

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017 - Konstruování strojů a
technických zařízení

Studijní specializace: Konstruování zdravotnické a kooperativní
techniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Konstrukční řešení elektricky poháněného nízkohmotnostního
invalidního vozíku**

Autor: Bc. Petr NOSEK

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr NOSEK**
Osobní číslo: **S19N0156P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování zdravotnické a kooperativní techniky**
Téma práce: **Konstrukční řešení elektricky poháněného nízkohmotnostního invalidního vozíku**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh komplexního řešení elektricky poháněného nízkohmotnostního invalidního vozíku. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost. Konstrukční návrh systému by měl obsahovat rozbor technických možností jednotlivých řešení, splňovat požadavky technické jednoduchosti a respektovat bezpečnostní požadavky. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.
4. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.

Konzultant: Ing. Miroslav Čížek, ZF Engineering Plzeň, s.r.o.

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] VALA, M. Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003
[2] ROUBÍČEK, O. Elektrické motory a pohony. BEN – technická literatura, 2004
[3] ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: Strojnické tabulky. Scientia, Praha, 2004
[4] SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. Konstruování strojních součástí. VUT v Brně, Brno, 2010
Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

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

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr 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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Nosek	Jméno Petr	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční řešení elektricky poháněného nízkohmotnostního invalidního vozíku		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	58	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce obsahuje designérský návrh komplexního řešení elektricky poháněného nízkohmotnostního invalidního vozíku, specifikaci požadavků s ohledem na jejich funkčnost, rozbor technických řešení a jednotlivých variant. Výsledný koncept je dále ověřen pomocí CAE metod.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>invalidní vozík, elektrický vozík, kolečkové křeslo, CAD, CAE, nízkohmotnostní, konstrukce, pohon</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Nosek	Name Petr		
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef		
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Design Solution of an Electrically Powered Low Weight			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	58	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Design Solution of an Electrically Powered Low-weighted Wheelchair, requirements specification with regard to their functionality, analysis of technical solution and individual variants. The resulting concept is further verified using CAE methods
KEY WORDS	wheelchair, electric wheelchair, CAD, CAE, low weight, design, drive

Obsah

Zadání DP.....	3
Prohlášení o autorství.....	4
ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	5
SUMMARY OF DIPLOMA SHEET.....	6
Obsah.....	7
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků.....	11
Seznam tabulek.....	12
1 Úvod.....	13
1.1 Cíl práce.....	13
1.2 Metodika.....	13
2 Analýza problematiky.....	14
2.1 Historie.....	14
2.2 Současný stav.....	15
2.2.1 Trh.....	15
2.2.2 Rozdělení.....	17
2.2.3 Kompletní řešení na trhu.....	19
2.3 Uživatel.....	21
2.3.1 Tělesné postižení.....	21
2.4 Ergonomie.....	22
2.4.1 Podsedák a opěradlo zad.....	22
2.4.2 Opěrka ruky.....	23
2.4.3 Opěrka nohy.....	23
2.4.4 Opěrka hlavy.....	24
2.4.5 Kolo.....	24
2.4.6 Polohování.....	24
2.4.7 Ovládání.....	25
2.4.8 Materiál pro kontakt s pacientem.....	25
2.5 Pohony.....	27
2.5.1 Indukční motor.....	27
2.5.2 Univerzální motor.....	27
2.5.3 Stejnoseměrný motor s permanentními magnety.....	28
2.5.4 Krokový motor.....	28
2.5.5 Servomotor.....	28

2.5.6	Komplexní řešení	29
2.6	Konstrukční materiál	33
2.6.1	Oceli	33
2.6.2	Slitiny hliníku	33
2.6.3	Slitiny titanu	34
2.6.4	Kompozity	34
2.7	Baterie.....	34
2.7.1	„Solid-state“ baterie	38
2.8	Ovládání a řídicí jednotka.....	38
2.9	Uložení.....	41
2.9.1	Kluzná ložiska	41
2.9.2	Valivá ložiska	41
2.10	Bezpečnostní prvky.....	41
2.10.1	Elektronická brzda.....	41
2.10.2	Mechanická brzda	41
2.10.3	Anti-překlápěcí systém.....	41
2.10.4	Tišňové tlačítko	42
2.10.5	Klakson.....	42
2.10.6	Indikace stavu baterie	42
2.10.7	Voděodolnost systému	42
2.10.8	Zádržný systém	42
3	Konstrukce	43
3.1	Vybrané varianty	44
3.1.1	Varianta 1	44
3.1.2	Varianta 2	45
3.1.3	Varianta 3	46
3.1.4	Varianta 4	47
3.1.5	Shrnutí	48
3.2	Uplatňované principy	48
3.3	Návrh rámu	49
3.3.1	Definice zatížení pro simulaci.....	51
3.3.2	Výsledky.....	52
3.4	Výběr vhodného pohonu	53
3.4.1	Dopočtení chybějících parametrů.....	55
3.5	Návrh ložisek pro přední kola	55

3.5.1	Základní trvanlivost L_{10}	55
3.5.2	Základní dynamická únosnost C_{10}	56
3.5.3	Vlastní výpočet.....	56
3.6	Výběr vhodného typu baterie	59
3.7	Výběr ovládání a řídicí jednotky	59
3.8	Termo-fyziologický komfort	60
4	Závěr.....	61
	Seznam použitých zdrojů	62
	Seznam příloh.....	64

Přehled použitých zkratek a symbolů

ČR	Česká republika
3D	Trojrozměrný
2D	Dvourozměrný
CAD	Počítačem podporovaný design
CAE	Počítačem podporované konstruování
PMDC	Motor s permanentními magnety na stejnosměrný proud
AC	Střídavý proud
DC	Stejnosměrný proud
DOD	Hloubka vybití
LI-ION	Lithium Iont
LCD	Display s tekutými krystaly
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FST	Fakulta strojní
HW	Hardware
KKS	Katedra konstruování strojů
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Invalidní vozík [1]	14
Obrázek 2 – Podíl třních objemů v regionech [2]	15
Obrázek 3 –Poměrový přehled vyráběných typů [2]	16
Obrázek 4 – Odhadovaný výhled tržního podílu dle pohonu [2].....	16
Obrázek 5 -Wingus [3].....	19
Obrázek 6 – iTravel 1.054 [4]	19
Obrázek 7 – e-Throne [5]	20
Obrázek 8 – Kritická místa [8].....	22
Obrázek 9 - 3D mapa tlakových bodů konkrétního pacienta [9]	23
Obrázek 10 – Srovnání typů pneumatik [10]	24
Obrázek 11 – PMDC motor [12].....	28
Obrázek 12 – MPW52 [13]	29
Obrázek 13 – BBQ-30GZ6287 [14].....	29
Obrázek 14 – TD317-000 [15]	30
Obrázek 15 – ActiveLine [16].....	30
Obrázek 16 – Project Slayer [17]	31
Obrázek 17 – Li-Ion Baterie [19]	36
Obrázek 18 – Hloubka vybití některých typů Li-Ion baterií [20]	37
Obrázek 19 – Schéma „solid state“ baterie [21]	37
Obrázek 20 – SHARK DK-PMA [23]	38
Obrázek 21 – Power Electric WJC [22]	38
Obrázek 22 – DX2-PMA90LG [24].....	39
Obrázek 23 – DX2-REM550 [25].....	40
Obrázek 24 - Kluzné pouzdro [27].....	41
Obrázek 25 – Schéma rozloženého rámu	50
Obrázek 26 – Schéma složeného rámu	50
Obrázek 27 – Příklad spektra zatížení	51
Obrázek 28 – Průběh napětí v opěrce.....	52
Obrázek 29 – Průběh napětí v zadní části rámu	52
Obrázek 30 – Průbeh napětí v opěrce nohy.....	53
Obrázek 31 – Rozklad působících sil [26]	54
Obrázek 32 – Závislost výkonu, otáček a točivého momentu zvoleného pohonu [13]	54
Obrázek 33 – Tlak v uložení ložisek pro přední kolo	57
Obrázek 34 – Ložisko 607-2RSH [27].....	58

Obrázek 35 – Schéma pro řídicí jednotku [24]	59
--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Srovnání produktů	21
Tabulka 2 – Porovnání pohonů	32
Tabulka 3 - Li-Ion vs. Olověné baterie [18].....	35
Tabulka 4 – Porovnání Li-Ion baterií [18]	36
Tabulka 5 – Porovnání řídicích jednotek	40
Tabulka 6 – Morfologie s navrženými orgány systému	43
Tabulka 7 – Vybrané varianty	44
Tabulka 8 – Varianta 1	45
Tabulka 9 - Varianta 2.....	46
Tabulka 10 – Varianta 3	47
Tabulka 11 – Varianta 4	48

1 Úvod

Rostoucí trend využití invalidních vozíků a kolečkových křesel je nepopíratelný. Přispívá k němu především zvyšující se počet seniorů a zvyšující se věk dožití, korespondující s vývojem moderního člověka. Podle Českého statistického úřadu je podíl osob s určitým zdravotním postižením na celkové populaci ČR až 10,2 % (muži 9,9% a ženy 10,6%). Přesné informace o počtu vozíčkářů však žádný úřad neneviduje. Případné využití či nevyužití invalidního vozíku je mimo jiné i osobní preferencí každého zdravotně postiženého. Odhaduje se však, že v České republice žije okolo 13 tisíc trvale postižených vozíčkářů.

Neutuchajícím vývojem si také prochází jednak dostupné vývojové technologie, ale také konkrétní požadavky koncových uživatelů invalidních vozíků, ať už jsou to požadavky ergonomické, sociální, ekonomické, nebo jiné.

1.1 Cíl práce

Cílem práce je konstrukční návrh komplexního řešení elektricky poháněného invalidního vozíku, s požadavkem na nízkou hmotnost. Nejprve bude s ohledem na správnou funkčnost provedena specifikace požadavků, dostupných a používaných řešení. Z těchto dat bude dále vycházeno při vlastním konstrukčním návrhu, který bude zahrnovat rozbor různých technických řešení, respektovat požadavek na technickou jednoduchost, splňovat zásady bezpečnosti použití. Bude provedena analýza jednotlivých technických variant, na jejichž základě bude vybrán výsledný koncept řešení. Tento koncept bude v CAD prostředí zpracován ve 3D a v základní 2D dokumentaci.

1.2 Metodika

Nejprve bude přistoupeno k analýze problematiky a náhledu na současný stav trh, na základě čehož bude dále rozhodováno o směru vývoje konstrukčního řešení. Budou nastíněna a porovnána některá řešení konkrétních výrobců a bude provedena specifikace požadavků. Budou popsány jednotlivé prvky konstrukčního řešení ve vztahu k celkové ergonomii invalidního vozíku. Bude proveden rozbor možných řešení pro pohon celého systému a jeho ovládání, řízení a napájení. Dále bude přistoupeno k výčtu jednotlivých možných materiálů využitých především pro konstrukci rámu. Bude vypsán výčet jednotlivých prvků podílejících se na celkové bezpečnosti.

Na základě výše uvedeného bude přistoupeno ke konstrukci, která bude spočívat ve výběru vhodné varianty s ohledem na funkčnost a zadání. U každé z variant bude vypsáno v čem konstrukce spočívá a jaká jsou její konkrétní pozitiva a negativa. Varianty mezi sebou budou porovnány a bude zvolena nejvhodnější z nich, u které se přistoupí k vlastnímu konstruování. Nejprve bude navržen rám, který bude podroben simulacím v CAE prostředí. Tyto simulace budou mít za cíl co nejvěrněji reprezentovat reálné stavy vznikající při běžném užívání. Na základě výsledků těchto analýz budou určena jednotlivá zatížení působící v uloženích a díky tomu budou tato uložení dimenzována s ohledem zachování správné funkce a co možná nejnížší hmotnosti. Dále bude vybrána pohonná jednotka, baterie a řídicí jednotka s ovládáním. V neposlední řadě bude navržen materiál pro kontakt s pacientem v respektu k zachování příznivé ergonomie a nízké hmotnosti.

2 Analýza problematiky

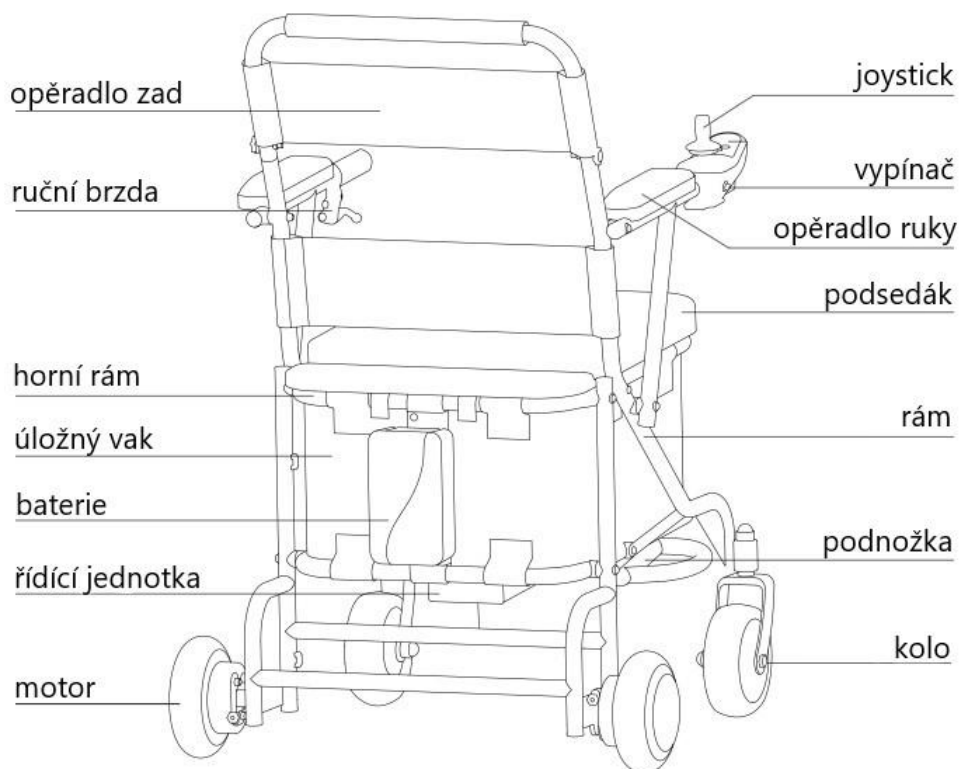
2.1 Historie

Časovou linku vývoje invalidních vozíků v poslední době věrohodně vystihla Bonita Sawatsky z Kanady. Podle jejího výzkumu se první zdokumentované zařízení, podobající se dnešním modernějším kolečkovým křeslům, datuje až do 5. letopočtu př. n. l., přičemž důkaz se dochoval v podobě malby na keramice objevené při archeologických výzkumech v Řecku. Mluvíme zde ale spíše o posteli, ke které jsou připevněna kolečka.

Ze stejné doby pak také pochází důkazy z Číny. Tamní invalidé byli přepravováni za pomoci zařízení, které se nápadně podobá dnešním zahradním či stavebním kolečkům. Předpokládá se, že se tento koncept s různými úpravami začal hojněji používat napříč Evropou až okolo 12. století.

V roce 1655 byl popsán první invalidní vozík, který spoléhal pouze na sílu a zapojení postiženého uživatele. Zásahu za tento vynález nese hodinář z tehdejšího Německa Stephan Farfler. Od 18. století se pak tyto vozíky stávají nejen běžným vybavením nemocnic, ale také dostupnějším zbožím pro běžný život.

Největší rozkvět invalidních vozíků a kolečkových křesel však nastává až po Druhé světové válce. Zároveň se zde vytváří poptávka po elektricky poháněných variantách, a vznikají další požadavky na ergonomii nebo lehčí a odolnější konstrukce. Vznikají také různé varianty pro konkrétní účely: sportovní, do domácností, do obtížného terénu, polohovací, transportní nebo dětské.



Obrázek 1 – Invalidní vozík [1]

2.2 Současný stav

Invalidní vozík je zdravotnická pomůcka, jejíž primární funkcí je umožnit pohyb v prostoru osobám, které o tuto schopnost z jakéhokoliv důvodu přišly, a to ať trvale či dočasně. Typicky se jedná o zdravotně postižené osoby se sníženou mobilitou, seniory, nebo osoby, které prodělaly některé operace nebo úrazy.

2.2.1 Trh

Podle společnosti Market Research Future, která se specializuje na analýzy celosvětového trhu v různých odvětvích, bude trh s invalidními vozíky vykazovat 2,8% nárůst složené roční míry růstu a dosáhne tak hodnoty 9 554,07 milionů amerických dolarů do roku 2024.

Tento trh může být rozdělen podle produktů, a to na:

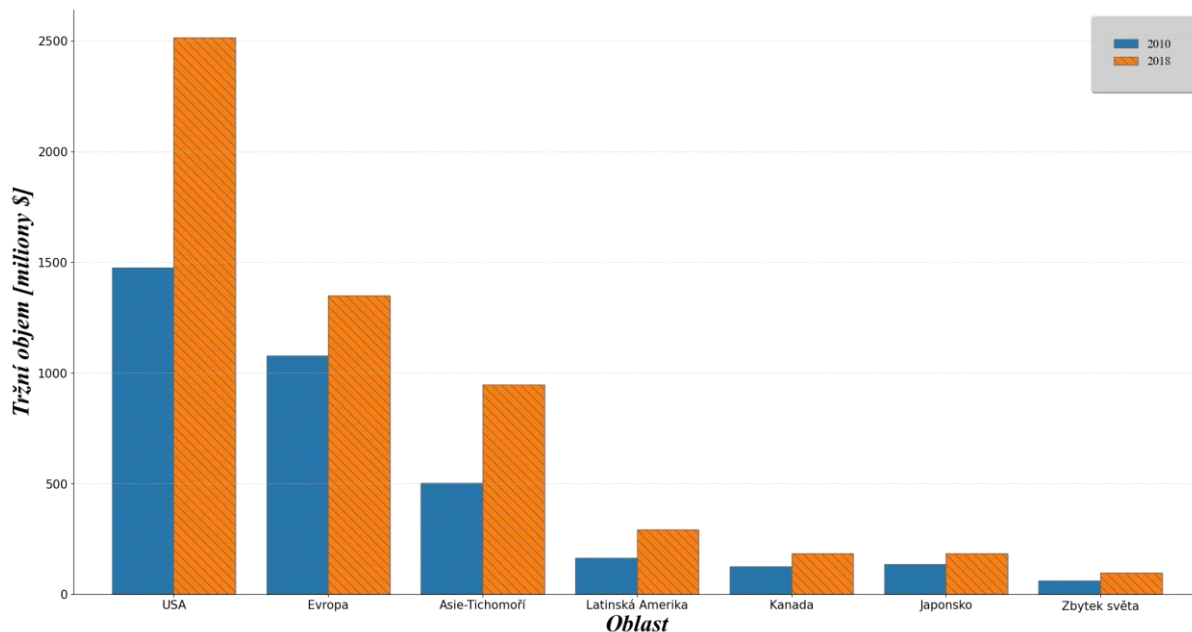
- 1) elektrické vozíky
- 2) mechanické vozíky
- 3) příslušenství.

Podle koncového uživatele pak jako pomůcky pro:

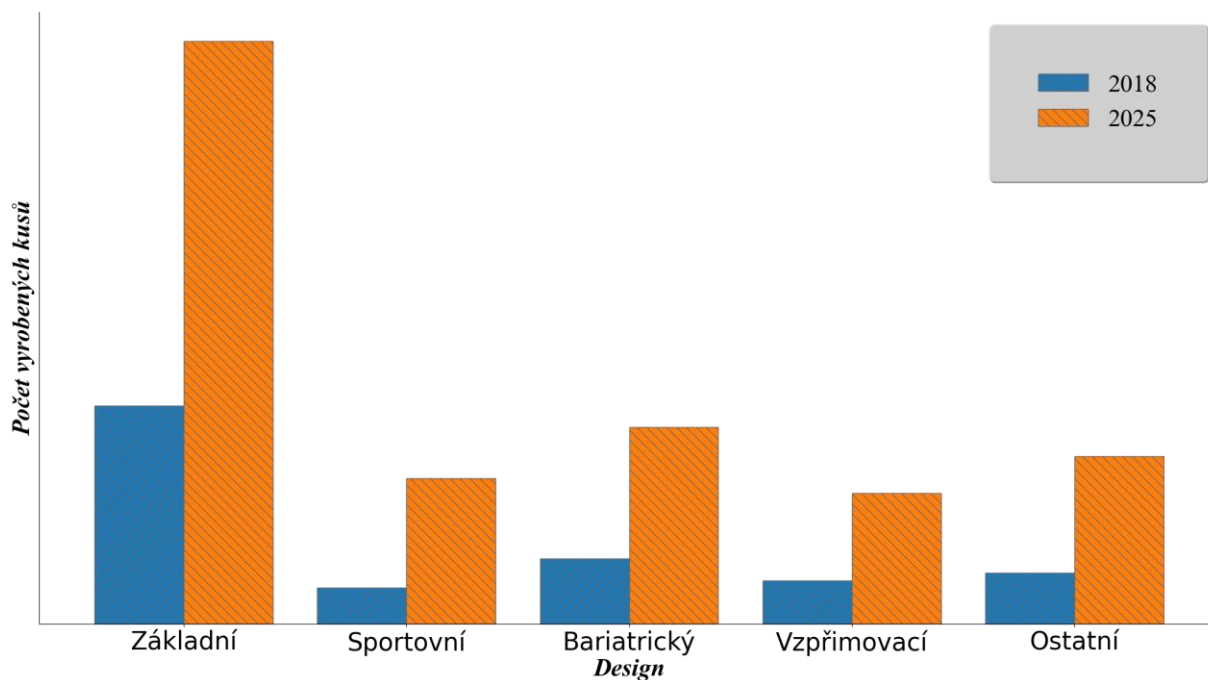
- 1) Nemocnice a kliniky
- 2) Domácnosti
- 3) Ostatní

Podle místa využití:

- 1) Evropa
- 2) Amerika
- 3) Asijský Pacifik
- 4) Střední východ a Afrika

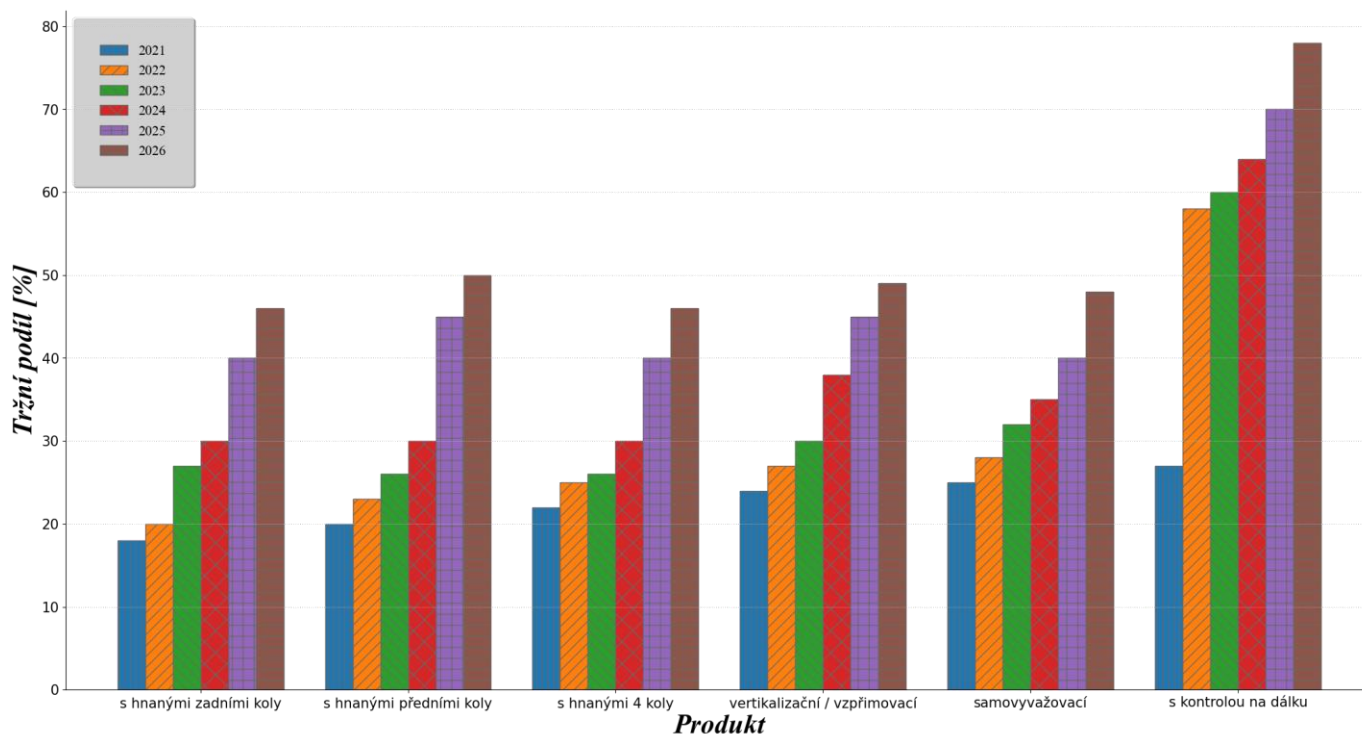


Obrázek 2 – Podíl tržních objemů v regionech [2]



Obrázek 3 – Poměrový přehled vyráběných typů [2]

Předpokladem pro narůstající trend využití invalidních vozíků obecně, je především zvyšující se věk dožití populace v korespondenci se stále se zvyšujícím počtem populace. Dále například zvyšující se popularita paralympických sportů.



Obrázek 4 – Odhadovaný výhled tržního podílu dle pohonu [2]

Naopak potenciálně nepříznivý faktor, který trh ovlivňuje, je pro běžného člověka relativně vysoká cena těchto zařízení. Částečně je však tento faktor kontrován zdravotní péčí dostupnou v daném regionu a pojištěním fyzických osob.

2.2.1.1 Dominující výrobci

- Ottobock (EU, Německo)
- Drive Medical (USA)
- MEYRA (ČR)
- Sunrise Medical (Německo)
- Levo AG (Švýcarsko)
- Goldenmotor (Čína)

2.2.2 Rozdělení

Na trhu existuje nepřehledné množství typů a druhů invalidních vozíků. Obecně by se dle požadavků a specifikací daly invalidní vozíky kategorizovat jako **mechanické, elektrické, sportovní, a elektrické invalidní skútry**.

2.2.2.1 Mechanické

- **Standardní**
 - určené pro pohon vlastní silou nebo za pomoci další osoby, obvykle nastavitelné těžiště
- **Skládací**
 - řešení umožňující transformaci do kompaktní podoby, obvykle lehké
- **Odlehčené**
 - především využití alternativních materiálů
- **Aktivní pevné**
 - lehké, agilní, tuhý rám, snadno rozebíratelné kvůli přepravě
- **Dětské**
 - klíčové parametry: šířka a hloubka sedadla, barva, design
- **Polohovatelné**
 - možnost přizpůsobení aktuálnímu zdravotnímu stavu při zachování podpory a komfortu
- **Transportní**
 - nízká hmotnost, skladovatelnost, přenosnost
- **Variabilní**
 - parametry jako hloubka a šířka sedadla, loketní opěrky, sklon zad aj. jsou plně nastavitelné.

2.2.2.2 *Elektrické*

Elektricky poháněné invalidní vozíky jsou relativně drahá řešení, a to především díky nutnosti použití baterie, motorů a v konečném důsledku zesílené konstrukce. Pohonný systém obvykle sestává z páru elektromotorů pro každé z hnaných kol, hnacího ustrojí obsahující převody ozubenými koly, řemeny, případně řetězy, které spojují motor s hnaným kolem.

- **Interiérové**
 - malé, lehké, menší dojezd, menší kolečka
- **Exteriérové**
 - větší kola, vyšší výkon, lepší životnost baterie, stabilní
- **Univerzální**
 - kombinace výhod interiérového a exteriérového typu
- **Zvedací a vertikalizační**
 - zvednutí uživatele do stoje, vyvýšení uživatele do jinak nepřístupných poloh
- **Terénní**
 - robustní konstrukce, stabilita, vysoký výkon, kola s hrubým vzorkem, bezpečnost
- **Speciální**
 - překonávání schodů, nezávislé zavěšení kol, světlometry a jiné

2.2.2.3 *Sportovní*

- **Univerzální**
 - maximální tuhost rámu, minimální hmotnost, optimální umístění těžiště, nízké tření
- **Sjezdové**
 - přesné řízení, hrubý vzorek pneumatik, spolehlivý brzdící systém, odolný rám

2.2.2.4 *Elektrické invalidní skútry*

- **Interiérové**
 - malá kola, skladovatelnost, nízká hmotnost
- **Terénní**
 - velká kola s hrubým vzorkem, odolná konstrukce, vysoký výkon, dlouhý dojezd
- **Tříkolové**
 - snadná ovladatelnost, obratnost, riziko převrácení
- **Čtyřkolové**
 - komfort
- **Skládací**
 - nízká hmotnost, skladovatelnost
- **Pro stoupání**
 - spolehlivá konstrukce a brzdy, vysoký výkon, tlumení/vyrovnávání sklonu

2.2.3 Kompletní řešení na trhu

Na následujících stránkách jsou demonstrována řešení některých výrobců. Srovnání důležitých parametrů těchto řešení jsou dále porovnávána v tabulce.

1)Wingus (Ottobock)



Obrázek 5 -Wingus [3]

Jedná se o nízkohmotnostní invalidní vozík od firmy Ottobock s hnanými zadními koly, který se hodí jak pro venkovní, tak pro vnitřní využití. Dle výrobce se jedná o kompaktní, snadno ovladatelné, komfortní řešení s minimalistickým designem. Parametry tohoto řešení jsou porovnány v tabulce.

2)iTravel 1.054 (MEYRA)



Obrázek 6 – iTravel 1.054 [4]

Dle výrobce velmi kompaktní a snadno ovladatelné řešení, které nabízí snadný transport především díky rozměrům a hmotnosti.

3) e-Throne (Goldenmotor)

Čínský výrobce Goldenmotor představuje toto řešení jako nízkohmotnostní, snadno složitelný elektrický vozík pro hendikepované. Disponuje odnímatelnými zadními koly, čehož lze využít při přepravě snížením jmenovité hmotnosti a zástavbových rozměrů.



Obrázek 7 – e-Throne [5]

Tabulka 1 – Srovnání produktů

	<i>Wingus (Ottobock)</i>	<i>iTravel 1.054 (MEYRA)</i>	<i>e-Throne (Goldenmotor)</i>
<i>Hmotnost [kg]</i>	57	23	29
<i>Nosnost [kg]</i>	120	120	100
<i>Baterie [Ah]</i>	30	10,4	10
<i>Výkon [W]</i>	160	200	180
<i>Využití</i>	Int/Ext	Int/Ext	Int/Ext
<i>Ujetá vzdálenost [km]</i>	25	10	18
<i>Šířka sedadla [mm]</i>	400-460	450	425
<i>Výška sedadla [mm]</i>	500	520	500
<i>Hloubka sedadla [mm]</i>	380-480	380	380
<i>Celková délka [mm]</i>	1050	970	1000
<i>Celková šířka [mm]</i>	585	560	650
<i>Celková výška [mm]</i>	550	870	950
<i>Úhel zad [°]</i>	0/10/20	nastavitelný	nastavitelný
<i>Skládací mechanismus</i>	Ano	Ano	Ano
<i>Cena [Kč]</i>	72 000,-	63 900,-	35 500,-

2.3 Uživatel

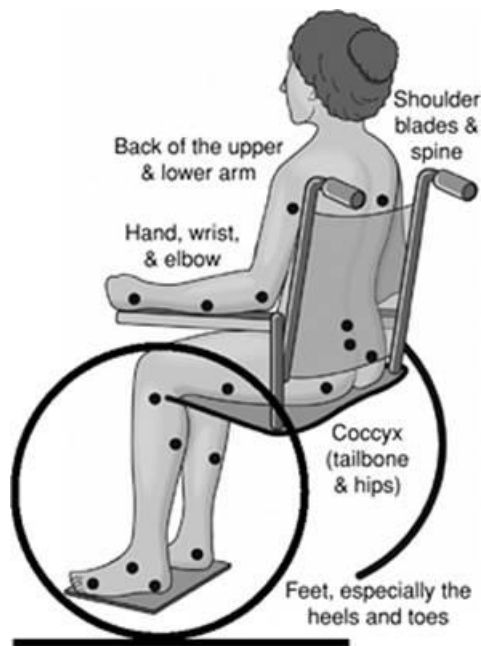
Důvodů, proč je někdo odkázán na invalidní vozík, může být celá řada. Ať už se jedná o krátkodobé využití, například po operaci, kdy se někteří pacienti mohou cítit slabí, dlouhodobější využití, například v důsledku různých zranění, nebo trvalé využití, zapříčiněné například částečnou nebo kompletní paralýzou, poruchou rovnováhy, aj.

2.3.1 Tělesné postižení

Tělesné postižení neboli handicap je zdravotní postižení definované tělesnou odchylkou jedince omezující jeho pohybové schopnosti, což přímo ovlivňuje jeho kognitivní, emocionální a sociální výkony. „Jsou narušeny role, které postižený ve společnosti zastává: soběstačnost, schopnost cestovat, partnerská a rodinná role, pracovní a zájmová činnost.“ [6]

2.4 Ergonomie

Mezinárodní ergonomická asociace ji definuje jako vědeckou disciplínu založenou na porozumění interakcí člověka a dalších složek systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí. Ergonomie je systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory. [7]



Obrázek 8 – Kritická místa [8]

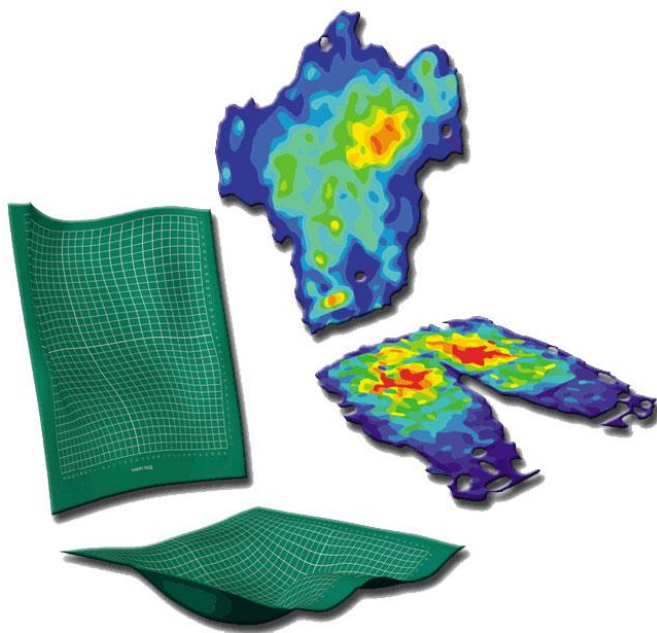
Konstrukce samotného invalidního vozíku pak ovlivňuje ergonomii především geometrickými rozměry kontaktních ploch a použitými materiály na rozhraní pacient – vozík. Zvolená geometrie musí, při používání vozíku, udržovat správné uložení těla pacienta, správnou polohu zad a pánve, uložení končetin a případně dovolovat změnu konfigurace v určitých časových intervalech. Jedním z hlavních problémů uživatelů invalidních vozíků jsou nutnost trávit dlouhé periody ve stejné poloze, což může vyústit v bolesti, otlaky, deformity, kožní problémy.

2.4.1 Podsedák a opěradlo zad

Jedná se o dva základní prvky opěrného systému, kterými musí disponovat každý invalidní vozík nebo kolečkové křeslo. Větší plocha těchto prvků zajišťuje lepší rozložení opěrného tlaku. Podsedák by tak měl

ideálně končit několik centimetrů před pokrčeným kolenem. Šířka podsedáku se odvíjí od šířky pánve pacienta.

Opěradlo zad má zásadní vliv na podporu zakřivení páteře a funkční sed. V současné době jsou využívány různé varianty, od velmi nízkých, která příliš velkou zádovou oporu neposkytují, přes různá univerzální, nebo zakřivená řešení, kladoucí si za cíl co nejlepší možnou podporu páteře, až po uživatelsky nastavitelná řešení, například systémem stahovatelných popruhů. Na konfiguraci opěradla zad by se také velkou měrou mělo podílet postižení pacienta. Existují i aplikace s celkovou podporou těla pacienta – jedná se pak o komplexnější skořepiny, zpravidla vypolstrované za účelem eliminace otláčení.



Obrázek 9 - 3D mapa tlakových bodů konkrétního pacienta [9]

Opěradlo zad a podsedák jsou vůči sobě vymezeny úhlem, který musí být zvolen tak, aby opěradlo zad kopírovalo správné zakřivení páteře. Univerzální hodnota je asi 90° , ale existují i jiné konfigurace, především pro speciální potřeby konkrétních pacientů.

Dalším důležitým úhlem, který se musí vzít v úvahu, je sklon podsedáku. Jedná se o rozdíl mezi výškou přední a zadní části podsedáku. Využití sklonu do jisté míry zajišťuje pasivní pánevní stabilitu a jeho použití je tak nezbytné u velkého množství typů postižení. Pokud je pacient usazen stabilně, v případě manuálně poháněných vozíků, 100 až 120° flexe v lokti zatěžuje

ramena pouze minimálně. Sklon podsedáku do jisté míry ovlivňuje také přístup ke kolu a tím tak umožňuje efektivnější ruční pohon. Sklon bývá typicky lineární a s nabývací hodnotou se zvyšuje nestabilita křesla vlivem změny těžiště. V ideálním případě by ergonomicky řešené usazení mělo umožňovat optimalizaci křesla pro konkrétního pacienta.

2.4.2 Opěrka ruky

Je dalším důležitým dílem, který vyžaduje zvýšenou pozornost se zaměřením na ergonomii. Jedná se o prvek, který výrazně přispívá ke zvýšení stability pacienta v sedě. V některých případech se dokonce jedná o prvek naprosto nepostradatelný, zejména tam, kde to povaha pacientova postižení vyžaduje. Opěrky rukou bývají velmi často výškově nastavitelné a v některých aplikacích se používají např. odnímatelné nebo sklopné.

2.4.3 Opěrka nohy

Opět další prvek, který se podílí na stabilní poloze pacienta v sedě. Jejich základním rozdělením je, zda jsou nastavitelné či nikoliv, což je opět potřeba konkrétního pacienta. Také se dělí na jednodílné a dvoudílné, což je vlastnost, která se v konečném důsledku projevuje i na celkové stabilitě konstrukce.

Základním požadavkem na aplikaci podnožky je, aby bylo dosaženo stability plosky nohy na podnožce, a to především tak, aby stupačka nebyla příliš nízko, což zpravidla způsobuje samovolné přemísťování pánve směrem vpřed, a vede tak k nevhodnému sedu.

2.4.4 Opěrka hlavy

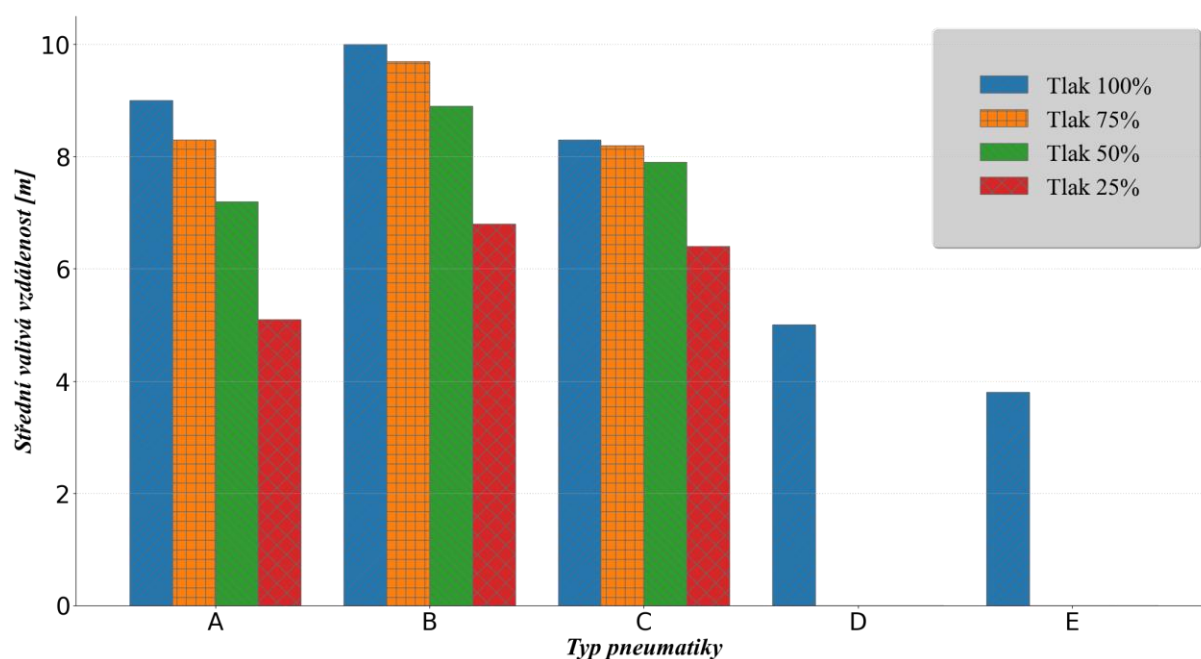
Jedná se o prodloužení horní části opěradla zad. Opět prvek, který by měl být přizpůsobený individuální situaci u konkrétního pacient. Základními funkcemi jsou nastavitelná výška, komfortní provedení pro pohodlné opření hlavy, nastavení úhlu sklonu.

2.4.5 Kolo

Jedním ze znepokojivých důsledků, spjatých s koly vozíku, je nadužívání horních končetin z důvodu zajištění pohonu, vedoucích až ke zraněním. Z tohoto důvodu by měly být zvoleny odpovídající pláště, zajišťující nejvyšší možnou efektivitu. Ovlivňujícími faktory jsou např. profil pláště, materiál, průměr kola, vzorek na povrchu pláště, nebo nahuštění pneumatiky.

V případě varianty s elektrickým pohonem samozřejmě poranění způsobená poháněním nevznikají, je ale stále žádoucí volit vhodné parametry kola a pneumatiky, za účelem zajištění co nejefektivnějšího využití zařízení.

Ze studie Bonity Sawatsky plyne, že při nahuštění pneumatiky mezi 100 až 70 % na doporučený tlak uvedený výrobcem, z patnácti dospělých uživatelů invalidních vozíků účastnících se studie, nepozoruje nikdo prakticky žádnou změnu. Dále byly porovnány různé typy pláštů, mimo jiné pláště s nízkým plným profilem bez možnosti huštění. Nízko-profilové plné pláště by měli poskytovat výhody v oblasti údržby. Ukázali se však jako relativně nevhodné. [10]



Obrázek 10 – Srovnání typů pneumatik [10]

2.4.6 Polohování

Pohodlí pacienta významným způsobem přispívá k celkovému snižování psychické zátěže a zlepšování obranyschopnosti organismu. Pokud je pacientovi umožněno polohovat různé části vozíku v různých časových intervalech, dochází k blokování nadměrného působení tlaků v tlakových bodech. Díky tomu se lépe okysličují a prokrvují různé partie těla a tkání.

2.4.7 Ovládání

V případě varianty s elektrickým pohonem je také třeba věnovat zvýšenou pozornost ergonomii ovládání. Vzhledem k tomu, že je ruka uživatele prakticky ve stálém kontaktu s ovládáním, nesmí ovládání svým užíváním způsobovat otlaky, mělo by být příjemné na dotek, ideálně také s nastavitelnou vzdáleností páky od těla, s možnostmi dodatečné podpěry ruky pro potřeby konkrétního pacienta (obrázek 5). Ovládání také může disponovat nastavitelnou citlivostí a rychlostí. Pohon vozíku by měl fungovat bez registrovatelné odezvy a měl by na pohyb joysticku reagovat plynulým způsobem. Může disponovat také dodatečnými funkcemi, jako např. klakson, bezpečnostní brzda, SOS tlačítko, aj

2.4.8 Materiál pro kontakt s pacientem

Jsou na něj kladeny především požadavky na pevnost, ořezuvzdornost, prodyšnost, musí být komfortní na dotek a nezpůsobovat otlaky. Dále by mělo být možné materiál efektivně čistit a měl by mít co nejdelší možnou životnost. Měl by být barevně stálý a schopný snášet vysoké teplotní rozdíly. Tradičně se k tomuto účelu používala koženka v kombinaci různými pěny, což už je dnes ale spíše přežitek, protože moderní technologie umožňují výrobu tkaných i netkaných textilií splňujících nejrozmanitějších specifikací. Mezi hlavní kandidáty na použitou textilií zajišťující kritické parametry popsané výše, se řadí:

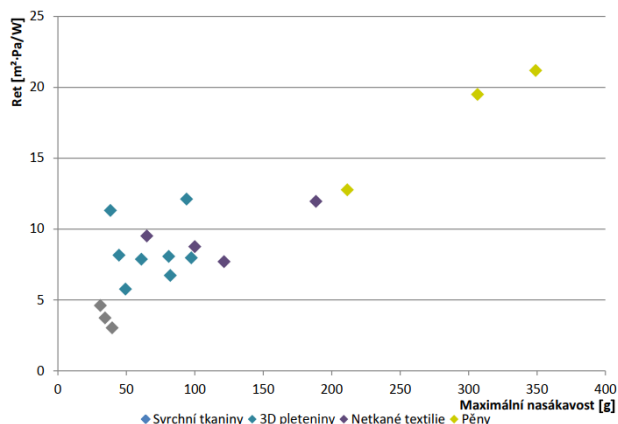
- Netkané textilie

- Pěny
- 3D pleteniny
- Svrchní tkaniny

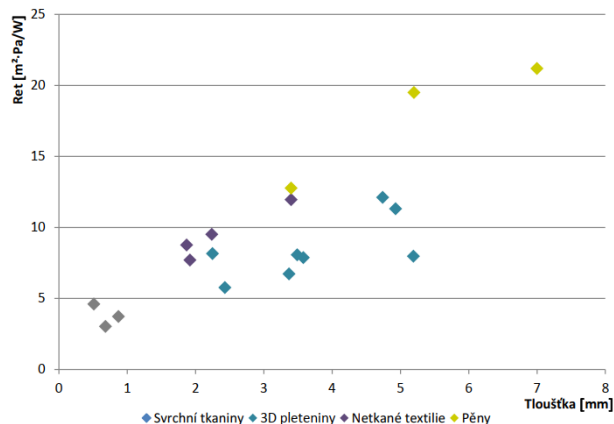
Na následujících stranách jsou k dispozici grafy porovnávající klíčové vlastnosti jednotlivých typů materiálů. Tyto grafy jsou převzaty ze studie původně provedené za účelem porovnání jednotlivých textilií pro aplikaci v *automotive* průmyslu.

Obecně platí, že textilie, které zaručují tepelný komfort, jsou schopny relativně rychle odvádět vlhkost a tím zaručit komfortní pocit sucha.

Na obrázku 3 je vidět, že pěny, které se na první pohled mohou jevit jako komfortní a ergonomické, dosahují s vysokou nasákovostí také vysokého výparného odporu. To souvisí také

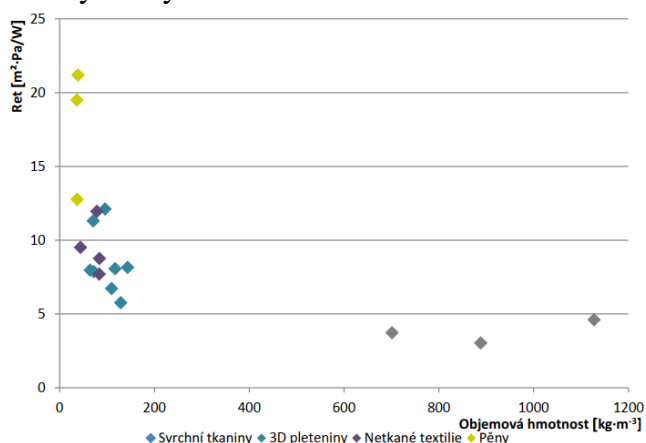


Obrázek 4 - Závislost výparného odporu na nasákovosti textilie [11]

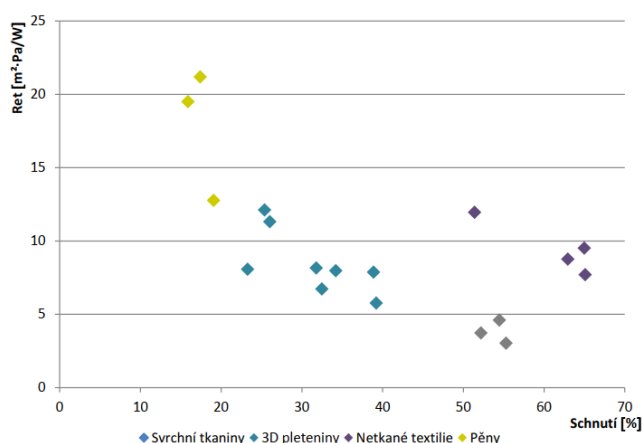


Obrázek 5 - Závislost výparného odporu na tloušťce textilie [11]

s tloušťkou textilie (obrázek 4). naopak svrchní tkaniny vykazují v tomto směru skvělé výsledky.



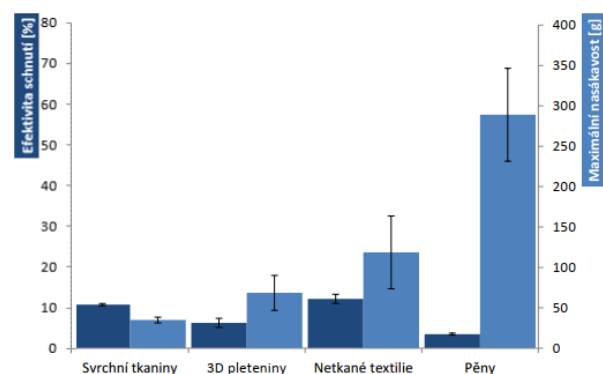
Obrázek 6 - Závislost výparného odporu na hmotnosti textilie [11]



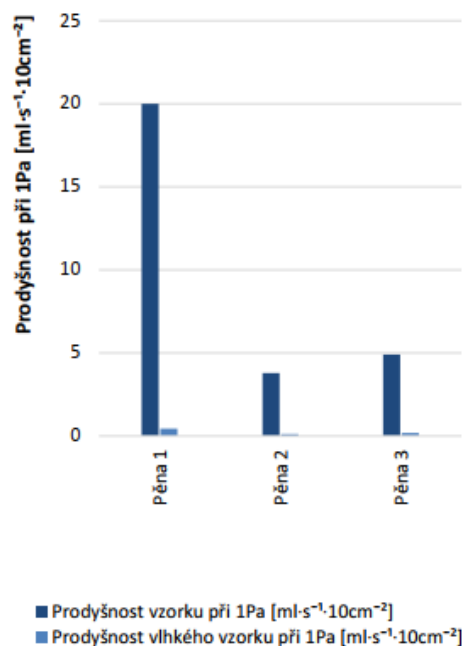
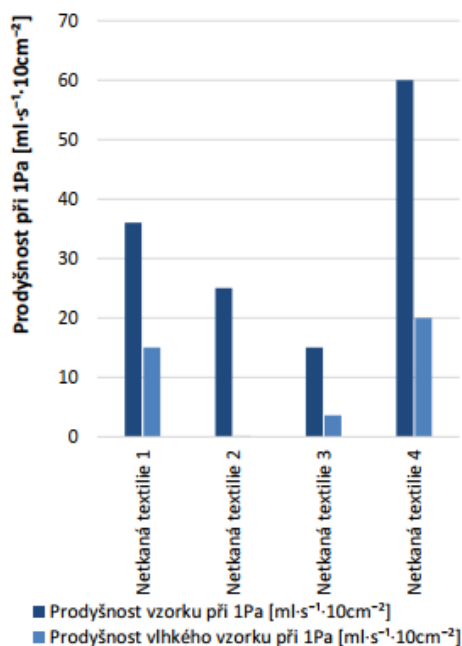
Obrázek 7 - Závislost výparného odporu na rychlosti schnutí textilie [11]

Obrázek 8 vypovídá o vlastnostech a chování materiálů vystavených kapalně vlhkosti. Je vidět, že pěnové materiály zaostávají za ostatními zkoumanými. Při absolutně nejvyšší nasákavosti vykazují také nejnižší efektivitu schnutí.

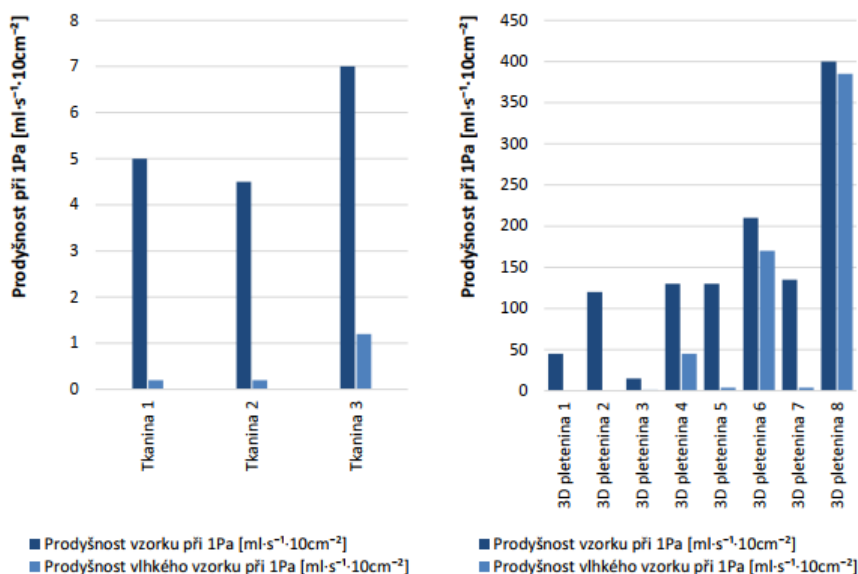
Obrázek 9 a 10 nastiňuje, jak zůstává textilie prodyšná, potom co nasákne určitým množstvím vody.



Obrázek 8 - Porovnání schnutí a nasákavosti textilie [11]



Obrázek 9 - Porovnání prodyšností suchých a vlhkých textilií [11]



Obrázek 10 - Porovnání prodyšností suchých a vlhkých textilií [11]

2.5 Pohony

Na trhu je v těchto dnech již obrovská škála různých druhů a typů motorů všech velikostí, výkonů a dalších parametrů a také široké možnosti, jak je nakonfigurovat a řídit.

$$P = M_k \cdot \omega [W]$$

2.5.1 Indukční motor

Indukční motory jsou obvykle vybaveny kapacitorem, které pomáhají překonat přechodový jev při rozběhu motoru. Toto platí především u jednofázových indukčních motorů. Třífázové indukční motory totiž obvykle kapacitor pro svůj rozběh nepotřebují.

Indukční motory, v závislosti na konfiguraci, dokážou vyvinout relativně vysoký rozběhový moment a jsou také vhodné pro aplikace, kde je žádoucí udržet konstantní pracovní rychlost i při zatížení motoru. Motor za účelem udržení konstantní rychlosti při zatížení odebere více elektrického proudu ze zdroje.

Mimo skutečnost, že kapacitory těchto motorů příležitostně selhávají, je jejich největší slabinou regulace rychlosti, a to především u jednofázových variant. Rychlost je totiž závislá na frekvenci střídavého napětí, kterou dodává zdroj.

2.5.2 Univerzální motor

Jak název napovídá, výhodou těchto motorů je, že ke svému chodu mohou využívat jak střídavý, tak stejnosměrný proud. Disponují relativně vysokým výkonem a zároveň zachovávají malé rozměry a hmotnost.

Nevýhodou však je, že jejich design je založen na kontaktních kartáčích, které zajišťují vodivý kontakt mezi rotorem a státorem. To znamená, že se vlivem používání tento komponent zcela jistě opotřebuje a selže. Další značná nevýhoda je, že tento typ motoru nedokáže udržovat konstantní rychlost s měnícím se zatížením.

2.5.3 Stejnoseměrný motor s permanentními magnety

Motory PMDC, z anglického *Permanent Magnet Direct Current*, jsou, co se designu týká, relativně jednoduchá zařízení, která jsou díky využití stejnosměrného proudu vhodná mimo jiné i pro mobilní aplikace. Vynikají také svou nízkou hmotností.

Existuje několik způsobů, jak řídit rychlost PMDC motoru. Na trhu existují kontroléry, které mohou být regulovány například obyčejným potenciometrem, nebo mohou být řízeny třeba PWM signálem.



Obrázek 11 – PMDC motor [12]

2.5.4 Krokový motor

Klíčová vlastnost krokového motoru spočívá v tom, že je schopný velice přesně kontrolovat a udržovat úhel natočení výstupního hřídele. Jednotkový přírůstek úhlu natočení je v řádu jednotek stupňů, nebo i menších.

Mimo jiné tyto motory pro své řízení vyžadují složitější řídicí jednotky a jedná se tak o relativně drahá řešení.

2.5.5 Servomotor

Obvykle se jedná o bezkartáčové DC motory nebo synchronní AC motory. Jejich součástí je enkodér, který dává řídicí jednotce informaci o tom, kde přesně se v danou chvíli nachází hřídel v respektu k rotaci. Vynikají svým vysokým výkonem. Pro svůj chod vyžadují, jako předchozí typy, řídicí jednotku. Na trhu jsou k dispozici také varianty s integrovaným převodem, či převodovkou.

2.5.6 Komplexní řešení

Na následujících stránkách jsou demonstrována některá dostupná řešení. Srovnání důležitých parametrů těchto řešení jsou dále porovnávána v tabulce.

1) MPW52-300V24 (ElectroCraft)



Obrázek 12 – MPW52 [13]

Jedná se o komplexní jednotku se stejnosměrným bezkartáčovým motorem a integrovanou jednostupňovou planetovou převodovkou. Řešení disponující vysokou hustotou točivého momentu a také volitelně integrovatelným vnějším kolem.

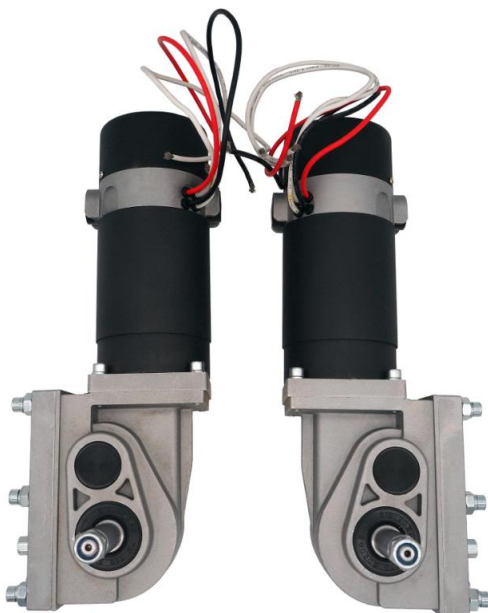
2) BBQ-30GZ6287L24V50RPM (Bemonoc)



Obrázek 13 – BBQ-30GZ6287 [14]

Velice levné řešení s odpovídajícími parametry pro využití v aplikacích lehké mobility, jako jsou například invalidní vozíky. Integrovaný kartáčový stejnosměrný motor s připojeným šnekovým převodem.

3) TD-317-000 (SuperDroid Robots)



Obrázek 14 – TD317-000 [15]

Technické řešení určené spíše pro heavy-duty aplikace. Z toho také vychází vyšší hodnoty klíčových parametrů, jako je točivý moment či výkon, ale také hmotnost a vyšší nároky na napájení.

4) ActiveLine (Bosh)



Obrázek 15 – ActiveLine [16]

Řešení od společnosti Bosch vyvinuté především pro kategorii e-biků. Svými parametry je pro konkrétní aplikaci v invalidním vozíku předurčený především pro heavy-duty, terénní, případně sportovní aplikace. Systém obsahuje mimo jiné řídicí jednotku, která jako řídicí impuls využívá systém Pedelec, což je systém reagující na odezvu uživatele, podle které

jednotka přidává či ubírá na výkonu. V praxi to znamená, že uživatel např. elektrokola musí vlastní silou působit na hnací hřídel (šlapat), aby dosáhl kýženého výkonu na elektromotoru.

5) Project Slayer (ZF)



Obrázek 16 – Project Slayer [17]

Jedná se o jednotku ve vývoji, která svými udávanými parametry vystupuje z řady. Velice lehké a kompaktní řešení disponující impozantní hustotou točivého momentu. Projekt je však prozatím ve fázi utajování a pro účely této práce nemůže být použit.

Tabulka 2 – Porovnání pohonů

	MPW52- 300V24 (ElectroCraft)	TD-317-000 (SuperDroid Robots)	BBQ- 30GZ6287 L24V50RPM (Bemonoc)	Activeline (Bosch)	Project Slayer
Výkon [W]	75	320	30	250	250
Výstupní rychlost [1/min]	278	120	50	N/A	N/A
Točivý moment pracovní [Nm]	2,6	25	6	N/A	N/A
Točivý moment špičkový [Nm]	6,8	N/A	22	40	90
Pracovní napětí [V]	24	24	24	36	48
Převodový poměr	9	43	N/A	N/A	N/A
Průměr motoru [mm]	53	82,8	62	N/A	N/A
Délka motoru [mm]	83	337	175	N/A	N/A
Hmotnost [kg]	1,25	3,3	2,9	3,2	2,6
Cena	8 900,-	12 000,-	1 500,-	9 000,-	N/A

2.6 Konstrukční materiál

Použité materiály a jejich vlastnosti hrají klíčovou roli v různých směrech. Materiál musí být pro jednotlivé díly invalidního vozíku navržený s ohledem na jejich funkčnost. Předmětem této práce je návrh nízkohmotnostního řešení, měrná hmotnost použitých materiálů je tedy klíčovým faktorem. Je potřeba zohlednit ale také další mechanické vlastnosti, jako je modul pružnosti, odolnost a stálost materiálu, zpracovatelnost, a také faktory jako jsou dostupnost, ergonomie, pohledové vlastnosti a v neposlední řadě cena.

Na trhu dostupná řešení využívají pro konstrukci dílů jako je rám především ocel, hliník a jeho slitiny nebo různé druhy polymerů. Inovativní a speciální aplikace pak mohou spoléhat na titanové slitiny nebo také kompozity jako jsou uhlíková vlákna.

Díly, které jsou z funkčního hlediska považované za ergonomické, jako jsou například opěrky, jsou často vyráběné z různých paměťových pěn, gum, nebo různých tkanin. Toto téma je podrobněji rozepsáno v kapitole 2.4.8 *Materiál pro kontakt s pacientem*.

2.6.1 Oceli

Tradičně používaný materiál, vyniká svou pevností, zpracovatelností, dostupností a cenou. Jeho nevýhodou je však jeho vysoká hustota. Výrobci běžně používají měkké oceli, a to především z důvodu její ceny a snadné zpracovatelnosti.

- S235JRG1

Neušlechtilá konstrukční ocel v obvyklé jakosti. Je vhodná ke svařování. Vhodná se statickému a mírnému dynamickému zatěžování. Mez pevnosti 350 MPa a kluzu 220 MPa.

- X12CrNi18-8

Korozivzdorná ocel s pasivační vrstvou chromu. Vzhledem k vysokému obsahu uhlíku však není příliš vhodná ke svařování.

2.6.2 Slitiny hliníku

Tyto slitiny jsou ve srovnání s ocelí přibližně 3x lehčí a jeví se tak jako velice vhodné k využití pro konstrukci rámu a nosných struktur vozíků. Při konstrukci je však třeba počítat s procesy, které ji mohou ovlivňovat po celou dobu životního cyklu. Jedná se o korozivzdornou, kde vlivem koherentních precipitátů narůstá pevnost a tvrdost s časem a korozivzdornou, která se v konečném důsledku může projevit jako tvarová nestálost či lokálně oslabené místo.

- EN AW-6061

Mezi výrobci invalidních vozíků velice oblíbená tvářitelná slitina s pevností až 290 MPa. Slitina je po zpracování určena k vytvrzovacím procesům za účelem zlepšení mechanických vlastností. Je také velice dobře odolná vůči korozi, svařitelná a relativně levná. Dokonale vhodná k eloxování, což pozitivně ovlivňuje ochranu povrchu a estetické vlastnosti.

- EN AW-7075

Slitina, nazývaná letecký dural, je jednou z nejpevnějších hliníkových slitin vůbec. Bohužel však není příliš tvárná a je díky přítomnosti mědi relativně nevhodná ke svařování a tento proces je ve své podstatě relativně nákladnou činností vyžadující odpovídající technologii. Běžně se její povrch pasivuje za účelem ochrany vůči korozi.

2.6.3 Slitiny titanu

Klíčové vlastnosti konstrukcí ze slitin titanu jsou především nízká hustota v kombinaci s vysokou pevností a tuhostí. Jako samostatný prvek má titan nejvyšší poměr mezi pevností a hustotou mezi všemi kovy. Tradičně se jeho konstrukce využívají v kosmonautice a leteckém průmyslu. Slitiny titanu jsou také biokompatibilní a výborně odolné vůči korozi. Titan je velice nákladný co do výroby a zpracování.

- Ti6Al4V

Nejběžnější slitina titanu nacházející uplatnění v kosmonautice a leteckém průmyslu. Ve srovnání s nerezovými oceli je její hustota přibližně 50 % při zachování stejné pevnosti. Slitina je za dodržení určitých podmínek také svařitelná.

2.6.4 Kompozity

S ohledem na funkci a dostupné technologie se jedná především o kompozity uhlíkových vláken, které mohou vykazovat pevnost až 3500 MPa, avšak pouze ve směru orientace vláken. Jedná se tak o velice anizotropní materiál, u kterého se musí při výrobě klást důraz na orientaci matrice. Vynikají velice nízkou hustotou v korelaci s výjimečnou hodnotou pevnosti a tuhosti. Problematická část u kompozitů obecně je složitost simulace v CAE prostředí. Relativně složitě definování orientace matrice a nepřesnost výsledků je značně negativní vlastností.

2.7 Baterie

Dalším z klíčových komponentů elektricky poháněného kolečkového křesla jsou baterie. Jedná se o komponent, který má největší podíl na přírůstku hmotnosti celé sestavy.

Jsou na něj kladeny specifické požadavky, jako je bezpečnost při používání, vysoký počet životních cyklů (nabíjení/vybíjení), dostupnost nebo ekologie. Pro účel této práce je vhodné začlenit parametr **výkonové hustoty** – časový poměr přenosu energie na jednotku objemu (baterie s vyšší výkonovou hustotou je schopna uvolnit větší množství energie rychleji). V neposlední řadě musí být zvolená baterie schopná operovat v běžném rozmezí teplot.

Tabulka 3 - Li-Ion vs. Olověné baterie [18]

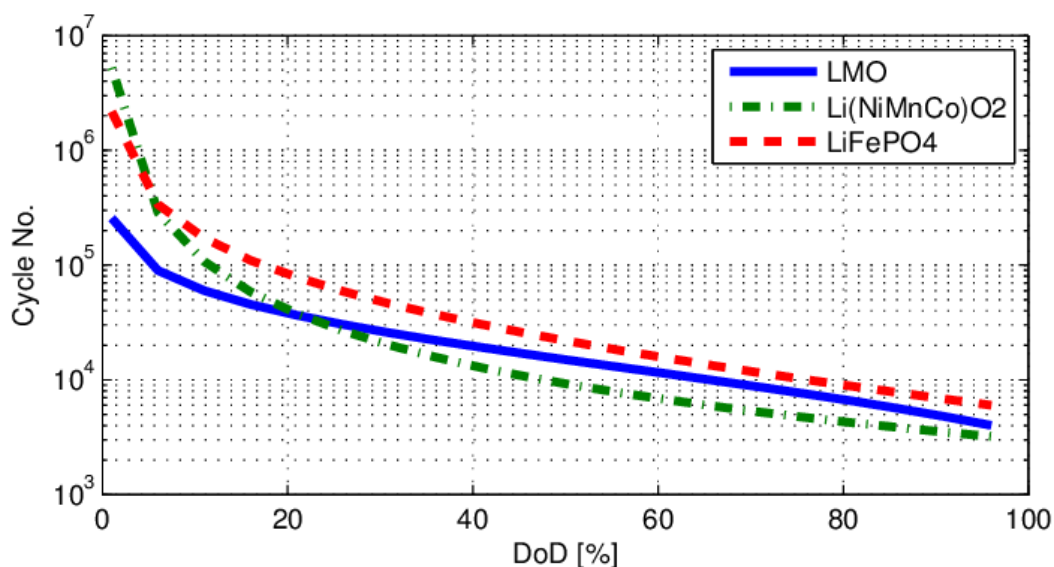
Charakteristika	Olověný akumulátor	Lithium-iontový akumulátor
Hustota energie [Wh/L]	54 až 95	250 až 360
Specifická energie [Wh/kg]	30 až 40	110 až 175
Hloubka vybití (DOD)	50	80
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +27	-20 až +55
Efektivita [%]	75	97
Časový rámec výměny [let]	1,5 až 2	5 až 7
Náklady na údržbu [%]	2 až 10	Žádné
Cena [CZK/kWh]	2 800,-	14 000,-

Tabulka 4 – Porovnání Li-Ion baterií [18]

Chem. název	Označení	Zkratka	Poznámky
Lithium-kobalt oxid	LiCoO_2 (60 % Co)	LCO	vysoká kapacita, použití pro mobilní telefony, notebooky
Lithium-mangan oxid	LiMn_2O_4	LMO	nejbezpečnější, nižší kapacita než LCO, vysoký specifický výkon a dlouhá životnost
Lithium-železo fosfát	LiFePO_4	LFP	výkonné nářadí, e-mobilita, zdravotnictví, hobby
Lithium-nikl-mangan-kobalt oxid	LiNiMnCoO_2	NMC	nabývají na důležitosti v oblasti elektrických pohonů a skladování energie
Lithium-nikl-kobal-hliník oxid	LiNiCoAlO_2 (9 % Co)	NCA	
Lithium-titan oxid	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	LTO	
Lithium-polymer		LPO	V oblasti výzkumu



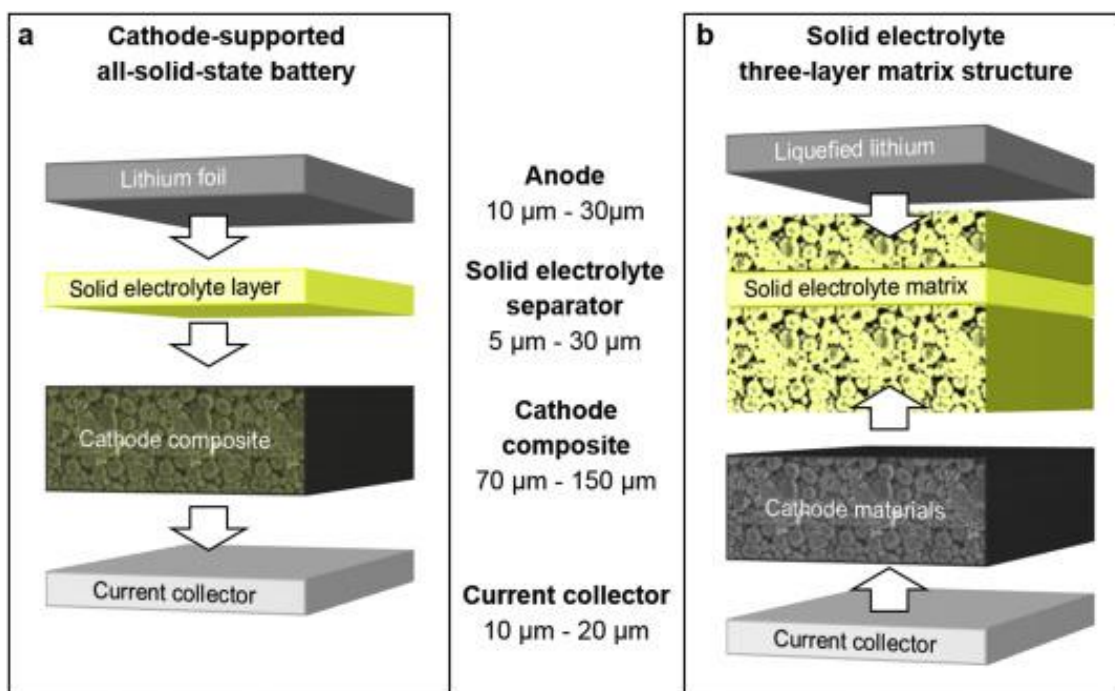
Obrázek 17 – Li-Ion Baterie [19]



Obrázek 18 – Hloubka vybití některých typů Li-Ion baterií [20]

V tabulkách výše byly popsány nejprve rozdíly mezi tradičními olověnými akumulátory, které jsou, jak je jistě zřejmé, pro účely této práce nevhodné, a modernějšími bateriemi na bázi lithia. V tabulce 4 byly pak pojmenovány druhy komerčně vyráběných lithiových baterií, které jsou pro aplikaci v elektricky poháněném invalidním vozíku vhodné. Vybraná baterie by měla mimo jiné splňovat standardy na bezpečný provoz a nabíjení. Mezi horké kandidáty se řadí baterie LFP a LPO, případně LMO.

Lithium-polymerové baterie (LPO) jsou v současné době nejmodernějším druhem baterií v komerční výrobě. Teoreticky by měla jako elektrolyt využívat polymeru v absolutně tuhém stavu. V realitě jsou však v komerčně vyráběných bateriích jako elektrolyt využívány různé formy gelů a přesněji jsou tak tyto baterie nazývány jako Lithium-iont polymerové.



Obrázek 19 – Schéma „solid state“ baterie [21]

2.7.1 „Solid-state“ baterie

Dalším stále častěji skloňovaným souslovím je v současné době anglický pojem *solid-state battery* (obrázek 18). Aktuálně probíhá mezi výrobci baterií konkurenční závod, na jehož konci by měla být plně funkční baterie s elektrolytem v absolutně tuhém stavu. V čele této soutěže je pravděpodobně společnost Toyota, která ve dnech psaní této práce vstupuje se svým výrobkem na trh. Tento typ baterie je díky tuhému elektrolytu bezpečným řešením, které na rozdíl od lithium-iontových baterií nevyžaduje řídicí okruh, který se stará o ochranu před převybíjením a podvybíjením. Funkční princip těchto baterií je ale jinak prakticky shodný s tradičními Li-Ion bateriemi.

Oproti tradičním Li-Ion bateriím, které jako katodou využívají těžké kovy (kobal, nikl, lithium, atd.), jsou solid-state baterie díky použitým materiálům velice levným řešením. Absence řídicího bezpečnostního okruhu také příznivě ovlivňuje cenu, hmotnost, recyklovatelnost, aj. Podle použitého elektrolytu mohou být tyto baterie také elasticky deformovány a jsou nehořlavé.

Ve srovnání s tradičními lithiovými bateriemi je tato baterie schopna disponovat až 2,5x vyšší hustotou energie. Dalším pozitivním faktorem by měla být doba nabíjení baterie, kde se udává 4-6x kratší doba na jeden cyklus.

Díky tomuto inovativnímu druhu baterie by mohla být společnost Toyota prvním výrobcem elektromobilů, která překoná pomyslný milník 1000 mil (1600 km) na jedno nabití.

2.8 Ovládání a řídicí jednotka

24V50A Power Electric WJC (Golden Motor)



Obrázek 21 – Power Electric WJC [22]

Jedná se o komplexní řešení od čínského výrobce zabezpečující kontrolu a řízení hnacích motorů. Základní řešení za velice příznivou cenu (obrázek 21).



Obrázek 20 – SHARK DK-PMA [23]

SHARK DK-PMA (dynamic controls)

Na obrázku 20 je snímek pokročilejší řídicí jednotky s možností připojení až 4 motorů. Jedná se o robustnější řešení, které nedisponuje uživatelským ovládáním (joystickem) a je ho tak nutné doplnit. Je zde také možnost dálkové kontroly po připojení patřičného modulu.

Kompatibilní ovládání:

- SHARK DK-REMD
 - pokročilejší model vybavený širokou škálou funkcí
- SHARK DK-ACU
 - základní model čítající pouze joystick, vypínač a nastavení citlivosti.

DX2-PMA90LG (dynamic controls)



Obrázek 22 – DX2-PMA90LG [24]

Jedná se vyspělou moderní řídicí jednotku, jejíž přednost je oproti předchozí variantě především v možnosti připojení gyroskopického modulu. Tyto moduly jsou umístěny tak, aby korespondovaly s vertikální a horizontální osou (při pohledu z boku).

Výhodou je softwarově kontrolovaná bezpečnost provozu, kontrola aktuálních úhlů náklonu a podle toho i např. vektorování výkonu na různou konfiguraci kol, ale také relativně přesná odezva pro dálkovou kontrolu nad systémem.

Opět se jedná o řešení, které v základu nedisponuje ovládním a je ho tak nutné doplnit. Výrobce nabízí jako kompatibilní řešení následující varianty:

- DX2-REM550
 - pokročilé řešení s LCD displayem s indikací aktuálních hodnot, času, nebo naprogramovatelnými vlastními funkcemi
- DX2-REM420
 - jednodušší řešení, které ale stále oproti variantě SHARK nabízí množství funkcí.
- DX2-ACU
 - Ovládání určené pro doprovod nebo asistenta uživatele invalidního vozíku.



Obrázek 23 – DX2-REM550 [25]

Tabulka 5 – Porovnání řídicích jednotek

	24V50A Power Electric WJC (Golden Motor)	SHARK DK-PMA (dynamic controls)	DX2-PMA90LG (dynamic controls)
Pracovní napětí [V]	24	24	24
Hmotnost [Kg]	1,9	0,96 + ovládání (0,25) = 1,21	1,04 + ovládání (0,25) = 1,29
Elektromagnetická brzda	Ano	Ano	Ano
Maximální výkon [W]	250	300	360
Cena [Kč]	2 850,-	3 550,- + ovl. (1 500,-) = 5 050,-	9 500,- + ovl. (1 500,-) = 11 000,-

2.9 Uložení

Uplatňuje se při vzájemném kontaktu mezi dvěma různými díly, typicky např. hřídel v díře. V případě invalidního vozíku se jedná především o uložení kol v rámu a dále o uložení kloubů skládacího mechanismu.

2.9.1 Kluzná ložiska

Výrobně velice jednoduché elementy, velice levné, malý zástavbový prostor, tlumí rázy. Velmi často se jedná o „samomazná“ provedení, díky čemu se jedná o prakticky bezúdržbová řešení. Typicky jsou určena pro nižší rychlosti otáčení (oproti valivým ložiskům), což je předurčuje pro použití jako kluzná pouzdra ve skládacím mechanismu vozíku.



Obrázek 24 - Kluzné pouzdro [27]

2.9.2 Valivá ložiska

Přítomnost valivých elementů, jako jsou např. kuličky, válečky, soudečky nebo jehličky, velice výrazným způsobem přispívá ke snížení tření mezi hřídelem a dírou. Ve srovnání s kluznými ložisky se jedná o komplexnější řešení sestávající z většího množství elementů. To se mimo jiné podepisuje na ceně a požadavcích na údržbu.

2.10 Bezpečnostní prvky

Bezpečnost systému při používání i mimo něj hraje v dnešní době klíčovou roli. Není přípustné, aby invalidní vozík vykazoval jakékoliv rizikové chování, což obzvláště platí při využívání hendikepovaným uživatelem. Mimo bezpečně navrženou konstrukci, čemuž se tato práce věnuje v kapitolách dále, se jedná především o následující prvky.

2.10.1 Elektronická brzda

Hnací motory jsou v případě elektronické brzdy zabrzděny díky magnetickému poli, které vzniklo průchodem elektrického proudu. Velice efektivní brzda, která však ke svému fungování neustále využívá průchodu elektrické energie, což negativně ovlivňuje kapacitu baterií.

2.10.2 Mechanická brzda

Tento typ brzdy využívá obyčejného tření mezi dvěma nebo více elementy. Typicky bývají brzděna zadní kola. Brzda, která vyžaduje několik dalších přídatných elementů, se negativně promítne především na celkové hmotnosti systému.

2.10.3 Anti-překlápěcí systém

Systém určený především pro manuální invalidní vozíky, který ale může nacházet uplatnění prakticky u jakékoliv varianty. V principu se jedná o zadní prodloužení rámu, které při případném překocení dozadu zachytí onu rotaci a nedovolí vozíku překloupat se. Typicky se jedná o situace, kdy vozík prudce stoupá, nebo v případě manuálních variant, kdy uživatel vyvine příliš vysoký točivý moment na hnacích kolech.

2.10.4 Tísňové tlačítko

Obvykle integrované tlačítko na ovládací jednotce invalidního vozíku. V principu se jedná o vyslání nouzového signálu určené osobě nebo instituci. Velice často bývá propojené se systémem GPS, nebo mobilním telefonem uživatele. Opět se však jedná o velice individuální přizpůsobení pro každého konkrétního uživatele.

2.10.5 Klakson

Doplňek, který se na bezpečnosti uživatele bude nejvíce podílet v rušných městských zastávkách. Invalida může být při používání vozíku vcelku snadno přehlédnut a pro tyto případy je klakson téměř nezbytný. Většinou se jedná o integrovaný prvek v ovládací jednotce vozíku.

2.10.6 Indikace stavu baterie

Bezespory jeden z primárních bezpečnostních prvků, a to především u variant, kde se není možné spoléhat na pohon vlastní silou. Situace, kdy uživateli dojde uprostřed jízdy baterie bez jakéhokoliv varování, je ze zjevných důvodů naprosto nepřijatelná.

2.10.7 Voděodolnost systému

Pro venkovní ale i vnitřní varianty opět nezbytný prvek. Především pak elektrotechnická stránka konstrukčního řešení vyžaduje zvýšenou pozornost v této oblasti. Baterie, ovládací a řídicí jednotka a další prvky pracující s elektrickým proudem vyžadují pro své správné fungování

2.10.8 Zádržný systém

Systém bezpečnostních pásů nebo popruhů je velice efektivním a mezi výrobci často využívaným řešením. Jedná se však o prvek, který opět výrazně přispívá ke zvýšení celkové hmotnosti systému. Také se jedná o prvek, který nemusí být nutně určený pro každého uživatele, typicky se tak u konkrétního uživatele jedná o konkrétní požadavek na zádržný systém. Běžně používaný je například fixační hrudní pás nebo bezpečnostní dvoubodový pás.

3 Konstrukce

Základní požadavky, plynoucí ze zadání:

- Elektrický pohon
- Nízká hmotnost
- Technická jednoduchost
- Bezpečnost

V další části budou koncepčně navrženy různé varianty s ohledem na správnou specifikaci požadavků. Nejprve bude proveden návrh orgánové struktury pro lepší vizualizaci problému, ze které budou výsledné varianty vybírány a dále podrobněji rozepsány na dalších stranách. Pro každou z těchto variant bude provedena analýza vhodnosti systému a bude zvoleno nejvhodnější řešení.

Tabulka 6 – Morfologie s navrženými orgány systému

Hlavní funkce		Nositel funkce			
		A	B	C	D
Fce 1	Pohon	Manuální	Elektrický	Kombinace	-
Fce 2	Typ konstrukce	Pevná	Skládací	Polohovatelná	Kombinace
Fce 3	Určení	Interiér	Exteriér	Kombinace	-
Fce 4	Nosnost	<80 kg	<100 kg	<120 kg	<150 kg
Fce 5	Maximální dojezd	10 km	15 km	20 km	25 km
Fce 6	Materiál rámu	Ocel	Slitina Al	Slitina Ti	Kompozity

Tabulka 7 – Vybrané varianty

Hlavní funkce		Nositel funkce			
		A	B	C	D
Fce 1	Pohon	Manuální	Elektrický	Kombinace	-
Fce 2	Typ konstrukce	Pevná	Skládací	Polohovatelná	Kombinace
Fce 3	Určení	Interiér	Exteriér	Kombinace	-
Fce 4	Nosnost	<80 kg	<100 kg	<120 kg	<150 kg
Fce 5	Maximální dojezd	10 km	15 km	20 km	25 km
Fce 6	Materiál rámu	Ocel	Slitina Al	Slitina Ti	Kompozity

●—● Varianta 1 ●—● Varianta 3
●—● Varianta 2 ●—● Varianta 4

3.1 Vybrané varianty

Z morfologické tabulky je s ohledem na zadání rovnou vyřazen samostatný manuální pohon. Dále využití pouze pro exteriér, což vychází především z dostupných řešení jiných výrobců. Na dalších stránkách jsou dále podrobněji rozepsány jednotlivé navržené varianty.

3.1.1 Varianta 1

Invalidní vozík ze slitin hliníku určený do vnitřních prostor s elektrickým pohonem v pevné konstrukci s nosností do 100 kg

V porovnání s variantami určenými i do exteriéru zde není třeba počítat s vnějšími silami vyvolanými používáním v určitém terénu. Interiér, kde se předpokládá využití takového řešení, je s velkou pravděpodobností již přizpůsoben potřebám hendikepovaného. Z toho také plynou nižší nároky na výkon motoru, respektive řídicí jednotku a baterie.

Navržena byla pevná konstrukce, což vychází z předpokladu, že je vozík určený pro konkrétního uživatele v konkrétním prostředí. Nepředpokládá se tak častý transport zařízení např. automobilem a nepředpokládá se ani nutnost dlouhodobě uchovávat zařízení v domácnosti např. v úložných prostorech.

Vzhledem k tomu, že v interiérových prostorech je uživatel v neustálé blízkosti zdroje elektrické energie, tudíž má možnost baterii pravidelně dobíjet a také se nepředpokládá vysoký

počet ujetých kilometrů během dne či mezi cykly, není příliš žádoucí používat vysokokapacitní baterii, což se v konečném důsledku negativně promítá jak na ceně, tak na celkové hmotnosti a zástavbovém prostoru.

Varianta 1							
Silné stránky	Závažnost (1÷5)	Váha ($\Sigma=1$)	Součin	Slabé stránky	Závažnost (1÷5)	Váha ($\Sigma=1$)	Součin
Hmotnost	5	0,4	2	Nosnost	4	0,3	1,2
Jednoduchá konstrukce	5	0,2	1	Nelze polohovat	3	0,2	0,6
Dostupný materiál	4	0,1	0,4	Pouze interiér	4	0,3	1,2
Cena	3	0,1	0,3	Pevná konstrukce	3	0,2	0,6
Bezpečnost	3	0,2	0,6				
			4,3				3,6

Tabulka 8 – Varianta 1

Volba interiérové varianty také dovoluje nižší nároky na bezpečnost vůči poškození vodou, i když určitá ochrana je zde stále na místě. Není přípustné, např. při pití tekutin hendikepovaný uživatel vyzkratoval řídicí jednotku nebo ovládání rozlitou vodou.

Z tabulky 7 je patrné, že celkové bodové ohodnocení varianty pro srovnání s dalšími variantami se stanoví jako:

$$b_1 = 4,3 - 3,6 = 0,7$$

Pozn.: Kladné hodnocení vypovídá o převažujících silných stránkách na stránkami slabými.

3.1.2 Varianta 2

Invalidní vozík ze slitin hliníku určený do vnitřních i venkovních prostor s elektrickým pohonem ve složitelné konstrukci s nosností do 100 kg

Jedná o řešení, které ve srovnání s ostatními vychází z rozkládatelné konstrukce, což je u konkurenčních produktů velice běžné. Vozík je díky tomu možné snadno skladovat a díky nízké hmotnosti je také předurčen k častému a snadnému transportu.

Určením i do exteriéru vzniká mimo jiné požadavek na zvýšené nároky na bezpečnost, voděodolnost, namáhání konstrukce, ale i maximální dojezd.

Konstrukce z hliníkových slitin je relativně snadno zpracovatelná ve všech předpokládaných směrech. Tvářitelnost, svařitelnost, obrobitelnost i dostupnost materiálu a

polotovaru jsou velice pozitivní faktory, které se v konečném důsledku promítají mimo jiné na ceně.

$$b_2 = 4,45 - 3,4 = 1,05$$

Tabulka 9 - Varianta 2

Varianta 2							
Silné stránky	Závažnost			Slabé stránky	Závažnost		Součin
	(1÷5)	Váha	Součin		(1÷5)	Váha (Σ=1)	
Hmotnost	5	0,3	1,5	Nosnost	4	0,4	1,6
Jednoduchá konstrukce	5	0,2	1	Dojezd	3	0,3	0,9
Dostupný materiál	4	0,05	0,2	Nelze polohovat	3	0,3	0,9
Cena	3	0,05	0,15				
Skládací mechanismus	3	0,2	0,6				
Univerzálnost použití	5	0,2	1				
			4,45				3,4

3.1.3 Varianta 3

Invalidní vozík kombinující různé materiály, především pak uhlíkové kompozity, určený do vnitřních i venkovních prostor s kombinovaným manuálním a elektrickým pohonem v pevné konstrukci s nosností do 120 kg

Varianta, která si částečně dává za cíl motivovat uživatele k aktivnímu životu. Kombinace manuálního a elektrického pohonu umožňuje uživateli aktivně se zapojovat do propulzního systému. Ve chvíli, kdy uživateli docházejí síly, jednoduše zavede elektrický pohon. Další možností je pak jízda na elektrickou energii až do vybití, načež se dá dále pokračovat manuálně, nebo tyto možnosti vzájemně kombinovat.

Pevná konstrukce zajišťuje co největší tuhost systému, s čímž souvisí i zvýšená nosnost konstrukce a předurčuje vozík ke sportovním aktivitám. Vzhledem k zahrnutému manuálnímu pohonu je kapacita baterie, respektive maximální dojezd omezen na minimum, což výrazně přispěje ke snížení celkové hmotnosti.

Uhlíkové kompozity, jako použitý materiál, skrývají obrovský potenciál, jak již bylo popsáno v kapitolách výše. Jejich značnou nevýhodou je však relativně složité zpracování, a v porovnání s kovovými materiály velice obtížná simulace v CAE prostředí.

$$b_3 = 3,4 - 3,8 = -0,4$$

Pozn.: Záporné hodnocení vypovídá o převažujících slabých stránkách na stránkami silnými.

Tabulka 10 – Varianta 3

Varianta 3							
Silné stránky	Závažnost			Slabé stránky	Závažnost		
	(1÷5)	Váha	Součin		(1÷5)	Váha (Σ=1)	Součin
Inovativní pohon	4	0,4	1,6	Pevná konstrukce	3	0,3	0,9
Univerzálnost použití	5	0,2	1	Limitující dojezd na elektrinu	3	0,2	0,6
Nosnost	4	0,4	1,6	Složitost konstrukce	5	0,3	1,5
				Složitost výroby	4	0,2	0,8
			3,4				3,8

3.1.4 Varianta 4

Invalidní vozík ze slitiny titanu, určený do vnitřních i venkovních prostor s kombinovaným manuálním a elektrickým pohonem v konstrukci, která zaručuje jak složení, tak polohovatelné nastavení konstrukce, především pak úhly mezi díly, s nosností do 120 kg a prodlouženým maximálním dojezdem

Stejná kombinace pohonů jako v předchozí variantě, stejně tak použití pro interiér a exteriér. Tato varianta si ale, na rozdíl od předešlých, klade za cíl oslovit uživatele upřednostňující určitý nadstandard. Je zde jako materiál konstrukce použita slitina titanu. Jako samostatný prvek má titan nejvyšší poměr mezi pevností a hustotou mezi všemi kovy, je zde tedy zřejmý důvod pro jeho využití. Jednoznačnou výhodou je jeho biokompatibilita a estetický aspekt. Je ale relativně obtížné tyto slitiny zpracovávat a jejich dostupnost také není ideální.

Aby mohla být konstrukce jak polohovatelná, tak skládatelná, bude zapotřebí relativně složitých mechanismů, velké množství kluzných ploch a aretačních systémů. To negativně ovlivní složitost konstrukce a podepíše se mimo jiné na hmotnosti.

$$b_4 = 4 - 4,7 = -0,7$$

Tabulka 11 – Varianta 4

Varianta 4							
Silné stránky	Závažnost (1÷5)	Váha	Součin	Slabé stránky	Závažnost (1÷5)	Váha ($\Sigma=1$)	Součin
Inovativní pohon	4	0,3	1,2	Složitost konstrukce	5	0,35	1,75
Nosnost	4	0,2	0,8	Hmotnost	5	0,45	2,25
Univerzálnost použití	5	0,2	1	Cena	3	0,1	0,3
Univerzální konstrukce	4	0,1	0,4	Nedostupný materiál	4	0,1	0,4
Dojezd	3	0,2	0,6				
			4				4,7

3.1.5 Shrnutí

Varianta 1	0,7
Varianta 2	1,05
Varianta 3	-0,4
Varianta 4	-0,7

Je zřejmé, že u varianty 3 a 4 jsou pro účely této práce převažující nevýhody nad výhodami a nemá tak smysl uvažovat nad jejich konstrukcí. Naopak varianty 1 a 2 byly stanoveny s kladným hodnocením a jsou tedy vhodné. Druhá varianta tu první ale jednoznačně převyšuje a bude tak přistoupeno k její konstrukci.

3.2 Uplatňované principy

- Zatěžující síly
 - osy, sedadlo, rám, kola, podnožka
- Působící momenty
 - rám, kola
- Těžiště systému
 - pro idealizaci stavu a určité počáteční návrhy je vhodné uvažovat o systému jako o bodu, který se nachází právě v těžišti systému
- Setrvačné síly
- Setrvačný moment
 - rám, osy
- Vnitřní síly

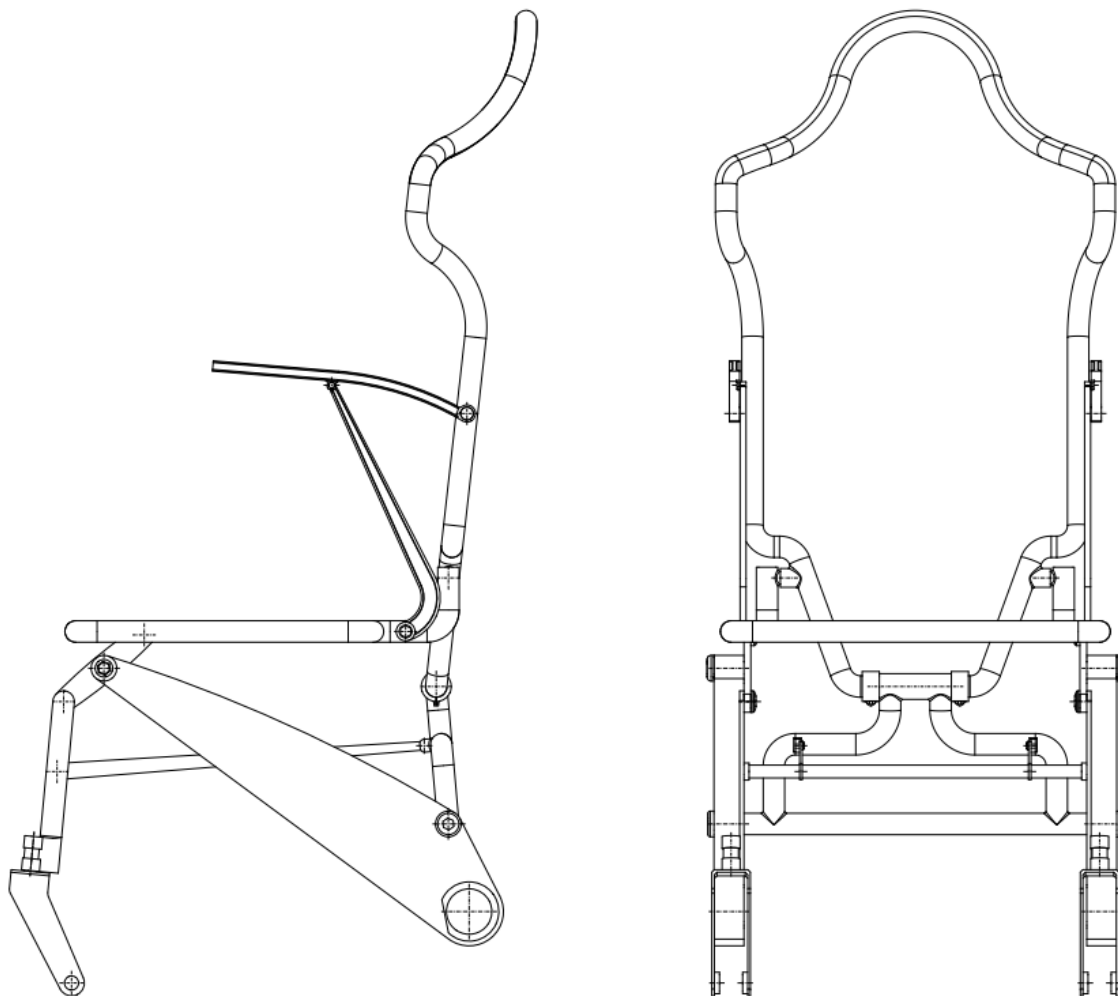
- síly vyvolané vnějšími silami přenášené objemem součásti, nebo síly zbylé po tváření či svařování materiálu.
- Plocha, hmotnost, objem
- Mechanické vlastnosti kovů
 - mez kluzu, mez pevnosti, teplotní roztažnost, bezpečnostní faktor, modul pružnosti, únava
- Kontrola na střih
 - rám, osy skládacích mechanismů, šrouby, aj.
- Zlatý řez
 - estetický aspekt, rozděluje celek na dva díly v poměru 1,6:1 a je také běžně k nalezení v přírodě
- Vazby mezi díly
- Štíhlá výroba
 - způsob výroby který redukuje čas i náklady

3.3 Návrh rámu

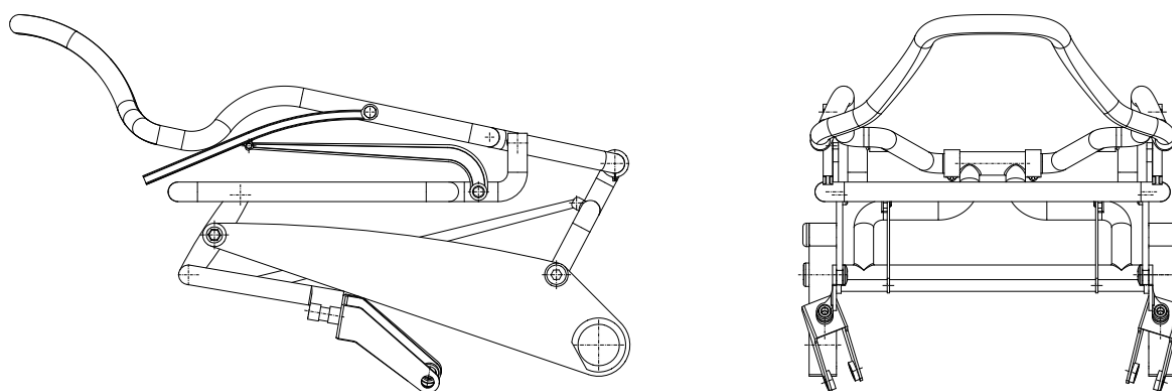
Nejprve bude přistoupeno k návrhu skládacího rámu v CAD prostředí. Návrh bude vycházet především ze znalosti dostupných řešení na trhu, bude se řídit základními mechanickými a uplatňovanými principy popsány výše a bude respektovat požadavek na technickou jednoduchost. Bude kladen apel na využití snadno dostupných polotovarů a technologií použitých při výrobě.

Dále bude návrh rámu podroben simulaci v CAE prostředí, kde se ověří namáhání a rozložení zatížení v celé konstrukci. Na základě výsledků bude přistoupeno k úpravě konstrukce, a to tak, aby bylo respektováno dovolené namáhání konstrukce a dílčích prvků při co možná největším uspoření materiálu. K tomuto účelu dokonale poslouží softwarové doplňky k programu *Creo Parametric – Simulation Live* a *Generative Design*.

S doplňkem *Simulation Live* dostává uživatel okamžitou odezvu, jak se mění zatížení v závislostech na aktuálních změnách designu a definovaném zatížení.



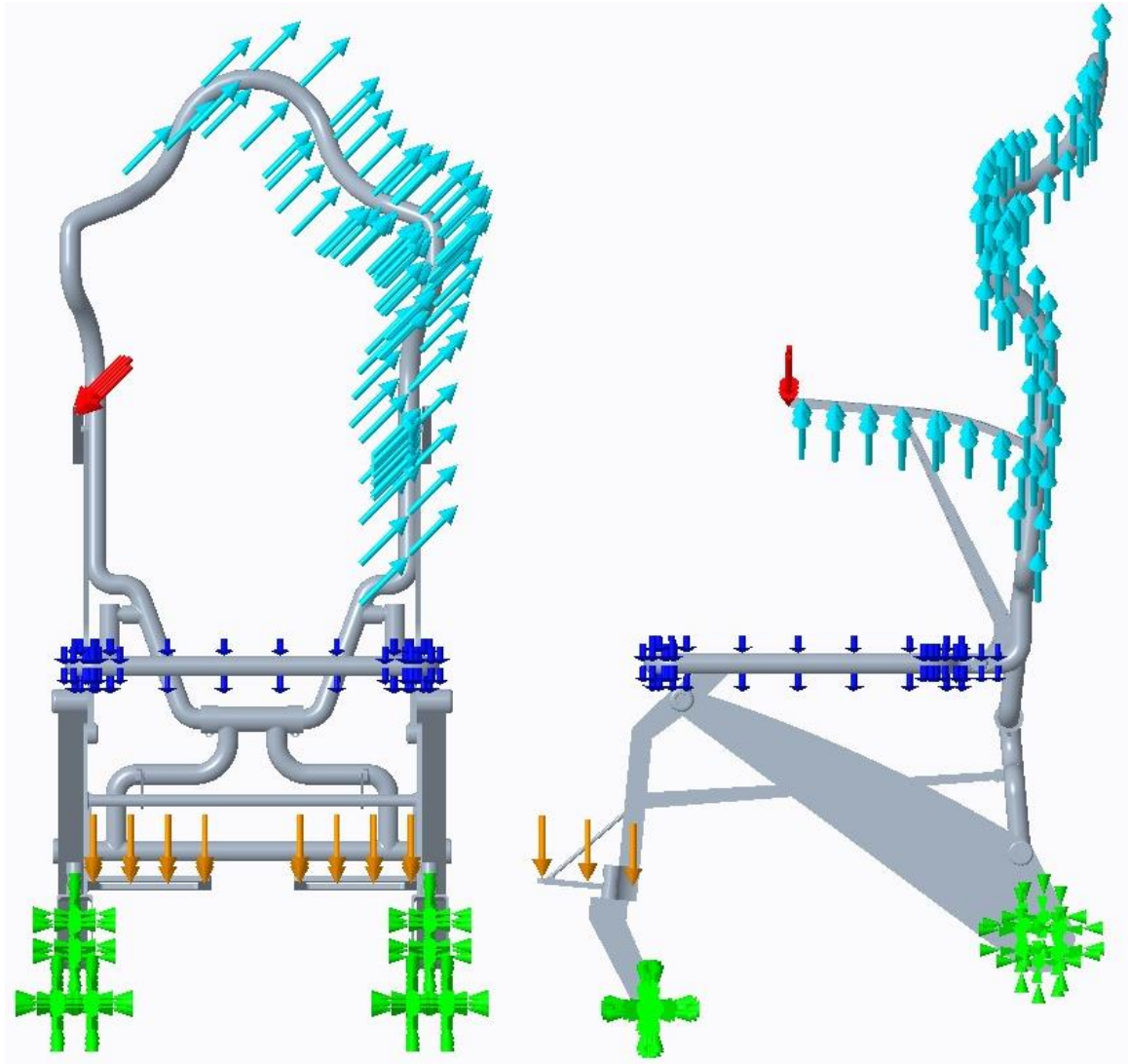
Obrázek 25 – Schéma rozloženého rámu



Obrázek 26 – Schéma složeného rámu

3.3.1 Definice zatížení pro simulaci

Pro účely této práce bylo zatížení aplikováno v rámci celé sestavy a to tak, že bylo vytvořeno několik různých souborů zatížení, které byly jednotlivě v rámci sestavy aplikovány a separátně vyhodnocovány. Tyto soubory zatížení obsahovaly sadu jednotlivých zatížení majících za cíl reprezentovat reálně odehrávající se stavy při užívání invalidního vozíku. Příklad jednoho ze souborů je vidět na obrázku 27.



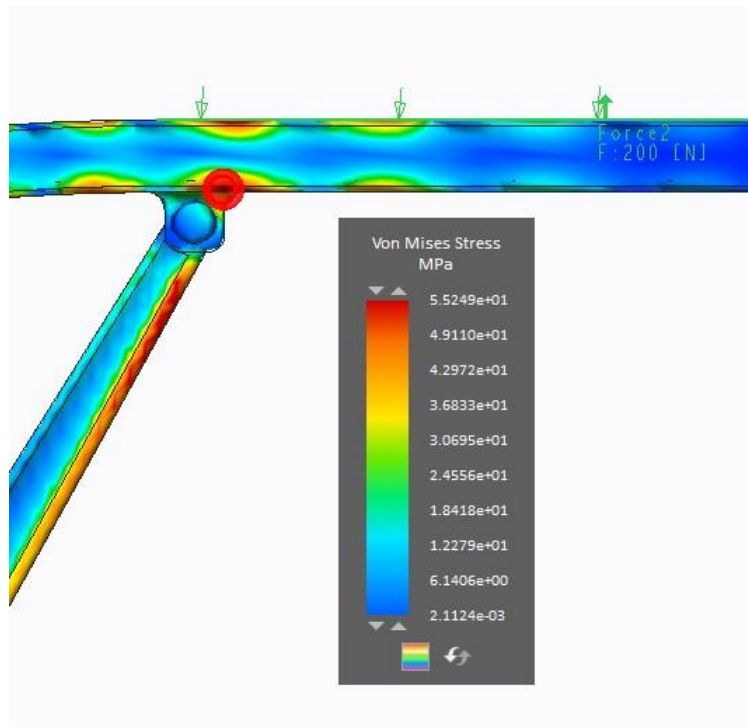
Obrázek 27 – Příklad spektra zatížení

- Světle modrá – zatížení vznikající primárně opřením horní části těla (=120 N)
- Červená – zatížení vznikající při opření horních končetin (=120 N)
- Tmavě modrá – tlak vznikající kontaktem od usazení (=960 N)
- Oranžová – zatížení od přených nohou (=180 N)
- Zelená – pevné vazby celého systému

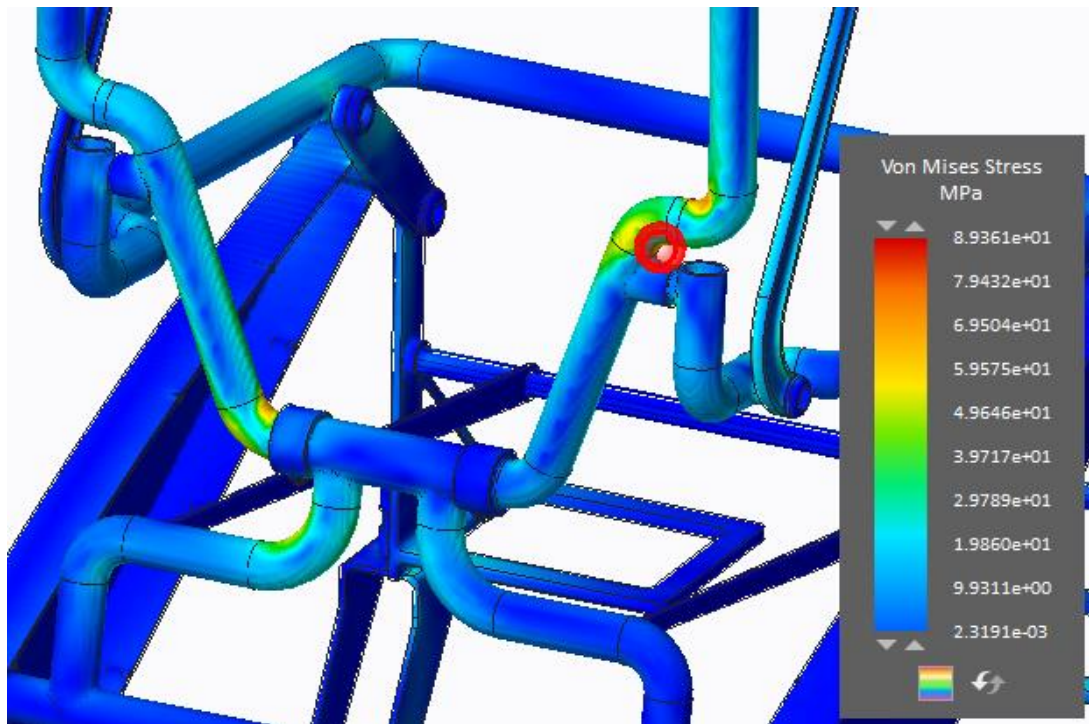
Těchto souborů zatížení bylo pro účel této práce vytvořeno několik, aby co možná nejlépe reprezentovaly reálné stavy, jako jsou usazování pacienta, opření pacienta do různých směrů, jízda po nakloněných rovinách, vzpřimování pacienta, aj. Hodnoty zatěžujících sil byly stanoveny tak aby co možná nejlépe odpovídaly reálným zatížením od uživatele s hmotností 100 kg. K těmto hodnotám bylo dále přičteno 20% z jmenovité hodnoty, za účelem zvýšení bezpečnosti.

3.3.2 Výsledky

Na následujících třech obrázcích jsou vyobrazeny oblasti, které pro různé soubory zatížení vycházejí jako nejhorší. Obrázek 28 reflektuje situaci, kdy se uživatel opře svou vahou o opěrky. Tato situace typicky nastává při přesunu z křesla nebo na křeslo.



Obrázek 28 – Průběh napětí v opěrce



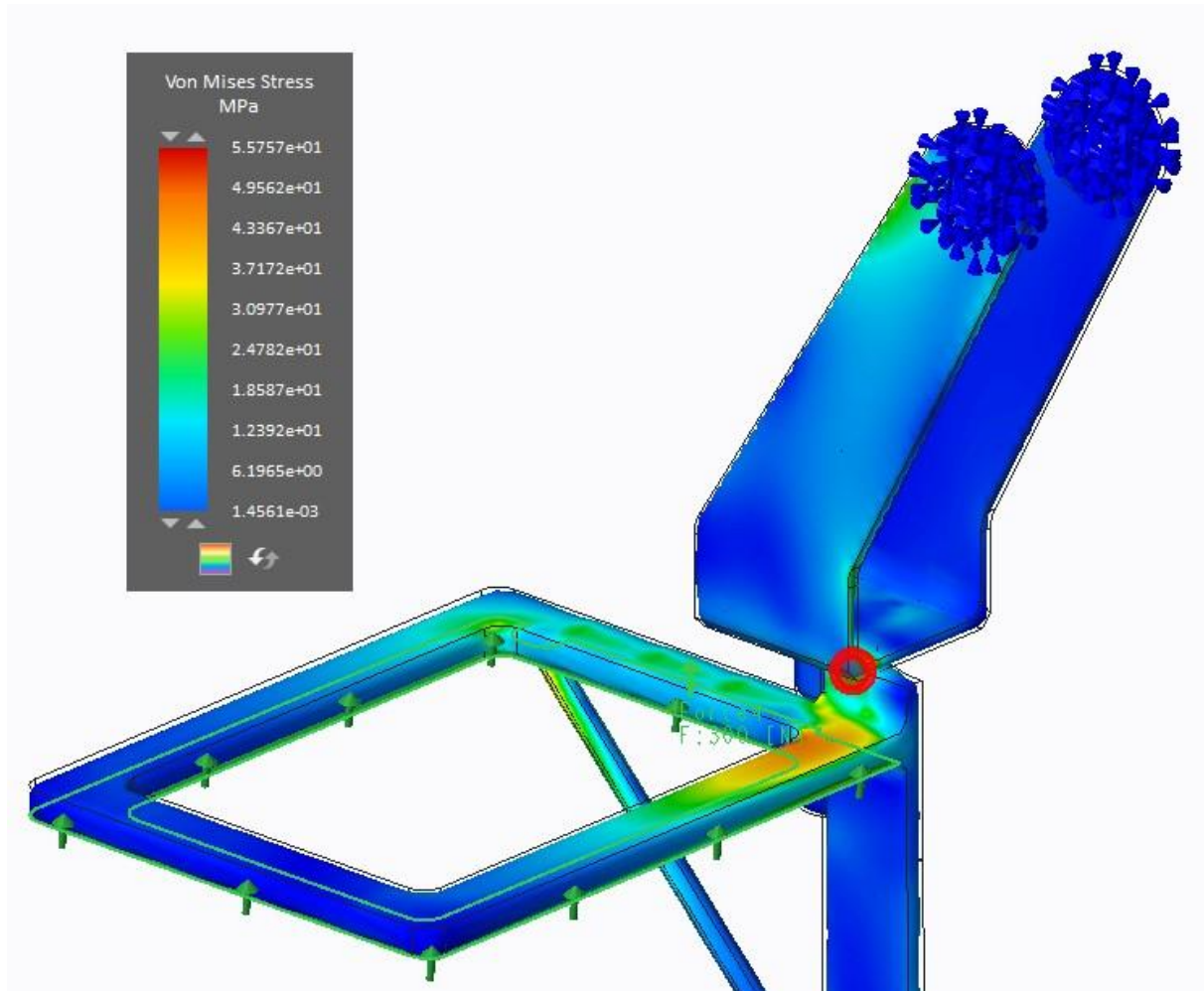
Obrázek 29 – Průběh napětí v zadní části rámu

Na obrázku 29 je znázorněna situace, kdy jede vozík po nakloněné rovině a uživatel se navíc snaží vyrovnat sklon svého těla vůči výslednici působení gravitace tak, že se lehce opírá

do celé konstrukce. Jedná se o nejhorší nastalou situaci vzešlou ze všech provedených simulací, maximální hodnota napětí, reprezentovaná červeným kroužkem, se v tomto případě blíží:

$$\sigma_{Vmax} = 90 \text{ [MPa]}$$

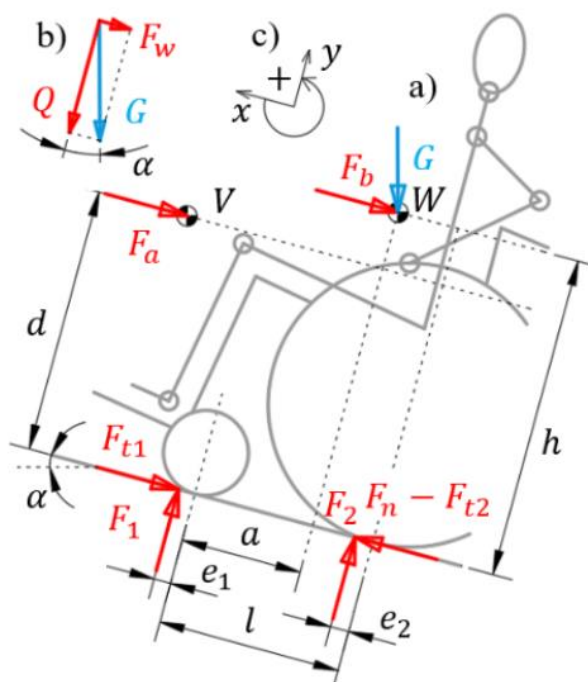
Na obrázku 30 je nastíněna situace kdy je invalidní vozík umístěn na nakloněné rovině kombinované s klesáním. V půdorysu pak výslednice sil pak odpovídá diagonální ose vozíku.



Obrázek 30 – Průběh napětí v opěrce nohy

3.4 Výběr vhodného pohonu

Návrh pohonu musí vycházet z rozkladu všech sil působících na celou soustavu. Na obrázku 31 je vidět rozklad sil při stoupání a zároveň jízdě po nakloněné rovině.

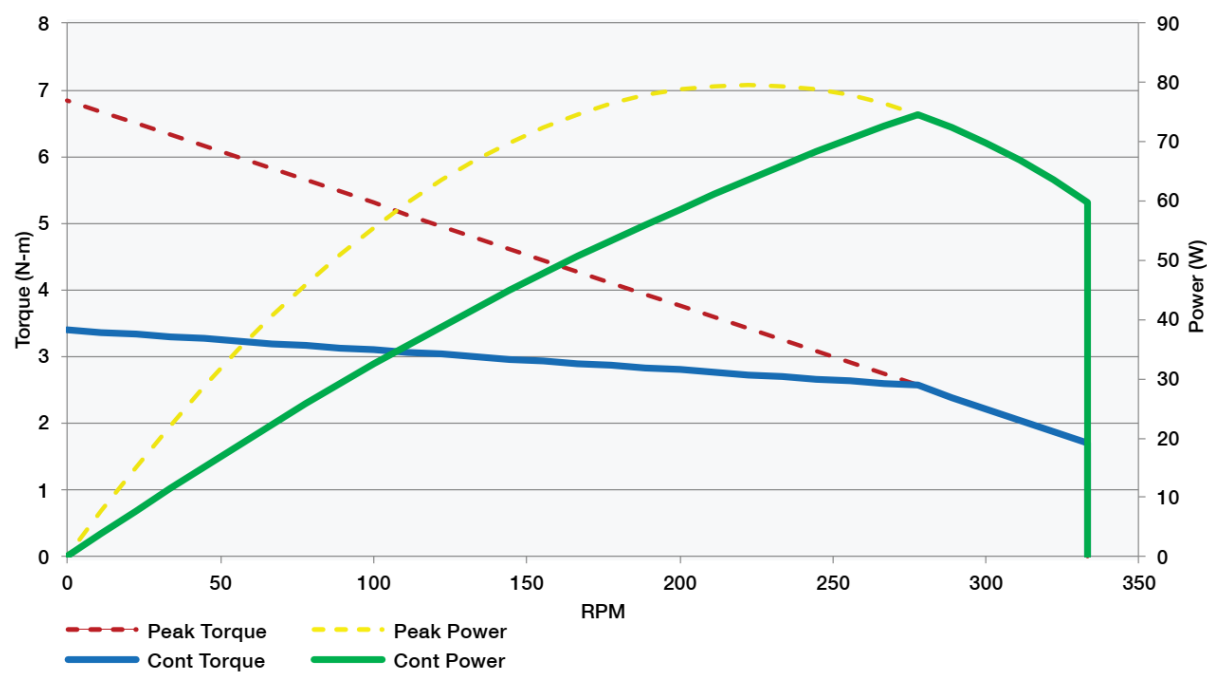


- α = úhel náklonu
- W = těžiště celého systému
- F_b = setrvačná síla
- G = gravitační síla
- F_a = odpor vzduchu
- V = 1/2 výšky systému
- F_{t1} = třecí síla předního kola
- F_{t2} = třecí síla zadního kola
- F_n = síla od pohonu
- F_1 = reakce povrchu pod PK
- F_2 = reakce povrchu pod ZK
- e_1 = poloměr valivého odporu PK
- e_2 = poloměr valivého odporu ZK

Obrázek 31 – Rozklad působících sil [26]

Volím motor MPW52-300, vzhledem k jeho předurčení do aplikací tohoto typu a dovolenému radiálnímu zatížení 68 Kg. Vzhledem k předpokládané maximální hmotnosti uživatele 100 Kg a předpokládané maximální hmotnosti vozíku 20 Kg, byl měl tento motor vyhovovat i do stoupání 45°, za použití dvou motorů. To mimo jiné zajistí schopnost vozíku snadno překonávat překážky jako jsou prahy a jiné nerovnosti. Hmotnost jednoho tohoto motoru včetně integrované jednostupňové planetové převodovky je 1,25 Kg. Ke svému provozu využívá stejnosměrný proud a napětí 24 V. Jeho maximální točivý moment je 6,8 Nm.

MPW52-300



Obrázek 32 – Závislost výkonu, otáček a točivého momentu zvoleného pohonu [13]

3.4.1 Dopočtení chybějících parametrů

$$v_2 = \pi D_2 n_2$$

kde

v_2 = obvodová operační rychlost zadního kola [m/s]

$\emptyset D_2$ = průměr zadního kola [m]

n_2 = otáčky zadního kola [$1/s$]

$$v_2 = 0,1475 \times 280 \times \frac{1}{60} \pi = 2,1625 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Maximální teoretická rychlost by dle výpočtu měla být něco málo před 2 metry za sekundu.

3.5 Návrh ložisek pro přední kola

Životnost ložiska pro přední kola bude dimenzována na základě znalosti celkové životnosti sestavy zadního kola (ložisko, motor, převodovka). Dle katalogu výrobce je tato hodnota stanovena na 20 000 hodin. V případě ložiska pro přední kola by tak měla být tato hodnota přibližně stejná.

Ze znalosti rychlosti otáčení sestavy zadního kola s motorem (280, uvedené v technických specifikacích a také znalosti poměru velikostí průměrů předního (147,5 mm) a zadního kola (75 % zadního kola = 110,6 mm) lze určit rychlost otáčení kola předního:

$$i_{21} = \frac{147,5}{110,6} = 1,33$$

$$n_1 = 280 \times 1,33 = 372,4 \left[\frac{1}{min} \right]$$

kde

i_{21} = poměr mezi zadním a předním kolem

n_1 = otáčky předního kola [$1/min$]

3.5.1 Základní trvanlivost L_{10}

Jedná se o délku provozního času, resp. počtu otáček, kterých dosáhne nebo přesáhne 90 % ložisek, než dojde ke kontaktní únavě nebo jinému narušení ložiska. Základní trvanlivost ložiska se podle ISO 281 spočte jako:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

kde

C = základní dynamická únosnost [kN]

P = ekvivalentní dynamické zatížení [kN]

$p = \text{exponent rovnice trvanlivost (3 pro bodový styk, } 10/3 \text{ pro čárový styk)}$

Ekvivalentní dynamické zatížení pak:

$$P = XF_r + YF_a$$

kde

$F_r = \text{skutečné radiální zatížení [kN]}$

$F_a = \text{skutečné axiální zatížení [kN]}$

$X = \text{součinitel radiálního zatížení}$

$Y = \text{součinitel axiálního zatížení}$

Základní trvanlivost v provozních hodinách pak:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$

kde

$n = \text{rychlost otáčení [1/min]}$

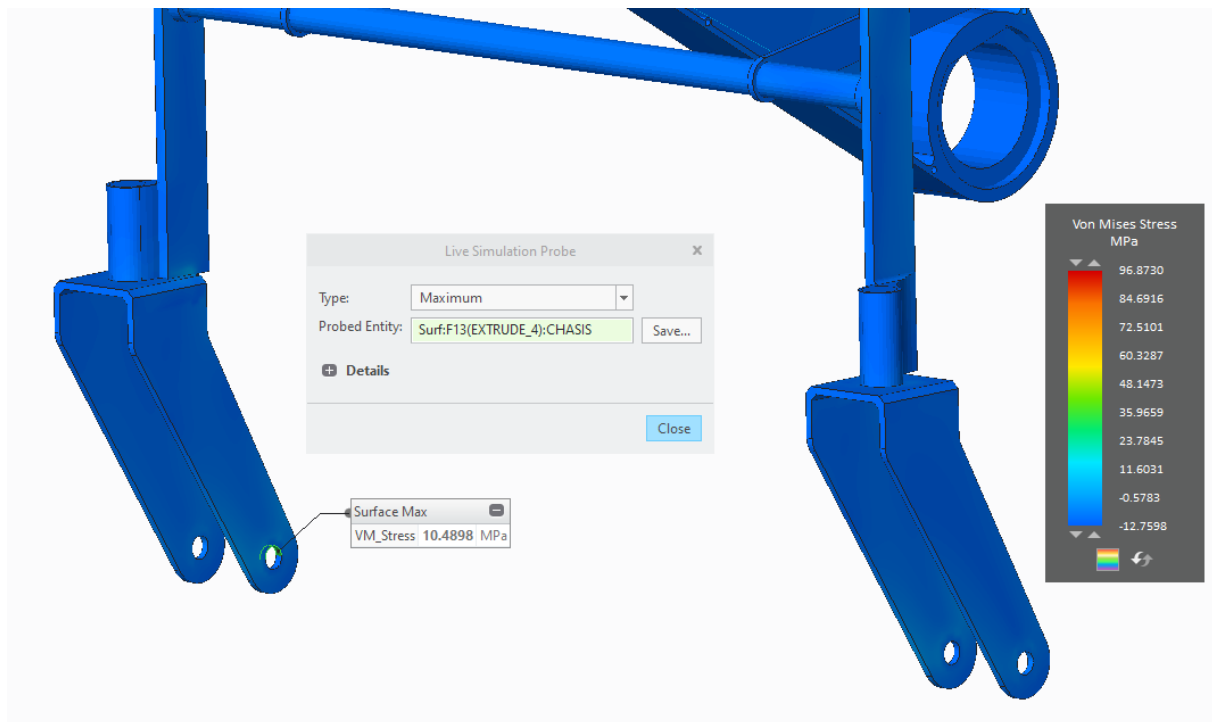
Základní dynamická únosnost je hodnota, kterou garantuje výrobce ložisek a je snadno dohledatelná v katalogích. Ekvivalentní dynamické zatížení je zatížení, které působí na ložisko a je počítáno dle zákonů mechaniky na základě vnějších sil. Typicky se jedná o zatížení vlivem gravitačního zrychlení, přenášeným výkonem, setrvačnými nebo pracovními silami. Tato zatížení však v realitě nebývají konstantní a při teoretických výpočtech jde o určitou idealizaci stavu.

3.5.2 Základní dynamická únosnost C_{10}

Základní dynamická únosnost ložiska je největší neproměnné zatížení, působící na valivé ložisko, při kterém alespoň 90 % ložisek dosáhne základní trvanlivosti.

3.5.3 Vlastní výpočet

Ze strukturální analýzy návrhu sestavy rámu vozíku je převzata hodnota maximálního napětí v místě uložení ložiska. Ze znalosti velikosti průmětné plochy ($3 \times 10 \text{ mm}$) a maximálního napětí je vypočítána radiální síla působící v místě styku.



Obrázek 33 – Tlak v uložení ložisek pro přední kolo

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A_r}$$

$$1,05 \times 10^7 = \frac{F_r}{3 \times 10^{-5}} \rightarrow F_r = 315 \text{ [N]}$$

Pro znalost axiální síly působící na ložisko je v simulaci jako síla reprezentující zatížení vozíku jedoucího po nakloněné rovině vlivem pacienta uvažována síla s magnitudou pod úhlem 15°. Obdobně jako v případě radiální síly je axiální síla působící na ložisko stanovena jako:

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_a}$$

$$1,6 \times 10^5 = \frac{F_a}{\pi \times 15 \times 10^{-5}} \rightarrow F_a = 78 \text{ [N]}$$

Ložiska jsou vybrána ze skupiny jednořadých kuličkových ložisek od výrobce SKF. Tato skupina ložisek má deklarované hodnoty součinitelů radiálního a axiálního zatížení:

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,3 \div 2,3 \rightarrow \text{Zvoleno } 1,7$$

Ze znalosti hodnot uvedených výše lze přistoupit k výpočtu požadované základní dynamické únosnosti:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$P = XF_r + YF_a$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} \rightarrow L_{10} = \frac{L_{10h}}{\frac{10^6}{60n}}$$

$$\frac{L_{10h}}{\frac{10^6}{60n}} = \left(\frac{C}{X F_r + Y F_a} \right)^3$$

$$\frac{20\,000}{\frac{10^6}{60 \times 372,4}} = \left(\frac{C}{0,56 \times 0,315 + 1,7 \times 0,078} \right)^3 \rightarrow C = 2,362 \text{ [kN]}$$

Na základě vypočtené dynamické únosnosti je možné zvolit z katalogu ložisko, které počtem životnostních hodin odpovídá životnosti celého systému.



607-2RSH

- Popular item
- SKF Explorer

Deep groove ball bearings

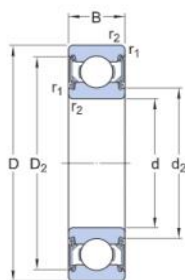
Bearing data

[Tolerances](#),
Normal (metric), P6, P5, Normal (inch),
[Radial internal clearance](#),
Classes C2 to C5

Bearing interfaces

[Seat tolerances for standard conditions](#),
[Tolerances and resultant fits](#)

Technical specification



DIMENSIONS

d	7 mm	Bore diameter
D	19 mm	Outside diameter
B	6 mm	Width
d ₂	≈ 9.5 mm	Recess diameter
D ₂	≈ 16.5 mm	Recess diameter
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Chamfer dimension

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	2.34 kN
Basic static load rating	C ₀	0.95 kN
Fatigue load limit	P _u	0.04 kN
Limiting speed		24 000 r/min
Minimum load factor	k _r	0.025
Calculation factor	f ₀	13

Obrázek 34 – Ložisko 607-2RSH [27]

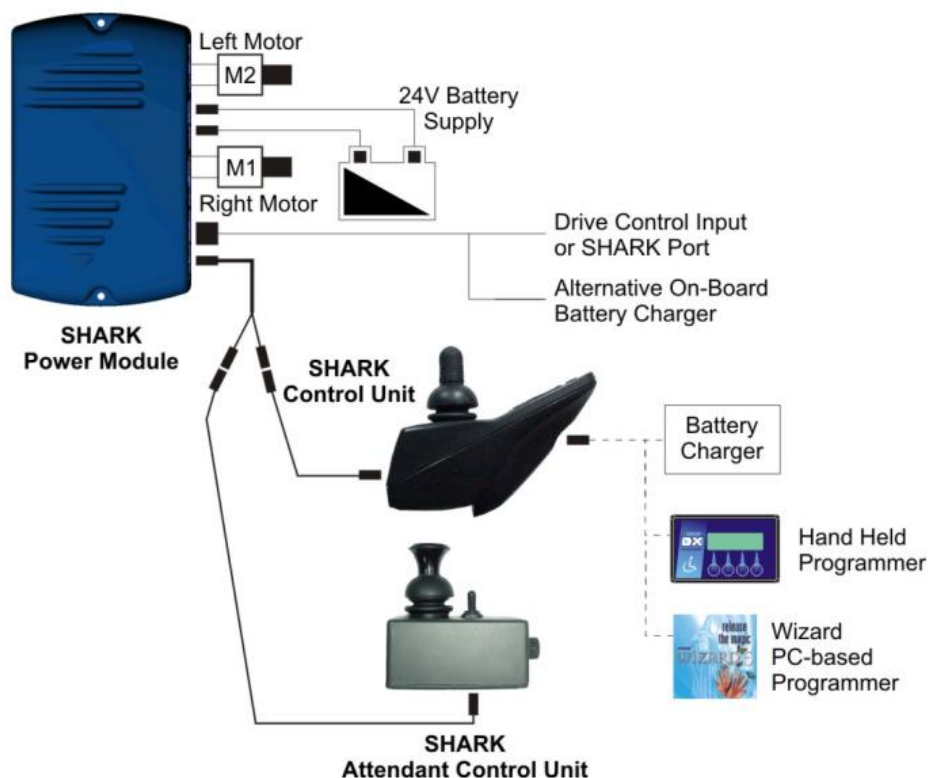
3.6 Výběr vhodného typu baterie

Vzhledem k povaze konstrukce bude baterie integrována do nosné konstrukce. To mimo jiné dovoluje použít dvě menší baterie, raději než jednu větší. Volím lithium-iontovou baterii, konkrétně na bázi železa, a to především pro její vysokou energetickou hustotu, dobrou dostupnost a cenu. Vybírám konkrétní model C2485H od čínského výrobce Shenzhen Sleekshine Technologies Co.

Nominální napětí této baterie je 24 V s kapacitou 6,5 Ah. Hmotnost je 1,1 Kg a zástavbové rozměry 75 x 40 x 280 mm. Baterie má udávaný počet 1500 životních cyklů při hloubce vybití 80 %. Je schopna poskytnout proud až 15 A, což odpovídá přibližně 400 W.

3.7 Výběr ovládání a řídicí jednotky

Pro účel této práce byla zvolena řídicí jednotka SHARK PMA od výrobce Dynamic Control, vzhledem k její univerzálnosti a relativně nízké ceně, a hlavně předurčení pro tuto aplikaci. Nominální napětí 24 V, podpora elektronické brzdy a maximální výkon 300 W.



Obrázek 35 – Schéma pro řídicí jednotku [24]

K řídicí jednotce SHARK bude připojen joystick od stejného výrobce v odpovídající variantě, pro zajištění maximální možné kompatibility, jak je ukázáno na obrázku 35.

3.8 Termo-fyziologický komfort

Tato podkapitola je věnována především návrhu materiálů na rozhraní uživatel a produkt a úzce souvisí s ergonomickou stránkou věci. V případě návrhu konstrukčního řešení invalidního vozíku se jedná o:

- Polštář a jeho potah (podsedák)
- Opěradlo zad a jeho potah
- Opěrka ruky

Jak již bylo popsáno v kapitole 2.4.8, na materiály pro toto použití existuje relativně dlouhý seznam požadavků. V souladu s ním volím jako hlavní kontaktní materiál 3D pleteniny, vzhledem k jejich univerzálnosti, relativně nízké ceně a ostatním vhodným parametrům, popsaných v jim věnované kapitole.

V případě podsedáku se bude jednat o polyuretanovou pěnu, která sice svými parametry není zcela ideální, zajišťuje ale určitou podporu beder, což je ve velkém množství případů prvkem stěžejním. Jedná se ale o velice individuální věc a v běžné praxi se tento prvek integruje až v závislosti na konkrétním pacientovi a jeho potřebách. Pro účel této práce bude navrženo základní (univerzální) řešení, co se tvaru týká. Tato polyuretanová pěna bude potažena již zmíněnou 3D pletenou textilií, které jsou běžně využívány v *automotive* průmyslu.

Opěradlo zad bude potaženo pouze 3D pleteninou, která zajišťuje dostatečnou pevnost a otěruvzdornost a také elasticitu. Absence tradičně používaných pěn výrazně přispívá ke zvýšení ergonomie v důsledku dostatečného proudění vzduchu v kontaktních oblastech.

V případě opěrek rukou bude opět použita polyuretanová pěna, která bude volitelně potažena 3D pleteninou. Využití pěny si klade za cíl umožnit komfortní opírání horních končetin a nezpůsobovat otlaky ani nenarušovat krevní oběh. Potažení 3D pleteninou pak definitivně přispívá k lepší cirkulaci vzduchu v kontaktních oblastech.

4 Závěr

Cílem práce byl konstrukční návrh komplexního řešení elektricky poháněného invalidního vozíku s požadavkem na nízkou hmotnost. Na začátku práce byla nastíněna metodika, které se konstrukce ve své podstatě celou cestu držela.

V rešeršní části byla zmíněna historie a současný stav na trhu s invalidními vozíky a kolečkovými křesly. Byl proveden výčet rozdělení jednotlivých typů s ohledem na funkci. Byla popsána některá konstrukční řešení od potenciálně konkurenčních výrobců. Tyto produkty byly mezi sebou srovnány a jejich klady a zápory bylo inspirováno navržené řešení. Byl popsán vztah uživatele k invalidnímu vozíku a definovány různé potřeby konkrétních pacientů. Větší část práce pak byla věnována celkové ergonomii technického systému a ergonomii dílčích prvků. Byl vypsán rozbor jednotlivých technických řešení pohonu systému a jednotlivé varianty mezi sebou porovnány. Byly popsány některé materiály, které se tradičně pro výrobu invalidních vozíků využívají, ale také další potenciálně vhodné materiály a byly rozebrány jejich výhody a nevýhody v konstrukčním řešení. Také byly srovnány jednotlivé druhy a typy baterií a jejich vhodnost pro konkrétní použití. Následuje rozbor jednotlivých technických možností ovládání a řídicí jednotky pro pohon systému, včetně výčtu komplexnějších řešení od některých výrobců a jejich vzájemné srovnání. Rešeršní část pak uzavírá popis bezpečnostních prvků a systémů.

V konstrukční části bylo nejprve přistoupeno k výčtu základních požadavků, od kterých se bude vývoj konstrukce dále odvíjet. Byla navržena morfologická matice pro výběr jednotlivých variant a následně vybrány a do tabulky zaneseny 4 konkrétní varianty, které byly zvoleny v respektu k zadání, konkurenčním řešením, dostupnosti použitého materiálu a mj. estetickému prvku. Vybrané varianty byly podrobněji rozepsány a vyjmenovány jejich pozitivní a negativní stránky. Každá z těchto variant byla ohodnocena metodou, vycházející ze SWOT analýzy a obdržela bodové ohodnocení, které bylo následně srovnáno s ostatními variantami. Toto srovnání definovalo na základě obdrženého bodového ohodnocení vítěznou variantu, u které bylo přistoupeno k vlastnímu konstrukčnímu řešení. Mimo jiné byly vyjmenovány uplatňované mechanické a ekonomické faktory a principy, které samotnou konstrukci ovlivňují.

V CAD prostředí byl nejprve vytvořen skládací rám, jehož návrh respektoval základní požadavky na vyrobiteľnosť a také dostupnosť polotovarov pro jednotlivé díly a technologii výroby. Rám byl dále v CAE prostředí podroben souboru simulací, reprezentujících reálné stavy při běžném užívání invalidních vozíků, na základě nichž byl patřičně upraven tak, aby bylo zatížení distribuováno rovnoměrně, nepřesahovalo definovaných hodnot napětí a zároveň respektovalo požadavek na co nejnížší možnou hmotnost celého systému. V práci byly dále demonstrovány výsledky těchto výpočtů, a to pro tři nejkritičtější místa celého systému. Dále bylo možné přistoupit k návrhu pohonné jednotky, která se v případě zvolené varianty odvíjí především od zatížení působících na nápravu a je garantovaná výrobcem. Následně byla navržena ložiska pro přední kola a to tak, aby respektovala reálně vznikající zatížení v místě uložení a také životnost celé soustavy. V neposlední řadě byla zvolena vhodná baterie a ovládací a řídicí jednotka, s ohledem na celý systém a vyjmenované požadavky. Konstrukční část je uzavřena výběrem vhodných materiálů pro potahy a výplně opěradel a podsedačky.

Celková hmotnost kompletní sestavy činí 16,1 kg, díky čemuž je konstruované řešení ve své kategorii dokonale konkurenceschopné.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Mechanical parameters of Airwheel H8 electric wheelchair.. Airwheel Official Site! Electric Wheelchair_Electric Scooter_Electric Bike_Rideable Suitcase Luggage. [online]. Copyright © 2022 [cit. 09.05.2022]. Dostupné z: <https://www.airwheel.net/home/specs/h8>
- [2] Wheelchair Market Size, Trends | Global Analysis Report, 2026. Fortune Business Insights™ | Global Market Research Report & Consulting [online]. Copyright © 2020 Fortune Business Insights. All rights reserved [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/wheelchairs-market-100523>
- [3] Ottobock Wingus Lightweight Transportable Comfort Powerchair - Recare. Recare - Rehabilitation and healthcare equipment specialists [online]. Copyright © Recare 2021. Recare is the trading name for Recare Ltd. Registered in England No [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.recare.co.uk/product/wingus-ottobock-powerchair/>
- [4] iTravel 1.054 | Meyra E-shop. Zdravotnické pomůcky a potřeby Meyra | Meyra E-shop [online]. Copyright © 2022 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: https://eshop.meyra.cz/product/elektricke-voziky-a-skutry/itravel-1_054/616?gclid=CjwKCAjw4ayUBhA4EiwATWYBru3WFh7jb01tgKGu8TthzOxqezo7VW04NwNL1_kR2hd1RiRPJpztehoCd-8QAvD_BwE
- [5] e-Throne | [online]. Dostupné z: <https://www.goldenmotor.com/wheelchair.htm>
- [6] Všeobecná encyklopedie v osmi svazcích. 3. svazek G - J. 1. vyd. Praha: Diderot, 1999. s. 131. ISBN 80-902555-5-8
- [7] Co je to ergonomie | BOZPinfo.cz. BOZPinfo - Časopis JOSRA [online]. Copyright © 2002 [cit. 19.03.2022]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>
- [8] Skin Wounds and Musculoskeletal Infection - Civetta, Taylor, & Kirby's: Critical Care, 4th Edition. Medical library [online]. Copyright © 2015 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://doctorlib.info/therapy/critical/107.html>
- [9] - WObit - Zaawansowany system do pomiaru rozkładu sił i nacisku CONFORMAT - Tekscan – w katalogu produktów – Automatyka.pl. Automatyka przemysłowa – portal Automatyka.pl [online]. Copyright © 2022 by [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: <https://www.automatyka.pl/produkty/-wobit-zaawansowany-system-do-pomiaru-rozkladu-sili-nacisku-conformat-tekscan-135310-2>
- [10] Bonita Sawatzky, Won Kim & Ian Denison (2004) The ergonomics of different tyres and tyre pressure during wheelchair propulsion, *Ergonomics*, 47:14, 1475-1483, DOI: 10.1080/00140130412331290862
- [11] NOSKOVÁ, Tereza. Návrh metody hodnocení sendvičových materiálů automobilových sedaček: Proposal of new method of evaluating textile sandwich structures for automotive seats. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. Diplomové práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Michal Chotěbor.
- [12] 24V 63mm DC Brush Motor with Round Shape - China Brushed Motor, Permanent Magnet Motor | Made-in-China.com. Made-in-China.com - Manufacturers, Suppliers & Products in China [online]. Copyright © 2022 Focus Technology Co., Ltd. [cit. 23.05.2022].

Dostupné z: <https://m.made-in-china.com/product/24V-63mm-DC-Brush-Motor-with-Round-Shape-1907141535.html>

[13] [online]. Dostupné z: <https://www.electrocraft.com/files/downloads/Datasheets/gearmotors/MPW52-DataSheet-US.pdf>

[14] Amazon.com. Amazon.com [online]. Copyright © 1996 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/BEMONOC-Replacements-DC-Torque-Electric/dp/B01F4NJMOW>

[15] 320 Watt 24VDC 120 RPM Wheel Chair Motor Pair with Encoder. SuperDroid Robots - Robot Kits, Parts, and Custom Solutions [online]. Copyright © 2022 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.superdroidrobots.com/mechanical-parts/gear-motors/wheelchair-motors/product=3171>

[16] Pohony elektrokol: BIKESTOCK.CZ - Elektrokola, jízdní kola a servis. BIKESTOCK.CZ - - - Obchod s cyklistikou, elektrokola, jízdní kola a servis [online]. Copyright © 2017 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.bikestock.cz/s/pohony-elektrokol>

[17] Diagnostika :: e-kolo-praha.cz. Prodej a servis elektrokol [online]. Dostupné z: <https://www.e-kolo-praha.cz/diagnostika/>

[18] [online]. Dostupné z: https://www.ultralifecorporation.com/PrivateDocuments/WP_li-ion-vs-lead-acid-WEB_1.pdf

[19] Battery 24V 6.5Ah Li-Po | UrbanRide.cz. Elektromobilita - zážitek z jízdy | UrbanRide.cz [online]. Copyright ©2020 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.urbanride.cz/battery-24v-65ah-li-po-sp0305/>

[20] | Cloudflare. ResearchGate | Find and share research [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-cycle-life-for-different-types-of-lithium-ion-batteries-adjusted-to_fig2_303890624

[21] Solid-State Battery for EVs | Toyota and Volkswagen batteries - E-VehicleInfo. E-VehicleInfo- India's Leading Electric Vehicle Portal [online]. Dostupné z: <https://e-vehicleinfo.com/solid-state-battery-for-evs/>

[22] KOMEL [online]. Copyright © [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/114/ref_12.pdf

[23] [online]. Copyright © [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: https://www.invacare.com/doc_files/1141471.pdf

[24] Enhancing Lives of People with Disabilities | Mobility Products | Dynamic Controls [online]. Copyright © [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: https://www.dynamiccontrols.com/sites/default/files/2018-05/DX2-PMA90LG-Installation-Manual-Addendum-Iss2_03.pdf

[25] DX/DX2 | Dynamic Controls. Enhancing Lives of People with Disabilities | Mobility Products | Dynamic Controls [online]. Copyright © 2022 [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: <https://www.dynamiccontrols.com/our-products/dx2>

[26] Kukla, M.; Wiczorek, B.; Warguła, Ł.; Górecki, J.; Giedrowicz, M. An Analytical Modelling of Demand for Driving Torque of a Wheelchair with Electromechanical Drive. *Energies* 2021, 14, 7315. <https://doi.org/10.3390/en14217315>

[27] SKF. [online]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-607-2RSH>

Seznam příloh

1. Výkres sestavy invalidního vozíku
2. Kusovník sestavy
3. Výrobní výkres bočnice rámu invalidního vozíku