

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční návrh rámu typu vozidla „lightweight“

Autor: **Jan KŘÍHA**

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

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KŘÍHA**
Osobní číslo: **S17B0067K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Konstrukční návrh rámu vozidla typu "Lightweight"**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem je provést rozbor technických možností v návrhu rámu vozidla typu "Lightweight". Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledkem je konstrukční návrh rámu vozidla typu "Lightweight" s ohledem na hmotnost, celkovou jednoduchost a vyrobitelnost.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování variant koncepčních řešení.
4. Zhodnocení navrženého technického řešení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Vala, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003

VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2005

ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J: *Automobily Podvozky Avid s.r.o*, Brno, 2007

Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

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

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lášová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kříha	Jméno Jan		
STUDIJNÍ OBOR	B2301- Strojní inženýrství			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef		
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční návrh rámu vozidla typu „lightweight“			

FAKUL- TA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODE- VZD.	2018
----------------------	---------	----------------	-----	--------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	57	TEXTOVÁ ČÁST	57	GRAFICKÁ ČÁST	
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	--

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato práce pojednává o základních pilířích automobilů a význam této práce spočívá v nalezení vhodného materiálu pro výrobu rámu sportovního elektromobilu. Dále se kontroluje napětí a průhyb v místě horních úchytných ramen.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Karoserie, Rám, MKP, Lightweight</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Kříha	Name Jan	
FIELD OF STUDY	B2301- Mechanical engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	construction proposal of frame type "Lightweight"		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	57	TEXT PART	57	GRAPHICAL PART	
----------------	----	------------------	----	-----------------------	--

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with the basic pillars of cars and the importance of this work lies in the search for suitable material for the production of a sports electric car frame. Further, the stress and deviation at the point of the upper arm handles are checked.
KEY WORDS	Body, Frame, MKP, Lightweight

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu Doc. Ing. Josefu Formánkovi Ph.D. za cenné rady, strávený čas a ochotu při vytváření této bakalářské práce.

Obsah

1.	Úvod	6
2.	Vozidlo	7
3.	Základní stavba vozidel	7
3.1.	Podvozek	7
3.1.1.	Kola s pneumatikou	8
3.1.2.	Zavěšení kola	10
3.1.3.	Odpružení	14
3.1.4.	Řízení	21
3.1.5.	Brzdová soustava	26
4.	Návrh rámu	30
4.1.	Skica automobilu	30
4.2.	Rám	30
4.2.1.	Technologie laserového řezání, použité při výrobě rámu	31
4.2.2.	Výpočet sil na kolo	32
5.	MKP	34
5.1.1.	MKP	34
5.1.2.	Celkové zatížení (statické)	34
5.1.3.	Popis modelu	34
5.2.	Materiálové charakteristiky	35
5.3.	Jekly	35
5.4.	Uchycení ramene	35
6.	Návrh výpočtového modelu	36
6.1.	Fyzikální model	36
6.1.1.	Okrajové podmínky	36
6.1.2.	Uchycení	36
6.1.3.	Zatížení	36
6.1.4.	Sít (mesh)	37
6.1.5.	Zjednodušení svarů	37
6.1.6.	Realizace šroubu v díře plechů horního uchycení	37
6.1.7.	Zatěžované stavy	38
6.1.8.	Fixace rámu	39
6.1.9.	Průjezd zatáčkou ocel	40

6.1.10.	Průjezd zatáčkou Al	41
6.1.11.	Akcelerace (zrychlení) ocel	43
6.1.12.	Akcelerace (zrychlení) Al	44
6.1.13.	Decelerace (brzdění) ocel	46
6.1.14.	Decelerace (brzdění) Al	48
7.	Závěr.....	50
8.	Seznam obrázků.....	51
9.	Seznam tabulek.....	54
10.	Přehled použitých zkratk a symbolů	54
11.	Zdroje.....	55

1. Úvod

Nosný celek jako je rám či karoserie vozidla, tvořila již od počátku navrhování automobilů důležitou roli, při konstrukci vozidel. Přenášejí se přes ni všechny síly, které vznikají při provozu vozidla. V dnešní době již existuje mnoho konstrukčních variant, které mohou uskutečňovat požadovanou funkci k bezpečnému a bezporuchovému provozu. Tyto varianty se neustále zdokonalují a vylepšují, aby byly schopny plnit požadavky, které se rozvíjícími technologiemi a pokrokem v oblasti materiálu stále zpřísňují. Jedním z hlavních požadavků je snaha o dosažení co nejnižší hmotnosti. Hmotnost rámu nebo karoserie je možno redukovat třemi způsob, a to vhodným konstrukčním řešením, kde síly působící na rám jsou vhodně rozloženy, použitím materiálu s nižší hustotou nebo úpravou stávajících tvarů a rozměrů (vhodný tvar profilu, výřezy, apod.). Představí se zde vozidlo jako takové a většina základních částí automobilu. Skica začíná druhou část bakalářské práce a to zasítování modelu, jeho fixaci a vybrání tří zatěžovacích stavů, kterým se bude rám vystavovat. Těmi budou průjezd zatáčkou, akcelerace a decelerace. Zároveň se budou porovnávat celkové deformace a napětí mezi dvěma materiály tj. slitiny hliníku A2014 a oceli 11 500.

2. Vozidlo

Pojem „vozidlo“ označuje skupinu dopravních prostředků, které se pohybují po pevném povrchu jízdou, tzn. odvalováním kol.

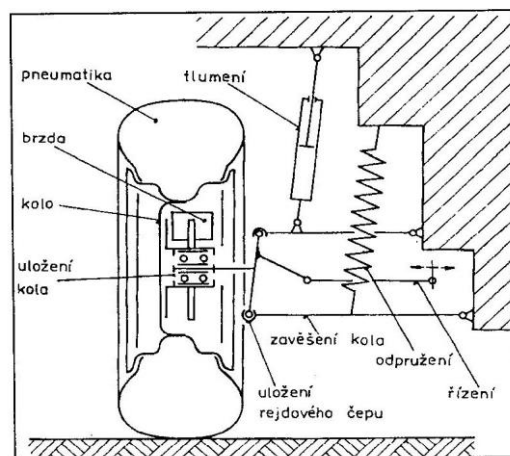
3. Základní stavba vozidel

Každé vozidlo má pět základních částí. Tyto části jsou: podvozek (nápravy, pérování, brzdy atd.), hnací soustava (motor, spojka, převodovka atd.), karoserie, příslušenství (zapalování, osvětlení, chlazení atd.), výstroj (rychloměr, stěrače skel, bezpečnostní pásy atd.) a výbava (lékárnička, trojúhelník, hasicí přístroj atd.)

3.1. Podvozek

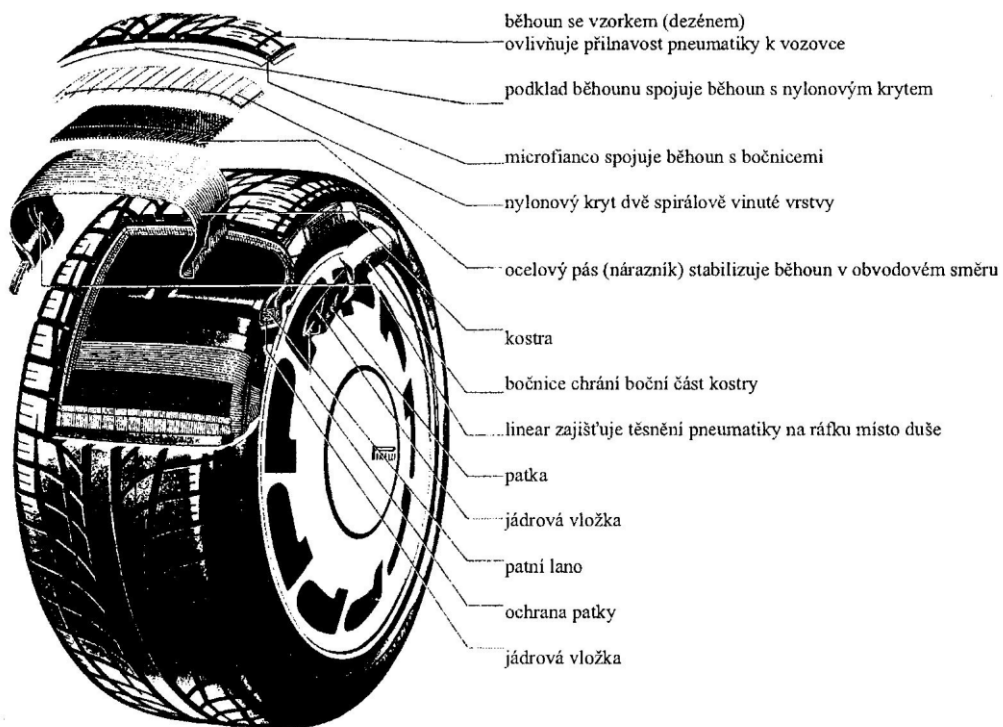
Podvozek je základ motorového vozidla (obr. 1), tvoří jeho spodní část a má tyto hlavní členy:

- Kolo s pneumatikou – Spojuje vozidlo s vozovkou. Kola přenášejí hmotnost celého vozidla i s posádkou, případně nákladu. Přenáší brzdné a hnací momenty a zároveň tvoří tlumení vozidla.
- Zavěšení kola – Zajišťuje spojení kola s karoserií. Každý druh zavěšení kol dovoluje svislý pohyb při odpružení kola a přenáší momenty a síly působící mezi kolem a karoserií.
- Odpružení – Tlumí kmitavé pohyby nápravy na karoserii nebo rámu. Ochraňuje tak cestovatele, břemena i vozidlo před nechtěnými otřesy.
- Řízení – slouží k vedení vozidla v požadovaném směru jízdy.
- Brzdová soustava – Velice důležitým článkem podvozku je brzdová soustava. Dovoluje snižování rychlosti vozidla až do úplného zastavení nebo ho může zajistit proti pohybu. [1]



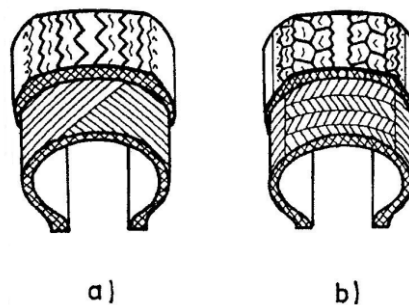
Obrázek 1 Přehled konstrukčních částí podvozku [1]

3.1.1. Kola s pneumatikou



Obrázek 2 Části pneumatiky

Pneumatiku tvoří postaru plášť s duší či ochranou vložkou. Dnes již však pneumatiku tvoří pouze plášť nasazený na ráfek s bezdušovým ventilkem namontovaným v ráfku, kdy je pneumatika naplněna stlačeným vzduchem (obr. 2). Automobilové pláště tvoří tyto hlavní části: koruna, rameno, bok a patka. Venkovní plocha pláště, která přichází do styku s vozovkou, je nazývána jako běhoun. Běhoun je opatřen vzorkem, který se časem opotřebí a je potřeba pneumatiku vyměnit. Nejdůležitější částí pneumatiky je kostra pláště. Ta tvoří většinu vlastností pneumatiky. Vlastnostmi pneumatik myslíme jízdní vlastnosti, nosnost, tvar atd. Existují dva základní druhy plášťů, které rozeznáváme podle konstrukce kostry a nárazníků, diagonální a radiální.



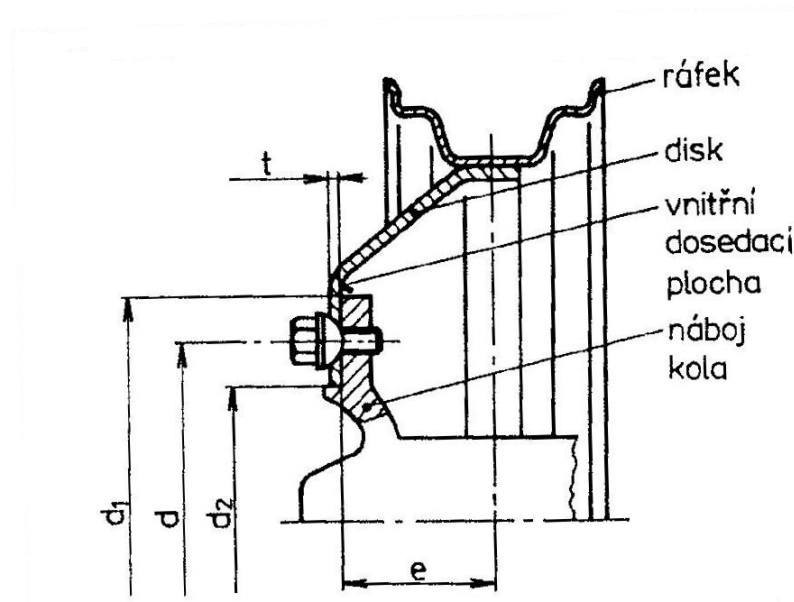
Obrázek 3 Druhy plášťů podle konstrukce nosné struktury: a) diagonální, b) radiální [1]

Vozidlové kolo tvoří střední nosná část a ráfek. Dle způsobu provedení střední nosné části lze kola dělit na:

- Disková kola – Hlavní nosnou část diskového kola utváří lisovaný kotouč neboli disk, který je buď plný, nebo má po obvodu otvory. Ty tvoří funkci větrání, či odlehčení.
- Hvězdicová kola (trilex) – Zde tvoří hlavní nosnou část lisovaná nebo odlévaná hlava ve tvaru hvězdice.

Hlavní rozměry diskového kola jsou na obr. 4:

- Zális e (rozměr je kladný, pokud je vnitřní dosedací plocha disku posunuta oproti střední rovině ráfku k vnější straně kola. Zális nabývá záporných rozměrů, pokud je posunuta k vnější straně kola).
- Průměr roztečné kružnice pro připevňovací šrouby d .
- Průměr dosedací plochy pro brzdový buben nebo šroubů náboje d_1
- Průměr středního otvoru kola d_2
- Tloušťka střední nosné části t .



Obrázek 4 Označení hlavních rozměrů na kole [1]

U velkosériové výroby osobních a užitkových vozů se většinou setkáme s ocelovými diskovými koly. Nicméně u osobních automobilů můžeme zvolit také kola odlévaná z lehkých slitin, tzv. „litá kola“. Mají menší pevnost, a proto musí být tloušťka stěn dvakrát tak velká. Přesto jsou kola z lehkých slitin o 20% (z legovaného hliníku) až o 40% (z legovaného hořčíku) lehčí. U litých kol jsou důležité plochy a otvory třískově obráběny a kola tím získávají vysokou přesnost. [1]

3.1.2. Zavěšení kola

Zavěšení kol znamená, jakým způsobem budou kola přidána k rámu či karoserii. Často lidé používají označení „náprava“, ovšem toto označení není tak úplně vhodné, jelikož nápravu tvoří několik funkčních celků a to: zavěšení kola, uložení kola, brzda, řídicí nebo hnací ústrojí.

Funkce zavěšení kola:

- Omezuje pohyby kola v nežádoucích směrech, jako boční posuv a náklápění kola a zajišťuje svislý relativní pohyb kola oproti karoserii nebo rámu, který je potřebný k odpružení vozidla.
- Přenáší síly a momenty, které vznikají mezi kolem a rámem. Tyto síly vznikají vlivem působení vnějších sil od zatížení vozidla a hnacích, brzdných a odstředivých sil a momentů.

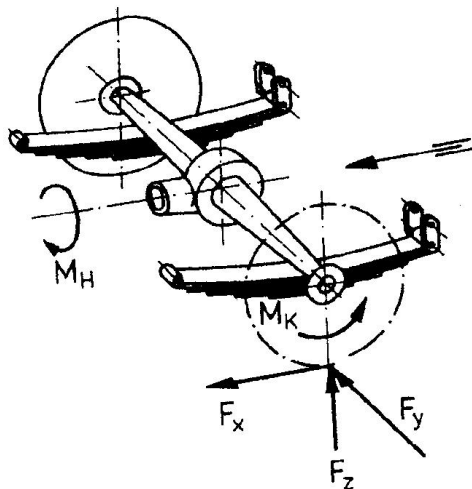
Zavěšení kola je složeno z výkyvných ramen a pružící jednotky a rozděluje se na tři druhy:

- Tuhá náprava
- Kliková náprava s propojovacím torzním prvkem
- Nezávislé zavěšení [1]

Tuhá náprava

Jedná se o nejstarší typ zavěšení kol, který je i dnes nadále používán. Tento typ zavěšení kol lze nalézt u některých osobních vozů jako zadní nápravu, ovšem většinou se vyskytuje u užitkových vozů. Kola tuhé nápravy jsou příčně, pevně spojena v jeden celek.

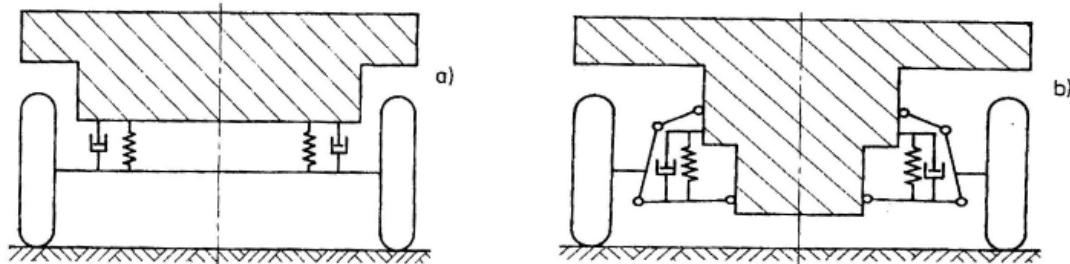
Způsoby zatěžování jsou znázorněny na obr. 5. Na levé kolo působí síly v rovnoběžném a kolmém směru (F_x , F_y), a v radiálním směru síla F_z od zatížení a hnacího momentu. Moment M_k vzniká zejména při brždění vozidla. [1]



Obrázek 5 Zatížení na tuhé nápravě s dvojicí listových pružin [1]

Nezávislé zavěšení kol

Nezávislé zavěšení (obr. 6b) znamená, že každé kolo může nezávisle na druhém pohlcovat kmity od vozovky a nejsou spolu vázány, jako tomu bylo u tuhé nápravy (obr. 6a). Tímto docílíme toho, že se nám karoserie nebude kolébat. Tímto typem zavěšení kol docílíme i menší hmotnosti neodpružených částí, jelikož poháněcí ústrojí nápravy je připevněno na karoserii.



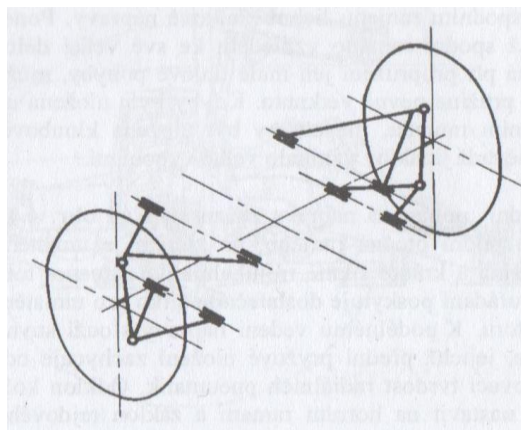
Obrázek 6 Schéma tuhé nápravy a) a nezávislého zavěšení b) [1]

Druhy nezávislého zavěšení kol:

- Lichoběžníková náprava (dvojice příčných trojúhelníkových ramen)
- Náprava McPherson (teleskopická vzpěra s rozvidleným spodním příčným ramenem)
- Kyvadlová úhlová náprava (trojúhelníková ramena se šikmou osou kývání)
- Kliková náprava (podélná ramena s příčnou osou kývání nebo jsou podélná ramena propojena torzním prvkem)
- Víceprvková náprava [1]

Lichoběžníková náprava

U lichoběžníkové nápravy je průmět koncových bodů ramen do příčné svislé roviny ve tvaru lichoběžníků (obr. 7). Právě odtud je odvozen název tohoto druhu, tzv. nezávislého zavěšení. Jednou z hlavních výhod této nápravy jsou kinematické přednosti oproti tuhým nápravám. Rovněž konstrukce této nápravy zabírá méně místa. Tyto vlastnosti využívají jak těžká vozidla, jako například autobusy, tak lehké nákladní automobily. [1]



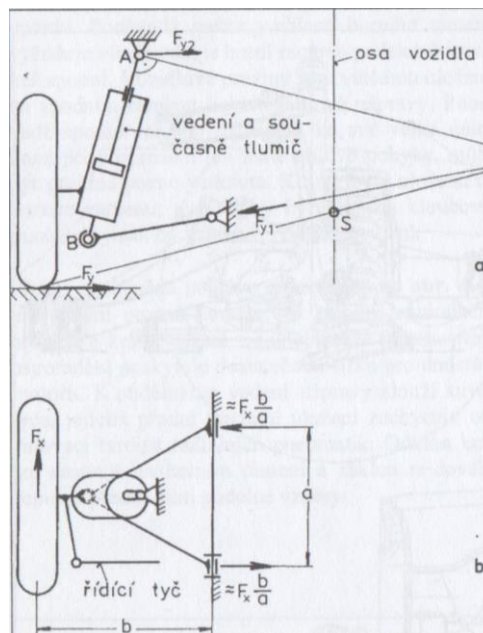
Obrázek 7 Schéma lichoběžníkové nápravy [1]

Náprava McPherson

Náprava McPherson vznikla nahrazením horního ramena lichoběžníkové nápravy posuvným vedením. Tím bylo ušetřeno více prostoru, který se může využít pro motorový nebo zavazadlový prostor. V případě, že je náprava McPherson použita jako přední, natáčí se teleskopické vzpěry, zajišťující posuvný pohyb kolem ložisek na obou svých koncích, obr. 8a. Při řízení se tedy kolo otáčí kolem úsečky AB, která zde tvoří rejdovou osu. Síly a momenty jsou přenášeny na karoserii, kde jsou zachytávány silovými dvojicemi. Náprava je zatěžována příčnou silou a momentem. Ložisko B je blíže působišť sil než ložisko A, proto na něj bude působit větší zatížení. Podélná síla F_x je přenášena pomocí trojúhelníkového ramena (obr. 8b). Toto rameno je, stejně jako i lichoběžníkové nápravy, často sestaveno ze dvou částí. Tažná vzpěra může být shodná s ramenem příčného stabilizátoru.

Pro posuvný pohyb vedení ve vzpěře McPherson se používá zásadně hydraulický tlumič. Osa pružiny je shodná s osou pohybu tlumiče. Pružina, která zajišťuje působení síly proti pohybu tlumiče, je navinuta kolem vodící trubky tohoto tlumiče. Protože zde působí daleko větší síly než u normálního tlumiče, je pístnice hydraulického tlumiče o mnoho silnější. Toto řešení umožňuje přenášení svislých sil do karoserie bez zatěžování ložiska. Je zde ovšem zvýšené tření v kluzných místech posuvné součásti a to mezi pístem a válcem a pístnicí a vedením. Toto tření je zapříčiněno příčnými silami, které na nápravu působí při akceleraci, zatáčení nebo brždění. Vlivem velkého tření může dojít k velkému opotřebením těchto součástí a následnému zablokování teleskopické vzpěry. Tento problém je odstraňován šikmým uložením šroubové pružiny, čímž pružina zapříčiňuje i vznik bočních sil. Rovněž se horní kloub ukládá do měkké pryže. Tím je umožněn relativní pohyb mezi teleskopickou vzpěrrou a karoserií.

Zavěšení kol pomocí vzpěry McPherson dovoluje pohon kol a používá se jak pro přední, tak i pro zadní nápravy. [1]

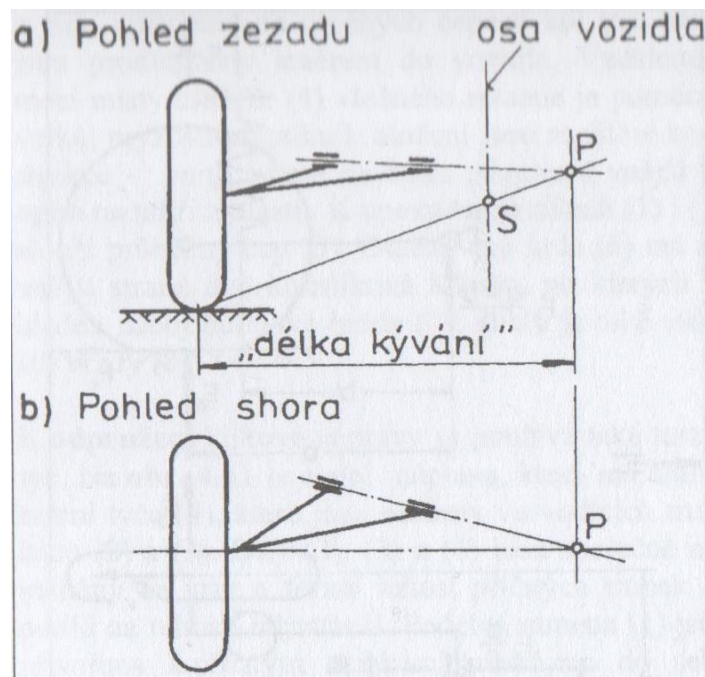


Obrázek 8 Princip přední nápravy McPherson:

- a) zachycení boční síly a poloha středu klopení karoserie S;
- b) zachycení podélné síly [1]

Kyvadlová úhlová náprava

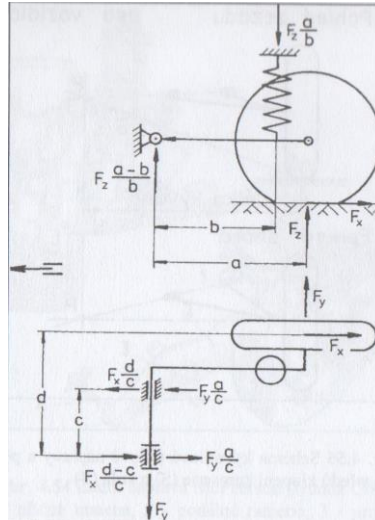
Kyvadlová úhlová náprava (obr. 9) je občas nazývána jako „šikmý závěs“, protože osa kývání ramene je v půdorysu a většinou i v nárysu šikmá. Okamžitý pól naklápění kola je dán průsečíkem osy otáčení kola a osou kývání ramene. Tím je zajištěno, že při propružení vozidla vzniká samořízení, jehož neotáčivý účinek má na chování vozidla kladný vliv. Kyvadlová úhlová náprava se používá především jako náprava zadní.



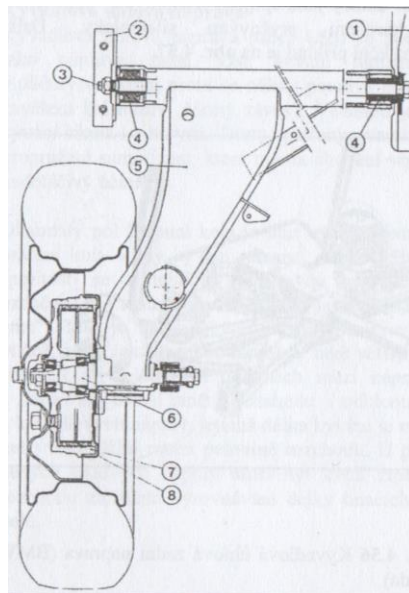
Obrázek 9 Schéma kyvadlové úhlové nápravy a poloha středů klopení karoserie (s) a kola (P) [1]

Kliková náprava

Kliková náprava se používá pro zadní nápravy, které nejsou poháněné. Náprava má podélná ramena, jejichž osa kývání je kolmo k podélné ose vozidla. Výhoda této nápravy je, že nezabírá mnoho místa a hodí se tak především pro osobní automobily s velkým pátými dveřmi, jakožto vozidla se sklápěcími sedačkami apod. Podlaha vozidla může být velmi nízko, protože části nápravy nezužují podlahu vozu. Na obrázku 10 je zobrazeno schéma klikové nápravy a na obrázku 11 je vidět řešení zavěšení kol pomocí klikové nápravy u osobního automobilu. [1]



Obrázek 10 Schéma klikové nápravy a působící síly [1]



Obrázek 11 Kliková náprava (Citroën Visa) [1]

Víceprvkové nápravy

Víceprvkové nápravy mají tři nebo více příčných a jedno či více podélných ramen. Ramena mají různou délku a mohou se odklánět od svého „zjevného“ směru. Víceprvkové nápravy se nejčastěji používají pro nezávislé odpružení vozidel [1]

3.1.3. Odpružení

Odpružením se zmenšuje přenos kmitavých pohybů náprav vozidla na jeho podvozkové části a karoserii. Chrání tak posádku před nežádoucími otřesy. Odpružení také zvyšuje životnost některých dílů podvozku a zajišťuje stálý styk pneumatiky s vozovkou i při přejíždění výmolů. Tím je zajištěn přenos obvodových sil (hnacích i brzdících). U řídicích kol by ztráta

styku pneumatiky s vozovkou měla nepříznivý vliv na ovladatelnost vozidla. Vozidlové tlumiče tlumí kmitavý pohyb náprav a podvozku. V některých případech (u listových pružin) přenášejí tyto pružící orgány suvnou a brzdnu sílu kol na podvozek. Určující veličinou odpružení je netlumená vlastní frekvence $\omega^2 = c/m$, kde c je pružinová konstanta a m je hmotnost. Pružinová konstanta závisí na druhu pružícího prvku, kterým dle materiálu mohou být:

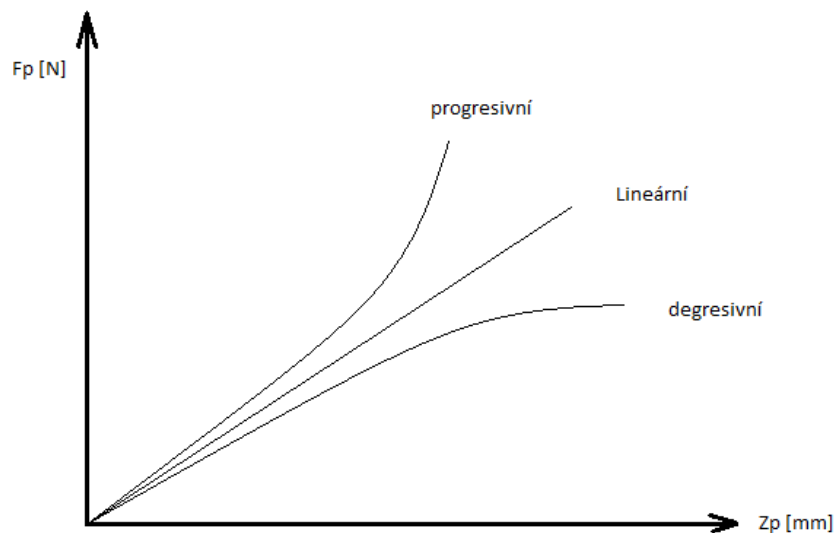
- Pružiny ocelové (listové, vinuté, torzní)
- Pružiny pryžové
- Pružiny vzduchové (pneumatické)
- Pružiny vzduchokapalinové (hydropneumatické)
- Pružiny pryžokapalinové (hydroelastické)

Charakteristika pružin

Rozdělujeme tři druhy charakteristik pro pružiny (obr. 12):

- 1) Lineární – zatížení F_p je přímo úměrné deformaci.
- 2) Progresivní - s narůstajícím zatížením F_p má pružina menší deformaci (průhyb), stává se tvrdší.
- 3) Degresivní – s narůstajícím zatížením F_p má pružina větší deformaci (průhyb), stává se měkčí.

Ve většině případů požadujeme progresivní charakteristiku. [1]



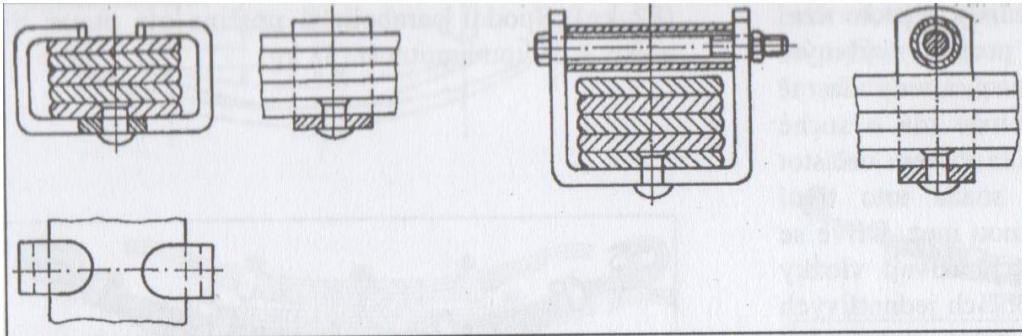
Obrázek 12 Charakteristiky typů pružin: závislost působící síly F_p na deformaci pružiny Z_p

Listové pružiny

Ve většině případů nalezneme listové pružiny u nákladních automobilů. U osobních automobilů je nalezneme jen zřídka, a to pouze na zadních nápravách, jelikož u předních ná-

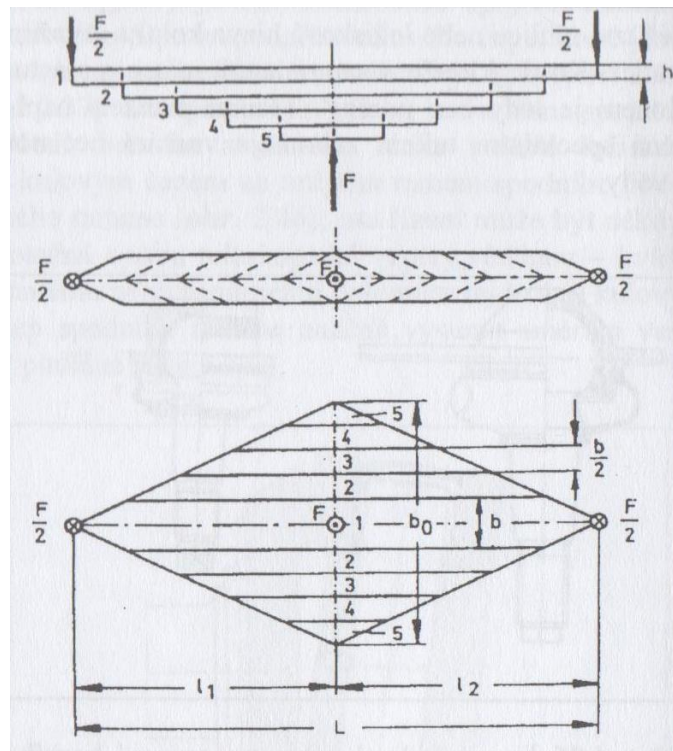
prav se tyto pružiny nepoužívají. Je jednou z mála pružin, která nepotřebuje tlumení, jelikož při zatížení pružiny se listy třou o sebe a způsobují tak větší odpor proti deformaci pružiny a tím pádem v podstatě tlumí celou pružící soustavu. Toto tření však v provozu může dosáhnout vysokých hodnot, a proto se listové pružiny mažou nebo se mezi jednotlivé listy vkládají pryžové vložky. Listové pružiny dosahují lineární charakteristiky, ovšem různými úpravami lze dosáhnout progresivní charakteristiky.

Listovou pružinu tvoří pláty vyrobené z pružinové oceli, které jsou na sebe naskládány a většinou spojeny třmeny obr. 13.



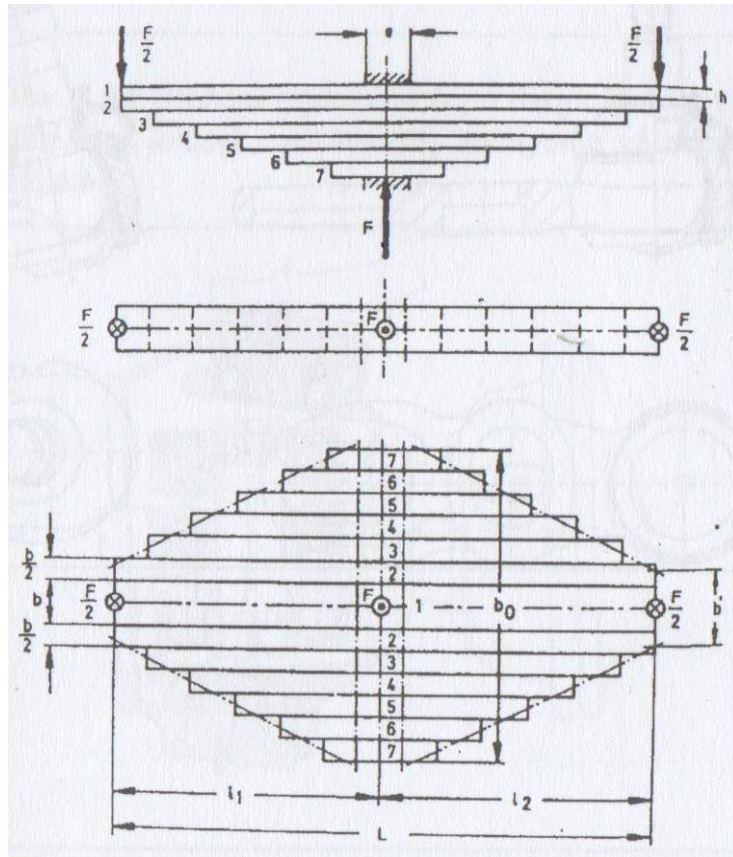
Obrázek 13 Přinýtování třmenu k spodnímu listu; konce třmenu buď zahnuty (vlevo) nebo staženy šroubem s rozpěrnou trubkou (vpravo) [1]

Listové pružiny se dají vyrobit s docílením co nejnižší hmotnosti jako nosník stálé pevnosti obr. 14.



Obrázek 14 Listová pružina jako nosník stálé pevnosti (konce listů jsou trojúhelníkové) [1]

Z důvodu usnadnění výroby pro docílení přenosu sil středem a na koncích pružiny, se listy na krajích odstřihávají do pravého úhlu, viz. obrázek 15. [1]

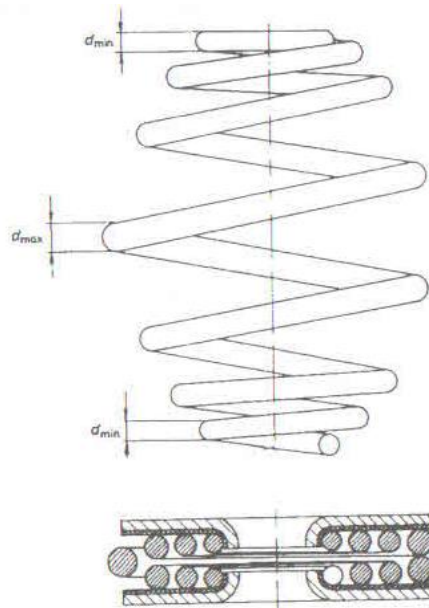


Obrázek 15 Skutečné provedení listové pružiny (konce listů jsou rovné) [1]

Vinuté pružiny

Tento typ pružin se vyskytuje převážně u osobních automobilů, zřídka i u užitkových vozů. Vinuté pružiny mají mnoho výhod, protože jsou bezúdržbové, lehké a mají jednoduché uložení. Ovšem musí být doplněny tlumičem k tlumení kmitů. Tlačné válcové pružiny mají lineární charakteristiku. Progresivitu u vinutých pružin můžeme dosáhnout třemi způsoby:

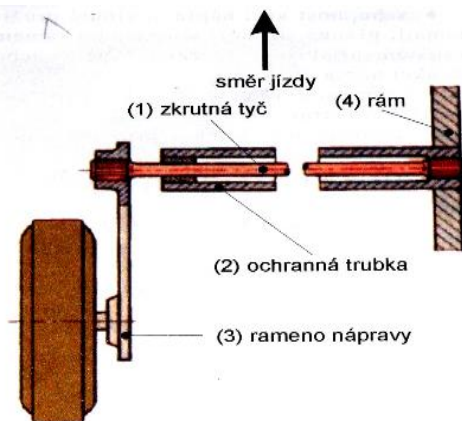
- Proměnlivým stoupáním závitu
- Proměnlivým průměrem drátu
- Proměnlivým průměrem drátu a zároveň proměnlivým průměrem pružiny (minibloková progresivní pružina, viz. obrázek 16) [1]



Obrázek 16 Minibloková progresivní pružina [1]

Torzní (zkrutné) pružiny

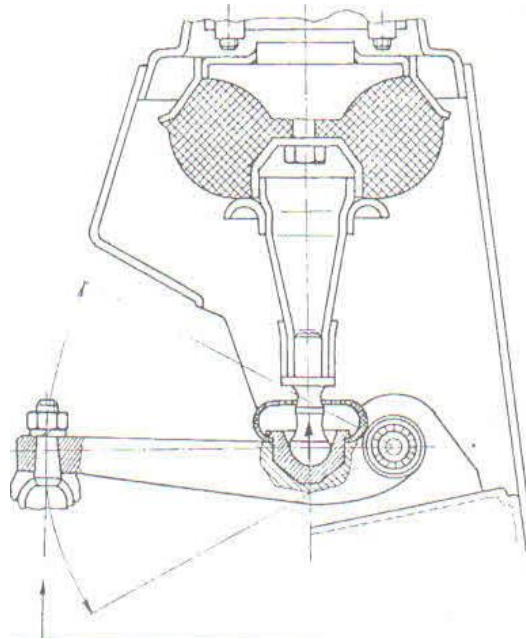
Jedná se o tyč, většinou kruhového průřezu. Na koncích tyče se plynule mění průměr ve větší, který je opatřen drážkováním nebo různými druhy průřezů (čtvercový, obdélníkový, aj.). Tyč většinou bývá broušena, či kuličkována. Jedním koncem je tyč, přichycená na pevno do karoserie a na druhém je přes rameno připojeno ke kolu (obr. 17). Svislým pohybem rameno vytváří kroutící moment, který působí na tyč. [1]



Obrázek 17 Schéma uložení zkrutné tyče [2]

Pryžové pružiny

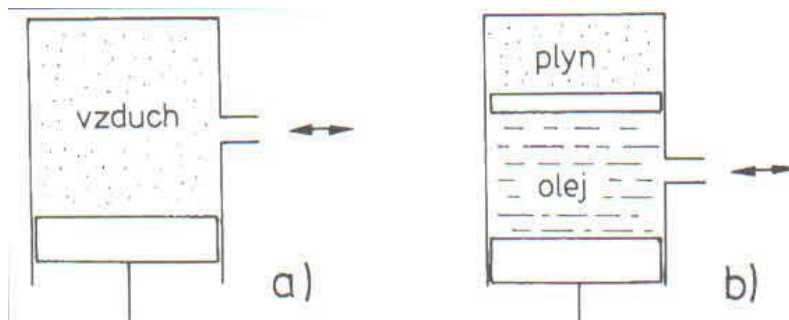
Pryže mají využití převážně jako tlumící prvky v automobilu např. silentbloky k uložení motoru a různých částí karoserie. Má tedy funkci přidaných elementů pro odpružení. Použití tohoto materiálu namísto normálních pružin (listových, vinutých aj.) by mělo spoustu výhod např. malá cena, dlouhá životnost, malá údržba, a vysoké vlastní tlumení. Ovšem její největší slabinou je citlivost na teploty, počasí, olej a chemikálie, které pryž naleptávají a porušují její strukturu. Na obrázku 18 je vidět pryžové odpružení BMC. [1]



Obrázek 18 Pryžové odpružení BMC [1]

Plynové odpružení

Tyto pružiny využívají stlačitelnost plynu. Na zjednodušeném schématu obr. 19 vidíme dva druhy plynových odpružení. Vlevo je vzduchová pružina, vpravo pružina hydropneumatická. Když nebereme v úvahu vliv atmosférického tlaku a ponecháme stejný objem plynu ve válci, tak při různém zatížení soustavy dosáhneme stále stejných hodnot propružení. Objem plynu ve válci lze regulovat, takže při statickém zatížení si můžeme nastavit vzdálenost od vozovky.



Obrázek 19 Dva principy plynových pružin

a) vzduchová pružina

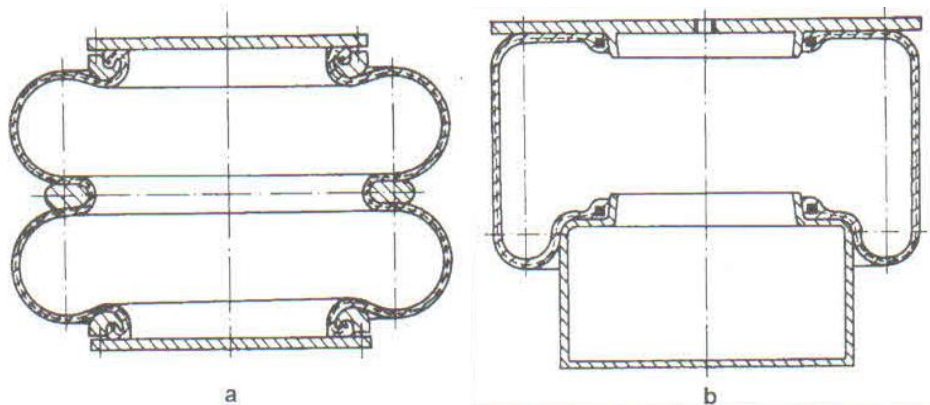
b) hydropneumatická pružina [1]

- Stlačení zatížením pružiny se vyrovná přivedením většího množství plynu do stejně velkého objemu válce.
- Stlačení zatížením pružiny se vyrovná přivedením většího množství kapaliny nad píst, přičemž objem plynu nad pístem zůstane stejný. [1]

Vzduchové odpružení

Vzhledem k obtížnému utěsnění nejsou vzduchové pružiny s nastavením vzdálenosti od vozovky pístové, ale převážně jsou to uzavřené pružné měchy tzv. vlnovce nebo vaky, jak vidíte na obrázku 20.

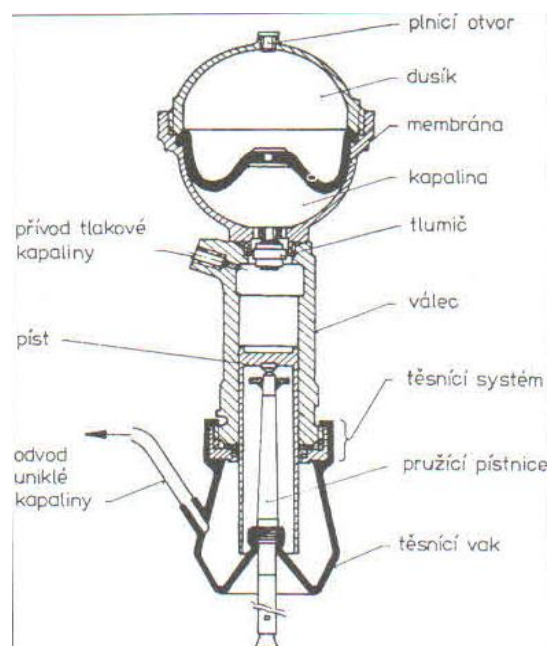
Výhodami těchto pružin jsou vysoká životnost, nastavitelná vzdálenost od vozovky a nastavení tuhosti odpružení svému stylu jízdy. Nevýhodou je, že tyto pružiny nemohou vést nápravu v podélném a příčném směru. [1]



Obrázek 20 Základní typy vzduchových pružin a) vlnovcová pružina, b) vaková pružina [1]

Hydropneumatické odpružení

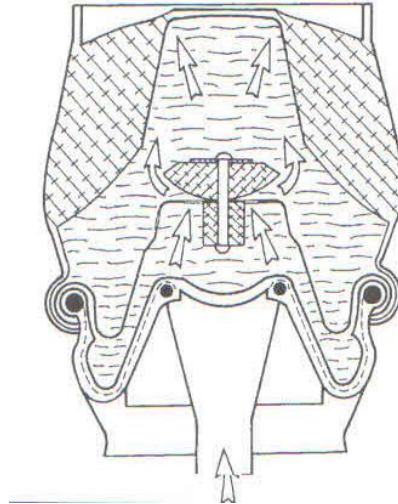
Na obr. 21 vidíme řez hydropneumatickou pružinou z vozu Citroën. Nad válcem se nachází nádobka ze dvou polokoulí, mezi kterými je pružná membrána. Píst přenáší rázy od kola a tlačí olej do spodní polokoule, která přes pružnou membránu stlačuje plyn, který je v horní polovině polokoule. Olej, který proteče kolem pístu je odveden do olejové nádrže a přivádí se zpět nad píst. Tento systém nepotřebuje tlumič, jelikož má speciální tlumící ventil uložený přímo v mechanismu odpružení. [1]



Obrázek 21 Hydropneumatická pružící jednotka (Citroën) [1]

Pryžokapalinové odpružení

Toto odpružení se skládá ze dvou částí. V horní části máme v plechovém plášti uloženou pryžovou prstencovou pružinu. Ve spodní části se nachází pryžová membrána, na kterou působí píst ve tvaru kužele, který je připojen k závěsu kola. Mezi těmito částmi je plechová přepážka, která má veprostřed umístěné dva jednocestné ventily otočené proti sobě o 90°. Jeden je nad přepážkou a druhý pod. Vnitřek celku je napuštěn směsí lihu, vody a antikoroziční přísady. Na obrázku 22 je vidět pružící jednotka Hydroplastic. [1]



Obrázek 22 Pryžokapalinová pružící jednotka Hydroplastic [1]

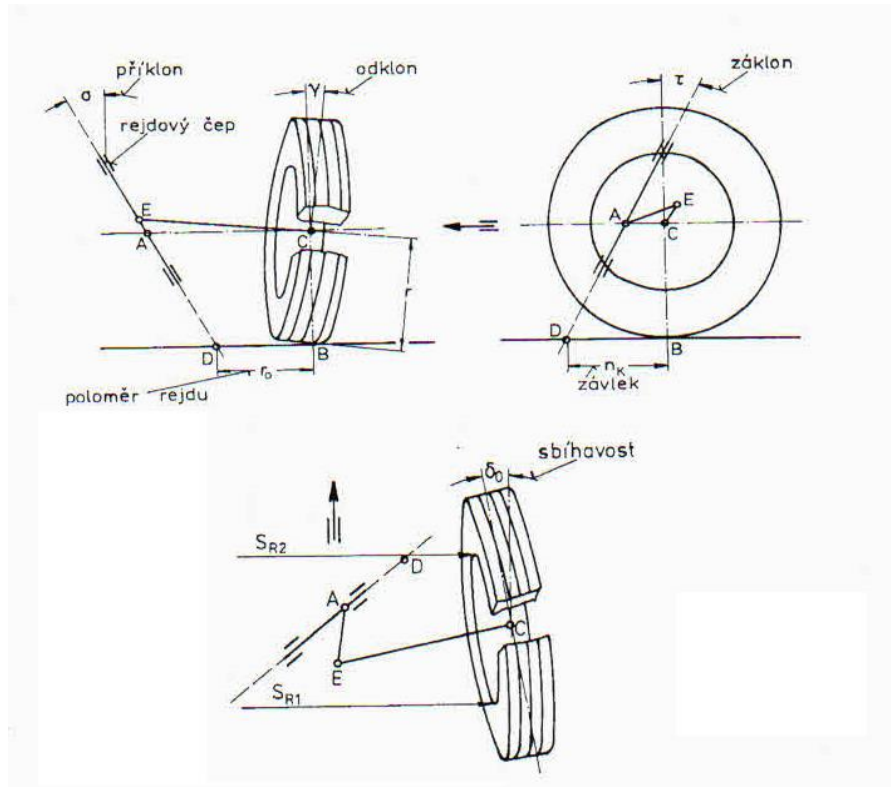
3.1.4. Řízení

Řídící ústrojí spolu s brzdami tvoří nejdůležitější součást automobilu, jelikož nám umožňuje měnit nebo udržet směr jízdy automobilu. Existují dvě varianty řízení a to celou nápravou nebo jednotlivými koly. Řízení celou nápravou nalezneme pouze u nákladních přívěsů. Automobily jsou řízeny natáčením předních kol kolem rejdového čepu. Řízení také dělíme na přímé tj. pouze lidskou silou nebo s posilovačem kde nám pomáhá servořízení.

Geometrie řízených kol

Ideálně se kola vozidla mají při přímé jízdě a průjezdu zatáčkou odvalovat. Řízení musí jít lehce, má být co nejpřesnější bez vůlí a má být co nejstabilnější obzvláště při vysokých rychlostech. Pro dosažení těchto kritérií máme u řízených kol a rejdových os tzv. geometrické odchylky, které jsou odvozeny polohou kol a rejdových os od svislé roviny. Tyto geometrické odchylky známe jako geometrie zavěšení kol (obr. 23) a jejími veličinami jsou:

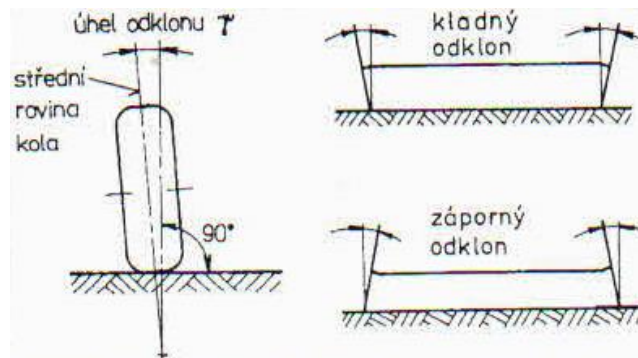
- Úhel odklonu kola
- Příklon rejdové osy
- Poloměr rejdu
- Záklon rejdové osy
- Závlek
- Úhel sbíhavosti [1]



Obrázek 23 Schematické znázornění geometrie řízeného kola [1]

Úhel odklonu kola

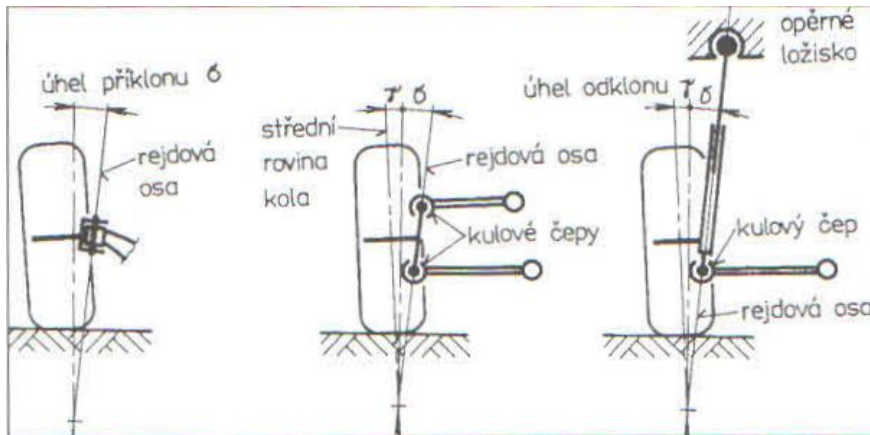
Poloha střední roviny kola vůči svislé ose vozu se nazývá úhel odklonu kola obr. 24. Kladný odklon nastane, když střední rovina kola směřuje ven z vozidla. Jestliže směřuje dovnitř, jedná se o záporný odklon. Zejména u nákladních vozů, ale i u osobních automobilů, se volí odklon kol kladný (5' až 10'), jelikož po zatížení vozu či nákladního automobilu se tíhou kola srovnají a odvalují se kolmo proti vozovce. Tím se zamezí špatnému opotřebení pneumatik. Při průjezdu zatáčkou opisuje každé kolo jiný poloměr a kola vně zatáčky se snaží sunout ke karoserii automobilu, zatímco kola uvnitř se od karoserie oddalují. Tudíž by měla změna odklonu vnějších kol vyrovnávat tyto změny působící od naklápění karoserie při průjezdu zatáčkou, aby se dosáhlo co nejlepšího přilnutí kola s vozovkou a zachycení bočních sil. U sportovních vozidel, kde se zanedbává opotřebení pneumatik, se volí záporný úhel odklonu, protože je výhodnější při průjezdu zatáčkou. Změna odklonu kola závisí vždy i se změnou příklonu nebo záklonu. [1]



Obrázek 24 Úhel odklonu kola [1]

Příklon rejdové osy

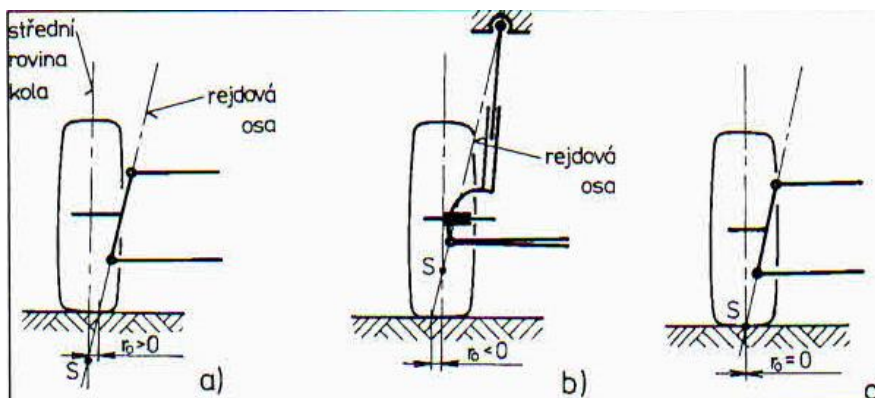
Příklon rejdové osy je průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla (obr. 25). Díky příklonu se kola vrací do původní polohy pro přímý směr jízdy, také se díky němu natáčená řízená kola zvedají. Sílu potřebnou pro toto zvednutí kol vytváříme otáčením volantu. Po uvolnění volantu se nám kola vrátí zpět do původní polohy díky tíze na přední nápravu, která tlačí kola zpět do původní polohy. Vychýlením předních kol se vytváří moment, který vrací obě přední kola, kde G_p je statické zatížení přední nápravy a δ_s je střední úhel rejdu. [1]



Obrázek 25 Poloha rejdové osy a) tuhá náprava, b) lichoběžníková náprava, c) náprava McPherson [1]

Poloměr rejdu

Mezi bodem, kde se rejdová ose protne s vozovkou a bodem, který leží na středu styku pneumatiky s vozovkou, nalezneme poloměr rejdu (obr. 26). Může být záporný nebo kladný. Záporný poloměr rejdu má stabilizující účinek na řízení. [1]

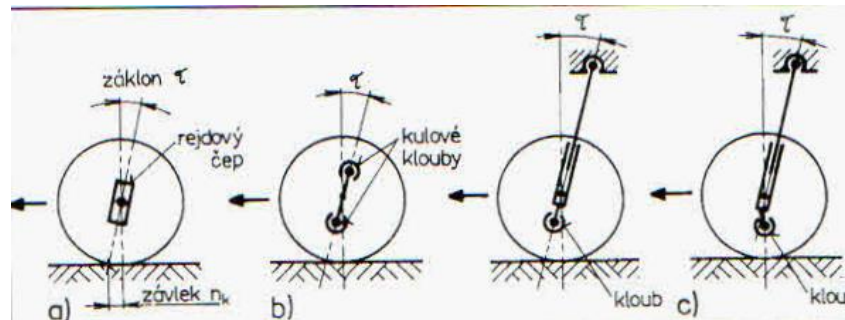


Obrázek 26 Poloměr rejdu a) kladný, b) záporný, c) nulový [1]

Záklon rejdové osy

Záklon rejdové osy je průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla (obr. 27). Pokud je osa rejdu skloněna dozadu jedná

se o kladný záklon. Pokud naopak jde o předklon. Na záklonu závisí stabilita polohy předních kol. [1]



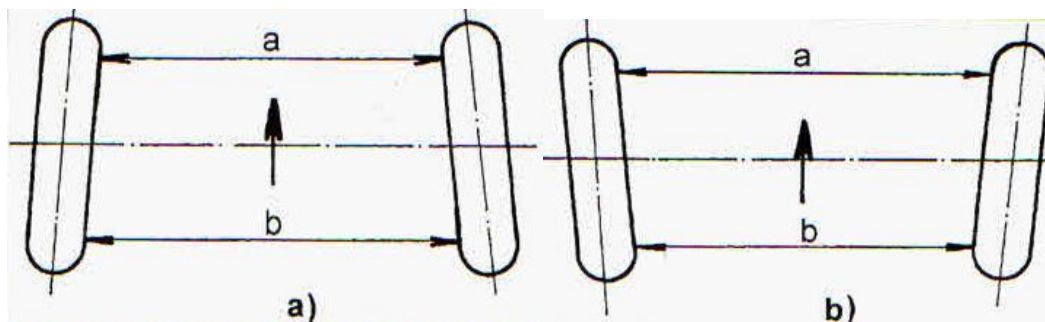
Obrázek 27 Záklon rejdové osy a) tuhá náprava, b) lichoběžníková náprava, c) náprava McPherson [1]

Závlek

Mezi body průtnutí rejdové osy s vozovkou a středem styku pneumatiky leží závlek. Může být záporný nebo kladný, tzv. předvlek. Účinkem závleku vzniká vratný moment, který natáčí kolo do přímého směru. [1]

Úhel sbíhavosti

Úhel sbíhavosti je průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky (obr. 28). Pokud jsou kola jejich přední částí nasměrovány k podélné ose vozidla, jsou sbíhavá. Jsou-li naopak, jsou rozbíhavá. Sbíhavost kol na přední nápravě má docílit paralelní odvalování kol při rovném směru jízdy. Díky úhlu sbíhavosti se na bocích kol tvoří boční síly, které se snaží kola vracet do přímého směru jízdy. [1]



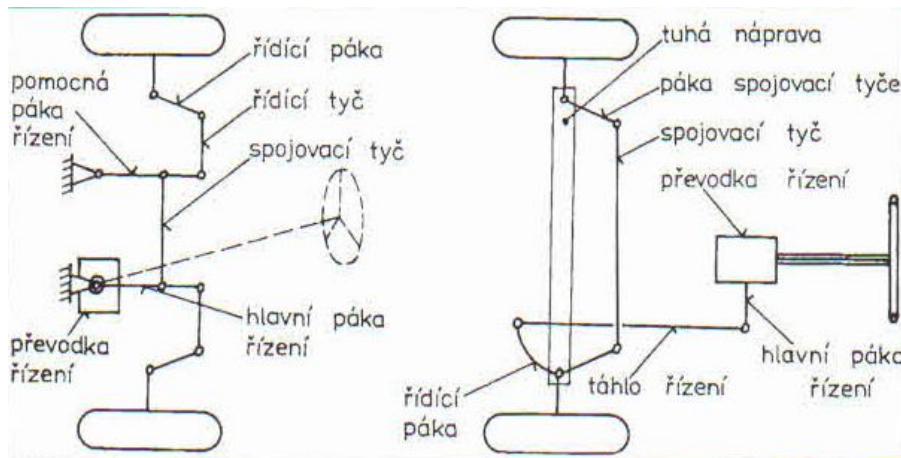
Obrázek 28 Sbíhavost a) a rozbíhavost b) [1]

Mechanismus řízení

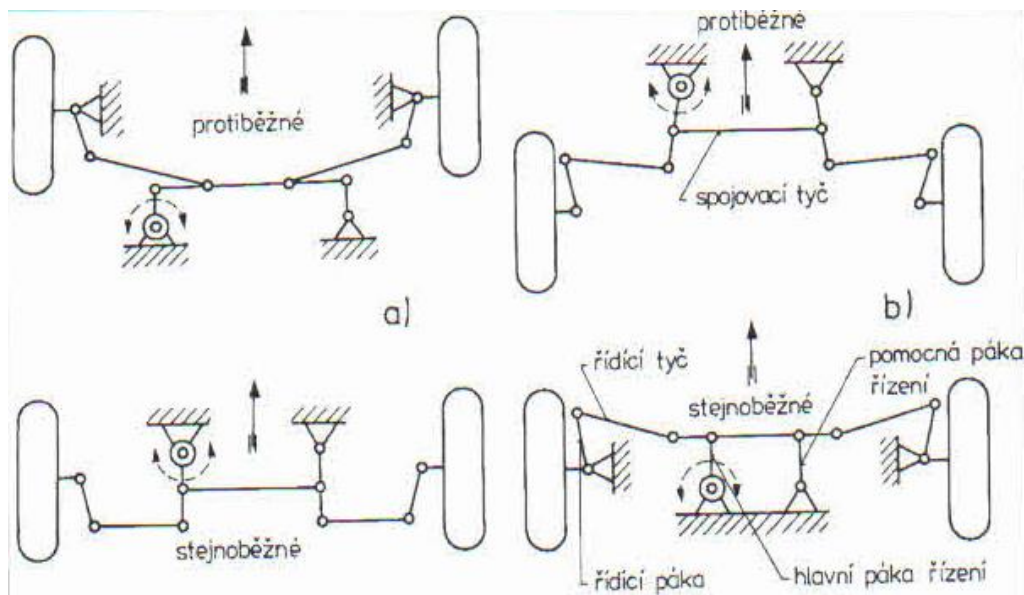
Má tyto funkce:

- Přenos řídicího pohybu z převodovky řízení na řízená kola
- Zajišťuje rozdílné natáčení vnitřního a vnějšího kola při zatáčení
- Udržovat přední kolo ve vzájemně nastavené poloze

Na obrázku 29 jsou zobrazeny komponenty řídicího ústrojí. Na obrázku 30 jsou vidět různé mechanismy řídicí soustavy pro nezávislé zavěšení kol.



Obrázek 29 Názvosloví řízení [1]



Obrázek 30 Různá uspořádání mechanismu řízení pro nezávislé zavěšení kol a převodky řízení s otočnou hlavní pákou řízení: a) za osou přední nápravy, b) před osou přední nápravy [1]

Druhy řízení podle druhu převodky řízení:

- Maticové
- Šnekové
- Hřebenové

Maticová převodka řízení

Jedná se o převod pomocí šroubu a matice pro větší automobily. Tento převod se používá s oběžnými kuličkami. Šroub je spojen s hřídelí volantu a jejím otáčením posouváme matici, kde díky valivým kuličkám nedochází k takovému tření, jako u klasického převodu šroubem a maticí, který nalezneme spíše u zemědělské techniky, kde není kladen nárok na rychlost řízení. Matice nám potom pootáčí hlavní pákou řízení.

Šneková převodka řízení

Tento typ se používá především u nákladních automobilů. Základ tvoří šnek, který je na hřídeli volantu. Má velké stoupání pro působení malou silou na volant. Šnek poté pootáčí buďto segment nebo kolík nebo kladku, podle velikosti tření v převodu, kde segmentem je nejvyšší a kladkou nejnižší.

Hřebenová převodka řízení

Dnes nejpoužívanější je hřebenová převodka, kde konec hřídele volantu je opatřen pastorkem, který zapadá do ozubeného hřebene a otáčením ho posouvá. Výhodou je úspora místa, jednoduchá konstrukce a minimální vůle v řízení. [1]

3.1.5. Brzdová soustava

Vůbec nejdůležitějším bezpečnostním prvkem automobilu je brzdová soustava. Má za úkol korigovat rychlost vozidla, vozidlo úplně zastavit a zabezpečit ho proti rozjetí např. při stání na parkovišti. Brzdného účinku dosáhneme třením např. mezi kotoučem a brzdovou čelistí, kdy dochází ke změně kinetické energie vozidla v tepelnou energii třením. Třecí části musí mít zajištěný odvod tepla, aby nedošlo k jejich poškození. Brzdové soustavy se dělí podle funkce, kterou plní.

Brzdová soustava pro:

- Provozní brzdění
Má za úkol snižovat rychlost vozidla při normální jízdě nebo jej úplně zastavit.
- Nouzové brzdění
Má za úkol snižovat rychlost vozidla při normální jízdě nebo jej úplně zastavit v případě, že provozní brzdění selže.
- Parkovací brzdění
Má za úkol zajistit vozidlo proti pohybu na rovině či kopci i v nepřítomnosti řidiče (ruční brzda).
- Odlehčovací brzdění
Má za úkol snižovat rychlost vozidla při normální jízdě nebo jej úplně zastavit, zejména při dlouhé jízdě z kopce např. brzdění pomocí převodu motoru při zařazené rychlosti.

- Samočinné brzdění

Má za úkol zajistit brzdění přípojného vozidla při jeho odpojení od tažného vozidla. [1]

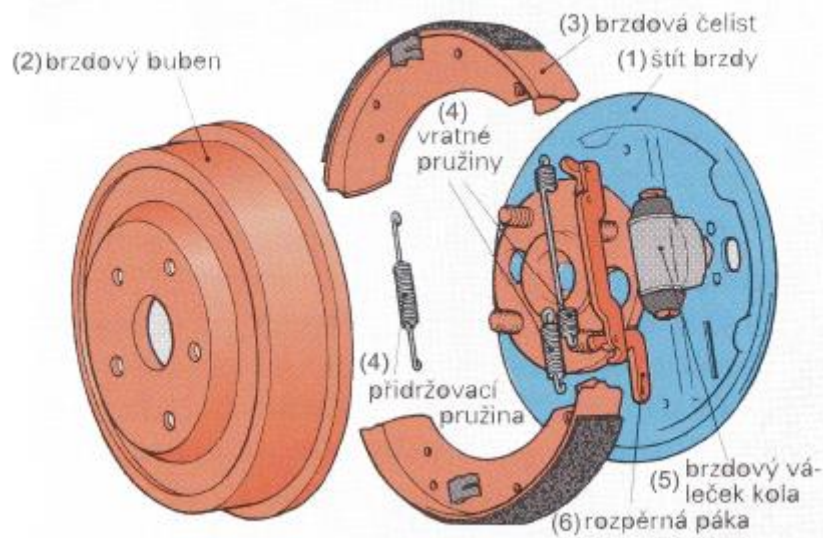
Kapalinové brzdy (hydraulické)

Máme dva druhy třecích brzd, které se nejčastěji vyskytují v automobilech a to bubnové a kotoučové.

Bubnové brzdy

Bubnové brzdy jsou třecí brzdy, kde se brždění dosahuje rozevíráním vnitřních bubnových čelistí, které se opírají o brzdový buben. Hlavními částmi bubnové brzdy (obr. 31) je brzdový buben (2), brzdové čelisti (3), rozpěrné zařízení (6), vratné pružiny (4), brzdový váleček (5) a štít brzdy (1). Brzdový buben je pevně spojen s kolem, které s ním otáčí. Štít je pevně spojen s nápravou a neotáčí se. Brzdové čelisti s obložením jsou propojeny rozpěrným zařízením, které rozevřením přitlačuje brzdové destičky na vnitřní stranu brzdového bubnu. Vzniklé tření má poté za příčinu brždění vozidla. Přítlačná síla je vyvozena brzdovým válečkem, který může být ovládán mechanicky nebo hydraulicky.

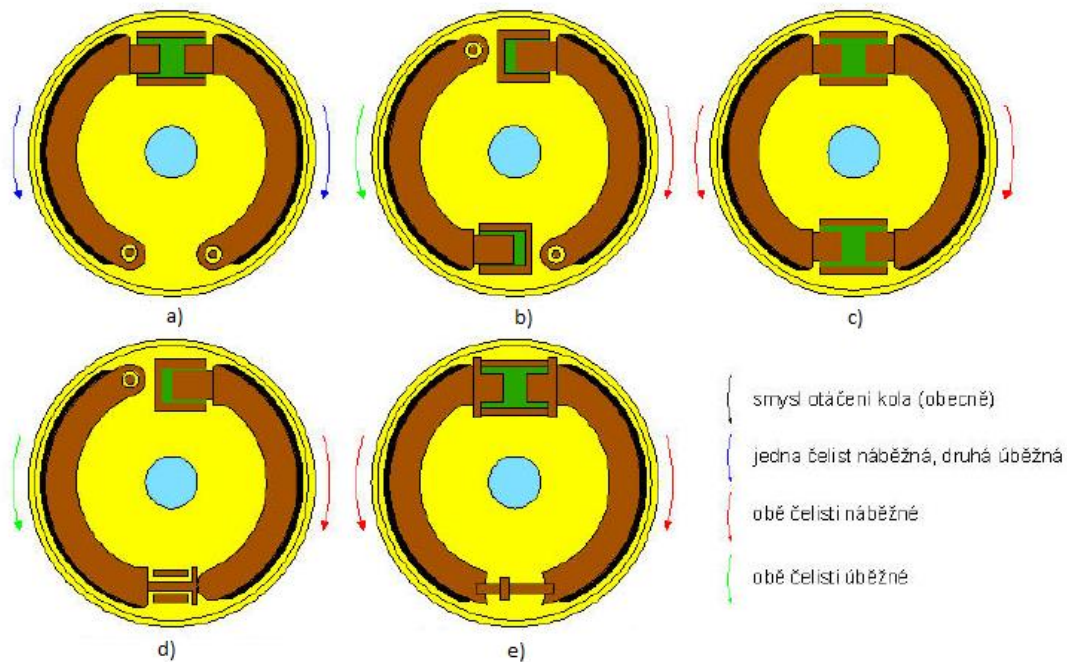
Jednou z vlastností bubnových brzd je samoposilující účinek. Ten je způsoben momentem, který vzniká třením. Tento moment zesiluje brzdící účinek na náběžné čelisti a zeslabuje na úběžné čelisti. Další výhodou je dlouhá životnost brzdového obložení, kde je poměrně velká styčná plocha, která je v kontaktu s brzdovým bubnem a nedochází k tak velkému znečištění jako například u kotoučových brzd, kde brzdový systém není tak odolný vůči nečistotám. Konstrukce rovněž umožňuje snadné zabudování parkovací brzdy. Při dlouhodobém zahřívání bubnových brzd dochází k poklesu brzdných vlastností a může dojít i k deformaci brzdového bubnu.



Obrázek 31 Části bubnových brzd [3]

Existují různé typy bubnových brzd, které jsou znázorněny na obr. 32:

- Jednonáběžná (Simplex)
- Dvounáběžná (Duplex)
- Dvounáběžná obousměrná (Duo-Duplex)
- Se spráženými čelistmi (Servo)
- Dvounáběžná obousměrná se spráženými čelistmi (Duo-Servo) [3]



Obrázek 32 Typy uspořádání bubnových brzd [3]

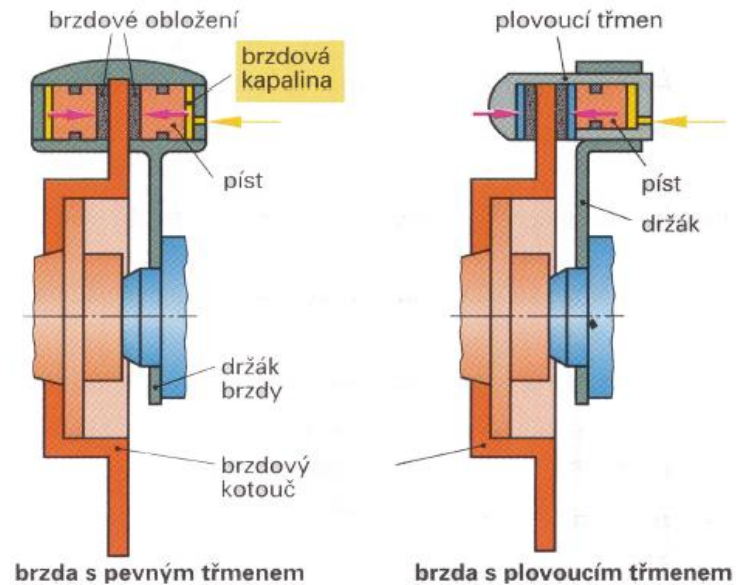
Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy mají k náboji kola připevněný brzdový kotouč. Na nápravě je uchycen brzdový třmen s držákem. Brzdové destičky jsou přitlačovány z obou stran na kotouč, kde působením tření dochází k brždění vozidla. U kotoučové brzdy nedochází k výrazné změně součinitele tření i při dlouhodobém brždění, čímž se hodnota brzdné síly mění pouze minimálně a dá se dobře regulovat. Brzdný účinek není závislý na smyslu směru otáčení, ale není tu samoposilující účinek jako u bubnové brzdy. Pro dosažení dostatečné přitlačné síly mají brzdové válce kotoučových brzd větší průměr než bubnových. Vůle mezi brzdovým obložím a kotoučem se seřizuje samočinně.

U kotoučových brzd dochází k většímu opotřebení než u bubnových brzd, ale to je vyváženou jednoduchostí a snadnou vyměnitelností jednotlivých součástí. Nevýhody spočívají především v přenosu tepla, vzniklého bržděním, do brzdící kapaliny, protože brzdové válečky, které jsou tlačeny brzdovou kapalinou, jsou v přímém kontaktu s brzdovými destičkami. Konstrukčně náročné a nákladné je i zabudování parkovací brzdy, proto se kotoučové brzdy u zadních náprav nahrazují brzdami bubnovými.

Existují dvě různé provedení kotoučových brzd (obr. 33):

- Brzda s pevným třmenem
- Brzda s plovoucím třmenem



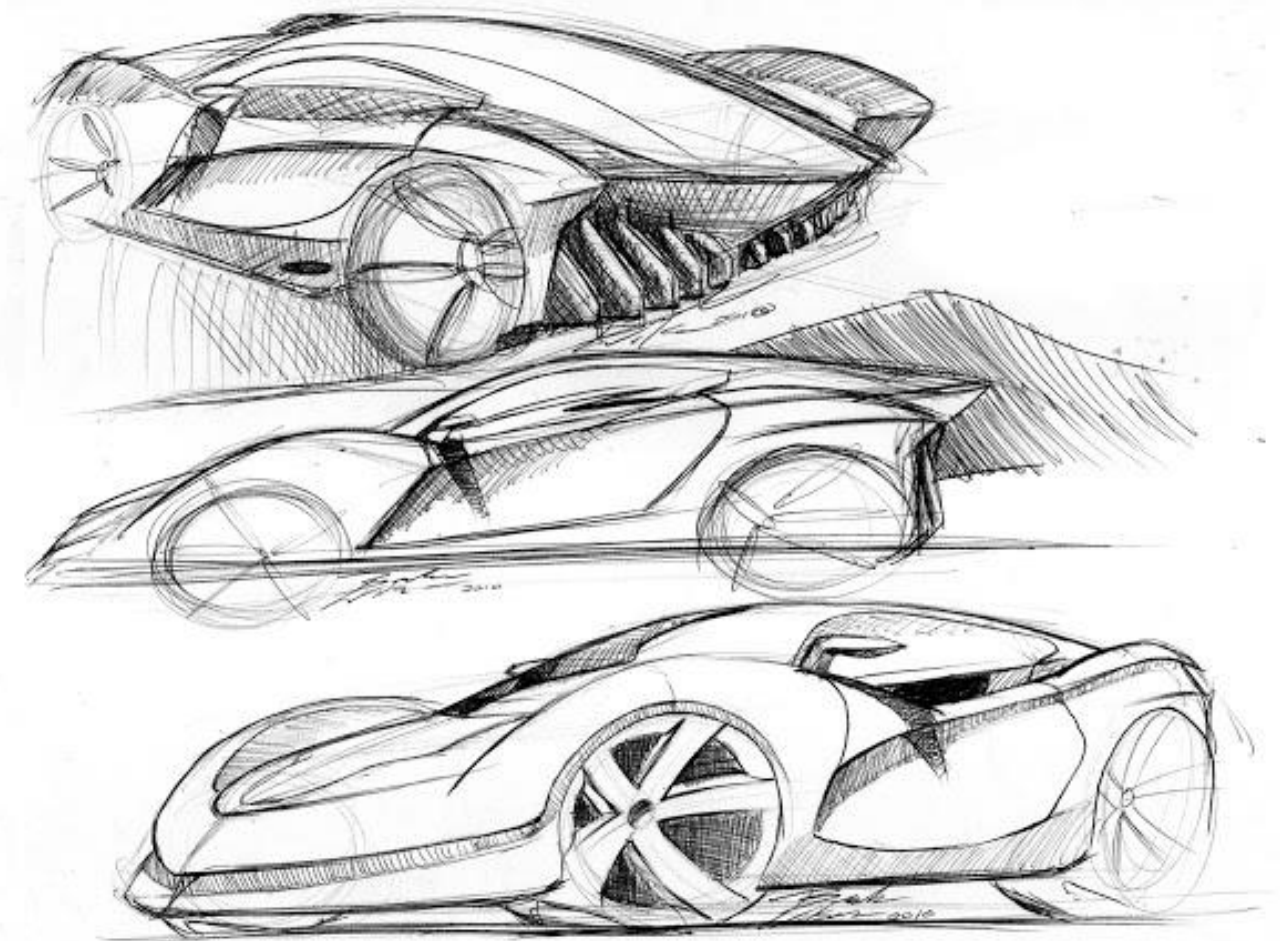
Obrázek 33 Konstrukční řešení kotoučových brzd [3]

Brzda s pevným třmenem má z obou stran kotouče brzdové válečky. Tlak je pomocí brzdové kapaliny přiváděn do obou válců. Tím je zajištěno rovnoměrné rozložení tlaku na brzdové destičky a stejná přitlačná síla na obou stranách kotouče. Brzda s pevným třmenem je složena z držáku brzdy, pístů, pružin, brzdových destiček s obložením a brzdového kotouče

Brzda s plovoucím třmenem má brzdový válec pouze na jedné straně brzdového kotouče. Z druhé strany je pouze brzdová destička s obložením, která se opírá o plovoucí třmen. Třmen je k držáku uchycen pomocí vodících čepů, ve kterých se může brzdový třmen posouvat a tím vymezovat vůli při pohybu brzdového pístu. Brzda s plovoucím třmenem se složena z držáku, plovoucího třmenu, vodících čepů, pružin, pístů, brzdových destiček s obložením a brzdového kotouče [3]

4. Návrh rámu

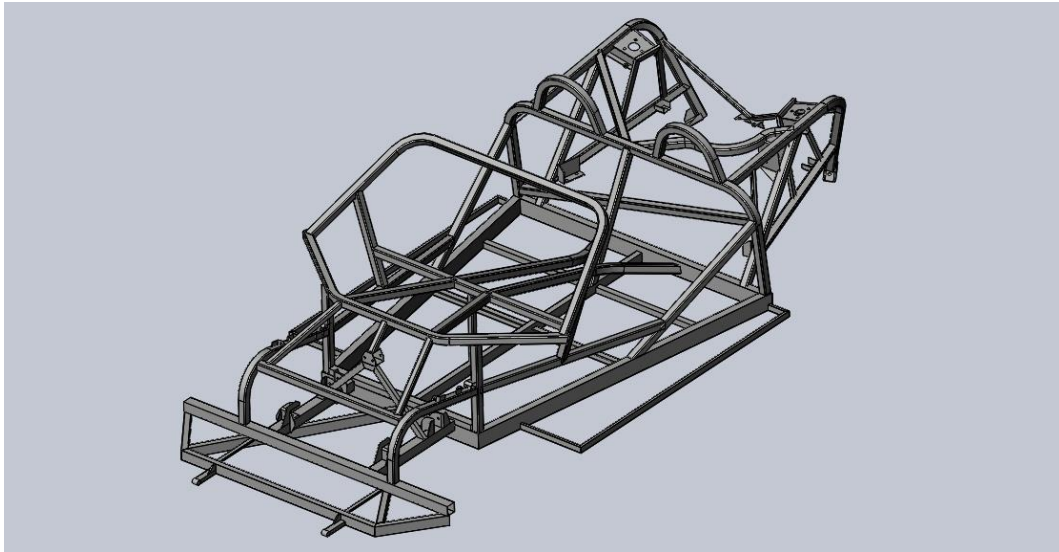
4.1. Skica automobilu



Obrázek 34 Skica automobilu [4]

4.2. Rám

V návrhu rámu se budeme zabývat výpočtem všech sil působících na kolo automobilu, abychom získali hrubý nástřel hodnot, které nám budou působit na rám skrze zavěšení kola. Dále vybereme vhodný materiál, který otestujeme MKP a probereme profily a technologie ze kterých a jakými je rám vyráběn.



Obrázek 35 Model rámu automobilu

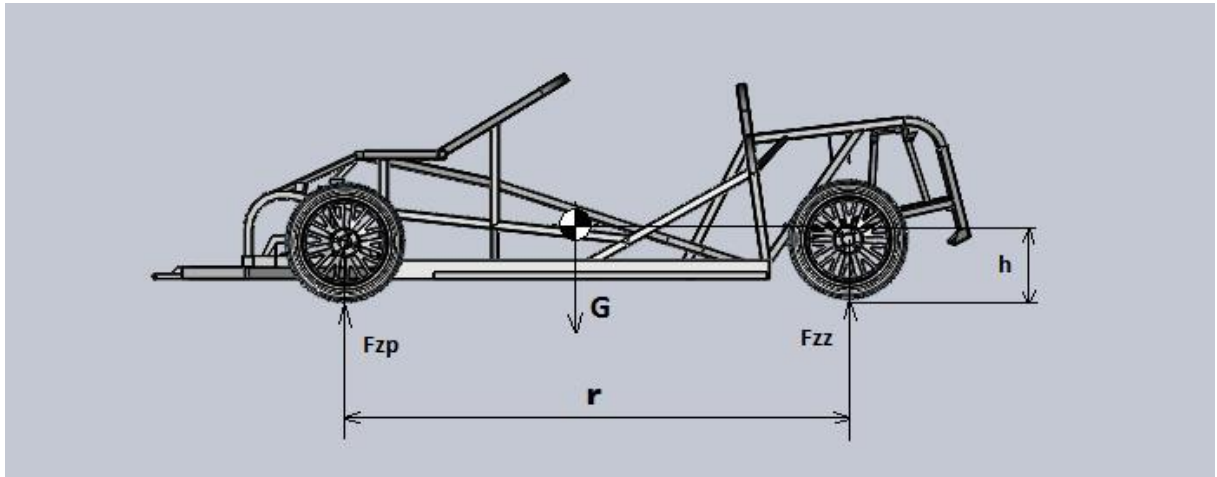
4.2.1. Technologie laserového řezání, použité při výrobě rámu.

Rám se skládá z mnoha profilovaných trubek čtvercového průřezu posvařovaných k sobě. Technologie laserového řezání nám umožní vyříznout trubky tvarem přesně odpovídajícím dosedací ploše protikusu ještě s tím bonusem, že do protikusu vyřízne zámky a na kus vkládaný vyřízne výstupky, které se poté spasují do sebe a zavaří. Tudíž má takováto konstrukce mnohem lepší tuhost než pouze svařovaná. Další výhodou této technologie je, že např. obvodový rám může být vyřezán z jednoho kusu, naohýbán a svařen. To také zvyšuje tuhost rámu. Rám je složen převážně z profilu 40x40x2 dále se v něm vyskytují profily čtvercového a obdelníkového průřezu.



Obrázek 36 Ukázka laserově řezaných dílů [4]

4.2.2. Výpočet sil na kolo



Obrázek 37 Schéma zatížení rámu

$r_a=858mm$ - Vzdálenost osy přední nápravy od těžiště vozidla

$r=1578mm$ - Rozvor náprav vozidla

$h= 296mm$ - Výška těžiště od vozovky

$m_v=197kg$ - Hmotnost vozidla

$m_j=85kg$ - Hmotnost jezdce s výstrojí

m - Hmotnost vozidla s jezdcem

$$m = m_v + m_j$$

$$m = 650 + 85 = 735 \text{ Kg}$$

$$F_g = m * g = 735 * 9,81 = 7210,35 \text{ N}$$

$$\sum F_z = F_g - F_{Z_p} - F_{Z_z} = 0 \rightarrow F_{Z_p} = F_g - F_{Z_z}$$

$$\sum M_t = F_{Z_p} * r_a - F_{Z_z} * (r - r_a) = 0 \rightarrow F_{Z_p} * r_a = F_{Z_z} * (r - r_a)$$

$$F_{Z_zs} = F_g \frac{r_a}{r} = 7210,35 * \frac{978}{2165} = 3257,15 \text{ N}$$

$$F_{Z_{ps}} = F_g * \left(1 - \frac{r_a}{r}\right) = 7210,35 * \left(1 - \frac{978}{2165}\right) = 3256,15 \text{ N}$$

Síly na kolo jsou pak vždy rovny polovině sil na nápravu, tedy:

$$F_{Z_{p1s}} = \frac{F_{Z_p}}{2} = \frac{3256,15}{2} = 1628,08 \text{ N}$$

F_{Zp1} je statická síla působící na přední kolo. Tato síla by na kolo působila při přímé jízdě po rovině, po ideálně hladké vozovce. Protože ale reálná vozovka ideálně hladká zdaleka není a vlivem jejích nerovností dochází k rázům a tím navyšování této statické síly, je ji nutné vynásobit tzv. dynamickým příčinkem. Hodnota dynamických příčinků se v praxi stanovuje měřením a jeho výsledkem je graf, ve kterém hodnota reálného zatížení osciluje kolem hodnoty statického zatížení. Pro pevnostní výpočet se pak použije maximální hodnota. Pro účely této práce byl použit kvalifikovaný odhad $P_Z=3$. [5]

$$F_{Zp1D} = F_{Zp1S} * P_Z = 1628,08 * 3 = 4884,23 \text{ N}$$

Hnací síla

Působí pouze na zadní poháněná kola → přední těhlice se netýká.

$$M_k = F_k * r_d \rightarrow F_k = \frac{M_k}{r_d}$$

Brzdná síla působí ve směru jízdy vozidla. Maximální brzdná síla nemůže být větší než adhezní síla v podélném směru. Velikost adheze je závislá na mnoha faktorech: povrch a teplota vozovky, míra opotřebení, typ a druh pneumatiky, rychlost jízdy, tlak v pneumatikách, míra znečištění vozovky a množství vody na vozovce. (14)

Vzhledem k tomu, že provádím výpočet pro sportovní elektromobil, lze předpokládat, že bude snaha ovlivnit faktory co nejvíce ve prospěch adheze - volím koeficient adheze v podélném směru $\mu_x=0,95$.

$$F_{xBp1} = F_{Zp1S} * \mu_x \\ F_{xBp1} = 1628,08 * 0,95 = 1546,68 \text{ N}$$

Stejně jako přímá jízda, tak ani brzdění neprobíhá na ideálně hladké vozovce → brzdou sílu je nutné vynásobit dynamickým příčinkem v podélném směru $P_x=2$. [5]

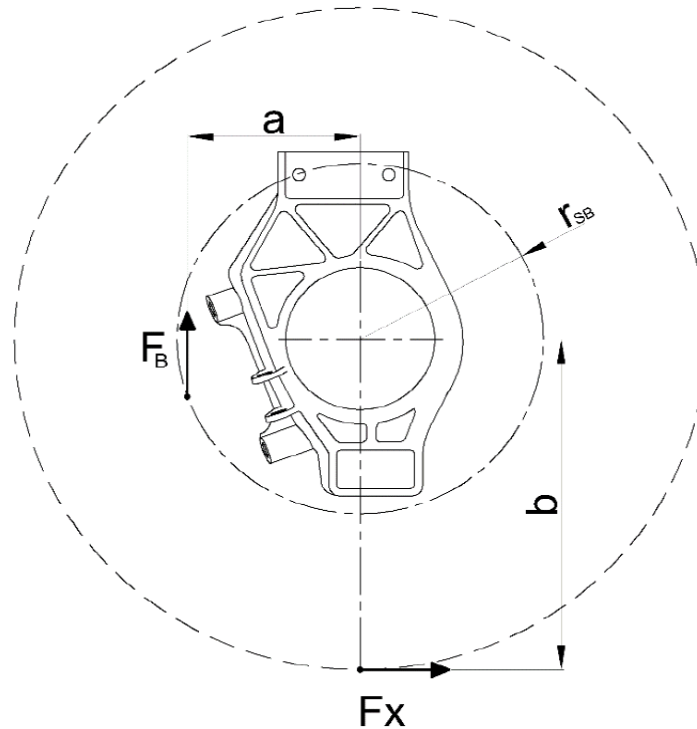
$$F_{xBp1D} = F_{xBp1} * P_x \\ F_{xBp1D} = 1546,68 * 2 = 3093,35 \text{ N}$$

Síla od brzdového třmenu

Na těhlici působí také síla od brzdového třmenu, která působí na středním poloměru brzdového kotouče a je žádoucí, aby tato síla působila zejména v ose Z (kolmé na vozovku) a složka v ose X (ve směru jízdy) byla nejlépe nulová. Tyto požadavky jsou důležité proto, aby na rameni nevznikal mezi působištem síly a rejdovou osou žádný moment, který by negativně ovlivňoval řízení. (15)

Velikost této síly vypočteme z momentové rovnice k ose těhlice, kdy víme, že moment vyvolaný silou od brzdového třmenu musí být rovný momentu od brzdě síly. [5]

$$\sum M_D : F_b * a = F_{xBp1D} * b \rightarrow F_b = F_{xBp1D} * \frac{b}{a} = 3093,35 * \frac{280}{140} = 6186,7 \text{ N}$$



Obrázek 38 Rozložení sil působících na kole [5]

5. MKP

5.1.1. MKP

Rám je zatěžován předdimenzovanými silami, abychom zjistili jeho tuhost a hodnoty průhybů pro dva typy materiálů. Jedním je klasická ocel a druhým hliník. Celkem budeme deformace posuzovat ze třech zatěžovaných stavů tj. zrychlení, brzdění a průjezd zatáčkou.

5.1.2. Celkové zatížení (statické)

Uvažujeme hmotnost nastrojeného rámu + hmotnost jezdce s výstrojí. Celkovou sílu necháme působit v těžišti.

5.1.3. Popis modelu

Rám se skládá z různých profilů čtvercového a obdélníkového průřezu. Pro zjednodušení jsem rám rozdělil na tři části tj. spodní část, horní část a zadní část rámu. Pro náš zátěžový test budeme uvažovat pouze horní uchycení ramene horní části rámu, tj. modrá část rámu na obrázku vpravo.

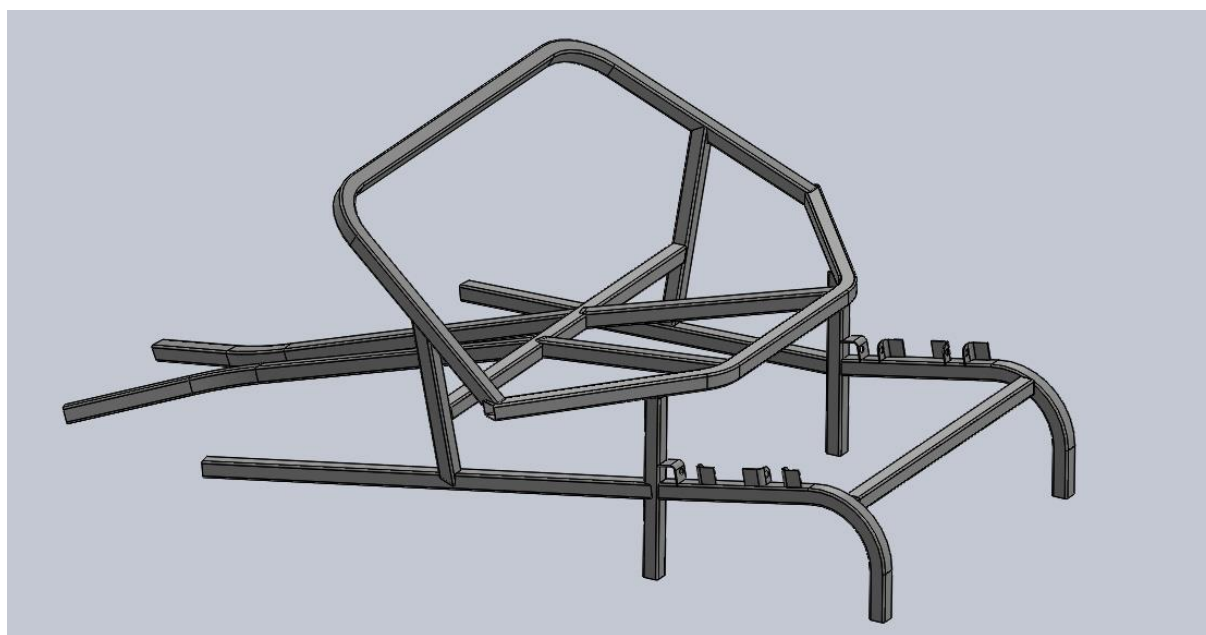
5.2. Materiálové charakteristiky

Tabulka 1 Materiálové charakteristiky

Vlastnosti	Slitina hliníku 2014	Ocel	Jednotky
Měrná hmotnost	2794	7850	Kg/m ³
Modul pružnosti mat. v tahu	7,3x10 ⁴	2,1x10 ⁵	MPa
Mez pevnosti v tahu	441,5	500	MPa
Mez kluzu	393,7	270	MPa
Minimální bezpečnost	3	3	-
Maximální dovolený průhyb	4	4	mm

5.3. Jekly

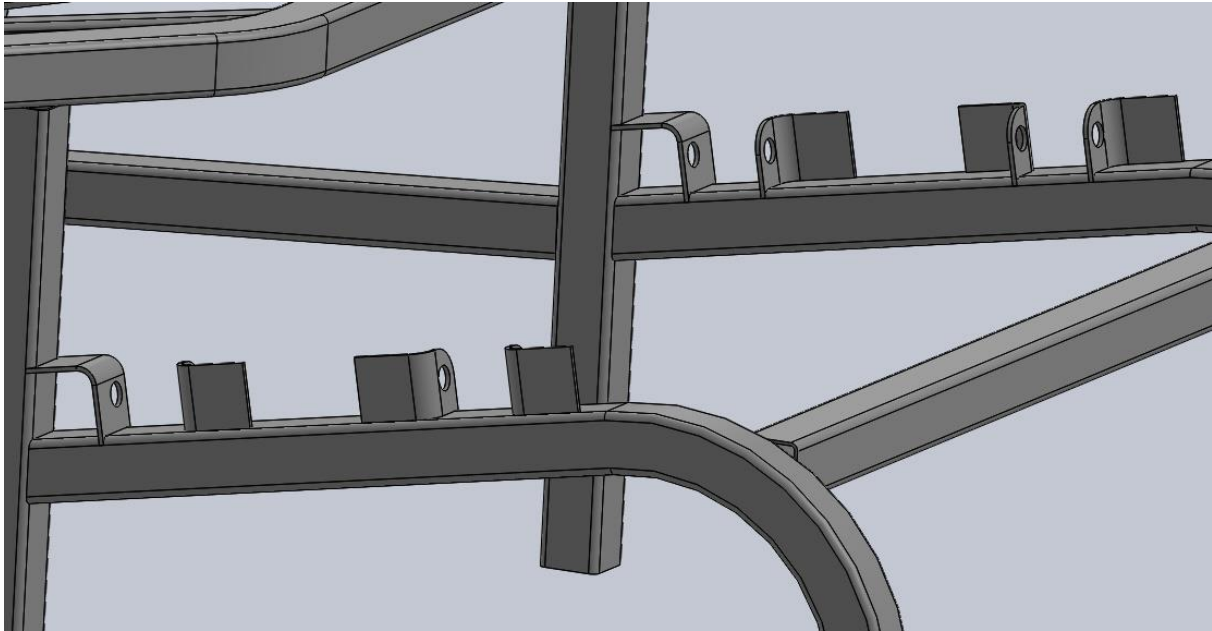
V této „horní“ části rámu se nachází 2 typy jeklů čtvercového průřezu tj. 40x40x2 mm a 30x30x2 mm



Obrázek 39 Horní část rámu

5.4. Uchycení ramene

Úchyty ramene jsou tvořeny naohybaným plechem tloušťky 3 mm. V úchytech jsou otvory, skrze které bude procházet šroub uchycení ramene.



Obrázek 40 Úchyty části předního ramene

6. Návrh výpočtového modelu

6.1. Fyzikální model

Geometrie modelu je vytvořena podle požadavků návrhu a jednotlivé části jsou vytvořeny jako solid pomocí funkce extrude a hole. Rám se skládá z částí normovaných, naohybaných a posvařovaných jeklových profilů, aby byla jeho výroba co nejlevnější. Úchyty jsou tvořeny z ohýbaného ocelového plechu, v případě potřeby bychom mohli úchyty vyztužit žebrem či zvolit větší tloušťku plechu.

6.1.1. Okrajové podmínky

Jedná se o úlohu v oblasti Hookova zákona – lineární úloha. Deformace jsou relativně menších rozměrů a v průběhu řešení se nezmění žádná okrajová podmínka.

6.1.2. Uchycení

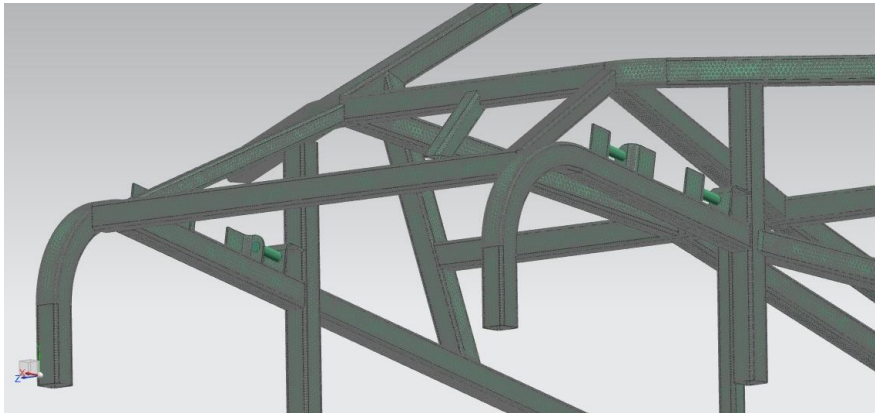
Tato část rámu bude ve všech bodech pevně svařena k dalším částem rámu. Skoro všechny jekly končících částí horního rámu budou přivařeny na část spodního rámu a dva boční končící jekly budou přivařeny na zadní část rámu. V simulaci jsem pro tyto části, které budou přivařeny k rámu zvolil funkci „fixed constrain“.

6.1.3. Zatížení

Subjektivně jsem použil extrémnější zátěže několikrát vyšší než skutečné, abych zjistil, co rám snese a jaký bude průhyb a napětí při vysoké zátěži. Zatížení pro zatěžované stavy tj. Akcelerace, decelerace a průjezd zatáčkou jsem volil 1 000N pro oba materiály Varianta s rámem z oceli.

6.1.4. Síť (mesh)

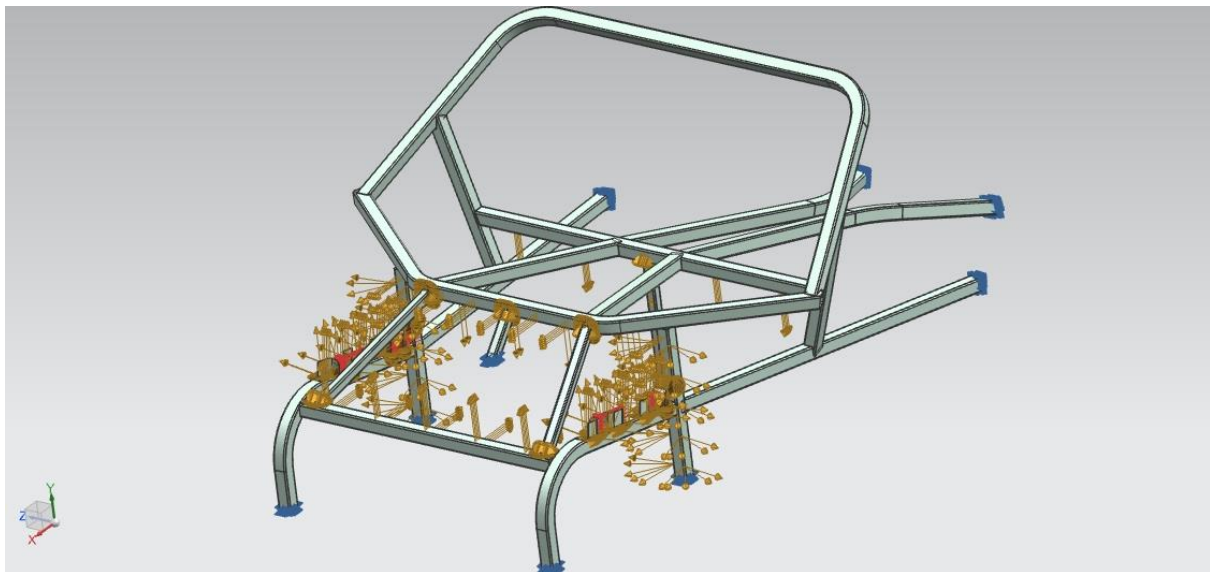
Síť jsem zvolil 3D tetrahedral CTETRA (10). Velikost elementů jsem pro celý rám zvolil 10mm. Surface curvature based size variation v Mesh settings jsem volil 70.



Obrázek 41 Mesh 3D tetrahedral

6.1.5. Zjednodušení svarů

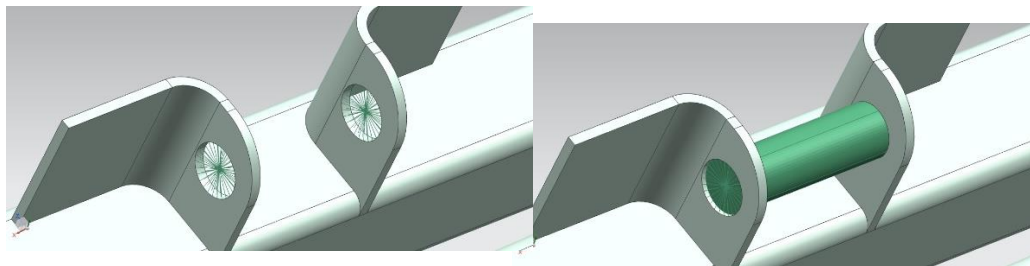
Pro zjednodušení svarů jsem použil funkci Gluing surface to surface.



Obrázek 42 Pojení profilů funkcí gluing surface to surface

6.1.6. Realizace šroubu v díře plechů horního uchycení

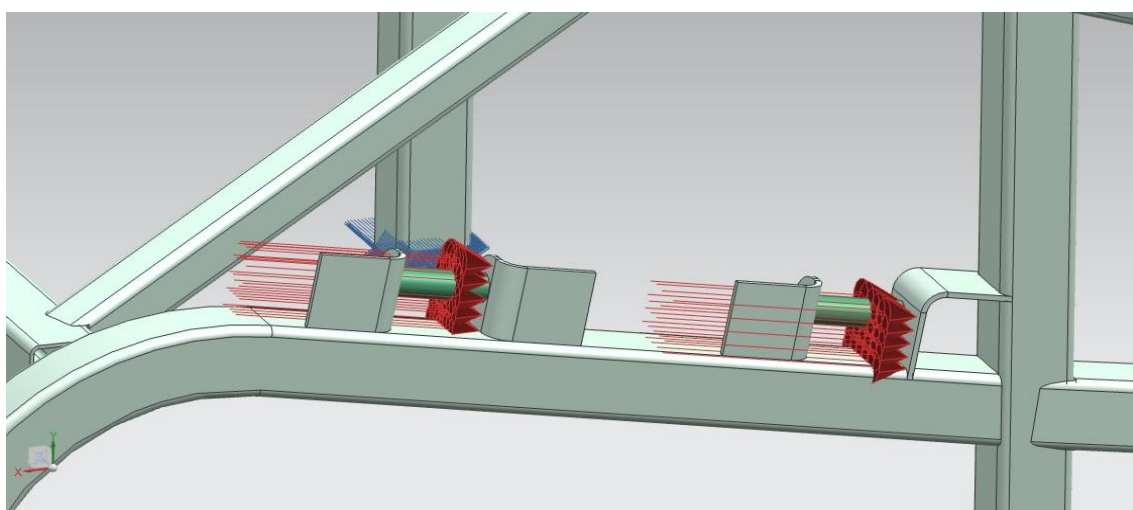
Šrouby jsem realizoval propojením bodu s funkcí 1D connection kde jsem zvolil nastavení point to face a jako connection element zvolil pevnou vazbu RBE2. Dále jsem pak znovu použil funkci 1D connection node to node k propojení dvou „point to face“ vazeb k sobě v nastavení connection element jsem zvolil CBEAM, ve kterém jsem následně zvolil ve vlastnostech kruhový průřez (šroub) o průměru 16mm z oceli.



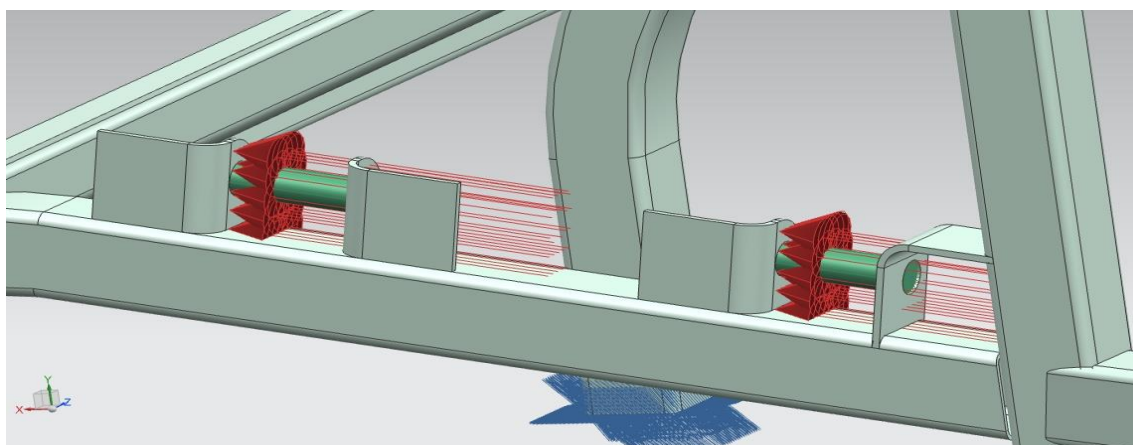
Obrázek 43 Realizace šroubového spojení ramena

6.1.7. Zatěžované stavy

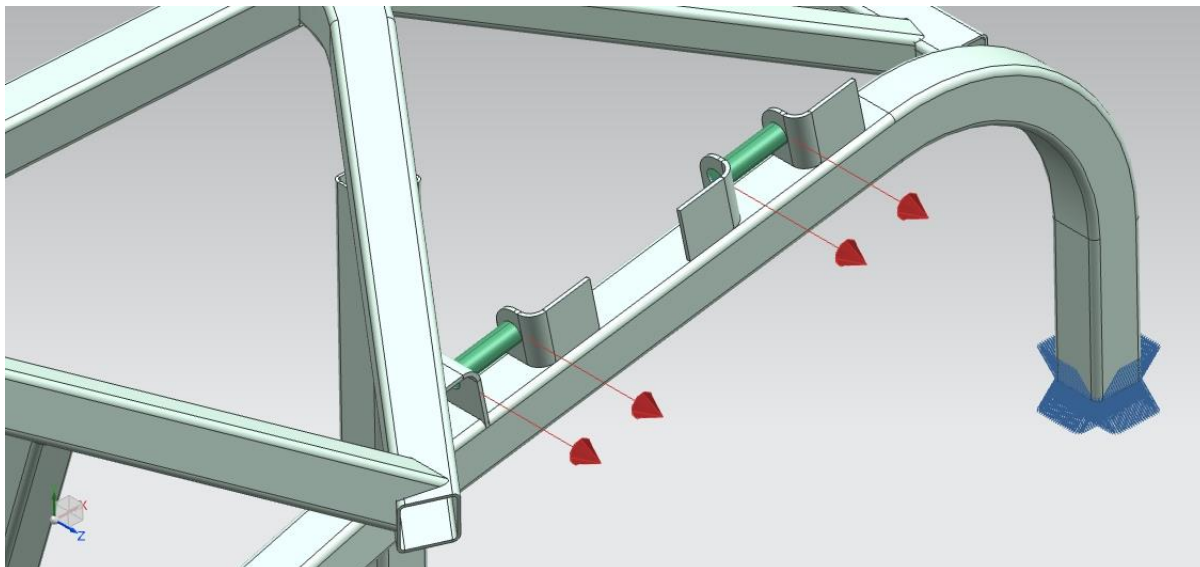
Realizujeme celkem tři zatěžované stavy tj. akcelerace, decelerace a průjezd zatáčkou.



Obrázek 44 Působící síla (decelerace)



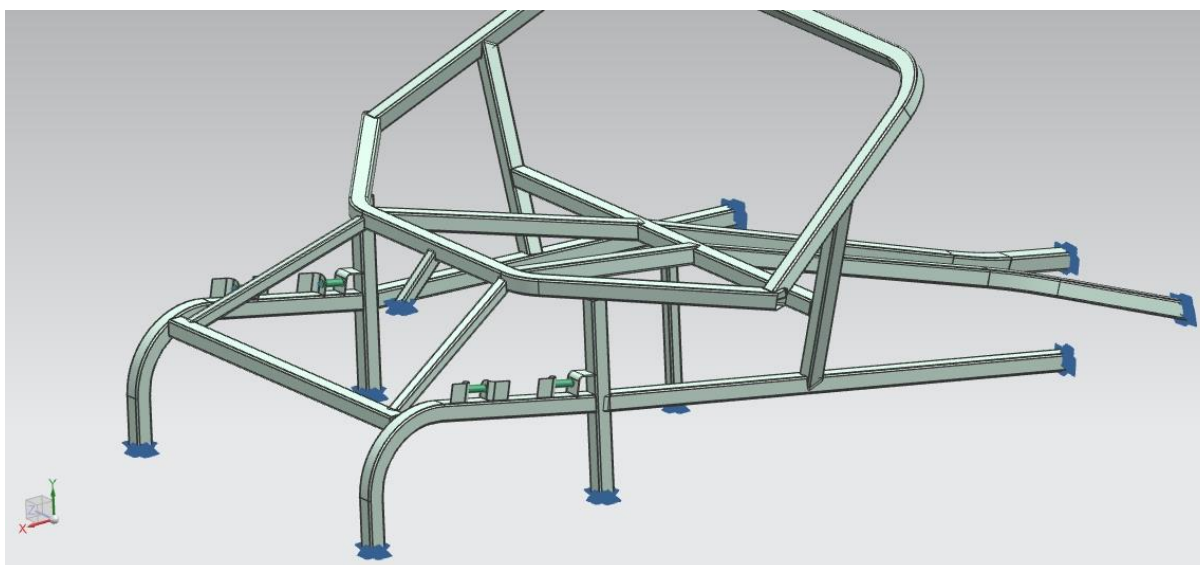
Obrázek 45 Působící síla (akcelerace)



Obrázek 46 Působící síla (průjezd zatáčkou)

6.1.8. Fixace rámu

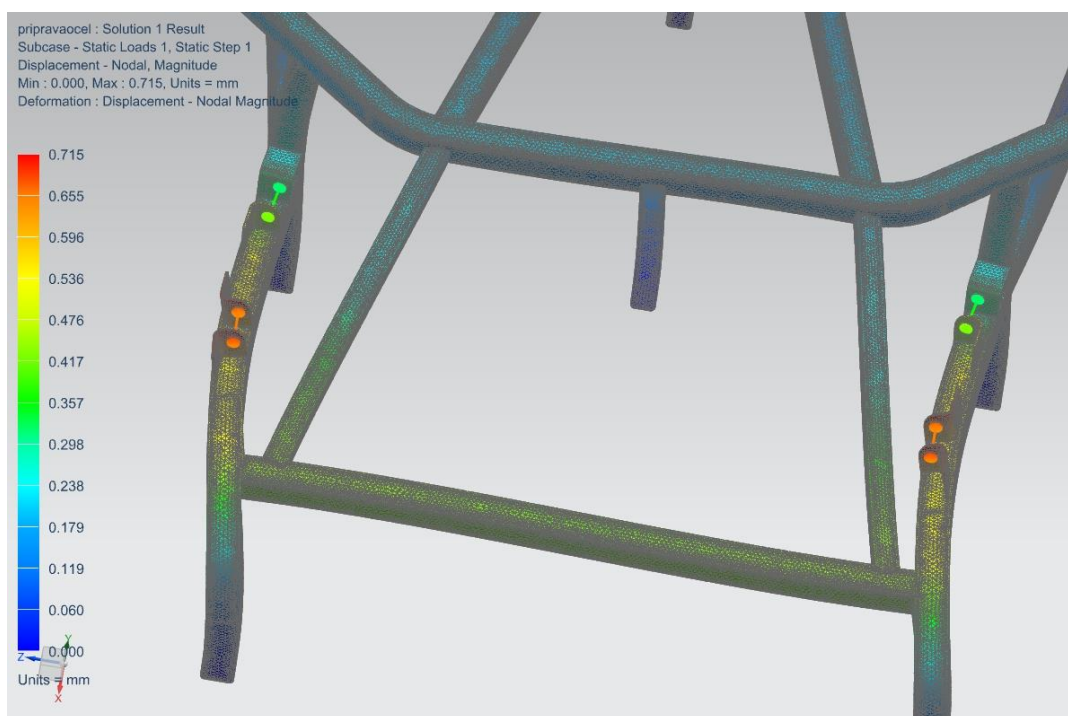
K zafixování rámu jsem použil na všechny konce rámu, které budou na pevno přivařeny k dalším částem rámu funkci fixed constrain, která zajišťuje zamezení všech stupňů volnosti.



Obrázek 47 Fixace rámu

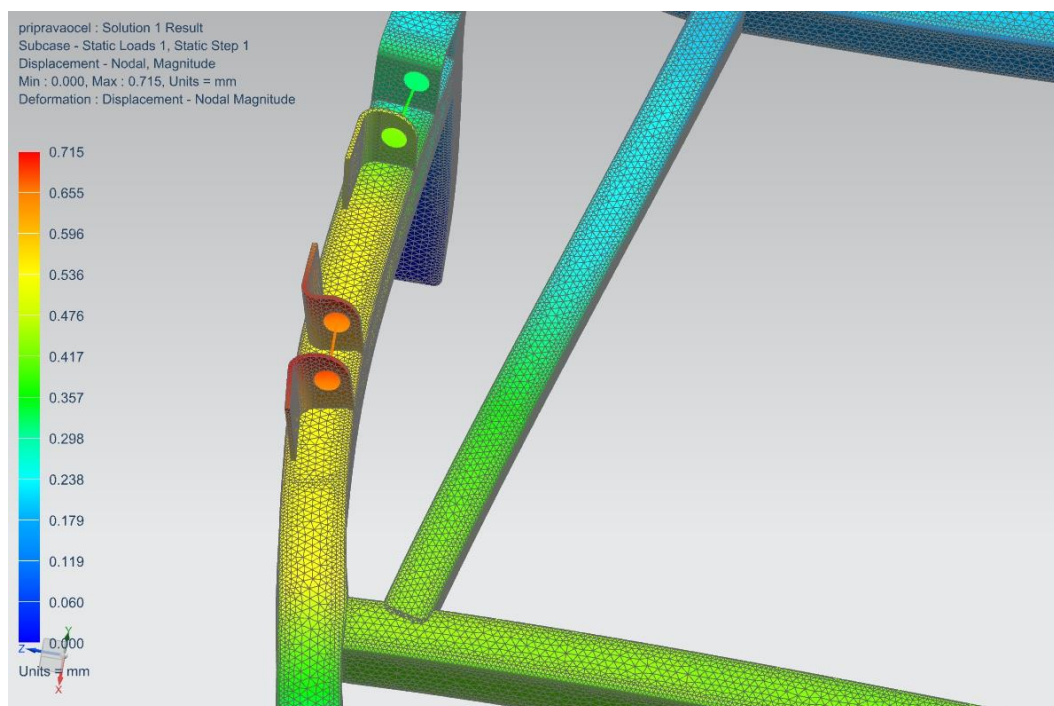
6.1.9. Průjezd zatáčkou ocel

Celkový pohled



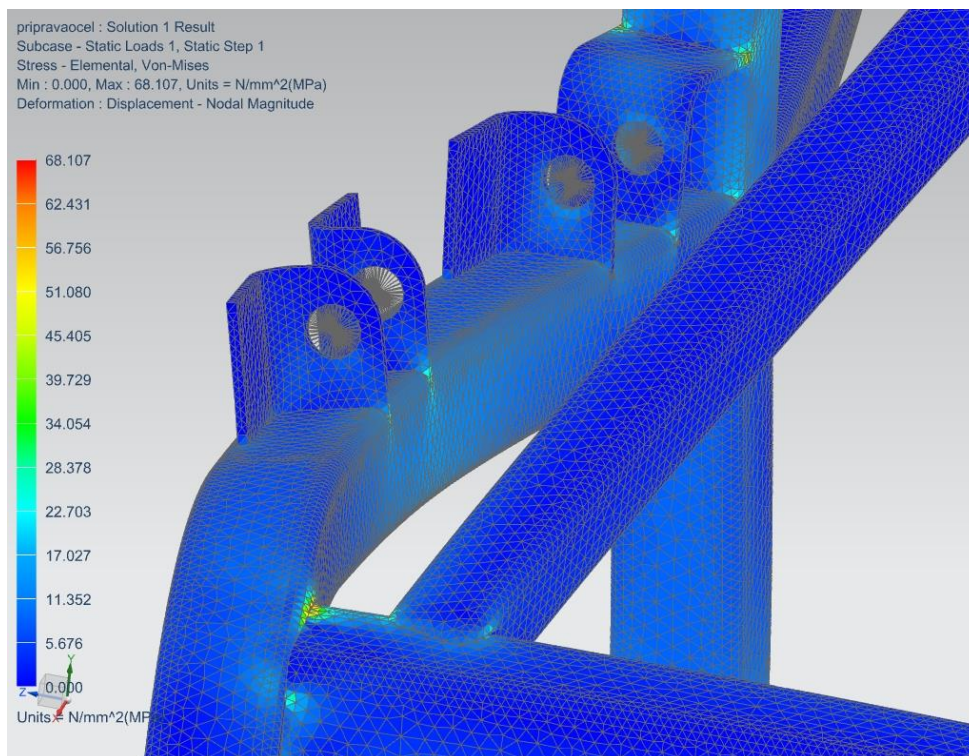
Obrázek 48 Průběh deformace

Deformace - Bylo dosaženo maximálního prohnutí 0,715 mm.



Obrázek 49 Průběh deformace – detail

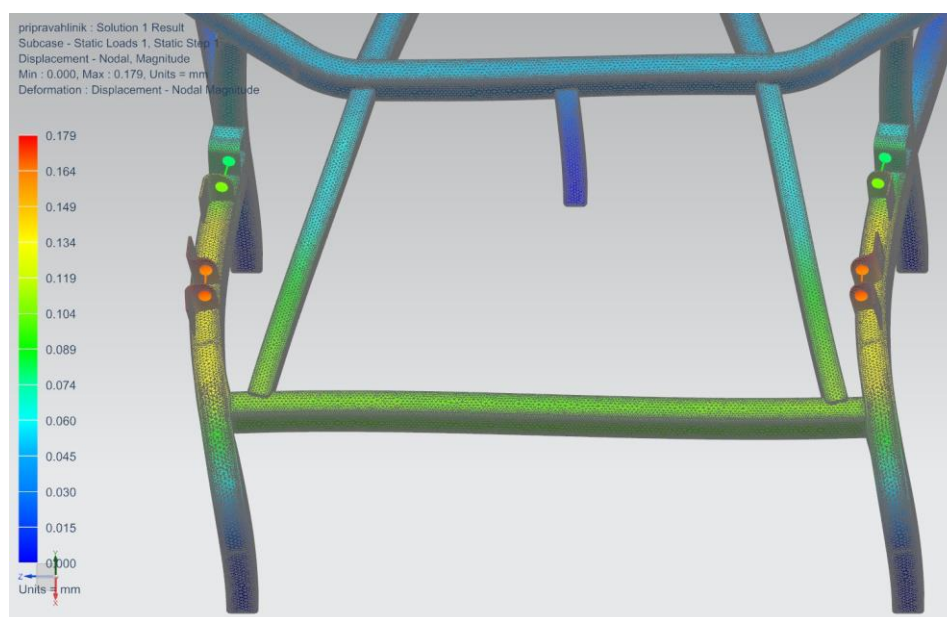
Průběh napětí – bylo dosaženo maximálního napětí 68,107 Mpa.



Obrázek 50 Průběh napětí v držácích rámu

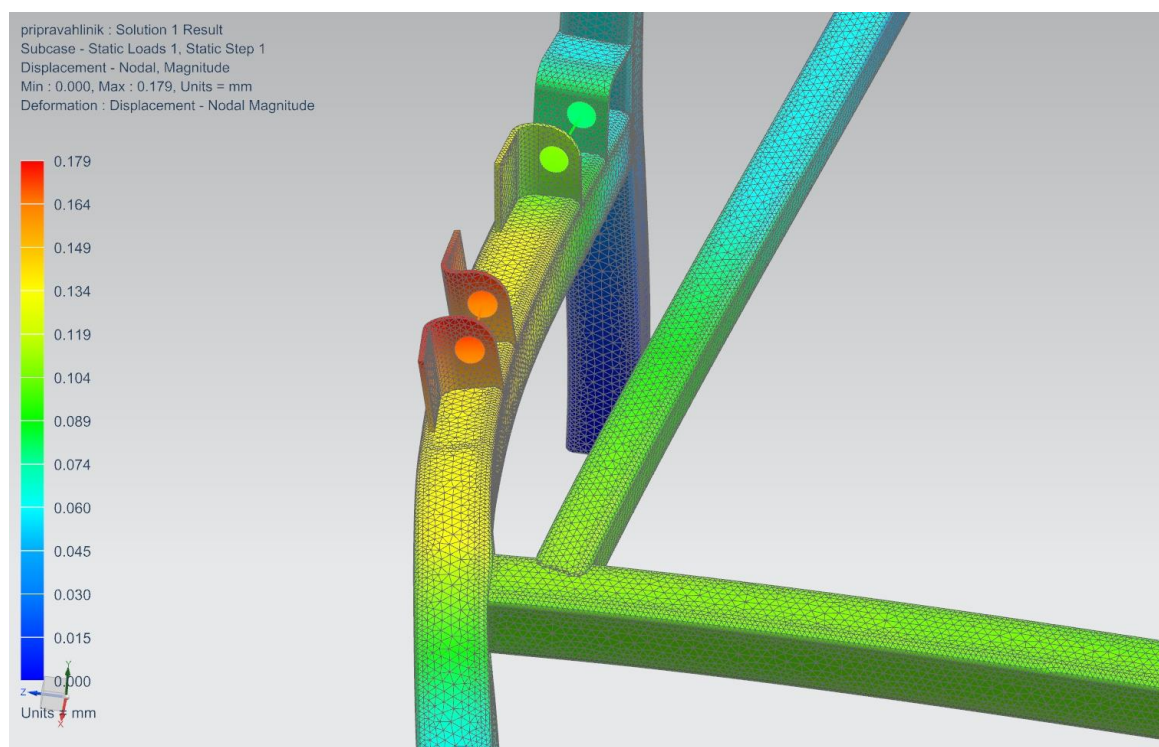
6.1.10. Průjezd zatáčkou A1

Celkový pohled



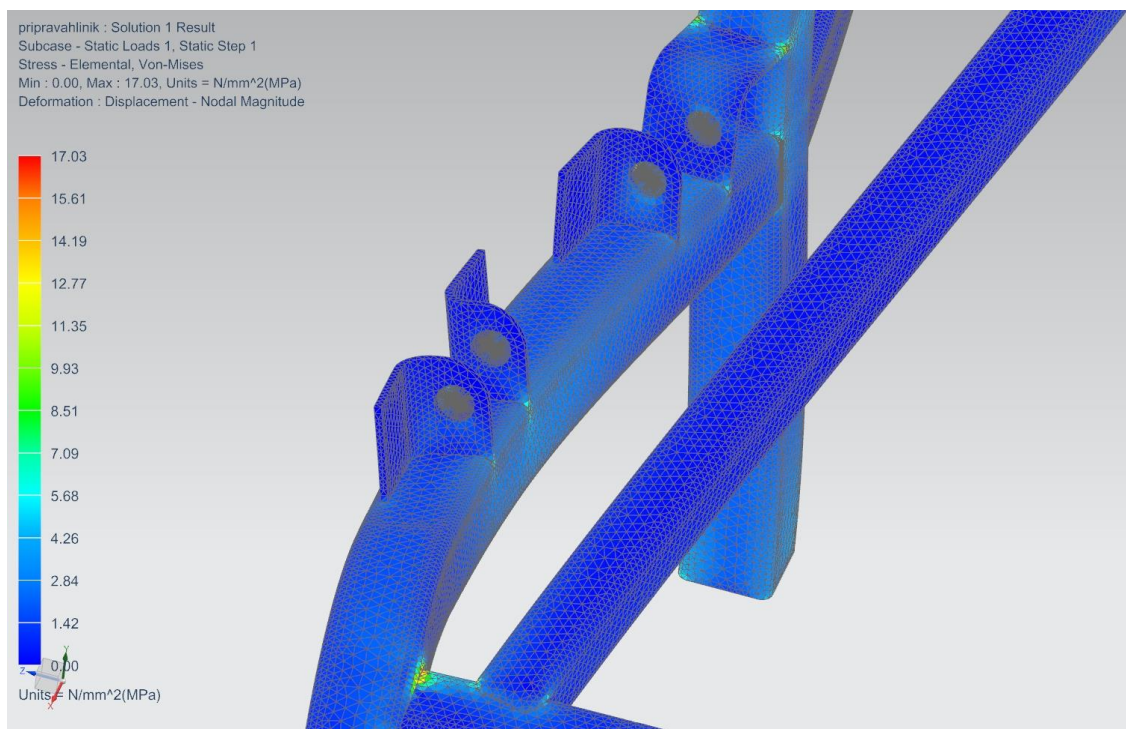
Obrázek 51 Průběh deformace

Deformace - Bylo dosaženo maximálního prohnutí 0,179 mm.



Obrázek 52 Průběh deformace detail

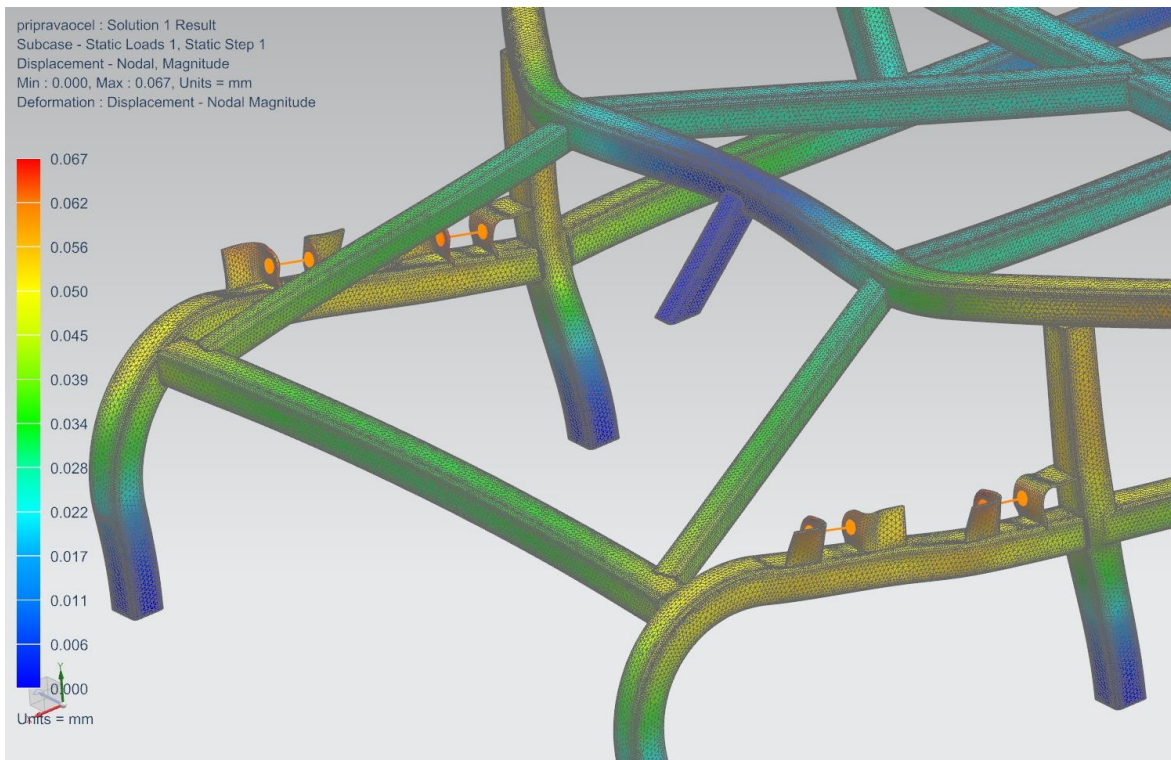
Průběh napětí – bylo dosaženo maximálního napětí 17 Mpa.



Obrázek 53 Průběh napětí v držácích rámu

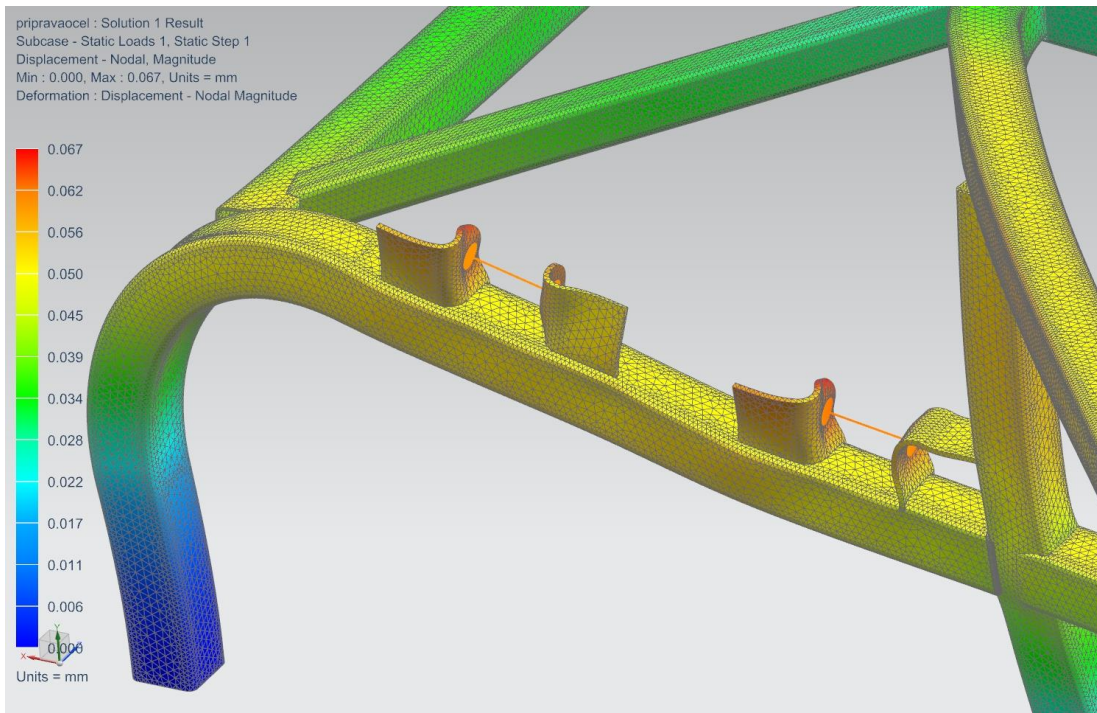
6.1.11. Akcelerace (zrychlení) ocel

Celkový pohled



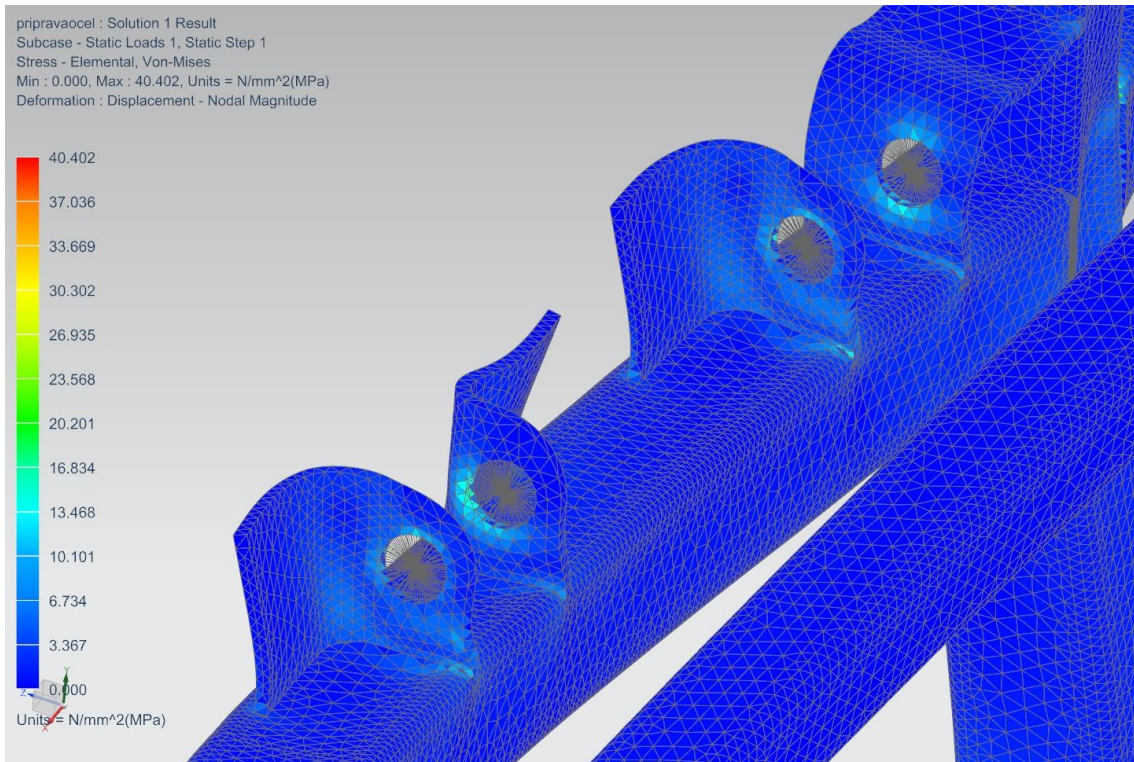
Obrázek 54 Průběh deformace

Deformace - Bylo dosaženo maximálního prohnutí 0,067mm.



Obrázek 55 Průběh deformace detail

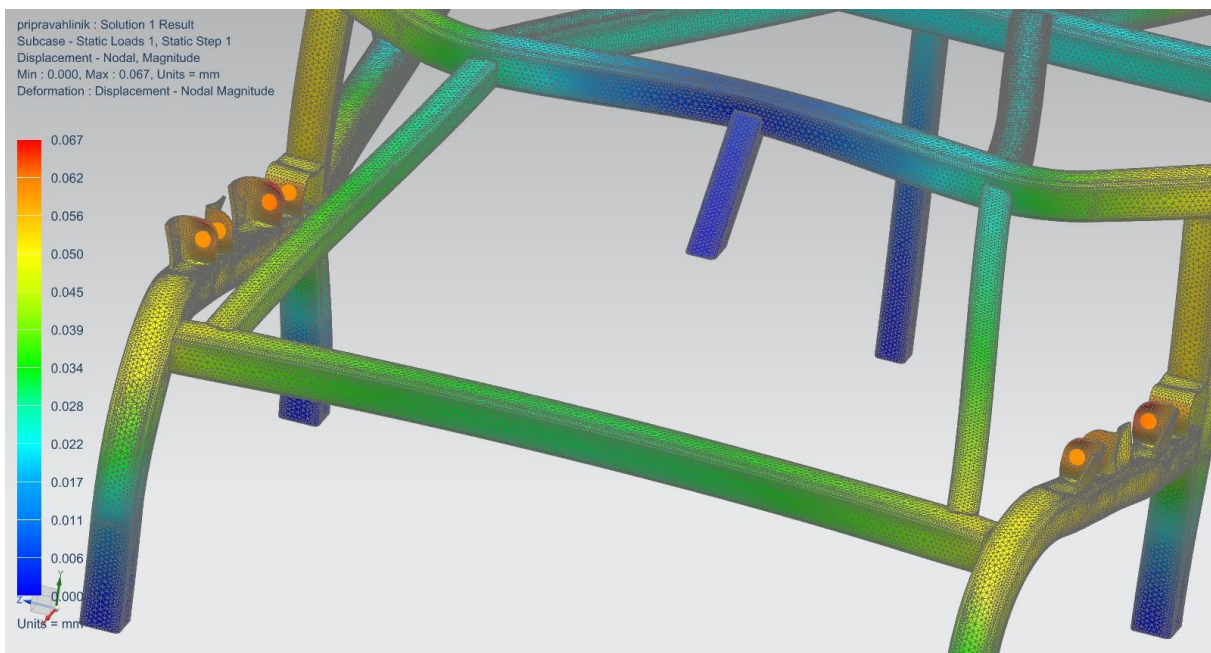
Průběh napětí – bylo dosaženo maximálního napětí 40 Mpa.



Obrázek 56 Průběh napětí v držácích rámu

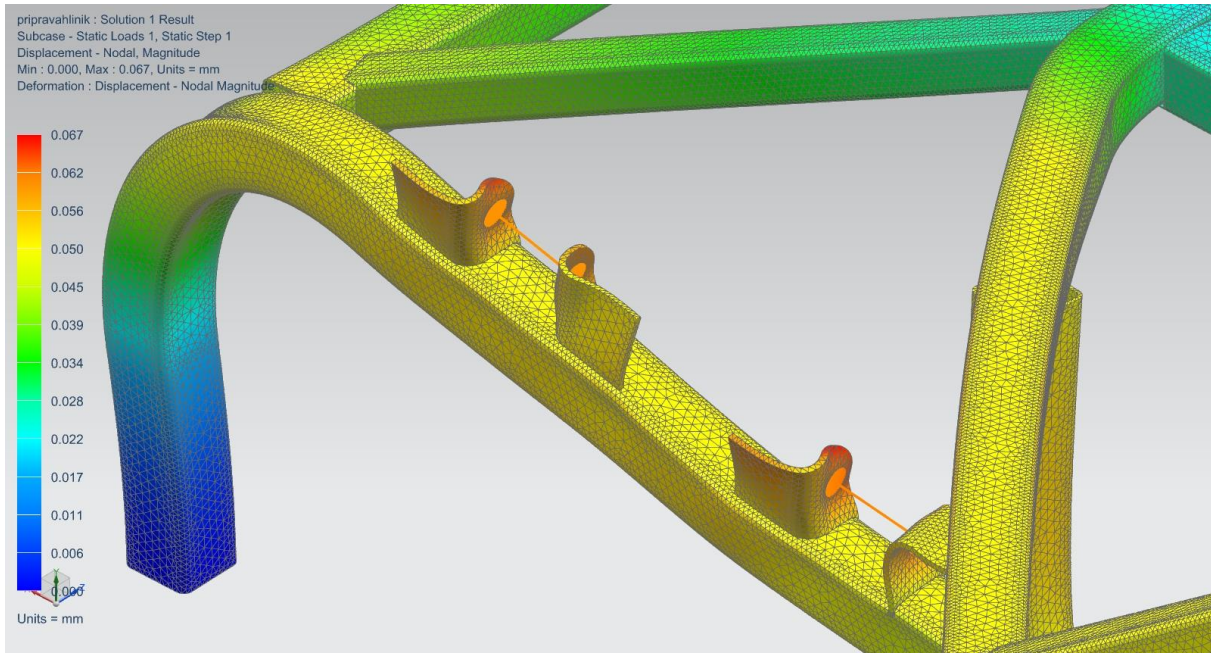
6.1.12. Akcelerace (zrychlení) A1

Celkový pohled



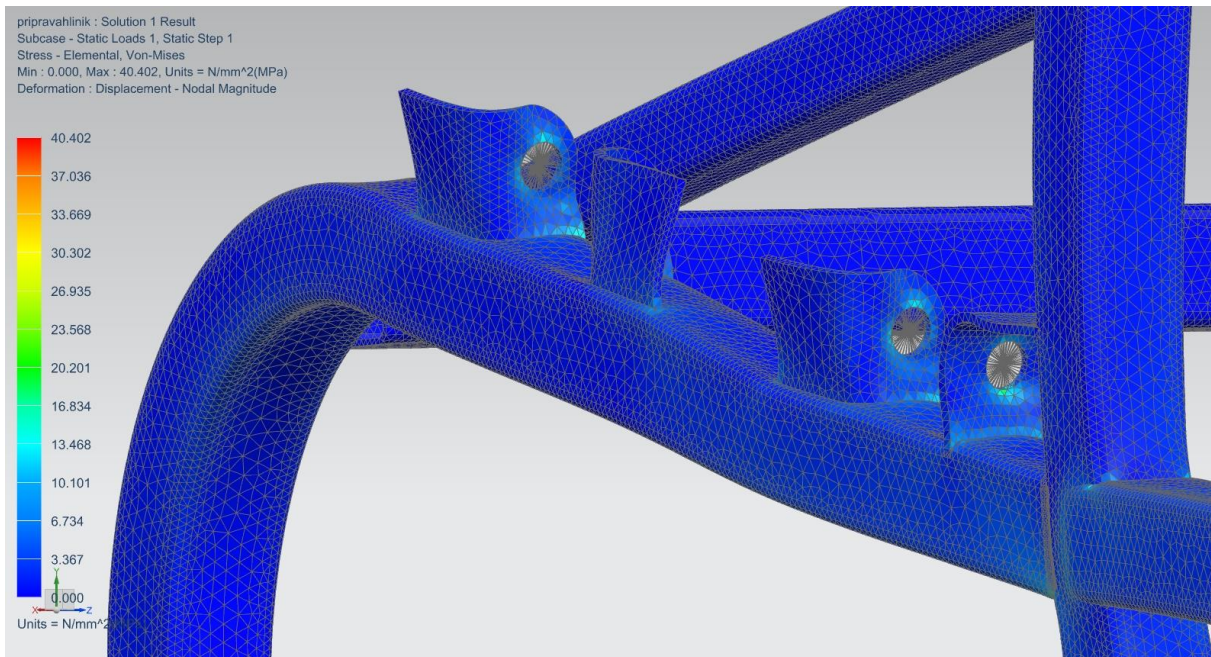
Obrázek 57 Průběh deformace

Deformace - Bylo dosaženo maximálního prohnutí 0,067 mm.



Obrázek 58 Průběh deformace - detail

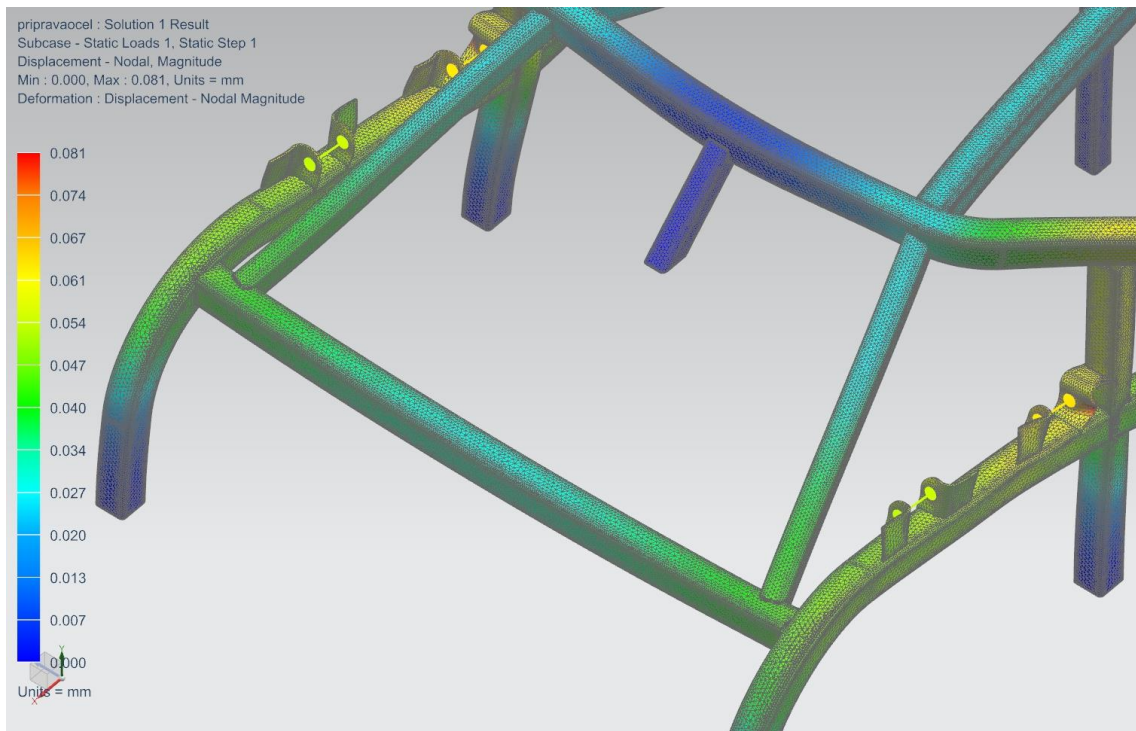
Průběh napětí – bylo dosaženo maximálního napětí 40,402 Mpa.



Obrázek 59 Průběh napětí v držácích rámu

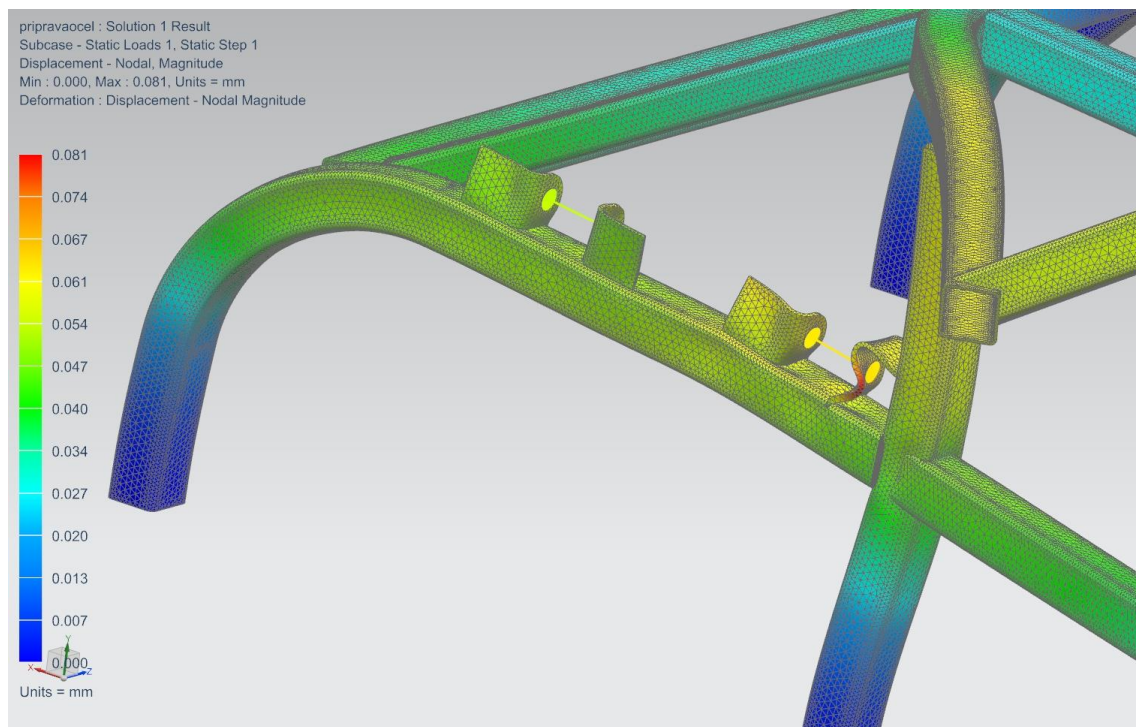
6.1.13. Decelerace (brzdění) ocel

Celkový pohled



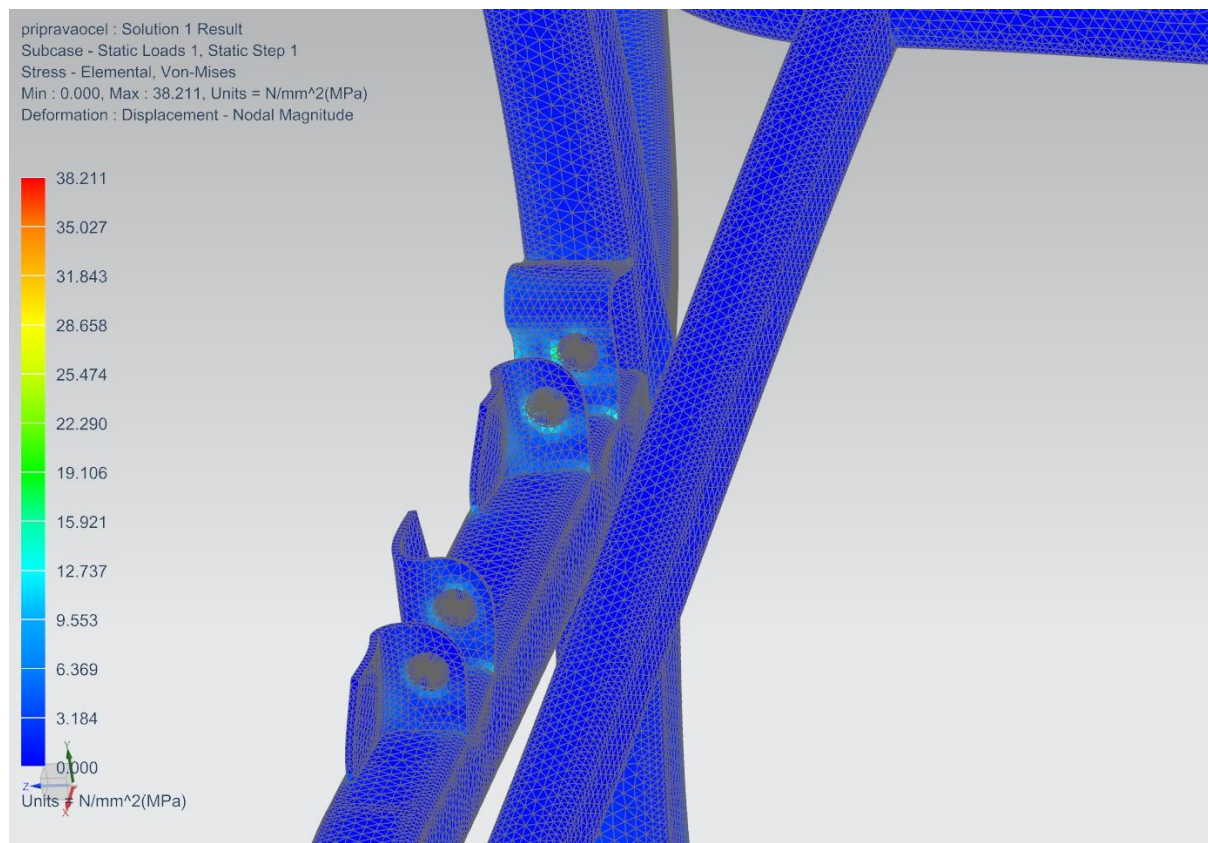
Obrázek 60 Průběh deformace

Deformace - Bylo dosaženo maximálního prohnutí 0,081 mm.



Obrázek 61 Průběh deformace detail

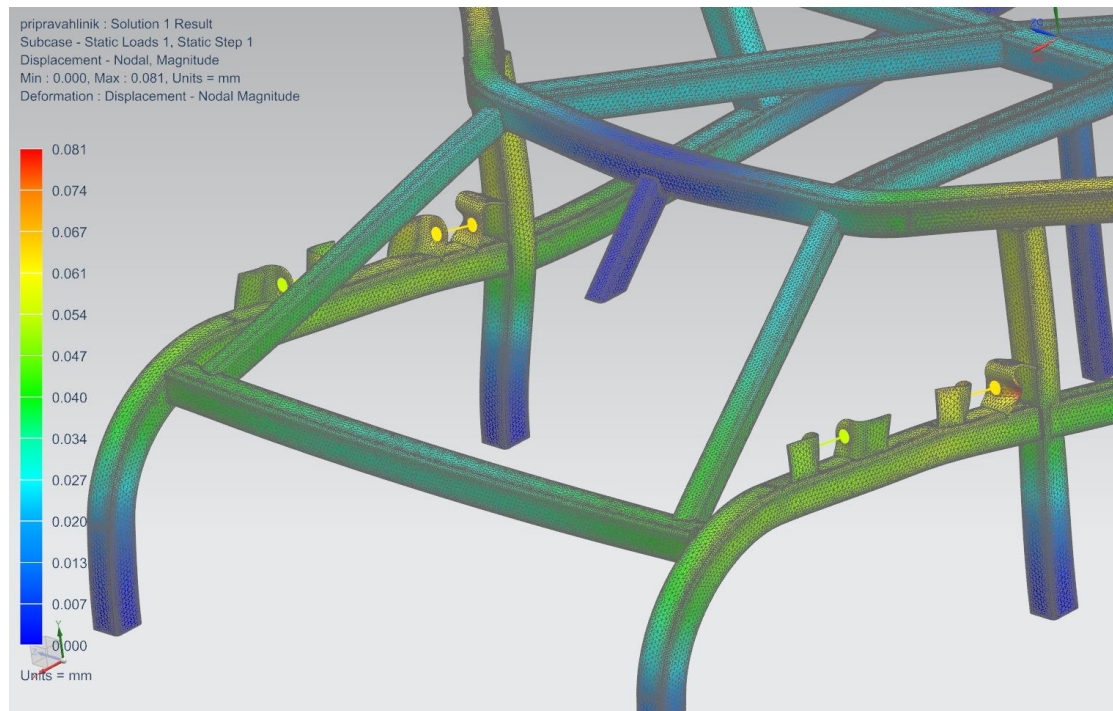
Průběh napětí – bylo dosaženo maximálního napětí 38,211 Mpa.



Obrázek 62 Průběh napětí v držácích rámu

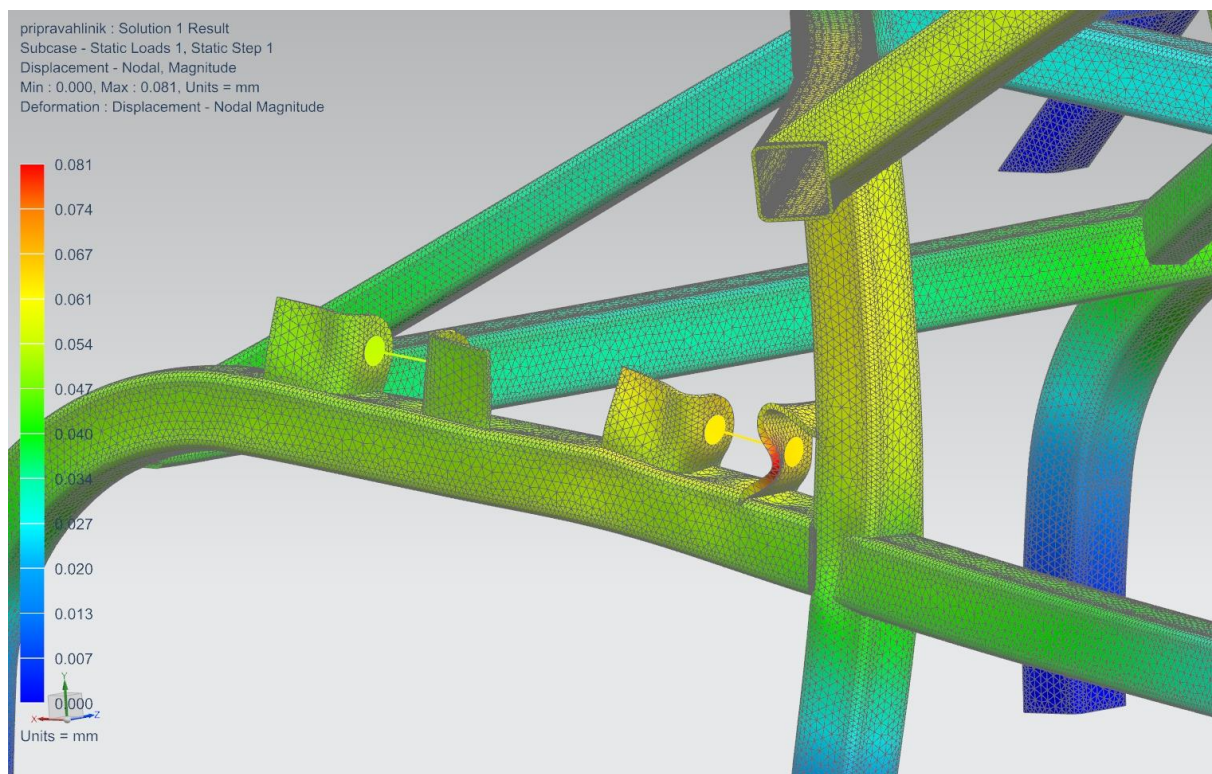
6.1.14. Decelerace (brzdění) A1

Celkový pohled



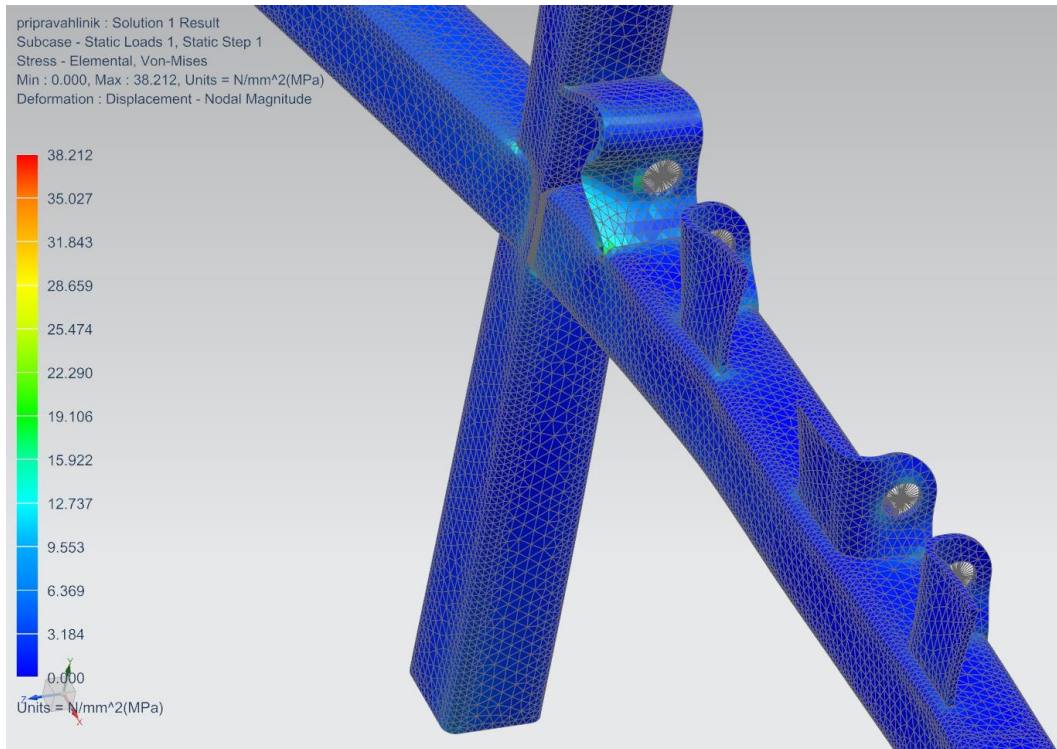
Obrázek 63 Průběh deformace

Deformace - Bylo dosaženo maximálního prohnutí 0,081 mm.



Obrázek 64 Průběh deformace detail

Průběh napětí – bylo dosaženo maximálního napětí 38,212 Mpa.



Obrázek 65 Průběh napětí v držácích rámu

Výsledky jsou vidět v tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledné hodnoty

materiál	Průjezd zatáčkou		Akcelerace		Decelerace	
	ocel	Al	ocel	Al	ocel	Al
Max. průhyb (mm)	0,715	0,179	0,067	0,067	0,081	0,081
Max. napětí (N*mm ⁻²)	68,107	17	40	40,402	38,211	38,212
Rozdíl průhybů (mm)	0,536		0		0	
Rozdíl napětí (N*mm ⁻²)	51,107		0,402		0,001	

7. Závěr

V naší práci jsme testovali část horního rámu, který jsem záměrně subjektivně přetížil silou 10 000N. Závěrem jsme zjistili, že rám vyroben ze slitiny hliníku se vyrovná rámu vyrobenému z ocelových profilů a při zatěžovaném stavu průjezdu zatáčkou mnohem lépe vydrží z hlediska průhybů zatěžované stavy než rám uvažovaný z oceli. Ve všech variantách zatížení, nám napětí nepřekročilo dovolenou mez napětí materiálu v tahu a tudíž rám splnil napěťová kritéria i bezpečnost 3, kterou jsme si zadali v tabulce. Celkově největší průhyb vyšel v zatěžovaném stavu pro průjezd zatáčkou, který byl reprezentován ocelí a to 0,715mm. Nejmenší průhyb nastal v zatěžovaném stavu pro akceleraci 0,67mm pro oba materiály. Dále největší napětí se zaznamenalo opět pro zatěžovaný stav průjezdu zatáčkou pro ocel a to 68,107 MPa. Nejnižší napětí zaznamenal průjezd zatáčkou pro slitinu hliníku a to 17 Mpa. Při akceleraci i deceleraci nám vyšli zhruba stejné hodnoty pro oba materiály. I přes značně velká zatížení se dosáhlo cíleného výsledku. Také nedošlo k překročení maximálního průhybu z tabulky a to 4mm. Rám bych ovšem zvolil z oceli kvůli lepší dostupnosti, ceně, svařitelnosti a obrobitelnosti. Slitina hliníku splňuje požadavky. Její výhodou je nízká váha, avšak je špatně svařitelná a drahá.

8. Seznam obrázků

Obrázek 1 Přehled konstrukčních částí podvozku [1].....	7
Obrázek 2 Části pneumatiky	8
Obrázek 3 Druhy plášťů podle konstrukce nosné [1].....	8
Obrázek 4 Označení hlavních rozměrů na kole [1].....	9
Obrázek 5 Zatížení na tuhé nápravě s dvojicí listových pružin [1].....	10
Obrázek 6 Schéma tuhé nápravy a) a nezávislého zavěšení b) [1]	11
Obrázek 7 Schéma lichoběžníkové nápravy [1].....	11
Obrázek 8 Princip přední nápravy McPherson:	12
Obrázek 9 Schéma kyvadlové úhlové nápravy a poloha.....	13
Obrázek 10 Schéma klikové nápravy a působící síly [1]	14
Obrázek 11 Kliková náprava (Citroën Visa) [1]	14
Obrázek 12 Charakteristiky typů pružin: závislost působící síly F_p na deformaci pružiny Z_p	15
Obrázek 13 Přinýtování třmenu k spodnímu listu; konce třmenu buď zahnutý (vlevo) nebo stažený šroubem s rozpěrnou trubkou (vpravo) [1]	16
Obrázek 14 Listová pružina jako nosník stálé pevnosti (konce listů jsou trojúhelníkové) [1]	16
Obrázek 15 Skutečné provedení listové pružiny (konce listů jsou rovné) [1]	17
Obrázek 16 Minibloková progresivní pružina [1].....	18
Obrázek 17 Schéma uložení zkrutné tyče [2].....	18
Obrázek 18 Pryžové odpružení BMC [1].....	19
Obrázek 19 Dva principy plynových pružin	19
Obrázek 20 Základní typy vzduchových pružin a) vlnovcová pružina, b) vaková pružina [1]	20
Obrázek 21 Hydropneumatická pružící jednotka (Citroën) [1].....	20
Obrázek 22 Pryžokapalinová pružící jednotka Hydroplastic [1]	21
Obrázek 23 Schematické znázornění geometrie řízeného kola [1]	22
Obrázek 24 Úhel odklonu kola [1].....	22
Obrázek 25 Poloha rejdové osy a) tuhá náprava, b) lichoběžníková náprava, c) náprava McPherson [1].....	23
Obrázek 26 Poloměr rejdu a) kladný, b) záporný, c) nulový [1].....	23
Obrázek 27 Záklon rejdové osy a) tuhá náprava, b) lichoběžníková náprava, c) náprava McPherson [1].....	24
Obrázek 28 Sbíhavost a) a rozbíhavost b) [1]	24

Obrázek 29 Názvosloví řízení [1]	25
Obrázek 30 Různá uspořádání mechanismu řízení pro nezávislé zavěšení kol a převodky řízení s otočnou hlavní pákou řízení: a) za osou přední nápravy, b) před osou přední nápravy [1]	25
Obrázek 31 Části bubnových brzd [3].....	27
Obrázek 32 Typy uspořádání bubnových brzd [3].....	28
Obrázek 33 Konstrukční řešení kotoučových brzd [3].....	29
Obrázek 34 Skica automobilu	30
Obrázek 35 Model rámu automobilu	31
Obrázek 36 Ukázka laserově řezaných dílů [4].....	31
Obrázek 37 Schéma zatížení rámu	32
Obrázek 38 Rozložení sil působících na kole	34
Obrázek 39 Horní část rámu.....	35
Obrázek 40 Úchyty části předního ramene	36
Obrázek 41 Mesh 3D tetrahedral.....	37
Obrázek 42 Pojení profilů funkcí gluing surface to surface.....	37
Obrázek 43 Realizace šroubového spojení ramena.....	38
Obrázek 44 Působící síla (decelerace).....	38
Obrázek 45 Působící síla (akcelerace).....	38
Obrázek 46 Působící síla (průjezd zatáčkou)	39
Obrázek 47 Fixace rámu	39
Obrázek 48 Průběh deformace	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 49 Průběh deformace – detail	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 50 Průběh napětí v držácích rámu	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 51 Průběh deformace	41
Obrázek 52 Průběh deformace detail	42
Obrázek 53 Průběh napětí v držácích rámu	42
Obrázek 54 Průběh deformace	43
Obrázek 55 Průběh deformace detail	43
Obrázek 56 Průběh napětí v držácích rámu	44
Obrázek 57 Průběh deformace	44
Obrázek 58 Průběh deformace - detail	45
Obrázek 59 Průběh napětí v držácích rámu	45
Obrázek 60 Průběh deformace	46
Obrázek 61 Průběh deformace detail	46

Obrázek 62 Průběh napětí v držácích rámu	47
Obrázek 63 Průběh deformace	48
Obrázek 64 Průběh deformace detail	48
Obrázek 65 Průběh napětí v držácích rámu	49

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 Materiálové charakteristiky	35
Tabulka 2 Výsledné hodnoty	49

10. Přehled použitých zkratk a symbolů

Zkratka, symbol	Význam
Tzn.	To znamená
apod.	a podobně
tj.	to jest
atd.	a tak dále
obr.	obrázek
tzv.	tak zvaně
max.	maximální

11. Zdroje

- [1] VLK, František. Automobilová technická příručka. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- [2] PILÁRIK, Milan, PABST Jiří. *Automobily I: pro 1. ročník SOU*. 2., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-035-0.
- [3] KOCIÁN, Karel. *Brzdy a brzdové ústrojí u osobních automobilů*. Rok vyd. 2010, bakalářská práce, ČVUT v Praze.
- [4] Wilson Design: *Corvette concept sketch*. Wilson Design [online]. [cit 19.5.2018]. Dostupné z: <http://wilsondesigninc.blogspot.cz/2011/12/corvette-concept.html>
- [5] PRŮCHA, Václav. *Pevnostní analýza těhlice soutěžního vozu*. Rok vyd. 2017, bakalářská práce, ČVUT v Praze.