

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Konstrukční řešení vybraných celků vozidla

Design of Selected Vehicle Nods

Student:

Bc. Machálek Jakub

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Richtář Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Machálek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: **Konstrukční řešení vybraných celků vozidla**
Design of Selected Vehicle Nods

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problému
3. Výpočet základních požadavků na vozidlo
4. Řešení vybraných celků vozidla
5. Zhodnocení a doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy I, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Vlk, F.: Motorová vozidla I. Brno: VUT Brno. 1989. ISBN 80-214-0038-2
Svoboda, J.: Teorie dopravních prostředků. Praha: ČVUT Praha. 2000. ISBN 80-01-01613-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Richtář, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 25. 5. 2015

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 20. 5. 2015

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Machálek Jakub

Adresa trvalého pobytu autora práce: Hornická 1430/22, 748 01 Hlučín

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval celé své rodině a přítelkyni za podporu při studiu. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Richtářovi Ph.D. za vstřícný přístup a věcné připomínky při řešení práce, panu Ing. Josefu Neugebauerovi za pomoc při testování svarů a panu Ondřeji Chaloupkovi za pomoc při shánění materiálů a zajištění ohybů trubek pro konstrukci rámu vozidla. Velký dík patří také panu Ing. Lukáši Horňáčkovi za pomoc při navrhování rámu.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MACHÁLEK JAKUB. Konstrukční řešení vybraných celků vozidla. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 57s. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce: Ing. Richtář Michal, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem vybraných celků vozidla. V teoretické části popisuje základní pojmy a části vozidla. V praktické části jsou uvedeny konstrukční skupiny vozidla, které budou řešeny, výpočty dynamiky a omezení, které je potřeba dodržet. Následující kapitola je věnována konstrukčním návrhům vozidlového rámu, zavěšení kol a vlastní realizaci navrženého rámu. Poslední část shrnuje dosažené výsledky, její součástí je doporučení a závěr. Součástí diplomové práce jsou přílohy s modely navržených částí a další zpracovaná data.

Klíčová slova:

Konstrukční řešení, dynamika, rám vozidla, závěsy kol

ABSTRACT OF THE THESIS

MACHÁLEK JAKUB. Design of Selected Vehicle Nods. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2015, 57p. Thesis. Supervisor: Ing. Richtář Michal, Ph.D.

This thesis deals with the structural design of selected vehicle nods. The theoretical part describes the basic concepts and vehicle nods. The practical part presents the design of vehicles parts to be solved, calculations of dynamics and limits that are needed to comply. The following chapter is devoted to engineering design of vehicle frame, suspension and the actual implementation of the proposed frame. The last section summarizes the results, it includes recommendations and conclusions. The thesis also includes annexes with models designed parts and other processed data.

Klíčová slova:

Structural design, dynamics, vehicle frame, wheel suspension

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	9
1. Úvod	10
2. Teoretický rozbor problému	11
2.1. Vozidlový rám	11
2.2. Zavěšení kol	12
2.3. Ostatní vozidlové celky	13
3. Výpočet základních požadavků na vozidlo	15
3.1. Dynamika vozidla s použitím motoru 1.8 turbo	16
3.2. Základní požadavky na rám vozidla	22
3.3. Základní požadavky na zavěšení kol	25
4. Řešení vybraných celků vozidla	27
4.1. Vozidlový rám	27
4.1.1. Návrh rámu	27
4.1.2. Pevnostní kontrola rámu	30
4.1.3. Výpočet torzní tuhosti rámu	33
4.1.4. Vlastní výroba navrženého rámu	35
4.1.5. Testování svarů	41
4.2. Zavěšení kol	45
4.3. Ostatní vozidlové celky	51
5. Zhodnocení a doporučení	53
6. Závěr	55
Seznam příloh	56
Seznam použité literatury	57

Seznam použitých symbolů a zkratek

FIA – Mezinárodní automobilová federace (Fédération Internationale de l'Automobile)

DOCOL R8 – označení trubek z vysokopevnostní oceli od firmy ESAB

DOCOL 1000 DP – označení plechu z vysokopevnostní oceli od firmy ESAB

k_k – součinitel bezpečnosti pro kluz [-]

k_p – součinitel bezpečnosti pro pevnost v tahu [-]

σ_{\max} – maximální napětí v materiálu [MPa]

M_k – kroutící moment [N.m]

α – úhel natočení přední nápravy [deg]

C – torzní tuhost [N.m.deg⁻¹]

L – rozchod kol [mm]

F – zatěžující síla [N]

M^M – točivý moment motoru při určitých otáčkách [N.m]

i_p – převodový poměr p-tého rychlostního stupně [-]

i_r – převodový poměr rozvodovky [-]

R_d – dynamický poloměr kola [m]

O_v – odpor vzduchu [N]

c_x – součinitel odporu vzduchu [-]

S_x – čelní plocha vozidla [m²]

F_k – tažná síla na obvodu kol [N]

G – tíhová síla [N]

p – měrná hnací síla [-]

O_f – odpor valení [N]

f – součinitel odporu valení [-]

a – zrychlení [m.s⁻²]

1. Úvod

V diplomové práci se zabývám konstrukčním řešením vybraných vozidlových celků. Práce je rozdělena do tří hlavních částí. První část obsahuje teoretický rozbor vozidlových skupin. V druhé části diplomové práce se zabývám výpočty dynamických vlastností vozidla s vybraným typem pohonu, požadavky na rám vozidla a požadavky na zavěšení kol. Poslední část obsahuje konkrétní konstrukční návrh vozidlového rámu se závěsy kol, pevnostní analýzy rámu, postup při samotné realizaci navrženého rámu a zhodnocení výsledků.

Prvním cílem diplomové práce je vytvoření konstrukčního návrhu rámu dle požadovaných parametrů. Druhým cílem je samotná realizace navrženého rámu, která je zdokumentována v praktické části. Třetím cílem mé diplomové práce je navrhnout vhodné zavěšení kol k zmíněnému rámu.

2. Teoretický rozbor problému

Před samotným návrhem určitých celků vozidla a započítáním stavby, je třeba si uvědomit, stanovit a rozebrat problémy, které mohou nastat jak ve fázi návrhu, tak při samotné výrobě a montáži vozidlových částí. Hlavní otázkou je, k jakým účelům bude vozidlo používáno, co musí splňovat, jaké jsou nároky na jeho bezpečnost a další. Dále je třeba stanovit základní požadavky na vozidlové celky, které budou v této diplomové práci řešeny.

Důležité části vozidla jsem rozdělil do několika skupin, které budu podrobněji popisovat v následujících kapitolách a podkapitolách:

- vozidlový rám
- zavěšení kol
- odpružení
- pohonné ústrojí
- řízení
- brzdová soustava
- kola a pneumatiky
- příslušenství a výstroj

2.1. Vozidlový rám

Rám je jedním z nejdůležitějších celků vozidla, jelikož jsou k němu přichyceny ostatní vozidlové skupiny. Účelem rámu je spojovat a udržovat ve vhodné poloze hlavní skupiny vozidla. Rám je také prvkem vozidla přispívající k větší pasivní bezpečnosti, jelikož je schopen při nárazu absorbovat určité množství energie. Tuto pohybovou energii, kterou rám pohltí, můžeme pozorovat jako deformaci, která vzniká při nárazu a bezprostředně po něm. [1]

Hlavní úkoly rámu:

- nést karoserii, posádku, náklad a přenášení tíhových sil na nápravu,
- vést nápravy,
- nést a umožnit funkci hnacího ústrojí vozidla,
- přenášet hnací a brzdné síly z a na hnací ústrojí,
- zajistit bezpečnost posádky ve vozidle.

Požadavky kladené na rám vozidla:

- tuhost, pružnost a pevnost,
- nízká hmotnost,
- funkčnost s ohledem na ostatní celky vozidla,
- dlouhá životnost.

Při návrhu konkrétního rámu si musíme nejdříve ujasnit, k čemu bude určeno vozidlo, pro které budeme rám navrhovat. Dále musí být brán ohled na rozmístění vozidlových skupin (umístění pohonné jednotky, převodového ústrojí, systém zavěšení kol, atd.). Návrh musí být proveden s ohledem na díly, které budou použity z jiných vozidel a tomuto rámu také upravit. Poté si stanovíme základní rozměry a tvar rámu. Následně provedeme samotný návrh. Na závěr provedeme pevnostní analýzu, výpočet torzní tuhosti a další. Po celou dobu návrhu se snažíme navrhovat všechny části s ohledem na bezpečnost.

2.2. Zavěšení kol

Pojem „zavěšení kol“ je způsob, jakým je provedeno připojení kol ke karoserii nebo rámu vozidla. Z konstrukčního hlediska dělíme zavěšení kol na tři základní druhy a to: tuhounápravu, klikovou nápravu s propojovacím torzním prvkem a nezávislé zavěšení kol. [2]

Hlavní úkoly zavěšení kol:

- Umožňuje svislý relativní pohyb kola vzhledem k rámu nebo karoserii, potřebný z hlediska odpružení a eliminuje nežádoucí pohyby kola na přijatelnou hodnotu (naklápění kola, boční posuv), čímž umožňuje vedení kola. [2]
- Přenáší momenty a síly mezi kolem a rámem, jako jsou svislé síly (zatížení vozidla), podélné síly (hnací a brzděné), příčné síly (odstředivé) a momenty podélných sil (hnací a brzděný moment), tyto otázky jsou řešeny pevnostním výpočtem. [3]
- Umožňuje funkci odpružení, které se nejčastěji umísťuje mezi rameny závěsů kola nebo nápravnicí a rámem.

Při návrhu konkrétního zavěšení kol je nutné nejprve určit vhodný typ zavěšení, stanovit si délku ramen a poté navrhnout ramena závěsů kol a systém propojení ramen k použitým vozidlovým celkům a k rámu.

2.3. Ostatní vozidlové celky

Pohonné ústrojí

Pohonné ústrojí vozidla můžeme rozdělit na dvě základní části a to pohonnou jednotku (motor) a převodné ústrojí. Motor je zdrojem mechanické energie, v dnešní době se většinou jedná o vozidlové spalovací motory zážehové, nebo vznětové, které přeměňují energii chemickou obsaženou v palivu na energii mechanickou, případně motory elektrické, které využívají elektrickou energii případně kombinace obojího (hybridní vozidla). Převodné ústrojí tvoří všechna ústrojí spojující motor s hnacími koly, která uskutečňují přenos točivého momentu nebo jeho přerušování ke změně jeho velikosti nebo smyslu. Bývá tvořeno zpravidla spojkou, převodovkou, rozvodovkou s diferenciálem a hnacími hřídelemi kol. [4]

Odpružení

Odpružením se zmenšuje přenos kmitavých pohybů náprav vozidla na jeho podvozkové části, rám příp. karoserii. Chrání tak posádku a přepravovaný náklad před nežádoucími otřesy. Odpružení zvyšuje životnost některých dílů podvozku a zajišťuje stálý styk pneumatiky s vozovkou i při přeježdění nerovností, díky tomu je zajištěn přenos obvodových sil hnacích a brzdících, čímž se zvyšuje také bezpečnost. [3]

Řízení

Řízení slouží k udržování nebo ke změně směru jízdy vozidla. Dle konstrukce se dělí na řízení jednotlivými koly a řízení celou nápravou. Hlavními požadavky na řízení jsou snadná, rychlá a bezpečná ovladatelnost, dále pak musí být mechanismus řízení navrhnut tak, aby nevznikaly nežádoucí kmity a rázy v řízení. [3]

Brzdové zařízení

Brzdové zařízení se skládá z veškerých brzdových soustav ve vozidle. Hlavní funkcí je snížení rychlosti pohybujícího se vozidla nebo jeho úplné zastavení a dále slouží k zajištění již stojícího vozidla. Brzdění vozidla se dosahuje zpravidla záměrně vyvolaným třením mezi rotujícími a pevnými částmi vozidla, např. mezi brzdovým kotoučem a brzdovými destičkami. Tímto se přeměňuje mechanická rotační energie na energii tepelnou, která je odváděna do okolního prostředí. [3]

Kola a pneumatiky

Kola s pneumatikami jsou spojovacím článkem mezi vozidlem a vozovkou. Jejich úkolem je nést hmotnost vozidla, nákladu a posádky. Dále přenášejí síly a momenty mezi vozidlem a vozovkou. Pneumatika je důležitým činitelem v pružící soustavě vozidla, jelikož je schopna pohlcovat a tlumit určité množství vibrací, čímž přispívá ke komfortu posádky a zvyšuje bezpečnost. [3]

Výstroj a příslušenství

Výstrojí vozidla rozumíme zařízení a přístroje pevně spojená s vozidlem, která ale nejsou nezbytně nutná pro jeho činnost. Mezi výstroj patří (např. zpětná zrcátka, tachometr, bezpečnostní pásy, vnitřní osvětlovací zařízení, atd.) Příslušenstvím vozidla jsou zařízení a přístroje pevně spojená s vozidlem, která jsou nezbytně nutná pro jeho činnost. Jedná se o pomocná zařízení a pomocné přístroje a prostředky jako jsou (např. elektrické zapalovací zařízení, spouštěcí zařízení, chladicí systém, atd.) [5]

U řešeného návrhu budou pohoná jednotka, brzdová soustava a části příslušenství a výstroje použity převážně z vozidla Škoda Octavia RS 1. generace s motorem 1.8T (132kW) a vozidla Volkswagen Passat 5. generace s motorizací 1.8T (110kW). Tyto díly však nebudou v této diplomové práci dále řešeny.

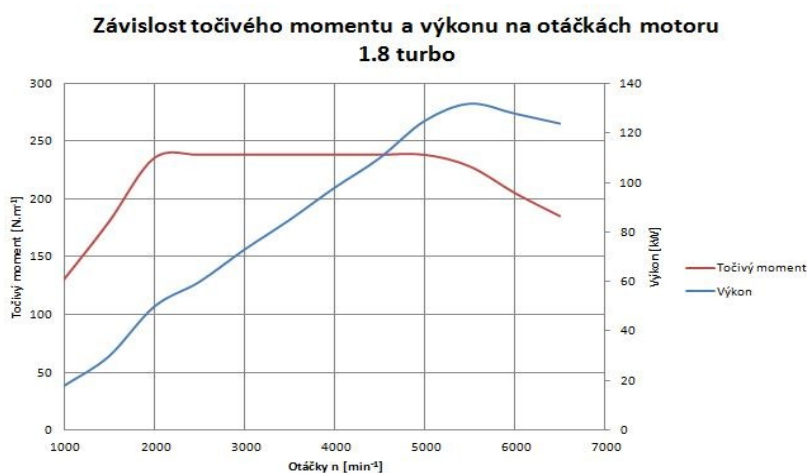
3. Výpočet základních požadavků na vozidlo

Před samotným konstrukčním návrhem vozidla je třeba si ujasnit základní vlastnosti a požadavky kladené na vozidlové celky. Vozidlo mělo být původně používáno pro jízdu pouze po silnici a mělo být osazeno motocyklovým motorem, což by užívání vozidla značně omezilo. Po čase, jsem tedy od této myšlenky upustil a rozhodl jsem se vytvořit dvoumístné vozidlo, které se bude schopno pohybovat jak po silnici, tak i v terénu. Nakonec jsem zavrhl i použití motocyklového motoru a to kvůli absenci zpětného chodu. Pohonnou jednotku jsem následně zvolil z vozidla Škoda Octavia RS 1.generace. Jedná se o zážehový přeplňovaný čtyřválec s výkonem 132kW na obr. 3.1. je jeho výkonová charakteristika. Převodová skříň se z tohoto vozidla použít nedala, jelikož bude v mém vozidle motor uložený podélně, kdežto u zmíněného vozidla, je uložen napříč. Převodová skříň bude použita z vozidla VolksWagen Passat 5generace. Jedná se o pětistupňovou, manuální tříhřídelovou převodovku, jejíž data jsou uvedena v následující podkapitole. V této kapitole, uvádím základní rozměry, hmotnost vozidla, výkon pohonné jednotky a další data, která jsem si stanovil pro konstrukční návrh rámu a zavěšení kol. V následující tabulce 3.1. uvádím základní požadavky na vozidlo.

Tabulka 3.1. Základní požadavky na vozidlo [autor]

Dvoulístné vozidlo s motorem před zadní nápravou		
Rozměry		
Maximální šířka	2000	[mm]
Maximální délka	3600	[mm]
Maximální výška	1400	[mm]
Hmotnost		
Celková hmotnost vozidla	700	[kg]
Výkon		
Výkon motoru	132	[kW]
Poměr váha/výkon	6/1	[kg/kW]
Zrychlení 0-100km/h do	8	[s]

3.1. Dynamika vozidla s použitím motoru 1.8 turbo



Obrázek 3.1. Charakteristika motoru 1.8 turbo [autor]

V této podkapitole jsem vycházel z hodnot zadaných v předchozí podkapitole a pomocí výpočtů jsem zjistil teoretické dynamické vlastnosti navrhovaného vozidla. V následujících tabulkách 3.2.-3.4. uvádím hodnoty zvolené pro navrhované vozidlo. V další části jsou uvedeny vzorové výpočty dynamiky vozidla pro 1. převodový stupeň při otáčkách motoru 2500 min⁻¹.

B [mm]	2000
H[mm]	1400
Sx[m ²]	2,52
Cx	0,33
hmotnost [kg]	700
tíha G[N]	6867
g[m.s-2]	9,81

Obrázek 3.2. Rozměry a hmotnost [autor]

Tabulka transmisi				
rych. Stupeň	ip	is	ic	β
I.	3,3	3,684	12,1572	1,5
II.	1,944	3,684	7,161696	1,41
III.	1,308	3,684	4,818672	1,32
IV.	1,029	3,684	3,790836	1,23
V.	0,837	3,684	3,083508	1,14
R.	3,06	3,684	11,27304	1,5

Obrázek 3.3 Transmise zvolené převodovky [autor]

η	0,94
prumer disku	17 palců
šírka pneu	225 mm
poměr	45 %
Rd	0,31715 m

Obrázek 3.4. Účinnost a rozměr pneumatik [autor]

Hnací síla na kolech automobilu

$$F_k = \frac{M^M \cdot i_p \cdot i_r \cdot \eta}{R_d} = \frac{238 \cdot 3,3 \cdot 3,684 \cdot 0,94}{0,317} = 8575,78 \text{ [N]} \quad \text{účinnost volena } \eta=0,94$$

Rychlost vozidla na jednotlivé převodové stupně

$$V = \frac{2\pi \cdot R_d \cdot n^M}{60 \cdot i_p \cdot i_r} \cdot 3,6 = \frac{2\pi \cdot 0,317 \cdot 2500 \cdot 0,94}{60 \cdot 3,3 \cdot 3,684} = 24,57 \text{ [km/h]}$$

Odpor vzduchu

$$O_v = 0,05 \cdot c_x \cdot S_x \cdot V^2 = 0,05 \cdot 0,33 \cdot 2,52 \cdot 24,57^2 = 25,11 \text{ [N]}$$

Měrná hnací síla

$$p = \frac{F_k - O_v}{G} = \frac{8575,78 - 25,17}{6857} = 1,089 \text{ [-]}$$

Odpor valení

$Of = Gv \cdot \cos \alpha \cdot f = [N]$ součinitel odporu valení volím $f=0,015$ do rychlosti 70km/h, nad tuto rychlost platí vztah $f = 0,015 \cdot (1+(0,0065 \cdot (V-70)))$

Zrychlení (a)

$$a = \left(\frac{g}{\delta}\right) \cdot (p - f) = \left(\frac{9,81}{1,5}\right) \cdot (1,089 - 0,015) = 7,027[m.s^{-2}]$$

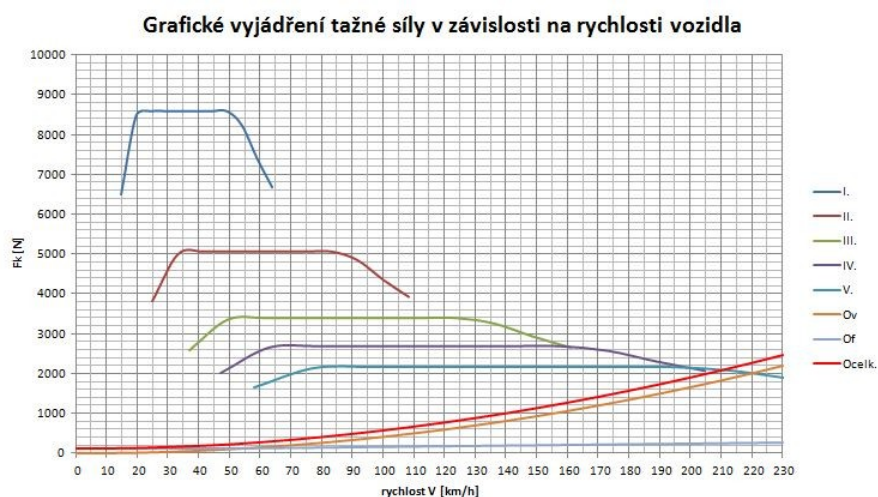
Nyní jsme si shrnuli veškeré důležité vzorce pro výpočet hodnot potřebných k sestavení charakteristik vozidla. Tyto vzorce jsem zpracoval do tabulky v programu EXCEL. Veškeré hodnoty jsou uvedeny v tabulkách na obrázcích 3.5. a 3.6. Následně jsem z těchto hodnot sestrojil charakteristiky, které mi dají představu o dynamických vlastnostech budoucího vozidla. Charakteristiky jsou znázorněny na obr. 3.7, 3.8, 3.9.

1. rychlostní stupeň								
n [min-1]	Mm[N.m]	Pm [kW]	Fk l.[N]	V l.[km.h-1]	Ov [N]	Of [N]	P [N.N-1]	a [m.s-2]
1000	130	18	4684,25	9,82974	4,01762	-	-	-
1500	180	30	6485,88	14,7446	9,03964	117,72	0,82529	5,29927
2000	235	50	8467,68	19,6595	16,0705	117,72	1,07691	6,94491
2500	238	60	8575,78	24,5744	25,1101	117,72	1,08953	7,02746
3000	238	73	8575,78	29,4892	36,1586	117,72	1,08813	7,01825
3500	238	85	8575,78	34,4041	49,2158	117,72	1,08646	7,00737
4000	238	98	8575,78	39,319	64,2819	117,72	1,08454	6,99482
4500	238	110	8575,78	44,2338	81,3568	117,72	1,08237	6,98059
5000	238	125	8575,78	49,1487	100,44	117,72	1,07994	6,96468
5500	228	132	8215,45	54,0636	121,533	117,72	1,03134	6,64683
6000	205	128	7386,7	58,9784	144,634	117,72	0,92279	5,93696
6500	185	124	6666,05	63,8933	169,744	117,72	0,82777	5,31549
2. rychlostní stupeň								
n [min-1]	Mm[N.m]	Pm [kW]	Fk l.[N]	V l.[km.h-1]	Ov [N]	Of [N]	P [N.N-1]	a [m.s-2]
1000	130	18	2759,45	16,6863	11,5772	-	-	-
1500	180	30	3820,78	25,0294	26,0487	117,72	0,48353	3,25976
2000	235	50	4988,23	33,3726	46,3088	117,72	0,62971	4,27678
2500	238	60	5051,91	41,7157	72,3576	117,72	0,6345	4,31014
3000	238	73	5051,91	50,0589	104,195	117,72	0,63044	4,28191
3500	238	85	5051,91	58,402	141,821	117,72	0,62565	4,24856
4000	238	98	5051,91	66,7452	185,235	117,72	0,62012	4,21007
4500	238	110	5051,91	75,0883	234,439	125,372	0,61385	4,15967
5000	238	125	5051,91	83,4314	289,43	125,372	0,60684	4,11092
5500	228	132	4839,65	91,7746	350,211	133,024	0,57205	3,86207
6000	205	128	4351,44	100,118	416,78	140,675	0,50136	3,36346
6500	185	124	3926,91	108,461	489,137	140,675	0,43804	2,92296
3. rychlostní stupeň								
n [min-1]	Mm[N.m]	Pm [kW]	Fk l.[N]	V l.[km.h-1]	Ov [N]	Of [N]	P [N.N-1]	a [m.s-2]
1000	130	18	1856,67	24,7998	25,573	-	-	-
1500	180	30	2570,77	37,1997	57,5392	117,72	0,32024	2,26847
2000	235	50	3356,28	49,5996	102,292	117,72	0,41463	2,96995
2500	238	60	3399,13	61,9995	159,831	117,72	0,41275	2,95604
3000	238	73	3399,13	74,3994	230,157	125,372	0,40379	2,8822
3500	238	85	3399,13	86,7993	313,269	133,024	0,3932	2,79625
4000	238	98	3399,13	99,1992	409,167	140,675	0,38098	2,69819
4500	238	110	3399,13	111,599	517,852	148,327	0,36713	2,58802
5000	238	125	3399,13	123,999	639,324	155,979	0,35166	2,46574
5500	228	132	3256,31	136,399	773,582	163,631	0,31635	2,19611
6000	205	128	2927,82	148,799	920,627	171,283	0,25576	1,73855
6500	185	124	2642,18	161,199	1080,46	178,934	0,199	1,30946

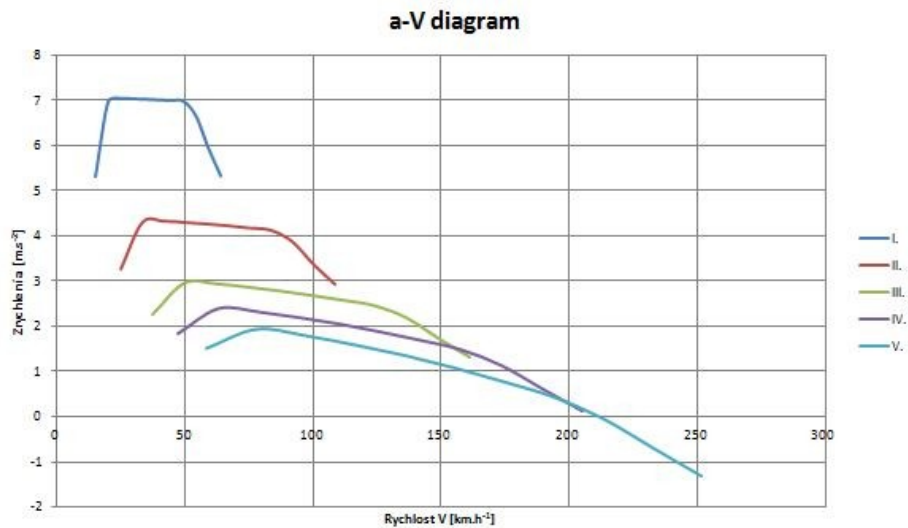
Obrázek 3.5. Hodnoty pro sestavení charakteristik-1.část [autor]

4. rychlostní stupeň									
n [min-1]	Mm[N.m]	Pm [kW]	Fk l.[N]	V l.[km.h-1]	Ov [N]	Of [N]	P [N.N-1]	a [m.s-2]	
1000	130	18	1460,63	31,5239	41,3205	-	-	-	
1500	180	30	2022,42	47,2859	92,9712	117,72	0,24585	1,84118	
2000	235	50	2640,38	63,0479	165,282	117,72	0,31538	2,39571	
2500	238	60	2674,08	78,8099	258,253	133,024	0,30783	2,31993	
3000	238	73	2674,08	94,5718	371,885	140,675	0,29335	2,19667	
3500	238	85	2674,08	110,334	506,176	148,327	0,27624	2,05242	
4000	238	98	2674,08	126,096	661,128	163,631	0,25649	1,8794	
4500	238	110	2674,08	141,858	836,74	171,283	0,23412	1,69315	
5000	238	125	2674,08	157,62	1033,01	178,934	0,20911	1,48591	
5500	228	132	2561,73	173,382	1249,95	194,238	0,16715	1,13572	
6000	205	128	2303,31	189,144	1487,54	201,89	0,10395	0,62386	
6500	185	124	2078,59	204,906	1745,79	209,542	0,04241	0,12527	
5. rychlostní stupeň									
n [min-1]	Mm[N.m]	Pm [kW]	Fk l.[N]	V l.[km.h-1]	Ov [N]	Of [N]	P [N.N-1]	a [m.s-2]	
1000	130	18	1188,1	38,7552	62,4519	-	-	-	
1500	180	30	1645,06	58,1329	140,517	117,72	0,19171	1,52064	
2000	235	50	2147,71	77,5105	249,808	125,372	0,24183	1,94357	
2500	238	60	2175,13	96,8881	390,324	140,675	0,22742	1,80277	
3000	238	73	2175,13	116,266	562,067	155,979	0,20554	1,59768	
3500	238	85	2175,13	135,643	765,036	163,631	0,17968	1,36674	
4000	238	98	2175,13	155,021	999,23	178,934	0,14983	1,09316	
4500	238	110	2175,13	174,399	1264,65	194,238	0,11601	0,78535	
5000	238	125	2175,13	193,776	1561,3	201,89	0,07822	0,45169	
5500	228	132	2083,74	213,154	1889,17	217,193	0,02479	-0,02481	
6000	205	128	1873,54	232,531	2248,27	232,497	-0,04775	-0,66582	
6500	185	124	1690,75	251,909	2638,59	240,149	-0,12077	-1,30262	

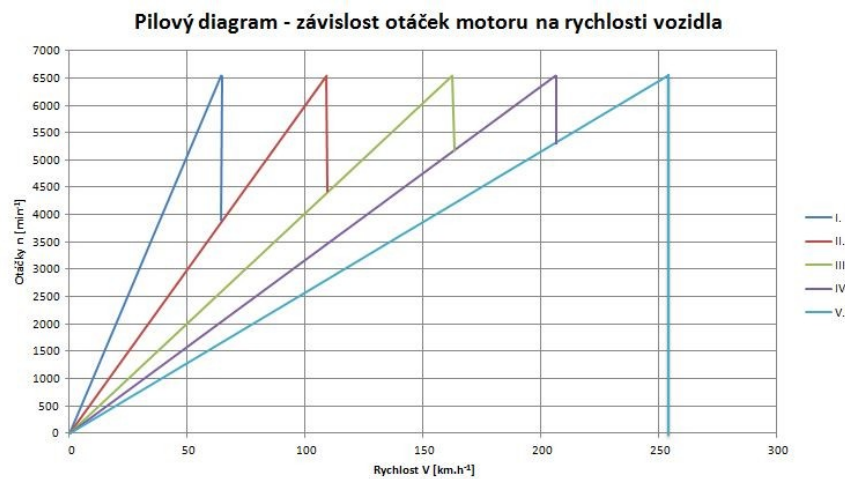
Obrázek 3.6. Hodnoty pro sestavení charakteristik-2.část [autor]



Obrázek 3.7. Závislost tažné síly na rychlosti vozidla



Obrázek 3.8. Závislost zrychlení na rychlosti



Obrázek 3.9. Pilový diagram

Z výsledných charakteristik můžeme vyčíst, že maximální hodnota zrychlení je 7 m.s^{-2} . To bude mít za následek velmi dobrou hodnotu zrychlení z 0-100km/h. Teoretická maximální rychlost vozidla 210 km/h je také velmi vysoká. U hotového vozidla bude muset být omezena na nižší hodnotu, opět z důvodu bezpečnosti.

3.2. Základní požadavky na rám vozidla

Požadavky na rám vozidla, který je hlavní částí mé diplomové práce jsem stanovil v této kapitole. Rám vozidla jsem rozdělil na tři základní části. Na čelní část vozidla, kde bude jeho hlavním úkolem nést závěsy kol, baterii, řízení a bude mít také funkci bezpečnostní, dále na zadní část vozidla, kde bude umístěna pohonná jednotka a závěsy zadních kol a na střední část vozidla, která bude určena pro posádku. Tato prostřední část je nejdůležitější částí celého vozu, a při návrhu jsem se snažil řídit nařízením řádu FIA - přílohy J čl. 253. Vzhledem k tomu, že se jedná o část nosné konstrukce automobilu a zároveň o ochrannou konstrukci posádky, nebudu se zabývat kotvením ochranného rámu do podlahy vozu.

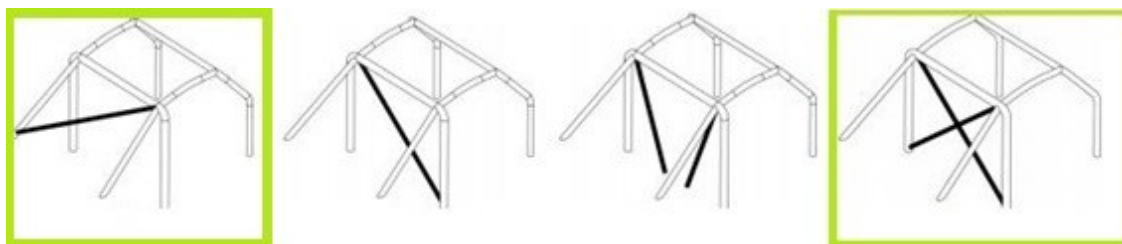
Základní struktura ochranného rámu posádky na obr.3.10. musí být dle přílohy J, vytvořena jedním ze tří uvedených způsobů (a,b,c):

- a) 1x hlavní oblouk, 1xpřední oblouk, 2 podélné vzpěry, 2xzadní vzpěry
- b) 2xboční půloblouky, 2xpříčné vzpěry, 2xzadní vzpěry
- c) 1x hlavní oblouk, 2x boční půloblouk, 1 příčná vzpěra, 2 zadní vzpěry

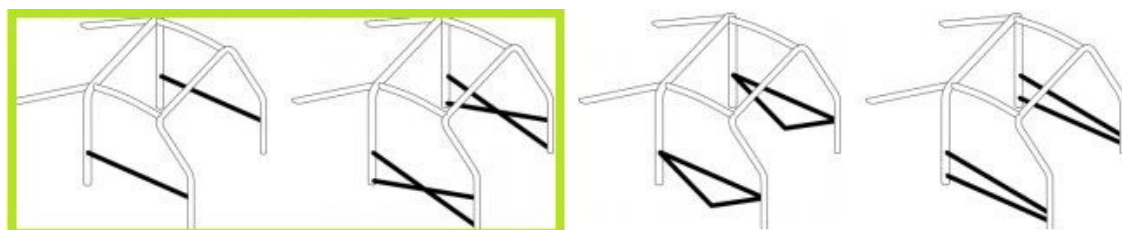


Obrázek 3.10. Základní struktura ochranného rámu posádky: a),b),c) [6]

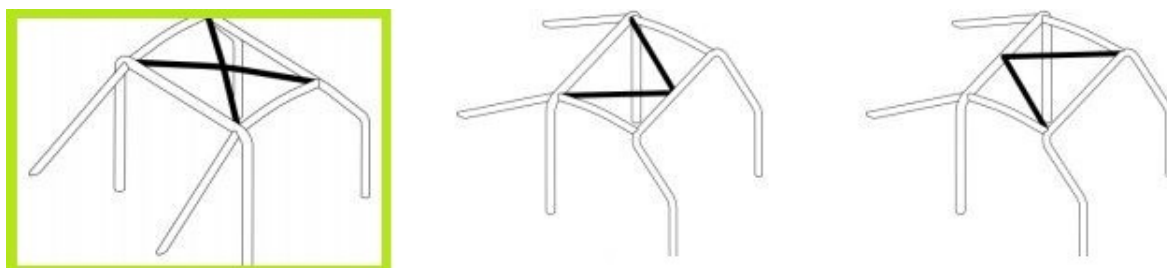
Po stanovení základní struktury ochranného rámu, zeleně označený typ z obr. 3.10, musela být struktura rámu doplněna povinnými vzpěrami a diagonálami (obr. 3.11 a 3.12.). Horní část bezpečnostní konstrukce musí být provedena jedním ze způsobů na (obr.3.13.) Opět jsem zeleně vyznačil typ vzpěr a diagonál, které jsem volil.



Obrázek 3.11. Vzpěry hlavního oblouku dle FIA [6]



Obrázek 3.12. Povinné vzpěry a diagonály [6]

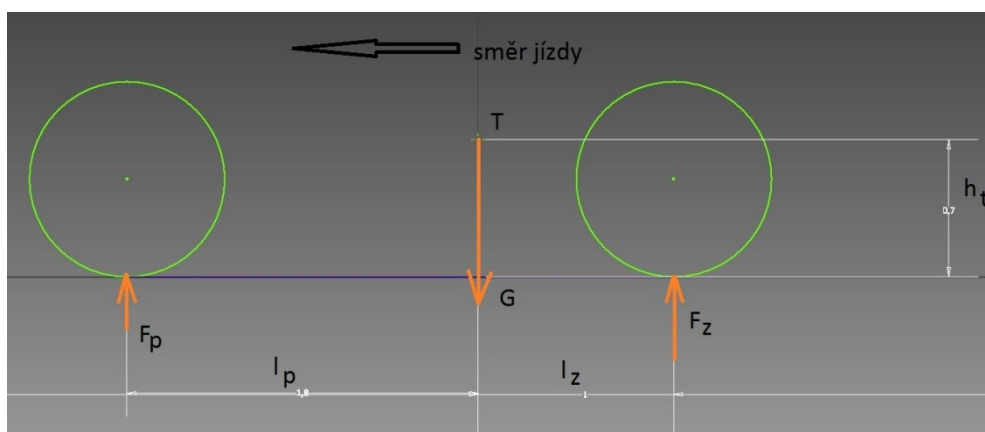


Obrázek 3.13. Horní část bezpečnostní konstrukce [6]

Dalším omezením dle přílohy J, je minimální hodnota poloměru ohybu trubek ochranného rámu. Stanovuje, že poloměr ohybu nesmí být menší, než je trojnásobek vnějšího průměru ohýbané trubky, což bude zohledněno při samotném návrhu rámu.

Výpočet zatížení nápravy při brzdění

Abych mohl vypočítat zatížení náprav při brzdění, musel bych znát aspoň přibližnou polohu těžiště. Vzhledem k tomu, že ji neznám, ale vím, že motor bude uložen před zadní nápravou, volím těžiště blíže zadní nápravě. Výšku těžiště odhaduji opět na základě zamýšlené koncepce vozidlového rámu. Poloha těžiště je zobrazena na obr. 3.14.



Obrázek 3.14. Poloha těžiště [autor]

Tíha na přední nápravu statická

$$F_p^s = G \cdot \frac{l_z}{l} = 6867 \cdot \frac{1}{2,8} = 2452,5 \text{ [N]}$$

Tíha na zadní nápravu statická

$$F_z^s = G \cdot \frac{l_p}{l} = 6867 \cdot \frac{1,8}{2,8} = 4414,5 \text{ [N]}$$

Brzdné zpomalení

$$a = b = g \cdot \mu = 9,81 \cdot 0,9 = 8,829 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad \text{pro suchý asfalt volím } \mu = 0,9$$

Poměrné zpomalení

$$z = \frac{b}{g} = \frac{8,829}{9,81} = 0,9[-]$$

Zatížení přední nápravy

$$Z_p = m \cdot g \cdot \left(\frac{l_z}{l} + z \cdot \frac{h}{l} \right) = 700 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{1}{2,8} + 0,9 \cdot \frac{0,7}{2,8} \right) = 3998 \text{ [N]}$$

Zatížení zadní nápravy

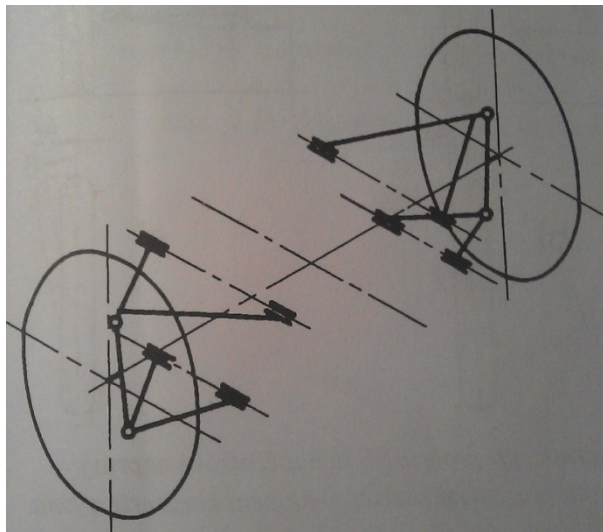
$$Z_z = m \cdot g \cdot \left(\frac{l_p}{l} - z \cdot \frac{h}{l} \right) = 700 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{1,8}{2,8} - 0,9 \cdot \frac{0,7}{2,8} \right) = 2869 \text{ [N]}$$

Maximální zatížení přední nápravy při maximálním brzdění se velmi blíží statické tíhové síle působící na zadní nápravu, držáky zavěšení kol a samotné ramena budou použity stejné na přední i zadní nápravě.

3.3. Základní požadavky na zavěšení kol

V předchozí podkapitole jsem shrnul omezení, základní požadavky na rám vozidla a v poslední části jsem provedl výpočty zatížení náprav při brzdění. U zavěšení kol volím jako základní požadavek jednoduchost konstrukce a levné prvky zavěšení jako jsou čepy a silentbloky ramen. Proto jsem už v této fázi vybral zavěšení formou lichoběžníkových ramen a zvolil stejné těhlice jak pro přední tak i zadní nápravu, které budou použity z již zmiňovaného vozu Škoda Octavia.

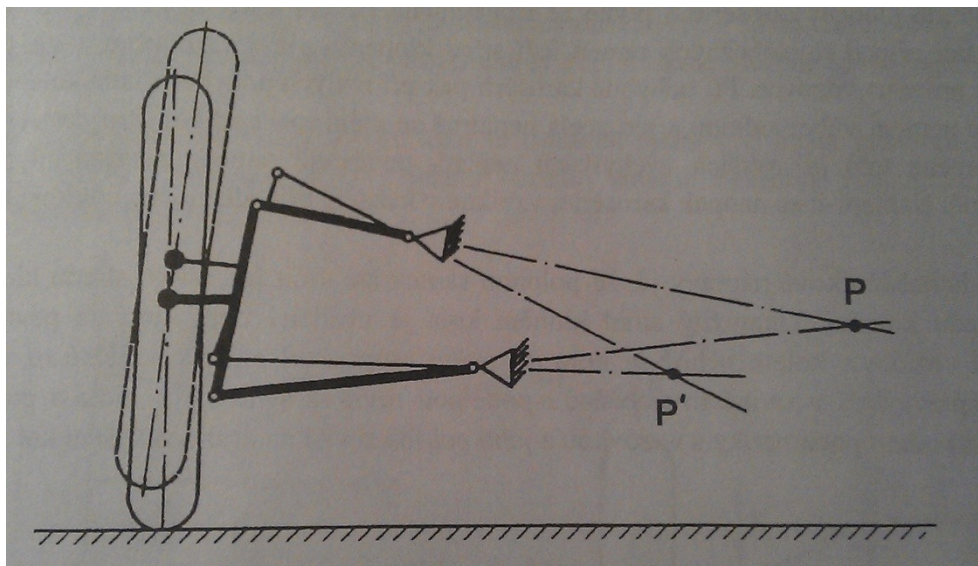
Schéma lichoběžníkové nápravy je znázorněno na obr.3.15.. Skládá se ze dvou příčných trojúhelníkových ramen. Každé z ramen bude uchyceno ve třech bodech. Ve dvou bodech bude uchyceno k rámu pomocí pryžových silentbloků. A v dalším bodě bude uchyceno k čepu. Díky jednoduchosti konstrukce lichoběžníkových výkyvných ramen, je tato konstrukce používána hojně u závodních vozidel, jelikož se vhodnými úpravami (např. prodloužení, zkrácení) ramen dají měnit kinematické vlastnosti zavěšení kol.



Obrázek 3.15. Lichoběžníková ramena [3]

Důležitým parametrem, který určuje změnu odklonu kol při propružení je střed klopení kola. Je to bod, ve kterém se protínají osy procházející body uložení spodního a horního ramene obr. 3.16. Obecně můžeme říci, že čím je větší vzdálenost středu klopení kola od osy vozidla, tím menší změny odklonu kol při propružení vznikají. Mou snahou bude umístit tento bod co nejdál od kola a to v nekonečno, což znamená, že

použiji zavěšení kol, které bude mít rovnoběžná ramena, ale ne stejně dlouhá, jelikož by se při propružení sice nezměnil úhel svírající kolo a vozovka, ale měnil by se rozchod, což by mělo za následek velké opotřebování pneumatik viz. obr 3.17. Pokud dojde k propružení, tak kratší horní rameno vykoná menší úhlovou dráhu než spodní a tím zajistí, že se horná část kola přiblíží k rámu vozidla více než dolní část, tím vznikne mírný záporný odklon kola, což má pozitivní vliv na stabilitu vozidla. Zároveň bude změna rozchodu kol minimální.



Obrázek 3.16. Střed klopení kola [3]



Obrázek 3.17. Rovnoběžná ramena - střed klopení v nekonečno [autor]

4. Řešení vybraných celků vozidla

V předchozí kapitole, jsem si stanovil základní požadavky a omezení na vozidlo, pro které budu rám a zavěšení kol navrhovat. V této kapitole a následujících podkapitolách se budu věnovat konstrukčnímu návrhu rámu, jeho samotné realizaci a testování svarů, dále pak návrhu zavěšení kol vozidla a poslední podkapitola bude věnována ostatním vozidlovým celkům.

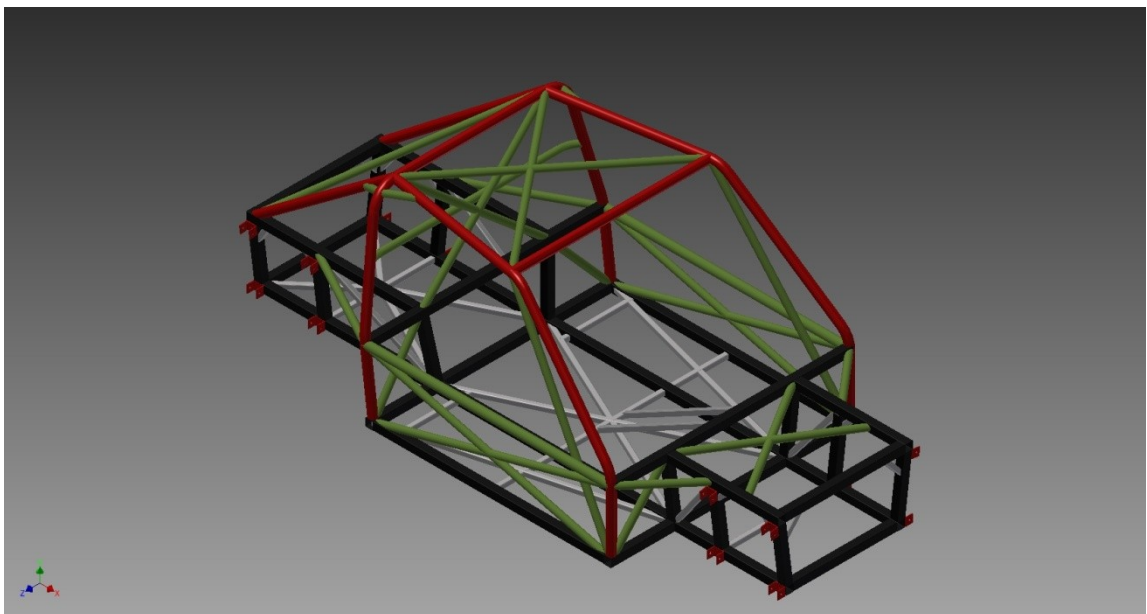
4.1. Vozidlový rám

4.1.1. Návrh rámu

V předchozí kapitole jsem si určil základní parametry a rozměry rámu vozidla, také jsem zvolil typ konstrukce formou příhradových nosníků. Výhody tohoto typu rámu jsou hlavně snadná zástavba jednotlivých dílů vozidla, vysoká tuhost rámu při zachování nízké hmotnosti, jednoduché uchycení závěsů kol k rámu vozidla a dále má tento rám plnit funkci ochrannou. Hlavní nevýhodou tohoto rámu je relativně velká pracnost výroby.

Kompletní návrh jsem prováděl v prostředí programu Autodesk Inventor 2015 a to tak, že jsem si nejdříve změřil prostor pro posádku u již stávajícího vozidla Škoda Citigo 1.0 MPi a z těchto rozměrů jsem dále vycházel. První fází bylo rozvrhnout si půdorys vozidla na již zmíněné tři části, a to: přední, zadní a část pro posádku (obr.4.1.) tak, aby nevznikl problém při zástavbě jednotlivých dílů a vznikl dostatečný prostor pro posádku a zvolenou pohonnou jednotku. Začal jsem náčrtem do půdorysné roviny.

Ve chvíli, kdy jsem měl výslednou síťovou konstrukci hotovou, musel jsem si ujasnit, z jakých materiálů budu rám stavět, přičemž bylo třeba opět dbát na to, aby byly dodrženy základní požadavky. Hlavní podélné nosníky a výztuhy čtvercových průřezů jsem zvolil z materiálu S355 jenž je obdobou ČSN 11523. Jedná se o uzavřené nosníky čtvercového průřezu 50x50x2 mm na obr.4.3. (černá barva) a uzavřené čtvercové nosníky průřezu 30x30x3mm na obr.4.3. (šedá barva). Ochrannou část rámu, jakožto hlavní ochranný prvek, jsem volil z jiného materiálu. Jedná se o vysokopevnostní ocel označovanou jako DOCOL R8. Základní vlastnosti těchto trubek jsou vysoká tažnost, dobrá svařitelnost, pevnostně se chovají podobně jako trubky z chrommolybdenu a využívají se pro výrobu ochranných rámu v NASCAR . Trubky o průřezu 50x2mm jsou znázorněny červenou barvou a trubky 40x2 mm jsou znázorněny zelenou barvou. Tyto materiály jsem vybral hlavně pro jejich vlastnosti a všude jsem mohl použít materiály s tloušťkou stěn 2mm, tím jsem dosáhl výsledného odlehčení rámu o 50kg. Základní vlastnosti použitých materiálů jsou uvedeny v tab. 4.1., pro příklad jsem uvedl i klasickou konstrukční ocel a chrommolybdenovou ocel.



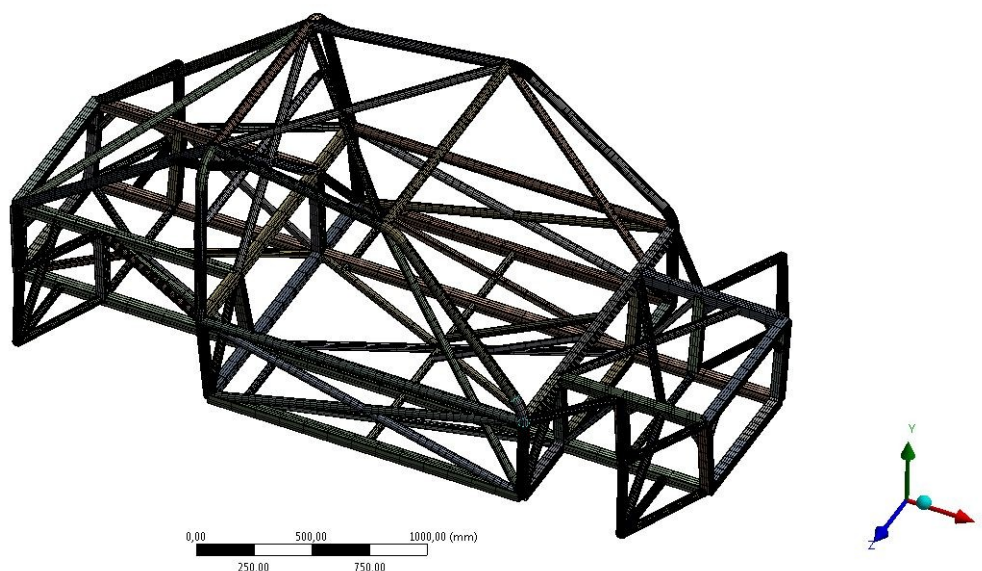
Obrázek 4.3. Výsledný návrh rámu [autor]

Tabulka 4.1. Základní vlastnosti materiálů [autor]

Materiál	Re [Mpa]	Rm [Mpa]	Tažnost [%]
DOCOL R8	690	800	13
CrMo ČSN 15130	700	800	12
S355	355	510	-
S235	235	360	-

4.1.2. Pevnostní kontrola rámu

Jakmile byl celý rám navržen, bylo třeba provést pevnostní kontrolu rámu. Tu jsem nejdříve provedl v programu Autodesk Inventor 2015, ale ani po několika pokusech jsem bohužel nedostal relevantní výsledek, jelikož i při opakování stejně nadefinovaných simulací nebyly výsledky stejné. Tudíž jsem pro kontrolu rámu použil program Ansys Workbench. Výpočet je proveden metodou konečných prvků, na obr. 4.4. je vidět základní struktura rámu po převedení do programu Ansys Workbench.



Obrázek 4.4. MKP [autor]

Jakmile byly nadefinovány materiály, bylo nutno provést nadefinování počátečních podmínek. Rám jsem podepřel v místech závěsů kol a to tak, že byl podepřen v jednom bodě pevnou vazbou a v ostatních bodech posuvnými vazbami a to z toho důvodu, aby výsledky nebyly zkresleny vetknutím nosníků v několika místech. Dále jsem na rám umístil síly, které představovali hmotnosti řidiče, spolujezdce, pohonné jednotky, a dalších vybraných celků. Tyto síly jsem situoval do míst, kde budou později přichyceny jednotlivé vozidlové skupiny. Tam, kde bylo míst uchycení více, jsem sílu rozložil na více menších sil do více míst. Díky tomu, že jsem prováděl také samotnou stavbu vozidla, bylo možno u jednotlivých dílů, které budu používat, změřit jejich hmotnost. Z hmotnosti jsem jednoduše určil výsledné síly a ty jsem použil u statické analýzy. Některé součásti byly vynechány a zanedbány vzhledem ke své malé hmotnosti, to ovšem nemá téměř žádný vliv na výsledek simulace. Veškeré tíhové síly a vazby použité v simulaci jsou uvedeny v tab. 4.2 a tab. 4.3 níže, a mají barvy, jež odpovídají barvám použitým v obr. 4.5 a 4.6 z pevnostní analýzy.

Tabulka 4.2. působící síly [autor]

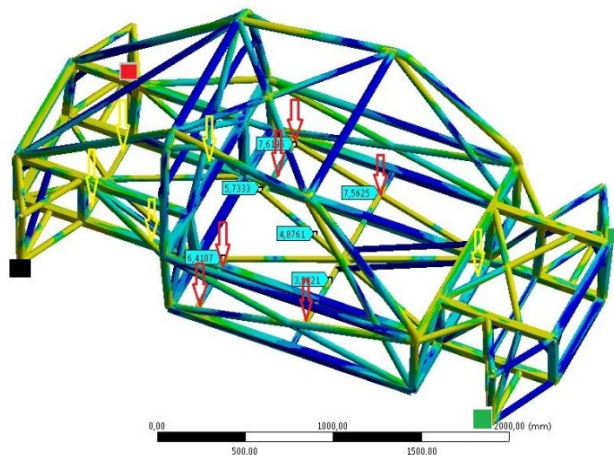
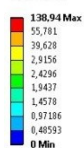
Síla	Velikost síly [N]
Motor+převodovka	2000
Sedačka a řidič/spolujezdec	2 x 1050
Chladič, baterie, pedály, řízení	350

Tabulka 4.3. vazby v modelu [autor]

Vazby	X	Y	Z
LZ	volná	x	x
PZ	x	x	x
LP	volná	x	volná
PP	volná	x	volná

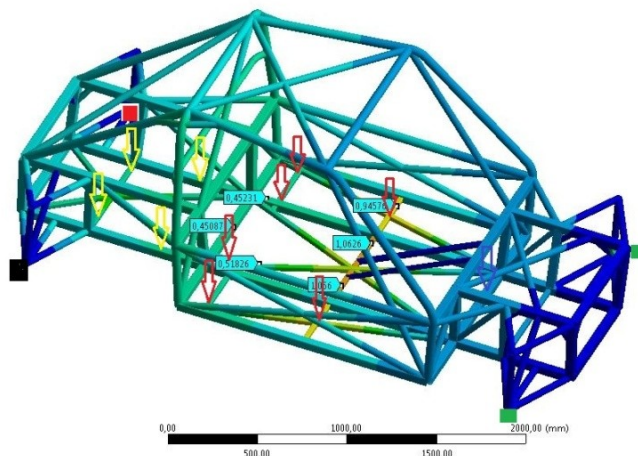
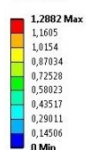
Na obr.4.9. jsou šipkami znázorněné síly působící na rám vozidla, které jsou uvedeny v tabulce 4.2. a barevné kostičky představují vazby z tabulky 4.3. maximální napětí je 12.8 MPa. Na obr.4.10. je vidět maximální průhyb konstrukce při statickém zatížení.

B: pruhyb
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 16.1.2015 8:20



Obrázek 4.5. Maximální napětí [autor]

B: pruhyb
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 16.1.2015 8:19



Obrázek 4.6. Maximální průhyb [autor]

Z těchto analýz usuzuji, že rám vyhověl, jelikož při statickém zatížení je maximální průhyb nosníku 1.2 mm a maximální napětí je 12.8 MPa. Nyní ještě porovnám výslednou hodnotu maximálního napětí s mezí kluzu a s mezí pevnosti v tahu materiálu S355, čímž získám ukazatele míry bezpečnosti rámu.

Součinitel bezpečnosti S355 (pro kluz):

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{355}{12,8} = 27,7 [-]$$

Součinitel bezpečnosti S355 (pro pevnost v tahu):

$$k_p = \frac{R_m}{\sigma_{max}} = \frac{510}{12,8} = 39,8 [-]$$

Součinitel bezpečnosti DOCOL R8 (pro kluz):

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{690}{12,8} = 53,9 [-]$$

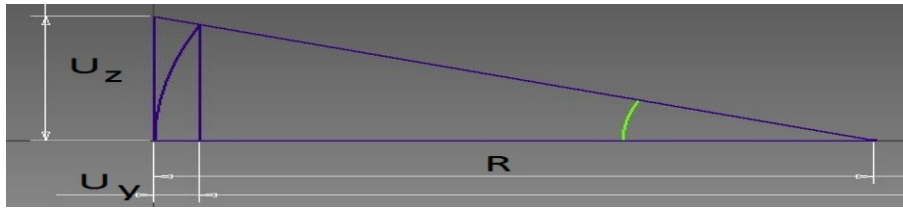
Součinitel bezpečnosti DOCOL R8 (pro pevnost v tahu):

$$k_p = \frac{R_m}{\sigma_{max}} = \frac{800}{12,8} = 62,5 [-]$$

Z vypočtených hodnot usuzuji, že navržený rám vyhověl kontrole, a že maximální napětí by muselo být 27,7 krát větší, aby došlo k trvalé deformaci nosníku a 39,8 krát větší, aby došlo k roztržení nosníku z materiálu S355. U materiálu DOCOL jsou součinitele bezpečnosti vyšší a napětí v trubkách by muselo být téměř 54 krát větší, aby došlo k trvalé deformaci trubky a 62,5 krát větší aby došlo k roztržení trubky.

4.1.3. Výpočet torzní tuhosti rámu

Torzní tuhost rámu velmi ovlivňuje chování vozu při průjezdu zatáčkou, brzdění, zrychlení a při průjezdu nerovnostmi. Torzní tuhost je poměr krouticího momentu a deformace rámu (úhlová výchylka). Jelikož rám pevnostní kontrole vyhověl a chci znát výpočtovou torzní tuhost rámu, bylo třeba provést další simulaci v programu Ansys Workbench. V tab. 4.4. jsou opět uvedeny vazby a síla působící na rám.



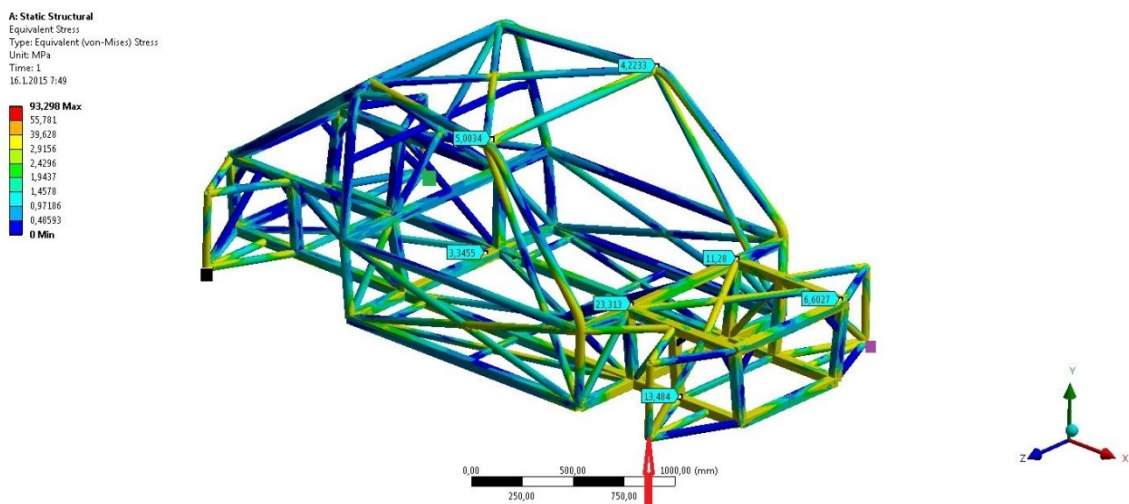
Obrázek 4.7. Schéma pro výpočet torzní tuhosti, pohled na vůz zepředu

$$C = \frac{M_k}{\alpha} \quad \text{tento vztah upravím podle obrázku 4.7.}$$

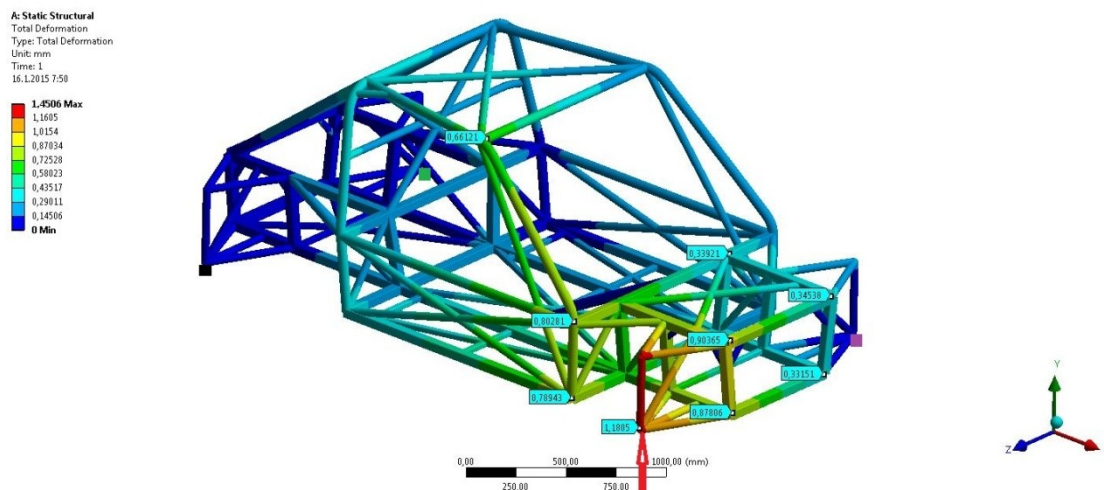
$$C = \frac{F \cdot R}{\tan^{-1}\left(\frac{U_z}{R - U_y}\right)} = \frac{1000 \cdot 1,6}{\tan^{-1}\left(\frac{1,45}{1600 - 0,6}\right)} = 30802 \text{ N.m.deg}^{-1}$$

Tabulka 4.4. Vazby a síla působící na rám [autor]

Vazby	X	Y	Z
LZ	x	x	x
PZ	x	x	volná
LP	volná	x	volná
PP	volná	1000N	volná



Obrázek 4.8. Maximální napětí v rámu při měření torzní tuhosti [autor]



Obrázek 4.9. Maximální deformace a posun rámu při měření torzní tuhosti [autor]

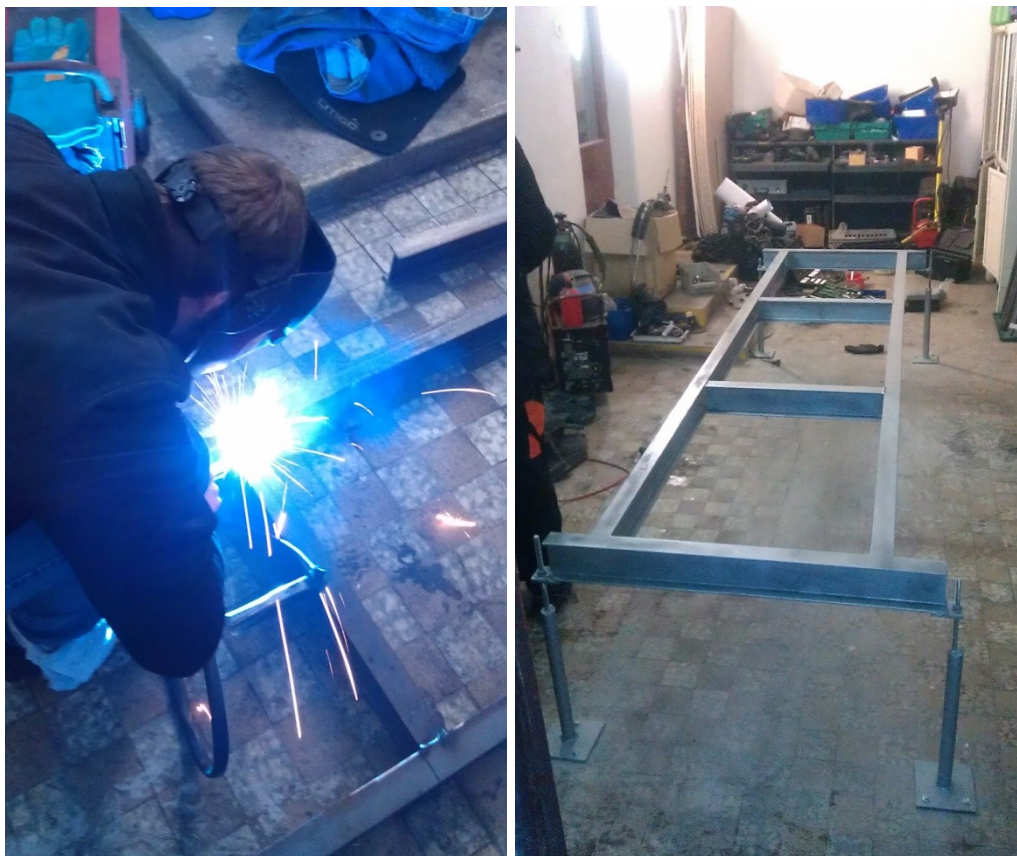
S výslednou hodnotou torzní tuhosti jsem spokojen, jelikož hodnota $30802 \text{ N.m.deg}^{-1}$, je velmi vysoká a ukazuje, že aby se rám natočil o 1° , je třeba jej kroutit momentem 30802 N.m . Tím se přibližuje hodnotám torzní tuhosti karoserií automobilů, jako jsou BMW E46, Alfa Romeo 159 a dalším. S výslednými hodnotami jsem spokojen a proto, mohu přistoupit k samotné výrobě rámu.

4.1.4. Vlastní výroba navrženého rámu

Na samotném začátku jsem vytvořil pracovní rovinu z profilů průřezu I a výšce 130 mm , kterou jsem musel svařit a zakotvit do země. Dále jsem rovinu nastavil do vodorovné polohy a to pomocí stavěcích šroubů umístěných v rozích konstrukce viz. obr. 4.10.

K výrobě rámu jsem zvolil technologii svařování metodou MAG (metal active gas). Jedná se o svařování v ochranné aktivní atmosféře, kde jsem jako ochrannou atmosféru zvolil plyn CO_2 a přídavný materiál jsem zvolil drát o průměru 1.0 mm OK AristoRod 69. Veškeré trubky a profily jsem nařezal podle rozměrů navrženého rámu. Největším problémem při řezání materiálu bylo nařezání průniků dvou a více trubek pod úhlem. Půjčení řezačky průniků trubek by byla finančně velmi náročná, tak jsem použil jednoduchého, ale účinného řezání za pomoci úhlové brusky. Abych byl schopen trubky správně nařezat, pomohl jsem si tak, že jsem si vytiskl rozvin vnější plochy trubky, ten

jsem vytiskl a následně jej nalepil na konec trubky a podle něj oddělil konce na obr. 4.11 a 4.12.



Obrázek 4.10. Tvorba pracovní roviny / Hotová pracovní rovina [autor]

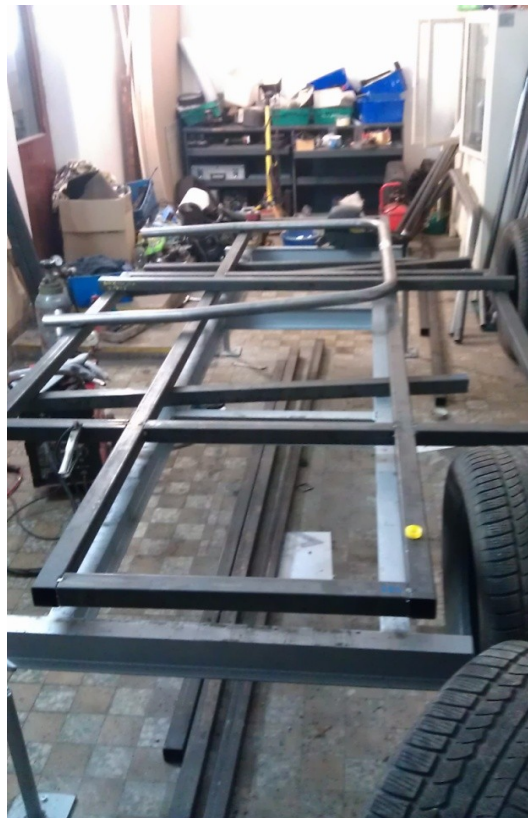


Obrázek 4.11. Rozvin trubky [autor]

Dále jsem začal vytvářet spodní rovinu rámu ze čtvercových profilů 50x50x2 mm, jakmile byla hotova spodní část obr 4.13., bylo třeba vyrobit další část rámu, která je rovnoběžná se spodní rovinou. Tyto části byly přivařeny současně s hlavním obloukem a bočními půloblouky obr. 4.14. Jakmile byly tyto hlavní části rámu svařeny k sobě, následovalo postupné dovařování ostatních důležitých celků a to hlavně diagonálních vzpěr a další.



Obrázek 4.12. Odříznuté konce trubek [autor]



Obrázek 4.13. Spodní část rámu [autor]

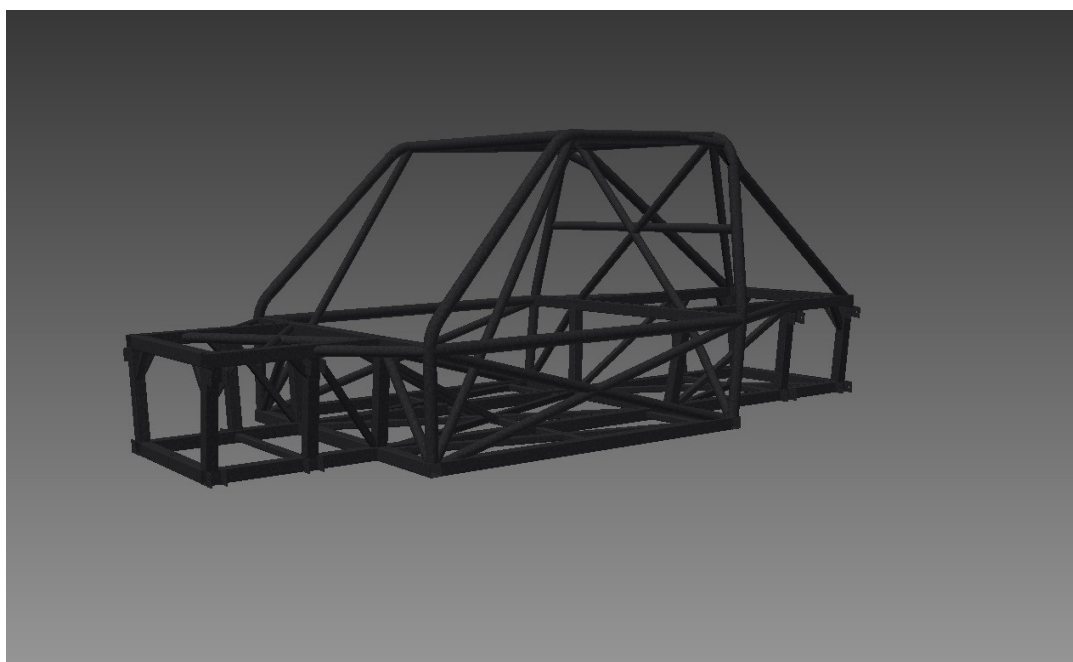


Obrázek 4.14. Hlavní části stavěného rámu [autor]

Po celou dobu svařování konstrukce bylo třeba neustále přeměřovat úhly a vzdálenosti mezi trubkami, diagonály a další. To vše z důvodu toho, že je konstrukce svařovaná, svary se při tuhnutí snaží stahovat a to má za následek jeho deformaci. Výsledný rám, odpovídá v hlavní struktuře navrhovanému rámu. Po dovaření posledního hlavního nosníku jsem rám přeměřil a zjistil, že se rám lehce zkroutil. Rám je dlouhý 3400 mm a v místech spodních závěsů kol má šířku 700 mm. Přední levá část je o 6 mm výše než zbytek rámu. Tato deformace vznikla právě tuhnutím a stahováním svarů. Na obr. 4.15. a 4.17. je výsledný rám, který je porovnáván s rámem navrženým na obr. 4.16. a 4.18. Výsledek hodnotím kladně, jelikož výsledný rám odpovídá navrženému a deformace, která vznikla je minimální. Rám jsem nestihl dodělat celý, což bylo zapříčiněno především velkou časovou náročností i tím, že jsem většinu času na rámu pracoval sám.



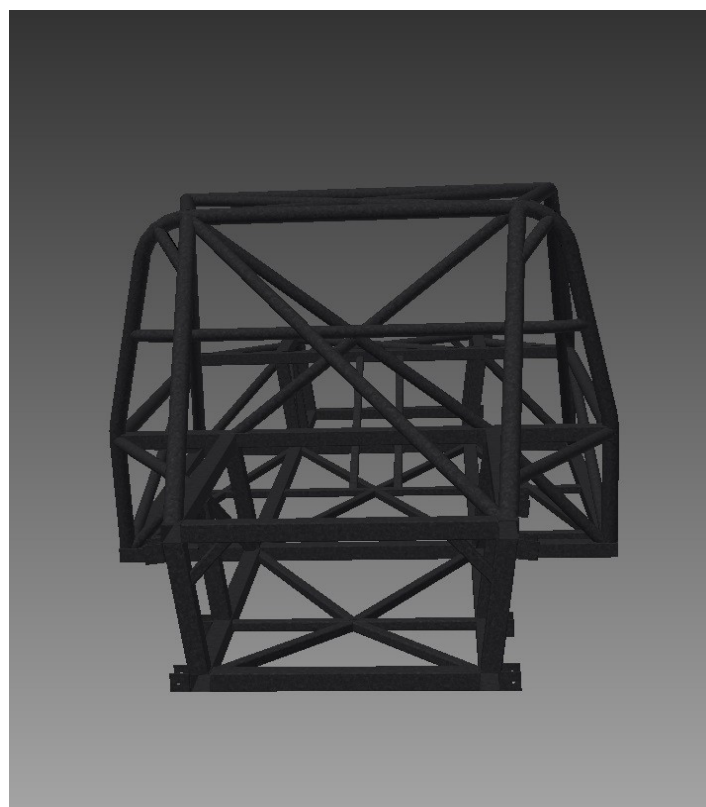
Obrázek 4.15. Výsledný rám [autor]



Obrázek 4.16. Navržený rám [autor]



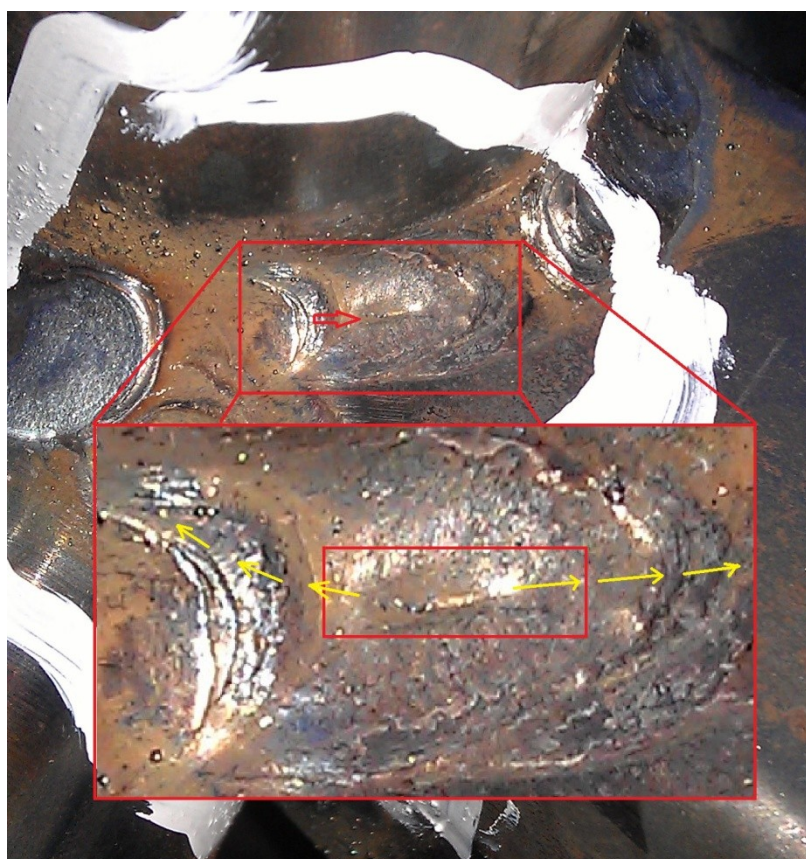
Obrázek 4.17. výsledný rám [autor]



Obrázek 4.18. Navržený rám [autor]

4.1.5. Testování svarů

Jakmile jsem rám kompletně svařil, rozhodl jsem, že bude zapotřebí provést defektoskopii svarů. Tímto jsem si chtěl prohloubit znalosti v oblasti kvality svarových spojů a také konstrukce, také by mi výsledek měl dát přehled o tom, na kolik je daná konstrukce a především svary kvalitní. Kontrola svarů může být provedena buď destruktivní zkouškou (například jeho zlomením) nebo nedestruktivně. Jelikož nechci svary poškodit, použiji nedestruktivní defektoskopii svarů, které jsou nejrozšířenější skupinou zkoušek. Výhodou těchto zkoušek je většinou jednoduchost, ale žádná nedestruktivní zkouška nám nedá 100% jistotu, že svar odolá např. cyklickému namáhání a nedá nám přehled ani o plasticitě svaru atd.



Obrázek 4.19. Podélná trhлина ve svaru [autor]

Vnější vady svarů se tedy mohou kontrolovat metodou vizuální, penetrační nebo magneticko-práškovou. Vnitřní vady svarů se zjišťují metodami prozářením (rentgen) nebo ultrazvukem. Některé vady svarů mohou být zjevné, ty jsou viditelné pouhým okem a není třeba další defektoskopie. Například to mohou být trhliny ve svaru, póry, rozstřík a další. První zmíněná vada (trhlina) je vidět na obrázku 4.19. Žlutými šipkami je vyznačen směr kam by se trhlina mohla šířit. Veškeré svarové vady jsem opravil přebroušením a znovu svařením postižených míst. Při opravách svarů je třeba dbát na to, abychom nenarušili základní materiál. Každá svarová vada má nějaké označení a může být buď přípustná, nebo nepřípustná.

Technologii testování svarů jsem zvolil penetrační (kapilární) metodou. Tato metoda využívá vztlínivosti kapaliny. Postup jak jsem toto testování prováděl je uveden dále. S ohledem na typ svařované konstrukce a omezení možností dílny byla tato metoda jediná dostupná a to jak finančně, tak co se provedení testu týče, jelikož k její provedení jsem potřeboval jen kvalitní osvětlení testovaných míst a 3 spreje na obr 4.20 (zleva odmašťovač, penetrant a práškový sprej „vývojka“).

Postup testování svarů metodou kapilární (penetrační):

Základním předpokladem pro dobrý výsledek testu je dokonalé očištění testovaného svaru od rozstříků materiálu, strusky a dalších nečistot, které vznikly při svařování. To jsem provedl pomocí ocelového kartáče a úhlové brusky s kotoučem s ocelovými kartáčky po obvodu.

Ve chvíli, kdy jsem svar dokonale mechanicky očistil, bylo třeba místo dokonale odmastit. K tomu jsem použil několik malých hadříků a první sprej ze sady (odmašťovač) na testování materiálu penetrační metodou a místo testovaného svaru dokonale odmastil viz. obr. 4.21a. Sprejem se na svar stříká z velké blízkosti, aby se případné nečistoty v mikrotrhlinách vyplavily ven. Pokud bych místo odmastil špatně, znehodnotilo by to výsledek celého testu. Ve chvíli, kdy mám místo odmaštěno, musím počkat asi 5 minut, než z malých trhlinek a pórů vyprchají zbytky odmašťovače.

Následovalo nanesení penetrační kapaliny. Jedná se o velmi vzlínavou kapalinu, která postupně vteče do všech malých trhlinek v materiálu obr. 4.21b. Jakmile mám naneseno, musel jsem se občas na svar podívat, jestli mi kapalina nikam neztekla, pokud ano, musel jsem přidat více penetrantu na dané místo. Tato druhá fáze trvala přibližně 10-30 minut.



Obrázek 4.20. Spreje na kapilární testování defektů svarů [autor]

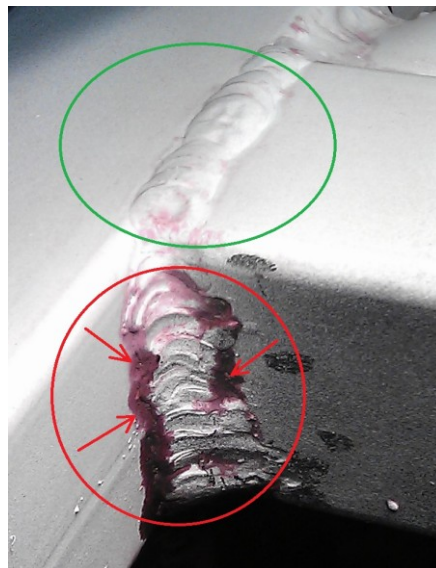
Další fáze spočívala opět v očištění dané oblasti. Tentokrát ovšem jen odmašťovačem, který jsem nanesl na hadřík a tím očistil danou testovanou oblast. Jde o to, odstranit veškerý penetrant, který je nanesen na materiálu, ale zároveň nesmíme vyčistit trhliny a dutiny svaru, jelikož nesprávné očištění má za následek znehodnocení celé zkoušky. Tato fáze je nejkritičtější fází celého testu.

V poslední fázi jsem na testované místo nanesl „vývojku“ obr.4.21c. Od chvíle, kdy naneseme poslední vrstvu, jsem asi 5 minut sledoval, na kterých místech se na bílé vývojce objevují zarudlé tečky, čáry nebo plochy. Velké vady svaru byly viditelné většinou do 3 minut od nanesení poslední vrstvy například červeně označené oblasti na

obr. 4.22. V těchto místech označených červenými šipkami je vidět, že se základní materiál neslil s přídavným materiálem, tudíž je tento svar nevyhovující. Naopak zeleně označený svar z obr. 4.22. je dobře proveden a je vidět, že zde nejsou žádné trhliny, nebo dutiny.



Obrázek 4.21 a),b),c) [autor]



Obrázek 4.22. Svar bez defektů a špatně provedený svar [autor]

Tímto způsobem jsem testoval všechny důležité svary. Testováním svarů uzavírám konstrukční návrh rámu. V další podkapitole provedu návrh zavěšení kol.

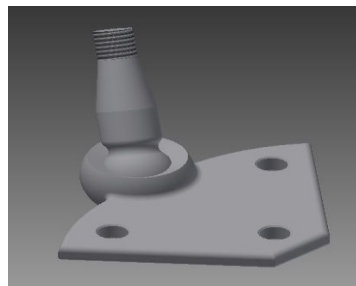
4.2. Zavěšení kol

Ve chvíli kdy jsem měl zhotovený rám, tak jsem začal navrhovat zavěšení kol. Těhlice budou použity z vozidla škoda octavia a z důvodu zjednodušení konstrukce, budou stejné na přední i zadní nápravě. Jak jsem již dříve zmínil, zavěšení použiji systémem lichoběžníkových závěsů.

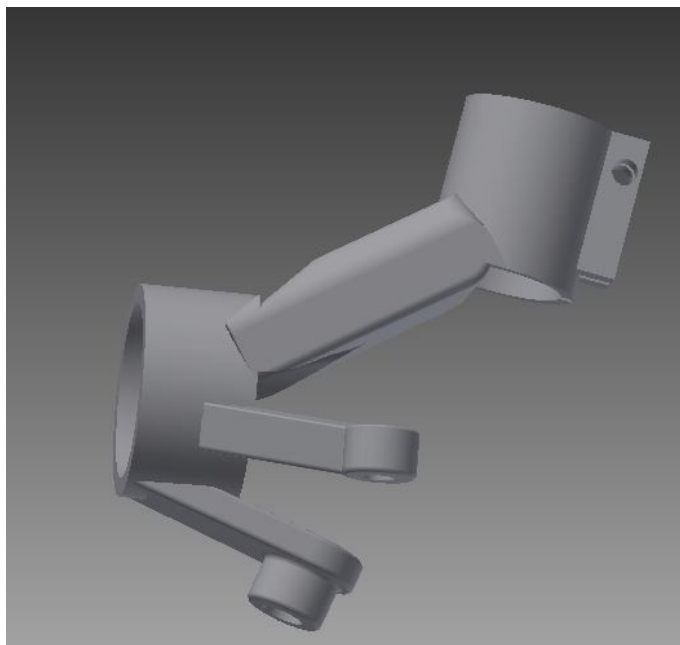
Abych byl schopen přesně vymodelovat ramena zavěšení kol, bylo nutno vymodelovat díly, které budou použity z jiného vozidla. Mezi tyto díly patří těhlice, náboj, čepy, kola, silentbloky. Většinu těchto dílů jsem použil z vozidla Škoda Octavia RS. Návrh jsem opět provedl v prostředí Autodesk Inventor 2015. Na následujících obrázcích 4.23.-4.25. jsou některé vymodelované díly potřebné pro konkrétní návrh zavěšení.



Obrázek 4.23. Silentblok zavěšení [autor]

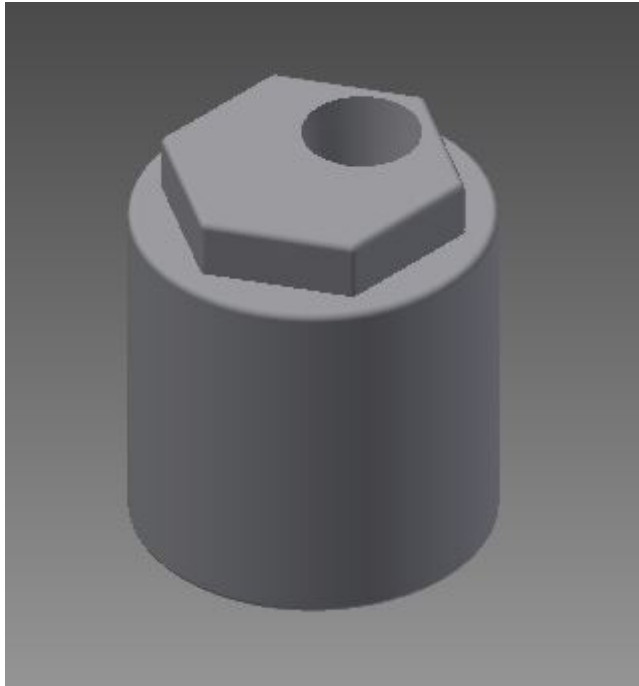


Obrázek 4.24. Kulový čep [autor]



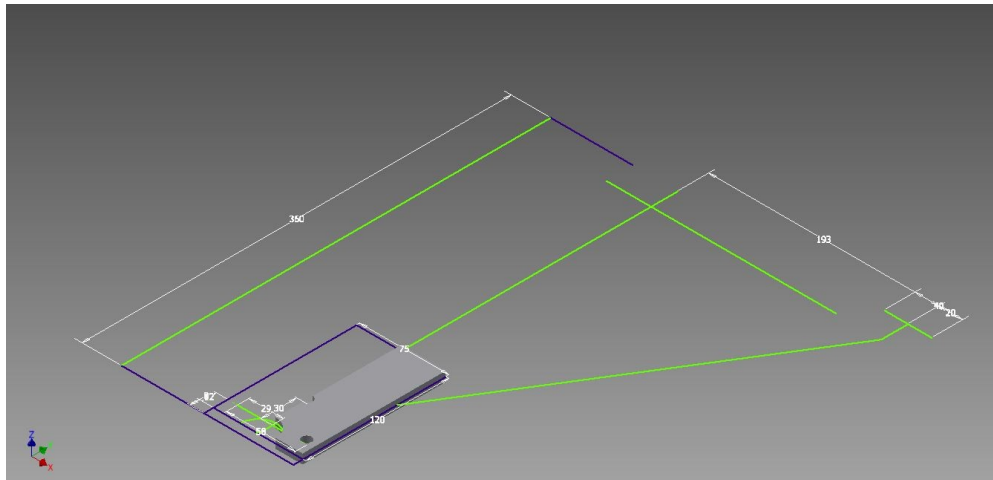
Obrázek 4.25. Vymodelovaná levá přední těhlice [autor]

Jakmile jsem tyto díly vymodeloval, bylo třeba vyřešit horní uchycení čepu do těhlice, jelikož u vozidla Škoda Octavia je zavěšení předních kol řešeno systémem MacPherson. Tento problém jsem vyřešil návrhem vložky obr. 4.26., která se vloží do těhlice místo patrony tlumiče a do ní se vloží čep. Tímto jsem si zajistil i možnost nastavení geometrie kol, jelikož má daná vložka excentricky uloženou díru pro čep.

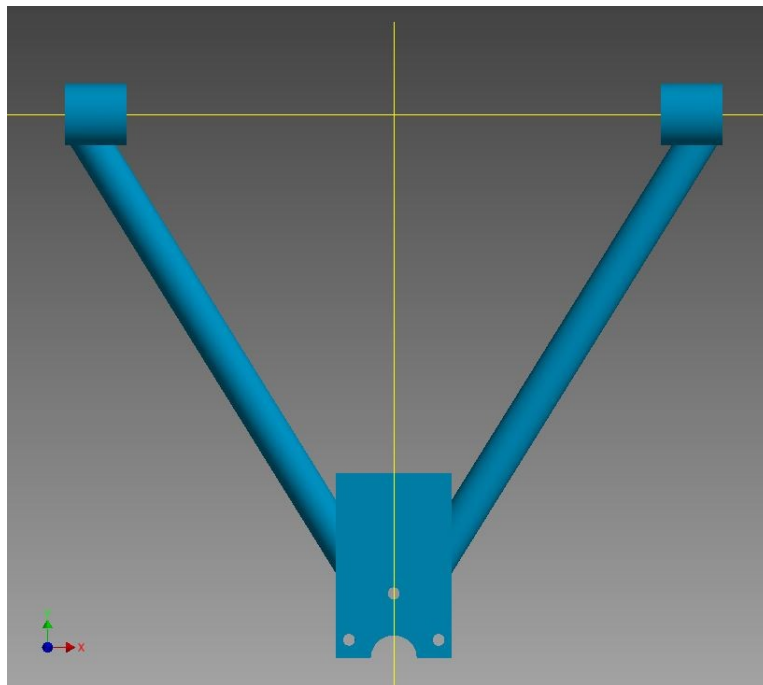


Obrázek 4.26. Návrh vložky do těhlice [autor]

Jelikož již mám veškeré potřebné díly vymodelovány a znám rozteč středů držáků zavěšení z již vymodelovaného rámu, přešel jsem k samotnému návrhu. Nejdříve bylo nutno si určit délku spodního ramene od osy čepu do osy silentbloků (obr.4.27.). Tu jsem zvolil 350mm. Následně jsem si vytvořil náčrt spodního ramene s vymodelovaným držákem čepu a pomocí generátoru rámových konstrukcí jsem jej domodeloval. Obr. 4.28.

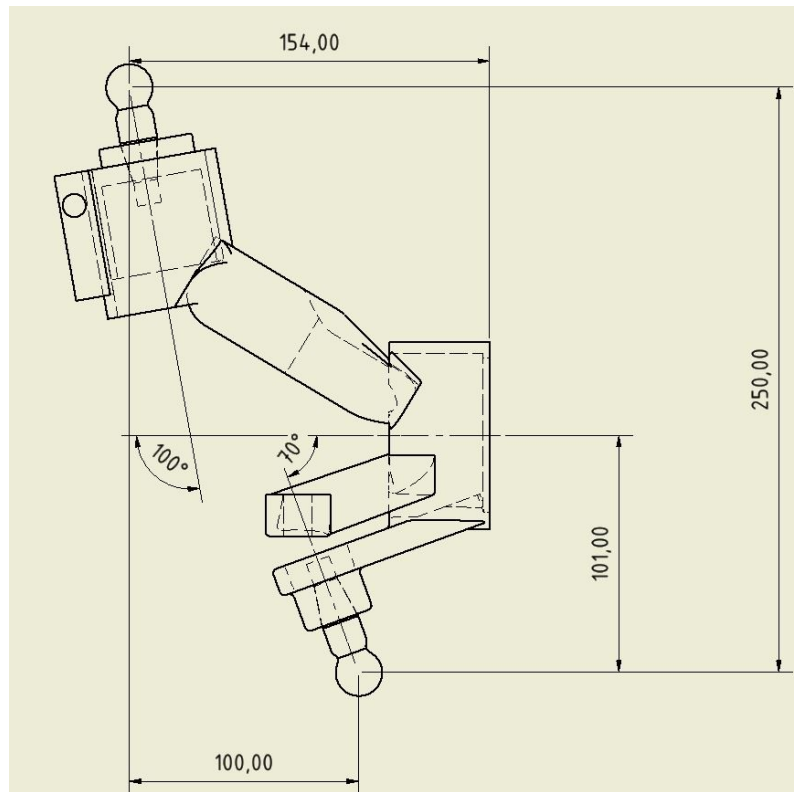


Obrázek 4.27. Náčrt horního ramene [autor]

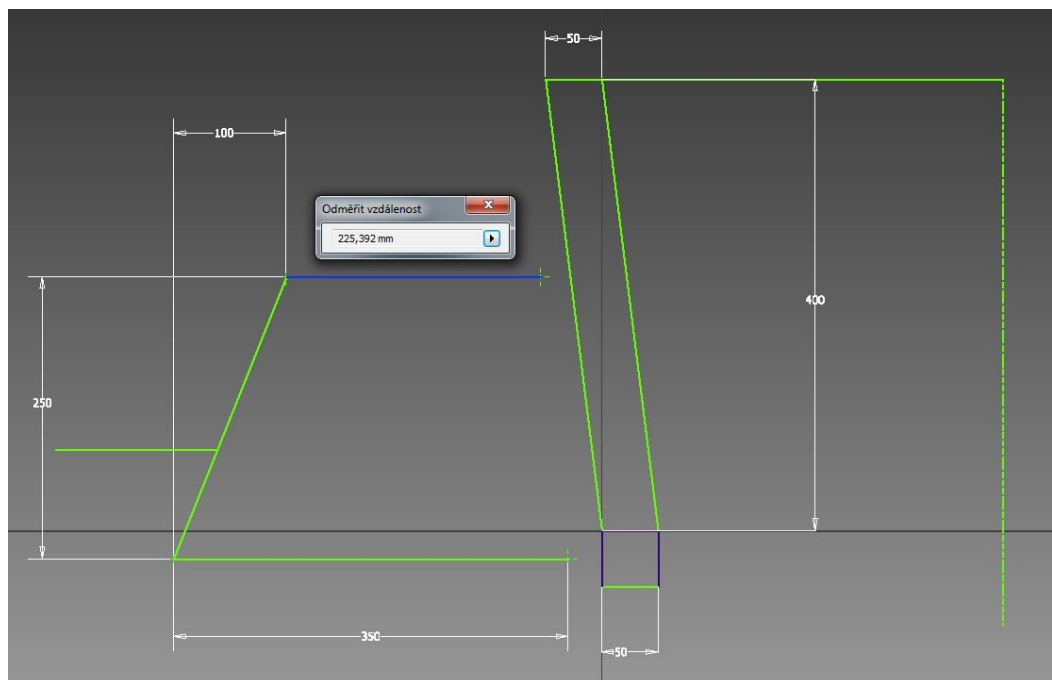


Obrázek 4.28. Vymodelované spodní rameno [autor]

Ve chvíli, kdy jsem vymodeloval spodní rameno, vytvořil jsem výkres těhlice obr. 4.29. s částmi čepů a s potřebnými kótami pro výpočet délky horního ramene. Tyto hodnoty jsem použil pro vytvoření jednoduchého náčrtu obr. 4.30, ze kterého jsem následně vycházel při modelování horního ramene.

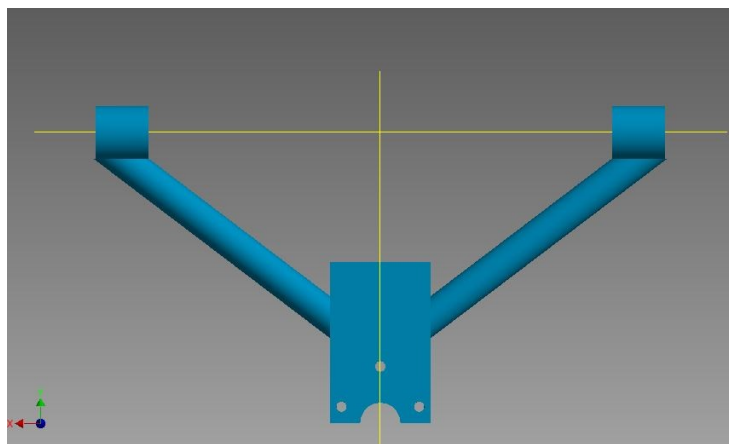


Obrázek 4.29. Rozměry těhlice s částmi kulových čepů [autor]



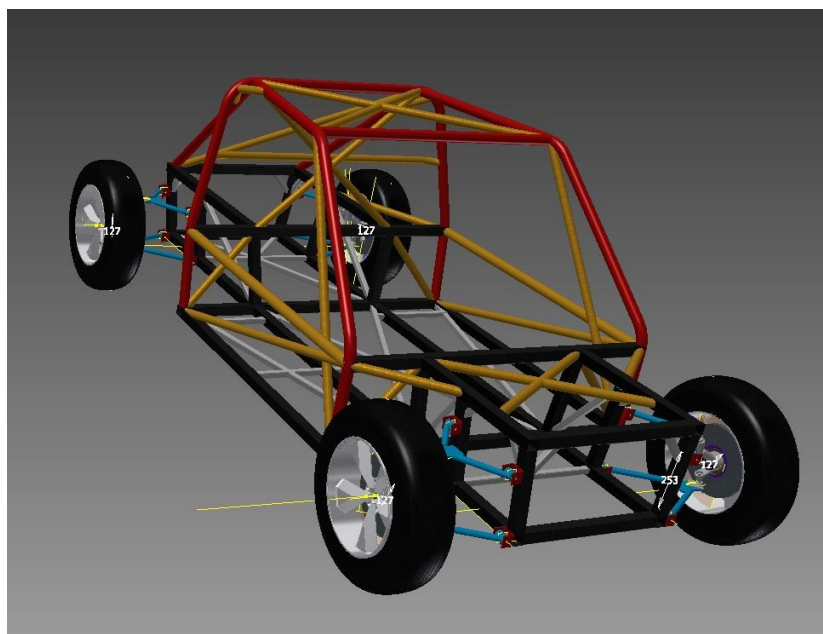
Obrázek 4.30. Schematický náčrt zavěšení kola [autor]

Nyní už znám přibližnou délku horního ramene (225mm), a tak jsem mohl přejít k jeho vymodelování. Postup při modelování horního ramene byl stejný jako při modelování ramene spodního. Na obr.4.31. je vyobrazeno hotové horní rameno.

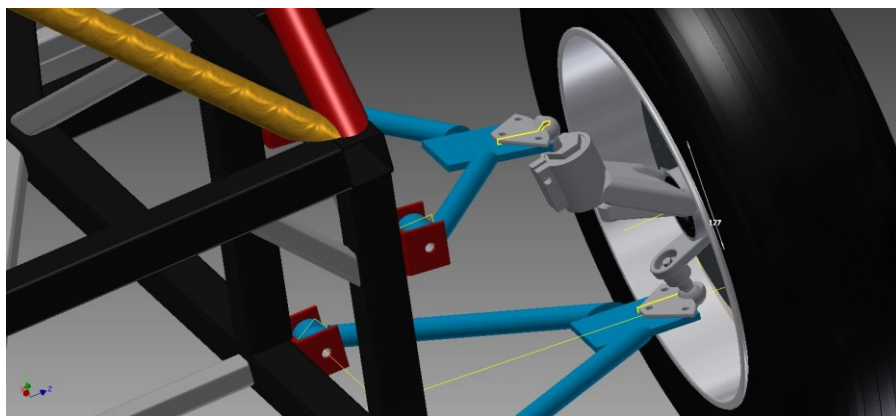


Obrázek 14.31. Horní závěs kola [autor]

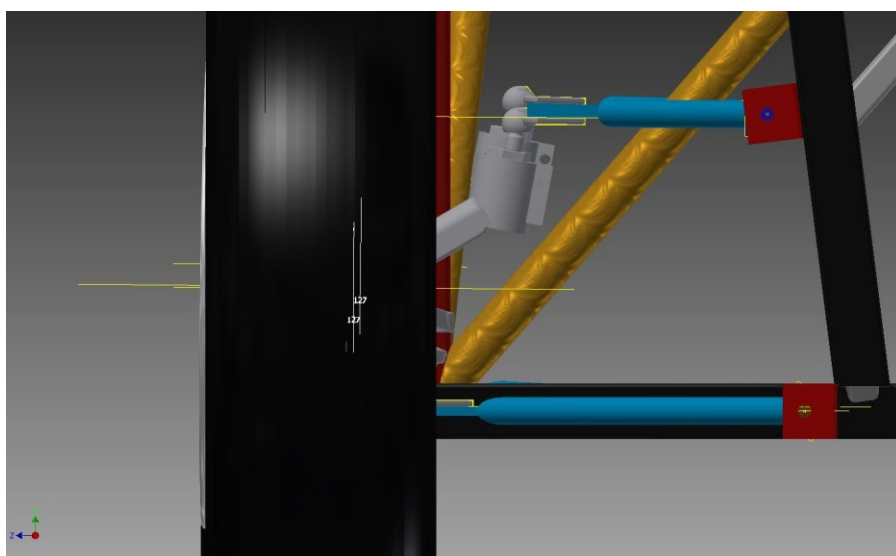
Vzhledem k tomu, že již mám vymodelovány veškeré potřebné díly na zmíněný vůz, bylo třeba vytvořit kompletní sestavu rámu s rameny, těhlicemi a koly. Výsledek je znázorněn na obrázcích 4.32.-4.36. Veškeré vymodelované součásti jsou na přiloženém CD-ROM v přílohách, které jsou nedílnou součástí diplomové práce. Veškeré rozměry jsou z těchto modelů lehce zjistitelné.



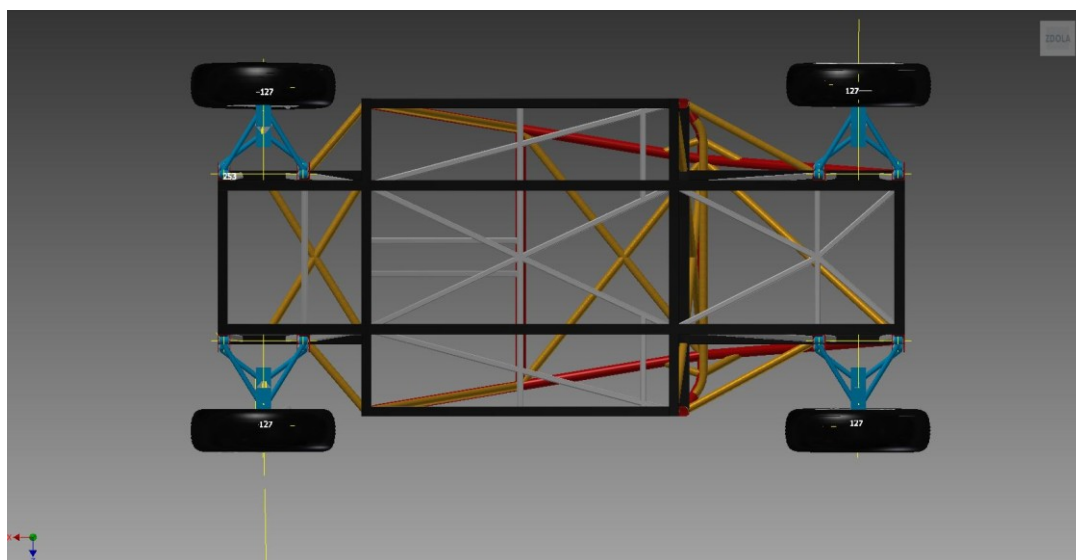
Obrázek 4.32. Výsledná sestava rámu a zavěšení kol [autor]



Obrázek 4.33. Pohled na PZ závěs kola [autor]



Obrázek 4.34. Pohled zepředu na zavěšení kola PP [autor]



Obrázek 4.35. Pohled na vozidlo zespodu [autor]

4.3. Ostatní vozidlové celky

V předchozích podkapitolách jsem provedl návrh vozidlového rámu a zavěšení kol. V této podkapitole uvedu součásti, které budu používat z již zmíněných vozidel.

Pohonné ústrojí

Jak již bylo zmíněno dříve, jako pohonnou jednotku jsem zvolil zážehový čtyřválcový přeplňovaný motor (AUQ) o zdvihovém objemu 1781 cm³, s maximálním výkonem 132kW z vozidla Škoda Octavia RS 1.generace. Tento motor bude dále napojen na převodovou skříň (ETU) z vozidla Volkswagen Passat B5 1.8 turbo. Celá pohonná jednotka bude zavěšena na 4 silentblocích, z důvodů tlumení vibrací. Dále budou použity 2kusy pravé poloosy z vozidla Octavia a budou zkráceny na potřebnou délku. Zkrácení bude provedeno rozdělením poloosy na soustruhu a následným svařením a vyvážením, aby bylo zaručeno, že poloosy nebudou při jízdě vytvářet vibrace, které by mohli mít za následek jejich prasknutí nebo ukroucení.

Odpružení

Odpružení vozidla bude řešeno kompletními pružícími jednotkami, tzn. Vinutá pružina společně s integrovaným tlumičem, bude uchycena na jedné straně k rámu a na druhé straně k hornímu ramenu. Tímto vznikne prostor mezi rameny pro napojení poloosy.

Řízení

Řízení bude použito taktéž z vozidla Octavia a tyče řízení budou opět upravovány na potřebnou délku, jelikož mnou navržené vozidlo, má větší rozchod kol. Posilovač řízení bude odstraněn z důvodu odlehčení celého vozu. Dalším důvodem odstranění posilovače řízení je fakt, že těžiště vozidla je blíže zadní části vozidla oproti Octavii, která má motor uložený na přední nápravě, tudíž nebude třeba vyvinout takovou sílu na otočení předními koly. Celé řízení bude přichyceno k rámu vozidla a dále napojeno na

přední těhlice. U zadních kol jsem také použil těhlice stejné jako vepředu. Zadní kola budou proti zatočení zajištěny propojením těhlice v místě pro čep řízení a horním ramenem. Toto spojení bude realizováno původní tyčí řízení s čepem řízení, čímž vyřeším i možnost seřizování sbíhavosti zadních kol.

Brzdové zařízení

Brzdovou soustavu opět použiji ze zmíněného vozidla Octavia, jelikož použiji i těhlice z tohoto vozu, je to nejjednodušší řešení. Veškeré segmenty jako kotouče, brzdové desky, brzdové třmeny pasují na použité těhlice, takže nebude potřeba žádných úprav. Posilovač brzd bude použit také ze zmíněného vozidla.

Kola a pneumatiky

Při volbě vhodných kol a pneumatik jsem nejdříve vybral 16“ palcová kovaná kola z vozidla AUDI TT. Nicméně se ukázalo, že tento rozměr nebude příliš vhodný, co se finanční náročnosti na pneumatiky týče. Nakonec jsem tedy zvolil 17“ kola z vozidla VW Golf 4. Generace a pneumatiky o rozměrech 225/45 R17. Ty jsou vymodelovány v předchozí podkapitole u zavěšení kol.

Výstroj a příslušenství

Z výstroje a příslušenství zmiňovaných vozidel budou použity pro mé navržené vozidlo palubní přístroje, pedálová soustava, páka ruční brzdy, kulisa řazení a další, které již nebudu zmiňovat.

5. Zhodnocení a doporučení

S výsledky konstrukčního návrhu jsem spokojen, jelikož navržený rám vyhověl pevnostní kontrole, koeficientem bezpečnosti 27,7. Hodnota torzní tuhosti 30802 $N.m.deg^{-1}$ je velmi vysoká. Zadaná a vypočtená kritéria byla při návrhu dodržena. Největším problémem bylo dodržet tvar rámu při samotné konstrukci, jelikož je rám navržen se spoustou svarů a konstrukce se při výrobě a chladnutí svarů kroutila. Tomuto se dá předejít svařováním rámu v předem připraveném přípravku, který drží tvar celé konstrukce až do jejího úplného svaření a vychladnutí. To má ovšem za následek zvýšené zbytkové napětí v nosnicích a může dojít dokonce k roztržení konstrukce vlivem těchto napětí. Jedním z doporučení je tedy snížit počet svarů na minimum, což může mít za následek užití více ohýbaných nosníků a tím se může celá konstrukce velmi prodražit, to bylo důvodem, proč jsem u navrhovaného rámu ohýbal trubky jen v místech, kde to bylo nutné a tyto ohyby jsem provedl dle čl. 253 přílohy J.

Zavěšení kol bylo vyřešeno formou lichoběžníkových závěsů kol a to hlavně pro jeho jednoduchost. Co se modelovaných dílů týče, bylo by lepší použít 3D laserovou digitalizaci, bohužel z časových důvodů jsem toto nemohl provést a tak jsem díly vymodeloval pomocí odměřených hodnot úhlů a vzdáleností.

Výsledkem této práce jsou modely jednotlivých celků vozidla ve formátu *.idv *.iam, tyto jsou v přílohách na CD-ROM.

Na obr. 5.1 a obr. 5.2. uvádím skutečnou časovou a finanční náročnost návrhu a výroby rámu, zavěšení kol a zbytku vozidla, přičemž se domnívám, že celkové náklady před kompletním dokončením ještě vzrostou.

Materiál a další	cena [Kč]
Pracovní rovina	2600
Trubky docol na výrobu rámu (16m prům. 50mm, 25m prům. 40mm)	22500
Čtvercové profily (50x50 24m, 30x30 16m)	5400
Náklady na ohyb (ohybové výkresy, samotné ohyby trubek)	3250
Kola a pneumatiky	6500
Těhlice a kompletní brzdy	5500
silentbloky ramen	700
Motor a převodovka	15000
Kabelové svazky, řídicí jednotka, pedálová soustava, volant	5000
Sedadla	4000
Svářecí drát a plyn CO2	5000
Ostatní (kotouče do brusky, barva, spojovací materiál)	3500
Čepy, brzdové potrubí, kapaliny, nádrž	4100
Náklady na dopravu materiálu	4000
Celkové náklady na materiál [Kč]	87050

Obrázek 5.1. Celkové náklady na materiál [autor]

Typ práce	Časová náročnost [h]
zajištění ohybů trubek a tvorba ohybových výkresů	8
nařezání materiálu dle plánu	100
Výroba vozidlového rámu	500
Shánění materiálu a dílů	40
Ostatní (testy svarů, otáčení konstrukce, kontrola,..)	300
Celkem [h]	948

Obrázek 5.2. Časová náročnost práce [autor]

6. Závěr

Prvním cílem diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh vozidlového rámu dle požadovaných parametrů. Nejdříve jsem si stanovil základní rozměry rámu, maximální hmotnost, hodnotu zrychlení, pro kolik osob vozidlo bude, pohonnou jednotku a omezení týkající se bezpečnostní konstrukce. Jakmile jsem měl vypočteny a zvoleny tyto výchozí hodnoty mohl jsem začít se samotným konstrukčním návrhem.

Začal jsem návrhem rámu vozidla v prostředí Autodesk Inventor 2015 a to tak, že jsem si nejdříve vytvořil 2D náčrt půdorysu rámu a postupně jej rozvíjel, dokud jsem nedosáhl hotového 3D drátěného modelu rámu vozidla. Dále jsem pomocí generátoru rámových konstrukcí vytvořil 3D model rámu. K tomuto byly zavazbeny držáky závěsů kol. Dále následovala pevnostní analýza průhybu a napětí v nosnících navrženého rámu a výpočet torzní tuhosti rámu. Z výsledků analýz vyplývá, že rám daným zatížením s velkou rezervou vyhoví a hodnota torzní tuhosti rámu je velmi vysoká.

Druhým cílem diplomové práce byla samotná výroba navrženého rámu, jejíž postup byl v diplomové práci zdokumentován. Dále byla na vyrobeném rámu provedena nedestruktivní zkouška svarů metodou kapilární, díky níž jsem si prohloubil znalosti v oblasti svařování a kvality svarů.

Třetím cílem mé diplomové práce bylo navrhnout vhodné zavěšení kol k vytvořenému rámu. Vybral jsem zavěšení formou lichoběžníkových závěsů a to hlavně z důvodu jednoduchosti jejich konstrukce. K návrhu jsem použil hodnoty a rozměry z předchozích kapitol a následně jsem domodeloval součásti, jež budou použity z jiných vozidel. Návrh byl opět proveden v programu Autodesk Inventor 2015, kdy se obdobně jako u rámu začalo modelovat pomocí 2D náčrtu a pomocí generátoru rámových konstrukcí jsem vymodeloval 3D model zavěšení kol.

V poslední části práce jsou rozepsány ostatní vozidlové skupiny a uvedeno, z jakých vozidel budou použity. Dále je rozebrána finanční a časová náročnost návrhu a samotné realizace. Veškerá data, která nejsou v diplomové práci uvedena a jsou potřebná k návrhu, jsou součástí příloh. Závěrem bych chtěl říci, že pro mě tato diplomová práce měla velký přínos, jelikož jsem si prohloubil znalosti teoretické z oblasti konstrukce. Díky samotné realizaci návrhu rámu jsem také zlepšil své praktické zkušenosti a pochopil náročnost takové práce.

Seznam příloh

- 1) CD-ROM s diplomovou prací v elektronické podobě
- 2) Soubor na CD-ROM, ve kterém jsou zabaleny veškeré modely, které jsem vytvořil pro potřeby této diplomové práce
- 3) Tabulka, pomocí které jsem počítal dynamické vlastnosti na CD-ROM
- 4) Typové listy materiálů na přiloženém CD-ROM

Seznam použité literatury

[1] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel, alternativní pohony, komfortní systémy, řízení dynamiky, informační systémy*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 367 s. ISBN 80-238-5276-0.

[2] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 791 s. ISBN 80-238-9681-4.

[3] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 392 s. ISBN 80-238-5274-4.

[4] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky, převodovky, rozvodovky, diferenciály, hnací hřídele, klouby*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 312 s. ISBN 80-238-5275-2.

[5] [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/>

[6] [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.autoklub.cz/dokument/7242-cl-253-bezpecnostni-vybava-skupina-n-a-.html>