



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## VYUŽITÍ KARBONOVÉ PLETENINY PŘI KONSTRUKCI PRUŽNÝCH PRVKŮ ZADNÍ STAVBY HORSKÉHO KOLA

UTILIZATION OF CARBON FIBRE FOR CONSTRUCTION OF ELASTIC ELEMENTS OF MOUNTAIN BIKE  
REAR TRIANGLE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Linda

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Březina, Ph.D.

BRNO 2018



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Jakub Linda</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Lukáš Březina, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Využití karbonové pleteniny při konstrukci pružných prvků zadní stavby horského kola**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

V současné době je v cyklistice patrné stále masovější použití celoodpružených rámců, kdy je zadní stavba uložena pohyblivě a umožňuje tak tlumit nerovnosti přejížděné zadním kolem. Právě uložení zadní stavby je vzhledem k požadovanému jízdnímu projevu zásadní.

Zadní stavba je většinou uložena pomocí několika čepů, jejichž počet závisí na typu uložení. S rozšířením aplikace pleteniny z karbonových vláken je v některých případech využita pružnost tohoto materiálu a při vhodném tvarování vybraných prvků zadní stavby mohou být příslušné čepy odstraněny a nahrazeny fixním spojením při zachování pohyblivosti zadní stavby.

Předmětem práce bude provést průzkum aktuálních řešení pružného uložení zadní stavby, pro vybrané řešení sestavit výpočtový model a provést výpočtové zhodnocení daného návrhu.

### **Cíle bakalářské práce:**

- 1) průzkum aktuálních řešení uložení zadní stavby rámu celoodpruženého horského kola s pružným prvkem
- 2) sestavení výpočtového modelu vybraného návrhu
- 3) výpočtové zhodnocení vybraného návrhu
- 4) formulace závěrů a doporučení

### **Seznam doporučené literatury:**

NOVÁK, Jaroslav. Karbon tehdy a teď. *Velo*. 2010, 2010(11), 66-72. ISSN 1213-113X.

MURPHY, Brett. Suspension Design Theory and Anti-Squat Behavior. Art's cyclery: blog [online]. 2015. Dostupné z: <http://blog.artscyclery.com/science-behind-the-magic/suspension-design-theory-and-anti-squat-behavior/>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cieľom práce je návrh karbónového pružného prvku v mechanizme odpruženia zadného kolesa horského bicykla. Pružný prvok bude nahrádzať rotačnú väzbu a svojou deformáciou bude umožňovať pohyb mechanizmu odpruženia zadného kolesa. Na počiatku sa práca zaoberá teoretickým úvodom do problematiky geometrie bicykla, typov mechanizmov odpruženia zadného kolesa a ich charakteristikám. Neskôr sa práca venuje kompozitným materiálom vo všeobecnosti, tiež sa venuje metódam výroby kompozitných cyklistických rámov a zaoberá sa aj mechanike kompozitov. Ďalej sa práca zameriava na rešeršnú štúdiu už existujúcich rámov využívajúcich pružný prvok v mechanizme odpruženia zadného kolesa. Ku koncu sa práca zameriava na vlastný návrh celoodpruženého bicykla s využitím pružného prvku, zdôvodňuje dané voľby pri voľbe nahrádzaného mechanizmu odpruženia a tiež zdôvodňuje jednotlivé zjednodušujúce predpoklady a ich vplyv na riešenie. Daný pružný prvok je analyzovaný z hľadiska deformácií a napätí v softvare Ansys. Na záver sú uvedené výsledky analýzy a odporúčenia.

### **Kľúčové slová:**

Celoodpružený bicykel, mechanizmus odpruženia, charakteristiky, kompozit, karbón, pružný prvok, analýza

## **Abstract**

The aim of the thesis is to design a carbon elastic element in the suspension mechanism of the rear wheel of a mountain bike. The elastic element will replace the rotary link and its deformation will allow movement of the rear wheel suspension mechanism. At the beginning, the thesis deals with the theoretical introduction to bicycle geometry, types of rear wheel suspension mechanisms and their characteristics. Later on, the work is devoted to composite materials in general, and it also deals with methods of manufacturing a composite bicycle frame and deals with the mechanics of composites. Further, the thesis is focused on the research of already existing frames utilizing the flexible element in the suspension mechanism of the rear wheel. Finally, the work focuses on the design of a full-suspension bicycle using a flexible element, justifies the choice of the replaced suspension mechanism and also justifies the individual simplifying assumptions and their impact on the solution. The elastic element is analyzed for deformations and stresses in the Ansys software. Finally, the results of the analysis and recommendations are presented.

### **Key words:**

Full-suspension bicycle, suspension mechanism, characteristics, composite, carbon, flexible element, analysis

## **Bibliografická citácia**

LINDA, J. *Využití karbonové pleteniny při konstrukci pružných prvků zadní stavby horského kola*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 80 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Březina, Ph.D..

## **Prehlásenie autora**

Prehlasujem, že bakalárska práca je pôvodná a vypracoval som ju samostatne pod odborným vedením Ing. Lukáša Březiny, pomocou informačných zdrojov, ktoré sú uvedené v zozname použitých zdrojov na konci tejto práce.

V Brne dňa 20. 5. 2018

.....  
Jakub Linda

## **Pod'akovanie**

Ďakujem Ing. Lukáši Březinovi Ph.D. za odborné vedenie práce, pohotové reakcie a značnú pomoc pri výbere témy pre bakalársku prácu. Za konzultácie tiež ďakujem Ing. Davidovi Slámovi, doc. Ing. Tomášovi Návratovi Ph.D., Ing. Petrovi Vosynkovi Ph.D. Moja veľká vďaka tiež patrí mojej rodine, ktorá ma v štúdiu vždy podporuje.



# Obsah

Úvod.....	11
<b>1 Základné pojmy súvisiace s konštrukciou a charakterom odpruženia bicykla ...</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Geometria bicykla.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Rozdelenie horských bicyklov podľa účelu .....</b>	<b>13</b>
1.2.1 Cross country .....	13
1.2.2 Trail.....	14
1.2.3 Enduro.....	14
1.2.4 Downhill .....	15
<b>1.3 Základný prehľad systémov odpruženia zadného kolesa. ....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Jednočapové zavesenie zadného kolesa.....	16
1.3.2 Štvorčapové zavesenie zadného kolesa .....	16
1.3.3 Niektoré zo špeciálnych typov odpružení.....	18
<b>1.4 Charakteristiky odpruženia dané voľbou a návrhom mechanizmu odpruženia .....</b>	<b>19</b>
1.4.1 Progresivita/ degresivita odpruženia.....	20
1.4.2 Anti-squat.....	21
1.4.3 Anti-rise .....	21
1.4.4 Pedal kickback .....	21
<b>2 Zaťaženie rámu bicykla pri rôznych typoch jazdy .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Výskum firmy Litespeed .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Zaťažovanie rámu a výpočet napätí pomocou numerickej simulácie .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Pevnosť a tuhosť rámu.....</b>	<b>25</b>
<b>3. Karbon .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Kompozitné materiály .....</b>	<b>27</b>
3.1.1 Rozdelenie kompozitov .....	28
3.1.2 Matrica .....	29
3.1.3 Vlákna.....	29
3.1.4 Výroba vlákien.....	31
3.1.5 Výroba kompozitu .....	32
3.1.6 Výroba kompozitného rámu .....	32
<b>3.2 Mechanika kompozitných materiálov.....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Pozdĺžny modul pružnosti v ťahu a pozdĺžna pevnosť .....	35
3.2.2 Modul pružnosti v šmyku .....	38

3.2.3 Poissovo číslo .....	38
<b>4 Systémy odpruženia využívajúce pružný prvok ako súčasť mechanizmu .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Soft tail .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Nízkozdvihové rámy.....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Jednočapové prevedenie.....	41
4.2.2 Štvorčapové prevedenie .....	42
<b>4.3 Vysokozdvhové rámy .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 Riešenie s dvomi krátkymi členmi .....	43
4.3.2 Iné štvorčapové riešenia .....	44
<b>4.4 Štvorčapové riešenie ako najideálnejšie riešenie.....</b>	<b>47</b>
<b>5 Vlastný návrh bicykla .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Geometria rámu .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Voľba systému odpruženia zadného kolesa .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3 Zostavenie výpočtového modelu .....</b>	<b>52</b>
5.3.1 Modely jednotlivých častí rámu bicykla .....	52
5.3.2 Zjednodušujúce predpoklady pre tvorbu výpočtového modelu .....	55
5.3.3 Zostavenie výpočtového modelu daného návrhu .....	58
<b>5.4 Zhodnotenie výpočtového modelu .....</b>	<b>65</b>
5.4.1 Vplyv natočenia vlákien na deformáciu a napätia .....	65
5.4.2 Detailný rozbor napätí pri zaťažení planžetky na ohyb .....	67
5.4.3 Odozva planžetky na rôzne typy zaťažovania.....	70
5.4.4 Závislosť priehybu na zaťažovacej sile.....	71
5.4.5 Únavové vlastnosti planžetky.....	72
5.4.6 Zhodnotenie modelu.....	73
Záver.....	75
Zoznam použitých zdrojov .....	77

# Úvod

V súčasnej dobe je v cyklistike čoraz viditeľnejšie použitie celoodpružených bicyklov. Existuje veľa riešení mechanizmu odpruženia zadného kolesa. Každé riešenie má svoje klady a zápory. Zvládnutie vyladenia daného návrhu odpruženia je na požadovaný jazdný prejav zásadné.

Odpružená zadná stavba je väčšinou realizovaná pomocou mechanizmu odpruženia, ktorý tvoria rotačné väzby. V posledných rokoch sa do popredia dostáva karbón ako materiál pre výrobu rámov bicyklov. V niektorých prípadoch sú využité jeho skvelé pružné vlastnosti a jedna z rotačných väzieb mechanizmu odpruženia sa nahradí pevným spojeným a pohyb mechanizmu odpruženia je sprevádzaný deformáciou tohto pružného prvku a umožňuje tak chod zadnej stavby. Takto vytvorený rám prináša so sebou nejednu výhodu.

Prvou je ušetrenie nezanedbateľnej časti váhy rámu vynechaním páru ložísk a čapu. Druhou je zvýšenie horizontálnej tuhosti rámu. Pružný prvok sa dobre deformuje v smere zvislom a umožňuje chod mechanizmu odpruženia, zároveň sa však prvok veľmi nechotne deformuje v smere horizontálnom a teda rám je v tomto smere tuhý.

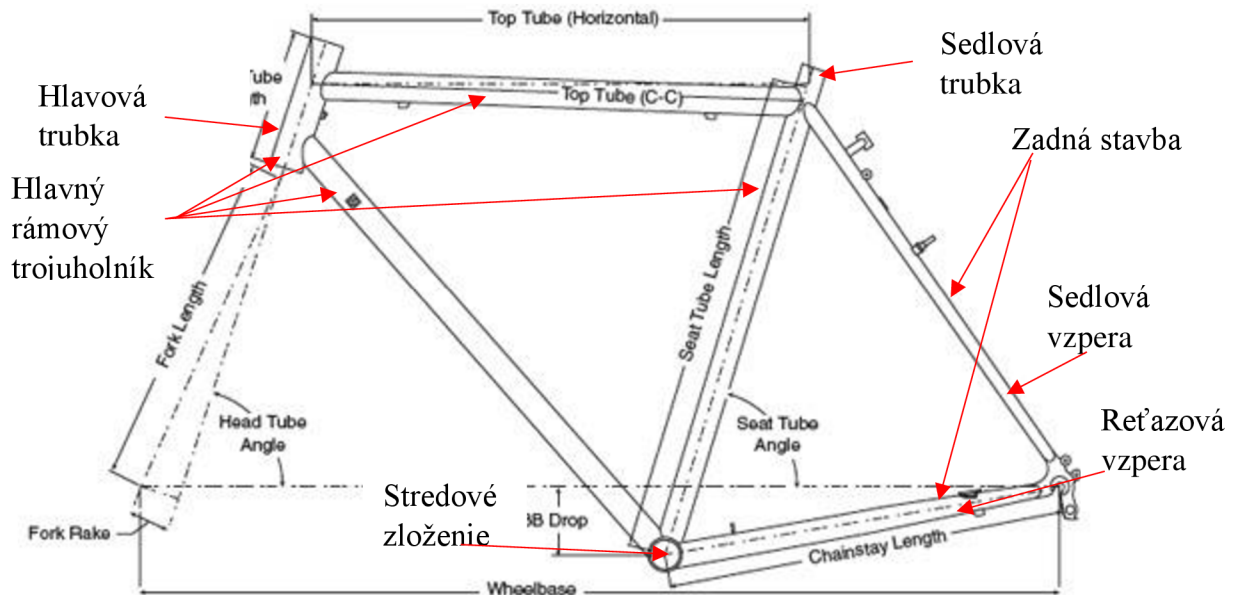
Zo začiatku práce musia byť detailne vysvetlené pojmy týkajúce sa geometrie, mechanizmov odpruženia a charakteristických vlastností jednotlivých typov odpružení. Pozornosť musí byť venovaná aj prieskumu ohľadne zaťaženia bicykla pri jazde. Pre pochopenie karbónu ako kompozitného materiálu musia byť v práci uvedené základné pojmy týkajúce sa kompozitných materiálov a mechaniky kompozitných materiálov. Samostatná kapitola bude venovaná už existujúcim bicyklom, ktoré vo svojom mechanizme odpruženia využívajú pružný prvok.

Cieľom práce je návrh a výpočtové zhodnotenie daného modelu. Geometria modelu bude vytvorená pomocou 3D softwaru Inventor, tá sa následne použije v programe Ansys, kde prebehne zaťažovanie a vyhodnocovanie daného modelu.

# 1 Základné pojmy súvisiace s konštrukciou a charakterom odpruženia bicykla

Skôr než sa práca začne zaoberať samotným popisom karbonu, bicyklov využívajúcich pružiaci element a samotný návrh vlastného rámu je nutné vymedziť pojmy úzko súvisiace s konštrukciou a charakterom bicykla. Konkrétnym návrhom bicykla mu stanovujeme jazdné vlastnosti, ktoré bude vysvetlené v nasledujúcej kapitole.

## 1.1 Geometria bicykla



Obr. 1.1 Hlavné miery geometrie bicykla a jednotlivé názvy častí rámu [2]

Wheelbase (rázvor)- vzdialenosť osí predného a zadného kolesa. Dlhá - stabilita vo veľkých rýchlostiach, ale zlá ovládateľnosť v nízkych rýchlostiach. Krátka- bicykel sa zdá živší, lepšie ovládateľnejší [1].

Seat tube length- dĺžka sedlovej trubky od osi stredového zloženia po jej koniec.

Toptube length- horizontálna dĺžka hornej rámovej trubky .

Toptube length (C-C)- skutočná dĺžka hornej rámovej trubky.

Headtube length- dĺžka hlavovej trubky.

Fork length- dĺžka vidlice od spodnej časti hlavového zloženia po os predného kolesa.

Head tube angle- hlavový uhol- uhol medzi spojnicou osí kolies a osi hlavovej trubky. Väčší- lepšie sa s bicyklom zatača a je vhodnejší na šliapanie do kopca. Menší- bicykel sa správa stabilnejší vo veľkých rýchlostiach [1].

Seat tube angle- uhol sedlovej trubky- uhol medzi spojnicou osí kolies a osou sedlovej trubky. Strmší uhol je vhodnejší pre bicykle, ktoré sú určené na šliapanie do kopca [1].

Chainstay length - dĺžka reťazovej vzpery. Krátka- bicykel je dobre ovládateľný, menej sa prehýba v torznom smere. Dlhá- používa sa na bicykle, ktoré sú určené na šliapanie do kopca, zabezpečuje lepšiu stabilitu v stúpaniach [1].

Bottom bracket drop- vzdialenosť medzi spojnícou osí kolies a osou stredového zloženia. Čím je hodnota väčšia, tým je ťažisko jazdca nižšie a tým lepšie sa bicykel ovláda. Na druhej strane hrozí nebezpečenstvo nárazu do stredového zloženia od prekážky [1].

Offset (rake)- vyosenie vidlice- vzdialenosť medzi osou hlavovej trubky a osou vidlice meraná v osi predného kolesa.

Reach- vzdialenosť medzi stredovým zložením a vrchom hlavovej trubky meraná v horizontálnom smere. Táto hodnota vyjadruje najobjektívnejšie dĺžku rámu. Na rozdiel od skutočnej dĺžky hornej rámovej trubky ju neovplyvňuje tvar a uhol sedlovej trubky [1].

Stack- vzdialenosť medzi stredovým zložením a vrchom hlavovej trubky meraná vo vertikálnom smere. Hodnota stacku v podstate vyjadruje výšku riadenia [1].

## 1.2 Rozdelenie horských bicyklov podľa účelu

Delenie jednotlivých bicyklov do kategórií nie je jednoduché a nie vždy jednoznačné. Každý výrobca má odlišné názory čo sa týka geometrie a celkového prevedenia rámu. Záleží aj na konkrétnych komponentoch, ktoré sú osadené na bicykli.

Napríklad bicykel určený výrobcom na trail jazdenie, môže byť vhodnou výmenou komponentov považovaný aj za enduro bicykel. Čím sa ale typy bicyklov vždy líšia je počet milimetrov poskytnutého odpruženia (zdvihu) a hlavový uhol.

### 1.2.1 Cross country

Bicykle typu XC sú charakteristické svojou konštrukciou, ktorá je zameraná na rýchlosť so zameraním jazdy do kopca. Pre daný typ bicykla je dôležitá najmä hmotnosť, efektívnosť prenosu energie z jazdca na pohon. Odpruženie sa pohybuje v rozmedzí od 80-100 mm. Hlavový uhol: 70° -75° [7].



Obr. 1.2 XC bicykel XF 999 od značky Superior [3]

### 1.2.2 Trail

Trailové bicykle nie sú primárne určené na žiadny typ závodenia. Ich účel je poskytnúť jazdcovi čo najväčšiu mieru pohodlia, či už sa jedná o jazdu do kopca, alebo jazdu z kopca, kde bicykel poskytuje dostatočnú oporu jazdcovi. Dôraz sa kladie na efektivitu, hmotnosť ale aj na ovládateľnosť a celkovo hravý prejav bicykla. Odpruženie: 120-140 mm. Hlavový uhol: 67° -69° [7].



Obr. 1.3 Trail bicykel Blizzard od značky Rock machine [4]

### 1.2.3 Enduro

Kategória enduro bicyklov sa zameriava na čo najširšie pokrytie disciplín horskej cyklistiky. Spája v sebe viac prvkov zjazdových bicyklov aby bicykel zvládol jazdu z kopca a menej prvkov XC bicyklov tak, že bicykle sú usposobené aj na jazdu do kopca. Dôraz sa ale kladie na jazdu z kopca. Tomu sú prispôsobené aj uhly a rozmery bicykla.

Rámy bývajú spravidla tuhé a pevné, čo sa odrazí na ich hmotnosti. Jazda do kopca nie je veľmi efektívna ani pohodlná, ale je možná a o to v tejto kategórii bicyklov ide. Odpruženie: 140-170 mm. Hlavový uhol: 64°-69° [7].



Obr. 1.4 Enduro bicykel Patriot od značky Author [5]

### 1.2.4 Downhill

Keď hovoríme o zjazdových bicykloch. Myslíme bicykle určené pre tie najnáročnejšie podmienky. Na jazdu cez technické pasáže, veľké skoky a jazdu vysokými rýchlosťami. Rámy sú charakteristické svojou tuhosťou a pevnosťou, hmotnosť je druhoradá. Nedajú sa použiť na jazdu do kopca. Odpruženie: 170- 200 mm. Hlavový uhol: 62° -65° [7].



Obr. 1.5 Zjazdový bicykel Noid od značky Kellys [6]

### 1.3 Základný prehľad systémov odpruženia zadného kolesa.

Pri celoodpruženom bicykli je zadné koleso spojené s hlavným rámovým trojuholníkom pomocou sústavy vzpier a väzieb, na ktorých je tiež uchytený tlmič. Mechanizmus má za úlohu sprostredkovať pohyb zadného kolesa smerom hore pri súbežnom stláčaní tlmiča. Väzby sú realizované pomocou otočných bodov, kedy sú vzpery spojené čapom, ložiskami a pevne sa spoja zoskrutkovaním čapu so skrutkou. Pri niektorých typoch odpruženia sa používa aj posuvná väzba, ale jedná sa o veľmi zriedkavý prípad.

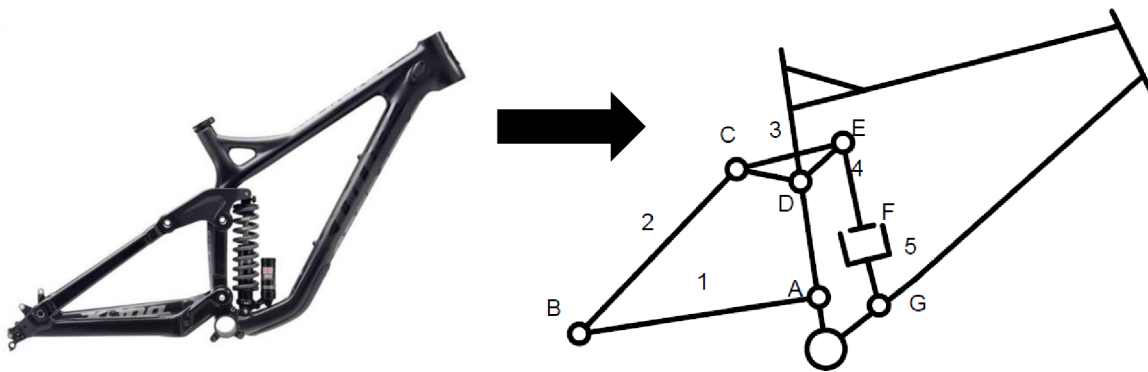
Mechanizmus odpruženia má vždy jeden stupeň voľnosti [15]. Dá sa rozdeliť na dve časti. Prvou je mechanizmus prepojenia kolesa s hlavným rámovým trojuholníkom (mechanizmus odpruženia) a druhou je mechanizmus uchytenia tlmiča na pohybujúcu sa vzperu mechanizmu prepojenia kolesa s rámom.

Výpočet stupňov voľnosti:  $i = i_v \cdot (n-1) - \sum \varepsilon_i$ , (1)

kde  $i_v$  je počet stupňov voľnosti voľného telesa (pre 2D je  $i_v = 3$ ).  $N$  je počet telies.  $\sum \varepsilon_i$  je počet stupňov voľnosti odobratý väzbami.

Na nasledujúcom obrázku je typický mechanizmus odpruženia pre výpočet stupňov voľnosti. Písmenami sú označené väzby a číslami telesá tvoriace mechanizmus.

Výpočet: po dosadení do (1)  $i = 3 \cdot (6-1) - 2 \cdot 7 = 1$



Obr 1.6 Príklad celkového mechanizmu odpruženia pre výpočet stupňov voľnosti [10]

### 1.3.1 Jednočapové zavesenie zadného kolesa

Pri jednočapovom zavesení zadného kolesa tvorí mechanizmus odpruženia jedna vzpera a jedna rotačná väzba, ktoré sú spojené s tlmičom. Vlastnosti pruženia sa dajú ovplyvniť jedine vhodnou voľbou pozície rotačnej väzby na ráme. Pákový pomer prenosu sily z kolesa na tlmič je počas celého zdvihu konštantný a teda pruženie má lineárny charakter [15]. Ďalej sa tento systém bude označovať ako jednočap.



Obr. 1.7 Jednočapové zavesenia zadného kolesa od firmy Orange [8]

### 1.3.2 Štvorčapové zavesenie zadného kolesa

Systém je označovaný ako štvorčap. Pri štvorčapovom systéme pruženia tvoria mechanizmus odpruženia tri vzpery a štyri rotačné väzby. Jednotlivé druhy odpruženia sa líšia polohou týchto väzieb vzhľadom na koleso a rám. Vzhľadom na to, že počas pohybu kolesa sa mení vzájomná poloha častí mechanizmu je charakter kompresie tlmiča nelineárny [15]. Pákový pomer je v každom mieste priebehu zdvihu kolesa iný, čo vytvára buď progresívny alebo degresívny priebeh sily, ktorá je potrebná na stláčanie tlmiča vzhľadom na zdvihu kolesa [19].

#### A) Horst link

Koleso je súčasťou vzpery, ktorá je pomocou ďalších dvoch vzpier zvrchu a zo spodu spojená s hlavným rámovým trojuholníkom. Rotačná väzba na spodnej (reťazovej) vzpere je blízko k osi kolesa [15].





Obr. 1.8 Horst link od značky Thumper [9]

### B) Prepákový jednočap

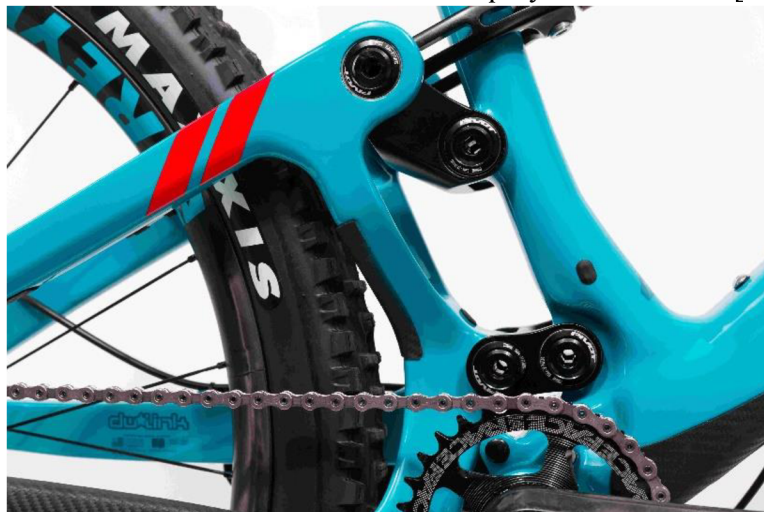
Koleso je súčasťou vzpery, ktorá je cez rotačnú väzbu spojená s rámovým trojuholníkom. Ostatné dve vzpery zabezpečujú prenos pohybu z kolesa na tlmič. Rotačná väzba na hornej (sedlovej) vzpere je blízko k osi kolesa [15].



Obr. 1.9 Prepákový jednočap od firmy Kona [10]

### C) S dvomi krátkymi členmi (DW link)

Koleso je súčasťou vzpery, ktorá je pomocou dvoch ďalších vzpier spojená s rámovým trojuholníkom. Na rozdiel od Horst linku sú tieto vzpery veľmi krátke. [15]



Obr. 1.10 Mechanizmus odpruženia kolesa takzvaným DW linkom od firmy Pivot [11]

#### D) Split pivot

Koleso je súčasťou vzpery, ktorá je cez rotačnú väzbu pripevnená na rámový trojuholník. Ostatné dve vzpery slúžia na prenos pohybu z kolesa na tlmič. Na rozdiel od prepákovaneého jednočapu je rotačná väzba na hornej vzpere priamo v osi kolesa [15].



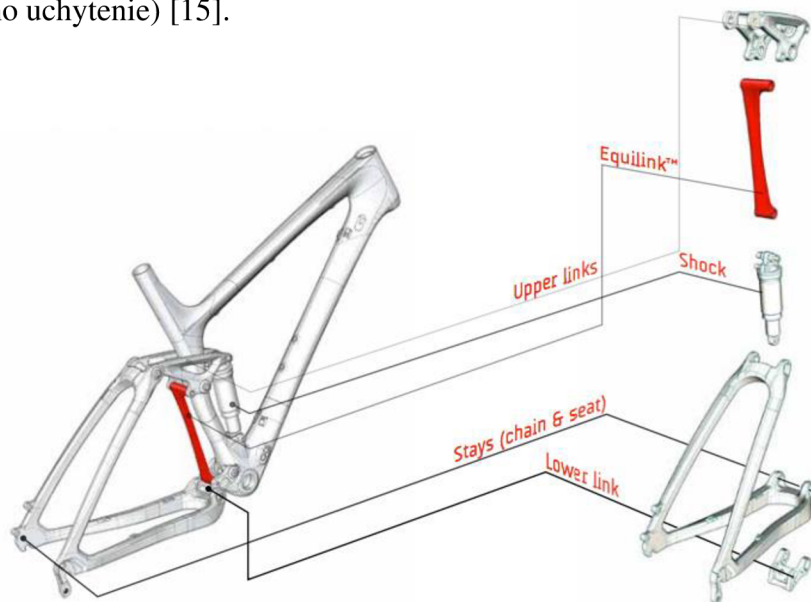
Obr. 1.11 Split pivot od značky Trek [12]

#### **1.3.3 Niektoré zo špeciálnych typov odpružení**

Špeciálne typy odpruženia sú nazvané špeciálnymi preto, lebo ich používa výhradne jedna značka. Predošlé typy odpružení sú rozšírené u viacerých firiem.

##### A) Šesťramenný mechanizmus

Šesťramenný mechanizmus odpruženia, alebo inak povedané Equilink má výhodu v tom, že sa dajú vytvoriť ešte lepšie charakteristiky odpruženia ako pri štvorčapovom systéme. Tvorí ho päť vzpier a sedem rotačných väzieb (celkový mechanizmus tvorí ešte tlmič a jeho uchytenie) [15].



Obr. 1.12 Šesťramenný mechanizmus odpruženia od firmy Felt [13]

## B) So stredom na samostatnom člene

Systemy odpruženia uvedené vyššie počítali s umiestnením stredového zloženia priamo na hlavnom rámovom trojuholníku. Existujú však systémy, ktoré majú stredové zloženie integrované na jednej zo vzper. Vhodným umiestnením stredú sa dá eliminovať negatívny efekt predlžovania reťaze počas priebehu zdvihu kolesa.

Predstaviteľom spomínaného systému je Angle optimized suspension of firmy GT. Ich bicykle majú koleso spojené vzperou cez rotačnú väzbu s rámovým trojuholníkom. Rotačná väzba je ale veľmi vysoko, čo má priaznivý vplyv na dráhu kolesa pri pružení.

Keby umiestnime stredové zloženie na rám, dôsledkom vysokej rotačnej väzby by bolo obrovské predĺženie ťažnej vetvy reťaze a teda veľmi negatívny vplyv na chod pruženia. Umiestnením stredového zloženia na vzperu sa počas pruženia mení aj poloha stredú, následkom čoho sa predlžovanie reťaze stáva zanedbateľným [15].



Obr. 1.13 Angle optimized suspension od firmy GT [14]

## C) Switch infinity

Switch infinity je názov systému, ktorý používa firma Yeti. Jedná sa o systém odpruženia, ktorý obsahuje posuvnú väzbu miesto jednej rotačnej. Týmto sa podarilo vytvoriť systém aký na trhu ešte nebol.

System je citlivý na malé podnety na začiatku zdvihu a dostatočne tuhne na konci zdvihu, čím sa zvýši sila potrebná na stlačenie odpruženia na doraz. Zároveň je odpruženie odizolované od síl generovaných prostredníctvom pohonu, tým pádom sa odpruženie nestláča pri pedálovaní [26].



Určite však vznikajú nové nároky na údržbu, keďže odhalená posuvná plocha bude náchylná na udržiavanie nečistôt a bude ju treba pravidelne čistiť

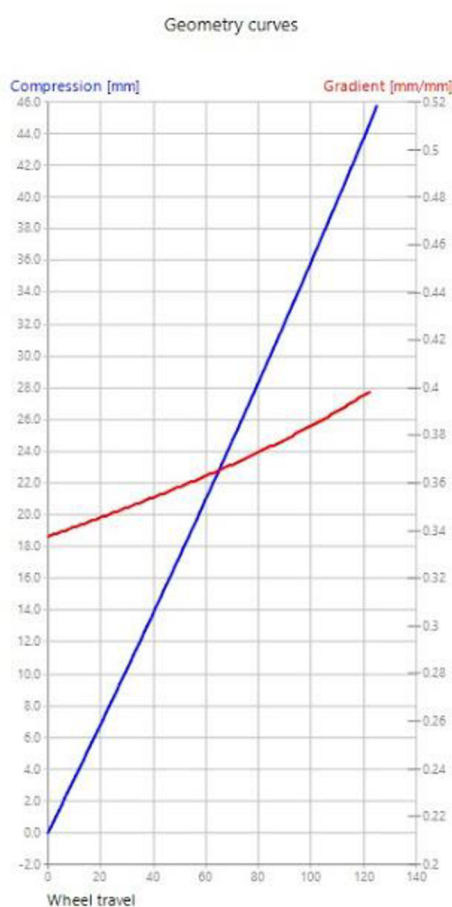
Obr. 1.14 Detailný pohľad posuvnú väzbu zaradenú do systému odpruženia [26]

## 1.4 Charakteristiky odpruženia dané voľbou a návrhom mechanizmu odpruženia

### 1.4.1 Progresivita/ degresivita odpruženia

Tieto vlastnosti odpruženia sa prejavujú na všetkých systémoch odpruženia okrem jednočapu. Či má bicykel progresívny alebo degresívny charakter odpruženia závisí na krivke kompresie tlmiča.

Je to závislosť zdvihu zadného kolesa na stlačení tlmiča. Pri jednočapovom systéme je táto závislosť lineárna. Pri ostatných systémoch sa mení vzájomná poloha členov mechanizmu, čo vytvára nelineárny charakter kompresie tlmiča počas stláčania odpruženia.



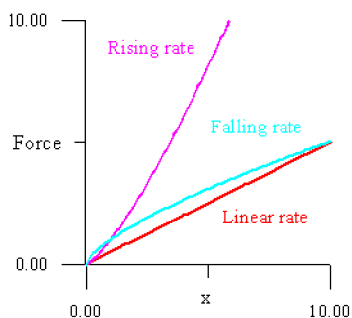
Krivka kompresie tlmiča je teda funkčná závislosť (modrá), pokiaľ zderivujem túto funkciu, získam funkciu (červená) ktorá udáva, aký veľký je sklon dotyčnice ku krivke v danom bode (poznám teda priebeh strmosti krivky kompresie). Pokiaľ je derivácia stúpajúca funkcia, potom je odpruženie progresívne. Ak je derivácia klesajúca funkcia, potom je odpruženie degresívne.

Progresívne chovanie rámu znamená, že sila potrebná na kompresiu odpruženia v závislosti na zdvihu odpruženia rastie exponenciálne (čím ďalej, tým treba väčšiu silu na jednotku zdvihu). Pri lineárnom chovaní je táto závislosť lineárna. Degresívne pruženie je také pruženie, pri ktorom sila potrebná na pohyb jednotky zdvihu odpruženia s pribúdajúcim zdvihom klesá [19].

Pokiaľ je potrebné hodnotiť celkové chovanie rámu, musí sa poznať aj ako sa správa tlmič v priebehu jeho zdvihu. Krivka kompresie tlmiča je mechanickou charakteristikou tlmiča. Teda celkový charakter odpruženia závisí na charaktere odpruženia a charaktere tlmiča.

V praxi je veľmi častá kombinácia všetkých troch uvedených charakteristík, ktoré sa v priebehu zdvihu odpruženia spojitne menia [19].

Obr. 1.15 Krivka kompresie [16]



Obr. 1.16 Progresívne (rising rate), degresívne (falling rate) a lineárne odpruženie [17]

### **1.4.2 Anti-squat**

Pri zrýchľovaní, teda šliapaní do pedálov sa často pruženie pohupuje bez toho aby sme prechádzali cez prekážky. Proti pohupovaniu pôsobí hnacia sila reťaze.

Schopnosť rámu odolávať stláčaniu odpruženia pri šliapaní do pedálov sa nazýva anti-squat, vyjadruje sa v percentách. Hodnota 100% znamená, že hnacia sila reťaze pri šliapaní úplne vyruší stláčanie odpruženia spôsobené zotrvačnými silami pri akcelerácii. Hodnota 0% znamená, že hnacia sila reťaze nemá na pruženie žiadny vplyv, a nastáva kompresia odpruženia. Hodnota nad 100% znamená, že odpruženie sa vplyvom hnacej sily reťaze snaží vysunúť. Známe sú aj hodnoty pod 0%, kedy hnacia sila reťaze spôsobí kompresiu pruženia [19].

Hodnota anti-squat závisí na okamžitom strede rotácie zadného kolesa a na polohe ťažiska jazdca, taktiež na type pedálovania, predovšetkým však záleží na okamžitom strede otáčania. Keďže tieto body v priebehu zdvihu menia svoju polohu, mení sa aj hodnota anti-squat [15,18].

### **1.4.3 Anti-rise**

Charakteristika anti-rise posudzuje vplyv brzdenia zadnou brzdou na chod odpruženia. Pri brzdení by sa malo odpruženie vysúvať. Anti-rise je reakcia, ktorá pôsobí proti expanzii odpruženia vplyvom brzdenia zadnou brzdou.

Vysoká hodnota anti-rise znamená, že odpruženie sa pri brzdení bude stláčať [19]. Dominantnú úlohu ale zohráva aj predná brzda, ktorá spôsobí presun váhy jazdca na predné koleso, čiže odpruženie sa vysunie, nezávisle na hodnote anti-rise [15,18].

### **1.4.4 Pedal kickback**

Pedal kickback alebo spätný ráz pedálov je charakteristika, ktorej vysokej hodnote sa konštruktéri a návrhári snažia vyhnúť, pri navrhovaní a ladení odpruženia sa vždy prihliada najmä na pedal kickback a až následne na ostatné charakteristiky.

Pri kompresii odpruženia sa mení dĺžka ťažnej vetvy reťaze. Aby sa teda pruženie pohlo, musí sa do ťažnej vetvy priviesť určitá dĺžka reťaze tým, že sa pedále spolu s prevodníkom pootočia proti smeru proti pohybu pedálovania [19].

Pri niektorých typoch mechanizmov je tento jav výrazný a musí sa riešiť vodítkom na ťažnej vetve reťaze. Táto charakteristika závisí na prevode, aký je momentálne zaradený, závisí taktiež na hodnote anti-squat, vysoký anti-squat odpovedá veľkému pedal kickbacku [15,18].

## 2 Zaťaženie rámu bicykla pri rôznych typoch jazdy

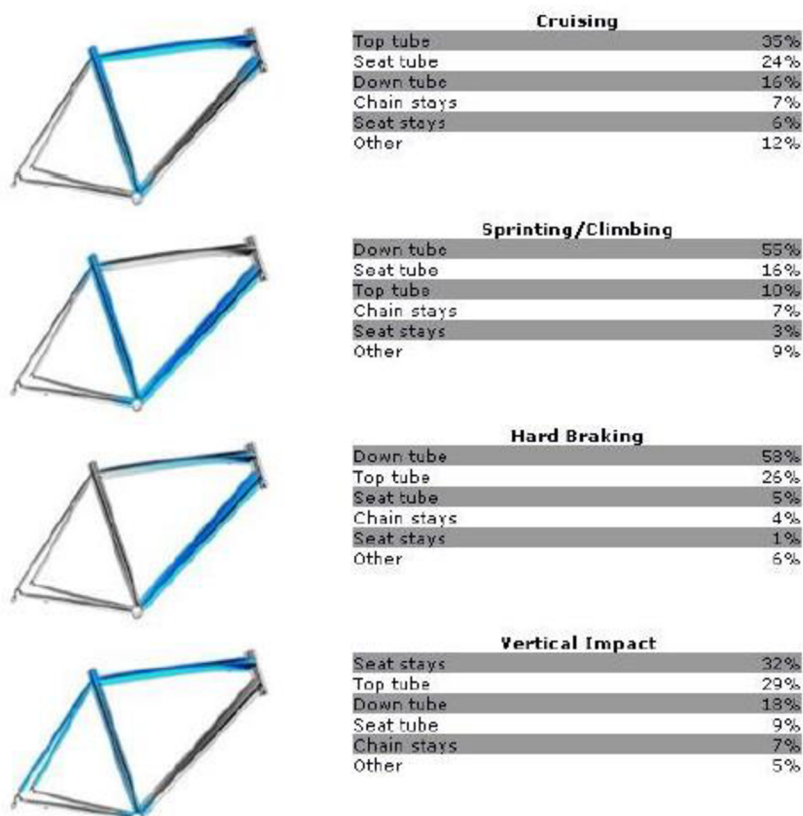
Mať predstavu o tom ako rám reaguje na vplyv vonkajších síl je zásadné. Podľa zaťaženia v kritických miestach vieme následne rám vylepšiť aby sa správal tak ako chceme. Voľbou geometrie, materiálu rámu a prierezu trubiek docielime požadovaný charakter rámu.

Celoodpružený bicykel, ktorý je predmetom tejto práce sa síce minimálne na zaťažovanie zadného kolesa správa inak, no výsledky uvedené nižšie dobre poslúžia ako štartovací bod pre návrh rámu, a celkový prehľad o napätí v jednotlivých miestach konštrukcie.

### 2.1 Výskum firmy Litespeed

Firma Litespeed sa zaoberá výrobou titánových rámov. V tomto odvetví cyklistiky patria medzi svetovú špičku, o čom svedčia úspechy ich rámov napríklad na Tour de France. Cieľom ich práce je vyrábať čo najlepšie bicykle, preto vedú aj výskum v oblasti zaťažovania trubiek, čo následne napomáha pri návrhu a tvarovaní trubky rámu, aby čo najlepšie zvládala dané zaťaženie [20].

Z daného výskumu sú na obrázku uvedené hodnoty zaťaženia v %, kde 100% je maximálne zaťaženie rámu. Výsledky nedávajú síce presnú hodnotu napätia alebo deformácie, ale dobre slúžia pre predstavu, ako sa bicykel chová pri danom štýle jazdy.



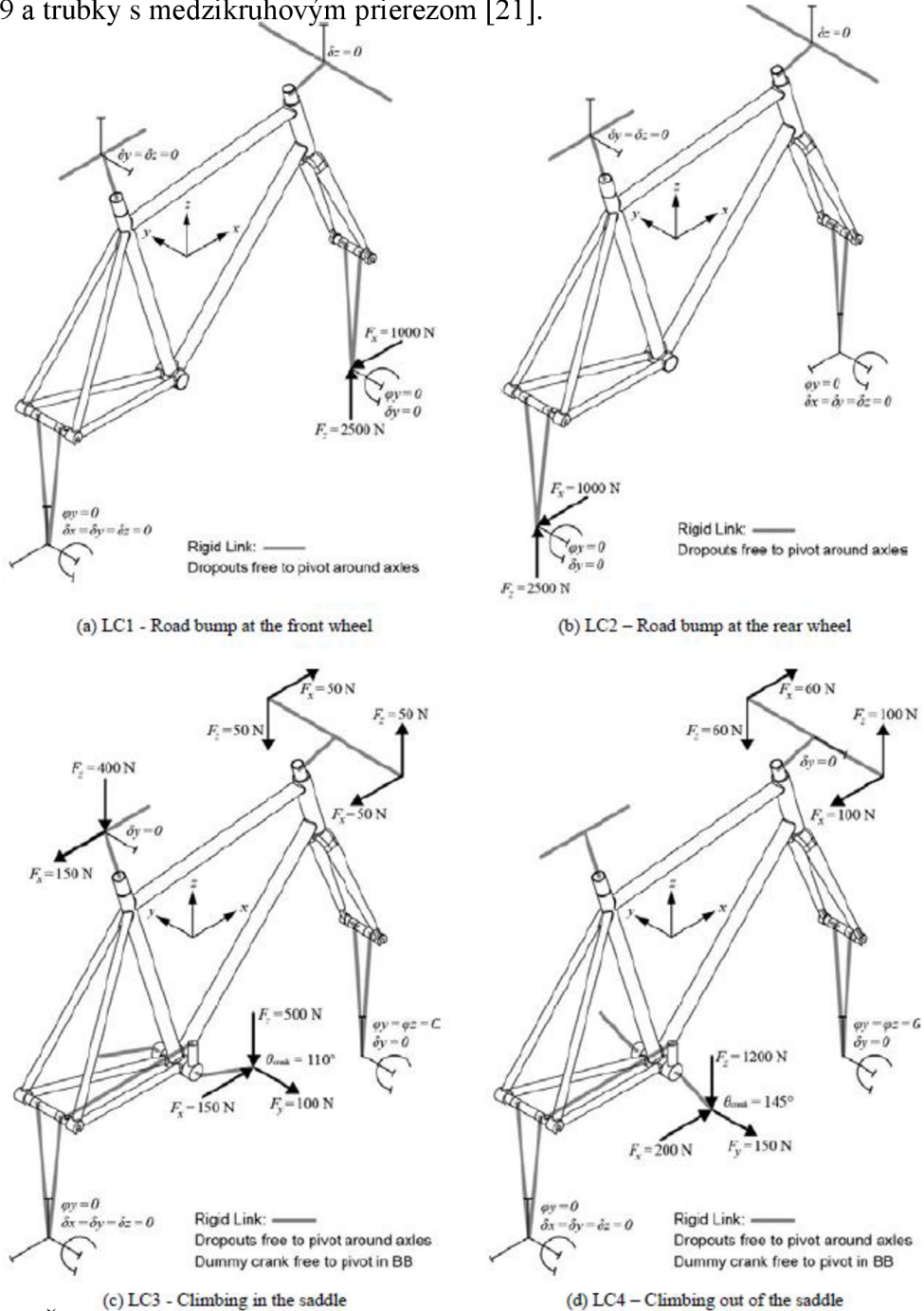
Obr. 2.1 Zaťaženie trubiek pri danom štýle jazdy [20]

Z obrázkov tiež vyplýva, že najvýraznejšie zaťaženie je pri šprintovaní a brzdení. Konkrétne sa jedná o spodnú rámovú trubku ktorá prenáša nad 50% zaťaženia. V prípadoch vertikálneho nárazu a bežného jazdenia je zaťaženie rozložené rovnomernejšie po trubkách oproti predošlým dvom prípadom.

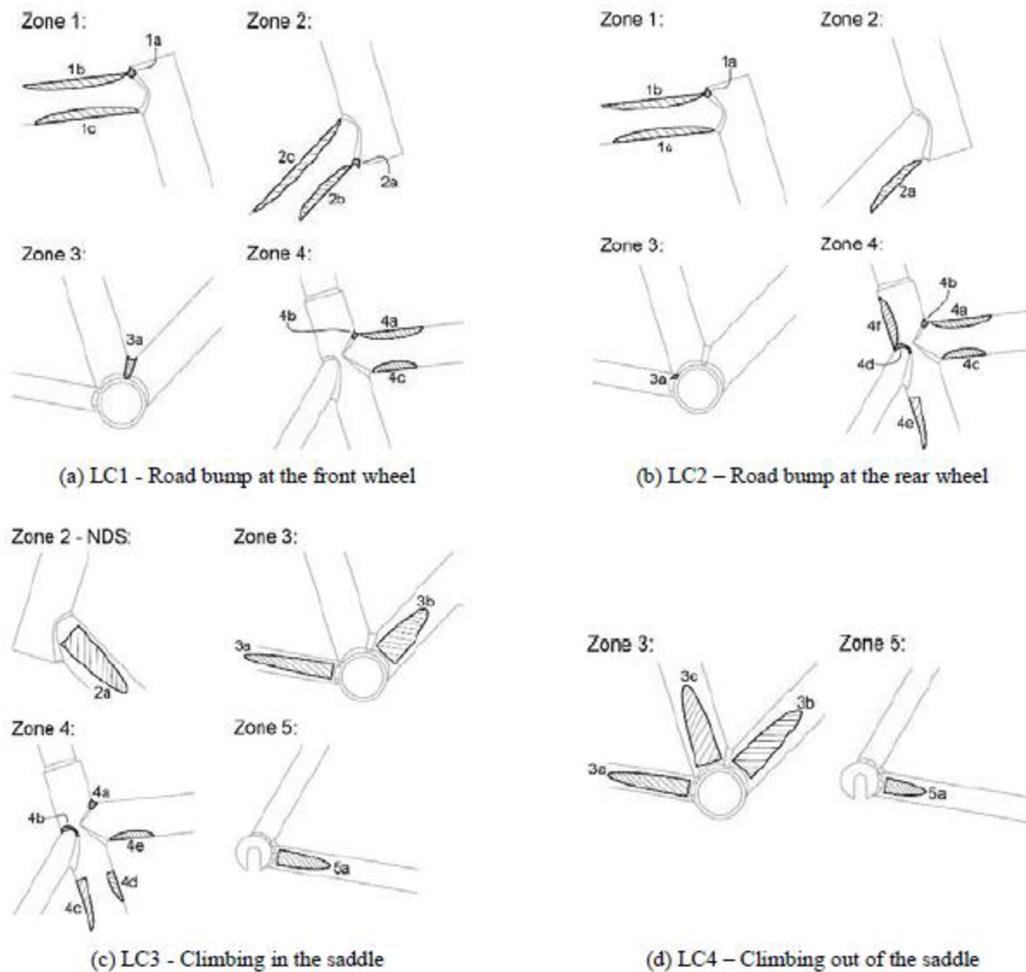
## 2.2 Zaťažovanie rámu a výpočet napätí pomocou numerickej simulácie

Presnejšieho výsledku aj s konkrétnymi hodnotami napätia sa dá doceliť numerickým výpočtom, konkrétne metódou konečných prvkov. Sily sa zavádzajú do kľúčových prvkov rámu ako je oska predného a zadného kola, stredové zloženie a riadidlá.

Zaťaženie na rám zahrňuje statickú reprezentáciu dynamických javov (nárazov), ktoré sa pri jazde vyskytujú sporadicky a tiež tých ktoré sú konštantné alebo nastávajú periodicky (sily vyskytujúce sa v pohone). Pre výpočty bola použitá oceľ s  $E=205 \text{ GPa}$ ,  $\mu=0.29$  a trubky s medzikruhovým prierezom [21].



Obr.2.2 Štyri prípady zaťaženia, vyplývajúce z biomechaniky jazdy a) náraz na predné koleso b) náraz na zadné koleso c) stúpanie do kopca v sedle d) stúpanie mimo sedla [21]



Obr. 2.3 Zóny vysokého napätia plynúce zo zaťaženia podľa typu jazdy a)-d) [21]

Tab. 2.1 Vyhodnotenie zaťaženia v kritických miestach rámu (DS- drive side, NDS- non drive side) [21]

LC1			LC2			LC3			LC4		
Zone	VM Stress (MPa)	Relative Stress Level	Zone	VM Stress (MPa)	Relative Stress Level	Zone	VM Stress (MPa)	Relative Stress Level	Zone	VM Stress (MPa)	Relative Stress Level
1a	228	1.0	1a	253	0.9	2a	37	0.4	3a - RO	227	1.0
1b	168	0.7	1b	200	0.7	3a - RO	84	1.0	3a - RI	103	0.5
1c	200	0.9	1c	205	0.8	3a - RI	43	0.5	3a - LO	163	0.7
2a	224	1.0	2a	159	0.6	3a - LO	68	0.8	3a - LI	139	0.6
2b	179	0.8	3a - R&L	150	0.6	3a - LI	57	0.7	3b - DS	123	0.5
2c	122	0.5	4a	180	0.7	3b - DS	53	0.6	3b - NDS	83	0.4
3a	124	0.5	4b	260	1.0	3b - NDS	46	0.5	3c	106	0.5
4a	87	0.4	4c	268	1.0	4a	50	0.6	5a - RI	180	0.8
4b	117	0.5	4d	178	0.7	4b	50	0.6	5a - LI	101	0.4
4c	126	0.6	4e	146	0.5	4c	43	0.5			
			4f	130	0.5	4d	51	0.6			
						4e	51	0.6			
						5a - RI	68	0.8			
						5a - LI	43	0.5			

Z výsledkov je zrejmé, že najväčšie napätie vzniká pri náraze na zadné koleso. Vysoké hodnoty sú tiež pri náraze na predné koleso. Prekvapivo vysokú hodnotu napätia vykazujú aj šliapanie zo sedla, kedy je hodnota napätia najvyššia na bočnej strane



reťazovej vzpery. Z toho vyplýva, že pokiaľ chceme rám, ktorý navrhujeme na čo najväčšiu efektivitu prenosu energie z pedálov do pohonu, musíme zamerať svoju pozornosť na čo najväčšiu torznú tuhosť.

Pre zachovanie bezpečnosti bude vhodné najviac využiť oblasti hlavového zloženia, stredového zloženia a oblasti napojenia sedlovej trubky na predný rámový trojuholník. Na hodnoty napätia má vplyv materiál, profil trubiek, použitá metóda zvárania a geometria rámu.

### 2.3 Pevnosť a tuhosť rámu

U moderných bicykloch sa hľadá kompromis medzi pevnosťou a tuhosťou rámu. Tuhý rám sa nebude deformovať a teda nebude dochádzať k stratám energie, na druhej strane tuhý rám nemusí byť pevný. Pevný rám sa síce môže deformovať viac, ale vydrží oveľa väčšiu záťaž. Hľadá sa optimálne riešenie so zreteľom najmä na hmotnosť a komfort. Najviac zaťažené miesta ako stredové zloženie a hlavové zloženie musia byť tuhé a pevné zároveň aby odolávali zaťaženiu, ktoré sa na nich kladie.

Ideálna je kombinácia uvedených vlastností v rôznych smeroch:

- vertikálna poddajnosť zadnej stavby bicykla pohlcuje terénne nerovnosti a teda zvyšuje komfort pri jazde
- maximálna torzná tuhosť, aby nedochádzalo k stratám energie pri šprinte alebo šliapaní do pedálov zo sedla.
- vysoká absorbcia vibrácií spôsobených terénymi nerovnosťami

Táto kombinácia vlastností sa dosiahne pomocou karbónovej konštrukcie rámu. Materiály ako oceľ, hliník, titán sú izotropné, to znamená, že majú vo všetkých smeroch rovnaké vlastnosti.

Karbón je materiál kompozitný a teda je ortotropný, to znamená zmenu jeho mechanických vlastností na smere v ktorom ich meriame, pričom tieto smery sú tri a sú na seba kolmé. Vhodným navrstvením vrstiev karbónu na seba a tiež vhodným tvarom trubky viem zaručiť vertikálnu poddajnosť a horizontálnu tuhosť.

Príkladom technológie je systém SAVE od firmy Cannondale. Zelenou farbou sú vyznačené miesta, kde sú vrstvu karbónu uložené tak, aby dovoľovali mierny priehyb uskutočnený v rovine rámu a tým zvýšili komfort pri jazde [22].



Obr. 2.4 SAVE of firmy Cannondale [22]

Rámy sa pred uvedením na trh musia laboratórne testovať, aby dostali osvedčenie o kvalite. Testovanie zahŕňa odolnosť voči únave a rôzne crash testy.



Obr. 2.5 Testovací prípravok rámu bicykla [23]

### 3 Karbón

Karbón je kompozitný materiál, ktorý v cyklistike využíva v značnej miere. Tvoria ho uhlíkové vlákna a epoxidová živica. Výsledný výrobok sa vytvorí navrstvením viacerých vrstiev na seba. Jednotlivé vrstvy sú buď vo forme jednosmerne orientovaných vlákien (spolu so živicom) alebo vo forme tkaniny, kedy sú vlákna cez seba prepletené v dvoch navzájom kolmých smeroch.

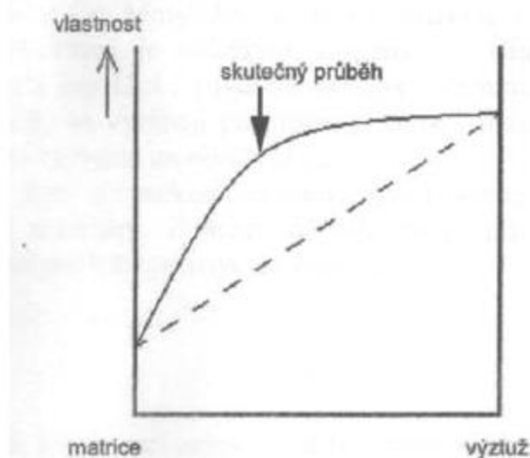
Karbón je teda vláknový kompozitný materiál, v praxi ho je možné nájsť vo forme laminátu, teda navrstvených vrstiev. Pred tým, než sa v práci začne hovoriť o karbone a jeho využití, je dôležité poznať všeobecné znalosti o kompozitoch.

#### 3.1 Kompozitné materiály

Kompozitné materiály sú materiály skladajúce sa z dvoch alebo viacerých zložiek. Zložky kompozitu majú vždy odlišné fyzikálne, chemické a mechanické vlastnosti.

Obvykle je jedna zložka kompozitu spojená, túto zložku nazývame matrica. Zložka, ktorá spojená nie je sa volá výstuž (z jedného miesta výstuže sa na druhé nedostaneme v rámci tejto zložky, ale musíme ísť cez matricu). Matrica má spojujúcu funkciu a vytvára vonkajší tvar telesa. Výstuž má za úlohu prenášať zaťaženie, má teda oveľa lepšie mechanické vlastnosti ako matrica (modul pružnosti, pevnosť, tvrdosť). Najväčší podiel na dobrých mechanických vlastnostiach kompozitu má teda výstuž [25].

Kompozitné materiály sú charakteristické synergizmom. Táto vlastnosť znamená, že výsledné vlastnosti kompozitu sú lepšie, ako keby sme len pomerne sčítali vlastnosti jednotlivých zložiek [24].



Obr. 3.1 Synergické vlastnosti kompozitu [24]

Vhodnou kombináciou zložiek s použitím danej výrobnéj technológie je možné vytvoriť nehomogénnu anizotropnú materiálovú štruktúru. Kompozitné materiály sú teda anizotropné. Anizotropia je taká vlastnosť materiálu, kedy sa jeho charakteristické vlastnosti líšia na smere, v ktorom ich určujeme. Mechanicko-fyzikálne vlastnosti materiálu sú teda v každom smere rôzne.

Niektoré kompozity, ktoré sú symetricky poskladané môžu vykazovať ortotropnú vlastnosť. Ortotropná vlastnosť materiálu je špeciálnym prípadom anizotropie, kedy sa vlastnosti materiálu líšia len v troch smeroch, ktoré sú na seba kolmé. Tu sa teda kompozity líšia od bežných kovových materiálov. Kovové materiály sú izotropné, ich vlastnosti nezáležia na smere, v ktorom ich určujeme.

Oproti kovovým materiálom môžeme teda zvýšiť pevnosť, tuhosť, lomovú húževnatosť a odolnosť proti korózii pri súčasnej redukcii hmotnosti. Nevýhodou je komplikovanejšia výrobná technológia, vyššia cena a prítomnosť zbytkových napätí z výroby [25].

### 3.1.1 Rozdelenie kompozitov

#### A) Podľa materiálu matrice a výstuže

Výstuž-kovy- (W,Fe,Cr,Ti,Ni a ich zliatiny)

-nekovy- anorganické materiály- keramika, sklo, čadič

- organické materiály- polymery (kevlar, nilon)

Matrica-kovy- ( Al,Ag,Fe,Mg,Ti,Co,Cu,Nia ich zliatiny)

-nekovy- anorganické materiály- keramika, sklo, uhlík

- organické materiály- polymery (polyestery, živice, epoxidy)

Materiály matrice a výstuže sa môžu kombinovať. Dôležitá je medzifázová adhézia a vhodné deformačno-napät'ové vlastnosti. Existujú dokonca kompozity kedy je materiál výstuže rovnaký ako materiál matrice. Výstuž je v tomto prípade vo forme vlákien a matrica vo forme objemového materiálu [25].

#### B) Podľa geometrického tvaru výstuže

-vláknové

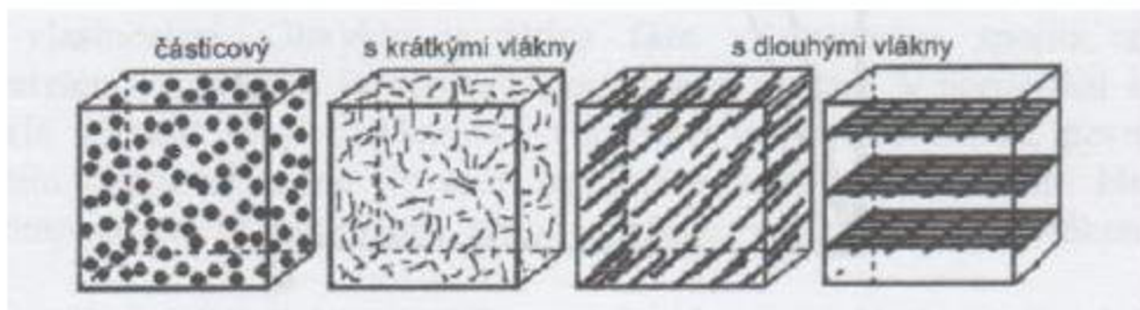
-časticové

-skeletové

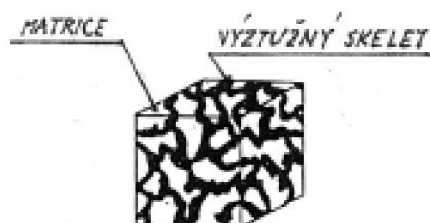
Pri časticovom kompozite nepresahuje jeden rozmer útvaru výstuže výrazne ostatné rozmery. Tvary výstuží potom môžu byť rôznorodé- guľovitý, doštičkový, tyčinkový, nepravidelný [25].

Naopak, pri vláknových kompozitoch je tvar výstuže v jednom smere výrazne dlhší ako v smeroch ostatných. Ďalej ich delíme na kompozity s dlhými a krátkymi vláknami. Vlákna sú uložené pravidelne (jednosmerne, dvojsmerne, viacsmerné), náhodne, alebo sú navzájom prepletené vo forme tkaniny (rohože) [25].

Skeletový kompozit tvorí pórovitá matrica prestúpená súvislým nosným vláknom [25].



Obr. 3.2 Rozdelenie kompozitov podľa geometrického tvaru výstuže [24]



Obr.3.3 Skeletový kompozit [25]

C) Podľa použitia- žiaruvzdorné, žarupevné, pre aplikácie v letectve, strojárstve, stavebníctve.

### 3.1.2 Matrica

Úlohou matrice je dokonalé spojenie nosnej časti kompozitu a vytvorenie vonkajšieho tvaru telesa. Materiálové charakteristiky matrice musia byť v súlade s vláknami pre dosiahnutie požadovaných vlastností celého kompozitu. Všeobecným požiadavkom na matricu je dobrá adhézia ku vláknam a dobrá medzná ťažnosť [25].

V cyklistike sa najmä používa ako materiál matrice polymér. Konkrétne karbón je kompozit vystužený uhlíkovými vláknami a tvar mu dodáva epoxidová živica. Výhodou polymérov je ich nízka hustota. Ich nevýhodou je teplotná nestabilita. S rastúcou teplotou klesá modul pružnosti v ťahu a tiež medza pevnosti. Pre podmienky ktoré sú keď človek jazdí na bicykli (t.j. teploty od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $40^{\circ}\text{C}$ ) sú tieto zmeny nepodstatné.

Tab. 3.1 Mechanické vlastnosti polymérnych matric [27]

matrice	hustota ( $\text{g/cm}^3$ )	modul pružnosti v tahu (GPa)	pevnosť v tahu (MPa)	deformácia do lomu (%)
<b>termosety</b>	<b>1.10-1.67</b>	<b>1.3-6.0</b>	<b>20-180</b>	<b>1-30</b>
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
<b>termoplasty</b>	<b>0.90-1.45</b>	<b>1.0-4.0</b>	<b>20-250</b>	<b>5-150</b>
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

### 3.1.3 Vlákna

Úlohou vlákien je prenášať vonkajšie zaťaženie, dodáva kompozitu pevnosť a tuhosť. Tvoria nosnú štruktúru kompozitu. Materiálové charakteristiky sú determinované prítomnosťou porúch pri výrobe vlákien. Z toho vyplýva, že čím je vlákno dlhšie, tým bude pravdepodobnosť porúch na ňom vyššia a teda bude mať nižšiu medzu pevnosti.

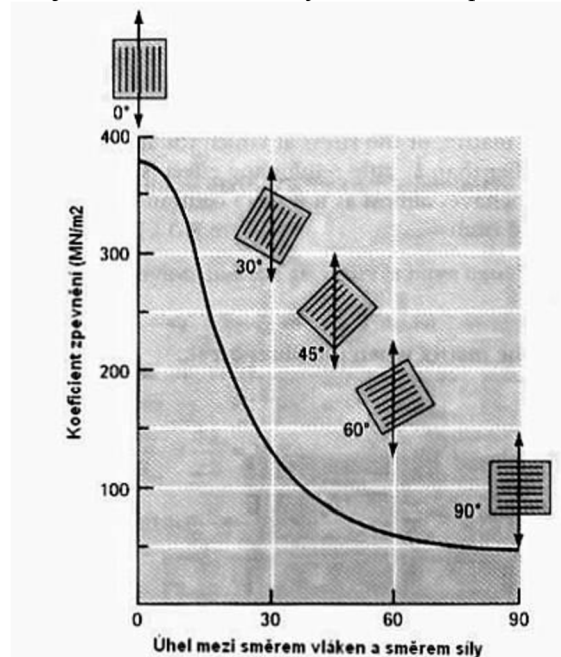
Z dôvodu výskytu chýb na vlákne sa teda udáva vždy priemerná pevnosť zväzku vlákien, ktorá je nižšia ako pevnosť jedného vlákna [25].

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti vlákien.  $E_t$ - modul pružnosti v ťahu,  $\sigma_{Pt}$ - medza pevnosti,  $\rho$ - hustota,  $\sigma_{Pt}/\rho$  je merná pevnosť,  $\varepsilon_{f,krit}$ - ťažnosť [25]

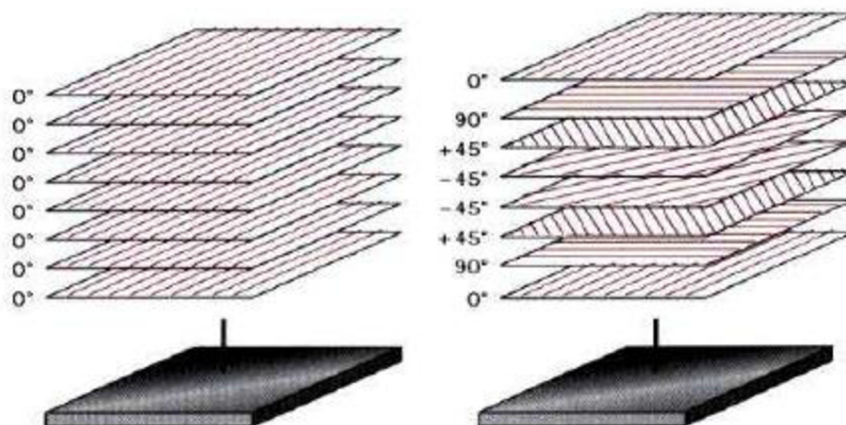
	$E_t$	$\sigma_{Pt}$	$\rho$	$\sigma_{Pt}/\rho$	$\varepsilon_{f,krit}$
	GPa	MPa	$10^3 \text{ kgm}^{-3}$	MPa / $\text{kgm}^{-3}$	%
Sklo - E	72,4	3500	2,54	1,38	2,5
Sklo - S	85,5	4600	2,48	1,85	2,5
Grafit - E	390	2100	1,9	1,1	0,7
Grafit - S	240	2500	1,9	1,3	0,7
Bor	385	2800	2,63	1,1	0,8
W	414	4200	19,3	0,22	
Aramid Kevlar 49	130	2800	1,5	1,87	2,5
Azbest	160	3100	2,56	1,21	1,9
SiC	250	2200	2,6	0,85	0,9
Polyetylen PE Spektra	172	3000	0,97	3,09	1,7
Ocel	210	340-2500	7,8	0,0440-0,321	

Pri vláknových kompozitoch je dôležité, akým smerom pôsobí zaťaženie. Najvyššiu pevnosť majú jednosmerne vystužené kompozity namáhané smerom pozdĺžne ku vláknám.

Zriedkakedy ale na súčiastku pôsobí zaťaženie len jedným smerom. Pri striedavom uložení vrstiev s rôznou orientáciou vlákien sa síce nedosiahne najvyššej pevnosti, ale získajú sa rovnomernejšie vlastnosti kompozitu [28]. Striedavé vrstvenie je teda potrebné aplikovať na miesta, kde je namáhanie vo viacerých smeroch. Keby zaťaženie pôsobí na jednosmerne orientovaný kompozit v smere kolmo na vlákna, mohlo by to danú súčiastku porušiť, alebo spôsobiť nežiadúci priehyb. Preto je dôležité poznať ako je v danom mieste súčasť namáhaná a podľa toho prispôbiť orientáciu vlákien tak, aby ich čo najviac bolo namáhaných v smere pozdĺžnom s vláknami.



Obr. 3.4 Vplyv orientácie vlákien a smerom zaťaženia na spevnenie epoxidového kompozitu [29]



Obr. 3.5 Možnosti natočenia vlákien pre zvýšenie pevnosti v rôznych smeroch [29]

### 3.1.4 Výroba vlákien

Výroba kompozitových vlákien je väčšinou pokročilá technológia a spadá do duševného vlastníctva danej firmy. Pôvodný materiál sa často líši od finálneho materiálu, nie však čo sa týka chemického zloženia [25]. Keďže sa jedná o zložité výrobné technológie, a v cyklistike sa používa výhradne uhlíkové vlákno, nasledujúci odstavec bude venovaný práve uhlíkovému vláknu.

Uhlíkové vlákno sa vyrába pyrolízou polyakrilonitrilových vlákien PAN. Vlákna sú najprv ohriaté, následne sa preťahujú aby sa získal vhodný priemer a orientácia molekúl.

Následne sa vlákno stabilizuje v okysličujúcej atmosfére pri teplote 220-230°C. Nasleduje ohrev na 1500-2000°C a dochádza ku karbonizácii- rozklad organického vlákna, kedy z neho odchádzajú všetky prvky okrem uhlíku, vlákno sa ďalej ešte preťahuje. Po tomto kroku má vlákno najvyššiu pevnosť.

Posledným krokom je grafitizácia v inertnej atmosfére pri teplote 2500-3000°C pod napätím, zníži sa pevnosť ale narastie modul pružnosti vlákna. Výsledkom vyššie uvedených operácií a pôsobenia napätia je značná anizotropia materiálových charakteristík (vlákno má značný stupeň usmernenej štruktúry) [25].

Rozlišujeme dva typy vlákien:

*Vysokopevné*

Hustota 1700 kg/m<sup>3</sup>

Pevnosť v ťahu 3000-6000 MPa

Modul pružnosti E 250-300 GPa

Ťažnosť 1,0%

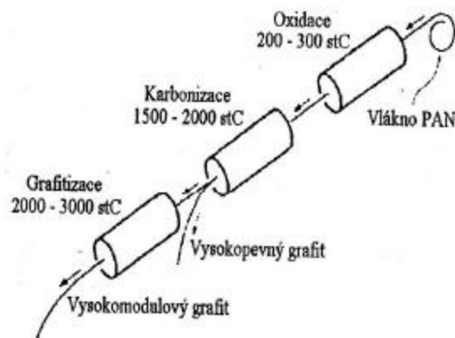
*Vysokomodulové*

Hustota 1900 kg/m<sup>3</sup>

Pevnosť v ťahu 3000-4500 MPa

Modul pružnosti E 400-700 GPa

Ťažnosť 0,5% [28]



Obr. 3.6 Výroba uhlíkového vlákna [28]

### 3.1.5 Výroba kompozitu

Vyrobit' kompozit znamená rozložit' vlákna rovnomerne po matrici v presne stanovených vzdialenostiach. Vlákna sú buď jednosmerne orientované, alebo tvoria tkaninu, následne sa vrstvy vrstvia na seba [28].

U kompozitov s polymérnou matricou sa používajú metódy ako laminácia, vytlačovanie, ťahanie [25]. Dajú sa teda vyrábať rôzne profilované polotovary, ktoré sa použijú ako súčasť výrobku (trubky, dosky...). Alebo sa vyrábajú polotovary ako napríklad jednosmerne vystužená vrstva, tkaninová vrstva. Tieto vrstvy sa do továrne dodávajú navinuté v roľkách. Výrobca si následne nastrihá požadované tvary a tie neskôr navrství na seba, spracuje a vytvorí tak výrobok.

Tab. 3.3 Výrobné technologické postupy kompozitných materiálov [25]

Výrobní technologie	Dlouhé vlákno, organická matrice	Dlouhé vlákno, kovová matrice	Krátké vlákno
Ruční ukládání	X		X
Vakuové zpracování v autoklávu	X		X
Lisování v přípravku	X	X	X
Navíjení	X	X	
Válcování tlakem		X	
Nastřikávání			X
Přenos kapalné matrice	X	X	X
Vytlačování		X	X
Tváření tahem	X	X	
Vstřikování			X
Prášková metalurgie			X

Pri ručnom ukladaní ešte rozlišujeme dva prípady, ako je možné kompozit vyrobiť. Prvou je technika *wet lay-up* a druhou je technika *pre-preg*. V prvom prípade je vlákno impregnované polymérnou matricou a tvrdidlom štetcom alebo nástrekovou pištoľou. V druhom je vlákno už od výrobcu presýtené polymérom a tvrdidlom. K finálnemu vytvrdeniu kompozitu dôjde v peci pri zvýšení teploty.

Pri technike *wet lay-up* je výstuž vo forme tkaných rohoží. Pri technike *pre-preg* sa dajú použiť okrem rohoží aj jednosmerne orientované vlákna [25].

### 3.1.6 Výroba kompozitného rámu

Vyrobit' kompozitný rám sa dá viacerými spôsobmi. Jednotlivé technológie sa líšia druhom polotovaru, mierov automatizácie výroby a možnosťou použitia pece pri finálnom vytvrdení.

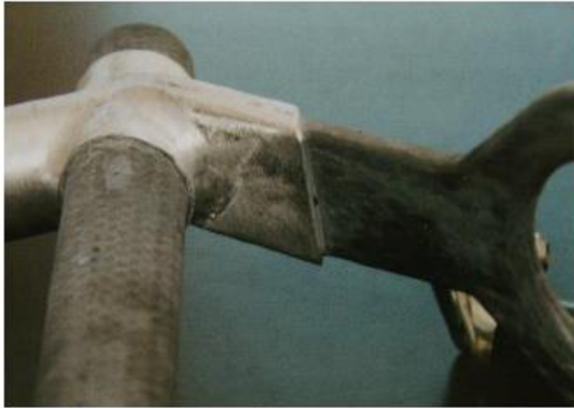
Základom je poznať zaťaženie rámu v danom mieste. Podľa toho sa vlákna naorientujú a narežú jednotlivé časti vrstiev. Vhodnou orientáciou vlákien sa dá doceliť veľmi nízka hmotnosť rámu, pri zachovaní tuhosti a pevnosti. Tomuto kroku sa venuje značná miera pozornosti.



### A) Vlepovanie kompozitných trubiek do spojok

Pri danej metóde sa kompozitné trubky (polotovary, vyrobené navíjaním vlákien a súčasnou imprenáciou na trni) vlepujú pomocou vhodného lepidla do spojok, ktoré môžu byť kovové alebo kompozitné.

Pri použití kompozitnej spojky je výsledná tuhosť a pevnosť rámu ovplyvnená kvalitou a orientáciou vlákien v spojke. Dajú sa použiť aj trubky tvarované s lokálnym zoslabením [30]. Lepidlo musí zrovnať odchylky medzi rozdielnymi tepelnými rozťažnosťami spojky a trubky.



Výhodou tejto metódy je možnosť prispôbiť veľkosť rámu požiadavkám zákazníka a nenáročnosť metódy.

Obr. 3.7 Spájanie karbónových trubiek pomocou spojok [31]

### B) Tube to tube

Jedná sa o modernejší spôsob výroby rámov ako vlepovanie do spojok. Jednotlivé segmenty rámu vznikajú samostatne a až následne sa skladajú dohromady. Moderné lepidla zaisťujú, že výsledný spoj je silnejší ako samotný materiál. Po zlepení rámu dohromady sa následne spoje ešte preložia ďalšími vrstvami kompozitu [30].

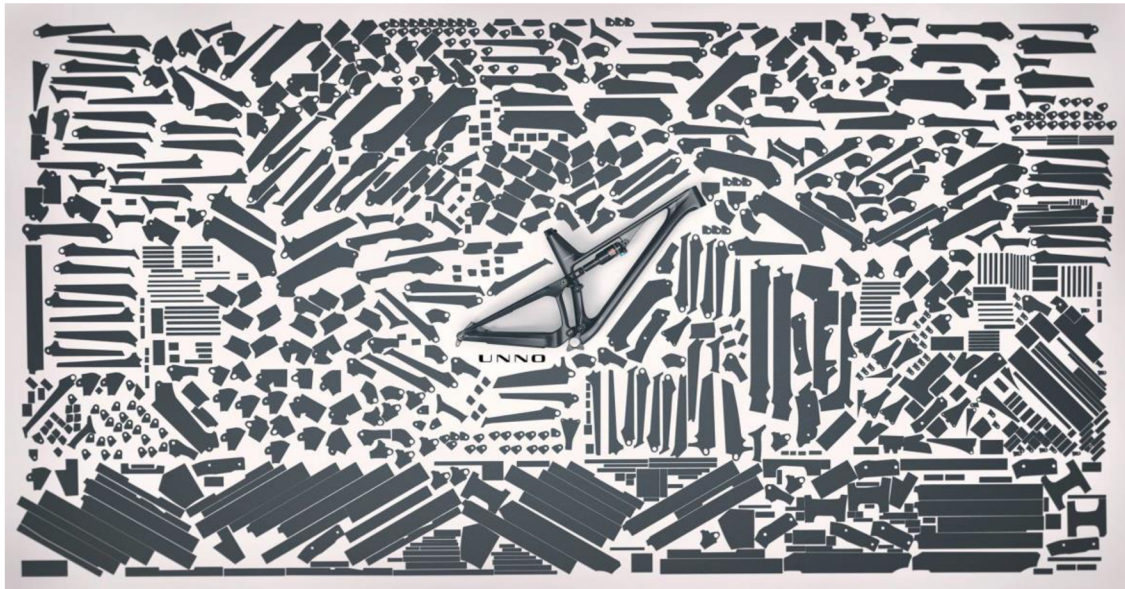
Výhodou metódy je znova možnosť výroby rámu s vlastnou geometriou a nenáročnosť technológie. Dosahuje sa nižšej hmotnosti rámu ako pri metóde spojok z dôvodu absencie spojky (síce sa spoj jednotlivých častí ešte prekladá ďalšími vrstvami kompozitu, neni ich však toľko ako pri samostatnej spojke).

### C) Monocoque

V procese monocoque sa vyrábajú duté súčasti v uzavretej kovovej forme. Celý rám je vyrobený v jednom kroku v prípade hardtailu, v prípade celoodpruženého bicykla je počet operácií daný počtom samostatných členov, ktoré tvoria rám. Všetky časti vrstiev kompozitu sa vložia do negatívnej formy, uzavru sa a putujú do pece.

Postup výroby je nasledovný: z polotovaru, ktorý je v tomto prípade vrstva karbónu (buď jednosmerne orientovaná alebo spletenina) sa nastrihajú presne definované časti. Následne sa časti uložia na dané miesta do formy. Obe časti formy sa spoja a forma putuje do pece, kde dôjde k vytvrdeniu rámu. Vrstvy sú už presýtené živicom a tvrdidlom. V priebehu vytvrďovania je vnútri formy nafúknutá vzdušnica, ktorá vytvaruje vnútro rámu, zároveň sa následkom vnútorného tlaku odstráni prebytočné pojivo a vrstvy sa lepšie spoja [30].

Výhodou metódy je možnosť presne definovať poradie vrstiev, natočenie vlákien a množstvo vrstiev ktoré sa na dané miesto v ráme uložia. Takto vzniknutý rám sa pýši nízkou hmotnosťou a výbornými mechanickými vlastnosťami. Samozrejme, výroba foriem je nákladná, pre každú veľkosť rámu treba novú formu, možnosť individualizácie rámu je nulová. Keď je už ale forma na svete, dajú sa vyrábať rámy rýchlo vo veľkých sériách čiže návratnosť je vysoká.



Obr. 3.8 Ukážka množstva nastrihaných častí potrebných na výrobu jedného rámu [32]



Obr. 3.9 Ukážka jednej polovice z formy, do ktorej sa naukladajú vrstvy karbónu [33]

Samozrejme, celkový rám nie je tvorený len karbónom. Do rámu sa musia vlepíť kovové časti (dosadacie plochy ložísk, rôzne úchyty) do montážnych miest ako sú hlavové a stredové zloženie, úchyt zadnej brzdy, úchyt zadnej osky, pätká prehadzovačky, zaistenie sedlovej trubky objímkou. Znovu sa požíva silné lepidlo, ktoré spojí kov a karbón.

Vyššie uvedené komponenty sa vyrábajú v určitých pevne daných rozmeroch, preto sa rozmery rámu v daných miestach môžu pohybovať len v určitých presne zadaných hodnotách (priemer trubky stredového zloženia...). Z toho vyplýva, že niektoré miesta na bicykli sú geometricky a rozmerovo pevne dané už pred samotným návrhom rámu.

### 3.2 Mechanika kompozitných materiálov

Základnou úlohou mechaniky kompozitov je stanovenie materiálových charakteristík na základe známych mechanických charakteristík zložiek, pri definovanej štruktúre a objemového zloženia kompozitu [25].

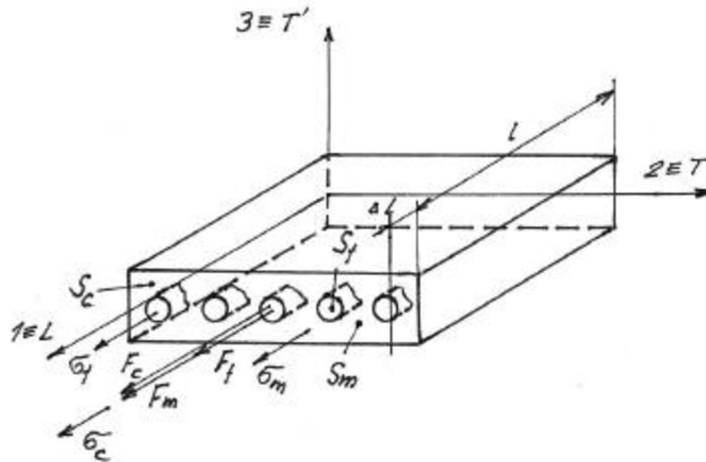
Ako už bolo povedané v predošlých kapitolách, výslednú súčasť tvorí určité množstvo vrstiev naukladaných na seba. Jednotlivé kompozity sa teda môžu líšiť počtom vrstiev, orientáciou vrstiev a objemového zloženia jednotlivých vrstiev. V každom prípade dostávame iné materiálové charakteristiky kompozitu ako celku. Tieto vlastnosti sa dajú určiť zo vzťahov a úvah uvedených v nasledujúcej kapitole.

Vo všeobecnosti je kARBÓN ortotropný materiál, to znamená, že jeho materiálové charakteristiky sa menia, podľa toho, v akom smere ich meriame. Tieto smery sú tri a sú na seba kolmé. Môžeme teda definovať 9 nezávislých materiálových charakteristík  $E_1, E_2, E_3, G_{12}, G_{13}, G_{23}, \mu_{21}, \mu_{31}, \mu_{32}$  (kde 1,2,3 sú osi materiálu). Existuje ešte pojem priečne izotropný materiál, vtedy sú materiálové vlastnosti rovnaké v dvoch na seba kolmých smeroch a v treťom smere sú odlišné. Takýto materiál je napríklad kARBÓNová vrstva s jednosmerne uloženými vláknami.

Pre názornosť sa táto kapitola bude venovať len určovaniu niektorých materiálových charakteristík dlhovláknových jednosmerne orientovaných kompozitov.

#### 3.2.1 Pozdĺžny modul pružnosti v ťahu a pozdĺžna pevnosť

Prvým krokom je určenie priemerného napätia  $\sigma_c$  v kompozite v pozdĺžnom smere [25].



Obr. 3.10 Silové pomery v kompozite v pozdĺžnom smere [25]

Prvou úvahou je silová ekvivalencia v pozdĺžnom smere:

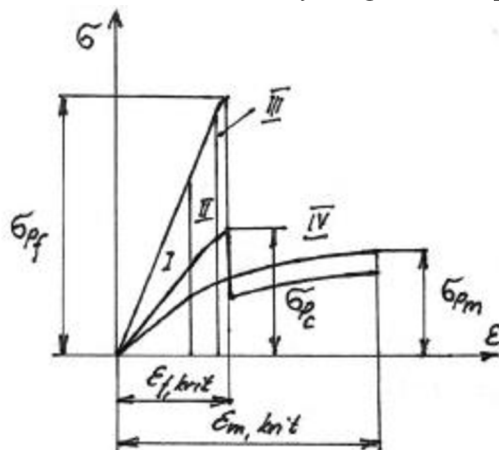
$$F_c = F_f + F_m$$

$$\sigma_c S_c = \sigma_f S_f + \sigma_m S_m \quad / \cdot l$$

$$\sigma_c V_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad / \cdot V_c^{-1}$$

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m = \sum_i \sigma_i v_i \quad (3.1)$$

Kde  $F_c$  je sila pôsobiaca na kompozit je súčtom sily vo vláknach  $F_f$  a sily v matrici  $F_m$ ,  $\sigma_c$  je celkové napätie,  $\sigma_m$  je napätie v matrici,  $\sigma_f$  je napätie vo vlákne,  $S_m$  je plocha matrice,  $S_f$  je plocha vlákien. Výsledný vzťah sa označuje ako zmiešavacie pravidlo pre napätie (3.1). Podľa neho sa dá stanoviť ťahový diagram kompozitu.



Obr. 3.11 Ťahový diagram kompozitu [25]

V lineárne pružnej oblasti I môžeme nadefinovať pozdĺžny modul pružnosti v ťahu  $E_c$ . V tejto oblasti sú napät'o-deformačné vlastnosti vlákien, matrice aj kompozitu dané Hookovým zákonom

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3.2)$$

Dosadením vzťahu (3.2) pre jednotlivé zložky kompozitu do rovnice (3.1) dostávame vzťah

$$E_c \varepsilon_c = E_f \varepsilon_f v_f + E_m \varepsilon_m v_m \quad (3.3)$$

Ďalej predpokladáme dokonalé spojenie vlákna s matricou, z čoho vyplýva ich rovnaké pretvorenie v pozdĺžnom smere

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f \quad (3.4)$$

Výsledný vzťah je teda

$$E_c = E_f v_f + E_m v_m = \sum_i E_i v_i \quad (3.5)$$

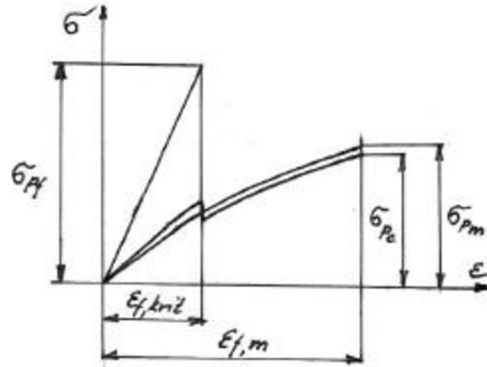
Vzťah je tiež označovaný ako zmiešavacie pravidlo pre modul pružnosti kompozitu v ťahu.

Kompozit stráca pevnosť keď dôjde k prerhnutiu vlákna (pre dobre navrhnutý kompozit). K prerhnutiu vlákna dôjde na medzi pevnosti vlákna a pri pretvorení  $\varepsilon_{f,krit}$ . Výsledná ťahová pevnosť kompozitu  $\sigma_{pc}$  sa určí zo vzťahu (3.1), nahradením  $\sigma_f$  medzou pevnosti vlákna  $\sigma_{pf}$  a nahradením  $\sigma_m$  napätím  $\sigma_{m\varepsilon_{f,krit}}$ , ktoré je v matrici vyvolané pri pretvorení  $\varepsilon_{f,krit}$ .

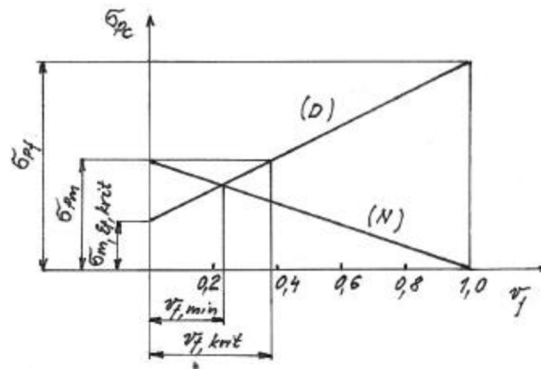
$$\sigma_{pc} = \sigma_{pf} v_f + \sigma_{m,\varepsilon_{f,krit}} (1 - v_f) \quad (3.6)$$

Zo vzťahu (3.5) by sa dalo uvažovať, že  $E_c$  môže byť zcela ľubovoľné a dostanem ho istým objemovým zmiešaním  $v_f$  (vlákien) a  $v_m$  (matrice). Musí sa ale uvažovať dobre a zle navrhnutý kompozit.

Nevhodne navrhnutý kompozit má malý podiel vlákien a veľmi ťažnú maticu. V tomto prípade praská matica (vlákna sa už pretrhli predtým, teda žiadne zaťaženie neprenášajú) a teda stráca pevnosť aj kompozit. Pevnosť kompozitu v tomto prípade s rastúcim podielom vlákien klesá.



Obr. 3.12 Ťahový diagram zle navrhnutého kompozitu. [25]



Obr. 3.13 Závislosť pevnosti kompozitu na objemovom podiele vlákien pre dobre (D) a zle (N) navrhnutého kompozitu.

Minimálny podiel vlákien odpovedá stavu, kedy je pevnosť dobre a zle navrhnutého kompozitu rovnaká.

$$v_{f,min} = \frac{\sigma_{Pm} - \sigma_{m,ef,krit}}{\sigma_{Pf} + \sigma_{Pm} - \sigma_{m,ef,krit}} \quad (3.7)$$

Kritický podiel vlákien odpovedá stavu, kedy je pevnosť dobre navrhnutého kompozitu rovnaká ako pevnosť matrice.

$$v_{f,krit} = \frac{\sigma_{Pm} - \sigma_{m,ef,krit}}{\sigma_{Pf} - \sigma_{m,ef,krit}} \quad (3.8)$$

Použitie kompozitu v konštrukcii je z pevnostného hľadiska opodstatnené len vtedy, pokiaľ je pevnosť výsledného kompozitu väčšia ako pevnosť matrice (inak by sa dala použiť ako materiál čistá matica a odpadlo by technologické hľadisko výroby kompozitu). Tento prípad nastane vtedy, keď bude podiel vlákien väčší ako kritický,  $v_f \geq v_{f,krit}$  [25].

**Priečný modul pružnosti v ťahu** sa stanovuje podobným spôsobom, ale nevychádza sa z podmienky ekvivalencie síl, ale z podmienky rovnosti napätí v kompozite.

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f \quad (3.9)$$

Tu je teda vzťah odlišný od vzťahu (3.1), zároveň neplatí vzťah (3.4). Pre pretvorenia a teda pre predĺženia v priečnom smere platí

$$\Delta t_c = \Delta t_f + \Delta t_m \quad (3.10)$$

Po odvodení a úpravách získame vzťah

$$E_c = \frac{1}{\left(\frac{v_f}{E_f}\right) + \left(\frac{v_m}{E_m}\right)} = \frac{1}{\sum_i \frac{v_i}{E_i}} \quad (3.11)$$

### 3.2.2 Modul pružnosti v šmyku

Vychádza sa z predpokladu, že posuv častí kompozitu pri pôsobení šmykového napätia je súčet posunutia vlákien a matrice

$$u_c = u_m + u_f \quad (3.12)$$

Posunutia sa dajú vyjadriť ako súčin skosu a hrúbky vstvy. Následne sa za skosy dosadí Hookov zákon pre prostý šmyk

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (3.13)$$

Po úprave sa dá naformulovať výsledný vzťah ako závislosť objemových zlomkov častí kompozitu a modul pružnosti v šmyku častí kompozitu

$$G_c = \frac{1}{\left(\frac{v_f}{G_f}\right) + \left(\frac{v_m}{G_m}\right)} = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{v_i}{G_i}\right)} \quad (3.14)$$

(Podrobné odvodenie sa dá nájsť v publikácii [25] v kap. 7.1.4, str. 28-30)

### 3.2.3 Poissonove číslo

Predpoklad pre určenie Poissonového čísla kompozitu je nasledovný. Napätie pôsobiace v pozdĺžnom smere vyvolá kontrakciu kompozitu v smere priečnom. Priečna kontrakcia sa skladá z kontrakcie matrice a kontrakcie vlákien

$$\Delta t_c = \Delta t_f + \Delta t_m \quad (3.15)$$

Nahradením zmeny hrúbky vrstvy za súčin pomerného pretvorenia a celkovej hrúbky a následnou úpravou dostaneme vzťah pre určenie Poissonového čísla kompozitu v závislosti na objemových zlomkoch častí kompozitu a Poissonových číslach častí kompozitu.

$$\mu_c = \mu_f v_f + \mu_m v_m = \sum_i \mu_i v_i \quad (3.16)$$

(Podrobné odvodenie sa dá nájsť v publikácii [25] v kap. 7.1.5, str. 30-31)

## 4 Systémy odpruženia využívajúce pružný prvok ako súčasť mechanizmu

Použitie pružného prvku na ráme bicykla nie je nič nové. Už niektoré z prvých horských bicyklov využívali pružné vlastnosti materiálov na poskytnutie istého zdvihu zadného kolesa. Kvôli absencii zadného tlmiča (na začiatkoch horskej cyklistiky moc nepoužívaný) boli tieto zdvihy veľmi nízke, odpruženie sa používalo v kombinácii s rôznymi elastomermi, pri ktorých bolo nastavenie tlmenia prakticky nemožné a dalo sa ovplyvniť len výberom iného elastomeru.

Postupom času sa začali objavovať prvé celoodpružené bicykle, ktoré využívali rotačné väzby ako prepojenia medzi prvkami mechanizmu odpruženia. Pružné prvky na zadnej stavbe sa používali len v podobe soft tail, ktorý bude vysvetlený v kapitole 4.1 a na ich použitie u celoodpružených rámov sa takmer zabudlo.

Od roku 2016 sa dalo všimnúť, že niektoré veľké firmy používajú na svoje XC celoodpružené špeciály pružné prvky v zadnej stavbe (okrem už existujúcich riešení). Rozvoj pokračoval v roku 2017, kedy už viacero firiem používalo na svojich bicykloch v kategórii XC pružné prvky. Tento trend bol viditeľný na svetových pohároch v XCO, kde viacero pretekárov závodilo na takýchto bicykloch. V roku 2017 pribudlo niekoľko bicyklov využívajúcich pružný prvok aj do kategórií trail a enduro. S pribúdajúcim časom pribúda čoraz viac a viac spomínaných bicyklov. Nasledujúca kapitola bude teda venovaná bicyklom, ktoré majú v sebe túto technológiu zakomponovanú.

### 4.1 Soft tail

Soft tail je označenie bicyklov, ktoré majú zadnú stavbu pohyblivú, pohyb je však len veľmi malý a teda na takýchto bicykloch sa klasický tlmič nepoužíva. Soft taily nepoužívajú žiadny mechanizmus odpruženia a zdvih kolesa je sprostredkovaný pružnými prvkami ktorými sú konkrétne sploštené trubky reťazovej a sedlovej vzpery. Sploštením trubky sa umožní mierny pohyb smerom hore-dole a zároveň zadná stavba bicykla ostáva veľmi tuhá voči pohybu do strán.

Pružný prvok soft tailu je väčšinou z karbónu, a ten sa buď spojí pomocou vlepovania alebo šroubov do kovového rámu, alebo je celý rám z karbónu a pružný prvok je teda neoddeliteľnou súčasťou rámu. Niektorí výrobcovia tieto bicykle nazývajú inak, napríklad „Medium Tail“ v prípade Brnenskej firmy Pell's alebo napríklad „Flex-stay“ od značky Merida.

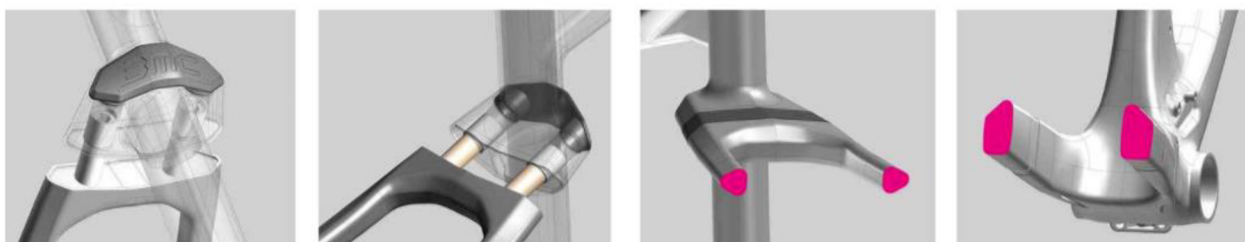
Sploštené trubky zadnej stavby vytvárajúce zdvih na zadnom kolese pri prechode nerovnosťami



Obr. 4.1 Pohľad na zadnú stavbu soft tailu od firmy Pell's. [34]

Ďalším zaujímavým predstaviteľom soft tailových bicyklov je bicykel Teamlite od firmy BMC. Na tomto bicykli sa už dá nájsť aj elastomer, ktorý slúži ako tmič, teda absorbuje časť nárazov a tiež tlmí chod zadnej stavby. Elastomer sa dá k bicyklu kúpiť v troch tvrdostiach v závislosti od váhy jazdca [35].

Zaujímavé sú tiež prierezy trubiek sedlovej a reťazovej vzpery ktoré neodpovedajú splošteným trubkám, ktoré využívajú ostatní výrobcovia podobných bicyklov. Tvar trubiek spolu s vhodným navrstvením karbónu vytvára zdvih až 15 mm na zadnom kolese, čo je zďaleka najviac spomedzi všetkých soft tailov.



Obr. 4.2 Ukážka prierezu trubiek a tiež posuvnej väzby v oblasti elastomeru pre zvýšenie tuhosti zadnej stavby [35]



Obr. 4.3 Pohľad na elastomer na vrchu sedlovej vzpery [36]

Soft tailové bicykle sú určené pre jazdcov, ktorý nechcú celoodpružený bicykel z dôvodu vyššej váhy bicykla alebo straty efektívnosti prenosu energie na zadné koleso. Tieto bicykle poskytujú istý zdvih, čo jazdcovi pridáva na komforte počas jazdy a zároveň sa pri nich výrazne nezvyšuje hmotnosť bicykla, nestráca sa torzná tuhosť bicykla a tiež sa o takýto typ odpruženia netreba starať a navštevovať servis.

## 4.2 Nízkozdvihové rámy

Za nízkozdvihový bicykel sa dá považovať bicykel so zdvihom na zadnom kolese okolo 100 mm. Väčšinou sa jedná o pretekárske bicykle kategórie XC alebo trail. U týchto bicyklov sa veľmi veľký dôraz kladie na váhu bicykla, predsa poháňať celý deň ľahký bicykel je ľahšie ako poháňať ťažší.

Niektorí profesionálni jazdci si dokonca na odľahčenie bicykla navrtávajú brzdomové páčky aby tak ušetrili materiál, a to sú väčšinou páčky z plastu.

Čo ale výrazne ušetrí váhu je použitie pružného člena miesto klasickej rotačnej väzby. Firma Specialized, ktorá z roku 2017 na rok 2018 zmenila svoj model Epic len



v tom, že vynechali rotačnú väzbu mechanizmu odpruženia pri oske zadného kolesa uviedla, že znížili váhu bicykla o 500 g, čo je vo sfére XC neuveriteľne veľa a určite je to rozumnejšia voľba šetrenia váhy ako vrtáť si do páčiek alebo používať o 2-3 šrouby menej na uchytenie brzdových kotúčov [37]. Použitie pružných členov je teda opodstatnené a znamená istý pokrok v cyklistike.

#### 4.2.1 Jednočapové prevedenie

Jediný moderný bicykel, ktorý používa pružný člen a zároveň je nahrádzaný mechanizmu odpruženia jednočap je len jeden. Pružný prvok je v tomto prípade tenká, ale široká doštička z titánu. Zliatinu titánu označujú špeciálne a to 6AL/AV.

Zaujímavé je, že titánová zliatina pružného prvku a ostatných titánových rámových trubiek sú rozdielne. Túto špeciálnu zliatinu titánu má firma Funkcycles patentovanú [38]. Použitie titánovej zliatiny ako materiálu pružného prvku je opodstatnené, má totiž podobne ako karbón nízky modul pružnosti, čo vytvára pri zaťažení značnú deformáciu. Titánové zliatiny majú tiež veľmi vysokú pevnosť a výborné únavové charakteristiky.

Všetky tieto vlastnosti titánových zliatin sú ako šité na mieru pružnému prvku. Podobnému riešeniu sa bude práca venovať aj v kapitole 5, kedy bude pružný prvok tiež tenká, ale široká doštička a nahrádzaný mechanizmus odpruženia bude jednočap.

Pružniaca doštička  
umiestnené pri  
stredovom zložení



Obr. 4.4 Detailný pohľad na pružný prvok bicykla La Ruta [38]

Problémom jednočapových prevedení je, že chod mechanizmu odpruženia si vyžaduje značné pootočenie rotačnej väzby. Ak teda rotačnú väzbu nahradím pružným prvkom, musel by sa pri vyšších zdvihoch prvok deformovať priveľmi veľa. Pružný prvok sa pri zachovaní bezpečných napätí môže deformovať len obmedzene a spravidla táto deformácia nie je veľká.

Z toho vyplýva aj malý zdvih kolesa. Konkrétne tento bicykel má zdvih 60 mm, čo je menej ako štandardné bicykle, ktoré sa používajú na XC jazdenie.

Veľká výhoda bicykla je v jeho životnosti. Bicykel nemá v mechanizme odpruženia žiadne ložiská, ktoré by bolo potrebné na konci sezóny vymeniť, pokiaľ teda doštička vydrží bez poškodenia vzhľadom na únavu materiálu, mechanizmus odpruženia bude bez problémov fungovať veľmi dlho.

## 4.2.2 Štvorčapové prevedenie

Nahradenie jednej rotačnej väzby v štvorčapovom systéme odpruženia je najrozšírenejšie použitie pružných prvok v mechanizme odpruženia. Konkrétne sa jedná o systémy Horst Link a prepákovany jednočap vysvetlené v kapitole 1.3.2, kedy sa spravidla nahrádza väzby pri osy zadného kolesa.

Nahradenie tejto väzby je logické, pretože sa spravidla otáča počas chodu odpruženia najmenej. Otáča sa tak málo, že na niektorých bicykloch tento pohyb takmer nie je viditeľný a je treba sa na túto väzbu detailne a zblízka pozrieť aby človek videl jemné pootočenie.

Z malého pootočenía väzby teda vyplýva, že ak sa táto väzba nahradí pevným spojením, bude deformácia v danom mieste len veľmi malá. Túto technológiu už využíva veľa pretekárskych špeciálov, ktoré sú určené na XC jazdenie. Pre príklad bude uvedený bicykel Epic od firmy Specialized. Ostatné riešenia sú totižto veľmi podobné.



Obr. 4.5 Pohľad na zadnú stavbu bicykla Epic a) v roku 2018 [37] b) v roku 2017 [39]

Je vidieť rozdiel medzi modelmi. Čo je tiež zaujímavé je absencia viditeľného zoslabenia prierezu trubky sedlovej vzpery. K deformácii dochádza na sedlovej vzpere, tá ale nie je nikde sploštená alebo zúžená.

Dá sa teda predpokladať, že trubka sa neohýba len v jednom konkrétnom mieste ako to bolo v prípade jednočapu, ale k deformácii dochádza na celej dĺžke sedlovej vzpery. Takto sa dosiahne ešte lepšieho rozloženia napätia a teda deformácie a takto vytvorený systém je veľmi bezpečný.

Pre príklad je ešte uvedený bicykel 920 od firmy Look, ktorému tiež chýba rotačná väzba na zadnej stavbe, má ale evidentné miesto zoslabenie prierezu na sedlovej vzpere a teda sa dá predpokladať, že k výraznému ohýbaniu sa materiálu dochádza len v mieste sploštenia prierezu a nie na celej dĺžke trubky ako je to u modelov bez zoslabeného miesta.

Viditeľné zoslabenie prierezu sedlovej vzpery, kde dochádza k maximálnej deformácii



Obr. 4.6 Zadná stavba bicykla 920 od firmy Look s viditeľným miestom zoslabenia. [40]

### 4.3 Vysokozdvihové rámy

Vysokozdvihové rámy sú rámy so zdvihom na zadom kolese nad 140mm. Takéto bicykle už patria do kategórie trail a enduro. Váha u týchto bicyklov už nie je taká dôležitá, čo je pre ne dôležitejšie je tuhosť.

Nahradiť rotačnú väzbu pevným spojením sa ukázalo ako veľmi dobré riešenie čo sa týka torznej tuhosti. Deformácia je síce možná v smere vertikálnom, v smere horizontálnom je ale oveľa menšia. Pre vysokozdvihové rámy je spravidla nahrádzaným mechanizmom štvorčap. Jedná sa znova o Horst Link alebo prepákovany jednočap, existuje však aj riešenie s dvomi krátkymi členmi.

#### 4.3.1 Riešenie s dvomi krátkymi členmi

Jedná sa o najzaujímavejšie riešenie. Pružným prvkom je opäť plochá doštička, ktorá je šroubami prichytená ku karbónovej zadnej stavbe a spodnému vahadlu mechanizmu odpruženia. Doštička teda nie je pevnou súčasťou rámu.

Zaujímavý je tiež priebeh jej ohybu. Od začiatku zdvihu približne po stred zdvihu sa doštička ohýba, následne od stredu zdvihu po koniec sa ohyb doštičky postupne znižuje. Je teda evidentný pohyb rotačného člena, ktorý bol nahradený doštičkou, zo začiatku zdvihu sa otáča v jednom zmysle otáčania a ku konci mení zmysel svojho otáčania. Štvorčapové systémy sú schopné takejto zmeny zmyslu otáčania v priebehu zdvihu mechanizmu odpruženia.

Túto doštičku testovali na únavu, zaťažili ju 3 000 000- krát a stále nebola zničená, výrobcovia uvádzajú, že toľko počet cyklov by človek najazdil za 12 rokov denno-denného jazdenia [41]. Karbónová doštička je teda veľmi odolná voči únave materiálu.



Nahradenie rotačnej väzby pevným spojením

Obr. 4.7 Ukážka systému s dvomi krátkymi členmi a pružným prvkom [41]



Obr. 4.8 Prototyp daného bicykla s titánovým pružným prvkom [41]

Daná konfigurácia slúžila ako inšpirácia pre vlastný návrh bicykla kde bude tiež karbónová doštička uchytená šroubami do hlavného rámového trojuholníka a bude sa ohýbať spolu so zadnou stavbou.

#### 4.3.2 Iné štvorčapové riešenia

Štvorčapové riešenia sú podobné ako tie, ktoré boli uvedené v kapitole 4.2.2. V čom sa však odlišujú je množstvo zdvihu na zadnom kolese a tiež prevedenie bicykla. Keďže váha v týchto kategóriách nehrá príliš veľkú úlohu, výrobcovia nepoužívajú len karbón ako materiál bicyklov. Bicykle s pružným prvkom sa dajú nájsť už aj z hliníku a dokonca aj z ocele. Znovu budú uvedené len niektoré bicykle.

##### A) Felt edict




Čo je veľmi zaujímavé na nasledovnom bicykli je to, že používa pružný prvok, ktorý je pri nulovom zanorení zdvihu predpätí. S pridávajúcim zdvihom klesá ohyb sedlovej vzpery až sa dostane do neutrálnej polohy v hodnote 30%, čo odpovedá hodnote SAG-u, čo je zaťaženie odpruženia vlastnou váhou jazdca. Následne sa sedlová vzpera znovu ohýba, už ale do opačnej strany.

Prečo použiť predpätú sedlovú vzperu? Vzduchové tlmiče majú zo začiatku svojho zdvihu veľký problém prekonať takzvanú bariéru odporov, ktoré pôsobia proti pohybu tlmiča. Tento efekt je citelný len na začiatku zdvihu tlmiča a teda odpruženia. Odpruženie sa týmto stáva veľmi necitlivé na malé nerovnosti, ktoré takto neprekonajú odpory tlmiča a teda odpruženie malé nerovnosti nepohlí. Predpätím sedlovej vzpery sa spôsobí to, že sedlová vzpera sa bude chcieť vrátiť do svojej neutrálnej polohy a teda toto predpätie pôsobí proti odporom tlmiča a chce ho akoby stlačiť.

Je to veľmi pekná myšlienka. Má však aj svoj problém. Niečo musí spôsobiť toto predpätie a váha jazdca to určite nie je. Predpätie a teda ohyb spôsobí tlak v tlmiči, ktorý sa chce vrátiť do svojej plne vysunutej polohy. Problém nastáva pri ľahkých jazdcoch, ktorí majú tlmič nafúkaný na malé tlaky a tento malý tlak už nevytvorí takú silu aby ohol sedlovú vzperu do takej miery aby sa tlmič plne vysunul. Teda odpruženie bude konštantne zanorené v určitom zdvihu vplyvom malých tlakov v tlmiči.



Obr. 4.9 Pohľad na mechanizmus odpruženia bicykla Felt Edict [42]

SUSPENSION POSITION		FAST STATE	DESCRIPTION
<b>0%</b> (TOP-OUT)		<b>COMPRESSED</b>	In order for the suspension to reach full extension, the rear triangle is required to compress.
<b>30%</b> (SAG)		<b>NEUTRAL</b>	At the sag point (approximately 30%), the rear triangle is neutral.
<b>100%</b> (BOTTOM-OUT)		<b>EXTENDED</b>	As the suspension gets deeper in the travel, the rear triangle is required to extend.

Obr. 4.10 Vysvetlenie prepätej sedlovej vzpery [42]

## B) Bicykel z hliníkovej zliatiny

Ako už bolo spomenuté, bicykle v tejto kategórii využívajúce pružný prvok sú aj z iných materiálov ako je karbón. Nasledujúci bicykel je celý z hliníkovej zliatiny, hliníková zliatina má podobne ako karbón nízky modul pružnosti.

Problémom hliníkových zliatin sú ich únavové charakteristiky, ktoré nie sú príliš priaznivé pre cyklické namáhanie. To je ale zároveň dôkaz o tom, že nahradiť rotačnú väzbu v okolí osy zadného kolesa nie je problém z hľadiska únavy materiálu,

keďže sa bicykle vyrábajú aj z hliníku a teda ak je bicykel z karbónu, ktorý má výborné únavové vlastnosti, mal by byť z hľadiska únavy bezpečný.

# SATORI



Obr. 4.11 Pohľad na zadnú stavbu s absentujúcou rotačnou väzbou bicykla Kona Satori, ktorý ju má z hliníku [43]

## C) Bicykel z ocelevej zliatiny

Oceľová zliatina je v cyklistike veľmi ojedinelý materiál rámu. Zaujímavé je, že aj dokonca bicykel z ocelevej zliatiny funguje s pružným prvkom teda s pružnou sedlovou vzperou. To je znova dôkaz o tom, že keď sa nahradí už spomínaná väzba pevným spojením tak pri chode pruženia nevznikajú veľké deformácie.

Oceľové zliatiny majú veľmi vysoký modul pružnosti a na to, aby sa výraznejšie deformovali by v sedlovej vzpere museli pôsobiť vysoké napätia, ktoré by mohli prekročiť medzu klzu. V sedlovej vzpere ale pravdepodobne veľké deformácie nevznikajú a teda aj napätia sú nízke. To znova svedčí o bezpečnosti použitia štvorčapu ako najlepšieho nahrádzaného systému odpruženia s použitím pružného prvku.



Obr. 4.12 Pohľad na oceľovú zadnú stavbu bicykla s absentujúcou rotačnou väzbou [44]

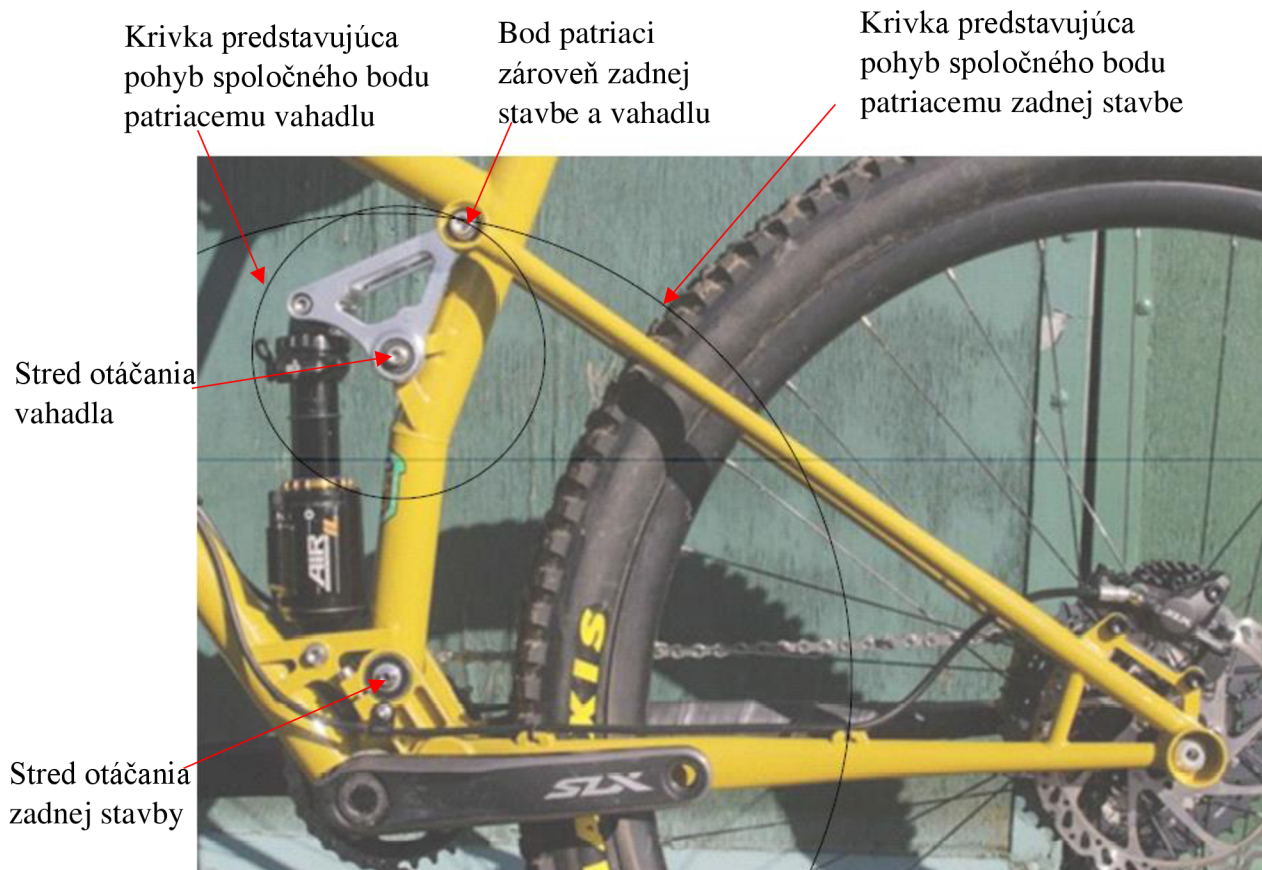
#### 4.4 Štvorčapové riešenie ako najideálnejšie riešenie

Najčastejším mechanizmom odpruženia, ktorý sa nahradzuje pružným prvkom je štvorčapové riešenie. V nasledujúcej kapitole sa ukáže, prečo tomu tak je.

Pri štvorčape sa spravidla nahrádza rotačná väzba pri osy zadného kolesa. Táto väzba sa pri pohybe odpruženia vždy otáča najmenej spomedzi všetkých väzieb mechanizmu. Z toho vyplýva, že ak by sa teoreticky nahradila len pružnou malou doštičkou, čiže deformácia by sa uskutočňovala len na malej dĺžke a teda by musela byť väčšia, stále by deformácia bola menšia ako deformácia potrebná na chod odpruženia jednočapu pri rovnakom riešení cez pružnú malú doštičku. Takýchto riešení, kedy je na sedlovej vzpere len oslabené alebo sploštené miesto je ale málo.

Z malej deformácie vyplývajú aj nie príliš vysoké napätia. Väčšina riešení je ale takých, že sa ohýba celá sedlová vzpera, celková deformácia potrebná na chod odpruženia sa teda rozloží po celej dĺžke sedlovej vzpery a teda sa ešte zmenší v kritickom bode. Rozložia sa teda aj napätia a celý systém ako celok bude bezpečnejší.

Z bicyklov už existujúcich vyplýva, že štvorčap je ideálny systém na nahradenie systémom s pružným prvkom. Ideálnym materiálom pre výrobu takýchto bicyklov je karbón. Existujú riešenia používajúce hliníkovú zliatinu, ktorá má vo všeobecnosti zlé únavové charakteristiky, ak sa teda dané riešenie vytvorí z karbónu, celý systém ako celok bude bezpečnejší. Tiež existujú riešenia používajúce oceľ ako materiál rámu, na deformáciu ocele je potrebné vysoké napätie, čo vnáša do systému istú neistotu vzhľadom na výšku týchto napätí. Riešením s pomocou karbónu sa napätie pre vytvorenie danej deformácie ešte zníži a systém bude bezpečnejší.



Obr. 4.13 Geometrická ukážka fungovania ohýbajúcej sa zadnej stavby [44]

Z obrázku je viditeľný rozdiel trajektórií bodu, ktorý zároveň patrí zadnej stavbe a vahadlu, v realite však tento spoločný bod nemá rozdielne trajektórie, sedlová vzpera sa ohýba a bod sa pohybuje len po jednej trajektórii danej stredom otáčania vahadla. Dá sa predpokladať, že tuhosť vahadla je oveľa vyššia ako tuhosť sedlovej vzpery na zadnej stavbe a preto sa dá deformácia vahadla zanedbať.

Je evidentné, že trubka sedlovej vzpery nemá na sebe žiadne slabé miesto a teda sa bude deformovať na celej dĺžke. Je vidno, že rozdiel medzi dráhami spoločného bude je spočiatku veľmi malý a neskôr narastá, je ale otázne kedy nastane doraz. Ak by sa na sedlovú trubku umiestnil zoslabený člen ako napríklad pružiaci doštička (ako je to v prípade jednočapu) tak by celá deformácia, ktorá vyrovnáva dráhy spoločného bodu bola v nej a teda by v doštičke figurovali aj vysoké napätia.

Z toho vyplýva, že na štvorčapové riešenie je vhodnejšia deformácia celej sedlovej vzpery ako koncentrovanejšia deformácia jedného zoslabeného miesta a tiež je viditeľný len malý rozdiel dráh spoločného bodu a z neho vyplývajúce malé deformácie a napätia v štvorčapovom riešení.



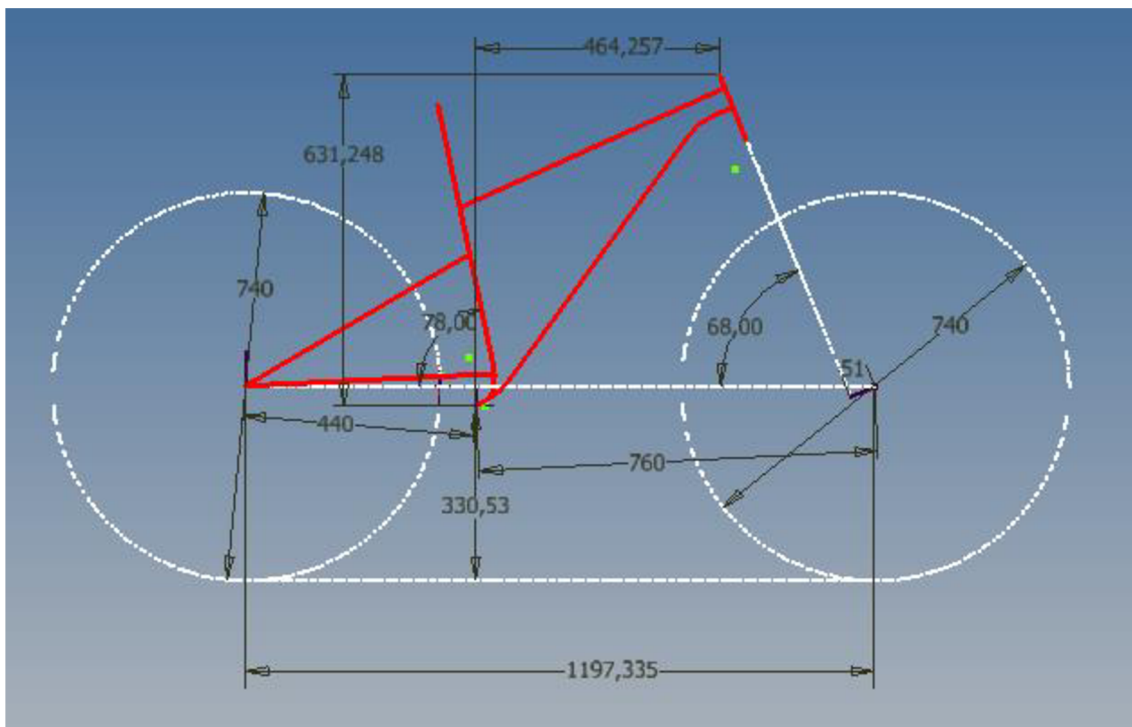
## 5 Vlastný návrh bicykla

Nasledujúca kapitola bude venovaná vlastnému návrhu bicykla, ktorý využíva karbón ako pružný prvok. Zadná stavba bicykla sa vďaka pružným vlastnostiam karbónu stáva pohyblivou, výsledkom je celoodpružený bicykel.

Otázkou ale je, prečo nahradzovať klasickú rotačnú väzbu (čap) s ložiskami pevným spojením, ktoré umožňuje istý ohyb. Dôvodom je samozrejme váha, odstránením rotačnej väzby odstránim z rámu minimálne dve ložiská a spoj, ktorý vymedzuje ich polohu. Ich váha je síce malá (záleží na veľkosti ale pohybuje sa v stovkách gramov), ale pri ráme ktorý váži niečo cez jeden aj pol kila je aj malý rozdiel váhy významný.

Firmy doslova závidia o to kto vytvorí najľahší bicykel a veľmi ľahký bicykel nesie so sebou istú prestíž. Ďalším a nemenej významným dôvodom je absencia nutného servisu rotačnej väzby, ložiská v ráme je nutné vymeniť aspoň jeden krát za rok pokiaľ chceme zaručiť bezproblémový chod mechanizmu odpruženia počas nasledujúceho roka. Pevným spojením bez ložísk teda odpadá nutnosť servisu za istú dobu.

### 5.1 Geometria rámu



Obr 5.1 Základná geometria rámu

Rám je navrhnutý pre kategóriu bicyklov trail. Jedná sa teda o pohodlný bicykel s vyrovnanou geometriou a žiadnymi extrémnymi uhlami či rozmermi (ako pri kategórii cross country).

Rázvor, stack a reach majú takú veľkosť, aby zodpovedali veľkosti XL. Uhol sedlovej trubky je pomerne veľký, to ale zaručuje, že na bicykli sa bude pohodlne šliapať do kopca. Na druhej strane hlavový uhol je pomerne malý a to zaručuje stabilitu jazdca a bicykla pri strmých a rýchlych zjazdoch. Dĺžka reťazovej vzpery je navrhnutá

čo najkratšie, aby bol bicykel čo najobratnejší a teda sa čo najlepšie ovládal. Ku dobrej ovládateľnosti prispieva aj relatívne veľký bottom bracket drop, ťažisko jazdca teda bude nízko a čím nižšie je ťažisko jazdca tak tým lepšie sa jazdcovi manévruje s bicyklom.

Podľa moderných trendov sú na rám namontované kolesá s veľkosťou 29 palcov, teda najväčší rozmer aký sa vyrába. Veľké kolesá znižujú obratnosť bicykla, ale ich priechodnosť terénom je výborná a teda ich voľba k rámu je rozumná.

Z úvah uvedených vyššie je zrejmé, že na bicykli sa bude dobre šliapať do kopca, ale aj jazdiť dole kopcom. S bicyklom sa bude dobre manévrovať. 29 palcové kolesa zase zaručia výbornú priechodnosť terénom a lepšiu trakciu ako by to bolo v prípade iného rozmeru kolies.

## 5.2 Voľba systému odpruženia zadného kolesa

Pre danú problematiku som si zvolil najjednoduchší systém odpruženia zadného kolesa. Práca sa teda bude zaoberať jednočapovým zavesením zadného kolesa.

Pri jeho návrhu sa dá ovplyvniť len poloha rotačnej väzby na hlavnom rámovom trojuholníku. Spravidla sa jej umiestnenie navrhuje priamo nad predný prevodník. Dôvodom je získať čo najnižší možný pedal kickback, jedná sa o charakteristiku odpruženia vysvetlenú v kapitole 1.4.4. Ťažná vetva reťaze sa pri pohybe odpruženia otáča okolo najvyššieho bodu prevodníku (predné ozubené koleso), ak teda os rotačnej väzby prechádza týmto bodom, dĺžka ťažnej vetvy reťaze ostane nezmenená.

Ak by sa rotačná väzba nachádzala vyššie nad prevodníkom a ešte by bola posunutá smerom k prednému kolesu, pedal kickback by výrazne ovplyvňoval chod odpruženia (niektorí výrobcovia umiestňujú väzbu smerom dopredu k prednému kolesu, ale zároveň ju umiestnia pod najvyšší bod prevodníku, vtedy nedochádza k výraznému predĺženiu ťažnej vetvy reťaze). Naopak umiestnením väzby smerom k zadnému kolesu by sa dĺžka ťažnej vetvy reťaze pri pohybe odpruženia skracovala.

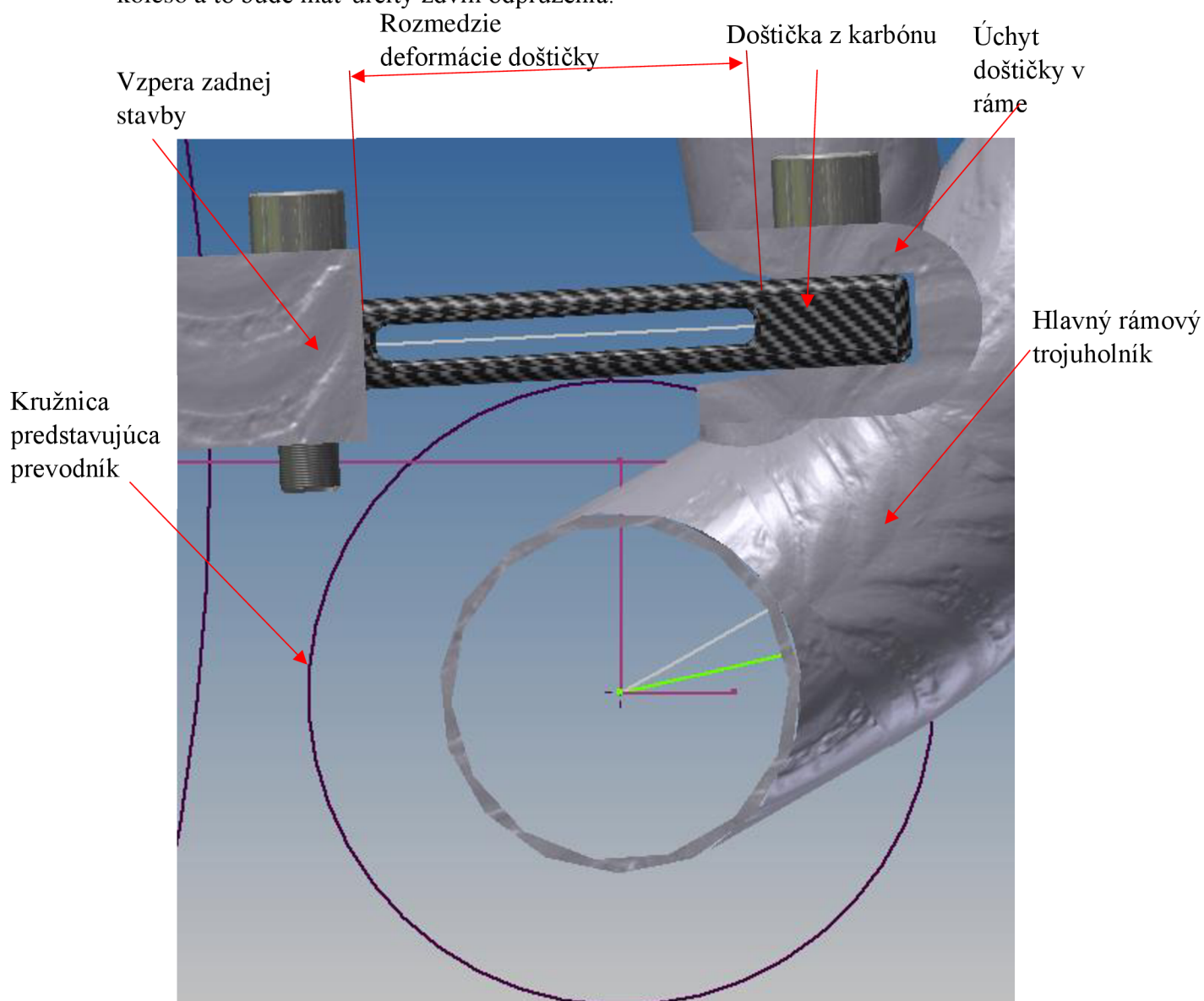


Obr. 5.2 Umiestnenie rotačnej väzby v tesnej blízkosti najvyššieho bodu prevodníku (pre systém odpruženia prepákováný jednočap, znázornený aj v kap. 1.3.2 B) [45]

Práca sa venuje využitiu karbónovej pleteniny pri konštrukcii pružného prvku zadnej stavby. Nahradí pružným prvkom, ktorý by nahrádzal rotačný pohyb rotačnej väzby sa dá pri jednočapovom systéme odpruženia len jeden čap.

V danom návrhu sa teda nebude vyskytovať rotačná väzba, ale zadné koleso bude uchytené na hlavný rám cez pružnú doštičku z karbónu. Vznikne tak pevné spojenie medzi zadnou stavbou a hlavným rámovým trojuholníkom. Teoreticky by tento mechanizmus mal mať 0 stupňov voľnosti a teda by sa nemal hýbať.

Zaťažením zadného kolesa pri prechode nerovnosťami bude doštička zaťaženia predovšetkým na ohyb a teda sa bude deformovať. Deformáciou vznikne určitý priehyb doštičky, ktorý sa cez vychýlenie vzpery zadnej stavby prejaví výrazne až na osi zadného kolesa. Takýmto spôsobom sa teda docieli, že rám bude mať odpružené zadné koleso a to bude mať určitý zdvih odpruženia.



Obr. 5.3 Detail pružného prvku predstavujúci pohyblivú väzbu zadnej stavby s rámom

Z obrázku je viditeľné, že ohyb doštičky nastáva tesne nad prevodníkom, tým by malo byť zaručené, že dĺžka ťažnej vetvy reťaze sa nebude výrazne predlžovať a teda pedal kickback bude zanedbateľný.

Dôvod voľby jednočapu ako nahrádzaného systému pružným prvkom je zrejmý. Dôležité je teda umiestniť miesto rotácie alebo ohybu nad prevodník a odpruženie sa bude správať prijateľne a pedal kickback nebude výrazný.

Na jednočape nie je čo sa týka charakteristík odpruženia čo pokaziť respektíve ovplyvniť, je potrebné si dať pozor len na jednu vec spomínanú vyššie.

Ak by sa zvolil ako nahrádzaný systém štvorčap, muselo by byť známe najprv aké ma pruženie charakteristiky s použitím všetkých väzieb rotačných, pretože neodborným umiestnením väzieb v mechanizme by mohol vzniknúť systém, ktorý má veľmi nevhodné charakteristiky odpruženia spomenuté v kapitole 1.4 (štvorčapové systémy odpruženia sa dajú naladiť čo sa týka charakteristík rôznorode). Postup vytvorenia modelu by bol teda nasledovný:

1. návrh a úprava systému odpruženia s cieľom dosiahnutia čo najlepších charakteristík odpruženia (napríklad software Linkage X3 je vhodný pre určenie a následnú úpravu týchto charakteristík) s použitím rotačných väzieb.
2. nahradenie jednej vhodne zvolenej väzby pevným spojením (najvhodnejšia väzba na nahradenie je tá, čo sa najmenej otáča počas pohybu odpruženia= väzba pri osy zadného kolesa).
3. vhodne navrstviť vrstvy karbónu aby sa rám v okolí nahradenej väzby deformoval, pri pôsobení čo najnižšieho napätia.

Navrhnuť teda štvorčap s jednou pružnou väzbou by bol teda oveľa komplikovanejší proces z hľadiska vyladenia charakteristík odpruženia, ale aj z hľadiska simulácie a vytvorenia výpočtového modelu. Pri jednočape sa dá s výhodou využiť prostredia Ansys Workbench a modulu Static Structural.

## **5.3 Zostavenie výpočtového modelu**

### **5.3.1 Modely jednotlivých častí rámu bicykla**

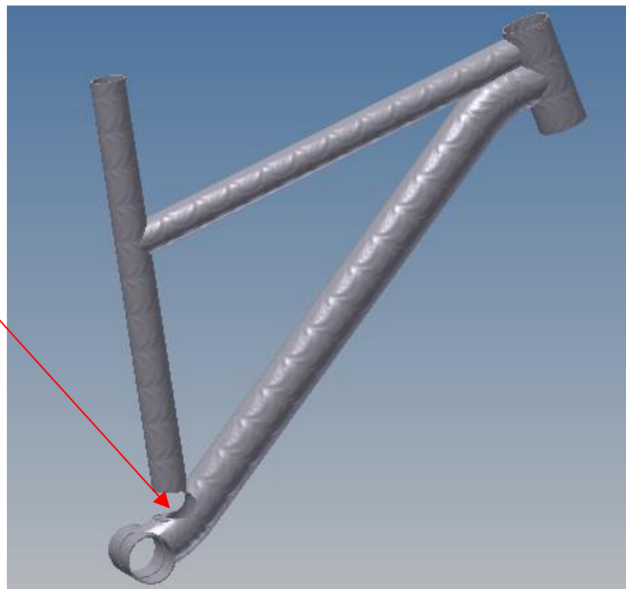
Celkový model rámu je tvorený 4 časťami. Hlavným rámovým trojuholníkom, zadnej stavby, úchytu a pružnej doštičky, ďalej len planžetky z carbónu.

Najväčšia pozornosť sa venovala samozrejme pružnej planžetke a úchytu pretože ich geometria je zásadná na chod odpruženia, ostatné dve časti sa modelovali zjednodušene, len pre názornosť a prehľadnosť, ich jednoduchosť spočíva v použití trubiek s konštantným prierezom a tvarovou jednoduchosťou.

#### A) Model hlavného rámového trojuholníka

Je tvorený trubkami s konštantným prierezom. Sú použité dva druhy trubiek a to s priermi 60mm a 42mm. Hlavný rámový trojuholník má tiež vybratie pre uchytenie úchytu zadnej stavby. Model však slúži len na predstavu, je otázne ako by sa toto vybratie materiálu správalo v realite, je totižto možné, že v tomto mieste by sa v ráme mohli objavovať problémy.

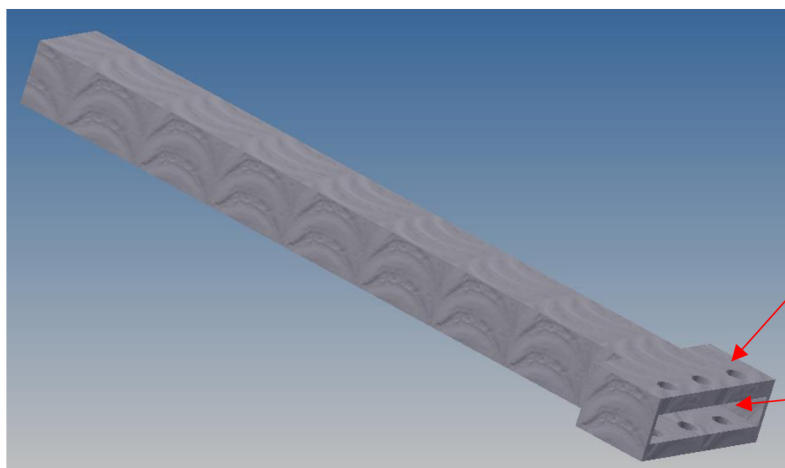
Vybratie pre  
vlozenie  
úchyty



Obr. 5.3 Model hlavného  
rámového trojuholníka

### B) Model zadnej stavby

Pre prvotnú predstavu a pre jednoduchosť som zvolil model zadnej stavby ako veľmi jednoduchú 3D súčiastku, ktorá má otvor pre uchytenie pružnej planžetky a svojou dĺžkou predstavuje vzdialenosť medzi planžetkou a osou zadného kola, obsahuje tiež diery pre šrouby, pomocou ktorých bude mať planžetka vymedzenú polohu.



Obr. 5.4 Model zadnej stavby

Zadná stavba bude na konci reálneho procesu návrhu rámu vyzerat' inak, najprv ale treba zistiť, ako moc sa môže planžetka ohnúť aby boli napätia v bezpečnej oblasti pod medzou klzu.

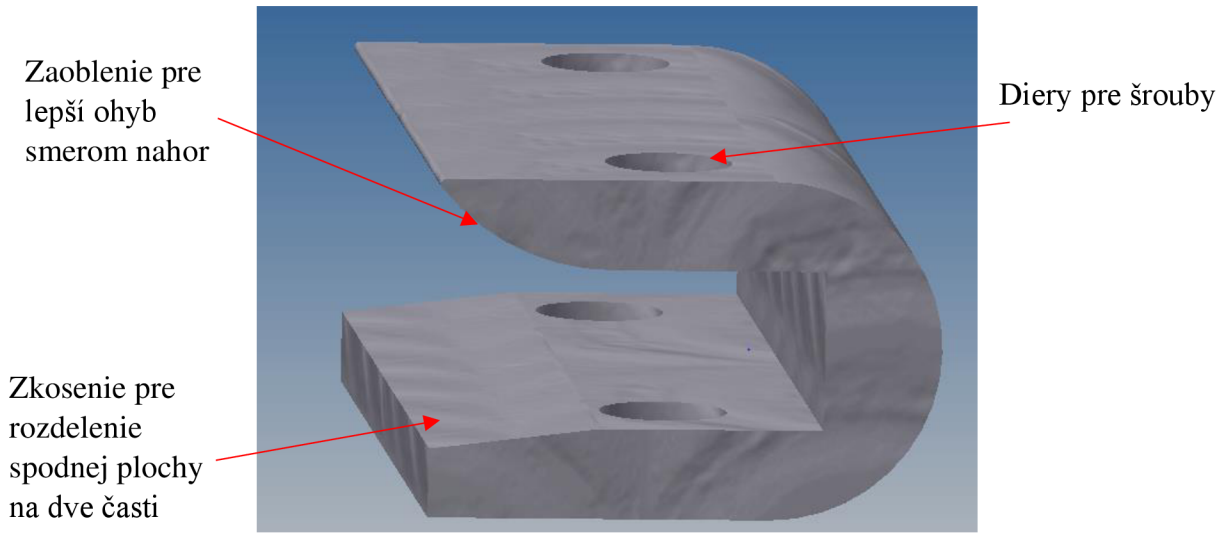
Z ohybu planžetky vyplýva aj posuv zadnej stavby smerom hore a teda na zadnom kolese bude istý zdvih odpruženia. Keď už bude známe, aký zdvih je bezpečný, potom sa k tomuto zdvihu priradí poloha a veľkosť tlmiča, aby pre maximálny zdvih kola nastal doraz aj na tlmiči a teda tomu sa prispôbí aj model zadnej stavby.

### C) Model úchyty

Úchyt spája planžetku s hlavným rámovým trojuholníkom. Jeho maximálna šírka je limitovaná šírkou stredového zloženia. Na konci stredového zloženia sú osadené kľuky

a prevodník, teda ak by bol úchyt moc široký, zrejme by sa na rám nedali namontovať dané súčiastky. Z šírky úchytu vyplýva aj šírka planžetky. Čím širšia je planžetka, tým lepšie sa bude deformovať v smere kolmom na šírku a zároveň bude tuhá voči deformáciám v smere šírky.

Úchyt má okrem úlohy uchytenia aj úlohu pomôcť planžetke čo možno sa maximálne deformovať. Má preto v smere ohybu veľké zaoblenie, aby sa planžetka mohla ľahšie deformovať okolo tohto zaoblenia. Na strane spodnej má jemné zkosenie, aby sa spodná plocha rozdelila na dve časti a teda sa dala v Ansyse nadefinovať správne väzba pre tieto plochy.

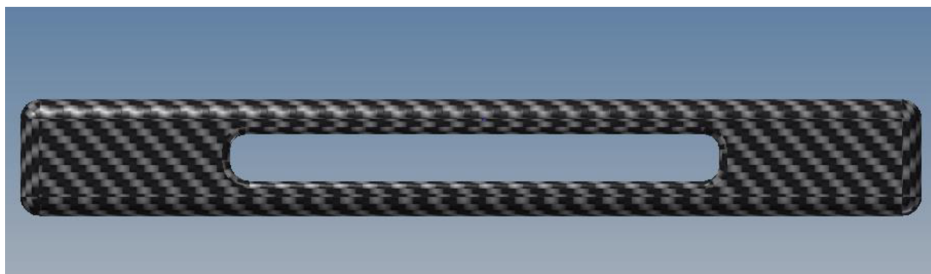


Obr.5.5 Model úchytu

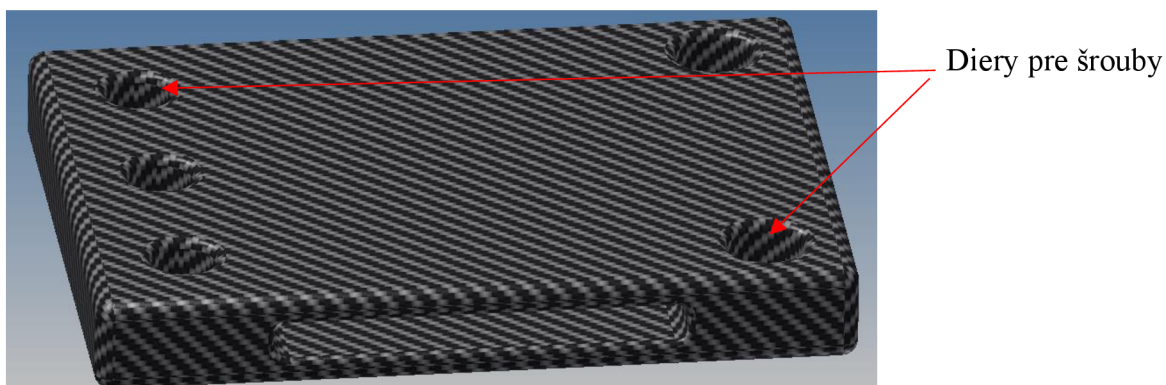
#### D) Model planžetky

Už vyššie spomínaná planžetka je z carbónu. Obsahuje diery pre šrouby, ktoré majú aj úchyt a zadná stavba. Jej výrazným prvkom je vybratie materiálu okolo strednice.

Planžetka je namáhaná najviac na ohyb, ale aj krut. Obe z týchto napätí sú maximálne na povrchu telesa, na strednici sú nulové a ich veľkosť sa lineárne zväčšuje so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od strednice. Je preto zbytočné mať materiál aj okolo strednice telesa. Odstránením tejto časti materiálu sa priehyb planžetky a teda aj zadnej stavby ešte viac zväčšil.

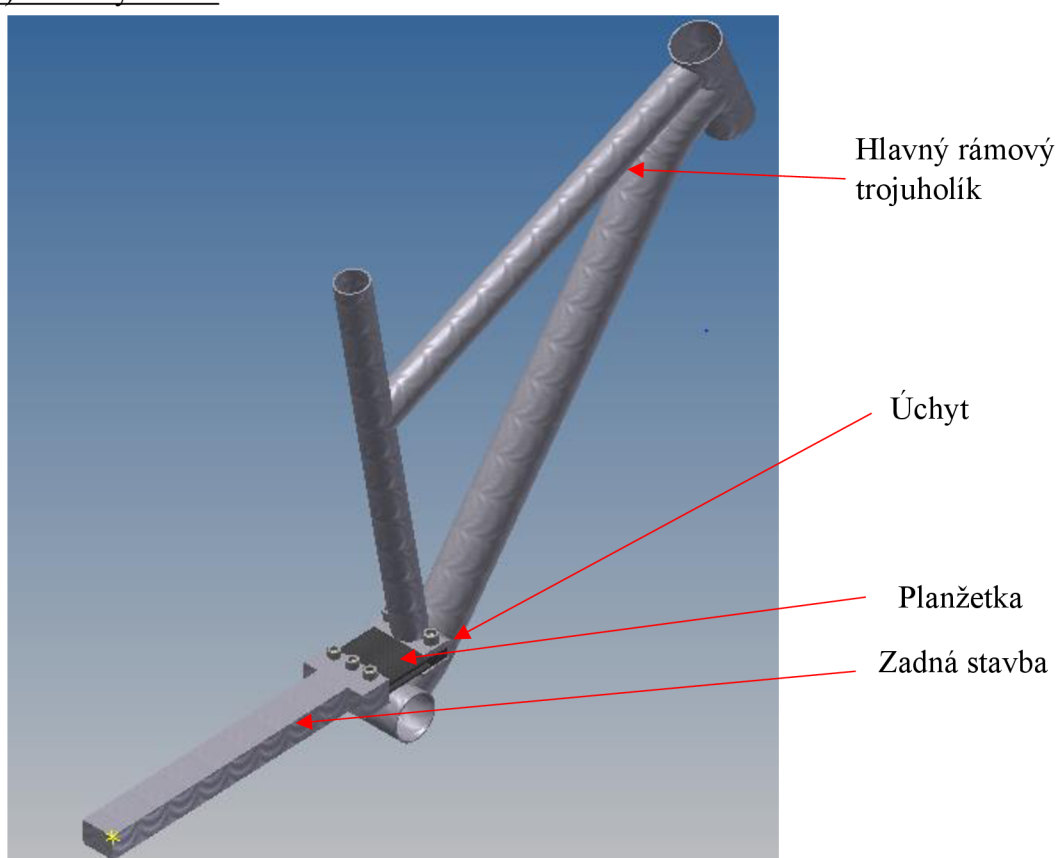


Obr. 5.6 Pohľad z boku na vybratie materiálu okolo strednicovej plochy



Obr. 5.7 Model planžetky

E) Celkový model



Obr. 5.8 Celkový model rámu bicykla

Ako je viditeľné z obrázku jednotlivé súčasti rámu sú spojené šroubami, detaily tohto spoja budú vysvetlené v ďalších kapitolách.

**5.3.2 Zjednodušujúce predpoklady pre tvorbu výpočtového modelu**

Napriek tomu, že bicykel sa ako celok zdá jednoduchý stroj, čím dlhšie sa jeho návrhu človek venuje, tým sa jeho zdanlivá jednoduchosť stráca. Pre danú problematiku je potrebné uviesť niekoľko zjednodušujúcich predpokladov, ktoré riešenie daného

problému výrazne zjednodušujú a zároveň nevytvárajú výraznú chybu a odklon od skutočného rámu.

### A) Tuhé telesá

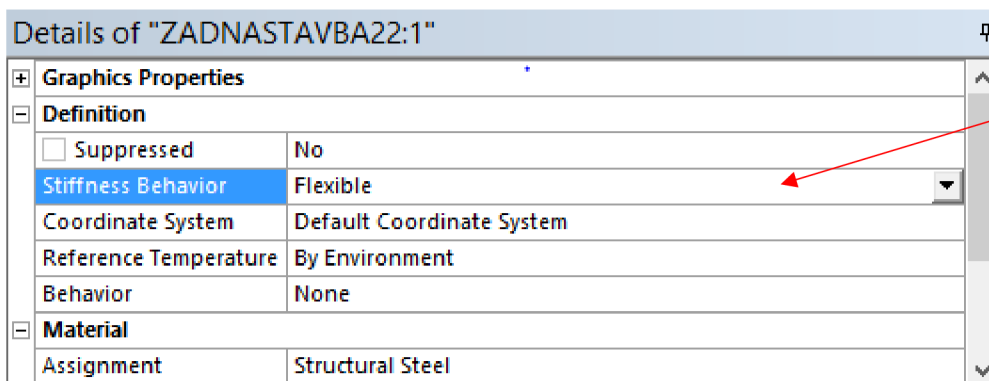
Pri návrhu rámu, ktorý v má v sebe zakomponovaný pružný prvok sa vytvorí oblasť, ktorá bude zoslabená a teda bude umožňovať istý pohyb. Dôležité je uvedomiť si, že pružná oblasť je cielene vybraná a rozmerovo obmedzená, ostatné časti rámu by sa mali správať ako tuhé telesá, to znamená, že deformácia na týchto telesách by mala byť čo najmenšia. Navyše práca sa zaoberá návrhom a skúmaním pružného prvku nie rámu ako celku. Skúmaním napätí a deformácií rámu ako celku by sa práca výrazne predĺžila. Ostatné časti rámu majú za úlohu sprostredkovať väzby a prenos zaťaženia, tiež slúžia ako vizuálna pomôcka za účelom predstavy a lepšieho pochopenia práce.

Preto je dôležité uviesť prvý zjednodušujúci predpoklad a to predpoklad pružnej planžetky a čo najtuhších telies v ráme. Predpokladá sa, že hlavný rámový trojuholník spolu s úchytom na planžetku a zadnou stavbou sú čo najtuhšie. Ideálne by bolo považovať ich za tuhé telesá a vytvoriť vo výpočtom modeli dokonale tuhé telesá, ktoré by len sprostredkovali väzby a prenos síl na planžetku.

V prostredí Ansys Workbench a modeli static structural sa síce dá teleso nadefinovať ako dokonale tuhé (rigid), ale ďalej sa s ním nedá pracovať, konkrétne sa na ňom nedá nadefinovať silové pôsobenie (v prípade zadnej stavby sila na konci telesa reprezentujúca náraz do kolesa nerovnosťou terénu). Pretože telesá nie je možné nadefinovať ako dokonale tuhé a ďalej s nimi pracovať, je potrebné zaistiť tuhosť iným spôsobom, tým spôsobom je nadefinovať materiál telies ako oceľ (kvôli vysokému modulu pružnosti E), takto sa dosiahne čo možno najvyššia tuhosť telies, ktoré majú byť tuhé. Takto sa zaistí zakotvenie planžetky v ráme a prenos silového pôsobenia z osi zadného kolesa na planžetku.

V praxi by sa tuhé správanie trubiek vo vertikálnom smere dalo zaistiť vhodným tvarovaním prierezu trubiek a lokálneho zosilnenia hrúbky steny (napríklad v prípade tvarovania hliníkových trubiek metódou hydroform).

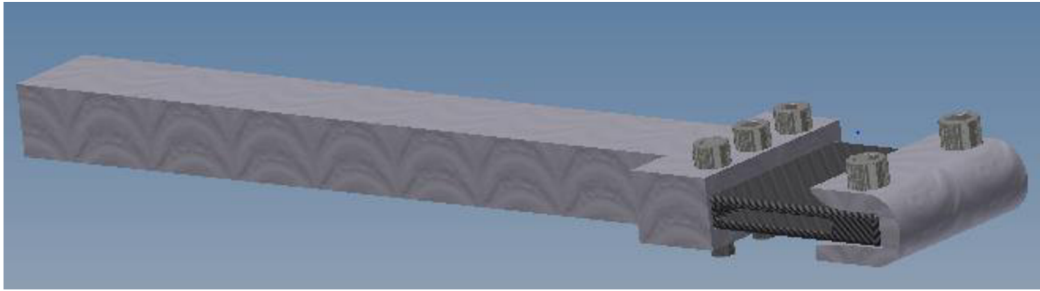
Vďaka predpokladu predpokladu tuhých telies je možné si dovoliť pracovať v prostredí Ansys Workbench nie s celým rámom, ale len s jeho časťou. Táto časť je konkrétne zadná stavba, planžetka a úchyt spolu so šroubami. Uvedeným krokom sa výrazne skráti čas výpočtu.



Možnosť nastavenia správania telies. (flexible/rigid/gasketed-tesnenie)

Obr. 5.9 Definícia tuhostného chovania telies v prostredí Ansys Workbench





Obr. 5.10 Zjednodušený model pre napät'ovo-deformačnú analýzu

## B) Ortotropný materiál

Ďalším zjednodušujúcim predpokladom je model materiálu, ktorý sa zjednodušuje na ortotropnú úroveň. To znamená, že planžetka nebude vytvorená ako laminátová vrstva zložená z vrstiev karbónu v rôznych smeroch.

Planžetka bude vytvorená ako teleso, ktorému sa priradia vlastnosti materiálu jednej vrstvy, ale po celom objeme. Celý objem planžetky teda bude vytvorený ako jednosmerný laminát zložený z vrstiev s vláknami v jednom smere. Pre daný predpoklad sa najlepšie hodí ako model materiálu karbónová pletenina. Jedna vrstva materiálu má teda vlákna v dvoch na seba kolmých smeroch, navyše, sú vlákna medzi sebou prepletené. Planžetke sa pri výpočte tento materiál iba priradí.

Pri modelovaní kompozitov sa v praxi využíva model ACP (pre), kde sa dá zvolit' materiál jednej vrstvy, hrúbka jednej vrstvy a natočenie vrstvy pod uhlom vzhľadom na referenčný súradnicový systém. Takýmto spôsobom sa dá získať materiál s jedinečnými vlastnosťami a chovaním. V práci ale tento modul nie je využitý z dôvodu časovej náročnosti práce. Pre danú rozlišovaciu úroveň postačí aj zjednodušený model materiálu, aj na ňom sú viditeľné rozdiely chovania sa telesa pri natáčaní vlákien voči pevnému súradnicovému systému.

Properties of Outline Row 3: Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg			
	A	B	
1	Property	Value	
2	Density	1,42E-09	mm <sup>^-3</sup> t
3	Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
8	Orthotropic Elasticity		
9	Young's Modulus X direction	61340	MPa
10	Young's Modulus Y direction	61340	MPa
11	Young's Modulus Z direction	6900	MPa
12	Poisson's Ratio XY	0,04	
13	Poisson's Ratio YZ	0,3	
14	Poisson's Ratio XZ	0,3	
15	Shear Modulus XY	19500	MPa
16	Shear Modulus YZ	2700	MPa
17	Shear Modulus XZ	2700	MPa
18	Orthotropic Stress Limits		
19	Tensile X direction	805	MPa
20	Tensile Y direction	805	MPa
21	Tensile Z direction	50	MPa
22	Compressive X direction	-509	MPa
23	Compressive Y direction	-509	MPa
24	Compressive Z direction	-170	MPa
25	Shear XY	125	MPa
26	Shear YZ	65	MPa
27	Shear XZ	65	MPa

Obr. 5.11 Model materiálu planžetky (použitý z knižnice materiálov Ansys Workbench)

Z listu materiálových vlastností je viditeľná istá podobnosť. V smeroch X a Y, kde sú vlákna na seba kolmé a teda materiál je v tých smeroch rovnaký sú aj moduly pružnosti rovnaké, rovnaké sú tiež medze klzu, respektíve medze pevnosti. V smere Z, v ktorom nie sú orientované vlákna je aj E najmenšie, najmenšia je tiež aj medza pevnosti.

Karbón sa správa ako krehká keramika. Na ťahovom diagrame (obr. 3.11) znázornenom v kapitole 3.2.1 nie je evidentná medza klzu, karbón sa teda až do porušenia správa elasticky. Porušenie nastáva na medzi pevnosti (stress limit). Tiež je viditeľný rozdiel medzi zaťažovaním v ťahu a tlaku. V tlaku znesie karbón zhruba o 300 MPa menej ako v ťahu, to neplatí o smere Z, v ktorom sa medze správajú presne naopak.

Označenie Epoxy carbon woven (230 GPa) prepreg označuje typ karbónu. Woven znamená karbónovú tkaninu. 230 GPa je pevnosť vlákien, sú teda použité nízkomodulové vlákna s vysokou pevnosťou až 6000 MPa v ťahu (viz. kapitola 3.1.4). Prepreg znamená, že pletenina vlákien je presýtená epoxidovou živicom od výroby a teda ďalšiu živicu už netreba dodať (viz. kapitola 3.1.5)

### C) Zanedbanie sily tlmiča

Keď si jazdec sadne na bicykel, zaťaží ho vlastnou váhou, na kolesá teda pôsobí reakcia na tiažovú silu jazdca od podložky. Zadné koleso je teda zaťažené touto reakciou.

Pri prechode nerovnosťami vzniká aj sila od nárazu na nerovnosť ktorá taktiež pôsobí na koleso. Úlohou tlmiča je teda uviesť tieto sily do statickej rovnováhy tým, že sa stlačí a pôsobí na mechanizmus odpruženia z druhej strany proti týmto silám.

Z energetického hľadiska sa energia nárazu transformuje na energiu napjatosti uloženú v tlmiči (deformácia vinutej pružiny alebo vzduchu uzavretého v komore). Pri navrhovaní pružnej planžetky sa ukázalo, že pre daný systém odpruženia musí byť planžetka veľmi silná aby odolala pôsobeniu váhy jazdca a síl od nerovností pri zachovaní bezpečnosti.

Už samotná planžetka absorbuje náraz a teda pôsobí proti silám pôsobiacich na koleso. Dodatočná sila od tlmiča nie je teda potrebná. Tlmič by mal len zaistiť tlmenie. Eliminovať silu od tlmiča ale nie je úplne reálne. Pri použití vzduchového tlmiča sa ale dá úplne vypustiť vzduch a tlmič pri stláčaní kladie len minimálny odpor.

Ďalším krokom pre elimináciu síl od tlmiča je umiestniť tlmič na čo najmenšie rameno voči ohýbajúcemu sa bodu planžetky (malé rameno znamená malý pohyb voči ohýbajúcemu sa bodu a teda je potrebné použiť najmenší možný vyrábaný vzduchový tlmič). Týmto krokmi sa dá zaistiť, že vplyv sily od tlmiča na zadnú stavbu sa dá zanedbať.

Planžetka je navrhnutá pre jazdca s hmotnosťou 90 kg. Pri tejto váhe a správnom nastavení bicykla bude pre absorbovanie silových účinkov na zadné koleso stačiť deformácia planžetky. Pre ťažších jazdcov by bolo potrebné trochu dofúkať tlmič, ktorý by svojou silou pri pohybe mechanizmu odpruženia pôsobil proti zaťažovacím silám na kolese a teda výsledný silový účinok na zadnú stavbu by bol rovnaký ako pri váhe jazdca 90 kg.

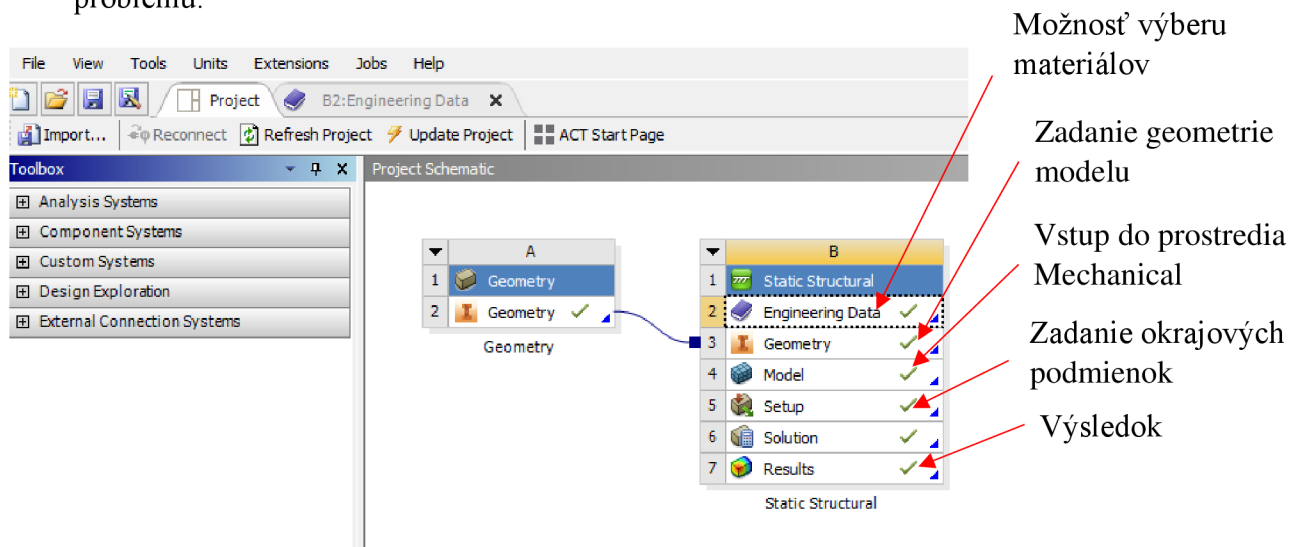
Existujú aj riešenia celoodpružených bicyklov, ktoré nevyužívajú klasický tlmič, namiesto toho využívajú elastomer. Celkový zdvih navrhnutého rámu je 30 mm, tento zdvih je na ose zadného kolesa. Ak sa k tomuto zdvihu priradí miesto na pre tlmič na malom ramene napríklad 1/3 z ramena planžetka-os kolesa tak potrebujem tlmič, ktorý má 10 mm zdvihu. Takýchto malých tlmičov sa veľa nepredáva, popravde iba jeden a aj

to od málo známej firmy. Pravdepodobne by sa teda oplatilo pouvažovať nad elastomerom ako tlmiacou jednotkou, ako napríklad elastomer, ktorý používa firma BMC na svojom bicykli Teamlite popísaný v kapitole 4.1.

### 5.3.3 Zostavenie výpočtového modelu daného návrhu

Výpočtový model ako je už vyššie spomenuté obsahuje len zadnú stavbu, planžetku a úchyt spolu so šroubami. V nasledujúcej kapitole budú uvedené a vysvetlené okrajové podmienky pri zostavení výpočtového modelu.

Na začiatku je ukážka systémového prostredia Ansys Workbench spolu s modulom static structural a popisom jeho vstupov, ktoré je nutné zadať pre riešenie daného problému.



Obr. 5.12 Ukážka systémového prostredia Ansys Workbench

#### A) Použité materiáli a súradnicové systémy

Materiáli jednotlivých dielov:

Zadná stavba- Structural steel

Úchyt- Structural steel

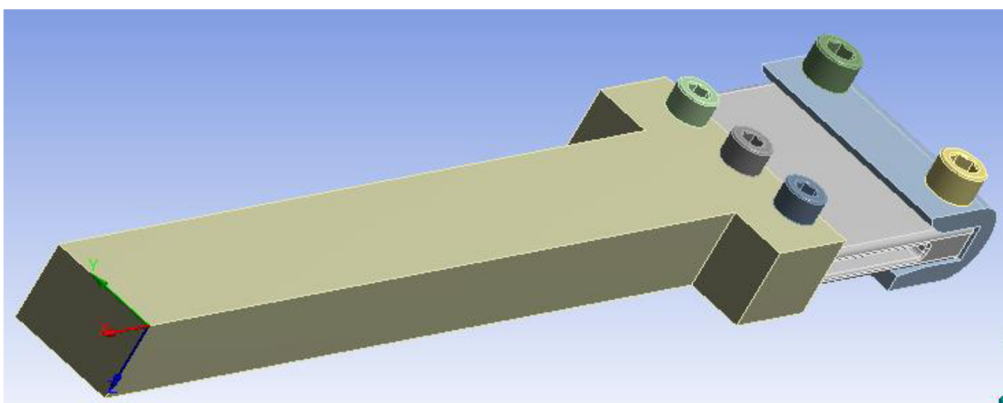
Šrouby- Structural steel

Planžetka- Epoxy carbon woven (230 GPa) prepreg

Všetky použité materiáli sú vybrané z materiálovej knižnice Ansys Workbench.

Súradnicové systémy:

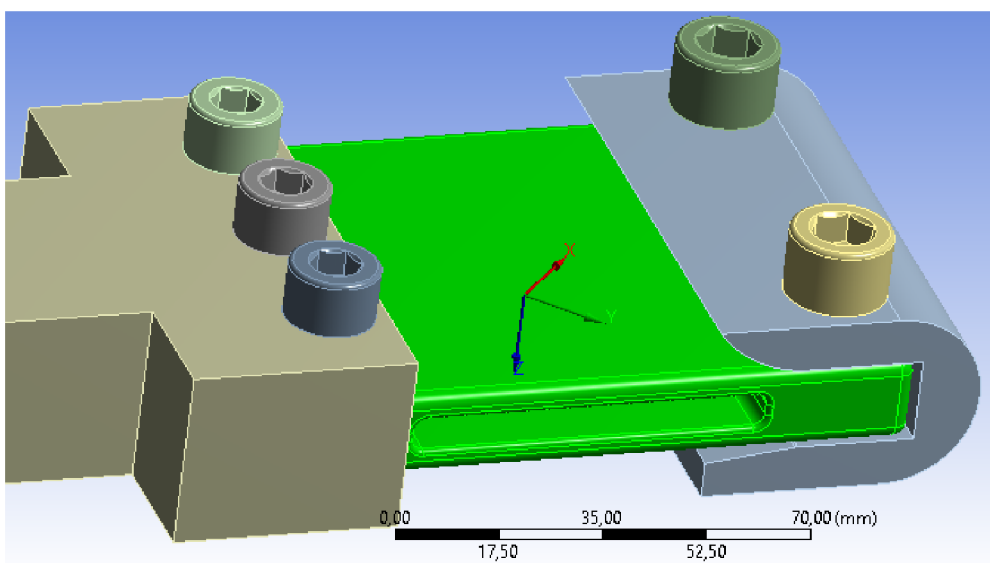
Global coordinate system- súradnicový systém, ktorý si Ansys vytvoril automaticky, jeho osi sú totožné s hranami modelu zadnej stavby. Teda slúži pri zadávaní smerov síl a momentov na zadnej stavbe. Jeho osi sú tiež rovnobežne s hranami planžetky a úchytu



Obr. 5.13 Globálny súradnicový systém

Coordinate system- je súradnicový systém priradený k telesu planžetky. Je definovaný vzhľadom na globálny a dá sa rôzne okolo neho natáčať. Je vytvorený z dôvodu definovania smeru vlákien v planžetke.

Smery vlákien sú totožné so smermi X a Y tohto súradnicového systému. Tiež slúži na určenie napätia v planžetke v daných smeroch X,Y,Z.

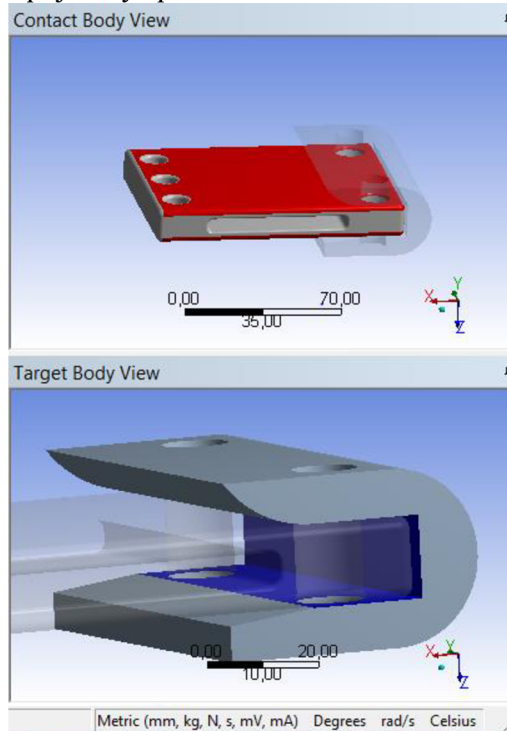


Obr. 5.14 Lokálny súradnicový systém priradený k telesu planžetky

## B) Väzby

Priradenie správnych väzieb medzi telesami je zásadné. Väzby modelu musia reprezentovať reálnu interakciu medzi telesami.

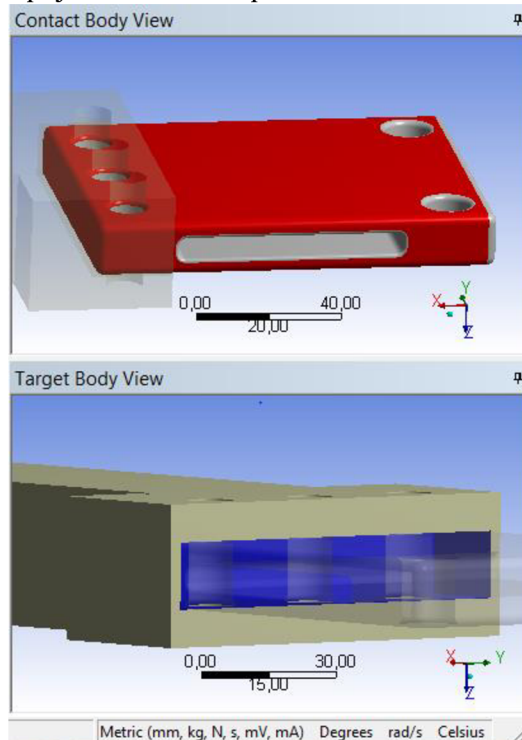
### Spoj úchyt-planžetka:



Ako je viditeľné z obrázku, planžetka je k úchytu prichytená zo spodnej, vrchnej a prednej strany. Na úchyte sú plochy reprezentujúce väzby zafarbené modrou. Z úchytu sú vyňaté plochy zaoblenia a skosenia. Keby bola aj plocha zaoblenia vo väzbe, planžetka by sa voči tejto ploche vôbec nepohybovala, čo v skutočnosti takto nebude, planžetka sa bude okolo zaoblenia ohýbať. To isté platí aj pre plochu skosenia.

Obr. 5.15 Spoj medzi úchytom a planžetkou

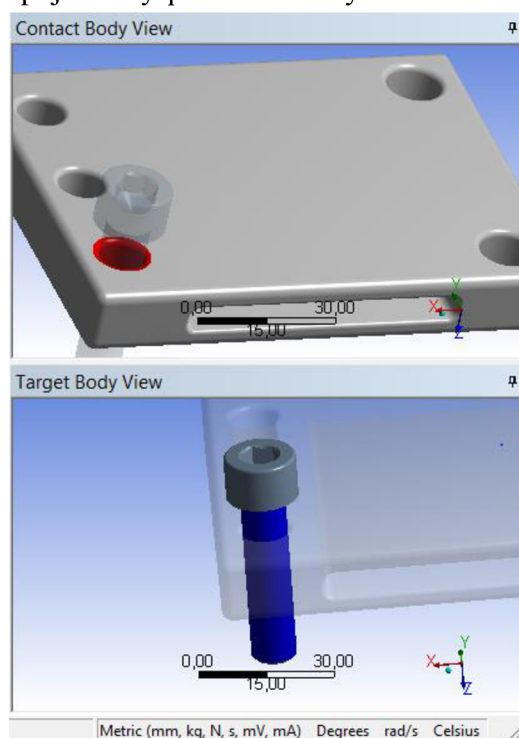
### Spoj zadná stavba-planžetka:



Planžetka je v tomto prípade do zadnej stavby prichytená takmer všetkými plochami. V zadnej stavbe väzbu reprezentujú modro zafarbené plochy tvoriace dutinu.

Obr. 5.16 Spoj medzi zadnou stavbou a planžetkou

## Spoj šrouby-planžetka/úchyt/zadná stavba



Obr. 5.17 Šroubový spoj malý kovový valček s tenkou stenou. Pri zaťažení súčasti teda nedochádza k priamemu kontaktu

šroub-súčasť, ale napätia sa rovnomernejšie rozloží po celej dĺžke diery. Tieto vložky teda pôsobia proti odtláčaniu v okolí spoja.

Ťahová pevnosť materiálu v oslabenom priereze sa zvyšuje zväčšením medzier medzi šroubami alebo použitím viacerých radov šroubov. Zlepšenie situácie v spoji prinesie aj orientácia vlákien pod  $\pm 45^\circ$  uhlom [46].

Vymodelovať takúto vložku a zaväzbyť ju tak, aby väzba zodpovedala nalisovaniu by bolo značne náročné. Preto sa táto vložka vynechá s tým, že napätia v okolí šroubového spoja sa nebudú brať na veľkú váhu z dôvodu nepostihnúť reálnej situácie v okolí spoja.

Všetky väzby sú realizované väzbou bounded (pevný spoj). Dalo by sa povedať, že spoje medzi úchytom/zadnou stavbou a planžetkou by nemali byť pevné, väzby medzi týmito plochami by teoreticky mala byť frictional (trecie) a trenie by zaisťovalo uťahovaním šroubov.

Mechanické spoje kompozitov s inými telesami ale nesú so sebou veľa komplikácií. Použitie šroubu pre zaistenie polohy by nemuselo dopadnúť dobre ani pre planžetku ani pre šroub. Kompozity nie sú schopné plasticky sa deformovať a nemôžu redistribuovať napätie okolo koncentrátorov (v tomto prípade diery pre šrouby). V kritickom mieste teda môžu vznikáť poruchy materiálu ako napríklad medzilaminárne porušovanie [46].

Šrouby sú k planžetke prichytené plochami viditeľnými z obrázku. K úchytu resp. zadnej stavbe sú prichytené k vrchným plochám a tiež k dieram pre šrouby.

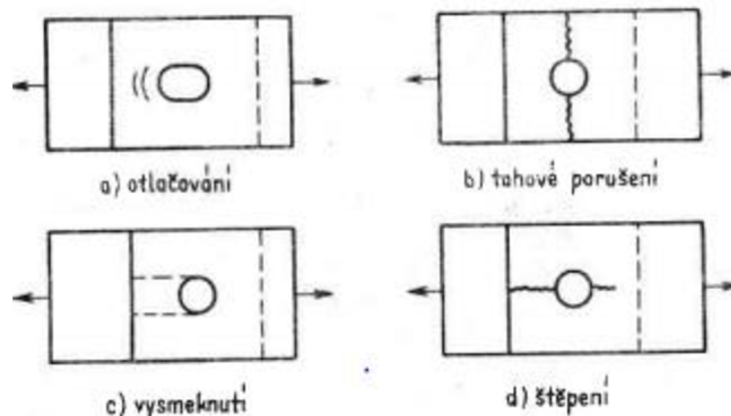
Spájať kompozit pomocou šroubou nie je príliš šťastné riešenie. Neskôr sa ukázalo, že okolie dier pre šrouby v planžetke je najvýznamnejší koncentrátor napätia.

Konkrétne sa jedná o zaoblenia v dierach pre šrouby. Napätia sú tam také vysoké, že človek by si mohol myslieť, že sa jedná o výpočtovú chybu. Opak je však pravdou.

Kompozitné materiály majú oveľa vyššie súčinitele vrubu ako bežné kovové materiály [46]. Teda na zaobleniach v týchto dierach vzniká veľmi vysoké napätie.

Tento problém sa odstraňuje tak, že sa do dier v kompozitnej súčiastke nalisuje malý kovový valček s tenkou stenou. Pri zaťažení

Pre zlepšenie únosnosti spoja sa teda volia spoje kombinované. Ide o kombináciu šroubového spoja a lepeného spoja. Lepidlo by v tomto prípade prišlo na plochy medzi úchytom/zadnou stavbou a planžetkou. Lepenie znižuje tendenciu spoja k vyšmyknutiu a šroubový spoj znižuje náchylnosť k porušeniu adhéznej súdržnosti. Kombinácia oboch spôsobov teda vedie k zvýšeniu bezpečnosti spoja [35]. Tejto kombinácii spoja už zodpovedá väzba bounded.

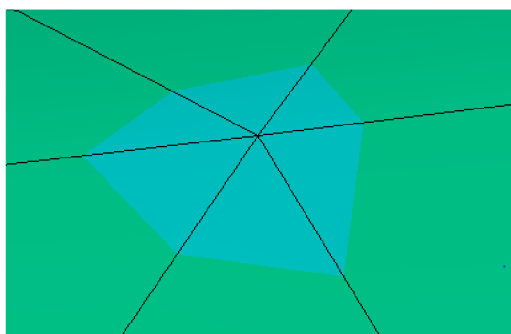


Obr 5.18 Príklady spôsobov porušovania mechanických spojov kompozitov [46]

### C) Sieť

Sieť je vytvorená na všetkých telesách. Špeciálna pozornosť sa samozrejme venuje planžetke teda tej je priradená oveľa jemnejšia sieť. O niečo hrubšia sieť oproti planžetke je priradená aj zadnej stavbe, keďže sa ukázalo, že aj kvalita tejto siete má vplyv na veľkosť deformácie na konci zadnej stavby.

Ani jemná sieť však nezabránila výskytu chýb. Chyby sa objavovali v miestach uzlov, kde sa jednotlivé strany prvkov siete spájali v jeden. Občasne tu vznikal veľmi lokálny a nesymetrický nárast napätia len v okolí uzlu, takýto nárast napätia sa dá považovať za chybu siete, keďže veľkosť tejto oblasti je oveľa menšia ako veľkosť prvku.



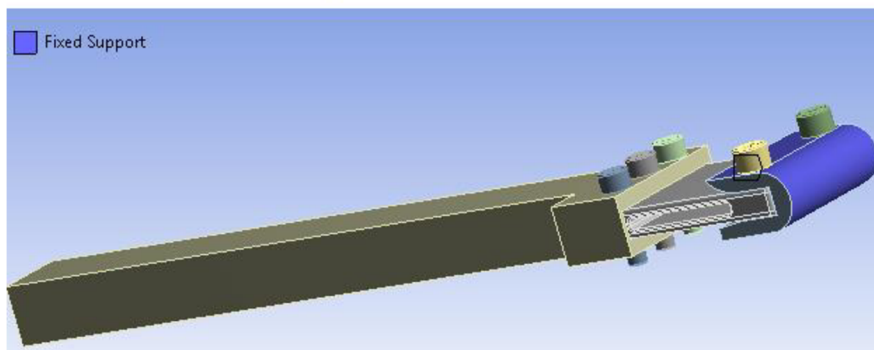
Obr. 5.19 Lokálny nárast napätia v okolí uzlu siete

#### D) Okrajové podmienky

Okrajové podmienky sa týkajú zadania uchytenia modelu a zadania miesta a smeru zaťažovacej sily.

Uchytenie modelu: celý model ktorý sa zaťažuje je prichytený úchytom k hlavnému rámovému trojuholníku. Keďže sa predpokladajú tuhé telesá úchytu a hlavného rámového trojuholníka, ich vzájomný spoj je tiež dokonale tuhý a teda väzba na úchyte môže byť fixed (vetknutie).

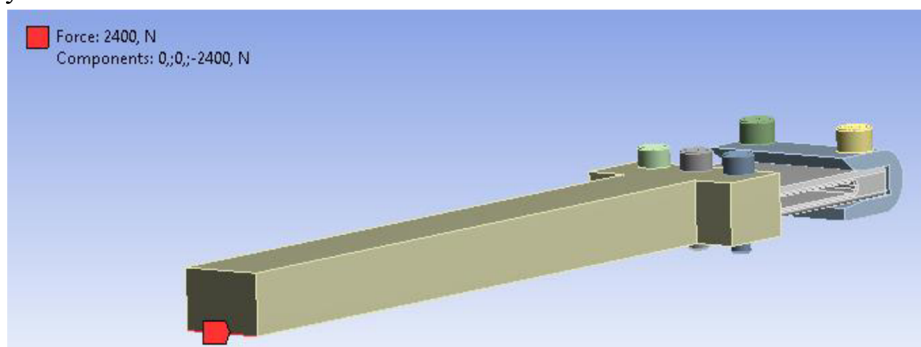
Zadná stavba sa otáča pomocou planžetky voči hlavnému rámovému trojuholníku a úchytu. Vetknutie úchytu a zaťaženie len zadnej stavby je teda opodstatnené.



Obr. 5.20 Uchytenie modulu pomocou väzby fixed (vetknutie)

Umiestnenie sily: pri náraze prekážky a kolesa pôsobí na koleso sila. Táto sila je prenesená aj na osu zadného kolesa a spôsobuje priehyb planžetky. Časť tejto sily roztáča koleso, prípadne spôsobuje krut a ohyb zadnej stavby v smere, v ktorom by sa teoreticky mechanizmus odpruženia pohybovať nemal, tiež spôsobuje ťah/tlak zadnej stavby.

Pre prvotnú predstavu je sila umiestnená na osu zadného kolesa (teda na zadnej stavbe) a skúma sa len ohyb planžetky v smere, v ktorom sa mechanizmus odpruženie môže pohybovať.



Obr. 5.21 Umiestnenie zaťažovacej sily na osu zadného kolesa

Veľkosť zaťažovacej sily vychádza z úvahy o SAG-u. SAG je hodnota stlačenia zadného odpruženia vyvolaná len reakčnou silou pôsobiacou na zadné koleso vplyvom



tiaže jazdca. SAG by sa mal pohybovať v hodnotách okolo 25%. Pri jazdcovi vážiacom 90 kg by mohla byť reakčná sila na zadné koleso okolo 600 N, teda 2/3 tiaži jazdca.

Prečo práve 2/3? Tiažová sila pôsobí v ťažisku jazdca. Poloha jazdca na bicykli je vždy viac posunutá smerom na zadné koleso. Čím bližšie je tiažová sila k zadnému kolesu, tým väčšia je reakcia pôsobiaca na zadné koleso. Problém je ale v rôznorodosti pôsobiska tiažovej sily, to závisí na telesných proporciách jazdca, na polohe jazdca voči bicyklu, teda posedu, záleží tiež na posunutí sedadla voči sedlovke a v neposlednom rade aj na vysunutí sedlovky z rámu. Pôsobisko tiažovej sily sa môže veľmi odlišovať a záleží na individuálnom nastavení bicykla.

Ďalším predpokladom je lineárny priebeh sily a stlačenia mechanizmu odpruženia, ktorý sa pri jednočapovom odpružení dá očakávať. Teda sila 600 N by mala vyvolať 25% stlačenia odpruženia, z toho vyplýva, že sila 2400 N by mala vyvolať 100% stlačenia odpruženia. Na osu zadného kolesa bude teda pôsobiť sila 2400 N a podľa nej sa bude dimenzovať geometria planžetky za cieľom dosiahnuť maximálny priehyb za pôsobenia čo najnižších napätí.

### E) Výstupné veličiny

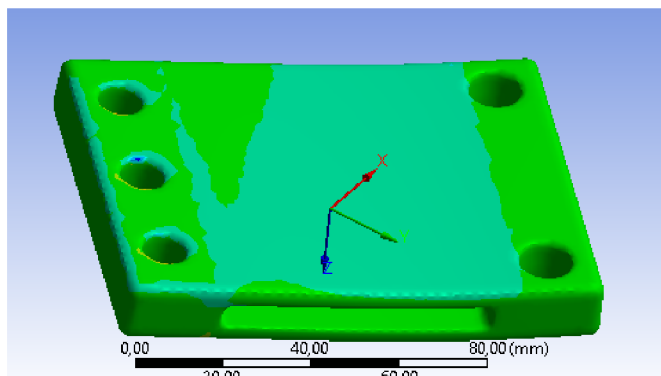
Výstupnými veličinami je deformácia na osi zadného kolesa a napätia v planžetke. Podľa teórie maximálneho napätia dochádza k porušeniu materiálu vtedy, ak v hlavných materiálových osách (teda osách kde sú vlákna) prestúpi napätie príslušnú dovolenú hodnotu napätia- medzu pevnosti. [46]

Napätia je teda nutné zistiť v smeroch kde sú vlákna a porovnať ich s medzou pevnosti. Je nutné použiť coordinate system priradený k planžetke a merať napätia jednotlivo v smeroch X,Y,Z. Smery X,Y zodpovedajú smerom, v ktorých sú orientované vlákna, smer Z je smer kolmý na rovinu týchto vlákien.

The image shows a software interface with a tree view on the left and a details panel on the right. The tree view shows a solution named 'Solution (B6)' with several sub-items: 'Solution Information', 'Normal Stress', 'Total Deformation', 'Total Deformation 2', 'Normal Stress 2', and 'Normal Stress 3'. The 'Normal Stress' item is selected, and a red arrow points from it to the 'Details of "Normal Stress"' panel. The details panel has two sections: 'Scope' and 'Definition'. The 'Scope' section includes 'Scoping Method' (Geometry Selection) and 'Geometry' (1 Body). The 'Definition' section includes 'Type' (Normal Stress), 'Orientation' (Y Axis), 'By' (Time), 'Display Time' (Last), and 'Coordinate System' (Coordinate System). A red arrow points from the 'Coordinate System' field to the text on the right. The text on the right says: 'Zisťovanie napätia v smere Y, podľa súradnicového systému priradeného k planžetke'.

Details of "Normal Stress"	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Type	Normal Stress
Orientation	Y Axis
By	Time
<input type="checkbox"/> Display Time	Last
Coordinate System	Coordinate System

Obr. 5.22 Ukážka výstupných veličín



Obr. 5.23 Súradnicový systém podľa ktorého sa zisťujú napätia v smere vlákien X a Y

## 5.4 Zhodnotenie výpočtového modelu

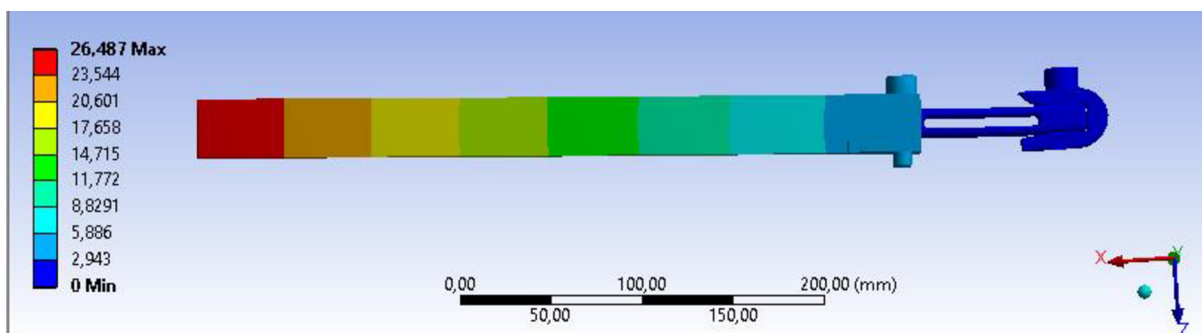
### 5.4.1 Vplyv natočenia vlákien na deformáciu a napätia

Natočenie vlákien je spôsob ako meniť napät' o-deformačnú odozvu telesa pri zachovaní jeho geometrie. Rôzne natočenia vlákien vzhľadom na pevný súradnicový systém zodpovedajú vždy iným odozvám materiálu na zaťaženie.

Keďže je pre daný model vybraný ako materiál karbónová pletenina, nie vrstva s vláknami v jednom smere je najvhodnejšie kvôli symetrii uvažovať vlákna v smere  $0^\circ/90^\circ$  alebo v smere  $+45^\circ/-45^\circ$ . Keby sú vlákna natočené pod inými uhlami ako sú uvedené, do modelu by sa vniesla nesymetria a napätia a deformácie by boli silne nesymetrické vzhľadom na osu prechádzajúcu stredom modelu, čiže jedna strana planžetky by sa deformovala viac ako druhá a teda celá zadná stavba by sa skrútila aj keď zaťaženie a geometria modelu by boli symetrické vzhľadom na túto strednicu.

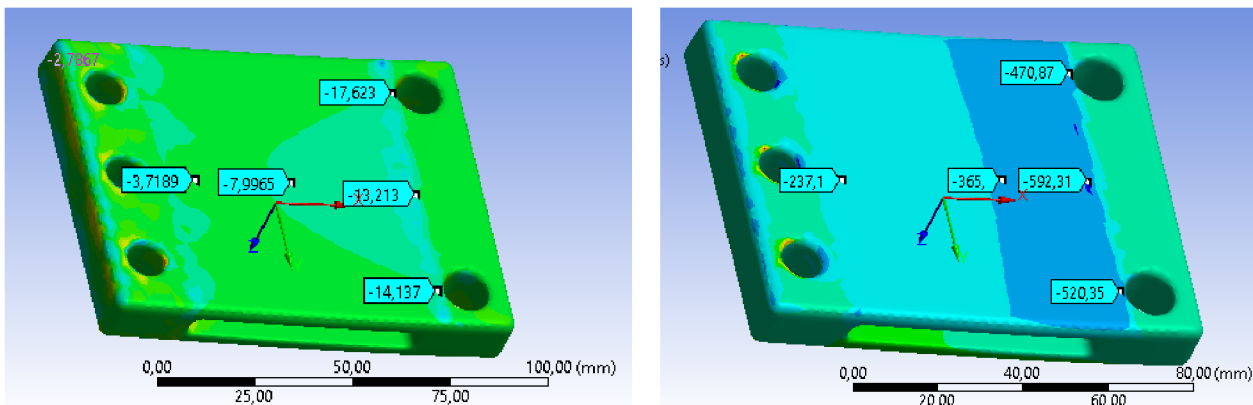
Pri uvádzaní vplyvov natočenia vlákien je model zaťažený silou 2400 N v smere kolmom na zadnú stavbu, čiže proti smeru Z (globálneho súradnicového systému). Ide teda o maximálnu silu, ktoré je ešte odpruženie schopné absorbovať predtým ako nastane doraz a tlmič sa stlačí úplne.

#### A) Vlákna natočené pod uhlami $0^\circ/90^\circ$



Obr. 5.24 Priehyb zadnej stavby pri deformácii planžetky

Z obrázku 5.24 je viditeľné, že maximálny priehyb je na osy zadného kola (červená oblasť). Konkrétne je tento priehyb 26,487mm, čo je pomerne málo.

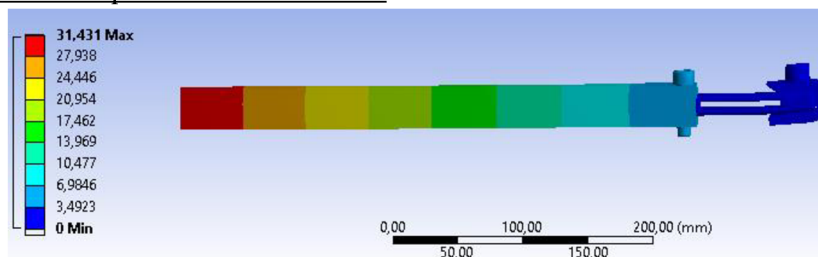


a) b)  
Obr. 5.25 Rozloženie napätia v smeroch X (b) a Y(a) (hodnoty napätia sú v MPa)

Z obrázku 5.25 je evidentné rozloženie napätia v dvoch na seba kolmých smeroch. V smere kolmom na vektor ohybového momentu je napätie maximálne. Dokonca presiahlo aj medza pevnosti čiže materiál by takého zaťaženie nevydržal.

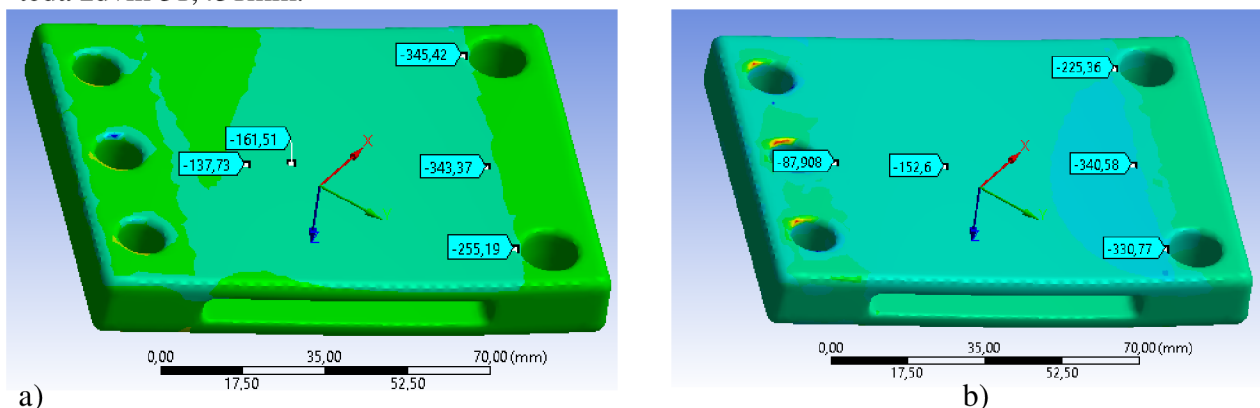
Naopak, vlákna, ktoré majú smer rovnobežný so smerom vektoru ohybového momentu takmer nie sú zaťažené. Pri pôsobení ohybového momentu sa tieto vlákna nepodieľajú na prenose zaťaženia a teda sú v planžetke úplne zbytočné. Všetko zaťaženie absorbujú vlákna v smere X a teda je evidentné, že napätia v nich sú vysoké. Pre daný typ natočenia vlákien by bolo treba upraviť rozmery planžetky tak, aby sa napätia znížili a boli v bezpečnej oblasti

#### B) Vlákna natočené pod uhlami $+45^\circ/-45^\circ$



Obr. 5.26 Priehyb zadnej stavby pri deformácii planžetky

Pri natočení vlákien o  $45^\circ$  je evidentné, že priehyb sa zvýšil. Na osi zadného kola je teda zdvih 31,431mm.



a) b)  
Obr. 5.27 Rozloženie napätia v smeroch X (a) a Y(b) (vyznačené hodnoty napätia sú v MPa)

Pomocou daného natočenia vlákien sa dosiahlo rovnomernejšieho rozloženia napätia v oboch smeroch. Napätia v smere X a Y sa jemne líšia, čo môže byť spôsobené nedokonalosťou vytvorenej siete.

Je evidentná tiež symetria týchto napätí. V smere X napätie postupne klesá v pohľade na obrázok 5.27 zhora dole. V smere Y naopak napätie klesá zdola hore. Oboje napätia sú bezpečne nízko voči medzi pevnosti ktorá v tlaku dosahuje -509 MPa.

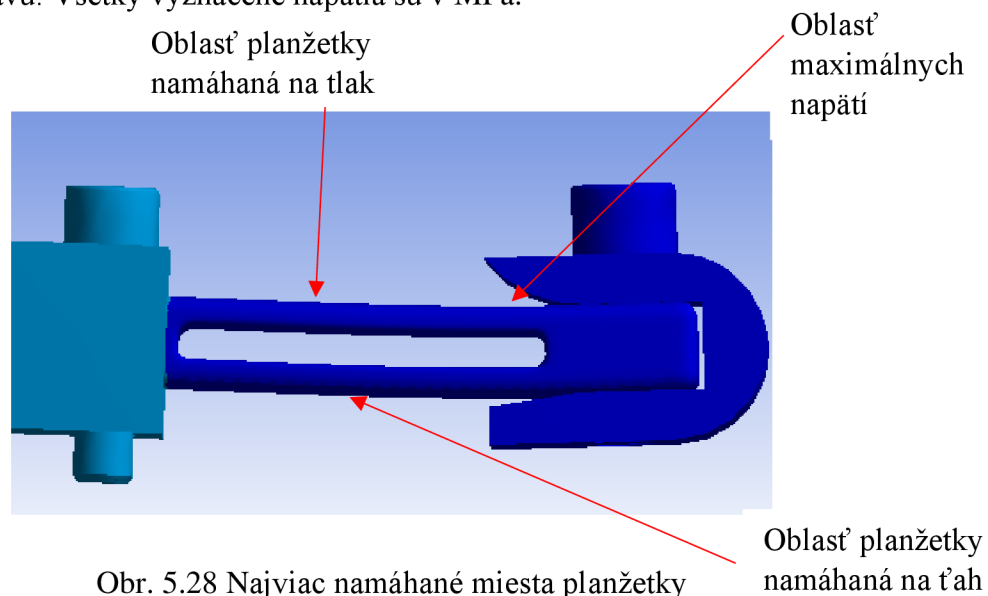
Z oboch prípadov natočenia vlákien je viditeľný rozdiel. Pri použití vlákien v smere  $0^\circ/90^\circ$  je konštrukcia tuhšia, čiže sa menej deformuje, zároveň ale vlákna v smere rovnobežnom na vektor ohybového momentu nie sú príliš zaťažené. Naopak vlákna kolmé na vektor ohybového momentu sú zaťažené až príliš. Bola by teda potrebná úprava geometrie. Ak je teda konštrukcia navrhovaná na čo najväčšiu tuhosť, je vhodné použiť na povrchu telesa vlákna kolmé na smer vektoru ohybového momentu (ak je konštrukcia namáhaná momentom).

Pre konštrukciu, kde sa vyžaduje čo najvyššia poddajnosť je vhodné na povrchu telesa mať vlákna sklonené pod uhlom  $+45^\circ/-45^\circ$  voči smeru vektoru ohybového momentu. Zároveň sa tak zlepši aj prenos napätia a oba smery sú zaťažené približne rovnako, tiež celková hodnota napätia sa zníži a teleso je menej namáhané.

Pre model planžetku sú teda vybrané vlákna v smere, v ktorom sú najpoddajnejšie. Teda v smere  $+45^\circ/-45^\circ$ . Daná konfigurácia vlákien sa bude zaťažovať a zistia sa odozvy planžetky na rôzne typy zaťaženia.

#### 5.4.2 Detailný rozbor napätí pri zaťažení planžetky na ohyb

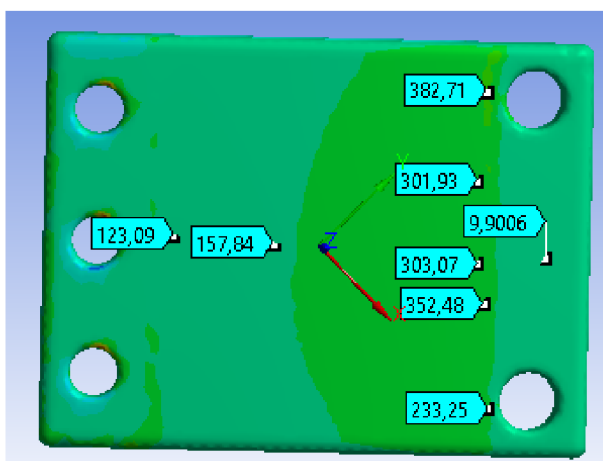
Je nutné uviesť hodnoty napätí pri zaťažení planžetky. Pri zaťažení planžetky na ohyb sa v podstate simuluje chod odpruženia zadnej stavby. Ohyb je najpravdepodobnejší zaťažovací stav, ktorý bude s istotou nastávať pri prechode bicykla nerovnosťami. Zaťažovacia sila pôsobí na osi zadného kola v smere proti ose Z globálneho súradnicového systému a má veľkosť 2400 N čo by malo viesť odpruženie do plne stlačeného stavu. Všetky vyznačené napätia sú v MPa.



Obr. 5.28 Najviac namáhané miesta planžetky

### A) Ťahová oblasť

V ťahovej oblasti planžetky sú maximálne napätia na hrane úchyty, kde je planžetka už pevne spojená s úchytom. Maximum vykazuje oblasť pri diere na šroub. V smere Y je táto oblasť maxima v pohľade na obrázok 5.29 hore, v smere X je táto oblasť symetricky preklopená podľa strednice planžetky smerom dole. Oblasť, kde je planžetka vložená v zadnej stavbe a v úchyte vykazujú nízke hodnoty napätia.



Obr. 5.29 Ťahová oblasť planžetky

### B) Tlaková oblasť

V tlakovej oblasti sú napätia o kúsok nižšie ako v ťahovej oblasti. Tlaková oblasť je však nebezpečnejšia keďže medza pevnosti v tlaku je zhruba o 300 MPa nižšia ako medza pevnosti v ťahu. Najvyššie hodnoty napätia vykazuje oblasť pod zaoblením úchyty, znova kritické miesto je okolo dier pre šrouby.

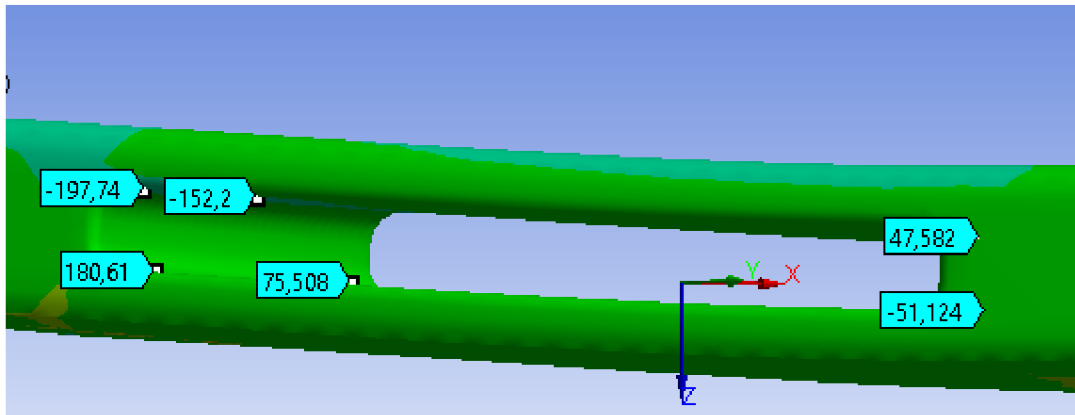
Dané napätia sú pre smer X, smer Y by mal zase symetricky podľa strednice maximálne napätia pri pohľade na obrázok 5.30 pri dolnej diere pre šroub. Oblasť vloženia planžetky sú znova v poriadku.



Obr. 5.30 Tlaková oblasť planžetky

### C) Oblasť dutiny

Oblasť dutiny planžetky je zaujímavá. Napätia v nej síce neprevyšujú maximálne napätia na iných oblastiach, zaujímavé je rozloženie napätia. Maximálne hodnoty vykazuje oblasť dutiny pri zadnej stavbe, nie pri úchyte kde je maximálny ohybový moment. Toto napätie má maximálnu hodnotu v tlakovej oblasti. Znova, tieto hodnoty sú uvedené pre jeden smer, v smere druhom by bolo napätie symetrické vzhľadom na strednicu planžetky.

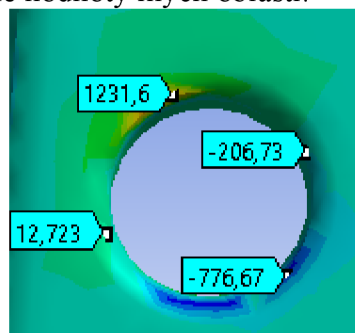


Obr. 5.31 Napätia v oblasti dutiny planžetky

### D) Oblasť zaoblenia šroubov

Oblasti zaoblenia šroubov na planžetke sa ukázali ako kritické miesta. Hodnoty napätia v nich sú extrémne a prevyšujú medzu pevnosti. Súhlasí to ale s teóriou uvedenou v kapitole 5.3.3 B) kde je uvedené, že súčinitele vrubu sú pre kompozity omnoho vyššie ako pre bežné konštrukčné materiáli. Oblasť šroubov je ako je tiež uvedené vo vyššie spomínanej kapitole otázna, a zrejme by sa musela konštrukčne vymyslieť inak ako je to uvedené v danej kapitole.

Extrémne hodnoty napätia však vykazujú len zaoblenia na dierach pre šrouby pri zadnej stavbe, zaoblenia pre šrouby pri úchyte sú čo sa týka napätí v bezpečnej oblasti a neprevyšujú maximálne hodnoty iných oblastí.

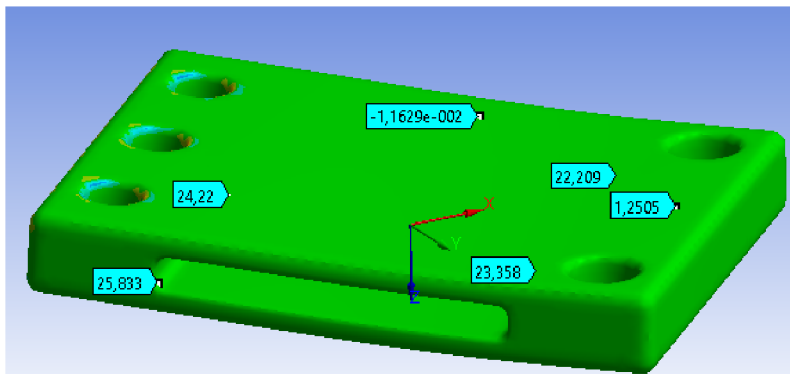


Obr. 5.32 Napätia v oblasti zaoblenia šroubov

### E) Napätia v smere osi Z

Všetky uvedené napätia boli uvedené pre smery, v ktorých sú vlákna. Je však aj smer, v ktorom vlákna nie sú a materiál má v tomto smere medza pevnosti. Jedná sa o smer kolmý na rovinu XY teda na rovinu vlákien.

V tomto smere vydrží materiál najmenej zaťaženia. Kritická je medza pevnosti v ťahu, ktorá dosahuje hodnotu iba 50 MPa. Na obrázku uvedenom nižšie sú zobrazené maximálne hodnoty napätia v smere Z. Tieto napätia však nie sú až príliš vysoké a kritickejšie miesto je stále tlaková oblasť pod zaoblením úchyty.



Obr. 5.33 Napätia v smere Z

### 5.4.3 Odozva planžetky na rôzne typy zaťažovania

Planžetka je v reálnej situácii namáhaná rôznymi typmi zaťaženia. Predovšetkým však ide o ohyb, ktorý je už uvedený v kapitole 5.3.2. Okrem toho je planžetka vždy namáhaná na tlak/ťah vplyvom toho, že zadná stavba nie je dokonale rovnobežná s podložkou. Je pod istým uhlom.

V prvotnej fáze zdvihu vytvára istá zložka sily, ktorá pôsobí zvislo hore na koleso tlakové zaťaženie planžetky. V neskoršej fáze zdvihu má táto zložka ťahový účinok na planžetku. Okrem toho, pri zatačaní bicykla pôsobí od podložky na koleso odstredivá sila, ktorá spôsobuje krútenie a tiež ohyb planžetky.

#### A) Reakcia planžetky na ťah/tlak

Zadná stavba je zaťažená silou 2400 N v smere s a proti osi X globálneho súradnicového systému. Veľkosť tejto sily v reálnej situácii nebude pravdepodobne až taká veľká, planžetka však na ťah/tlak reaguje dobre a teda pre predstavu je táto hodnota sily korektná.

Maximálne napätie ťah: 6,8 MPa, smer X, oblasť pri dierach pre šrouby v úchyte.

Maximálne napätie tlak: -6,8 MPa, smer X, oblasť pri dierach pre šrouby v úchyte.

Napätia v smeroch X a Y by sa teoreticky vďaka symetrii rovnali, vplyvom n edokonalosti siete je ale maximálne napätie v smere X.

#### B) Reakcia planžetky na ohyb v smere horizontálnom

Horizontálnym smerom ohybu sa rozumie ohyb kolmý na predpokladaný pohyb odpruženia teda vektor ohybového momentu má zhodný smer so smerom Z globálneho súr. systému. Sila 2400 N pôsobí v smere osi Y globálneho súr. systému. Hodnota tejto sily je tiež len orientačná, pravdepodobne nebude v reálnej situácii takto vysoká.

V reálnej situácii ju pri bežnej jazde nemá čo spôsobiť, táto sila pôsobí na osu kolesa len v situácii, kedy jazdec zatača, a teda sila pôsobiaca od podložky na koleso je

ekvivalentne prevedená na krútiaci moment a silu pôsobiacu na os kola. Ohyb v horizontálnom smere však demonštruje tuhosť planžetky v danom smere. Ohyb vo vertikálnom smere pri sile 2400 N vyvolá veľký priehyb na osi zadného kola a teda vytvára odpruženie zadného kola vo vertikálnom smere.

Priehyb osi zadného kola v horizontálnom smere: 2,51 mm

Maximálne napätie: -185 MPa, oblasť bočnej strany planžetky pri úchyte

Je teda vidieť rozdiel medzi ohybom vertikálnym a horizontálnym pri pôsobení rovnakej sily. Zatiaľ čo vertikálny ohyb vytvára veľký ohyb v ose kola, horizontálny ohyb vytvára malý priehyb v ose kola. Napätia sú však väčšie pri vertikálnom ohybe.

### C) Reakcia planžetky na silu pri zatáčaní

Sila pri zatáčaní pôsobí na spodnú stranu kola. Vytvára ju podložka a táto sila je odostredivá. Vzhľadom na zadnú os kola vytvára táto sila krútiaci moment. Vzhľadom na planžetku táto sila spôsobuje krútenie a ohyb v horizontálnom smere. Os kola je teda v tomto prípade zaťažená krútiacim momentom (smer vektoru je v smere X glob. súr. sys.) a silou v smere osi Y globálneho súradnicového systému.

Veľkosť tejto sily je v tomto prípade len 600 N, je otázna aká veľká sila pôsobí na kolo pri zatáčaní. Záleží na tom, či jazdec pri zatáčaní brzdí alebo zatáča pomocou riadeného šmyku, tiež záleží na type podkladu a pod akým uhlom ja jazdec voči podložke pri zatáčaní sklonený. Sila o veľkosti 600 N je možno chybná ale dobre poslúži pre predstavu chovania sa planžetky pri danom zaťažení.

Výpočet krútiaceho momentu pôsobiaceho na os kola:  $F=600\text{ N}$   $d=740\text{ mm}$

$$M_k = F \cdot \left(\frac{d}{2}\right) = 600 \cdot \left(\frac{740}{2}\right) = 222\text{ Nm}$$

Maximálne napätie: 16 MPa, smer Z, oblasť dutiny

Maximálne napätie síce nie je vysoké, ale je v smere Z, ktorý je na hodnoty napätia najcitlivejší. V smeroch X a Y sa pohybujú napätia tesne pod -100 MPa. Táto kombinácia namáhania je najhoršia pre planžetku. Už pri nízkej hodnote sily sú napätia relatívne vysoké. Otázkou je však hodnota zaťažovacej sily, ktorá v realite môže byť nižšia.

#### **5.4.4 Závislosť priehybu na zaťažovacej sile**

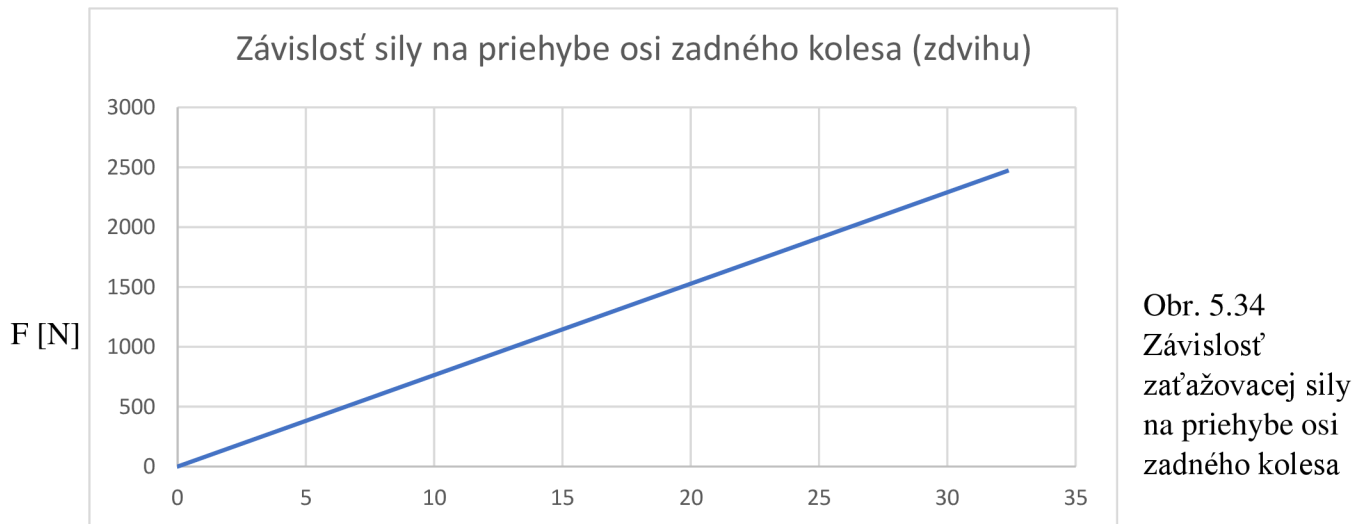
Pri jednočapovom systéme odpruženia sa očakáva lineárna závislosť sily na zdvihu zadného kola pri použití lineárneho tlmiča (pružinového). Pri použití vzduchového tlmiča je táto závislosť nelineárna a nelinearitu spôsobuje nelineárna závislosť sily potrebnej na stlačenie tlmiča vzhľadom na stlačenie tlmiča.

Predpokladom je sila, ktorá pôsobí na osu zadného kola a spôsobuje vertikálny ohyb.



Tab. 5.1 Hodnoty priehybu zadnej stavby pri zaťažovacej danej sile

Zaťažovacia sila [N]	0	600	1200	1800	2400
Priehyb na osi zadného kolesa (zdvih) [mm]	0	7,85	15,71	23,57	31,43



Priehyb planžetky a teda aj osi zadného kolesa sa teda voči zaťažovacej sile správa lineárne.

#### 5.4.5 Únavové vlastnosti planžetky

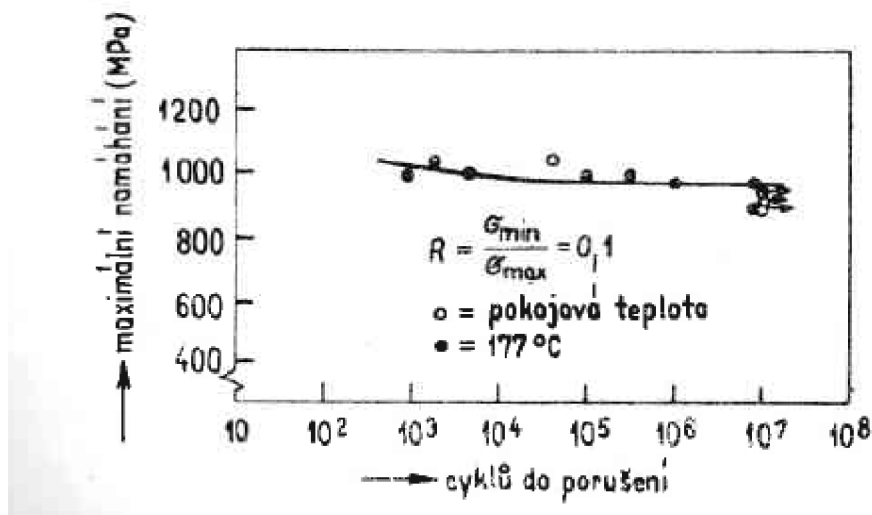
Počas jazdy na bicykli sa mechanizmus odpruženia pohybuje prakticky celú dobu jazdy. Preto je dôležité pri návrhu planžetky myslieť aj na možnosť únavového porušenia. Problémom ale je určiť záťažný cyklus. Samozrejme, že pre planžetku je najhoršie, keď je odpruženie stlačené na doraz a teda sila pôsobiaca na zadné koleso je maximálna.

Stlačiť odpruženie na doraz ale nie je bežnou záležitosťou, vyskytuje sa skôr ojedinele. Pri jazde trávi odpruženie maximálny čas v hodnote SAG-u, teda keď ako záťaž na koleso pôsobí iba časť hmotnosti jazdca. Reálne je však predpokladať, že záťažných cyklov, kedy bude odpruženie stlačené na 50% zdvihu je prakticky dost na to, aby sa napätia, ktoré spôsobia deformáciu planžetky pri danom zdvihu dali pokladať ako záťažný cyklus.

Problémom únavy kompozitov je stanovenie empirických vzťahov pre únavovú životnosť. Zdroj [46] uvádza, že tieto funkcie musia byť stanovené experimentálne. Materiálové konštanty, ktoré sa používajú pre kovové materiály sa v prípade kompozitov nedajú účinne nahradiť.

Zdroj [46] tiež uvádza, že kompozity vystužené uhlíkovými vláknami a spevnené polymérnou maticou majú výbornú únavovú životnosť. S-N krivky únavového života týchto materiálov sú oveľa plochejšie ako S-N krivky stanovené pre kovové materiáli.

Experimenty ukázali, že únavové porušenie nastane iba v tých prípadoch kedy vzorky boli vystavené napätiu blízkemu statickej pevnosti, vnútri rozptylu statickej pevnosti. Napätia hlboko pod medzou pevnosti by teda mali teoreticky byť relatívne bezpečné voči únavovému poškodeniu. Výborné únavové vlastnosti týchto kompozitov vychádza z ich stability voči okolnému prostrediu [46].



Obr. 5.35 Únavová S-N krivka jednosmerného uhlík-epoxidového kompozitu [46]

Napätia pri 50% zdvihu odprużenia sú v smeroch X a Y zhruba -179 MPa a v smere Z zhruba 11,8 MPa. Sú teda oveľa nižšie ako je medza pevnosti a teda by planžetka mala byť voči únave relatívne bezpečná.

Otázkou ale je, aká veľká je chyba pri predpoklade, že cyklov nad 50% zdvihu je zanedbateľné množstvo. Táto otázka vnáša do celkovej bezpečnosti planžetky otáznik. Odpoveď na danú otázku by zrejme prinieslo až experimentálne určenie únavových charakteristík danej konfigurácie vrstiev a smerov vlákien v planžetke.

#### 5.4.6 Zhodnotenie modelu

Hlavným výstupom modelu je priehyb na ose zadného kolesa. Konkrétne má hodnotu zhruba 31mm. 31mm je však celkovo málo. Už existujúce riešenie uvedené v kapitole 4.2.1 pomocou jednočapu má na zadnej ose kolesa zdvih 60mm. Pružnú časť má ale tento bicykel riešenú pomocou titánovej zliatiny. Titánové zliatiny majú odlišné materiálové vlastnosti ako karbón, a teda takýto priehyb pružného prvku súvisiaci aj s vysokými napätiami zvláda.

Celkovo teda jednočapové riešenia s pružným prvkom nedosahujú také zdvihy ako napríklad štvorčapové riešenia.

Pri štvorčapových riešeniach sa väčšinou nahradzuje rotačná väzba pri zadnej ose. Táto rotačná väzba sa v priebehu chodu mechanizmu odprużenia otáča spravidla veľmi málo. Keď sa teda táto väzba nahradí pevným spojením, deformácia v danom mieste nemusí byť príliš veľká. Navyše, deformovať sa môže celá sedlová vzpera, deformácia nemusí byť, ako je to v prípade tejto práce koncentrovaná na malej dĺžke

pružného prvku. Rovnomerným rozložením deformácie pozdĺž celej sedlovej vzpery vznikne na jej konci značný priehyb ktorý je potrebný na chod odpruženia.

Pri štvorčapovom systéme teda deformácia a teda napätia nemusia byť také vysoké, a teda daný bicykel je bezpečný a veľmi dobre funkčný a zároveň môže zdvih dosahovať hodnoty aj nad 100 mm

Otázkou je aj použitie karbónu ako materiálu pružného prvku. Pri použití karbónu sa do riešenia vnáša veľa zjednodušujúcich predpokladov. Je otázne ako veľmi tieto predpoklady znehodnocujú výsledné riešenie. Nevýhodou karbónu je aj absencia únavových charakteristík, ktoré v tomto prípade nie sú vôbec vyriešené a teda do riešenia tiež pridávajú značnú mieru neistoty. Zároveň je ale karbón veľmi atraktívny materiál v cyklistike, aj keď jeho zvládnutie pri výrobe a návrhu bicykla je oveľa zložitejšie ako pri použití bežných konštrukčných materiálov.

Celkovo sa model musel upraviť tak, aby bezpečnosť vzhľadom na istú mieru neistoty bola zodpovedajúca. Model do istej miery nevystihuje úplne reálnu situáciu. Pomocou modelu sa teda vytvoril celoodpružený bicykel, ktorý na chod mechanizmu odpruženia nepotrebuje žiadne ložiská a čapy, tým sa šetrí váha a potrebný servis ložísk. Rotačnú väzbu nahradil pružný prvok z karbónu, ktorý svojím priehybom umožňuje chod zadnej stavby a teda bicykel má na osi zadného kolesa istý zdvih.

## Záver

Práca rozoberá základné pojmy súvisiace s konštrukciou bicykla, tiež sa detailne venuje mechanizmom odpruženia a charakteristikám odpruženia.

Dôležitou kapitolou pre návrh modelu bola druhá kapitola rozoberajúca zaťaženie bicykla pri jazde, rozoberala silové zaťaženie rámu a z toho vyplývajúce napätia. Tiež sú viditeľné najviac namáhané časti rámu bicykla.

Kompozitné materiáli rozoberá kapitola tri. Bolo zásadné pochopiť, ako kompozity ako ortotropné materiály reagujú na zmeny v ich materiálovom zložení a natočení vlákien v jednotlivých vrstvách. Ukázané sú aj explicitné tvary rovníc pre výpočet najdôležitejších materiálových konštánt v daných smeroch v závislosti na materiálovom zložení kompozitu a objemovom zložení kompozitu. Všetky tieto rovnice boli odvodené pre dvojzložkový kompozit s vláknami usmernenými v jednom smere. V praxi sa však kompozit používa vo forme laminátovej vrstvy, kde sú jednotlivé vrstvy voči sebe otočené pod rôznymi uhlami. Aj pre laminátovú vrstvu sú odvodené vzťahy pre určenie materiálových konštánt, ich odvodenie je ale zložité a v práci by toto odvodzovanie bolo neopodstatnené.

Inšpiráciu pre vlastný návrh sa stali niektoré rámy bicyklov spomenuté v kapitole štyri, ktorá sa venuje už existujúcim bicyklom využívajúcich pružný prvok ako súčasť mechanizmu odpruženia. Jedná sa o veľmi aktuálnu tému. V čase, keď sa zadávalo zadanie práce boli známe iba bicykle, ktoré mali pružný prvok z karbónu a bolo ich len niekoľko. V priebehu práce na práci sa množstvo bicyklov využívajúcich danú technológiu rapídne zväčšilo. Pribudli aj bicykle nie len z karbónu ale aj z hliníkovej, titánovej, oceľovej zliatiny. Je otázne ako by sa teoreticky mohlo zmeniť zadanie, keby sa dané bicykle objavili skôr. Možno by bolo zaujímavé vzájomne porovnávať pri rovnakom modeli pružné prvky z rôznych materiálov. Sledovať pri tom deformáciu akú vykazujú pri pôsobiacom napätí.

Výsledkom práce je navrhnutý model a jeho výpočtové zhodnotenie. Vytvoriť model a správne nadefinovať väzby a zaťažiť v prostredí Ansys Workbench trvalo v práci najdlhšie. Pracovať s kompozitnými materiálmi je veľmi zložité. Zistiť, ako správne vyhodnocovať správanie sa kompozitov pri zaťažení bolo náročné. Aj pri značnom zjednodušení a zanedbávaní niektorých faktorov je model relatívne zložitý.

Otázkou stále zostáva, aký veľký vplyv má toto zjednodušenie. Nejasnosti tiež pramenia z veľkosti síl pôsobiacich na bicykel. Bolo by zaujímavé zistiť, aké sily pôsobia na bicykle pri danom type jazdy. Veľkosti síl použitých pri zaťažovaní modelu v práci sú dané len istým odhadom, za stopercentné sa ich určite považovať nedá.

Istú neistotu do modelu vháňa aj únava použitého kompozitného materiálu, ktorá by sa zrejme musela určiť experimentálne. Porušenie pod vplyvom únavy pri kompozitných materiáloch nastáva až pri zaťažení blízkomu medzi pevnosťou. Napätia v planžetke pri dosiahnutí plného zanorenia odpruženia sú hlboko pod medzou klzu, čiže planžetka by mala byť voči únave materiálu bezpečná. So stopercentnou istotou sa toto tvrdenie ale povedať nedá.

Kompozitné materiáli sú teda náročné na pochopenie a vyhodnocovanie. Zaujímavé by bolo sledovať, ako by sa správal rovnaký pružný prvok použitý v modeli z kovového materiálu, kde už by sa únava materiálu dala vyhodnotiť.

Celkový zdvih na osy zadného kolesa vyšiel niečo nad 30mm, čo nie je veľa, ale je to spôsobené vybratým modelom odpruženia a pružným elementom. Napätia

v planžetke musia byť v bezpečnej oblasti ďaleko od medzi pevnosti vzhľadom na istú mieru neistoty spomenutej a vysvetlenej o niekoľko riadkov vyššie.

Celkovo práca prepája svet cyklistiky a mechaniky. Niektoré veci hlavne z hľadiska geometrie modelu museli byť prispôbené cyklistickému svetu. Z druhej strany sa veľa rozmerov geometrie zadnej stavby muselo prispôbiť svetu mechaniky aby vychádzali napätia na planžetke čo najnižšie. Práca tiež udáva systém, ako modelovať a hodnotiť kompozity v prostredí Ansys Workbench. Na práci sa bude dať v budúcnosti stavať, či už pri výskume síl pôsobiacich na bicykel alebo pri modelovaní kompozitov v rôznych odvetviach strojárstva.

## Zoznam použitých zdrojov

- [1] Krátky cyklistický slovník, geometria rámu a hĺbkový výklad pojmov. [online] 15.02.2017. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.mtbiker.sk/clanky/8807/kratky-cyklisticky-slovník-geometria-ramu-a-hlbkovy-vyklad-pojmov.html>>.
- [2] Understanding bicycle frame geometry. [online ]. 4.10.2013. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.cyclingabout.com/understanding-bicycle-frame-geometry/>>.
- [3] XF 999 Di2. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://superiorbikes.eu/sk/2018/mtb-race-xf/xf-999-di2/matte-dark-grey-black-neon-red>>.
- [4] Blizzard 70-29. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://rockmachine.us/cz/2018/edge/blizzard-70-29/matte-grey-radioactive-yellow-night-blue>>.
- [5] Author Patriot evo team 2018. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://cz.author.eu/horska/celoodpruzena-mtb-27-5/author-patriot-evo-team-2018-ua42900802#!geometrie-modelu>>.
- [6] Noid 90. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.kellysbike.com/sk/downhill-c561/noid-90-p53442>>.
- [7] Horský bicykel- ako si správne vybrať. [online] 6.7.2016. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://www.predaj-bicyklov.sk/horsky-bicykel-spravne-vybrat/>>.
- [8] Stage 6. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.orangebikes.co.uk/bikes/stage-6-factory/2018>>.
- [9] Hammerhead Thumper. [online] 2004. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://forums.mtbr.com/29er-bikes/paid-spam-hammerhead-thumper-29ers-ie-kona-satori-w-horst-link-891394.html>>.
- [10] 2015 Supreme operator. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://konabikes.com/product/2015-supreme-operator-frame/>>.
- [11] Pivot Mach 6 2018. [online]. 5.10.2017. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://prime-mountainbiking.de/pivot-cycles-mach-6-carbon-aluminium-alu-eddie-masters-fox-pid23446/3/>>.
- [12] Trek Slash Carbon 2016. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://campusbicycle.com/product/trek-slash-carbon-frameset-258813-1.htm>>.
- [13] Felt Virtue one MTB. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://jordanmay.com/2015/01/20/felt-virtue-one-mtb/>>.
- [14] Angle optimized suspension. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://www.gt bicycles.cz/o-znacce-gt/technologie/angle-optimized-suspension>>
- [15] Prehľad systémov pruženia. [online] 3.1.2013. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.mtbiker.sk/clanky/5790/prehľad-systemov-pruzenia.html>>.

- [16] Measurement swingarm linkage. [online] 2.2.2016. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://hajokootstra.blogspot.sk/2016/02/meting-linksystem-achterbrug.html>>.
- [17] SASAKI Kenneth M.. Suspension rate. [online] 2001. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://members.home.nl/vd.kraats/ligfiets/pa/pa26.html>>.
- [18] MTB suspension glossary. [online]. 17.8.2012. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://www.mtbiking.com.au/how-to/bike-tech/mtb-suspension-glossary>>.
- [19] MURPHY, Brett. Suspension Design Theory and Anti-Squat Behavior. Art's cyclery: blog [online]. 2015. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://blog.artscyclery.com/science-behind-the-magic/suspension-design-theory-and-anti-squat-behavior/>>.
- [20] Litespeed [online]. 11.04.2009 [citované dňa 5.1.218]. Dostupné z: <[http://www.litespeed.com/current/tech\\_mat.aspx](http://www.litespeed.com/current/tech_mat.aspx)> .
- [21] COVILL D., ALLARD J., DREUET J.-M., EMERSON N. An Assessment of Bicycle Frame Behaviour under Various Load. [online] 26.6.2016. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816307160>>.
- [22] SAVE. [online]. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<http://www.cannondale.com/en/USA/Innovation/micro-suspension-technology.aspx>>.
- [23] SOJKA Vojtěch. Design a cyklistika- proces vyvoje. [online] 3.4.2013. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://mtbs.cz/clanek/serial-design-a-cyklistika-proces-vyvoje-ii#.WnsQKSXOXIU>>.
- [24] KRATOCHVÍL, B.; Švorčík, V.; Vojtěch, D.: Úvod do studia materiálů. Praha: VSCHT, 2005. 190 s.. ISBN 80-7080-568-4
- [25] VRBKA, Jan. Mechanika kompozitů. Brno: 2008. 94 s.
- [26] MINNING Brice. Yeti's switch infinity suspension platform. [online] 21.7.2014. [citované dňa 5.1.2018]. Dostupné z: <<https://www.bikemag.com/gear-features/blueprint/exclusive-yeti-launches-new-switch-infinity-suspension-platform/>>.
- [27] JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. 194 s.
- [28] PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu.II.2 opr. a rozš.vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- [29] Keramika, kompozity, polymery. [online]. 1998 [cit. 19.2.2018]. Dostupné z: <<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>>.
- [30] NOVÁK, Jaroslav. Karbon tehdy a teď. Velo. 2010, 2010(11), 66-72. ISSN 1213-113X.
- [31] HÁJÍČEK, Štěpán. Starý (ne)známý. VELO, 2007, roč. 9, č 4, s. 40-44.

- [32] Carbon overlay [online] 2017 [cit. 21.2.2018] Dash. Dostupné z: <<https://www.unno.com/dash/#overlay-product-section-development>>.
- [33] Carbon technology [online] 2010 [cit. 21.2.2018] Dostupné z: <[https://www.ibiscycles.com/support/technical\\_articles/all\\_about\\_carbon/](https://www.ibiscycles.com/support/technical_articles/all_about_carbon/)>.
- [34] HRONZA, Rudolf. Český karbon. VELO, 2005, roč. 7, č 5, s. 76-84.
- [35] Micro travel technology [online]. [citované dňa 25.4.2018]. Dostupné z: <<https://www.bmc-switzerland.com/us-en/innovation/mtt-micro-travel-technology/>>.
- [36] BMC Teamelite 29" Hardtail Featuring Micro Travel Technology [online]. 31.3.2016 [citované dňa 25.4.2018]. Dostupné z: <<http://www.bermstyle.com/bmc-teamelite-29-hardtail-featureing-micro-travel-technology/>>.
- [37] All-new Specialized Epic [online]. [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://flowmountainbike.com/post-all/new-gear-bikes/all-new-specialized-epic/>>
- [38] La Ruta [online]. [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://www.funkcycles.com/275plus29laruta>>
- [39] Renegade [online]. 11.7.2017. [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<http://www.nutsbike.com/tag/renegade>>
- [40] 2012 Look 920 mountain bike photos, weights, details [online]. 25.11.2011 [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://www.bikerumor.com/2011/10/25/2012-look-920-mountain-bike-photos-weights-details/>>
- [41] Spot Rollink [online]. 14.4.2016 [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://www.bikerumor.com/2016/04/14/soc16-spot-rollik/>>
- [42] Felt bicycles 2018 first look [online]. 18.10.2017 [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://www.pinkbike.com/news/felt-bicycles-2018-first-look.html>>
- [43] Kona Satori 2019 [online]. 20.2.2018 [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://www.pinkbike.com/news/kona-satori-2019-trail-bike-first-look.html>>
- [44] Swarf cycles [online]. 6.4.2018. [citované dňa 27.4.2018]. Dostupné z: <<https://singletrackworld.com/2018/04/it-doesnt-get-much-more-rare-than-this-steel-full-suspension-bike-from-swarf-cycles/>>
- [45] KONA BIKES [online] 2018 [cit. 31.3.2018] HEI HEI SUPREME. Dostupné z WWW: <[http://www.konaworld.com/hei\\_hei\\_supreme.cfm](http://www.konaworld.com/hei_hei_supreme.cfm)>.
- [46] AGARWAL D. Bhagwan; Broutman J. Lawrence. Vláknové kompozity. 1. vydanie. Praha: STNL- Nakladatelství technické literatury. 1987. 296s