

# Konstrukční návrh lokomoční pomůcky

Ladislav Paďour

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav PAĎOUR**  
Osobní číslo: **T07372**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukční návrh lokomoční pomůcky**

Zásady pro vypracování:

- 1.Úvod
- 2.Lokomoční pomůcky určené pro sportovní využití
- 3.Přehled konstrukčních materiálů a technologií pro výrobu výrobků
- 4.Návrh a konstrukce výrobku a základní pevnostní výpočet
- 5.Konstrukční návrh aktivního vozíku - nosný rám - laminátová struktura
- 6.Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle uvážení vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Křůmal**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2011**

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Pařour Ladislav

Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1.6.2011

Ladislav Pařour

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:  
(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem invalidního vozíku pro uživatele, snažící se zapadnout lépe do společnosti. Invalidní vozík je konstruován tím způsobem, aby splnil, co nejvíce potřeb běžných uživatelů.

V teoretické části se budu zabývat jednotlivým rozdělením lokomočních pomůcek pro lidi s tělesným postižením. Dále se budu zabývat výběrem materiálu pro konstrukci tohoto vozíku.

V praktické části se budu věnovat konstrukčnímu návrhu invalidního vozíku. Návrh bude doložen výkresem.

Klíčová slova: lokomoční pomůcky, invalidní vozík, pomůcky pro pohyb tělesně postižených.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with constructional design for a wheelchair user trying to fit better into society. The wheelchair is designed that way to meet, the most common needs of users.

In the theoretical part I will deal with each division of locomotion devices for people with physical disabilities. Furthermore, I will deal with the choice of material for construction of the wheelchair.

In the practical part I will attend with constructional design of the wheelchair. Design will be documented with drawing.

Key words: locomotion devices, wheelchair, device for movement for physical disabilities.

Děkuji Ing. Martinu Křůmalovi za vstřícný a ochotný přístup při vedení mojí bakalářské práce, za poskytnutý čas, velmi cenné rady a připomínky.

#### Motto

Lokomoční pomůcky umožňují zdravotně postiženým žít plnohodnotným životem. Pro sportovní účely potřebují zařízení, které umožňuje mobilitu i při aktivním způsobu života. Z tohoto důvodu je nutno řešit speciální konstrukci aktivního vozíku, jeho ergonomii, geometrické proporce a jízdní vlastnosti, výběr materiálů spolu s výrobní technologií. Vzhledem ke zvýšenému fyzikálnímu namáhání pomůcky při sportovních aktivitách je nezbytné řešení ověřit výpočtem.

Ing. Martin Křůmal

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TYPY POMŮCEK PRO TĚLESNĚ POSTIŽENÉ JEDINCE</b> .....	<b>12</b>
1.1    STANDARDNÍ INVALIDNÍ VOZÍK .....	12
1.2    ODLEHČENÝ INVALIDNÍ VOZÍK .....	12
1.3    AKTIVNÍ INVALIDNÍ VOZÍK.....	13
1.3.1    Aktivní skládací vozíky.....	13
1.3.2    Aktivní vozík s pevným rámem .....	14
1.4    SPECIÁLNÍ INVALIDNÍ VOZÍK.....	15
1.5    INVALIDNÍ POLOHOVACÍ VOZÍK .....	15
1.6    ELEKTRICKÝ INVALIDNÍ VOZÍK .....	16
1.6.1    Exteriérový invalidní vozík.....	16
1.6.2    Interiérový invalidní vozík .....	17
1.7    TRILOBIT .....	17
<b>2 PŘEHLED KOSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU MULTIFUNKČNÍHO VOZÍKU TRILOBIT</b> .....	<b>19</b>
2.1    KOMPOZITNÍ MATERIÁLY.....	19
2.1.1    Klasifikace kompozitů .....	19
2.1.2    Kompozitní matrice.....	21
2.1.2.1    Termoplastové matrice.....	21
2.1.2.2    Reaktoplastové matrice.....	22
2.1.3    Vlákna pro kompozity.....	22
2.1.3.1    Skleněná vlákna .....	23
2.1.3.2    Uhlíková vlákna.....	25
2.1.3.3    Polymerní vlákna .....	28
2.1.3.4    Čedičová vlákna.....	29
2.1.3.5    Proteinová vlákna .....	29
2.1.3.6    Přírodní vlákna z rostlin.....	30
2.1.3.7    Borová vlákna .....	31
2.1.3.8    Kevlarová vlákna .....	31
2.1.3.9    Whiskery .....	32
2.1.3.10    Kovová vlákna .....	32
2.2    OSTATNÍ MATERIÁLY.....	32
2.2.1    Hliník.....	33
2.2.2    Hořčík.....	33
2.2.3    Titan .....	33
2.2.4    Ocel .....	34
<b>3 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>36</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>4 VÝBĚR MATERIÁLU</b> .....	<b>38</b>



4.1	SKELNÁ VLÁKNA .....	38
4.2	UHLÍKOVÁ VLÁKNA.....	39
4.3	KEVLAROVÁ (ARAMIDOVÁ) VLÁKNA.....	40
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH AKTIVNÍHO VOZÍKU .....</b>	<b>41</b>
5.1	PARAMETRY VOZÍKU .....	41
5.2	PRVNÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTA .....	42
5.3	DRUHÁ KONSTRUKČNÍ VARIANTA.....	47
<b>6</b>	<b>MECHANICKÁ ANALÝZA PEVNOSTI .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>SHRNUTÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>56</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>64</b>

## ÚVOD

Vozíky je možno rozdělit do dvou skupin - mechanické a elektrické. Elektrický vozík využívá většinou člověk, který má omezenou hybnost horních končetin. Pro získání elektrického invalidního vozíku, je třeba podstoupit řadu testů, nejen psychologické. Po vybrání vozíku jej předepíše odborný lékař, rehabilitační lékař, neurolog nebo ortoped. Člověk má právo mít vozík od pojišťovny jednou za 5 let. Proto je důležitý pečlivý výběr, protože pokud si jedinec vybere vozík, který mu po čase přestane vyhovovat, další zdravotní pojišťovna uhradí po uplynulé době 5 let. Jen v závažných případech, při potvrzení lékaře, že došlo u jedince ke změně zdravotního stavu a současný invalidní vozík poškozuje zdraví, může pojišťovna rozhodnout, že vozík vymění.

Vhodná volba invalidního vozíku je velmi důležitá z důvodu, že pokud vozík nebude jedinci vyhovovat, může to velmi zkomplikovat každodenní život a negativně ovlivnit zdravotní stav. Výběr invalidního vozíku je z těchto důvodů vhodné ponechat na dobu, kdy bude jedinec v rehabilitačním středisku a jeho zdravotní stav se stabilizuje.

Prodejem invalidních vozíků a jejich dílů se zabývá spousta firem. V každém případě je vhodné nechat si udělat nabídku více firem, neuspěchat výběr a především vozíky otestovat. A zároveň otestovat, jak v místnostech, tak i v terénu, kde jsou nerovnosti. Poslední důležitou věcí je zjistit, zda zvolený vozík je plně hrazen pojišťovnou, nebo kolik bude nutno doplatit.

Tato bakalářská práce se zabývá rozdělením invalidních vozíků a pomůcek pro tělesně postižené jedince. Budou zde popsány jednotlivé materiály pro výrobu tohoto invalidního vozíku trilobit. Bude také obsahovat řešení po konstrukční stránce a FEM analýzu. Návrh bude vycházet z designového návrhu invalidního vozíku trilobit, který vymyslel student fakulty multimediálních komunikací Jan Škola.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TYPY POMŮCEK PRO TĚLESNĚ POSTIŽENÉ JEDINCE

V teoretické části budou popsány typy pomůcek pro pohyb tělesně postižených jedinců. Typy pomůcek jsou zobrazeny podle stávající nabídky obchodníků na internetu. Popis obsahuje i základní parametry pomůcek.

### 1.1 Standardní invalidní vozík

Standardní vozíky jsou určeny pro běžné využití. Jejich konstrukce je řešena velice jednoduše, aby uživatelé neměli problém se složením vozíku. Většinou jsou vyrobeny z ocelových trubek. To se však projevuje na váze celého vozíku. Hmotnost těchto standardních vozíků se pohybuje v rozmezí 18 – 23 kg. U většiny vozíků lze posunout těžiště. Posunutí těžiště zlepšuje ovladatelnost vozíku pro jeho uživatele. Standardní vozíky hradí plně pojišťovna. [1]



*Obr. 1. Standardní invalidní vozík se zvýšenou nosností rámu.*

### 1.2 Odlehčený invalidní vozík

Odlehčené invalidní vozíky jsou levnější alternativou za aktivní vozíky. Ovládají se daleko lépe, než standardní vozíky. Pro uživatele bývají lehčí vozíky mnohem lépe ovladatelnými, než vozíky s vyšší hmotností. Samozřejmě se uživatelé při ovládání těchto vozíků nevydají tolik energie. Hmotnost odlehčených vozíků se pohybuje mezi 13-18 kg. Ovšem i možnos-

ti nastavení tohoto vozíku jsou daleko obsáhlejší, než u standardních vozíků. Nosnost mají 130 kg. [2]



*Obr. 2. Odlehčený invalidní vozík  
Progeo Basic Light z duralové  
kostrukce.*

### **1.3 Aktivní invalidní vozík**

Aktivní invalidní vozíky slouží lidem, kteří chtějí být více pohybliví na vozíku a zapadnout tak lépe do běžného života. Jsou vyráběny z velice lehkých materiálů. Samozřejmostí je posunutí těžiště a díky tomu a lehkosti vozíku se velice dobře ovládá. Hmotnost aktivních vozíků se pohybuje mezi 7 – 12 kg. Nejlépe se dá dosáhnout této hmotnosti využitím kompozitních materiálů. Tyto vozíky bývají také lépe vybaveny oproti standardním vozíků. Aktivní vozíky zdravotní pojišťovna zcela nehradí. Hradí asi půlku z celkové částky vozíku. Existují 2 typy aktivních vozíků.

#### **1.3.1 Aktivní skládací vozíky**

Aktivní skládací vozíky jsou lehké a vhodné k přepravě, protože mohou být složeny. Skládací aktivní vozíky nemají takovou pevnost, jako aktivní vozíky s pevným rámem. Aktivní skládací vozíky mají nosnost asi 120 kg.



*Obr. 3. Skládací invalidní vozík  
Progeo Tekna. Složený.*

### **1.3.2 Aktivní vozík s pevným rámem**

Aktivní vozíky s pevným rámem bývají těmi nejlépejšími. Protože mají pevný rám, tak mají daleko větší pevnost, než skládací vozíky. Aktivní vozíky s pevným rámem nejsou zcela vhodné pro přepravu. Mají totiž omezené možnosti rozložení. Jejich nosnost může být i 130 kg. Vozík na obrázku má pevný duralový rám a ostatní trubky jsou titanové. [3]



*Obr. 4. Aktivní invalidní vozík s pevným rámem.*

## 1.4 Speciální invalidní vozík

Speciální vozíky jsou určeny pro uživatele s nekoordinovanými pohyby, také pro uživatele těžce sedící. Vozíky se vyrábějí především na míru. Dokonce lze do nábojů namontovat elektromotor, který pomáhá lidem v pohybu. Tyto vozíky mají široké spektrum nastavení. Jejich nosnost 125 kg. Avšak, jediná věc co lze vytknout je hmotnost tohoto vozíku. Hmotnost bývá od 19 kg a výše. [4]



*Obr. 5. Speciální polohovací invalidní vozík.*

## 1.5 Invalidní polohovací vozík

Polohovací invalidní vozíky jsou určeny pro lidi, kterým to bývá doporučeno lékařem. Mohou být předepsány neurology, ortopedy anebo rehabilitačními lékaři. U polohovacích vozíků je obrovskou výhodou nepřeberné množství funkcí. Předností může být polohování anatomické opěrky zad, opěrky hlavy, nastavitelný úhel a hloubky sedu. Hmotnost vozíku se pohybuje okolo 32 kg. Unese člověka do 130 kg. Pojišťovna hradí jen některé typy vozíků. [5]



*Obr. 6. Polohovací invalidní vozík  
s nastavitelnou opěrkou hlavy.*

## **1.6 Elektrický invalidní vozík**

Elektrický invalidní vozík je určen pro osoby, které trpí pohybovým postižením horních i dolních končetin. Veliká hmotnost vozíku a také omezená vzdálenost dojezdu, která nebývá příliš velká jsou největší nevýhodou elektrického vozíku. Ale na druhou stranu tyto vozíky mají největší možnosti nastavení sedačky. U některých typů lze sedačku nastavit do vzpřímené polohy, což se může řadě uživatelů opravdu líbit. Nosnost těchto vozíků bývá až 160 kg a hmotnost vozíků se pohybuje v rozmezí 65 – 140 kg.

### **1.6.1 Exteriérový invalidní vozík**

Exteriérové invalidní vozíky slouží spíše pro cestování po venku. Tyto typy vozíků jsou širší, oproti interiérovým vozíkům. Exteriérové vozíky mohou také ujet daleko větší vzdálenosti, než interiérové vozíky. [6]



*Obr. 7. Exteriérový vozík*



### 1.6.2 Interiérový invalidní vozík

Interiérové invalidní vozíky se využívají především pro jezdění v budovách, nebo domácnostech. Interiérový vozík je užší a lehčí, oproti exteriérovému a urazí menší vzdálenosti. Elektrické invalidní vozíky jsou hrazeny zdravotními pojišťovny. [7]



*Obr. 8. Interiérový vozík Jazzy 1107.*

### 1.7 Trilobit

Invalidní vozík není jen těžkou objemnou komplikací, ale může být i skvělým pomocníkem při sportování handicapovaných. Právě to platí pro ultralehký vozík, který pod názvem Trilobit vznikl ve spolupráci studentů Ateliéru průmyslového designu Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a Ústavem tělesné výchovy na téže univerzitě. [8]

Vozík s názvem Trilobit lze použít jen k přepravě, čili může nahradit nohy při chůzi. Ale byla by to věčná škoda, protože stačí málo a můžete za jeho pomoci začít sportovat. **Velmi lehce se stane hned několika sportovními pomůckami.** "Jeho spodní část je možné jednoduše vyměnit – kolečka za in-liny, za brusle na sledge hokej nebo za lyži, případně celý vozík během chvilky změníte na bicykl. [8]

Tato bakalářská práce se zajímá o návrh základního vozíku tohoto multifunkčního trilobitu. Samozřejmostí je vytvořit, co největší komfort pro uživatele trilobitu. Multifunkční vozík trilobit by měl být lehký a pevný, aby se uživatelům dobře ovládal a lehce se s ním manipulovalo. Vozík musí být navržen tak, aby ho šlo jednoduše rozložit. Popřípadě vyměnit za jinou sportovní variantu.



Obr. 9. Ukázka invalidního vozíku trilobit v zákl. provedení s popisem částí. [9]



Obr. 10. Ukázka všech možných variant vozíku trilobit. [10]

## 2 PŘEHLED KOSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU MULTIFUNKČNÍHO VOZÍKU TRILOBIT

Abychom dosáhli, co nejlepších vlastností multifunkčního vozíku trilobit. Bude zde důležité zvolit takový materiál, aby vozík vydržel veškeré namáhání, které na něj bude kladeno. Jsou zde popsány materiály, které bychom eventuelně mohli využít.

### 2.1 Kompozitní materiály

Kompozitem je nazýván materiál, ve kterém jsou specifickým způsobem kombinovány dvě nebo více komponent nebo fází o výrazně se lišících fyzikálních a chemických vlastnostech. Kompozity mohou být typu kov – kov, keramika – kov, keramika – polymer, keramika – keramika a polymer – polymer. Kompozity mají ve srovnání s jednotlivými komponentami, tj. vlákny a pryskyřicí, podstatně odlišné unikátní vlastnosti. [11]

To čím vnímavého invenčního konstruktéra polymerní kompozity zaujmou, je řada velmi výhodných vlastností, jakými jsou především nízká hustota (obvykle 1600 až 2000 kg/m<sup>3</sup>) ve srovnání s ocelí (7800 kg/m<sup>3</sup>) či hliníkem (2700 kg/m<sup>3</sup>), velmi široký interval pevností (200-400 MPa) a tuhostí (10-400 GPa) ve srovnání s tradičními materiály, které poskytují pouze diskrétní hodnoty těchto veličin. Velkou předností je i odolnost proti širokému spektru chemikálií, nízká tepelná vodivost, zhruba 300x nižší než u hliníku, elektroizolační vlastnosti, prakticky nulový útlum elektromagnetických vln a vysoký útlum zvukových vln. Dalšími atraktivními výhodami nabízenými kompozity jsou jednodušší a efektivnější montáž a údržba. Významnou výhodou rozpoznanou a využívanou v automobilovém a leteckém průmyslu, je možnost integrace více součástí do jedné. Například ocas letadla Airbus A310 byl původně vyroben z 2000 kovových součástí nýtovaných několika desítkami tisíc nýtů a po použití kompozitních dílců klesl tento počet na 200. Možnost probarvení materiálu v objemu, ekonomická přijatelnost i malých sérií, eliminace obrábění při dosažení dostatečných tolerancí, vysoká životnost jsou dalšími unikátními hodnotami nabízenými polymerními kompozity vnímavému a poučenému uživateli. [11]

#### 2.1.1 Klasifikace kompozitů

V současnosti je na trhu dostupné relativně široké spektrum kompozitních materiálů lišících se pojivem (pryskyřicí), typem a charakterem výztuží (typ vláken, tkaniny, rohože,

rouna) a mnohdy i způsobem výroby (laminace, tažení, navíjení, odstředivé lití, RTM, atd.). Kompozitní materiály se pak rozlišují podle některého ze strukturních kritérií. Z hlediska klasifikace podle typu matric existují dva základní typy polymerních pryskyřic – pojiv, a to termosety a termoplasty. [11]

Termoplasty, kterými jsou například polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylen (PE), Polykarbonát (PC), polyetylen tereftalát (PET) a další, jsou tuhé látky, které měknou a tekou při zvýšení teploty nad jistou hodnotu charakteristickou pro daný polymer. Po ochlazení pod tuto teplotu opět přejdou do pevného skupenství. Charakteristickým strukturním znakem termoplastů jsou velmi dlouhé molekuly (makromolekuly) vytvořené opakováním stejných strukturních jednotek (několik tisíc až několik milionů). Z toho důvodu bývá tento typ makromolekul označován jako polymer. Jednotlivé makromolekuly nejsou vzájemně vázány chemickými vazbami. Jejich vzájemné interakce, které zaručují kohezní pevnost polymerního tělesa jsou většinou slabé, van der Waalsovské interakce, vodíkové můstky, atd. [11]

Termosety, jakými jsou například epoxidy, nenasycené polyestery, melaminy či fenol formaldehydové pryskyřice, jsou obvykle dodávány ve formě viskózních tekutin s konzistencí řídkého medu tvořené relativně malými molekulami, které jsou vytvrzeny chemickou reakcí po dodání katalyzátoru a iniciátoru. Vytvrzení probíhá buď za pokojové teploty nebo za zvýšených teplot. Způsob, kterým vytvrzování probíhá do značné míry ovlivňuje vlastnosti výsledného termosetu. Jelikož při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými malými molekulami, vzniká místo dlouhých lineárních molekul, které jsou charakteristické pro termoplasty, třídímenzionální polymerní síť s různou hustotou. V ideálním případě je celý makroskopický výrobek jedinou makromolekulou. Tento fakt způsobuje, že vytvrzený termoset zůstává v tuhé fázi i po zahřátí, což zvyšuje jeho odolnost proti creepu a vysokým teplotám, i když to na druhé straně zvyšuje i jeho křehkost a omezuje recyklovatelnost. Kompozity s termoskovými matricemi mají mezi konstrukčními aplikacemi vláknových kompozitů naprostou převahu. Naproti tomu v oblasti plněných plastů a částicových kompozitů zcela převládají termoplastické matrice. [11]

Z důvodu jasného vymezení pojmů je rozumné rozdělit vláknové kompozitní materiály do tříd. K tomu je možno využít celé řady kritérií. Jedním z nejčastěji používaných dělicích kritérií je orientace a délka vyztužujících vláken. Z toho hlediska je možno dělit vláknové kompozity na:

Jednosměrné (vlákna jsou orientována převážně v jednom směru):

- krátkovláknové (poměr délka/průměr  $L/D < 100$ ),
- dlouhovláknové ( $L/D > 100$  či kontinuální vlákna, tj. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce).

Mnohoseměrné (vlákna jsou náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry)

- krátkovláknové ( $L/D < 100$ ),
- dlouhovláknové ( $L/D > 100$ ). [11]

### 2.1.2 Kompozitní matrice

V technologii vláknových kompozitních materiálů se v současné době používá jako matric převážně termosetů, v menší míře jsou však zastoupeny i matrice termoplastické poskytující některé výhody ve srovnání s termosety. Jako matrice se nejčastěji používají nenasycené polyestery (PU), vinylestery (VE), epoxidy (EP) a fenolické pryskyřice (PR) pro kompozity s výrazně sníženou hořlavostí. Z celkového objemu pryskyřic světově zpracovávaných při výrobě vláknových kompozitů připadá 75% na nenasycené polyestery, 20% tvoří vinylestery a 5% tvoří speciální pryskyřice jako fenolické, epoxidy, polyimidy, bismaleidy, atd. [11]

Největší překážkou je většího rozšíření je v současné době především velká viskozita taveniny při zpracování, která je až o 2 – 4 řády větší než u běžných termosetů. To vede ke vzniku defektů (bubliny, nesmočené pramence vláken, problematické smáčení tkanin, atd.) při smáčení výztuže a tím ke vzniku kompozitů s nedostatečnými užitnými vlastnostmi. Pro odstranění tohoto problému je třeba jako vstupní surovinu používat už termoplastem neimpregnovaná vlákna, což s sebou přináší podstatné zvýšení ceny hotových kompozitních profilů. [11]

#### 2.1.2.1 Termoplastové matrice

Termoplastové polymery pro matrici mohou značně redukovat cenu kompozitů. Cenové úspory jsou především výsledkem snadnější výroby i složitějších tvarů. Z termoplastů, které přicházejí v úvahu pro vyztužování vláken, jsou nejčastěji polyamidy (nylon), polyethylen, polypropylen, polykarbonát, styren – akrylonitril acetáty. K vyztužení jsou vhodná vlákna skleněná, uhlíková a aramidová nebo jejich kombinace. [12]

Vlastnosti těchto kompozitů závisí na výrobním postupu, na pevnosti, na povrchové úpravě vláken a na viskoelastickém chování matrice. [12]

Značný vliv na pevnost i tuhost má zvýšená teplota, přičemž pokles pevnosti kompozitů s uhlíkovými vlákny je značně nižší než se skleněnými vlákny. [12]

### 2.1.2.2 Reaktoplastové matrice

Reaktoplasty vyztužené vlákny jsou nesporně nejrozšířenější konstrukční kompozity a od prvních skelných laminátů zasahují dnes do všech odvětví průmyslu s širokým rejstříkem maticí, výtuzí, uspořádání, způsobů výroby a vlastností. [12]

Po vláknech skleněných, která nemohou konstrukcím poskytnout dostatečnou tuhost vzhledem k nízkému modulu, se v posledních letech nejvíce uplatňují vlákna uhlíková, borová, keramická, kovová, aramidová, nebo jejich kombinace. [12]

Tab. 1. Vlastnosti nejčastěji používaných organických matic.

matrice deformace	hustota		modul pružnosti		pevnost	
	( g/cm <sup>3</sup> )	v tahu (GPa)	v tahu (MPa)	do lomu (%)		
termosety	1.10-1.67	1.3-6.0	20-180	1-30		
epoxy	1.1-1.4	2.1-6.0	35-90	1-10		
polyestery	1.1-1.5	1.3-4.5	45-85	1-5		
fenolické pr.	1.3	4.4	50-60	1-3		
polyimidy	1.2-1.9	3.0-3.1	80-190	2-40		
termoplasty	0.90-1.45	1.0-4.0	20-250	5-150		
PP	0.90	1.1-1.5	28-41	10-700		
PA	1.42	2.8-3.4	76-83	60-300		
PC	1.21	2.1-2.8	62-76	110-130		
PEEK	1.31	3.8	70	50-150		

### 2.1.3 Vlákna pro kompozity

Největší tuhost dosahují vláknové kompozity s kontinuálními vlákny. Matrice (pojivo výtuzě) může být:

- Polymerní (reaktoplastická nebo termoplastická)
- Kovová

- Skleněná
- Sklokeramická
- Keramická
- Uhlíková

Kontinuální vlákna mohou být:

- Skleněná
- Čedičová
- Uhlíková
- Polymerní
- Proteinová
- Borová
- Keramická

Pevnost vlákna je vždy významně větší než pevnost stejného materiálu v kompaktní formě. Příčinou je malý příčný průřez vláken. V tenkých vláknech jsou minimalizovány rozměry vrozených vad materiálu a také nebezpečnost povrchových vad je při velmi malých příčných rozměrech menší. Vady existují jen v podobě submikroskopických až mikroskopických trhlinek a dutinek, které jsou přednostně orientovány (protaženy) v podélném směru vlákna. Whiskery jsou monokrystaly o velmi malých příčných rozměrech (nm) a krátké délce. Dosahují velmi vysoké pevnosti, protože neobsahují defekty. [13]

### **2.1.3.1 Skleněná vlákna**

Většina skleněných vláken se vyrábí rychlým tažením z taveniny. Rovnoběžně seskupené pramence vytvářejí provazce (roving). Počet pramenců je obvykle 60. [12]

V netkaných rounech (rohožích) jsou pramence náhodně ukládány do roviny. Hlavní charakteristikou skleněných vláken je jejich pevnost. [12]

V kompozitech jsou používána vlákna ze skloviny E, S, C (kyselinám odolná vlákna). ACR( vlákna odolná alkáliím) a křemenná vlákna. [13]

- Skleněná vlákna z E skloviny jsou nejlevnější a přitom mají dobré mechanické a elektrické vlastnosti a poměrně dobrou odolnost proti hydrolyze (rozkladu v horké vodě). [13]
- Vlákna ze skloviny S s větším podílem oxidu křemíku a hliníku a proto jsou dražší, protože sklovina má větší teplotu tavení. Vlákna mají větší pevnost v tahu a větší modul pružnosti v tahu než standardní vlákna z E skla. [13]
- Vlákna ze skloviny C s vyšším podílem alkálií mají nižší teplotou měknutí, jsou méně pevná a jejich mechanické vlastnosti rychleji klesají s rostoucí teplotou. V prostředí obsahujícím kyseliny větší podíl alkalických prvků zlepšuje odolnost proti rozpouštění, v samotné vodě se však alkalické prvky rychle vyluhují. [13]

Pro alkalické prostředí jsou vhodná vlákna ze skloviny ACR. Tato sklovina je odolná vůči zásaditému prostředí. [13]

Křemenná vlákna mají nízkou relativní permitivitu. Křemenná vlákna pro tepelné izolace mají oproti E vláknům vyšší tepelnou odolnost (teplota měknutí asi 980 °C). Výroba křemenných vláken spočívá v rozemletí čistého krystalického křemene a smísení s dalšími přísadami, z kterých je po roztavení taženo vlákno. [13]

Tab. 2. Vlastnosti skleněných vláken.

	sklo E Saint- Gobain Vertex, a.s.	sklo E údaje z literatury	sklo S	sklo C	sklo ACR	křemenné sklo
průměr [μm]	5-16	9-13	9-13	9-13		8,9
hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	2,54	2,54	2,49	2,49	2,7	2,19
modul pružnosti [GPa]	73	72,4	85,5	69	75	69
pevnost v tahu [GPa]	2-4	až 3,45	až 4,6	až 3	1,7	3,45
prodloužení [%]	1,8-3,2	4,8	5,7	4,8		5
souč. tepelné roztažnosti	4,9	5	5,6	7,2		
součinitel tepelné vodivosti	1	1	1	1		
teplota měknutí [°C]	800	800	970	750		980
relativní permitivita při frekvenci 1 MHz	5,9-6,4		5-5,4			3,78
ztrátový činitel (tanδ) při 10 GHz		0,0039				0,002



### 2.1.3.2 Uhlíková vlákna

V uhlíkových vláknech se pojí vysoká pevnost, modul pružnosti a tepelná odolnost s nízkou měrnou hmotností. Vzhledem na specifickou pevnost a modul pružnosti (na jednotku hmotnosti) je překonávají pouze monokrystaly (whiskery). Uhlíková vlákna se vyrábějí z viskóзовých nebo polyakrylonitrilových vláken a alternativně i z tzv. anizotropní smoly zvlákněvané v tavenině. [11]

Klasifikace uhlíkových a grafitových vláken není jednoznačná. Za uhlíková vlákna jsou obvykle považována ta, která vzniknou při teplotě 800 až 1 600 °C, zatímco grafitová vlákna jsou vyráběna při teplotě nad 2 200°C. Jiným kritériem je obsah uhlíku: vlákna s obsahem uhlíku do 92% hm. jsou označována za uhlíková, s větším obsahem uhlíku za grafitová. Ani tato klasifikace však není zcela úplně výstižná, protože celulosová a akrylová vlákna jsou ve skutečnosti negrafitizovatelné materiály, neboť je není možno teplotou konvertovat do velkých krystalitů s třídimensionální strukturou charakteristickou pro polykrystalický grafit. [12]

Proces výroby z organických vláken je rozdělen do tří základních kroků, které mohou být různě modifikovány podle druhu původního vlákna:

- nízkoteplotní oxidace (stabilizace) na vzduchu při teplotě 200 až 400 °C,
- karbonizace v interní atmosféře při teplotě 1000 °C,
- grafitizace v inertní atmosféře při teplotě přes 2 200 °C. [12]

Uhlíková vlákna mají oproti grafitovým spolu s nižším obsahem uhlíku nižší hustotu, větší povrch, vyšší elektrický odpor, nižší tepelnou vodivost, mají větší tendenci adsorbovat vlhkost a jsou více smáčivá s pryskyřicí. [12]

Pro výrobu nejtužších uhlíkových vláken se používá smol (zbytků po destilace černého uhlí a ropy). Vysoce tuhá a přitom pevná vlákna poskytují pouze tzv. mezifázové smoly. V mezifázových smolách jsou aromatické roviny různé molekulové hmotnosti paralelně uspořádány, tj. i v tekuté smole jsou krystaly. Nejtužší komerčně vyráběná vlákna z mezofázových smol (smoly s kapalnými krystaly) dnes dosahují modulu pružnosti v tahu E až 965 GPa. [13]

Velmi dobré tuhosti a současně i vysoké pevnosti může být dosaženo také výrobou vláken oválného průřezu. Tato skutečnost je vysvětlována jemnou mikrostrukturou polyedricky

tvarovaných shluků aromatických vrstev na vzdálenějších koncích příčného průřezu, kde vzniká lom. Rozměrné, dobře vyvinuté deskovité krystaly uvnitř průřezu, které nesměřují do radiálně do povrchu vláken, ale leží rovnoběžně s delší osou průřezu, poskytují vláknu vysokou tuhost. Na trhu jsou také uhlíková vlákna, která se vyrábějí vytlačováním smoly tryskou s C tvarem a dutá uhlíková vlákna. [13]

Hlavní druhy uhlíkových vláken:

- karbonizovaná vlákna, která mají střední modul pružnosti a dobrou pevnost v tahu. Lze je považovat za standardní uhlíková vlákna (HS – „High Strenght“, AS – „Averge Strenght“, HT nebo HTA – „High Tenacity),
- vysokomodulová grafitizovaná vlákna (HM - „High Modulus“),
- vlákna vysoce pevná se středním modulem pružnosti (IM – „Intermediate Modulus“) dutá uhlíková vlákna,
- vlákna s vysokým modulem pružnosti (VHM – „Very High Modulus“, UHM – „Ultra High Modulus“),
- diskontinuální vlákna porušená tahem (SBCF – „Stretch – Broken Carbon Fiber“),
- mletá uhlíková vlákna,
- recyklovaná uhlíková vlákna.

Uhlíková vlákna se vyznačují těmito zvláštnostmi:

- anizotropií mechanických vlastností – ve směru kolmém k ose vlákna mají vlákna modul pružnosti výrazně menší, na úrovni hodnoty polykryalického grafitu,
- křehkostí – prodloužení při přetržení je menší než u skleněných vláken, minimální poloměr při ohýbání je proto větší než u skleněných vláken,
- záporný koeficient délkové teplotní roztažnosti, tj. při ohřevu se vlákno zkracuje. Ve směru kolmém má koeficient délkové teplotní roztažnosti kladnou hodnotu a je větší než u vláken skleněných,
- v podélném směru mají uhlíková vlákna malý elektrický odpor. [13]

Úprava povrchu uhlíkových vláken:

Vyrobená uhlíková vlákna jsou podobně jako vlákna skleněná dodatečně upravena. Účelem je:

- odstranit z povrchu vláken látky bránící kontaktu s matricí,
- omezit další adsorpci plynů na povrch vláken,
- zvýšit reaktivitu povrchu vůči vazebným prostředkům a matricím,
- chránit vlákna před vzájemnou abrazí (uhlíková vlákna jsou křehčí než skleněná). [13]

Nejčastěji se vyrobená vlákna chrání polymerními povlaky na bázi epoxidů nebo polyamidů, které zabrání adsorpci látek a zároveň poskytují vláknům ochranu před abrazí. U vláken s aromatickými rovinami rovnoběžnými s povrchem je účelné reaktivitu povrchu zvýšit a povrch vlákna zdrsňit. Nejběžnější je mokrá metoda, spočívající v čistě chemickém působení oxidačních látek nebo elektrochemický způsob, spočívající v anodické oxidaci vláken v elektrolytech. U vláken s příznivější mikrotexturou lze aplikovat i suchý proces - termickou oxidaci. [13]

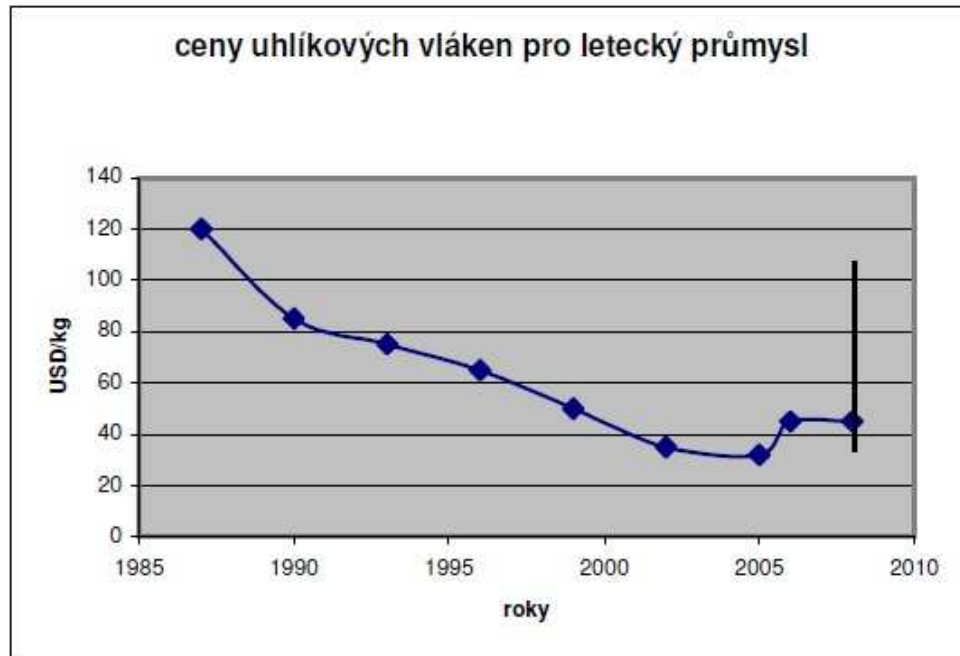
Nejnověji je používána kontinuální úprava studeným vysokofrekvenčním plazmatem, vytvářeným reaktorem pracujícím při frekvencích střídavého proudu okolo 15 MHz. Podle použitého plynného prostředí je dosahováno různých účinků:

- leptání a zdrsňování povrchu, doprovázené často i poklesem pevnosti (při použití kyslíku),
- očištění vlákna, které vede k zvětšení povrchové energie a k zlepšení smáčivosti pryskyřicí,
- implantace funkčních skupin na očištěný povrch,
- polymerace monomeru na povrchu vláken. Jestliže se do proudu plynu přidává vhodný monomer, lze ionizačními, disociačními, rekombinačními a dalšími reakcemi atomů plynu a monomeru docílit připojení vznikajícího polymeru na povrch vlákna. [13]

Uhlíkové whiskery mají průměry okolo 1  $\mu\text{m}$  a pevnost v tahu až 20 000 MPa. Existují dvě metody výroby GCN z plynných sloučenin za působení kovových katalyzátorů a nejnověji i bez kovů:

- ve vzhledu,
- na zeolitové, křemíkové nebo hliníkové podložce.

Vysoce čistý uhlík GCN je využíván např. pro elektrody baterií a ve zdravotnictví.



Obr.11. Ceny uhlíkových vláken pro letecký průmysl.

### 2.1.3.3 Polymerní vlákna

Mnoho přírodních vláken, zejména uváží – li se jejich objemová hmotnost, má výborné vlastnosti: Nejlepší přírodní polymer má pevnost kolem 1/5 teoretické pevnosti. Nevýhodou přírodních vláken je jejich velká citlivost vodě a biologické korozi. [12]

Vlákna ze syntetických polymerů měla donedávna velmi nízký modul, např. z polyamidu nebo polyetylentereftalátu 1 – 3 GPa. Dnes vyráběná vlákna z vysoce orientovaného aromatického polyamidu dosahují však již modulu až 130 Gpa, pevnosti 3 GPa a mezního přetvoření 2,3 a jsou určeny pro výztuž kompozitů. [12]

Nevýhodou všech polymerních vláken je citlivost k vyšším teplotám (např. polyamid ztrácí většinu pevnosti již pod 100 °C). [12]

Tab. 3. Hodnoty dloužených polymerů ve srovnání s jinými materiály

Materiál	Modul (GPa)	Měrná hmotnost (g.mm-3)	Specifický modul
Uhlíková vlákna	420	2	210
Kevlar 49	127	1,45	88
Polyethylen	60	0,97	62
Ocel	210	7,8	27
Hliník	71	2,71	26
Vlákna z E - skla	63	2,54	25
polypropylen	7	0,91	8

#### 2.1.3.4 Čedičová vlákna

Jde o vlákna s vlastnostmi podobnými skleněným vláknům tyou S. Výhodou je jejich cena, která činí asi 60 % S vláken a dobrá chemická odolnost. Výroba je analogická výrobě skleněných vláken, teplota tavení je 1400°C. [13]

Složení čediče i technologie používaná v USA odpovídá podmínkám v ruských a ukrajinských závodech, v nichž výroba začala během studené války (vlákna nahrazovala S skleněná vlákna v leteckých aplikacích). Čedičová vlákna mají ve srovnání s E skleněnými vlákny odlišné složení a vlastnosti. [13]

Tab. 4. porovnání vlastností čedičových a skleněných vláken

	Čedičové vlákno	Vlákno z E skloviny
Pracovní teplota pro tepelné izolace [°C]	820	600
Minimální teplota použití [°C]	-260	-60
Teplota tavení [°C]	1450	1400
Teplota skelného přechodu [°C]	1050	825
Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	2750	2600
Pevnost v tahu [MPa]	4840	3450
Modul pružnosti E [GPa]	89	77
Prodloužení při přetržení [%]	3,15	4,7
Součinitel délkové teplotní roztažnosti 10 <sup>-6</sup> [1/K]	5,5	5
Chemická odolnost - úbytek hmotnosti za 3 hod [%] vařící voda/vařící NaOH	0,2/5	0,7/6

#### 2.1.3.5 Proteinová vlákna

Vlákna pavouků, ačkoliv mají vysoké poměrné prodloužení při přetržení (čtyřikrát větší než Kevlar), nejsou v potřebném množství dostupná bez genetického inženýrství. Pavouci se nedají hromadně chovat, protože jsou agresivní a potřebují ovládat své teritorium.

Transplantací žlázy pavouků do mléčných žláz koz však bylo dosaženo, že v mléku jsou přítomny potřebné proteiny. Mléko se nejprve odstředí (aby se zbavilo tuku), znovu se odstředí, mléko se scedí a v dalším se sediment rozpustí ve vodě. Vzniká zlatavá emulze z níž se spřádá vlákno. [13]

### 2.1.3.6 Přírodní vlákna z rostlin

Organická přírodní vlákna jsou získávána z pěstovaných rostlin. Přírodní vlákna jsou nyní používána jako výztuž tvarovaných velkoplošných dílů pro interiéry osobních automobilů (u nás dřevěné piliny, obsahující vlákna celulózy). Pro lepší soudržnost vláken a většinou polypropylénové matrice je nutné nepolární PP matrici modifikovat polární složkou. [13]

Použití rostlinných vláken v termoplastech přináší tyto výhody:

- jedná se o lacinou výztuž,
- dochází k úspoře polymeru,
- je možný rychlejší výrobní cyklus,
- odpad je recyklovatelný,
- výztuž je biodegradabilní,
- povrch výrobku má přírodní vzhled,
- vlákna nezpůsobují opotřebení zpracovatelských strojů (šneků, tavné komory a formy),
- použitím výztuže z přírodních vláken klesne cena výrobku. [13]

Tab. 5. Tabulka hodnot tuhosti, hustoty a pevnosti

vlákno	hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Pevnost v tahu [GPa]	modul pružnosti E [GPa]	mezní prodloužení [%]
konopí ("hemp")	1,52	0,46	70	1,7
juta ("jute")	1,3	0,442	60	2,0
len ("flax")	1,52	0,84	100	1,8
bavlna ("cotton")	1,52	0,2-0,8	27	6-12

### 2.1.3.7 Borová vlákna

Borová vlákna jsou vhodná vlákna pro vysokoteplotní aplikace. Jsou nyní vyráběna především v USA. Výroba CVD (Chemical Vapor deposition) způsobuje jejich vysokou cenu (současná nejmenší cena je asi 300 \$/kg, dříve až 700 \$/kg). Pro kompozity s kovovými maticemi nejsou neupravená borová vlákna vhodná, protože jejich povrch reaguje s kovy. Borová vlákna se proto upravují nanesením tenké vrstvičky SiC nebo B<sub>4</sub>C. [13]

Borová vlákna byla první vlákna, která při pevnosti v tahu 3,45 GPa, hustotě 2,5 g/cm<sup>3</sup> dosahovala modulu pružnosti 400 GPa. Oproti ostatním vláknům mají borová vlákna velký průměr (100 μm) a mají větší tvarovou stabilitu při tlakovém namáhání. Jejich pevnost v tlaku je větší, než pevnost v tahu. Technologie CVD spočívají v kondenzaci plynného boru na vláknovém substrátu je málo produktivní. Do horní části vertikálního reaktoru se přivádí chlorid boritý. Při teplotách kolem 1 300 °C se chlorid boritý rozkládá na plynný bor a páry HCl. [13]

Velmi jemná krystalická struktura boru zaručuje dobrou adhezi matrice k vláknu. Dříve se používalo pouze wolframové vlákno, nyní také levnější a lehčí uhlíkové vlákno, připravené z izotropních smol. [13]

### 2.1.3.8 Kevlarová vlákna

Kevlarová vlákna jsou pokrokovou technologií, která se zrodila v americké chemické společnosti DuPont. Technologie kevlaru kombinuje pevnost materiálu společně s jeho nízkou hmotností, čímž mu dává široké uplatnění od průmyslu až po běžné použití. [15]

Kevlar se řadí do skupiny aramidů. Aramid – Pevný žáruvzdorný syntetický materiál. Označení vzniklo zkrácením názvu „aromatický polyamid“. Má polymerický řetězec paralelní struktury. [15]

Tyto interakce ovlivňují kevlar více než van der Waalsovy síly a délka řetězce, která má na vlastnosti syntetických polymerů a vláken většinou významný vliv. Speciální péče se při výrobě věnuje přítomnosti nečistot, obzvláště vápníku, které se mohou připlést do vazeb mezi řetězci a výrazně ohrozit vlastnosti materiálu. Strukturu kevlaru tvoří relativně tuhé molekuly, které mají tendenci vytvářet většinou rovinné útvary podobné například molekulám hedvábí. Popsaná struktura má za následek vysokou mechanickou pevnost a v neposlední řadě značnou tepelnou odolnost. [15]

Kevlar má i nevýhodné vlastnosti: zatímco v tahu může vydržet zatížení přes 4 GPa, stejně jako ostatní vlákna má pevnost v tlaku citelně nižší; a rozkládá se vlivem zásaditých prostředí. [15]

### 2.1.3.9 Whiskery

Whiskery jsou vláknité krystaly s průměrem kolem 1  $\mu\text{m}$  a délkou 3 až 4 mm, jejichž vlastnosti značně převyšují vlastnosti jiných forem tuhých látek. Mají hexagonální, čtvercový nebo rovnoběžníkový průřez. Povrch je bez trhlinek a rovněž ve vnitřní struktuře nejsou trhliny nebo jiné chyby. [12]

Whiskery se mohou vyrábět z řady materiálů: jejich vlastnosti závisí především na podmínkách růstu, dokonalosti povrchu a na průměru. Whiskery byly až donedávna drahé (sta až tisíce dolarů za kg). Teprve v posledních letech nalezené nové technologie výroby, např. z rýžových slupek, umožnily, že cena některých whiskerů poklesla. [12]

### 2.1.3.10 Kovová vlákna

Kovová vlákna poskytují možnost vyztužovat polymerní, keramickou a kovovou matici. Připlují se různými metodami. S výjimkou ocelových a hliníkových vláken s cenou kolem 1 dolar za kg je cena ostatních poměrně vysoká. [12]

Tab. 6. Typické vlastnosti některých kovových vláken

Druh	Objemová hmotnost (g.mm-3)	Pevnost v tahu (GPa)	Modul (GPa)	Průměr ( $\mu\text{m}$ )
W	19,4	1,0 až 4,0	353	13
Mo	10,2	2,41	358	25
Ocel	7,74	2,8 až 4,14	200	13
Be	1,83	1,27	240	127
Al	2,66	0,6	73	
Ti slitiny	4,51	0,55 až 2,2	118	

## 2.2 Ostatní materiály

Nejdůležitější pro vývoj vozíku trilobitu jsou kompozitní materiály. Nejzajímavější jsou pravděpodobně uhlíková vlákna, kvůli jejich nízké hmotnosti, vysoké pevnosti a modulu



pružnosti. Samozřejmě lze použít i jiné materiály. Mezi další materiály, které bychom po případě mohli uvažovat jsou titan, hliník, hořčík a také slitiny těchto materiálů.

### 2.2.1 Hliník

Hliník je z hlediska roční světové spotřeby nejdůležitější neželezný kov. Hliník je kov na vzduchu poměrně stabilní díky tvorbě pasivní oxidické vrstvy na povrchu. Je to výborný elektrický a tepelný vodič. Krystalová struktura hliníku je kubická plošně centrovaná. Z toho důvodu je čistý hliník poměrně měkký a tvárný. Nízká pevnost čistého hliníku omezuje jeho použití jako konstrukčního materiálu, proto je třeba hliník legovat vhodnými zpevňujícími prvky (Cu, Mg, Mn, Si, Zn atd.) [14]

### 2.2.2 Hořčík

Hořčík je kov s teplotou tání  $650^{\circ}\text{C}$ . Krystalová struktura hořčíku je hexagonální, má tedy za pokojové teploty pouze omezenou tvárnost. Hořčík a jeho slitiny lze dobře tvářet za tepla obvykle při teplotách  $300 - 400^{\circ}\text{C}$ . [14]

Hořčík se vyznačuje vysokou afinitou ke kyslíku. Proto je třeba jeho výrobu i tavení provádět v ochranné atmosféře, čímž se zvyšuje jeho cena. Velkou výhodou hořčíku jsou jeho velké zásoby v mořské vodě. [14]

Hořčík nachází využití při výrobě slitin s kuličkovým grafitem, dezoxidaci a odšíření ocelí, při katodické protikorozní ochraně kovových konstrukcí nebo v pyrotechnice. Roste význam hořčíkových slitin jako konstrukčního materiálu v letectví a v automobilovém průmyslu na méně namáhané součásti. [14]

### 2.2.3 Titan

Titan je kov relativně mladý. Byl objeven koncem 18. století, jeho praktické využití se datuje teprve od roku 1948. Jedná se o lehký kov s teplotou tání  $1668^{\circ}\text{C}$  vyskytující se v závislosti na teplotě ve dvou krystalových modifikacích. [14]

K nesporným výhodám titanu a jeho slitin patří zejména:

- nízká hustota,
- výborné pevnostní vlastnosti srovnatelné s oceli až do teplot kolem  $500^{\circ}\text{C}$ ,

- vynikající korozní odolnost v řadě agresivních prostředí. [14]

Příčinou korozní odolnosti je jako u jiných kovů, tvorba tenké kompaktní pasivní ochranné vrstvy oxidu  $TiO_2$ . Určitým nedostatkem titanu jsou poměrně značné náklady na výrobu a zpracování, což souvisí s jeho vysokou relativitou při teplotách nad  $600^\circ C$ . Za těchto teplot totiž titan intenzivně reaguje s plyny, což vede k jeho znehodnocení. [14]

#### **2.2.4 Ocel**

V této kapitole budou uvedeny nejvýznamnější skupiny komerčně vyráběných ocelí. Tyto skupiny mohou zahrnovat jak nelegované tak i legované oceli. [14]

##### **Oceli pro svařované konstrukce**

Tyto oceli představují největší objem vyráběných slitin železa. Používají se na stavby věží, stožárů, potrubí atd. [14]

Vedle pevnostních vlastností a houževnatosti je pro tyto oceli důležitá rovněž technologická vlastnost – svařitelnost. [14]

##### **Oceli hlubokotažné k tváření za studena**

Jedná se o oceli schopné velké plastické deformace za studena. Rovněž jsou velmi dobře svařitelné. Oceli se vyznačují nízkými obsahy uhlíku a dalších intersticiálních prvků. Hlubokotažné oceli jsou nejvíce využívány na výrobu automobilových karoserií. [14]

##### **Oceli pro kolejnice**

Pro tyto oceli je vyžadována tvrdost, pevnost a odolnost proti otěru. Obvykle se jedná o oceli s obsahem uhlíku v blízkosti eutektoidní koncentrace a s kontrolovaným obsahem vodíku u nichž ve struktuře převládá perlit. [14]

##### **Oceli k zulechtování**

Tyto materiály jsou určeny pro tepelné zpracování kalením a vysokoteplotním popouštěním. Oceli jsou používány k výrobě dynamicky namáhaných strojních součástí, u kterých je žádoucí jemná sorbitická struktura. Oceli mívají střední obsah uhlíku. [14]

##### **Oceli k nitridaci**

Tyto oceli jsou někdy zařazovány mezi oceli k zušlechťování. Jsou určeny k povrchovému sycení dusíkem za účelem výrazného vytvrzení povrchu. Obvykle se jedná o legované oce-

li, které obsahují nitridotvorné prvky. Používají se na výrobu ozubených kol, hřídele atd. [14]

### **Oceli pružinové**

Hlavním požadavkem u ocelí na výrobu pružin je vysoký modul pružnosti a únavová životnost. Oceli mívají vyšší obsah uhlíku a mechanických vlastností se u nich dosahuje zušlechťováním. [14]

### **Oceli k cementaci**

Tyto oceli jsou určeny k povrchovému sycení uhlíkem za účelem jeho vytvrzení při současném zachování houževnatosti jádra materiálu. Po cementaci se oceli tepelně zpracovávají kalením a nízkoteplotním popuštěním. [14]

### 3 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V této teoretické části byly rozděleny lokomoční pomůcky pro pohyb tělesně postižených podle využití pro běžné uživatele. Bylo zde popsáno využití různých možností kompozitních materiálů. Volba konstrukčního materiálu je velmi důležitá především z hledisek ekonomických a konstrukčních. Asi nejvhodnější pro konstrukci trilobitu by mohla být uhlíková, skelná a kevlarová vlákna, která jsou lehká, mají vysokou pevnost a modul pružnosti.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 VÝBĚR MATERIÁLU

V této kapitole bude rozepsán výběr materiálu, pro tento vozík. U těchto druhů vláken by měly být vypsány ceny jednotlivých vláken. Měly by zde být popsány materiály podle ceny a jejich vlastností. A podle těchto informací nějakým způsobem dojít k výsledku, který materiál by bylo možno na konstrukci vozíku trilobit použít.

### 4.1 Skelná vlákna

Skelná vlákna jsou vyráběna z roztavených skel určitých typů skla s vrstvou povrchové úpravy. Jsou vyráběna dvěma způsoby a to buď:

- jako nekonečný skelný pramen o určitém průměru,
- ve formě skelného vlákna nasekaného na různé délky.

Skelná vlákna vylepšují vlastnosti kompozitů:

- odolnost proti stárnutí,
- odolnost proti chemickým vlivům,
- nehořlavost a pružnost,
- mechanické vlastnosti.

Kompozity se skelným vláknem jsou dnes jako jedny z nejdůležitějších konstrukčních materiálů. Našly uplatnění v letectví a zároveň v průmyslu lodním, automobilovém a elektronickém.

Druhy skelných vláken:

- ze skloviny E, která mají hustotu  $2,54 \text{ g/cm}^3$ , modul pružnosti 72,4 GPa, pevnost v tahu 2 – 4 GPa a prodloužení 4,8 %,
- ze skloviny S která mají hustotu  $2,49 \text{ g/cm}^3$ , modul pružnosti 85,5 GPa, pevnost v tahu až 4,6 GPa a prodloužení 5,7 %,
- ze skloviny C která mají hustotu  $2,49 \text{ g/cm}^3$ , modul pružnosti 69 GPa, pevnost v tahu až 3 GPa a prodloužení 4,8 %,
- ze skloviny ACR která mají hustotu  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , modul pružnosti 75 GPa, pevnost v tahu 1,7 GPa. [16]

## 4.2 Uhlíková vlákna

V dnešní době se uhlík stal jedním z nejprodávanějších materiálů na trhu. Stalo se tak hlavně kvůli jeho vlastnostem. Vozík, který bude tvořen z uhlíkových vláken bude cenově náročnější. Při použití uhlíkových vláken by bylo dosaženo nízké hmotnosti, která by byla oceněna osobami na vozíku.

Uhlíková vlákna, která by mohla být využita pro výrobu vozíku:

- jsou křehká (při srovnání se skelnými vlákny mají menší tažnost),
- mají menší modul pružnosti ve směru, který je kolmý k ose vlákna,
- mají malý el. odpor ve směru podélném,
- se při zahřívání zkracují, ale mají tepelnou roztažnost větší než skelná.

Zde byly uvedeny vlastnosti nejpoužívanějších uhlíkových vláken:

- karbonizovaná vlákna mají pevnost v tahu 5,4 GPa a E - modul je asi 253 GPa s tažností 1,9%,
- grafitovaná vlákna mají pevnost v tahu 4,3 GPa a E – modul je kolem 376 GPa s tažností 1,3%,
- mezofázová smola má pevnost v tahu 3,9 GPa a E – modul je zhruba 930 GPa s tažností 0,4%,
- viskoza má pevnost v tahu 1,3 GPa a E – modul je zhruba 100 GPa s tažností 0,5%.

Samozřejmostí u uhlíkových vláken je také jejich jakost, která se dělí na dvě kategorie:

- vlákna pro letectví (jsou dražší kolem 40 dolarů/kg),
- vlákna pro ostatní průmysl (levnější asi kolem 20 dolarů/kg, ale také mají nižší obsah uhlíku a nižší pevnost).

Uhlíková vlákna mohou být pro výrobu tohoto vozíku velice zajímavá, protože mají vysoký E – modul. Uhlíková vlákna mají hustotu kolem  $2 \text{ g/cm}^3$  a modul pevnosti se pohybuje kolem 3 – 5 GPa a tažnost uhlíkových vláken je zhruba 1,1%. [17]

### 4.3 Kevlarová (aramidová) vlákna

Kevlar (aramid) byl vyvinut americkou firmou DuPont, která je známá po celém světě jakožto jedna z největších firem zabývajících se oblastí chemické výroby (především plastů).

Kevlar byl vyvinut původně pro výztuž do pneumatik místo oceli. Protože má kevlar nízkou hmotnost a vysokou tuhost, našel uplatnění i v jiných odvětvích (části letounů, neprůstřelné vesty).

Kevlarová (aramidová) vlákna mají:

- citlivost na záření UV a vlhkost,
- odolnost proti oděru a teple,
- špatnou zápalnost,
- výbornou zpracovatelnost ve firmách při vyšších teplotách,
- vysokou pevnost a modul pružnosti,
- problém s barvitelností (těžce se obarvují).

Kevlarové (aramidové) vlákno, dosahuje vysoké pevnosti v tahu (asi 3000 MPa). Relativní hustota kevlarového vlákna je 1,45 g/cm<sup>3</sup>. Lze jej i použít jako lana na kotvení, protože nekoroduje.

Rozeznáváme 3 typy kevlaru:

- kevlar (výztuha do pneu),
- kevlar 29 (náhrada azbestu, kabely),
- kevlar 49 (zpevnění letadel a kol).

Nejzajímavějším pro využití je kevlar 49 (značení od společnosti DuPont), protože má největší pevnost v tahu. Kevlar 49 má hustotu 1,45 g/cm<sup>3</sup>. Jeho E - modul je až 127 GPa a modul pevnosti se pohybuje v rozmezí 3,6 – 4,2 GPa. Tažnost kevlaru je asi 2,8%. [18]



## 5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH AKTIVNÍHO VOZÍKU

Do konstrukční části bakalářské práce byly vybrány obrázky konstrukčního návrhu invalidního vozíku, ve kterých je ukázáno, jak byl vyvíjen konstrukční návrh.

Jednotlivé části vozíku byly uspořádány v posloupnosti mého konstruování od úplných začátků, až po konečný výsledek.

### 5.1 Parametry vozíku

Vozík je konstruován tak aby splňoval následující parametry:

- nosnost invalidního vozíku do 160 kg,
- rozteč kol je přizpůsobena, aby projel zárubněmi v šířce 70 cm,
- úhel naklonění kol kolmo od vozovky alespoň  $4^\circ$  (může být i více),
- úhel naklopení sedu od  $4^\circ$  -  $16^\circ$ ,
- odnímatelnost kol,
- nízká hmotnost invalidního vozíku.

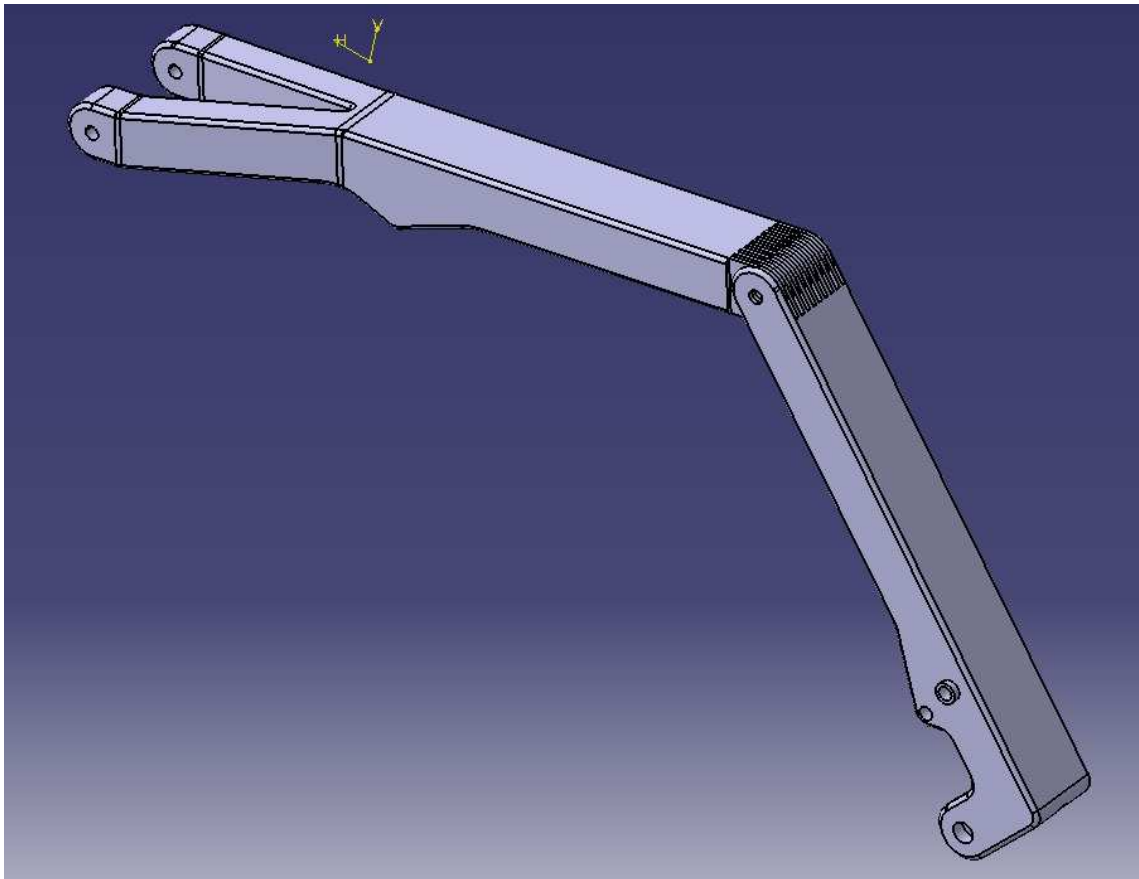
Existují také vozíky, které zvládnou projet zárubněmi o šířce 60 cm, ale v tomto případě byly uvažovány zárubně 70 cm. Zároveň i úhel sedu u normálních vozíků bývá zdaleka nižší.

Bylo uvažováno, že vozík bude skládací z důvodu jednoduché přepravy v autech a úspory místa. Řešením se nakonec stala jen odnímatelnost kol, jelikož řešení, aby bylo možno vozík lehce složit, bude složitější.

Bude potřeba vymyslet otočný mechanismus, který je náročný na konstrukci. Tímto řešením se budu dále zabírat v navazujícím studiu v diplomové práci.

## 5.2 První konstrukční varianta

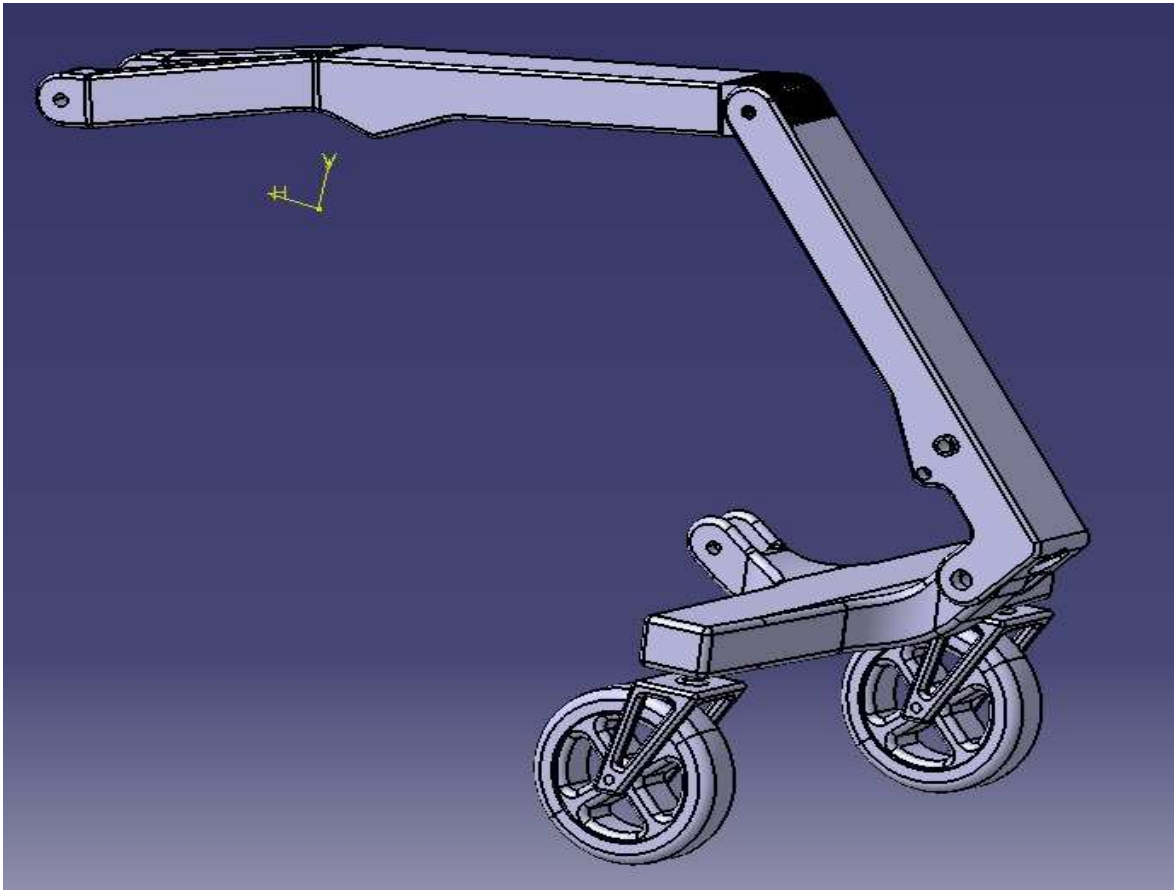
Následující konstrukční model byl společným východiskem, jak pro mou práci, tak pro práci dalšího studenta, kterým byl navrhnout vozík pro „sledge hockey“.



*Obr. 12. Základní konstrukce nosného rámu.*

Z tohoto modelu vychází základní délkové rozměry pro tento sportovní vozík. Tento výchozí model se stal počátečním základem, ze kterého byly vyvíjeny další návrhy při konstruování jednotlivých částí celého vozíku.

Zmíněný model má základní geometrické tvary, ze kterých bylo vycházeno, jak už při konstrukci sledge brusle, tak i v jiných variantách vozíku trilobit.

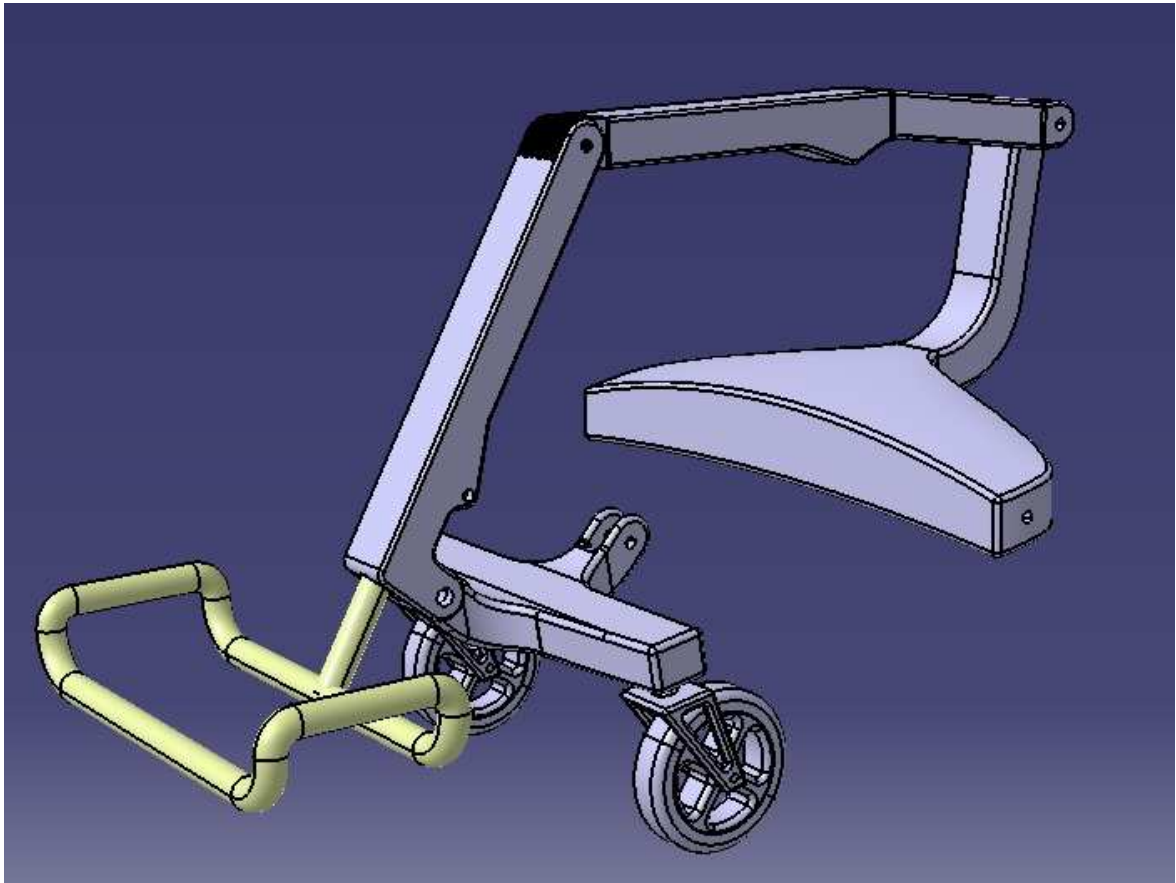


Obr. 13. Základní konstrukce se spodním opěrným rámem s držáky a kolečky.

Zde byl přimodelován spodní opěrný rám s držáky na kolečka. V modelu bylo usilováno o dodržení návaznosti opěrného rámu na nosný rám 2, tak aby byla zachována geometrie vozíku.

Osy koleček v držáku byly zároveň vychýleny vzad od osy spojení držáku na kolečka a spodního opěrného rámu. Řešení bylo zvoleno tímto způsobem, aby bylo dosaženo, co nejlepší manipulace s trilobitem při zatáčení.

Zároveň velikost těchto koleček byla navržena tak, aby se nezasekávala při nájezdu na nerovnosti (kolečka nesmí být moc malá) a nebyla tak způsobena újma na zdraví osoby obsluhující invalidní vozík.



Obr. 14. Základní nosný rám s držákem na nohy a nosnou částí celého vozíku.

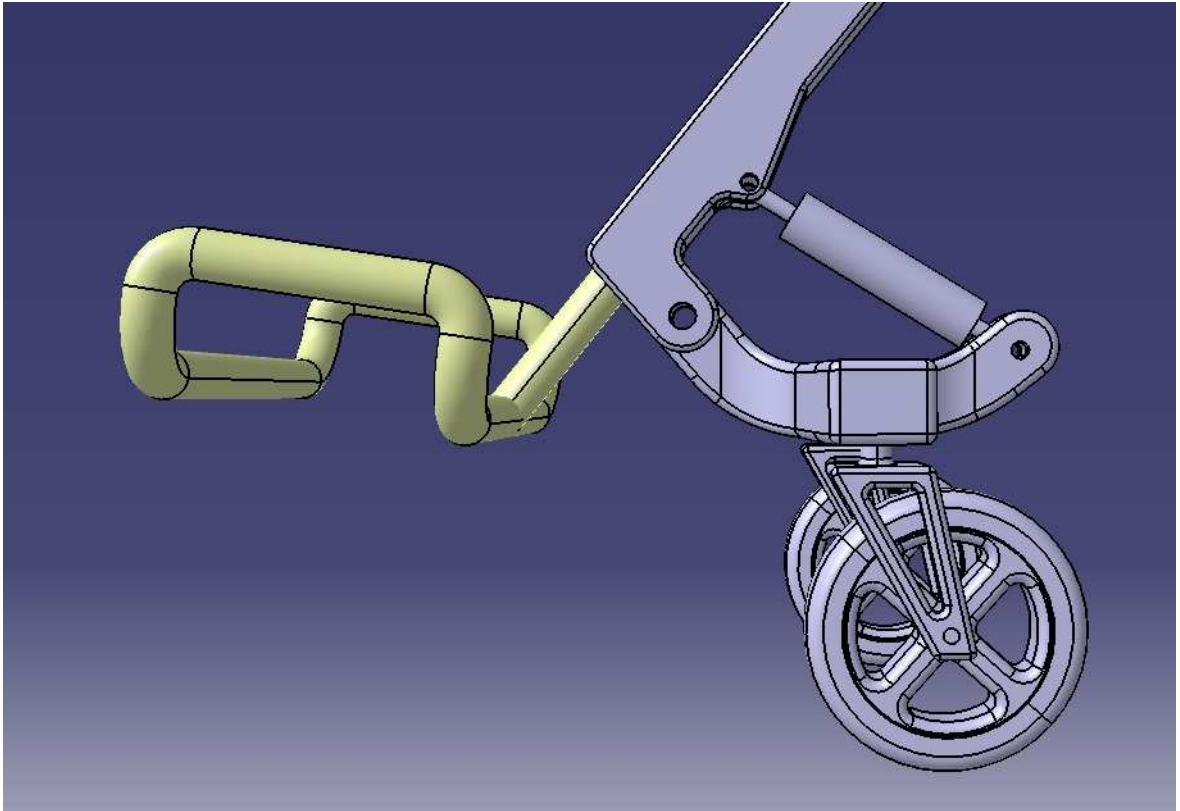
Držák na nohy a nosnou část byly tvořeny, jako hodně namáhané konstrukční díly v celém vozíku.

Držák na nohy byl konstruován tak aby:

- člověk sedící na invalidním bez problémů položil své nohy na držadlo nohou,
- měl snadné polohování, pro všechny lidi,
- lidem nesjely nohy z držáku, díky vystouplým částem na okrajích.

Nosná část vozíku musí:

- být navržena tak, aby unesla tíhu 160 kg člověka,
- být velice pevná a zároveň málo hmotná,
- splňovat geometrické proporce.

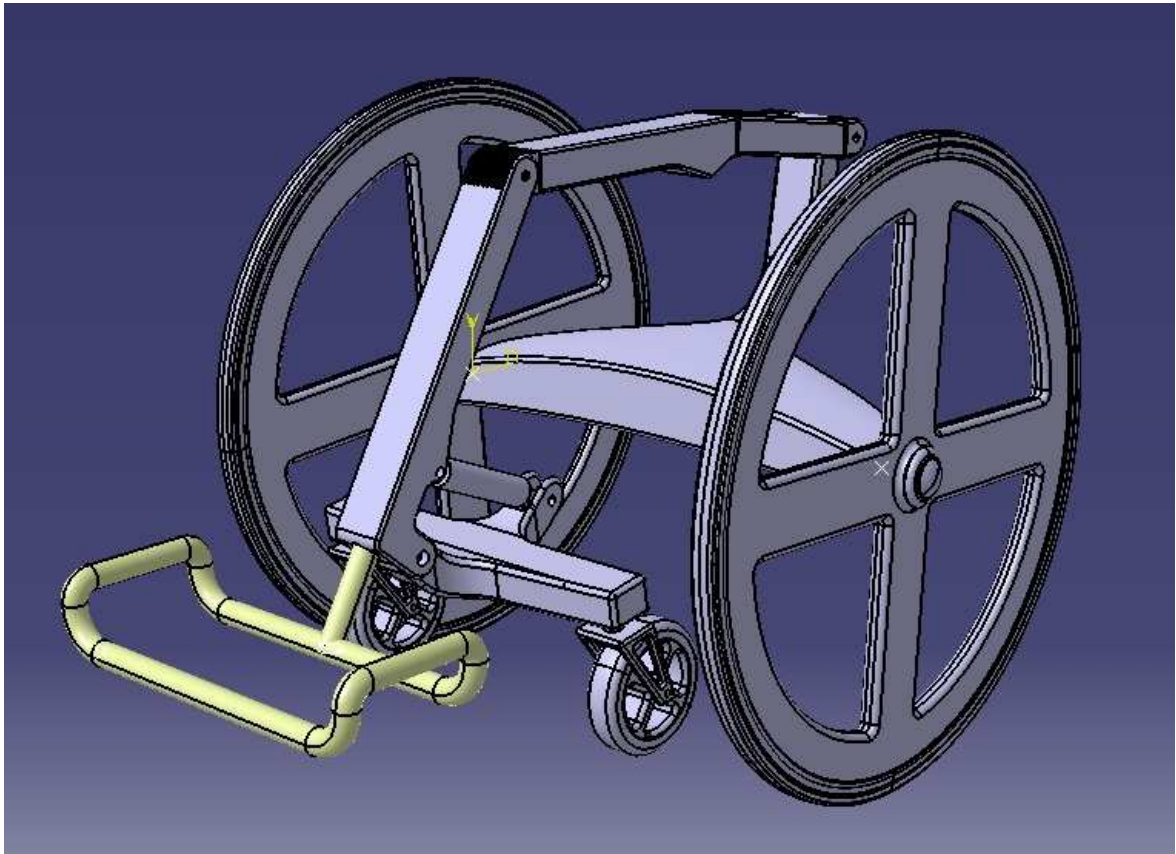


*Obr. 15. Znáznornění malého tlumiče v spodní části vozíku.*

Malý tlumič ve spodní části vozíku slouží k udržení geometrie v této namáhané části a současně i k odpružení nárazů a přejezdů přes různé nerovnosti, ať už na vozovce nebo chodníku.

Nevýhodou zde vyobrazeného tlumiče bylo:

- špatné umístění, které se nachází ve špatném úhlu,
- že nedokáže pojmout tolik vibrací, kolik by správně měl.



*Obr. 16. Základní geometrie vozíku s přidanými koly.*

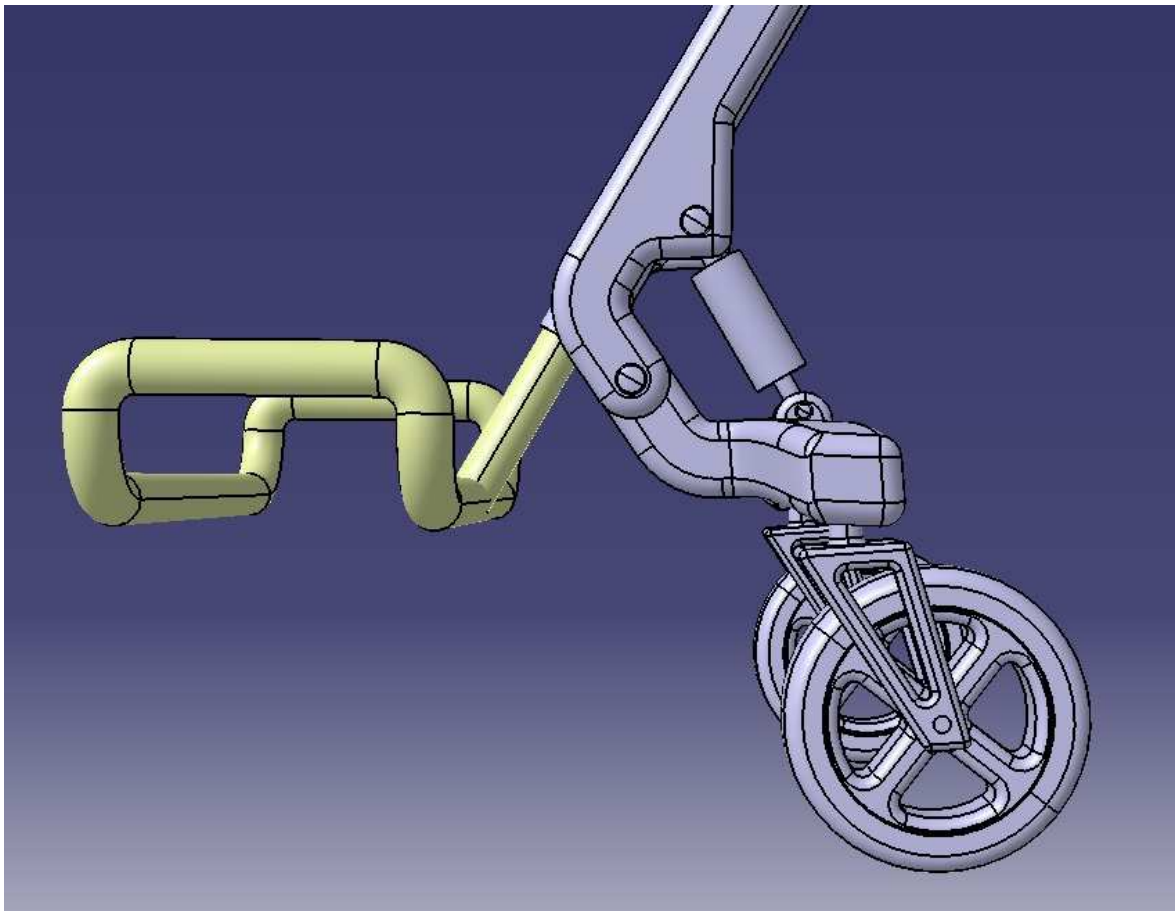
V posledním konstrukčním návrhu první varianty bylo nejdůležitější domodelovat kola, kvůli zjištění celkové velikosti nosné části a výšce položení nosného rámu. Nosný rám by měl správně být pod tupým úhlem k zemi a současně se nacházet ve dvou třetinách výšky kol.

Zde bylo zjištěno, že nosná část byla navržena nevhodně z důvodu že:

- horní část nosného rámu se nachází ve vysokých polohách,
- umístění těžiště celého vozíku se posunulo zepředu vzad, za osu velkých kol (správně by mělo těžiště být před osami kol, aby na vozíku nebyl možné převrátit se dozadu),
- vzdálenost malých koleček od středu velkých kol byla nedostatečná, z důvodů snadného převrnutí a nízké stability, což je pro tyto zdravotně postižené osoby velmi nebezpečné.

Proto bylo rozhodnuto pro snížení výšky a délky nosné části.

### 5.3 Druhá konstrukční varianta



Obr. 17. Znáznornění malého tlumiče ve spodní části vozíku (vylepšeno).

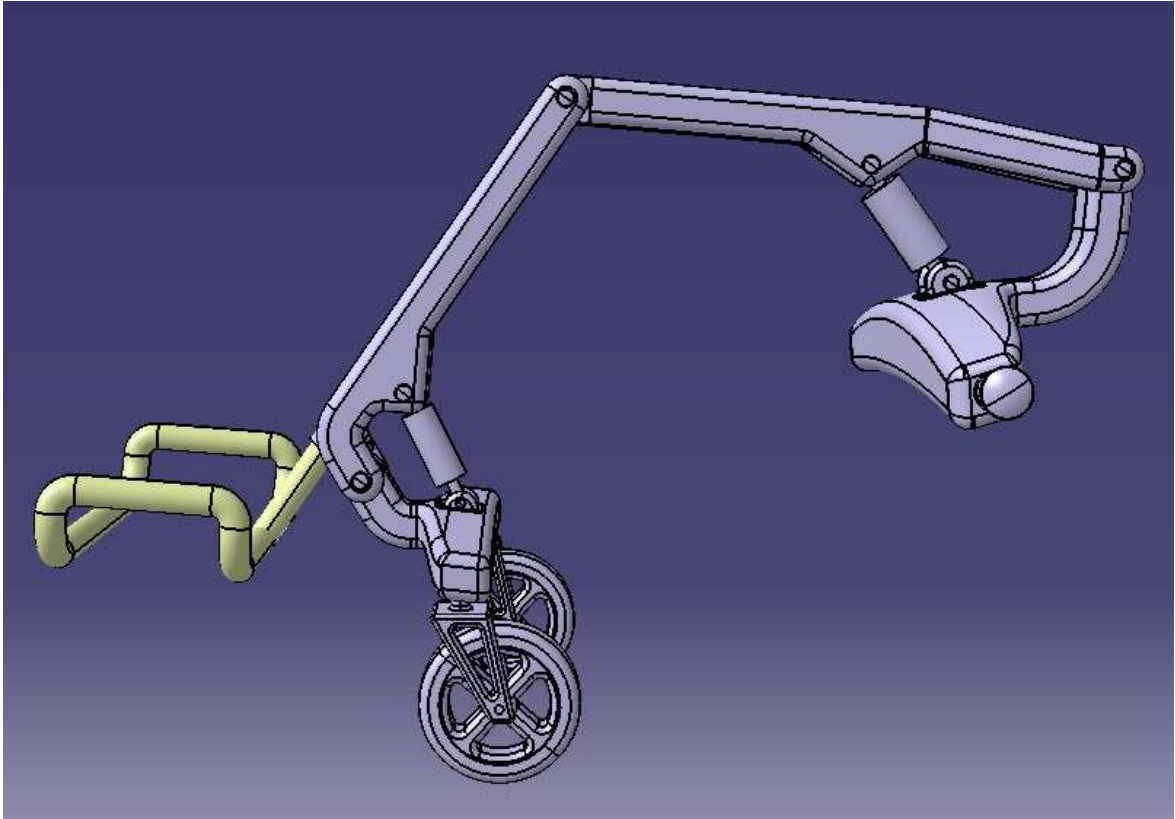
Malý tlumič byl přepracován, aby bylo absorbováno daleko více vibrací a byl využit lépe, než tlumič v předešlém obrázku.

Ve srovnání s předchozím návrhem byl tento vhodnější, protože:

- byl navržen optimálnější úhel tlumiče, který absorbuje více vibrací,
- byl konstrukčně vylepšen spodní opěrný rám, ve kterém se změnilo umístění malého tlumiče do středu spodního opěrného rámu,
- současně byly přemodelovány rámy, kvůli snazšímu vyrobení a větší tuhosti.

V tomto případě uchycení za pomoci tlumiče bylo uvažováno ještě nad dalším návrhem uchycení spodního opěrného rámu. Druhou variantou bylo navrhnoutí spodního opěrného rámu, tak že by z něj byla jedna část s již zmiňovaným nosným rámem 2. Díky tomu by-

chom mohli dosáhnout vyšší tuhosti a celková cena vozíku by se mohla dostat díky tomuto řešení daleko níže, protože by byl odstraněn malý tlumič. Tímto řešením se popřípadě budu zabývat v navazující diplomové práci.



*Obr. 18. Základní geometrie vozíku s velkým tlumičem a upravenou nosnou částí.*

Zde byla konečně udána základní geometrie, která splňuje geometrii, která by měla být podobná u každého invalidního vozíku. A současně byly přemodelovány všechny ostatní díly tak, aby byly snáze vyrobitelné. Byly přimodelovány také osy na kola, které budou uchyceny v nosné části vozíku.

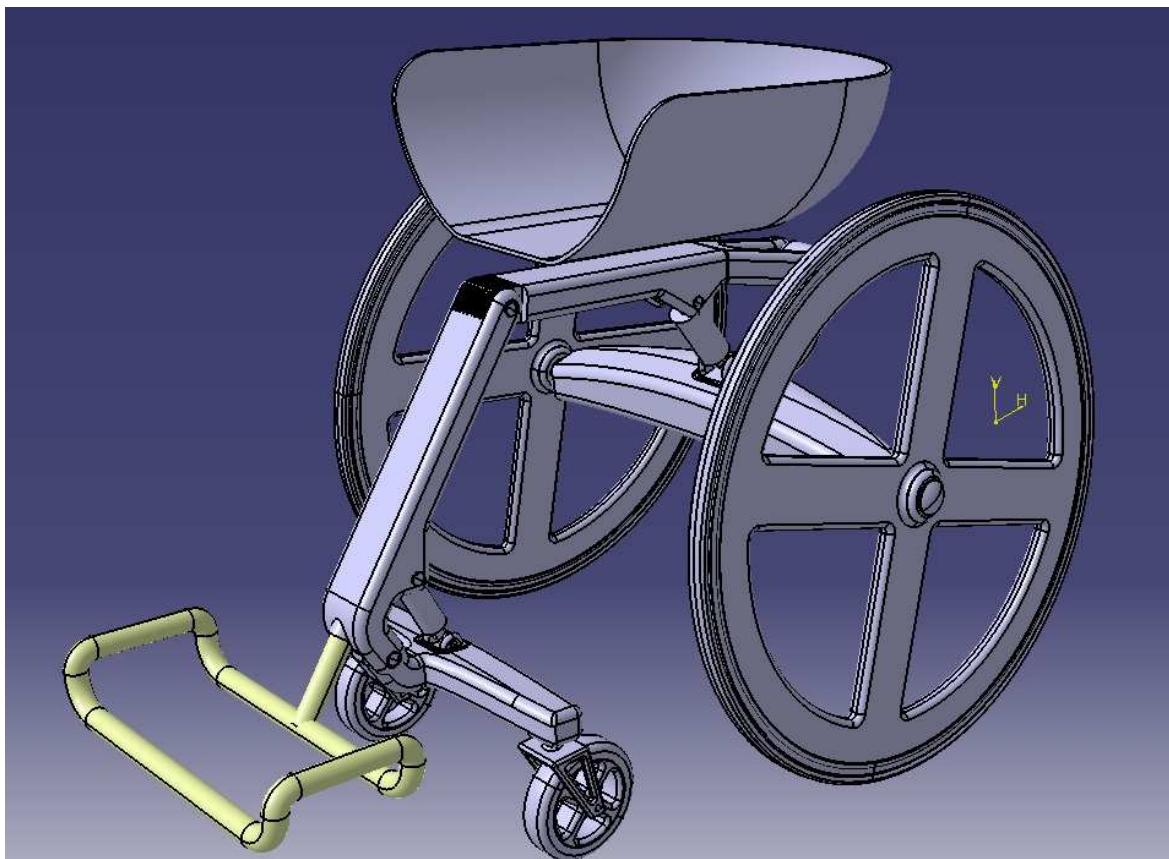
V nosné části byla změněna především:

- výška, díky které člověk na vozíku nebude tak vysoko nad zemí, jako u předchozí varianty,
- vzdálenost od os kol k zadní části, která byla zkrácena kvůli změně těžiště a zároveň bylo zapotřebí posunout přední malá kolečka daleko více před velká kola.



Zároveň přibylo uchycení na tlumič, který bude uchycen ve středu nosné části, která bude vyrobena z oceli a bude zalaminována do nosné části.

Dále byla vytvořena nosná část a spodní nosná část tak, aby byly totožné jen s tím rozdílem, že spodní část bude trochu menší. Bude to vypadat vzhledově daleko lépe, než kdyby bylo vycházeno z designového návrhu.



*Obr. 19. Poslední konstrukční návrh, kde už jsou zasazeny i kola se sedačkou.*

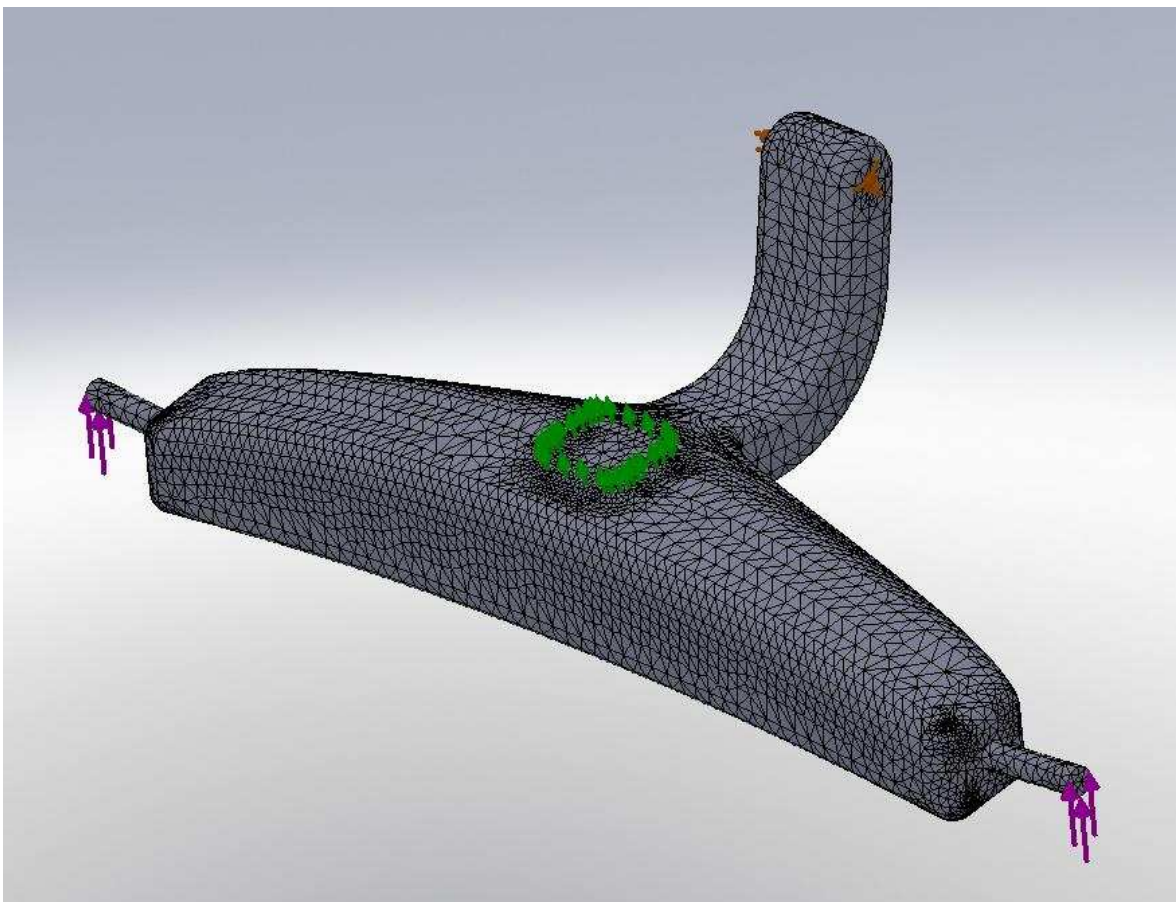
V posledním konstrukčním návrhu byly přidány kola, kde bylo znázorněno, že nosný rám byl položen daleko níže, než v předešlém modelu. Nosný rám by měl být položen níže, aby osoba na vozíku bez problému mohla ovládat vozík pohodlně a také kvůli celkové pevnosti vozíku.

Rovněž byla dosazena kola do os, které jsou uchyceny v nosné části. Kola u většiny vozíků bývají uchycena, tak aby byla pod mírným úhlem k vozovce. Zde byla kola navrhnutá pod úhlem (4 stupně), kvůli zkvalitnění pohybu při otáčení. Osoba na invalidním vozíku by měla být schopna se v podstatě otočit na místě o 180 stupňů.

## 6 MECHANICKÁ ANALÝZA PEVNOSTI

Další důležitou věcí u konstruování invalidního vozíku by měla být také pevnost vozíku. Vozík byl dimenzován tak, aby unesl, člověka o hmotnosti 160 kg. Mechanická zkouška byla prováděna na základě výpočtu z konstrukčního programu Solid Works, který má velmi dobře zpracováno využití FEM analýzy.

U následujících obrázků byla znázorněna FEM analýza nejvíce namáhané části. Nosná část bude velice namáhána v místě uložení tlumiče, kde bude docházet k největší deformaci. Do tohoto místa bude směřovat také tlumič, který bude absorbovat vibrace.



Obr. 20. Vysíťování nosné části k výpočtu napětí a posunutí.

Ve znázorněném obrázku byla vysíťována nosná část, kde byly zároveň zadány jednotlivé síly a uchycení.

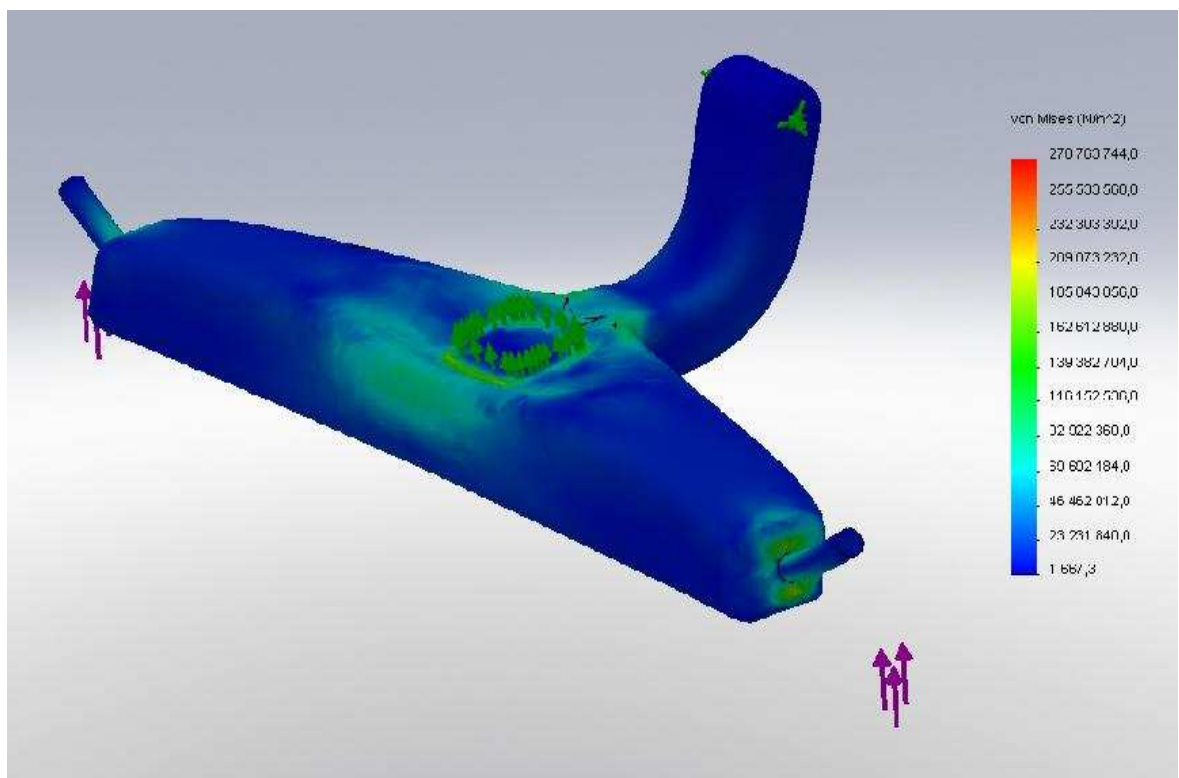
Nosná část byla zkonstruována tak, aby udržela 160 kg těžkou osobu. Uvnitř nosné části byla vytvořena skořepina, která bude tvořena tloušťkou 2 mm. Nosná část byla tvořena skořepinou a to z důvodu aby bylo dosaženo:

- nízké váhy celého vozíku,
- co nejlepší ovladatelnosti pro člověka, co bude tento vozík ovládat (čím lehčí vozík, tím lépe se ovládá).

Síly byly zadány tak aby na každou osu kola působilo 80 kg. Tato část byla uchycena dvěma vazbami. Do místa kde bude uchycen tlumič, byla dána vazba, která bude zabraňovat pohybu v normále k ploše a druhá vazba (v horních místech nosné části) bude zabraňovat posuvu ve dvou směrech.

Při výpočtu této FEM analýzy byla jako materiál použita epoxidová pryskyřice, nevyplněná. Po uskutečnění těchto operací, bylo programem Solid Works spočítáno napětí a posunutí u této nosné části.

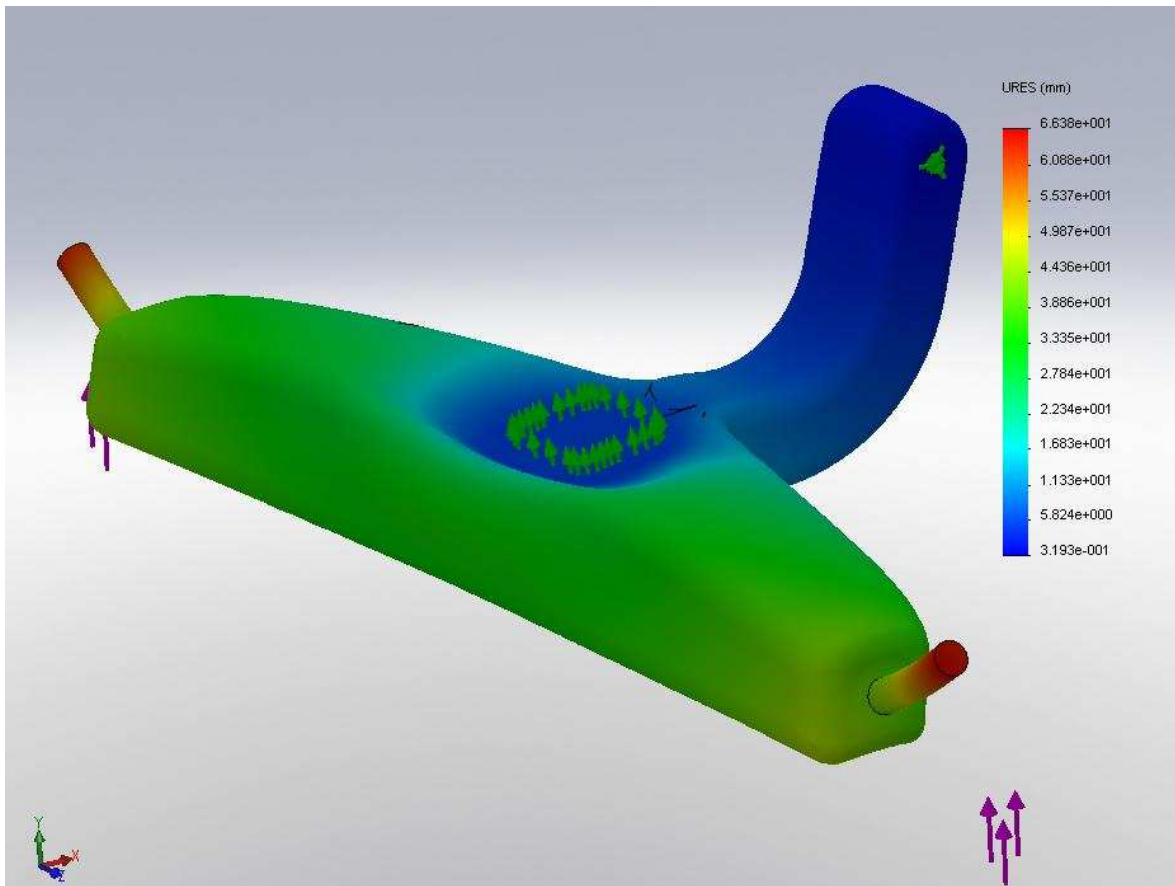
Je zřejmé, že výsledky se budou lišit, protože laminátová struktura má vyšší modul pružnosti, než epoxidová pryskyřice. Tím pádem výsledky deformace budou nižší



Obr. 21. Zobrazení výsledků nosné části pro napětí.

Po spočtení výsledku programem Solid Works bylo znázorněno, jak by vypadalo napětí u nosné části, která bude tvořena 2 mm skořepinou. Následující výsledek ukázal, že výrobek nebyl konstruován vhodně. Po zhlédnutí výsledků této analýzy bylo možno vidět, že nosná

část byla opravdu ve středu, kde směřuje tlumič velice namáhána, a značně by se reformovala. Dále bylo možno z obrázku vyčíst, že nosná část byla také velice namáhána na okrajích, kde byly uchyceny osy pro kola. Na druhou stranu bylo vyčteno z obrázku, že horní část nosné části, kde byl uchycen fixní čep (zabraňuje posunutí ve dvou směrech) byla namáhána zdaleka méně. Díky tomuto výpočtu bylo určeno, kde by bylo nutno zesílit stěny tohoto výrobku, aby nedošlo k deformacím.



Obr. 22. Zobrazení výsledků nosné části pro posunutí.

Na výše uvedeném obrázku byly znázorněny výsledky pro posunutí nosné části. Tento obrázek znázorňuje, kde bude posunutí největší. V tomto případě by se to nejvíce týkalo okrajových částí. Dále by se to také týkalo částí od středu k okrajovým částem. V tomto obrázku bylo dobře zobrazeno, kde bude posunutí vysoké a kde naopak nízké.

Po zhlédnutí výsledků bylo rozhodnuto, že nosná část bude posílena na některých místech. Z předchozích obrázků bylo zřejmé, že tloušťka okrajových částí nebyla dostatečná. Avšak nejvíce to bylo zpozorováno u středu celé nosné části, kde byla deformace nejznačnější.

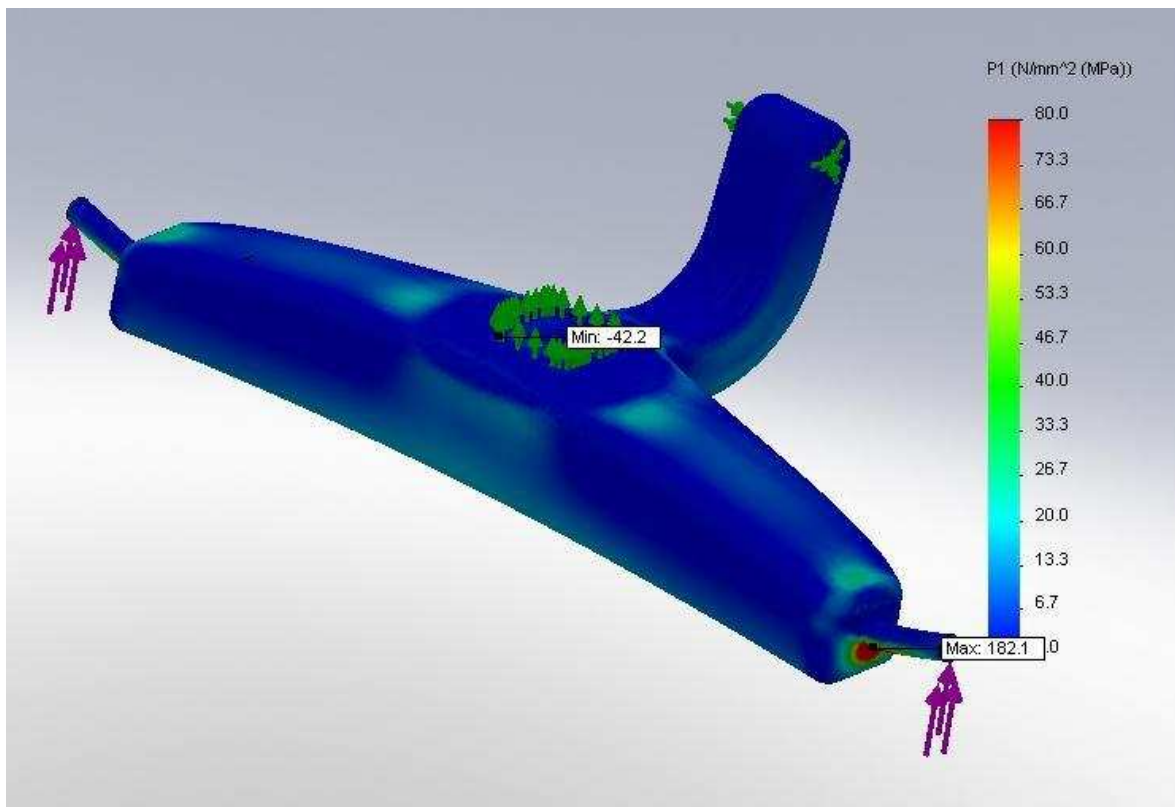


*Obr. 23. Vysíťování upravené nosné části pro výpočet napětí a posunutí.*

Díky úpravě této části byl vysíťován tento prvek na daleko menší části, díky čemuž by mělo být dosaženo názornějších výsledků při výpočtech napětí a posunutí.

Obrázek nosné části, byl už upraven tak, že byly posíleny nejvíce namáhané části a to tak, aby docházelo k co nejmenším deformacím. U této nosné části byla posílena stěna pod místem, kde je umístěn tlumič, aby bylo dosaženo daleko větší tuhosti a nosná část snesla co největší zátěž. Dále byly posíleny okrajové části, kde byla dána skořepina 4 mm místo přecházejících 2 mm.

Statická analýza jinak byla provedena úplně stejně jako u předchozí neupravené nosné části. Síly i všechny ostatní vazby byly zachovány na stejných místech a zároveň se nezměnily ani velikosti sil, které byly použity.



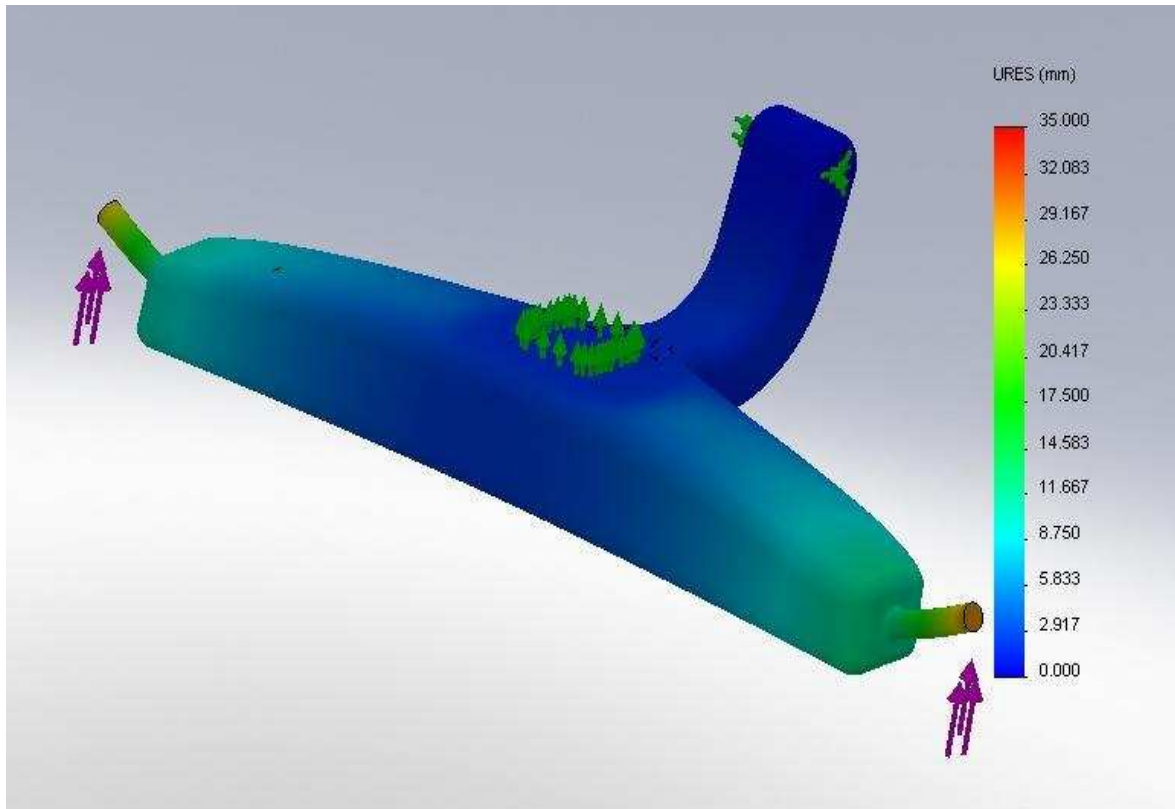
Obr. 24. Zobrazení výsledků upravené nosné části pro napětí.

Zde bylo znázorněno napětí upravené nosné části. Po zesílení středu v nosné části, která byla zesílena asi o 4 mm, aby nedocházelo v nejvíce namáhaném místě k deformaci. Špičky byly vytvořeny tím, že byl zjednodušen design pro návrh. Fem analýza se nebude blížit zcela reálu, protože bylo chtěno vést namáhání jen na skořepinu, aby bylo zjištěno, jak to bude vypadat ve středu.

Zároveň byly zesíleny okrajové části, ve kterých budou uchycena kola o 2 mm, aby bylo zabráněno deformaci v okrajových místech.

Tabulka v obrázku zobrazující napětí v MPa byla záměrně změněna stupnice od 0 do 80 MPa, aby bylo docíleno názornějších výsledků. Zde bylo vyčteno minimální a maximální napětí v nosné části při zatížení silami, kde na každém okraji bylo 80 kg.

Dále bylo spatřeno, že zesílení některých stěn opravdu pomohlo, protože už nebyla spatřena deformace a namáhaná místa už nebyla červená. Z obrázku bylo vyčteno, že napětí v nosné části se pohybuje nejvíce kolem 20 MPa.



Obr. 25. Zobrazení výsledků upravené nosné části pro posunutí.

Obrázek znázorňující výsledky upravené nosné části pro posunutí vypadá také podstatně lépe, oproti předchozímu modelu.

Tabulka posunutí byla také upravena pro znázornění lepších výsledků a to od 0 do 35 mm. Nejvíce se posunutí pohybuje v rozmezí od 1 do 8 mm, což bylo dobře znázorněno na obrázku.

I na tomto obrázku bylo poznáno, že zesílení středové části a okrajů nosné části bylo velmi prospěšné. Oproti předchozímu modelu zde bylo mnohem méně výrazných barev, které znamenaly velké posunutí.

Ve srovnání s předchozím modelem, byl tento model daleko lépe navržen z hlediska únosnosti a konstrukce. Byly zde odstraněny nedostatky, kde byly deformace opravdu značně viditelné nejen barvou. Bylo ukázáno, že díky jednoduchým úpravám byl nově navržený model daleko tužším a mnohem lépe konstruovaným z hlediska únosnosti.

## 7 SHRUTÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části byly srovnány 3 druhy materiálů, které jsou pro výrobu vozíku vyhovující. Byla to skelná, uhlíková a kevlarová vlákna.

O materiálech bylo zjištěno, že:

- nejnižší hustotu mají kevlarová vlákna, naopak nejvyšší hustotu mají vlákna skelná,
- nejvyšší E – modul mají uhlíková vlákna, nejnižší vlákna skelná,
- tažnost skelných vláken je nejvyšší z těchto tří materiálů, naopak uhlíková vlákna mají tažnost materiálu velmi nízkou.

Při návrhu vozíku byl kladen důraz na splnění konstrukčních požadavků týkajících se umístění těžiště a nosnosti 160 kilogramů. Bylo také přihlíženo k designu vozíku.

V praktické části byl graficky znázorněn vývoj invalidního vozíku. Ke každé zobrazené vývojové fázi byl napsán komentář s popisem změn.

V poslední řadě bylo nutno provést mechanickou analýzu nosné části, zda vyhoví požadavkům daného zatížení. Po prvním výsledku mechanické analýzy bylo zjištěno, že nosná část nebyla vhodně konstruována, a proto byla přemodelována. Po přemodelování nosné části a vypočtení výsledků druhé mechanické analýzy bylo zjištěno, že nosná část toto zatížení vydrží.

Pro výrobu vozíku byla navržena kombinace dvou konstrukčních materiálů. Vnitřní vrstvy laminátové skořepiny budou zhotoveny ze skelných vláken a vnější část naopak bude tvořena z uhlíkových vláken. Použitím skelných vláken, která jsou levnější než uhlíková, bude dosaženo snížení nákladů na výrobu vozíku.



## ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo vytvořit konstrukční návrh invalidního vozíku „trilobit“ a poskytnout přehled invalidních vozíků, které jsou v současné době na trhu. Konstrukce vozíku vychází z návrhu designéra a studenta Jana Školy, podle kterého byl tento vozík konstruován. Zjišťoval jsem, který konstrukční materiál bude pro výrobu vozíku nejvhodnější. Zabýval jsem se i problematikým konstrukčním řešením v designu a snažil se navrhnout konstrukčně a designově tak, aby vozík nejen dobře vypadal, ale zároveň, byl i vhodně konstruován z hlediska mechanického.

V teoretické části jsem rozepsal, možné konstrukční materiály pro výrobu tohoto vozíku. Po srovnání těchto materiálů jsem vybral 3 nejvhodnější materiály pro výrobu. Byla uvažována Kevlarová (aramidová) uhlíková a skelná vlákna.

Spodní nosná část vozíku byla zpracována ve stejném stylu jako nosná část, což celkově zlepšilo design vozíku.

Byla provedena FEM analýza nosné části. První analýza ukázala, že nosná část nebyla konstrukčně dostačující a proto byla přemodelována. Po zesílení některých částí bylo dosaženo výsledku, který ukázal, že nosná část udrží 160 kilogramové zatížení.

Výhodou pro běžného uživatele bude nízká hmotnost vozíku, snadná manipulace, variabilita možností použití (in – line, sledge hockey, mono – ski, handbike)

Domnívám se, že konstrukční možnosti tohoto vozíku ocení také mladší generace. Možnost rozšíření a využití různých variant tohoto vozíku poskytuje více možností trávení volného času a tím zlepšení kvality života.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Http://dmapraha.cz/* [online]. [cit. 2011-01-27]. Mechanické vozíky. Dostupné z WWW: <<http://www.dmapraha.cz/katalog/mechanicke-invalidni-voziky//>>.
- [2] *Http://dmapraha.cz/* [online]. [cit. 2011-01-27]. Mechanické vozíky. Dostupné z WWW: <<http://www.dmapraha.cz/katalog/mechanicke-invalidni-voziky/page2>>.
- [3] *Http://dmapraha.cz/* [online]. [cit. 2011-01-27]. Mechanické vozíky. Dostupné z WWW: <<http://www.dmapraha.cz/katalog/aktivni/>>.
- [4] *Http://kury.cz/* [online]. [cit. 2011-01-27]. Kury. Dostupné z WWW: <<http://www.kury.cz/hop.html>>.
- [5] *Http://dmapraha.cz/* [online]. [cit. 2011-01-28]. Mechanické vozíky. Dostupné z WWW: <<http://www.dmapraha.cz/katalog/polohovaci/>>.
- [6] *Http://pride.cz/* [online]. [cit. 2011-01-28]. Nový život s vozíkem. Dostupné z WWW: <<http://www.pride.cz/r-4000.php>>.
- [7] *Http://pride.cz/* [online]. [cit. 2011-01-28]. Nový život s vozíkem. Dostupné z WWW: <<http://www.pride.cz/jazzy-1107.php>>.
- [8] *Ordinace.cz:* [online]. 27 -05 -2010 [cit. 2011-01-28]. Trilobit: invalidní vozík pro aktivní život. Dostupné z WWW: < <http://www.ordinace.cz/clanek/trilobit-invalidni-vozik-pro-aktivni-zivot/>>.
- [9] *Http://trilobitmotion.com/* [online]. 2010 [cit. 2011-01-29]. Trilobit. Dostupné z WWW: < <http://trilobitmotion.com/wheelchair.html> />.
- [10] *Http://trilobitmotion.com/* [online]. 2010 [cit. 2011-01-29]. Trilobit. Dostupné z WWW: < <http://trilobitmotion.com/design.html>>.
- [11] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 194 s. ISBN 8021424435.
- [12] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. SNTL. Spálená 51, 113 02 Praha 1 : Nakladatelství technické literatury, 1988. 328 s.
- [13] *http://www.volny.cz* [online]. [cit. 2011-02-02] KOŘÍNEK, Zdeněk *Kompozity, vlákna*. Dostupné z WWW: <<http://www.volny.cz/zkorinek/>>.

- [14] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. první. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2006. 186 s. ISBN 8070806001.
- [15] <http://technologie.specwar.info> [online]. 23 –01 –2010 [cit. 2011-02-06]. Kevlar. Dostupné z WWW: <<http://technologie.specwar.info/kevlar/>>.
- [16] <http://www.ecta-gmbh.de> [online]. 2009 [cit. 2011-05-15]. Výrobky ze skelného vlákna. Dostupné z WWW: <<http://www.ecta-gmbh.de/czech/glasfaser.html>>.
- [17] <http://cs.wikipedia.org> [online]. 30 –01 –2011 [cit. 2011-05-16]. Uhlíkové vlákno. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové\\_vlákno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové_vlákno)>.
- [18] <http://www.odetka.cz> [online]. 2008 [cit. 2011-05-17]. Specifikace materiálu: kevlar. Dostupné z WWW: <[http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat\\_kevlar.aspx](http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_kevlar.aspx)>.

## **SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

V práci nebyly použity žádné symboly a zkratky.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Standardní invalidní vozík se zvýšenou nosností rámu.....	12
Obr. 2. Odlehčený invalidní vozík Progeo Basic Light z duralové konstrukce.....	13
Obr. 3. Skládací vozík Progeo Tekna. Složený.....	14
Obr. 4. Aktivní invalidní vozík s pevným rámem.....	14
Obr. 5. Speciální polohovací invalidní vozík.....	15
Obr. 6. Polohovací invalidní vozík s nastavitelnou opěrkou hlavy .....	16
Obr. 7. Exteriérový vozík.....	16
Obr. 8. Interiérový vozík Jazzy 1107 .....	17
Obr. 9. Ukázka invalidního vozíku trilobit v zákl. provedení s popisem částí .....	18
Obr. 10. Ukázka všech možných variant vozíku trilobit .....	18
Obr. 11. Ceny uhlíkových vláken pro letecký průmysl.....	28
Obr. 12. Základní konstrukce nosného rámu.....	42
Obr. 13. Základní konstrukce se spodním opěrným rámem s držáky a kolečky.....	43
Obr. 14. Základní nosný rám s držákem na nohy a nosnou částí celého vozíku.....	44
Obr. 15. Znárodnění malého tlumiče ve spodní části vozíku.....	45
Obr. 16. Základní geometrie vozíku s přidanými koly.....	46
Obr. 17. Znárodnění malého tlumiče ve spodní části vozíku (vylepšeno).....	47
Obr. 18. Základní geometrie vozíku s velkým tlumičem a upravenou nosnou částí.....	48
Obr. 19. Poslední konstrukční návrh, kde už jsou zasazeny i kola se sedačkou.....	49
Obr. 20. Vysíťování nosné části k výpočtu napětí a posunutí.....	50
Obr. 21. Zobrazení výsledků nosné části pro napětí.....	51
Obr. 22. Zobrazení výsledků nosné části pro posunutí.....	52
Obr. 23. Vysíťování upravené nosné části pro výpočet napětí a posunutí.....	53

Obr. 24. Zobrazení výsledků upravené nosné části pro napětí.....54

Obr. 25. Zobrazení výsledků upravené nosné části pro posunutí.....55

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 2. Vlastnosti nejčastěji používaných organických matric.....	22
Tab. 2. Vlastnosti nejčastěji skleněných vláken .....	24
Tab. 3. Hodnoty dloužených polymerů ve srovnání s jinými materiály.....	29
Tab. 4. Porovnání vlastností čedičových a skleněných vláken .....	29
Tab. 5. Tabulka hodnot tuhosti, hustoty a pevnosti.....	30
Tab. 6. Typické vlastnosti některých kovových vláken.....	32

## SEZNAM PŘÍLOH

PI Výkres sestavy vozíku

PII Kusovník sestavy vozíku



## **PŘÍLOHA P I: VÝKRES SESTAVY VOZÍKU**