

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Aplikace lichoběžníkového zavěšení kol na vozidlo Velorex

Autor: **Pavel Šlajs**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Akademický rok 2017/2018

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 práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šlajs	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Aplikace lichoběžníkového zavěšení kol na vozidlo Velorex		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	59	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Cílem práce je návrh lichoběžníkového zavěšení kol pro vozidlo Velorex. Pomocí metody konečných prvků ověřit pevnost vybraných dílů navržené konstrukce. MKP analýza byla provedena v programu Siemens NX 10. 3D modely a 2D výkresy byly vytvořeny v programu Autodesk Inventor Profesional 2017. Součástí práce je porovnání vlastností původního řešení zavěšení s novým řešením.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Velorex, třístopá vozidla, zavěšení kol, lichoběžníkové zavěšení, pevnostní analýza, CAD, MKP</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Šlajs	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	B2301 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Applications trapezoidal suspension on the vehicle Velorex		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	59	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of the bachelor sheet is to design a trapezoidal suspension for Velorex vehicle. With the help of FEA is checked selected parts of the proposed suspension. FEA is made in Siemens NX 10. CAD design is made in Inventor Profesional 2017. Part of the work is to compare the properties of the original suspension solution with the new solution.
KEY WORDS	Velorex, three-wheeler, wheel suspension, trapezoidal suspension, stress analyses, CAD, FEM

Poděkování

Rád bych především poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za odborné vedení práce, cenné rady, připomínky a věnovaný čas v průběhu psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat všem, kteří mi pomohli, třeba jen drobnou radou.

Obsah

1	Úvod	11
2	Rešerše vozidla Velorex	12
2.1	OS-KAR I.	12
2.2	OS-KAR II.....	13
2.3	Velorex Oskar 54.....	13
2.4	Velorex Oskar 16/250.....	14
2.5	Velorex Oskar 16/175.....	15
2.6	Velorex Oskar 16/350.....	15
2.7	Přehled používaných motorů	17
2.7.1	Motor Jawa 250 typ N11	17
2.7.2	Motor Jawa 250 typ N353	17
2.7.3	Motor Jawa 350 typ 572-1	17
2.7.4	Motor ČZ 175 typ 505.....	18
2.7.5	Motor Jawa 350 typ 572-3	18
2.7.6	Motor Jawa 350 typ 572-4	19
3	Rešerše náprav a zavěšení kol.....	20
3.1	Funkce nápravy a zavěšení kola	20
3.2	Rozdělení náprav a zavěšení kol	20
3.2.1	Tuhá náprava	20
3.2.2	Polotuhá náprava	21
3.2.3	Nezávislé zavěšení kol	22
3.3	Uložení kol	24
3.3.1	Funkce uložení kola	24
3.4	Řídicí ústrojí	24
3.5	Odpružení	25
3.6	Brzdové ústrojí	25
4	Zhodnocení původní konstrukce zavěšení kol.....	26
5	Výpočty	30
5.1	Výpočet statického zatížení náprav	30
5.2	Výpočet maximálních brzdných sil	31
5.3	Velikost a typ kol přední nápravy.....	31
5.4	Návrh lichoběžníku řízení	32
5.4.1	Určení maximálního úhlu natočení kol	33
5.4.2	Návrh konstrukce pomocí diagramu	33

5.5	Pevnostní analýza metodou konečných prvků.....	34
5.5.1	Vyhodnocení posunutí.....	37
5.5.2	Vyhodnocení napětí.....	38
6	Zhodnocení navržené konstrukce.....	40
6.1	Lichoběžníkové zavěšení.....	41
6.1.1	Svařenec + úprava rámu	41
6.1.2	Těhlice	42
6.1.3	Horní rameno.....	43
6.1.4	Spodní rameno.....	43
6.1.5	Náboj kola	44
6.1.6	Uložení náboje kola v těhlici.....	44
7	Závěr	46
8	Publikace.....	47

Seznam obrázků

Obrázek 1 OS-KAR I. [6]	12
Obrázek 2 OS-KAR II. [7]	13
Obrázek 3 Velorex Oskar 54 [8]	13
Obrázek 4 Velorex Oskar 16/250 [9]	14
Obrázek 5 Velorex Oskar 16/175 [9]	15
Obrázek 6 Velorex Oskar 16/350 [10]	16
Obrázek 8 Tuhá náprava s integrovaným pohonem [3]	20
Obrázek 7 Tuhá náprava s listovými pružinami [2]	20
Obrázek 9 Náprava De Dion [3]	21
Obrázek 10 Tuhá řízená náprava [3]	21
Obrázek 11 Spřažená náprava [3]	22
Obrázek 12 Spojená náprava [3]	22
Obrázek 13 Zavěšení kol na dvojtých příčných ramenech [3]	23
Obrázek 14 Náprava McPherson [3]	23
Obrázek 15 Zavěšení kol na podélných výkyvných ramenech [3]	23
Obrázek 16 Úhel sklonu na šikmých ramenech [3]	24
Obrázek 17 Zavěšení zadních kol na šikmých ramenech [3]	24
Obrázek 18 Fotografie původního zavěšení kol [16]	26
Obrázek 19 Původní zavěšení kol [Vlastní zdroj]	27
Obrázek 20 Pohled na zavěšení kol zepředu [Vlastní zdroj]	27
Obrázek 21 Pohled na zavěšení kol zezadu [Vlastní zdroj]	28
Obrázek 22 Uložení vodorovného čepu [vlastní zdroj]	28
Obrázek 23 Uložení svislého čepu [vlastí zdroj]	29
Obrázek 24 Lichoběžník řízení: a) zadní lichoběžník; b) přední lichoběžník [15]	32
Obrázek 25 Schéma natočení kola do rejdu [5]	33
Obrázek 26 Diagram lichoběžníku řízení pro maximální úhel natočení kol 33° [15]	34
Obrázek 27 Zobrazení působících sil [Vlastní zdroj]	35
Obrázek 28 Schéma dvouřadého kosoúhlého ložiska s uložením typu „O“ [17]	35
Obrázek 29 Schéma sil pro výpočet reakcí v ložisku [Vlastní zdroj]	35
Obrázek 30 Uchycení a zatížení těhlice – pohled 1 [Vlastní zdroj]	36
Obrázek 31 Uchycení a zatížení těhlice - pohled 2 [Vlastní zdroj]	37
Obrázek 32 Výsledné posunutí těhlice - pohled 1 [Vlastní zdroj]	37
Obrázek 33 Výsledné posunutí těhlice - pohled 2 [Vlastní zdroj]	38
Obrázek 34 Rozložení napětí na těhlici - pohled 1 [Vlastní zdroj]	38

Obrázek 35 Rozložení napětí na těhlici - pohled 2 [Vlastní zdroj]	39
Obrázek 36 Pohled na Velorex zředu [Vlastní zdroj]	40
Obrázek 37 Pohled na Velorex pod úhlem [Vlastní zdroj]	40
Obrázek 38 Sestava lichoběžníkového zavěšení - přední pohled [Vlastní zdroj]	41
Obrázek 39 Sestava lichoběžníkového zavěšení - pohled z vrchu [Vlastní zdroj]	41
Obrázek 40 Svařenec [Vlastní zdroj]	42
Obrázek 41 Úprava rámu + upevnění svařence [Vlastní zdroj]	42
Obrázek 42 Těhlice [Vlastní zdroj]	43
Obrázek 43 Horní rameno [Vlastní zdroj]	43
Obrázek 44 Spodní rameno [Vlastní zdroj]	44
Obrázek 45 Náboj kola [Vlastní zdroj]	44
Obrázek 46 Uložení náboje kola v těhlici [Vlastní zdroj]	45

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry vozidla Velorex Oskar 54 [7]	13
Tabulka 2 Parametry vozidla Velorex Oskar 16/250 [7]	14
Tabulka 3 Parametry vozidla Velorex Oskar 16/175 [7]	15
Tabulka 4 Parametry vozidla Oskar 16/350 [7]	16
Tabulka 5 Parametry motoru Jawa typ N11 [12]	17
Tabulka 6 Parametry motoru Jawa 250 typ N353 [12]	17
Tabulka 7 Parametry motoru Jawa 350 typ 572-1 [13]	18
Tabulka 8 Parametry motoru ČZ 175 typ 505 [14]	18
Tabulka 9 Parametry motoru Jawa 350 typ 572-3 [13]	19
Tabulka 10 Parametry motoru Jawa typ 572-4 [13]	19

Zkratky

MKP	-	metoda konečných prvků
Obr.	-	obrázek
Poz.	-	pozice

Značky

l	mm	-	rozvor náprav
l_r	mm	-	rozchod kol
G_{vc}	N	-	tíha vozidla
h	mm	-	uvažovaná výška těžiště
l_z	mm	-	uvažovaná vzdálenost těžiště od zadní nápravy
l_p	mm	-	uvažovaná vzdálenost těžiště od přední nápravy
Y_{pstat}	N	-	zatížení přední nápravy
Y_{zstat}	N	-	zatížení zadní nápravy
μ_v	[-]	-	koeficient tření suché betonové vozovky
F_p	N	-	maximální přenositelná brzdná síla
a_{bmax}	$m \cdot s^{-1}$	-	zpomalení při maximální přenositelné brzdné síle
Y_{bp}	N	-	zatížení přední nápravy při brzdění
Y_{bz}	N	-	zatížení zadní nápravy při brzdění
B_p	N	-	maximální přenositelná brzdná síla na předních kolech
ΔY	N	-	přírůstek síly od klopného momentu při brzdění
w	mm	-	šířka pneumatiky
p_s	mm	-	profil pneumatiky
D_r	mm	-	průměr ráfku
r_d	mm	-	poloměr kola
γ	[°]	-	úhel natočení kola od osy kolmé na rám
α	[°]	-	úhel natočení kola
x	mm	-	minimální vzdálenost rejdového čepu od rámu nebo překážky
B_0	mm	-	vzdálenost os rejdových čepů
r	mm	-	délka páky spojovací tyče
ψ	[°]	-	úhel odklonu pák spojovací tyče
R_m	MPa	-	mez pevnosti v tahu
R_p	MPa	-	mez kluzu
R_A	N	-	reakce v ložisku
R_B	N	-	reakce v ložisku
F	N	-	uvažovaná síla působící v upevnění brzdového třmenu

r_{bt}	mm	-	poloměr roztečné kružnice šroubů pro upevnění brzdového třmenu
r_{bk}	mm	-	uvažovaný poloměr brzdného kotouče
g	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	-	gravitační zrychlení
m_{vc}	kg	-	uvažovaná celková hmotnost vozidla

1 Úvod

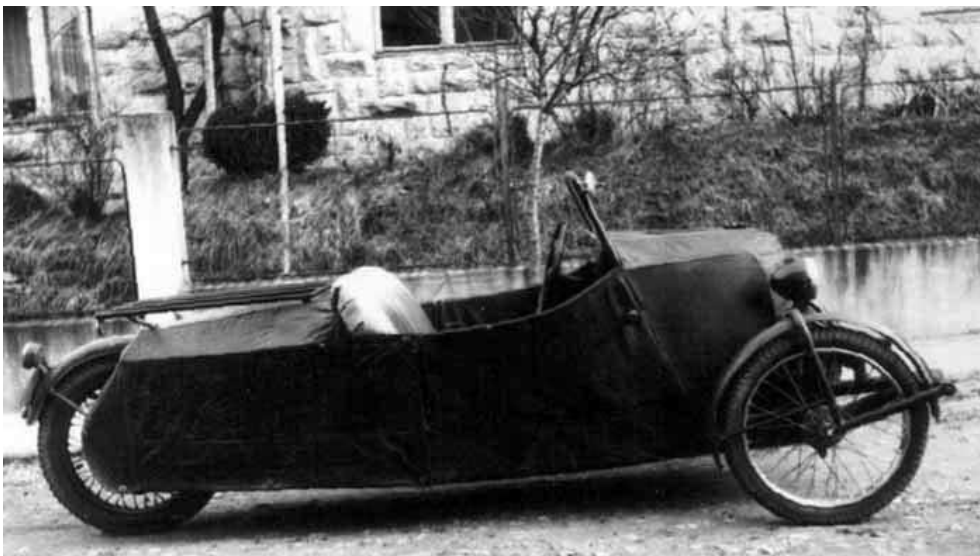
Cílem této práce je návrh předního lichoběžníkového zavěšení kol vozidla Velorex. Bakalářská práce obsahuje teoretickou část a praktickou část. Teoretická část se věnuje rešerši vozů Velorex a rešerši zavěšení kol. Praktická část obsahuje zhodnocení původní konstrukce zavěšení, výpočtové části s výpočtem těhlice pomocí MKP, zhodnocení navržené konstrukce, výkres sestavy lichoběžníkového zavěšení a výrobní výkres těhlice.

2 Rešerše vozidla Velorex

Vozidlo velorex bylo vyráběno v několika variantách v průběhu let 1950 – 1971, přičemž s každou novou verzí vozidla docházelo k jeho vývoji.

2.1 OS-KAR I.

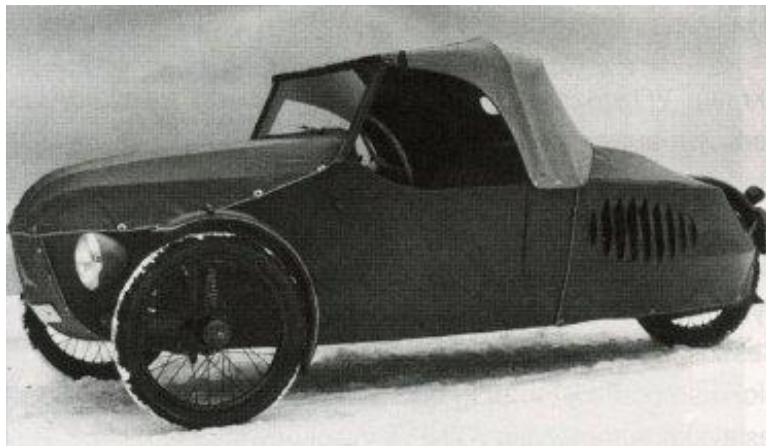
Typ OS-KAR I. vyráběn v letech 1950 – 1952, byl specifický pro krátkou střechu, která byla zakončena hned za zády řidiče. Měl samonosnou paprskovou karoserii, svařenou z trubek a potaženou plátnem. Typickým znakem byl takzvaný sférický trojúhelník umístěný v přední části. Sférický trojúhelník byl z jiné barvy než potah karoserie a byly v něm udělány otvory, podle roku, ve kterém byl vyroben. K pohonu sloužil motor Jawa 250 chlazený vzduchem, pro přívod chladícího vzduchu sloužily otvory v zadních bocích. K pohybu sloužila 19“ kola. Zavěšení kol bylo realizováno výkyvně. K brždění byly používány mechanické bubnové brzdy. [1]



Obrázek 1 OS-KAR I. [6]

2.2 OS-KAR II.

Druhá řada typu OS-KAR II. vyráběná v letech 1952 – 1954 se od té první liší pouze sníženou přední částí. [1]



Obrázek 2 OS-KAR II. [7]

2.3 Velorex Oskar 54

Třetí série vyráběná v letech 1952 – 1955 byla již charakteristická protaženou střechou až k zadnímu kolu a byla zde použita skleněná směrová světla, umístěna u dveří řidiče. [1]

Tabulka 1 Parametry vozidla Velorex Oskar 54 [7]

Délka [mm]	3100	Celková hmotnost [kg]	395
Šířka [mm]	1400	Pohotovostní hmotnost [kg]	205
Výška [mm]	1250	Užitková hmotnost [kg]	190
Brzdy	Bubnové ovládané mechanicky		
Pérování	Nezávislé kyvnými rameny		
Kola ["]	19		
Pneumatiky přední	2,75×19 později 3,00×19		
Pneumatika zadní	3,00×19 později 3,25×19		



Obrázek 3 Velorex Oskar 54 [8]

2.4 Velorex Oskar 16/250

Model Oskar 16/250 vyráběn v letech 1955 – 1963 se vyznačoval především experimentováním s detaily – např. umístění motorku stěrače v horní části rámu okna, od kterého se později upustilo. Další změny byly patrné i na karoserii, oproti předešlému modelu zde byly drobné změny základních rozměrů. Jako u předešlých typů byl zde použit motor Jawa 250, avšak velkou změnou bylo použití 16“ kol. [1]

Tabulka 2 Parametry vozidla Velorex Oskar 16/250 [7]

Délka [mm]	3250	Celková hmotnost [kg]	395
Šířka [mm]	1380	Pohotovostní hmotnost [kg]	205
Výška [mm]	1250	Užitková hmotnost [kg]	190
Brzdy	Bubnové mechanicky ovládané		
Pérování	Nezávislé kyvnými rameny		
Kola ["]	16		
Pneumatiky přední	3,00×16		
Pneumatika zadní	3,25×16		



Obrázek 4 Velorex Oskar 16/250 [9]

2.5 Velorex Oskar 16/175

Velorex Oskar 16/175 se vyráběl v letech 1963 – 1964. Jako jediný model byl osazen motorem ČZ 175. [1]

Tabulka 3 Parametry vozidla Velorex Oskar 16/175 [7]

Délka [mm]	3100	Celková hmotnost [kg]	490
Šířka [mm]	1400	Pohotovostní hmotnost [kg]	290
Výška [mm]	1240	Užitková hmotnost [kg]	200
Brzdy	Bubnové ovládané mechanicky		
Pérování	Nezávislé kyvnými rameny		
Kola ["]	16		
Pneumatiky přední	3,25×16		
Pneumatika zadní	3,50×16		



Obrázek 5 Velorex Oskar 16/175 [9]

2.6 Velorex Oskar 16/350

Vyráběn v letech 1963 – 1971. Byly zde používány dva druhy motorů: motor Jawa 350-01 a Jawa 350-03. Maximální dosažitelná rychlost s tímto pohonem byla 85 [km/h], avšak trvalá rychlost byla o něco nižší a to okolo 60 [km/h]. Přední náprava byla dělená s kyvnými rameny, odpružení zde bylo řešeno pomocí ocelových pružin a tlumení zajišťoval teleskopický kapalinový tlumič. Zadní zavěšení bylo realizováno kyvnou vidlicí motocyklového typu. Odpružení a tlumení zde bylo shodné jako na přední nápravě, ocelovou pružinou s teleskopickým kapalinovým tlumičem. Bubnové brzdy byly nezávisle na sobě ovládané pomocí lanek. Typy Oskar 16/175 a Oskar 16/350 byly od sebe vzhledově téměř nerozeznatelné. [1]

Tabulka 4 Parametry vozidla Oskar 16/350 [7]

Délka [mm]	3100	Celková hmotnost [kg]	500
Šířka [mm]	1400	Pohotovostní hmotnost [kg]	310
Výška [mm]	1240	Užitková hmotnost [kg]	190
Brzdy	Bubnové mechanicky ovládané		
Kola ["]	16		
Pneumatiky přední	3,25×16		
Pneumatika zadní	3,50×16		



Obrázek 6 Velorex Oskar 16/350 [10]

2.7 Přehled používaných motorů

K vývoji vozidla Velorex nedocházelo pouze ze strany designu, ale také motorizace. Každý typ vozidla Velorex byl osazen jiným motorem, přičemž převládaly motory od firmy Jawa.

2.7.1 Motor Jawa 250 typ N11

Jedná se o zážehový dvoudobý jednoválcový motor o zdvihovém objemu $248,5 \text{ cm}^3$. Motor byl chlazen okolním vzduchem, původní určení bylo pro motocykl Jawa „Pérák“ typ 11. Pro přípravu směsi se používal karburátor Jikov 2924 H a k následnému zapálení směsi bylo využíváno dynamo-bateriové zapalování Jawa 6V/45W. Motor byl mazán pomocí směsi benzínu a oleje v poměru 1:25. Pro optimalizaci výkonu byla využívána čtyřstupňová převodovka s primárním i sekundárním převodem pomocí řetězu. Pro zajištění říditelného přenosu kroutícího momentu z motoru na převodovku sloužila lamelová mokrá spojka s pěti lamelami. Používán byl v letech 1950 – 1955. [12]

Tabulka 5 Parametry motoru Jawa typ N11 [12]

Vrtání [mm]	64
Zdvih [mm]	75
Výkon	6,75 [kW] při 4250 [ot/min]

2.7.2 Motor Jawa 250 typ N353

Jedná se o zážehový dvoudobý jednoválcový motor o zdvihovém objemu 249 cm^3 . Motor byl chlazen okolním vzduchem, původní určení bylo pro motocykl Jawa 250/353 lidově zvaný „Kývačka“. Pro přípravu směsi byly využívány karburátory Jikov: 2924 H; 2926 TŘ; 2926SB. K zapálení směsi bylo využíváno dynamo-bateriové zapalování Jawa 6V/45W. Motor byl mazán pomocí směsi benzínu a oleje v poměru 1:25. Pro optimalizaci výkonu byla využívána čtyřstupňová převodovka s primárním i sekundárním převodem pomocí řetězu. Pro zajištění říditelného přenosu kroutícího momentu z motoru na převodovku sloužila lamelová mokrá spojka s pěti lamelami. Používán byl v letech 1955 – 1963. [12]

Tabulka 6 Parametry motoru Jawa 250 typ N353 [12]

Vrtání [mm]	65
Zdvih [mm]	75
Výkon s karburátorem Jikov 2924 H	6,75 [kW] při 4750 [ot/min]
Výkon s karburátory Jikov 2926TŘ a Jikov 2926SB	8,8 [kW] při 4750 [ot/min]

2.7.3 Motor Jawa 350 typ 572-1

Dvouválcový dvoudobý zážehový motor s vratným vyplachováním, o zdvihovém objemu 344 cm^3 . Mazání motoru bylo realizováno pomocí směsi benzínu s olejem. Motor byl

chlazený nuceným oběhem vzduchu, kterého se dosáhlo dvěma axiálními ventilátory. Pro přípravu směsi byl použit karburátor Jikov 2926 SD 1usp4b. K zažehnutí směsi sloužilo dynamo-bateriové zapalování 12V/150W. Pro optimalizaci výkonu byla využívána čtyřstupňová převodovka s primárním i sekundárním převodem pomocí řetězu. Pro zajištění říditelného přenosu kroutícího momentu z motoru na převodovku sloužila lamelová spojka, která měla pět lamel s mechanickým vypínání a byla uložena v olejové lázni. Používán byl v letech 1963 – 1968. [13]

Tabulka 7 Parametry motoru Jawa 350 typ 572-1 [13]

Vrtání [mm]	58
Zdvih [mm]	65
Výkon	12 [kW] při 4500 [ot/min]
Kompresní poměr	1:7

2.7.4 Motor ČZ 175 typ 505

Zážehový dvoudobý jednoválec o zdvihovém objemu 171,7 cm³. Chlazený nuceným oběhem vzduchu pomocí ventilátoru. Mazán směsí benzínu s olejem v poměru 1:20. Pro přípravu směsi sloužil karburátor Jikov 2926 SD 11 a pro zažehnutí směsi bylo používáno dynamo-bateriové zapalování 12V/100. Pro přenos kroutícího momentu byla použita lamelová spojka v olejové lázni a čtyřstupňová převodovka s primárním i sekundárním převodem pomocí řetězu. [14]

Tabulka 8 Parametry motoru ČZ 175 typ 505 [14]

Vrtání [mm]	58
Zdvih [mm]	65
Výkon	6,25 [kW] při 4500 [ot/min]
Kompresní poměr	1:7

2.7.5 Motor Jawa 350 typ 572-3

Dvouválcový dvoudobý zážehový motor s vratným vyplachováním, o zdvihovém objemu 344 cm³. Mazání motoru bylo realizováno pomocí směsi benzínu s olejem v poměru 1:25. Motor byl chlazený nuceným oběhem vzduchu, kterého se dosáhlo dvěma axiálními ventilátory. Pro přípravu směsi byl použit karburátor Jikov 2926 SD 14b. K zažehnutí směsi sloužilo zapalování dynamo-bateriové 12V/150W. Pro optimalizaci výkonu byla využívána čtyřstupňová převodovka s primárním i sekundárním převodem pomocí řetězu. Pro zajištění říditelného přenosu kroutícího momentu z motoru na převodovku sloužila lamelová spojka v olejové lázni s pěti lamelami, vypínaná hydraulicky. Používán byl v letech 1968 – 1971. [13]

Tabulka 9 Parametry motoru Jawa 350 typ 572-3 [13]

Vrtání [mm]	58
Zdvih [mm]	65
Výkon	12 [kW] při 4500 [ot/min]
Kompresní poměr	1:8

2.7.6 Motor Jawa 350 typ 572-4

Zážehový dvouválcový dvoudobý motor s vratným vyplachováním o zdvihovém objemu 344 cm³. Chlazený nuceným oběhem vzduchu. Pro optimální využití kroutícího momentu byla požitá čtyřstupňová převodovka s primárním i sekundární převodem pomocí řetězu. [13]

Tabulka 10 Parametry motoru Jawa typ 572-4 [13]

Vrtání [mm]	58
Zdvih [mm]	65

3 Rešerše náprav a zavěšení kol

Pojem **zavěšení kol** představuje způsob spojení kol s rámem nebo karoserií vozidla. Běžně používaný výraz **náprava** není přesný, jelikož náprava je tvořena několika funkčními celky: zavěšení kola, uložení kola, odpružení kola, brzdou, řídicím a hnacím ústrojím.

Nápravou rozumíme komplet skládající se z nápravnice, kyvných ramen, úplných nábojů ložisek kol, brzdového ústrojí, pružících jednotek a řízení. [2]

3.1 Funkce nápravy a zavěšení kola

- Umožňuje svislý relativní pohyb kola vzhledem ke karoserii nebo rámu, potřebný z hlediska pružení a eliminuje na přijatelnou hodnotu nežádoucí pohyby kola (zejména boční posuv a naklápění kola)
- Přenáší síly a momenty mezi kolem a karoserií, svislé síly (zatížení vozidla), příčné síly (odstředivé síly) a momenty podélných sil (hnací a brzdny moment). [2]

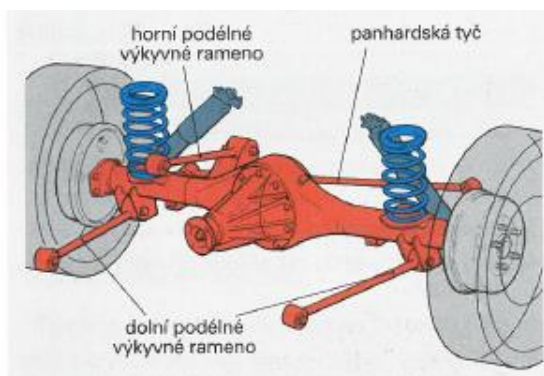
3.2 Rozdělení náprav a zavěšení kol

3.2.1 Tuhá náprava

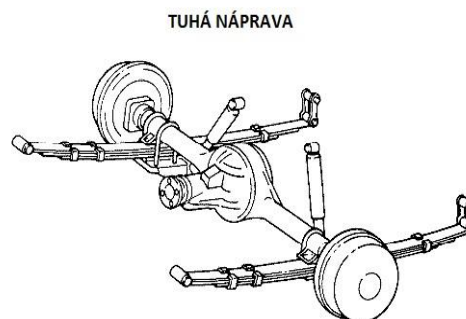
Obě kola jsou spolu spojena tuhou nápravou, která je odpružená vůči karoserii. U tuhé nápravy nedochází při rovnoměrném ohýbání a roztahování pružných elementů ke změně stopy a sklonu. [2], [3]

3.2.1.1 Tuhá náprava s integrovaným pohonem

V jedné skříně je společně umístěn pohon nápravy, diferenciál a hřídele nápravy. Tím dochází ke vzniku poměrně velké neodpružené hmoty, a tudíž dochází ke snížení komfortu a bezpečnosti jízdy. U užitkových automobilů se nejčastěji používá upevnění nápravy ke karoserii pomocí listových pružin. Ty zároveň plní funkci vedení kol a pérování. Při použití šroubových pružin nebo pneumatikých pružin se síly kol přenášejí posuvnou tyčí (podélné výkyvné rameno), boční síly příčnou tyčí (panhardská tyč). Použitím několika výkyvných ramen se dosáhne snížení vychýlení karoserie v závislosti na zrychlení a brždění vozidla. [3]



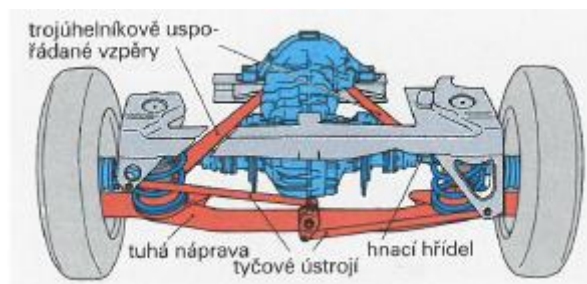
Obrázek 8 Tuhá náprava s integrovaným pohonem [3]



Obrázek 7 Tuhá náprava s listovými pružinami [2]

3.2.1.2 Tuhá náprava s odděleným pohonem – De Dion

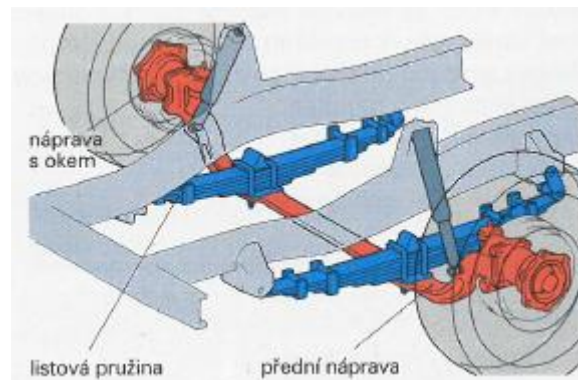
Z důvodu snížení velké neodpružené hmoty poháněných náprav, je oddělen pohon kol od nápravy a upevněn na karoserii. Přenos síly probíhá přes kloubové hřídele, které mají dva homokinetické klouby s přidaným vyrovnáváním délky. Boční vedení tuhé zadní nápravy se může provádět kloubovými tyčemi nebo panhardskou tyčí, podélné vedení posuvnými vzpěrami. [3]



Obrázek 9 Náprava De Dion [3]

3.2.1.3 Tuhá náprava jako řízená náprava

Skládá se většinou ze zušlechťeného výkovku s průřezem ve tvaru T. Pro zachycení čepu nápravy je přikováno oko – náprava s okem (nerozvidlená) – náprava s vidlicí (rozvidlená náprava). [3]



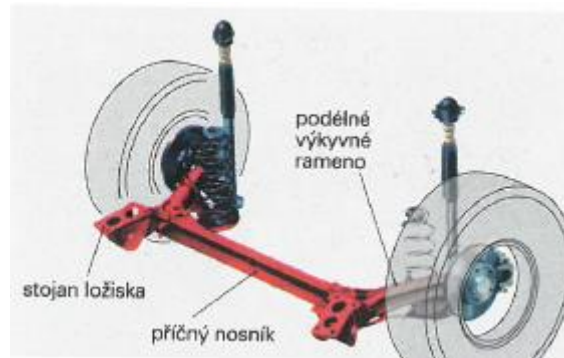
Obrázek 10 Tuhá řízená náprava [3]

3.2.2 Polotuhá náprava

Kola u polotuhých náprav jsou pevně spojena nosníkem náprav. Pružností nosníku nápravy je umožněn určitý navzájem nezávislý pohyb kol. Výhodou je nižší neodpružená hmota oproti tuhým nápravám. Polotuhé nápravy se chovají při rovnoměrném ohnutí pružných elementů jako tuhé nápravy, při nerovnoměrném stlačení se chovají jako nezávislé zavěšení kol. [3]

3.2.2.1 Spřažená náprava

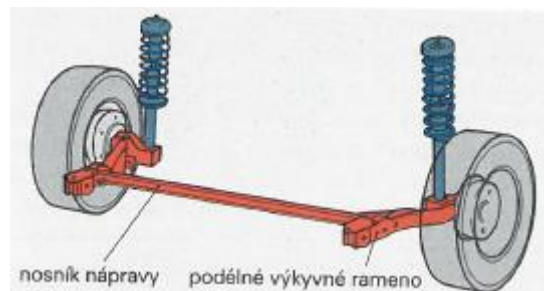
Zadní kola jsou zavěšena na podélných výkyvných ramenech, která jsou svařena s příčným nosníkem z pružné oceli. Sám příčný nosník je na karoserii upevněn úchyty z pryže a kovu. Pokud pěrují obě kola rovnoměrně, tak se celé těleso nápravy vychýlí v ložiskách rovnoměrně. Pokud pěruje pouze jedno kolo, tak se příčný nosník přetočí a působí jako stabilizátor. Nedochozí k žádným změnám stopy nebo sklonu. [3]



Obrázek 11 Spřažená náprava [3]

3.2.2.2 Spojená náprava

Dvě podélná výkyvná ramena jsou svařena s nosníkem náprav z torzně měkké oceli s profilem ve tvaru U. Místo svaru neleží jako u spřažené nápravy na konci, ale uprostřed podélných výkyvných ramen. Při rozdílném ohnutí pružných prvků se proto nosník náprav nastaví šikmo a působí s ohledem na sklon kol jako šikmá řídicí náprava. [3]



Obrázek 12 Spojená náprava [3]

3.2.3 Nezávislé zavěšení kol

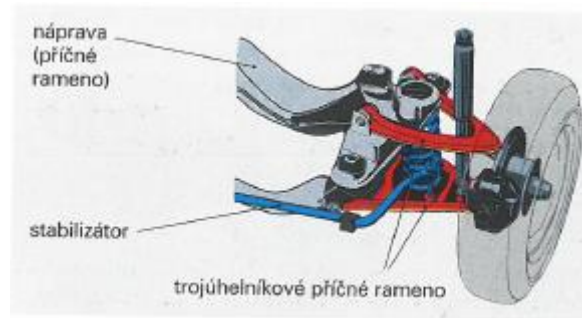
Výhodou nezávislého zavěšení kol je malá neodpružená hmotnost částí zavěšení. Při propružení se kola navzájem neovlivňují. [3]

3.2.3.1 Lichoběžníkové zavěšení kol

Při zavěšení kol na dvou nad sebou ležících příčných ramenech je horní příčné rameno vždy kratší než spodní. Při pérování vzniká negativní sklon a velmi malá změna stopy, čímž se zlepšuje stabilita v zatáčkách. [3]

3.2.3.2 Rovnoběžníkové zavěšení kol

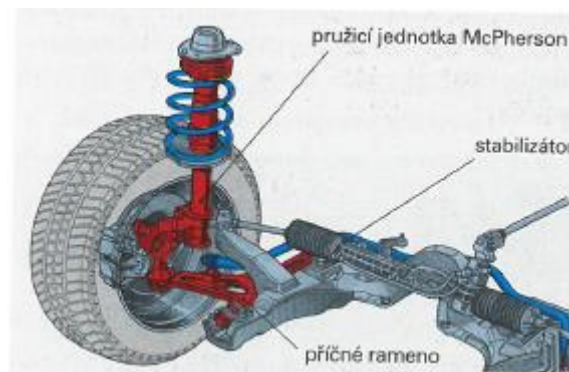
Při pérování se sklon nemění, ale dochází ke změně stopy. Příčná ramena jsou většinou konstruována jako trojúhelníková ramena, aby zvýšila tuhost ve směru jízdy. Na podvozku jsou upevněna dvěma úchyty. [3]



Obrázek 13 Zavěšení kol na dvojitých příčných ramenech [3]

3.2.3.3 Náprava McPherson

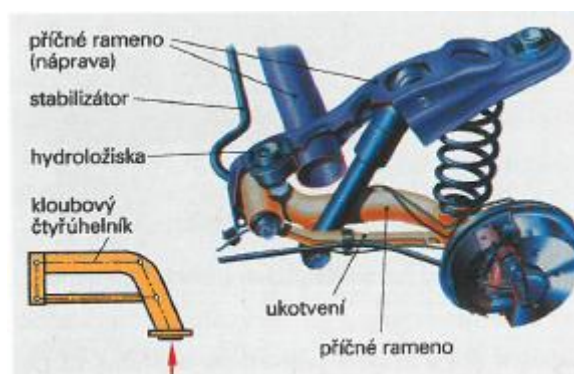
Náprava McPherson vznikla z dvojitě příčné řídicí nápravy. Horní příčné rameno bylo nahrazeno trubkou tlumiče vibrací, na které je upevněn čep nápravy. Pístnice tlumiče je upevněna na karoserii v elastickém pryžovém ložisku. Mezi tímto bodem upevnění a miskou pružiny na tlumicí trubce se nachází šroubovitá pružina. Kvůli velkým brzdovým silám, silám zrychlení a bočním vodícím silám je pístnice a vedení pístnice provedeno velmi silně. [3]



Obrázek 14 Náprava McPherson [3]

3.2.3.4 Zavěšení kol na podélných výkyvných ramenech

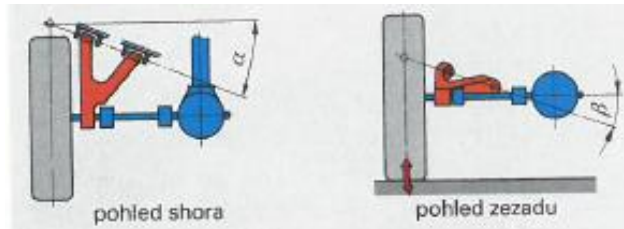
Vhodné pro automobily s předním pohonem. Nepochází zde ke změně rozchodu, sbíhavosti a sklonu kola u vodorovné osy otáčení. Z důvodu odhlučnění a zamezení vibracím se neupevňuje rameno přímo na karoserii ale na příčné rameno. Příčné rameno se skládá ze dvou zachycovacích ramen, která jsou spojena příčnou trubkou. Je s karosérií sešroubováno pomocí 4 pryžových ložisek. Aby se zamezilo bočním silám, které působí v zatáčkách, je podélné rameno opatřeno ukotvením. Obě dohromady tvoří kloubový čtyřúhelník. [3]



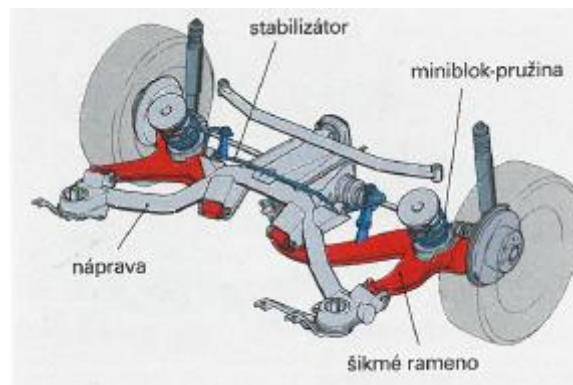
Obrázek 15 Zavěšení kol na podélných výkyvných ramenech [3]

3.2.3.5 Zavěšení kol na šikmých ramenech

Skládají se ze dvou trojúhelníkových ramen, ze kterých vede osa otáčení obou kloubových ložisek šikmo k příčné ose vozidla ($\alpha = 10 - 20^\circ$) a je nakloněna horizontálně nebo mírně ke středu vozidla (β). [3]



Obrázek 16 Úhel sklonu na šikmých ramenech [3]



Obrázek 17 Zavěšení zadních kol na šikmých ramenech [3]

3.3 Uložení kol

Z důvodu umožnění odvalování kola, musí být kolo uloženo vůči pevné části (náprava, zavěšení kola). Řízená kola jsou doplněna o uložení rejdového čepu nebo otočného čepu kola, pro zajištění natáčení kola řídicími pohyby. Uložení kol je realizováno výhradně za pomoci valivých ložisek, pro uložení rejdového čepu se používají i kluzná ložiska. Podle funkce rozdělujeme kola na poháněná a nepoháněná. Zda je náprava poháněná či nikoliv nemá na uložení kola vliv. [2]

3.3.1 Funkce uložení kola

- Přenos sil působících ve stopě pneumatiky na rám.
- Uložit kolo pokud možno bez vůle, aby bylo zajištěno přesné otáčení. [2]

3.4 Řídicí ústrojí

Řídicí ústrojí slouží k udržování, nebo ke změně směru jízdy vozidla. Podle konstrukce se řízení dělí na řízení jednotlivými koly a řízení celou nápravou. Řízení celou nápravou se používá běžně jen u nákladních přívěsů. Motorová vozidla jsou obvykle řízena natáčením předních kol kolem rejdového čepu. [2]

3.5 Odpružení

Odpružením společně s tlumením se zmenšuje přenos kmitavých pohybů náprav vozidla na jeho podvozkové části a karoserii. Dochází tak k ochraně posádky a nákladu před nežádoucími otřesy. Odpružení zvyšuje životnost některých dílů podvozku a zajišťuje stálý styk pneumatiky s vozovkou i při přejíždění nerovností. Tím je zajištěn přenos obvodových sil (hnacích a brzdících). K tlumení kmitavých pohybů náprav a podvozku se používají tlumiče. [2]

3.6 Brzdové ústrojí

Brzdové ústrojí slouží ke zpomalení, udržení rychlosti, nebo k zajištění stojícího vozidla. Z toho vyplývá základní rozdělení brzdového ústrojí:

- provozní brzda

Slouží ke zpomalení až zastavení vozidla, přičemž by vozidlo mělo udržovat stopu. Ovládání je realizováno většinou nohou, a působí na všechna kola.

- nouzová brzda

Slouží k úplné, či částečné náhradě provozní brzdy při porušení.

- parkovací brzda

Slouží k zajištění stojícího vozidla proti rozjetí. Z bezpečnostních důvodů je konstruovaná mechanickými prvky (lanko, tyč). Působí většinou na kola jedné nápravy.

- odlehčovací brzda

Slouží k odlehčení provozní brzdy a udržování rychlosti při sjezdu z kopce. [2], [3]

4 Zhodnocení původní konstrukce zavěšení kol

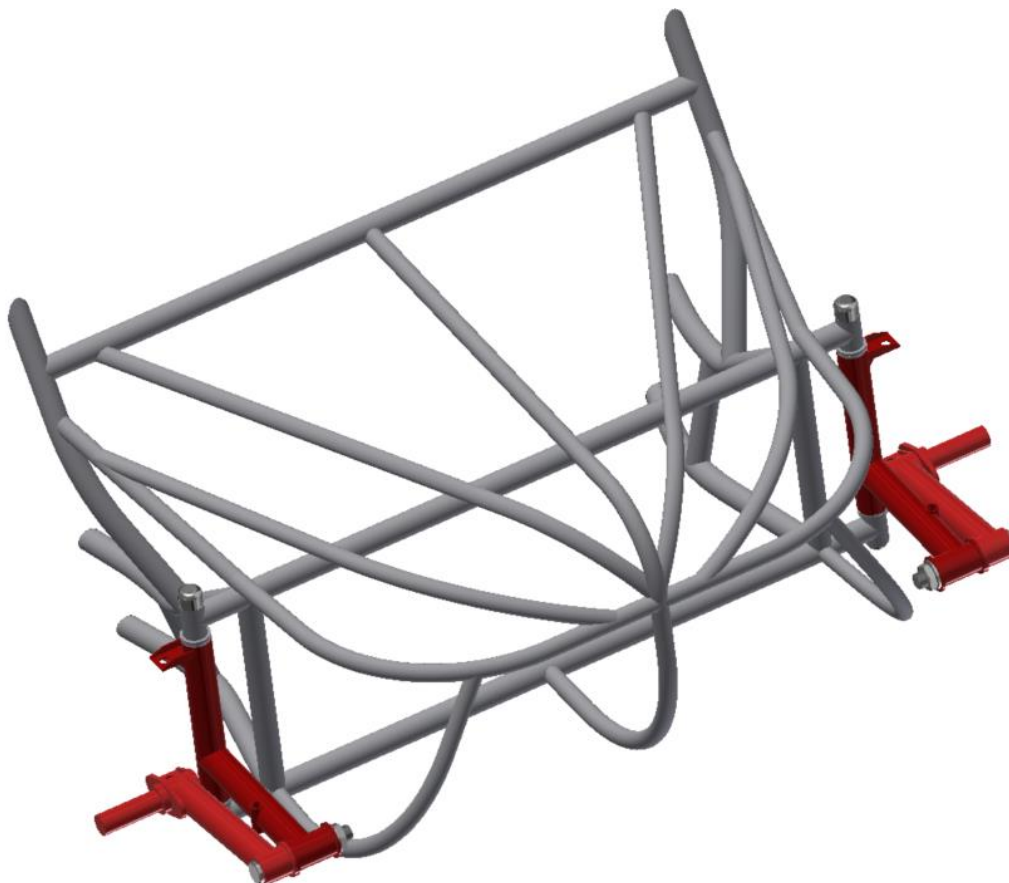
Pro zpracování praktické části bakalářské práce byl vybrán rám karoserie Velorexu 16/350. Podle dostupných informací, převážně na internetu, byly vytvořeny 3D modely rámu karoserie a původního zavěšení kol. Z důvodu nedostatečných technických podkladů je model rámu karoserie a původního zavěšení kol nepřesný. Pro aplikaci lichoběžníkového zavěšení kol byla původní konstrukce rámu karoserie modifikována dle potřeby.

Na obrázku 18 vidíme fotografii původní konstrukce zavěšení kol, která byla použita jako hlavní vzor pro rekonstrukci původního zavěšení kol. Původní konstrukce zavěšení kol je realizována pomocí podélného výkyvného zavěšení kol viz obrázky 18, 19, 20, 21, 22 a 23. Skládá se z otočného ramene (poz.2), svislého čepu (poz.3), výkyvného ramene (poz.4), vodorovného čepu (poz.5), náboje kola (poz.6), kluzných pouzder (poz.7) a pojištění čepů (bez pozice) viz obrázek 20. Otočné rameno je upevněno k rámu karosérie (poz.1) svislým čepem viz obrázek 23. Z důvodu otáčení otočného ramena okolo svislého čepu jsou do otočného ramena nalisována kluzná pouzdra, která umožňují hladké otáčení. Proti posuvu je svislý čep pojištěn hlavou a hřídelovým kroužkem. Otočné rameno dále slouží pro upevnění táhel řízení viz obrázek 21 a výkyvného ramene. Spojení výkyvného a otočného ramene je provedeno pomocí vodorovného čepu, který je nalisován ve výkyvném rameni, a pomocí kluzného pouzdra uložen v otočném rameni viz obrázek 22. Pojištění vodorovného čepu je realizováno hlavou a závitem pro pojistnou matici. Výkyvné rameno je opatřeno nábojem kola, který je přivařen a dále slouží pro upevnění bubnové brzdy. K upevnění tlumící jednotky jsou na ramenech přivařeny úchyty viz obrázek 20.

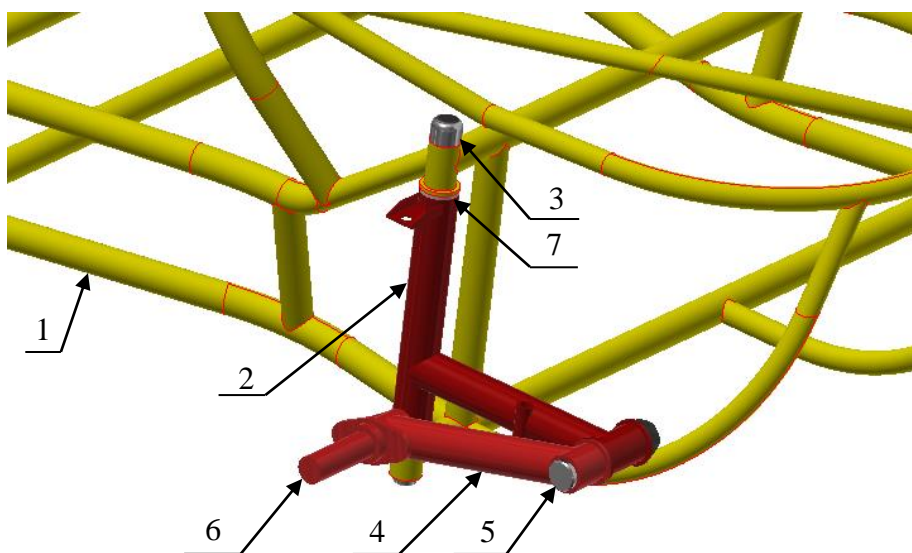
Konstrukce původního zavěšení je jednoduchá, snadno vyrobitelná, lehce udržovatelná a dobře splňuje jízdní požadavky. Základním polotovarem pro ramena jsou ocelové trubky, které jsou snadno k dostání a dobře svařitelné. Ostatní komponenty, jako například náboj kola, úchyty pro tlumící jednotku jsou k ramenům přivařeny.



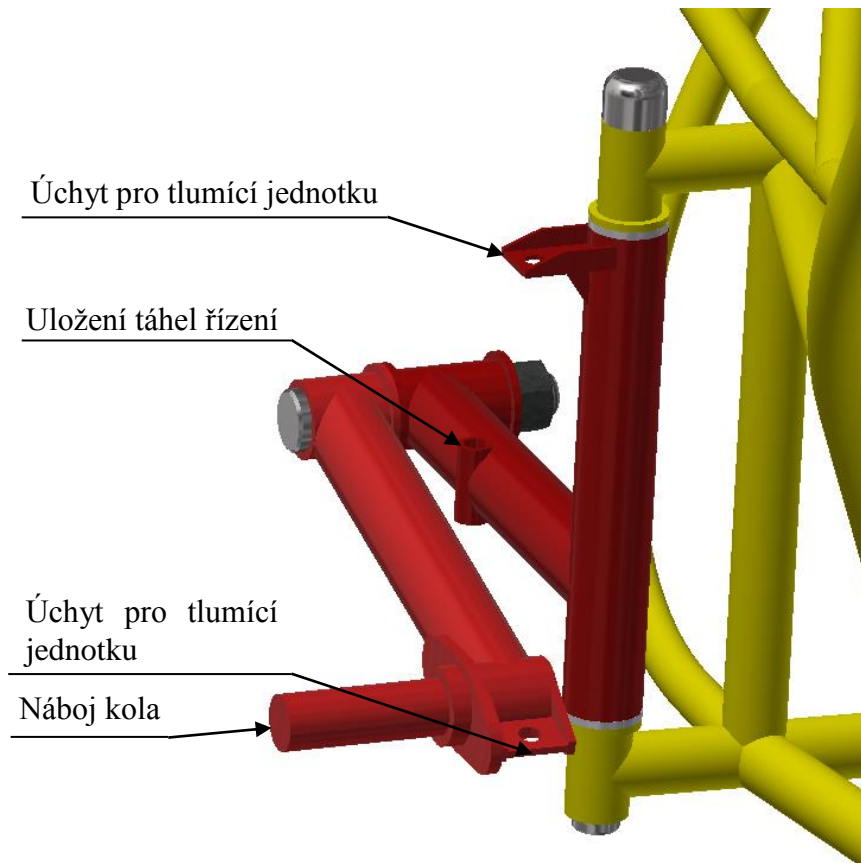
Obrázek 18 Fotografie původního zavěšení kol [16]



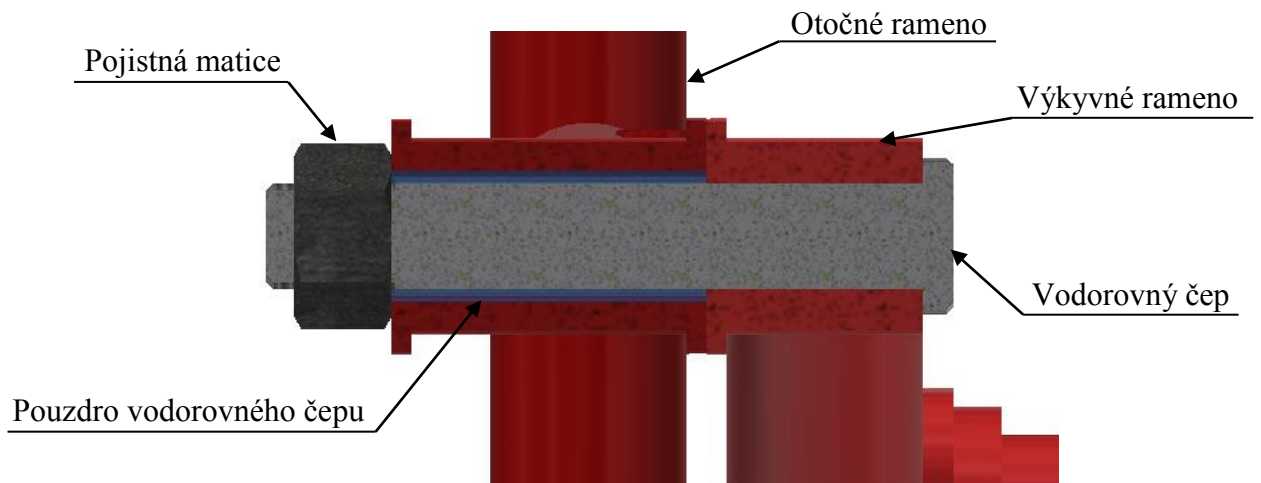
Obrázek 19 Původní zavěšení kol [Vlastní zdroj]



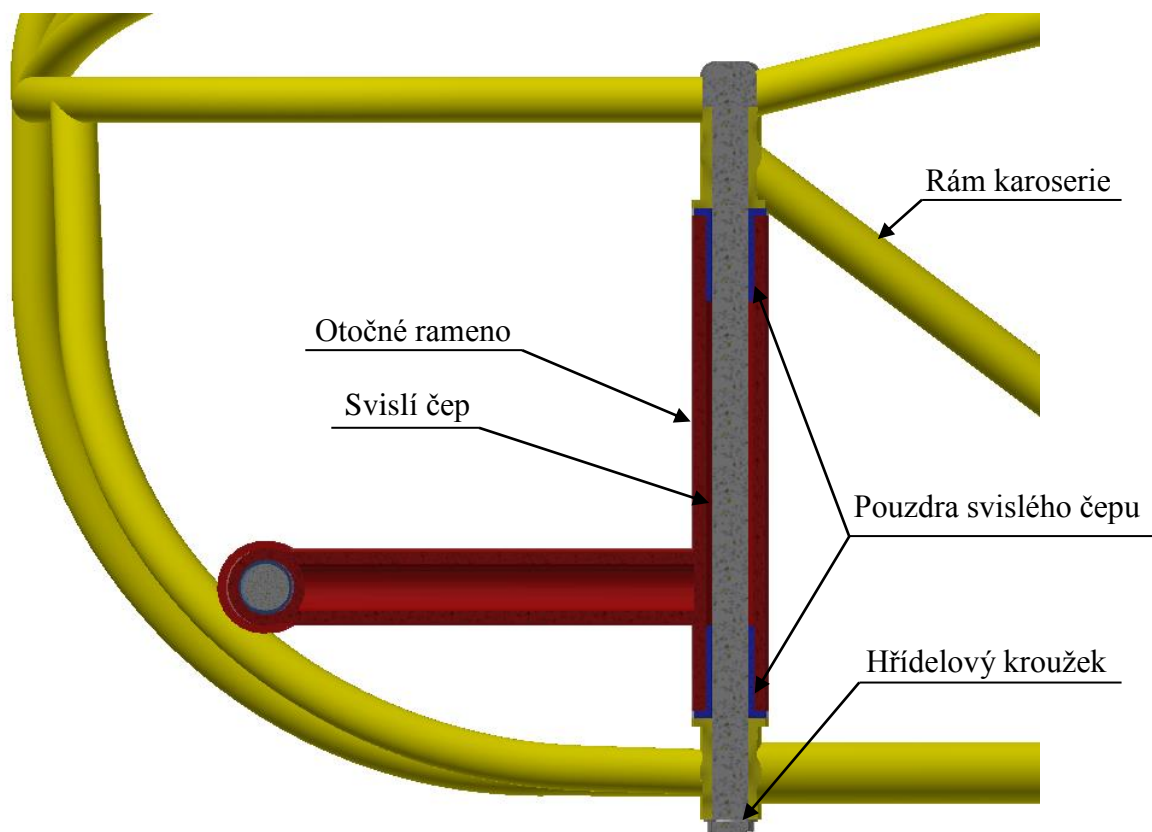
Obrázek 20 Pohled na zavěšení kol z předu [Vlastní zdroj]



Obrázek 21 Pohled na zavěšení kol zezadu [Vlastní zdroj]



Obrázek 22 Uložení vodorovného čepu [vlastní zdroj]



Obrázek 23 Uložení svislého čepu [vlastí zdroj]

5 Výpočty

Výpočtová část se zabývá výpočtem statického zatížení náprav, výpočtem maximálních brzdných sil, návrhem rozměru kol přední nápravy, návrhem lichoběžníku řízení a pevnostní analýzou těhlice pomocí MKP.

5.1 Výpočet statického zatížení náprav

V této kapitole je popsán výpočet statického zatížení náprav při uvažovaném plném zatížení. Cílem výpočtu je určení zatížení přední a zadní nápravy.

Statické zatížení náprav při plném zatížení

Rozvor náprav

$$l = 2624 \text{ mm}$$

rozchod kol

$$l_r = 1554 \text{ mm}$$

tíha vozidla

$$G_{vc} = m_{vc} \cdot g$$

$$G_{vc} = 5886 \text{ N}$$

výška těžiště

$$h = 620 \text{ mm}$$

vzdálenost těžiště od zadní nápravy

$$l_z = 1212 \text{ mm}$$

vzdálenost těžiště od přední nápravy

$$l_p = l - l_z$$

$$l_p = 1412 \text{ mm}$$

zatížení přední nápravy

$$Y_{pstat} = G_{vc} \cdot \frac{l_z}{l}$$

$$Y_{pstat} = 2718,69 \text{ N}$$

zatížení zadní nápravy

$$Y_{zstat} = G_{vc} \cdot \frac{l_p}{l}$$

$$Y_{zstat} = 3167,3 \text{ N}$$

Poloha těžiště byla zvolena odhadem, jelikož pro určení přesné polohy nejsou dostatečné podklady, tudíž vnáší do výpočtů chybu. Pro výpočet byla uvažována celková hmotnost vozidla $m_{vc} = 600 \text{ Kg}$.

5.2 Výpočet maximálních brzdných sil

V této kapitole je popsán výpočet brzdných sil a zatížení náprav při brzdění. Cílem výpočtu je určení zatížení přední nápravy a maximální přenositelné síly na předních kolech.

Brzdné síly a momenty

koeficient tření suché betonové vozovky

$$\mu_v = 1$$

maximální přenositelná brzdná síla

$$F_p = \mu_v \cdot G_{vc}$$

$$F_p = 5886 \text{ N}$$

zpomalení při maximální přenositelné brzdné síle

$$a_{bmax} = \frac{F_p}{m_{vc}}$$

$$a_{bmax} = 9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

zatížení přední nápravy při brzdění

$$Y_{bp} = \frac{G_{vc} \cdot l_z + m_{vc} \cdot a_{bmax} \cdot h}{l}$$

$$Y_{bp} = 4109 \text{ N}$$

zatížení zadní nápravy při brzdění

$$Y_{bz} = \frac{G_{vc} \cdot l_p - m_{vc} \cdot a_{bmax} \cdot h}{l}$$

$$Y_{bz} = 1777 \text{ N}$$

maximální přenositelná brzdná síla na předních kolech

$$B_p = \mu_v \cdot Y_{bp}$$

$$B_p = 4109 \text{ N}$$

přírůstek síly od klopného momentu při brzdění

$$\Delta Y = m_{vc} \cdot a_{bmax} \cdot \frac{h}{l}$$

$$\Delta Y = 1390 \text{ N}$$

5.3 Velikost a typ kol přední nápravy

V této kapitole jsou popsány hlavní rozměry zvolené pneumatiky pro přední nápravu. Pneumatiky byly zvoleny z katalogu prodejce a při volbě byl kladen důraz na estetický dojem.

Pneumatika 215/35 R16

šířka pneumatiky

$$w = 215 \text{ mm}$$

profil pneumatiky

$$p = 35 \%$$

$$p_s = p \cdot w$$

$$p_s = 75,25 \text{ mm}$$

průměr ráfku

$$D_r = 406,4 \text{ mm}$$

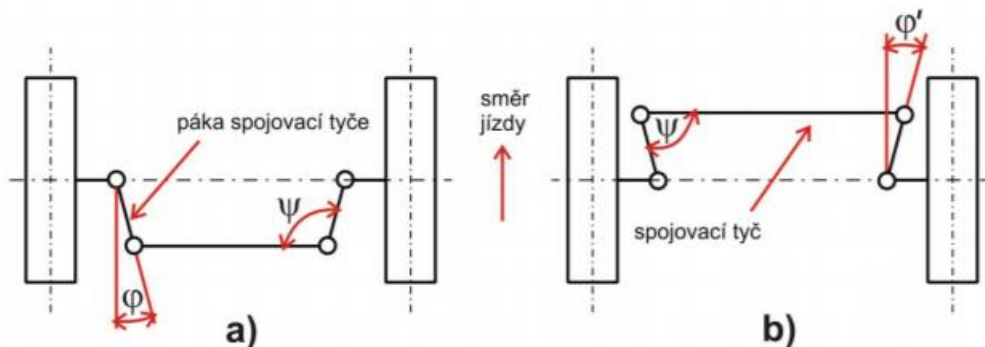
poloměr kola

$$r_d = p_s + \frac{D_r}{2}$$

$$r_d = 278,45 \text{ mm}$$

5.4 Návrh lichoběžníku řízení

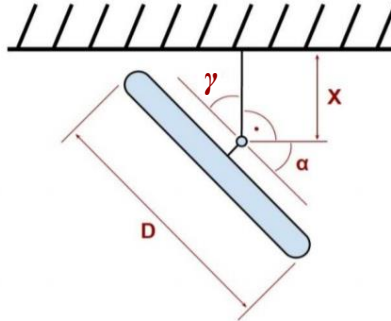
V této kapitole je popsán návrh konstrukce mechanismu lichoběžníku řízení. Cílem návrhu je určení délky a směru pák spojovací tyče. Pod pojmem lichoběžník řízení se ukrývá několik součástí, které jsou popsány na obrázku 24. Na obrázku, je také vidět rozdíl mezi předním a zadním lichoběžníkem. Rozdíl je v tom, že se páky spojovací tyče u přední konstrukce rozbíhají a u zadní konstrukce sbíhají. [15]



Obrázek 24 Lichoběžník řízení: a) zadní lichoběžník; b) přední lichoběžník [15]

5.4.1 Určení maximálního úhlu natočení kol

V následujícím výpočtu se zjistí minimální vzdálenost rejdivého čepu od rámu či překážky. Jedná se o teoretickou minimální vzdálenost mezi rejdivým čepem a rámem, z čeho vyplývá, že skutečná vzdálenost musí být větší nebo rovna této vzdálenosti.



Obrázek 25 Schéma natočení kola do rejdu [5]

$$\gamma = 180^\circ - 90^\circ - \alpha$$

$$\cos \gamma = \frac{x}{r_d}$$

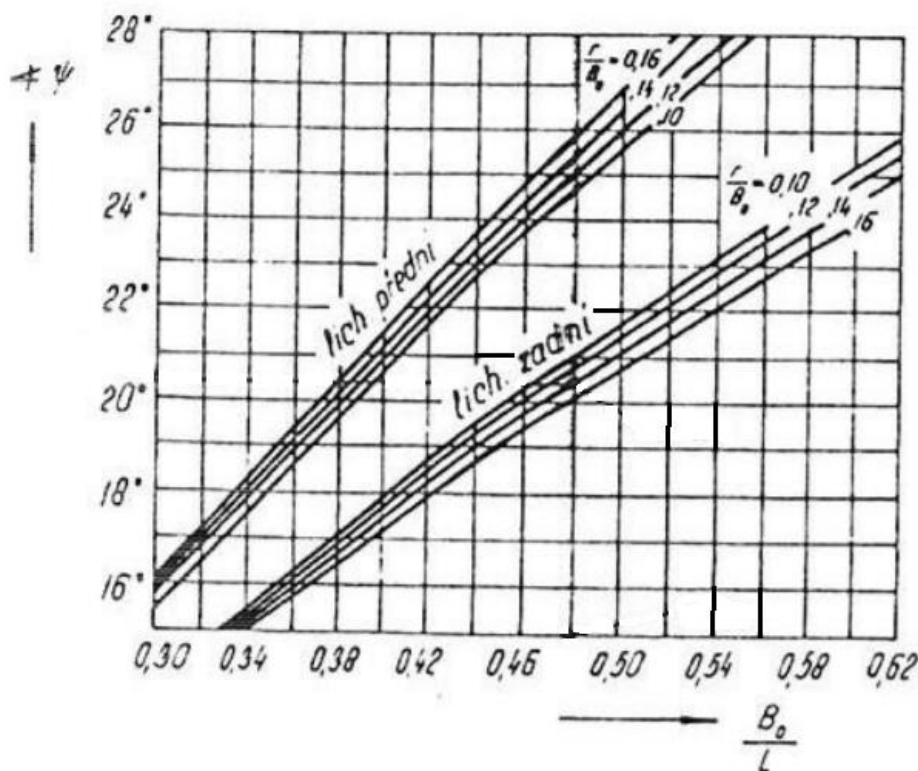
$$x = r_d \cdot \cos \gamma$$

$$x = 152 \text{ mm}$$

Pro výpočet byl zvolen maximální úhel natočení kol $\alpha = 33^\circ$.

5.4.2 Návrh konstrukce pomocí diagramu

Princip této metody k určení velikosti a směru pák spojovací tyče spočívá v odečtení hodnoty z příslušného diagramu, který je znázorněn na obrázku níže. Na vodorovné ose se nachází poměr vzdáleností os rejdivých čepů B_0 a rozvoru náprav l . Svislá osa představuje hledaný úhel odklonu pák spojovací tyče. Každý z diagramů obsahuje dvě čtveřice křivek pro přední a zadní lichoběžník. Každá křivka pak prezentuje poměr délky páky spojovací tyče r a vzdálenost os rejdivých čepů B_0 v rozpětí 0,1 až 0,16. [15]



Obrázek 26 Diagram lichoběžníku řízení pro maximální úhel natočení kol 33° [15]

Pro výpočet byl zvolen maximální úhel natočení $\alpha = 33^\circ$, hodnota $B_0 = 1400 \text{ mm}$ byla odečtena z navrženého zavěšení kol. Pro určení délky páky byla zvolená křivka reprezentována poměrem $\frac{r}{B_0} = 0,12$. Dále po vypočtení poměru $\frac{B_0}{l} = 0,534$ a následném odečtením protnutí obou poměru z obrázku 26, je zřejmé, že tomuto poměru odpovídá úhel $\psi = 22,5^\circ$ pro konstrukci zadního lichoběžníku

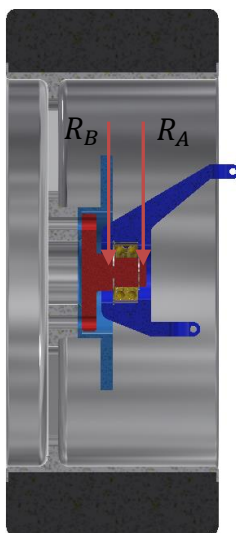
5.5 Pevnostní analýza metodou konečných prvků

Pevnostní analýza byla provedena v programu Siemens NX 10 Advance Simulation Nastran. Výpočet byl proveden z hlediska statiky, pro přímou zpomalující jízdu. Pro pevnostní analýzu byla použita 3D síť (CTETRA10) o velikosti objektu 5mm, a 1D propojení bodů RBE2 s 3D sítí. Ověřena byla pevnost a tuhost navržené konstrukce těhlice. Jako materiál těhlice byla použita ocel ČSN 42 2709, která se hodí pro více namáhané strojní součásti. [4]

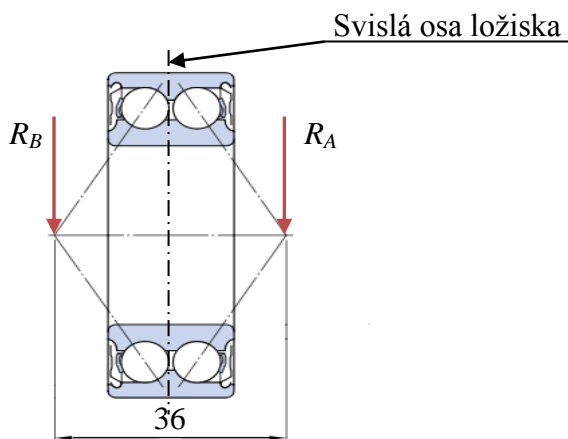
- Mez pevnosti v tahu $R_m = 530 - 700 \text{ Mpa}$
- Mez kluzu $R_{p02} = 300 \text{ Mpa}$
- Svařitelnost podmíněně zaručená
- Obrobitelnost dobrá

Uchycení a zatížení těhlice je patrné z obrázků 30 a 31. Na obrázcích 27, 28 a 29 jsou znázorněny síly pro výpočet reakcí v ložisku. Síly R_A a R_B jsou reakcemi působícími

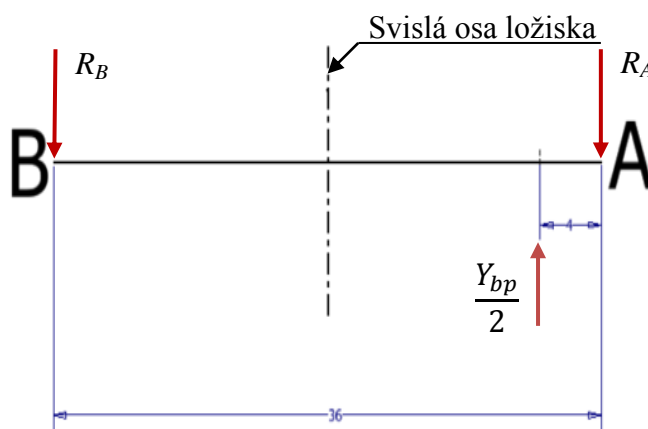
v kosoúhlém dvouřadém ložisku s uložením typu „O“ od síly zatížení přední nápravy při brždění $\frac{Y_{bp}}{2}$, která působí ve svislé ose kola.



Obrázek 27 Zobrazení působících sil [Vlastní zdroj]



Obrázek 28 Schéma dvouřadého kosoúhlého ložiska s uložením typu „O“ [17]



Obrázek 29 Schéma sil pro výpočet reakcí v ložisku [Vlastní zdroj]

Podmínky rovnováhy pro výpočet reakcí v ložisku:

- součet sil ve svislém směru se rovná nula

$$\frac{Y_{bp}}{2} - R_A - R_B = 0$$

- součet všech momentů k bodu A rovná se nula

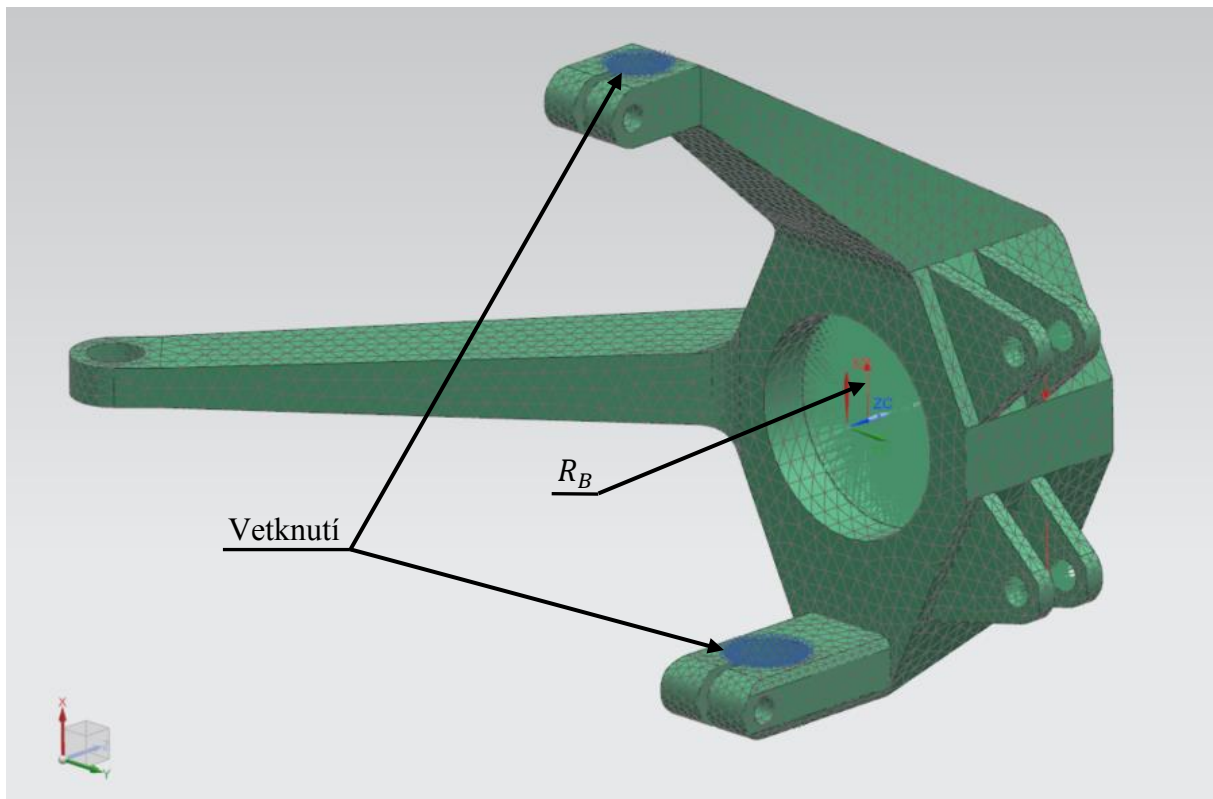
$$R_B \cdot 36 - \frac{Y_{bp}}{2} \cdot 4 = 0$$

Z podmínek 1 a 2 byly vypočteny síly $R_A = 1826,2 \text{ N}$ a $R_B = 228,3 \text{ N}$, které byly následně použity pro výpočet simulace MKP.

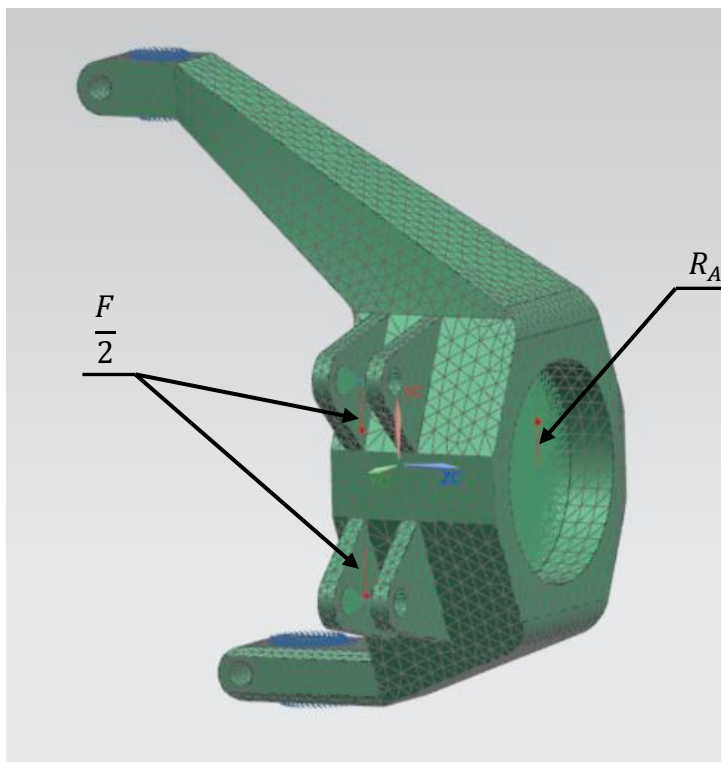
Síla F byla určena následovně:

$$\frac{B_p}{2} \cdot \frac{2}{3} r_{bk} = F \cdot r_{bt}$$

Po dosazení a vyčíslení rovnice dostaneme $F = 2727,3 \text{ N}$. Síly $\frac{F}{2}$ nám představují reakce na brzdny moment, které působí v místě myšleného upevnění brzdového třmenu pomocí šroubů.

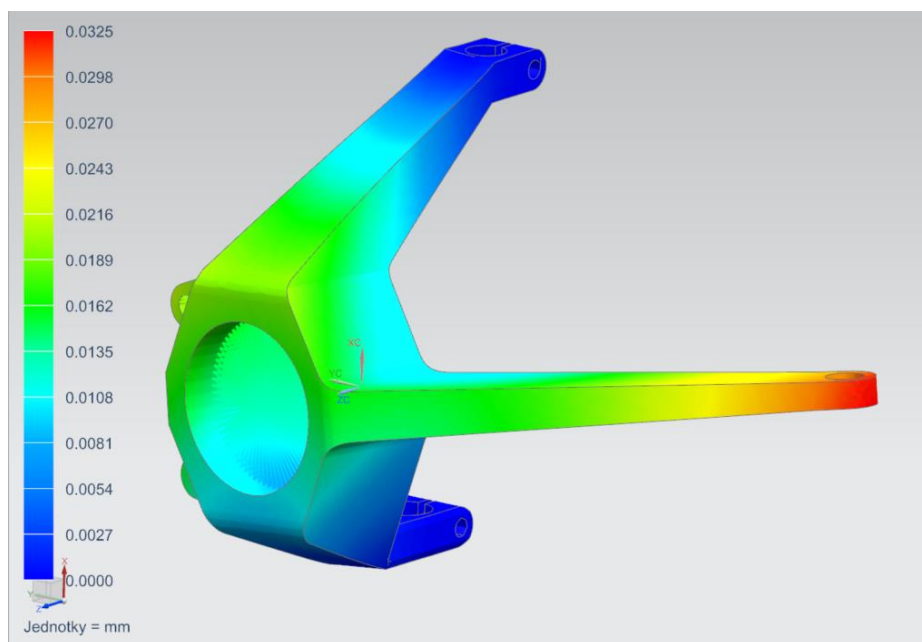


Obrázek 30 Uchycení a zatížení těhlice – pohled 1 [Vlastní zdroj]

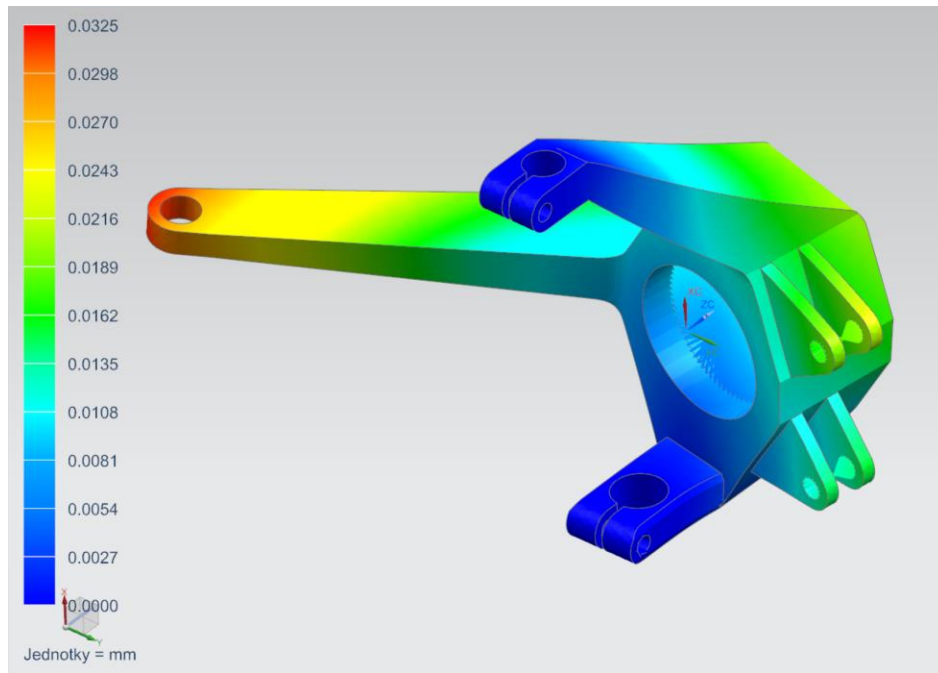


Obrázek 31 Uchycení a zatížení těhlice - pohled 2 [Vlastní zdroj]

5.5.1 Vyhodnocení posunutí



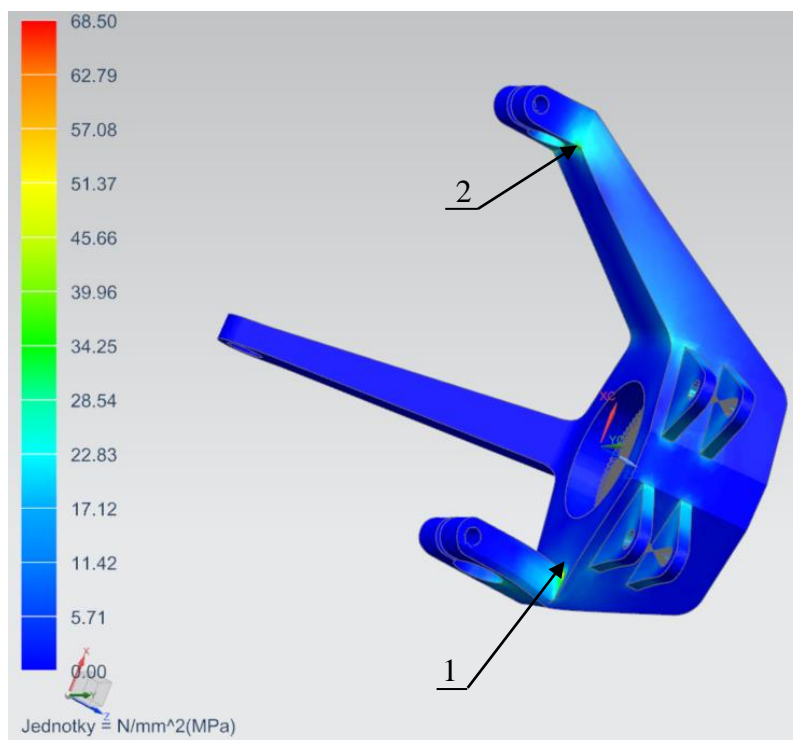
Obrázek 32 Výsledné posunutí těhlice - pohled 1 [Vlastní zdroj]



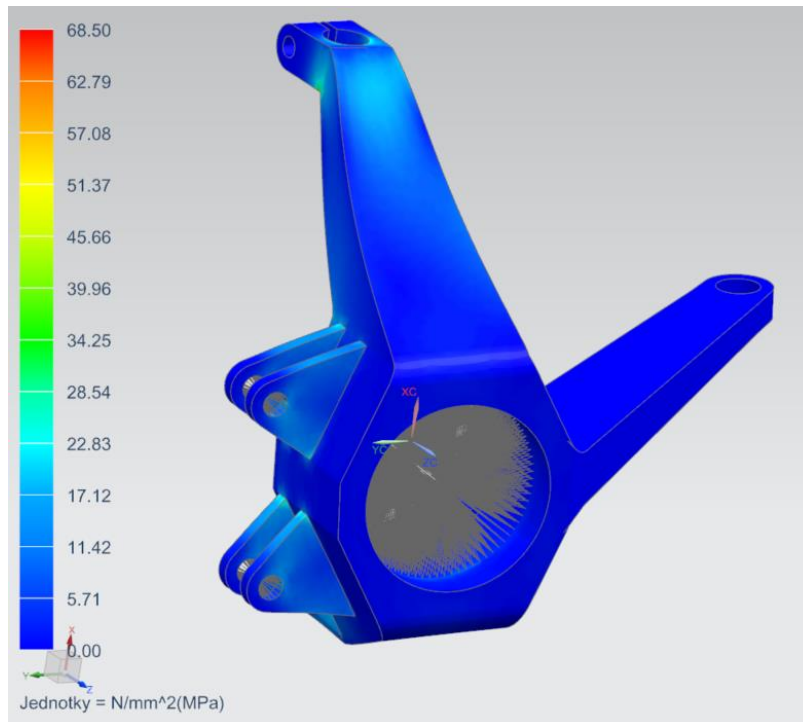
Obrázek 33 Výsledné posunutí těhlice - pohled 2 [Vlastní zdroj]

Maximální hodnota posunutí je 0,0325 mm. K největšímu posunutí došlo na páce spojovací tyče. Jelikož při výpočtu nebylo na páce spojovací tyče řízení uvažováno žádné zatížení, došlo pouze k volnému posunutí bez deformace. K největšímu posunutí od deformace došlo v horním upevnění pro brzdový třmen a to cca 0,024 mm.

5.5.2 Vyhodnocení napětí



Obrázek 34 Rozložení napětí na těhlici - pohled 1 [Vlastní zdroj]

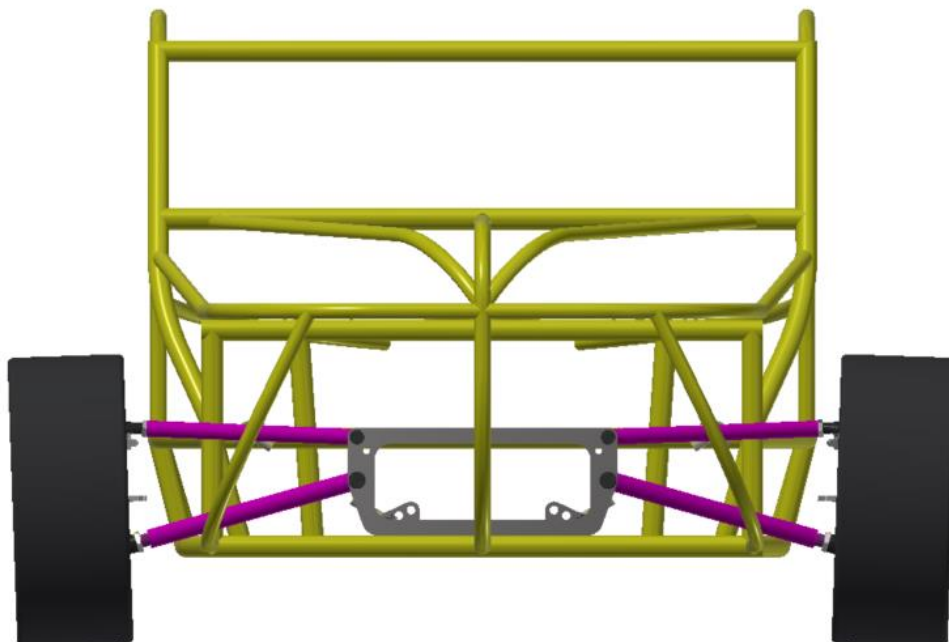


Obrázek 35 Rozložení napětí na těhlici - pohled 2 [Vlastní zdroj]

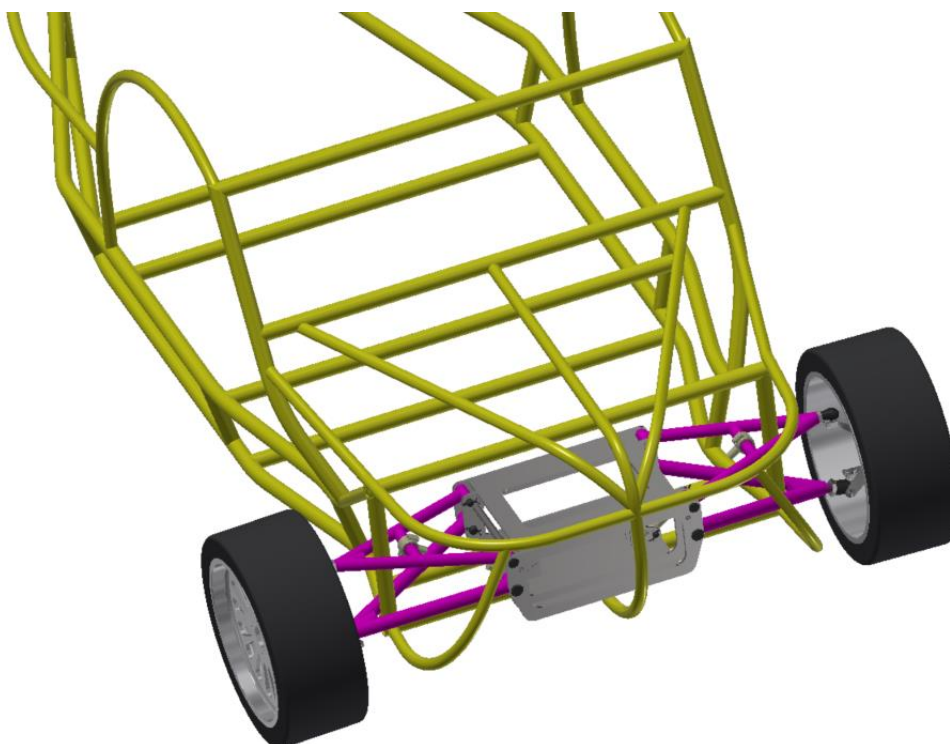
Maximální napětí bylo zjištěno v místě jedna viz obrázek 34, a to 68,50 MPa. Z místa nejvyššího napětí se dá usuzovat, že je pravděpodobně částečně způsobeno ostrou hranou v tomto místě. Jako opatření proti koncentraci napětí v tom to místě, by bylo vhodné ostrou hranu nahradit zaoblením. Stejného opatření by se dalo využít i pro oblast dva viz obrázek 34, ve které nám také dochází ke zvýšené koncentraci napětí v ostrých hranách. Po odvození bezpečnosti od meze kluzu materiálu ČSN 42 2709, která je 530 MPa vyplývá bezpečnost rovna 7,74.

6 Zhodnocení navržené konstrukce

S ohledem na kapitolu 5 byl zhotoven návrh lichoběžníkového zavěšení v CAD systému Autodesk Inventor Professional 2017.



Obrázek 36 Pohled na Velorex zpředu [Vlastní zdroj]

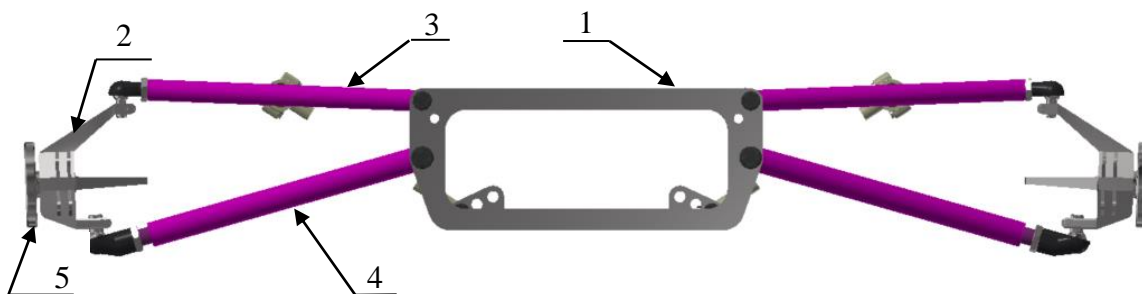


Obrázek 37 Pohled na Velorex pod úhlem [Vlastní zdroj]

6.1 Lichoběžníkové zavěšení

Zavěšení je konstruováno s ohledem na rozměry původního rámu. Celé zavěšení je navrženo jako samostatná jednotka (náprava), která by našla i jiné uplatnění. Navržené zavěšení počítá s následným osazením nakupovanými součástmi, např. brzdovým kotoučem, brzdovým třmenem, diskem kola, odpružením s tlumičem, mechanismem řízení, apod.

Zavěšení se skládá ze svařence (poz.1), těhlice (poz.2), horního ramena (poz.3), spodního ramena (poz.4) a náboje kola (poz.5) viz obrázky 38 a 39. Popis jednotlivých součástí je uveden v dalších podkapitolách.



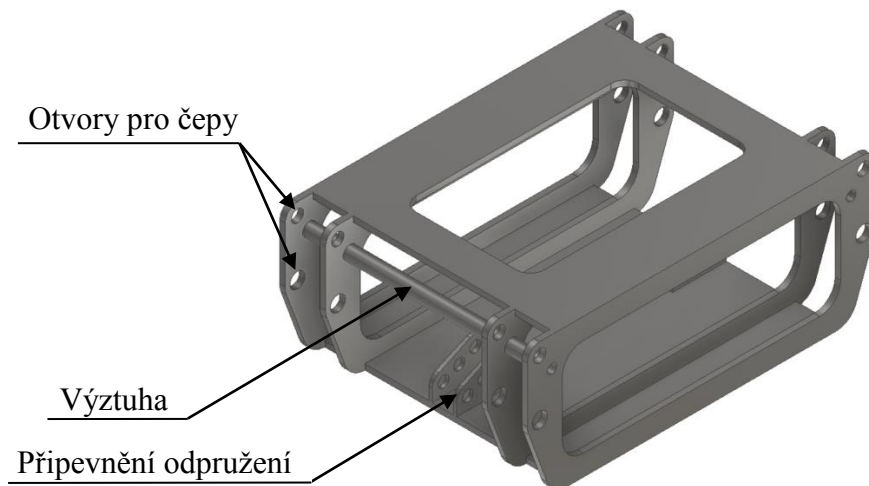
Obrázek 38 Sestava lichoběžníkového zavěšení - přední pohled [Vlastní zdroj]



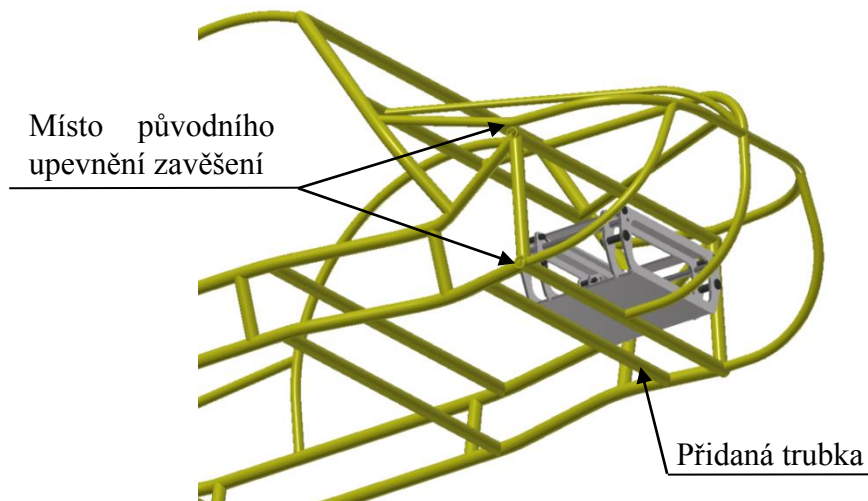
Obrázek 39 Sestava lichoběžníkového zavěšení - pohled z vrchu [Vlastní zdroj]

6.1.1 Svařenec + úprava rámu

Svařenec byl navržen z důvodu špatného, až téměř nemožného zkonstruování lichoběžníkového zavěšení, které by bylo možné upevnit přímo na rám Velorexu s minimálními úpravami tohoto rámu. Jedná se tedy o mezičlen, mezi rameny zavěšení a rámem Velorexu. Spojení ramen se svařencem je realizováno pomocí čepů, které jsou nalisovány do otvorů ve svařenci. Rameno je na čep nasunuto s vůlí a pro umožnění kývání ramena okolo osy čepu bez zadření, jsou v ramenech nalisovaná kluzná pouzdra. K rámu je svařenec přivařen. Z důvodu přivaření svařence k rámu, byla provedena úprava rámu, v podobě přivaření trubky viz obrázek 41. Další úpravou provedenou na rámu z důvodu nepotřebnosti bylo odstranění původního upevnění zavěšení. Svařenec je svařen z výpalků plechu o tloušťce 8 mm a pro zvýšení tuhosti, je v oblasti čepů umístěna výztuha. Na spodní desce je vytvořeno uložení pro odpružení.



Obrázek 40 Svařenec [Vlastní zdroj]



Obrázek 41 Úprava rámu + upevnění svařence [Vlastní zdroj]

6.1.2 Těhlice

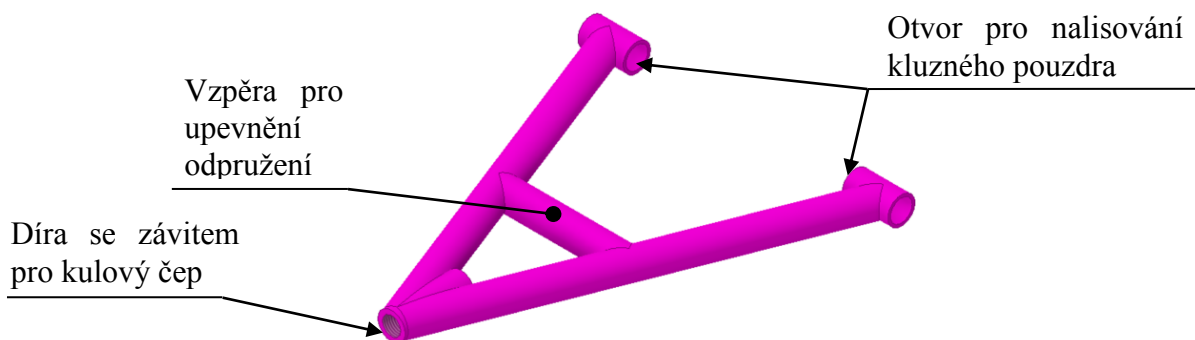
Těhlice slouží pro uložení náboje kola a přenos sil z pneumatiky na rám a obráceně. Konstrukce je navržena jako odlitek z materiálu ČSN 42 2709. Pro uložení náboje slouží ložisko SKF 3206 A-2ZTN9/MT33. Ložisko je v těhlici pojištěno proti axiálnímu posuvu pojistným kroužkem. Ke spojení těhlice s rameny zavěšení, jsou použity kulové čepy, které jsou pojištěny proti posuvu svěrným spojem, který je vytvořen předepnutým šroubovým spojem. Dále je na těhlici páka spojovací tyče řízení s otvorem pro kulový čep, který je spojen s táhlem řízení. Pro upevnění brzdového třmenu, jsou na těhlici úchyty, které jsou konstruovány s ohledem na použití nakupovaných komponentů.



Obrázek 42 Těhlice [Vlastní zdroj]

6.1.3 Horní rameno

Horní rameno je svařeno z ocelových trubek TR D30x3 – ČSN 425715.01 – 15 230. Slouží jako mezi člen mezi těhlicí a svařencem. Uložení mezi svařencem a ramenem, je realizováno pomocí kluzného pouzdra, které je nalisováno do otvorů v rameni viz obrázek 43 a čepu, který je s vůlí uložen v pouzdře a nalisován ve svařenci. Pro spojení mezi těhlicí a ramenem je z důvodů řízené nápravy použit kulový čep, který umožňuje těhlici rotaci okolo svislé osy. Čep je na rameno našroubován a proti posuvu pojištěn kontramaticí. Polohou (našroubováním) čepu vůči rameni, je umožněno seřízení odklonu kola. Horní rameno slouží také pro připevnění odpružení s tlumičem.



Obrázek 43 Horní rameno [Vlastní zdroj]

6.1.4 Spodní rameno

Spodní rameno je svařeno z ocelových trubek TR D35x4 – ČSN 425715.01 – 15 230. Slouží jako mezi člen mezi těhlicí a svařencem. Uložení mezi svařencem a ramenem, je realizováno pomocí kluzného pouzdra, které je nalisováno do otvorů v rameni viz obrázek 44 a čepu, který je s vůlí uložen v pouzdře a nalisován ve svařenci. Pro spojení mezi těhlicí a ramenem je z důvodů řízené nápravy použit kulový čep, který umožňuje těhlici rotaci okolo svislé osy. Čep je na rameno našroubován a proti posuvu pojištěn kontra maticí. Polohou (našroubováním) čepu vůči rameni, je umožněno seřízení odklonu kola.



Obrázek 44 Spodní rameno [Vlastní zdroj]

6.1.5 Náboj kola

Náboj kola slouží k upevnění brzdového kotouče a disku kola. Toho je docíleno čtyřmi otvory pro šroub se závitem M12. Otvory jsou rozmístěny rovnoměrně se středy na kružnici $D = 100 \text{ mm}$. Náboj kola je uložen v ložisku SKF 3206 A-2ZTN9/MT33, které je následně uloženo v těhlici. Ložisko je pojištěno proti axiálnímu posuvu pojistným kroužkem pro hřídele.

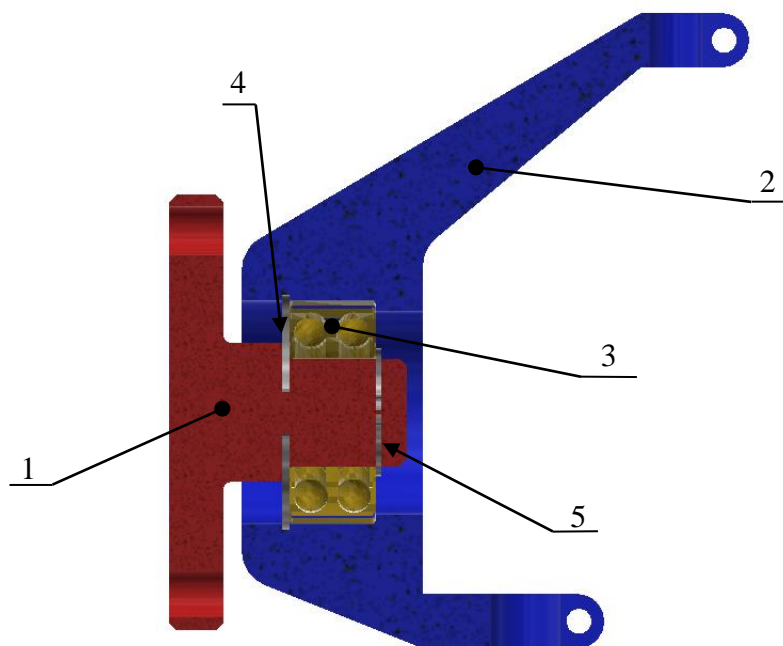


Obrázek 45 Náboj kola [Vlastní zdroj]

6.1.6 Uložení náboje kola v těhlici

Náboj kola (poz.1) je v těhlici (poz.2) uložen pomocí dvouřadého ložiska s kosoúhlým stykem (poz.3). Uložení ložiska na těhlici i volně otočném náboji kola bylo navrženo s ohledem na katalog ložisek SKF. K vymezení axiální vůle slouží kroužky (poz.4 a 5). Náboj kola byl

navržen s ohledem na následnou montáž nakupovaných komponentů (brzdový kotouč, disk kola).



Obrázek 46 Uložení náboje kola v těhlici [Vlastní zdroj]

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout lichoběžníkové zavěšení pro vůz Velorex. Před samotným návrhem byla provedena a sepsána rešerše vozů Velorex a jednotlivých druhů zavěšení kol. Rešerše poskytli důležité informace ohledně řešené problematiky.

Na začátku práce byla provedena rekonstrukce původního zavěšení kol a následné zhodnocení původní konstrukce. V dalším kroku byla provedena konstrukce lichoběžníkového zavěšení kol. Konstrukce byla navržena jako celý modul, který se přivaří k upravenému původnímu rámu vozidla. Navržená konstrukce je bez nakupovaných prvků, jako jsou, díly brzd, díly odpružení a tlumení, díly řízení. Při návrhu byly tyto díly nicméně uvažovány a konstrukce je připravena s ohledem na jejich instalaci.

Dále je v práci vytvořen návrh těhlice s následným ověřením její pevnosti a tuhosti pomocí metody konečných prvků. Pevnostní analýza byla provedena z hlediska statiky, pro přímou zpomalující jízdu. Pro tento stav vykazuje těhlice dle MKP dostatečnou pevnost a tuhost, kdy nejvyšší zjištěné napětí bylo 68,5 MPa, které odpovídá bezpečnosti 7,74 stanovené od meze kluzu materiálu ČSN 42 2709. Polotovarem těhlice je odlitek z výše uvedeného materiálu a konečné podoby těhlice se dosáhne třískovým obráběním dle přiloženého výrobního výkresu.

Vzhledem k tomu, že navržená konstrukce je zkonstruována jako celá jednotka, dalo by se tohoto faktu s výhodou využít pro použití u jiného druhu vozidla. Nevýhodou navržené konstrukce je vyšší váha, která je způsobená použitím běžných materiálu s ohledem na dostupnost a cenu. Tato nevýhoda by se dala vyřešit použitím materiálů ze slitin duralu nebo použitím slinutých karbidů, za cenu podstatného zvýšení výrobních nákladů.

V porovnání s původním zavěšením kol Velorexu, je navržená konstrukce složitější, má vyšší hmotnost, vyšší výrobní náklady a bude mít lepší jízdní vlastnosti. Vyšší výrobní náklady jsou způsobené složitější konstrukcí a použitím odlitku jako polotovaru těhlice. Dále by se dala navržená konstrukce vylepšit použitím lepších materiálů, za cenu zvýšení výrobních nákladů.

8 Publikace

Knižní publikace

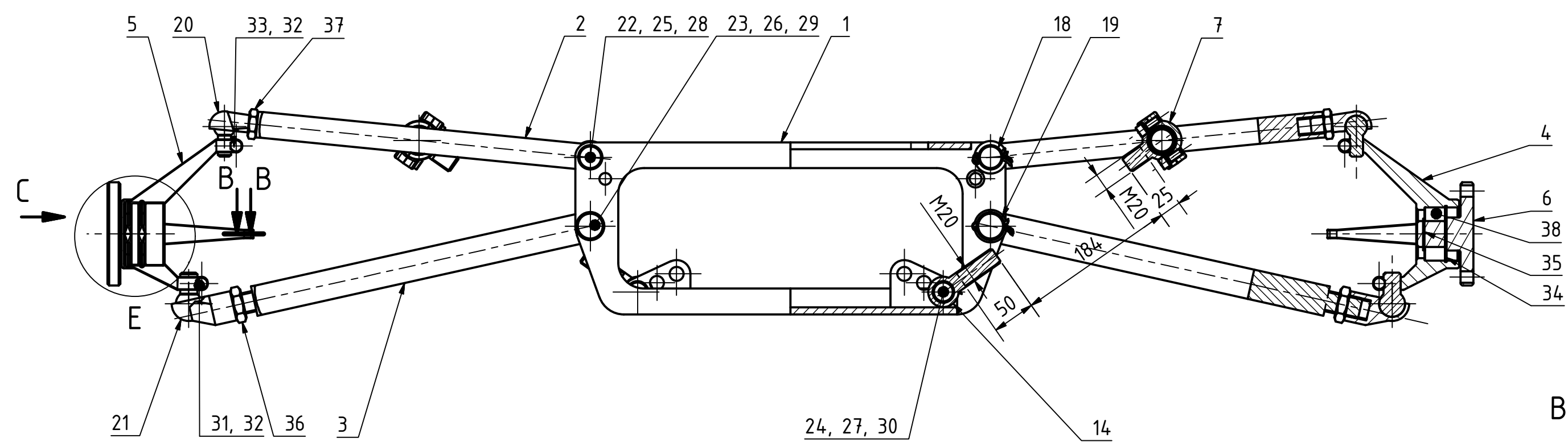
- [1] FAJMAN, Ivo. *Velorex: historie, vývoj, technika, současnost*. Praha: Grada, 2010. Retro (Grada). ISBN 978-80-247-3274-9.
- [2] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 2. upr. vyd. Přeložil Zdeněk MICHŇA, přeložil Iva MICHŇOVÁ. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-85920-83-2.
- [3] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [4] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [5] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.

Publikace na internetu

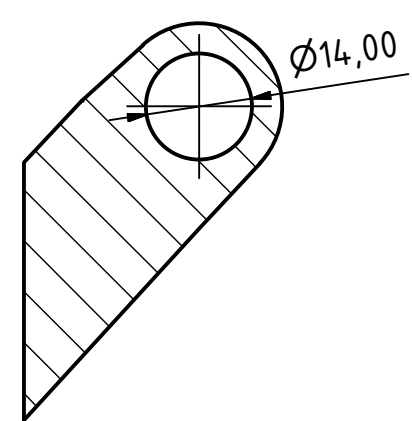
- [6] [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.allcarindex.com/>
- [7] [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.velorex.com/>
- [8] [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.velorexy.cz/>
- [9] [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://forum.samochodyelektryczne.org/>
- [10] [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://velorex.katalog-automobilu.cz>
- [11] [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://autobild.cas.sk>
- [12] [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://veteranportal.cz>
- [13] [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://www.motomagazin.cz>
- [14] [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://www.kropi.webz.cz>
- [15] POKORNÝ, František. *Návrh pomůcky pro demonstraci prvků geometrie řízení*. Pardubice, 2012. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/45738/2/PokornyF_ModelRizeni_MG_2012.pdf Bakalářská práce. Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Graja CSc
- [16] [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/>
- [17] [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://www.skf.com/>

Software

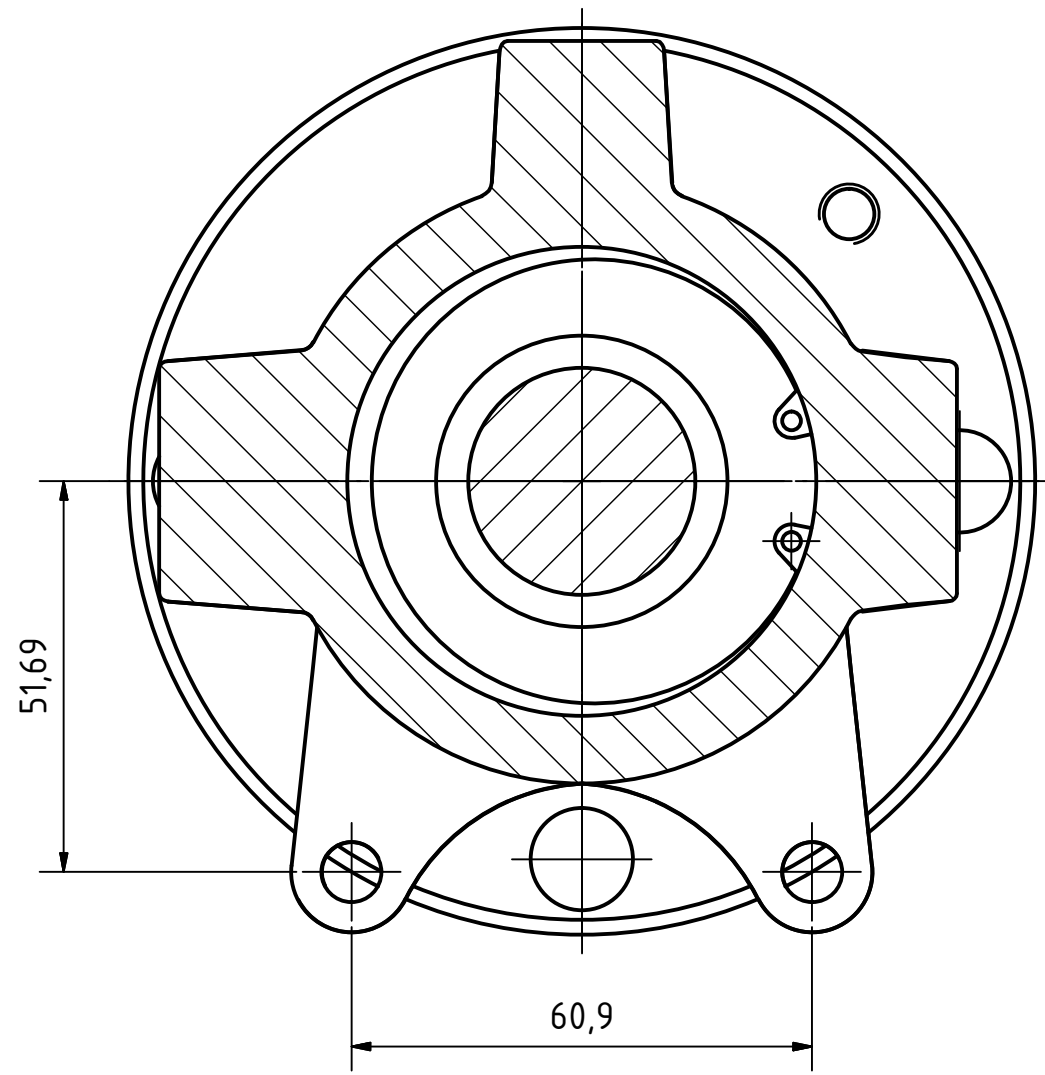
Siemens NX 10® - © 2017 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
Inventor Professional 2017® - © 2017 Autodesk Inc.
Microsoft Office 365® - © 2016 Microsoft



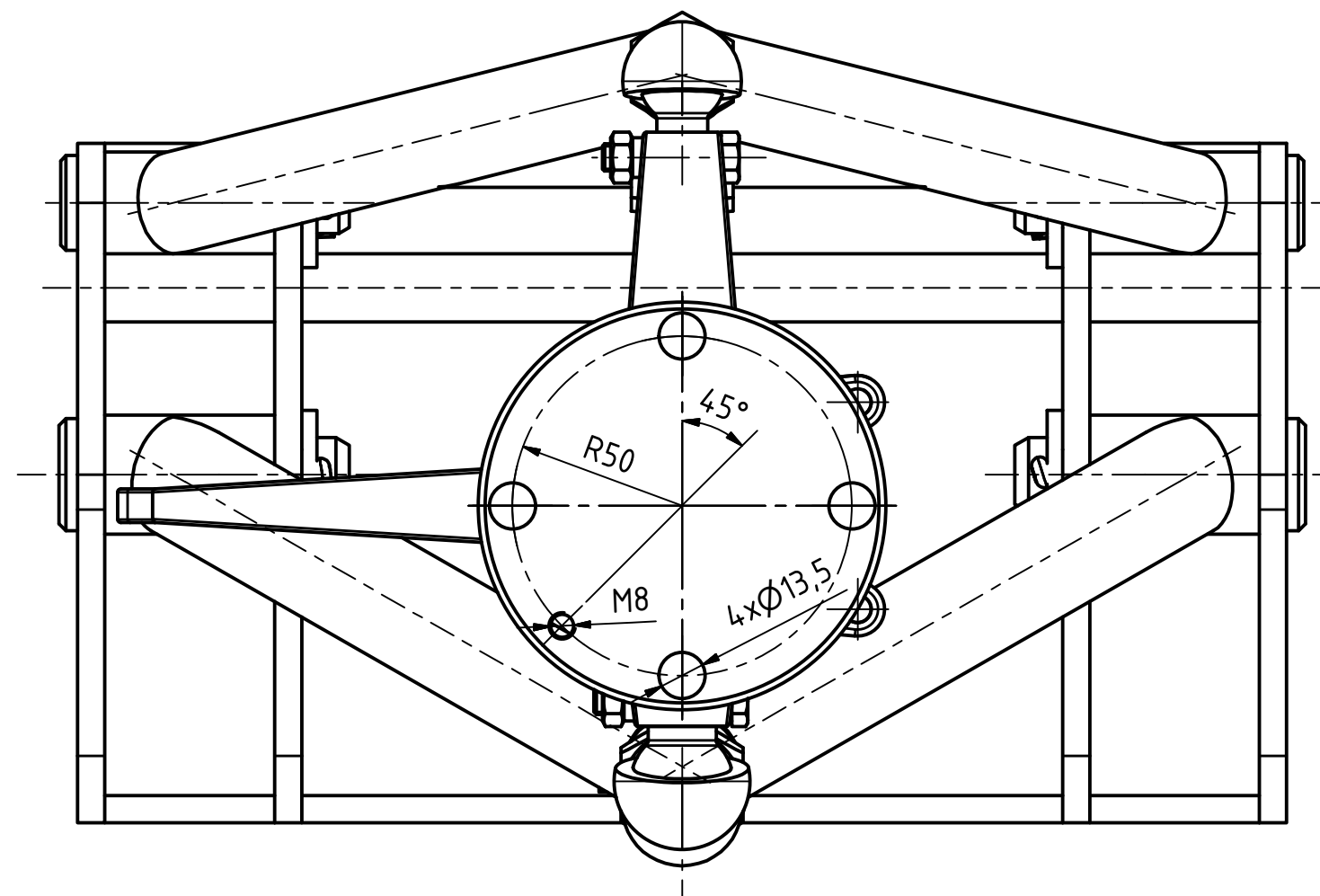
B-B (1:1)



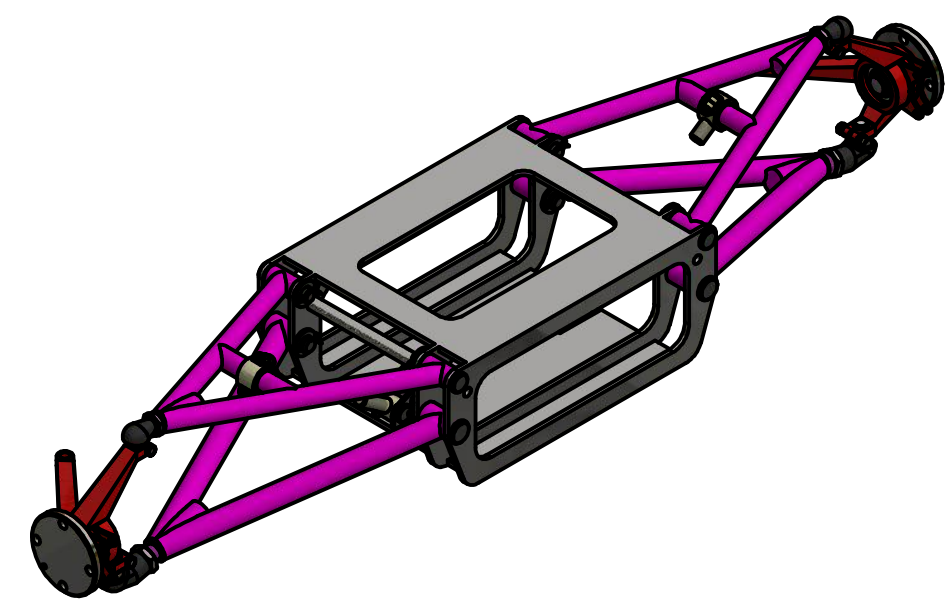
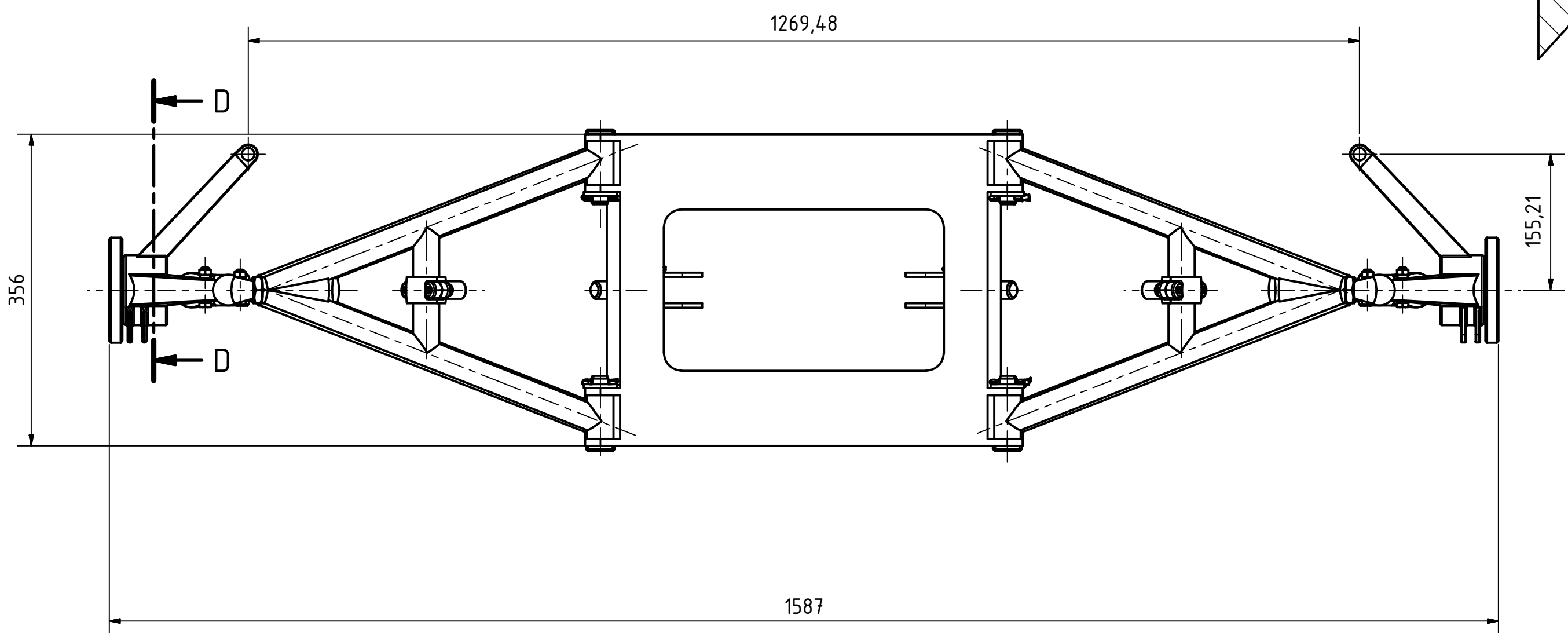
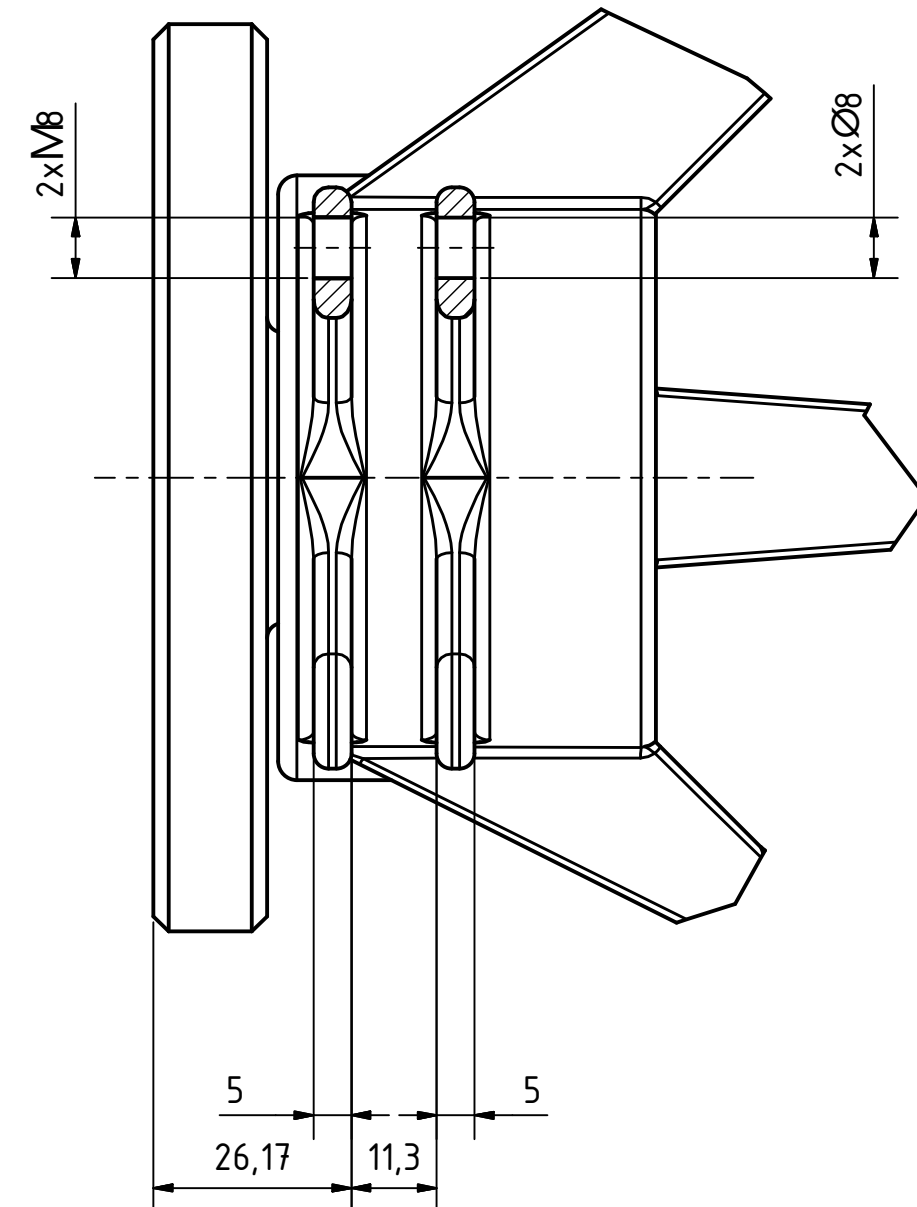
D-D (1:1)



C (1:2)



E (1:1)



Měřítko	1:5	Hmotnost (kg)	59,31	Promítání		Formát	A3x3
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	ŠLAJS.PAVEL		Název		Lychoběžníkové zavěšení	
	Datum	30.04.2018		Schválil		Číslo dokumentu	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Datum			Druh dokumentu		PS0000BP	
	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY				List 1 List 1	

Číslo polož.	Název - označení	Polotovár	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
1	Tělo závěsu	Svařenec	23,6		1
	PS0001BP	11 523			
2	Rameno – horní	Svařenec	4,67		2
	PS0002BP	15 230			
3	Rameno - dolní	Svařenec	6,53		2
	PS0003BP	15 230			
4	Těhlíce - levá	Odlitek	2,1		1
	PS0004BP	ČSN 42 2709			
5	Těhlíce - pravá	Odlitek	2,1		1
	PS0005BP	ČSN 42 2709			
6	Náboj		1,59		2
	PS0006BP	15 230			
7	Závěs – horní	Podsestav	0,298		2
	PS0007BP				
7/1	Tělo závěsu - horní		0,1		1
	PS1007BP	11 523			
7/2	Tělo závěsu – dolní		0,16		1
	PS2007BP	11 523			
7/3	Kluzné pouzdro		0,006		1
	PS3007BP	IGLIDUR P210			
7/4	Šroub M8x20		0,015		2
	ČSN ISO 4762				
7/5	Podložka pérová 8		0,001		2
	ČSN 02 1740				
14	Závěs - dolní	Podsestava	0,32		2
	PS0014BP				
14/1	Tělo závěsu		0,27		1
	PS1014BP	11 523			
14/2	Kluzné pouzdro		0,006		1
	PS2014BP	IGLIDUR P210			



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

KKS

KATEDRA
KONSTRUOVÁNÍ
STROJŮ

Kreslil

ŠLAJS.PAVEL

Datum

30.04.2018

Schválil

Datum

Druh dokumentu

SEZNAM POLOŽEK

Název

Lichoběžníkové zavěšení

Číslo dokumentu

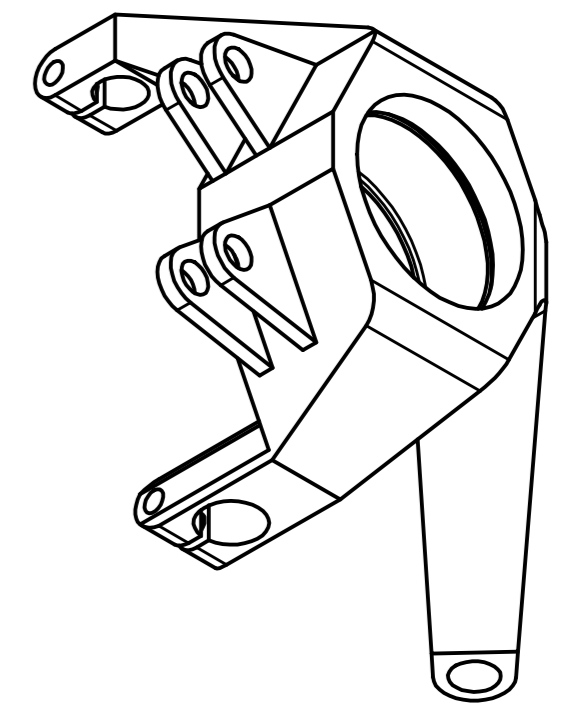
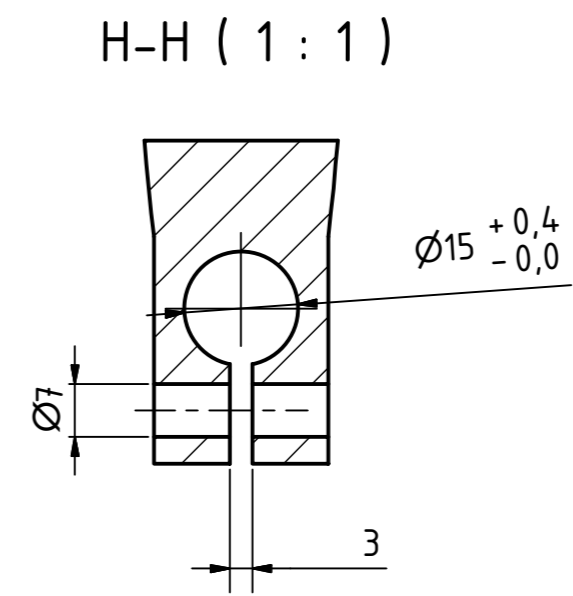
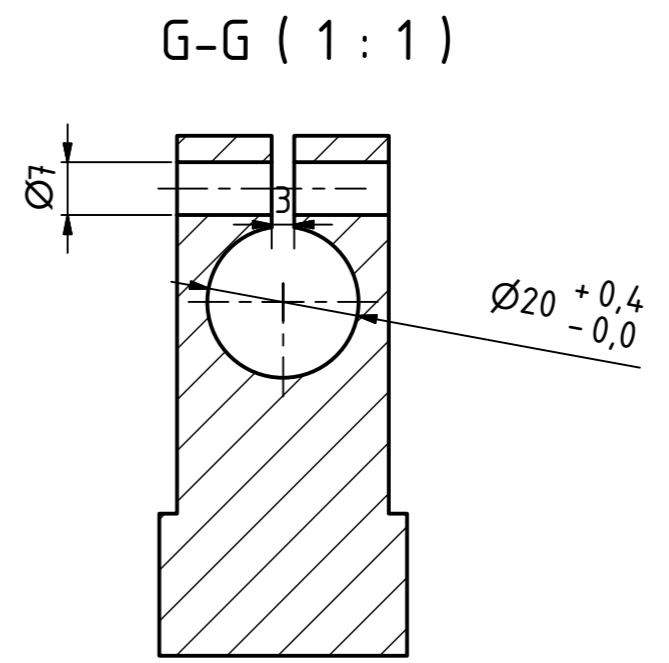
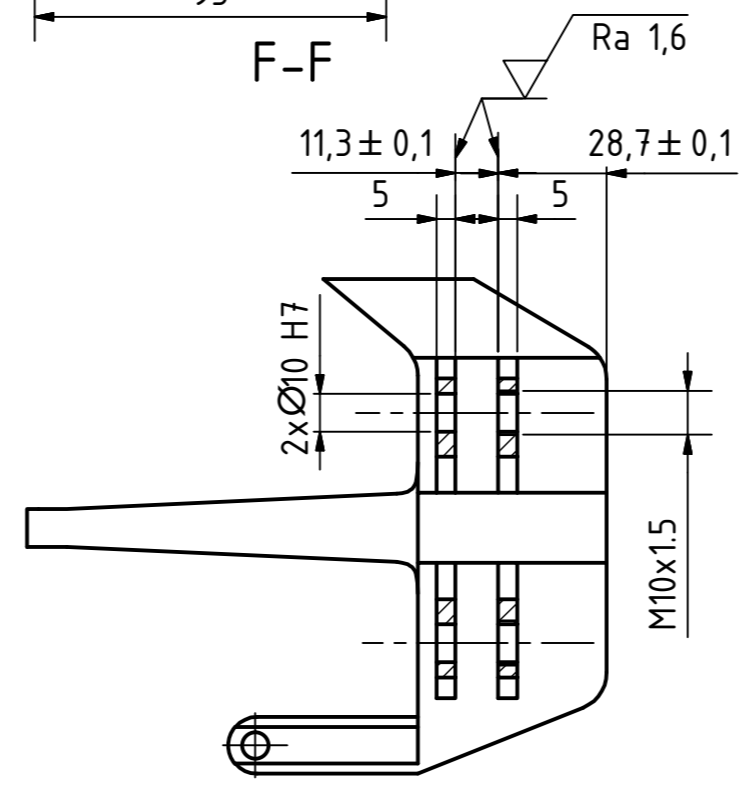
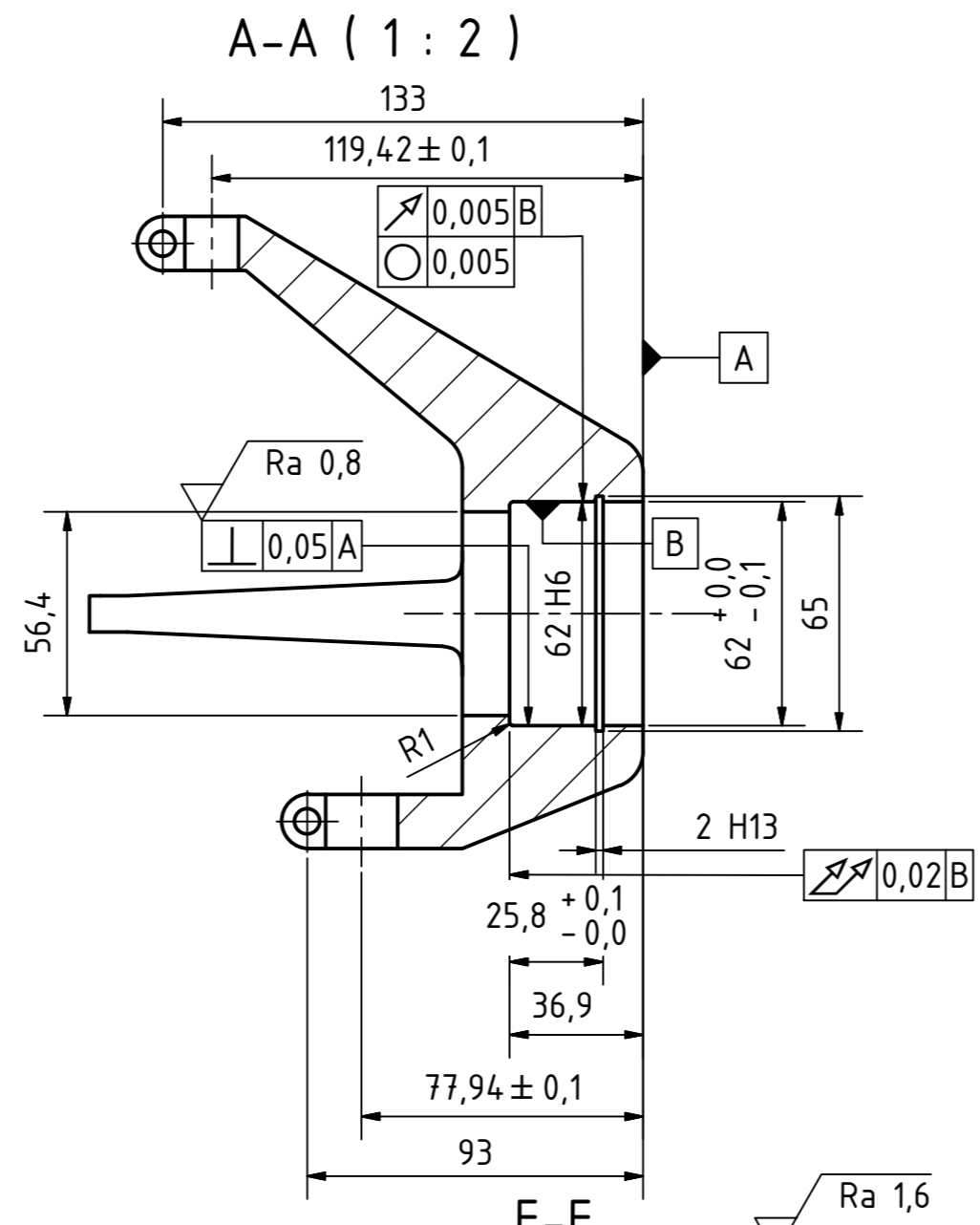
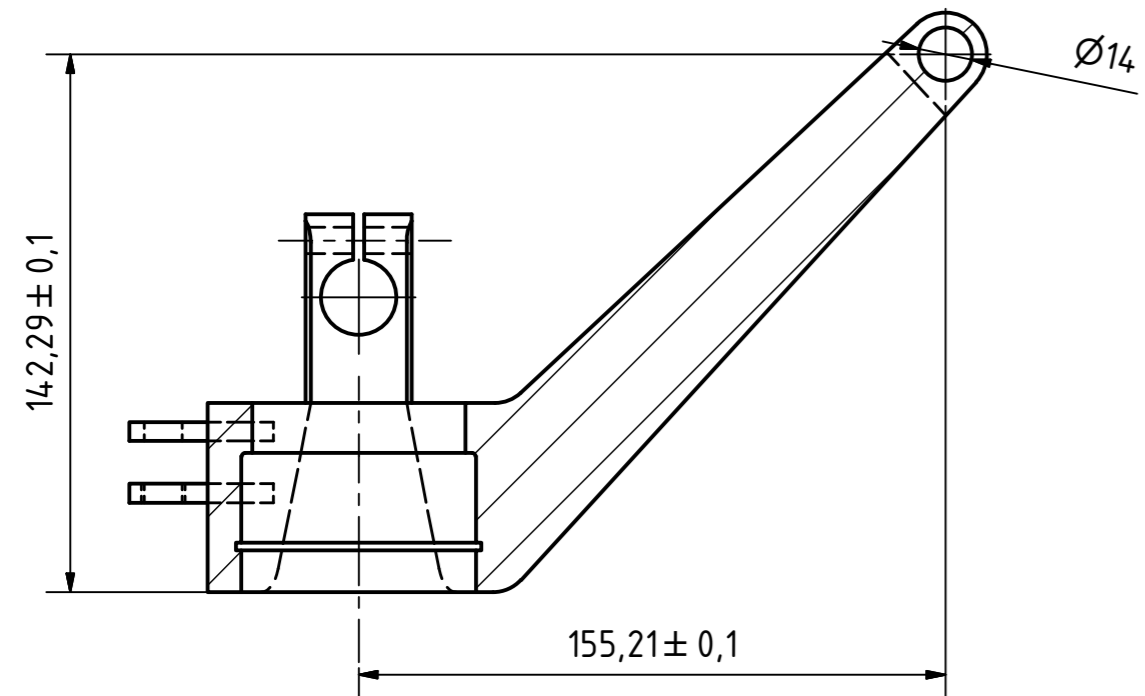
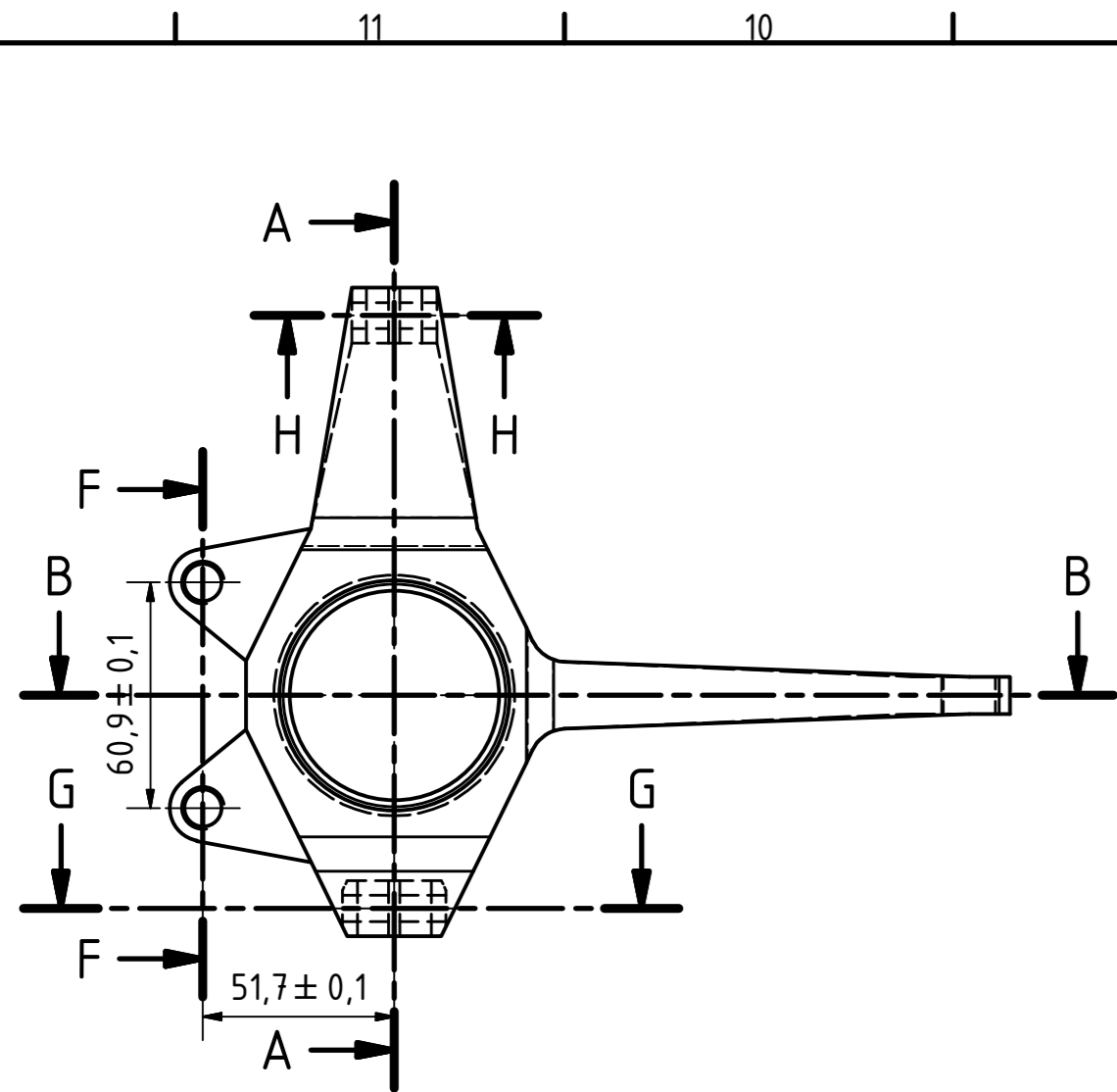
PS0000BP

Číslo polož.	Název - označení	Polotovár	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
18	Pouzdro	IGLIDUR P210	0,01		4
	PS0018BP				
19	Pouzdro	IGLIDUR P210	0,01		4
	PS0019BP				
20	Kulový čep - horní		0,27		2
	Externí nákup				
21	Kulový čep - spodní		0,45		2
	Externí nákup				
22	Čep s hlavou 22x78,15x6,3 B ISO 2341-St		0,268		4
	ČSN EN 22 341 (02 2109)				
23	Čep s hlavou 18x76,5x5 B ISO 2341-St		0,179		4
	ČSN EN 22 341 (02 2109)				
24	Čep s hlavou 16x48x4 B ISO 2341-St		0,093		2
	ČSN EN 22 341 (02 2109)				
25	Podložka 22		0,03		4
	ČSN EN ISO 7090				
26	Podložka 18		0,027		4
	ČSN EN ISO 7090				
27	Podložka 16		0,023		2
	ČSN EN ISO 7090				
28	Závlačka 6,3x32		0,007		4
	ČSN EN ISO 1234				
29	Závlačka 5x28		0,007		4
	ČSN EN ISO 1234				
30	Závlačka 4x26		0,006		2
	ČSN EN ISO 1234				
31	Šroub M8x40		0,21		2
	ČSN EN 24014				
32	Matice M8		0,007		4
	ČSN EN ISO 7040				

 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil	ŠLAJS.PAVEL	<p>Název</p> <p>Lichoběžníkové zavěšení</p>
	Datum	30.04.2018	
<p>KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</p>	Schválil		<p>Číslo dokumentu</p> <p>PS0000BP</p>
	Datum		
	Druh dokumentu	SEZNAM POLOŽEK	<p>List 2 Listu 3</p>

Číslo polož.	Název - označení	Polotovár	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
33	Šroub M8x35		0,02		2
	ČSN EN 24014				
34	Pojistný kroužek 62		0,01		2
	ČSN 02 2930				
35	Pojistný kroužek 30		0,003		2
	ČSN 02 2930				
36	Matice nízká M24		0,069		2
	ČSN EN ISO 4035 (02 1403)				
37	Matice nízká M20		0,04		2
	ČSN EN ISO 4035 (02 1403)				
38	Ložisko 3206 A-2ZTN9/MT33		0,29		2
	Externí nákup				
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					

 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil ŠLAJS.PAVEL Datum 30.04.2018	Název <h2>Lichoběžníkové zavěšení</h2>
	Schválil Datum	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu <h3>SEZNAM POLOŽEK</h3>	List 3 Listu 3



Textura povrchu Ra 6,3 (✓)	Hrany ISO 13715 -0,4 / +0,4	Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár Odlitek - ČSN 42 2709	Hmotnost (kg) 2,1	Tolerování ISO 8015	Formát A2
Kreslil ŠLAJS.PAVEL Datum 29.04.2018 Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Název Těhlice - levá	Číslo dokumentu PS0004BP	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			List 1 Listů 1