

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T001 Dopravní a manipulační
technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční řešení podvozku modifikovaného vozu pro závody
v rallycrossu

Autor: **Bc. Martin TAUŠEK**

Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk RAAB, PhD.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Martin TAUŠEK
Osobní číslo:	S19N0036K
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Dopravní a manipulační technika
Téma práce:	Konstrukční řešení podvozku modifikovaného vozu pro závody v rally-crossu
Zadávací katedra:	Katedra konstruování strojů

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhněte zástavbu podvozku pro závodní rallycrossový speciál splňující požadavky FIA pro danou divizi. Zkontrolujte kinematiku zavěšení kol pro daný vůz a proveďte pevnostní analýzu nápravnice podvozku. Dále ověřte technologičnost konstrukce a navrhněte svařovací přípravek.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků.
2. Konstrukční návrh a zátěžová analýza.
3. Kinematika podvozku.
4. Technologie výroby nápravnice.
5. Zhodnocení práce, závěr.

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2003

MILLIKEN, W., MILLIKEN D. *Race car vehicle dynamics*. Warrendale, Pa: SAE Inc., 1995

CROLLA, D. *Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body*. Burlington, Ma: Butterworth-Heinemann, 2009


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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Raab, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

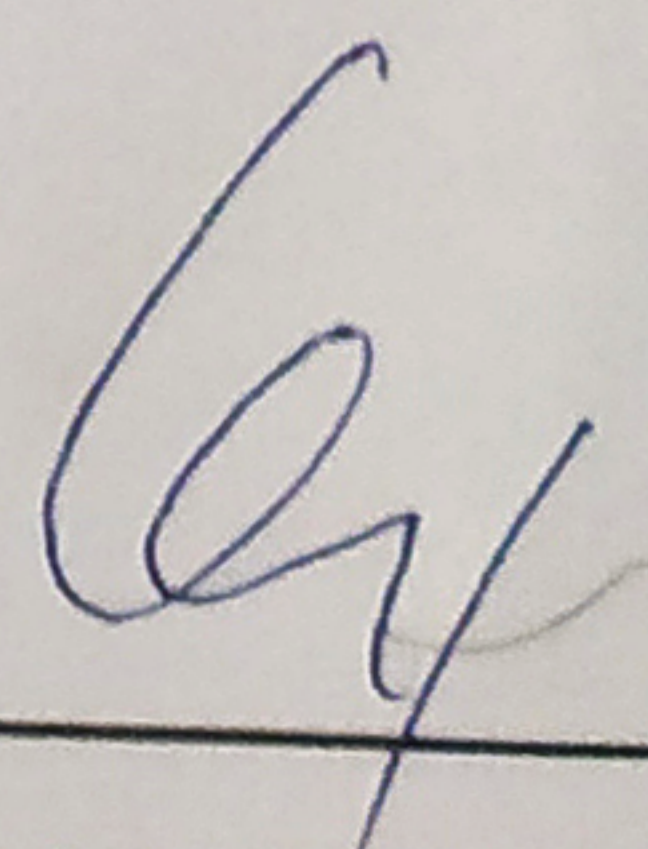
Konzultant diplomové práce: **Ing. Ondřej Chaloupka**
CHALOUPKA-CZ

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Taušek	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	23-35-8 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Raab,PhD.	Jméno Zdeněk	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční řešení podvozku modifikovaného vozu pro závody v rallycrossu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	106	TEXTOVÁ ČÁST	87	GRAFICKÁ ČÁST	19
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato diplomová práce se zabývá modifikací podvozku vozupro soutěže v rallycrossu. Jedná se o zástavbu nápravnice, rameno, stabilizátor a ližiny do motorového prostoru tak, aby komponenty nebyly v kolizi s pohornou jednotkou. Dále se práce zabývá kinematikou podvozku a dynamickou analýzou nápravnice. Cílem práce je navržení technologického postupu výroby nápravnice včetně realizace její výroby.
KLÍČOVÁ SLOVA	Rallycross, podvozek, nápravnice, rameno, stabilizátor, ližina, motorsport, svařovací přípravek, kinematika, MacPherson.

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Taušek	Name Martin	
FIELD OF STUDY	23-35-8 "Transport and handling machinery"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Raab,PhD.	Name Zdeněk	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design study of chassi for modified vehicle for racing in rallycross division		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	106	TEXT PART	87	GRAPHICAL PART	19
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis deals with the modification of chassis for rallycross racing car. Specifically the thesis deals with design of subframe, wishbones, antiroll bar and skidder. The thesis also contains kinematics of chassis and dynamic stress analysis. The thesis also deals with manufacturing process of subframe including realization.
KEY WORDS	Rallycross, suspension, subframe, wishbone, antiroll bar, skid plate, motorsport, welding fixture, kinematics, MacPherson.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá modifikací podvozku vozu pro soutěže v rallycrossu. Jedná se o zástavbu nápravnice, ramen, stabilizátoru a ližiny do motorového prostoru tak, aby komponenty nebyly v kolizi s pohonnou jednotkou. Dále se práce zabývá kinematikou podvozku a dynamickou analýzou nápravnice. Cílem práce je navržení technologického postupu výroby nápravnice včetně realizace její výroby.

Klíčová slova

Rallycross, podvozek, nápravnice, rameno, stabilizátor, ližina, motorsport, svařovací přípravek, kinematika, MacPherson.

Abstract

This diploma thesis deals with the modification of chassis for rallycross racing car. Specifically the thesis deals with design of subframe, wishbones, antiroll bar and skidder. The thesis also contains kinematics of chassis and dynamic stress analysis. The thesis also deals with manufacturing process of subframe including realization.

Keywords

Rallycross, suspension, subframe, wishbone, antiroll bar, skid plate, motorsport, welding fixture, kinematics, MacPherson.

Obsah

Úvod.....	13
1 Motoristické soutěže – řešerše	14
1.1 Rallycross.....	15
1.1.1 Průběh rallycrossového závodu.....	16
1.1.2 Závodní speciály soutěže WRX současnosti.....	17
1.1.3 Současnost v Rallycrossu	19
1.2 Technické předpisy pro závodní speciály	20
2 Podvozek	21
2.1 Komponenty podvozku.....	21
2.2 Kinematika podvozku MacPerson rallycrossového speciálu.....	22
2.2.1 Pneumatiky.....	22
2.2.2 Odklon.....	23
2.2.3 Sbíhavost	24
2.2.4 Rozvor a rozchod	24
2.2.5 Poloha těžiště a střed klopení	24
2.2.6 Rejdová osa a poloměr rejdu.....	26
2.2.7 Závlek.....	26
2.3 Dynamika	27
2.3.1 Akcelerace.....	27
2.3.2 Decelerace	28
2.3.3 Průjezd zatáčkou	29
3 Materiály používané při stavbě závodních speciálů.....	31
3.1 Chrom-molybdenová ocel 25CrMo4	31
3.2 Materiál 15CdV6	31
3.3 Materiál Docol DP 800/DP 1000.....	32
3.4 Materiál Domex 700MC	32
3.5 Materiál T45	33
4 Nápravnice závodních speciálů	34
4.1 Trubková nápravnice	34
4.2 Nápravnice z lisovaných plechů	36
5 Specifikace požadavku a konstrukční řešení podvozku.....	37
5.1 Technická specifikace vozu	37
5.2 Změna zástavby nového podvozku.....	39
5.3 Výpočet působících sil.....	42
5.4 Kinematika podvozku	49

5.5	Konstrukční návrh nápravnice	50
5.5.1	Evoluce I	50
5.5.2	Evoluce II	52
5.5.3	Evoluce III.....	53
6	Dynamická analýza	55
6.1	Síť modelu	55
6.2	Doskok	57
6.3	Průjezd zatáčkami	61
7	Technologie výroby	66
7.1	Konstrukce falešné nápravnice	66
7.2	Konstrukce přípravku	67
7.3	Postup svařování	68
7.4	Svařenec nápravnice	70
8	Ostatní komponenty podvozku	71
8.1	Kyvná ramena	71
8.1.1	Durbaly a unibaly	73
8.1.2	Ložiskový domek pro unibal.....	74
8.1.3	Závitové inserty.....	75
8.2	Ližina podvozku	75
8.3	Konzole ližiny	76
8.4	Přední úchyt nápravnice.....	77
8.5	Stabilizátor	78
8.6	Tlumiče	80
9	Projekt po realizaci.....	82
	Závěr	83
	Použité informační zdroje	84
	Seznam příloh	87

Seznam obrázků

Obr. 1 - Lotus 49 [2].....	14
Obr. 2 - Lancia Delta Integrale S4 – B Group [3].....	15
Obr. 3 - Rallycrossový závod v Kentu 1967 [7].....	16
Obr. 4 - Okruh světového šampionátu v Kapském Městě [8].....	17
Obr. 5 - VW Polo WRX Supercar [9].....	18
Obr. 6 - RX2 závodní speciály [10].....	19
Obr. 7 - VW I.D. R [12].....	19
Obr. 8 - Podvozek Škoda Fabia R5 [17].....	21
Obr. 9 - Přední náprava Škody Fabia S2000 [17].....	21
Obr. 10 - g-g diagram – přenos zatížení pneumatik [20].....	22
Obr. 11 – Závodní pneumatiky pro rallycross [21].....	23
Obr. 12 - Odsklon kol [22].....	24
Obr. 13 - Sbíhavost kol [22].....	24
Obr. 14- Měření polohy těžiště v z-ose [23].....	25
Obr. 15- Střed klopení – náprava MacPerson [19].....	25
Obr. 16 – Poloměr rejdu a rejdová osa [16].....	26
Obr. 17 – Závlek[16].....	26
Obr. 18 – Změna zatížení náprav – akcelerace [20].....	27
Obr. 19 – Změna zatížení náprav – decelerace [20].....	28
Obr. 20 – Působící síly při průjezdu zatáčkou[20].....	29
Obr. 21 – Změna zatížení náprav – průjezd zatáčkou[20].....	30
Obr. 22 - Přední nápravnice - trubková – Mitsubishi Lancer EVO 7 [30].....	34
Obr. 23- Přední nápravnice – kombinace trubek a jeklů – Peugeot 208 S2000 [31].....	35
Obr. 24 - Nápravnice – jeklová – Citroën DS R5 [32].....	35
Obr. 25 - Přední nápravnice – svařenec lisovaných plechů - Peugeot 208 R2 [33].....	36
Obr. 26 - Přední nápravnice - svařenec lisovaných plechů – Citroën DS3 R3 [34].....	36
Obr. 27 - VW Polo III GTI [35].....	37
Obr. 28 - Technický nákres VW Polo III GTI [35].....	38
Obr. 29 - Nový agregát se sekvenční převodovkou.....	39
Obr. 30 - Sériová nápravnice s označením místa kolize.....	39
Obr. 31 - Kolizní oblast nové převodovky se sériovou nápravnicí.....	40
Obr. 32 - Romer Absolute Arm [36].....	41
Obr. 33 – Sekvenční převodovka 3MO LC776 – EVO [37].....	41
Obr. 34- 3D model převodovky 3MO LC776 – EVO.....	42
Obr. 35 – Schéma zatížení náprav - akcelerace.....	43
Obr. 36 - Rozložení trakční síly přenášené ramenem do nápravnice - akcelerace.....	44
Obr. 37 – Schéma zatížení náprav - decelerace.....	45
Obr. 38 - Rozložení trakční síly přenášené ramenem do nápravnice - decelerace.....	46
Obr. 39 – Schéma zatížení náprav – průjezd zatáčkou.....	47
Obr. 40 - Rozložení trakční síly přenášené ramenem do nápravnice – průjezd zatáčkou.....	48
Obr. 41 - Kinematika podvozku.....	49
Obr. 42 - Kinematika podvozku – záklon tlumiče.....	50
Obr. 43 – Přední nápravnice - Evoluce I.....	51
Obr. 44 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce I.....	51
Obr. 45 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce I – detail přední úchyt.....	52
Obr. 46 – Přední nápravnice - Evoluce II.....	52

Obr. 47 - Kolize táhla řízení s platformou.....	53
Obr. 48 – Přední nápravnice - Evoluce III.....	53
Obr. 49 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce III.....	54
Obr. 50 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce III – detail přední úchyt.....	54
Obr. 51 - Zasíťovaný model nápravnice - CATIA	55
Obr. 52 - Zasíťovaný model nápravnice – Marc Mentat.....	56
Obr. 53 - Zavazbení úchytů nápravnice	56
Obr. 54 - Tabulka kontaktů jednotlivých dílců nápravnice.....	57
Obr. 55 - Nastavení zatížení v MSC Marc Mentat.....	58
Obr. 56 - Výsledek dynamické analýzy doskoku – inkrement 3.....	58
Obr. 57 - Výsledek dynamické analýzy doskoku - Detail oblasti úchytu ližiny – inkrement 3	59
<i>Obr. 58 - Výsledek dynamické analýzy doskoku – inkrement 5.....</i>	<i>59</i>
Obr. 59 - Výsledek dynamické analýzy doskoku – detail uchyty ližiny inkrement 5.....	60
Obr. 60 – Zadání působících sil.....	61
Obr. 61 - Výsledek dynamické analýzy - průjezd zatáčkou - inkrement 4	62
Obr. 62 - Detail dynamické analýzy oblasti levého zadního ramene držáku – inkrement 4....	62
Obr. 63 - Detail dynamické analýzy oblasti levého předního držáku ramene – inkrement 4 ..	63
Obr. 64 - Detail dynamické analýzy oblasti pravé strany nápravnice – inkrement 4.....	63
Obr. 65 - Detail dynamické analýzy v oblasti levého zadního držáku ramene – inkrement 9.	64
Obr. 66 - Detail dynamické analýzy oblasti pravé strany nápravnice – inkrement 9.....	64
Obr. 67 - Výsledek dynamické analýzy - inkrement 11	65
Obr. 68 - 3D Model falešné nápravnice včetně svrtávacího přípravku.....	66
Obr. 69 - 3D model falešné nápravnice bez svrtávacího přípravku	66
Obr. 70 - Falešná nápravnice včetně svrtávacího přípravku	67
Obr. 71 - Konstrukce přípravku.....	67
Obr. 72 - Zapřípravkování přední nápravnice	68
Obr. 73 - Nabodovaná nápravnice.....	68
Obr. 74 - Zapřípravkovaná nápravnice.....	69
Obr. 75 – Svařenec nápravnice.....	70
Obr. 76 – Svařenec nápravnice.....	70
Obr. 77 - Model sestavy kompletního podvozku	71
Obr. 78 - Rameno pro nápravnici EVO III.....	71
Obr. 79 - Pohled na rozpad sestavy kyvného ramene	72
Obr. 80 - Svařené kyvné rameno.....	72
Obr. 81 - Durbal vnější závit Obr. 82 - Durbal vnitřní závit	73
Obr. 83 - Durbal	73
Obr. 84 - Unibal.....	74
Obr. 85 - Obrobek ložiskového domku	74
Obr. 86 - Závitový insert - závit M14.....	75
Obr. 87 - Ližina podvozku.....	76
Obr. 88 - Konzole ližiny	77
Obr. 89 - Nový přední úchyt nápravnice	78
Obr. 90 - Svařenec předního úchytu nápravnice	78
Obr. 91 - Stabilizátor	78
Obr. 92 - Sestava stabilizátoru.....	79
Obr. 93 - Uložení stabilizátoru	79
Obr. 94 - Tlumič HP Sporting	80
Obr. 95 – Projekt po realizaci.....	82

Seznam tabulek

Tab. 1 - 25CrMo4 [24]	31
Tab. 2 - 15CdV6 [25]	31
Tab. 3 - Docol DP 800[26]	32
Tab. 4 - Docol DP 1000[27]	32
Tab. 5 - Domex 700MC [28]	32
Tab. 6 - T45 [29]	33
Tab. 7 - Technická specifikace vozu VW Polo [35] vs VW Polo III GTI RX.....	38

Seznam grafů

Graf 1 - Průběhu setrvačného zrychlení.....	57
Graf 2 - Průběh síly působící na držáky ramen – průjezd zatáčkou	61

Seznam zkratk a symbolů

a	Zrychlení
F_{BPN}	Brzdná síla přední nápravy
F_{BPNL}	Brzdná síla předního levého kola
F_{BPNP}	Brzdná síla předního pravého kola
F_{BR}	Brzdná síla
F_G	Tíha vozidla
F_{HN}	Zatížení hnané nápravy
FIA	Mezinárodní automobilová federace
F_{maxZ}	Boční síla
F_{SPN}	Boční síla
F_{TL}	Trakční síla levého kola
F_{TP}	Trakční síla pravého kola
F_T	Trakční síla
F_{TR}	Síla od ramene
F_{TV}	Síla od vzpěry
g	Tíhové zrychlení
h	Výška těžiště
kg	Kilogram
L	Rozvor
m	Metr
m_j	Hmotnost jezdce
m_p	Hmotnost paliva
m_v	Hmotnost vozidla
m_{vC}	Hmotnost vozidla - celková
N	Newton
Pa	Pascal
R_F	Výška osy předních kol od vozovky
R_R	Výška osy zadních kol od vozovky
s	Sekunda
δ	Odklon rejdové osy
μ	Součinitel adheze
σ	Odklon tlumiče
τ	Odklon závleku

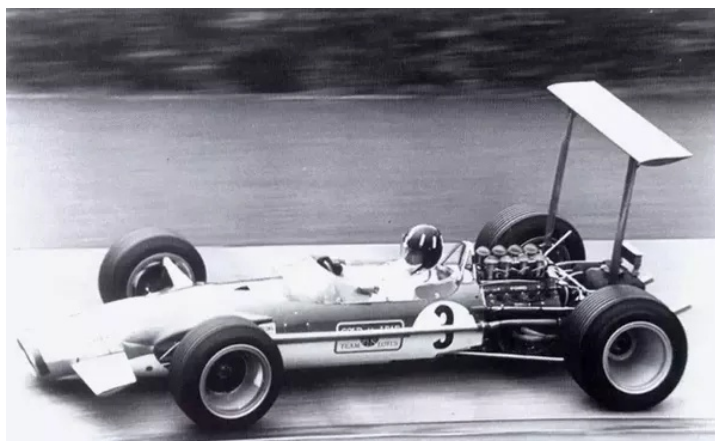
Úvod

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh podvozku modifikovaného rallycrossového speciálu, kinematická analýza podvozku a zátěžová analýza nápravnice. Dalším cílem je navržení postupu výroby nápravnice, vytvoření svařovacího přípravku nápravnice a její realizace.

1 Motoristické soutěže – rešerše

Motoristické soutěže nebo také motorsport je obecně definován jako klání sportovně upravených vozů. Ty soutěží buď mezi sebou nebo usilují o zajištění vytyčené trati v co nejkratším možném čase. Ceny vozů, zápisného na soutěže, veškerého vybavení a zázemí se pohybují v řádech miliard korun v šampionátech světové úrovně (rozpočet týmu Scuderia Ferrari F1 pro rok 2019 se pohyboval okolo 430 mil. dolarů) [1]. Závodní týmy se stovkami lidí a množstvím náhradních dílů se každou sezónu vydávají po celém světě, aby mohli poměřit síly a své stroje se soupeři. Týmy inženýrů usilovně pracují na vývoji speciálů, aby byl vůz závod od závodu rychlejší. Téměř denně přicházejí s novými návrhy jednotlivých dílů pro zlepšení výkonu. Všechny vývojové díly je nutno testovat a následně dál vyvíjet. Celý rok tak týmy cestují po světě za účelem testování a závodění. Po sezóně, která trvá od jara do podzimu, nastává zimní přestávka, během které týmy inženýrů pracují na vývoji nového monopostu pro nadcházející sezónu. Na novém monopostu se však začíná pracovat již na začátku předchozí sezóny. Rozhoduje se o zásadních věcech jako je například pozice uložení agregátu a diskutují se změny monopostu podle aktualizovaných pravidel dané kategorie. Vše musí být dobře naplánováno, aby byl nový monopost připraven pro první oficiální testy, které se konají zpravidla na přelomu února a března.

V minulosti často docházelo v rámci pravidel k těžko uvěřitelným konstrukčním řešením vozů. Úplně první vozy Formule 1 byly doutníkového tvaru bez jakýchkoliv aerodynamických prvků. První aerodynamické prvky se začaly objevovat až v 60. letech 20. století (použití prvního zadního přítláčného křídla nastalo v roce 1968 ve voze Lotus 49 - nápad Colina Chapmana) [2]. Jelikož často docházelo k bizarním a hlavně nebezpečným konstrukčním návrhům, postupem času byla technická pravidla upravena až do podoby, jakou známe z dnešních závodů.



Obr. 1 - Lotus 49 [2]

Z historie lze uvést legendární skupinu B v soutěžích rally, která kvůli neomezenému výkonu pohonných jednotek měla za následek dokonce několik úmrtí z řad jezdců i diváků. Kvůli těmto tragickým událostem byla v průběhu sezóny skupina B zakázána a výkony motorů byly výrazně omezeny.[3]

V dnešní době jsou pravidla již mnohem striktnější a inženýři jsou limitováni téměř v každém směru, ať už jde o rozměry vozidla, konstrukci aerodynamických prvků nebo o výkon pohonných jednotek. Nemalá pozornost se věnuje rovněž bezpečnosti posádky.

V poslední době dochází k zavádění jednotných komponentů, které vede k technickému vyrovnání týmů. Také se skloňuje téma zavedení rozpočtových stropů. Například ve Formuli 1 došlo tímto rozhodnutím k omezení investování astronomických částek do vývoje monopostů.



Obr. 2 - Lancia Delta Integrale S4 – B Group [3]

1.1 Rallycross

Rallycross se dá popsat jako hybrid mezi rally a okruhovým závodem. Na speciálních okruzích se jezdí na části s nepevněným povrchem a na části s asfaltovým podkladem, kdy minimum nepevněné vozovky musí být v zastoupení alespoň 40%. [4] Pro rallycross se používají vozy vycházející z rally speciálů. Míra povolených úprav záleží na kategorii, ve které daný vůz startuje.

Sport jako takový vznikl ve Velké Británii 4. února 1967 a u jeho vzniku stál Robert Reed, který byl televizním producentem a rallycross tak vznikl jako televizní zábavní pořad. První závod se konal na okruhu v Lydden Hill nedaleko Kentu. Zajímavostí je, že se na okruhu potkaly vozy zcela odlišných specifikací. Proti sobě závodily Porsche 911, Lotus Cortina a BMC Mini Cooper S. Rallycross se stal velmi rychle populárním a rychle se rozšířil i do dalších zemí Evropy. V roce 1969 se začalo závodit v Holandsku a v Austrálii a o další dva roky později se sport ujal ve Skandinávii. Nicméně světový šampionát vznikl až v roce 2014. [5]

V Čechách, respektive v Československu se rallycrossové klání poprvé pořádalo v roce 1973 v Radouči u Mladé Boleslavi, avšak soutěž připomínala spíše závod na ploché dráze. První skutečný závod v rallycrossu se jel až v roce 1983 v Římově u Českých Budějovic. Za šíření tohoto sportu u nás můžeme poděkovat organizátorům a

propagátorům tohoto sportu Janu Macháčkovi, Oldřichovi Strejčkovi, Jindřichovi Matoušovi a Františku Linhartovi. [6]

Rallycross patří mezi velice kontaktní sporty. O závodním víkendu dochází často k větším či menším kolizím závodních vozů. Technika vozu tedy musí být dostatečně odolná. Veškeré vybavení podvozku a bodykit se tak na závodní víkend vozí v několika sadách, aby v případě kolize byl tým dostatečně zásoben náhradními díly. Jedná se především o kyvná ramena, spojovačky řízení, poloosy, příčky chladiče a o další náchylné komponenty. I při velkých haváriích musí být tým schopen vůz přes noc uvést do provozuschopného a bezpečného stavu.



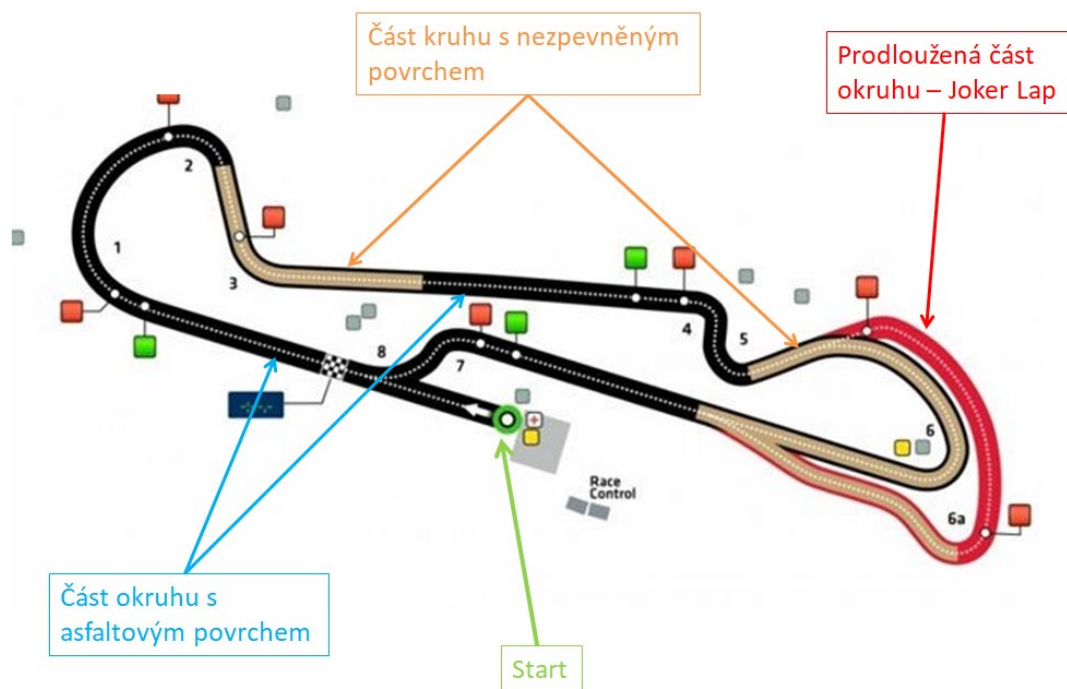
Obr. 3 - Rallycrossový závod v Kentu 1967 [7]

1.1.1 Průběh rallycrossového závodu

V rallycrossu se vždy jedou čtyři rozjížděky, ve kterých bojuje 3 až 6 vozů, které jedou závod na čtyři kola; ve finálové jízdě se pak jede kol šest. V každé rozjížděce nebo finálové jízdě musí všechny vozy projet alespoň jednou tzv. joker lap, což je prodloužená část okruhu (viz obr. 4). Toto pravidlo poskytuje prostor pro taktizování. Obecně vůz, který jede na přední pozici, vyčkává s joker lapem až na samotný závěr závodu; naopak vůz, který jede v závěsu, si joker lap odbude dříve, jelikož může být předním vozem brzděn, a tím pádem nemusí riskovat srážku při předjížděcím manévru. [5] Joker lap rovněž slouží jako potrestání jezdce, který předčasně vystartoval – tzv. “ulil start“.

Dle výsledku závodu si jezdci přidělují body a podle počtu bodů jsou jim přiděleny startovací pozice v následujícím závodě. Po odjetí všech rozjížděk, kdy se prokombinuje

sestava závodníků, se jedou dvě semifinále a jedno finále pro šest (příp. čtyři) nejlepších jezdců. Za každou soutěž se přidělují body v šampionátu. Mistrem šampionátu se stává jezdec s nejvyšším počtem bodů v žebříčku. [4]



Obr. 4 - Okruh světového šampionátu v Kapském Městě [8]

1.1.2 Závodní speciály soutěže WRX současnosti

Soutěž WRX - Světový šampionát v rallycrossu je ve světě nejvyšší rallycrossovou soutěží. Odpovídá tomu i užitá technika. Soutěže se účastní týmy s tovární podporou, ale i týmy soukromé, které si vůz od továrny na sezónu zakoupí, anebo zapůjčí. Zapůjčení vozu na sezónu včetně servisu vyjde soukromý tým až na několik milionů eur. Za zákaznickými týmy tak stojí štedří sponzoři, kteří se menší či větší částí podílí na financování provozu týmu. Přesto většina jezdců musí do týmu přinést nemalé finanční obnosy, aby mohli usednout za volant závodního vozu.

Ve WRX soutěží čtyři divize vozů – hlavní divizí je soutěž Supercars a doprovodné soutěže jsou Super 1600, Project E a XR2. V divizi Supercars závodí vozy s motorem o objemu 2,0l s turbodmychadlem, který produkuje výkon 600 koňských sil a disponuje krouticím momentem o hodnotě 900Nm. Pravidla povolují použití benzínu s oktanovým číslem 102. Vozy mají náhon na všechna čtyři kola. Pneumatiky dodává jednotný dodavatel – Cooper tires. Z 0 na 100 km/h vozy zrychlí za pouhých 1,9s (větší zrychlení než vozy Formule 1). [4]



Obr. 5 - VW Polo WRX Supercar [9]

Další divizí je soutěž Super 1600, kde soutěží vozy s obsahem motoru do 1,6l, motor není přeplňovaný a hnaná je pouze přední náprava. Vozy jsou výkonově omezené na 230 koňských sil. [4]

V nižší divizi RX2 soutěží vozy s trubkovým rámem specifikovaným předpisy FIA s atmosférickým motorem uloženým uprostřed o objemu 2,4l produkující výkon 310 koňských sil a s točivým momentem 300Nm; rovněž s náhonem na všechna čtyři kola jako v divizi Supercars. Tato divize je zajímavá tím, že všechny vozy jsou totožné. V závodě se tak pozná talentovaný závodník. Divize RX2 je tedy do jisté míry považována za startovací pro mladší závodníky. Týmy si během závodu mohou vytipovat jednotlivce, kterým případně nabídnou angažmá v týmu světového formátu. [10]



Obr. 6 - RX2 závodní speciály [10]

1.1.3 Současnost v Rallycrossu

V současné době Rallycross poněkud ztrácí na atraktivnosti, jelikož do sezóny 2019 nenastoupily týmy PSRX Volkswagen Motorsport, EKS Audi Sport a Team Peugeot Total. [11]

V poslední době se také hovoří o nástupu elektrických závodních speciálů a je velice pravděpodobné, že výše zmíněné týmy usilovně pracují na jejich vývoji. Týká se to zejména baterií, které budou mít dostatečnou kapacitu pro trvání celého závodu a systému jejich rychlého nabíjení.

Tuto teorii potvrzuje fakt, že VW Motorsport vyvinul ke konci roku 2018 závodní elektromobil se specifikací závodů do vrchu - VW I.D. R a pokořil dosavadní rekord ve známém závodě Pikes Peak. [12]



Obr. 7 - VW I.D. R [12]

1.2 Technické předpisy pro závodní speciály

Organizace FIA

FIA (*Mezinárodní automobilová federace*) reprezentuje práva motoristů a motoristických organizací po celém světě a pomocí aktivních kampaní hájí jejich zájmy. Věnuje se důležitým otázkám jako je bezpečnost, mobilita, životní prostředí a spotřebitelská práva. Aktivně prosazuje zájmy motoristů na půdě OSN, Evropské unie a dalších mezinárodních organizací. FIA je nadřazeným členem všech národních autoklubů a diktuje technická pravidla motoristickým soutěžím. [13]

Autoklub ČR

Autoklub ČR (*Autoklub České republiky*) je na základě rozhodnutí mezinárodních organizací FIM (*Mezinárodní motocyklová federace*) a FIA (*Mezinárodní automobilová federace*) oprávněn řídit oblast motocyklového a automobilového sportu v České republice, a to v rozsahu jimi stanoveném. [14] Předmětem činnosti Autoklubu ČR je:

- zastupování motoristů při prosazování a ochraně jejich společných zájmů a potřeb, řízení motocyklového a automobilového sportu,
- sportovní činnost a zájmová činnost v oblasti motoristického, nemotorového sportu a dalších oblastech,
- pořádání sportovních podniků a dalších akcí,
- zvyšování bezpečnosti silničního provozu a s tím související činnosti,
- veřejně prospěšná činnost,
- publikační a propagační činnost,
- uchovávání památek dokládajících vývoj motorismu a motoristického sportu. [14]

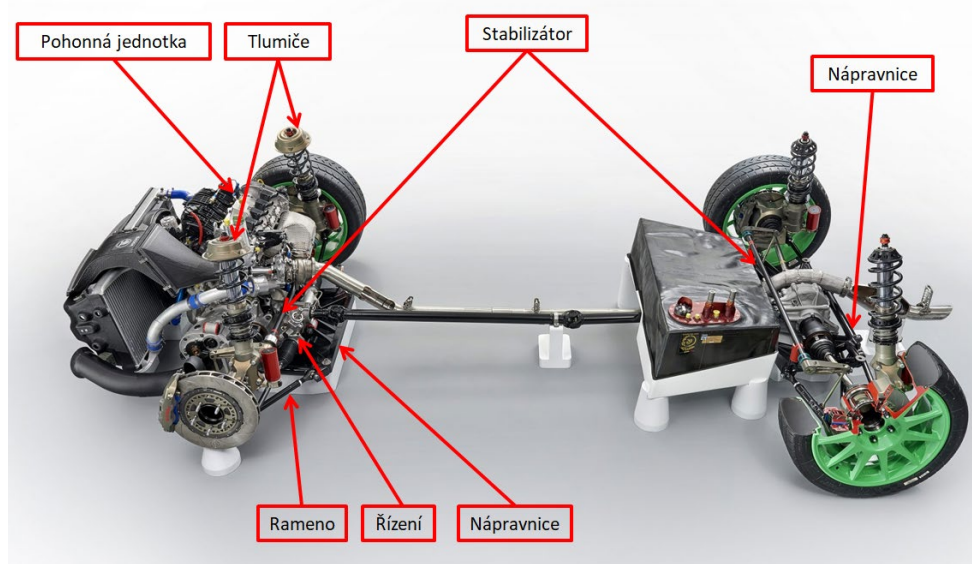
Homologace speciálů

Homologací se obecně rozumí ověření vlastností určitého výrobku z hlediska přípustnosti jeho použití. U homologace závodního speciálu jde o potvrzení způsobilosti vozidla závodit a ověření, zda vozidlo splňuje technická pravidla. Tyto předpisy ustanovuje FIA a mění se podle kategorie. Mezi nejvýznamnější prvky homologace patří motor, u kterého je předepsán jeho maximální objem, případně je jeho výkon snížen restriktorem v sání. Mezi další prvky homologace patří například bezpečnostní rám, kterým musí být každé závodní auto v každé kategorii vybaveno. V každé kategorii jsou jak prvky, které podléhají homologaci, tak prvky, které nikoli. [15]

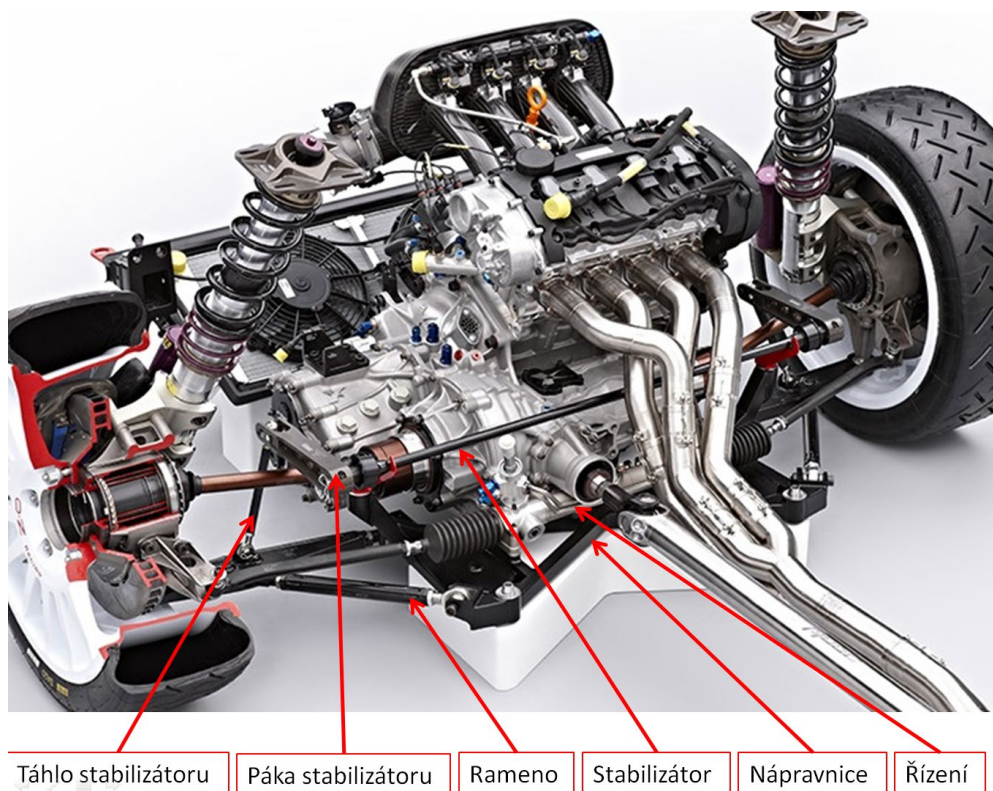
2 Podvozek

Podvozek je nedílnou součástí každého vozidla. Mezi hlavní komponenty podvozku patří zavěšení, kola s pneumatikami, řízení, odpružení a brzdy. Tato práce se detailně zabývá nápravnicemi, které jsou součástí náprav. [16]

2.1 Komponenty podvozku



Obr. 8 - Podvozek Škoda Fabia R5 [17]



Obr. 9 - Přední náprava Škody Fabia S2000 [17]

2.2 Kinematika podvozku MacPerson rallycrossového speciálu

Správná kinematika podvozku je zcela klíčová k dosažení ideálního fungování závodního vozu. Vozidlo s výkonnější pohonnou jednotkou nikdy nenaplní svůj potenciál se špatně vytvořenou kinematikou podvozku, neboť právě kinematika podvozku rozhoduje o jízdních vlastnostech automobilu. Během konstrukce je prakticky nevyhnutelné, aby se určité aspekty přizpůsobily a podřídily zástavbovému prostoru vozu. [18][19]

V této kapitole jsou uvedeny nejdůležitější aspekty kinematiky podvozku, které by se měly prvotně navrhnout a určit ještě před samotnou konstrukcí podvozku jako takového.

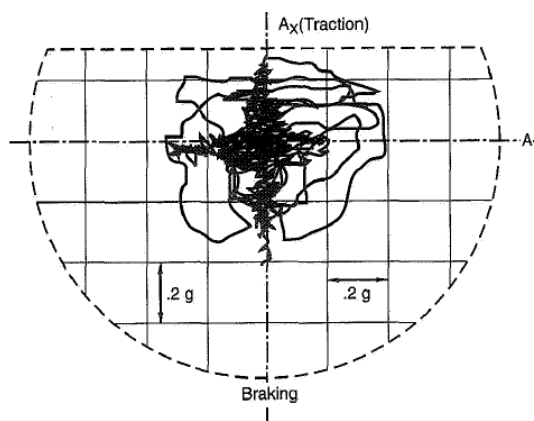
2.2.1 Pneumatiky

Pneumatiky jsou alfou a omegou každého vozu, nejen toho závodního. Pneumatiky přenášejí trakční, brzdné a boční síly. Mimo jiné slouží stěna pneumatiky také jako odpružení vozidla. Závodní pneumatiky se liší dle vzorku pneumatiky. Rozlišujeme pneumatiky bez vzorku nazývané slicky, pneumatiky do mokra se vzorkem a pneumatiky přechodové rovněž se vzorkem, které se používají v situaci, kdy trať vysychá. Závodní pneumatiky se dále liší svou provozní teplotou, což je teplota, kdy má pneumatika nejvyšší přilnavost. Špatné obutí u závodního vozu má za následek špatný výsledek: pneumatiky nejsou zahřáté na provozní teplotu; nebo jsou přehřáté, tím pádem mají nižší přilnavost a vůz nemůže přenést maximální trakční, brzdné a boční síly, a tak ztrácí vůči ostatním. [19]

Dále dělíme závodní pneumatiky podle tvrdosti směsi. Měkčí směsi zajišťují lepší přilnavost, na druhou stranu jejich životnost je podstatně nižší než u pneumatik se směsí tvrdší. [19]

Rozměry pneumatik u většiny motoristických soutěží předepisují technická pravidla. Výhodou menších pneumatik je menší celková hmotnost a snazší dosáhnout provozní teploty. Naopak nevýhodou menších kol je často nedostatečný zástavbový prostor pro brzdové kotouče a brzdíče. V motorsportu se používají výhradně pneumatiky s dostatečně vysokými stěnami kvůli bočnímu vedení, nikdy ne nízkoprofilové. [19]

U rallycrossových vozů se používají pneumatiky zásadně se vzorkem, a to z důvodu, že závodní trať je tvořena jak asfaltovou částí, tak částí s měkkým povrchem. Rozdíl mezi pneumatikou do sucha a do mokra je ten, že pneumatika do mokra má hlubší a členitější vzorek. [20]



Obr. 10 - g-g diagram – přenos zatížení pneumatik [20]

G-G diagram na obr. 10 znázorňuje funkční pole pneumatiky. Typicky je možné si všimnout během závodu situace, kdy vůz najede příliš rychle do zatáčky a začne plně brzdit, avšak i při plném rejdu kol se vozu nepodaří zahrnout a vyjede mimo trať. To je způsobeno tím, že přetížení působící na pneumatiku bylo příliš velké a dostalo se mimo pole účinnosti (na g-g diagramu čárkované ohraničení) a pneumatiky už nedokázaly přenést boční zatížení. [19]

Závodní pneumatiky mají vyšší koeficient adheze než klasické pneumatiky. U klasických pneumatik se setkáváme s koeficientem adheze pohybujícím se okolo hodnoty 0,9 – rozhraní pneumatika-asfalt. U závodních pneumatik se hodnota pohybuje okolo hodnoty 1,3. [15][20]



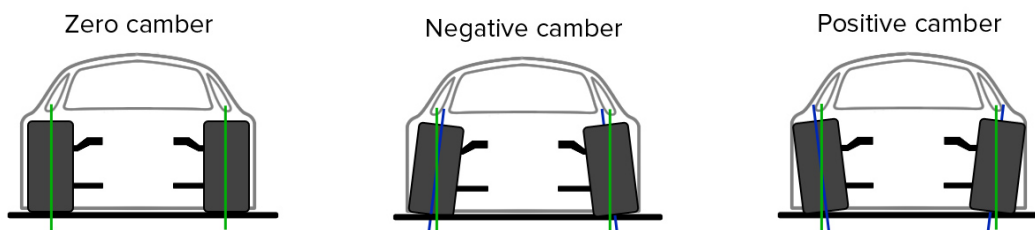
Obr. 11 – Závodní pneumatiky pro rallycross [21]

2.2.2 Odklon

Odklon je definován jako vertikální inklinace kola. Při nulovém odklonu jsou pneumatiky kolmo k vozovce a vůči sobě jsou rovnoběžné. Při pozitivním odklonu hovoříme o pneumatikách, které mají průsečík vertikálních os pod úrovní vozovky. O negativním odklonu hovoříme, když vertikální osy pneumatik mají průsečík nad úrovní vozovky. [16][17]

Všechna tato nastavení podvozku mají své výhody i nevýhody. Nulový odklon zajišťuje lepší trakci při startu a při jízdě na rovině. Ovšem při zatáčení je vnitřní kolo odlehčováno na úkor vnějšího, které se dříve opotřebí. Rovněž trakce je v zatáčce menší než v ostatních případech. S negativním odklonem je podstatně menší místo kontaktu mezi vozovkou a pneumatikou, čímž vůz ztrácí při startu a na rovinkách, naopak v zatáčkách má vnější, více zatěžované kolo, větší přilnavost, protože se vlivem klopení karoserie narovná a má větší kontaktní plochu s vozovkou, čímž se zvyšuje rychlost vozu v zatáčce. [16]

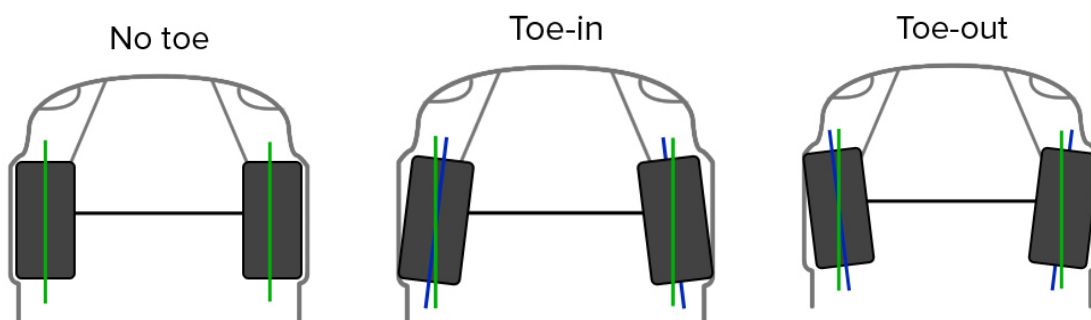
Během závodního víkendu se odklony kol přenastavují během pátečních testů, popřípadě ještě při sobotní kvalifikaci tak, aby vůz jezdců co nejvíce vyhovoval. [20]



Obr. 12 - Odklon kol [22]

2.2.3 Sbíhavost

Sbíhavost je definována jako inklinace kol k horizontální ose vozu. Při nulové sbíhavosti jsou kola rovnoběžná s horizontální osou vozidla. Dále kola mohou být sbíhavá směrem k přídi vozu (sbíhavost) nebo k jeho zádi (rozbíhavost). U vozů s pohonem zadních kol se spíše používá sbíhavá geometrie na přední nápravě, a to z důvodu rovnání kola při průjezdu zatáčkou. U vozů s pohonem předních kol se používá rozbíhavost z důvodu, že při akceleraci vzniká moment kolem osy otáčení ramene, který narovná kolo do paralelní pozice vůči horizontální ose vozidla. [16]



Obr. 13 - Sbíhavost kol [22]

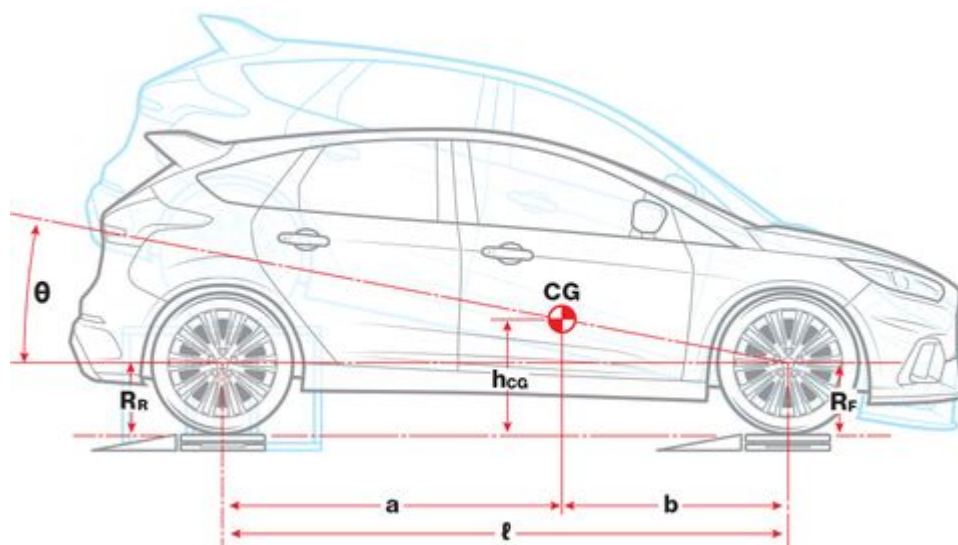
2.2.4 Rozvor a rozchod

Rozvor je definován jako vzdálenost mezi koly přední a zadní nápravy. Rozchod je vzdálenost os kol stejné nápravy. [16]

Obecně platí, čím menší rozvor je, tím je vůz hbitější. Tedy v soutěžích, kde je více ostřejších zatáček a rovinky nejsou tak dlouhé, a vůz nedosahuje vysokých rychlostí, spíše najdeme kratší vozy typu hatchback. Jedná se o závody typu rally, rallycross a GoKart. Naopak u soutěží, kde jsou dlouhé rovinky a důležitým aspektem je rychlost, nalezneme vozy s větším rozvorem; například závody NASCAR, F1 a GT. Větší rozchod kol zajišťuje větší stabilitu vozidla, proto jsou v technických pravidlech rozchody i rozvory omezovány. [19]

2.2.5 Poloha těžiště a střed klopení

Poloha těžiště vozidla je dalším nezbytným údajem nejen pro kinematiku, ale rovněž pro další zátěžové analýzy. Poloha těžiště se získává pomocí čtyř individuálních vah pro každé kolo. Váhy se dají do roviny a na ně se usadí vůz. Tímto způsobem lze určit polohu těžiště v ose X a Y. Poloha těžiště v ose Z se určí tak, že se přední náprava vozu zvedne o určitou hodnotu a znovu se převáží (viz obr.14). [20]

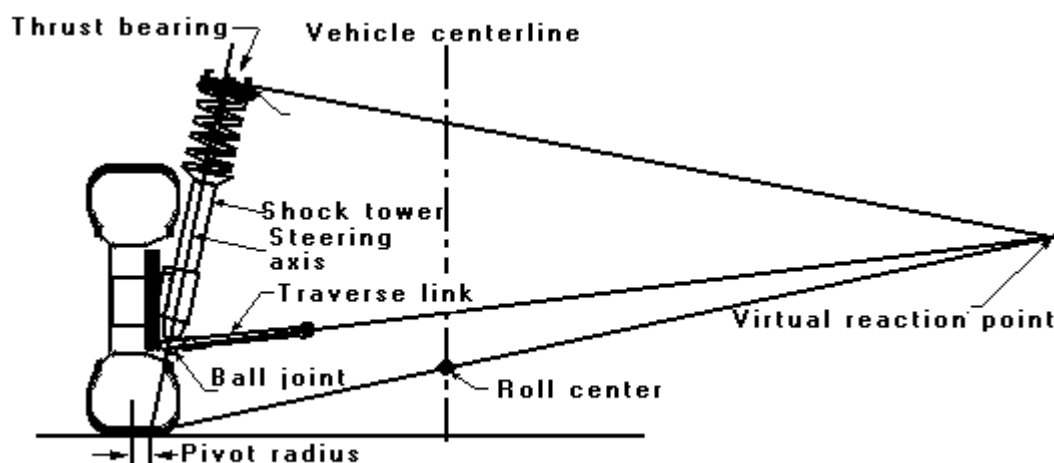


Obr. 14- Měření polohy těžiště v z-ose [23]

Výška těžiště je pak dána vztahem:

$$h = R_F \cdot \left(\frac{a}{l}\right) + R_R \cdot \left(\frac{b}{l}\right) + \frac{F_R \cdot l - F_G \cdot a}{F_G \cdot \tan(\theta)} \quad (2.1)$$

Střed klopení je bod, kolem kterého se otáčí odpružená hmota vozidla. Střed klopení se nalezne tak, jak je naznačeno na obr. 15. Vzdálenost mezi středem klopení a těžištěm je rameno klopení, které definuje moment klopení. Čím větší je rameno, tím větší je i moment klopení a tím více se mění geometrie kol. Vhodným napozicováním ramene lze tedy tento klopný moment minimalizovat. Obecně je výhodné, aby rameno u zavěšení MacPerson bylo co možná nejdelší tak, aby docházelo k co nejmenší ztrátě kontaktní plochy mezi pneumatikou a vozovkou.[19]



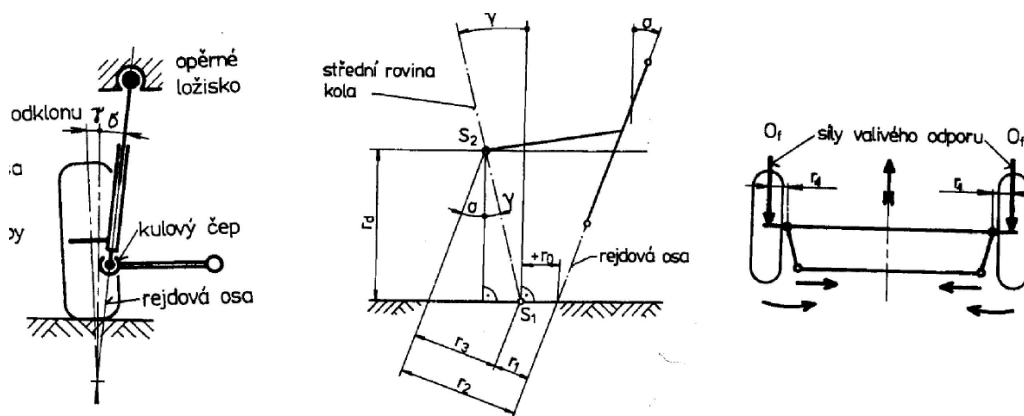
Obr. 15- Střed klopení – náprava MacPerson [19]

2.2.6 Rejdová osa a poloměr rejdou

Poloměr rejdou je vzdálenost od středu styku kola a průřezu rejdové osy s povrchem vozovky. Poloměr rejdou může být nulový, kladný nebo záporný. Při nenulovém poloměru vzniká vratný moment, který vrací kola do přímé polohy. Tento moment je rovněž závislý na odklonu rejdové osy ($\sigma > 0$). Zpravidla se používá buď malý poloměr rejdou a velký odklon rejdové osy nebo velký poloměr rejdou a malý úhel příklonu rejdou. U vozů s hnanou přední nápravou je častěji využíván záporný poloměr rejdou a to z následujícího důvodu: moment hnací síly motoru je zachycen uložením motoru, vůči rejdové ose má síla působíště ve středu kola. Hnací moment a moment od rejdové osy se záporným poloměrem rejdou tak mají stejný smysl a nutí kola do sbíhavosti. [16]

Velikost momentu je dán vztahem:

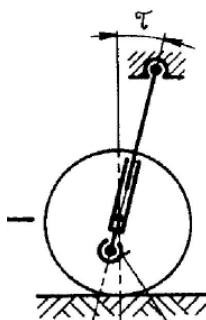
$$M_{\sigma} = F_z \cdot \sin \sigma \cdot \sin \delta \cdot r \quad (2.2)$$



Obr. 16 – Poloměr rejdou a rejdová osa [16]

2.2.7 Závlek

Závlek kola je definován jako úhel rejdové osy se svislicí podélné roviny vozidla. Průřez rejdové osy a roviny vozovky zpravidla bývá před svislicí. Tím vzniká moment od vodorovných sil. Vzniká tak vratný moment, který natáčí kola do vodorovné polohy. Avšak příliš velký záklon rejdové osy pak má za následek, že řidič je nucen vynaložit velké úsilí při otáčení volantu a citlivost řízení je podstatně horší. Obecně se doporučuje záklon kolem 2° . [16]



Obr. 17 – Závlek [16]

2.3 Dynamika

Dalším důležitým aspektem při konstrukci podvozku je dynamika. Je tedy nutné zjistit velikosti sil působících na podvozek a následně podvozek podrobit zátěžové analýze. Zátěžová analýza je prováděna z hlediska akcelerace, decelerace a průjezdu zatáčkou.

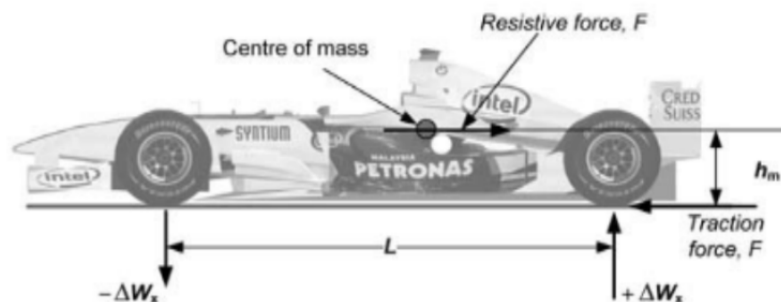
2.3.1 Akcelerace

Základním stavebním kamenem pro určení působících sil je druhý Newtonův zákon síly. [20]

$$a = \frac{F}{m} \quad (2.3)$$

Zrychlení vozidla zajišťuje pohonná jednotka. Síla, která zrychluje vozidlo, působí přes kontaktní plošky pneumatik hnané nápravy. Na problematiku se dá pohlížet z hlediska maximálního možného přenosu zatížení pneumatik – tzv. trakčního limitu. Největší kroutící moment přenášený koly je při zařazení prvního rychlostní stupně, tedy při startu. Lze si často všimnout, že kola se při startu protočí, a to z důvodu, že hnací síla na kolech od motoru je větší než síla, kterou jsou pneumatiky schopny přenést. Kontrola trakce a podobné asistenční doplňky jsou ve všech motoristických soutěžích zakázány. [20]

Při akceleraci vzniká moment, který klopí karoserii kolem příčné osy, a tím se mění zatížení náprav. Trakční síla působí na kola a setrvačná síla k této trakční síle má působiště v těžišti vozidla. Tím vzniká klopný moment s ramenem o velikosti výšky těžiště. [20]



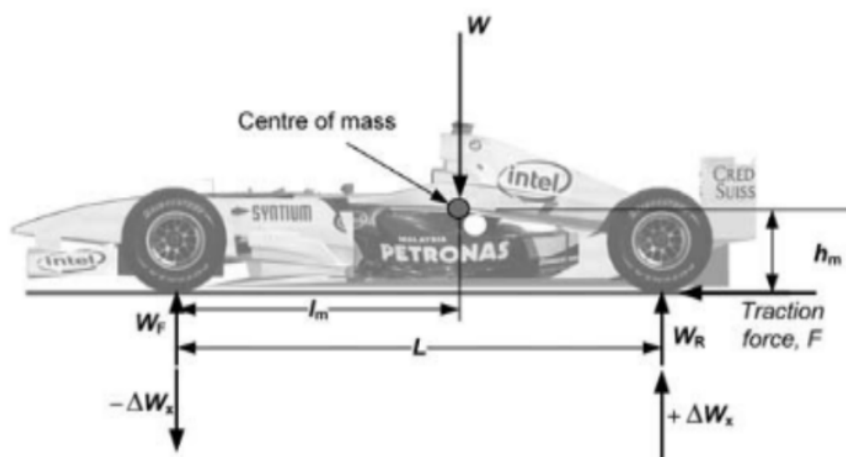
Obr. 18 – Změna zatížení náprav – akcelerace [20]

Zapsáním do momentové rovnice vůči těžišti:

$$F_{TR} \cdot h = \Delta F_{HN} \cdot L \quad (2.4)$$

Lze získat změnu zatížení nápravy:

$$\Delta F_{HN} = \frac{F_{TR} \cdot h}{L} \quad (2.5)$$



Obr. 18 – Změna zatížení náprav – akcelerace [20]

Trakční síla F_{TR} je definována jako: [20]

$$F_{TR} = (F_{HN} \pm \Delta F_{HN}) \cdot \mu \quad (2.6)$$

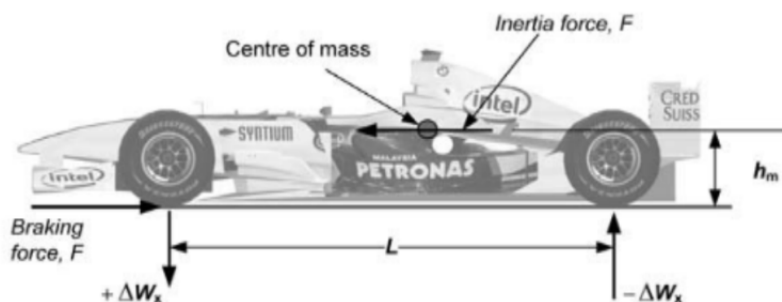
Úpravou rovnice dostáváme:

$$F_{TR} = \frac{F_{HN} \cdot \mu}{1 - \frac{h \cdot \mu}{L}} \quad (2.7)$$

Tím dostáváme maximální možnou trakční sílu limitovanou pneumatikami.

2.3.2 Decelerace

Při deceleraci na kola působí brzdná síla. Velikost této brzdné síly je limitována schopností pneumatiky tuto sílu přenést, tedy její adhezí. Při brzdění dochází ke klopení karoserie. Toto klopení je dáno klopným momentem s ramenem o velikosti výšky těžiště. Při klopení dochází k odlehčení zadní nápravy a zvýšení zatížení přední nápravy. [20]



Obr. 19 – Změna zatížení náprav – decelerace [20]

Brzdná síla je dána rovnicí:

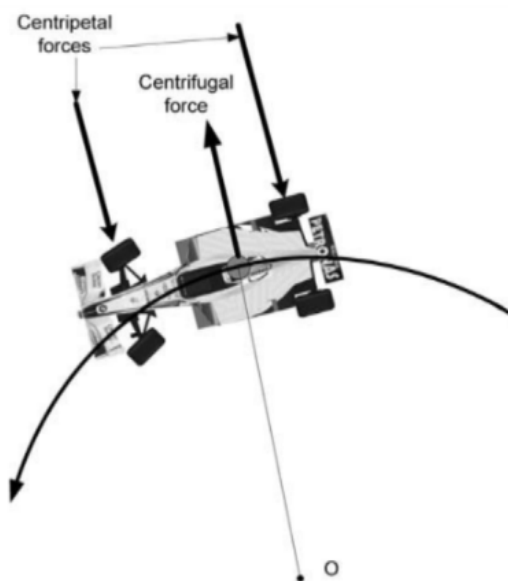
$$F_{BR} = F_G \cdot \mu \quad (2.8)$$

Změna zatížení nápravy je dána:

$$\Delta F_N = \pm \frac{F_{BR} \cdot h}{L} = \pm \frac{G \cdot \mu \cdot h}{L} \quad (2.9)$$

2.3.3 Průjezd zatáčkou

Při průjezdu zatáčkou působí na vůz dostředivé zrychlení z důvodu změny vektoru rychlosti. Toto zrychlení působí na hmotu vozidla, a tím vzniká dostředivá síla. Tato síla je reprezentována bočními silami, které působí na plošky styku pneumatiky s vozovkou. Reakční síla na tuto boční sílu je síla dostředivá. [20]

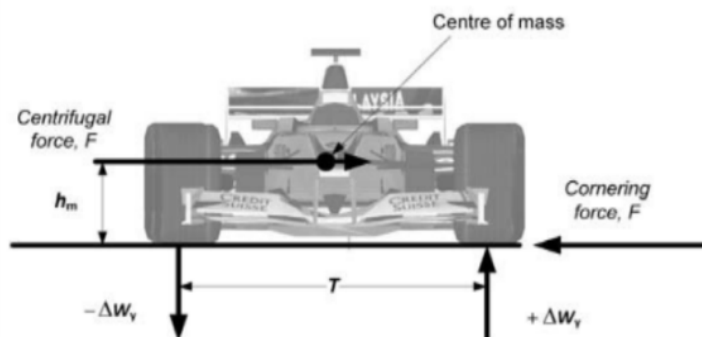


Obr. 20 – Působící síly při průjezdu zatáčkou[20]

Na problematiku průjezdu zatáčkou bude opět nahlíženo z pohledu maximální boční síly, kterou může pneumatika přenést: [20]

$$F_{maxZ} = G \cdot \mu \quad (2.10)$$

Tím, že odstředivá síla působí na těžiště vozidla a boční síly působí na kontaktní plošky pneumatik, vzniká klopný moment kolem podélné osy, který způsobuje, že vnitřní kola jsou odlehčována a vnější kola jsou více přitlačována k vozovce.



Obr. 21 – Změna zatížení náprav – průjezd zatáčkou[20]

Boční přenos zatížení je tak definován jako: [20]

$$\Delta F_N = \pm \frac{F_{SPN} \cdot h}{l} \quad (2.11)$$

Boční síla je na vnitřních a vnějších kole je definována jako:

$$F_B = \frac{F_{maxZ}}{2} + \Delta F_N \quad (2.12)$$

Tímto výpočtem jsou získány síly pro vnitřní a vnější stranu kol, převedením na poměr rozložení hmotností lze získat boční síly pro jednotlivá kola.

3 Materiály používané při stavbě závodních speciálů

U závodních speciálů se pro silně namáhané díly používají takové materiály, které se vyznačují vysokou pevností s ohledem na jejich co možná nejnižší hmotnost. Setkáváme se tedy nejčastěji s vysokopevnostní ocelí (zatěžované díly a díly ochranného typu) a hliníkem (méně zatěžované díly). Výjimkou dnes není používání kompozitů z uhlíkového vlákna. Obzvláště u okruhových speciálů nejvyšších úrovní je kompozit z uhlíkového vlákna zastoupen ve značné míře, a to jak u dílů karoserie, tak u zavěšení kol a dokonce i u hnacího ústrojí (hnací hřídel). [19]

Tato diplomová práce se soustředí na konstrukci nápravnice. Nápravnice u závodních speciálů je velmi zatěžovaný díl a tak, jako na každý díl závodních vozů, je kladen velký důraz na její nízkou hmotnost a vysokou pevnost. Nejvhodnějším materiálem pro stavbu je vysokopevnostní ocel.

3.1 Chrom-molybdenová ocel 25CrMo4

Chrom-molybdenová ocel 25CrMo4 se vyznačuje vysokou mezí kluzu a mezí pevnosti v tahu (viz tabulka). Je dodávána ve formě tabulového plechu, trubek nebo jeklů. Trubky tohoto materiálu se hojně využívají v motorsportu obzvláště při konstrukci ochranných rámu a podvozkových dílů. [24]

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	695 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m	765 MPa
Tažnost	18 %
Tvrdost	300-360 HB
Modul pružnosti	210 000 MPa
Hustota	7820 kg/m ³

Tab. 1 - 25CrMo4 [24]

3.2 Materiál 15CdV6

I tato ocel je využívána v konstrukci závodních vozů. Vyznačuje se podobně jako 25CrMo4 vysokou mezí kluzu a mezí pevnosti v tahu (viz tabulka). Je dodávána ve formě tabulového plechu nebo trubek. Tento materiál má zaručenou svařitelnost a nemusí se dále tepelně zušlechťovat. [25]

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	790 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m	980 MPa
Tažnost	11 %
Tvrdost	393-352 HB
Modul pružnosti	203 000 MPa
Hustota	7800 kg/m ³

Tab. 2 - 15CdV6 [25]

3.3 Materiál Docol DP 800/DP 1000

Tato ocel je dodávána švédským výrobcem SSAB a jedná se o dvoufázovou ocel válcovanou za studena. Docol DP se vyznačuje velmi dobrou tvárností a vysokou pevností se zaručenou svařitelností pro všechny běžné metody svařování. Kombinace mechanických a technologických vlastností určuje její vhodnost použití pro výrobu tvářených i rovinných dílů pro motorsport. Je dodávána ve formě rovinných plechů a trubek. Má nižší mez kluzu v tahu a nižší mez pevnosti, ale jde stále o srovnatelné vlastnosti s ocelí 25CrMo4. Vyznačuje se příznivější cenou než výše uvedené materiály. Tabulové plechy jsou dodávány tuzemským dodavatelem ve dvou jakostech – 800 a 1000 (odlišné meze pevnosti) a tloušťkách 0,8; 1,0; 1,2; 1,5 a 2,0 mm. Firma SSAB též dodává svařované trubky s označením R8, materiál trubek odpovídá jakosti oceli Docol 800. Tento materiál je hojně používaný ve Spojených státech amerických, kde se používá právě v motoristických soutěžích, např. v soutěžích NASCAR. [26] [27]

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	500-600 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m	800-950 MPa
Tažnost	10 %
Tvrдост	295- 255 HB
Modul pružnosti	210 000 MPa
Hustota	7820 kg/m ³

Tab. 3 - Docol DP 800[26]

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	700-950 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m	1000 - 1200 MPa
Tažnost	7 %
Tvrдост	295- 255 HB
Modul pružnosti	210 000 MPa
Hustota	7820 kg/m ³

Tab. 4 - Docol DP 1000[27]

3.4 Materiál Domex 700MC

Dalším používaným materiálem je vysokopevnostní ocel tvářená za studena s označením Domex, dodávaná jako rovinné plechy tloušťky 2,5 – 10 mm. Tento materiál se vyznačuje vysokou pevností, dobrou tvárností, zaručenou svařitelností, vysokou vrubovou houževnatostí a ořezuvzdorností. Výrobcem tohoto materiálu je rovněž švédská firma SSAB. Využití tohoto materiálu v motorsportu je především v oblasti podvozkových dílů (držáky agregátu, bezpečnostní výztuhy a ližiny). Mimo motorsport se tento materiál využívá například ke konstrukci lžic bagrů právě díky své ořezuvzdornosti a vysoké pevnosti. [28]

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	700 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m	750 - 950 MPa
Tažnost	10 %
Tvrдост	252-301HB
Modul pružnosti	210 000 MPa
Hustota	7820 kg/m ³

Tab. 5 - Domex 700MC [28]

3.5 Materiál T45

Materiál T45 je vysokopevnostní ocel vyráběná na Britských ostrovech. Dodává se jako rovinný plech nebo jako bezešvé trubky. V motorsportu je používána ke konstrukci podvozkových dílů nebo bezpečnostních prvků jako je například ochranný rám. Mimo motorsport se hojně využívá v leteckém průmyslu. Díky její dostupnosti je využívána zejména britskými týmy, např. M-Sport (soukromý tým v závodech rally a účastník okruhových vytrvalostních závodů kategorie GT). [28]

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	620 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m	700 - 900 MPa
Tažnost	15 %
Tvrдость	201-262 HB
Modul pružnosti	210 000 MPa
Hustota	7820 kg/m ³

Tab. 6 - T45 [29]

4 Nápravnice závodních speciálů

Jak již bylo zmíněno, nápravnice je díl pevně spojený s karoserií a k ní jsou uchycena kyvná ramena. K přední nápravnici je dále uchyceno řízení, reakce motoru a v některých případech i stabilizátor. V případě zadní nápravnice a pohonu zadních kol bývá nápravnice využita jako nosný prvek diferenciálu a zadních ramen.

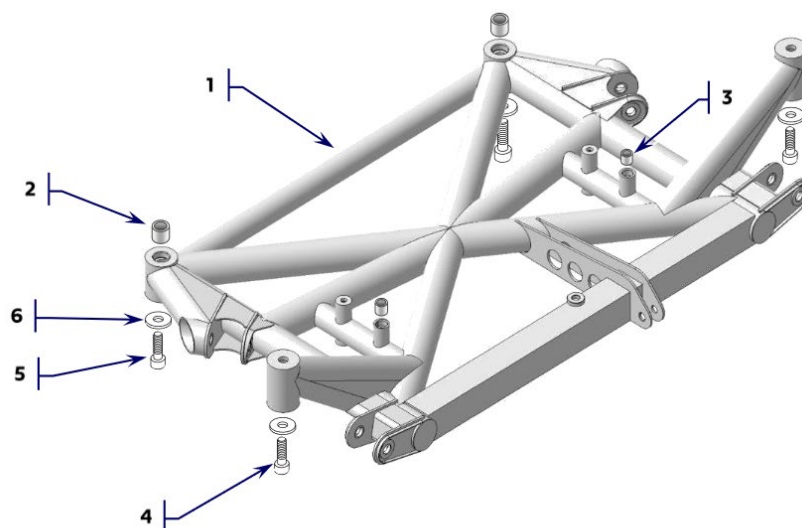
Variety závodních nápravnic jsou: svařovaný trubkový rám, svařovaný jeklový rám, svařovaná konstrukce z lisovaných a výztužných plechů, případně jejich kombinace. U užitkových vozů se nejčastěji setkáváme se svařovanými nápravnicemi z lisovaných plechů. Je to dáno hlavně tím, že tento druh nápravnice při dostatečném výrobním množství vychází z ekonomického hlediska nejvýhodněji.

4.1 Trubková nápravnice



Obr. 22 - Přední nápravnice - trubková – Mitsubishi Lancer EVO 7 [30]

Na obr. 22 je nápravnice pro závodní speciál Mitsubishi Evolution 7 určený pro závody v rally a rallycrossu. Je to svařenec rovinných a ohýbaných trubek se čtyřmi úchytnými body ke karoserii, uprostřed jsou vidět závitové vložky sloužící k uchycení řízení.



Obr. 23- Přední nápravnice – kombinace trubek a jeklů – Peugeot 208 S2000 [31]

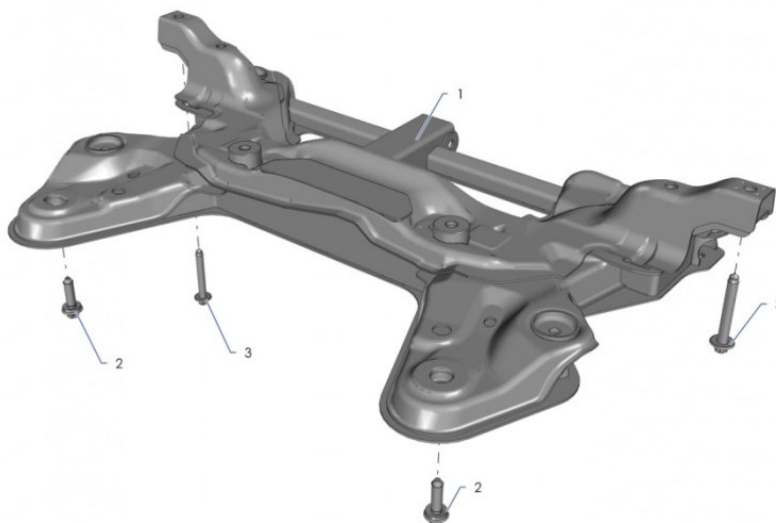
Na obr. 23 je přední nápravnice pro závodní speciál Peugeot 208 S2000 určený pro závod rally a rallycross. Jde o svařenec z trubek a jeklu, nápravnice je vyztužena plechy. Uprostřed nápravnice jsou úchytné body pro řízení a v její přední části se nachází úchytný bod reakce motoru. Pořizovací cena nápravnice je stanovena dodavatelem Peugeot Sport na 3000€. [31]



Obr. 24 - Nápravnice – jeklová – Citroën DS R5 [32]

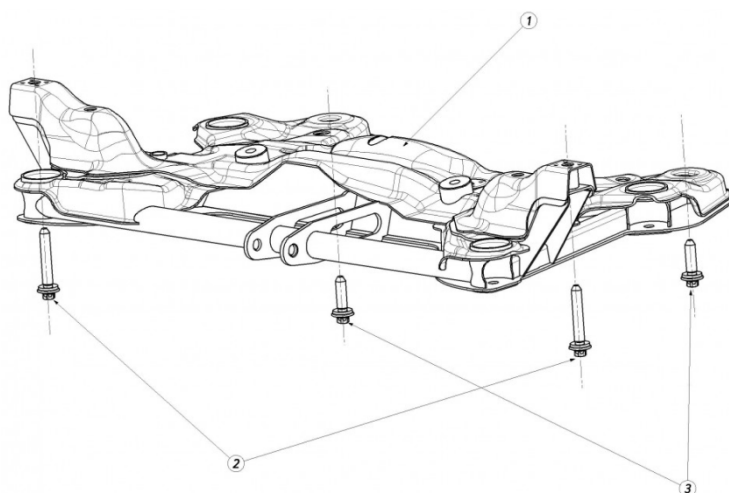
Na obr. 24 je nápravnice pro závodní speciál Citroën DS R5. Jde o svařenec z vysokopevnostních jeklů, který je vyztužen pomocí ohraněných plechů. Nápravnice se vyznačuje obdobnou hmotností jako v případě trubkové nápravnice, avšak výroba je ve srovnání s trubkovou nápravnicí snazší. Tato konkrétní nápravnice je k prodeji za 2500 €. [32]

4.2 Nápravnice z lisovaných plechů



Obr. 25 - Přední nápravnice – svařenec lisovaných plechů - Peugeot 208 R2 [33]

Na obr. 25 je znázorněn 3D model přední nápravnice speciálu Peugeot 208 R2. Jedná se o nápravnici svařovanou z lisovaných plechů, která vychází ze sériové nápravnice. Tato nápravnice pro závodní účely musela být modifikována tak, aby nebyla v kolizi se zástavbou motorového prostoru, a následně byla vyztužena příčným profilem, aby bylo dosaženo požadované tuhosti. Protože nápravnice vychází ze sériové verze pro Peugeot 208, cena je znatelně nižší než předchozí typy (trubková, jeklová) a vychází na 800 €. [33] Je nutno dodat, že je tato nápravnice určena pro vůz kategorie R2. Kategorie R2 je velmi omezena možnostmi modifikace vozu. Vůz má blíže k sériové verzi oproti vozům specifikace R5 nebo WRC. Nedochozí tedy k nadměrnému zatěžování podvozku, a tudíž není nutno konstruovat zcela novou nápravnici z vysokopevnostních materiálů. Obdobně je tomu u vozu Citroën DS3 R3 určenému pro závody v rally a rallycrossu.



Obr. 26 - Přední nápravnice - svařenec lisovaných plechů – Citroën DS3 R3 [34]

5 Specifikace požadavku a konstrukční řešení podvozku

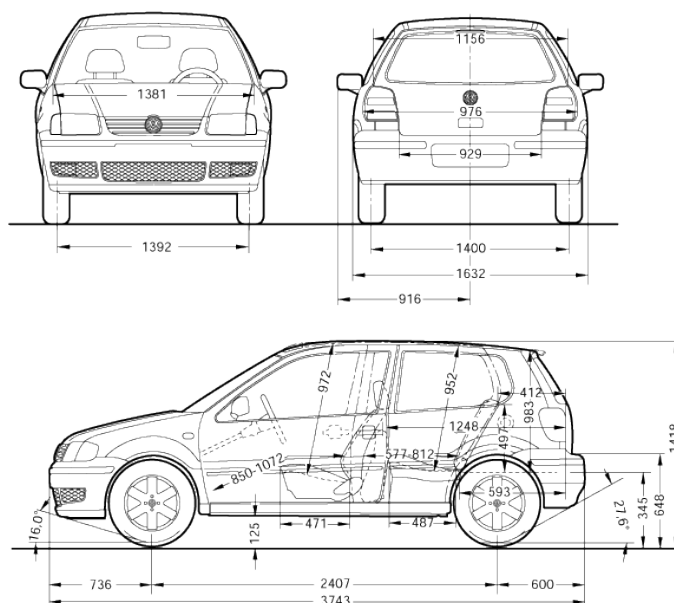
Tato kapitola se zabývá specifikací požadavků a modifikací konkrétního vozidla a postupem konstrukce nápravnice.

5.1 Technická specifikace vozu

Vůz, který je upravován pro závodní účely, je VW Polo III GTI. Specifikace sériového vozu je znázorněná v tab. 7. Veškeré modifikace provedené na vozidle musí být v souladu s předpisy Autoklubu ČR. Tyto předpisy jsou volně dostupné na stránkách Autoklubu, jmenovitě jde o technická pravidla pro rallycross – dodatek J, možné technické úpravy stanovuje Článek 279.



Obr. 27 - VW Polo III GTI [35]



Obr. 28 - Technický náčrt VW Polo III GTI [35]

Technická specifikace sériového vs. závodního vozu:

VW Polo III GTI	
Obsah motoru [ccm]	1598
Typ paliva	benzín
Max. výkon [kW/k]	92/125
Počet válců	4
Převodovka	MAN, 5 st.
Max. rychlost [km/h]	205
Akcelerace 0-100 km/h [s]	8.7
Prům. spotřeba 100 km [l]	7.1
Objem nádrže [l]	45
Rozměry pneumatik	195/45 R15
Výroba motoru [od-do]	10/99 - 09/01
Přední náprava	Nezávislá
Přední zavěšení	MacPherson
Zadní náprava	Tuhá
Zadní zavěšení	Vlečné
Délka auta [mm]	3743
Šířka auta [mm]	1632
Výška auta [mm]	1418
Rozchod kol vpředu [mm]	1392
Rozchod kol vzadu [mm]	1400
Rozvor náprav [mm]	2407
Počet dveří [ks]	2/3
Hmotnost [kg]	1250

VW Polo III GTI RX	
Obsah motoru [ccm]	1598
Typ paliva	benzín
Max. výkon [kW/k]	166/225
Počet válců	4
Převodovka	SEK, 5 st.
Max. rychlost [km/h]	220*
Akcelerace 0-100 km/h [s]	5.4 *
Prům. spotřeba 100 km [l]	25*
Objem nádrže [l]	8
Rozměry pneumatik	195/45 R15
Výroba motoru [od-do]	-
Přední náprava	Nezávislá
Přední zavěšení	MacPherson
Zadní náprava	Tuhá
Zadní zavěšení	Vlečné
Délka auta [mm]	3743
Šířka auta [mm]	1632
Výška auta [mm]	1418
Rozchod kol vpředu [mm]	1532
Rozchod kol vzadu [mm]	1532
Rozvor náprav [mm]	2407
Počet dveří [ks]	2/3
Hmotnost [kg]	920

Tab. 7 - Technická specifikace vozu VW Polo [35] vs VW Polo III GTI RX

*hodnoty jsou pouze orientační, jelikož motor s převodovkou v době vzniku práce nebyl na motorové brzdě. Hodnoty rámcově odpovídají ostatním vozům stejné skupiny.

5.2 Změna zástavby nového podvozku

Tato práce se soustředí na podvozek rallycrossového speciálu VW Polo III, který spadá do kategorie Touring Cars díky použitému atmosférickému motoru o objemu 2,0l se sekvenční převodovkou a jednou hnací nápravou.



Obr. 29 - Nový agregát se sekvenční převodovkou

Konstrukce nového podvozku byla nevyhnutelná kvůli zástavbě sekvenční převodovky místo sériové manuální. **Sériová nápravnice byla v kolizi se skříní nové sekvenční převodovky** v místě předního úchytného bodu nápravnice ke karoserii a bylo nezbytné vytvoření nové přední nápravnice.



Obr. 30 - Sériová nápravnice s označením místa kolize

Vozidlo disponuje zadní tuhou nepoháněnou nápravou – vlečná náprava. Vůči ostatním komponentům není v kolizi tak jako přední náprava. Zadní vlečná náprava je dostatečně robustní, a proto nebylo nutné ani žádoucí vytvářet novou zadní nápravu. Smysl by mělo vypracovat novou zadní nápravu, která by byla nezávislá, ale tuto variantu vylučují technická pravidla, která podmiňují použití totožného zavěšení, jaké se vyskytuje u sériového vozidla. Konstrukce zadního zavěšení není v práci nadále řešena, počítá se s využitím sériového zadního zavěšení.



Obr. 31 - Kolizní oblast nové převodovky se sériovou nápravnicí

Nebylo výhodné modifikovat a vyztužit přední sériovou nápravnicí, což by se s ohledem na předchozí kapitoly věnované druhům závodních nápravnic zdálo jako nejlevnější řešení, protože sériová nápravnice je v kolizi se skříní převodovky a přední úchytné body nápravnice jsou v místě poloos. Bylo tedy nutné vytvořit nové přední úchytné body, a ty současné byly odstraněny, aby bylo vytvořeno místo pro hnací poloosy. Posunutí motoru směrem dopředu rovněž nebylo možné z důvodu kolize motorových svodů s chladičem. Změně pozice motoru by podléhaly i další komponenty jako alternátor a chladič převodovky. Z tohoto výčtu nutných změn vyplývá, že modifikace sériové nápravnice by byla značně komplikovaná a jako výhodnější se tedy jeví konstrukce nápravnice nové.

K vytvoření nové nápravnice bylo třeba odměřit důležité konstrukční uzly karoserie, šlo zejména o zadní úchytné body nápravnice, polohy držáků motoru a převodovky, polohu řízení, misky předních tlumičů, polohu nosníků a polohu převodovky. 3D měřicím přístrojem byly dále odměřeny jednotlivé komponenty, které zůstaly sériové. Konkrétně se jednalo o těhlici a řízení.

Pro odměření těchto bodů byl zapůjčen 3D přenosný měřicí přístroj Romer Absolute Arm. Měřením vzniklo mračno bodů, ze kterého se začaly postupně vytvářet první návrhy nápravnice a zbytku podvozku.



Obr. 32 - Romer Absolute Arm [36]

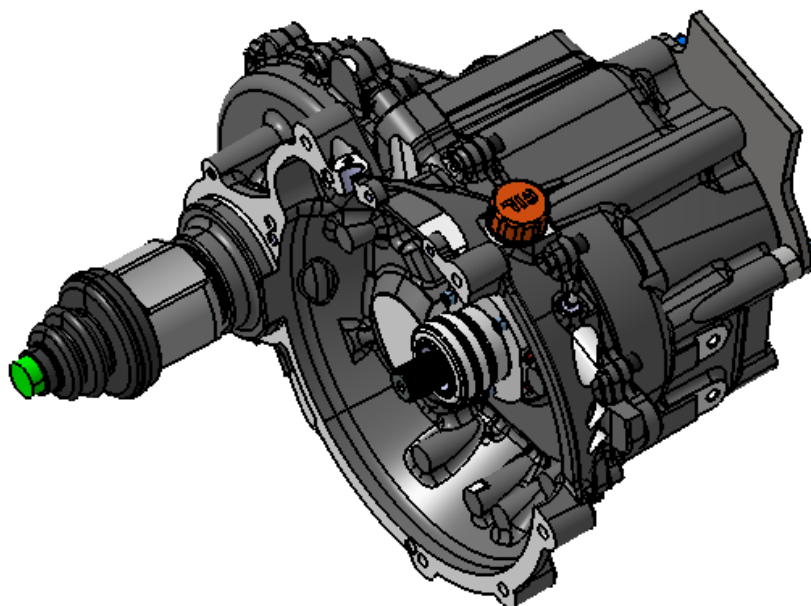
Hlavním tématem této práce je konstrukce nápravnice a ostatní komponenty podvozku budou okrajově zmíněny na konci práce. Konstrukční návrh a pevnostní výpočet nápravnice byl prováděn v programu CATIA V5R21.

Sekvenční převodovka byla pořízena od firmy 3MO, typ LC776 – EVO. Jedná se o šestistupňovou sekvenční převodovku pro motory s krouticím momentem do 280Nm. Hmotnost převodovky je 37kg.



Obr. 33 – Sekvenční převodovka 3MO LC776 – EVO [37]

Výrobce byl ochotný poskytnout skříň převodovky v 3D modelu, a to velmi ulehčilo modelování celého podvozku. 3D měřicím přístrojem byly odměřeny referenční body převodovky, která již byla uložena ve voze a následně mohl být model převodovky napozicován v 3D datech.



Obr. 34- 3D model převodovky 3MO LC776 – EVO

5.3 Výpočet působících sil

Pro výpočet působících sil bylo nezbytné zjistit pozici těžiště vozidla. Pozice těžiště se zjišťuje rozvážením vozu (viz kapitola 2.2.5), které v dané chvíli nebylo možné. Bylo ovšem možné provést rozvážení stejného typu vozu s původní sériovou převodovkou s tím, že výsledek nebude zcela odpovídat realitě, avšak bude dostačující pro výpočet zátěžových sil.

$$m_V = 920 \text{ kg}$$

$$m_j = 95 \text{ kg}$$

$$m_p = 5,6 \text{ kg}$$

$$m_{VC} = m_V + m_j + m_p = 920 + 95 + 5,6 = 1020,6 \text{ kg}$$

Rozložení hmotnosti přední/zadní nápravy: 61/39%

Součinitel adheze pneumatik (μ): 1,2

Zatížení přední nápravy: 622,6 kg

Zatížení zadní nápravy: 398 kg

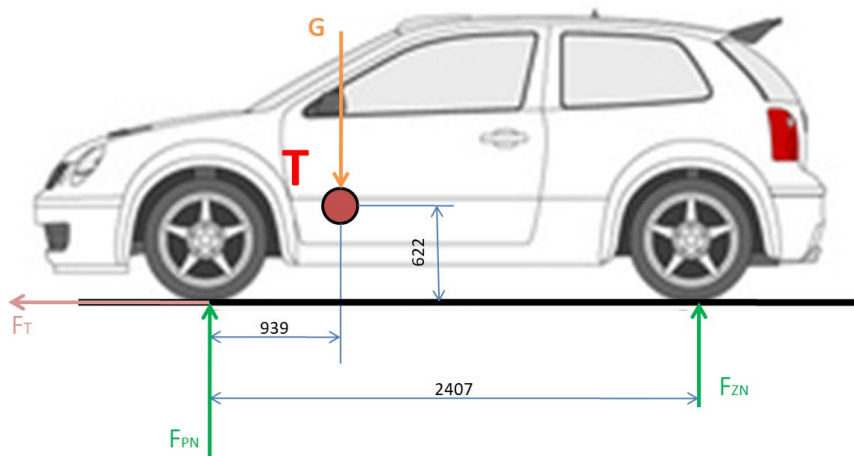
Výška těžiště (h): 622mm

Rozchod vpředu (l_p): 1532mm

Rozchod vzadu (l_z): 1532mm

Rozvor (L): 2407mm

Akcelerace



Obr. 35 – Schéma zatížení náprav - akcelerace

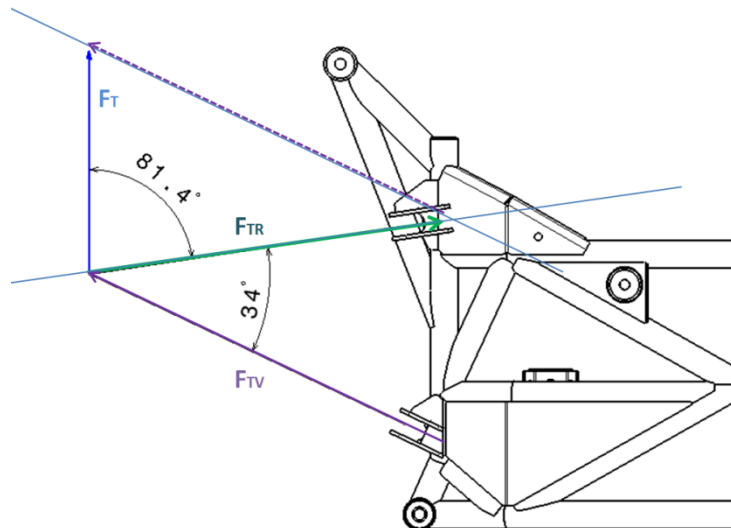
$$F_G = m_{VC} \cdot g = 10\,012\,N$$

$$F_{PN} = F_G \cdot \frac{L_P}{L} = 10\,012 \cdot \frac{939}{2\,407} = 3\,906\,N$$

$$F_T = \frac{F_{PN} \cdot \mu}{1 - \frac{h \cdot \mu}{L}} = \frac{3\,906 \cdot 1,25}{1 - \frac{0,622 \cdot 1,25}{2,407}} = 4\,884\,N$$

$$F_{TP} = F_{TL} = \frac{F_T}{2} = 2\,442\,N$$

Trakční síla kol, kterou přenáší přední náprava při akceleraci, je **4884N**. Na pravém i na levém kole působí síla 2442N, tyto síly se přenášejí přes kyvná ramena na nápravnici.



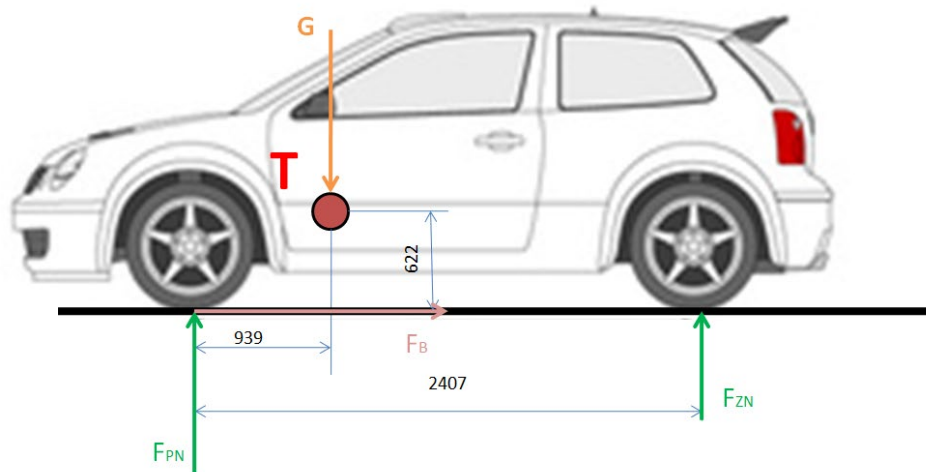
Obr. 36 - Rozložení trakční síly přenášené ramenem do nápravnice - akcelerace

Za použití sinových vět určíme působící síly na úchyty ramena k nápravnici – F_{TR} a F_{TV}

$$\frac{F_{TV}}{\sin 81,4^\circ} = \frac{F_{TP}}{\sin 34^\circ} \rightarrow F_{TV} = 4\,640\,N$$

$$\frac{F_{TR}}{\sin 64,6^\circ} = \frac{F_{TP}}{\sin 34^\circ} \rightarrow F_{TR} = 4\,318\,N$$

Decelerace



Obr. 37 – Schéma zatížení náprav - decelerace

$$G = 10\,012\,N$$

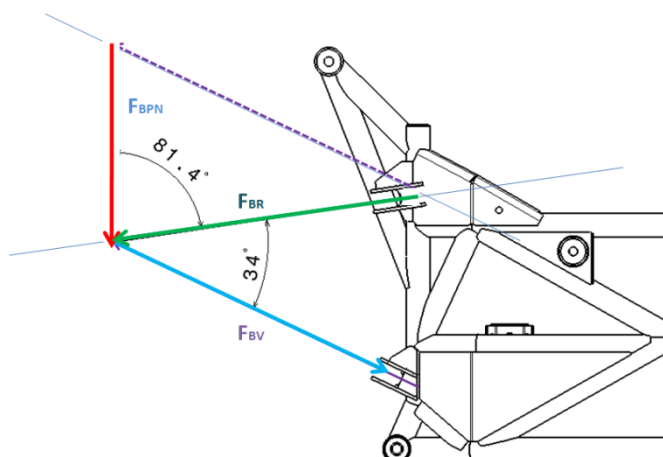
$$F_{PN} = F_G \cdot \frac{L_P}{L} = 10\,012 \cdot \frac{939}{2\,407} = 3\,906\,N$$

$$F_B = F_G \cdot \mu = 10\,012 \cdot 1,25 = 12\,515\,N$$

$$F_{BPN} = F_{PN} + \frac{F_B \cdot h}{L} = 3\,906 + \frac{12\,515 \cdot 0,622}{2,407} = 7\,140\,N$$

$$F_{BPNL} = F_{BPNP} = \frac{F_{BPN}}{2} = 3\,570\,N$$

Maximální brzdná síla na přední nápravě F_{BPN} je 7140N, na jedno kolo tedy působí síla o velikosti 3570N (uvažujeme stejné brzdné síly na obou kolech). Tato síla se přenáší přes kyvná ramena na nápravnici.



Obr. 38 - Rozložení trakční síly přenášené ramenem do nápravnice - decelerace

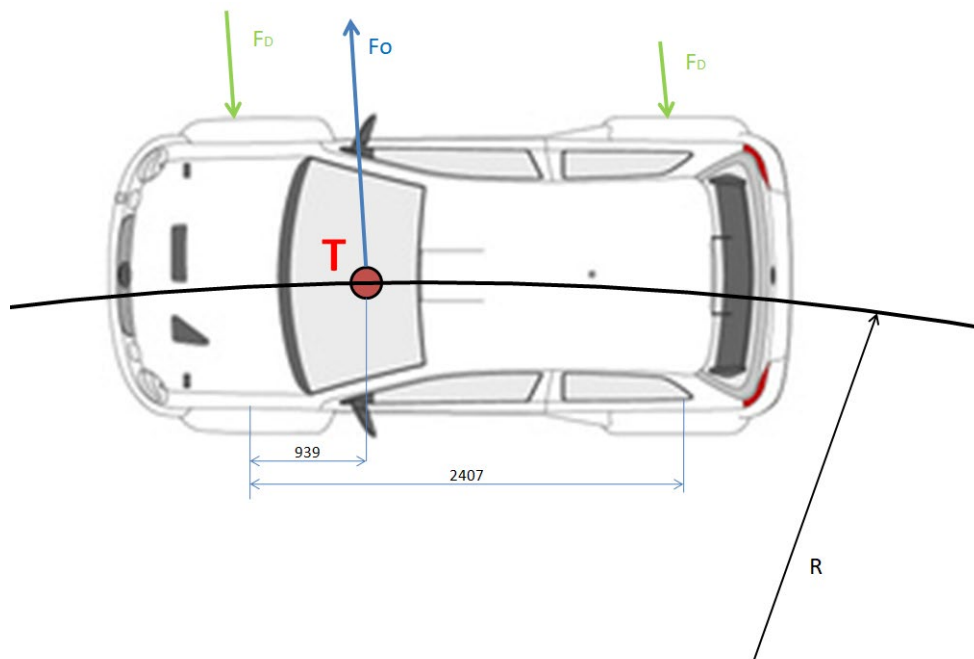
Za použití sinových vět určíme působící síly na úchyty ramen k nápravnici – F_{BV} a F_{BR}

$$\frac{F_{BV}}{\sin 81,4^\circ} = \frac{F_{BPN}}{\sin 34^\circ} \rightarrow F_{BV} = 6\,312\text{ N}$$

$$\frac{F_{BR}}{\sin 64,6^\circ} = \frac{F_{BPN}}{\sin 34^\circ} \rightarrow F_{BR} = 5\,767\text{ N}$$

Průjezd zatáčkou

Při průjezdu zatáčkou na vůz působí odstředivá síla, reakcí na tuto sílu je síla dostředivá. Působíště dostředivé síly je mezi vozovkou a ploškami pneumatik, které jsou ve styku s vozovkou. Pneumatiky však dokážou přenášet jen určité velikosti zatížení, při překročení jejich únosnosti dochází k prokluzu.



Obr. 39 – Schéma zatížení náprav – průjezd zatáčkou

Poloměr zatáčky (R): 50m

Maximální boční síla, kterou pneumatiky mohou přenést, je dána vztahem:

$$F_{maxZ} = G \cdot \mu = 12\,515\, N$$

Z rozvážení vozu vyplývá, že na přední nápravě bude 61%, tím pádem boční síla na pneumatikách bude:

$$F_{SPN} = 0,61 \cdot F_{maxZ} = 0,61 \cdot 12\,515 = 7\,634\, N$$

Změna zatížení vnitřní a vnější nápravy:

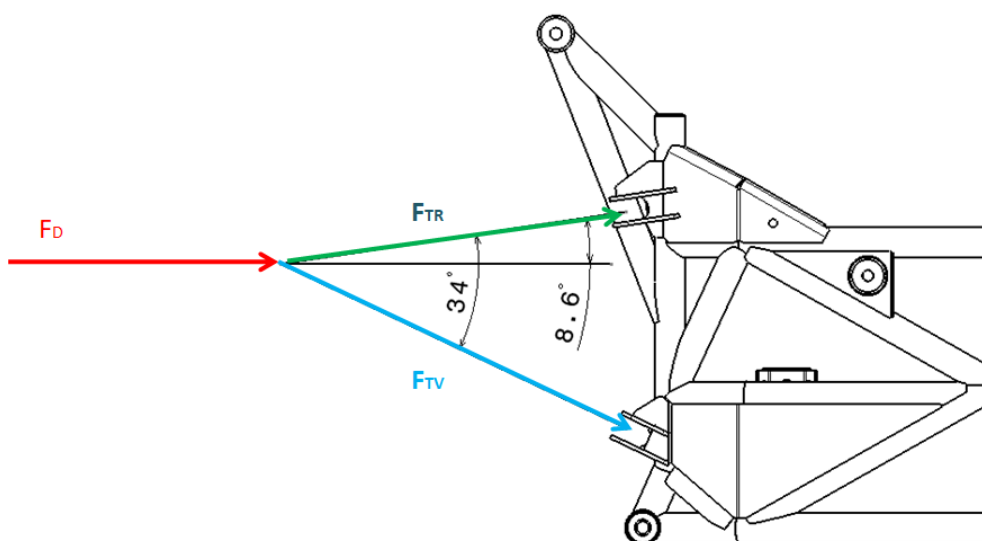
$$\Delta F_N = \pm \frac{F_{SPN} \cdot h}{l} = \pm \frac{7\,634 \cdot 0,622}{1,532} = \pm 3\,099\, N$$

Síla, kterou přenáší vnější, více zatížené, kolo je:

$$F_{BPNZ} = \frac{F_{SPN}}{2} + \Delta F_N = 3\,817 + 3\,099 = 6\,916\, N$$

Maximální rychlost, kterou vůz může zatáčkou s poloměrem 50m projet je:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{F_{maxZ} \cdot R}{m_{VC}}} = \sqrt{\frac{12\,515 \cdot 50}{1026}} = 24,8\, m/s \sim 89,1\, km/h$$



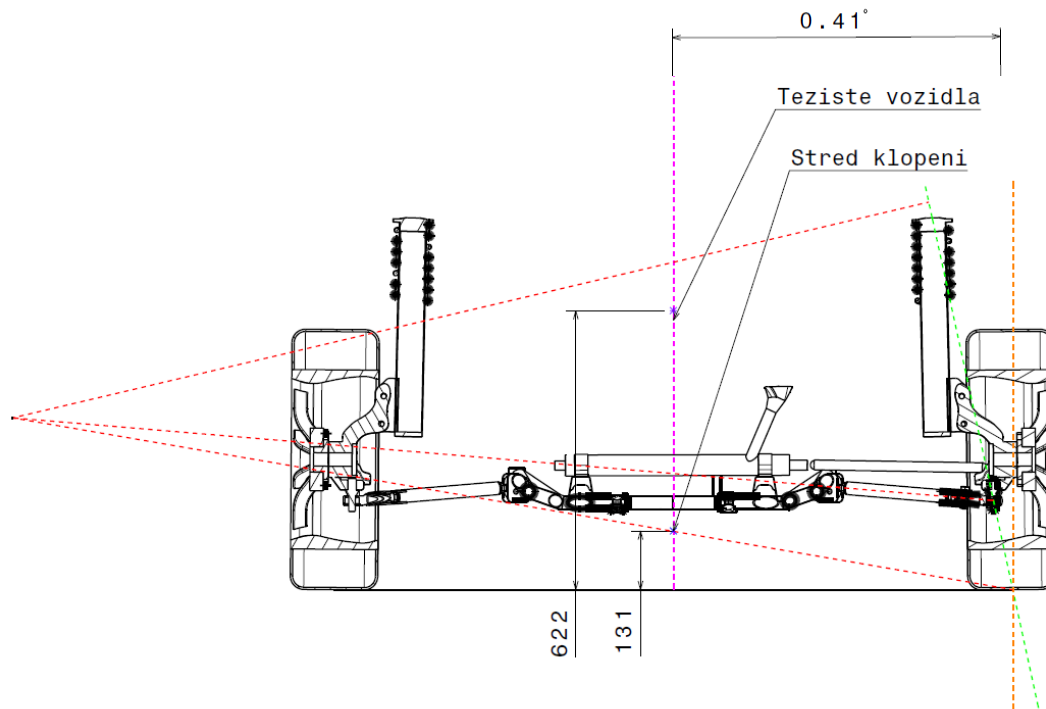
Obr. 40 - Rozložení trakční síly přenášené ramenem do nápravnice – průjezd zatáčkou

Obdobně jako v předešlém případě použijeme sinovu větu k určení sil působících na úchyty ramen:

$$\frac{F_{TR}}{\sin 25,4^\circ} = \frac{F_D}{\sin 146^\circ} \rightarrow F_{TR} = 5\,305\text{ N}$$

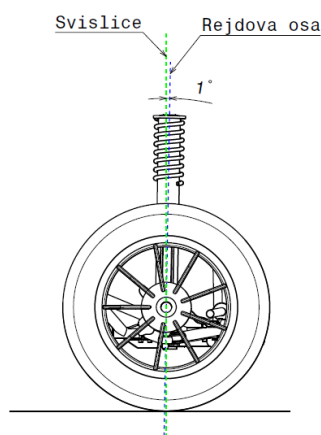
$$\frac{F_{TV}}{\sin 8,6^\circ} = \frac{F_D}{\sin 146^\circ} \rightarrow F_{TV} = 1\,850\text{ N}$$

5.4 Kinematika podvozku



Obr. 41 - Kinematika podvozku

Na obr. 41 je řez podvozkem, kde je vyznačeno těžiště a poloha středu klopení. Z obrázku vyplývá, že rejdový poloměr je roven nule, jelikož podvozek je plně nastavitelný. Lze nastavit délku ramen pomocí koncových unibalů (viz kapitola 8.1.2). Rovněž odklon tlumičů lze nastavit (viz kapitola 8.6). Odklon kol je nastaven na $0,4^\circ$ a sbíhavost je nastavena na 0° . Negativní odklony zajišťují maximální kontakt pneumatiky s vozovkou při akceleraci, kdy dojde ke klopení karoserie, a kola se narovnejí. Tím pádem při startu dojde k narovnání pneumatik a kontaktní plocha pneumatik s vozovkou je maximální.



Obr. 42 - Kinematika podvozku – záklon tlumiče

Na obr. 42 je znázorněn použitý závlek rejdové osy. Je volen 1° závleku a to z důvodu, aby kola měla tendenci vracet se do přímého směru. Zároveň je dostatečně malý, aby měl pilot závodního vozu cit v řízení. Tlumič je úhlově nastavitelný, a tak je nastavitelný i úhel rejdové osy.

Z hlediska kinematiky obecně nelze vytvořit ideální podvozek, protože každý pilot upřednostňuje jiné chování vozu. Někteří piloti preferují nedotáčivý vůz, jiní zase přetáčivý, anebo neutrální. Proto je nutné podvozek podrobit důkladnému testování a vyzkoušet různá nastavení a podvozek nastavit tak, aby vůz co možná nejvíce vyhovoval pilotovi.

5.5 Konstrukční návrh nápravnice

Z kapitoly 4 zabývající se variantami nápravnic použitých u závodních speciálů vyplývají možnosti konstrukce nápravnice ze svařených lisovaných plechů, trubek nebo jeklů, případně z kombinace těchto prvků.

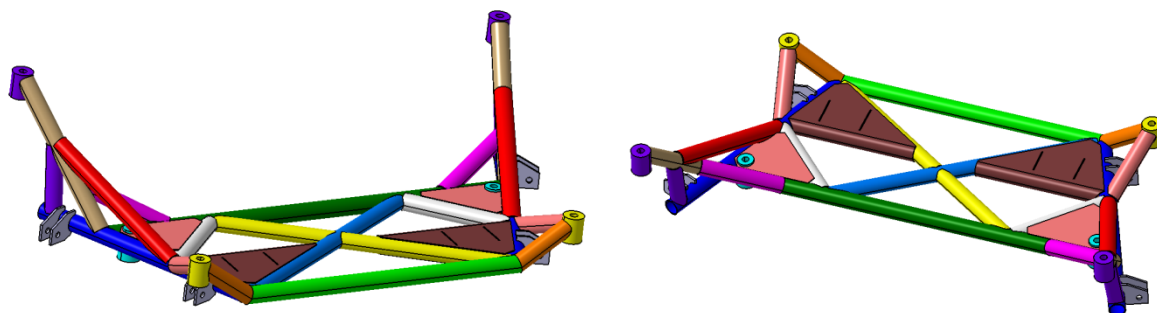
Nápravnice z lisovaných plechů byla zamítnuta z důvodu finanční náročnosti. Pořizovací cena lisovacího nářadí by byla nad rámec rozpočtu.

Nápravnice z jeklů byla rovněž zamítnuta z důvodu zhoršené dostupnosti profilů v požadované pevnosti.

Jako nejvýhodnější se ukázala varianta svařené konstrukce z vysokopevnostních trubek díky tomu, že firma, která výrobu pokryla, je přímým distributorem vysokopevnostních plechů a trubek. Toto řešení bylo výhodné jednak po finanční stránce, tak i po stránce časové, neboť veškerý potřebný materiál byl k dispozici skladem a nedocházelo k prodlení.

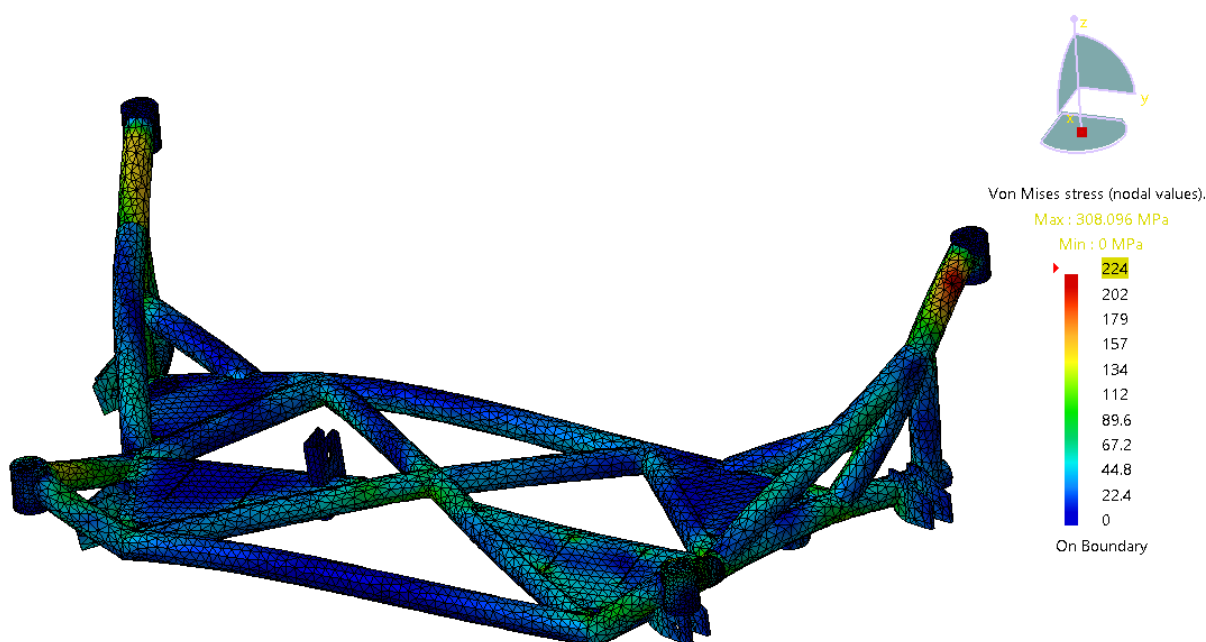
5.5.1 Evoluce I

Konstrukční návrh nápravnice – svařovaná trubková konstrukce s profilovými plechy a rovinnou základovou konstrukcí:



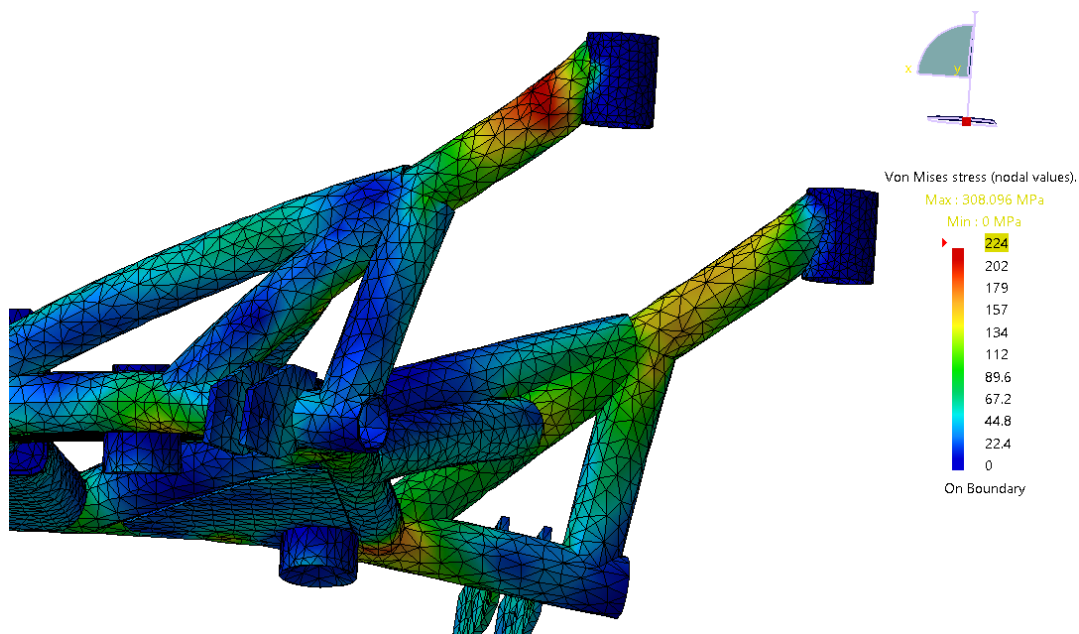
Obr. 43 – Přední nápravnice - Evoluce I

Výhodou této varianty je především její jednoduchost. Spodní konstrukce je v jedné rovině, což zjednodušuje a zlevňuje svařovací přípravek. Konstrukce nápravnice EVO I vyhovuje zástavbovému prostoru díky bočním trubkám, které se sbíhají do tvaru písmene V, což dává prostor bočním výztužným trubkám v oblasti skříně převodovky. Ovšem toto řešení by vedlo k dlouhým vzpěrám ramen, které by zapříčinily nárůst hmotnosti při relativně krátkých ramenech. Nápravnice následně byla podrobena statické zátěžové analýze.



Obr. 44 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce I

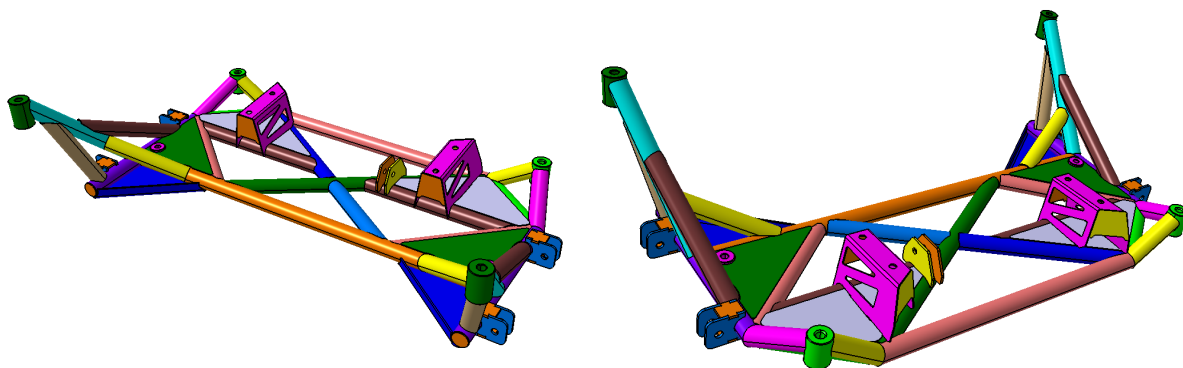
Statická analýza byla provedena v programu CATIA. Analýza odhalila nízkou pevnost v oblasti předních úchytných bodů a dalším slabým místem je oblast úchytných bodů ližiny. Pro další evoluci byla slabá oblast vyztužena a geometrie konstrukce pozměněna.



Obr. 45 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce I – detail přední úchyt

5.5.2 Evoluce II

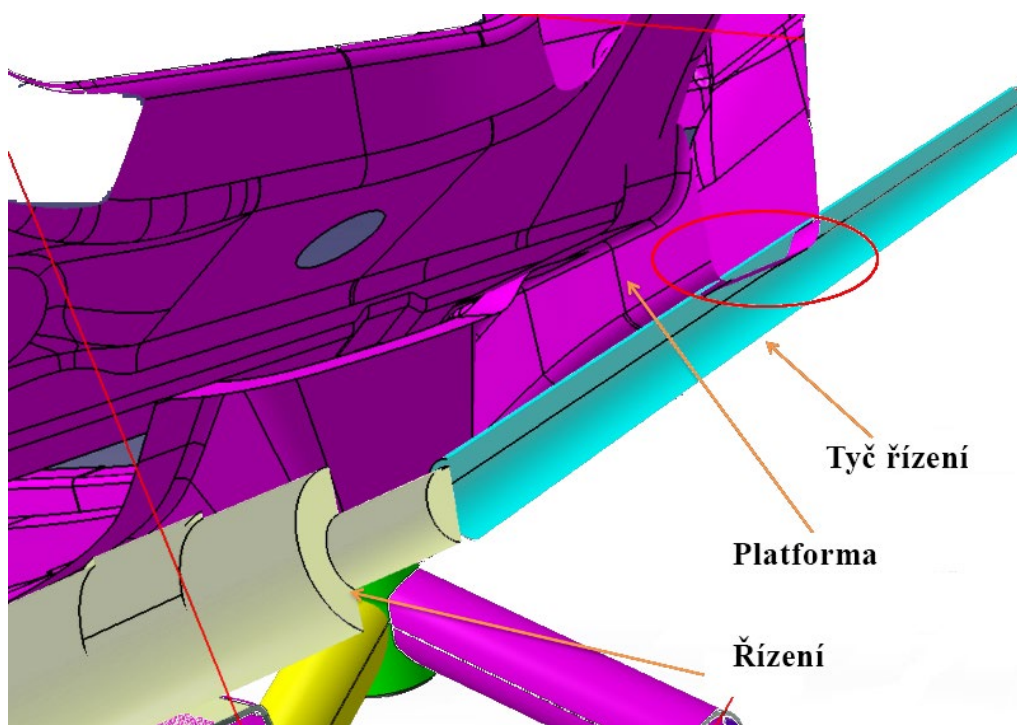
Konstrukční varianta nápravnice – svařovaná trubková s výztužnými plechy:



Obr. 46 – Přední nápravnice - Evoluce II

Vývojová varianta evoluce II vychází z předchozí verze, kde spodní konstrukce je stále v jedné rovině, což je výhodné z pohledu jednoduchosti svařovacího přípravku a snazší výroby. Došlo ke zvýšení pevnosti v oblasti předních úchytných bodů tím, že přední výztužná vzpěra byla prodloužena co nejbližší k přednímu úchytnému bodu. Rovněž byly upraveny podélné boční trubky nesoucí držáky ramen tak, aby zadní vzpěra nebyla tak dlouhá, a tím pádem byla i méně namáhána. Při takovéto konstrukci došlo ke změně kinematiky podvozku a bylo nutné posunout pozici řízení (nutnost zvednout). Po správném napozicování řízení bylo zjištěno, že při plném natočení volantu dochází ke kontaktu s nosníkem karoserie, tudíž muselo dojít ke změně kinematiky nápravy. Tato změna zasahovala i do konstrukce samotné

nápravnice. Bylo nezbytné prodloužit ramena a posunout úchyty ramen směrem dovnitř nápravnice.

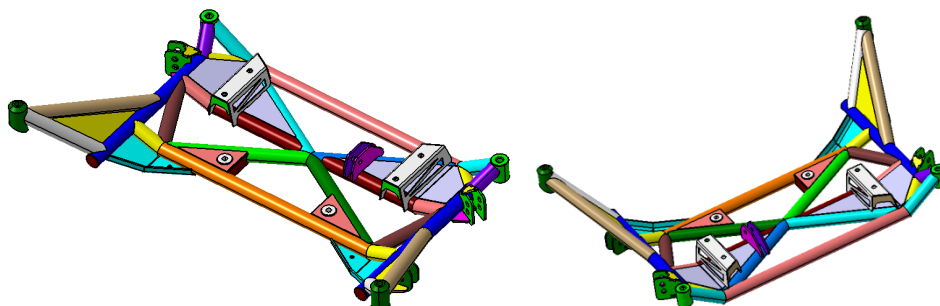


Obr. 47 - Kolize táhla řízení s platformou

Zátěžová analýza nápravnice Evoluce II nebyla namístě z důvodu zjištěné kolize tyče řízení s nosníkem karoserie v mezní poloze. Proto došlo rovnou k přepracování koncepčního návrhu a zátěžová analýza byla provedena na nápravnici Evoluce III.

5.5.3 Evoluce III

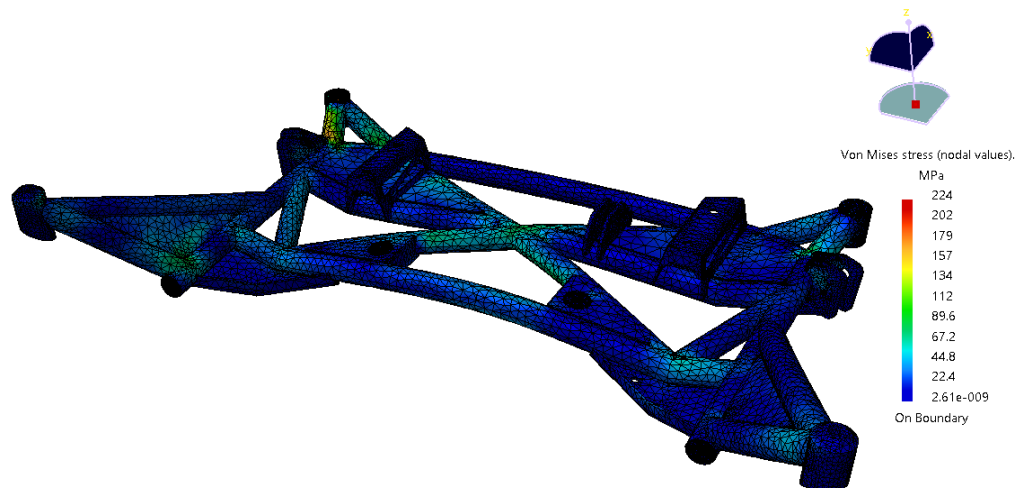
Konstrukční varianta nápravnice – svařovaná trubková konstrukce s výztužnými plechy:



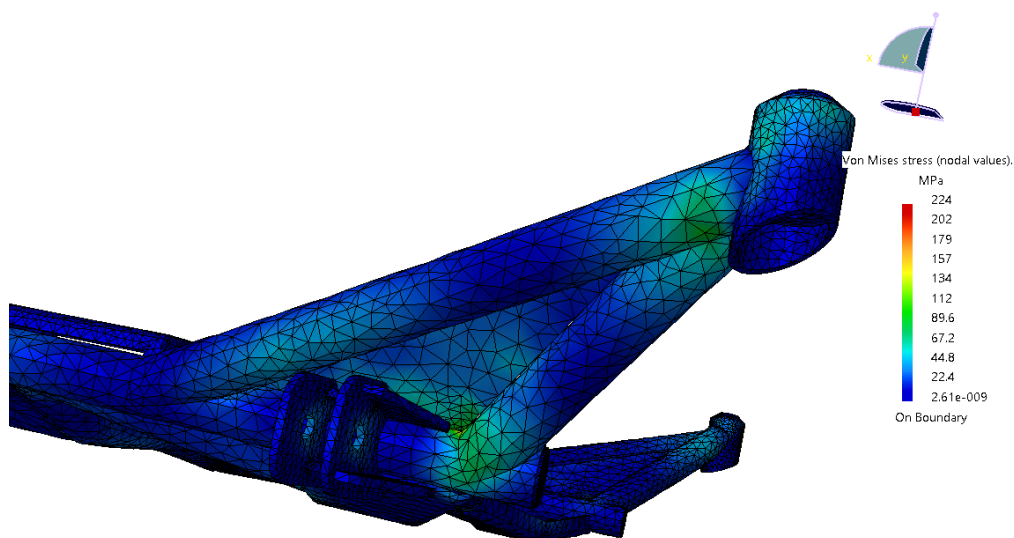
Obr. 48 – Přední nápravnice - Evoluce III

Nevýhodou této varianty je složitější konstrukce – boční podélné trubky jsou zvednuty od spodní roviny, a tím i svařovací přípravek je znatelně složitější. Úchyt ližiny k nápravnici je realizován pomocí závitových insertů vevařených do konzol ze svařených plechů a tyto konzoly jsou vevařené do spodního rámu nápravnice. Rovněž

byl zúžen základní rám, což vedlo k prodloužení ramen, změně geometrie a bylo posunuto řízení do pozice, kdy už nebylo v kolizi s nosníkem. Tato varianta splňovala pevnostní požadavky, a bylo možné postoupit k dynamické analýze.



Obr. 49 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce III



Obr. 50 – Přední nápravnice – MKP analýza Evoluce III – detail přední úchyt

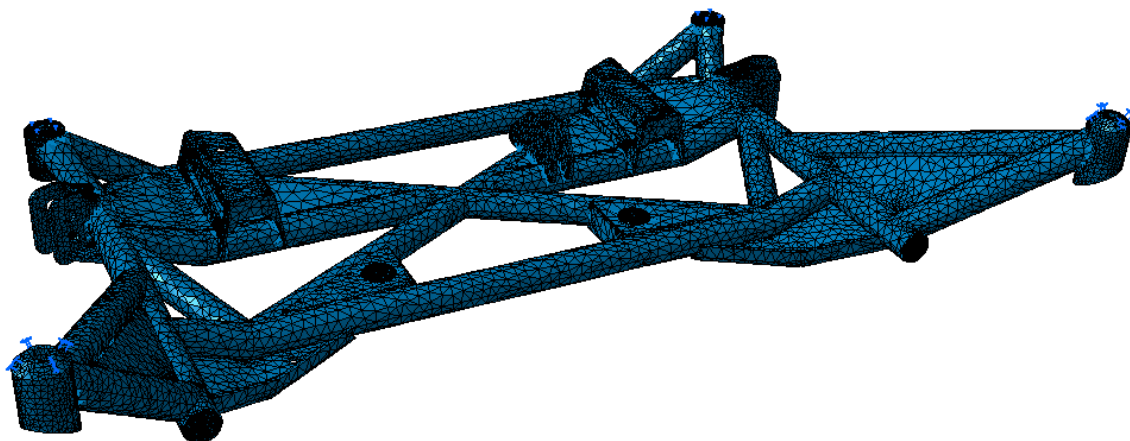
Kritické oblasti z koncepce EVO I byly vyztuženy, což potvrzuje statická analýza. Nápravnice musí dále projít dynamickou analýzou, aby se teorie potvrdila i při proměnném zatěžování.

6 Dynamická analýza

Pro dynamickou analýzu budeme předpokládat nejtěžší situace, které v závodě mohou nastat. Jedná se o doskok a projetí zatáček ve sletu pravá, levá, pravá. Při pohledu na výsledky působících sil během akcelerace a decelerace je celkem zbytečné vytvářet pro tyto režimy analýzu, jelikož největší zatížení nastává právě při projetí zatáčkou (viz kapitola 5.3).

6.1 Síť modelu

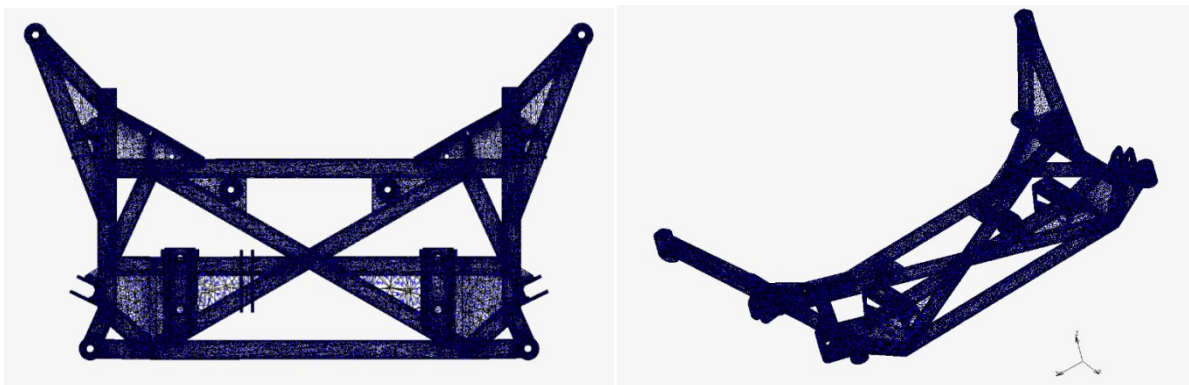
V programu CATIA byla vygenerována síť celého modelu nápravnice a následně byla upravena tak, aby se výsledky blížily co nejvíce realitě, tzn. síť v místě spojení a přechodů jednotlivých dílců byla zjemněna. Rovněž byla zjemněna síť v místech ohybů z důvodu eliminace možných napěťových špiček, které by výsledek mohly do značné míry zkreslit. Síť obsahuje kolem 400 tis. elementů.



Obr. 51 - Zasítovaný model nápravnice - CATIA

Jelikož v programu CATIA lze uskutečnit pouze statickou zátěžovou analýzu, bylo nutné provést dynamickou zátěžovou analýzu v pokročilejším programu. Pro dynamickou analýzu byl vybrán program Marc Mentat.

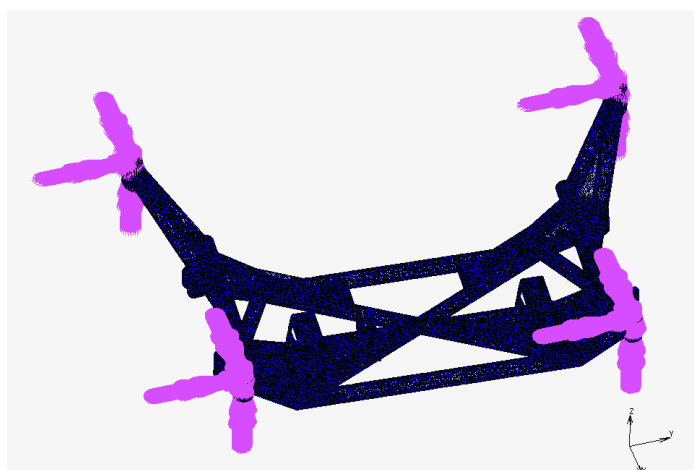
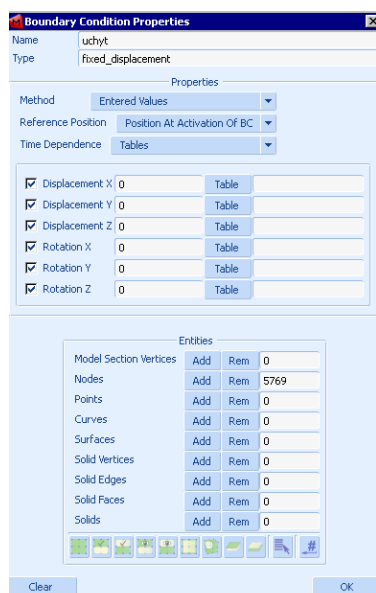
Z CATIA byla exportována upravená síť a importována do Marc Mentat. Tam už probíhal výpočet po zadání okrajových a vstupních podmínek.



Obr. 52 - Zasiťovaný model nápravnice – Marc Mentat

Po naimportování sítě byl jednotlivým komponentům definován materiál. K zajištění korektních výsledků analýzy byla obdržena od výrobce trubek a plechů materiálová knihovna plechů Docol 800DP a Docol 1000DP a ta byla vložena do programu MSC Marc Mentat. Modelu byla přiřazena materiálová charakteristika. Trubkovému rámu byla přiřazena materiálová charakteristika Docol 800DP, protože jde o stejný materiál. Obrobkům byla přiřazena materiálová charakteristika oceli 25CrMo4, tímto materiálem je programová knihovna vybavena. Výztužným plechům byla přiřazena materiálová charakteristika dle použité oceli (Docol 800/Docol 1000).

Model nápravnice byl zavazben jako tuhé vetknutí v oblasti předních a zadních úchytných bodů nápravnice. Následně bylo nadefinováno zatížení nápravnice. Pevnostní náležitosti nápravnice neudává žádná směrnice pravidel Autoklubu ČR pro závody v rallycrossu, proto byly použity hodnoty vypočítané pro maximální síly, které pneumatiky dokážou přenést.



Obr. 53 - Zavazbení úchytnů nápravnice

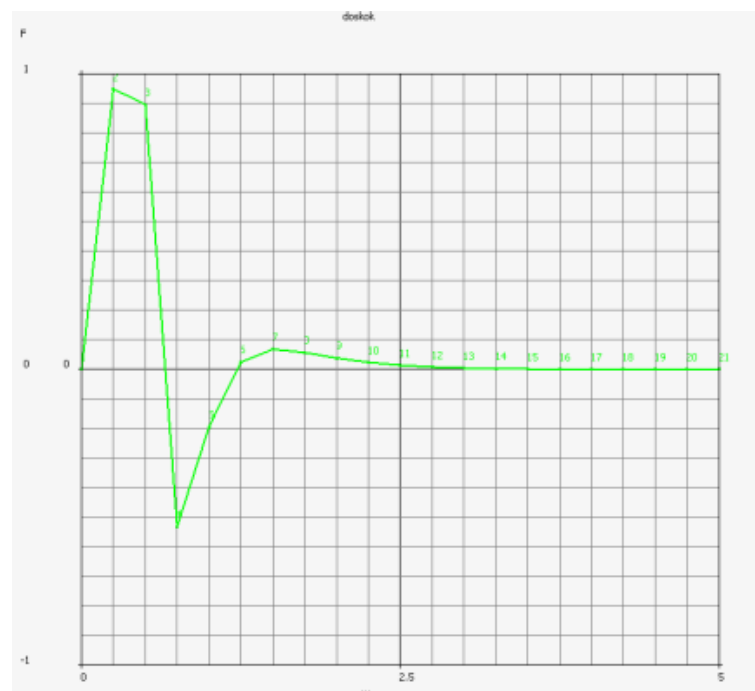
First	Body Name	Body Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ram_napravnice	Meshed (Deformable)		G		G	G	G	G	G	G	G
2	cocky	Meshed (Deformable)	G									
3	lize_cocky	Meshed (Deformable)								G		
4	dzak_ramen	Meshed (Deformable)	G									
5	reakce_motoru	Meshed (Deformable)	G								G	
6	bocni_vyztuha1	Meshed (Deformable)	G									
7	bocni_vyztuha2	Meshed (Deformable)	G									
8	plechy_lize	Meshed (Deformable)	G		G							
9	rizeni_plech	Meshed (Deformable)	G				G					
10	spodni_plech_vyztuz	Meshed (Deformable)	G									

Obr. 54 - Tabulka kontaktů jednotlivých dílců nápravnice

Sít nápravnice byla nahrávána postupně v závislosti na použitém materiálu. Jednotlivým dílcům byly definovány materiálové vlastnosti a následně bylo nutné vyplnit tabulku kontaktů. Tato tabulka reprezentuje vzájemné spojení dílců. Pro tyto spoje byl použit druh kontaktu typu glue reprezentující svary.

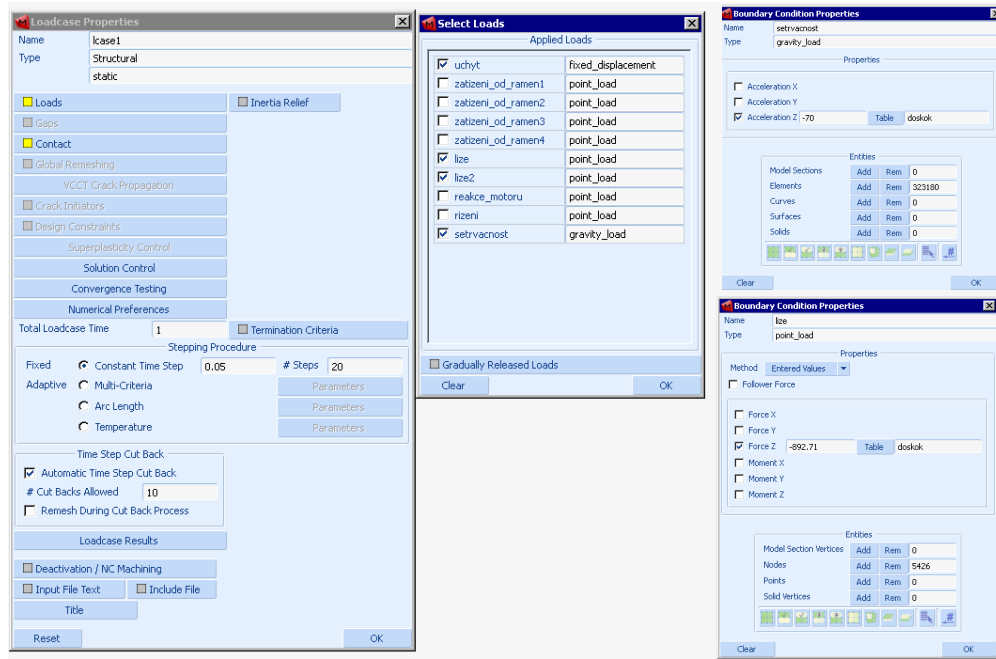
6.2 Doskok

V této podkapitole jsou uvedeny výsledky dynamické zátěžové analýzy doskoku. Přetížení působící na nápravnici bylo stanoveno dle dohody na 7g. Průběh zatížení je uveden v grafu 1.



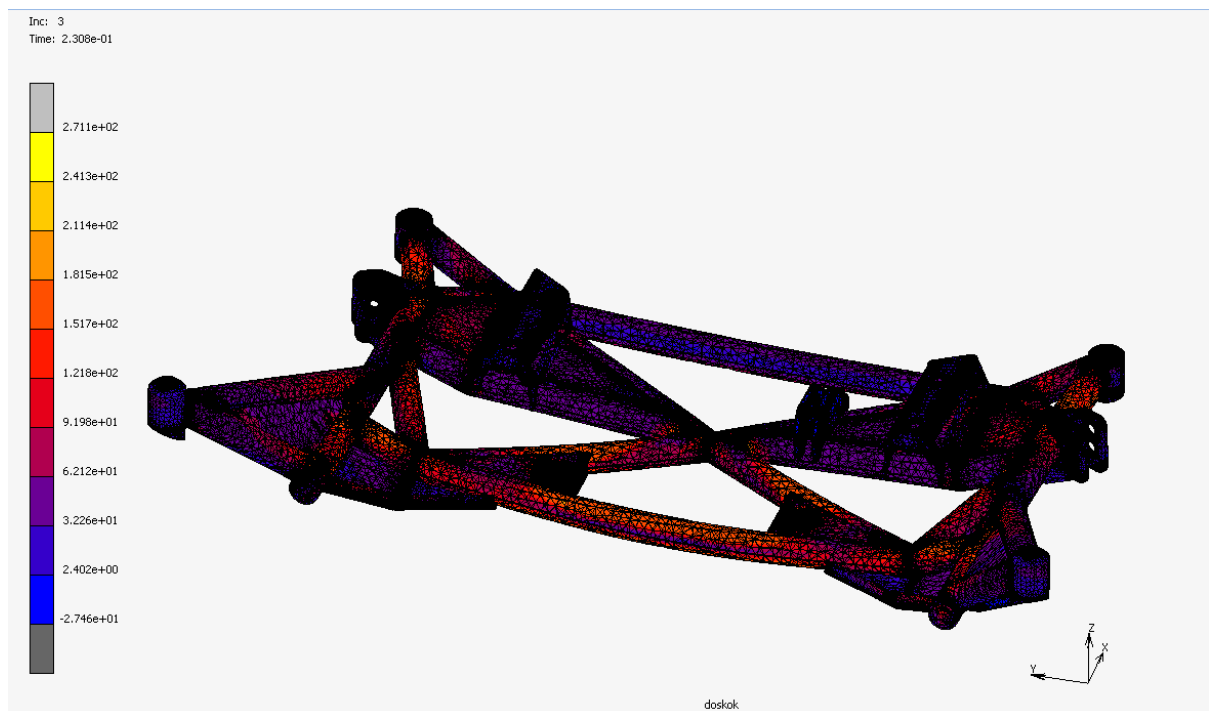
Graf 1 - Průběhu setrvačného zrychlení

Průběh reprezentuje doskok vozidla a následné propružení tlumičů. Funkce je definována jako tlumené kmitání. Tlumení je definováno dle specifikací použitých tlumičů.



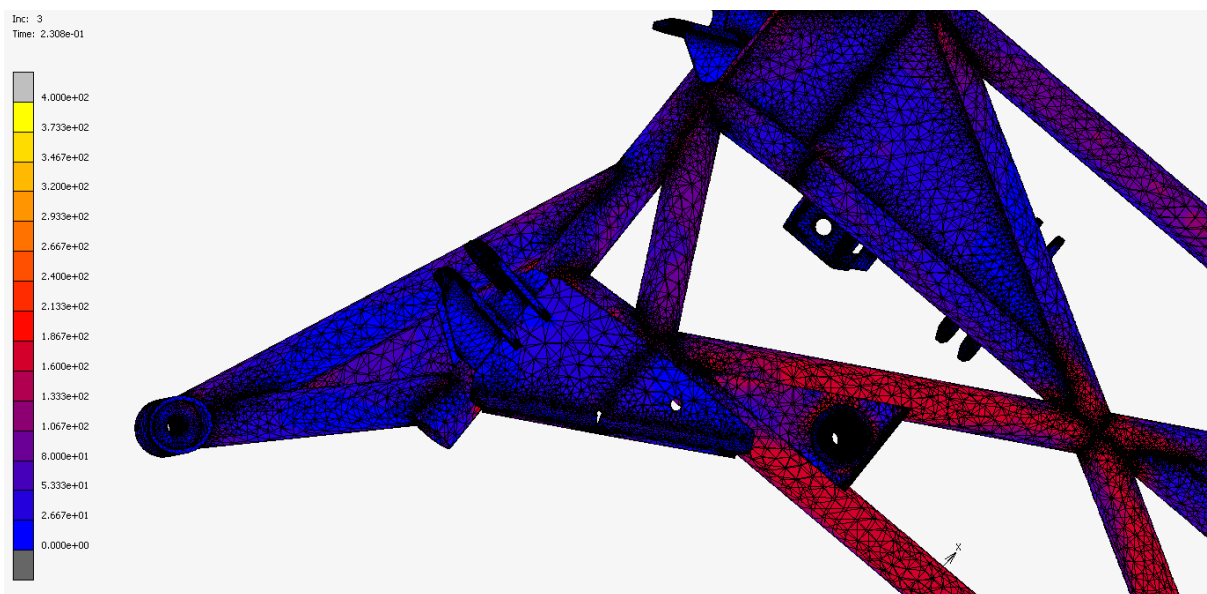
Obr. 55 - Nastavení zatížení v MSC Marc Mentat

Pro výpočtový model doskoku jsou zadány hodnoty setrvačného zrychlení působící na nápravnici při doskoku, dále jsou zadány hodnoty setrvačné síly působící na úchyty ližiny a zavazbení nápravnice. Následně byl spuštěn výpočet.



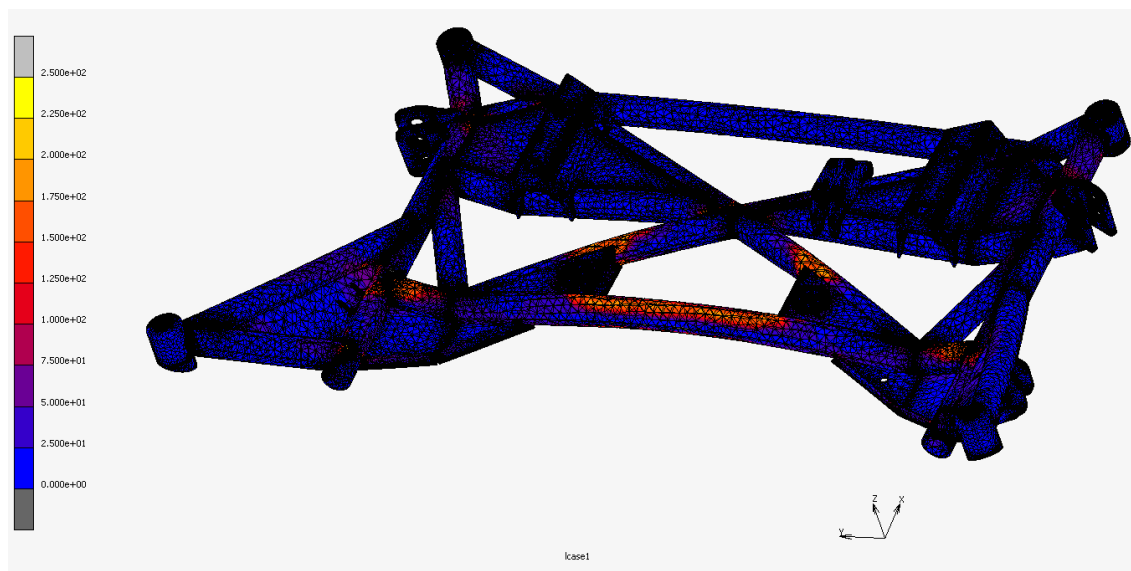
Obr. 56 - Výsledek dynamické analýzy doskoku – inkrement 3

Z dynamické analýzy vyplývá v inkrementu 3 v čase 0,23s, že predikce největšího napětí se nachází v oblasti úchytných bodů ližiny. Hodnota maxima je 322 MPa.



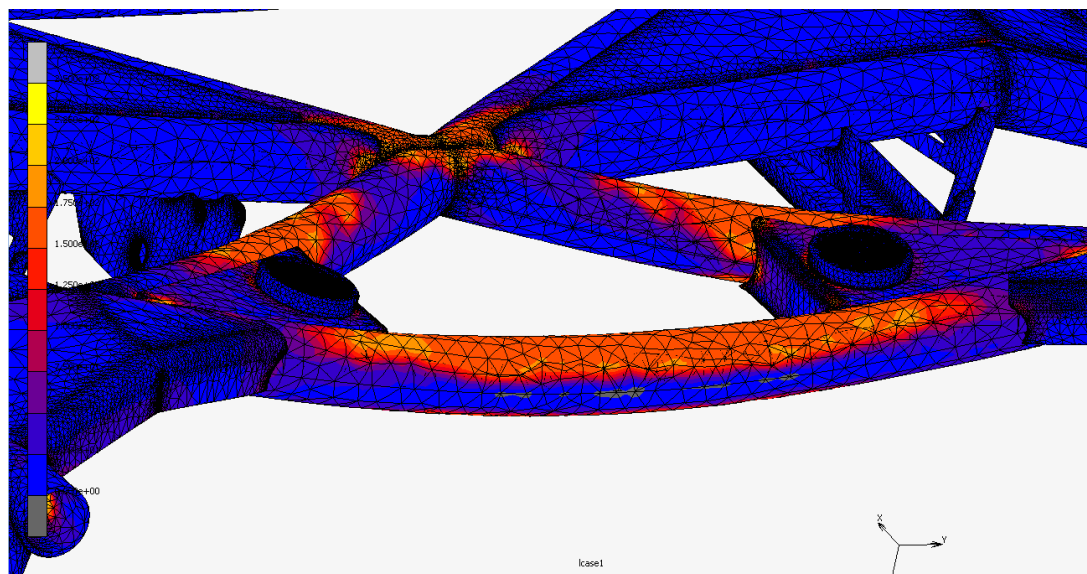
Obr. 57 - Výsledek dynamické analýzy doskoku - Detail oblasti úchyty ližiny – inkrement 3

Další oblastí s predikcí vyššího napětí je oblast ve středu nápravnice, kde se trubky sbíhají do uzlu. Zde je predikováno napětí kolem 210MPa.



Obr. 58 - Výsledek dynamické analýzy doskoku – inkrement 5

Na obr. 58 je znázorněn výsledek predikce inkrementu 5 v čase 0,39s. Zde je vidět nárůst oblastí s vyšším napětím, jedná se o oblast příčné trubky a oblasti úchytných ližin. Maximální hodnota napětí je predikována na 237MPa.



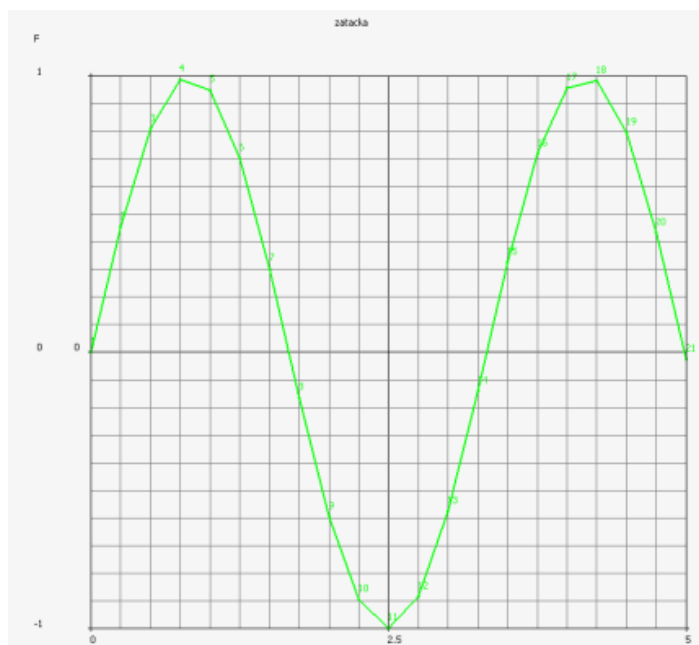
Obr. 59 - Výsledek dynamické analýzy doskoku – detail uchytu ližiny inkrement 5

Na obr. 59 je znázorněn detail oblasti s predikcí nejvyššího napětí a to u úchytů ližiny. Je patrné, že další oblast zvýšeného napětí se vyskytuje v uzlu trubek ve středu nápravnice. Tam se hodnoty lokálního maxima napětí pohybují okolo 220MPa.

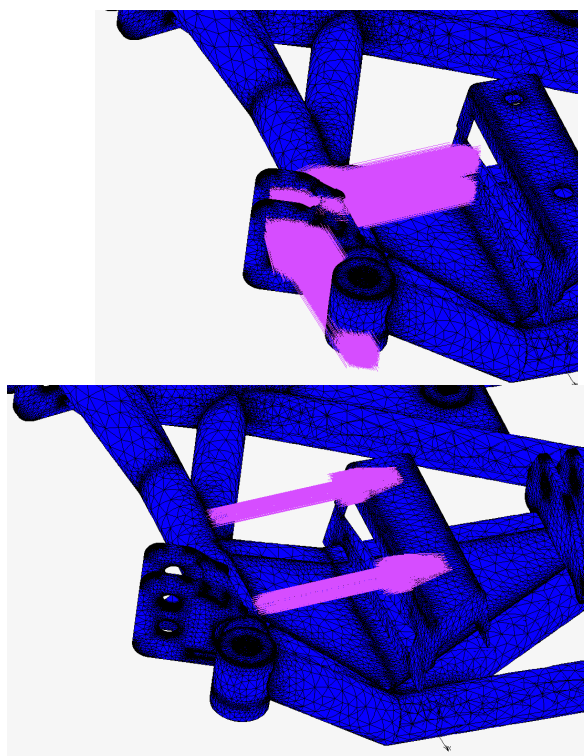
Dynamická analýza doskoku potvrdila, že nápravnice splňuje pevnostní požadavky. Maximální hodnota napětí má hodnotu 322MPa. Dovolené napětí s ohledem na použitý materiál je 600MPa, hodnota bezpečnost tak vychází na 1,86.

6.3 Průjezd zatáčkami

Dle výsledků působících sil z kapitoly 5.2 byl vytvořen zatěžující model, kdy na držáky ramen působí vypočtené síly a síly od převodky řízení působí na držáky řízení. Pro výpočet byl uvažován průjezd pravou, levou a pravou zatáčkou. Pro zatížení ramen a držáku řízení je průběh zatěžování uveden v grafu 2.



Graf 2 - Průběh síly působící na držáky ramen – průjezd zatáčkou



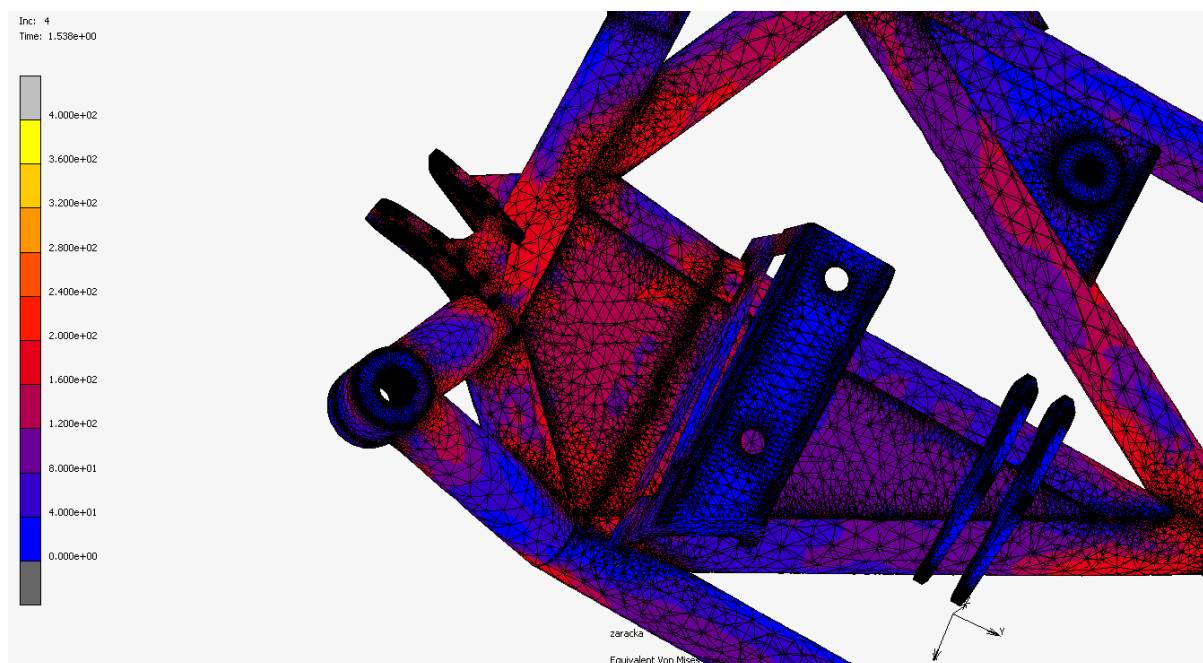
Obr. 60 – Zadání působících sil

Následuje sekvence inkrementů výsledků analýzy, u kterých byly predikovány nejvyšší hodnoty napětí.

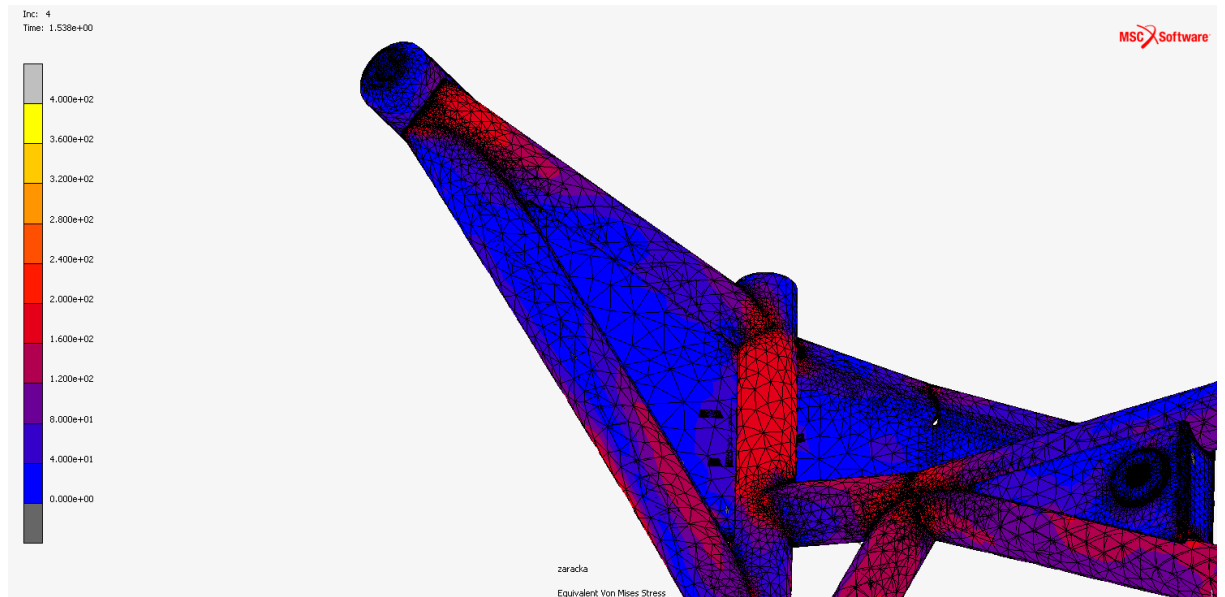


Obr. 61 - Výsledek dynamické analýzy - průjezd zatáčkou - inkrement 4

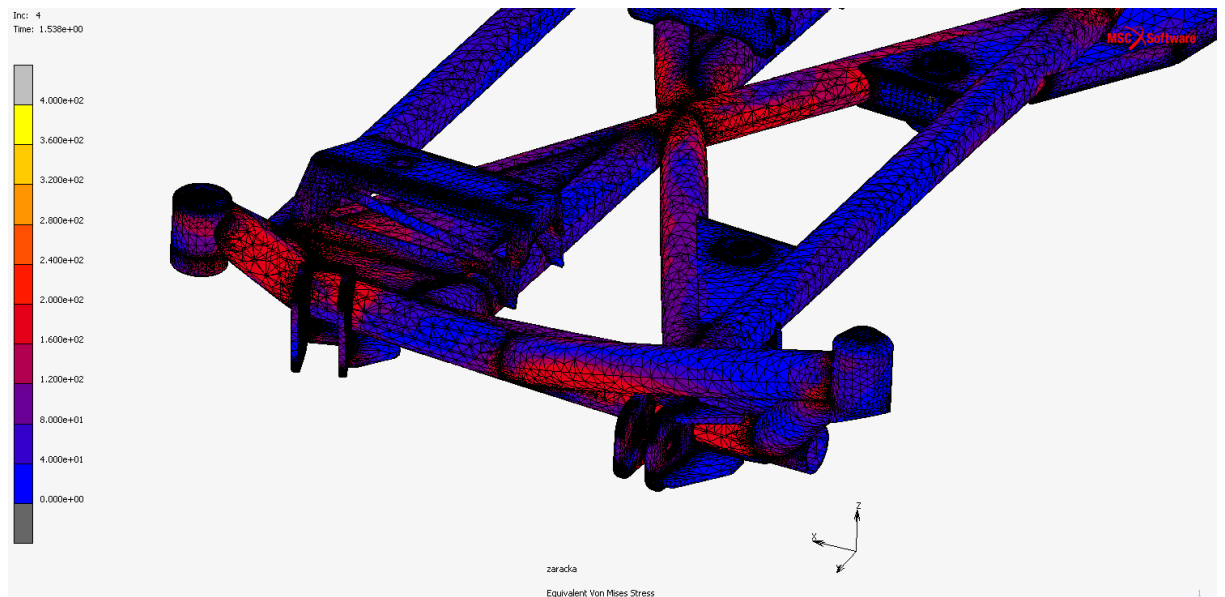
Na obr. 61 je znázorněn inkrement 4 v čase 1,53s. Predikce nejvyššího napětí se nachází v místech zadních úchyťů ramen a napětí zde dosahuje maximální hodnoty 238MPa. Další místa s relativně vysokým napětím jsou v oblastech předních úchytných bodů a středu nápravnice v uzlu trubek viz obr. 62, 63.



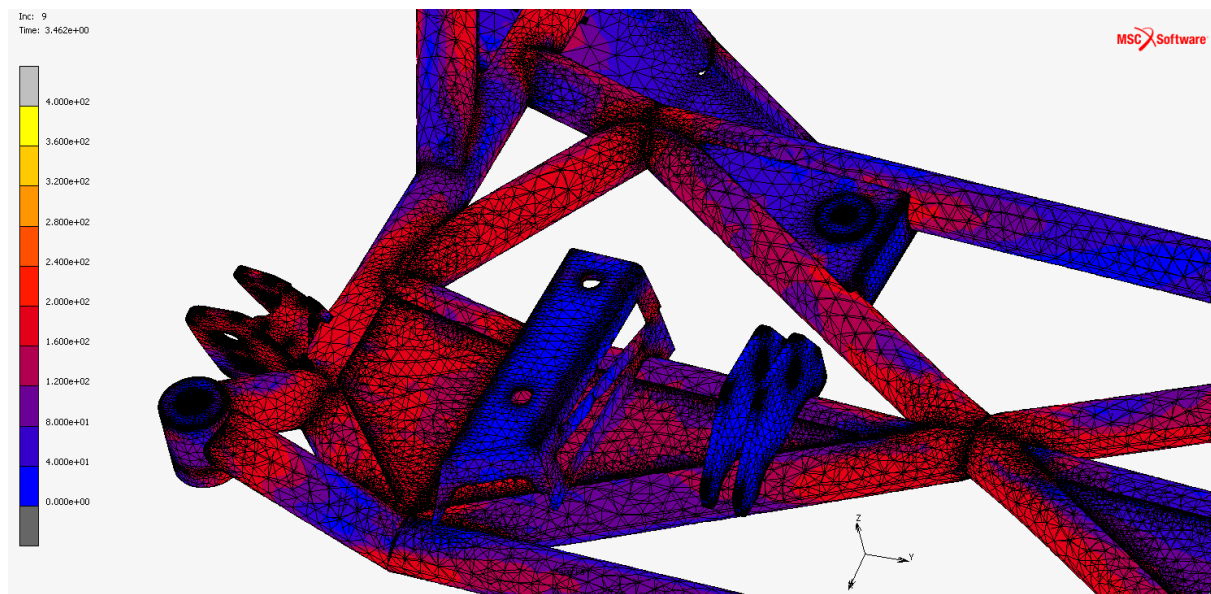
Obr. 62 - Detail dynamické analýzy oblasti levého zadního ramene držáku – inkrement 4



Obr. 63 - Detail dynamické analýzy oblasti levého předního držáku ramene – inkrement 4

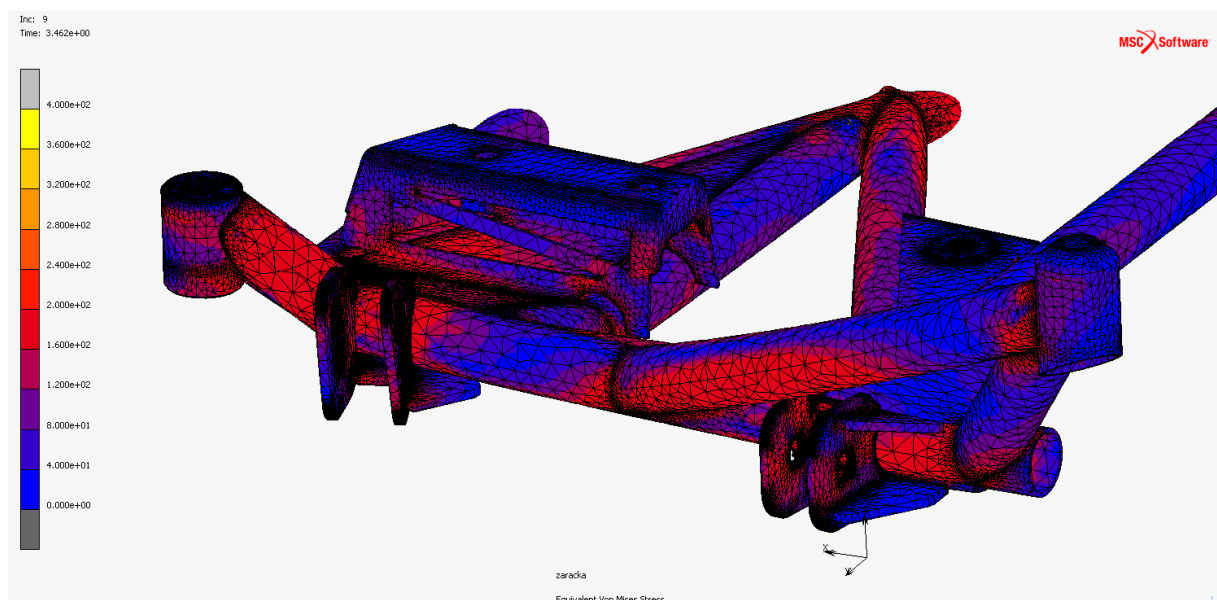


Obr. 64 - Detail dynamické analýzy oblasti pravé strany nápravnice – inkrement 4

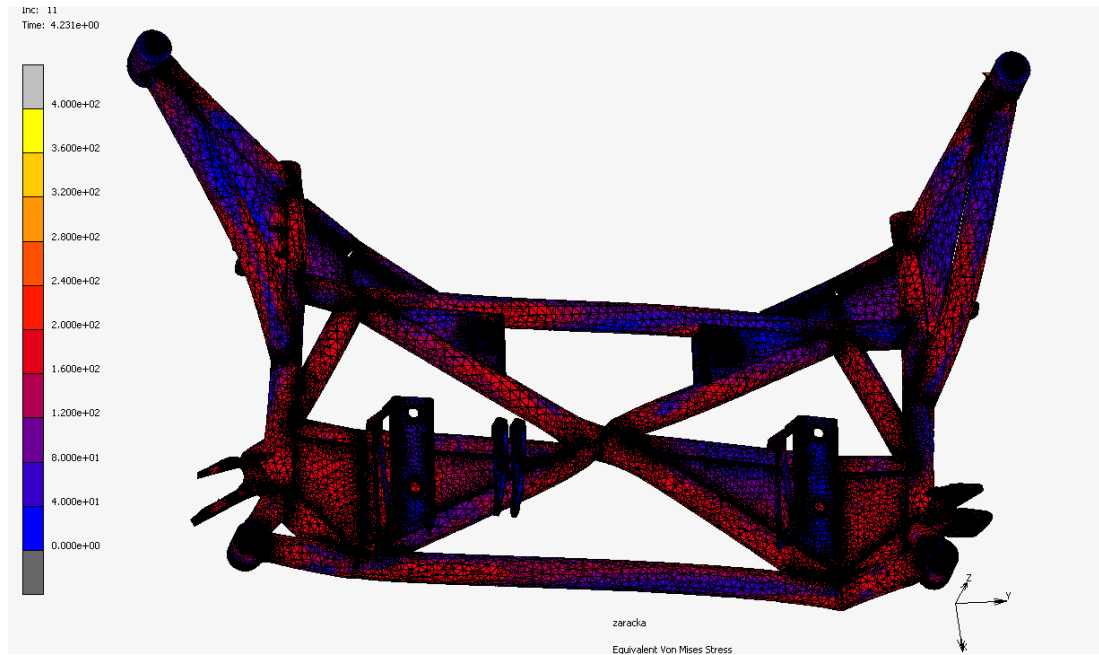


Obr. 65 - Detail dynamické analýzy v oblasti levého zadního držáku ramene – inkrement 9

Z obr. 65 vyplývá, že nejvyšší predikované napětí je zaznamenáno v oblasti zadních držáků, maximální hodnota napětí je 267MPa. Obdobné hodnoty jsou predikovány v oblasti předních úchyťů, v oblasti středu nápravnice je hodnota napětí kolem 220MPa.



Obr. 66 - Detail dynamické analýzy oblasti pravé strany nápravnice – inkrement 9



Obr. 67 - Výsledek dynamické analýzy - inkrement 11

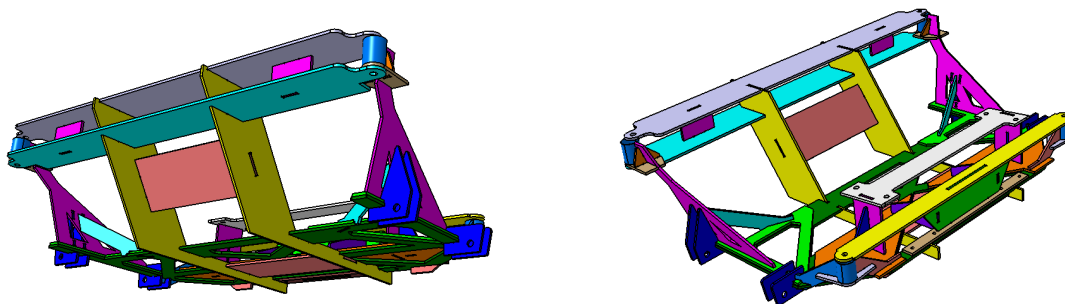
Z dynamické analýzy průjezdu zatáčkami vyplývá predikce, že největší hodnota zatížení nepřesahuje 300MPa. Největší zatížení bylo predikováno v oblasti držáků ramen a oblasti středu nápravnice, kde se sbíhají trubky do kříže. Při použitém materiálu trubek a plechů docol, kde se mez kluzu pohybuje kolem hodnoty 600 MPa vychází hodnota bezpečnost $k \approx 2$.

7 Technologie výroby

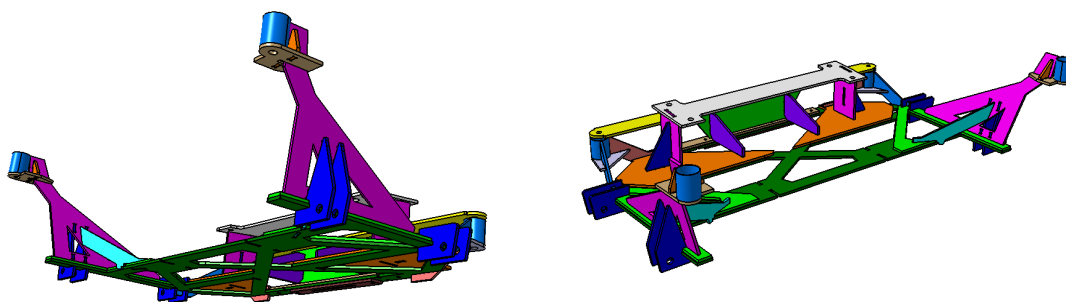
Tato kapitola se dále bude blíže zabývat výrobou nápravnice. Konkrétně tedy konstrukcí přípravku, technologií a postupem svařování nápravnice EVO III. Pro výrobu nápravnice byl použit materiál Docol DP 800. Trubková konstrukce obsahuje trubky o rozměrech: 30x2, 30x1,5 a 28x1,5. Jako výztužné plechy byly použity plechy Docol DP 800 a Docol 1000 tloušťky 1,5; 2; 3 a 4mm. Pro přední a zadní úchytné čochy byl použit materiál 25CrMo4 a stejně tak pro úchyty ližiny.

7.1 Konstrukce falešné nápravnice

Poté, co byl hotový 3D model nápravnice, bylo nezbytné vytvořit tzv. falešnou nápravnici a to hned z několika důvodů. Tato falešná nápravnice sloužila jako pomocný prostorový model skutečné nápravnice, aby se na ní ověřilo, zda skutečná nápravnice půjde bez problémů uložit do vozu a zda nebude v kolizi s jiným komponentem (absence většiny komponentů v 3D datech). Navíc byla využita jako svrtávací přípravek pro prostupy nových předních úchytných bodů nápravnice v karoserii. Na falešnou nápravnici šlo rovněž uchytit řízení a zkontrolovat, zda pozice řízení bude vyhovovat budoucímu uložení volantu v prostoru pro řidiče. Bez falešné nápravnice by bylo velice riskantní se rovnou pustit do výroby skutečné nápravnice a výroba by se mohla značně prodražit.



Obr. 68 - 3D Model falešné nápravnice včetně svrtávacího přípravku



Obr. 69 - 3D model falešné nápravnice bez svrtávacího přípravku

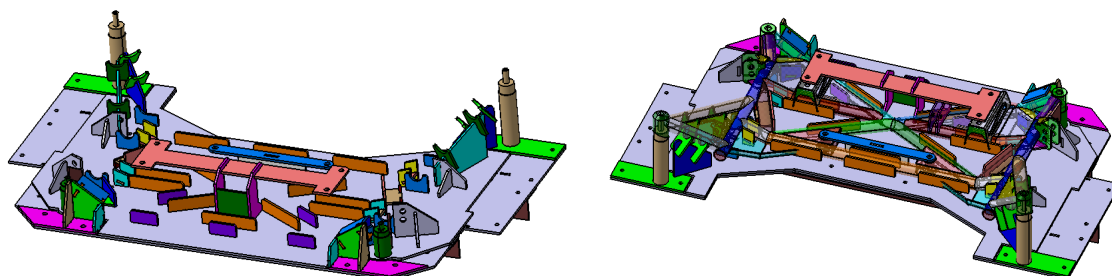
Falešná nápravnice byla zhotovena z průřezek tloušťky 5mm vypálených laserem. Po vypálení byla konstrukce pobodována a vyzkoušena na auto. Po překontrolování byly svrtány nosníky v karoserii pro nové úchytné body nápravnice. Od této falešné nápravnice bylo mnohem snazší odměřovat ostatní komponenty v motorovém prostoru a také odměřovat pozice dalších komponentů, které se nacházely ve fázi konceptu (např. pozice stabilizátoru, tvar a rozměry ližiny).



Obr. 70 - Falešná nápravnice včetně svrtávacího přípravku

7.2 Konstrukce přípravku

Jelikož se jedná o výrobu jediného kusu, bylo cílem co nejvíce ušetřit na svařovacím přípravku při zachování výrobních tolerancí pro funkční prvky (rozteče úchytných bodů karoserie, pozice držáků ramen, úchytné body řízení). Byl tedy vytvořen model přípravku složený z výpalků plechu tloušťek 5mm doplněný o L profily pro vyztužení a obrobky pro uložení úchytných čoček.



Obr. 71 - Konstrukce přípravku



Obr. 72 - Zapřípravkování přední nápravnice

7.3 Postup svařování

Po sestavení přípravku byly usazeny jednotlivé pozice trubek na určená místa a ta zasvěrkována, posléze byla celá trubková konstrukce nabodována. Konstrukce byla svařována metodou TIG, přídavný materiál byl použit Tigrod 13.12. Po nabodování byla nápravnice vyňata z přípravku. Následně byla konstrukce dovařena vně přípravku.



Obr. 73 - Nabodovaná nápravnice

Úchytné čochky karoserie byly nejprve pouze nabodovány a svařenec byl následně vyzkoušen na vůz. Důvodem tohoto postupu bylo potvrzení, že nápravnice tak jak je nabodovaná, nebude v žádném případě v kolizi s žádným komponentem v motorovém prostoru. Po vyzkoušení byly přední i zadní úchytné body odřezány a začalo svařování

nápravnice. Svařování konstrukce probíhalo již mimo přípravek. Postup svařování byl takový, že se nejdříve začalo vařit směrem od středu ven a uzly trubek se vždy vařily postupně v opačných směrech a v protilehlých místech. I mimo přípravek byla konstrukce neustále stahována pomocí svěrek k robustním profilům a často kontrolována, jak se prohýbá a v případě potřeby byla podkládána kvůli vyrovnání. Tímto postupem bylo zaručeno co nejmenší prohnutí. Po zavaření trubkové konstrukce byly usazeny a zavařeny výztužné plechy, držáky řízení, držáky ližiny a úchyty ramen. Úchytné čochy karoserie byly zavařeny až jako poslední s nápravnicí usazenou v přípravku, aby byly co možná nejpřesněji dodrženy pozice úchytných bodů karoserie.



Obr. 74 - Zapřípravovaná nápravnice

Nápravnice nebyla po svaření dána do žíhací pece k odstranění vnitřního pnutí z důvodu použitého materiálu, který výrobcem není doporučen k žíhání. Materiál by ztratil své mechanické vlastnosti. Nové přední úchyty nápravnice byly vevařeny do karoserie až po svaření celé nápravnice, tím pádem rozteč předních úchytných bodů nápravnice měla relativně velké toleranční pole.

7.4 Svařenec nápravnice



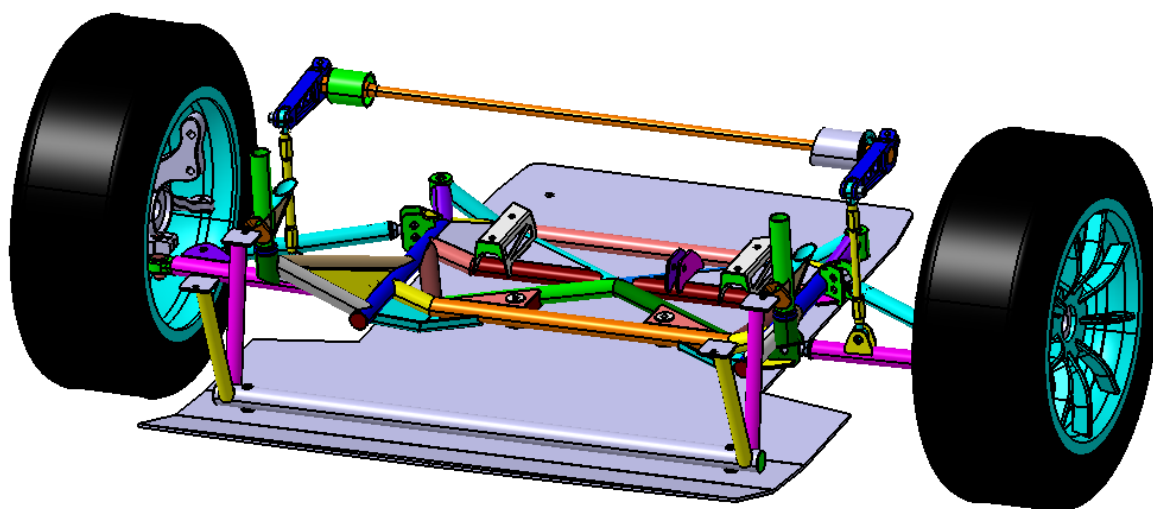
Obr. 75 – Svařenec nápravnice



Obr. 76 – Svařenec nápravnice

8 Ostatní komponenty podvozku

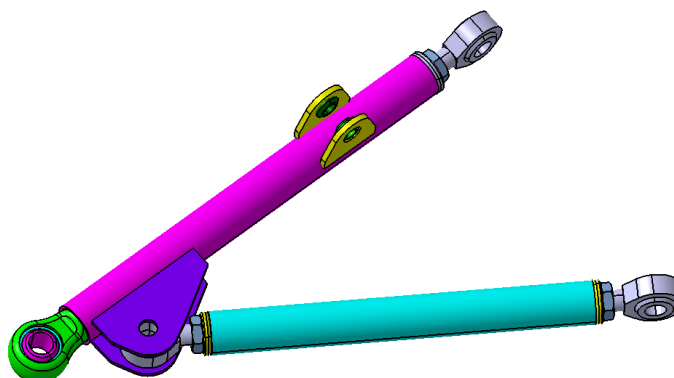
Celá konstrukce podvozku spočívala ve vytvoření nápravnice, předních úchytů nápravnice ke karoserii, kyvných ramen, ližiny, konzole ližiny a stabilizátoru. Konečný model podvozku je zobrazen na obr. 76



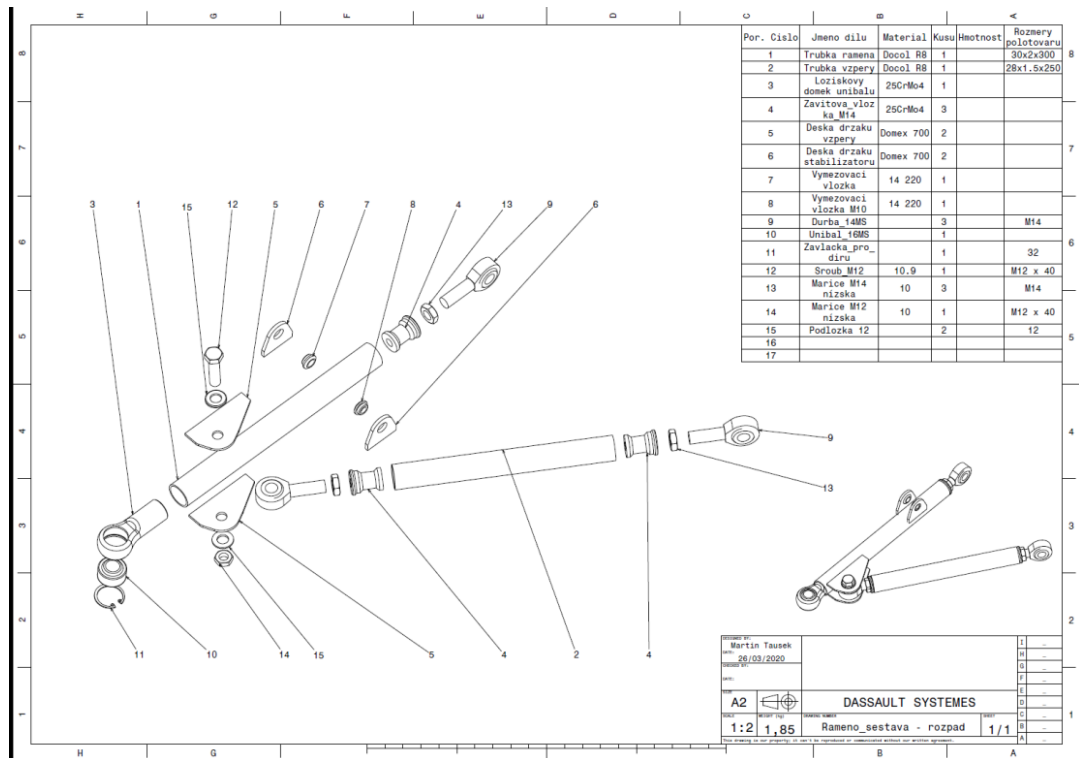
Obr. 77 - Model sestavy kompletního podvozku

8.1 Kyvná ramena

Kyvná ramena jsou komponentem podvozku, který zajišťuje svislý pohyb kol. Pro stavbu ramen byly použity trubky 30 x 2 mm. Pro stavitelnou vzpěru byla použita trubka 28 x 1,5 mm. Pomocí durbalů je možno délkově nastavit jak rameno, tak i vzpěru ramena. K uchycení ramen k nápravnici jsou použity durbaly a pro uchycení rejdového čepu je použit unibal, který byl zalisován do ložiskového domku. Durbaly jsou zajištěné proti pootočení nízkou maticí.



Obr. 78 - Rameno pro nápravnici EVO III



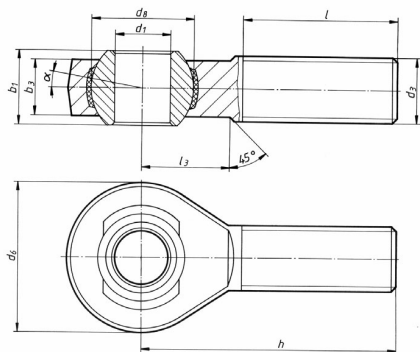
Obr. 79 - Pohled na rozpad sestavy kyvného ramene



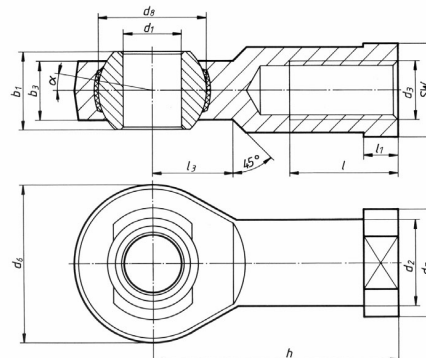
Obr. 80 - Svařené kyvné rameno

8.1.1 Durbaly a unibaly

Jak již bylo zmíněno, durbaly jsou kyvná sférická ložiska se závitovou a otočnou částí. Dodávají se ve dvou provedeních – vnitřní závit nebo vnější závit:



Obr. 81 - Durbal vnější závit



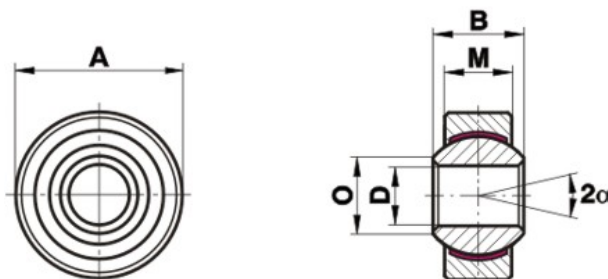
Obr. 82 - Durbal vnitřní závit

Tyto durbaly jsou v konstrukci závodních vozů velice oblíbené pro jejich nízkou hmotnost a snadnou vyměnitelnost. Používají se často u stavitelných tyčí, kdy se na jednu stranu použije pravý závit a na druhou levý, tím pádem se tyč nemusí vyndávat a lze ji tavit přímo na voze. Naklopení koule ložiska se pohybuje kolem 30°. Durbaly jsou dodávány ve verzi bezúdržbové a ve verzi s možností doplnění maziva pomocí maznice.



Obr. 83 - Durbal

Unibaly jsou sférická ložiska bez závitové části. Používají se v podobných aplikacích jako durbaly, avšak eliminuje se namáhání závitové části. Unibaly se dodávají v mnoha velikostních variantách od průměru průchozí díry 6mm až po velká sférická ložiska o vnitřním průchozím průměru 25mm.



Obr. 84 - Unibal

Na rozdíl od durbalů mají unibaly vnější průměr věnce (rozměr A) broušen na toleranci h6 kvůli následnému uložení do ložiskového domku.

8.1.2 Ložiskový domek pro unibal

Ložiskový domek je obráběný komponent, do kterého byl po zavaření do ramene zalisován unibal. Jako materiál byla zvolena vysokopevnostní ocel 25CrMo4 v zušlechtěném stavu na 850 MPa. Osa trubky svírá s osou uložení unibalu úhel 93,3°, a tak bylo zapotřebí zadat výrobu ložiskového domku firmě s pětiosou frézou.



Obr. 85 - Obrobek ložiskového domku

8.1.3 Závité inserty

Závité čochy byly soustruženy z oceli 25CrMo4 v zušlechtěném stavu na 850 MPa. Byl dbán důraz na co nejnižší hmotnost, proto v části, která se nachází uvnitř trubky, bylo vysoustruženo značné odlehčení viz obr. 86.

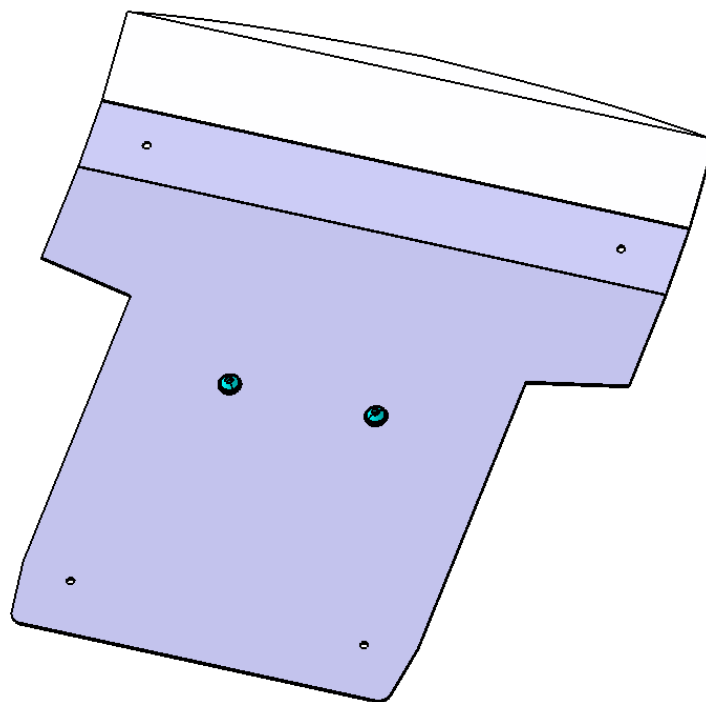


Obr. 86 - Závitový insert - závit M14

8.2 Ližina podvozku

Ližina podvozku je ochranný prvek, jehož funkcí je chránit motorový prostor od nečistot a kamení, které by mohly poškodit agregát či jiné důležité komponenty hnacího ústrojí. Obzvláště při doskocích vozu je ližina velmi důležitý prvek. Po dopadu se vůz jednoduše sveze po ližině, a tak je olejová vana motoru a ostatní prvky chráněny před kolizí s vozovkou. Vozy s náhonem na všechna kola jsou vybaveny ližinou pod přední i zadní nápravou a pod celým tunelem. V tomto případě chrání motorový prostor, kardan, mezinápravový diferenciál a zadní diferenciál.

V případě konstruovaného podvozku se jedná o vůz s náhonem přední nápravy, a tak nebylo potřeba ochrany zadní nápravy ani střední části podvozku.

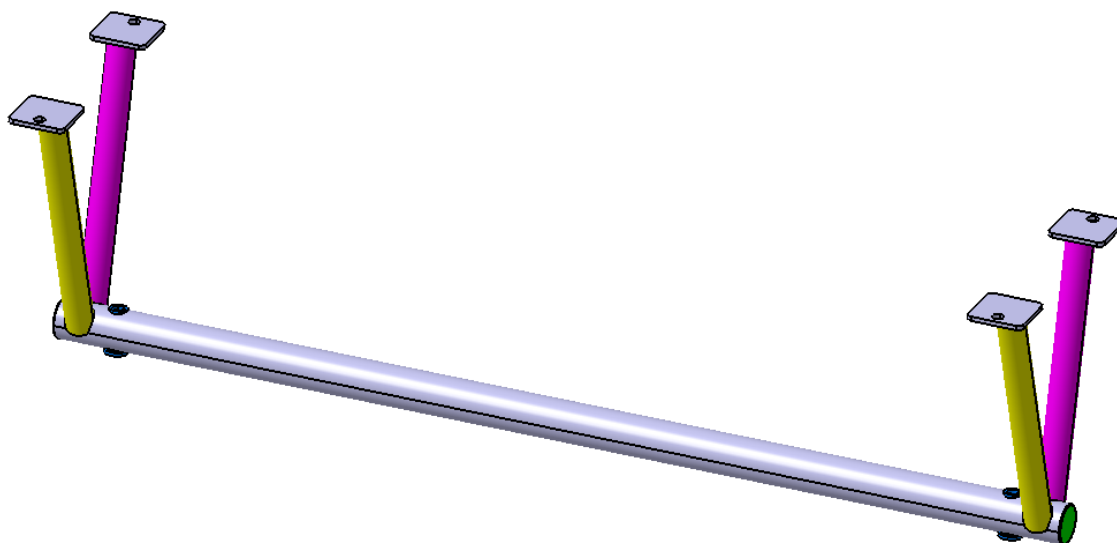


Obr. 87 - Ližina podvozku

Ližina byla vyrobena z hliníkové slitiny tloušťky 5mm k docílení nízké hmotnosti. V přední části je ližina uchycena ke konzoli, ve střední části je uchycena k nápravnici a v zadní je uchycena ke karoserii. Výroba probíhala tak, že na vodním paprsku byl do hliníkového plechu vřezán tvar rozvinu ližiny a následně byla ližina ohraněna. Hmotnost ližiny je 13kg.

8.3 Konzole ližiny

Konzole ližiny slouží k uchycení ližiny ke karoserii, přesněji k přední části nosníků. Jedná se o svařenec trubek a plechů. Ve spodní podélné trubce jsou vevařené dvě závitové vložky sloužící k uchycení ližiny ke konzoli pomocí šroubů. Na bočních trubkách jsou navařené zavětrovací plechy z důvodu zamezení vniknutí nečistot do vnitřku trubky. Celá konzole je přišroubovaná ke karoserii. Po usazení ližiny a konzole na vůz byly do předních nosníků vyvrtané díry, do kterých byly nanýtovány nýtovací matice sloužící jako úchytné body konzole.

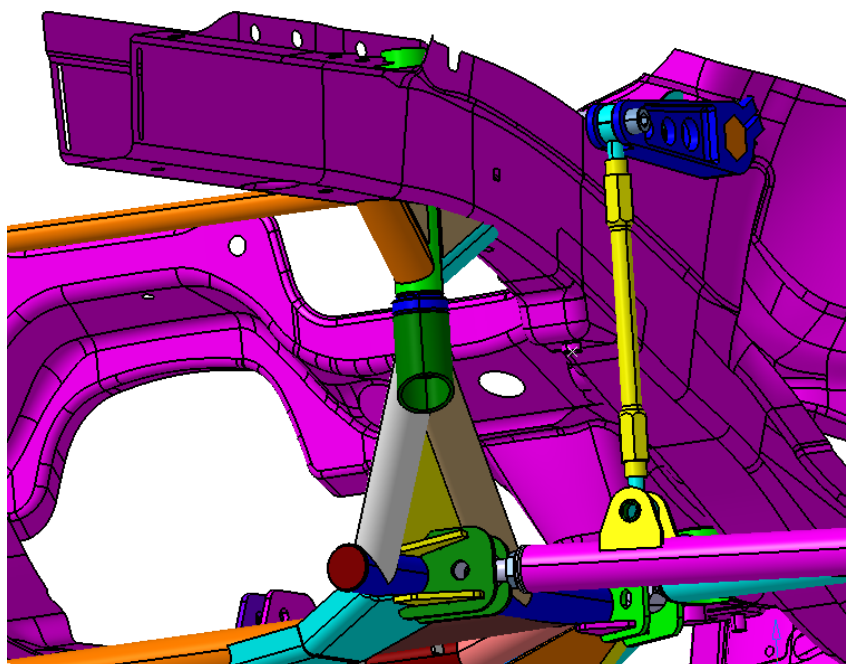


Obr. 88 - Konzole ližiny

Konzole je svařená z vysokopevnostních trubek Docol R8 k zaručení dostatečné tuhosti konstrukce v případě nárazu, aby se předešlo poškození motoru nebo převodovky. Rozměr příčné trubky je 35mm x 1,5mm, rozměr trubek stojin je 25mm x 1,5mm.

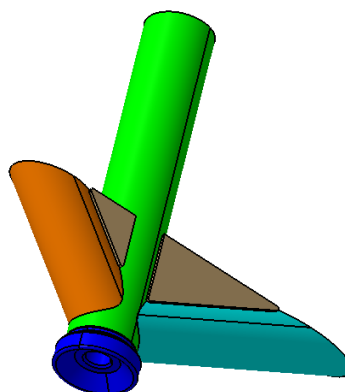
8.4 Přední úchyt nápravnice

Z důvodu zástavby nové sekvenční převodovky bylo třeba odstranit původní přední úchyty sériové nápravnice, jak bylo popsáno v kapitole 4.2, a proto bylo nutné vytvořit úchyty nové.



Obr. 89 - Nový přední úchyt nápravnice

Jedná se o svařenec trubek, pro konstrukci byly opět vybrány vysokopevnostní trubky Docol R8. Svislá trubka byla vevařena do karoserie, a jak je patrné z obrázku, trubka prochází skrz nosník. Do trubky byla zavařena závitová čochka a po bocích byl úchyt ještě vyztužen a zavětrován.



Obr. 90 - Svařenec předního úchytu nápravnice

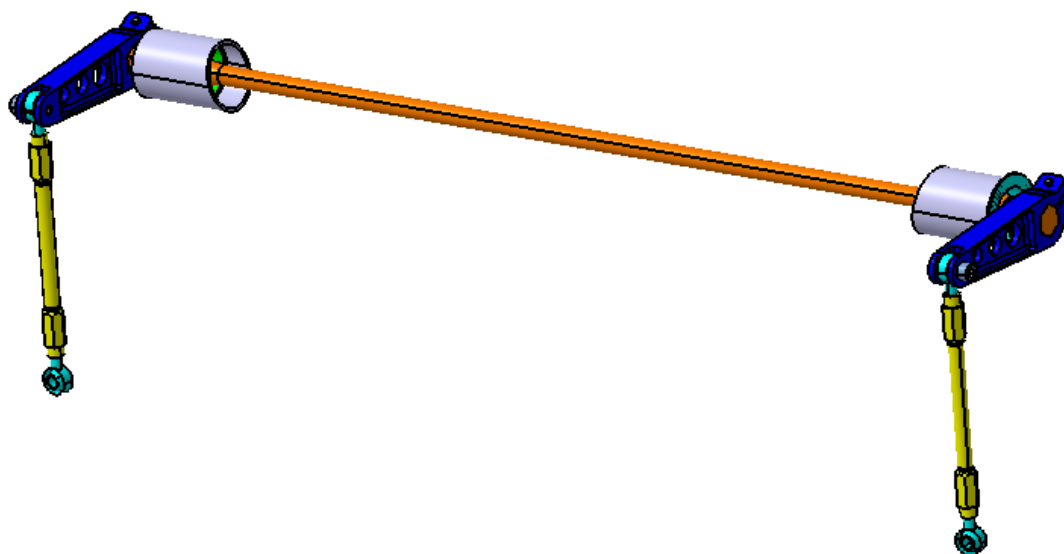
8.5 Stabilizátor

Stabilizátor je zkrutná tyč, která spojuje kyvná ramena. Při průjezdu zatáčkou dochází k naklonění vozidla, tím i k odlehčení vnitřního kola, které pak ztrácí trakci. Stabilizátor je zkrucován tím, že vnitřní rameno koná pohyb dolů a vnější kolo zase nahoru. Takto vyvolané kroucení se pak snaží vyrovnávat naklonění karoserie.



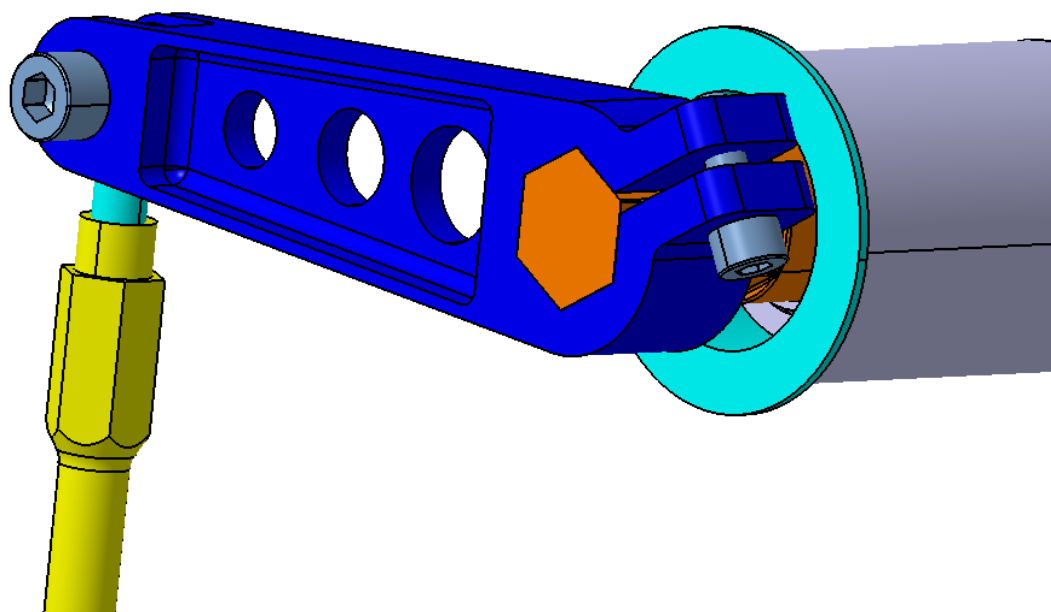
Obr. 91 - Stabilizátor

U běžných sériově vyráběných osobních vozidel je stabilizátor umístěn na nápravnici a je uchycený v silentblocích. Tohoto řešení u nové nápravnice využít nešlo, a proto byl stabilizátor umístěn nad nápravnicí. Jak je vidět z obr. 92 stabilizátor prochází skrz nosníky, do kterých byly vyvrtány díry a vevařena lůžka pro uložení ložisek stabilizátoru. Toto konstrukční řešení bylo inspirováno řešením stabilizátoru u závodního vozu Škoda Fabia S2000 nebo také Škoda Fabia R5. Spojení ramen se stabilizátorem zajišťují vzpěrné tyče s durbaly na obou koncích a páky stabilizátoru.



Obr. 92 - Sestava stabilizátoru

Stabilizátor má na obou stranách vyfrézované šestihřanné plochy, na kterých jsou nasazeny páky stabilizátoru, které jsou svěrným spojem uchyceny ke stabilizátoru. Stabilizátor je uložen v teflonových kulových ložiscích a zajištěn v pouzdrech, která jsou vevařena do karoserie pomocí pojistných kroužků. Rozpěrné válečky jsou opřeny o ložiska, a tak nedochází k posunu celého stabilizátoru v axiálním směru.

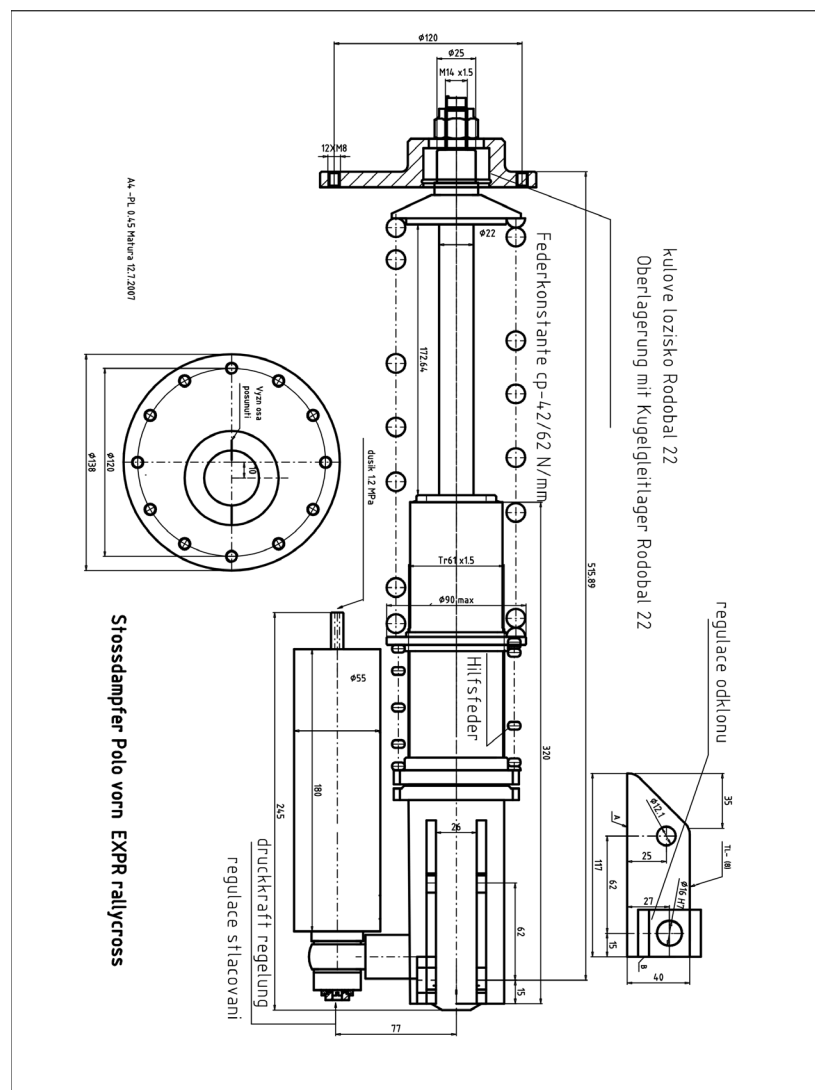


Obr. 93 - Uložení stabilizátoru

Stabilizátor nebyl vyráběn, ale byl zakoupen od majitele obdobného vozu. Vyrobené byly páky stabilizátoru, pro které byl použit materiál EN AW 7075 – hliníková slitina, a vzperné tyče, pro které byl použit materiál 14 220.

8.6 Tlumiče

Místo sériových tlumičů byly zakoupeny závodní tlumiče od firmy HP sporting. Tato firma se specializuje na prodej tlumičů pro rallycrossové a rallyové vozy. Od běžných tlumičů, se kterými se setkáváme u osobních vozů, se odlišují tím, že mají nastavitelnou tuhost pružin. Pružiny jsou navíc vinuty s proměnným stoupáním, a tudíž tlumiče nemají klasickou lineární charakteristiku. Tlumiče jsou rovněž vybaveny tlakovým zásobníkem, kterým lze nastavit i charakteristiku dopružení. Jedná se o plynokapalinové tlumiče, kde plnicím médiem je dusík. Jak je možné vidět na obr. 94, tlumič je v horní části uložen do sférického ložiska zalisovaného do konzole tlumiče. Tato konzole pak přijde našroubovat na misku tlumiče v karoserii. Z obr. 94 je vidět, že osa tlumiče vůči ose konzole je vyosená. Výhodou tohoto řešení je možnost nastavení odklonu tlumiče.



Obr. 94 - Tlumič HP Sporting

V motorsportu na vyšších úrovních se používají rovněž plně nastavitelné tlumiče vyráběné přímo na míru nejen vozu, ale i jezdcům, kteří si diktují při testech vozu, jakou tuhost by měly mít pružiny. Řeší se i tření mezi pístnicí a stěrným kroužkem a u pístnic tak dochází k titanovému povlakování k docílení co nejmenšího tření. Samozřejmě se i u tlumiče dbá na výdrž při extrémním namáhání. Všechna tato vylepšení tlumič silně prodraží. Životnost podobných tlumičů je často dva až tři závody podle typu trati a následně se tlumiče posílají výrobci na repasování.

9 Projekt po realizaci



Obr. 95 – Projekt po realizaci

Na obrázcích je vidět konečný stav přední podvozkové části po realizaci. Je zachycena svařená nápravnice, konzole ližiny, přední úchyty nápravnice, příčka ližiny, ližina a stabilizátor s vevařenými pouzdry.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout podvozek modifikovaného závodního speciálu pro soutěže v rallycrossu a tento konstrukční návrh následně zrealizovat. Práce se zaměřuje na konstrukci přední nápravnice podvozku.

Rallycross v České republice patří mezi velice oblíbené motoristické soutěže jak z pohledu diváckého, tak i jezdeckého. Tato skutečnost je dána především tím, že rallycross patří mezi kontaktní soutěže s bohatým zastoupením pilotů téměř ve všech kategoriích. Pro týmy se jedná o soutěže méně finančně náročné, a tedy i dostupnější z důvodu relativně nízkého opotřebení techniky díky nízkým nájezdům závodních kilometrů. Budoucnost tohoto sportu je ve znamení elektrifikace a již v roce 2022 bychom mohli sledovat nejvyšší soutěže s účastí elektromobilů.

Obecně patří podvozek mezi velmi složitý subkomponent vozidla a tvoří kolem 30% závodního výkonu vozu, proto se mu věnuje nemalá pozornost. V této práci bylo postupováno od úplného prvopočátku stavby vozu, a to zapříčinilo, že některé důležité vstupní parametry nejsou totožné s reálným vozem. Příkladem takové nepřesnosti je celková hmotnost, rozvážení vozidla a s tím související poloha těžiště, které jsou klíčovými parametry. Tyto parametry nebylo možné definovat před začátkem stavby. Jak vyplývá z kapitol zabývajících se predikcí uzlů s nejvyšším napětím, nápravnice je předimenzovaná. Při daných zatíženích se dostává bezpečnost na hodnotu 1,86. Práce byla splněna v plném rozsahu, všechny požadované komponenty podvozku byly zkonstruovány, vyrobeny a zastavěny do vozu. Další fází bude zkompletování ostatních komponentů jako jsou hnací hřídele, svody, zástavba interiéru a exteriéru. Bude následovat testování vozu a optimalizace podvozku z hlediska pevnosti a hmotnosti.

Použité informační zdroje

- [1] Race Fans Independent Motorsport Coverage [online]. © 2020 [cit. 2020-03-13] The cost of F1 2019 part two: What the top teams spent. Dostupné z WWW: <<https://www.racefans.net/2020/01/02/the-cost-of-f1-2019-part-two-what-the-top-teams-spent/>>
- [2] Grand Prix History [online]. © 2020 [cit. 2020-03-13] Lotus-Ford 49. Dostupné z WWW: <<http://www.grandprixhistory.org/lotus49.htm>>
- [3] Wikipedie [online]. 12. 4. 2016 [cit. 2020-03-13]. Rallye skupina B. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rallye_skupina_B>
- [4] FIA World Rallycross [online]. © 2017 [cit. 2020-03-22]. An introduction to Rallycross. Dostupné z WWW: <<https://www.fiaworldrallycross.com/education> >
- [5] Wikipedie [online]. 12. 4. 2016 [cit. 2020-03-13]. Rallycross. Dostupné z WWW: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Rallycross>>
- [6] Rallycross [online]. © 2020 [cit. 2020-03-13]. Historie Rallycrossu. Dostupné z WWW: <<https://www.rallycross.cz/novinky/zacatky-ceskeho-ceskoslovenskeho-rallycrossu-r788r>>
- [7] WRIGHT, Dan. Rallycross 50th anniversary: TV producer Robert Reed recalls sport's history at Lydden Hill [online]. 10.2.2017 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z WWW: <https://www.kentonline.co.uk/canterbury/sport/rallycross--how-it-all-120348/>
- [8] AutoMobilSport [online]. © 2020 [cit. 2020-03-14]. Rallycross visits Africa for first time as World RX descends on Cape Town. Dostupné z WWW: <<https://www.automobilsport.com/race-categories--24,170002,Rallycross-visits-Africa-for-first-time-as-World-RX-descends-on-Cape-Town,news.htm>>
- [9] PSRX Sweeden [online]. © 2020 [cit. 2020-03-14]. Volkswagen Polo R WRX Supercar. Dostupné z WWW: <<https://psrxvw.com/volkswagen-polo-r-wrx-supercar>>
- [10] RIDGE, Hal. 7 reasons why World Rallycross' RX2 cars are serious pieces of kit [online]. 09.01.2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z WWW: <<https://www.redbull.com/gb-en/rallycross-rx2-technical-specifications>>
- [11] HATTON, Gemma. 2019 WRX championship healthier than ever without manufacturers [online]. © 2020 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z WWW: <<https://www.racecar-engineering.com/articles/wrx-2019-championship-bounces-back-without-manufacturers/>>
- [12] Volkswagen AG [online]. © 2020 [cit. 2020-03-14]. I.D. R Pikes Peak: All time record! Dostupné z WWW: <<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2018/06/i-d-r-pikes-peak-all-time-record.html>>

- [13] Wikipedie [online]. 23. 6. 2019 [cit. 2020-03-13]. Mezinárodní automobilová federace. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_automobilov%C3%A1_federace>
- [14] Autoklub České republiky [online]. © 2020 [cit. 2020-03-17]. FIA predpisy. Dostupné z WWW: <<https://www.autoklub.cz/disciplina/rallycross/>>
- [15] Wikipedie [online]. 16.1.2020 [cit. 2020-03-18]. Homologace. Dostupné z WWW: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Homologation>>
- [16] VLK, F.: Podvozky motorových vozidel. Brno: nakl. Vlk, 2003
- [17] ŠKODA MOTORSPORT [online]. © 2020 [cit. 2020-02-10]. Co potřebujete vědět o hnacím ústrojí vozu ŠKODA FABIA R5? Dostupné z WWW: <<https://www.skoda-motorsport.com/cs/co-potrebuje-vedet-o-hnacim-ustroji-vozu-skoda-fabia-r5/>>
- [18] CROLLA, D.: Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body, Butterworth-Heinemann, 2009
- [19] MILLIKEN, W., MILLIKEN D.: Race car vehicle dynamics. Warrendale, Pa.: nakl. SAE Inc., 1995
- [20] SEWARD, Derek. Race car design. London: Palgrave/Macmillan, 2014. ISBN 978-113-7030-146.
- [21] Cooper Tires [online]. © 2020 [cit. 2020-04-17]. Discover our Cooper® Rallycross Tires. Dostupné z WWW: <https://www.coopertire.co.uk/motorsport-tires/rallycross/>
- [22] Virtual racing school [online]. © 2020 [cit. 2020-05-02] Setups – Camber and toes. Dostupné z WWW: <<https://virtualracingschool.com/academy/iracing-career-guide/setups/camber-toe/>>
- [23] Car and Driver [online]. © 2020 [cit. 2020-05-02]. Explained: How To Measure a Vehicle's Center-of-Gravity Height. Dostupné z WWW: <<https://www.caranddriver.com/news/a18201745/explained-how-to-measure-center-of-gravity-height/>>
- [24] European steel and alloys grades [online]. © 2019 [cit. 2019-12-06]. 25CrMo4. Dostupné z WWW: <http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=332>
- [25] Aircraft material [online]. © 2019 [cit. 2019-12-06]. Alloy 15CdV6. Dostupné z WWW: <<https://www.aircraftmaterials.com/data/alstst/15cdv6.html>>
- [26] SSAB [online] © 2019 [cit. 2019-12-06]. Docol 800DP. Dostupné z WWW: <<https://www.ssab.com/products/brands/docol/products/docol-800dp>>
- [27] SSAB [online] © 2019 [cit. 2019-12-06]. Docol 1000DP. Dostupné z WWW: <<https://www.ssab.com/products/brands/docol/products/docol-1000dp>>

- [28] SSAB [online] © 2019 [cit. 2019-12-06]. Domex 700MC. Dostupné z WWW: <<https://www.ssab.cz/products/brands/strenx/products/strenx-700-mc>>
- [29] Aircraft material [online]. © 2019 [cit. 2019-12-06]. Alloy T45. Dostupné z WWW: <<https://www.aircraftmaterials.com/data/alstst/T45.html>>
- [30] Ross Sport [online]. © 2020 [cit. 2019-05-12]. EVO VII Magnusen subframe. Dostupné z WWW: <<https://www.rosssport.com/Catalogue/EVO-VII-IX/CHASSIS-AND-SUSPENSION/SUBFRAMES/MAGNUS>>
- [31] Peugeot Sport [online]. © 2019 [cit. 2019-12-08]. Peugeot S2000 catalogue. Dostupné z WWW: https://www.peugeot-sport-store.com/en/parts/P_s2000/%subrame_front%0012335
- [32] Race and rally[online]. © 2019 [cit. 2019-12-07] E11 Front Subframe. Dostupné z WWW: <https://raceandrally.ie/citroen-racing/ds3-r5/parts-chapters/suspension/e11-front-subframe>
- [33] Race and rally[online]. © 2019 [cit. 2019-12-07] E11 Front Subframe. Dostupné z WWW: <https://raceandrally.ie/peugeot-sport/208-r2/parts-chapters/suspension/e11-front-subframe>
- [34] Race and rally[online]. © 2019 [cit. 2019-12-07] E11 Front Subframe. Dostupné z WWW: <<https://raceandrally.ie/citroen-racing/ds3-r3-r3-max/parts-chapters/suspension/e11-front-subframe>>
- [35] VW Polo club[online]. © 2020 [cit. 2020-03-27]. Polo III – technická data. Dostupné z WWW: <<https://www.volkswagenpoloclub.cz/generace3facelift/technicka-data>>
- [36] Hexagon [online]. © 2019 [cit. 2020-11-29]. ROMER Absolute Arm. Dostupné z WWW: <<https://www.hexagonmi.com/cs-cz/products/portable-measuring-arms/romer-absolute-arm>>
- [37] 3MO [online]. © 2019 [cit. 2020-11-29]. LC 776 EVO. Dostupné z WWW: <<http://3mo.com/index.php/en/motorsportproduct/lc776evo>>

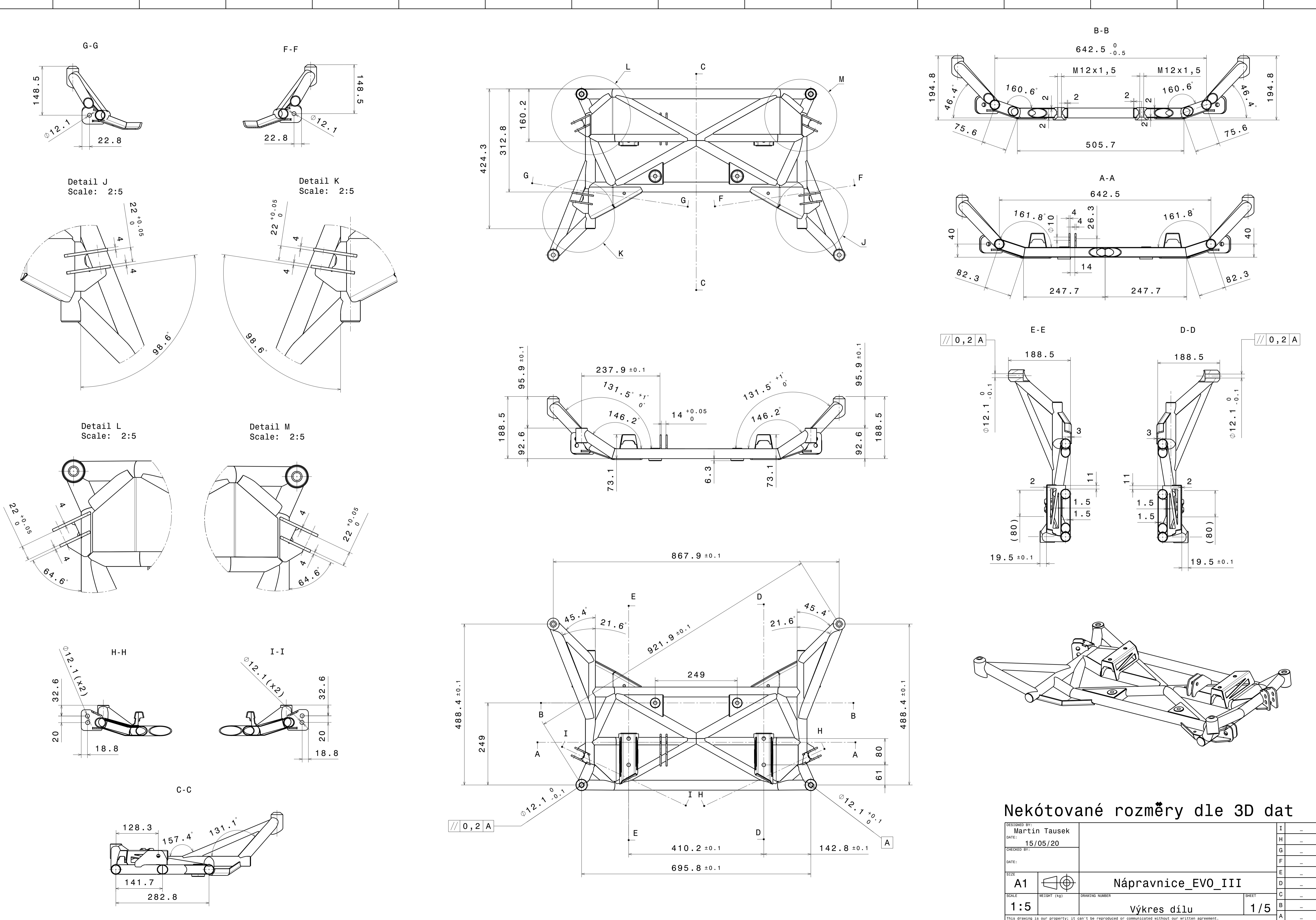
Seznam příloh

1 - 3D model zástavby podvozku závodního vozu

2 - Výkresová dokumentace nápravnice

3 - Výpočtový model dynamického zatížení

P O N M L K J I H G F E D C B A



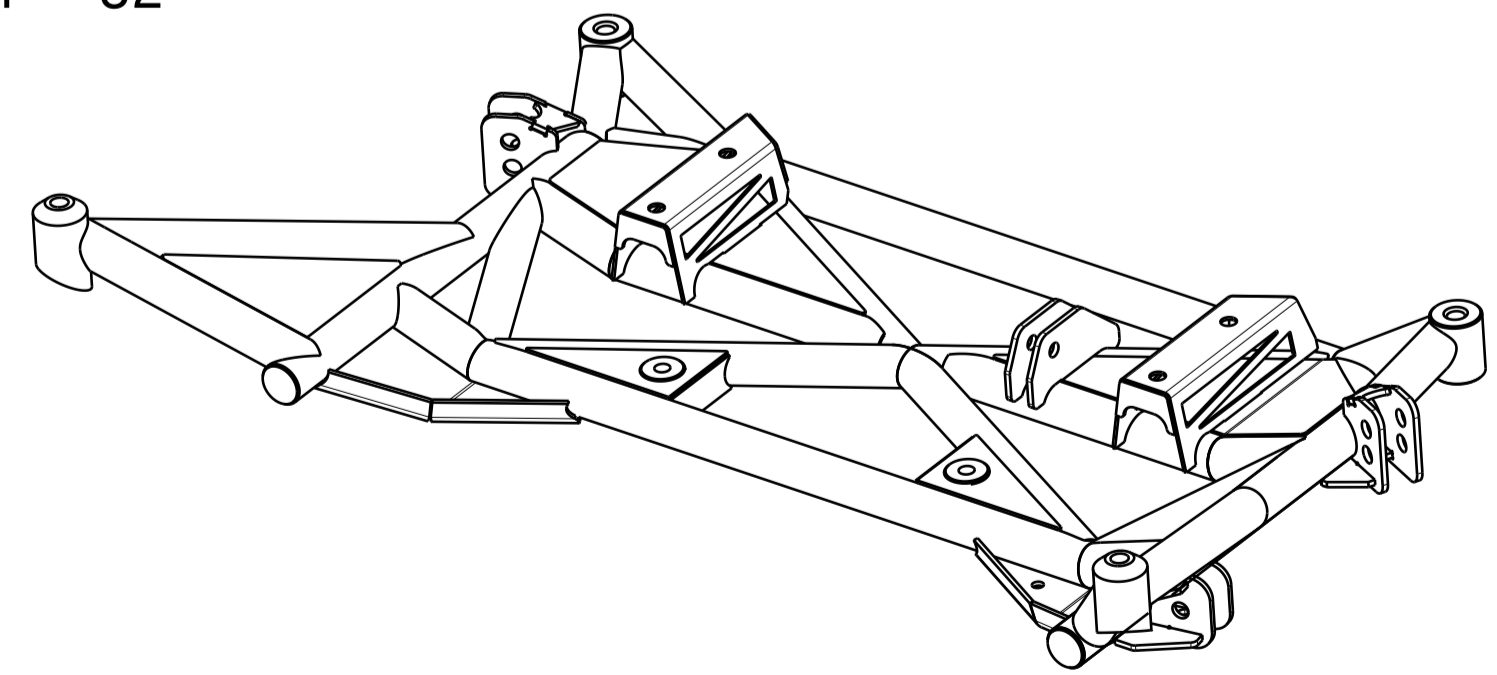
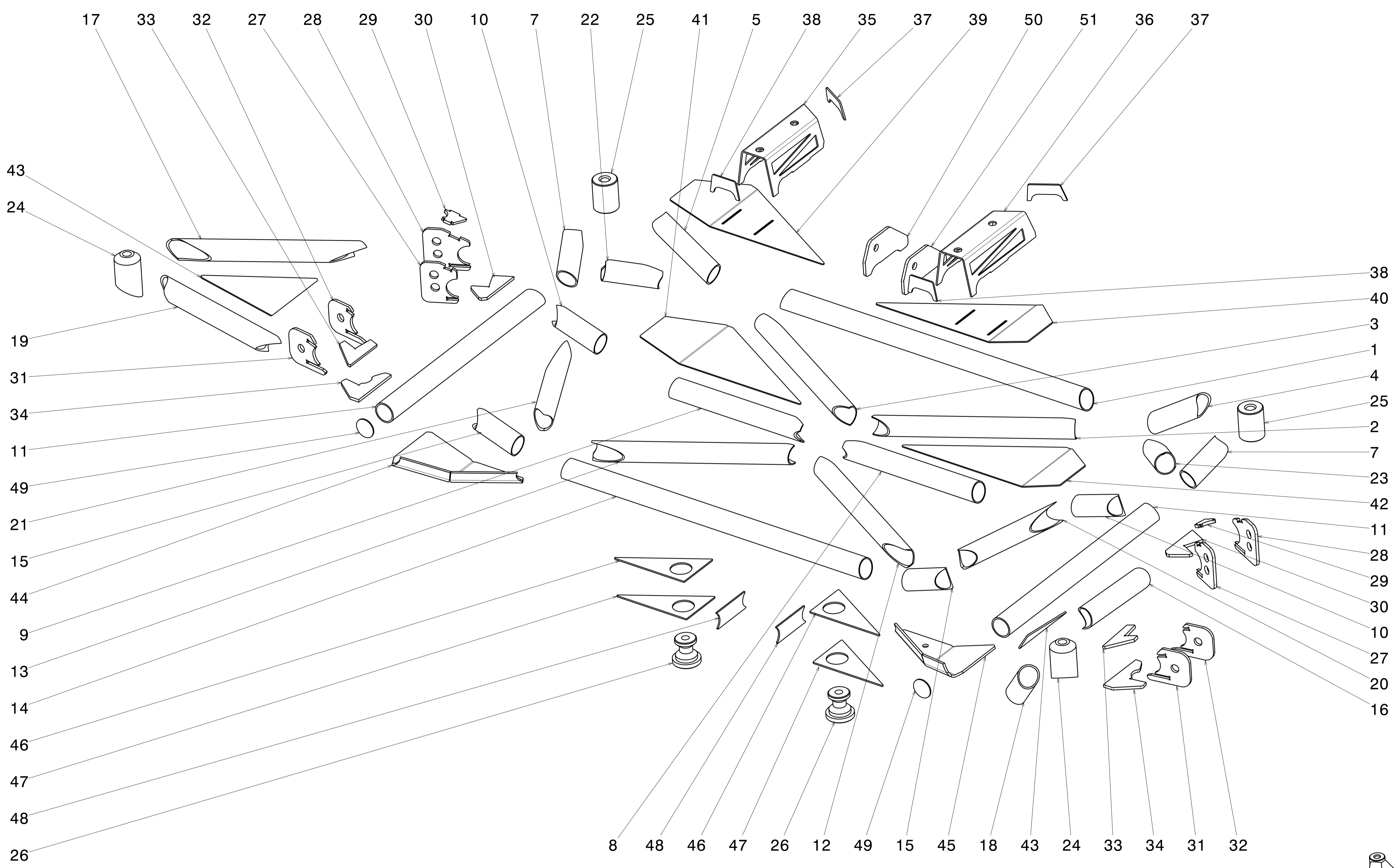
Nekótované rozměry dle 3D dat

DESIGNED BY: Martin Tausek	I	-
DATE: 15/05/20	H	-
CHECKED BY:	G	-
DATE:	F	-
SIZE A1	E	-
SCALE 1:5	D	-
WEIGHT (kg)	C	-
DRAWING NUMBER Nápravnice_EVO_III	B	-
SHEET Výkres dílu	A	1/5
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		

P O N M L K J I H G F E D C B A

P O N M L K J I H G F E D C B A

8 7 6 5 4 3 2 1



DESIGNED BY: Martin Tausek		I	-
DATE: 03/05/20		H	-
CHECKED BY:		G	-
DATE:		F	-
SIZE: A1		E	-
SCALE:	WEIGHT (kg):	Napravnice_EVO_III	
	DRAWING NUMBER:	Rozpad dílu	
		SHEET:	2/5
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

P O N M L K J I H G F E D C B A

05/04/2019 14:16

Bill of Material: Napravnice VW Polo III RX

Por. Cislo	Jmeno dilu	Material	Kusu	Hmotn ost [kg]	Rozmery polotovaru
1	Pozice 1	Docol R8	1	0.536	TR 30x1.5-512
2	Pozice 2	Docol R8	1	0.279	TR 28.6x1.5-280
3	Pozice 3	Docol R8	1	0.279	TR 28.6x1.5-280
4	Pozice 4	Docol R8	1	0.141	TR 30x2-103
5	Pozice 5	Docol R8	1	0.141	TR 30x2-103
6	Pozice 6	Docol R8	1	1.029	TR 30x2-75
7	Pozice 7	Docol R8	1	1.029	TR 30x2-75
8	Pozice 8	Docol R8	1	0.230	TR 30x1.5-220
9	Pozice 9	Docol R8	1	0.230	TR 30x1.5-220
10	Pozice 10	Docol R8	2	0.174	TR 30x1.5-166
11	Pozice 11	Docol R8	2	0.484	TR 30x2-353
12	Pozice 12	Docol R8	1	0.279	TR 28.6x1.5-280
13	Pozice 13	Docol R8	1	0.279	TR 28.6x1.5-280
14	Pozice 14	Docol R8	1	0.527	TR 30x1.5-506
15	Pozice 15	Docol R8	2	0.159	TR 30x1.5-152
16	Pozice 16	Docol R8	1	0.439	TR 30x2-320
17	Pozice 17	Docol R8	1	0.439	TR 30x2-320
18	Pozice 18	Docol R8	1	0.270	TR 30x2-197
19	Pozice 19	Docol R8	1	0.270	TR 30x2-197
20	Pozice 20	Docol R8	1	0.158	TR 28.6x1.5-159
21	Pozice 21	Docol R8	1	0.158	TR 28.6x1.5-159
22	Pozice 22	Docol R8	1	0.084	TR 30x1.5-80
23	Pozice 23	Docol R8	1	0.084	TR 30x1.5-80
24	Predeni uchytna cocka	25CrMo4	2	0.319	KR 40-70

DESIGNED BY: Martin Tausek				I	-
DATE: 03/05/20				H	-
CHECKED BY:				G	-
DATE:				F	-
SIZE A4		Napravnice_EVO_III		E	-
SCALE	WEIGHT (kg)	DRAWING NUMBER	SHEET	D	-
		Seznam polozek	3/5	C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				B	-
				A	-

D

A

D

C

B

A

4	25	Zadni uchytna cocka	25CrMo4	2	0.233	KR 40-50	4
	26	Cocka pro uchyceni liziny	25CrMo4	2	0.133	KR 40-40	
	27	Zadni uchyť ramene 1	Domex 700	2	0.071	TL 4	
	28	Zadni uchyť ramene 2	Domex 700	2	0.088	TL 4	
3	29	Vyztuha zadniho uchytu ramene - horni	Domex 700	2	0.017	TL 4	3
	30	Vyztuha zadniho uchytu ramene - spodni	Domex 700	2	0.044	TL 4	
	31	Predni uchyť ramene 1	Domex 700	2	0.073	TL 4	
	32	Predni uchyť ramene 2	Domex 700	2	0.064	TL 4	
2	33	Vyztuha zadniho uchytu ramene - horni	Domex 700	2	0.038	TL 4	2
	34	Vyztuha zadniho uchytu ramene - spodni	Domex 700	2	0.057	TL 4	
	35	Drzak rizeni - pravý	Docol 800	1	0.202	TL 2	
	36	Drzak rizeni - levý	Docol 800	1	0.202	TL 2	
1	37	Vyztuha drzaku rizeni - zadni	Docol 800	2	0.015	TL 2	1
	38	Vyztuha drzaku rizeni - predni	Docol 800	2	0.014	TL 2	

DESIGNED BY:

Martin Tausek

DATE:

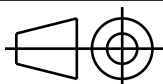
03/05/20

CHECKED BY:

DATE:

SIZE

A4



Napravnice_EVO_III

SCALE

WEIGHT (kg)

DRAWING NUMBER

SHEET

Seznam položek

4/5

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

4

4

39

Horni vyztuha pod rizenim - prava

Docol 1000

1

0.196

TL 1.5

40

Horni vyztuha pod rizenim - leva

Docol 1000

1

0.196

TL 1.5

41

Spodni vyztuha pod rizenim - prava

Docol 1000

1

0.213

TL 1.5

42

Spodni vyztuha pod rizenim - leva

Docol 1000

1

0.213

TL 1.5

43

Bocni zavetrovaci plech

Docol 1000

2

0.092

TL 2

44

Predni rohova vyztuz - prava

Domex 700

1

0.347

TL 3

45

Predni rohova vyztuz - leva

Domex 700

1

0.347

TL 3

46

Horni kryci plech cocky lize

Docol 1000

2

0.052

TL 2

47

Spodni kryci plech cocky lize

Docol 1000

2

0.052

TL 2

48

Bocni kryci plech cocky lize

Docol 1000

2

0.023

TL 2

49

Zaslepka podelne trubky

Docol 800

2

0.007

TL 1.5

50

Drzak reakce motoru - pravy

Domex 700

1

0.109

TL 4

51

Drzak reakce motoru - levy

Domex 700

1

0.107

TL 4

52

53

54

55

56

3

3

2

2

1

1

DESIGNED BY:

Martin Tausek

DATE:

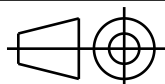
03/05/20

CHECKED BY:

DATE:

SIZE

A4



Napravnice_EVO_III

SCALE

WEIGHT (kg)

DRAWING NUMBER

SHEET

Seznam polozek

5/5

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A