2}$
Zrychlení do kopce a_k	$a = 0,3 \text{ m/s}^{-2}$

Tabulka 6.1: Požadavky vozíku pro výpočet výkonu elektromotoru(ů)

Na Obr. 6.1 je schematicky znázorněna jízda do kopce.



Obrázek 6.1: Schématická jízda do kopce

Výpočet výkonu a točivého momentu elektromotoru při jízdě lesem

Potřebná síla vynaložená pro dosažení požadované rychlosti:

$$F = m \cdot a_k + m \cdot g \cdot \sin \varphi = 150 \cdot 0,3 + 150 \cdot 9,81 \cdot \sin 22,5 \approx 578N. \quad (6.1)$$

Potřebný točivý moment motoru:

$$M_{k_{20''}} = F \cdot r = 578 \cdot 0,265 \approx 153Nm. \quad (6.2)$$

Otáčky kola:

$$n_{20''} = \frac{v_{max_{kop}}}{2\pi r} = \frac{4}{2\pi \cdot 0,265 \cdot 3,6} = 0,67s^{-1} \approx 40 \frac{ot}{min}. \quad (6.3)$$

Nyní vypočteme teoretický výkon motoru:

$$P_{teor_{20''}} = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2\pi n = 153 \cdot 2\pi \cdot 0,67 \approx 644W. \quad (6.4)$$

Teď si vypočteme skutečný výkon motoru, který zahrnuje jeho účinnost:

$$P_{skut_{20''}} = \frac{P_{teor}}{\mu} = \frac{644}{0,75} \approx 860W. \quad (6.5)$$

Jelikož využijeme dvou motorů, potřebné celkové parametry pro jízdu lesem budou pro každý motor poloviční. Motor by měl mít tedy minimální výkon 430 W a točivý moment 76,5 Nm.

Výpočet výkonu a točivého momentu elektromotoru při jízdě po rovině

Potřebná síla vynaložená pro dosažení požadované rychlosti:

$$F = m \cdot a_r + m \cdot g \cdot \sin \varphi = 150 \cdot 1 + 150 \cdot 9,81 \cdot \sin 0 = 150N. \quad (6.6)$$

Potřebný točivý moment:

$$M_{k_{20''}} = F \cdot r = 150 \cdot 0,265 \approx 40Nm. \quad (6.7)$$

Otáčky kola:

$$n_{20''} = \frac{v_{max_{rov}}}{2\pi r} = \frac{12}{2\pi \cdot 0,265 \cdot 3,6} = 2s^{-1} \approx 120 \frac{ot}{min}. \quad (6.8)$$

Nyní vypočteme teoretický výkon motoru:

$$P_{teor_{20''}} = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2\pi n = 39 \cdot 2\pi \cdot 2 \approx 490W. \quad (6.9)$$

Teď si vypočteme skutečný výkon motoru, který zahrnuje jeho účinnost:

$$P_{skut_{20''}} = \frac{P_{teor}}{\mu} = \frac{490}{0,75} \approx 653W. \quad (6.10)$$

Z výsledků je patrné, že celkové nároky na motor pro jízdu po rovině jsou nižší. Potřebná síla pro pohyb vozíku je zde reprezentována pouze 2. Newtonovým zákonem, tedy celkovou hmotností a zrychlením, gravitace zde nehraje roli. Tyto výpočty jsou zjednodušeny pro náš případ, tedy, není zde počítáno s třením a dalšími odpory.

6.2.2 Elektromotory

O pohon elektrických vozíků se ve většině případů využívá dvojice elektromotorů o jmenovitém napětí 24 - 48 V. V podstatě lze využít dvou typů elektromotorů. Prvním typem jsou hub elektromotory. Jsou to motory umístěné v kole, upevněné buď pomocí drátů nebo zalisované do hliníkového ráfku. Druhým typem jsou motory pevně přimontované k rámu vozíku, kdy je kolo nasazeno na výstupní hřídel elektromotoru.

Převážně se u obou dvou typů jedná o bezkartáčové stejnosměrné motory. Tyto elektromotory neobsahují žádné uhlíky a přenos točivého momentu se uskutečňuje bezkontaktně v páru cívka – magnet.

Hub motory

Hub motory jsou známé především z oblasti e-biků, kde slouží jako externí pomocný zdroj síly při šlapání. Je možné je napájet napětím v rozmezí 24 - 48 V (podle typu baterie), a v závislosti na tomto napětí dostaneme jejich jmenovitý výkon, který se pohybuje v rozmezí 250 - 1000 W.

Prvním typem hub motoru, který lze využít, je motor vpletený do ráfku pomocí drátů, viz [Obr. 6.2](#), kde je předělán manuální vozík *TREKINETIC Wheelchair* na vozík elektrický (manuální vozík je zobrazen v podsececi [2.1.3](#)).



Obrázek 6.2: Ukázka hub motoru v drátovém ráfku [33]

Výhodou těchto do drátů montovaných hub motorů je to, že je lze využít téměř ve všech velikostech ráfků, počínaje ráfky o velikosti 8" až po ráfky o velikosti 26 či 28". Další jejich výhodou je fakt, že se s postupem času a požadavkem trhu pro větší výkonové parametry (síla, točivý moment) motorů začaly vyrábět motory s planetovou převodovkou ([Obr. 6.3](#)).

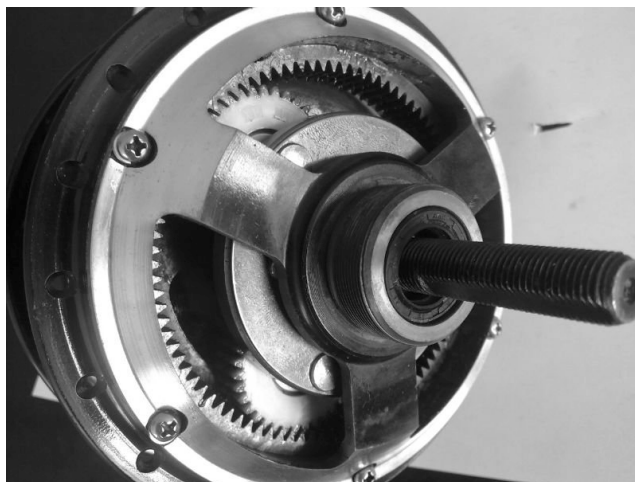
Mezi další výhody hub motorů můžeme počítat i jejich přijatelné hmotnosti, které se pohybují mezi 3 - 5 kilogramy, což je v součtu s 20" kolem maximálně okolo 6 kilogramů.

Další možností hub motoru je jeho pevné zabudování v ráfku ([Obr. 6.4](#)). Pro tyto motory jsou přímo na míru vyráběny i ráfky z lehkých hliníkových slitin. Většina těchto motorů je tedy dodávána ve velikostech ráfku 12", 16" a 18". Není zde tedy taková benevolence, kterou umožňují motory předchozího typu.

Direct drive motory jsou další verzí hub motorů. Jedná se o silnější verzi hub běžných motorů, jejichž výkony jsou přibližně o 20% vyšší, jsou rychlejší a mají delší životnost. Jsou ale větší, těžší a mají menší dojezd.

Motory montované k rámu vozíku

Výše bylo napsáno, že lze použít dva typy elektromotorů. Tím druhým typem jsou všechny ostatní motory, které se montují přímo k rámu a kola se na ně přímo nasazují, viz [Obr. 6.5](#). Jelikož je většina těchto motorů konstruována přímo pro elektrické vozíky, jsou i jejich výstupní



Obrázek 6.3: Ukázka planetové převodovky uvnitř hub motoru [34]



Obrázek 6.4: Hub motor SWX135 [35]

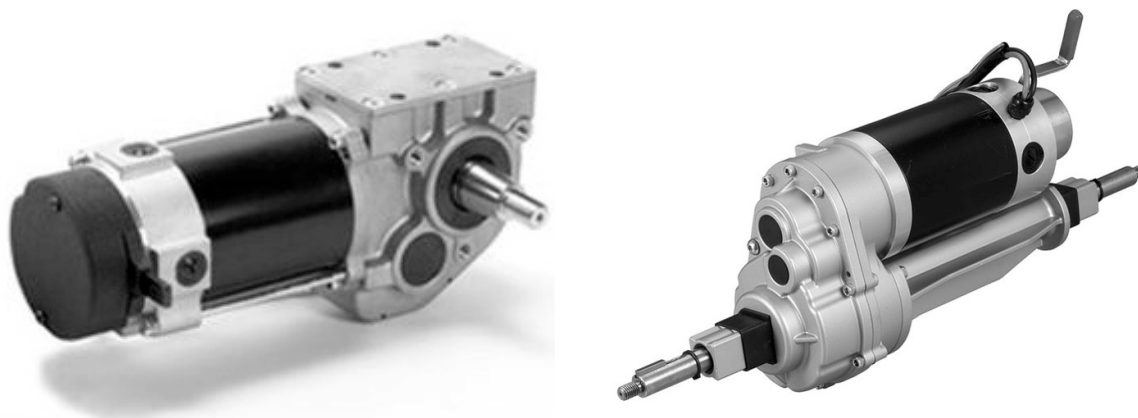
parametry (otáčky, točivý moment) upraveny na hodnoty adekvátní k hodnotám běžných elektrických invalidních vozíků.

Výhody těchto motorů jsou zřejmé, jsou jimi dostatečný výkon, bytelná konstrukce a vysoký točivý moment, který se u transaxle motorů pohybuje až okolo 400 Nm.

Nevýhodnou je jejich hmotnost, která se pohybuje od 7 - 8 kilogramů (jednohřídelové motory) až do 15 kilogramů (transaxle motory).

6.2.3 Vybraný typ motoru

Při vyhodnocování dotazníku vyplynulo, že téměř 4/5 respondentů by si přálo možnost přepravy vozíku v osobním automobilu. Z tohoto důvodu by bylo nejvhodnější použít hub motor, který by se při rozkládání sundal spolu s kolem. Avšak, výkonové parametry těchto motorů nejsou dostatečně vysoké, proto by vozík nezvládl překonávat obtížnější terény. Výkonově



(a) Elektromotor společnosti ElectroCraft s bočním výstupem hřídele [36]

(b) Transaxle motor společnosti TELCO Motion [37]

Obrázek 6.5: Motory montované přímo k rámu

jsou hub motory vybaveny dobře, co ale postrádají, je točivý moment. Ten se pohybuje u hub motorů s planetovou převodovkou pouze okolo 20 Nm.

Jelikož jsme potřebovali využít technických parametrů motorů, které se montují přímo na rám, ale nemohli jsme je přimontovat k rámu z důvodu velké výsledné hmotnosti rámu, rozhodli jsme se využít redukce mezi motorem a rámem. Tedy, motor bude napevno přimontován ke kolu a bude se zároveň s ním sundávat. Motor bude přimontován k redukci, která se bude zasouvat do „T“ drážky a následně přichycena pomocí spony. Některé typy těchto motorů disponují točivým momentem až 140 Nm, tedy téměř 2x větším točivým momentem než-li potřebujeme.

6.3 Akumulátor(y)

Akumulátory jsou nedílnou součástí všech mobilních elektrických zařízení. Jelikož produkt, který navrhujeme je určen pro invalidy nebo osoby se sníženou pohyblivostí, musíme zabezpečit, aby je vozík, jak se říká lidově nikde nenechal. Důležité je dobře navrhnout parametry akumulátoru a s jistou přesností udat minimální možný dojezd na jedno nabití.

Kapacita (C_a) akumulátoru bude odvislá od terénu, ve kterém se bude vozík zrovna pohybovat. To znamená, že stejně jako v případě návrhu motoru budeme i zde počítat s případem, že vozík bude jezdit celou dobu v kopcovitém terénu, kdy je spotřeba energie vyšší. Kapacita akumulátorů, stejně jako palivová nádrž u automobilů se spalovacím motorem, udává, kolik energie je v ní ukryto. Tato slova můžeme demonstrovat výpočtem, kdy:

$$C_a = I \cdot t. \quad (6.11)$$

Kapacita C_a akumulátorů má jednotky ampérhodiny. Budeme-li chtít spočítat výdrž akumulátoru v hodinách, vyjdeme z (6.11) a dostáváme vztah:

$$t = \frac{C_a}{I}. \quad (6.12)$$

Ze znalosti elektrotechnických zákonů můžeme dále psát:

$$t = \frac{C_a \cdot U}{P}. \quad (6.13)$$

Rovnice (6.13) říká, jestliže známe kapacitu akumulátoru, napětí na baterii, potažmo na motoru a výkon motoru, můžeme jednoduše vypočítat dobu výdrže akumulátoru.

Stejně jako při výběru motorů, i zde je široká oblast výběru akumulátoru(ů). U elektrických vozíků bývají běžné gelové akumulátory. Gelové akumulátory mají proti jiným typům akumulátorů zřetelné výhody. Je to například vynikající teplotní stabilita, vysoká schopnost vybíjení tak zvaně do hloubky (pod 30% své kapacity) a dobrá obnova z tohoto stavu. Akumulátor může být uskladněna bez vybíjení po dobu 30 dnů, a přesto si zachová 100% své kapacity. Koroze elektrod u tohoto typu akumulátorů je velmi nízká. Přestože v současné době nejsou gelové akumulátory nejrozšířenější, začínají poslední dobou více prosazovat. U gelového akumulátoru je elektrolytem křemíkový gel, a proto je zde ještě větší provozní bezpečnost a jistota při manipulaci. [38] Za nevýhodu těchto akumulátorů můžeme považovat jejich váhu, která se pohybuje od 15 kilogramů výše.

My jsme se rozhodli využít LiFePO₄ akumulátorů, běžně využívaných u e - biků.

LiFePO₄ akumulátory

Lithium-železo-fosfátový (LiFePO₄) akumulátor je druh akumulátoru, konkrétně lithium-iontového, který používá jako materiálu LiFePO₄ jakožto materiálu katody. Pro materiál anody se používá uhlíku, tedy stejně, jako je tomu u Li-ion (lithium-iontových) baterií.

Tyto baterie mají spousty předností. Jsou netoxické, což je v současnosti trendem, mají vysokou specifickou energii, která se pohybuje od 130 do 180 Wh/kg, jsou poměrně levné a mají malé zástavbové rozměry.

Nevýhodou těchto baterií je, že jsou náchylné na hluboké vybíjení.

LiFePO₄ 36V 20Ah je typ baterie (Obr. 6.6), který jsme vybrali pro náš elektrický vozík. Tato baterie má malé zástavbové rozměry - 286x128x74 a váží méně než polovinu toho, co váží gelová baterie, 6,5 kilogramu. Cena těchto baterií na českém internetu je okolo dvanácti tisíc korun.

Výrobci elektrických motorů montovaných přímo krámu dodávají spolu s motory i výkonové křivky nebo výkonové tabulky, kde je vidět odběr motoru při určitém výkonu. Tyto motory odebírají zhruba okolo 10 A při 300 W. Z tohoto lze jednoduše vypočítat, že 20 Ah baterie bude schopna při jízdě v průměru 8 km/hod zásobovat motory energií na vzdálenost přibližně 15 kilometrů.

Patnáct kilometrů není nějaká převratná vzdálenost, ano, i na to je myšleno. Baterie bude snadno přístupná a snadno vyměnitelná. Je zde tudíž myšlenka, že by uživatel vlastnil dvě či více baterií, které by si mohl při výletu snadno vyměnit. Pravdou je, že si baterie uživatel zřejmě nevymění sám, že mu u toho bude muset sekundovat další osoba. Podle nás to ale není taková překážka. Bude-li tedy uživatel vlastnit dvě takovéto baterie, dojezd by se mohl zvýšit až na 30 kilometrů.



Obrázek 6.6: LiFePO₄ akumulátor [39]

6.4 Brzdy

Všechna kolová zařízení, která jsou určena pro přepravu osob by měla být vybavena brzdami. Brzdy rozdělujeme na mnoho kategorií, například:

- elektrické versus mechanické,
- kotoučové versus bubnové,
- hydraulické versus lankové a další.

Hub motory, které jsou lisovány do hliníkového ráfku, a tedy jsou primárně používány pro letmé uložení, ale i motory pevně montované k rámu, mají v sobě zabudovanou elektromagnetickou brzdu. Většinou se jedná o využití principu na bázi vířivých proudů, kdy se ve vodivém rotačním disku indukují vířivé proudy, které se přeměňují na teplo. Vířivé proudy obecně zamezují pohybu vodivých předmětů v magnetickém poli, tedy, velikostí vířivých proudů můžeme ovládat brzdnu sílu motoru.

Jelikož se tato brzda dá použít pouze při jízdním režimu, musíme také zabezpečit, aby měl uživatel možnost vozík zastavit a zabezpečit proti rozjetí v klidové fázi jízdy, tak zvanou aretační brzdu. Tuto brzdu už téměř všechny elektromotory (elektromotory montované k rámu) obsahují z výroby. Jedná se o mechanickou brzdu, která uzamkne hnací soukolí. Tuto brzdu lze využít pouze v klidovém stavu, tedy ve stavu, kdy se motor netočí.

Norma ČSN EN 12184, viz podkapitola 3.2.2 na straně 26, nám ukládá povinnost mít na vozíku mechanickou brzdu. Má to logické opodstatnění. Může se totiž stát, že dojde baterie, uvolní se kontakt, nebo z jakéhokoliv jiného důvodu se přeruší dodávka elektrické energie do motoru, v tom případě přestane elektromagnetická provozní brzda fungovat. Z tohoto důvodu je vozík vybaven dvěma cyklistickými kotoučovými brzdami.

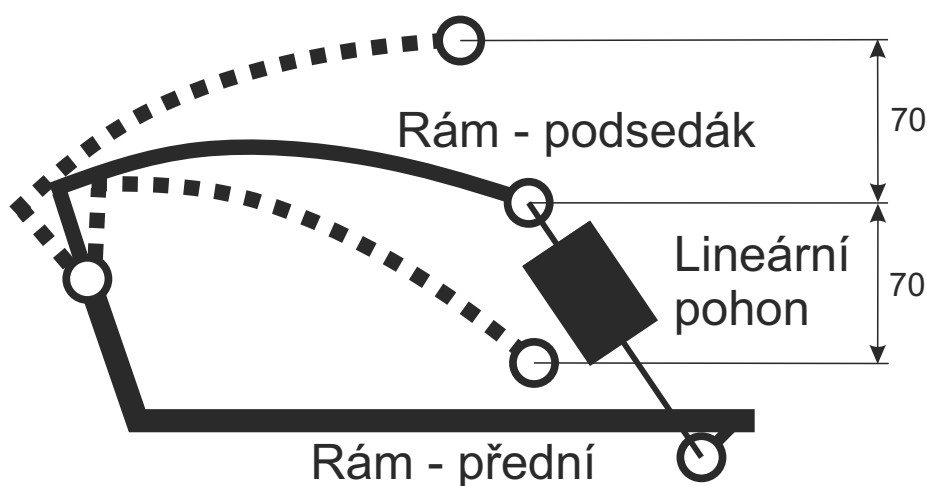
V plánu jsme ještě měli cyklistickou bubnovou brzdu. Bubnová brzda je o levnější, ale s nižší účinností. Důvodem, proč jsme tento typ brzdy zamítli byl ten, že by bylo nevýhodné předělávat střed na výstupní hřídelku z motoru. Jednodušší pro nás bylo, navrhnout si vlastní střed uzpůsobený pro hřídelku motoru, s dírami pro uchycení brzdícího kotouče. Střed také

obsahuje 36 děr pro upevnění drátů. Rozdíl cen bubnové a kotoučové brzdy se pohybuje okolo 400 korun na jedné brzdě, tedy v páru 800 korun, plus cena výroby středů.

6.5 Zdvihací mechanismus sedáku

Automobilky se chlubí u svých produktů možností změny světlé výšky podvozku u svých automobilů. Tato vlastnost podvozku umožňuje změnu výšky těžiště, která zabezpečuje větší stabilitu vozu při vyšších rychlostech a při průjezdech zatáčkami.

V našem návrhu jsme se vydali podobným směrem. Sice nesnižujeme světlou výšku celého podvozku, ale snižujeme výšku sedu pacienta (sedáku). Sedací systém je uložen na rámu, který má konstrukci jednovratné páky. Pomocí lineárního pohonu (Obr. 6.8) můžeme zvýšit či snížit výšku sedáku celkem až o 140 milimetrů, viz Obr. 6.7.



Obrázek 6.7: Změna polohy těžiště

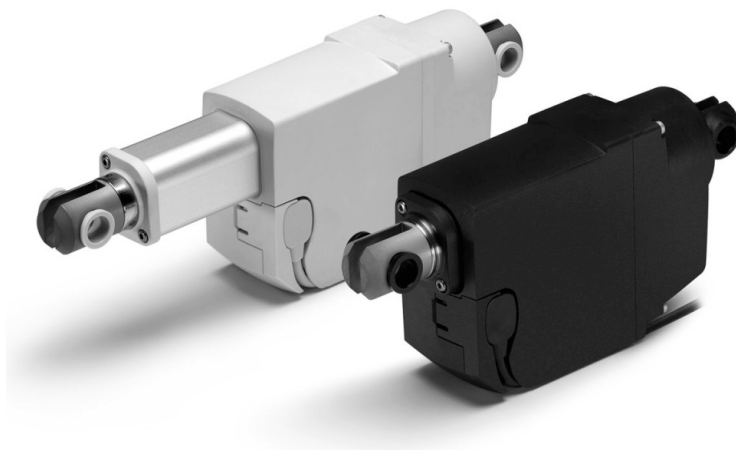
Tato vertikální změna polohy umožňuje při jízdě z kopce snížit výšku a následně tak změnit polohu těžiště, které je blíže k ose předních kol (ve vertikálním směru). Tímto přenastavením dosáhneme většího zatížení zadních kol a mírného odlehčení kol předních. To zajistí celkovou lepší ovladatelnost vozíku. Opačně, při jízdě do kopce zvýšíme polohu těžiště, které se posune výše a mírně k přední ose, tím se více zatíží přední hnací kola, která mají následně lepší přilnavost. Celkově má tento systém dopomoci k lepšímu rozložení váhy při daném typu jízdy.

6.5.1 LINAK LA23

Pro pohon sedacího mechanismu jsme se rozhodli použít lineární motor LINAK LA23. O tomto lineárním aktuátoru výrobce uvádí, že je to malý a silný pohon, který je možné využít jak v tahu, tak v tlaku. Tento pohon dokáže operovat při zatíženích až 2500 N (tah i tlak). LINAK LA23 se uplatňuje zejména tam, kde je potřeba skloubit velké provozní síly s nedostatkem prostoru. Zdvih tohoto aktuátoru může být až 300 milimetrů. Krytí aktuátoru je IP64, tedy je zcela prachotěsný a chráněný proti stříkající vodě.

Výhody elektrického lineárního pohonu LA23 [41]:

- kompaktní design,
- velká zdvihová síla,
- možnost osazení systémem inteligentního řízení (IC),
- maximální rychlost zdvihu 9,4 mm/s.



Obrázek 6.8: Lineární pohon LINAK LA23 [40]

6.6 Návrh odpružení podsedadlového rámu

U terénních automobilů, motocyklů a horských kol je nedílnou součástí tlumící systém. Ten zabezpečuje trvalý kontakt vozidla s vozovkou a zároveň také zmírňuje rázy karoserie vzniklé nerovným terénem.

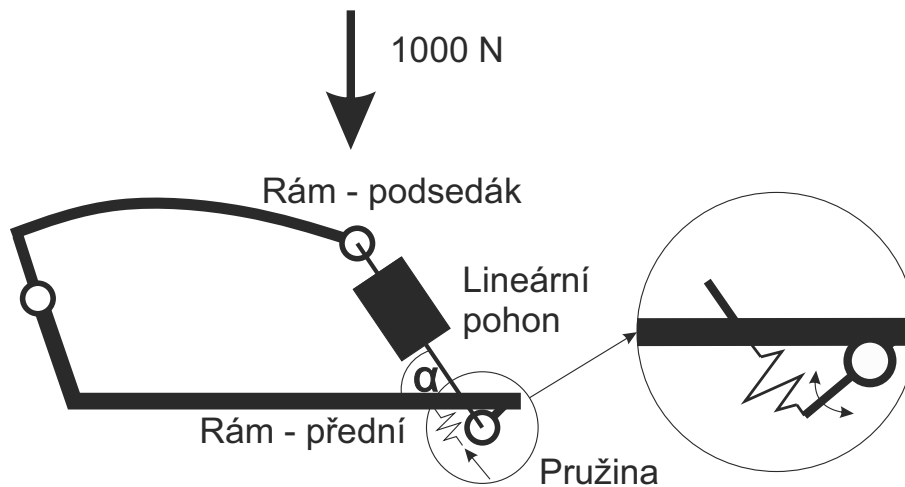
6.6.1 Návrh pružin

Jistou část energie způsobené jízdou pohltní pneumatiky. Zde záleží na tlaku vzduchu, kterým jsou plněny. Při dynamičtější jízdě jsou potřeba další tlumící prvky, které zajistí komfortnější jízdu.

Jelikož je v našem návrhu počítáno s pevnými rameny (netlumená ramena), je nutné odpružit sedák. To lze zajistit dvěma způsoby. Prvním způsobem je možnost odpružení sedáku od podsedadlového rámu. Tato varianta není moc výhodná, jelikož chceme mít celý sedadlový systém snadno odjímatelný od zbytku vozíku. Druhá možnost, jak lze tlumit sedadlový systém je ten, že odpružíme podsedadlový rám od předního rámu, viz [Obr. 6.9](#). Tuto variantu jsme i následně využili.

Pružina(y) je připevněna k hlavnímu rámu a k otočné vidlici (reálné zobrazení na [Obr. 7.5](#) na stránce 65). Tato vidlice je rotačně uložena pomocí čepu, tedy, umožňuje pohyb lineárního pohonu, respektive celého sedacího systému.

Z [Obr. 6.9](#) lze odvodit, s jak velkou silou bude pružina pracovat. Pro zjednodušení uvažujme, že pružiny budou uloženy paralelně s osou lineárního pohonu. Známe-li celkové zatížení (síla



Obrázek 6.9: Odtlumení sedáku

F krát dynamické zatížení c_d), směr zatížení pružiny a maximální možné prodloužení pružiny, můžeme vypočítat, že tuhost pružiny je

$$k_{celkova} = \frac{F \cdot c_d}{y}. \quad (6.14)$$

Předchozí rovnici můžeme dále rozepsat na tvar:

$$k_{celkova} = \frac{F \cdot c_d \cdot \sin \alpha}{y}. \quad (6.15)$$

Dosadíme-li číselné hodnoty, dostaneme, že

$$k_{celkova} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot \sin 58}{35} \approx 48,5 \frac{N}{mm}. \quad (6.16)$$

Jelikož máme pružiny dvě, paralelně řazené, jejichž celková tuhost je součet všech tuhostí, můžeme psát:

$$k_{celkova} = 2 \cdot k_{pruzina} \Rightarrow k_{pruzina} = \frac{k_{celkova}}{2} = \frac{48,5}{2} = 24,25 \frac{N}{mm} \quad (6.17)$$

6.6.2 Výběr pružiny

Výrobou pružin se velké množství firem, proto je pro konstruktéry snadné nalézt právě tu pružinu, kterou potřebuje.

My jsme si pro návrh vybrali společnost *Alcomex Spring Works spol. s r.o.*. Tato společnost nabízí řadu pružin, z nichž jsme si vybrali tažnou pružinu z pružinové oceli. Zde jsou vybrané údaje o pružině:

- průměr drátu $\varnothing d$ - 5 mm,
- střední průměr pružiny $\varnothing D$ - 31 mm,
- délka pružiny ve volném stavu L_o - 96,6 mm,

- deformace v plně zatíženém stavu s - 32,2 mm,
- síla vyvinutá pružinou F - 808 N,
- tuhost pružiny k - 21,4 Nmm⁻¹.

7

Konstrukční návrh

Při návrhu naší konstrukce jsme se řídili především výstupy z dotazníku. Také jsme se řídili tím, co vyplynulo z EDS a tím co vyplynulo z návrhů technických parametrů vozíku. Naše finální konstrukce je zobrazena na [Obr. 7.1](#).

Naše tříkolová varianta invalidního vozíku pro obtížné podmínky ([Obr. 7.1](#)) je poháněna pomocí dvou elektromotorů určených přímo pro invalidní vozíky (viz kapitola [6.2.2](#)). Motory se vyznačují šnekovou převodovkou s poměrem otáček okolo 1:30. Motory jsou pomocí tří šroubů připevněny k redukci, která je mezičlánkem mezi motorem a rámem ([Obr. 7.2](#)). Redukci u rámu drží T drážka, která určuje pozici, a také průmyslová spona, která zajišťuje jeho fixaci. Motor přenáší výkon motoru pomocí pera na náboj kola, který je pak standardně pomocí 36 drátů připevněn k hliníkovému 20" ráfku. Náboj jsme si udělali vlastní, poněvadž je k němu také připevněna kotoučová brzda. Třmen této brzdy je upevněn k třmenovému držáku vyvedeným z redukce motoru. Kotoučové brzdy jsou standardní lankové cyklistické brzdy dostupné ve většině cyklo prodejnách.

Již dříve jsme předesílali, že pracujeme s variantou jednoduché rozložitelnosti vozíku. Vozík se bude rozkládat na jednotlivé dílčí podsestavy složené z několika komponent. Takovýchto podstav bude celkem pět.

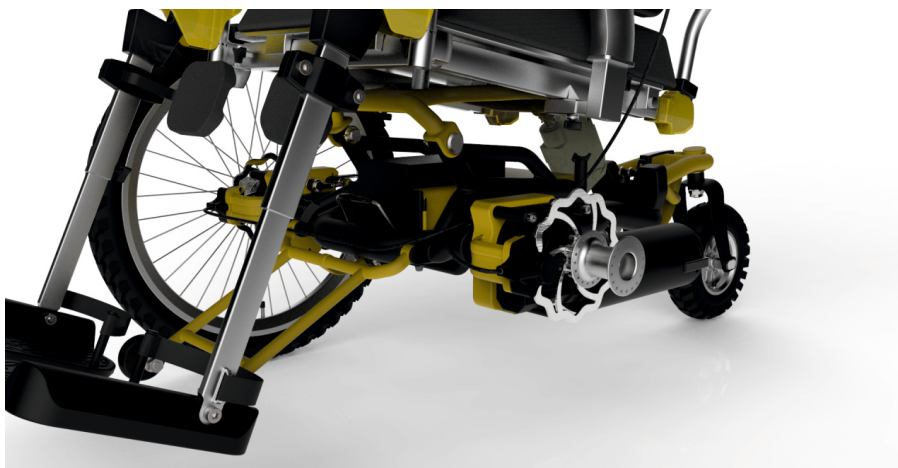
První podsestavou je sestava kola ([Obr. 7.3](#)). Tato podsestava se skládá z kola, které je připevněno k hřídeli motoru pomocí pera a matice M12. Ke kolu, respektive k náboji je připevně disk kotoučové brzdy. Motor je dále připevněn k redukci motoru pomocí tří šroubů M6. K redukci je také připevněn třmen kotoučové brzdy. Celá tato podsestava se při montáži vozíku připevní k rámu pomocí upínacího mechanismu, který se skládá z T drážky na rámu a T žebra na redukci. Celý spoj se následně zajíší pomocí průmyslové spony, která je umístěna na rámu.

Druhou podsestavou je sestava hlavního rámu ([Obr. 7.4](#)). Tato podsestava je složená z více komponent než-li předchozí podsestava. Základním prvkem této podsestavy je hlavní rám, kterému je otočně připevněn podsedadlový rám, kryt baterie a řídicí jednotky, lineární motor, spony pro upevnění podsestavy s kolem a pružiny tlumící sedák.

Při návrhu rámu jsme se pokoušeli kopírovat styl konstruktérů jízdních kol, tedy, snažili jsme se využít velkých průměrů trubek při malé tloušťce stěny. Ovšem, zda-li se nám to



Obrázek 7.1: Celkový pohled na vozík



Obrázek 7.2: Pohled na uložení motoru a redukce k rámu

povedlo jsme si museli ověřit numerickými metodami, přesněji, využili jsme výpočty pomocí metody konečných prvků (MKP) (výsledky jsou k nalezení na stránce 89, kapitola 10).

K hlavnímu rámu je pomocí ocelových čepů, které jsou uloženy v bronzových pouzdrech,



Obrázek 7.3: Pohled na podsestavu kola s motorem, redukcí a kotoučovou brzdou



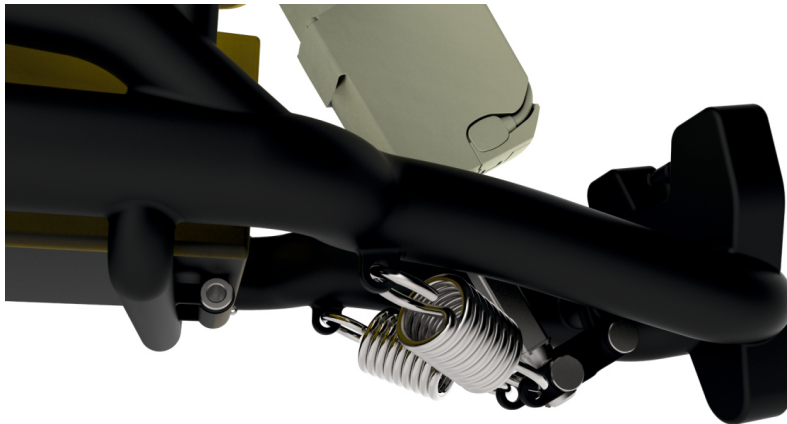
Obrázek 7.4: Pohled podsestavu rámu

přípevněn podsedadlový rám. Na druhé straně je podsedadlový rám přípevněn k lineárnímu motoru, který umožňuje jeho pohyb nahoru a dolů a tím snižovat/zvyšovat celkové těžiště vozíku. Lineární motor je na svém druhém konci přípevněn k otočné vidlici, která je tlumena pomocí dvojice pružin (Obr. 7.5). Toto odpružení lineárního motoru následně zajišťuje odpružení celého sedacího systému.

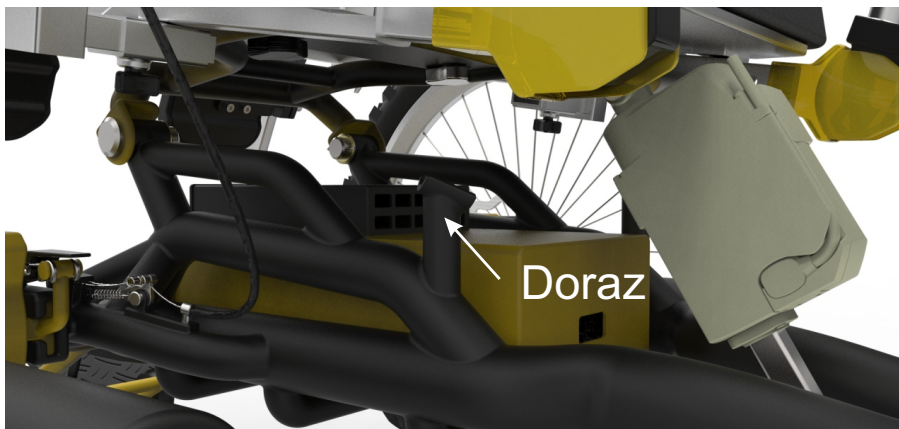
Na rám jsme také umístili dorazy (Obr. 7.6), které určují maximální možnou polohou sedacího systému při náklonu vzad, tak, aby nedošlo k poškození buď sedáku nebo rámu.

Baterie je umístěna v bateriovém krytu, který je pro jednoduché vyjímání baterie otočně uložený. Aretaci krytu plní dva gumové konusové čepy, které zapadají do děr v rámu.

Na stranách hlavního rámu jsou také uloženy spony, které plní funkci aretace kola k rámu.



Obrázek 7.5: Pohled podsestavu rámu



Obrázek 7.6: Dorazy sedacího systému

Jako spony byly použity běžné konstrukční průmyslové spony, které mají předepínací sílu až 4000 N.

Třetí podsestavou je sestava zadního kola (Obr. 7.7). Tato jednoduchá podsestava se k hlavnímu rámu připevňuje opět pomocí průmyslové spony, která je součástí této podsestavy. Tato podsestava se skládá z pevné vidlice, otočné vidlice, kola a jeho upevňovacích prvků (podložky, šroub a matice).

Zadní, osmi palcové, kolo je chyceno v otočné vidlici, která je uložena v bronzovém pouzdře. Toto pouzdro je dále nalisováno na pevnou vidlici. Čep pevné vidlice pro uložení otočné vidlice má sklon 10°, to proto, aby bylo kolo taženo ve směru jízdy. Kdybychom udělali čep kolmý k zemi, mohlo by stát, že kolo nebude držet stopu a při jízdě by vibrovalo. Kolo má umožněn pohyb o 360° okolo svého čepu, s vozíkem je tedy možné couvat nebo se například otáčet na místě.

Čtvrtou podsestavou je samotný sedací systém (Obr. 7.8). Jelikož byly tyto systémy popsány v podkapitole 4.2, nebudeme se zde jejich popisem zabývat. Za zmínku ale stojí



Obrázek 7.7: Pohled na podsestavu zadního kola

přípevněná ruční brzda (Obr. 7.9), která je pomocí objímky uložena na jedné z bočních loketních opěrek. Po konzultaci s tělesně postiženými jsme se rozhodli pro ovládání ruční brzdy využít dopředný (tlačný) pohyb. Jde o to, že postižený je schopen lépe vykonávat krátký dopředný pohyb než-li tažný pohyb směrem k sobě.

Sedací systém je opatřen joystickem a ovládacím panelem, pomocí kterých bude uživatel řídit jízdu vozíku a další elektronická zařízení (o těchto zařízeních je více napsáno v sekci 8.1.9 na straně 77).

Při návrhu mechanické provozní brzdy jsme také řešili problém jejího snadného připojení/odpojení při montáži/demontáži vozíku. Na Obr. 7.10 je zobrazen finální mechanismus, který slouží pro snadné rozpojení/připojení brzdy. Při rozpojování/připojování se jednoduše přetlačí pružina, která zajišťuje, aby bylo lanko stále napnuté a drží ho v pasivní pozici, a lanko se zasune do držáku, kde drží svojí pozici pomocí válečku na svém konci. Celý držák je otočný na horizontálním čepu a umožňuje pohyb lanek v bowdenu a tedy i brzdit.

Poslední podsestavou je přední opěrka (Obr. 7.11). Přední opěrka je využívána u velké části invalidních vozíků. Její funkcí je zamezit převrácení vozíku. My, jelikož máme vzadu poměrně dlouhé rameno, musíme umístit tuto opěrku pouze do přední části. Opěrka se skládá pouze z rámu a koleček. K hlavnímu rámu je přípevněna pomocí třech bodů, které zajišťují její pevné uchycení.



Obrázek 7.8: Pohled na sedací systém



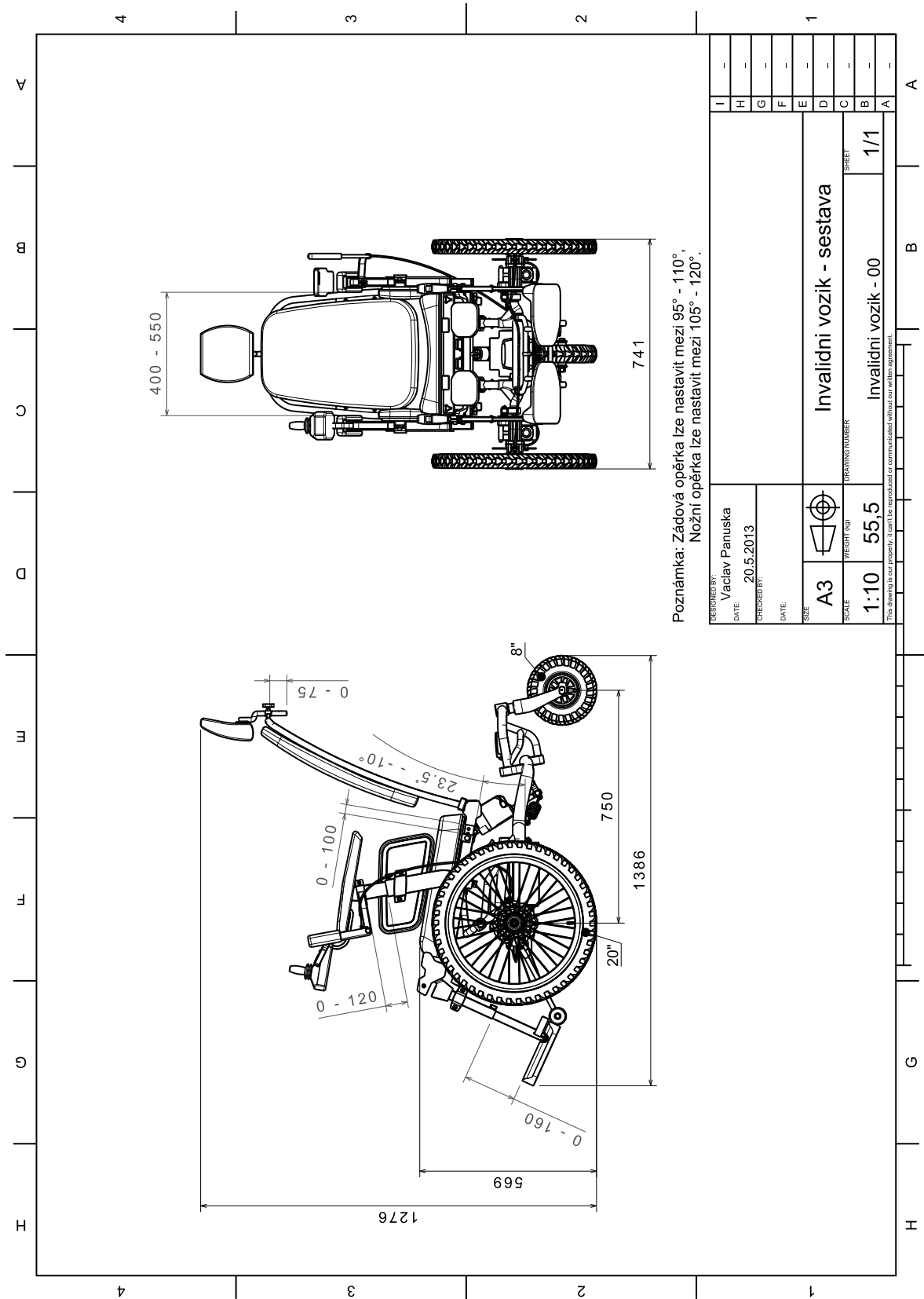
Obrázek 7.9: Mechanická provozní brzda



Obrázek 7.10: Pohled na přední opěrku vozíku



Obrázek 7.11: Pohled na přední opěrku vozíku



Obrázek 7.12: Výkres vozíku s hlavními rozměry vozíku

8

Elektronika a řízení vozíku

Elektronická vybavenost našeho vozíku se nebude moc odlišovat od běžných elektrických vozíků, ale bude zde několik speciálních zařízení a funkcí, které se u běžných elektrických vozíků nevyskytují.

Pro pohon jsme zvolili stejnosměrné motory s vlastní šnekovou převodovkou. Tyto stejnosměrné motory lze snadno řídit pomocí vstupního napětí, které se běžně pohybuje mezi 24 - 48 V. Tyto motory mají vysoký točivý moment a přijatelný odběr proudu. Jako zásobník elektrické energie pro tyto motory jsme zvolili cyklistickou LiFePO₄ 36V 20Ah baterii, která má dostatečnou kapacitu pro zásobování motoru elektrickou energií.

Pro řízení celého vozíku využijeme komponent Arduino. Řídící elektronika Arduino poskytuje postačující parametry a výkon k přijatelné ceně. Také snadné programování Arduino desek pomocí „javovské“ aplikace vedlo pro výběr těchto komponent. Vozík je také vybaven senzorem snímání okamžitého náklonu vozíku. Jako senzor náklonu jsme použili trojosý akcelerometr opět od výrobce Arduino, který dokáže měřit okamžitý náklon okolo tří os zároveň.

Vlastní elektroniku, která zajišťuje jeho různé nastavení, má také sedací systém. Polohování sedadla je elektronicky řízeno v oblasti kolen a beder uživatele. Tedy, pomocí elektroniky sedacího systému lze úhlově nastavit nožní a zádovou opěrku. Výše bylo také napsáno, že vozík umožňuje výškové nastavení sedáku. Toto výškové nastavení zajišťuje lineární pohon LINAK LA23.

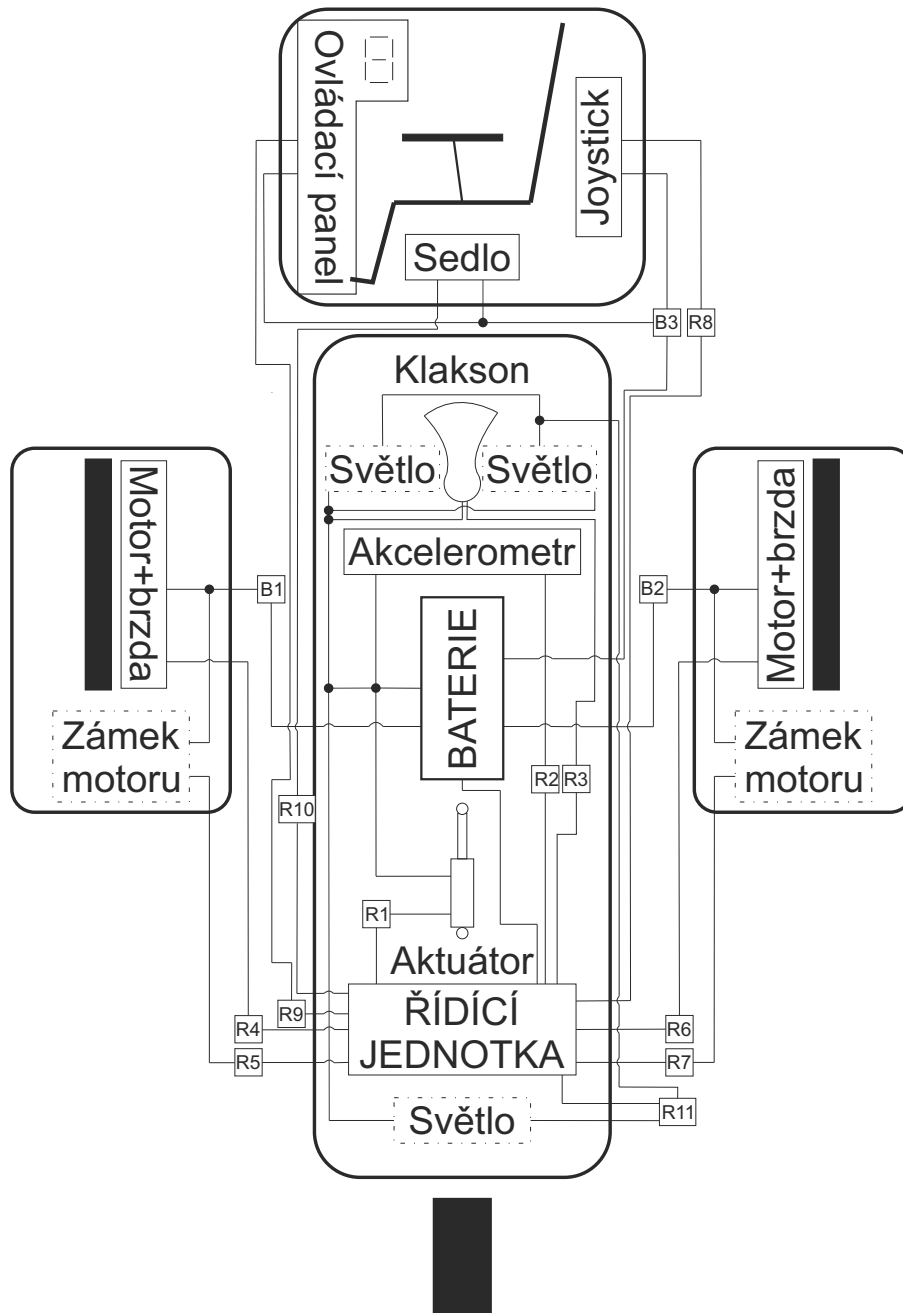
Mezi další elektronické prvky můžeme řadit světla, klakson nebo systém pro ovládání aretační brzdy.

Pro ovládání vozíku a všech elektronických prvků jsme se rozhodli využít jednoho joysticku s tlačítky a jednoho ovládacího panelu. Joystick bude umístěn na pravé straně vozíku a bude sloužit pouze a jenom k řízení pohybu vozíku. Po levé ruce bude mít uživatel ovládací panel s displayem. Pomocí ovládacího panelu bude moci uživatel ovládat nastavení sedáku, světla, klakson nebo například elektronickou aretační brzdu. Součástí ovládacího panelu bude i informační display, který bude zobrazovat aktuální stav baterie, náklon a aktuální rychlost vozíku.

8.1 Přehled funkcí a jejich realizace

8.1.1 Blokové schéma zapojení

Elektronické schéma vozíku (Obr. 8.1) popisuje základní rozvedení elektriky.



Obrázek 8.1: Blokové schéma vozíku

Konektory

Jednou z vlastností vozíku bude jeho snadná rozložitelnost a smontovatelnost. To s sebou ale nese nutnost rozpojování a spojování kabelů elektronických součástí vozíku. Na Obr. 8.1 je zobrazeno elektrické schéma vozíku.

Je nutné zajistit, aby se muselo připojovat co nejméně kabelů. Proto soustředíme velkou část elektroniky na rám, na kterém bude upevněna baterie, řídicí jednotka, lineární aktuátor, klakson a světla¹. Odjímat se budou kola spolu s motory (u vyšší výbavy se spolu s koly bude připojovat elektronický systém pro aretační brzdu) a sedací systém. Se sedacím systémem, který bude mít vlastní elektroniku, se bude připojovat joystick a ovládací panel s displayem.

Všechny odpojené komponenty se budou opět muset připojit k baterii a řídicí jednotce. Aby byly připojeny všechny konektory, a aby byly zapojeny správně, rozhodli jsme se konektory odlišit barvami a číselně textovým označením. To znamená, že samec i samice konektoru budou označeny stejnou barvou se specifickým označením a nebude možné je zaměnit.

V Tab. 8.1 je seznam konektorů s vysvětlením, co spojují. Konektory s označením *B* se týkají baterie, ty s označením *R* se týkají řídicí jednotky.

Označení konektoru	Spojené součástky
B1	levý motor (+ zámek aretační brzdy) - baterie
B2	pravý motor (+ zámek aretační brzdy) - baterie
B3	sedlo, joystick a ovládací panel - baterie
R1	lineární aktuátor - řídicí jednotka
R2	akcelerometr - řídicí jednotka
R3	klakson - řídicí jednotka
R4	levý motor - řídicí jednotka
R5	levá aretace motoru - řídicí jednotka
R6	pravý motor - řídicí jednotka
R7	pravá aretace motoru - řídicí jednotka
R8	joystick - řídicí jednotka
R9	ovládací panel - řídicí jednotka
R10	sedlo - řídicí jednotka
R11	světla - řídicí jednotka

Tabulka 8.1: Tabulka zapojení a označení konektorů

8.1.2 Řízení kol

Jízda vpřed a vzad

Pro ovládání rychlosti vozíku budou sloužit dvě tlačítka, pomocí kterých si uživatel navolí rychlost vozíku v kilometrech za hodinu. Poté pohne joystickem vpřed a vozík se rozjede požadovanou rychlostí. Rozsah rychlosti bude v rozmezí 4 - 12 km/hod.

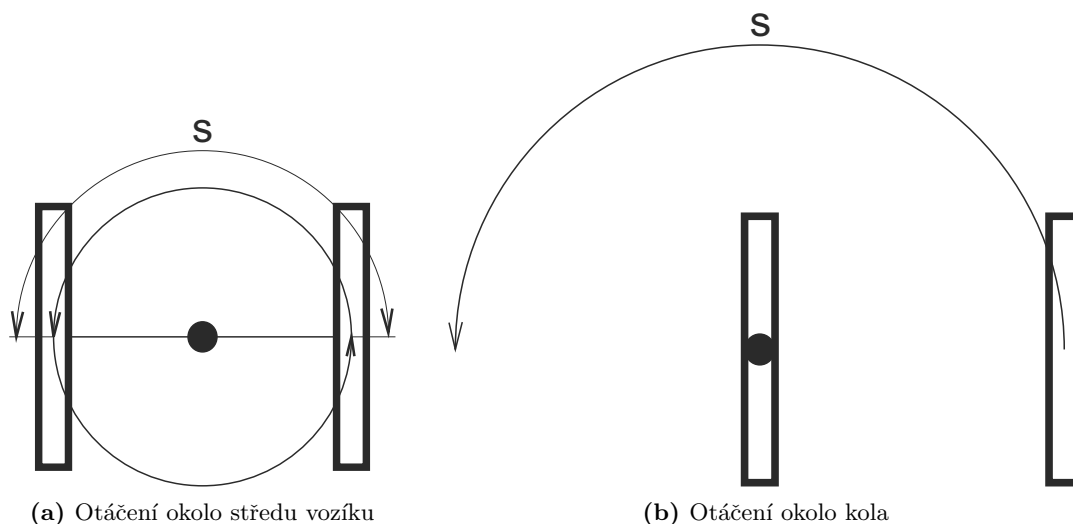
Pro couvání bude sloužit zadní poloha joysticku. Při couvání bude rychlost elektronicky omezena, a to na rychlost 2 - 3 km/hod. Nepředpokládáme totiž, že uživatel stráví hodně času couváním, proto pouze takovéto jednoduché ovládání.

¹Poznámka: Světla budou dodávány pouze ve vyšší výbavě

Zatáčení a otáčení na místě

Pro zatáčení za jízdy bude muset uživatel pouze posunout joystick do boční pozice té strany, na kterou chce zatáčet. V té chvíli začne téci do jednoho z motorů menší napětí, což zapříčiní jeho zpomalení (sníží se počet otáček motoru) a vozík začne zatáčet.

Uživatel bude mít také možnost otočení se na místě, jak ukazuje Obr. 8.2. Tuto vlastnost využije uživatel zejména na malém prostoru. Na místě se lze otočit dvěma způsoby. První způsob (Obr. 8.2a), uživatel zmáčkne tlačítko „Otočení na místě“ a přesune joystick do krajní boční polohy. Kola se roztočí proti sobě a vozík se začne otáčet kolem svého středu. Každé z kol bude tedy opisovat kružnici o průměru rozchodu kol. Na místě se lze otočit ještě jedním způsobem (Obr. 8.2b), a to tak, že uživatel nastaví joystick do jedné z bočních pozic. Tím začne téci do jednoho motoru proud a do druhého ne. Tímto způsobem dosáhneme stejného výsledku, otočení se o 180° , ale na větším manévrovacím prostoru, kdy bude opisovaná kružnice 2x větší, tedy i prostor pro manévrování bude 2x větší.



Obrázek 8.2: Otáčení na místě

Z předchozích obrázků je patrné, že dráha s u první varianty, tedy otáčení okolo středu, je 2x menší. S tohoto plyne, že otočení na místě bude v tomto případě při stejné rychlosti kol 2x rychlejší. Bude ale zároveň náročnější na celkovou tuhost rámu, která bude více namáhána.

Vypočteme si příklad pro výpočet výstupních otáček motoru, pro první případ otáčení na místě.

Rozchod kol l	$l = 750 \text{ mm}$
Poloměr kola r_k	$r_k = 265 \text{ mm}$
Doba pro otočení o 180° t	$t = 2 \text{ s}$

Tabulka 8.2: Tabulka hodnot pro výpočet počtu výstupních otáček motoru

Nejdříve si vypočteme dráhu ujetou jedním kolem:

$$s = \pi \cdot \frac{l}{2} = \pi \cdot 375 = 1178\text{mm} \approx 1,2\text{m}. \quad (8.1)$$

Známe-li ujetou dráhu a čas, za který byla ujeta, můžeme psát, že:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1,2}{2} = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,16 \frac{\text{km}}{\text{hod}}. \quad (8.2)$$

Nyní už pro výpočet výstupních otáček motoru všechny neznáme, můžeme tedy psát, že:

$$n = \frac{v}{2\pi r_k} = \frac{2,16}{2\pi \cdot 0,265 \cdot 3,6} = 0,36\text{s}^{-1} \approx 22 \frac{\text{ot}}{\text{min}}. \quad (8.3)$$

Jelikož bude dráha kola při otáčení druhým způsobem 2x delší, budou při stejných počátečních podmínkách otáčky motoru 2x větší, tedy $44 \frac{\text{ot}}{\text{min}}$.

8.1.3 Ovládání sedáku

Lineární pohon LINAK LA23 je vybaven inteligentním řízením, je ho tedy možné řídit snadno pomocí programu. Má odměřování polohy pomocí Hallova senzoru, lze ho tedy vysouvat a zasouvat dle libosti od 0 do 300 milimetrů. My ho ale programově omezíme na přijatelné hodnoty uzpůsobené naší konstrukci. Tento motor je možné řídit pomocí pulzně šířkové modulace. Toto řízení je založeno na délce pulzu, kterou vyšle řídicí jednotka do motoru.

8.1.4 Hlídání náklonu vozíku

Hlídání náklonu vozíku je velice užitečný pomocník, který uživateli hlásí, v jakém náklonu se jeho vozík zrovna nachází. Tento systém může plnit funkci informativní nebo bezpečnostní.

Informativní systém uživatele pouze informuje o současném stavu náklonu a je na uživateli, jak s touto informací naloží.

Bavíme-li se o bezpečnostním systému, bavíme se zároveň i o možnosti zasažení systému do řízení vozíku. Jinými slovy, bude-li vozík v takovém náklonu, že hrozí převrácení, může vozíku zakázat pokračování v jízdě. Maximální bezpečný náklon vozíku by vycházel z analytických výpočtů příčné stability (podkapitola 9.1.1).

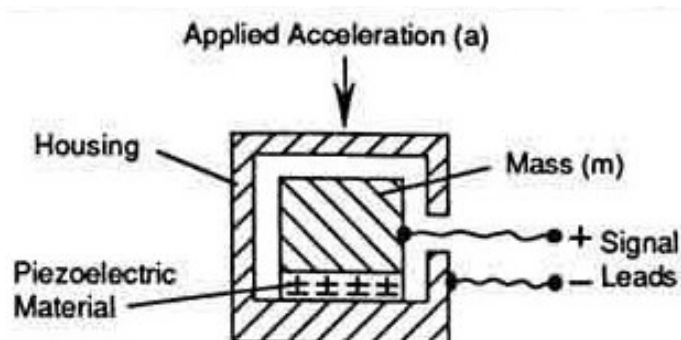
Náklon lze měřit buďto pomocí akcelerometru nebo pomocí gyroskopu.

Akcelerometr

Akcelerometr (Obr. 8.3) je elektromechanická součástka měřící zrychlení, vibrace a náklon vůči zemskému povrchu. Pro zjištění náklonu v prostoru je potřeba buď jednoho trojosého, dvou dvouosých nebo tří jednoosých akcelerometrů, abychom obsáhli všechny tři směry. Typů akcelerometrů je hned několik, rozlišují se podle toho, na jakém principu jsou založeny. Můžeme se tedy setkat s kapacitními, piezorezistivními a tepelnými akcelerometry.

Gyroskop

Gyroskopy pracují na principu gyroskopického efektu, tedy měření otáček okolo určité osy. Nevýhodou gyroskopů je, že měří úhel natočení pouze ke své výchozí pozici (počátek sumace, zapnutí napájení). Nemá žádnou vazbu na okolí, absolutní otočení, například vůči zemskému povrchu, to je nutné zabezpečit jinak.



Obrázek 8.3: Blokové schéma principu piezoelektrického akcelerometru [42]

Nastavení hlídání náklonu

Výše bylo napsáno, že gyroskop má nevýhodu v tom, že měří vůči své výchozí pozici, proto jsme se rozhodli využít trojosého akcelerometru Arduino ADXL3xx. Akcelerometr bude nastaven pouze informativně. To znamená, že při daném náklonu, který bude v programu nastaven jako maximální bezpečný, se spustí zvukový signál z klaksonu.

8.1.5 Klakson

Klakson je signalizační prvek, který zde může mít aktivní a zároveň pasivní účinek. Aktivní účinek má tehdy, bude-li uživatele varovat před nějakým nebezpečím, například před velkým sklonem svahu. Pasivní význam má tehdy, bude-li si pomocí něj uživatel vozíku zavolat pomoc, například po převrácení vozíku.

8.1.6 Volitelná výbava

Ve volitelné výbavě je počítáno s tím, že bude vozík vybaven světly, dvě přední a jedno zadní. Zřejmě se bude jednat o moderní LEDková světla, a to kvůli jejich nízké spotřebě. Ovládání světel bude umístěno na ovládacím panelu.

Motory, které využíváme pro pohon vozíku mají vlastní mechanickou aretační brzdu. Ve standardní verzi je bude muset ovládat pomocník, který ji například při nástupu uzamkne a poté odemkne. V nadstandardní verzi je počítáno jak s mechanickým, tak elektronickým systémem ovládání této brzdy. Mechanická brzda se bude ovládat pomocí táhla. Elektronické ovládání bude uskutečněno pomocí elektromagnetu, který se bude ovládat tlačítkem na ovládacím panelu.

8.1.7 Potřebné vstupy a výstupy řídicí jednotky

Výše bylo napsáno, že vozík bude vybaven různými elektronickými systémy. Pro tyto systémy je nutné navrhnout řídicí elektroniku s odpovídajícími vstupy a výstupy, aby bylo možné všechny tyto elektronické systémy řídit.

Vstupy a výstupy pro řízení jízdy

Pro ovládání jízdy bude zapotřebí dvou analogových vstupů do řídicí jednotky, které budou snímat polohu joysticku (přední, zadní, levá a pravá strana). Těmto analogovým vstupům budou odpovídat čtyři digitální výstupy. Dva z nich budou udávat směr pohybu motoru a druhé dva budou pomocí pulzně šířkové modulace (PWM z anglického pulse-width modulation) řídit rychlost jednotlivých kol. Dále bude zapotřebí ještě jednoho digitálního vstupu, který bude reprezentovat možnost otočení namíste.

Dále budou zapotřebí jednoho digitálního vstupu, pomocí kterého se bude nastavovat rychlost vozíku. Máme na mysli to, že vozík bude mít dané dvě pevné rychlosti pomalou a rychlou. Pro toto nastavování využijeme dvupolohového přepínače.

Pro ovládání jízdy budeme dohromady potřebovat tři digitální vstupy, dva analogové vstupy a čtyři digitální výstupy.

Vstupy a výstupy pro řízení lineárního pohonu

Pohon se bude ovládat pomocí dvojice tlačítek nahoru/dolu. Při zvedání/snižování se bude tlačítko muset držet po celou dobu pohybu pohonu.

Pro ovládání lineárního pohonu bude zapotřebí dvou digitálních vstupů a jednoho digitálního výstupu, který budou řídit směr pohybu pohonu.

Vstupy a výstupy pro řízení brzdy vozíku

Pro brzdění vozíku nebude potřeba žádných vstupů a výstupů na řídicí jednotce. Motory jsou automaticky brzděny po umístění joysticku do neutrální polohy. Tedy, nepřijímají-li žádný signál, jsou v tomto okamžiku brzděny.

Vstupy a výstupy pro hlídání náklonu vozíku

Pro řízení náklonu bude potřeba tří analogových vstupů z akcelerometru. Výstupem z řídicí jednotky budou dva digitální výstupy. Jeden bude vyveden na display ovládacího panelu, druhý bude vyveden na klakson, který bude uživatele informovat o příliš vysokém náklonu vozíku.

Vstupy a výstupy pro ovládání klaksonu

Pro běžné ovládání klaksonu bude zapotřebí jednoho digitálního vstupu a jednoho digitálního výstupu. Stejně jako tomu bylo u ovládání lineárního pohonu pro pohyb podsedáku, tak i tlačítko klaksonu se bude muset držet po celou dobu zvukové signalizace.

Vstupy a výstupy pro hlídání napětí baterie

Pro zobrazování kapacity baterie bude potřeba využít na řídicí jednotce jednoho analogového vstupu. Digitální výstup s informací o aktuální kapacitě baterie bude vyslán na display ovládacího panelu.

Vstupy a výstupy pro ovládání prvků v nadstandardní výbavě

V nadstandardní výbavě je počítáno s dalšími možnými elektronickými prvky, které zjednoduší a vylepší celkové používání vozíku.

Ovládání světel bude vyžadovat jeden digitální vstup (bude řešen pomocí dvoupolohového přepínače rozsvíceno/zhasnuto) a jeden digitální výstup pro vyvedení signálu na všechna čtyři světla.

Ovládání aretační brzdy bude vyžadovat jeden digitální vstup a jeden digitální výstup. Vstup bude zaznamenávat signál z tlačítka, výstupní signál bude řídit směr servomotoru.

8.1.8 Celkový počet potřebných digitálních vstupů a výstupů řídicí jednotky

Výše jsme si popsali, kolik je potřeba vstupů a výstupů pro řízení elektronických komponent našeho vozíku. Zapomněli jsme ale zmínit jednu komponentu, sedadlo. My ale předpokládáme, že křeslo bude vybaveno již od výrobce svou vlastní řídicí jednotkou, tedy, nebudeme ho řídit pomocí naší řídicí jednotky. Sedlo bude připojeno pouze k napájení (baterii) a k ovládacímu panelu, pomocí něhož bude ovládáno.

Funkce	Počet vstupů	Počet výstupů
Řízení vozíku	2 digitální + 2 analogové	4 digitální
Ovládání lineárního pohonu	2 digitální	1 digitální
Hlídání náklonu	3 analogové	2 digitální
Klakson	1 digitální	1 digitální
Hlídání kapacity baterie	1 analogový	1 digitální
Světla (vyšší výbava)	1 digitální	1 digitální
Aretace motoru (vyšší výbava)	1 digitální	1 digitální

Tabulka 8.3: Potřebný počet vstupů a výstupů na řídicí jednotce

Ve standardní verzi je potřeba pěti digitálních vstupů, šesti analogových a devíti digitálních výstupů. V vyšší výbavě přibudou další dva digitální vstupy a dva digitální výstupy, což v součtu dává sedm digitálních vstupů, šest analogových vstupů a jedenáct digitálních výstupů.

8.1.9 Ovládací prvky

Pro ovládání vozíku využijeme standardního ovládacího panelu s joystickem. Joystick musí být dvoupolohový (přední-zadní a levá-pravá) a bude muset obsahovat několik ovládacích tlačítek, pomocí kterých se budou volit jízdní režimy a ovládat rychlost vozíku.

Joystick bude tedy obsahovat dva potenciometry. Každá poloha v rozsahu joysticku je charakterizována signálem z obou potenciometrů. Díky záznamu obou hodnot zároveň jsme schopni říci motorů, že chceme jet dopředu a zároveň zatáčet.

Ovládací panel bude více tlačítkový a bude mít informační display. Nyní máme v plánu vozík osadit textovým displayem. Display bude zobrazovat informace, které budou souviset s aktuálním jízdním režimem. Tlačítka na ovládacím panelu budou sloužit k ovládání elektronických zařízení. Bude zde kombinace tlačítek a dvoupolohových přepínačů. Pro tlačítka bude charakteristické ovládání lineárního pohonu, pro přepínač zase ovládání světel.

Celé ovládání elektroniky je navrženo tak, aby co nejlépe vyhovovalo uživateli. Nicméně, je zde mnoho dalších řešení, jak by bylo možné vozík ovládat. Vozík by mohl být osazen

jedním velkým dotykovým displayem, který by zastával funkce joysticku, ovládacích tlačítek a informačního displaye. Také by bylo technicky možné řídit vozík pomocí chytrých telefonů skrze nějakou aplikaci. Je vidět, že řešení existuje více, jde jen o to, zda-li jsou řešení vhodná, přinesou-li nějaká zlepšení a kolik bude ve finále stát jejich realizace.

Citlivost joysticku

Důležitou částí je také také problematika citlivosti joysticku. U kvadruplegických uživatelů by mohlo docházet vlivem postižení k nechtěnému pohybu ruky a tím i k nechtěnému pohybu vozíku. Je důležité se nad touto problematikou zamyslet a vytvořit nějaké řešení, které by redukovalo nebo zcela eliminovalo tyto nechtěné pohyby.

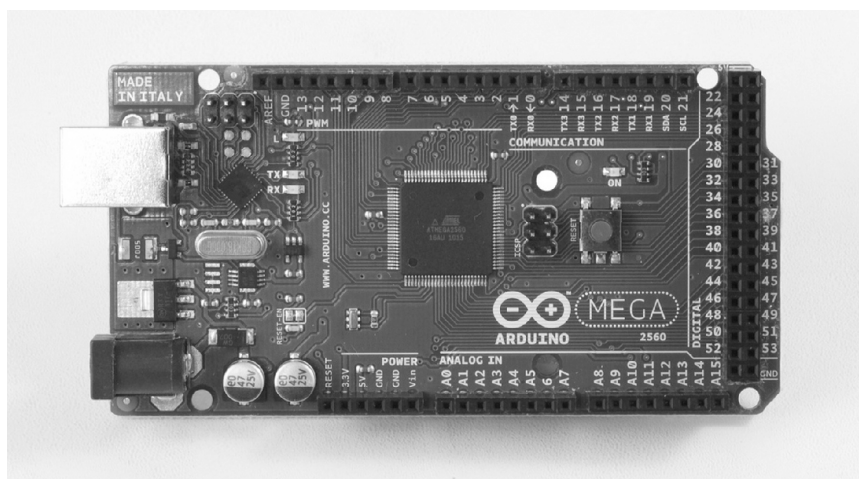
Signál z joysticku by se mohl filtrovat a tím odstranit jakési nechtěné pohyby. My o tomto problému víme, ale nemáme o něm dostatek informací, abychom ho byli schopni vyřešit. Bude to když tak otázka dalšího vývoje.

8.2 Návrh řízení na modelu

Při naší práci jsme se rozhodli si naprogramovat vlastní řídicí jednotku. Pro řízení budeme používat komponenty Arduino.

8.2.1 Výběr řídicí jednotky

Pro řízení vozíku jsme se rozhodli použít desku Arduino Mega 2560 (viz Obr. 8.4). Arduino Mega 2560 je deska, která je vydávána 54 digitálními vstupy/výstupy. Z těchto 54 vstupů/výstupů může být až 15 použito pro PWM výstup. Dále je deska osazena 16 analogovými vstupy, 4 sériovými porty, USB rozhraním, napájecím konektorem a resetovacím tlačítkem.



Obrázek 8.4: Řídicí jednotka Arduino Mega 2560 [44]

Deska je napájena 5V přes interní regulátor. Rozhodneme-li se desku napájet z vnějšího zdroje, doporučuje se napájet ji maximálně 12V, to proto, aby nedošlo k poškození desky.

Deska má také vlastní 256 kB paměť. Ta se využívá pro uložení kódu pro desku.

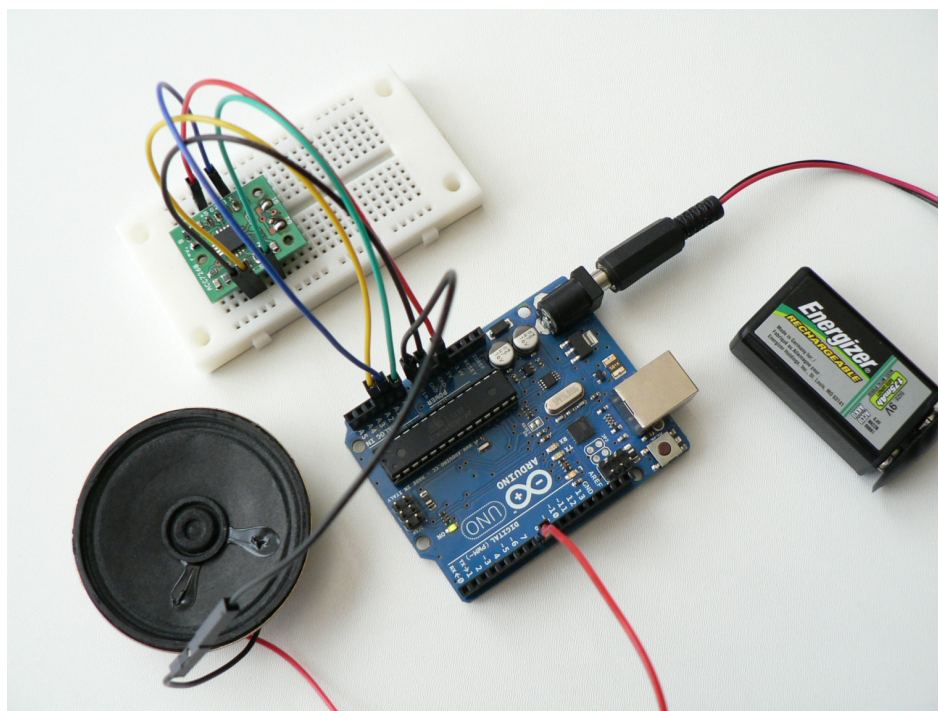
Deska Arduino Mega 2560 je skvěle vybavena pro komunikaci s počítačem, dalšími Arduino deskami nebo pro komunikaci mikrokontrolérem. Desku je možné jednoduše programovat pomocí USB portu. Software Arduino obsahuje nástroje, které umožní snadný přenos dat do/z desky. Arduino desky se jednoduše programují pomocí Arduino softwaru.

8.3 Pilotní realizace některých funkcí na laboratorním modelu

Pro vyzkoušení některých funkcí jsme si vytvořili dva reálné modely, na kterých jsme si odzkoušeli jejich praktické využití.

8.3.1 Signalizace náklonu

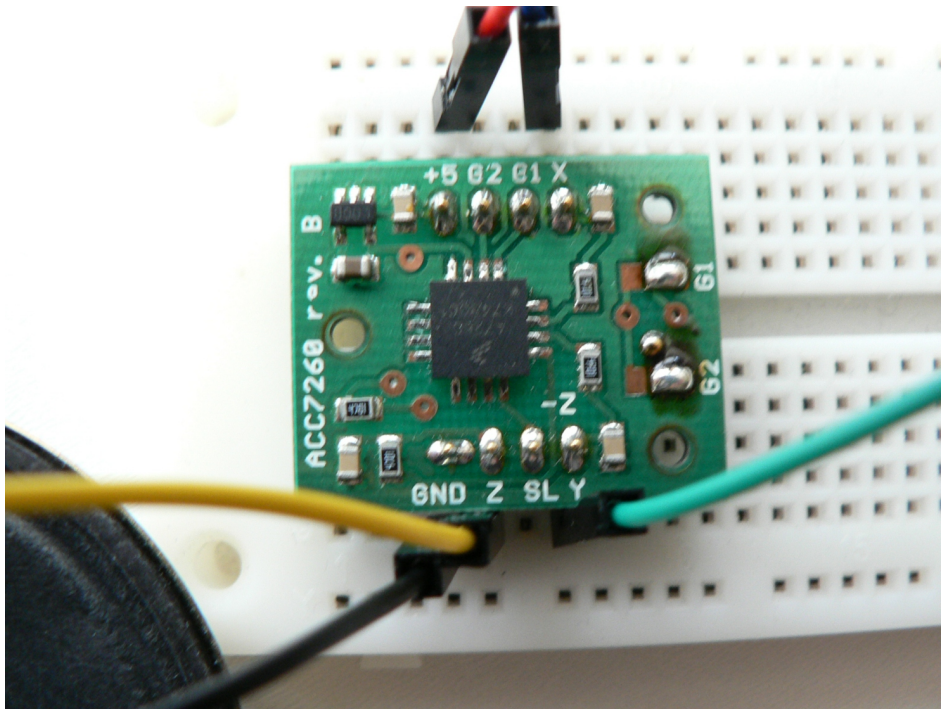
Pro řízení jsme použili řídicí desku Arduino Uno, která se liší od řídicí desky Arduino Mega 2560 pouze v počtu vstupů/výstupů. Tuto desku jsme napájeli z externí 9V baterie. K desce jsme připojili trojosý akcelerometr a bzučák (zapojení je zobrazeno na [Obr. 8.5](#)).



Obrázek 8.5: Laboratorní model signalizace náklonu

Akcelerometr jsme připojili na napětí 5V a zem (GND) a poté jsme připojili všechny tři výstupy akcelerometr znázorňující jeho osy k analogovým vstupům na desce (zapojení akcelerometru [Obr. 8.6](#)). Výstupem z desky byl jeden digitální výstup, který byl připojen na bzučák.

V programu jsme následně nastavili maximální hodnotu natočení, Tuto hodnotu jsme spočetli na 28° . My jsme nakonec zvolili úhel nižší v důsledku větší bezpečnosti. Tedy, bezpečný provozní úhel při bočním náklonu je 20° . Při překročení této hodnoty začal bzučák bzučet.



Obrázek 8.6: Zapojení akcelerometru

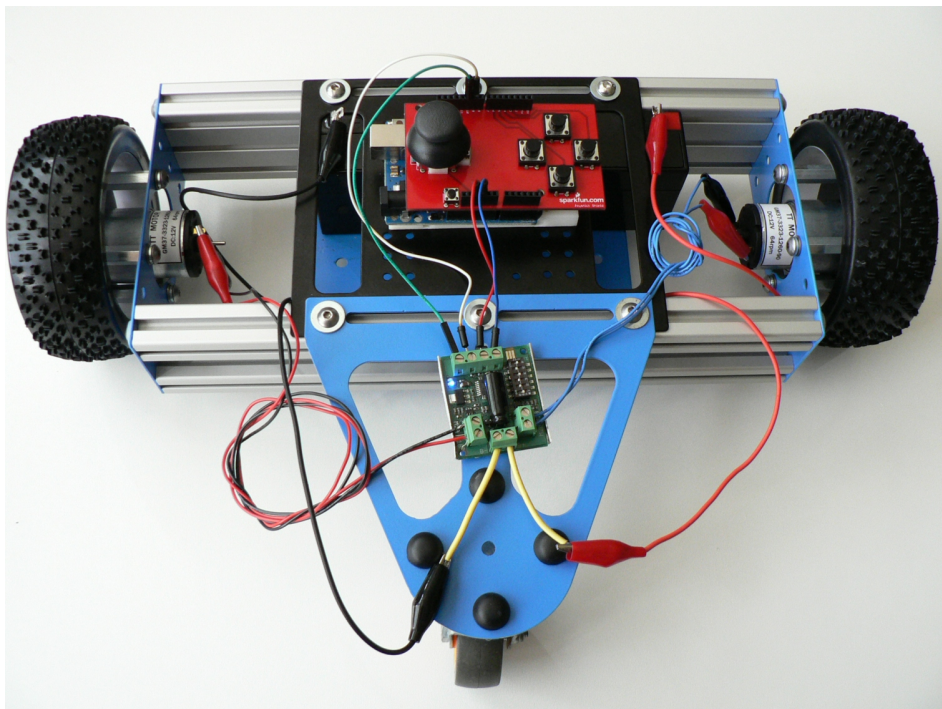
Program, který hlídá náklon laboratorního modelu je zobrazen v příloze D.

8.3.2 Simulace jízdy vozíku

Ve druhém případě jsme si zkusili naprogramovat a odzkoušet joystick se čtyřmi tlačítky (laboratorní model je zobrazen na Obr. 8.7).

Model vozíku nám reprezentoval tříkolový podvozek robota, který má stejnou koncepci podvozku jako náš vozík pro tělesně postižené. Pro řízení jsme opět použili desku Arduino Uno, ke které jsme připojili joystick se čtyřmi tlačítky. Desku jsme napájeli z baterie umístěné v podvozku. Vstupem do desky byly dva analogové vstupy z joysticku a výstupem byly čtyři digitální výstupy pro řízení kol (pro každé kolo dva digitální výstupy). Pro řízení motorů jsme zvolili řízení pulzem (PWM), který do motoru posílá data o směru a rychlosti.

Program, pomocí kterého jsme byli schopni řídit pohyb laboratorního modelu je zobrazen v příloze D.



Obrázek 8.7: Laboratorní model ovládání vozíku pomocí joysticku

9

Stabilita tříkolového vozíku

Dostane-li se vozík z jakéhokoli důvodu (průjezd zatáčkou nebo jízda po svahu) za mez stability (překročí rovnovážnou polohu), stává se nestabilním a hrozí převrácení či havárie. Stabilita je definována jako stav, kdy se celá soustava, po odeznění rušivých vlivů působících na soustavu, vrací do původní (stabilní) polohy.

Jelikož vozík bude designován i pro kvadruplegické osoby, tedy osoby s částečným nebo úplným omezením pohybu u všech končetin, musí být této části věnována velká pozornost. Převrátí-li se vozík s paraplegickým pacientem, je velká šance, že bude schopen, i když po velké námaze, se opět dostat „do sedla“. U kvadruplegického pacienta je tato možnost zcela nemožná.

Stabilita vozíku je nejvíce ovlivněna těžištěm vozíku. Těžiště je nejvíce ovlivněno rozložením celkové hmoty (vozík + uživatel). Je zřejmé, že čím níže bude celkové těžiště soustavy, tím bude zajištěna větší stabilita. My, jelikož se pokoušíme navrhnout vozík do obtížných podmínek, jsme omezeni minimální světlostí vozíku, která nám udává průjezdnost terénem. Jelikož jsme omezeni minimální výškou, musíme se snažit umístit všechny těžké části vozíku (baterie, motory) co nejnižší to půjde. Tím zajistíme, že výška těžiště bude v námi přijatelné poloze.

Další hmotnou složkou je samotný uživatel. Opět i zde platí pravidlo, čím níže je uživatel umístěn, tím je zajištěna větší stabilita.

Celkové stability vozíku lze také dosáhnout i vhodnou geometrií, rozmístěním kol (základnou). Širší rozvor kol nebo delší rozchod předních a zadního kola umožňují zajistit větší stabilitu vozíku. Ovšem, i zde to má háček, šíři vozíku musíme volit s ohledem na celkové použití vozíku. Literatura udává, že by elektrické vozíky neměly být širší než 700 milimetrů. Tato šířka je dána tím, že jsou tyto vozíky určeny i pro použití v interiérech, kde jsou použity dveře s vnitřním rozměrem futer 700 milimetrů.

Vzmemme-li v potaz takový souřadný systém, že osa x je ve směru jízdy vozíku, osa y je totožná s osou kol a osa z je kolmá na rovinu xy , a bereme-li v potaz fakt, že sedák bude umístěn souměrně podle osy x , můžeme říci, že umístění sedáku lze polohovat ve dvou osách. Sedák můžeme ustavit v ose x a v ose z . Literatura udává, že by měl být sedák umístěn před těžištěm pomyslného trojúhelníka, který je spojnicí středů kol. V literatuře se také dočteme

o zlatém pravidle při navrhování tříkolových vozidel, které zní:

Pro zajištění stability tříkolového vozidla se dvěma koly na přední nápravě, musí být těžiště (střed hmotnosti) ve třetině rozvoru od přední nápravy. Takto umístěné těžiště poskytuje statické svislé zatížení každého kola třetinou hmotnosti (66% na přední nápravě a 33% na zadní. [29]

9.1 Analytické výpočty stability vozíku

U vozidel, potažmo i u bicyklů či tricyklů, rozlišujeme stav vychylování soustavy z rovnovážné polohy na stabilitu:

- příčnou,
- podélnou,
- směrovou.

9.1.1 Příčná stabilita

Příčná stabilita určuje stabilitu kolem podélné osy vozidla z hlediska příčného smyky nebo převrácení. Jedná se o stavy nastávající při průjezdu zatáčkou vyšší rychlostí a při podélné jízdě po svahu.

K překročení rovnovážné (stabilní) polohy dochází vlivem odstředivé síly a nebo ve chvíli, kdy při jízdě po svahu dojde ke stavu, že působení gravitační síly se dostane mimo pomyslný trojúhelník spojující středy kol (bude vysvětleno na [Obr. 9.3](#)).

Průjezd zatáčkou

Při průjezdu zatáčkou vzniká v těžišti odstředivá síla F_o , která se snaží porušit příčnou stabilitu. Její hodnota je dána vztahem:

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{R}. \quad (9.1)$$

Kde: m – je celková hmotnost vozíku

v – je rychlost vozíku

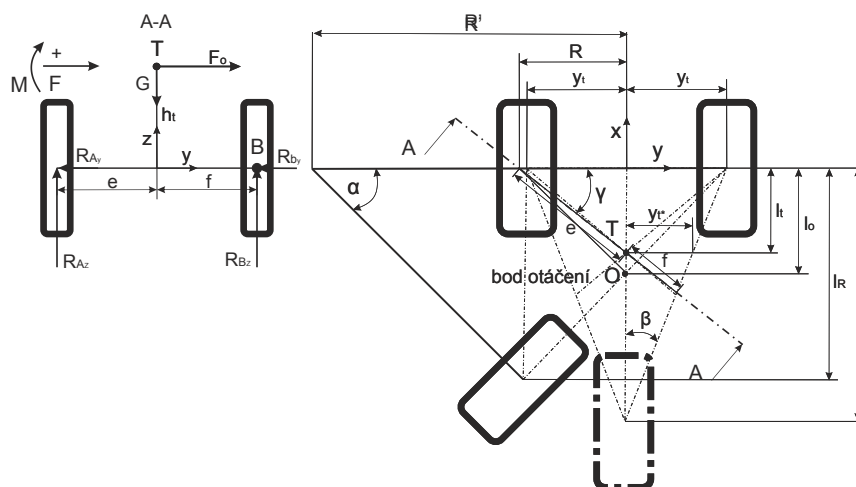
R – je poloměr zatáčky

Platí, že $F_o \leq F_{o_{krit}}$. Překročí-li hodnota F_o hodnotu $F_{o_{krit}}$, stává se vozík nestabilním a hrozí převrácení.

Poloměr otáčení R vypočteme z [Obr. 9.1](#):

$$\tan \alpha = \frac{l_o}{R} \Rightarrow R = \frac{l_o}{\tan \alpha}. \quad (9.2)$$

Doplníme-li tento vztah do [\(9.1\)](#) dostaneme:



Obrázek 9.1: Průjezd zatáčkou

$$F_o = \frac{m \cdot v^2 \cdot \tan \alpha}{l_o}. \quad (9.3)$$

Z rovnic (9.1) respektive (9.3) můžeme zjistit maximální rychlost při průjezdu zatáčkou, která se rovná:

$$v = \sqrt{\frac{F_o \cdot R}{m}}, \quad (9.4)$$

respektive

$$v = \sqrt{\frac{F_o \cdot l_o}{m \cdot \tan \alpha}}. \quad (9.5)$$

Z těchto rovnic je potřeba si vyjádřit složku F_o . Tu vyjádříme z rovnováhy sil ve směrech y a z a jedné momentové podmínky k bodu B , jak je patrné z Obr. 9.1:

$$y: \quad \sum F_y = 0; \quad F_o - R_{Ay} - R_{By} = 0, \quad (9.6)$$

$$z: \quad \sum F_z = 0; \quad R_{Az} - G_z + R_{Bz} = 0, \quad (9.7)$$

$$\sum M_B = 0; \quad R_{Az} \cdot (e + f) + F_o \cdot h_t - G \cdot f = 0. \quad (9.8)$$

Uvažujme stav, že při průjezdu zatáčkou bude levé kolo odlehčené a proto $R_{Ay} = 0$. Rovnice (9.8) bude mít tvar:

$$F_o \cdot h_t - G \cdot f = 0. \quad (9.9)$$

Z této rovnice pak dostaneme, že:

$$F_o = \frac{G \cdot f}{h_t}. \quad (9.10)$$

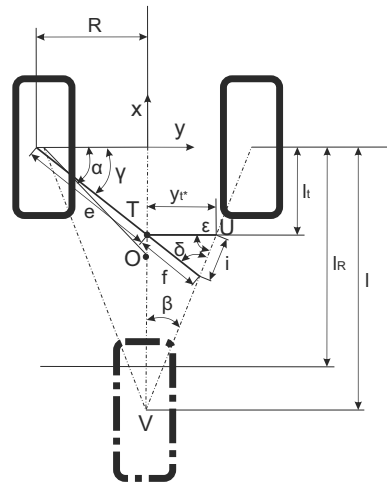
Dosadíme-li (9.10) do (9.1) respektive (9.3), dostaneme:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot f \cdot R}{h_t \cdot m}} \quad (9.11)$$

respektive

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot f \cdot l_o}{h_t \cdot m \cdot \tan \alpha}} \quad (9.12)$$

V rovnici máme ještě jednu neznámou, a to rameno f . I zde vyjdeme z Obr. 9.1. Abychom měli všechno přehlednější, vše je výstižněji zobrazeno na Obr. 9.2.



Obrázek 9.2: Výpočet ramen e a f

Výpočet ramene f :

nejdříve výpočet úhlu γ z rovnice:

$$\tan \gamma = \frac{l_t}{R} \Rightarrow \gamma = \arctan \frac{l_t}{R}, \quad (9.13)$$

dále pomocí sinové věty dostáváme vztah:

$$\frac{f}{\sin \varepsilon} = \frac{y_{t^*}}{\sin \delta}. \quad (9.14)$$

Dále si dopočteme úhly δ a ε , viz Obr. 9.2. Jako první si spočteme úhel ε , který dostaneme z $\triangle TUV$. Úhel ε se tedy rovná:

$$\varepsilon = 180 - 90 - \beta = 90 - \frac{y_t}{l}. \quad (9.15)$$

Jelikož již známe dva úhly, a díky znalostem o trojúhelnících víme, že součet všech úhlů v trojúhelníku je rovem 180° , můžeme dopočítat zbývající úhel δ , který se rovná:

$$\delta = 180 - \gamma - \varepsilon = 90 - \gamma + \frac{y_t}{l}. \quad (9.16)$$

Dosadíme-li (9.16) do (9.14) a upravíme-li tuto rovnici, dostaneme, že:

$$f = \frac{y_{t^*} \cdot \sin(90 - \frac{y_t}{l})}{\sin(90 - \gamma + \frac{y_t}{l})}. \quad (9.17)$$

Nyní už známe všechny proměnné z 9.20 respektive 9.12, proto můžeme do těchto rovnic dosadit. Výsledné rovnice pro maximální rychlost při průjezdu zatáčkou budou mít tvar:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot y_{t^*} \cdot \sin(90 - \frac{y_t}{l}) \cdot R}{\sin(90 - \gamma + \frac{y_t}{l}) \cdot h_t \cdot m}}, \quad (9.18)$$

respektive

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot y_{t^*} \cdot \sin(90 - \frac{y_t}{l}) \cdot l_o}{\sin(90 - \gamma + \frac{y_t}{l}) \cdot h_t \cdot m \cdot \tan \alpha}}. \quad (9.19)$$

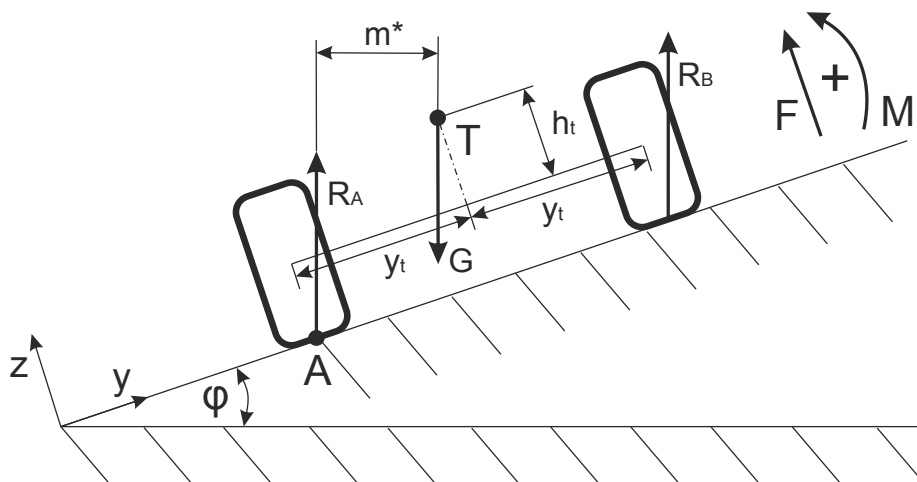
Upravíme-li rovnici tak, že za G dosadíme $m \cdot g$, dostaneme rovnici ve tvaru:

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot y_{t^*} \cdot \sin(90 - \frac{y_t}{l}) \cdot R}{\sin(90 - \gamma + \frac{y_t}{l}) \cdot h_t}}. \quad (9.20)$$

Z 9.20 vidíme, jaké parametry ovlivňují rychlost průjezdu zatáčkou. Jsou to hlavně poloměr zatáčky R a vzdálenost y_{t^*} . Čím vyšší budou tyto hodnoty, tím rychleji budeme schopni zatáčkou projet.

Jízda po svahu

Jízdu po svahu řešíme pouze staticky rovnováhou sil a momentů. Stabilitu při jízdě po svahu nám určují tři síly, a to reakční síly R_A a R_B a gravitační síla G (viz Obr. 9.3).



Obrázek 9.3: Jízda po svahu

V souřadném systému zy si nejdříve vypočteme složky síly G :

$$G_y = G \cdot \sin \varphi, \quad (9.21)$$

$$G_z = G \cdot \cos \varphi. \quad (9.22)$$

Výsledná tíhová síla G je podle Pythagorovy věty:

$$G = \sqrt{G_y^2 + G_z^2}. \quad (9.23)$$

Nyní si vypočteme složky reakčních sil R_A a R_B :

Pro reakci R_A platí:

$$R_{A_y} = R_A \cdot \sin \varphi, \quad (9.24)$$

$$R_{A_z} = R_A \cdot \cos \varphi. \quad (9.25)$$

Pro reakci R_B platí:

$$R_{B_y} = R_B \cdot \sin \varphi, \quad (9.26)$$

$$R_{B_z} = R_B \cdot \cos \varphi. \quad (9.27)$$

Nyní vytvoříme dvě rovnováhy sil, pro směr y a pro směr z :

$$y : \sum F_y = 0; \quad R_{A_y} - G_y + R_{B_y} = 0, \quad (9.28)$$

$$z : \sum F_z = 0; \quad R_{A_z} - G_z + R_{B_z} = 0. \quad (9.29)$$

Pro určení tří neznámých musíme použít tři rovnice. Tou třetí je rovnice momentová. Momentovou rovnici počítáme k bodu A . Zapsaná momentová rovnice má tvar:

$$\sum M_A = 0; \quad R_{B_z} \cdot 2y_t + G_y \cdot h_t - G_z \cdot y_t = 0. \quad (9.30)$$

Jak bylo zmíněno výše, že při jízdě po svahu překročí vozík rovnovážnou polohu tehdy, přestane-li gravitační síla G působit uvnitř pomyslného trojúhelníka. Na Obr. 9.3 je tento výrok znázorněn vzdáleností m^* . Vzdálenost m^* znázorňuje vzdálenost y_t promítnutou ve směru působení sil R_A , R_B a G . Bude-li $m^* \geq 0$, vozík bude stabilní, v opačném případě hrozí převrácení vozíku. Tuto vzdálenost můžeme vypočítat dle následujícího vzorce:

$$m^* = y_{t^*} \cdot \cos \varphi - h_t \cdot \sin \varphi \geq 0. \quad (9.31)$$

9.1.2 Podélná stabilita

O podélnou stabilitu se jedná při jízdě vozíku do svahu. Při jízdě do svahu může dojít ke stavům, kdy při účinku vnějších sil může dojít k prokluzu kol, ke skluzu vozidla, k zastavení nebo k úplné ztrátě říditelnosti. Takovéto případy nenastávají tak často, jako případy ztráty rovnováhy při příčné stabilitě. Tyto případy nejčastěji nastávají v zimě nebo při jízdě blátivým terénem do kopce.

Technicky vzato, vycházíme ze stejných předpokladů, jako při jízdě po svahu. I zde počítáme se stejnými podmínkami rovnováhy a momentovou podmínkou. I zde je tedy výsledkem soustava tří rovnic o třech neznámých, které následně vyřešíme.

9.1.3 Směrová stabilita

Směrovou stabilitou myslíme ten případ, kdy je vozík schopen samovolně udržovat původní směr jízdy při jeho náhlém vychýlení z tohoto směru. Za vychýlení mohou různé vnější vlivy, které na vozík během jízdy působí, například nerovnost terénu, krátkodobé zatočení nebo boční vítr.

9.2 Výpočet boční stability se zadanými parametry

Parametry vozíku:

Rozvor kol l	$l = 765 \text{ mm}$
Rozchod kol $2y_t$	$2y_t = 725 \text{ mm}$
Rameno y_{t^*}	$y_{t^*} = 260 \text{ mm}$
Vzdálenost těžiště od předního ramene l_t	$l_t = 180 \text{ mm}$
Výška těžiště h_t	$h_t = 484 \text{ mm}$

Tabulka 9.1: Parametry vozíku pro výpočet stability

Maximální bezpečný úhel naklonění vozíku se rovná:

$$m^* = y_{t^*} \cdot \cos \varphi - h_t \cdot \sin \varphi \geq 0. \quad (9.32)$$

Maximální možný úhel náklonu se rovná:

$$\varphi = \arctan \frac{y_{t^*}}{h_t} = \arctan \frac{260}{484} \approx 28^\circ. \quad (9.33)$$

V poslední rovnici nám vyšlo, že maximální bezpečný náklon vozíku je 28° . Ovšem tento náklon je pouze teoretický, nezahrnuje v sobě žádné vnější vlivy, jako tření, stav terénu či správný posed. Již mírným vykloněním se z vozíku se úhel výrazně liší. Rozumné by bylo ponechat si nějakou rezervu a říci, že bezpečný sklon terénu při jízdě po svahu je 20° .

10

Výpočty a simulace

Pro ověření tuhosti rámu jsme využili softwarových nástrojů, které jsou schopny vypočítat průběh napětí v součásti. My jsme počítali metodou konečných prvků (MKP).

MKP pracuje tak, že rozdělí těleso na určitý počet prvků (konečný počet prvků), kde každý prvek má určitý počet uzlů. Rozdělení tělesa na určitý počet prvků se nazývá diskretizace. Vytvoří se jakási síť, která reprezentuje tvar tělesa. Prvky sítě volíme s ohledem na dimenzi úlohy. Můžeme použít jednodimenzionální prvky (například beamy - pruty), dvoudimenzionální prvky (například trojúhelníky) nebo třídimenzionální prvky (například tetrahedry).

Dále se tělesu přiřadí materiál se svými specifickými vlastnostmi (hustota, mez pevnosti/kluzu, Youngův modul pružnosti v tahu/tlaku, Poissonovo číslo, tepelná vodivost a další), zatížení tělesa a vazby tělesa (udávají počet stupňů volnosti tělesa v prostoru).

Výpočet MKP je dán tím, že software vytvoří celkovou matici tuhosti systému. Následně počítá v každém uzlu prvků sítě jeho deformace. Deformacemi myslíme posuv a natočení každého uzlu sítě.

Řešením je výsledný pohled na rozložení průběhu napětí v soustavě. Výsledkem nemusí být pouze průběh napětí, může se jednat o posunutí, výpočet vlastních frekvencí, o rozložení tepla v soustavě, šíření magnetismu a další.

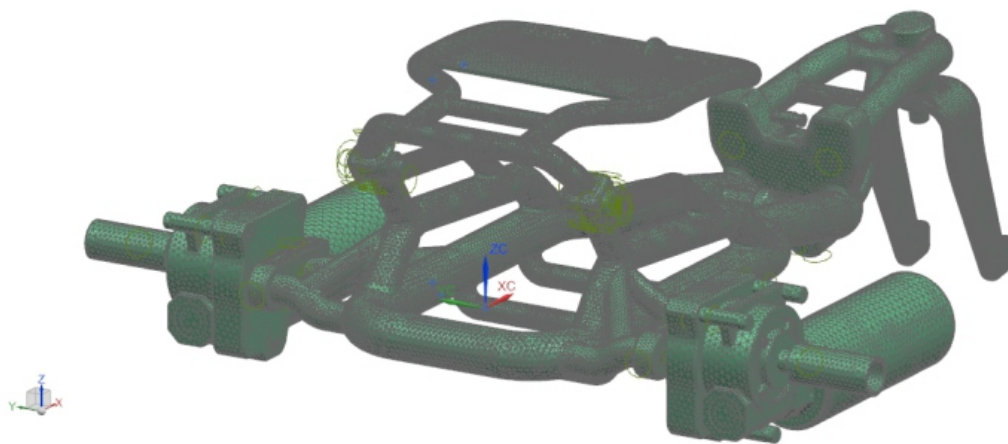
10.1 Simulace rámu

V našem případě jsme použili MKP pro výpočet rozložení napětí a deformací v rámu, který se skládá z hlavního rámu a zadních vidlic. Celý rám je zjednodušený. Z rámu jsme odebrali takové prvky, které nemají žádný vliv na průběh napětí a deformací rámem. Tedy, odebrali jsme různé držáky, vodiče a dorazy, to proto, aby se snížil celkový počet konečných prvků¹.

Po zjednodušení rámu jsme postupovali dále. Přiřadili jsme materiály (použili jsme tři materiály: Hliníkovou slitinu EN AW 6026 pro prvky rámu, ocel pro čepy a motory a bronz pro

¹Poznámka: Jelikož je rám symetrický, snažili jsme se i o zjednodušení využitím právě této symetrie. Výsledky z této varianty se ale výrazně lišily od výsledků, které jsme dostali při výpočtu celého rámu

pouzdra). Dalším krokem bylo potřeba vytvořit síť prvků modelu (Obr. 10.1). Před samotnou diskretizací jsme provedli úpravu ve spojích (Obr. 10.2). Aby síť navazovala z jednoho tělesa na druhé, využili jsme funkce *Mash Mating*, která vytvoří mezi tělesy vazbu. My jsme všude využili vazbu lepením, kdy napevno spojí dvě tělesa. V tomto spoji navazuje síť z jednoho tělesa na druhé, nevznikají zde tedy chyby ve výpočtu. Vytvořili jsme také vazbu kontaktem (hnědá barva na Obr. 10.2). Tuto vazbu jsme využili mezi čepem a bronzovým pouzdem. V tuto chvíli jsme měli vše připravené pro diskretizaci. Velikosti prvků jsme volili s ohledem na velikost tělesa, tedy, velikost prvků se pohybuje od 2 do 8 milimetrů.



Obrázek 10.1: Síť konečných prvků modelu rámu

V další fázi je potřeba zadat vazby. Nejdříve jsme uchytili náboje kol, kterým jsme zakázali pohyb v ose z . Dále jsme upevnili zadní otočnou vidlici, které jsme zakázali pohyb ve všech šesti stupních volnosti. Následně jsme vytvořili vazbu kontakt mezi komponentami, které jsou uloženy v bronzových pouzdrech, tedy čepy podsedáku a zadní otočnou vidlici. U kontaktů mezi čepem podsedáku a bronzovým pouzdem jsme nastavili koeficient tření 0,15. U kontaktu zadní otočné vidlice a bronzového pouzdra byl koeficient tření nastaven na hodnotu 1, tedy, v tomto kontaktu nebyl umožněn žádný pohyb.

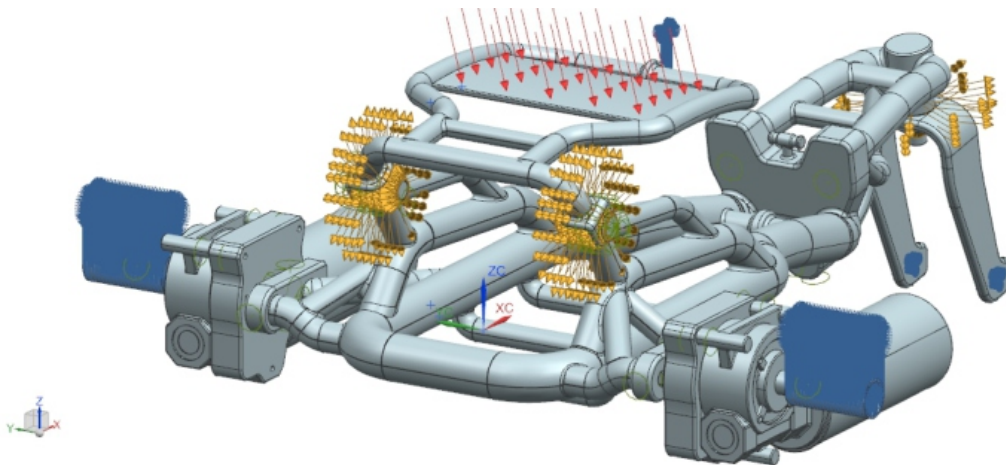
Poslední fází před spuštěním výpočtu bylo nutné zadat zatížení. V návrhu počítáme se stokilovým zatížením vozíku. Ale, jelikož bude vozík jezdit v terénu, kde jsou větší dynamické účinky, museli jsme úměrně k nim zvýšit i celkové statické zatížení. Dynamický součinitel c_{dyn} jsme zvolili 1,3. Z toho plyne, že:

$$F_{celk} = F_z \cdot c_{dyn} = 1000 \cdot 1,3 = 1300N. \quad (10.1)$$

Celkové zatížení jsme tedy zadali 1300 N. Vektor tohoto zatížení je pootočen o 20° v rovině yz . Toto pootočení reprezentuje jízdu po svahu. Toto je nejhorší možný stav, který může nastat, jelikož řídicí elektronika je nastavena na hlídání náklonu a při tomto náklonu bude uživatele výrazně informovat.

10.1.1 Průběh napětí v rámu

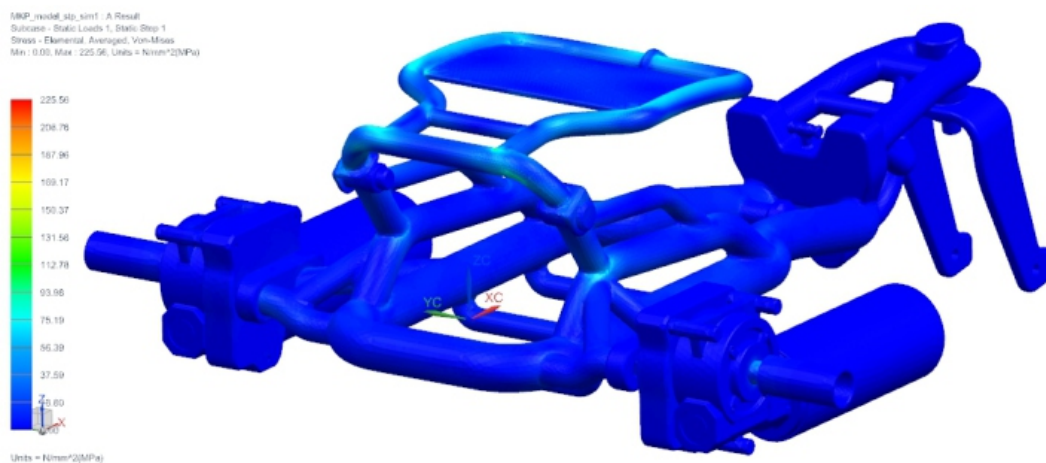
Pro zobrazení výsledků jsme využili softwarových nástrojů, které nám umožnili zprůměrovat průběh napětí v sousedních elementech sítě. Průběh a přechod napětí je hladší. To má význam



Obrázek 10.2: Pohled na zjednodušený rám s okrajovými podmínkami

tehdy, chceme-li výsledky prezentovat.

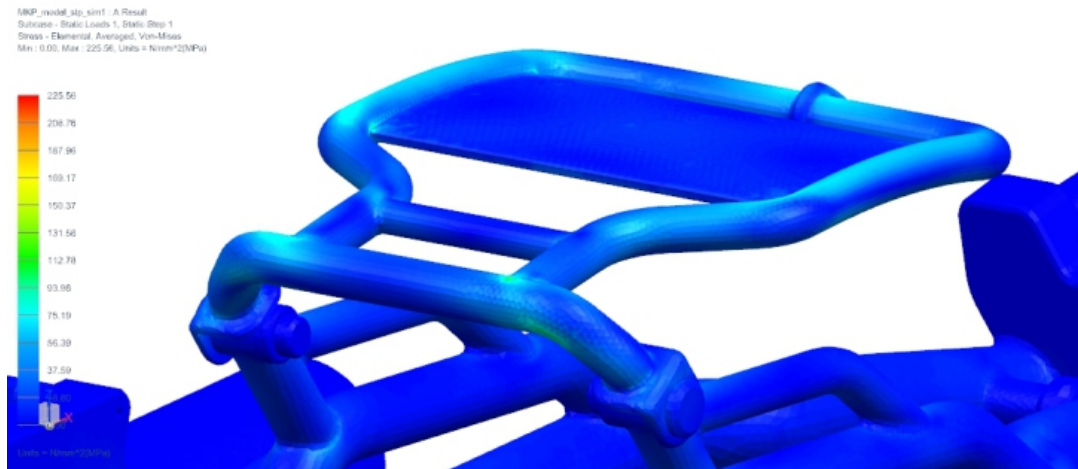
Při pohledu na celkový průběh redukovaného napětí v rámu vidíme (Obr. 10.3 a v detailu na Obr. 10.4), že nejvíce zatížená část je podsadlový rám. Je to zřejmé, poněvadž zátěžná síla působí právě na desku podsadlového rámu.



Obrázek 10.3: Průběh redukovaného napětí Von Mises rámem

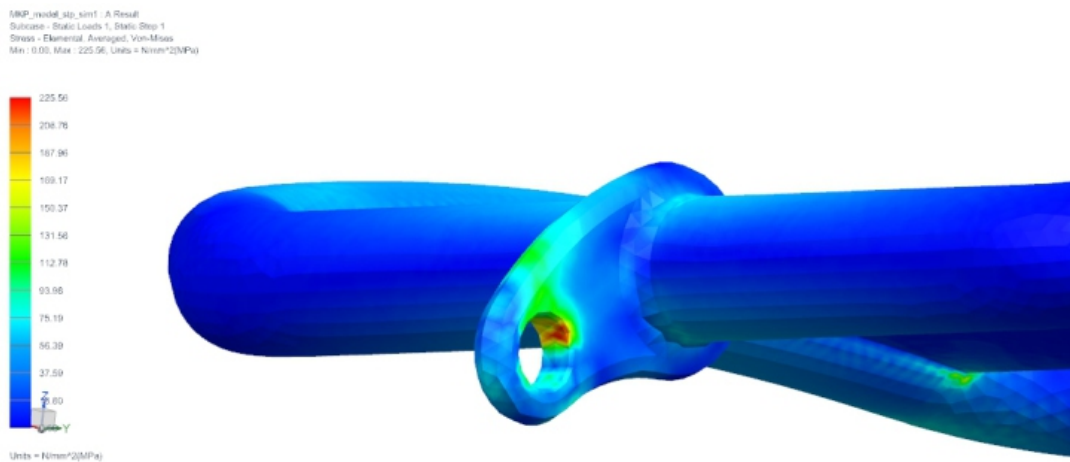
Nicméně, na většině části působí redukované napětí do 100 MPa. Špičky napětí se objevují v místech svarů, ostrých ohybů, v ostrých přechodech a v uloženích, zejména v uložení lineárního pohonu viz Obr. 10.5 a Obr. 10.6. Maximální hodnota redukovaného napětí Von Mises je 225 MPa.

Známe-li maximální napětí redukované napětí na tělese a známe-li také mez kluzu námi využívaného materiálu (hliníková slitina EN AW 6026 má smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ 315, respektive 330 MPa), můžeme jednoduše stanovit celkovou bezpečnost, která se rovná:



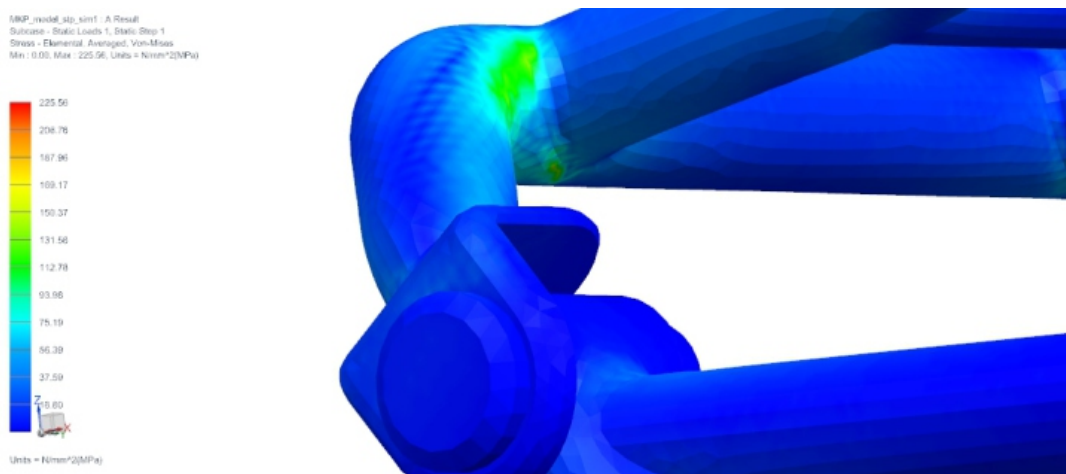
Obrázek 10.4: Průběh redukovaného napětí Von Mises rámem - detail

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{RED}} = \frac{330}{225} \approx 1,47. \quad (10.2)$$

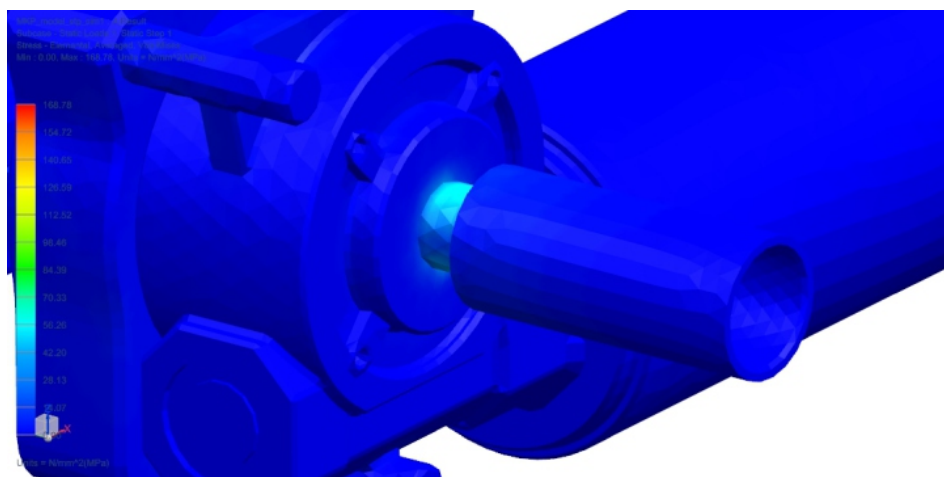


Obrázek 10.5: Špička napětí v místě uchycení lineárního pohonu

Dalším místem, kde je vidět zvýšená koncentrace napětí je hřídel motoru (Obr. 10.7). Tuto součást my nenavrhujeme, Motor je nakupovaná komponenta a pouze její výrobce ví, jaké zatížení hřídel snese. My jsme jí dali vlastnosti obyčejné oceli, nevíme, z jakého a jak zpracovaného materiálu je hřídel vyráběna. Nicméně, téměř všichni výrobci těchto motorů uvádějí, že zatížení hřídele motoru může být až 120 kilogramů. Nám se celková hmotnost, kterou počítáme okolo 150 kilogramů, rozdělí na dva motory, tedy každý ponese maximálně 75 kilogramů.



Obrázek 10.6: Špička napětí na podsedadlovém rámu v místě svaru



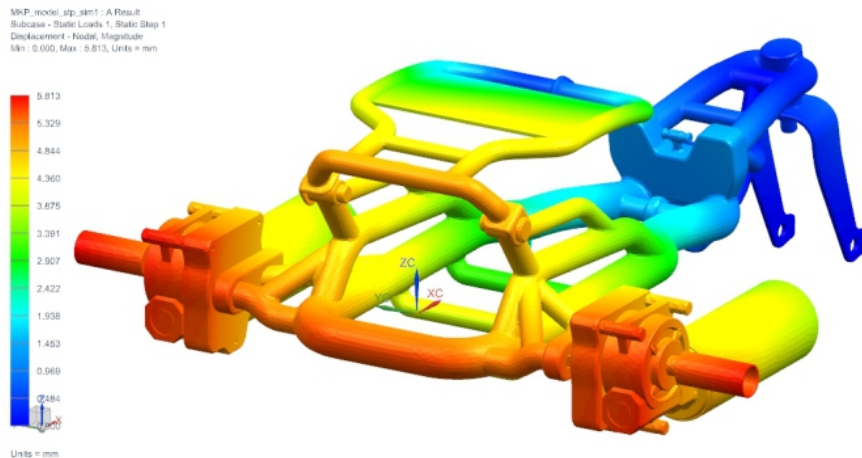
Obrázek 10.7: Zvýšené napětí na hřídeli motoru

10.1.2 Deformace rámu

Pomocí MKP můžeme také počítat celkové deformace. Deformace můžeme sledovat ve všech směrech (x , y , z) nebo se můžeme podívat na celkovou deformaci (Obr. 10.8). Celková deformace ukazuje pouze kladné (absolutní) hodnoty. Deformace v určitém směru ukazuje hodnoty i záporné, a to tehdy, jsou-li proti kladnému směru osy. Na Obr. 10.8 vidíme, že maximální deformace je opět v oblasti rámu a pohybuje se okolo 3 milimetrů. Zbytek rámu je dostatečně tuhý a jeho celkové deformace jsou do 0,5 milimetru.

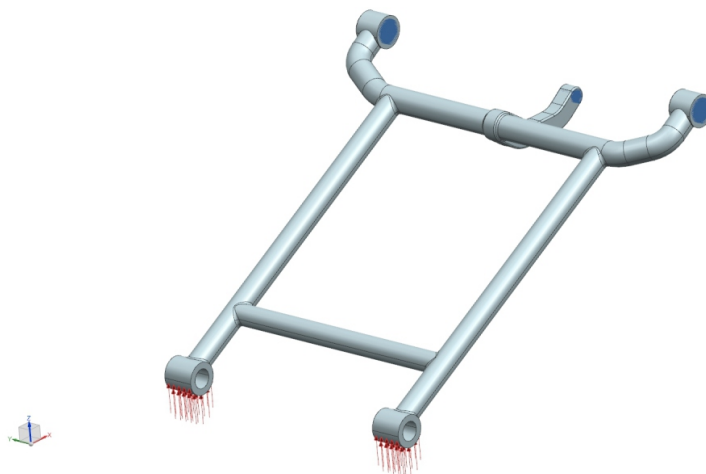
10.2 Simulace předního dorazu

Při výpočtech jsme si také nasimulovali zatížení předního dorazu, který slouží jako doraz proti převrácení. Postupovali jsme úplně stejně, akorát zde to bylo jednodušší, zde jsme nemuseli



Obrázek 10.8: Celková deformace rámu po zatížení 2000 N

použít žádných kontaktů a vazeb. Rám dorazu jsme pevně zafixovali na třech místech, stejně jako je tomu reálně na rámu, a ve spodní části, kde jsou uchycená kolečka jsme rám zatížili. Zatížili jsme ho silou 200 N. Na Obr. 10.9 a Obr. 10.10 jsou zobrazeny okrajové podmínky a síť výpočtového modelu.

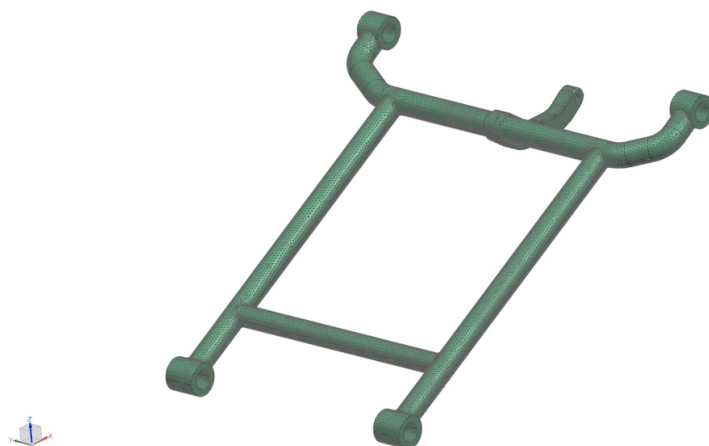


Obrázek 10.9: Okrajové podmínky rámu předního dorazu

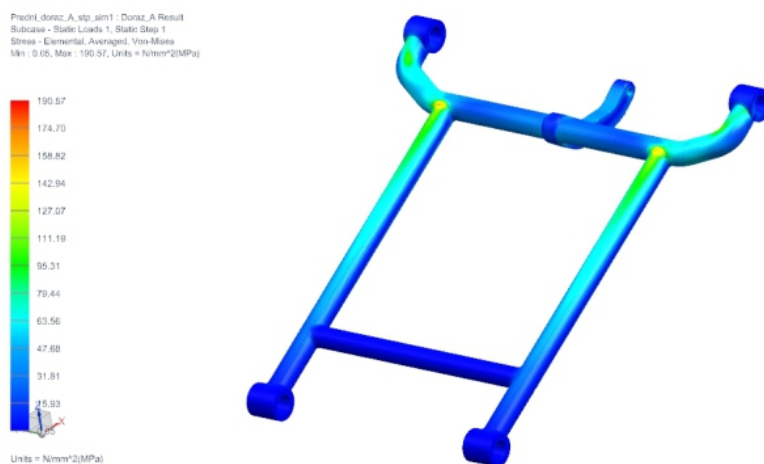
10.2.1 Průběh napětí v předním dorazu

Výsledky průběhu redukovaného napětí napětí Von Mises v rámu předního dorazu jsou zobrazeny na Obr. 10.11.

I zde jsou vidět špičky napětí, a opět se vyskytují v přechodech a svarech. A stejně, jako tomu bylo v předchozím případě nepřevyšují smluvní mez kluzu materiálu. Ačkoli, celková bezpečnost zde bude menší, jelikož největší redukované napětí je zde 190 MPa. Také je ale potřeba říci, že 200 N je možná příliš vysoká hodnota pro zatížení této části rámu.



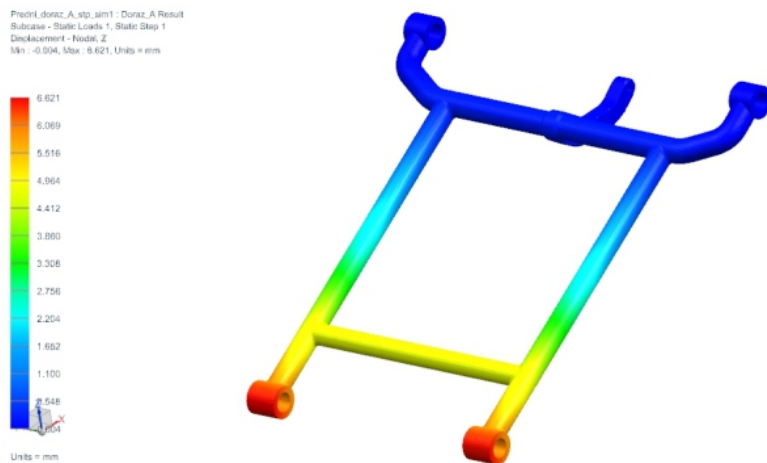
Obrázek 10.10: Síť rámu předního dorazu



Obrázek 10.11: Průběh redukovaného napětí Von Mises rámem předního dorazu

10.2.2 Deformace předního rámu

U předchozího rámu jsme si zobrazili celkovou deformaci rámu. Zde nás bude asi nejvíce zajímat hodnota deformace ve směru z (Obr. 10.12). Největší deformace ve směru z je v oblasti zatížení a její hodnota je necelých 7 milimetrů.



Obrázek 10.12: Deformace předního dorazu ve směru osy z

11

Odhad výrobních nákladů a zhodnocení technické úrovně vozíku

11.1 Hrubý odhad nákladů na výrobu vozíku

V této kapitole bychom chtěli shrnout, kolik by stála výroba našeho vozíku. Výsledná cena bude jen orientační, jelikož u některých položek cenu pouze odhadujeme z předchozích zkušeností.

Na začátku jsme si dali za cíl vyrobit elektrický vozík pro obtížné podmínky do sta tisíc korun. V následujících řádcích si ověříme, zda-li se nám to podařilo.

Začneme-li od nejdražší položky, tak první položkou bude sedací systém. Sedací systém se nekupuje jako celek, kupující si ho sestavuje na míru podle svých proporcí a postižení. Jeho cena se tedy významně liší. Pro paraplegického uživatele nemusí být sedlo nijak speciálně nastavitelné, proto bude jeho cena výrazně nižší než křeslo pro kvadruplegického uživatele. My jsme vybrali sedací systém *Sedeo Lite* a při základní konfiguraci jsme došli k ceně blížící se 40 tisícům korun.

Druhou nejdražší položkou bude zřejmě výroba rámu. Cenu rámu pouze odhadujeme. Zde musíme započítat cenu materiálu, práci a cenu barev. Cenu rámu odhadujeme na 20 - 25 tisíc korun.

Další položkou v seznamu je baterie, která také nepaří mezi levné komponenty. Námi vybraná 36V 20Ah LiFePO₄ baterie se dá v českých internetových obchodech přibližně od 11 tisíc korun.

Další nejdražší komponentou jsou motory. Zde musíme opět uvést přibližnou cenu, jelikož jsme nenašli žádného českého dealer, který by tyto motory prodával. Nicméně, v zahraničních internetových obchodech (www.leafbike.com) se cena těchto motorů pohybuje okolo 200 \$/kus, tedy 400 \$ za pár. Budeme-li počítat kurz dolaru 20 korun vyjde nám, že za oba motory zaplatíme 8 tisíc korun (bez poštovního a CLA).

Další komponentou je můstek pro řízení motorů. Cena můstku je odvislá od toho, s jakými proudy může pracovat. My předpokládáme vysoké špičkové proudy, proto jsme zvolili 50A můstek od společnosti Arduino s označením Sabertooth 2X50HV, jehož cena je 6 300 korun.

LINAK LA23 patří také mezi dražší komponenty. Cenu od českého dodavatele jsem nezískali, musíme tedy cenu opět odhadovat. Námi navržený pohon se dá sehnat v zahraničních internetových obchodech přibližně za 200\$, tedy 4 tisíce korun.

Kotoučových brzd pro všechny druhy kol je celá řada. My nepotřebujeme ty nejlepší brzdy, spokojíme se s průměrnými brzdami, jelikož bereme tyto brzdy jako záložní, tedy, nebude se s nimi brzdit stále. Ve většině cyklo prodejnách se cena jedné brzdy pohybuje od 1 500 korun výše. Počítáme, že bychom zaplatili za obě brzdy dohromady 4 tisíce korun.

K sedáku budeme muset dokoupit joystick s ovládacím panelem. Jelikož bude k ovládacímu panelu ještě připojen přijatelný textový display, může být cena poněkud vyšší. Odhadujeme, že bychom se měli vejít do 3 tisíc korun.

Dále musíme nakoupit kola. Jelikož budeme jezdit v obtížných podmínkách, koupíme raději kvalitnější ráfky. S obtížnými podmínkami také souvisí kvalita pláštěů. Měly by být z odolného materiálu a se vzorkem, který bude schopen projet i blátivější či zasněžený terén. Celkovou cenu předních kol a zadního kola odhadujeme na 2 500 korun.

Další, ale už méně nákladnější položkou je základní deska, také Arduino s označením Mega 2560. Tato deska poskytuje širokou škálu analogových a digitálních vstupů/výstupů. Její cena přibližně 1 300 korun.

Dále už počítáme pouze drobnější položky jako klakson, akcelerometr nebo pružiny na odpružení sedáku. Tyto komponenty nejsou výrazně drahé, proto nám cenu vozíku rapidně nezvýší/nesníží.

Název komponenty	Cena komponenty
Sedací systém	40 000 CZK
Výroba rámu	25 000 CZK
LiFePO ₄ baterie	11 000 CZK
Elektrické motory	8 000 CZK
Mústek pro řízení motorů	6 300 CZK
lineární pohon LINAK LA23	4 000 CZK
Kotoučové brzdy	4 000 CZK
Joystick + ovládací panel s displayem	3 000 CZK
Kola (ráfek + dráty + duše)	2 500 CZK
Základní deska	1 300 CZK
Akcelerometr	200 CZK
Klakson	200 CZK
Pružiny	200 CZK
Celková cena	95 700 CZK

Tabulka 11.1: Hrubý odhad výrobních nákladů

Výsledná cena 92 700 korun je přijatelná. Vyhovuje naším prvotním požadavkům vejít se do částky 100 tisíc korun. Nutno ale podotknout, že jsme uvažovali cenu sedacího systému 40 tisíc korun, tedy téměř polovinu celkové ceny vozíku. S dražším sedacím systémem úměrně poroste i cena vozíku. Do výsledné ceny také nejsou zahrnuty ceny montáže a další přidružené výrobní práce. Na druhou stranu, tato odhadnutá cena je uvedena pro objem produkce 1 kusu. Zvýšili by se celkový roční objem produkce, bylo by možné nasmlouvat nižší ceny s dodavateli, to by následně snížilo celkovou výrobní cenu vozíku.

11.2 Zhodnocení technického zpracování vozíku a splnění požadavků

Hlavním úkolem bylo navržení technické pomůcky pro tělesně postižené pro pohyb v obtížném terénu. Vypracovali jsme dotazník, ve kterém jsme se ptali tělesně postižených na základní vlastnosti, které by podle nich měl vozík mít.

Zjistili jsme, že by vozík měl mít elektrický pohon, měl by být levný a měl by být skladatelný. Dále dotazovaní zmínili jeho dobrou stabilitu a průjezdnost terénem. Snažili jsme se, aby naše konstrukce splňovala všechny tyto výše vypsané vlastnosti a také mnoho dalších.

Skladatelnost vozíku pro nás byla jedna z hlavních priorit. Další prioritou bylo, aby se při rozebírání a zpětném skládání nemuselo používat nářadí. Tento problém jsme vyřešili konstrukčními sponami, které drží jednotlivé u sebe. Snažili jsme se také, aby celková náročnost skládání nebyla jak technicky, tak časově náročná. To se nám povedlo vytvořením několika podsestav. Podsestavy jsou většinou smontovány pomocí šroubů. Při rozebírání a zpětném skládání se bude muset odpojovat/připojovat elektronika. Zde jsme se také snažili, aby kabelů bylo co nejméně a aby nebylo možné je zaměnit. Toto jsme vyřešili barevným označením konektorů a zásuvek.

Při návrhu jsme se snažili dosáhnout co nejlepší technické úrovně našeho vozíku. Zároveň jsme chtěli zachovat co nejnižší hmotnost vozíku. To proto, aby byla spotřeba energie co nejnižší. Nízké hmotnosti jsme dosáhli díky lehké hliníkové slitině EN AW 6026. Tato slitina je lehká a zároveň pevná ($R_{p0,2} = 315 - 330 \text{ MPa}$). Další způsob, jímž jsme dosáhli nízké hmotnosti je ten, že jsme používali trubky o velkém průměru s malou tloušťkou stěny.

Schopnost překonávat obtížné terény by měla být na velmi dobré úrovni. Předpokládáme to z návrhu a výběru motorů a z celkové tuhosti rámu. Vozík by měl být schopen jezdit v písku, nízkém sněhu, po lesních a polních cestách a měl by být schopen překonat nízké schody s nízkým stoupáním. S navrženou baterií by měl být vozík schopen ujet v lehkém terénu téměř 15 kilometrů. Koncepce je navržena tak, aby bylo snadné baterii vyměnit, tedy, mít možnost vlastnit více baterií a tak prodloužit celkový dojezd vozíku.

Jízdní kvalita je dána elektronickým sedadlovým systémem, který má několik možností elektronického nastavení, moderní sedák a opěrky z nových funkčních materiálů a spousta dalších předností. Kvalitu jízdy dále doplňuje výškové nastavení sedáku, jímž se mění celková výška těžiště. Celý tento podsedadlový rám je také odpružen, což také zpříjemňuje celkový pocit z jízdy.

Bezpečnost a stabilita vozíku je dána řadou elektronických prvků. Zmíňme například lineární pohon, který umožňuje nastavit výšku sedadla a tím snížit těžiště, což má za následek větší stabilitu, dále to je trojosý akcelerometr, který hlídá maximální náklon vozíku. Bezpečnost vozíku proti přepadnutí zajišťuje také přední opěrný rám, který plní svoji funkci při jízdě z kopce. Další prvek, který je zvyšuje celkovou bezpečnost je mechanická provozní brzda. Tato brzda plní záložní funkci provozní brzdy. Lze ji využít při sjíždění prudkého kopce, nebo v té chvíli, přestane-li fungovat provozní elektromagnetická brzda.

Vozík je určen především do venkovního prostředí, přesto jsme se snažili dodržet takové rozměry vozíku, aby ho bylo možno využívat i v interiéru.

Celková kvalita technického zpracování je na dobré úrovni s velkým důrazem na bezpečnost a schopnost překonání překážek.

12

Závěr

V první fázi práce jsme si udělali průzkum trhu, který nám dal nástřel, jak jsou současné vozíky pro obtížné podmínky konstruovány. Také nám dal přehled o jejich cenách, které jsou v některých případech dosti vysoké. Nicméně, v návaznosti na tyto informace jsme vytvořili dotazník, který jsme rozeslali mezi tělesně postižené. V dotazníku jsme se ptali na věci okolo vozíku, například kolik by byli ochotni zaplatit za vozík do terénu, zda by měl být manuální nebo elektrický, nebo, zda-li je nutné, aby mohli vozík převážet v automobilu. Zpracováním odpovědí z dotazníku jsme si vytyčili potencionální cestu naší konstrukce.

V další fázi jsme si rozpracovali několik návrhů, ze kterých jsme následně pomocí morfologické matice vybrali jednu, kterou jsme dopracovali do konečného návrhu. Při návrhu jsme se řídili legislativou (norma ČSN EN 12184) pro konstrukci elektrických invalidních vozíků. Zajímali jsme se také o celkovou ergonomii vozíku, kvůli které jsme vybrali sofistikovaný sedací systém Sedeo Lite, který je navržen tak, aby co nejvíce redukoval vznik proleženin uživatele.

Po zmapování trhu a vytyčení si požadavků na vozík jsme si udělali návrh technických parametrů jednotlivých komponent vozíku. Zde jsme si spočetli potřebné výkonové parametry motorů nebo například parametry baterie pro 15 kilometrový dojezd vozíku. Také jsme navrhli systém snižování/zvyšování těžiště. Tento systém je ovládán lineárním pohonem a má za úkol zabezpečit větší bezpečnost při průjezdu náročným terénem. Pro větší bezpečnost jsme přidali k provozním elektromagnetickým brzdám ještě jedny mechanické kotoučové brzdy, které mají význam záložních provozních brzd. Vozík je také vybaven aretační brzdou, která má využití například při nastupování/vystupování z vozíku. Soustředili jsme se také na odpružení sedacího systému, což přinese uživateli kvalitnější jízdu, zvláště v terénu.

Po celou dobu návrhu jsme plnili požadavek jednoduché rozebíratelnosti a zpětné skladatelnosti. Cílem bylo vytvořit takový systém skládání/rozebírání, který by byl jednoduchý na montáž a časově nenáročný. Rozhodli jsme se tedy vytvořit systém několika podsestav, které se skládají v jeden celek. Pro připojení podsestav jsme se rozhodli použít jednoduchých průmyslových spon, šroubů s plastovou hlavou pro ruční dotažení nebo aretačních čepů, které bezpečně uchyty podsestavu k rámu a není potřeba žádného náradí.

V následující fázi jsme navrhli elektronickou složku vozíku. Zde jsme zpracovali elektrické

blokové schéma, které zobrazuje funkční zapojení elektroniky. Zabývali jsme se také návrhem celkového řízení elektronických částí vozíku, počínaje řízením pohybu vozíku, přes ovládání lineárního pohonu, světel, aretačních brzd a dalších funkcí. Mezi elektroniku jsme také zařadil náš systém hlídání náklonu vozíku. Tento systém má uživatele upozornit v situaci, je-li náklon vozíku příliš velký. Úhel náklonu nám bude zjišťovat trojosý akcelerometr, který následně posílá data o náklonu do řídicí jednotky. Řídicí jednotka signál zpracuje a odešle ho na display. Bude-li náklon vozíku přesahovat maximální bezpečný úhel, vyšle signál i do klaksonu, který uživatele upozorní na příliš velký náklon vozíku.

V laboratorních podmínkách jsme si zapojili, naprogramovali a vyzkoušeli ovládání modelu vozíku pomocí joysticku a také hlídání náklonu pomocí akcelerometru.

V poslední fázi práce jsme udělali hrubý odhad výrobní ceny vozíku. Dostali jsme se pod cenu 100 tisíc korun. Téměř polovinu ceny vozíku dělá sedací systém, jehož cenu počítáme okolo 40 tisíc korun. Tento sedací systém má několik mechanických a elektronických možností nastavení, proto je jeho cena takto vysoká a následně i celková cena vozíku. Nicméně, cena 100 tisíc korun je v porovnání s konkurencí o polovinu nižší, se stejnými, ne-li v některých oblastech lepšími jízdními vlastnostmi.

Literatura

- [1] SICILIANO, Bruno. *Springer Handbook of Robotics*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2008. e-ISBN 978-3-540-23957-4
- [2] KAŇOVSKÝ, Petr, BAREŠ, Martin, DUFEK, Jaroslav. *SPASTICITA - Mechanismy, diagnostika a léčba*, Praha: MAXDORF, 2004. ISBN 80-7345-042-9
- [3] JEČINA, O. *Jednotlivé druhy tělesných postižení* [online], cit. 2012-10-18 prezentace ve formátu pptx. Dostupné z: <http://www.apa.upol.cz>
- [4] SAWATZKY, B. *Wheeling in the New Millennium* [online], cit. 2012-10-18 prezentace. Dostupné z: http://www.wheelchairnet.org/wcn_wcu/slidelectures/sawatzky/
- [5] *Wheelchair* [online], poslední aktualizace 2012-12-11 19:28, cit. 2012-10-18 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:WoodWheelchair.JPG>
- [6] *History of the Wheelchair* [online], cit. 2012-10-19 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.livingwithcerebralpalsy.com/wheelchairhistory-cerebral.php>
- [7] *Poruchy hybnosti* [online], poslední aktualizace 2011-09-23 19:55, cit. 2012-11-22. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Poruchy_hybnosti
- [8] ŠÍPEK, A. *Spina bifida* [online], Informační portál o vrozených vadách a jejich výskytu v ČR, cit. 2012-11-22. Dostupné z: http://vrozene-vady.cz/vrozene-vady/index.php?co=spina_bifida
- [9] *Invacare Adventure Power Chair* [online], cit. 2012-11-30. Dostupné z: http://sales.bettermobility.co.uk/catalog/product.php?CI_ID=42
- [10] *Action Trackstander* [online], cit. 2012-11-25 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.actiontrackstander.com/wp-content/gallery/galary/slide2.jpg>
- [11] *Off Road Wheelchairs for All Terrain Use* [online], cit. 2012-11-27 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.mobilitynow.co.uk/off-road-wheelchairs-for-all-terrain-use/>
- [12] *New Off-Road Wheelchair – The Mountain Trike* [online], poslední aktualizace 2012-05-24, cit. 2012-11-27 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://blog.amsvans.com/new-off-road-wheelchair-the-mountain-trike/>
- [13] *Trekinetic Wheelchair* [online], cit. 2012-11-27 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.independentliving.co.uk/news/popups/trek.html>
- [14] *Invacare Adventure Power Chair* [online], cit. 2012-11-30 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://sales.bettermobility.co.uk/catalog/full_images/AlberAdventure.main.jpg

- [15] *Extreme X8* [online], cit. 2012-11-30 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.magicmobility.com.au/extreme-x8.html>
- [16] *Unique Capabilities With Extreme Power: The X5 Frontier Offroad Powerchair* [online], poslední aktualizace 2011-09-21, cit. 2012-11-30 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.prlog.org/11667655-x5-frontier-off-road-powerchair.jpg>
- [17] *Terrain Hopper* [online], cit. 2012-11-30 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://terraihopper.com>
- [18] *The C2000 Power Wheelchair* [online], cit. 2012-12-01 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.disabilityneeds.com/products/view/the-c2000-power-wheelchair>
- [19] *SuperFour - hybridní čtyřkolka* [online], cit. 2012-12-01 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://mujvozik.cz/wp-content/uploads/2012/07/Superfour.jpg>
- [20] *X850 CORPUS - The end of the Road is where the Fun Begins* [online], cit. 2012-12-02 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://www.permobil.com/Global/Product_Images/x850_corpus/x850corpus_pos2.jpg
- [21] *PERMOBIL X850* [online], cit. 2012-12-02. Dostupné z: http://www.ortoservis.cz/pages/elektricke_voziky/sub/Permobil/permobilX850.php
- [22] *The Tank Chair* [online], cit. 2012-11-29 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://tankchair.net/store/tank-chair-store#>
- [23] *Action TrackChair* [online], cit. 2012-12-02 obrázek ve formátu aspx. Dostupné z: <http://www.actiontrackchair.com/ActionTrackChair-Photos/DSC0118clean2.aspx>
- [24] *ScoutCrawler* [online], cit. 2012-12-03 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://www.ottobock.com/cps/rde/xchg/ob_com_en/hs.xsl/46475.html
- [25] SCHARF, A. *Kettentransporter für Rollis* [online], poslední aktualizace 2011-10-12, cit. 2012-12-15. Dostupné z: <http://www.zwomp.de/2011/10/12/kettentransporter-scout-crawler/>
- [26] COLAVECCHIO-VAN SICKLER, S. *Company strives to redefine a wheelchair's limits* [online], poslední aktualizace 2008-05-30 13:35, cit. 2012-12-15. Dostupné z: http://www.usforacle.com/polopoly_fs/1.617944!/image/840904270.jpg
- [27] Český normalizační institut. *Český normalizační institut. ČSN EN 12184 (841022) - Elektricky poháněné vozíky pro osoby se zdravotním postižením, skútry a jejich nabíječe - požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [28] *The Manual Wheelchair Training Guide* [online], poslední aktualizace 2001-02-05, cit. 2013-02-03 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://www.wheelchairnet.org/wcn_prodserv/Docs/MWTG/Sec2/sec2.html
- [29] FENNER, P. *On the Golden Rule of Trike Design* [online], Technický list, 2010-10-04, cit. 2013-02-11. Dostupné z: <http://www.deferredprocrastination.co.uk/blog/2010/the-golden-rule-of-trike-design/>

- [30] *Seating systems* [online], cit. 2013-03-28. Dostupné z: <http://www.handicare.co.uk/1/Products/Seating-systems/>
- [31] *Tension Seat* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://countries.permobil.com/Permobil-Export/Products/Seating-Systems/TS/>
- [32] *Corpus Seating* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://countries.permobil.com/Permobil-Export/Products/Seating-Systems/Corpus/>
- [33] *Trekinetic GTE Ultra Lightweight Power Chair* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://www.ilcnsw.asn.au/images/item_images/43422001.jpg
- [34] *250W gear hub motor* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-gs/448577248/180_250W_gear_hub_motor.html
- [35] *Swx135 Hub Motor* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://hub-motor.en.made-in-china.com/product/KXymYcikgxhJ/China-Swx135-Hub-Motor.html>
- [36] *R-Series : ElectroCraft MobilePower™ Gearmotors* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.electrocraft.com/products/gearmotors/R-Series/>
- [37] *Transaxle* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.telcointercon.com/Transaxle-id90.html>
- [38] *Gelové akumulátory* [online], cit. 2013-03-28. Dostupné z: <http://www.fg-forde.cz/cz/kategorie/gelove-akumulatory.aspx>
- [39] *36V 20AH Electric bicycle bike kit scooter lithium battery LiFePO4* [online], cit. 2013-03-28 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-gs/494603909/36V_20AH_Electric_bicycle_bike_kit.html
- [40] *Electric linear actuators for medical applications* [online], cit. 2013-04-01 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/linak/electric-linear-actuators-for-medical-applications-7052-446891.html>
- [41] *Lineární aktuátor/pohon LA23* [online], cit. 2013-04-01. Dostupné z: <http://www.linak.cz/products/Linear-Actuators.aspx?product=La23>
- [42] *Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické* [online], cit. 2013-05-01 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>
- [43] *PRECESSION* [online], cit. 2013-05-01 obrázek ve formátu gif. Dostupné z: <http://www.tpub.com/neets/book15/0144.GIF>
- [44] *ADXL3xx Accelerometer* [online], cit. 2013-05-01 obrázek ve formátu png. Dostupné z: http://arduino.cc/en/uploads/Tutorial/ADXL3XX_2_BB.png

Přílohová část



Dotazník

A.1 Otázky kladené v dotazníku

1. Druh postižení
(druh a rozsah postižení)
2. Věk
(věk respondentů)
3. Bydliště
(bydliště podle počtu obyvatel)
4. Jízda v obtížných podmínkách
(využití či nevyužití pomůcek pro překonání obtížného terénu)
5. Úroveň terénu
(druh terénu, který musí být pomůcka schopna překonat)
6. Typ vozíku
(typ vozíku - kolový, pásový, přídatné zařízení nebo podvozek pod vozík)
7. Využití vozíku
(vyjížděky po městě, vyjížděky do přírody, sportovní využití)
8. Bezpečnost
(pojem bezpečný vozík)
9. Druh pohon vozíku
(typ pohonu - ruční pohon, elektrický motor, spalovací motor, hybridní typ pohonu)
10. Výdrž baterií
(doba výdrže baterií při použití elektrického motoru jako pohonu)
11. Převážitelnost vozíku
(možnost převážitelnosti vozíku, například pomocí automobilu)

12. Rozebíratelnost, smontovatelnost vozíku
(montáž a demontáž vozíku pro účely přepravitelnosti)
13. Váha vozíku
(váha vozíku i z důvodu přepravitelnosti)
14. Možnost běžného provozu
(využití vozíku v podmínkách běžného provozu na pozemních komunikacích)
15. Vzhled
(důležitost designové stránky vozíku)
16. Vícero vozíků
(možnost vlastnit vícero vozíků)
17. Cena
(cena vozíku, kterou jsou schopni uživatelé zaplatit)
18. Vlastní požadavek
(vlastní požadavky uživatelů)

A.2 Vyhodnocení dotazníku

A.2.1 Typy obtížných terénu

První a zároveň jedna z nejdůležitějších otázek v dotazníku se týkala využitelnosti vozíku. Jinými slovy se jednalo o to, zda-li by si tělesně postižení přáli, aby měli možnost koupit takovou pomůcku, která by jim umožnila výlety do přírody, více usnadnit jízdu po městě nebo tuto pomůcku využít například při dovolené u moře. Téměř jednohlasně všichni zodpověděli, že by chtěli, aby tato pomůcka byla dostupná na českém trhu.

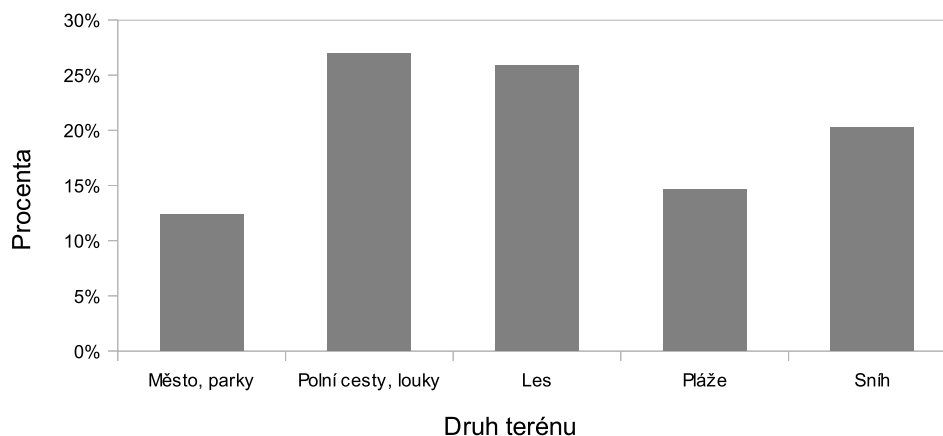
Následující otázka se ptala na to, v jakém terénu by pomůcku využívali. Sloupcový graf na Obr. A.1 demonstruje odpovědi respondentů. Respondenti by dle odpovědí pomůcku nejvíce využili v přírodě. Nejvíce by se jednalo o les, louky a polní nebo lesní cesty. O tomto je přesvědčeno více než polovina dotazovaných. Velká část tělesně postižených by pomůcku ráda využívala i v zimních měsících, kdy je povrch pokryt sněhem. Celých 15% respondentů by pomůcku chtěla využít na dovolené, při pohybu po kamenitých či písčitých plážích. Dvanácti procentní zastoupení zde má i městský terén. Ve městě mohou být za obtížný terén považovány schody nebo obrubníky u chodníků.

Jelikož v našem podnebném pásmu často prší, na přírodních površích se mohou vyskytovat louže či bahno. Při návrhu proto musíme myslet na izolovatelnost všech elektrických částí, aby se k nim nedostaly nečistoty nebo dokonce i voda. Jízda ve sněhu může mít také negativní vliv na elektronické části vozíku.

A.2.2 Způsob využití vozíku

Respondenti byli také tázáni, jakým způsobem by pomůcku využívali. Měli tři možnosti odpovědi – projížďky městem, vycházky do přírody a sportovní využití. Na grafu (Obr. A.2) respondenti nejvíce (v 63% případech) odpovídali, že by pomůcku hlavně využívali k vycházkám do přírody. Stejně, osmnácti procentní, zastoupení v odpovědích měly projížďky městem a sportovní využití.

Náročnost terénu



Obrázek A.1: Oblast využití vozíku

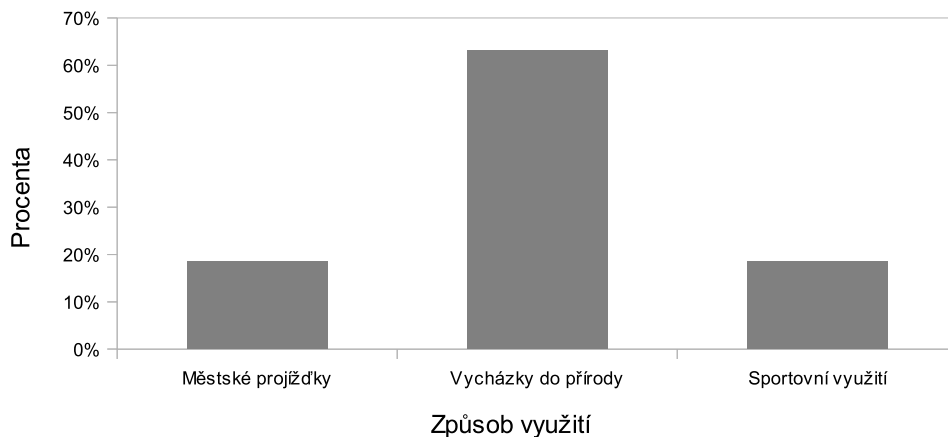
Tato otázka je důležitá opět pro typ konstrukce (typ podvozku, odkládací prostory) nebo pro určení technické specifikace pomůcky (síla motorů). Jestliže se budeme bavit především o vycházkovém využití vozíku, tak jeho konstrukční rychlost se musí pohybovat v rozmezí 4 - 6 km/hod. Tedy rychlost stejnou, jakou má běžně jdoucí člověk. Jestliže bychom omezili vozík pouze touto rychlostí, dlouhé přejezdy by byly velmi zdlouhavé. Lepším řešením bude, aby měl uživatel možnost přepínat mezi dvěma rychlostmi. Stejný princip existuje už řadu let u zemědělských strojů, především traktorů, a u terénních automobilů. Tento systém se nazývá systémem *ŽELVA - ZAJÍC*, kdy *ŽELVA* je ten pomalejší systém.

A.2.3 Převratitelnost a složitost vozíku

Důležitým faktorem při výběru vozíku je možnost jeho převratitelnosti. Stejně tak, jako zdraví lidé, mají i tělesně postižení chaty a chalupy, kam jezdí na dovolenou, víkendy nebo na svátky. Možnost převratitelnosti vozíku pomocí běžného automobilu si přeje 82% dotazovaných (Obr. A.3). V automobilu se bude vozík zřejmě nejvíce přepravovat v kufru nebo zadních sedadlech, méně asi na střeše. Převratitelnost na střeše by umožňovala lehká konstrukce vozíku.

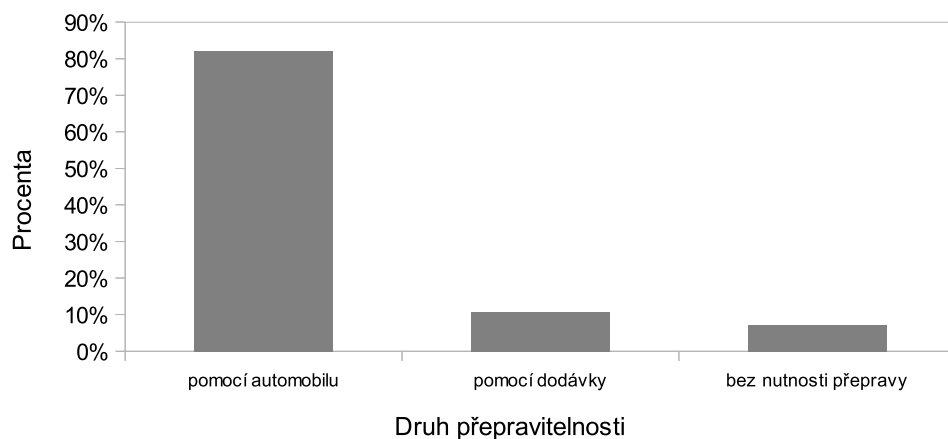
Většina lidí nemá tak prostorná auta, aby byli schopni převézt pomůcku bez nutnosti složení či rozmontování. Rozmontováním vozíku dostaneme sice více částí, které ale jednodušeji složíme v kufru automobilu, potažmo na zadních sedadlech automobilu. Otázka v dotazníku zněla, zda by si respondenti dokázali představit, že by se pomůcka musela při transportu automobilem rozebrat. Více než polovině dotazovaných by to nevadilo, kdyby celková montáž respektive demontáž vozíku trvala méně než 10 minut. Celá čtvrtina dotazovaných si zároveň přeje, aby k montáži nemuseli použít běžného nebo speciálního nářadí. Další odpovědi lze najít v grafu na Obr. A.4.

Způsob využití vozíku



Obrázek A.2: Způsob využívání vozíku

Přepavitelnost vozíku

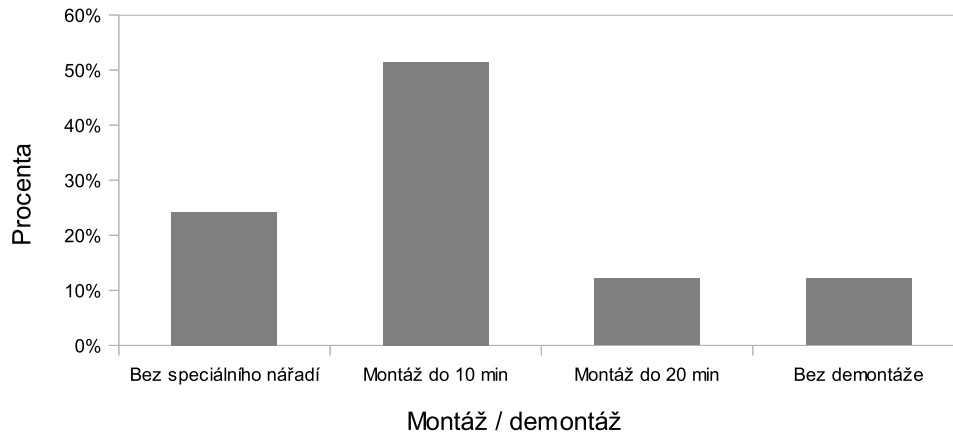


Obrázek A.3: Možnost přepavitelnosti vozíku

A.2.4 Hmotnost vozíku

Chceme-li vozík přepravovat, a většina respondentů si tak přeje, musíme se zaobírat myšlenkou ohledně hmotností vozíku. Je to důležitá část, která v dnešní době hraje prim u všech mobilních zařízení. Je známou věcí, že lehčí automobil má nižší spotřebu paliva, než-li těžší automobil. Zde je to stejné. Nebudou zde sice takové rozdíly ve váze jako například u automobilů, ale i tak se budeme snažit hmotnost co nejvíce stlačit.

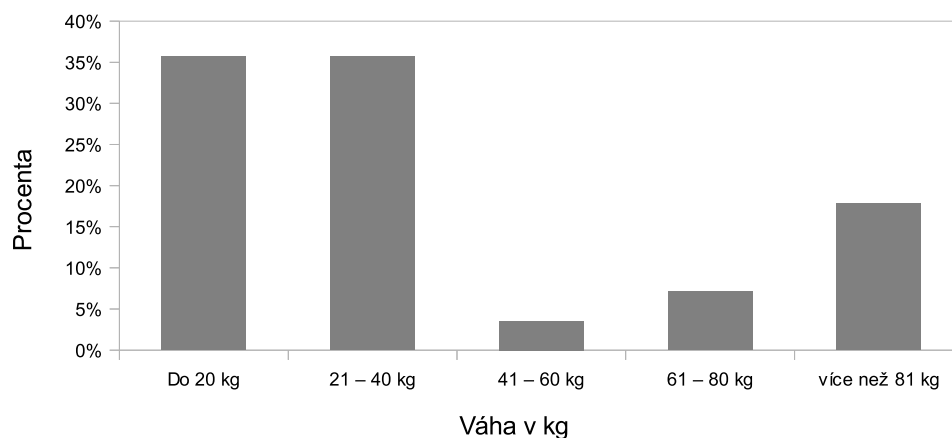
Montáž / demontáž vozíku



Obrázek A.4: Složitelnost a rozebíratelnost vozík

Jelikož si 33% respondentů přálo jako pohonnou jednotku svojí vlastní sílu, nebylo překvapením, že 36% těchto samých respondentů si přálo, aby pomůcka vážila do dvaceti kilogramů. Stejnému počtu respondentů by nevadilo, kdyby pomůcka vážila mezi 20 a 40 kilogramy. Kvadruplegičtí respondenti také v 18% uvedli, že by si dokázali představit, že by jejich pomůcka mohla vážít více než 80 kilogramů. Všechny zpracované odpovědi lze nalézt na [Obr. A.5](#).

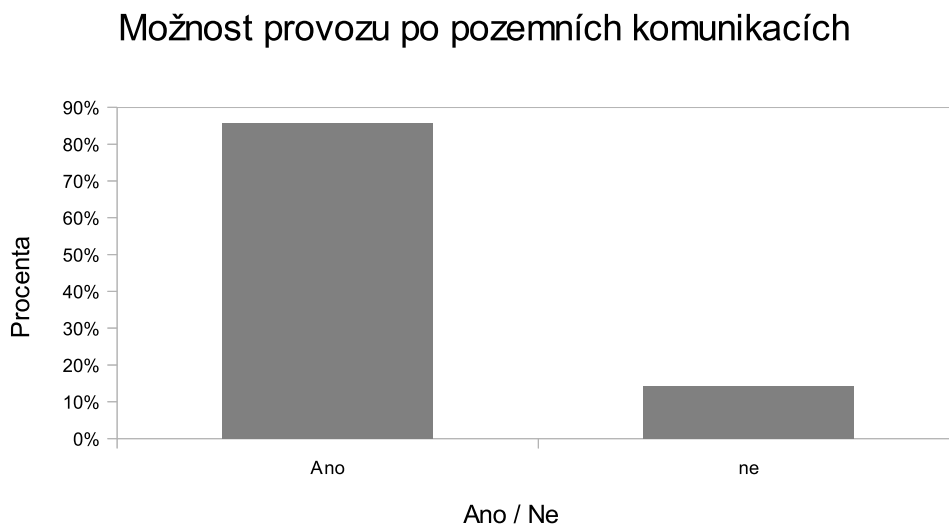
Hmotnost vozíku



Obrázek A.5: Hmotnost vozíku

A.2.5 Homologace pro běžný provoz

Pro početnou skupinu (viz Obr. A.6) dotazovaných je důležité, aby byla pomůcka určena i pro běžný provoz na pozemních komunikacích. Homologací a testováním invalidních vozíků se zabývají normy ČSN EN ISO 12183 a ČSN EN ISO 12184.



Obrázek A.6: Možnost provozu na pozemních komunikacích

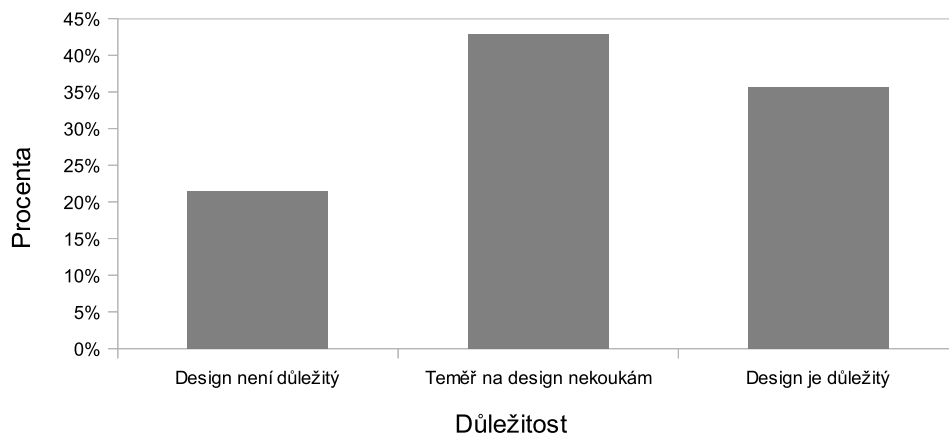
A.2.6 Designová stránka vozíku

V současnosti asi nejvíce prodává vzhled produktů. Je jedno, zda si kupujeme kávovar či auto, vzhled a cena jsou nejdůležitějšími faktory. Tento vozík už nebude tím primárním, nebude ani tím, který umožňuje postiženému větší mobilitu. Bude to vozík, který už rozšiřuje oblast mobility o další úroveň, proto na něj musíme i tak pohlížet. Ano, nejdůležitější vlastností vozíku bude úroveň překonání obtížných terénů a bezpečnost, ale nikdo by nechtěl jezdit s něčím co vypadá, jako by si to udělal někdo v garáži na koleně. Budeme se tedy snažit zahrnout do konstrukce i některé designové prvky, které mohou zároveň sloužit i jako tuhostní prvky konstrukce. Jen pro připomenutí, v současnosti motocyklová značka *DUCATI*, vlastněná německou automobilkou *Audi*, používá příhradový typ rámu, ze kterého udělala i designový prvek. Tento rám vyniká svou vysokou torzní tuhostí, i proto ho společnost *DU-CATI* využívá.

A.2.7 Nutnost vlastnit více vozíků

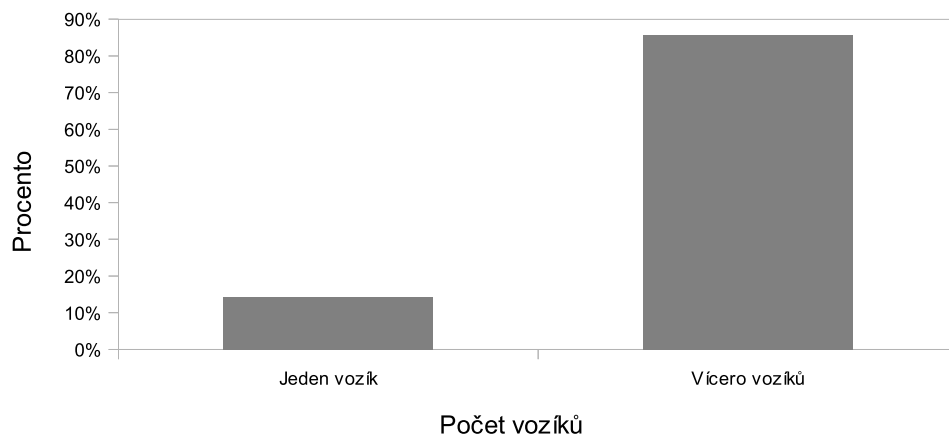
Ptali jsme se také, zda-li by si uživatelé dokázali představit, že by vlastnili více vozíků ((Obr. A.8)). Už nyní to tak funguje při koupi handbiku, že tělesně postižený vlastní více vozíků. Osmdesáti šesti procentům dotazovaných by tento krok neviděli jako překážku, proto se budeme řídit jejich názory a pomůcka budeme stavět jako speciální vozík pro jízdu v obtížných terénech.

Důležitost designu



Obrázek A.7: Důležitost vzhledové stránky vozíku

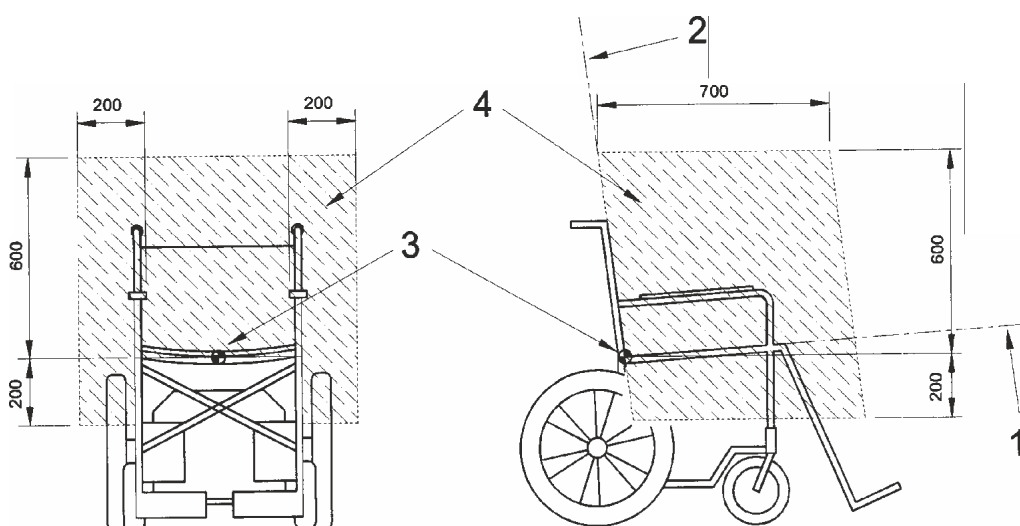
Nutnost vlastnit více vozíků



Obrázek A.8: Nutnost vlastnit více vozíků

B

Technická norma ČSN EN 12184



Legenda

- 1 vztažná rovina sedadla
- 2 vztažná rovina opěry zad
- 3 vztažný bod sedadla
- 4 dosah uživatele u elektricky poháněného vozíku

Obrázek B.1: Dosah uživatele vozíku [27]

POZNÁMKA: STR 13 NORMA 12184.

Jízdní vlastnosti	Požadavek		
	Třída A	Třída B	Třída C
Maximální ovládací síly			
ovládání jedním prstem	5N	5N	5N
ovládání jednou rukou	13,5N	13,5N	13,5B
kombinované ovládání rukou a paží	60N	60N	60N
ovládání nohou - tlakem	100N	100N	100N
ovládání nohou - tahem	60N	60N	60N
Účinnost parkovací brzdy	6° nebo maximální bezpečný sklon uvedený výrobce (je-li větší)	9° nebo maximální bezpečný sklon uvedený výrobce (je-li větší)	15° nebo maximální bezpečný sklon uvedený výrobce (je-li větší)
Minimální teoretický dojezd	15 kilometrů	25 kilometrů	35 kilometrů

Tabulka B.1: Požadavky na vozík podle typových tříd

C

Rendery konstrukčního řešení



Obrázek C.1: Zadní pohled na vozík



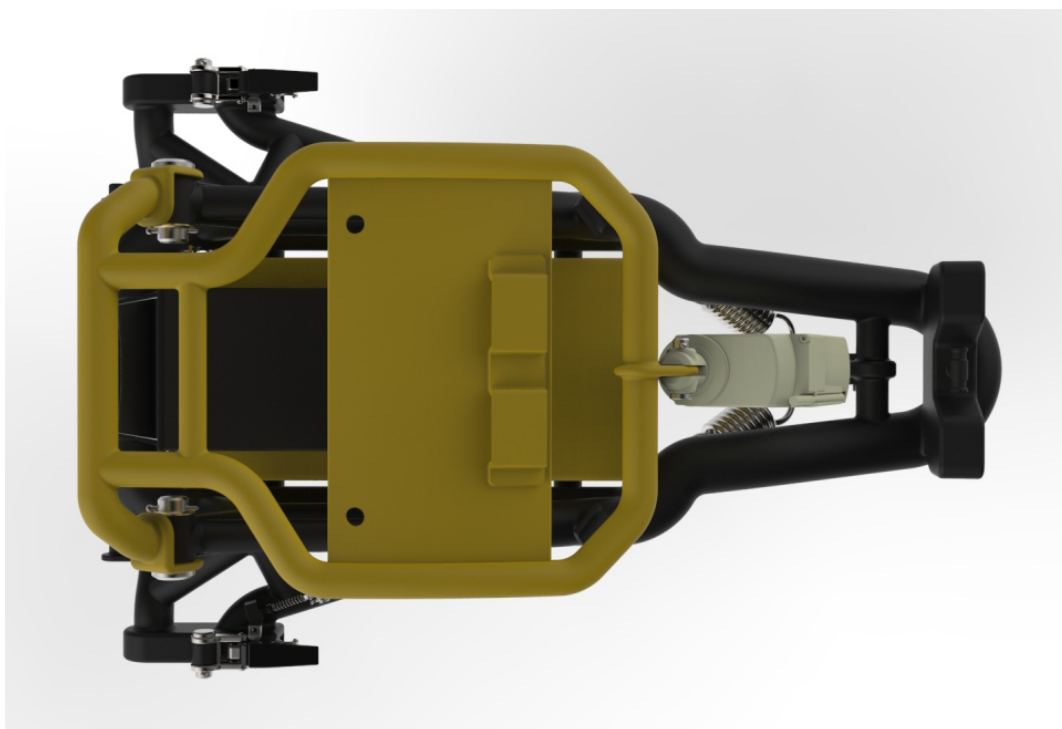
Obrázek C.2: Boční pohled na vozík



Obrázek C.3: Přední pohled na vozík bez sedadla



Obrázek C.4: Zadní pohled na vozík bez sedadla



Obrázek C.5: Horní pohled na podsestavu rámu



Obrázek C.6: Boční pohled na podsestavu rámu



Obrázek C.7: Přední pohled na podsestavu rámu



Obrázek C.8: Přední pohled na vozík



Obrázek C.9: Boční pohled na vozík ve snížené poloze



Obrázek C.10: Boční pohled na vozík ve zvýšené poloze



Obrázek C.11: Pohled na vozík s jinou kombinací barev

D

Programy pro řízení laboratorního modelu

D.1 Program hlídající náklon laboratorního modelu

První program (strana [D2](#)) je napsaný pro hlídání náklonu laboratorního modelu. Program hlídá náklon a v závislosti na něm podává různé výstupy. Tak například, je-li úhel menší než 20° , program vůbec nereaguje. Je-li náklon mezi 20° - 28° , program vyšle do bzučáku signály o délce 500 ms. Bude-li úhel větší 28° , vyšle řídicí jednotka do bzučáku signál o délce 1000 ms (1s).

D.2 Program umožňující ovládání laboratorního modelu pomocí joysticku

Druhý program (strana [D3](#), [D4](#)) ovládá laboratorní model vozíku pomocí joysticku. Řídicí jednotka čte signál z joysticku a z ovládacích tlačítek. Ovládací tlačítka ovládají rychlost jízdy, otáčení se namísto vlevo, otáčení se namísto vpravo a jízdu vzad. Motory jsou řízeny jako servomotory, tedy, je do nich poslán signál o směru pohybu a jeho rychlost pohybu.

```
// Mereni naklonu akcelerometrem.
// Rozsah ACC = 1,5g, odpovida 512 vzorku (1g odpovida cca. 340 vzorku)
//
// Osa Z orientovana ve smeru dolu, osa X dopredu, osa Y doprava / kladne smery
// Zjednodusujici predpoklad - dopredna zrychleni a zpomaleni jsou mala a
neuvazujeme je
//
// Pro ucely ladeni vypisuje namerene hodnoty do okna Serial Monitor
//

#include <math.h>

const int osaX = A0;

const int osaY = A1;
const int osaZ = A2;
const int reproPin = 7;

int sensorValue_osaX = 0;
int sensorValue_osaY = 0;
int sensorValue_osaZ = 0;
float naklon = 0;

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    pinMode(reproPin, OUTPUT);
}

void loop() {

    sensorValue_osaX = analogRead(osaX);
    sensorValue_osaY = analogRead(osaY);
    sensorValue_osaZ = analogRead(osaZ);

    naklon = atan(sqrt(pow(sensorValue_osaX) + pow(sensorValue_osaY))
/sensorValue_osaZ);
    Serial.print("Zrychleni = " );

    Serial.print(sensorValue_osaX, " ", sensorValue_osaY, " ",
sensorValue_osaZ);

    Serial.print("\t naklon = ");

    Serial.println(naklon);

    if (naklon < 20){
        noTone(reproPin);
        delay(1000);
    }
    else if (naklon > 20) && (naklon < 28) {
        tone(reproPin, 500);
        delay(200);
        noTone(reproPin);
        delay(800);
    }
    else {
        tone(reproPin, 1000);
        delay(500);
        noTone(reproPin);
        delay(500);
    }
}
```

```
// Ovladani nataceni kol voziku.
// Rizeni mustku Sabertooth v RC modu. Je vyuzita knihovna servo.
// Alternativne mozno vyuzit primo knihoven pro Sabertooth - podporuji i
// dalsi zpusoby rizeni mustku
// Pripustne hodnoty 0-180 (0=naplno vzad, 90=klid, 180=naplno vpred)
//
// K ovladani joysticku je pouzit demopriklad k JostickShieldu (Sparkfun)
// Pro potreby ladeni vypisuje aktualni hodnoty do okna SerilMonitor
//

#include <Servo.h>

const int button0=3, button1=4, button2=5, button3=6;
// b0=prepinac vpred pomalu/rychle
// b1= prepinac na miste vlevo
// b2= prepinac na miste vpravo
// b3= prepinac vzad
// v tomto pripade jsou tlacitka, tak se hodnota musi ulozit do stav
// stisk tlacitka neguje stavy v protikladu (pr. stav=vzad a stisk tlacitka vpred
-> pohyb vpred pomalu, apod.)
int b0=0; b1=0; b2=0; b3=0; // hodnoty dig.vstupu
int stav=0;
int sel=2; // vyberove tlacitko joysticku - zatim neobsazeno
int joy1=512; joy2=512; // hodnoty potenciometru na joysticku
int m1=90, m2=90; // aktualni rychlost motoru

void setup(void)
{
  pinMode(sel, INPUT); //Joystick 'Select'button jako input
  digitalWrite(sel, HIGH); // pull-up resistor on

  pinMode(button0, INPUT);
  digitalWrite(button0, HIGH);

  pinMode(button1, INPUT);
  digitalWrite(button1, HIGH);

  pinMode(button2, INPUT);
  digitalWrite(button2, HIGH);

  pinMode(button3, INPUT);
  digitalWrite(button3, HIGH);

  Servo motorlevy;
  Servo motorpravy;
  motorlevy.attach(9);
  motorpravy.attach(10);

  Serial.begin(9600);
}

void loop(void) {

  // Detekce akce obsluhy
  //

  sel= digitalRead(sel);
  b0=digitalRead(button0);
  b1=digitalRead(button1);
  b2=digitalRead(button2);
  b3=digitalRead(button3);
  joy1= map(analogRead(0), 0, 1023, 0, 180);
  joy2= map(analogRead(1), 0, 1023, 0, 180);

  if (b0) { // stisknuto tlacitko vpred (= vpred pomalu)
```



```
stav= 0;          // vpřed pomalu
joy1= map(joy1, 0, 180, 0, 60); // redukce rychlosti
joy2= map(joy2, 0, 180, 0, 60); // redukce citlivosti na zatačení
m1= m1 + joy1 -30 + (joy2 -30);
m2= m2 + joy1 -30 - (joy2 -30);
}
else if (stav==0) && (b0) {
stav =1;          // vpřed rychle
m1= m1 + joy1 -90 + (joy2 - 90);
m2= m2 + joy1 -90 - (joy2 - 90);
}
else if (b1 ) {
stav =2;          // vzad
joy1= map(joy1, 0, 180, 0, 60); // redukce rychlosti
joy2= map(joy2, 0, 180, 0, 30); // redukce citlivosti na zatačení
m1= m1 + joy1 -30 + (15 - joy2);
m2= m2 + joy1 -30 - (15 - joy2);
}
else if (b2 ) {
stav =3;          // otáčení na místě vlevo
joy2= map(joy2, 0, 180, 0, 30);
m1= m1 + (joy2 - 15);
m2= m2 - (joy2 - 15);
}
else if (b3 ) {
stav =4;          // otáčení na místě vpravo
joy2= map(joy2, 0, 180, 0, 30);
m1= m1 + (joy2 - 15);
m2= m2 - (joy2 - 15);
}
else
{
// zatím nic
}

// Akce - pohyb motoru
//
motorlevy.write(m1);
motorpravy.write(m2);
}
```