



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Konstrukce polohovací části manipulačního vozíku pro postižené děti

Design of the positioning part of the wheelchair for handicapped children

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Andrey VOROBYEV

Studijní program: B 2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Jan Kanaval, Ph.D.



Prohlášení

Prohlašuji, že tuto předloženou bakalářskou práci „Konstrukce polohovací části manipulačního vozíku pro postižené děti jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jana Kanavala, Ph.D. a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu použité literatury a dalších zdrojů.

V Praze dne 21. června 2019

.....



Anotační list

Jméno autora: Andrey Vorobyev

Název BP: Konstrukce polohovací části manipulačního vozíku pro postižené děti

Anglický název: Design of the positioning part of the wheelchair for handicapped children

Akademický rok: 2018/2019

Ústav/Odbor: Ústav konstruování a částí strojů

Vedoucí BP: Ing. Jan Kanaval, Ph.D.

Bibliografické údaje:

Počet stran:	68
Počet obrázků:	66
Počet tabulek:	8
Počet příloh:	0

Klíčová slova: invalidní vozík, design, hendikepované děti, ergonomie, sedačka, konstrukce vozíku, polohovací část.

Keywords: wheelchair, design, handicapped children, ergonomics, seat, design of the seat, positioning part.

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá návrhem polohovací části manipulačního invalidního vozíku pro kombinovaně postižené děti. Teoretická část je věnována analýze trhu manipulačních vozíků, problematice pohybové mobility postižených dětí do 15 let a dále se zabývá návrhem nové polohovací části. Návrh vlastního konstrukčního řešení s využitím 3D CAD softwaru je zpracován ve spolupráci se soukromou společností 1TO1DESIGN s.r.o., která je i zadavatelem práce.

Abstrakt: This bachelor thesis deals with the design of the positioning part of wheelchair for multiply handicapped children. The theoretical part is devoted to the analysis of the wheelchair market, the issues of mobility of handicapped children up to 15 years and design of a new positioning part. The design is elaborated in cooperation with a private company, such as the sponsor of the submitted work 1TO1DESIGN s.r.o. with the form of own design solution using 3D CAD software.



Obsah:

1. ÚVOD	8
2. CÍLE PRÁCE.....	8
3. INVALIDNÍ VOZÍK	8
3.1. HISTORIE.....	9
3.2. ROZDĚLENÍ VOZÍKŮ	9
3.2.1. MECHANICKÉ INVALIDNÍ VOZÍKY	10
3.2.2. ELEKTRICKÉ INVALIDNÍ VOZÍKY	13
3.2.3. DĚTSKÉ INVALIDNÍ VOZÍKY	15
4. KOMERČNĚ DOSTUPNÉ POLOHOVACÍ VOZÍKY PRO POSTIŽENÉ DĚTI	15
4.1. SEDACÍ SYSTÉM MYGO	15
4.2. ZIPPIE RS	16
4.3. PLUTON	17
4.4. PANDA R82	18
5. UŽIVATELE INVALIDNÍCH VOZÍKU	19
5.1. TĚLESNÉ POSTIŽENÍ	20
5.2. DĚTSKÁ MOZKOVÁ OBRNA.....	20
5.3. SPINA BIFIDA	20
5.4. AMPUTACE KONČETIN	20
5.5. PLEGIE	20
6. POLOHOVÁNÍ.....	21
6.1. ZÁKLADNÍ POKYNY PRO POLOHOVÁNÍ	21
6.1.1. POLOHOVÁNÍ PÁNVE	21
6.1.2. POLOHOVÁNÍ TRUPU A HLAVY	23
6.1.3. POLOHOVÁNÍ DOLNÍCH KONČETIN A CHODIDEL	24
7. DĚTSKÁ ANTROPOMETRIE A TECHNICKÉ PARAMETRY VOZÍKU	25
7.1. DŮLEŽITÉ BODY PRO VÝBĚR TECHNICKÝCH PARAMETRU VOZÍKU.....	26
7.1.1. ŠÍŘKA SEDACÍ ČÁSTÍ	26



7.1.2.	HLOUBKA SEDÁKU.....	26
7.1.3.	VÝŠKA ZÁDOVÉ OPERKY.....	26
7.1.4.	DÉLKA PODPĚREK NOHOU	26
7.2.	NÁVRHOVÉ ROZMĚRY POLOHOVACÍ ČÁSTI	26
8.	<u>ERGONOMIE A POLOHOVANÍ DÍTĚTE VE VOZÍKU</u>	27
8.1.	ERGONOMICKÉ POŽADAVKY	27
8.2.	DŮLEŽITÉ POLOHY DÍTĚTE VE VOZÍKU	29
9.	<u>VLASTNÍ KONCEPČNÍ NÁVRH INVALIDNÍHO VOZÍKU PRO POSTIŽENÉ DĚTÍ</u>	30
9.1.	KONCEPČNÍ CAD NÁVRH	30
9.2.	ZÁKLADNÍ ROZMĚRY	33
9.3.	HMOTNOST	34
9.4.	KONSTRUKČNÍ MATERIÁL.....	34
9.5.	PROTOTYPOVÁ VÝROBA VOZÍKU	35
10.	<u>ANALYTICKÉ VÝPOČTY</u>	38
10.1.	OPĚRKA ZAD	39
10.2.	OPĚRKA NOHOU.....	43
10.3.	SEDÁK NA NOSNÉM RAMENI.....	46
10.4.	VÝSLEDNÉ REAKCE	48
10.5.	KONTROLA SVARŮ	49
10.6.	KONTROLA ČEPU	53
11.	<u>ANALÝZA MKP.....</u>	55
11.1.	ANALÝZA 1	55
11.1.1.	PRŮBĚH NAPĚTÍ.....	55
11.1.2.	DEFORMACE SEDACÍ ČÁSTI.....	59
11.2.	ANALÝZA 2	61
11.2.1.	PRŮBĚH NAPĚTÍ.....	61
11.2.2.	DEFORMACE SEDACÍ ČÁSTI.....	64
11.3.	VYHODNOCENÍ ANALÝZ	65
12.	<u>ZÁVĚR.....</u>	65
13.	<u>ZDROJE :</u>	66



Seznam použitých symbolů

A	[%]	- tažnost
a	[mm]	- tloušťka svaru
a_v	[mm]	- šířka vidlice
b	[mm]	- šířka úchytu plynové vzpěry
d	[mm]	- průměr čepu
E	[MPa]	- modul pružnosti v tahu
F₁	[N]	- síla působící na sedák v rámci MKP analýzy
F₂	[N]	- síla v plynové vzpěře v rámci MKP analýzy
F_N	[N]	- síla působící na opěrku nohou
F_o	[N]	- síla působící na opěrku zad
F_S	[N]	- síla působící na sedák
g	[m.s ⁻²]	- gravitační zrychlení
h	[mm]	- délka svaru
k_w	[-]	- koeficient bezpečnosti
L_č	[mm]	- délka čepu
m	[kg]	- hmotnost
M_{omax}	[N.mm]	- maximální moment
R_A	[N]	- výsledná síla v bodě uchycení madla
R_A	[N]	- rovnoběžná složka síly pro výpočet svarů
R_{A⊥}	[N]	- kolmá složka síly pro výpočet svarů
R_B	[N]	- výsledná síla v bodě uchycení opěrky zad a sedáku
R_D	[N]	- výsledná síla v bodě uchycení plynové vzpěry
R_E	[N]	- výsledná síla v bodě uchycení na základní rám
R_G	[N]	- výsledná síla v bodě uchycení opěrky nohou
R_H	[N]	- síla působící v opěrce hlavy
R_m	[MPa]	- mez pevnosti v tahu
R_{p0,2}	[Mpa]	- smluvní mez kluzu
R_V	[N]	- síla působící v plynové vzpěře v opěrce nohou
s	[mm]	- plocha
α	[°]	- úhel naklonění plynové vzpěry
α	[-]	- rovnoběžný převodní součinitel
α_⊥	[-]	- kolmý převodní součinitel
β	[°]	- úhel naklonění opěrky hlavy
δ	[°]	- úhel mezi plynovou vzpěrou a opěrkou zad
δ_D	[N.mm ⁻²]	- dovolené napětí
ρ	[g.cm ⁻³]	- hustota



ω	[°]	- úhel opěrky nohou
τ_{DS}	[N.mm ⁻²]	- dovolené napětí ve smyku
τ_{OL}	[N.mm ⁻²]	- napětí v ohybu v rámci výpočtů svarů
τ_S	[N.mm ⁻²]	- napětí ve smyku
τ_{SI}	[N.mm ⁻²]	- napětí ve smyku v rámci výpočtů svarů
τ_{TL}	[N.mm ⁻²]	- napětí v tahu v rámci výpočtů svarů
τ_V	[N.mm ⁻²]	- pevnostní podmínka
2D		- dvoudimenzionální
3D		- trojdimenzionální
CAD		- počítačem podporované kreslení
CNS		- centrální nervový systém
DK		- dolní končetiny
DMO		- dětská mozková obrna
FEM		- Finite Element Method
MKP		- metoda konečných prvků



1. Úvod

Od útlého dětství jsme zvyklí postupně překonávat různé bariéry, překážky a postupně jít kupředu krok za krokem na cestě ve svém fyzickém rozvoji. Avšak realita pro některé jedince není tak příjemná. Někteří jedinci jsou postiženi fyzicky od dětství.

Pro většinu z dětí postižení přináší problémy s motorikou, kvůli tomu velká část z nich zůstane odkázaná na invalidní vozík. Rovněž výchova a vzdělávání dětí s mentálním postižením je celoživotní proces. Naučit se žít s takovým handicapem pro malé dítě a jeho rodinu není snadný úkol a všichni musí čelit fyzickým a psychickým bariérám. K tomu pomáhají různé druhy speciálních zdravotních pomůcek a invalidních vozíků jak pro mladé, tak i pro dospělé.

V České republice není znám přesný počet rodin, které pečují o člena své rodiny se zdravotním postižením. Částečný přehled o tom, kolika rodin se tato situace týká, můžeme získat analýzou nejběžnějšího příspěvku, který je v těchto situacích vyplácen. Jde o příspěvek na péči podle zákona o sociálních službách. Podle výsledku Českého statistického úřadu v ČR žije přibližně 1 015 548 zdravotně postižených lidí, což celkově tvoří jejich podíl 9,81 % populace. Z toho 292 000 tvoří lidé s mentálním postižením, přičemž 46 208 jsou děti do 18 let. Částečný přehled o tom, kolika rodin se tato situace týká, můžeme získat analýzou příspěvku na péči. [1]

	Počet osob	Do 18 let	19 až 64 let	64 až 75	75 let +
Celkem	292 000	7,4 %	24,3 %	11,7 %	56,6 %

Tab. 1: Příjemci příspěvku na péči dle věku [1]

2. Cíle práce

V teoretické části se seznámit s problematikou invalidních vozíků pro děti, z historie jejich vzniku, provést analýzu trhu a seznámit se zásadami polohování.

Na základě informací získaných v teoretické části provést vlastní návrh formou 3D modelu v CAD softwaru včetně všech potřebných výpočtů.

V rámci teoretické části práce vypracovat rešerši na trhu dostupných invalidních vozíků s asistovaným pohonem se zaměřením na jejich konstrukční provedení.

V konstrukční části práce předložte vlastní návrh řešení zpracovaný tak, aby jeho uplatnění na vybraný typ invalidního vozíku vyžadovalo žádné, nebo jen minimální zásahy do jeho konstrukce. Práce může být doplněna o nezbytné experimenty pro nalezení východisek pro provedení konstrukčních návrhů. Výstupem praktické části práce bude 3D model a základní 2D dokumentace představeného konstrukčního návrhu.

3. Invalidní vozík

Invalidní vozík je pomůcka, která osobám s pohybovým postižením umožňuje být stále mobilní. Invalidní vozíky představují různě vybavená a technicky provedená kolečková křesla. Hlavním úkolem je zvýšit komfort péče a zlepšit soběstačnost samotných nemocných. Občas



slouží k jednorázovému přesunu pro postižené osoby, ale většinou jsou určena pro celodenní užívání.

3.1. Historie

Historii invalidního vozíku zmapovala Bonita Sawatsky, z ortopedické kliniky při dětské nemocnici ve Vancouveru v Kanadě. Ve své přednášce uvádí, že první záznam o předchůdci kolečkového křesla (kombinace kol a nábytku) pochází z roku 530 př. n. l. Jedná se o malbu na váze z Řecka, kde je vyobrazena dětská dřevěná postel na kolečkách. Autorka dále uvádí, že se ještě nejedná o typickou podobu dnešního invalidního vozíku, ale je to zřejmě prvotní důkaz o tom, že lidé o postižené osoby pečovali. Nejstarší doklady o kolečkové židli, která se značně podobá současnému vzhledu, jsou z roku 525 n. l. Nález pochází z čínského sarkofágu, na kterém je vyryt obraz s vozíčkem. Další vynález, který přepravoval postižené k tzv. „Fontáně mládí“, pochází také z Číny z třetího století n. l. V římské a řecké kultuře chodili lidé s těhotnými ženami a postiženými na procházky v nosítkách nebo je vozili na židli, která měla kolečka. Tyto historické prameny vypovídají o snaze integrovat postiženou menšinu do většinové společnosti. [17]

První vozíček, který mohl řídit i sám postižený, sestrojil v roce 1655 německý hodinář Stephen Farfler. Byl to paraplegik, který měl zdravé ruce, ale ochrnuté nohy po úraze z dětství. Do 19. století byly vynalezeny různé modifikace invalidního vozíku. [2]

V 18. století dochází k postupnému vylepšování invalidních vozíků. Vývoj se zaměřuje na vzhled vozíků a taky na pohodlí postižené osoby. Jsou vybaveny sklopnou zádovou opěrkou a nastavitelnými podnožkami pro nohy. [2]

První oficiálně vytvořený vozík vznikl až roku 1923, za jehož návrhem stojí dva mechaničtí inženýři Harry Jennings a Herbert Everest, kteří byli postiženi v důsledku poranění páteře, při důlní nehodě. Oba věnovali svůj život výrobě a zlepšení invalidních vozíků. Jejich základní konstrukce ve tvaru X se používá i dnes, pouze za použití nových materiálů a s použitím moderních modifikací. [2]

V průběhu 21. století postupuje vývoj dále, a kromě interiérových a exteriérových provedení se objevují i invalidní vozíky určené pro sport. [2]

3.2. Rozdělení vozíků

Zprv je dobře si ujasnit, jaké typy a funkce mohou plnit moderní vozíky v dnešní době.

Z hlediska pohonné jednotky se vozíky dělí na:

- mechanické vozíky
- elektrické vozíky



3.2.1. Mechanické invalidní vozíky

Tyto vozíky jsou uváděny do pohybu buď manuální silou samotného uživatele, nebo jsou tlačeny druhou osobou. Vozík je tvořen většinou jednoduchou trubkovou konstrukcí, na které jsou uchyceny veškeré potřebné komponenty, jako kola, sedák, opěradlo, podnožky či područky a další příslušenství. Konstrukce vozíku bývá řešena tak, aby mohl být snadno složen a při převozu či skladování zabíral co nejméně místa. Zadní kola jsou větší v porovnání s předními a jsou uchycena na rámu letmo. Přední kolečka jsou uložena ve vidlicích, které jsou otočné kolem své osy o 360°, to zajišťuje vozíku jeho snadnou ovladatelnost a manévrování. [2, 4]



Obr. 3.2.1-1: Základní části mechanického vozíku [5]

3.2.1.1. Typy mechanických vozíků

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

Standartní mechanické vozíky

Tyto vozíky jsou určeny lidem, kteří je nevyužívají celý den, ale pouze na cesty ke svému přesunutí. Mají jednodušší konstrukci, bez možnosti nastavování, proto nejsou příliš komfortní. Zadní kola jsou vybavena obručemi, pomocí nichž uživatel uvádí vozík do pohybu. Disponují poměrně nízkou cenou a vyšší hmotností. [4]



Obr. 3.2.1.1-1: Standartní mechanický vozík [6]

Transportní mechanické vozíky

Tento typ vozíku je využíván především v nemocnicích, či léčebnách pouze k převozu pacientů. Zadní kola jsou menší než u běžných vozíků, proto tento typ vozíku nemůže pacient pohánět sám, ale je tlačěn další osobou. [4]



Obr. 3.2.1.1-2: Transportní mechanický vozík [6]

Aktivní mechanické vozíky

Tyto vozíky jsou určeny lidem, kteří vedou aktivní způsob života, tráví na vozíčku podstatnou část dne a jsou schopni se na něm pohybovat sami bez doprovodu. Je zde kladen velký důraz na pohodlí uživatele, proto musí být v podstatě vyráběny na míru. Vozíky tohoto typu disponují nízkou hmotností, což se spolu s výše zmíněnými požadavky podepisuje na celkové ceně. [4]



Obr. 3.2.1.1-3: Aktivní mechanický vozík [6]

Polohovací mechanické vozíky

Konstrukčně složitější variantou jsou variabilní a komfortní mechanické vozíky se speciálními potřebami. Svým provedením a variabilitou zajistí správné a pohodlné sezení. Sedák a opěra zad jsou anatomicky tvarované. U tohoto typu vozíku se pro obsluhu většinou počítá s asistencí další osoby.



Obr. 3.2.1.1-4: Polohovací vozík SPRING Comfort [6]



3.2.2. Elektrické invalidní vozíky

Jsou vozíky s vlastním pohonem ovládané samotným uživatelem pomocí joysticku. Jsou určeny pro pacienty s těžkým postižením, kteří jsou však schopni fyzicky i mentálně vozík řídit. [4, 9]



Obr. 3.2.2-1: Základní části elektrického vozíku [8]

Konstrukčně lze vozík rozdělit na mechanickou a elektrickou část. Do mechanické části můžeme zařadit nosný rám, sedadlo, kola a veškeré prvky na něm zavěšené. Elektrická část je v podstatě systém starající se o pohon vozíku a může být rozdělen do 3 základních skupin: řídicí systém (controller), baterie, pohonná jednotka (motor). [4]

3.2.2.1. Typy elektrických vozíků

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

Interiérové vozíky

Interiérové vozíky jsou obvykle menších velikostí z důvodu snazšího manévrování v bytě nebo v jiných prostorech. Motory nejsou příliš výkonné a baterie nemají dostatečnou kapacitu, tím pádem je jejich dojezd značně omezen. Základní konstrukce těchto vozíků je jednoduchá, podvozek nebývá vybaven odpružením kol. I přesto, že se nazývají interiérové vozíky, jsou schopny zvládat pohyb venku po zpevněných površích, ale nedoporučuje se použití v místech s převýšením terénu s kopci apod. [9]



Obr. 3.2.2.1-1: Interiérový elektrický vozík Escape [11]

Exteriérové vozíky

Exteriérové vozíky disponují robustnějšími rozměry, vyšší nosností a schopností vypořádat se s terénními nerovnostmi. K tomu jim slouží odpružený podvozek, jenž absorbuje rázy a zachovává pohodlí uživatele. Vozík se používá nejenom během dne, proto je vybaven i světly. Jsou používány v prostředí a místech tam, kde by měl invalida na mechanickém vozíku problém s překonáním výraznějších stoupaní a v celkově kopcovitém terénu. Exteriérové vozíky jsou běžně používaným typem elektrických vozíků. [9]



Obr. 3.2.2.1-2: Exteriérový elektrický vozík Permobil F3 [11]



3.2.3. Dětské invalidní vozíky

Dětské invalidní vozíky patří do samostatné kategorie. Většinou se vyrábí podle váhy a výšky dětí. Nejmenší šířka sedu začíná od 25 cm. Je jich velké množství na trhu, moderní a odlehčené tvary vozíků se stávají nezbytnou a důležitou pomůckou, díky které může dojít k aktivnímu zapojení dítěte do běžných činností. Děti raného věku s tělesným postižením využívají pro přepravu speciální kočárky nebo se jim říká zdravotnické nebo rehabilitační kočárky. Používají se do doby, kdy se dítě začne samostatně pohybovat pomocí vozíku (cca do 10 let). Také můžeme tuto kategorie rozdělit na interiérové a exteriérové vozíky. Tato bakalářská práce je zaměřena na polohovací části interiérových vozíků se zaměřením na kombinované polohování sedáčky.



Obr. 3.2.3-1: Dětský invalidní vozík MyGo Leckey [14]

4. Komerčně dostupné polohovací vozíky pro postižené děti

V následující kapitole bude provedena analýza invalidních vozíků dostupných na současném trhu. Technické údaje jednotlivých vozíků budou uvedené v tabulkách.

4.1. Sedací systém Mygo

Distributor v ČR: Ottobock s.r.o

Svémi mnohými možnostmi nastavení podporuje Mygo fyziologické držení těla dítěte. Polohování nohou i podpora pánve se mohou individuálně přizpůsobit potřebám dítěte s optimálním polohováním v sedačce. [18]



Obr. 4.1-1: Dětský invalidní vozík MyGo Leckey [18]

Technické údaje	Velikost
Nosnost	50 kg
Hloubka sedu	27-42 cm
Výška sedu	36-47 cm
Šířka sedu	20-32,5 cm
Náklon sedu	-10° až +25
Váha vozíku	Od 14 kg

Tab. 4.1-1: Technické údaje invalidního vozíku MyGo Leckey [18]

4.2. Zippie RS

Distributor v ČR: MEDICCO

Zippie RS s plynulou rotací v prostoru umožňuje klientům se sníženou schopností pohybu okamžité snížení tlaku na pánev, zajištění lepší respirace a zlepšení orientace v prostoru. Nastavitelná zádová opěrka je vhodná pro děti, které vyžadují větší rozsah nastavení pozice sedu. [19]



Obr. 4.2-1: Dětský invalidní vozík Zippie RS [19]

Technické údaje	Velikost
Nosnost	125 kg
Hloubka sedu	37,5-45 cm
Výška sedu	43-52 cm
Šířka sedu	30-40 cm
Náklon sedu	-5° až +25 nebo 0° až +30°
Váha vozíku	Od 18 kg

Tab. 4.2-1: Technické údaje invalidního vozíku Zippie RS [19]

4.3. PLUTON

Distributor v ČR: MEDICCO

Sedací systém Pluton nabízí v současné době nejucelenější modulární systém na trhu. Odnímatelná zádová opěrka, odnímatelná stupátka a další funkce umožňují neobyčejně jednoduché a rychlé přizpůsobení vozíku na míru pro každého klienta. Pluton se vždy přizpůsobí všem požadavkům, od jednoduchých nastavení až po použití speciálního tlumeného nastavení. [20]



Obr. 4.3-1: Dětský invalidní vozík PLUTON [20]

Technické údaje	Velikost
Nosnost	100 kg
Hloubka sedu	15-55 cm
Výška sedu	13-51 cm
Šířka sedu	12,5-47,5 cm
Náklon sedu	-15° až +25
Váha vozíku	Od 15 kg

Obr. 4.2-1: Dětský invalidní vozík PLUTON [20]

4.4. PANDA R82

Distributor v ČR: REHA

Bod rotace (sklápění opěrky zad) je blízko osy kyčlí, což znamená, že tato opěrka udržuje správnou polohu dítěte a minimalizuje riziko sklouznutí. Panda je opatřena unikátní dynamickou opěrkou zad, která absorbuje energii z pohybu dítěte a opět se vrací do původní polohy, aniž by se významně měnila poloha pánve. jednotlivé velikosti se překrývají, což znamená, že nejmenší velikost dává společně s četnými možnostmi individuálního nastavení vždy nejvíce prostoru pro růst. [21]



Obr. 4.4-1: Dětský invalidní vozík PANDA R82 [21]

Technické údaje	Velikost
Nosnost	80 kg
Hloubka sedu	16-53 cm
Výška sedu	27-68 cm
Šířka sedu	16-46 cm
Náklon sedu	-5° až +30
Váha vozíku	Od 15 kg

Obr. 4.4-1: Dětský invalidní vozík PANDA R82 [21]

Podle analýzy invalidních vozíků dostupných na současném trhu je patrně vidět, že každý zkoumaný vozík má téměř stejné technické údaje. Výrobce se vždy snaží udělat několik velikostí, aby jejich vozík vyhovoval jak dospělým, tak i dětem.

Vypracovaná řešerše potvrzuje, že dosud není na trhu ideální produkt, který by řešil komplexně problémy polohování. Především chybí kombinace mobility a dostatečného polohování.

5. Uživatelé invalidních vozíku

Již jsou sice po technické stránce popsány části a typy vozíků, to nejdůležitější, ale stále chybí, a tím je specifikace jednotlivých uživatelů vozíků. V našem případě se jedná o kombinovaně postižené děti. Při navrhování vozíků je nutné zaměřit se právě na jejich uživatele a zjistit, na které části si dát pozor. Dalo by se říci, že každý uživatel je specifický a potřebuje možnosti, jak si vozík přizpůsobit. Někdo, kdo přišel o pohyblivost následkem úrazu a do té doby neměl žádné zdravotní problémy bude mít jistě jiné nároky než někdo, kdo byl připraven o možnost pohybu již od narození.

Jedním z prostředků pro zajištění samostatné, nebo aspoň částečné samostatné mobility, jsou invalidní vozíky, které nabízí postiženým možnost zúčastnit se různých aktivit, a tím pádem zlepšit jak zdraví, tak i kvalitu života.



5.1. Tělesné postižení

Tělesné postižení neboli handicap jednak omezuje pohyb a je pro ostatní lidi nevzhledný. Tělesné postižení znamená pro jedince řadu obtíží, a to problémy v sebeobsluze, v dopravě, v místnostech, v partnerském životě. Imobilita (nehybnost, neschopnost pohybu, nepohyblivost) komplikuje běžný život a často se projevuje v porušení funkce ve vztahu jedince a společnosti. Důsledky tělesného postižení se projevují nejen v narušení hybnosti a pohybu, ale i v komunikaci, sebeobsluze a dalších motorických činnostech.

První skupinou postižení jsou postižení dědičná, také nazývaná jako postižení vrozená. Tato postižení vznikají už během těhotenství.

Druhou skupinou jsou postižené získané během života, například kvůli amputaci, dystrofii, dětské mozkové obrně, nebo kvůli poranění pohybového ústrojí následkem nehody. [13]

5.2. 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 ztuhle a stažené. [13]

5.3. Spina bifida

Spina bifida neboli rozštěp páteře je vrozená vada charakterizovaná defektem páteře ve střední čáře, který má za následek prolaps obsahu páteřního kanálu. Tento defekt může být lokalizován dorzálně nebo ventrálně. Vada je klasifikovaná dvěma stupni – spina bifida occulta (česky někdy označovaná též jako krytá) a cystica (česky někdy označovaná též jako nekrytá). Kryté defekty mohou být asymptomatické nebo s lokálním nálezem hypertrichózy či hyperpigmentace. U nekrytých defektů rozlišujeme spinu bifidu s meningokélou, meningomyelokélou a meningokélou s myeloschizou. Prognóza těchto vrozených vad je jak z hlediska mortality, tak i morbidity velmi závažná. [13]

5.4. Amputace končetin

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. K amputaci končetiny dochází v nejzazším případě, kdy při léčbě neexistuje jiná možnost. Amputace může být následek autonehody, úrazu či nemoci. [13]

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

5.5. Plegie

Plegie, latinsky plegia, je volně překládáno jako ochrnutí. Ochrnutí mají mnoho podob, označují se podle toho, jakou část těla postihly. Postižení se může týkat jedné až



všech končetin. Podle tohoto se postižení nazývají monoplegici (postižená jedna končetina), hemiplegici (postižená levá nebo pravá strana těla), paraplegici (postižená horní nebo dolní polovina těla) a kvadruplegici (postižené jsou všechny čtyři končetiny). Nižším stupněm ochrnutí je pareza, kdy zůstávají alespoň některá nervová spojení funkční. [13]

6. Polohování

Cílem polohování je prevence zdravotních komplikací, podpora dalšího psychomotorického vývoje a odstranění patologických pohybových vzorců. Imobilní dítě s těžkým postižením by nemělo setrvávat v jedné poloze déle než půl hodiny. [3]

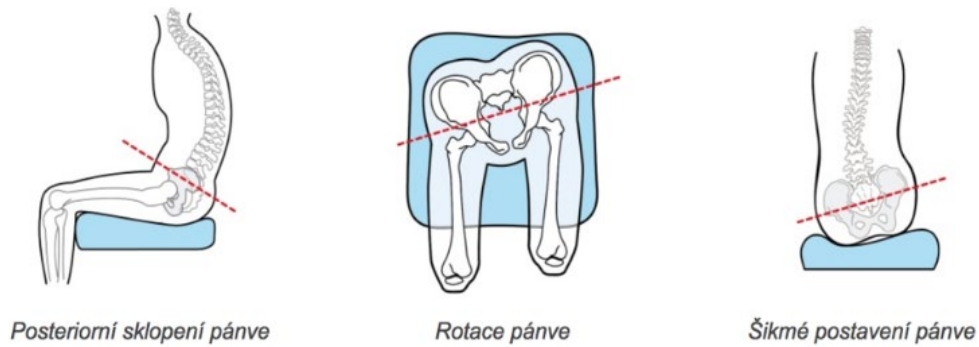
Pohodlí dítěte snižuje psychickou zátěž, a tím zlepšuje i obranyschopnost organismu. Pravidelnými změnami polohy žáka se blokuje nadměrné působení tlaku na tlakové body a zajišťuje se tak okysličování a prokrvování tkání. Proto je nutné nepolohovat žáky do pozic, které mohou být pro něho nepříjemné nebo i bolestivé. Při pokládání nebo polohování dbáme na to, aby dítě nezůstávalo v nepřírozené poloze jako je např. zalehnutá ruka pod tělem, prohnutá záda, překřížené nohy, apod. Polohy neměníme pouze ze zad na boky a naopak, ale za pomoci vhodných pomůcek využíváme podkládání částí těla např. polštářem, molitanovými válci, gelovými podložkami, srolovaným prostěradlem, ručníky, atd. Velmi vhodné jsou polohy šikmé, protože působení tlaku více rozkládají. [3]

6.1. Základní pokyny pro polohování

Některé polohy těla mohou zvyšovat svalový tonus, zatímco jiné jej mohou převážně snižovat. Obvykle se používají polohy preventivní, které mohou zabraňovat vzniku kontraktur, deformit a proleženin. Hledají se polohy, které podporují plicní ventilaci, stimulují oběhový systém a současně slouží jako podpora dosažené úrovně hybnosti. [3]

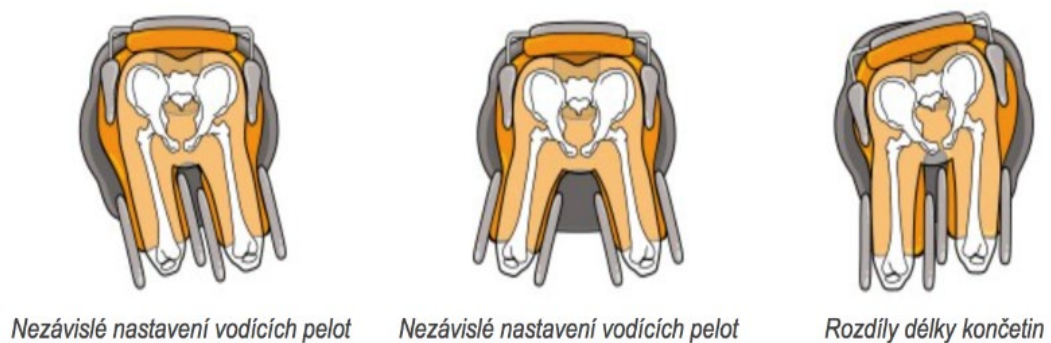
6.1.1. Polohování pánve

Správné polohování pánve, resp. schopnost zajistit stabilitu pánve je nejdůležitější vlastností každého polohovacího systému. Musí vytvořit vhodnou základnu pro správné vyrovnaní polohy trupu, hlavy a pro funkci dolních končetin, a to při jejím sklopení, rotaci nebo případně šikmém postavení.



Obr. 6.1.1-1: Správné polohování pánve [3]

Nastavitelná křížová pelota musí zajišťovat pánev v optimálním neutrálním postavení. Vodicí kyčelní peloty zajišťují vnější oporu pánve a podporují symetrické polohování, nebo se v případě asymetrie mohou dle potřeby posunout mimo osu.



Obr. 6.1.1-2: Správné nastavení vodicích pelot [3]

Pohodlný sedák umožňuje měkké uložení hrbolů kosti sedací, čímž pomáhá zabránit jejich vychylování dopředu a zároveň je odlehčuje. Flexibilní sakrální podpora pomáhá při korekci pánevního náklonu.



Obr. 6.1.1-3: Flexibilní sakrální podpora [3]

6.1.2. Polohování trupu a hlavy

Další důležitou vlastností každého polohovacího systému je schopnost zajistit oporu trupu a hlavy. Pánev je tak stabilnější, podporuje to funkci horních končetin a dítěti to pomáhá v soustředění i v komunikaci.

Peloty hlavy a trupu je možné individuálně upravit tak, aby vyhovovaly stavu a potřebám dítěte. Například flexibilní skoliózu je možné řídit pomocí laterálních pelot a pánevními popruhy tak, aby se docílilo tříbodového upevnění trupu. Pro případ nutnosti dodatečné opory hrudníku musí mít polohovací systém trupové pásy a polstrovanou hrudní pelotu.



Obr. 6.1.2-1: Pomůcky pro správné polohování trupu [3]

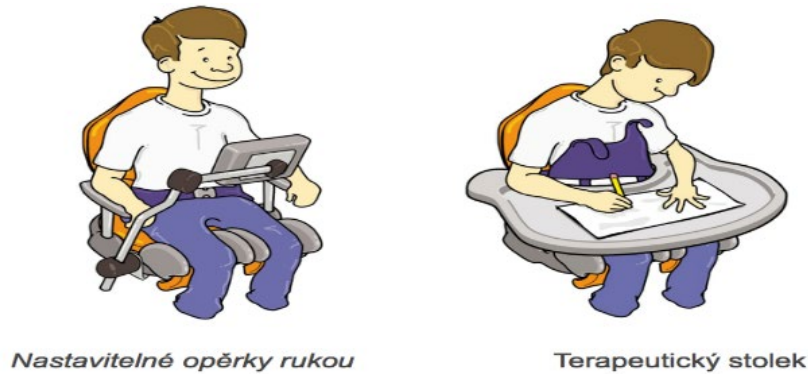
Osové vyrovnání hlavy by mělo být zajištěno vyrovnáním trupu a stabilitou pánve, nicméně pokud je potřeba, může se přidat opěrka hlavy. Pokud přidáme konturovanou ramenní část, nejen že se prodlouží výška zádové opěry pro další růst, ale také se rozšíří ramenní část pro lepší vyrovnání trupu a je podporována funkce horních končetin a stabilita krku a hlavy.



Obr. 6.1.2-2: Pomůcky pro správné polohování hlavy [3]

Všechny výškově stavitelné podvozky mají funkci náklonu, a mohou tak napomoci dalšímu vyrovnávání trupu, ramen a hlavy, nebo mohou změnou polohy snížit tlak na určité části těla pro

pohodlné sezení. Ke hraní, stolování nebo práci ve škole slouží vypořstovaný terapeutický stolec. Pro oporu rukou slouží výškově stavitelné opěrky.



Obr. 6.1.2-3: Další příslušenství pro správné sezení [3]

6.1.3. Polohování dolních končetin a chodidel

Polohovací systémy musejí také zajistit oporu dolních končetin a chodidel, což hraje důležitou roli při udržování stability pánve, a tudíž i vyrovnání trupu a hlavy. Často se zapomíná, že u dětí a uživatelů s omezenou hybností bývají svaly na zadní straně stehen ve zvýšeném napětí a mohou tak narušovat stabilitu pánve. Dolní končetiny představují až 19 % tělesné hmotnosti a zůstanou-li bez opory, mohou zvýšené tlaky způsobit problémy se stabilitou pánve.

Bércové peloty (nad kotníkem) sledují stehenní peloty (v oblasti kolen a stehen) při posouvání do addukce (přinožení) nebo abdukce (unožení) a zároveň zajišťují, aby podnožky zůstávaly v poloze pod koleny. Odlehčení lýtek můžeme docílit tak, že podnožky polohujeme více dozadu. Tím zabráníme tažení pánve do naklopení dozadu, které by negativně ovlivňovalo polohu trupu a hlavy.



Obr. 6.1.3-1: Správné polohování dolních končetin [3]



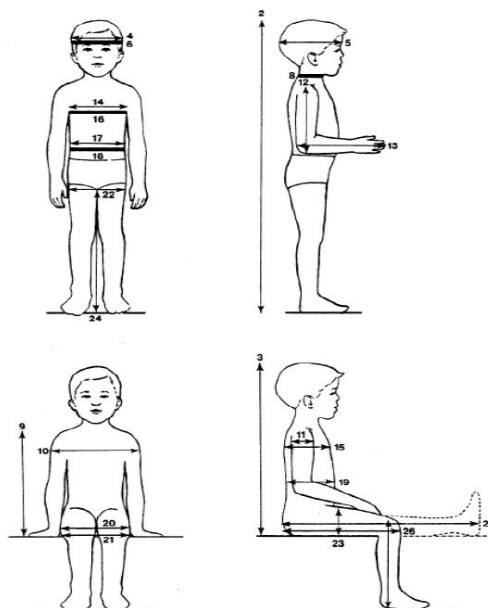
Podnožky můžeme také seřadit do plantární nebo dorsální flexe (tj. propnutí nebo přitažení špičky nohy) a pomocí buď sandálků nebo kotníkové objímky je možné zachytit rotaci chodidla. Jsou-li dolní končetiny i chodidla správně polohovány a zároveň je zajištěna stabilní poloha pánve, lze snáze udržet vyrovnání trupu a hlavy, protože hmotnost těla je na ploše sedu rozložena rovnoměrně.



Obr. 6.1.3-2: Plantární a dorsální flexe (vlevo) a vytočení podnožky vně a dovnitř (vpravo) [3]

7. Dětská antropometrie a technické parametry vozíku

Při navrhování polohovací částí vozíku je potřeba dbát na antropometrii dětského těla. Pro přípravu prototypu sedáčky byly brány v úvahu nejvíce důležité parametry dítěte, a to jsou váha a věk. Návrh byl proveden dle průměrných hodnot získaných z dostupných zdrojů dle obr. 7-1



Obr. 7-1: Dětská antropometrie



7.1. Důležité body pro výběr technických parametru vozíku

Když je známo, jací uživatelé vozíky užívají a jaké mají problémy i potřeby, je nutné se zaměřit na rozměry určitých částí vozíku.

7.1.1. Šířka sedací části

Váha dítěte by se měla rozložit na co největší plochu. Při volbě šířky sedáčky se musí brát v úvahu i případná změna hmotnosti uživatele a dostupnost manipulačních prvků v okolním prostředí.

7.1.2. Hloubka sedáku

Zásadou je rozložit váhu pacienta na celou plochu sedáčky v celé délce, pánev je ve střední poloze. Při špatném nastavení hloubky sedačky bude sedák tlačit dítě v podkolenní jamce a bude ho nutit sklouznout vpřed.

7.1.3. Výška zádové opěrky

Při návrhu opěrky musíme brát v úvahu, že čím nestabilnější trup má dítě, tím vyšší by měla být zádová opěrka vozíku. Funkcí zádové opěrky je podpořit držení trupu a hlavy. U dětí s méně stabilním trupem je potřeba zvolit zádovou opěrku s bočními podpěrami. Ta bývá vyšší, ale zajišťuje fyziologické zakřivení páteře a stabilitu celého těla. Pokud je potřeba, může být vozík vybaven i opěrkou hlavy.

7.1.4. Délka podpěrek nohou

Délka podpěrek nohou by se měla nastavit tak, aby nedošlo k přetěžování dolních končetin. Nastavením příliš krátkých opěrek nohou se zvětšuje flexe kolen a kyčelních kloubů, což zvětšuje tlak na sedací hrboly. Taky by se mělo zabránit, aby podpěrky byly nastaveny příliš dlouhé, a tím ztrácely svůj účel podpěry nohou.

Délka se volí v závislosti na délce holenní kosti. Úhel opěrek se volí podle toho, jak vyhovují danému dítěti.

7.2. Návrhové rozměry polohovací části

Na základě antropometrických rozměrů dítěte a výše popsaných požadavcích byly ve spolupráci se zadavatelem této bakalářské práce firmou 1TO1DESIGN s.r.o. vytvořeny dva návrhy polohovací části uvedené v tabulce 7.2-1.



HLÁVNÍ ROZMĚRY	ROZMĚR 1	ROZMĚR 2
Hloubka sedáku	21-30 cm	30-42 cm
Šířka sedáku	20-30 cm	28-38 cm
Výška zádové opěrky bez opěrky hlavy	43 cm	52 cm
Výška zádové opěrky s opěrkou hlavy	43-54 cm	52-63 cm
Variabilní výška sedáku s hydraulickým nastavením	25-70 cm	25-70 cm
Výška podpěrek rukou	10 -15	12-18 cm
Délka podpěrek nohou	22-32 cm	30-48 cm
Celková šířka vozíku	70 cm	85 cm
Celková délka vozíku	65 cm	75 cm
Úhel sedáku	-30° až +90°	-30° až +90°
Úhel zádové opěrky	0° až +170°	0° až +170°
Maximální nosnost	až 40 kg	až 60 kg
Hmotnost sedáku vozíku	12kg	16kg

Tab. 7.2-1: Rozměry sedačky a důležité body

8. Ergonomie a polohování dítěte ve vozíku

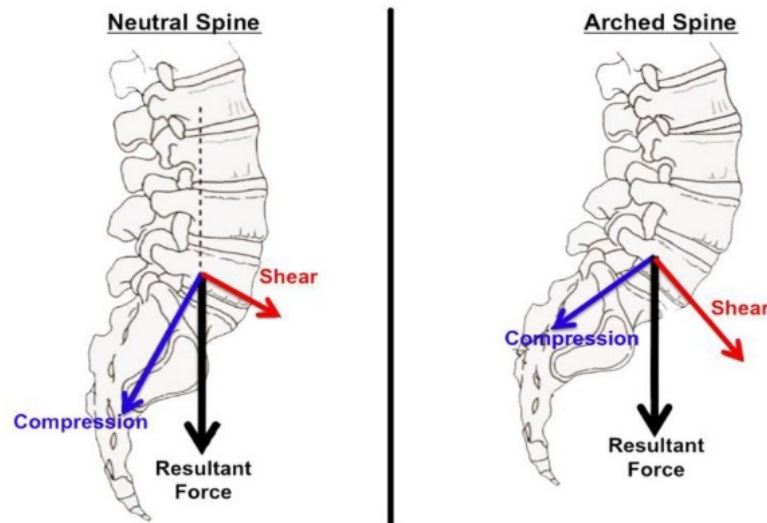
Kromě všech parametrů uvedených v kapitole 7 další velmi důležitou součástí návrhu konstrukce invalidního vozíku je ergonomie. Ergonomie vozíčkáře vyplývá z jeho antropometrie a je jedním ze základních faktorů ovlivňujících správné rozměrové a konstrukční řešení invalidního vozíku.

Je dobře si uvědomit, že dítě, které je upoutáno na invalidní vozík, zpravidla nemá možnost, nebo mu to zdravotní stav neumožňuje, opustit invalidní vozík. V důsledku přílišného sezení nebo setrvávání v určité poloze, se začnou dostávat i jiné zdravotní obtíže, buď vnějšího, nebo vnitřního rázu.

8.1. Ergonomické požadavky

Sezení je pro páteř poloha nepřírozená, vždycky způsobuje její vyšší namáhání meziobratlových plotének a také zátěž pro svaly. Tyto deformace nejen mohou být bolestivé, ale po čase také trvalé. [16]

Na obr. 8.1-1 je vidět, že při vzpřímené poloze je páteř namáhána především tlakovou složkou hmotnosti, která je dále přenášena do pánevní oblasti. Namísto toho u sedu, se tato složka zmenšuje a ke všemu se dostává do negativního směru. Také roste nežádoucí smykové zatížení, které má za následek případnou nežádoucí deformaci. [16]



Obr. 8.1-1: Sílové rozložení při sedu [16]

Polohovací část invalidního vozíku pro kombinovaně postižené děti by měla být konstruovaná tak, aby byla maximálně variabilní a bylo možné nastavovat co nejvíce parametrů a vzájemně pohybovat s jednotlivými prvky, které jsou na vozíku nainstalované, např.: úhel sklonu opěradla, výška loketních opěrek.

V rámci návrhu polohovací části se jedná o interiérový vozík, který většinu času bude používán ve vnitřních prostorech. Proto je kvalita sezení nejdůležitějším aspektem, co se návrhu týče. Na obrázku 8.1-2 je znázorněn vlastní koncept návrhu sedacího systému přimontovaného k interiérovému podvozku.



Obr. 8.1-2: Interiérový podvozek se sedacím systémem

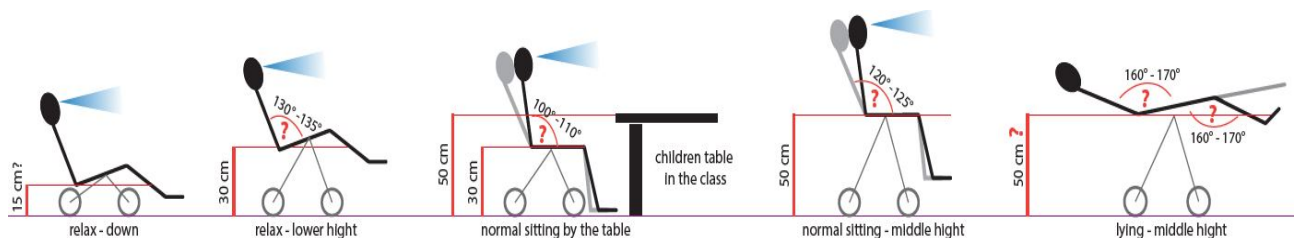
8.2. Důležité polohy dítěte ve vozíku

Polohování dítěte je posledním důležitým bodem prováděné analýzy. Cílem bylo zjistit, jaké polohy musí umět zajistit invalidní vozík a zároveň jaké polohy jsou nejvhodnější pro děti.

V rámci vypracování této práce byla možnost pozorovat chování dětí do 15 let věku s tělesným postižením, a to jakým způsobem překonávají bariery, jaké pomůcky a zařízení jim v tom pomáhají, jak jsou v tom zapojeni rodiče a asistenti.

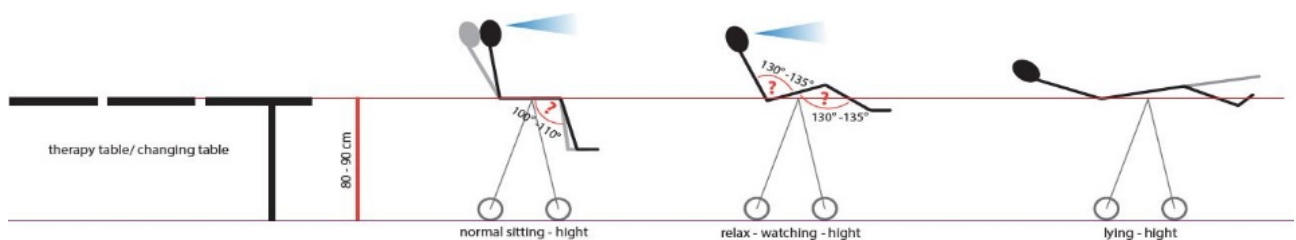
Důležitým bodem bylo chování dětí a jejich rodičů v interiéru, tzn. jak doma, tak i ve škole. Každý den se setkávají s běžnými situacemi, např. příjem stravy, transfer na záchod, převlékání, učení, apod. Je potřeba, aby se dítě při vykonávání těchto akcí cítilo pohodlně.

S využitím výstupů uvedených v kapitole 7 a výše uvedených pozorování byly určeny vhodné polohy sedu, správné úhly, výšky a náklony, které jsou vidět na obr. 8.2-1 a zároveň které budou vhodné pro snadný pohyb v interiéru.



Obr. 8.2-1: Nejpoužívanější polohy

Analýza problematiky ukázala, že je potřeba mít regulovatelnou výšku sedu. Při používání v interiéru je to velmi důležitá poloha např. když je potřeba přeložit dítě na terapeutický stůl, který se nachází vysoko, což může být pro matku nebo asistentku docela namáhavé.



Obr. 8.2-2: Polohy s regulovatelnou výškou sedu



9. Vlastní koncepční návrh invalidního vozíku pro postižené děti

V této kapitole budou nejprve zmíněny základní informace o požadovaných parametrech invalidního vozíku.

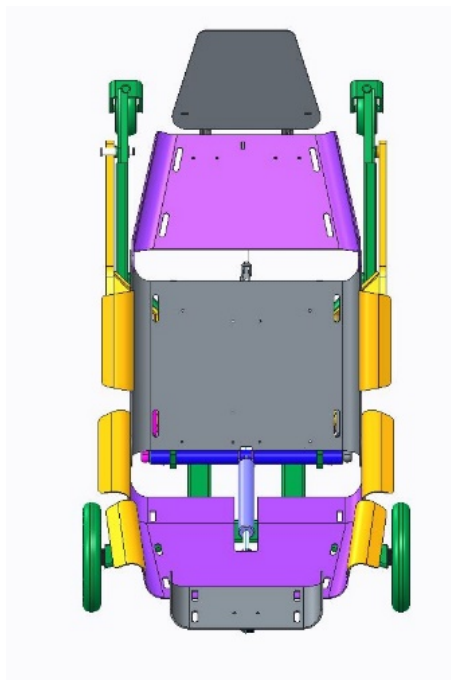
Následně budou představeny komponenty a výstupy prototypové výroby, které byly vytvořeny ve spolupráci s firmou 1TO1DESIGN s.r.o.

9.1. Koncepční CAD návrh

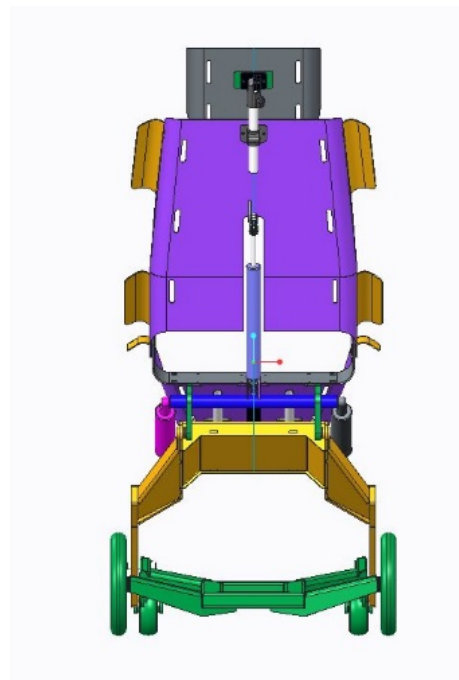
Na základě informací získaných v teoretické části této bakalářské práce byl vytvořen návrh invalidního vozíku ve 3D CAD softwaru CATIA V5.



Obr. 9.1-1: Sedací systém v základní poloze pohled z boku



Obr. 9.1-2: Sedací systém pohled ze shora

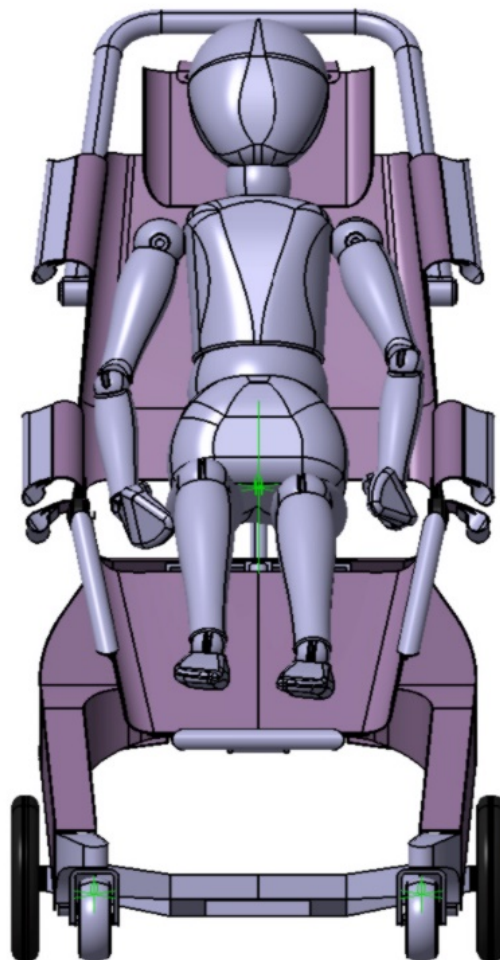


Obr. 9.1-3: Sedací systém pohled zezadu



Sedačka je konstruovaná tak, aby se snadno dalo nastavit poloha zádové opěrky, kterou fixuje pneumatický válec. Podle zkušeností je to pro rodiče nebo asistentky ve školách velmi pohodlné, protože se požadovaná poloha dá nastavit jediným stisknutím madla. Úplně stejný princip ovládaní mají i opěrky pro nohy. Sedačka může být rozdělená do tří základních celků, které se vůči sobě během polohování pohybují:

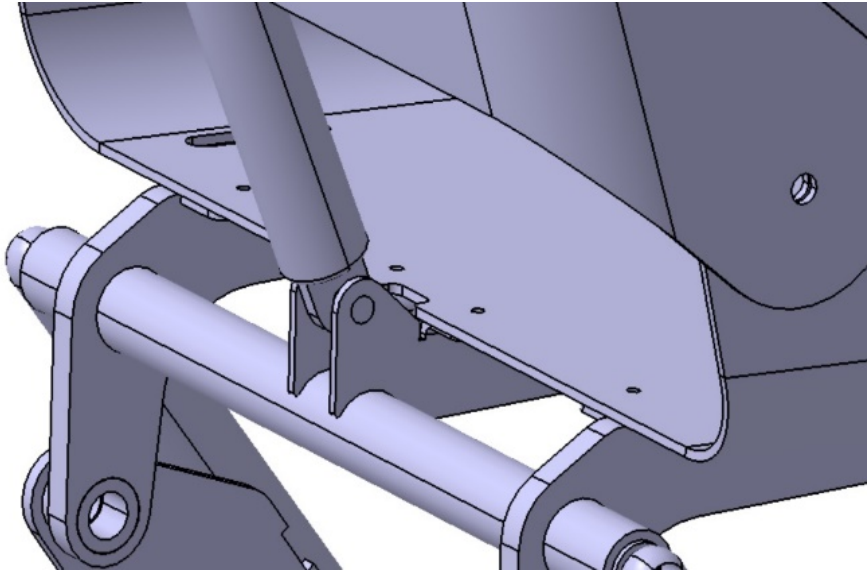
- Nožní část – opěrka nohou apod.
- Sedací části – umístění sedáku
- Opěrná část – tvoří oporu zad, uchycení loketních opěrek a opěrky hlavy



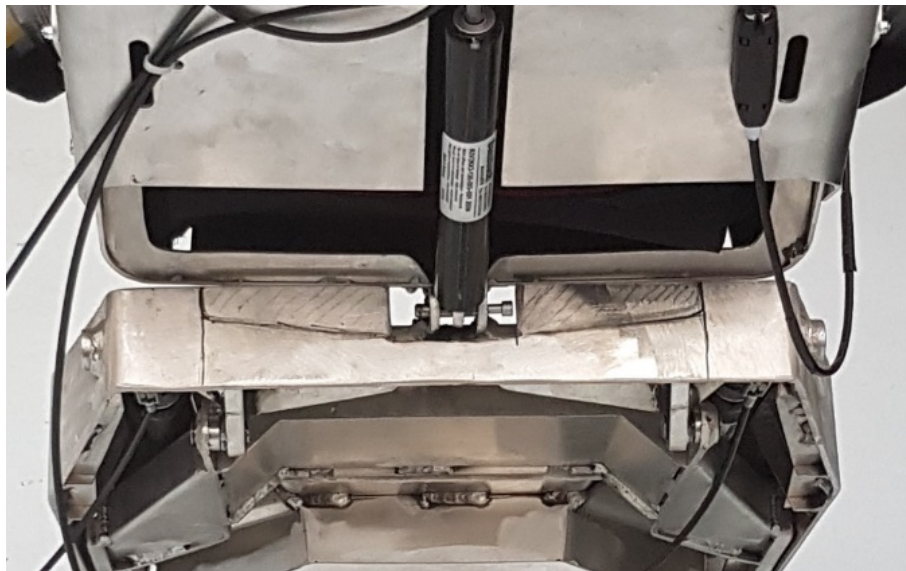
Obr. 9.1-4: Polohování dítěte ve vozíku



Jelikož se jednalo o výrobu prototypovou, uchycení sedací části k základnímu rámu bylo realizováno pomocí čepu. Pro nastavení úhlu zadní opěrky sedáku byla použita plynová vzpěra, která musí být uchycena na pevný bod. Pevný bod je vytvořen na rameni pod sedákem dvěma otvory o průměru 10 mm pro čep nebo šroub. Nosné rameno je přišroubováno přímo na základní rám.



Obr. 9.1-5: Uchycení sedačky v CAD



Obr. 9.1-6: Uchycení prototypové sedačky

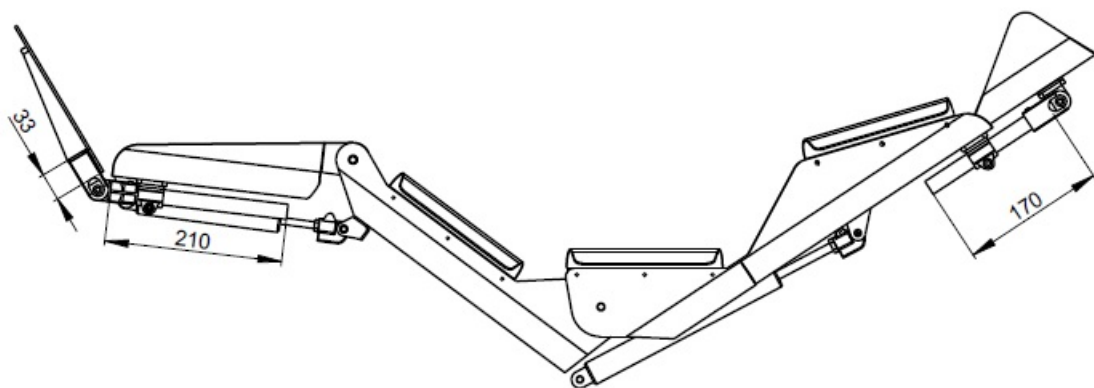
Toto zařízení by mělo vyřešit problémy nejen ve školách, ale také v domácnostech se stejnými potřebami, a usnadnit tak život mnoha asistentům a rodičům. Dalším cílem je také zvednout úroveň designu v této oblasti, a proniknout tak do dalšího, pro nás důležitého odvětví. Na obr. 9.1-4 je představen konceptní design navrženého invalidního vozíku.



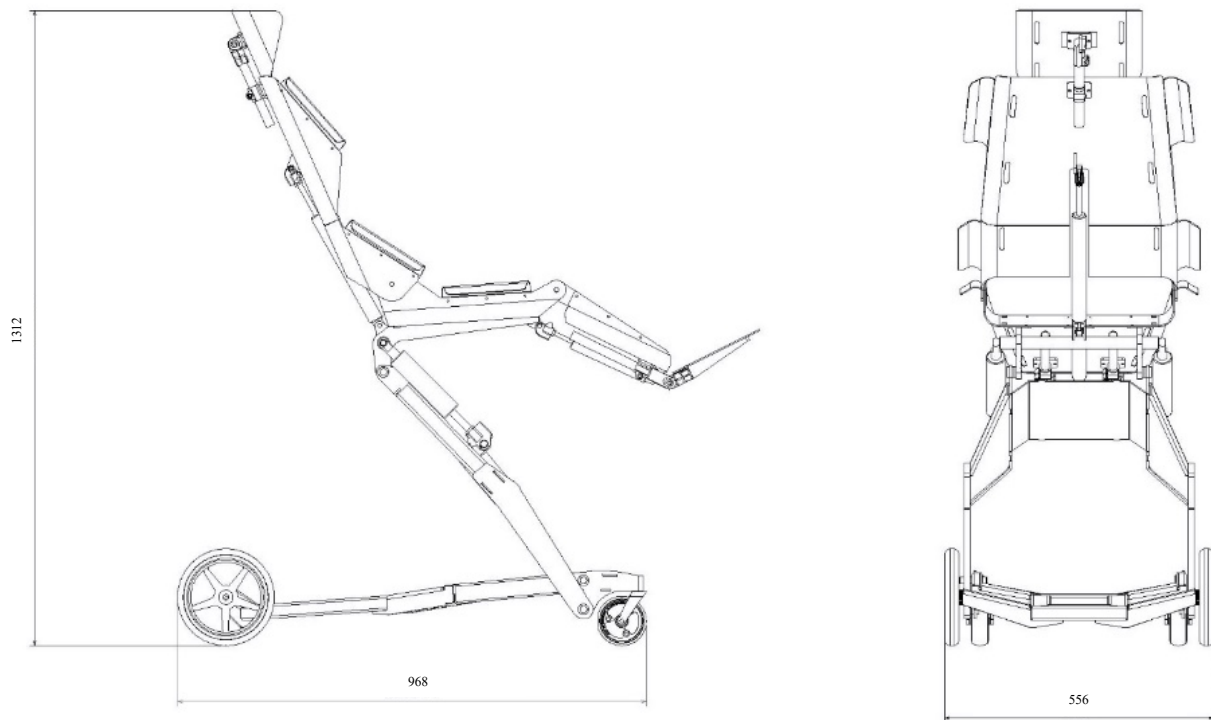
Obr. 9.1-7: Koncepční design vozíku

9.2. Základní rozměry

Na obrázku 9.2-2 jsou vidět základní rozměry celé sestavy v nejvyšší poloze, tato poloha nás zajímá kvůli stabilitě vozíku. Odsud vyplývá, že hodnota polohy je navržena tak, aby se v nejvyšší poloze vozík nepřevrtil. Dále na obrázku 9.2-1 jsou uvedeny rozměry opěrek hlavy a nohou. Tyto rozměry patří k nejmenší verzi vozíku, proto je považujeme za základní. Jednotlivé rozměry polohovací části byly uvedeny v předchozí kapitole 7 v Tab. 7.2.-1.



Obr. 9.2-1: Základní rozměry opěrek



Obr. 9.2-2: Základní rozměry v nejvyšší poloze

9.3. Hmotnost

Lehčí invalidní vozík je mnohem snadnější pohanět a přepravovat ve srovnání s jeho těžkým protějškem, proto byla snaha docílit stavu, aby náš vozík byl co nejlehčí. Celkovou hmotnost ovlivňuje použitý materiál, o kterém bude zmínka v bodě 9.4. Nicméně podle zadání této bakalářské práce měla být navržena pouze sedací část vozíku. Výsledná hmotnost u nejmenšího rozměru sedáku vyšla 12 kg, u největšího sedáku potom 16 kg.

9.4. Konstrukční materiál

S hmotnosti úzce souvisí použitý materiál, ze kterého bude vozík vyroben. Některé vozíky se vyrábějí z ocelových trubek, což velice negativně ovlivňuje jejich hmotnost. Jiné vozíky se vyrábějí z uhlíkového kompozitu, ale cena těchto vozíků je příliš vysoká a dosahuje výše až 8000,- EUR.

Drtivá většina vozíků je konstruovaná z lehkých hliníkových slitin, tzv. duralů. Výhodou těchto materiálů je vysoká pevnost a zároveň nízká hmotnost (přibližně 3.5x nižší než u oceli). V našem případě bylo rozhodnuto použít hliníkové slitiny. Přesněji slitiny s označením EN AW 6026, která má zajištěnou dobrou odolnost proti korozi, dobrou svařitelnost



a obrobiteľnosť. Táto hliníková slitina je slitina hliníku – kremíku (0.6-1.4 %) – hořčíku (0.6-1.2 %) – manganu (0.2-1.0 %).

EN AW 6026	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	Hustota [g/cm ³]	Modul pružnosti [MPa]
	340	250	8	2,73	69640

Tab. 9.4-1: Mechanické vlastnosti materiálu EN AW 6026 [22]

9.5. Prototypová výroba vozíku

Závěrečnou fází byla výroba prototypu vozíku dle parametrů stanovených v předchozích kapitolách. Prototyp byl vyroben v dílnách společnosti 1TO1DESIGN s.r.o. dle 3D CAD návrhu. Na následujících obrázcích jsou uvedeny všechny polohy, do kterých je možné námi vyrobený vozík nastavit.



Obr. 9.5-1: Vozík v základní poloze



Obr. 9.5-2: Vozík v nejvyšší poloze



Obr. 9.5-3: Vozík v poloze na ošetření



Obr. 9.5-4: Vozík v nejnižší poloze



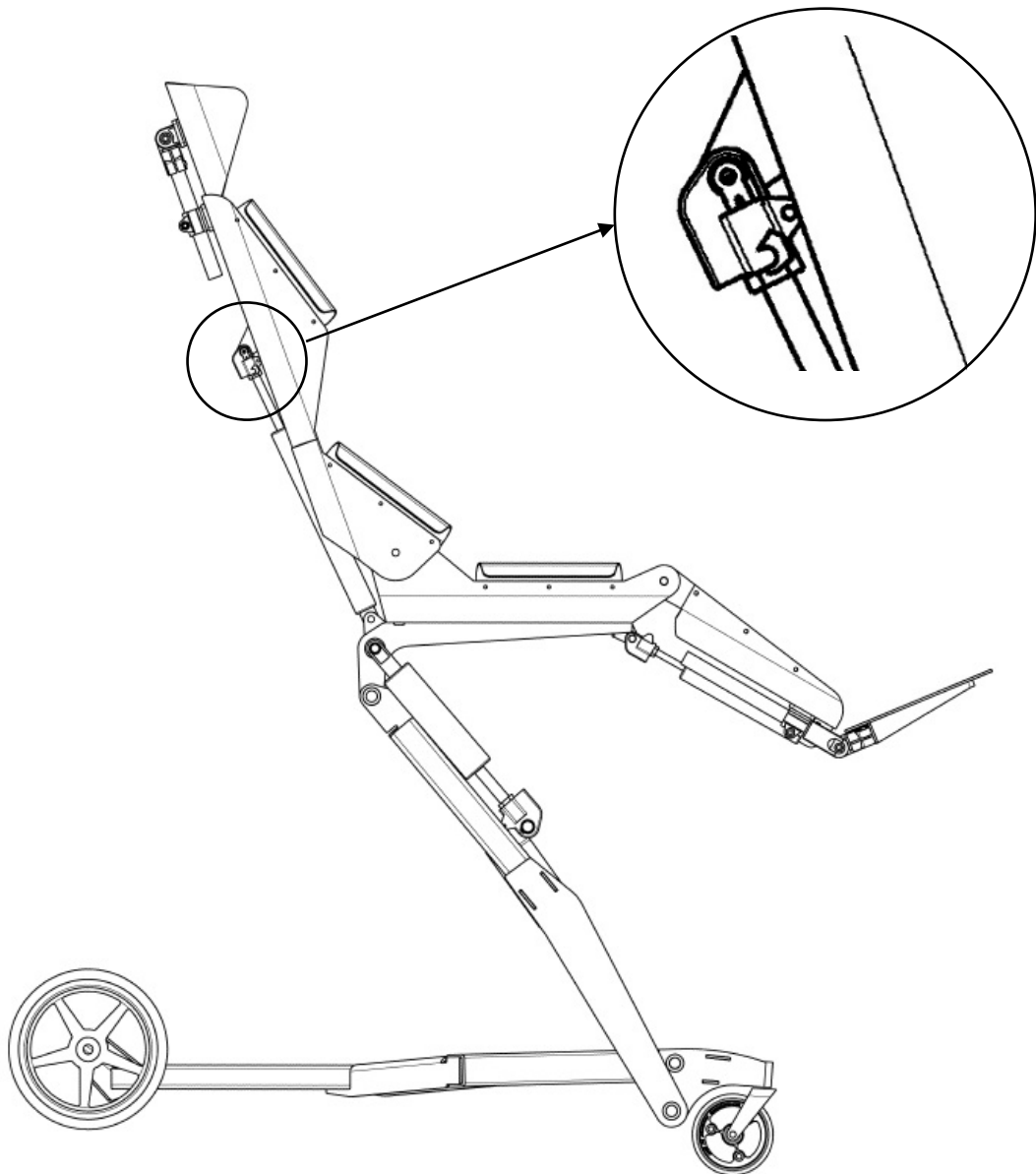
Obr. 9.5-5: Vozík v poloze na spaní

Z předchozích obrázků je patrné, že vozík je možné nastavit do všech důležitých poloh, které byly zmíněny v kapitole 8.2.



10. Analytické výpočty

V rámci analytických výpočtů byla řešena celá sestava sedací části a následně byly provedeny kontroly spojovacích čepů a svarů (viz detail Obr. 10-1). Prostorová úloha byla řešena jako dvě samostatné rovinné úlohy s polovičním zatížením. Za výchozí polohu pro výpočet byla zvolena poloha sedací části v nejvyšší poloze. Pro zjednodušení řešení byla plynová vzpěra uvažována jako vzpěra pevná.

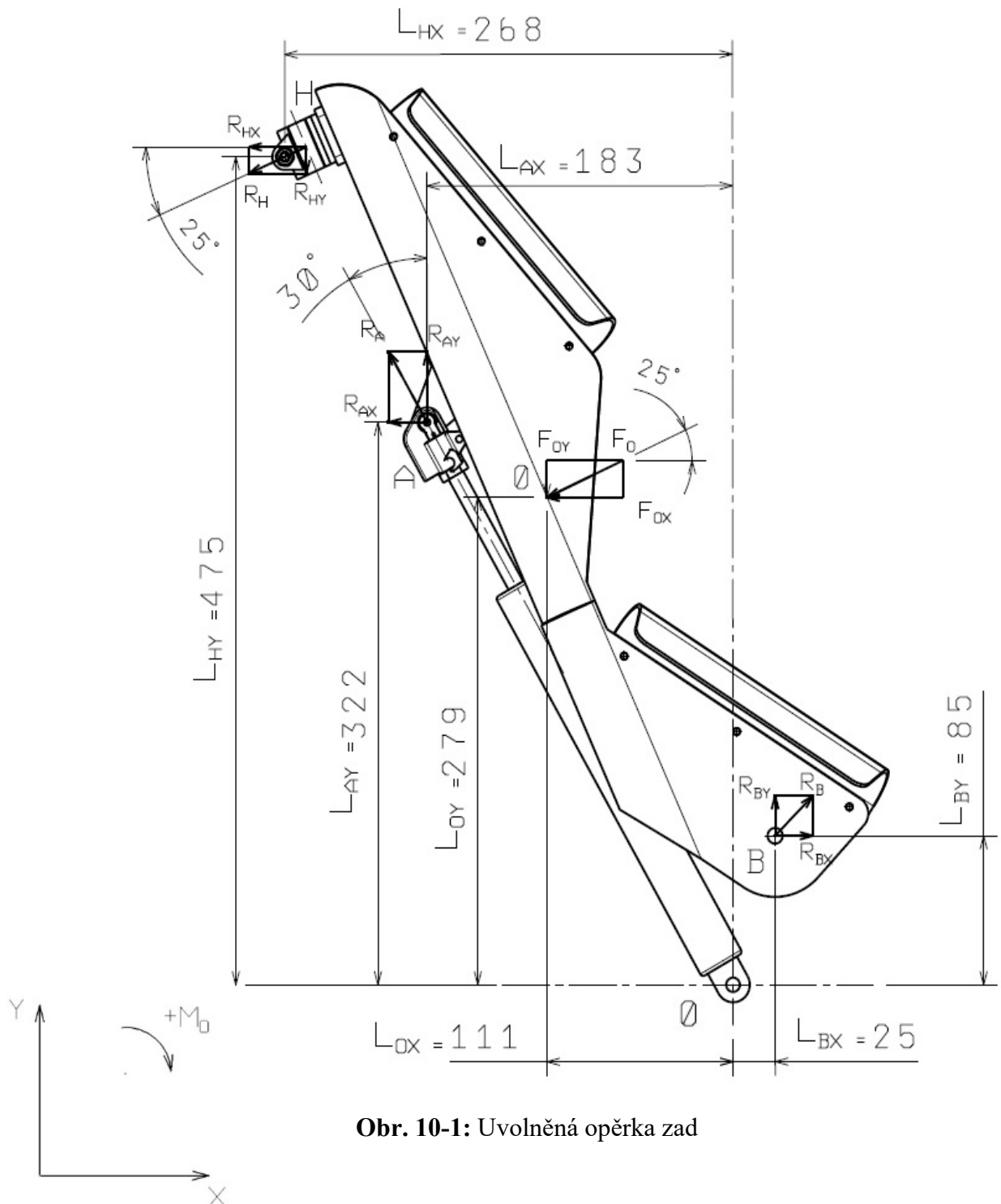


Obr. 10-1: Vozík v nejvyšší poloze



10.1. Opěrka zad

Na Obr. 10.1-1 je znázorněna uvolněná opěrka zad pro následující výpočet. Všechny rozměry jsou odměřené z 3D CAD softwaru.



Obr. 10-1: Uvolněná opěrka zad



Rovnice rovnováhy:

$$X: \sum F_X = 0; -R_{HX} - R_{AX} - F_{OX} + R_{BX} = 0 \quad (10.1)$$

$$Y: \sum F_Y = 0; -R_{HY} + R_{AY} - F_{OY} + R_{BY} = 0 \quad (10.2)$$

$$\sum M_0 = 0; -R_{HX} \cdot L_{HY} - R_{HY} \cdot L_{HX} - R_{AX} \cdot L_{AY} + R_{AY} \cdot L_{AX} - F_{OX} \cdot L_{OY} - F_{OY} \cdot L_{OX} - R_{BY} \cdot L_{BX} + R_{BX} \cdot L_{BY} = 0 \quad (10.3)$$

$$\tan(\beta) = \frac{R_{HY}}{R_{HX}}, \text{ kde } \beta = 25^\circ; \quad (10.4)$$

$$\tan(\beta) = \frac{F_{OY}}{F_{OX}}; \quad (10.5)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{R_{AX}}{R_{AY}}, \text{ kde } \alpha = 30^\circ; \quad (10.6)$$

Výpočet:

Nejdříve jsou definovány síly R_H (působící v hlavové opěrci) a F_O (působící na opěrku zad), následně byly tyto síly rozloženy na složkové síly $R_{HX}, R_{HY}, F_{OX}, F_{OY}$:

$$R_H = m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ [N]}$$

$$R_{HX} = R_H \cdot \cos(25) = 88,9 \text{ [N]}$$

$$R_{HY} = R_H \cdot \sin(25) = 41,5 \text{ [N]}$$

$$F_O = m \cdot g = 20 \cdot 9,81 = 196,2 \text{ [N]}$$

$$F_{OX} = F_O \cdot \cos 25 = 177,8 \text{ [N]}$$

$$F_{OY} = F_O \cdot \sin 25 = 82,9 \text{ [N]}$$

Nyní byl z rovnice (10.1) vyjádřen součet reakcí R_{AX} a R_{BX} :

$$-R_{HX} - R_{AX} - F_{OX} + R_{BX} = 0$$

$$\rightarrow -R_{AX} + R_{BX} = -R_{HX} - F_{OX}$$

$$\rightarrow -R_{AX} + R_{BX} = 266,7$$

Dále byl z rovnice (10.2) vyjádřen součet reakcí R_{AY} a R_{BY} :

$$-R_{HY} + R_{AY} - F_{OY} + R_{BY} = 0$$

$$\rightarrow +R_{AY} + R_{BY} = +R_{HY} + F_{OY}$$

$$\rightarrow +R_{AY} + R_{BY} = 124,4$$



Následuje dosazení do momentové rovnice (10.3):

$$\begin{aligned} & -R_{HX} \cdot L_{HY} - R_{HY} \cdot L_{HX} - R_{AX} \cdot L_{AY} + R_{AY} \cdot L_{AX} - F_{OX} \cdot L_{OY} - F_{OY} \cdot L_{OX} - R_{BY} \cdot L_{BX} + R_{BX} \cdot L_{BY} = 0 \\ \rightarrow & -88,9.474 - 41,5.288 - 322 \cdot R_{AX} + 183 \cdot R_{BX} - 177,8.279 - 82,9.111 - 25 \cdot R_{BY} + 85 \cdot R_{BX} = 0 \\ \rightarrow & -322 \cdot R_{AX} + 183 \cdot R_{AY} + 85 \cdot R_{BX} - 25 \cdot R_{BY} = 112068,7 \end{aligned}$$

Z rovnice (10.6) byla pak vypočtena reakce R_{AX} :

$$\begin{aligned} \tan(\alpha) &= \frac{R_{AX}}{R_{AY}} \\ \rightarrow R_{AY} \cdot \tan(\alpha) &= R_{AX} \\ \rightarrow R_{AY} \cdot \tan(30) &= R_{AX} \\ \rightarrow 0,58 R_{AY} &= R_{AX} \end{aligned}$$

Tento výsledek byl dosazen zpět do momentové rovnice (10.3):

$$\begin{aligned} & -322 \cdot R_{AX} + 183 \cdot R_{AY} + 85 \cdot R_{BX} - 25 \cdot R_{BY} = 112068,7 \\ \rightarrow & -322 \cdot 0,58 R_{AY} + 183 \cdot R_{AY} + 85 \cdot R_{BX} - 25 \cdot R_{BY} = 112068,7 \\ \rightarrow & -3,76 \cdot R_{AY} + 85 \cdot R_{BX} - 25 \cdot R_{BY} = 112068,7 \end{aligned}$$

Těmito úpravami byla získaná sestava tří rovnic o třech neznámých:

$$\begin{aligned} x: & -0,58 R_{AY} + R_{BX} = 266,7 \\ y: & + R_{AY} + R_{BY} = 124,4 \\ M: & -3,76 \cdot R_{AY} + 85 \cdot R_{BX} - 25 \cdot R_{BY} = 112068,7 \end{aligned}$$

Dále byla provedena náhrada $R_{AY} = x_1$, $R_{BX} = x_2$, $R_{BY} = x_3$.

$$\begin{cases} -0,58 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 = 266,7 \\ 1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_3 = 124,4 \\ -3,76 \cdot x_1 + 85 \cdot x_2 - 25 x_3 = 112068,7 \end{cases}$$

Tato sestava byla převedená do maticového tvaru.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \vec{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix}, \vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$$



Potom lze celou sestavu rovnic zapsat jako:

$$A \cdot \vec{x} = \vec{b}$$

Samotná matice vypadá takto:

$$A = \begin{pmatrix} -0,58 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ -3,76 & 85 & 25 \end{pmatrix}, \vec{b} = \begin{pmatrix} 266,7 \\ 124,4 \\ 112068,7 \end{pmatrix}$$

Nyní byl vypočítán determinant matice A dle Sarusova pravidla:

$$\det A = \det \begin{bmatrix} -0,58 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ -3,76 & 85 & 25 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \det(A) &= a_{11} \cdot a_{22} \cdot a_{33} + a_{21} \cdot a_{32} \cdot a_{13} + a_{31} \cdot a_{12} \cdot a_{23} \\ &\quad - (a_{13} \cdot a_{22} \cdot a_{31} + a_{23} \cdot a_{32} \cdot a_{11} + a_{33} \cdot a_{12} \cdot a_{21}) \\ &= (-0,58) \cdot 0 \cdot 25 + 1 \cdot 85 \cdot 0 + (-3,76) \cdot 1 \cdot 1 \\ &\quad - (0 \cdot 0 \cdot (-3,76) + 1 \cdot 85 \cdot (-0,58) + 25 \cdot 1 \cdot 1) \end{aligned}$$

$$\det(A) = 70,3$$

Následně byla použita Gaussova eliminační metoda

$$\det(A|b) = \det \begin{bmatrix} 266,7 & 1 & 0 \\ 124,4 & 0 & 1 \\ 112068,7 & 85 & 25 \end{bmatrix}$$

$$\det(A|b) = 92506,37$$

$$x_1 = \frac{\det(A|b)}{\det(A)} = 1316$$

$$\det(A|b) = \det \begin{bmatrix} -0,58 & 266,7 & 0 \\ 1 & 124,4 & 1 \\ -3,76 & 112068,7 & 25 \end{bmatrix}$$

$$\det(A|b) = 72123$$

$$x_2 = \frac{\det(A|b)}{\det(A)} = 1026$$

$$\det(A|b) = \det \begin{bmatrix} -0,58 & 1 & 266,7 \\ 1 & 0 & 124,4 \\ -3,76 & 85 & 112068,7 \end{bmatrix}$$

$$\det(A|b) = 72123$$

$$x_3 = \frac{\det(A|b)}{\det(A)} = -1192$$

Reakce R_{AX} , R_{AY} , R_{BX} , R_{BY} se rovnají:

$$R_{AX} = 0,58 \cdot R_{AY} = 0,58 \cdot 1316$$

$$R_{AX} = 759,9 \text{ [N]}$$

$$R_{AY} = 1316 \text{ [N]}$$

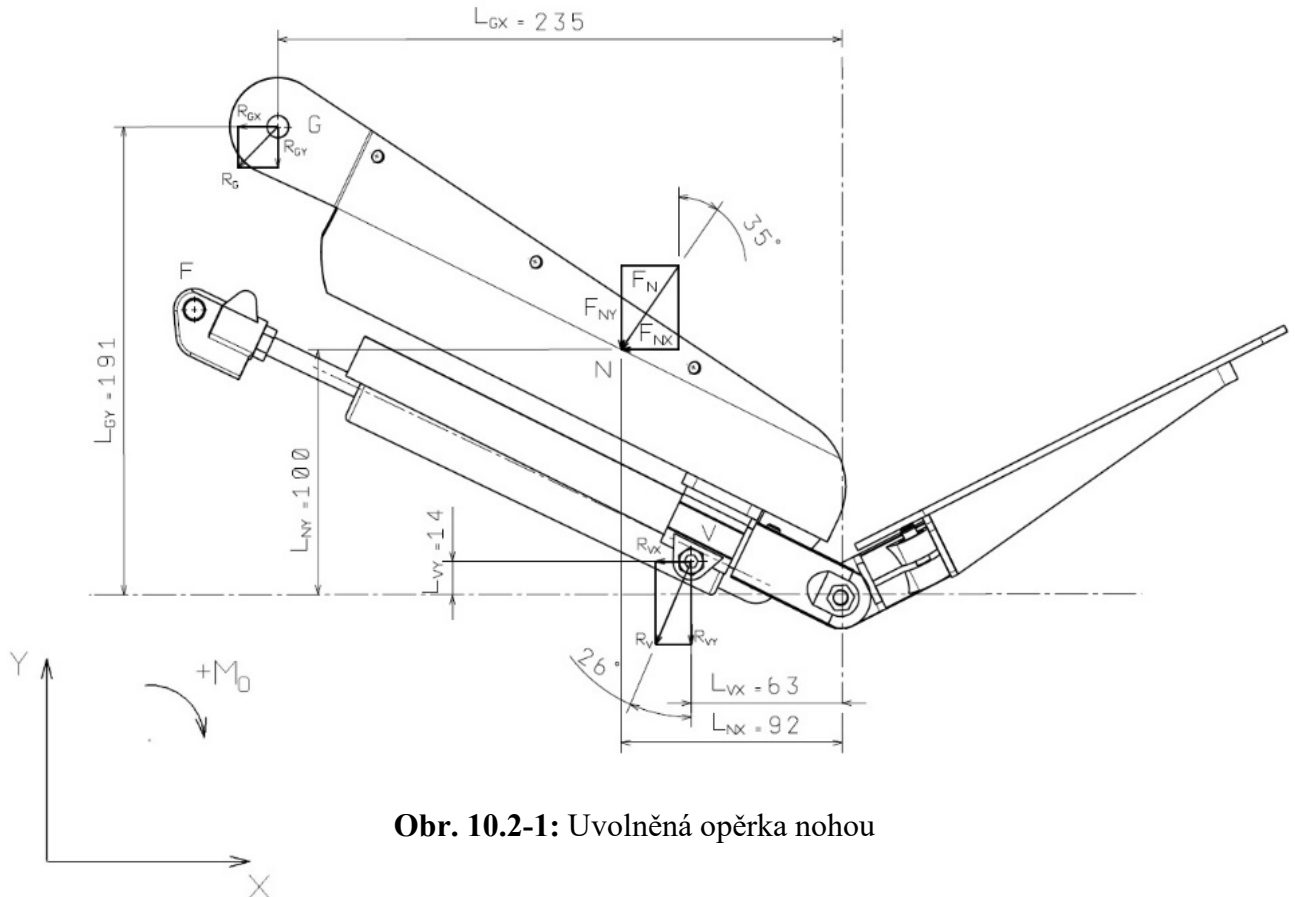
$$R_{BX} = 1026 \text{ [N]}$$



$$R_{BY} = -1192 \text{ [N]}$$

10.2. Opěrka nohou

Na Obr. 10.2-1 je znázorněna uvolněná opěrka nohou pro následující výpočet. Všechny rozměry jsou odměřené z 3D CAD softwaru.



Obr. 10.2-1: Uvolněná opěrka nohou

Rovnice rovnováhy:

$$X: \sum F_X = 0; -R_{GX} - F_{NX} - R_{VX} = 0 \quad (10.7)$$

$$Y: \sum F_Y = 0; -R_{GY} - F_{NY} - R_{VY} = 0 \quad (10.8)$$

$$\sum M_0 = 0; -R_{GX} \cdot L_{GY} - R_{GY} \cdot L_{GX} - F_{NY} \cdot L_{NX} - F_{NX} \cdot L_{NY} - R_{VX} \cdot L_{VY} + R_{VY} \cdot L_{VX} = 0 \quad (10.9)$$

$$\tan(\omega) = \frac{R_{VY}}{R_{VX}}, \text{ kde } \omega = 26^\circ; \quad (10.10)$$

Výpočet:

Nejdříve si vyjádřím sílu F_N , působící na opěrku nohou a následně tato síla je rozložena na složkové síly F_{NX} , F_{NY} :

$$F_N = m \cdot g = 10,9,81 = 98,1 \text{ [N]}$$

$$F_{NX} = F_N \cdot \sin(26) = 43 \text{ [N]}$$

$$F_{NY} = F_N \cdot \cos(26) = 88,2 \text{ [N]}$$



Nyní byl z rovnice (10.7) vyjádřen součet reakce R_{GX} a R_{VX} :

$$\begin{aligned} -R_{GX} - F_{NX} - R_{VX} &= 0 \\ \rightarrow -R_{GX} - R_{VX} &= 56 \end{aligned}$$

Dále z rovnice (10.8) byl vyjádřen součet reakce R_{GY} a R_{VY} :

$$\begin{aligned} -R_{GY} - F_{NY} - R_{VY} &= 0 \\ \tan(\omega) = \frac{R_{VY}}{R_{VX}} \rightarrow \tan(26) \cdot R_{VX} &= R_{VY} \\ \rightarrow -R_{GY} - 0,49 \cdot R_{VX} &= 80 \end{aligned}$$

Následuje dosazení do momentové rovnice (10.9):

$$\begin{aligned} -R_{VX} \cdot L_{VY} - R_{VY} \cdot L_{VX} - R_{GX} \cdot L_{GY} - R_{GY} \cdot L_{GX} - F_{NX} \cdot L_{NY} - F_{NY} \cdot L_{NX} &= 0 \\ \rightarrow -14 \cdot R_{VX} - 0,49 \cdot 63 \cdot R_{VX} - 191 \cdot R_{GX} - 235 \cdot R_{GY} - 56 \cdot 100 - 80 \cdot 92 &= 0 \\ \rightarrow -191 \cdot R_{GX} - 235 \cdot R_{GY} - 13,51 \cdot R_{VX} &= 12360 \end{aligned}$$

Výsledné rovnice rovnováhy:

$$\begin{aligned} x: -R_{GX} - R_{VX} &= 56 \\ y: -R_{GY} - 0,49 \cdot R_{VX} &= 80 \\ M: -191 \cdot R_{GX} - 235 \cdot R_{GY} - 13,51 \cdot R_{VX} &= 12360 \end{aligned}$$

Byla provedena náhrada $R_{GX} = x_1$, $R_{GY} = x_2$, $R_{VX} = x_3$. Výsledná sestava lineárních rovnic:

$$\begin{cases} -1 \cdot x_1 - 1 \cdot x_3 = 56 \\ -1 \cdot x_1 - 0,49 \cdot x_3 = 80 \\ -191 \cdot x_1 - 235 \cdot x_2 - 13,5 \cdot x_3 = 12360 \end{cases}$$

Vytvořena matice:

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -0,49 \\ -191 & -234 & -13,5 \end{pmatrix}, \vec{b} = \begin{pmatrix} 56 \\ 80 \\ 12360 \end{pmatrix}$$



Byl vypočten determinant matice A dle Sarrusova pravidla:

$$\det A = \det \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -0,49 \\ -191 & -234 & -13,5 \end{bmatrix}$$

$$\det(A) = (-1) \cdot 0 \cdot (-13,5) + (-1) \cdot (-234) \cdot (-1) + (-191) \cdot 0 \cdot (-49) \\ - ((-1) \cdot 0 \cdot (-191) + (-0,49) \cdot (-234) \cdot (-1) + (-13,5) \cdot 0 \cdot (-1))$$

$$\det(A) = -119,9$$

Následně použita Gaussově eliminační metody :

$$\det(A|b) = \det \begin{bmatrix} 56 & 0 & -1 \\ 80 & 0 & -0,49 \\ 12360 & -234 & -13,5 \end{bmatrix}$$

$$\det(A|b) = 12351,6$$

$$x_1 = \frac{\det(A|b)}{\det(A)} = -103$$

$$\det(A|b) = \det \begin{bmatrix} -1 & 56 & -1 \\ -1 & 80 & -0,49 \\ -191 & 12360 & -13,5 \end{bmatrix}$$

$$\det(A|b) = -3411,1$$

$$x_2 = \frac{\det(A|b)}{\det(A)} = 28$$

$$\det(A|b) = \det \begin{bmatrix} -1 & 0 & 56 \\ -1 & 0 & 80 \\ -191 & 234 & 12360 \end{bmatrix}$$

$$\det(A|b) = -5640$$

$$x_3 = \frac{\det(A|b)}{\det(A)} = 47$$

Reakce R_{GX} , R_{GY} , R_{VX} , R_{VY} se rovnají:

$$R_{VY} = 0,49 \cdot R_{VX} = 0,49 \cdot 47 = 23 [N]$$

$$R_{GX} = -103,1 [N]$$

$$R_{GY} = 28,5 [N]$$

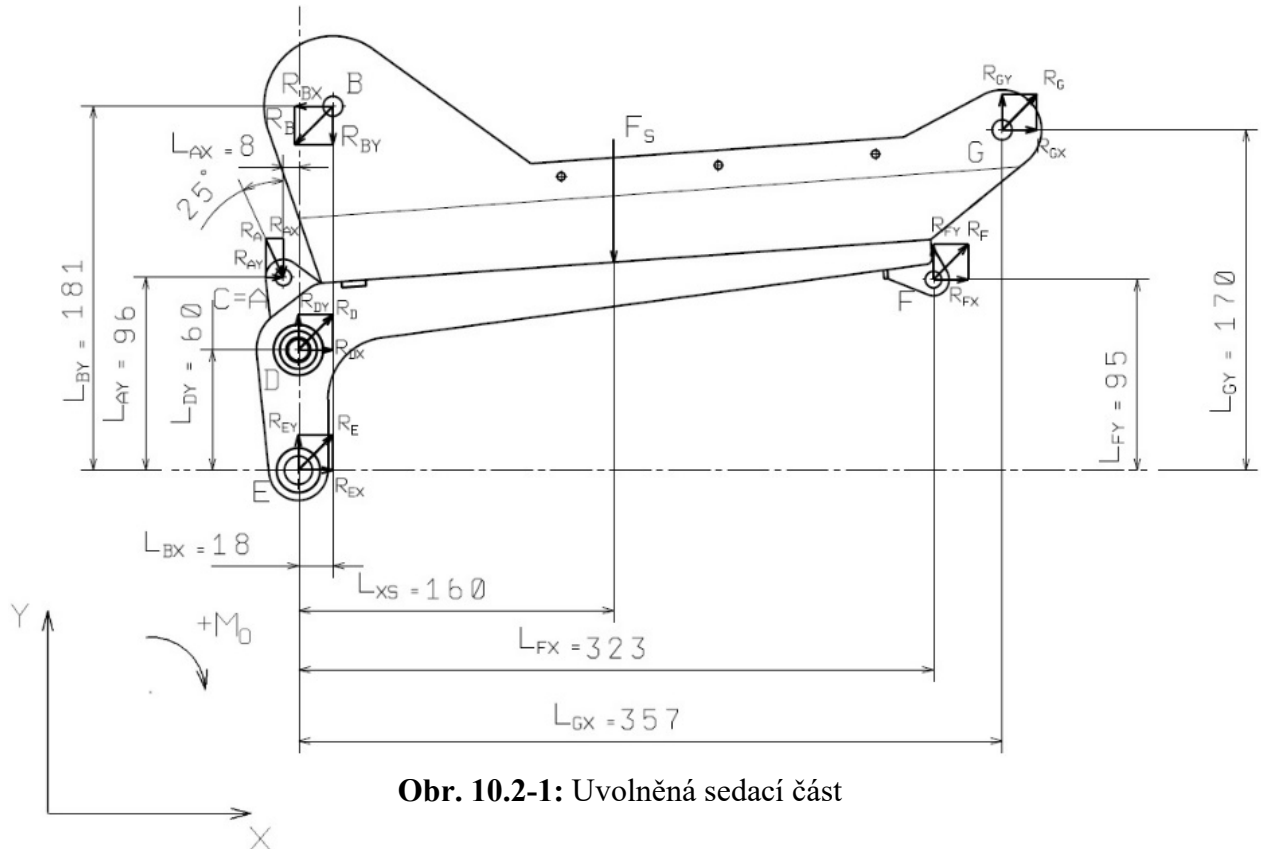
$$R_{VX} = 47,1 [N]$$

$$R_{VY} = 23 [N]$$



10.3. Sedák na nosném rameni

Na Obr. 10.3-1 je znázorněna uvolněný sedák na nosném rameni pro následující výpočet.



Obr. 10.2-1: Uvolněná sedací část

Rovnice rovnováhy:

$$X: \sum F_X = 0; -R_{BX} + R_{AX} + R_{DX} + R_{EX} + R_{FX} + R_{GX} = 0 \quad (10.11)$$

$$Y: \sum F_Y = 0; -R_{BY} - R_{AY} + R_{DY} + R_{EY} + R_{FY} + R_{GY} + F_S = 0 \quad (10.12)$$

$$M_0: \sum M_0 = 0; -R_{HX} \cdot L_{HY} - R_{HY} \cdot L_{HX} - R_{AX} \cdot L_{AY} + R_{AY} \cdot L_{AX} - F_{OX} \cdot L_{OY} - F_{OY} \cdot L_{OX} - R_{BY} \cdot L_{BX} + R_{BX} \cdot L_{BY} = 0 \quad (10.13)$$

Nejdříve byla vyjádřena F_S , působící na sedák:

$$F_N = m \cdot g = 30,9,81 = 294,3 \text{ [N]}$$

Nyní z rovnice (10.11) byl vyjádřen součet reakce R_{DX} a R_{EX} :

$$-R_{BX} + R_{AX} + R_{DX} + R_{EX} + R_{FX} + R_{GX} = 0$$



Reakce v bodech R_{BX} , R_{AX} , R_{FX} , R_{GX} již známé z předchozích výpočtů:

$$\rightarrow R_{DX} + R_{EX} = 1026,2 - 759,9 - 47,1 + 103,1 = 322,3$$

Nyní z rovnic (10.12) byly vyjádřené reakcí R_{GY} a R_{VY} :

$$-R_{BY} - R_{AY} + R_{DY} + R_{EY} + R_{FY} + R_{GY} - F_S = 0$$

Dosazením reakcí R_{BX} , R_{AX} , R_{FX} , R_{GX} byl získán součet reakcí:

$$-R_{BY} - R_{AY} + R_{DY} + R_{EY} + R_{FY} + R_{GY} - F_S = 0$$

$$\rightarrow R_{DY} + R_{EX} = -1191,8 + 1316,2 - 23 - 28,5 + 294,3 = 367,3$$

Dosazení do momentové rovnice (10.13):

$$-R_{BX} \cdot L_{BY} - R_{BY} \cdot L_{BX} + R_{AX} \cdot L_{AY} - R_{AY} \cdot L_{AX} - R_{DX} \cdot L_{DY} - R_{FY} \cdot L_{FX} + R_{FV} \cdot L_{FY} - R_{GY} \cdot L_{GX} + R_{GX} \cdot L_{GY} + F_X \cdot L_{XS} = 0$$

$$\rightarrow 60 \cdot R_{DX} = 1026,2 \cdot 85 + 1191,8 \cdot 25 - 759,9 \cdot 322 + 1316,183 + 23 \cdot 323 - 471,95 - 28,5 \cdot 357 + 103,1 \cdot 170 + 294,3 \cdot 160 = -128342$$

$$\rightarrow R_{DX} = 2139 [N]$$

Výsledné rovnice rovnováhy:

$$x: R_{DX} + R_{EX} = 322,3$$

$$y: R_{DY} + R_{EY} = 367,3$$

$$M: R_{DX} = 2139 [N]$$

Reakce R_{DX} byla dosazena do rovnice ve směru x:

$$R_{DX} + R_{EX} = 322,3$$

$$\rightarrow R_{EX} = 322,3 - 2139 = -1816,3 [N]$$

Reakce R_{DY} a R_{EY} jsou totožné, protože se nacházejí na stejné úrovni:

$$R_{DY} + R_{EY} = 367,3$$

$$R_{DY} + R_{DY} = 367,3 = \frac{367,3}{2} = 183,6 [N]$$



Reakce R_{GX} , R_{GY} , R_{VX} , R_{VY} se rovnají:

$$R_{DX} = 2139 [N]$$

$$R_{DY} = 183,6 [N]$$

$$R_{EX} = -1816,3 [N]$$

$$R_{EY} = 183,6 [N]$$

10.4. Výsledné reakce

Jelikož složky reakcí v jednotlivých bodech jsou již známe, mohou být určeny jejich výslednice.

Výsledné reakce R_A a R_B :

$$R_A = \sqrt{R_{AX}^2 + R_{AY}^2} = \sqrt{759,9^2 + 1316^2} = 1519,7 [N]$$

$$R_B = \sqrt{R_{BX}^2 + R_{BY}^2} = \sqrt{1026^2 + (-1192)^2} = 1572,7 [N]$$

Následně stejným způsobem dopočítám hodnoty výsledných reakcí ve zbývajících bodech. Tab. 10.4-1 zobrazuje výsledné reakce.

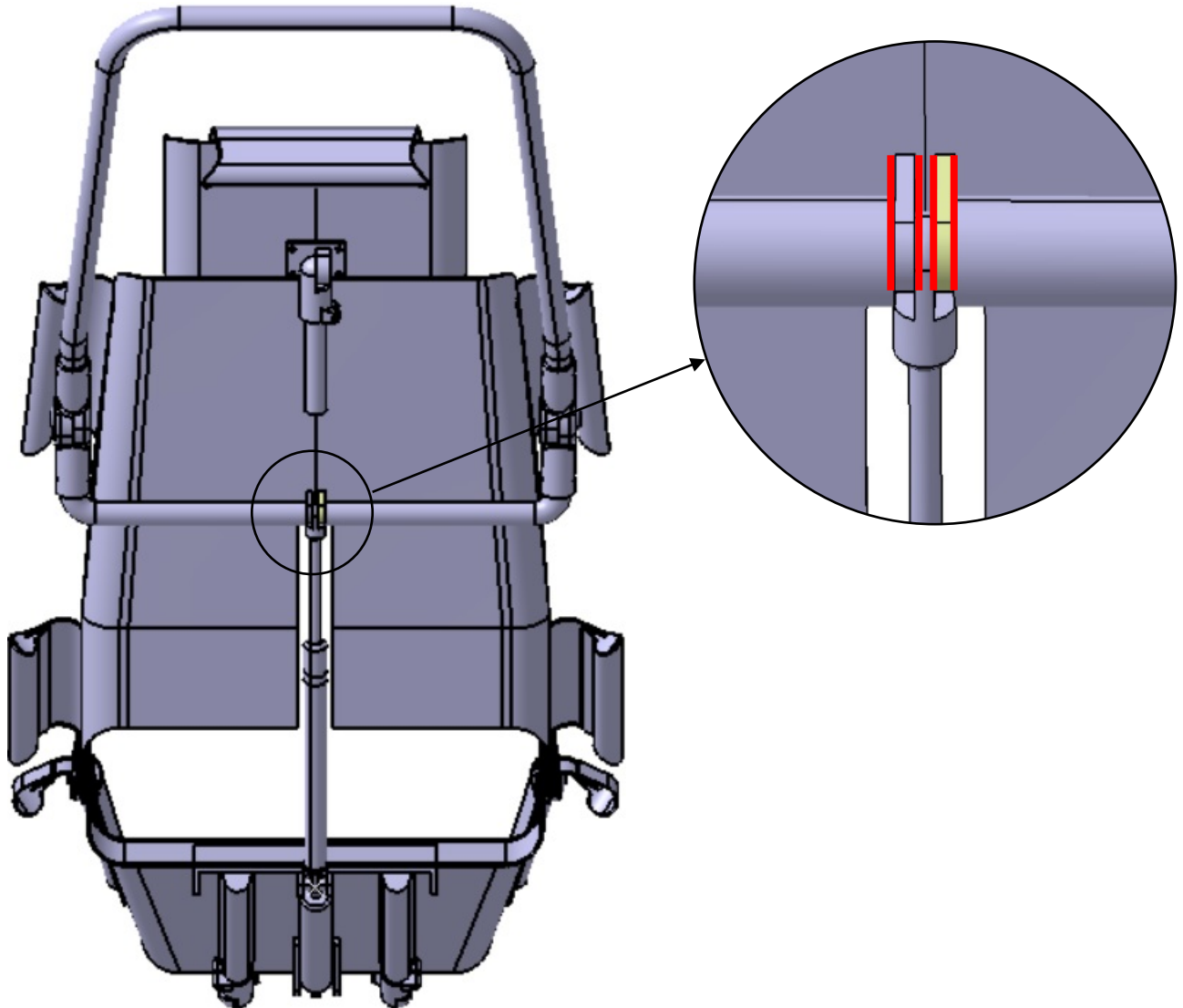
R_A	1519,8[N]
R_B	1572,7[N]
R_D	2146,9[N]
R_E	1825,9[N]
R_G	106,9[N]
R_V	52,4[N]

Tab. 10.4-1: Výsledné reakce

10.5. Kontrola svarů

Kontroly svarů budu provádět v místech uchycení madla k zádové operce.

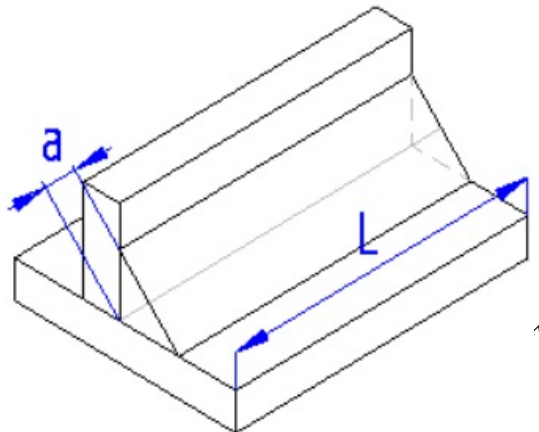
Jelikož nemám k dispozici licenční balíček se svary ve 3D CAD softwaru CATIA, označil jsem na Obr.10-5 místa svarů červenými čarami.



Obr. 10.5-1: Uvolněná sedací část

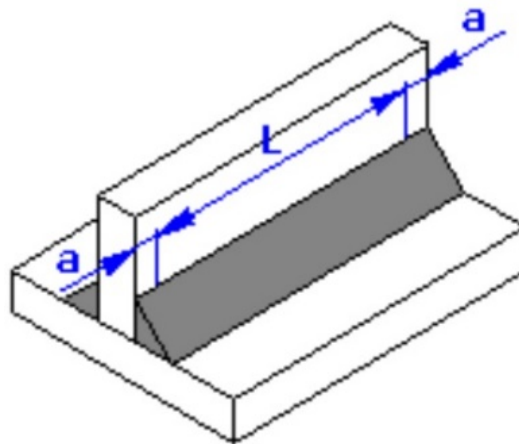
Koutové svary

U koutových svarů se stykové plochy zpravidla neupravují. Podle tvaru průřezu svaru mohou být ploché, vyduté, převýšené nebo s obrobeným přechodem svaru. Je-li potřeba snížit vrubový účinek, je vhodná úprava stykové plochy i u koutového svaru. Ve značení velikosti koutových svarů lze použít rozměr „a“ nebo „z“ (rozměr „a“ je přednostní).



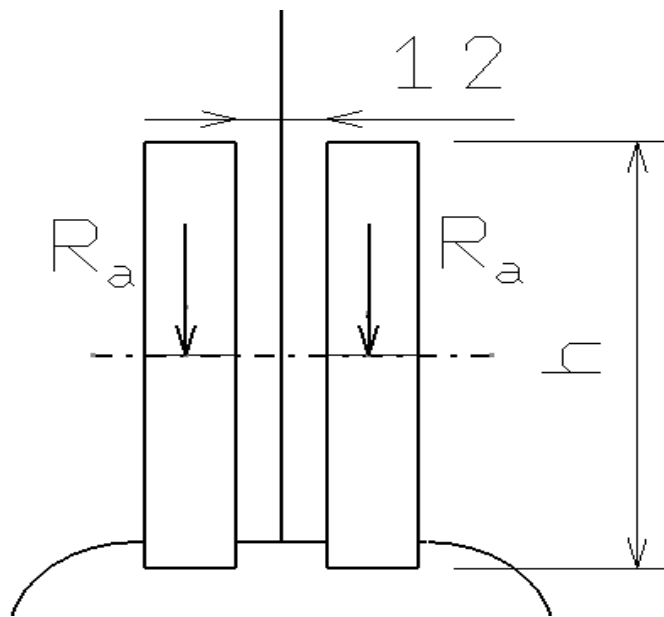
Obr. 10.5-2: Základní rozměry koutového svaru [23]

U běžně provedených svarů často dochází k výskytu takzvaných "koncových kráterů". Důsledkem toho je zeslabení průřezu na začátku a konci svaru. Nosná délka svaru pak bude menší než skutečná délka (o méně kvalitní začátek a konec svaru). U přesnějších výpočtů se proto doporučuje kontrolovat únosnost svarů jen pro tu část (délku) svaru, která má předepsaný průřez. Obvyklý způsob stanovení nosné délky "L" je v závislosti na provedení svaru schematicky znázorněn na Obr.10.5-3. [23]

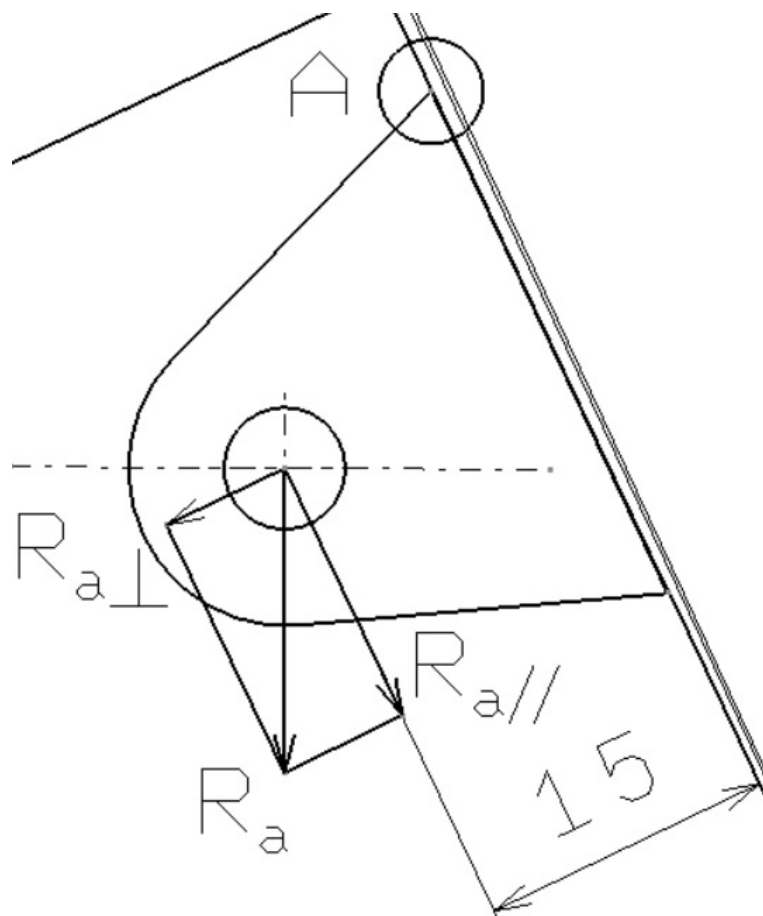


Obr. 10.5-3: Provedeni koutového svaru [23]

Obr. 10.5-4 a 10.5-5 znázorňují základní rozměry zkoumaných svarů.



Obr. 10.5-4: Základní rozměry svarů pohled zepředu



Obr. 10.5-5: Základní rozměry svarů pohled z boku



Na základě rozměrů odměřených z 3D CAD softwaru CATIA V5 může být proveden kontrolní výpočet pro dané svary. Za kritické místo lze považovat bod A. Uhel $\delta = 6^\circ$.

$$R_{A\perp} = R_A \cdot \sin(\sigma) = 1519,8 \cdot \sin(6) = 158,9 \text{ [N]}$$

$$R_{A\parallel} = R_A \cdot \cos(\sigma) = 1519,8 \cdot \cos(6) = 1511,5 \text{ [N]}$$

Velikost koutových svarů $a = 3,5$. Složky smykového napětí orientované ve směru kolmém na svar se značí jako τ_{\perp} , složky souběžné se svarem τ_{\parallel} . [24]

Působící silové veličiny vyvolají ne svarech následující druhy namáhání:

$$\text{a) Tah} \quad \tau_{T\perp} = \frac{R_{A\perp}}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{158,9}{2 \cdot 3,5 \cdot 28} = 0,8 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (10.14)$$

$$\text{b) Smyk} \quad \tau_{S\parallel} = \frac{R_{A\parallel}}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{1511,5}{2 \cdot 3,5 \cdot 28} = 7,7 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (10.15)$$

$$\text{c) Ohyb} \quad \tau_{O\perp} = \frac{R_{A\parallel} \cdot r}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot h^3} = \frac{1511,5 \cdot 15}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4,28^3} = 7,9 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (10.16)$$

Zbývá jen kategorizace složek z hlediska jejich orientaci vůči svarů. Kolmé složky $\tau_{T\perp}$ a $\tau_{O\perp}$ se na horním okraji svarů mohou spočítat algebraicky.

$$\tau_V = \sqrt{\left(\frac{\tau_{T\perp} + \tau_{O\perp}}{\alpha_{T\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{S\parallel}}{\alpha_{T\parallel}}\right)^2} \leq \beta \cdot \sigma_D \quad (10.17)$$

Anizotropie vlastností svarů ve směru kolmém a rovnoběžném jsou vyjádřeny pomocí „převodních součinitelů“ $\alpha_{T\perp}$ a $\alpha_{T\parallel}$. Kvůli potížím s hledáním hodnot převodních součinitelů pro slitiny hliníku, po konzultaci s vedoucím této bakalářské práce, byly použité hodnoty jako pro ocel: $\alpha_{T\perp} = 0,75$ a $\alpha_{T\parallel} = 0,65$.

Součinitel β je závislý na tloušťce svaru a ; pro $a \leq 7 \text{ mm}$ je $\beta = 1,3 - 0,043 \cdot a$

$$\beta = 1,3 - 0,043 \cdot 3,5 = 1,15$$

Poslední neznámou složkou ve vzorci (10.17) je hodnota dovoleného napětí σ_D . Vlastnosti materiálu EN AW 6026 jsou uvedeny v bodě 9.4. Koeficient bezpečnosti k_w se obvykle volí v rozmezí 1.5 až 2.

$$\sigma_D = \frac{R_E}{k_w} = \frac{250}{2} = 125 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Dosazením do vzorce (10.8) získám:

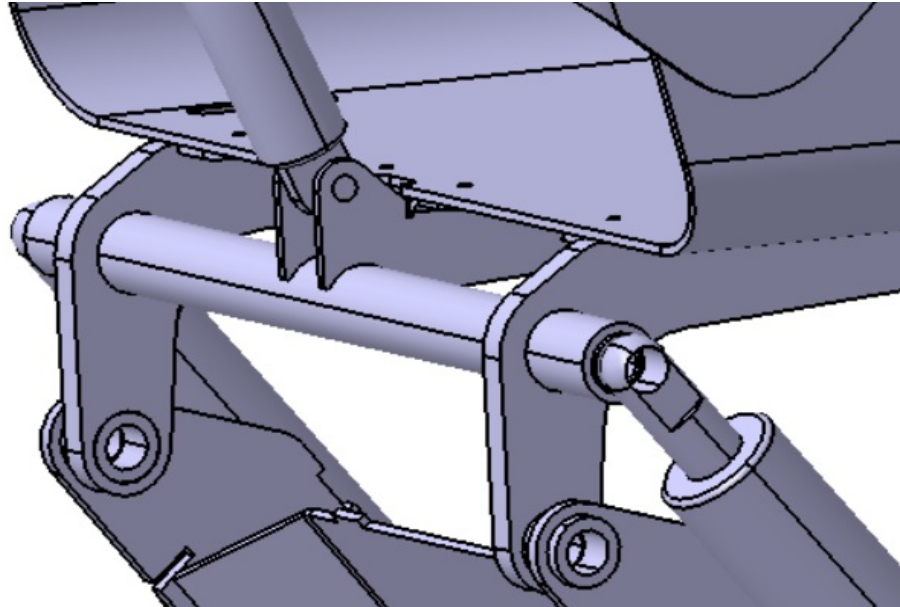
$$\tau_V = \sqrt{\left(\frac{0,8 + 7,9}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{7,7}{0,65}\right)^2} = 16,6 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right] \leq 1,15 \cdot 125 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_V = \sqrt{\left(\frac{0,8 + 7,9}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{7,7}{0,65}\right)^2} = 16,6 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right] \leq 143,75 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$



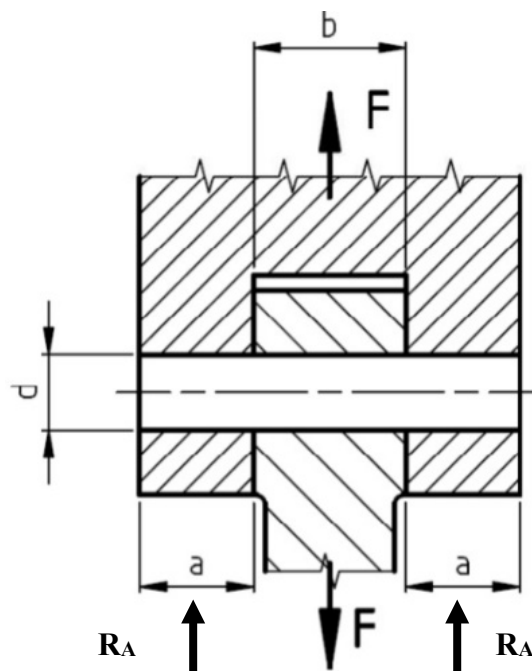
10.6. Kontrola čepu

Posledním bodem výpočtů je kontrola čepu. Kontrolu čepu budu provádět v místě uchycení plynové vzpěry k rameni pod sedákem.



Obr. 10.6-1: Uchycení čepu

Obr. 10.6-2 znázorňuje uchycení čepu v řezu.



Obr. 10.6-2: Pohled v řezu



$d=10$	[mm]	...průměr čepu
$a_v = 5$	[mm]	...šířka vidlice
$b=20$	[mm]	...šířka úchyty plynové vzpěry
$L_{\check{c}} = 30$	[mm]	...délka čepu
$F = R_A = 1519,8$	[N]	...poměr sil

Materiál čepu je ocel 11 500, která má následující hodnoty napětí:

$$\begin{aligned}\sigma_D &= 135 \text{ [N/mm}^2\text{]} \\ \tau_{DS} &= 40 \text{ [N/mm}^2\text{]} \\ R_E &= 270 \text{ [MPa]} \\ k &= 2\end{aligned}$$

A) Maximální ohybový moment:

$$M_{omax} = \frac{R_A}{2} \cdot \left(\frac{L_{\check{c}}}{2}\right) = \frac{1519,8}{2} \cdot \frac{30}{2} = 11398,5 \text{ [N. mm]} \quad (10.18)$$

B) Dovolené ohybové napětí:

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{M_{omax}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{11398,5}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}} = 116,1 \text{ [N/mm}^2\text{]} \leq \delta_D$$

$$\sigma_{omax} = 116,1 \text{ [N/mm}^2\text{]} \leq 135 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

C) Kontrola čepu na střih:

$$\tau_S = \frac{2 \cdot R_A}{2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)} = \frac{R_A}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{1519,8}{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}} = 4,84 \text{ [N/mm}^2\text{]} \leq \tau_{DS}$$

$$\tau_S = 4,84 \text{ [N/mm}^2\text{]} \leq 40 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

D) Kontrola na otláčení, kde dovolené otláčení $p_D = 90$ [MPa]:

- *Táhlo:* $p_1 = \frac{F}{S} \leq p_D \rightarrow p_1 = \frac{2 \cdot R_A}{b \cdot d} \leq p_D \rightarrow p_1 = \frac{2 \cdot 1519,8}{20 \cdot 10}$

$$p = 10,2 \text{ [MPa]}$$

$$10,2 \text{ [MPa]} \leq 90 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- *Vidlice:* $p_2 = \frac{F}{S} \leq p_D \rightarrow p_2 = \frac{2 \cdot R_A}{a \cdot 2 \cdot a} \leq p_D \rightarrow p_2 = \frac{2 \cdot 1519,8}{10 \cdot 2 \cdot 5}$

$$p = 30,4 \text{ [MPa]}$$

$$30,4 \text{ [MPa]} \leq 90 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



11. Analýza MKP

Z pevnostního hlediska je nezbytné analyzovat konkrétní komponenty, a ověřit tak jejich správné konstrukční řešení a únosnost. Jako nejdůležitější součást pro analýzu bylo zvoleno rameno pod sedákem. Jedná se o díl, u kterého lze předpokládat přenos velkých sil a zatížení.

Metoda konečných prvků (MKP), nebo se také používá anglická zkratka FEM (Finite Element Method), je přibližná počítačová metoda pro výpočtáře. Touto metodou se dají vypočítat deformace a rozložení napětíového pole namodelované součásti. Tedy umožňuje vypočítat napětí i u tvarově složitých součástí, kde bychom klasickými prostředky pružnosti a pevnosti neuspěli, nebo bychom museli výpočet značně zjednodušit. Metodou konečných prvků je obvykle možné analyzovat mnohem víc než jen vypočítat napětí, i když to je její nejčastější použití. Umí například vypočítat rozložení teplotního pole, proudění kapaliny, vypočítat akustické naladění houkačky, stabilitu konstrukcí apod. Metoda konečných prvků tak umožňuje vlastně výrobek „odzkoušet“, aniž by byl vyrobený jeho prototyp, a tak odhalit jeho nedostatečně dimenzovaná místa. Počítačové ověření vlastností a únosnosti výrobku je pak vždy mnohem levnější než opakovaná výroba prototypu nebo úpravy na hotovém výrobku.

Pro vyhotovení této analýzy byl použit výpočtový modul Generative Structural Analysis, který je součástí licenčního balíčku softwaru CATIA V5. V této MKP analýze byly vytvořeny dva případy simulující zatížení sedáku silou.

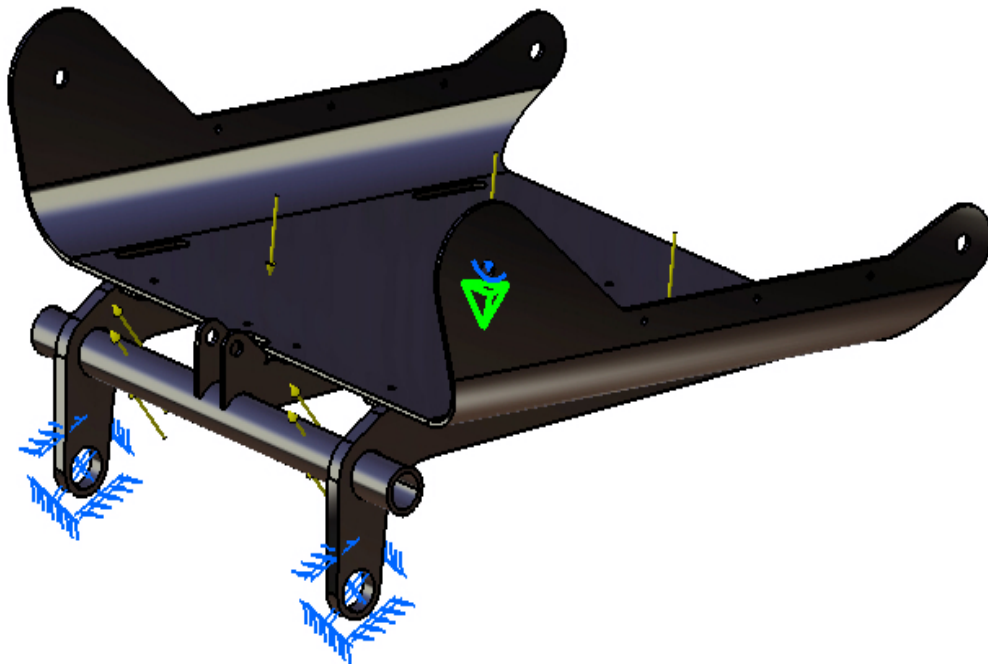
11.1. Analýza 1

11.1.1. Průběh napětí

V rámci první analýzy, po konzultaci s odborníky z oblasti MKP, nejnebezpečnější místo bylo stanoveno v oblasti zaoblení ramen pod sedákem, které následně bude zkoumány. Na obrázku 11.1-1 je uvedena sestava sedáku na nosném rameni. Cílem MKP analýzy je zjistit průběh napětí v daném místě a následně zjistit deformaci deformace sedací části (viz. Obr. 11.1-1). Výpočtový model byl zjednodušen, resp. byly odebrané prvky, které nemají žádný vliv na průběh napětí a deformace (např. plechové kryty).

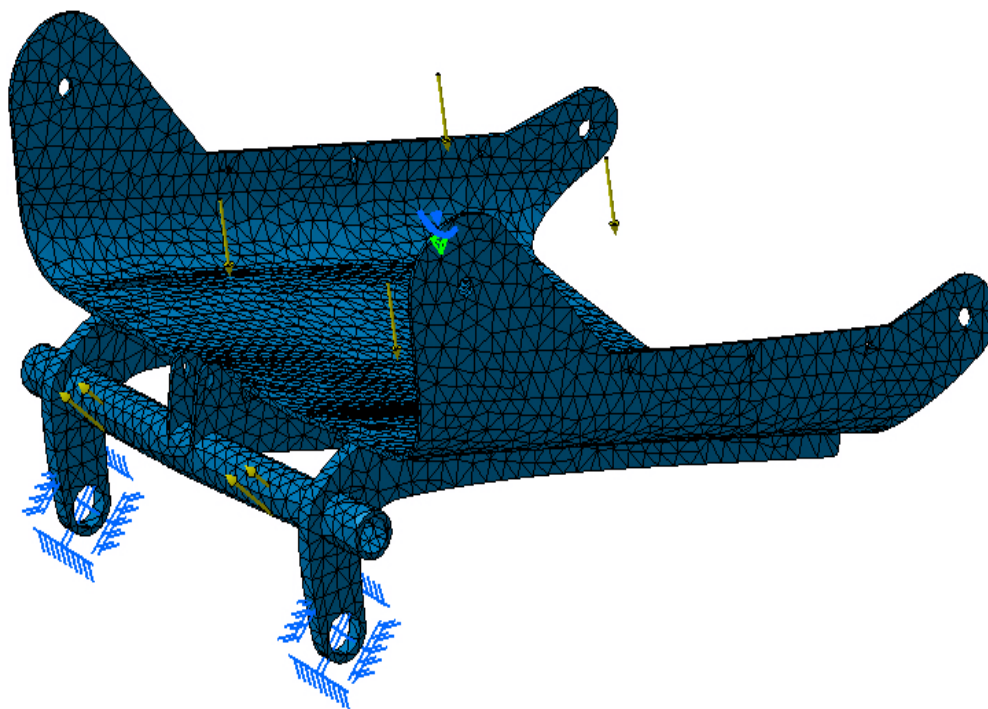
Po zjednodušení modelu jako výchozí materiál byla použita slitina hliníku **AW EN 6026**, která již byla uvedena v bode 9.4. této bakalářské práce.

Dalším krokem je síťování dané sestavy. Velikost prvků byla zvolena 10 mm s ohledem na velikost sestavy a síly stěn. Samozřejmě, že daná sestava je velmi zjednodušená, a proto mám velikost prvků všude stejnou. Zkušební výpočtáři, v rámci analýzy MKP, ve zkoumaném místě vytvářejí jemnější síť, a tím pádem dosahují přesnějších výsledků.



Obr. 11.1.1-1: Sestava analýzy 1

Na Obr. 11.1.1-2 je zobrazená Vysít'ovaná sestava. Typ prvků jsem zvolil parabolický hexaedr, protože na rozdíl od prvků lineárních ukazují přesnější výsledky analýzy.



Obr. 11.1.1-2: Vysít'ovaná sestava analýzy 1

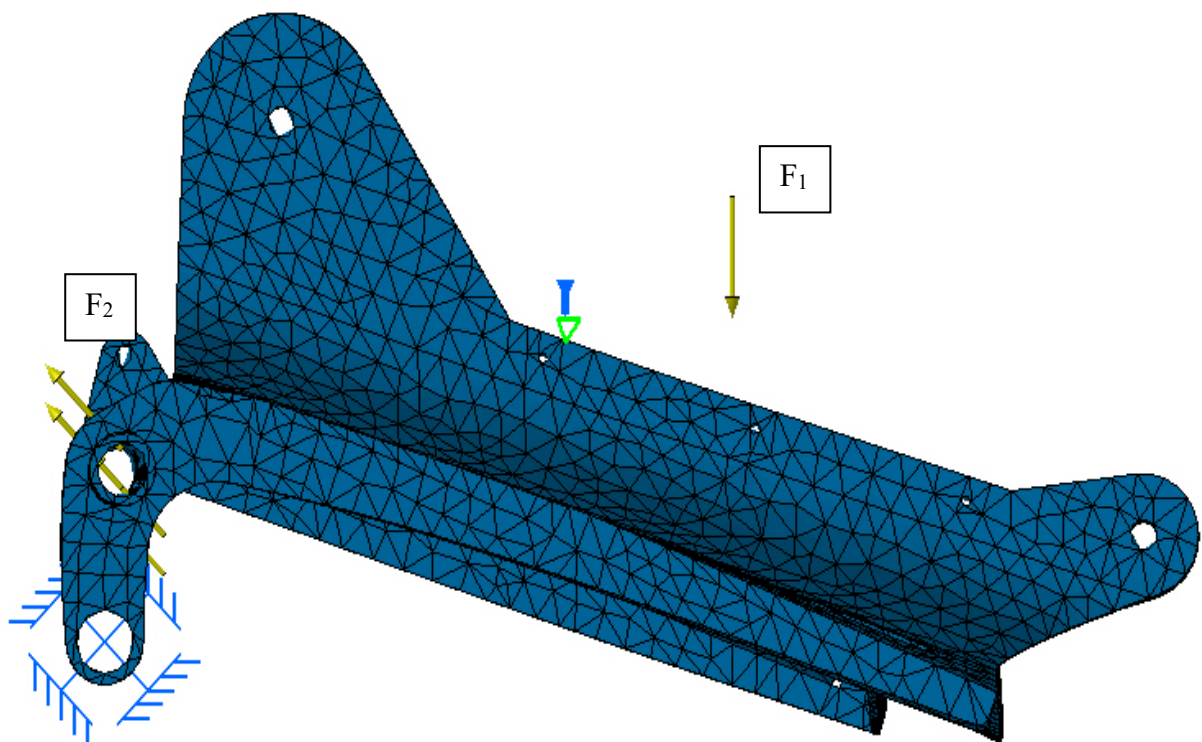


Následně byly zavedeny okrajové podmínky, k nimž patří zatížení a uložení.

Zatížení obvykle zadáváme pomocí sil nebo tlaků. Síly zadáváme zásadně do uzlů. Je potřeba si uvědomit, že když je zadána osamělá síla do jednoho uzlu, tato síla nám způsobí velkou lokální napěťovou špičku. V praxi tomu tak obvykle není, a proto sílu zadáváme rozpočtenou do několika okolních uzlů.

Uložení (podpory) slouží k odebrání stupňů volnosti sestavy, aby se nemohla pohybovat jako celek a zároveň aby se nasimulovalo skutečné použití dané součásti (např. místa jejího připevnění k jiné součásti). Každý uzel obecně má stejně jako těleso 6 stupňů volnosti (3 posuvy do os x, y, z a 3 natočení kolem těchto os). Při zadávání uložení některé z těchto stupňů volnosti odebíráme, tedy součást upínám v daném uzlu v daném směru. Je obvyklé a také z hlediska výpočtu vhodnější použít silně staticky neurčitě uložení.

Při zavedení okrajových podmínek byl zakázán pohyb v bodě uchycení na základní rám. Tím byl odebrán pohyb ve všech stupních volnosti. Další podmínka, na kterou je nutno dát si pozor, je dodržení rovnováhy. Rovnováhu bylo dosaženo zavedením síly F_1 na samotný sedák, tím bylo simulováno sezení dítěte a dále zavedením síly F_2 , která působí z plynové vzpěry. V návrhu počítáme se čtyřicetakilovým zatížením (maximální hmotnost dítěte je 30 kg + 10 kg rezerva). Celkové zatížení se tedy bude rovnat $F_1 = 400$ [N]. Normálová síla F_2 byla odhadnutá ve velikosti 400 [N].

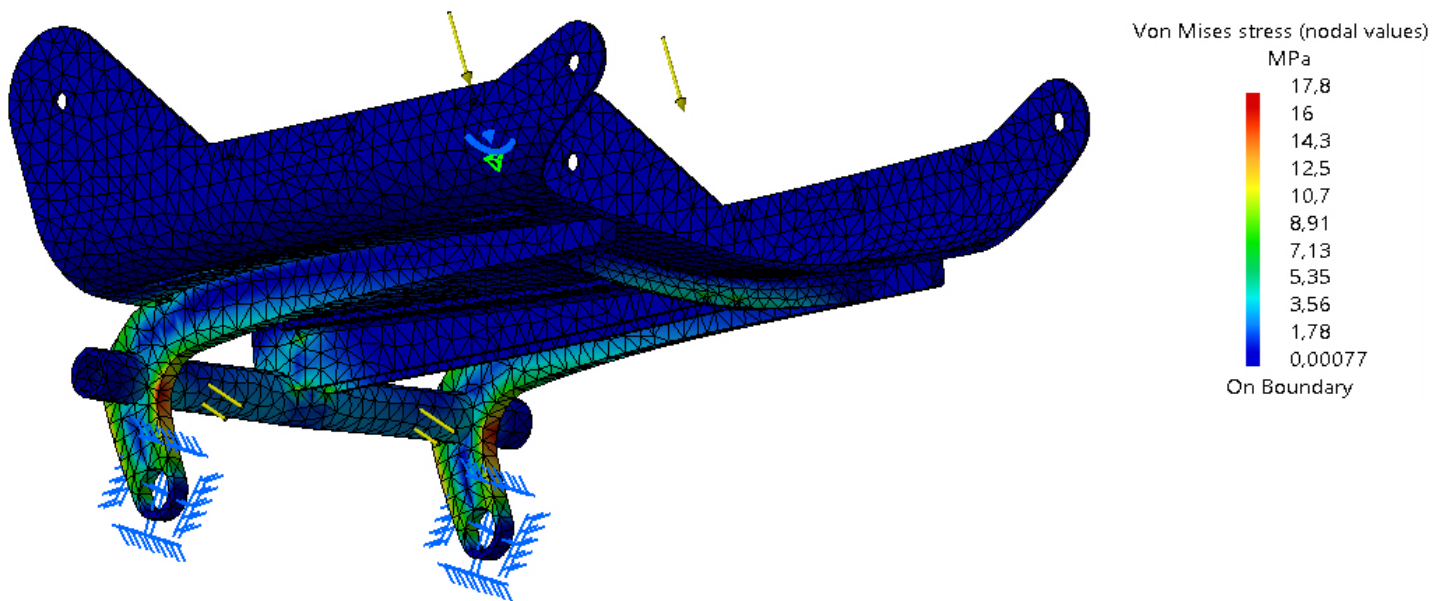


Obr. 11.1.1-3: Vazby a zatížení sestavy

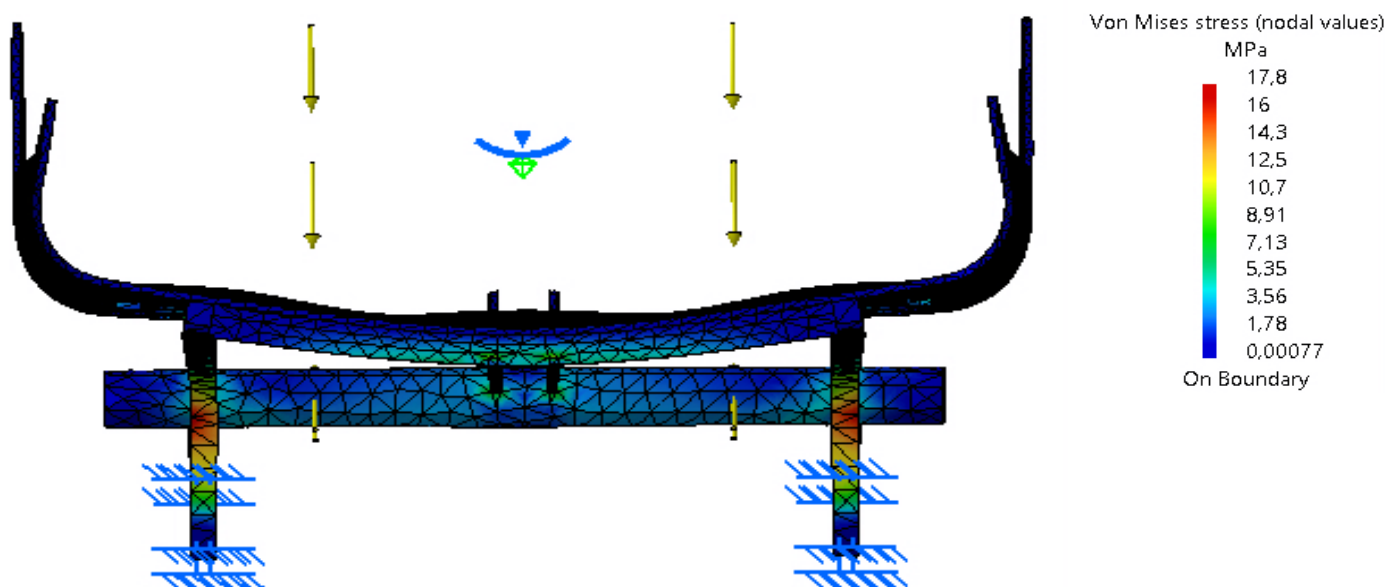


Po správném zadání všech okrajových podmínek byl spuštěn výpočet. Zde je možné poznamenat, že pro výpočet samotný vůbec nebyla potřeba geometrie (křivky, plochy, objemy). Pouze síť konečných prvků a okrajové podmínky.

Pokud je vše v pořádku, proběhne nejprve výpočet deformací (ten trvá dlouho, řeší se rozsáhlá soustava rovnic) a teprve pak výpočet napětí (trvá krátce, používá se Hookeův zákon). Na Obr.11.1.1-4 a 11.1.1-5 jsou znázorněny průběhy napětí Von Mises.



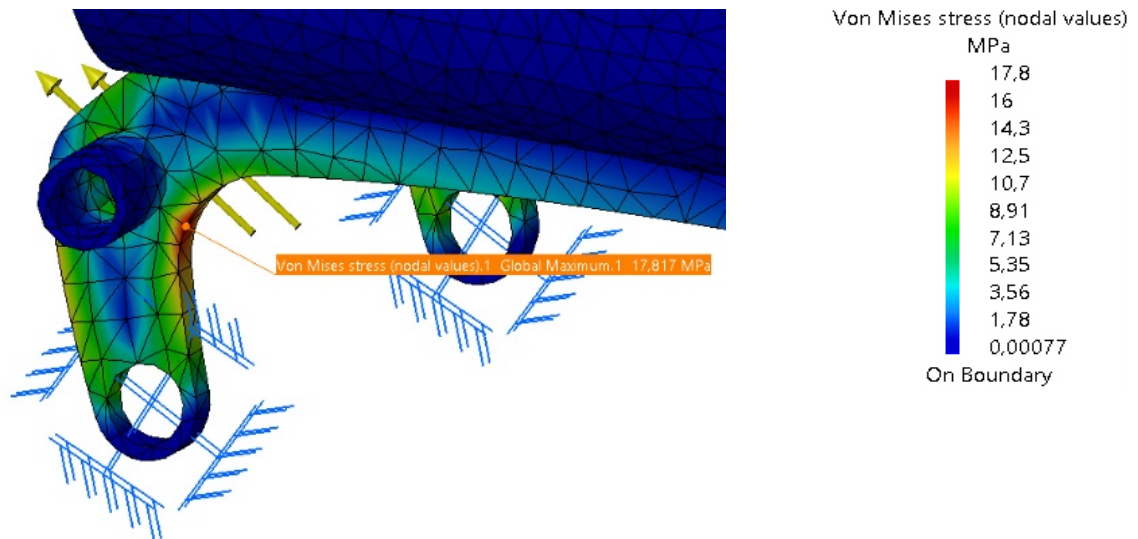
Obr. 11.1.1-4: Průběhy napětí v sestavě



Obr. 11.1.1-5: Průběhy napětí v sestavě pohled zepředu



Výsledkem zatížení je koncentrace napětí v místech označených červenou barvou. Analýza splnila naše předpoklady, že velké koncentrace napětí budou soustředěné v oblasti zaoblení ramen pod sedákem.



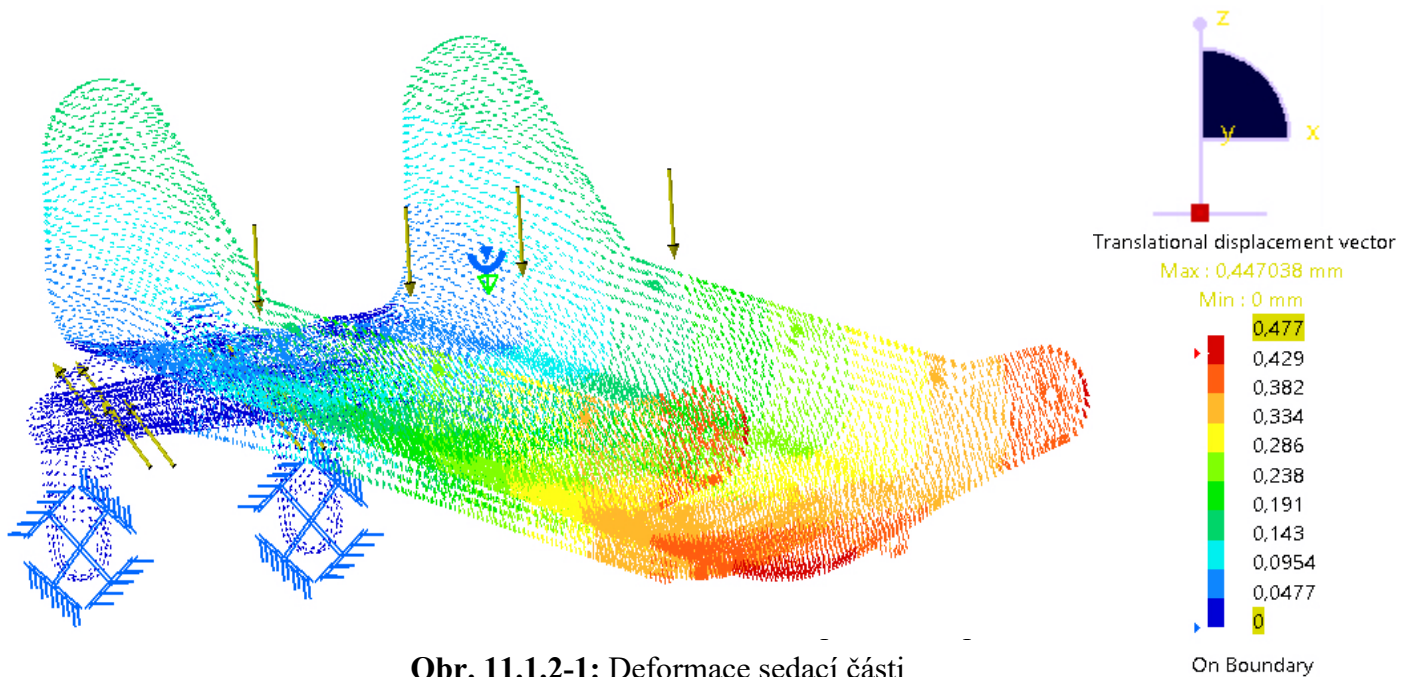
Obr. 11.1.1-6: Detailně znázornění průběhu napětí

Maximální hodnoty redukovaného napětí dle podmínky Von Mises v obou těchto místech se pohybují v okolí **17,8 MPa**. Nejedná se o zcela zanedbatelné hodnoty, nicméně po porovnání s mezí kluzu daného materiálu, který se rovná $R_{p0,2} = \text{MPa}$, může být konstatováno, že není ohrožena bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti.

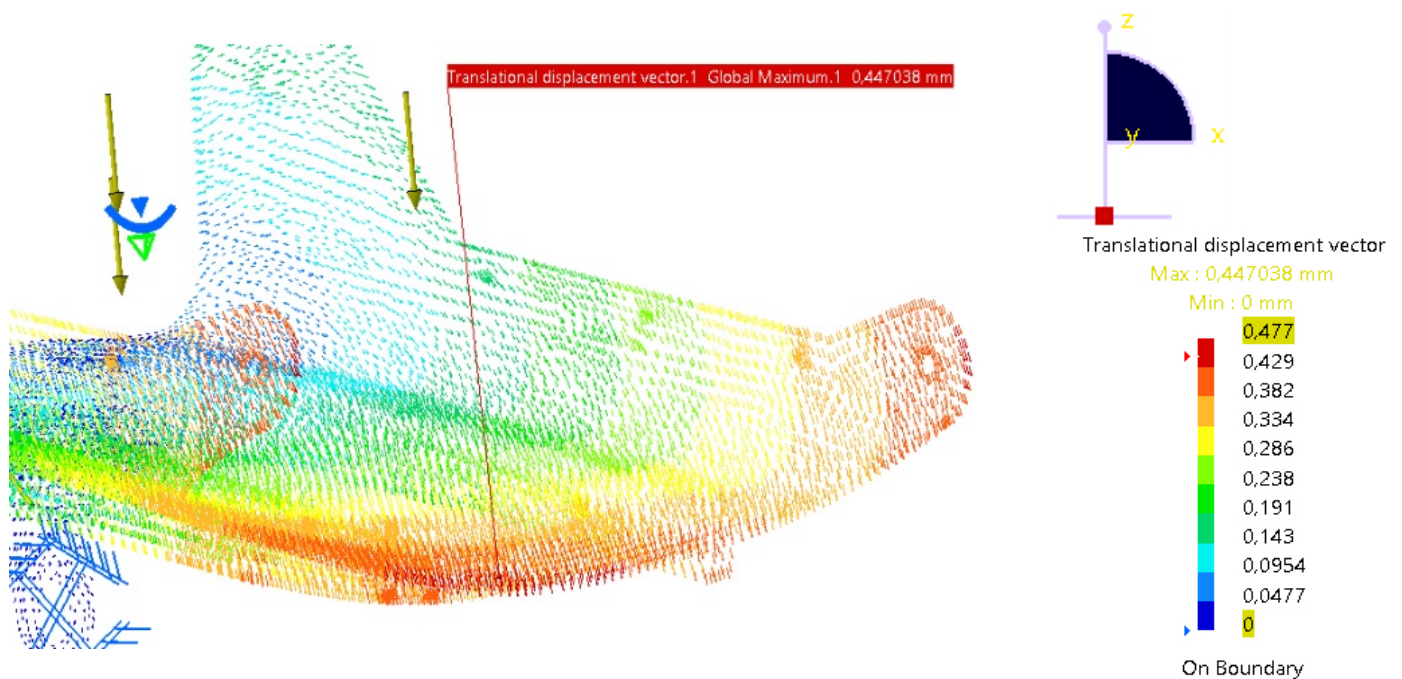
$$k = \frac{R_{p0,2}}{\delta_{RED}} = \frac{250}{17,8} \approx 14$$

11.1.2. Deformace sedací části

Jelikož známe průběhy napětí, zbývá zjistit velikosti deformaci sedací součásti. Okrajové podmínky a zatížení byly určeny v předchozím bodě. Výsledné deformace jsou znázorněny na Obr. 11.1.2-1 a Obr. 11.1.2-2.



Obr. 11.1.2-1: Deformace sedací části



Obr. 11.1.2-2: Detailní znázornění deformace sedací části

Z předchozích obrázků je vidět, že celková deformace ve směru osy z je **0,45 mm**.

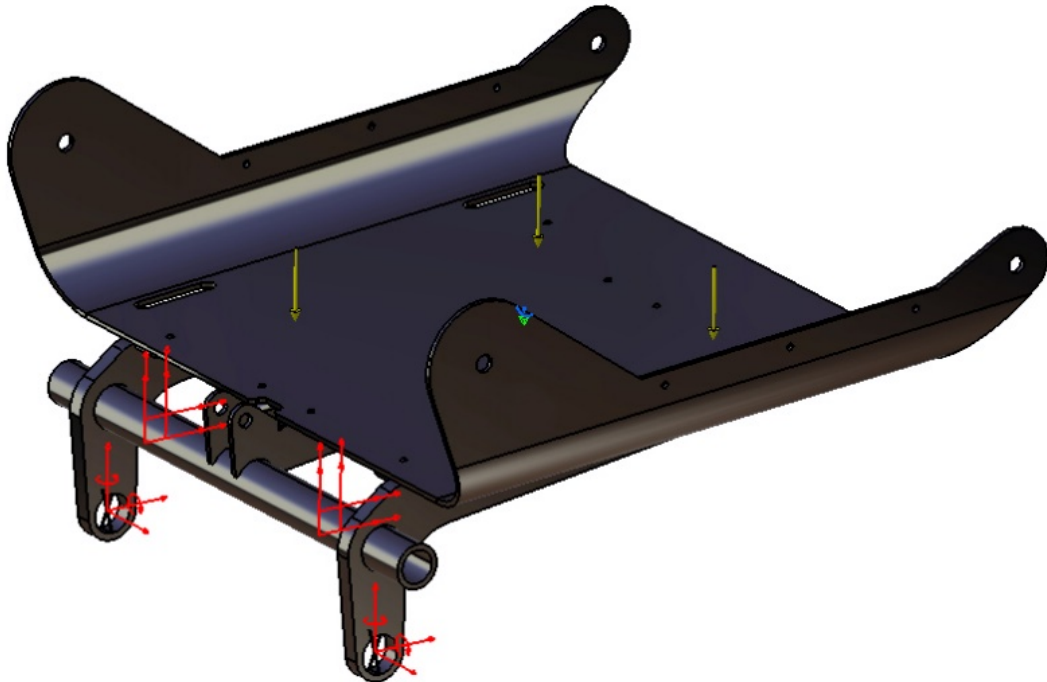


11.2. Analýza 2

V rámci druhé analýzy použiju stejnou sestavu, stejný materiál, ale jiné okrajové podmínky, které více odpovídají chování sedací části v realitě.

11.2.1. Průběh napětí

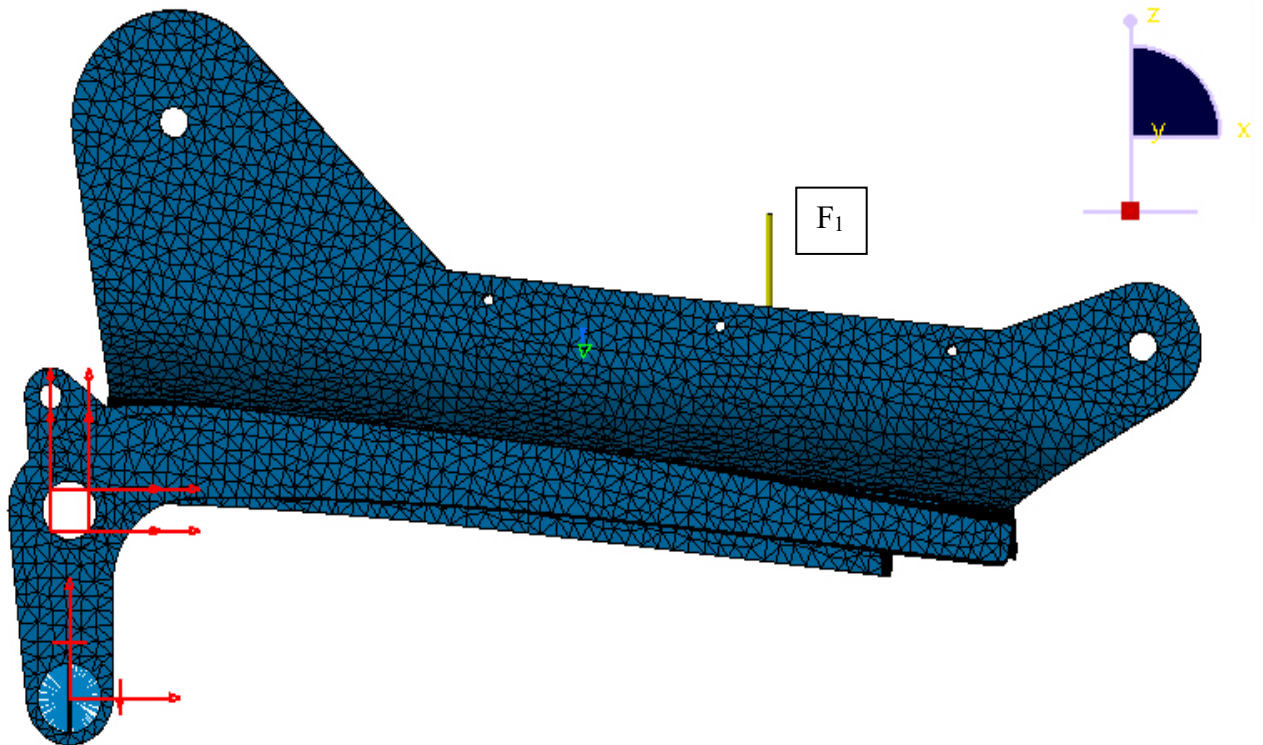
Velikost prvků byla zvolena 5 mm, tím jsem zjemnil síť celé sestavy. Odsud je patrně, že výsledky průběhu napětí budou přesnější, než u analýzy 1.



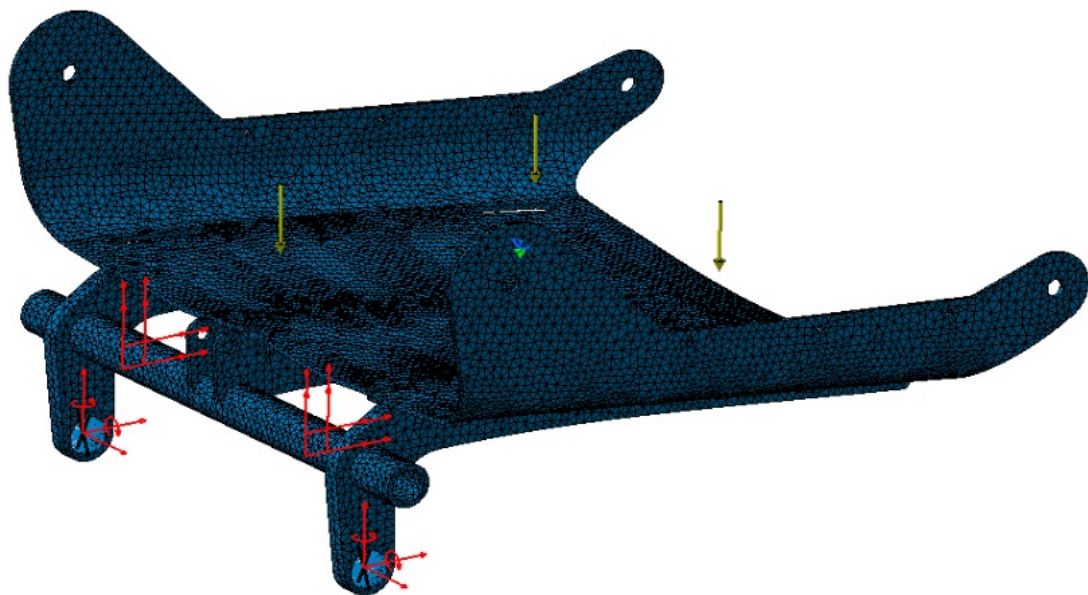
Obr. 11.2.1-1: Sestava analýzy 2

Typ prvků je taky stejný, a to parabolicky hexaedr. Na Obr. 11.2.1-2 je znázorněná vysíťovaná sestava sedací části. Zmenší se rozměr prvků, tím se pádem zmenší i síť sestavy.

Okrajové podmínky, jak byly zmíněny dříve, však budou v rámci analýzy 2 budou jiné. Okrajové podmínky jsou znázorněny na Obr. 11.2.1-3.



Obr. 11.2.1-3: Vazby a zatížení sestavy



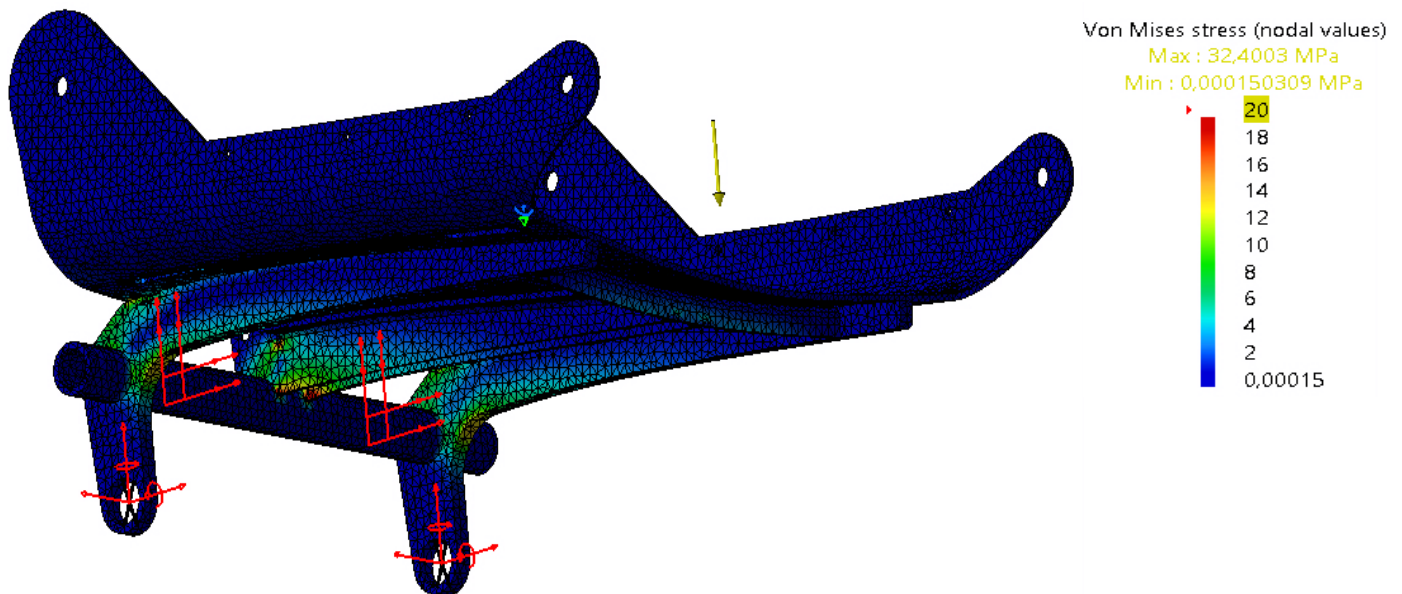
Obr. 11.2.1-2: Vysíťovaná sestava analýzy 2

Silu F_2 , působící z plynové vzpěry byly nahrazeny vazbami, umožňujícími naklonění vůči ose x a z, nikoliv vůči ose y, následně byly zakázány rotace vůči všem osám. Následně v bodě uchycení na základní rám bylo umožněno naklonění vůči ose x a z a zároveň byla povolena rotace vůči ose x a z, nikoliv vůči ose y. Dále ve stejném bodě byla vytvořena podmínka, že ten bod bude



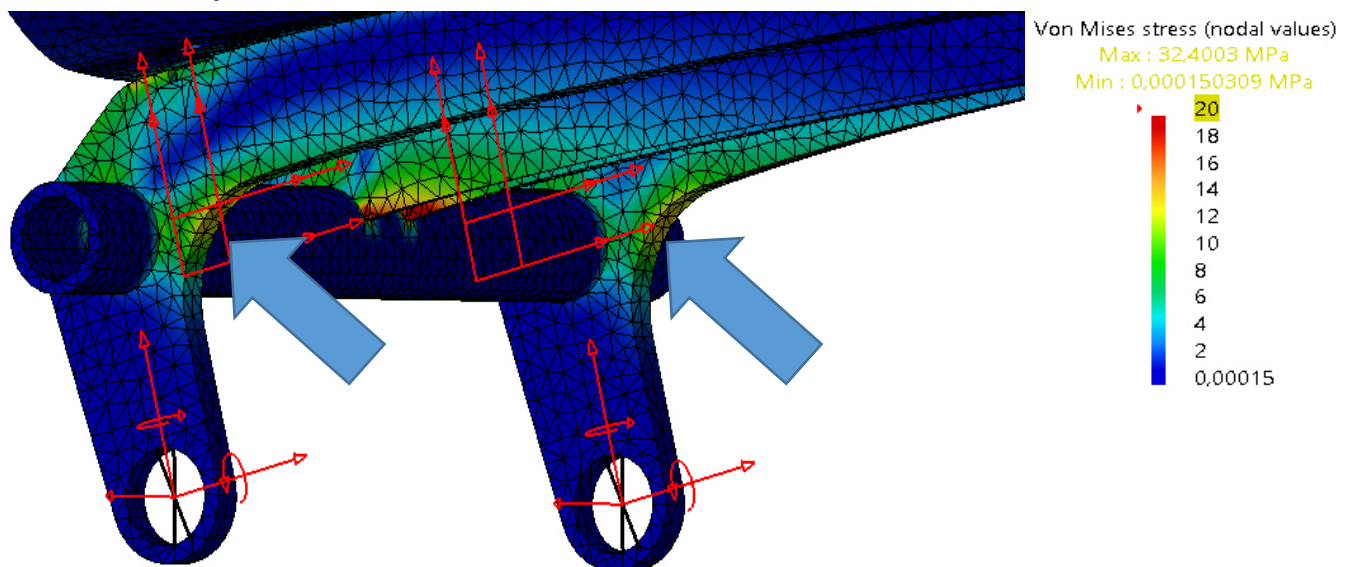
absolutně tuhým. Síla $F_1 = 400$ [N]. Tím byla dosažena víceméně podmínka reálného chování sedací části.

Následně byly získané výsledky průběhu napětí. Na Obr.11.2.1-4 jsou znázorněny průběhy napětí Von Mises.



Obr. 11.2.1-4: Průběhy napětí v sestavě

Při detailním pohledu je vidět, že koncentrace napětí v místech označených červenou barvou jsou převážně v oblasti svarů. Svary, v rámci takhle zjednodušeného výpočtového modelu není možno řešit. Zkoumané jsou místa zaoblení ramen.



Obr. 11.2.1-5: Detailní znázornění průběhu napětí

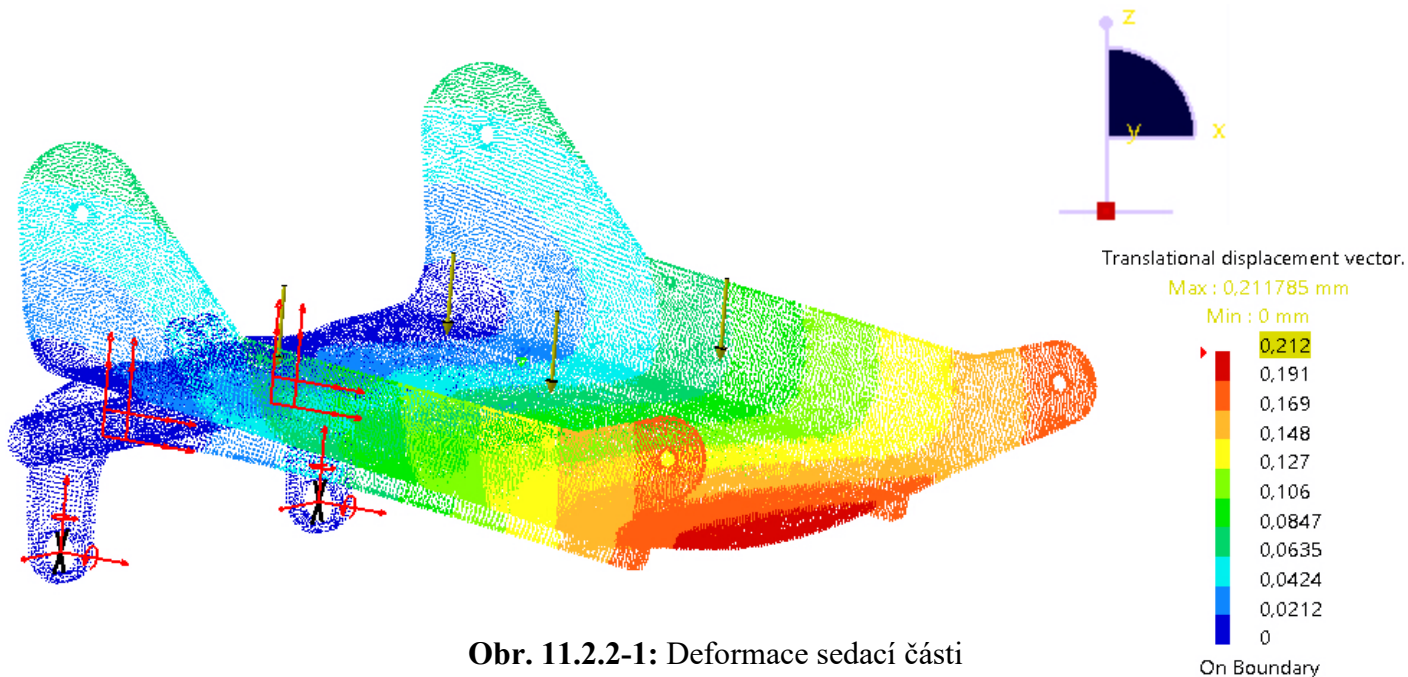


Maximální hodnoty redukovaného napětí dle podmínky Von Mises v obou těchto místech se pohybují v okolí **13,5 MPa**, což je o něco méně než v předchozí analýze. Dosážením získaných hodnot do vzorce bezpečnosti získáno:

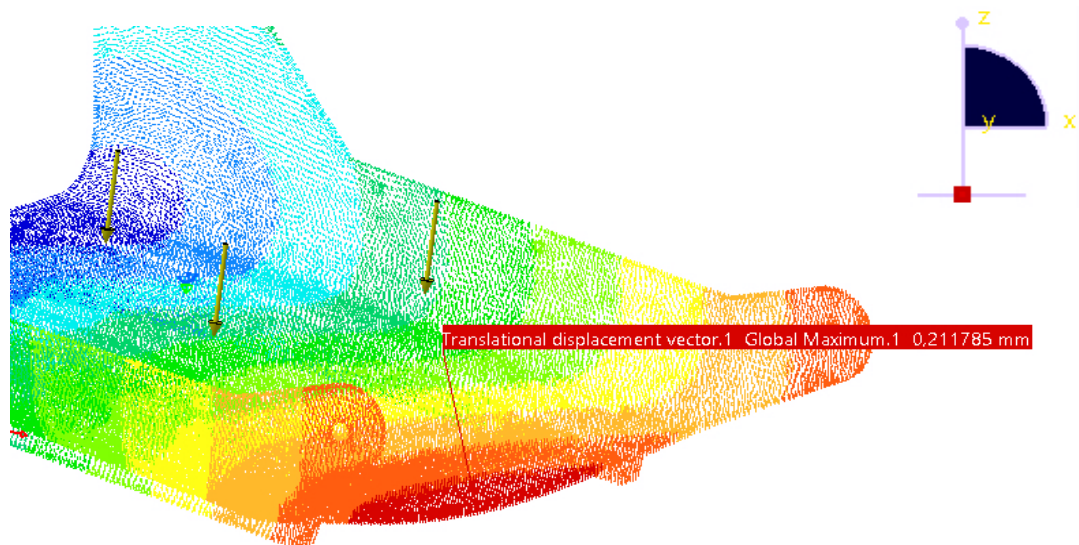
$$k = \frac{R_{p0,2}}{\delta_{RED}} = \frac{250}{13,5} \approx 18$$

11.2.2. Deformace sedací části

Výsledná deformace je znázorněná na Obr. 11.2.2-1 a Obr. 11.2.2-2.



Obr. 11.2.2-1: Deformace sedací části



Obr. 11.1.2-2: Detailní znázornění deformace sedací části

Celková deformace ve smeru osy z je **0,21 mm**.



11.3. Vyhodnocení analýz

Výsledné hodnoty bezpečností v obou analýzách ukazují, že konstrukce je více než desetkrát předimenzovaná oproti určenému přípustnému zatížení, což dává prostor pro úpravy (např. použití jiného konstrukčního materiálu) pro výrobu finálního produktu. MKP analýzy potvrzují správné konstrukční řešení sedací části a její schopnost odolat požadovanému zatížení se značnou rezervou. Nicméně skutečnou odolnost sedací části bude prokázáno až při celkovém testování vozíku v reálných podmínkách, které případně odhalí její kritická místa.

12. Závěr

V rešerši této bakalářské práce byly provedeny analýzy jednotlivých technických parametrů mechanických vozků, způsob a zásady získání měrných údajů pro stavbu vozíku, aby už nedocházelo k mylnému zvolení některého z parametrů vozíku, a tím by bylo uživateli bráněno ve využití jeho maximálních schopností, tedy možností pro jeho aktivní život a maximální soběstačnost.

Dále byly v této části popsány a znázorněny komerčně dostupné polohovací vozíky. Následně byly popsány nejčastější zdravotní problémy, s kterými se uživatelé invalidních vozíků potýkají a na jejich základě byly sestaveny požadavky.

Následně byl kladen důraz na správné polohování dítěte ve vozíku a dětskou antropometrii. Tato informace ukazuje, kolik případných technických parametrů musí být bráno v úvahu konstruktérem při návrhu podobného mechanismu.

Stěžejní částí bakalářské práce byl nový konstrukční návrh polohovací sedáčky pro invalidní vozík určený pro kombinovaně postižené děti. Nový konstrukční návrh byl vypracován formou 3D modelu v CAD softwaru CATIA V5. Pro zvolenou polohu navrženého invalidního vozíku s polohovatelným sedákem byla vyřešena rovnováha působících sil metodou uvolňování. Konstrukční a návrhové výpočty vybraných dílů byly provedeny analyticky (přivařené úchyty plynové vzpěry, čep plynové vzpěry) i s využitím metody MKP (sestava sedáku).

Bakalářská práce byla řešena ve spolupráci se společností ITO1DESIGN s.r.o. Již byl vyroben funkční prototyp, který bude v blízké budoucnosti podroben zkouškám.

Nejdůležitějším aspektem této práce je však skutečnost, že nejsou tak důležité samotné požadavky, jako jejich nejvhodnější kombinace pro daného uživatele. Každý uživatel invalidního vozíku je specifický a pro jeho pohodlí a bezpečí je zapotřebí jiných vlastností vozíku. Zde více než u jiných technických odvětví je třeba "lidský" přístup a ideálně komunikace s budoucím uživatelem vozíku, jelikož dobře odvedená práce se pak kladně projeví i na zdravotním stavu uživatele a není nic cennějšího než lidské zdraví.



13. Zdroje :

[1] Rodina a dítě se zdravotním postižením. *Počet rodin v CR pečujících o vlastní dítě se zdravotním postižením.* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.sancedetem.cz/cs/hledam-pomoc/deti-se-zdravotnim-postizenim/rodina-ditete-se-zdravotnim-postizenim/rodina-a-dite-se-zdravotnim-postizenim.shtml#pocet-rodin>

[2] Wheelchair. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wheelchair>

[3] Podpora rozvoje hybnosti osob s tělesným postižením [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/hybnost/web/index.html>

[4] Invalidní vozíky. *Vaše poradna o zdravotních pomůckách* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.pomucky-poradna.cz/invalidni-voziky/>

[5] *Uživatelská příručka k mechanickému vozíku* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/18403062-Uzivatelaska-prirucka-k-mechanickemu-voziku-alto-plus.html>

[6] *Invalidní vozíky firmy Patron* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.patron.eu/cs/reha/reha-produkty/voziky>

[7] *Rehabilitační a kompenzační pomůcky firmy RehaKomp* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.rehakomp.cz/mechanicke-a-elektricke-invalidni-voziky/>

[8] *Zdravotní pomůcky firmy Inter Meta* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.intermeta.cz/specialni-voziky/184-vozik-mechanicky-specialni-eclips-x4-90-.html>

[9] Bc. Juříček, Václav. *Vzpřimovací invalidní vozík*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Černý, CSc. [PDF]

[10] Jak vybrat pomůcku? *Zdravotnické pomůcky a potřeby Meyra.* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.meyra.cz/nakupni-radce-jak-vybrat-pomucku.html>

[11] Invalidní vozíky společnosti ORTOSERVIS. [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://ortoservis.cz/86-voziky>

[12] Úmluva o právech osob se zdravotním postižením. [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.ochrance.cz/fileadmin/user_upload/DISKRIMINACE/pravni_predpisy/Umluva_o_pravech_osob_se_zdravotnim_postizenim.pdf

[13] Bc. Václav Panuška. *Pomůcka pro tělesné postižené určena pro překonávání obtížného terénu*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Roman Čermák, PhD. [PDF]

[14] MyGo seating system. *Leckey Mygo Seat.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://ortoservis.cz/86-voziky>



[15] Milan Prudký. *Přehled technických parametrů mechanických vozků pro osoby s fyzickým postižením*. Praha, 2006. Bakalářská práce. Karlova Univerzita, 1. Lékařská fakulta. Vedoucí práce Ludmila Hamáčková. [PDF]

[16] David Havlík. *Problémy při konstrukci invalidních vozků*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Ivana Mazínová. [PDF]

[17] Sawatsky, B., University of Pittsburgh, 2002. [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.wheelchairnet.org>

[18] Sedací systém MyGo. [online]. [cit.2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.ottobock.cz/mobility-solutions/24hodinova-pece-o-deti/pomucky-dle-dennich-aktivit/jidlo-a-piti/mygo/>

[19] Vozík pro asistované polohování v prostoru Zippie RS. [online]. [cit.2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.medicco.cz/voziky/zippie/detske-invalidni-voziky/zippie-rs-detsky-vozik>

[20] Sedací systém PLUTON. [online]. [cit.2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.medicco.cz/sedaci-systemy/jcm-sedaci-system/pluton>

[21] Sedací systém X:PANDA. [online]. [cit.2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.reha2015.cz/kategorie/sedacky-voziky>

[22] Impol Aluminium industry. [online]. [cit.2019-06-02]. Dostupné z: <http://www.impol.com/materials>

[23] *Výpočet koutových svarů*. [online]. [cit.2019-06-02]. Dostupné z <http://www.mitcalc.com/doc/welding/help/cz/welding.htm>

[24] Švec V. *Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací*. Praha, 2008. ČVUT.