

# Návrh dílce odpružení jízdního kola

Petr Šmigura

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Petr Šmigura  
Osobní číslo: T20275  
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství  
Studijní obor: Technologická zařízení  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Návrh dílce odpružení jízdního kola

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Proveďte zhodnocení současného stavu
3. Navrhněte nové řešení
4. Proveďte kontrolu návrhu

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

Seznam doporučené literatury:

VASILKO, Karol a Jan MÁDL. Teorie obrábění. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012, 2 sv. (298 s., s. 303-526). ISBN 9788074144592.

VOLEK, František, 2003. Základy konstruování a části strojů II: mechanismy strojů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická. ISBN 80-7318-111-8.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed., 2010. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUUM. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Ratvik, Arne P., LIGHT METALS 2017, Springer International Publishing : Imprint: Springer, 2017., ISBN 9783319515410

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....

podpis studenta

## ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je poskytnout náhled na problematiku odpružení jízdních kol, konkrétně pak celoodpružených sjezdových kol. Dále je cílem navrhnout a zkonstruovat část zadní stavby rámu takového kola. Teoretická část práce se zabývá stručnou historií cyklistických kol, dělením kol a historií horské cyklistiky. Následně se pak věnuje odpružení kol samotných, a to jak odpružení předních vidlic kol, tak především zadnímu odpružení. Zaměřuje se na jednotlivé mechanismy a zmiňuje jejich přednosti. Také čtenáře seznamuje se základními pojmy, jež je dobré v této tématice znát. Na svém konci pak zmiňuje důležitost CAD systémů a MKP. Praktická část práce je zaměřena na návrh dílu zadní stavby prostřednictvím 3D aplikace Autocad Inventor, jeho testování pomocí FEM analýz, výrobu pomocí CNC obráběcího centra a následnou montáž spolu s testováním správné funkce dílu.

Klíčová slova: Odpružení, zadní stavba, návrh, 3D aplikace, FEM analýzy, CNC obrábění

## ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to provide an insight into the issue of bicycle suspension, specifically full suspension downhill bicycles. Furthermore, the aim is to design and construct part of the rear frame structure of such a bicycle. The theoretical part of the thesis deals with a brief history of bicycles, the division of bicycles and the history of mountain biking. It then looks at the suspension of the bikes themselves, both the front fork suspension and especially the rear suspension. It focuses on the different mechanisms and mentions their advantages. It also introduces the reader to the basic concepts that are good to know on this subject. The practical part of the thesis focuses on the design of the rear structure part using Autocad Inventor 3D, its testing using FEM analysis, manufacturing using a CNC machining centre and subsequent assembly along with testing the correct function of the part.

Keywords: suspension, rear frame, design, 3D applications, FEM analysis, CNC machining

Chtěl bych velmi poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D., za odborné vedení, velkou trpělivost a podporu, které pro mě byly během psaní práce velmi cenné. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Jakubu Javoříkovi, Ph.D., který mi byl nápomocen v tématice pevnostních analýz. Poděkování patří taktéž panu doc. Ing. Oldřichu Šubovi, CSc. za poskytnutí podkladů o mechanickém chování těles a konzultaci s tím spjatou. A také mé rodině a přítelkyni za jejich podporu, bez které bych se neobešel.

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

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 STRUČNÁ HISTORIE KOL</b> .....	<b>11</b>
<b>2 ODPRUŽENÍ JÍZDNÍCH KOL</b> .....	<b>14</b>
2.1 ODPRUŽENÍ PŘEDNÍHO KOLA .....	14
2.2 KYVNÉ ZADNÍ STAVBY RÁMŮ .....	15
2.3 DŮLEŽITÉ POJMY .....	19
2.4 RÁMY HORSKÝCH KOL .....	20
2.5 DŮLEŽITÉ PARAMETRY RÁMU KOLA .....	21
<b>3 3D SYSTÉMY CAD/CAM</b> .....	<b>24</b>
<b>4 METODY ŘEŠENÍ NAPĚŤOVÝCH A PEVNOSTNÍCH PROBLÉMŮ</b> .....	<b>26</b>
4.1 METODA KONEČNÝCH ROZDÍLŮ .....	26
4.2 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ (MKP) .....	26
4.3 MĚRNÁ ENERGIE NAPJATOSTI.....	28
4.4 VON MISESOVO NAPĚTÍ.....	29
4.5 TRESCOVA HYPOTÉZA .....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>30</b>
<b>5 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>31</b>
<b>6 MODELOVÁNÍ VÝCHOZÍCH PRVKŮ V AUTODESK INVENTOR</b> .....	<b>32</b>
6.1 RÁM .....	32
6.2 SPODNÍ ČÁST ZADNÍ STAVBY .....	33
6.3 STŘEDNÍ ČÁST ZADNÍ STAVBY .....	33
6.4 TLUMÍCÍ A PRUŽÍCÍ JEDNOTKA.....	34
6.5 VÝCHOZÍ RÁM S TLUMÍCÍ JEDNOTKOU.....	35
<b>7 MODELOVÁNÍ NAVRHOVANÝCH PRVKŮ V AUTODESK INVENTOR</b> .....	<b>36</b>
7.1 VAHADLO KE SPOJENÍ ZADNÍ STAVBY S ČÁSTÍ VOLNÉHO PIVOTU .....	36
7.2 VZPŘÍMENÁ ČÁST MECHANISMU VOLNÉHO PIVOTU .....	37
7.3 VAHADLO VOLNÉHO PIVOTU .....	37
7.4 POLOVINA NAVRHNUTÉ SESTAVY .....	38
7.5 SPOJENÍ MODELOVANÝCH A NAVRHOVANÝCH PRVKŮ.....	38
<b>8 OVĚŘENÍ PEVNOSTI V PROGRAMU NX</b> .....	<b>39</b>
8.1 ZJIŠTĚNÍ DÍLČÍCH SIL .....	39
8.2 SÍLY NA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTECH SYSTÉMU.....	40

<b>9</b>	<b>VÝROBA SOUČÁSTÍ</b> .....	<b>44</b>
9.1	VÝROBA NA CNC.....	44
9.2	VÝROBA NA SOUSTRUHU .....	45
9.3	OPRACOVÁNÍ POVRCHU NA BRUSCE .....	46
9.4	VOLBA A VÝROBA KOMPONENT SPOJOVACÍCH A MAZNÝCH DÍLŮ .....	47
9.4.1	Samomazná ložiska .....	47
9.4.2	Válcové konce hřídelů.....	48
9.4.3	Opracování děr .....	49
<b>10</b>	<b>KOMPLETACE CELÉHO MECHANISMU</b> .....	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>PROGRESIVITA SYSTÉMU</b> .....	<b>53</b>
<b>12</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>63</b>



## ÚVOD

Jedním z nejvýznamnějších vynálezů lidstva je kolo. Již před tisíci lety umožňovalo zjednodušení přepravy těžkých břemen a lidí. Pro urychlení přepravy osob bylo vymyšleno kolo cyklistické, které bylo osazeno dvěma koly a na svém rámu neslo jezdce. Toto kolo mělo za cíl urychlení a zjednodušení pohybu.

Postupem času byly na kola přidávány různé prvky, které zajišťovaly větší bezpečnost a komfort jezdce. Tyto prvky byly například brzdy, otočné přední kolo, pneumatiky, pláště, řídítka, či tlumení. S každým z těchto prvků se kolo stávalo stále žádanějším. Tento fakt přiváděl stále nové výrobce, a tak docházelo neustále k novým nápadům a inovacím. Zároveň docházelo ke zmenšování hmotnosti kola, a to za pomoci změny konstrukčních materiálů a inovací v konstrukcích.

Cyklistika je v dnešní době jednou z velmi oblíbených rekreačních či sportovních činností. Díky tomu jde vývojem neustále kupředu. Tím, že se značné množství firem či soukromníků snaží vyvíjet nové a lepší díly, můžeme být v této oblasti svědky nemalého posunu. Zároveň však velké množství firem tlačí na konzumenty s prodejem svých kol. Konzumenti mají tak stále novější kola a pro kola starší se již nevyrábějí náhradní díly, proto mohou být starší sjezdová kola kvůli nedostatku náhradních dílů odsouzena k zániku. Tato skutečnost se také týká dílů odpružení těchto kol, na které jsem se rozhodl tuto bakalářskou práci zaměřit.

Odpružení představuje schopnost tlumení nerovností terénu, jeho největší výhodou je komfort jezdce. Hlavní výhodou celoodpružených kol je tlumení vibrací jdoucích přes sedlo na jezdce. Zavedením druhého odpruženého kola dojde k hladšímu chodu a je díky němu možné zdolávat větší nerovnosti za vyššího komfortu i rychlosti.

Nové systémy by měly být navrhovány v menších úzce specializovaných týmech. Odborníci pak za pomoci mnoha programů dokáží předem zjistit správnou funkci a odolnost nově navrhovaného systému. Toho lze v dnešní době docílit zejména za pomoci FEM analýz. Poté, co systém projde všemi částmi návrhu, dochází k jeho zhotovení a následnému testu v reálném světě. Až zde se potvrdí, zda systém splňuje všechny požadavky.

Cílem této práce je navrhnout a vyrobit části odpružení zadní stavby sjezdového kola. Výsledný návrh musí pevnostně odpovídat předpokládanému zatížení a musí plnit funkci tlumení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 STRUČNÁ HISTORIE KOL

Nejstaršího předchůdce bicyklu bychom našli ve staré Číně. Kolem roku 2300 př.n.l. se používalo dvojkolé vozidlo s názvem „šťastný drak“, které bylo vyrobeno z bambusu. Roku 1791, přišel šlechtic Médé de Sivrac s myšlenkou nového dopravního prostředku. Ze začátku se mu říkalo dřevěný kůň, brzy se mu však začalo říkat celeriped (prastarý sen člověka o rychlosti). Stroj byl ze dřeva a byl velmi těžký. Dalo se s ním jet pouze rovně a brzy se dočkal produkce místními kováři a koláři. [1]



Obr. 1 Celeripéd vynálezce Sivraca [27]

Za počátek novodobé cyklistiky můžeme považovat až vynález Draisiny, který se datuje do 1. poloviny 19. století, konkrétně rok 1818. Vynálezcem byl Karl Drais, kterému se povedlo z konstrukce Celeripédu udělat víceúčelovější stroj za pomoci přidání otočného předního kola s řídítky. Tento stroj bohužel nenabyl vysoké popularity, a to skrze svou hmotnost, která činila úctyhodných 40 kilogramů. [1,2]



Obr. 2 Draisina [28]

První kolo s pedály bylo velocipéd – dvě páky, které přenáší pohyb na silnici. Kolo mělo již kovový rám, nicméně mělo stále dřevěná kola potažená kovovou obručí. Vážil 30 kg a vycházel z Draisiny. Konstruktor Velocipédu Pierre Michaux přišel s revolučním vylepšením, a to s připevněním jednoduché brzdy ovládané drátkem. [1,2]



Obr. 3 Velocipéd [29]

Rychlejší, než Velocipéd bylo vysoké kolo. Také mělo velmi vysoko těžiště, což jej činilo v případě nehody pro jezdce nebezpečnějším. Rychlost tohoto stroje závisela na velikosti předního kola, díky tomu se neustále zvětšovalo a spolu s ním rostla i výška, v jaké se jezdec nacházel. Tato skutečnost činila stroj stále nebezpečnějším. [1]



Obr. 4 Vysoké kolo [30]

Na konci 19. století bylo za pomoci řetězového převodu dosaženo větší rychlosti i při zachování kol rozumné velikosti. Díky tomu již nebylo kolo málo stabilní, a navíc s ním šlo efektivněji brzdit. Cyklistika se díky tomu stává mnohem bezpečnější. [1]

Do 70. let minulého století sloužilo jízdní kolo především pouze na zpevněné cesty. Tehdejší společnost kritizovala nový trend, jež přišel ve formě jízdy na horském kole, kde se jezdci pohybovali v pestrobarevných dresech terénem. Nicméně tento trend se v příštích letech stal velmi populárním a masově rozšířeným. [3]

V 80. letech došlo k první hromadné výrobě horských kol. Firmy jako Trek, Cannondale, DiamondBack, Mongoose, Bridgestone a další, začaly vyrábět horská kola. Každý výrobce měl vlastní konstrukce a nápady na zlepšení jízdy v terénu, a tak se stalo, že v roce 1987 vešlo na trh první kolo s odpružením jak předním, tak také zadním (dvojí odpružení). Tato novinka se o pár let později zapsala do povědomí všech, když se na prvním mistrovství světa horských kol, povedlo zvítězit Gregu Herboldovi a Cindy Devine. Oba měli na svých kolech novou verzi dvojího odpružení RS1. [1]

Horská kola jsou primárně pro jízdu v terénu. Mají značně lepší ovladatelnost a odolnost proti poškození. Geometrie kola se oproti silničním kolům vyznačuje značně kratší částí, je to zejména z hlediska posedu, kde je nezbytné být vzpřímený, a to kvůli zdolávání nerovností. Jednotlivé typy horských kol jsou například: Cross Country, Trail, Enduro, Freeride, Downhill. [4]

Oproti silničním kolům, která jsou určena primárně na zpevněné cesty se horská kola dále liší značně širšími plášti a vyšší pozicí řídítek. Od trekových kol se liší vyšší hmotností a odolností. [4,5]

Horská kola můžeme dělit na dvě skupiny a to tzv. „full“ a „hardtail“ kola. Rozdíl mezi nimi je právě v odpružení zadního kola, kdy v kategorii full je kolo vzadu odpružené a hardtail nikoli. Tento rozdíl má vliv na cenu, složitost, váhu, a především pak tlumení nárazů. [3]

## 2 ODPRUŽENÍ JÍZDNÍCH KOL

Při zvyšování rychlosti kol bylo zapotřebí vymyslet systém, jež by vedl k tlumení vibrací přenášejících se z nerovného terénu na jezdce. Díky odpružení bylo kolo pohodlnější a dalo se s ním tak dosáhnout větší rychlosti nejen na silnici, ale také i v terénu.

### 2.1 Odpružení předního kola

V dnešní době se s odpružením předního kola setkáme na téměř každém kole. Výjimkou jsou pouze kola s pevnou vidlicí. Odpružené vidlice nám pak především pomáhají eliminovat rázy. Pro rekreační jezdce to znamená komfort, pro profesionální sjezdové jezdce je to pak nezbytností ke zdolání překážek.

Odpružené přední vidlice můžeme dle technického hlediska dělit na tři kategorie.

- 1) Pružící elementy – elastomery, ocelové pružiny, vzduchoolejové systémy, kombinované
- 2) Konstrukční uspořádání – paralelogramové (přepákové), teleskopické, speciální
- 3) Pružícího zdvihu – běžné (cross country, zdvih do 80-115 mm), speciální (Allmountain, zdvih 100-150 mm, sjezdové, zdvih 160 mm+)

Při výrobě se konstruktéři vedle oceli snaží uplatnit co nejvíce materiálů s nižší měrnou hmotností (kompozitní materiály, titan, dural). Díky nim jsou schopni částečně kompenzovat váhu navíc, kterou se vyznačuje odpružená vidlice ku neodpruženým. Inspiraci si konstruktéři brali především z motocyklů. [5,6,7]

#### Elastomerová vidlice

Její funkci lze nejlépe demonstrovat na vidlici Manitou, která je jednou z nejjednodušších. Uvnitř vidlice, v jejích ramenech, se nachází pryž válcového tvaru, která tlumí rázy. Při nárazu dojde ke stlačení pryže a při následném uvolnění pak dochází k vrácení pryže do původního tvaru. Tlumení zpětného rázu zajišťuje další pryžový díl. Díky jednoduchosti systému je velmi snadné vidlici servisovat. Dá se pořídit sada na opravu a vyměnit jednotlivé pryžové díly. Stejně tak můžeme výměnou pryže dosáhnout změny tuhosti systému. Elastomerové vidlice se vyznačují zejména slabším tlumením rázů a menším zdvihem. Mezi jejich nevýhody pak patří nutnost mazání kvůli správné funkci mechanismu a nutnost je provozovat pouze za správných teplotních podmínek (v důsledku chladného počasí totiž dochází k tvrdnutí elastomeru a snížení jeho pružnosti). [6]

### **Vidlice s ocelovými pružinami**

Princip spočívá v tlumení rázu za pomoci ocelové pružiny vinuté do šroubovice. Prvotně bývalo převážně v kombinaci s dalším tlumícím a pružícím elementem (například elastomerovým blokem). Mírou předpětí pružiny se dalo korigovat nastavení tvrdosti a uretan fungoval jako přídavné tlumení a také jako koncový nárazník. Dříve v horských kolech a v jejich vidlicích nebyly pružiny tolik rozšířené a uplatňovaly se pak spíše u levnějších modelů vidlic. Změna pak nastala před rokem 2000, kdy došlo k rozšíření mezi sjezdové jezdce. Tehdy se přišlo na zlepšení funkce tlumení vyjmutím elastomerů. Mezi přednosti pružin patří citlivější reagování na nárazy, větší životnost, nezávislost na teplotě a větší zdvih. Dochází však ke zvýšení tuhosti vidlice. [6]

### **Vzduchoolejové vidlice**

Hlavním principem jejich fungování je progresivní stlačitelnost vzduchu. Díky stlačení vzduchu v patroně dochází ke tlumení rázu. S obdobným principem se pak můžeme setkat u motocyklů, konkrétně u pneuhydraulických teleskopů. Kromě vzduchu jsou v ramenech také olejové tlumiče. Velikost jejich tlumícího efektu je závislá na průtoku oleje skrz tlumící systém. Díky tomuto systému se vidlice nevrací do původní polohy náhle, ale plynule. Tuhost systému pak měníme za pomoci změny předpětí pružiny, která reguluje průtok oleje. [6]

## **2.2 Kyvné zadní stavby rámu**

Díky neustále kupředu jdoucímu vývoji u sjezdových kol došlo i k odpružení zadního kola. Kolům s tímto systémem se říká celoodpružená, anglicky „full suspension“, neboli odpružení jak předního, tak i zadního kola. Odpružení zadního kola je vždy velkým zásahem do konstrukce, takto vybavená kola lze snadno odlišit, odpružení bývá na principu kyvné zadní stavby rámu. Stejně jako je tomu u předních vidlic, tak i rámy jsou značně ovlivněny konstrukcemi motocyklů. [6]

Typy zadního odpružení

- 1) Jednočep
- 2) Jednočep poháněný táhlem
- 3) Virtuální čep
- 4) Čtyřčep



### Jednočep

Jednočep je konstrukčně velmi jednoduchý (obr.5). Zadní rameno je přichyceno k rámu pouze v jednom bodě. V druhém bodě je pak připojeno k tlumiči. Mezi spojením se nenachází žádné čepy. Nedá se u něj měnit progresivita systému. Rameno se pohybuje pouze v oblouku se středem v bodě uchycení. Díky jednoduchosti konstrukce je velmi usnadněna údržba ložisek. Tento design ale trpí nevýhodou menší kontroly dorazu. V praxi to znamená, že nedochází k narůstajícímu odporu dna systému. U jiných systémů dochází v průběhu plynulého neustále zvyšujícího zatížení k většímu odporu systému, u jednočepu však nikoli. Ve výsledku pak můžeme očekávat tvrdý náraz po překročení tlumicí účinnosti. [8]



Obr. 5 Jednočepový systém odpružení [8]

### Jednočep poháněný táhlem

Tento typ vychází z jednočepového systému, ale navíc obsahuje spojení pro pohon tlumiče (obr.6). Díky němu je možno manipulovat s křivkou ramena (páky) a ovládat tak progresivitu rámu. Konstrukce nám může někdy připomínat čtyřčepové provedení, ale zadní náprava je stále připojena k hlavnímu čepu pomocí jednoduché kyvné vidlice. [8]

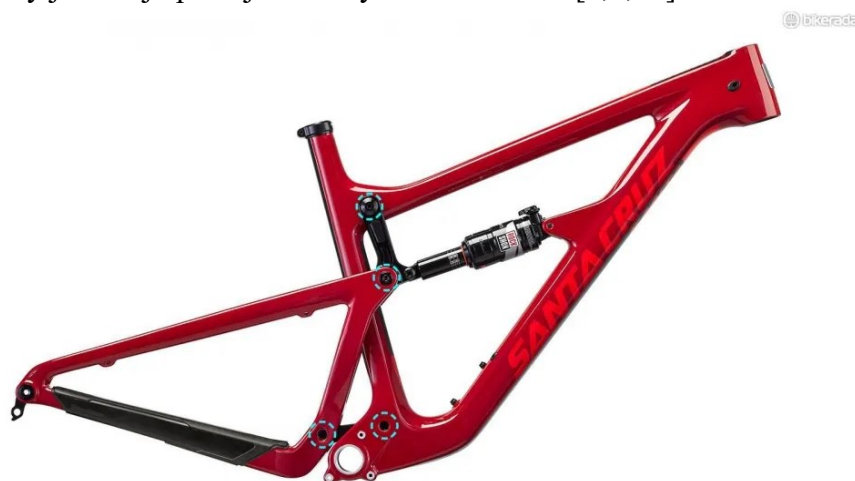




Obr. 6 Jednočep poháněný táhlem [8]

### Virtuální čep

Jedná se o mechanismus s virtuálním bodem otáčení (obr.7). Lze se s ním setkat u kol značky Santa Cruz, která jej má patentovaný. Tento mechanismus se skládá z celistvé zadní stavby, která je za pomoci dvou menších pák spojena s přední částí rámu. Tlumič je u tohoto systému uchycen mezi přední částí rámu a jednou z pák. Umístění tlumiče ovlivňuje „anti-squat“ a „anti-rise“, jejichž princip vysvětluji v kapitole 2.3. Díky systému virtuálního umístění pák hodnoty těchto prvků nejsou konstantní. Takže s nimi lze manipulovat v různých bodech pohybu zadního kola. Díky tomu pak můžeme dosáhnout více pokročilého nastavení systému. Této skutečnosti lze dosáhnout pouze za pomoci velké skupiny inženýrů, jež propočítává a programuje stovky simulací, kterými zjistí centrální bod a dráhu soustavy. S tím pak lze dosáhnout nejlepších možných výsledků v anti-squat a anti-rysu, které se při testech projeví jako nejlepší u jednotlivých modelů kol. [8,9,10]



Obr. 7 Virtuální čep [8]

## Čtyřčep

(obr.8) V dnešní době je čtyřčep nejvíce rozšířeným zadním odpružením. Dříve tomu tak nebylo, a to především kvůli ceně a množství dílů, ze kterých se skládal. V dnešní době je oblíbený především kvůli jeho preciznosti, citlivosti a příznivému kinematickému schématu pružícího systému. Bývá tvořen čtyřmi čepy, jež spojují tříčlenný mechanismus s přední částí rámu. Systémy jednotlivých výrobců se liší především rozměry komponent a jejich umístěním na rámu kola. Díky tomuto systému je charakteristika odpružení progresivnější.



Obr. 8 Čtyřčepový systém zadního odpružení [8]

[6,9,11]

### Tlumící a pružící jednotky

Tyto jednotky jsou spojeny v jeden celek, jež nazýváme zadním tlumičem. Pro sjezdová kola se používají převážně plynokapalinové tlumící jednotky. Za pomoci tření kapaliny v soustavě škrťících ventilů dochází k absorpci pohybové energie. Kapalina je neustále udržována pod tlakem za pomoci stlačeného plynu, ten je od ní oddělen za pomoci volně pohyblivého pístu. Tlak plynu se pohybuje okolo 1 MPa a bývá to většinou stlačený vzduch, u některých dražších tlumičů se však můžeme setkat například s dusíkem.

Na tlumičích se dá měnit několik vlastností.

- 1) Progresivita pružení – za pomoci změny velikosti vyrovnávací komory
- 2) Tlak plynu uvnitř vyrovnávací komory
- 3) Reakce tlumiče na rychlé i pomalé stlačování.
- 4) Velikost útlumu u zpětného pohybu

### Typy pružin u tlumících jednotek

- 1) Šroubovitě vinutá pružina – z chromokřemíkové oceli či titanu. Tato výměnná pružina je umístěna na vnějším povrchu tlumiče. Má konstantní stoupání závitů a lineární charakteristiku. Její konce jsou kvůli rovnoměrnému přenosu sil na opěrné plochy zarovnané do roviny, tak aby dosedaly na opěrnou plochu co největší plochou. Je namáhána na tlak.
- 2) Pneumatická pružina – uzavřená komora se stlačeným plynem. Plyn vně je stlačován za pomoci tlaku oleje. V obou úvratích jsou měkké dorazy bránící tvrdému dosedu. Tato pružina není svou charakteristikou lineární. [6,9,12]

### 2.3 Důležité pojmy

- 1) Leverage ratio – převodový poměr mezi pohybem zadní stavby a pohybem tlumiče. K dosažení menšího zdvihu na tlumiči využíváme pákový převod. Pokud bychom jej nevyužili, museli bychom mít tlumiče s extrémně velkým zdvihem, díky pákovému efektu jsme schopni tlumič zmenšit na třetinu velikosti. Hodnota LR se v průběhu zdvihu může měnit. Díky tomu se může měnit progresivita, degresivita i lineárnost systému. [8,13]
- 2) Pedal kickback – při pružení kola dochází ke vzdálení kazety od převodníku a tak i k jeho napnutí. Když se řetěz prodlouží, tak se kazeta pootočí dopředu a vykompenzuje tak nárůst délky. V případě, že dojde k zablokování zadního kola, či ke zpomalení jeho otáčení, tak tento jev už kazeta nemůže pokrýt a dochází k otáčení klik dozadu. Pohyb kliky s nerotující kazetou se projevuje jako zpětný ráz pedálů. [14]
- 3) Pedal bob – při každém sešlápnutí pedálu dochází ke zrychlení kola. Toto zrychlení způsobí posun těžiště jezdce směrem vzad a stlačení tlumičů. K tomuto jevu dochází při každém sešlápnutí pedálů. Takže kolo kmitá při každé otočce, kdy jsou pedály umístěny na 3. a 9. hodině. Jakmile jsou pak pedály na 6. a 12. hodině, tak na tlumiče síla již nepůsobí a kolo se zase vrátí do původní pozice. Tento pohyb zákonitě plýtvá energií. Tlumiče ji totiž převádějí spíše na teplo, než na pohyb kola vpřed. Díky kmitům nedochází k plynulému kruhovému pohybu pedálů, ale k pohybu oválnému. To znamená, že musí jezdec vyvinout větší množství síly na otáčku než bez existence pedal bobu, zatímco kolo urazí tu samou vzdálenost. [8]
- 4) Antisquat – je hodnota toho, jak moc dokáže odpružení odolávat pedal bobu. Je také jednou z hlavních věcí, která mají vliv na efektivnost šlapání. Ve chvíli, kdy síla proti

akceleraci kola začne stlačovat systém odpružení, tak síla antisquat začne působit proti ní. Její původ je z dvou zdrojů a tj. pohybové síly zadního kola a síly, které táhne za řetěz. Čím vyšší má hodnotu, tím lépe nám kolo pojede. Hodnota AS se mění se zvoleným převodem a v průběhu zdvihu. Je důležité dát si pozor i na příliš vysokou hodnotu AS. Ta by mohla způsobit pedal kickback, odpružení by pak působilo tvrdě, nepohodlně. [8,13]

- 5) Antirise – hodnota vlivu brždění na chování zadní stavby. Při správné funkci je odpružení neutrální a neprojevuje se negativně na zdvih, či rozevření zadní stavby. Při jízdě z kopce se při brždění kolu zásadně mění geometrie, dojde k přesunu těžiště na přední část kola a zasunutí vidlice. V takovém případě je výhodné, aby systém naopak zadní stavbu ovlivnil. Díky jejímu posunutí do zdvihu můžeme docílit větší stabilizace systému. Proto většina volí kompromis mezi mírným ovlivněním a mírnou ztrátou pohodlí. [8,13]

## 2.4 Rámy horských kol

Rám je základní konstrukční částí kola. Jsou na něm upevněny téměř všechny další komponenty. Dle typu rámu lze snadno poznat oblast použití, cenu, kvalitu. Skládá se z několika částí.

### Rámové vzpěry

Jsou to dvě trubky, které spojují patu zadního kola se sedlovou trubkou. Musí být však rozšířené kvůli plášti a zachování prostoru pro něj.

### Sedlová trubka

Její funkcí je vyztužení rámu v místě největšího namáhání, také je zde uložena sedlovka, jejíž funkcí je variabilita výšky sedadla.

### Horní rámová trubka

Její délka výrazně ovlivňuje aerodynamiku a komfort. Také určuje vzdálenost sedla od řídítek a také pozici jezdce.

### Dolní rámová trubka

Uzavírá hlavní trojúhelník a spojuje hlavovou trubku se středem kola. Její sklon předurčuje výsledný úhel hlavové trubky. V některých případech v ní může být vedena kabeláž od brzd a řazení.

**Patka**

Je to vyměnitelná část rámu, jež umožňuje spojení zadního náboje kola s rámem. Mnohdy na ní bývá uchycena i část držící zadní přehazovačku. Funkcí patky je prasknout při nárazu do přehazovačky a ochránit ji tak před poškozením.

**Řetězové vzpěry**

Jsou to dvě trubky, jež spojují patku se středovou trubkou. V místě středové trubky musí být zahnuté, aby byla splněna podmínka rozšíření v místě zadní pneumatiky. Jedině tak lze totiž docílit dostatečného prostoru pro správnou funkci kola.

**Středová trubka**

Jsou v ní uložena ložiska středového složení, ke kterým pak jsou připevněny pedály. Je zde kladen důraz na souosost systému.

**Hlavová trubka**

Její funkcí je uložení hlavového složení, jež do rámu přenáší síly z předního kola. Úhel, který trubka svírá má zásadní vliv na stabilitu. Kvůli odolnosti se u horských kol používají menší úhly než u kol silničních.[15]

## 2.5 Důležité parametry rámu kola

**Rozvor**

Je to vzdálenost mezi středy kol. Čím kratší je rozvor, tím bývá kolo obratnější. Naopak čím delší vzdálenost, tím větší stabilita a větší jistota ve vysokých rychlostech.

**Délka horní rámové trubky**

Bere se tzv. efektivní vzdálenost, což je vodorovná vzdálenost průřezu horní rámové trubky s hlavovou trubkou v bodě protnutí se sedlovou trubkou.

**Reach (dosah)**

Nejdůležitější rozměr pro určení vhodné délky rámu ke stylu jízdy. Reach je vodorovná vzdálenost středu kola a horního konce hlavové trubky. Menší vzdálenost znamená vzpřímenější posez, to bývá zpravidla u horských kol. Naopak u silničních speciálů bychom se mohli setkat s poměrně velikou vzdáleností, kdy je jezdec nucen být natažen v před. Což má za následek diskomfort, ale hlavně menší odpor vzduchu a rychlejší jízdu.

**Stack**

Tento rozměr je úzce vázán s reachem. Váže se na stejné body, jen mezi nimi měří vertikální vzdálenost. Spolu dávají tyto dva rozměry základ pro výběr kola.

### **Úhel sedlové trubky**

Ovlivňuje obtížnost šlapání. Čím vzpřímenější trubka bude, tím bude záběr efektivnější, naopak sklon dozadu zmírní efektivnost jízdy do kopce, ale zkrácením vzdálenosti reach a navýšením vzdálenosti stack se kolo stane pro jízdu z kopce skvěle ovladatelným.

### **Úhel hlavové trubky**

Určuje sklon vidlice. Má vliv na obratnost a stabilitu kola. S větším přiblížováním ke kolmosti vůči vozovce nastává větší ovladatelnost a obratnost při nízkých rychlostech. S více předkloněnou vidlicí naopak nemáme tak velkou stabilitu v nízké rychlosti, ale stabilita při rychlé jízdě, či při jízdě přes překážky, se mnohonásobně zvětší. U sjezdových kol se setkáváme s úhlem 60°-65°, u klasických horských kol pak s úhlem 68° a větším.

### **Offset**

Ovlivňuje stabilitu a otáčivost kola. Určuje přesazení středu kola vůči ose hlavové trubky. Silně ovlivňuje velikost stopy. Dá se s ním kompenzovat velikost kol a například u 29palcových se větším offsetem dá docílit značně lepší ovladatelnosti.

### **BottomBracket drop (BB drop)**

Jistota na kole je spojena i s výškou středu. Obecně platí, že čím níž střed bude, tím snáze se drží rovnováha a kolo je agilnější. Kvůli dostatečnému místu na pružící systém a protáčení pedálů však nemůžeme středem jít příliš dolů. Výšku středu tak můžeme ovlivnit například průměrem kol. Je to tedy vzdálenost mezi osou středu a osy spojující středy kol.

### **Délka zadní stavby**

Vzdálenost mezi osou středu a nábojem zadního kola. Kratší vzdálenost má za výsledek větší obratnost. Delší naopak větší stabilitu, která pak bude výhodou především ve strmějších místech a výjezdech náročných na techniku.[16]



## Nastavení SAG

Neboli míra toho, jak moc je zasunut tlumič statickou vahou jezdce. Každé kolo, které má tlumicí prvky musí mít nastaveno SAG nastavení. S tímto nastavením můžou chodit tlumicí prvky adekvátně k váze jezdce. Tj. nejsou ani moc tvrdé, ani moc měkké. SAG nastavení si může jezdec nastavit takřka kdekoliv. Stačí změřit vzdálenosti předního i zadního tlumiče. A to ještě jednou po zatížení vahou jezdce. Pro výpočet % SAG stačí vzít vzdálenost naměřenou po zatížení jezdce, tu vydělit celkovou vzdáleností a vynásobit 100. Výsledkem pak je procentuální nastavení SAG. To by se mělo u běžných kol pohybovat mezi 25-35 %. [17,18]

Pokud bude SAG příliš velký, zdvih tlumiče i vidlice bude taktéž moc velký, budou pak více chodit až do svého maximálního zdvihu. Jezdec pak může být kolem příliš nízko zemi, o kterou může zavadit pedály. Příliš nízké nastavení pak způsobí moc velkou tuhost systému, nedostatečný komfort, odskakování kola od vozovky a ztrátu přilnavosti k povrchu. [18]



Obr. 9 Nastavení SAG [17]

### 3 3D SYSTÉMY CAD/CAM

V současné době výpočetní technika není jen oborem pro specialisty. Díky internetu je možné ji používat v takřka jakémkoliv oboru. Toto rozšíření má za následek výrazné zvýšení produktivity a přesnosti.

S neustálým rozvojem průmyslové výroby roste i složitost a komplikovanost navrhovaných výrobků. Díky komplikovanosti již nezbývá prostor pro improvizaci, jako tomu bylo doposud u návrhů na papír. Proto vznikají první CAD (Computer Aided Design) aplikace umožňující náhradu rutinních návrhů konstruktérů. Cílem CAD systémů bylo nahradit ruční rýsování efektivnější metodou, umožňující jednoduchou tvorbu a úpravy výkresů.

CAD je jednou z oblastí s širokým nasazením výpočetní techniky v praxi. Programy značně rozšiřují konstruktérovy možnosti, a to nejen o produktivní tvorbu výkresové dokumentace, ale také o tvorbu geometrie objektů přibližujících se skutečnosti. Na daných modelech je možné provádět řady úprav, ale také odvodit jejich základní technické parametry.

Výhodou návrhu v systému je jeho návaznost na další technologické činnosti, výpočty a analýzy. Z tohoto důvodu pak vzniká potřeba řešit několik provázaných problémů a dochází ke vzniku PLM technologie. Ten pak obsahuje jednotlivé etapy návrhu nových výrobků.

Jedním z příkladů pak mohou být komplikované tvary automobilového a plastikářského průmyslu. Výroba těchto dílů pak není možná bez použití nástrojů vytvořených právě s pomocí řídicích systémů obráběcích strojů, jež jsou úzce spojeny s konstrukčním systémem. Díky tomu jsou vytvořeny podmínky přímého řízení výroby počítačem, jež je obecně považováno jako CAM (Computer Aided Manufacturing). [19]

#### **Autodesk Inventor**

Svým určením zapadá do řešení fáze před výrobou. Před produkcí nových, nebo inovovaných výrobků. Dnes již o něm nelze hovořit pouze jako o CAD aplikaci. Díky inovativní řadě nástrojů a zcela nových analytických postupů dokáže mapovat celý proces návrhu mnohem komplexněji. Díky propojení tradičních postupů navrhování s pokrokovými technikami tvorby virtuálních modelů výrobků, lze značně zkrátit čas nutný pro realizaci projektu a snížení nákladů.



## **Důležité přednosti**

### **Akcelerace vývoje a konstrukčního řešení**

Díky digitálnímu modelu součásti je konstruktér schopen mnohem jednodušeji a lépe skombinovat základní představy se skutečným a vyrobitelným řešením. Tento fakt je dán zejména intuitivností digitálního modelu, ale také optimalizovanými nástroji pro řešení problémů.

### **Variantní řešení**

Na základě digitálního modelu jde poměrně snadno vytvořit odlišnou variantu řešení bez nutnosti přepracování, a to variantu jak tvarovou, tak i rozměrovou. Neustále nám také zůstává i popis tvorby modelu, jež nám usnadňuje další použití.

### **Analýzy a simulace**

Aplikace dokáže automaticky počítat objem, hmotnost, těžiště anebo třeba momenty setrvačnosti, a to pouze na základě zvoleného materiálu a tvaru součásti. Oproti 2D technologiím jde o značné urychlení a taktéž eliminování chyb.

### **Vizualizace a prezentace**

3D technologie umožňuje snazší orientaci u modelu nejen vývojářům a konstruktérům, ale také dalším členům vývojového, či výrobního týmu. 3D modely také zlepšují marketing a obchod, což je klíčové. Animace pohybu sestav jsou totiž pro zákazníka mnohem atraktivnější a snáze pochopitelné.

### **Výroba technické dokumentace**

V prostředí aplikace lze z modelu automaticky generovat jednotlivé pohledy a řezy pro vytváření výkresové dokumentace. Ta je naprosto totožná s jakoukoliv změnou modelu.

### **Vázanost na výrobu**

Na základě modelu je možné generovat data pro CAM nástroje. Dále pak také kódy pro výrobu na CNC obráběcích strojích.

### **Spolupráce**

Díky platformě pro týmovou práci je pracování týmů na problematice sestavy velmi jednoduché a efektivní. Celý vývojový tým totiž může ve stejnou dobu operovat s jedněmi daty sestavy. Dále pak technologie umožňují spolupráci i s daty předávajícími [20]

## 4 METODY ŘEŠENÍ NAPĚŤOVÝCH A PEVNOSTNÍCH PROBLÉMŮ

V analytické rovině je řešení složitějších problémů vždy pouze přibližné. A to zkrátka proto, že neexistují žádná analytická řešení. Složitější problém u tělesa s konstrukčně neobvyklým tvarem v zátěži větru, vody a dalších sil, se řešil zjednodušením, zanedbáním některých vlivů, změnou tvaru tělesa. Tato řešení nemohla být přesná a vedla tak k velké řadě různých problémů. [21]

S pokročilejší technikou v oblasti výpočetních věd se nám ale podařilo docílit pokroku. A to vyvinutím několika výpočetních metod.

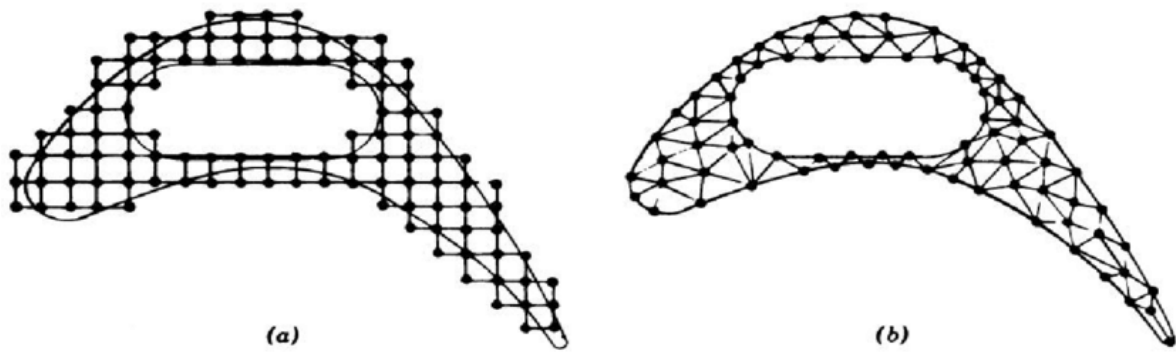
### 4.1 Metoda konečných rozdílů

Tato metoda zvládá vyřešit velké množství různých problémů, pokud ji ale použijeme na řešení nepravidelných, či neobvyklých tvarů těles, narazíme na problém, že její použití bude na zmíněná tělesa velmi náročné, či nepřesné. A to zejména z důvodu použití pole mřížkových bodů, které nedokáže pokrýt celý nepravidelný tvar tělesa. [21]

### 4.2 Metoda konečných prvků (MKP)

Její základní myšlenku uvedl R. Courant, a to již v roce 1943. Bohužel v té době bylo nemožné vypočítat tak velké soustavy lineárních algebraických rovnic, a tak od ní bylo upuštěno. Po deseti letech ji však začali používat při pružnostních a pevnostních výpočtech letečtí inženýři. Ti dělili kontinuum na malé části, jimž říkali prvky. Pojem konečný prvek byl však zaveden matematiky až v šedesátých letech. [22]

Nyní je moderní variantou variačních metod. Nabízí nám početní analytickou techniku nutnou k zisku řešení, a to pro širokou škálu různých problémů. Jmenovitě by to pak byly různé technické úlohy, úlohy matematické fyziky, diferenciální, integro-diferenciální a integrální rovnice, variační nerovnice, diferenciálně algebraické rovnice apod. Jedním z typických příkladů by pak byly rovnice vedení tepla, Maxwellovy a Schrödingerovy rce. [21,22]



Obr. 10 Metody řešení napět'ových problémů [31]

Oproti metodě konečných rozdílů využívá pole sestávající z trojúhelníků, které je mnohem početnější a pokryje tak přesněji větší množství tělesa nepravidelného, či složitého tvaru. [21]

Podrobnější vysvětlení MKP se odvíjí od problému kontinua, ve kterém má kterákoli dimenze (např. tlak, teplota, napětí) nekonečně mnoho řešení, a to proto, že je funkcí každého bodu v tělese. Díky tomu máme problém s nekonečným počtem neznámých. Funkce diskretizace za pomoci metody konečných prvků pak daný problém zredukuje na konečný počet neznámých, a to tak, že vezmou danou oblast, kterou rozdělí na jednotlivé prvky a neznámou proměnnou vyjádří za pomoci předpokládaných aproximativních funkcí v každém prvku. Ty jsou poté definovány hodnotami proměnných polí v daných bodech, jež nazýváme uzlové body. Uzly pak leží na hranicích prvků, kde jsou sousední prvky spojeny. Součást může mít pak krom hraničních uzlů i několik vnitřních uzlů. Záleží na tvaru součásti. Chování proměnných polí uvnitř prvků je pak definováno uzlovými proměnnými poli a interpolačními funkcemi prvků (neboli nalezením přibližných hodnot funkce). [21]

### 4.3 Měrná energie napjatosti

Pokud na objem vztáhneme energii prostorové napjatosti, neboli položíme

$$W = \frac{dU}{dV}, \quad (1)$$

pak je veličina  $W$  nazývána měrnou energií napjatosti, či hustotou deformační energie.

$$W = \frac{1}{2} (\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3). \quad (2)$$

Po dosazení rovnic elasticity za složky deformace, dostaneme vztah

$$W = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]. \quad (3)$$

Následně je třeba rozdělit obecnou prostorovou napjatost na dvě části. Obecná prostorová napjatost je dána hodnotami hlavních napětí. Tyto dvě složky jsou deviátorová, neboli distorzní, která má za příčinu změny tvaru, a hydrostatická, neboli objemová. Deviátorová část se pak vyjádří vzorcem ( $e = 0$ ).

$$\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3 = 0 \quad (4)$$

Součet je pak

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma''_1 + \sigma''_2 + \sigma''_3 = 3p; \quad (5)$$

poté můžeme ze vzorce vyjádřit hydrostatickou část napjatosti

$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \quad (6)$$

tento vztah rozděluje napjatosti prostoru na objemovou a distorzní část.

$$\sigma'_i = \sigma_i - p. \quad (7)$$

Objemová část a její měrná energie je pak podle předchozích rovnic

$$W'' = \frac{1 - 2\nu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2. \quad (8)$$

Distorzní část a její měrná energie pak je vyjádřena jako rozdíl

$$W' = W - W''. \quad (9)$$

S předchozími rovnicemi je pak

$$W' = \frac{1 + 4\nu}{3E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]. \quad (10)$$

#### 4.4 Von Misesovo napětí

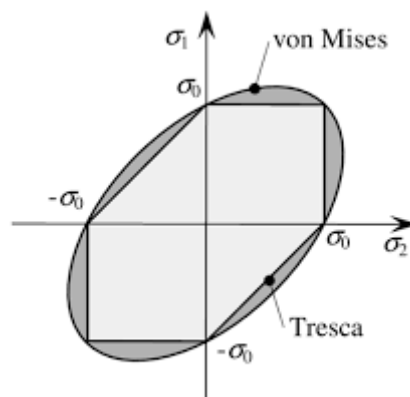
Je známé také jako redukované napětí. Je to teoretické jednoosé napětí používané k posouzení mezního stavu materiálu v situacích, kdy dochází k víceosému zatížení. V reálných tělesech existuje šest základních složek napětí. Ty mohou být převedeny na Von Misesovo napětí. To pak lze porovnávat s mezí kluzu materiálu a na základě toho lze určit, zda daná součást splňuje pevnostní podmínky, či nikoli. Von Misesovo napětí je vždy kladné a je z něj nemožné vyčíst, zda je součást zatížena tahem, či tlakem. Tato skutečnost může být u různých výpočtů limitující. Vypočítá se z napětí působících na těleso, a to jak z napětí normálních, tak i smykových. Pro tuto práci však uvedeme matematický vzorec pouze pro výpočet napětí normálového. Smykové napětí totiž na sestavu kvůli absenci bočních sil nepůsobí.

$$\sigma_s = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}}{2} \quad (11)$$

Jeho využití je pak v metodě konečných prvků, kdy jej porovnááme s mezí pružnosti. Díky tomu zjišťujeme, zda se materiál nachází, nebo nenachází v pružném stavu. [23,24]

#### 4.5 Trescova hypotéza

Také známa jako hypotéza maximálního smykového napětí, nebo Guestova hypotéza. Zakládá se na selhání materiálu při dosažení maximálního smykového napětí. Tato teorie je nejvíce relevantní pro křehké materiály. To je rovno maximálnímu srovnávacímu napětí, ke kterému docházíme za pomoci srovnání obou stran plochy (kladné a záporné). [25,26]



Obr. 11 Napětí Von Mises a Tresca [32]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je navrhnout, vyrobit a zkonstruovat nový systém odpružení pro sjezdové kolo Author ar-h 2008. Odpružení musí být progresivní a musí odolat pevnostnímu zatížení. Pro realizaci práce je zapotřebí:

- Navržení dílů systému odpružení

Navrhnout systém odpružení, jež bude korespondovat s původním rámem a tlumící jednotkou. Systém nesmí narušit rám.

- Provedení FEM pevnostních analýz

Otestovat navržené části, zda splňují pevnostní podmínky a zvládají předpokládané maximální zatížení systému.

- Výroba systému

Vyrobit systém za použití CNC obráběcího centra FGS 40 CNC-B, soustruhu a hrotové brusky BUA-16.

- Kompletace systému

Instalovat systém na rám bez úprav rámu.

## 6 MODELOVÁNÍ VÝCHOZÍCH PRVKŮ V AUTODESK INVENTOR

První z věcí, jež bylo třeba řešit, byl rám sjezdového kola, jehož chybějící systém bylo třeba navrhnout a inovovat, proto bylo důležité převést do programu základní prvky systému, na které se pak mohly nově navržené části systému připojit. V následujících modelech se z důvodu úspory prostoru zanedbaly obrázky modelů spojovacích materiálů, čepů a podložek.

### 6.1 Rám

Převedení fyzického rámu kola na model. Proces proběhl v aplikaci Autodesk Inventor. Prve však bylo zapotřebí změřit všechny rozměry fyzického rámu kola. K tomu byly použity měřicí pomůcky jako posuvná měřidla, měřicí pásma a úhlové pomůcky. Většina rozměrů byla poté přenesena na pomocný papír, s jehož pomocí pak bylo snazší zjistit skutečný rozměr a jednotlivé úhly. Na konstrukci bylo použito značné množství výkresů, a to z důvodu složitosti dílčích dílů. Z kružnic byly taženy nosné prvky rámu, nicméně k jejich nesouměrnosti muselo být použito několika skic pro úpravu taženého tvaru. Velmi důležité bylo přesně změřit osové vzdálenosti mezi částmi rámu, které se svou funkcí vztahovaly k systému zadní stavby, pokud by zde totiž vznikla, byť nepatrná chyba v měření, tak by mohl být následný návrh chybný. A to z hlediska znemožnění reálné výroby a sestavení mechanismu.



Obr. 12 Model rámu kola



## 6.2 Spodní část zadní stavby

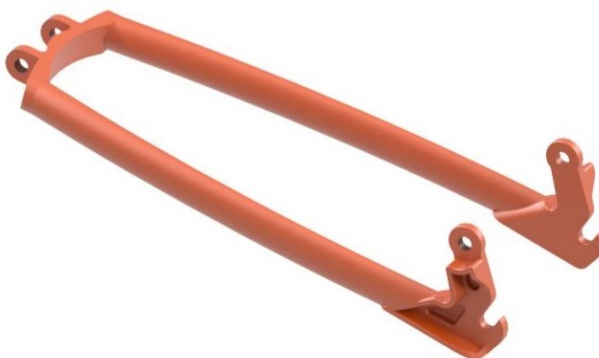
K převedení fyzické zadní stavby na model byly použity stejné měřicí pomůcky, jako u rámu. Také byl použit stejný software pro modelování. Výhodou u tohoto modelu byla možnost zrcadlení, která usnadnila značnou část práce modelování. Bylo však náročné držet veškeré úhly a zkosení u modelovaného prvku. A to především z důvodu složitosti měření.



Obr. 13 Model spodní části zadní stavby

## 6.3 Střední část zadní stavby

Její modelování se velmi podobalo spodní části zadní stavby. Změřené rozměry byly dosazeny do nákresů a vytažená část se poté ozrcadlila. Stále však bylo zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti na osové vzdálenosti potřebné ke správné funkci celé zadní stavby. Při jejím modelování byl vynechán model patky, a to z důvodu její odnímatelnosti.



Obr. 14 Model střední části zadní stavby

## 6.4 Tlumící a pružící jednotka

Tlumící jednotka X-fusion S750X51 byla převedena na model. V originálním modelu kola Author a-rh z roku 2008 bychom ji nenašli. Součástí návrhu tohoto systému bylo i zvýšení účinnosti tlumení, k čemuž byla zvolena i odlišná a silnější tlumící jednotka. Model, který byl navržen, byl zkonstruován ve zjednodušené formě bez vnitřních částí. Abychom je totiž mohli vymodelovat, musel by být tlumič rozřezán na dvě části, což by znemožnilo jeho následné použití v systému, proto byly vnitřní části zanedbány. Symbolicky je na něm vymodelována i část pro nastavení tuhosti. Tlumič je však v sestavě plně funkční a adaptabilita jeho pružiny je toho důkazem.



Obr. 15 Model pružící a tlumící jednotky X-Fusion

## 6.5 Výchozí rám s tlumicí jednotkou

Sestavení systému se neobešlo bez spojovacích prvků a ložisek. Protože v původním rámu již spojovací prvky byly, tak byly pouze převedly do programu Autocad. Některé z nich byly nahrazeny modely z knihovny dle ČSN, jiné musely být vymodelovány. Systém byl pak za pomoci vazeb spojen a nastaven do výchozí polohy pro přidání navrhovaných částí. Tlumicí jednotka byla pro svou velikost schována do vnitřní části rámu. Kvůli efektivnějšímu tlumení systému, a také aby bylo zabráněno dotyku se spodní rámovou trubkou, byl tlumič umístěn v co nejkolmějším úhlu vůči sedlové trubce. Navrhovaný systém tak musel být s uchycením tlumiče umístěn do prostoru pro uchycení horního čepu navrhovaného vahadla, kde není mnoho místa, což způsobovalo značné komplikace při návrhu systému.



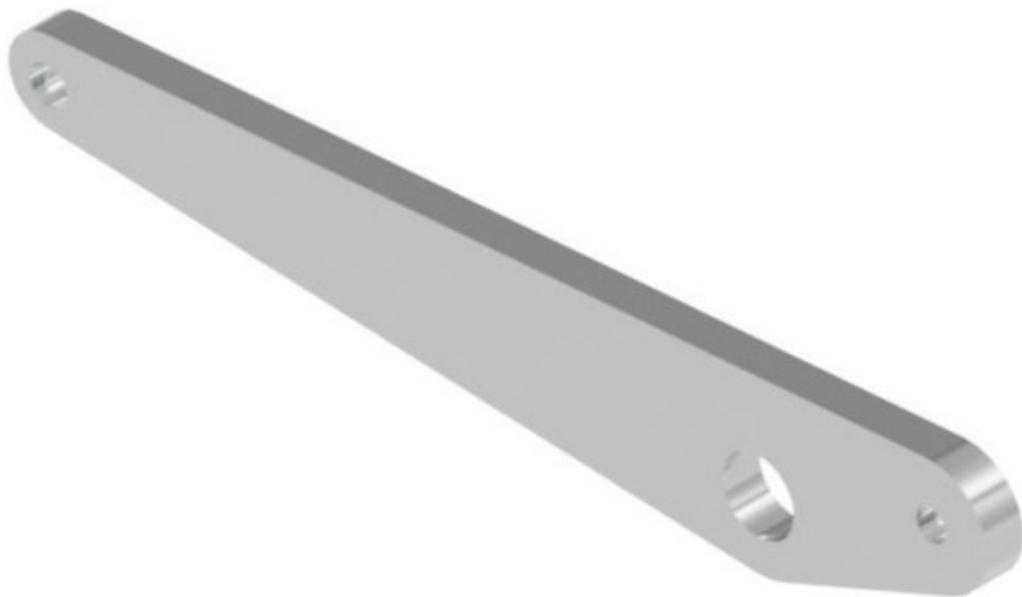
Obr. 16 Model výchozí sestavy

## 7 MODELOVÁNÍ NAVRHOVANÝCH PRVKŮ V AUTODESK INVENTOR

K vymodelovaným výchozím prvkům sestavy bylo poté možné navrhnout novou část systému, která by jej propojovala a plnila tlumící funkci. Pro větší životnost a pevnost byl u systému kladen důraz na plynulé přechody, absenci rohů a ostrých hran.

### 7.1 Vahadlo ke spojení zadní stavby s částí volného pivotu

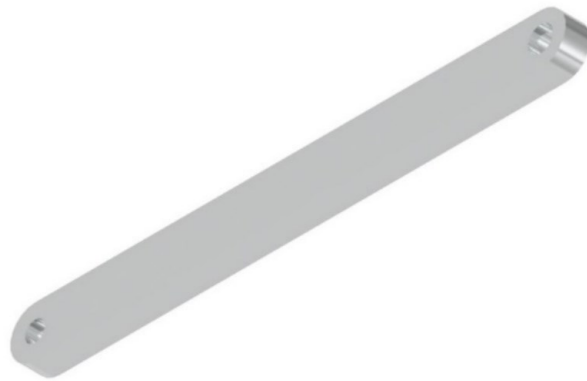
Jedním z nejdůležitějších navrhovaných částí bylo vahadlo zajišťující spojení inovativního systému volného pivotu s rámem a zadní stavbou. Tento trojúhelníkový systém byl pro zachování správné funkce v prostředním čepu opatřen samomazným bronzovým ložiskem.



Obr. 17 Navrhované vahadlo zadní stavby

## 7.2 Vzpřímená část mechanismu volného pívotu

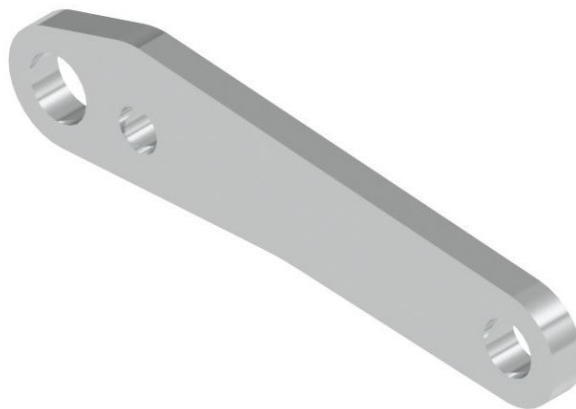
Bylo zapotřebí vymyslet část mechanismu, jež by plnila funkci držení volného pívotu. Zároveň však měla být pohyblivá, dostatečně pevná, lehká a měla by umožňovat jeho správný chod.



Obr. 18 Navrhovaná vzpřímená část mechanismu

## 7.3 Vahadlo volného pívotu

Další částí bylo vahadlo, hlavní rameno, které spojuje tlumící a pružící jednotku se zbytkem mechanismu. Také je propojeno s prvním vahadlem, jehož sílu přenáší na tlumič. Díky prostoru, který je mezi uchycením k vahadlu zadní stavby a tlumičem, by měl plnit progresivní funkci systému.



Obr. 19 navrhované vahadlo volného pívotu

## 7.4 Polovina navrhnuté sestavy

Vyrenderovaný obr. 18 zachycuje část navrhované sestavy. Pro lepší orientaci ukazuje pouze jednu ze dvou polovin systému, a to bez spojovacích prvků a zbytku sestavy.



Obr. 20 Navrhovaná sestava

## 7.5 Spojení modelovaných a navrhovaných prvků

Sestava modelovaných a navrhovaných prvků poskládaná v jeden celek. Skládání systému se neobešlo bez návrhů a modelů spojovacích částí.



Obr. 21 Modelované a navrhované prvky

## 8 OVĚŘENÍ PEVNOSTI V PROGRAMU NX

Po návrhu systému následovalo jeho ověření z hlediska pevnosti. K tomuto účelu byl použit systém NX a jeho výpočetní zařízení Simcenter Nastran. Ověření pevnosti je jedním z důležitých faktorů, který je součástí konstrukčních prací. Díky této kontrole je totiž konstruktér schopen předejít velkému množství různých chyb. Zejména pak chyb pevnostních. Také je díky němu schopen navrhované díly výrazně zlehčit, a to pouze za cenu velmi nízké ztráty pevnosti.

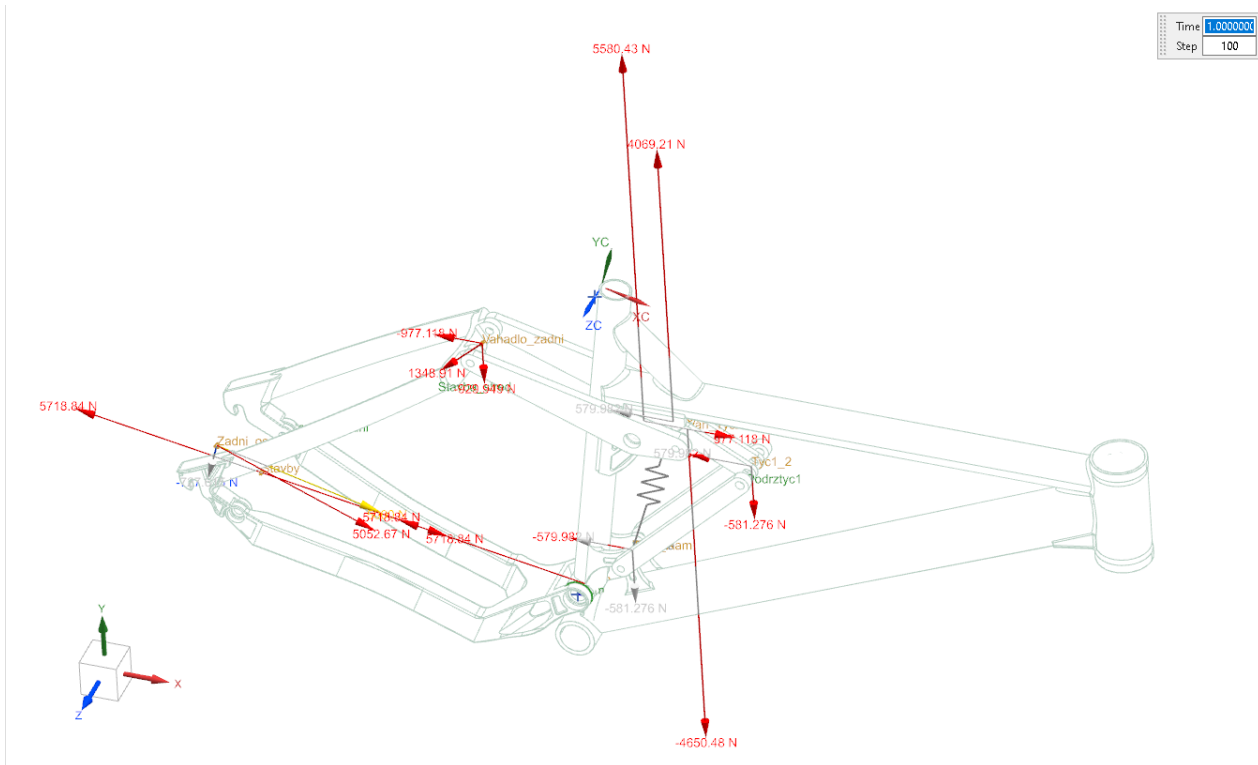
### 8.1 Zjištění dílčích sil

Jako první bylo potřeba zjistit jednotlivé síly působící na prvky systému. Ty byly zjištěny za pomoci Simcentra Nastran, kde bylo nutností nahrát celou sestavu. Protože se však systém nahrává z aplikace Autodesk Inventor, tak nahraná sestava postrádá jednotlivé vazby. Ty bylo nutno vytvořit. Poté bylo v bodech ohybu zvoleno promítnutí působících sil. Byla odstraněna sestava tlumiče a nahrazena funkcí k tomu určenou. Následně byla zvolena síla, jež bude působit na systém. V tomto případě to byla síla o velikosti 1000 N, která byla symbolizována váhou  $m = 100$  kg jezdce (gravitační zrychlení  $g$  zaokrouhlujeme na 10), který na kole sedí v klidu. Nato bylo potřeba zvolit tuhost pružícího systému, která se bohužel nedala dohledat. Námí zvolený tlumič byl totiž staršího data, a tak síla jeho pružiny byla odhadována na 225 kilogramů. Běžná tuhost pružin se totiž pohybuje mezi 135-275 kg. Jako kontrolu pevnosti systému byl nastaven koeficient bezpečnosti  $K = 5$ . Následně byl proveden jednoduchý výpočet, kdy se vzala váha jezdce a byla vynásobena koeficientem, jak lze vidět ve vzorci 13.

$$F = m * g * K \quad (12)$$

$$F = 100N * 10 * 5 = 5000 N \quad (13)$$

Tato síla byla dosazena do programu NX (obr. 20), kde poté vznikly výsledné síly v jednotlivých bodech. Ty byly následně dosazeny do dílčích dílů sestavy a zjistilo se tak, zda pevnostně vyhovují.



Obr. 22 Působení sil s koeficientem 5

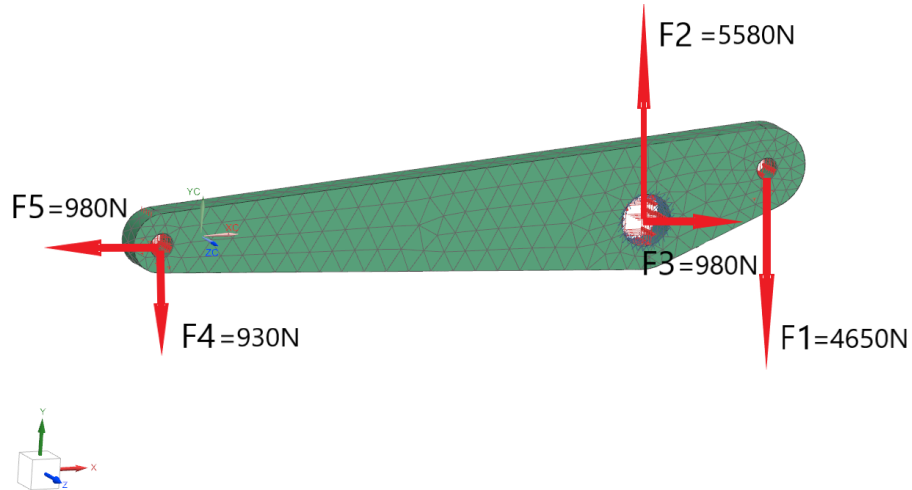
## 8.2 Síly na jednotlivých částech systému

Tímto byly pro každé navržené těleso spočítány síly. Ty byly poté dosazeny do navržených částí systému. U každého tělesa pak bylo nutno nastavit vazby a síť prvků. Ta byla zvolena Ctetra 10, a to pro její přesnost. Systém byl nastaven, aby si automaticky navolil velikost prvků síťování. Dále bylo nutno zvolit materiál, ten byl zvolen jako pevnostně ekvivalentní dural vůči tomu, který byl připraven pro výrobu. Poté byla tělesa připravena k výpočtům. Po výpočtech a následné kontrole vstupních hodnot byl ve výsledcích zvolen průběh Von Misesova napětí. Byl navolen čas na konečnou dobu působení a poté proběhla kontrola pevnosti každé části, kdy byla hodnota Von Misesova napětí porovnána s hodnotou meze pevnosti v kluzu. Pro zjednodušení byla testována pouze polovina systému. Díky tomuto faktu bylo poté nutno výslednou velikost Von Misesova napětí vydělit dvěma, abychom získali skutečnou hodnotu maximálního napětí.



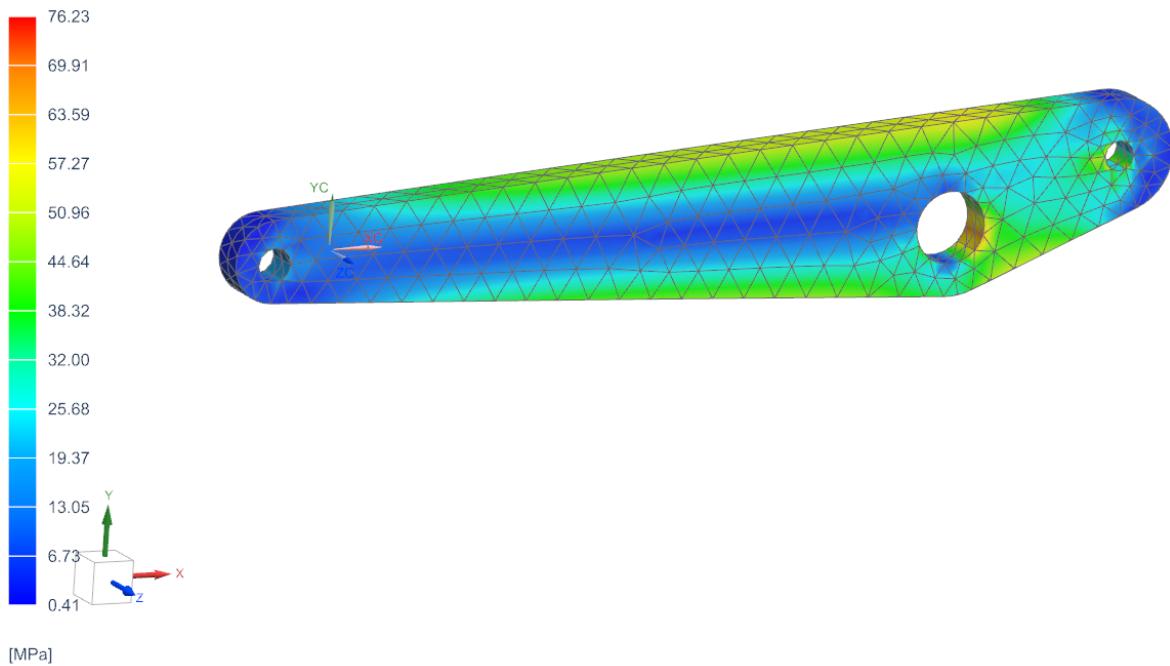
### Vahadlo zadní stavby

Dosazujeme u něj následující síly



Obr. 23 Vahadlo zadní stavby se silami působení

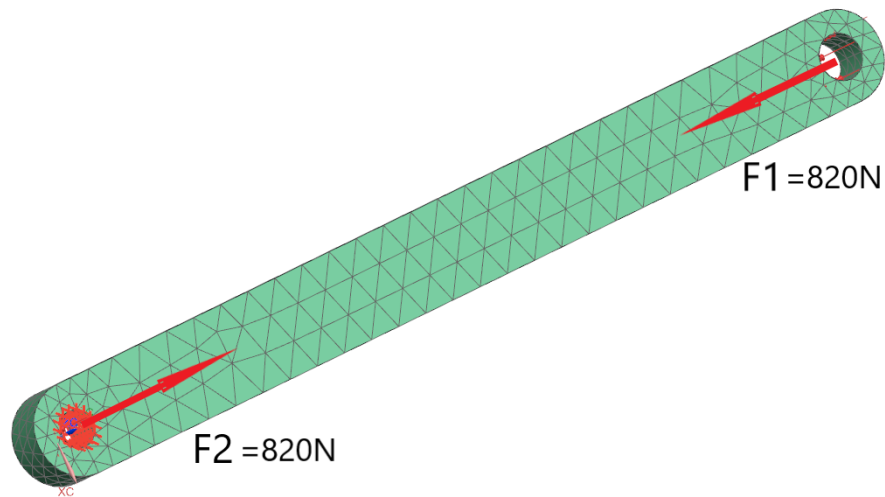
Poté byl proveden výpočet v Simcentru Nastran. Jak je patrné z obr. 24, tak na vahadlo při zátěži 5000N působí maximální napětí 76 MPa, po následném dělení pouze 38 MPa. Jelikož zvolený materiál dosahuje meze pevnosti v tahu 270 MPa, je takto navrhnutá součást vyhovující.



Obr. 24 Vahadlo zadní stavby s napětím Von Mises

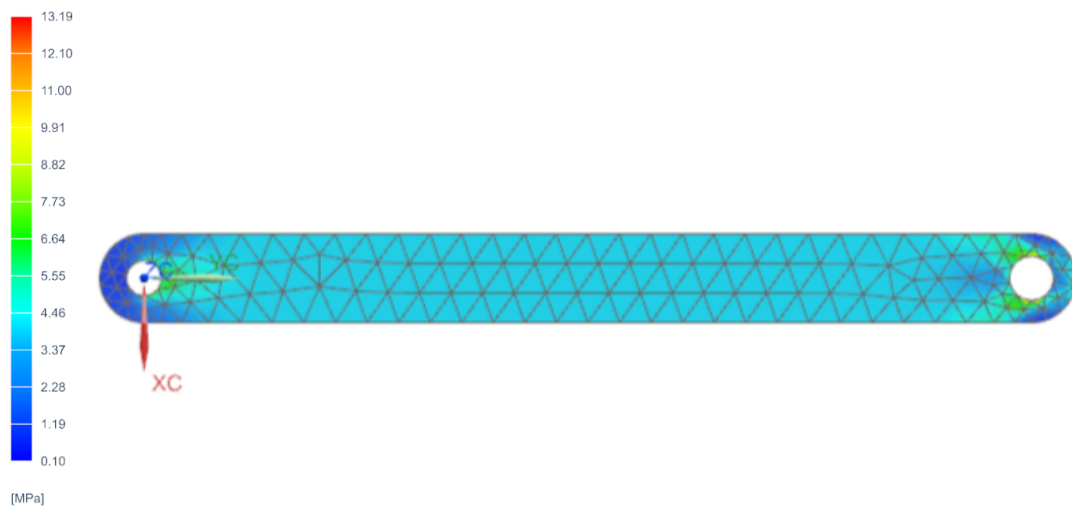
### Vzpřímená část mechanismu

Dosazujeme u něj následující síly



Obr. 25 Vzpřímená část mechanismu se silami působení

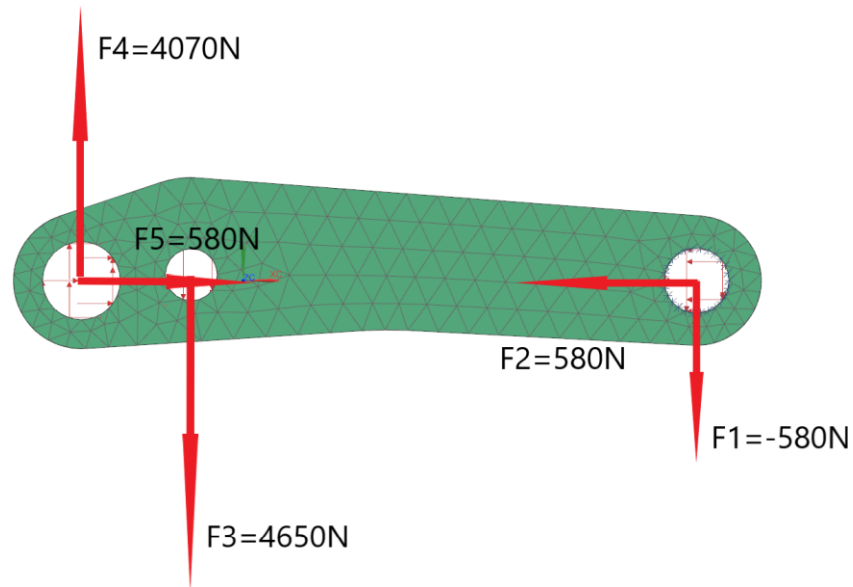
Po výpočtu v Simcentru Nastran je možné si povšimnout, že maximální napětí při zátěži 5000N je pouze 13,2 MPa, po následném dělení pouze 6,6 MPa. Tato součást tudíž z hlediska pevnosti vyhovuje.



Obr. 26 Vzpřímená část mechanismu s napětím Von Mises

## Vahadlo volného pivotu

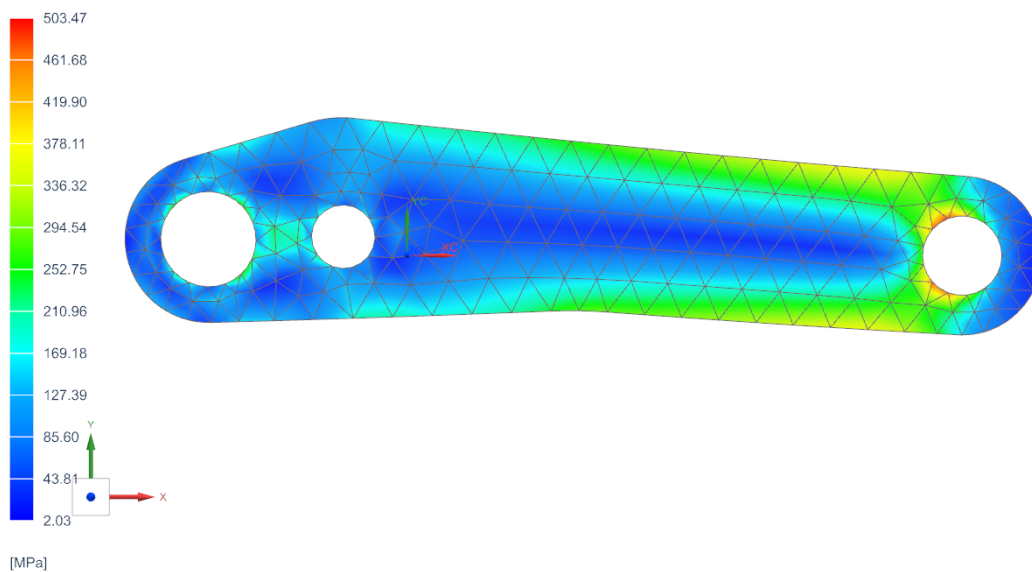
Dosazujeme u něj následující síly



Obr. 27 Vahadlo volného pivotu se silami působení

Z obr. 28 je patrné, že maximální napětí dle Von Mises je 503 MPa, po následném dělení 251,5 MPa. Pevnost v tahu voleného materiálu je 270 MPa. Součást z hlediska pevnosti vyhovuje. Pokud by součásti nebyly dvě, tak by z hlediska pevnosti nevyhovovaly.

Subcase - Statics 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 2.03, Max : 503.47, Units = MPa  
CSYS : Absolute Rectangular  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



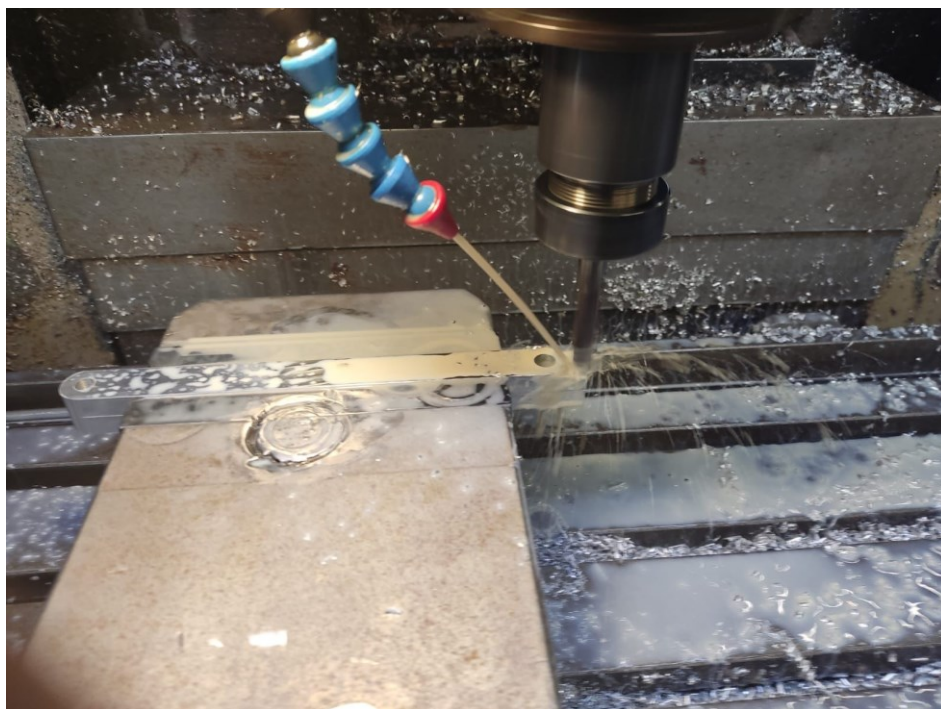
Obr. 28 Vahadlo volného pivotu s napětím Von Mises

## 9 VÝROBA SOUČÁSTÍ

Celý systém pružení byl vyroben s využitím několika různých strojů. Pro hlavní nosné prvky systému bylo použito obráběcí centrum. Na podložky, hřídele a jejich zápichy byl pak použit soustruh. Na funkční plochy na hřídelích byla použita hrotová bruska.

### 9.1 Výroba na CNC

Po navrhnutí a po zkouškách pevnosti v programu NX se mohlo přejít k samotné výrobě dílčích mechanismů. K výrobě bylo použito 3osé CNC obráběcí centrum FGS 40 CNC-B. Do nějž byla nahrána data z aplikace Autodesk. Z těchto dat si pak stroj vypočetl obvody jednotlivých částí mechanismu a základní tvary vyfrézoval. V průběhu procesu bylo nutno dbát zvýšené opatrnosti na chlazení nástroje, a to zejména kvůli funkci potenciometru, jehož zapnutí zrychlilo proces výroby. Na výrobu děr pak byla použita odlišná fréza než na hrubování materiálu. Vzdálenosti a velikost děr pak byly zadávány ručně dle přiloženého výkresu. Materiál na výrobu byl zvolen Dural EN 5083. A to pak zejména z důvodu kombinace jeho vlastností: pevnosti, hmotnosti a ceny. Po vyfrézování dílčích částí následovalo jejich drobné mechanické opracování, a to zejména odstranění polepů, otřepů a zkosení hran za pomoci brusných papírů a nástrojů k tomu určených. To bylo zapotřebí udělat kvůli správné funkci dílů a také snazší montáži.



Obr. 29 Výroba na CNC FGS 40 CNC-B



Obr. 30 Vyrobené komponenty na CNC FGS 40 CNC-B

## 9.2 Výroba na soustruhu

Po zhotovení hlavních nosných částí následoval proces výroby jednotlivých čepů a podložek. K tomuto účelu byl použit starší soustruh z dílny Fr. Wawerky, datace stroje je z 20. let minulého století. Cílem bylo vyrobit všechny čepy potřebné k plné funkci mechanismu. Ty se vyráběly z kulatin materiálu z uhlíkové oceli. Každá kulatina se musela zakrátit na požadovanou délku, poté zúžit a následně udělat osazení na jedné ze stran. Toto osazení se dělalo na dvě operace, a to kvůli potřebě většího množství materiálu při upnutí na hrotovou brusku. Na druhé straně byl poté vyroben zápich. Po soustružení byla drsnost povrchu  $Ra=1,6$ , což pro naše potřeby bylo nevyhovující, proto na byly čepch vyrobeny středící důlky pro obrábění na hrotové brusce.

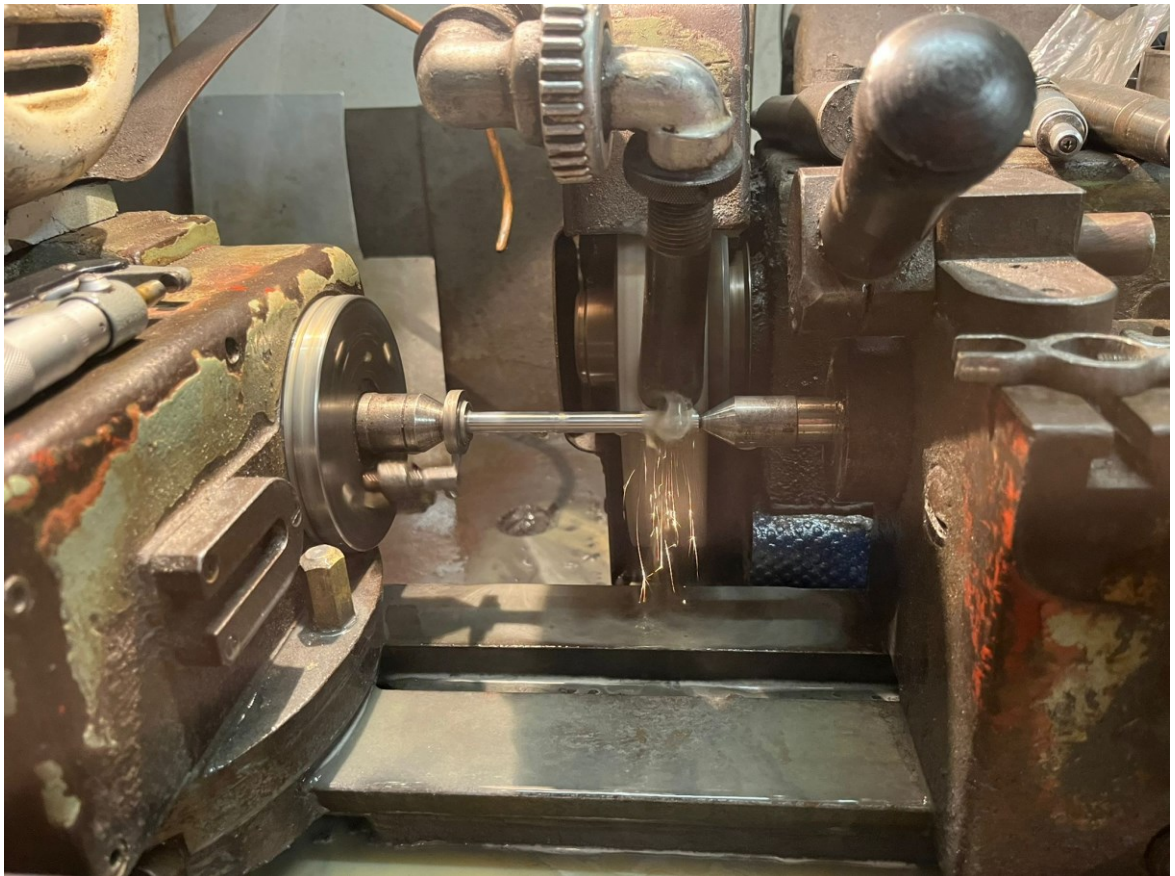


Obr. 31 Soustruh z dílny Fr. Wawerky



### 9.3 Opracování povrchu na brusce

Po zhotovení čepů bylo zapotřebí obrousit jejich funkční plochy na požadovanou drsnost. K tomu byla použita hrotová bruska BUA 16. Díky středícím důlkům, které byly vyrobeny v předchozím procesu, se daly obrobky jednoduše upnout. Za dostatečného chlazení pak byly broušeny diamantovým kotoučem z drsnosti  $Ra=1,6$  na požadovanou drsnost povrchu  $Ra=0,2$ . Po obroušení povrchu bylo možné vzít čepy opět na soustruh, kde se obrobila zbylá část osazení.



Obr. 32 Hrotová bruska BUA-16

## 9.4 Volba a výroba komponent spojovacích a mazných dílů

### 9.4.1 Samomazná ložiska

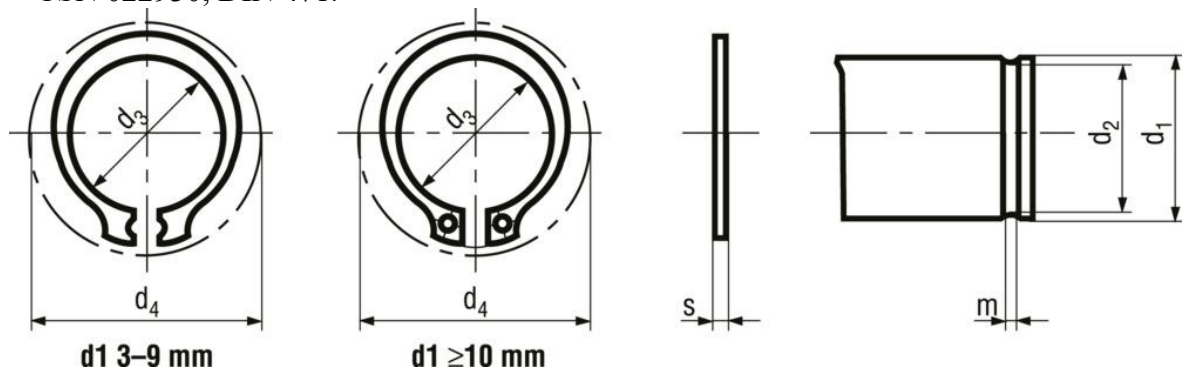
Bylo zvoleno, že ve vahadlech zadní stavby, konkrétně v jejich středním spoji, budou umístěna ložiska pro lepší chod mechanismu, a především pro jeho delší životnost. Porovnáním vlastností jednotlivých typů ložisek byla zvolena bronzová samomazná pórovitá ložiska B70, typ A, o rozměrech  $d=15$  mm,  $D=19$  mm,  $L=25$  mm. Za ideálních okolností by byla zvolena ložiska o  $d=15$  mm,  $D=19$  mm,  $L=11$  mm. Ta však z důvodu nenaskladnění nemohla být využita, a tak padla volba na jedno delší ložisko, které bylo upraveno a rozděleno na dvě menší. Tato operace proběhla na soustruhu za pomoci upichovacího nože. Po rozdělení ložiska následovala operace, která jej zkrátila na požadovanou délku 10,5 mm a poté se zkosily jeho vnější hrany, a to kvůli zjednodušení lisovacího procesu. Ten proběhl v domácích podmínkách za pomoci strojního svěráku. Při tomto procesu byly ložiska a díly vahadla vycentrovány a následně silami vlisovány do sebe.



Obr. 33 Vahadlo zadní stavby s nalisovaným ložiskem

### 9.4.2 Válcové konce hřídelů

Z důvodu setrvání čepů na svých pozicích byl zvolen způsob zajištění za pomoci pojistných kroužků. Tyto kroužky byly voleny na každou hřídel samostatně z důvodu odlišných průměrů hřídelí. Každá hřídel má tak dle svého průměru předem daný zápich, a to dle normy ČSN 022930, DIN 471.



Obr. 34 Pojistné kroužky pro hřídele [33]

#### 1. Čep

$\emptyset = 8$  mm. Volíme pojistný kroužek 8 ČSN 02 2930

o rozměrech  $d_3 = 7,4$ ,  $d_4 = 14,2$  mm,  $s = 0,8$  mm

Konce čepů musely být upraveny na  $d_2 = 7,6$  mm,  $m = 1,1 - 1,32$  mm

#### 2. Čep

$\emptyset = 10$  mm. Volíme pojistný kroužek 10 ČSN 02 2930

o rozměrech  $d_3 = 9,3$ ,  $d_4 = 17$  mm,  $s = 1$  mm

Konec čepu musel být upraven na  $d_2 = 7,6$  mm,  $m = 1,1 - 1,32$  mm

#### 3. Čep

$\emptyset = 12$  mm. Volíme pojistný kroužek 12 ČSN 02 2930

o rozměrech  $d_3 = 11$ ,  $d_4 = 19$  mm,  $s = 1$  mm

Konec čepu musel být upraven na  $d_2 = 11,5$  mm,  $m = 1,1 - 1,32$  mm

#### 4. Čep

$\emptyset = 15$  mm. Volíme pojistný kroužek 15 ČSN 02 2930

o rozměrech  $d_3 = 13,8$ ,  $d_4 = 23$  mm,  $s = 1$  mm

Konec čepu musel být upraven na  $d_2 = 14,3$  mm,  $m = 1,1 - 1,32$  mm



### 9.4.3 Opracování děr

Každá z děr na systému musela být po výrobě na CNC upravena. První operací, kterou musely díry projít, bylo srážení hran. To bylo provedeno za pomoci odjehlovače neboli otočného škrabáku. Proces srážení hran je velmi důležitý, kdyby na hranách byly stále otřepy, byl by proces vsunutí čepu téměř nemožný. Mohlo by se taktéž stát, že otřepový materiál by vnikl mezi čep a díru, což by mělo za následek výrazné snížení životnosti systému.



Obr. 35 Odjehlovač [34]

Po zbavení otřepů bylo zapotřebí vyfrézované díry vyhrubovat a poté vystružit. Oba dva procesy proběhly za pomoci ručního přípravku. Při obou procesech byl použit olej pro mazání, aby procesy probíhaly hladce a aby bylo dosaženo co nejmenší drsnosti Ra. Po vystružení byly díry vyfoukány za pomoci kompresoru a vyčištěny. Tím byly zbaveny kovových třísek, které vznikly při obou operacích. Poté byly díry připraveny pro instalaci čepů, nebo ložisek.

## 10 KOMPLETACE CELÉHO MECHANISMU

Po výrobě veškerých komponent bylo možné sestavu začít skládat. Bylo důležité dbát zvýšené opatrnosti na skládání jednotlivých prvků. Začalo se vložením tlumiče a jeho osazení mezi spodní část rámu. Poté se po stranách rámu vložily hliníkové podložky, na ty byly přiloženy vzpřímené části mechanismu a skrze všechny komponenty pak prostrčen čep. Ten byl předtím namazán za pomoci teflonového mazacího spreje. Ten byl použit zejména pro správný a hladký chod mechanismu, dále pak pro snazší rozebíratelnost.



Obr. 36 Rám s vloženým tlumičem a vzpřímenými částmi mechanismu

Po vložení tlumiče bylo nutné namontovat vahadla volného pivotu. Ty z důvodu malého manipulačního prostoru musely být kompletovány bezprostředně po osazení rámu tlumičem. V opačném případě by byla montáž nemožná. Vahadla byla montována za pomoci čepu skrze vrchní část tlumiče. Po jejich montáži došlo k zajištění čepu za pomoci pojistného kroužku.



Obr. 37 Rám s tlumičem, vzpřímenými částmi a vahadly horního pivotu

Poté byly části vzpřímeného mechanismu a vahadel spojeny za pomoci čepu a podložek, jež byly vloženy mezi každou část mechanismu. Bylo tomu tak z důvodu vyrovnání mezer mezi částmi mechanismu a zvýšení pevnosti. Po tomto kroku byly čepy zajištěny pojistnými kroužky.



Obr. 38 spojení vzpřímených mechanismů a vahadla volného pivotu



Bylo přidáno jedno z vahadel. Skrze ložisko byl zaveden čep, který se vsunul do rámu. Následně byly k vahadlu přiloženy podložky, přidán poslední z čepů, který zajistil spoj s rámem a poté byly přidány zbývající podložky na druhou stranu mechanismu.



Obr. 39 systém s přidáním vahadlem

Poté bylo přidáno druhé z vahadel, celý systém se zajistil s pomocí pojistných kroužků. Následně se spojily vahadla s poslední částí mechanismu, a to se střední částí zadní stavby. Spojení bylo provedeno za pomoci původních šroubů s jemným stoupáním.



Obr. 40 Kompletní mechanismus zadní stavby

## 11 PROGRESIVITA SYSTÉMU

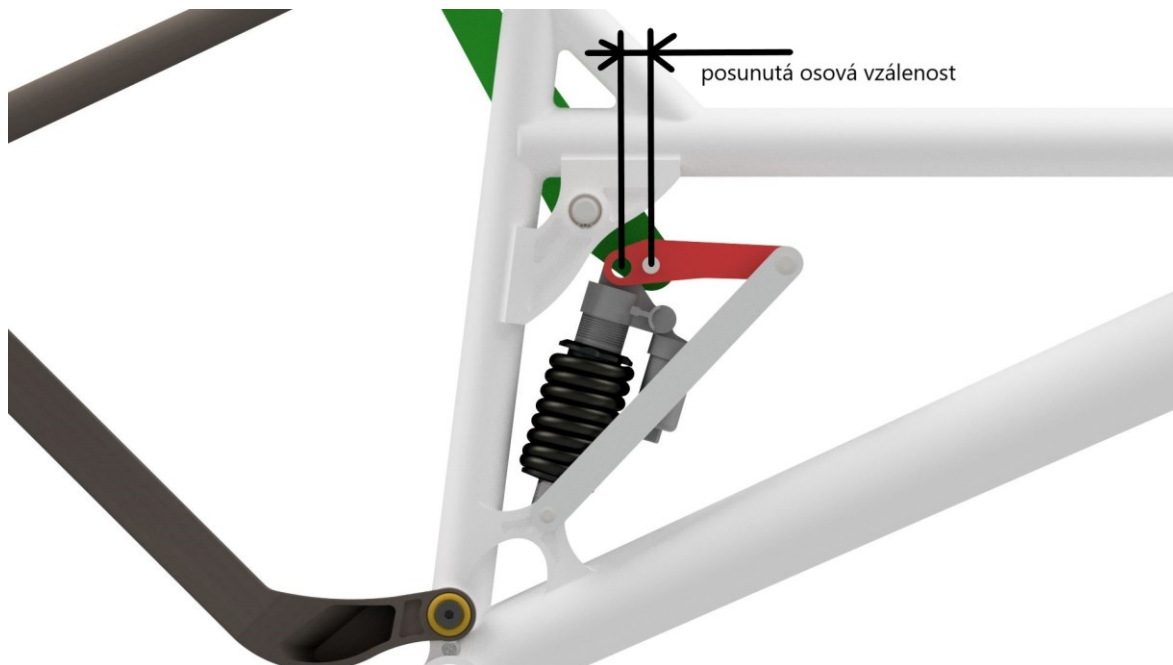
System byl navržen, aby měl progresivní průběh. Toho bylo docíleno za pomoci zvolených osových vzdáleností, konkrétně pak přepákování tlumící jednotky. Díky vzdálenosti mezi bodem vahadla, které přenáší sílu na vahadlo volného pivotu a bodem, který pohybuje s tlumící jednotkou, je systém schopen na tlumič vyvíjet neustále narůstající sílu. Tato síla se bude vůči vzdálenosti zadního kola od nulového bodu zvětšovat více, než by bylo běžné. Oproti původnímu systému tak pravděpodobně dojde při stejném pohybu zadního kola k většímu stlačení tlumící jednotky. Tento jev pak bude mít vliv na funkci mechanismu, konkrétně se bude odpružení jevit jako progresivní. Tento přístup je však pouze teoretický.



Obr. 41 Tlumící systém v klidové poloze

Na obr. 42 je systém zobrazen v klidu, bez zatížení. Pro lepší viditelnost byly při renderování obr. 41 a obr. 42 v systému zhasnuty některé jeho části.

Na obr. 42 je systém zobrazen při maximální zátěži a maximálním stlačení tlumící jednotky.



Obr. 42 Tlumící systém při maximálním stlačení

System zatím nebyl testován, a tak je jeho progresivní funkce pouze na teoretické úrovni.

## 12 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala návrhem a výrobou části systému odpružení zadní stavby sjezdového kola. Provedením pevnostních analýz a ověřením splnění pevnostních podmínek.

Práce je dělena na dvě části. V teoretické části je uvedena stručná historie cyklistických kol, základní pojmy z oblasti cyklistiky, jednotlivé typy zadního odpružení, programy použité pro výrobu a pevnostní analýzy. První kapitola zmiňuje historii cyklistických kol. Jsou zde uvedeni vynálezci jednotlivých systémů, které se používají na kolech i v dnešní době. Druhá kapitola se zabývá typy odpružení jízdních kol. Jsou v ní uvedeny jednotlivé systémy předního i zadního odpružení, také je zde čtenář seznámen s důležitými pojmy z oblasti cyklistiky, jež je dobré znát. Následující kapitola se zabývá 3D systémy, jejich použitím a výhodami. Poslední kapitola teoretické části seznamuje s FEM analýzou, metou konečných prvků a Von Misesovým napětím.

Praktická část práce se zabývá zhotovením modelu výchozího rámu, tlumící jednotky a části zadní stavby. Po zhotovení 3D modelů a seskládání do jedné sestavy v aplikaci Autodesk Inventor bylo možno pokračovat navrhováním zbylých částí zadní stavby. Ty byly prve navrženy náčrtem na papír a poté převedeny na 3D modely. Došlo ke spojení výchozích a navrhovaných částí v jednu sestavu, ta byla opatřena veškerými prvky a převedena do aplikace NX. Zde byla otestována za pomoci FEM analýzy. Materiál byl zvolen jako dural pevnostně ekvivalentní duralu EN 5083, jež byl volen pro výrobu. Jako demonstrace pevnosti mechanismu bylo zvoleno zatížení 100 kg jezdce, které působilo na systém. Byl zvolen koeficient bezpečnosti  $K = 5$  z důvodu dynamického zatížení. Sestava poté byla zatížena 5000 N. Systém splnil pevnostní podmínky, a byl tak připraven k výrobě. Ta probíhala za pomoci CNC obráběcího centra, soustruhu a brusky. Poslední částí práce byla samotná kompletace systému. Jeho seskládáním bylo ověřeno, že systém navazuje na původní rám, a vlézá se do vymezeného prostoru.

Velký přínos práce vnímám v jedinečnosti systému. Na teoretickém poli vykazuje systém progresivitu za pomoci přepákování, které neustále prodlužuje působení na tlumič. S narůstající dráhou zvyšuje sílu a dokáže tak tlumič zmáčknout mnohem více než původní systém. To vše za zachování stále stejného zdvihu zadního kola a možnosti výměny systému zpět na původní. Systém je oproti jiným vybaven 6 čepy, které zajišťují funkci progresivity, díky tomu je však těžší.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BARONI, Francesco. *Bicykl: historie, mýty, posedlost*. Čestlice: Rebo, 2011. ISBN 978-80-255-0459-8.
- [2] ONDRÁČEK, Jan a Sylva HŘEBÍČKOVÁ. *Cykloturistika*. [Brno]: Masarykova univerzita, 2007. ISBN 978-80-210-4443-2.
- [3] HAYMANN, Florian a Ulrich STANCIU. *Jak dokonale zvládnout horské kolo*. Praha: Grada, 2009. Jak dokonale zvládnout. ISBN 978-80-247-2775-2.
- [4] SOULEK, Ivan a Karel MARTINEK. *Cyklistika: horská, silniční, rekreační, výkonnostní*. Praha: Grada, 2000. ISBN 80-716-9951-9.
- [5] SIDWELLS, Chris. *Velká kniha o cyklistice*. [Praha]: Slovart, 2004. ISBN 80-720-9585-4.
- [6] HRUBÍŠEK, Ivo. *Horské kolo od A do Z*. 5. aktualiz. vyd. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-859-2086-7.
- [7] BALTES, J., C. SUTELA a R. REDFIERD. Development of a freeride mountain bike suspension fork. *Sports Technol.* 2008, **1**, 152-165. Dostupné z : <https://doi.org/10.1002/jst.16>.
- [8] STOTT, Seb. The ultimate guide to mountain bike rear suspension systems. *Bikeradar* [online]. 2018 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.bikeradar.com/features/the-ultimate-guide-to-mountain-bike-rear-suspension-systems>
- [9] JETMAR, Kryštof. *MECHANISMUS ODPRUŽENÍ RÁMU SJEZDOVÉHO KOLA*. Liberec, 2014. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
- [10] OLYMPIC CYCLES. Let's Get To Know VPP. *Olympic Cycles* [online]. 2016 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.olympiccycles.co.za/blog/lets-get-know-vpp/>
- [11] HÁJÍČEK, Štěpán. DW-link – detailní rozbor systému odpružení. *Bikeandride* [online]. 2015 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.bikeandride.cz/2015/02/dw-link-detailni-rozbor-systemu-odpruzeni/>
- [12] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 8023916017.



- [13] HÁJÍČEK, Štěpán. Vše, co jste chtěli vědět o zadním odpružení... (tech lab). *Bikeandride* [online]. 2020 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.bikeandride.cz/2020/04/vse-co-jste-chteli-vedet-o-zadnim-odpruzeni-tech-lab/>
- [14] LINDA, Jakub. Současné trendy v systémech odpružení. *MTBIKER* [online]. 2023 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.mtbiker.cz/clanky/126487/soucasne-trendy-v-systemech-odpruzeni.html>
- [15] KUŽELA, Tomáš. *Materiály a mechanizace v cyklistice*. Zlín, 2018. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [16] HUNTER, Trail. Geometrie rámu kola: co byste měli vědět. *TRAIL HUNTER* [online]. 2018 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.trailhunter.cz/geometrie-ramu-kola/>
- [17] Setting Sag on mountain Bike Suspension. *Expert Advice* [online]. 2016 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.rei.com/learn/expert-advice/setting-sag.html>
- [18] Jak nastavit odpružení (SAG) u svého kola? *QAYRON* [online]. 2021 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://qayron.com/blog/96/jak-nastavit-odpruzeni-sag-u-sveho-kola>
- [19] HUEBNER, Kenneth H., Donald L. DEWHIRST, Douglas E. SMITH a Ted G. BYROM. *The finite element method for engineers*. Fourth Edition. New York: John Wiley, 2001. ISBN 04-713-7078-9.
- [20] KOUKAL, Stanislav, Radovan POTŮČEK a Michal KŘÍŽEK. *Fourierovy trigonometrické řady a metoda konečných prvků v komplexním oboru*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1029-7.
- [21] ŠUBA, Oldřich. *Mechanické chování těles*. Vyd. 4. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-792-7.
- [22] SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R. a BUDYNAS, Richard Gordon, HARTL, Martin a VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. Překlady vysokoškolských učebnic, sv. 3. V Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [23] FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. *AutoCAD 2014: učebnice*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-4154-0.

- [24] FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. *Autodesk Inventor: tvorba digitálních prototypů*. 3., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2012. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-3728-4.
- [25] HALAMA, Radim a kol. *Pružnost a pevnost - interaktivní studijní materiál*. 2012. Dostupné také z: [https://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost\\_pevnost\\_obraz.pdf](https://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost_pevnost_obraz.pdf)
- [26] SOFTWARE, Dlubal. Napětí. *Dlubal software* [online]. 2024, 2001-2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/online-manualy/rfem-6/002715>
- [27] *Evolution of the Bicycle* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://dekeslaytonmuseum.org/exhibits/evolution-of-the-bicycle/>
- [28] *Karl Drais* [online]. 2022 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Karl\\_Drais](https://cs.wikipedia.org/wiki/Karl_Drais)
- [29] *À bicyclette ! Une petite histoire du vélo* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: [https://cnum.cnam.fr/expo\\_virtuelle/velo/velocipede\\_michaux.html](https://cnum.cnam.fr/expo_virtuelle/velo/velocipede_michaux.html)
- [30] *VYSOKÉ KOLO LEFEVRE, FRANCIE – 50“ C.1886/88* [online]. 2024 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.sterba-bike.cz/item/vysoke-kolo-lefevre-francie-50-c-1886-88/category/kola-archiv>
- [31] *AN INVESTIGATION ON PROFILE TENSION MEASUREMENT AND DYNAMIC LOAD ANALYSIS IN STEEL ROOFS Article Mar 2021* [online]. 2021 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/350115626\\_AN\\_INVESTIGATION\\_ON\\_PROFILE\\_TENSION\\_MEASUREMENT\\_AND\\_DYNAMIC\\_LOAD\\_ANALYSIS\\_IN\\_STEEL\\_ROOFS/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/350115626_AN_INVESTIGATION_ON_PROFILE_TENSION_MEASUREMENT_AND_DYNAMIC_LOAD_ANALYSIS_IN_STEEL_ROOFS/figures?lo=1)
- [32] JIROUŠEK, Ondřej. *Teoretická a aplikovaná mechanika* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: [http://kapradi.fd.cvut.cz/myPHP/lectures/18TAM/04\\_podminka\\_plasticity.pdf](http://kapradi.fd.cvut.cz/myPHP/lectures/18TAM/04_podminka_plasticity.pdf)
- [33] BRIOL. *Pojistný kroužek DIN 471 pro hřídele s drážkou* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/cs/p-207-pojistny-krouzek-din-471-pro-hridele-s-drazkou>

[34] MEUSBURGER. *UNIVERZÁLNÍ ODJEHLOVAČ, 2K-RUKOJEŤ, ČEPEL Ø3,2* [online]. 2022 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/dilenske-potreby/assembly-equipment/hand-tools/deburring-tools-and-scrapers/v-24120>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CNC	Computer Numerical Control (Číslicové řízení počítačem)
CAD	Computer Aided Design (Počítačem podporované projektování)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Počítačem řízená výroba)
3D	Trojrozměrný prostor
FEM	Finite Element Method (Metoda konečných prvků)
RA	Aritmeticky průměrná odchylka (Drsnost povrchu)
MPa	Megapascal
d	vnitřní průměr
D	Vnější průměr
L	Délka
F	Síla
g	gravitační/tíhové zrychlení
m	Hmotnost
K	Koeficient bezpečnosti

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Celeripéd vynálezce Sivraca [27] .....	11
Obr. 2 Dreisina [28] .....	11
Obr. 3 Velocipéd [29] .....	12
Obr. 4 Vysoké kolo [30] .....	12
Obr. 5 Jednočepový systém odpružení [8].....	16
Obr. 6 Jednočep poháněný táhlem [8] .....	17
Obr. 7 Virtuální čep [8].....	17
Obr. 8 Čtyřčepový systém zadního odpružení [8] .....	18
Obr. 9 Nastavení SAG [17].....	23
Obr. 10 Metody řešení napět'ových problémů [31] .....	27
Obr. 11 Napětí Von Mises a Tresca [32] .....	29
Obr. 12 Model rámu kola.....	32
Obr. 13 Model spodní části zadní stavby.....	33
Obr. 14 Model střední části zadní stavby .....	33
Obr. 15 Model pružící a tlumící jednotky X-Fusion .....	34
Obr. 16 Model výchozí sestavy .....	35
Obr. 17 Navrhované vahadlo zadní stavby .....	36
Obr. 18 Navrhovaná vzpřímená část mechanismu .....	37
Obr. 19 navrhované vahadlo volného pivotu.....	37
Obr. 20 Navrhovaná sestava .....	38
Obr. 21 Modelované a navrhované prvky .....	38
Obr. 22 Působení sil s koeficientem 5 .....	40
Obr. 23 Vahadlo zadní stavby se silami působení .....	41
Obr. 24 Vahadlo zadní stavby s napětím Von Mises.....	41
Obr. 25 Vzpřímená část mechanismu se silami působení .....	42
Obr. 26 Vzpřímená část mechanismu s napětím Von Mises .....	42
Obr. 27 Vahadlo volného pivotu se silami působení.....	43
Obr. 28 Vahadlo volného pivotu s napětím Von Mises.....	43
Obr. 29 Výroba na CNC FGS 40 CNC-B.....	44
Obr. 30 Vyrobené komponenty na CNC FGS 40 CNC-B.....	45
Obr. 31 Soustruh z dílny Fr. Wawerky .....	45
Obr. 32 Hrotová bruska BUA-16.....	46
Obr. 33 Vahadlo zadní stavby s nalisovaným ložiskem .....	47
Obr. 34 Pojistné kroužky pro hřídele [33] .....	48

---

Obr. 35 Odjehlovač [34] .....	49
Obr. 36 Rám s vloženým tlumičem a vzpřímenými částmi mechanismu .....	50
Obr. 37 Rám s tlumičem, vzpřímenými částmi a vahadly horního pivotu .....	51
Obr. 38 spojení vzpřímených mechanismů a vahadla volného pivotu .....	51
Obr. 39 systém s přidaným vahadlem.....	52
Obr. 40 Kompletní mechanismus zadní stavby .....	52
Obr. 41 Tlumící systém v klidové poloze.....	53
Obr. 42 Tlumící systém při maximálním stlačení.....	54

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres Sestava

Příloha P II: Výkres vahadlo

Příloha P III: Výkres vahadlo volného pívotu

Příloha P IV: Výkres vzpřímená část mechanismu

Příloha P V: Výkres středová hřidel

Příloha P VI: Výkres čep tlumiče

Příloha P VII: Výkres spodní čep

Příloha P VIII: Výkres horní čep vzpřímeného mechanismu

Příloha P IX: Výkres čep ke spojení vahadel

Příloha P X: Výkres bronzové samomazné ložisko

Příloha P XI: Výkres podložka spodního čepu tlumiče

Příloha P XII: Výkres podložka horního čepu tlumiče

Příloha P XIII: Výkres střední podložka horního čepu tlumiče

Příloha P XIV: Výkres podložka spoje vahadel