

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

## **FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N 4301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Konstrukční návrh skeletu sportovního elektromobilu

Autor: **Bc. Václav MAREK**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

## 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 diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Marek	Jméno Václav	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Dopravní a manipulační technika		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Konstrukční návrh skeletu sportovního elektromobilu		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	73	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	45	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	28
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Tato práce se zabývá možnostmi současné elektromobility. Analyzuje současný stav vývoje elektromobilů a v reakci na zjištěné skutečnosti se pokouší nalézt nový směr, nový elektromobil, který by obstál mezi konkurenty. Výstupem je návrh skeletu sportovního elektromobilu a testování v podobě počítačových simulací.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Elektromobil, skelet, rám, torzní tuhost

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Marek	Name Václav	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Machine design		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of a frame of an electric sport car		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	73	<b>TEXT PART</b>	45	<b>GRAPHICAL PART</b>	28
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This thesis would like to compare possibilities of using electric cars. It analyze present state of innovations in this branch. Then is invented new frame for electric car, with entry analysis, with compared variations and testing of final frame design.
<b>KEY WORDS</b>	Electric car, chasis, toughness, frame

## Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	8
1.Úvod .....	9
1.1.Historie elektromobility .....	10
1.1.1.Revoluce, která se nekonala : GM EV1.....	11
1.2. Současná elektromobilita.....	13
1.2.1. Proč není praktičnost elektromobilu zárukou úspěchu?.....	13
1.3. Úspěšné elektromobily dneška .....	14
1.4.Nový elektromobil? Ano či ne? .....	15
1.5. Rešerše prostorových rámu automobilů.....	16
1.5.1. Ariel Atom.....	18
1.5.2.K1 Attack .....	19
1.5.3. Factory Five .....	20
2. Systematická specifikace požadavků.....	21
2.1.Základní specifikace hlavních komponent.....	21
2.1.1. Konfigurace.....	21
2.1.2. Rám.....	21
2.1.3. Pohonná jednotka .....	22
2.1.4. Přenos výkonu .....	22
2.1.5. Baterie .....	22
2.2.Studie dojezdových parametrů simulovaného vozidla .....	23
2.2.1.Teoretický základ.....	23
2.2.2.Použité komponenty .....	23
2.2.3.Výpočet odporů.....	24
Výpočet dojezdu pro ideální trať.....	25
2.2.4. Simulace reálného provozu .....	26
2.3.Aplikace studie na vývoj nového elektromobilu .....	28
2.3.1. Párové srovnání kritérií variant osazení bateriemi .....	29
2.4.Studie proveditelnosti .....	30
2.5.FMEA .....	31
2.6.Swot analýza.....	32
2.6.1.Diskuse výsledků FMEA a SWOT .....	32
3.Rozbor technických parametrů .....	33
3.1.Rozbor hmotnostních zatížení.....	33

3.2.Komponenty .....	34
3.2.1. Motor.....	34
3.2.2. Baterie .....	34
3.3.Předpoklady pro konstrukci .....	35
3.4.Zatížení, hmotnosti a jejich umístění .....	37
3.4.1. Průjezd zatáčkou .....	38
3.4.2. Torzní tuhost .....	40
3.5.Diskuse .....	41
4.Konstrukční řešení.....	42
4.1.Návrh možných variant řešení rámu .....	42
4.1.1.Varianta 1 .....	43
4.1.2.Varianta 2 .....	45
4.1.3.Varianta 3 .....	47
4.1.4. Shrnutí .....	49
4.2.Srovnání variant .....	50
4.2.1. Porovnání torzní tuhosti variant.....	51
4.2.2. Diskuse výsledků a výběr varianty pro rozpracování .....	51
4.3.Konstrukce vybraného rámu .....	52
4.3.1. Konstrukční předpoklady.....	52
4.3.2. Konstrukční detaily rámu vozu .....	53
5.Zhodnocení navržené koncepce.....	56
5.1.Bezpečnost vybraných prvků.....	56
5.1.1. Zabezpečení baterií .....	56
5.1.2. Hlavový rám.....	57
5.2. Torzní tuhost .....	59
5.2.1. Vybrané prvky FEM sítě.....	59
5.2.2. Reakční síl .....	61
5.2.3. Zatížení momentem .....	62
5.3. Zhodnocení celku .....	63
5.4. Dojezdová charakteristika navrženého elektromobilu .....	65
5.4.1. Dojezdový výpočet dle studie.....	65
5.5. Ekonomické aspekty elektromobilu .....	66
5.5.1. Ekonomická rozvaha výroby elektromobilu 100Ah.....	66
5.5.2. Provoz elektromobilu .....	67

5.5.3. Likvidace .....	68
5.6. Závěr .....	69
6.1. Seznam obrázků .....	71
6.2. Seznam tabulek .....	72
6.3. Seznam příloh .....	72
6.4. Seznam literatury .....	73
6.5. Poděkování .....	74

## Přehled použitých zkratek a symbolů

Název Veličiny	značka veličiny	Mezin. ZNAČKA jednotky SI vč. jejich dekadických násobků/dílů a uznané CIPM	značka veličiny	MEZIN. ZNAČKA jednotky SI, dekadické nás./díly SI a uznané CIPM
úhel, (rovinný úhel)	$\alpha, \beta, \gamma$ $\vartheta, \varphi$	Rad °; ', ''	$\alpha, \beta, \gamma$ $\vartheta, \varphi, \dots$	rad ° (na desetinná místa)
délka	$l, L$	M	$l, L,$ $a, b, c, d \dots$	mm, m, $\mu$ m, km
šířka	$b$		$b, B, \dots$	
výška	$h$		$h, H, \dots$	
tloušťka	$d, \delta$		$t, \dots$	
poloměr	$r, R$		$r, R$	
průměr	$d, D$		$d, D$	
délka dráhy	$s$		$s, \dots$	
vzdálenost	$d, r$		$l, L,$ $a, b, c, d \dots$	
plocha	$A, (S)$	$m^2$	$S$	$mm^2, m^2$
(zrychlení volného pádu), gravitační zrychlení	$g$	$m/s^2$	$g$	$m/s^2$
hmotnost	$m$	Kg	$m$	kg
(objemová hmotnost), hustota (hmotnosti)	$\rho$	$kg/m^3$	$\rho$	$kg/m^3$
moment setrvačnosti	$I, J$	$kg \cdot m^2$	$J$	$kg \cdot m^2$
síla	$F$	N	$F$	N
tíha, tíhová síla	$F_g, (G),$ $(P), (W)$		$F_g$	
moment síly	$M$	$N \cdot m$	$M$	$N \cdot m, N \cdot mm$
moment dvojice	$M$		$M$	
točivý moment	$M, T$		$M_t$	
tlak	$p$	Pa	$p$	MPa
normálové napětí	$\sigma$		$\sigma$	
(smykové napětí), tečné napětí ( <i>konvence</i> )	$\tau$		$\tau$	
poměrné prodloužení	$\varepsilon, e$	1	$\varepsilon$	1
modul pružnosti v tahu	$E$	Pa	$E$	MPa
modul pružn. ve smyku	$G$		$G$	
(osový) kvadratický	$I_a, I$	$m^4$	$I$	$mm^4$
moment průřezu				
polární (kvadratický)	$I_p$	$m^4$	$I_p$	$mm^4$
moment průřezu				
průřezový modul	$Z, W$	$m^3$	$W$	$mm^3$

1

<sup>1</sup> citováno z doporučených dokumentů pro psaní bakalářské práce pro ZČU FST



## 1.Úvod

Elektromobilita, které je věnována tato diplomová práce se v posledních několika letech stala důležitým tématem v oblasti automobilu. K boji výrobců automobilů za nižší emisní hodnoty se dnes po vznětových agregátech a přeplňovaných nízkoobjemových motorech přidávají také elektromobily. Ač je toto téma dle mého soudu zcela faktické a probádávané již více jak sto let, stává se tématem vášnivých diskuzí bez vítězů. Pravdou je, že vývojem nových elektronických a elektrických komponentů se oblast využití pohonu elektřinou nyní rozšiřuje velmi rychle. Tento trend prakticky umožnil i vznik této diplomové práce, která by neměla smysl, nebýt těchto pozitivních okolností.

Tématem a výsledkem této práce je návrh skeletu pro sportovní elektromobil. Ačkoli fyzikální zákony jasně dokazují ryzí praktičnost elektrického pohonu, hospodárnost a ekonomika provozu není dnes téměř nikdy důvodem ke koupi elektromobilu. Zákazníci z řad veřejnosti volí při koupi vozu elektromobil z krajně neprozaických důvodů. Bohužel, cenová politika automobilek není schopná (nebo se ani nepokouší) přimět prakticky smýšlejícího zákazníka ke koupi elektromobilu. Z těchto důvodů se zákazníci etablují z naprosto odlišných řad a skupin. Tito zákazníci se pro koupi elektromobilu rozhodují přesvědčením, vírou v inovaci, entuziasmem a hospodárnost provozu bývá pouze druhotnou výhodou. Elektromobily se proto za posledních deset let staly luxusním a stylovým zbožím. Chceme-li elektromobilitu podpořit a v následujících letech rozšířit, bude nutné začít, resp. pokračovat s touto klientelou a s rostoucími objemy prodeje nabízet dostupnější alternativy pro zákazníky, kteří dnes usedají za volanty dieslových Octavií.

Výše popsané myšlenky vyhražují pracovní prostor konstruktérů, designérů a dalších, kterým myšlenky elektropohonu nejsou cizí. Znamená to, že existuje prostor pro vývoj malého, obratného elektromobilu, který nabídne adekvátní schopnosti a styl pro použití ve městech i mimo ně, nabídne zábavu i praktickou osobní přepravu a bude reálně použitelný.

V práci bude navržen rám elektromobilu, budou předneseny určité předpoklady pro konstrukci a budou propočítány některé jízdní a dojezdové charakteristiky navrhovaného elektromobilu.

## 1.1.Historie elektromobility

První elektromobil se zrodil v Holandsku roku 1835. Sestavil jej profesor Sibrandusen Strating, tzn. cca 50 let před prvním automobilem se spalovacím motorem. Roku 1899 překonal belgičan Camille Jenatzy ve svém elektromobilu jako první rychlost 100km/h. Začátkem 20. století jezdilo v USA více elektromobilů než vozů se spalovacím motorem. František Křižík zkonstruoval svůj elektromobil roku 1895. Impozantní výkony tehdejších konstruktérů však byly na další století téměř zapomenuty. Kromě několika výjimečných projektů, které nezaznamenaly velké prodejní úspěchy, se vývoj elektromobilů takřka zastavil a nadvládu s velkým přehledem převzaly spalovací motory. Jedinou výjimkou, je-li možné nad nimi takto uvažovat, jsou trolejbusy, které ovšem patří do jiné kategorie přepravy.



Obrázek 1 Elektromobil, který dosáhl jako první 100km/h

Zlom v dalším rozvoji elektromobilů přinesly tyto události

- v Americe byly vybudovány nové dlouhé silnice a byla potřeba vozidel s delším dojezdem
- v Texasu byla objevena ropa, což razantně snížilo cenu benzínu
- Charles Kettering v roce 1912 vynalezl elektrický startér a tím odstranil nepohodlné a fyzicky náročné startování klikou
- Henry Ford zahájil hromadnou výrobu vozidel se spalovacími motory za velmi dostupné ceny (500 – 1000 dolarů). Tím se tato auta stala dostupná pro všechny, zatímco cena byla výrazně nižší. Pro porovnání – benzinový automobil bylo možné pořídit za 650 dolarů, adekvátní elektrický roadster za 1750 dolarů.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://elektromobil.vseznamu.cz/historie-elektromobilismu>

### 1.1.1.Revoluce, která se nekonala : GM EV1

Do příběhu elektromobilů by měl patřit asi největší projekt, který byl realizován, odstartován a uměle ukončen se spoustou nezodpovězených otázek. Konspiračními teoriemi ozdobený příběh elektromobilu GM EV1 není sice vědeckým materiálem, ale pro dokreslení složité situace elektromobilů poslouží dobře.

Dojezd (1 nabití):

1. generace 90-100km, novější 120 – 150km
2. generace s NiMH akumulátory až 250km

USA GM EV1

Doba plného nabití:

až 7 hodin při nabíjení z 110V

2-3 hodiny při nabíjení z 220V

20 minut při nabíjení stojanovou nabíječkou (50kW)

Max. rychlost: 130 km/hodinu

Výrobce: General Motors

Datum výroby: 1996-2003



Obrázek 2 GM EV1

Největší, nejdražší a nejzajímavější projekt vznikl v USA. Američané jako součást projektu „Zero-emissions vehicle“ vyvinuli elektromobil GM EV1. Projekt byl odstartován roku 1990 ve státě Kalifornie a jeho cílem bylo dostat na trh do roku 1998 alespoň 2% elektromobilů z celkového počtu vozidel.

Projektem byla pověřena domácí automobilka General Motors, k níž se přidaly ještě automobilky Honda a Toyota (obě společnosti jsou dnes největšími výrobci hybridních vozidel). Zatímco Toyota a Honda postavily elektromobil na svých již vyvinutých platformách, GM vyvinula zcela novou unikátní platformu elektromobilu postavenou ze směsi plastů, skla a hliníku.

GM vyvinulo pro tento elektromobil mnoho novinek, např. speciální způsob dobíjení pomocí bezkontaktní indukce. EV1 nebyl nikdy nabídnut k volnému prodeji, ale bylo možno si jej objednat pouze pomocí leasingového programu, což se majitelům stalo nakonec osudným. Výsledkem byl na

dobu výroby zcela revoluční elektromobil, který mohl snadno konkurovat obdobným automobilům na pevná paliva. Velký podíl na tom měly vynikající NiMH baterie společnosti Ovonic/Texaco, které umožňovaly dojezd až 250 km na jedno nabití. Spolu s rychlostí dobíjení byl vytvořen elektromobil takových parametrů, který by i dnes drtivou většinu dnešních elektromobilů snadno překonal téměř ve všech ohledech.

Ačkoli se zájem o EV1 výrazně zvyšoval, General Motors v roce 2003 uvedlo, že podle jejich výpočtů se nemůže další produkce stát ziskovou a rozhodla se projekt ukončit. Co ale šokovalo veškeré majitele jejich elektromobilů bylo to, že se GM rozhodla všem majitelům auta odebrat a sešrotovat. Umožňovala jim to leasingová smlouva. Majitelé se pokoušeli elektromobily odkoupit, protestovali, ale bylo to marné. Veškeré EV1 byly majitelům odebrány a tajně v poušti sešrotovány. Zůstalo pouze pár exemplářů do musea a jako exponáty do vysokých škol. Byly z nich ale odebrány centrální pohonné systémy a hlavně revoluční baterie. To však stále nebylo vše! Do hry vstoupila společnost Chevron (patří mezi šest největších ropných společností na světě) a koupila společnost Ovonic/Texaco, která měla patent na baterie tohoto elektromobilu. Společnost Chevron následně vyhodnotila baterie jako neperspektivní, zastavila výrobu a patent uložila „k ledu“. Patent vyprší kolem roku 2013. Následně společnost Chevron zažalovala Toyotu a Hondu za používání jejich baterií a ty následně ukončily také výrobu svých elektromobilů. Následovalo šrotování i elektromobilů od Toyoty a Hondy, ale ty se již pod obrovským tlakem veřejnosti nechali přesvědčit a některé vozy zákazníkům prodali.

Zákony zvýhodňující elektromobily v USA byly pak soudně napadeny a následně zrušeny. Celý projekt stál přes miliardu dolarů a přinesl nám cenné poznatky. Zjistilo se, že již v 90. letech bylo možné vyrobit konkurenceschopný elektromobil. Tento elektromobil byl zcela unikátní mnoha parametry (ve své době) – dojezdem, rychlostí i časem nabíjení baterií. Také se ale zjistilo, že GM EV1 předstihl svojí dobu.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> dostupné na <http://elektromobil.vseznamu.cz/nej-elektromobily-ve-svt/usa-gm-ev1>

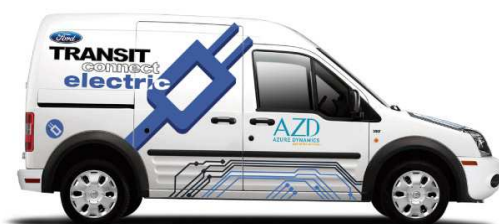
## 1.2. Současná elektromobilita

První pohled na situaci elektromobilů současnosti jsem již nabídl v úvodu. Pokusím se nyní podat podrobnější informaci v následující rešerši. Předně bych rád podotkl, že o systematické rozdělení elektromobilů se příliš autorů odborné literatury nepokouší.

### 1.2.1. Proč není praktičnost elektromobilu zárukou úspěchu?

Bohužel, jak jsem již popisoval výše, přestože dnešní elektromobilita postoupila ke zcela jiným možnostem, přechod od spalovacích motorů je velmi opatrný. Boj mezi elektromobilitou a spalovacími motory je spíše psychologický než souboj výkonů a parametrů. Proto se současní automobiloví producenti zabývající se elektromobilitou obracejí na movitější klientelu, které mohou nabídnout velmi inovační elektromobily, s neotřelým designem a celkově nestandardní koncepcí. Přesně jak popisuje Simon Sinek ve svých přednáškách o inovacích, se trh opravdu chová. Pokud přicházíte s něčím opravdu novým, nejsou otázky „za kolik?“ a „jaký výkon, dojezd?“ na místě. Je naprosto klíčové zaujmout skupinu lidí, kteří jsou ochotni vyzkoušet něco nového, inovativního a ti se ptají pouze „proč?“ Jestliže nalezneme odpověď, dokážete zaujmout dostatečně širokou skupinu těchto zákazníků, mohou se ostatní začít učit, mohou se nechat také zlákat a úspěchu již mnoho nebrání.

Tato teorie tedy určuje koncepci. Chceme zaujmout skupinu lidí, která se nebojí vyzkoušet nové věci, která ocení vzhled a nepopiratelné výhody elektromobilu pro ni budou dalším bonusem. Stanovili jsme tedy vývoj dvouradového lehkého automobilu pro volný čas, pro pohyb ve městě a krátké výlety mimo něj.



Obrázek 3 Ford Transit Connect Electric<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>dostupné na : <http://www.nazeleno.cz/elektromobily-2011-peugeot-a-citroen-za-750-000-korun.aspx>

### 1.3. Úspěšné elektromobily dneška

Přes překážky, neúspěchy a nedůvěru veřejnosti se několika automobilkám podařilo vyvinout, postavit a prodávat své elektromobily. Krátce bych se zmínil o několika takových.

#### ***Tesla Roadster a model S***

Automobilka v čele s osobností Elona Muska (nikoli zakladatele) dokázala postavit a komerčně uspět s elektricky poháněnými automobily na poli luxusních vozů. Tyto vozy jsou nejen velmi stylové, ale také výkonné, to jim zaručilo úspěch mezi náročnou klientelou. Tesla model S i Tesla roadster jsou vozy, které se výkony blíží supersportům, ale jsou stále elektromobily a jsou tedy i vozy víceméně ekologickými.

#### ***Fisker Karma***

Tento vůz je velmi nekonvenční. Pod extravagantní karosérií se ukrývá opět výkonný, elektrický pohon. Taktéž uspokojuje náročnější zákazníky a přednost má styl před praktičností.

#### ***Nissan Leaf***

Mezi velmi úspěšné produkční elektromobily dneška patří bezesporu Nissan Leaf. Jedná se o kompaktní vůz, hatchback s plně elektrickým pohonem. Je plnohodnotnou náhradou za vůz se spalovacím motorem. Praktičností a dojezdem cca 200km pokryje snad 80% z běžných požadavků na vůz v rodině, pro osobní přepravu pro firmy atd. Je tedy záhadou, proč takovéto vozy nevytlačují konvenční automobily mnohem rychleji. Pravděpodobně je to způsobeno psychologickými, sociologickými vlivy, nedůvěrou a dalšími neměřitelnými faktory.

#### ***BMW i3 a i8***

Tyto automobily prémiové Mnichovské automobilky jsou velmi specifickou záležitostí. Bmw i8 je supersportovní automobil s maximálním technologickým vybavením, tomu odpovídá astronomická cena, výkony a bohužel i raritní výskyt těchto vozů. Bmw i3 ač vzhlíží jako kompaktní vůz do města, pro běžné využití, je jeho cena opět velmi vysoká.

## 1.4. Nový elektromobil? Ano či ne?

Faktem bez diskuzí je, že podpora elektromobility bude nezbytnou součástí dopravy v budoucích letech. Již toto je dostatečným argumentem se v této oblasti realizovat. Z předešlé rešerše vyplývá, že situace se v posledních deseti letech mění k lepšímu. Odborná veřejnost již uznává elektromobilitu jako směr budoucí dopravy, ovšem neodborná populace se k tomuto směru chová velmi odtažitě.

Relativně úspěšné elektromobily také existují, jak jsem popsal výše. Naším úkolem jistě není vyvinout konkurenta pro Nissan Leaf nebo BMW i8. Ovšem právě postoj veřejnosti dává prostor pro realizaci jednoduchých projektů vývoje elektromobilů, které osloví ty, kterým jsou drahé sériové elektromobily příliš vzdálené.

Úkolem nových projektů na téma elektromobility je přibližování těchto technologií veřejnosti. A protože technologií přístupných širokému spektru zákazníků existuje málo, naskýtá se tedy prostor pro nové elektromobily, které tyto mezery mohou doplnit.



Obrázek 4 Elektromobil Opel<sup>4</sup>

<sup>4</sup> dostupné na :

[http://www.driversweb.cz/clanky/Blog/Frankfurtska\\_prekvapeni\\_vime\\_na\\_co\\_se\\_tesit](http://www.driversweb.cz/clanky/Blog/Frankfurtska_prekvapeni_vime_na_co_se_tesit)

## 1.5. Rešerše prostorových rámu automobilů

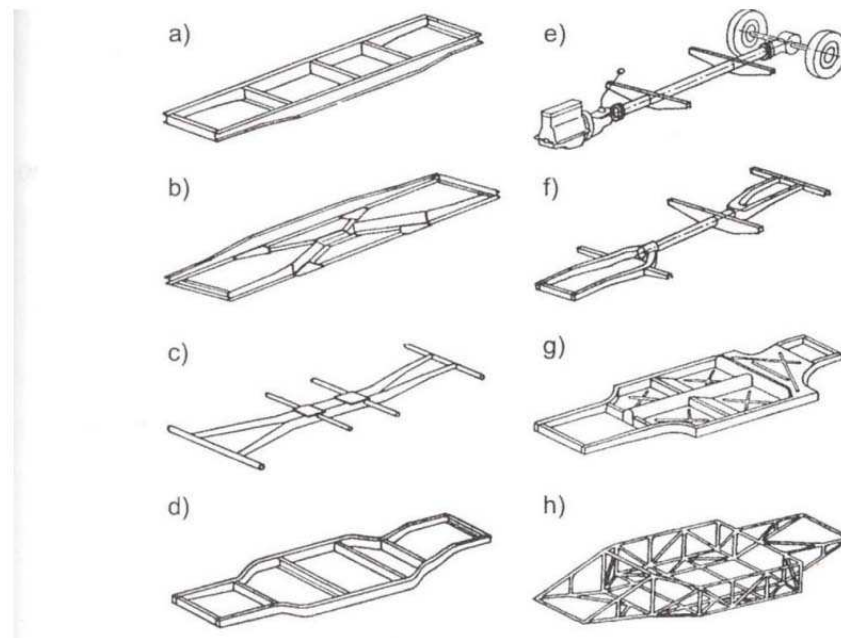
Automobil se skládá z mnoha částí, skupin prvků a dalšího vybavení. Všechny tyto části jsou umístěny v karoserii. Karoserie nese všechny hmotnosti a přenáší všechny síly. Z těchto důvodů je konstrukce této části naprosto zásadní pro celkovou koncepci automobilu. Rozlišujeme několik druhů těchto koncepcí.

### Karoserie

- podvozkové
- polonosná
- samonosná

### Podvozkové

- žebřinový
- úhlopříčkou
- křížový
- páteřový
- **příhradový**



Obrázek 5 Druhy rámu<sup>5</sup>

<sup>5</sup>přednáškové materiály KSV2



#### Polonosné

- základ – rám, pevně připojená karoserie
- přenos sil na karoserii

#### Samonosné

- žádný rám, síly zachycovány přímo karoserií
- lehká konstrukce, náročná výroba
- s vnitřní kostrou, skořepinové, s vnitřním roštem



Obrázek 6 Ariel Atom<sup>6</sup>



Obrázek 7 Ariel Atom – rám<sup>6</sup>

---

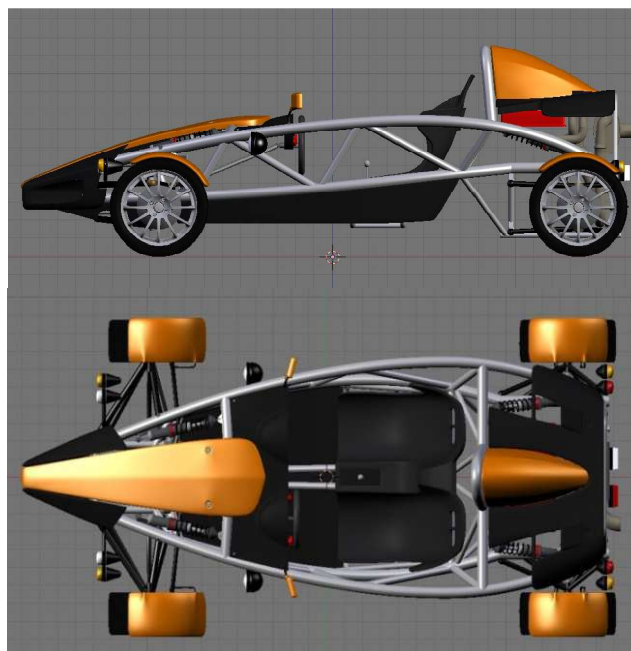
<sup>6</sup> <http://beautifullyengineered.tumblr.com/post/32290082767/the-ariel-atom-500-v8-is-beautifully-engineered>

### 1.5.1. Ariel Atom

Jako první vzor posloužil prostorový rám automobilu Ariel Atom. Tento velmi lehký sportovní automobil s vlastnostmi supersportu je postaven s maximálním důrazem na nízkou hmotnost. Základ tvoří prostorový trubkový, ocelový rám. Mezi zajímavosti patří informace, že tento projekt začal jako studentská práce britského studenta Nikiho Smarta z Univerzity v Coventry.

Hlavními znaky jsou základní tvar daný podélnými trubkami, žebřinové uspořádání vzpěr a odpružení Pushrod. Vzpěry uspořádané do trojúhelníků jsou z velké části namáhané na tah/tlak, což velmi dobře využívá mechanické možnosti materiálu, šetří hmotnost a napomáhá vysoké torzní tuhosti. Posádka, motor a další příslušenství se nachází v přidavných koších pod hlavními nosníky.

Za zajímavý znak považuji až organický tvar karoserie. Podle mého názoru je velmi důležitá inspirace v biologických strukturách jako jsou např. kostry obratlovců nebo schránky hmyzu, neboť tyto tvary, struktury jsou prověřeny přirozeným vývojem, který je oproti technice poněkud delší.



Obrázek 8 Ariel Atom<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> <https://www.pinterest.com/Rocksteady84/ariel-atom-project/>

### 1.5.2.K1 Attack

Opět podobnou konstrukcí se vyznačují modely slovenské firmy. Také zde je vsazeno na velmi nízkou hmotnost pro dosažení vynikajících jízdních vlastností. Té je dosaženo opět použitím prostorového trubkového rámu.

Ovšem z mého pohledu zde vidím filosoficky poněkud jiný přístup. Ariel Atom a jeho design je od počátku postaven jako absolutně funkční, včetně tvarů a rozmístění dalších prvků. Attack je vlastně z vnějšího pohledu klasickým vozem, kabrioletem, roadsterem. Místo trubkového rámu by se pod kompozitní karoserií mohla nacházet klasická samonosná karoserie z lisovaných plechů. Trubkový rám ji tak dokonale nahrazuje, nesměřuje však tolik k funkčnosti, struktura rámu je podřízena karoserii a tvaru roadsteru, proti tomu je design Atomu definován právě strukturou.



Obrázek 9 K1 Attack<sup>8</sup>



Obrázek 10 K1 Attack<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> dostupné na <http://www.b-racing.cz/>

### 1.5.3. Factory Five

Americká společnost Factory Five se zaměřuje na produkci replik historických a jiných kultovních automobilů. Protože se jedná zpravidla o sportovní automobily, tak je požadována nízká hmotnost a vysoká tuhost struktury. Požadavky i zde splňuje prostorový trubkový rám. Zde je ovšem opět přistupováno ke struktuře až po definici designu, což je vzhledem k produkci replik pochopitelné. Rám je svařen z profilů, konkrétně z trubek čtvercového průřezu, doplňky konstrukce jsou tvořeny výpalky z plechu. Jak vidíme z obrázku, jedná se o poměrně hustou strukturu, která poskytuje dostatečnou tuhost. Hmotnost šetří hlavně kompozitní kapotáž.



Obrázek 11 Factory 5<sup>9</sup>



Obrázek 12 Factory 5<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> dostupné na <http://www.factoryfive.com/>

## **2. Systematická specifikace požadavků**

### **2.1. Základní specifikace hlavních komponent**

Analýza současných elektromobilů, konkurenčního prostředí a obecně studium automobilu nám dává mnoho podnětů pro specifikování požadavků na nový produkt. Na výše uvedených stránkách je možno vidět jak pohled do minulosti, tak rešerši rámu pro velmi lehké automobily a v neposlední řadě také studii dojezdů elektromobilu v závislosti na konfiguraci baterií. Tyto body podávají dostatečné množství informací ke stanovení cílů pro nový elektromobil.

#### **2.1.1. Konfigurace**

Asi nejpragmatictější částí specifikace je určení pohonné konfigurace. Volba elektrického pohonu má jasná fakta, se kterými můžeme operovat. Počínaje výkonem, přes přenos výkonu po dojezd můžeme volit parametry, komponenty. Tyto parametry lze určovat na základě zkušeností, systematickým výběrem a volby ověřovat srovnávacími nástroji, např. párovým srovnáním kritérií atd.

#### **2.1.2. Rám**

Dosavadní ujednání koncepce se zakládalo víceméně na přístupu k zákazníkovi. Výběr koncepce rámu je ovšem parketou založenou na faktech. Tři popsané koncepce produkčních vozů mají mnoho společného, ale také drobné nuance. Opisovat tvary konvenčních automobilů a rámem fakticky nahrazovat tvary lisované skořepinové karoserie sice přináší úsporu hmotnosti a de facto vůbec umožňuje malosériovou produkci automobilu, ale opravdové využití potenciálu koncepce s trubkovým rámem pro mne znamená přístup použitý při návrhu Arielu Atom. Syrový tvar karoserie určují hlavní nosníky rámu a konečný design dotváří pouze malé množství krytí. Nakonec leckterý produkt definovaný absolutně funkčností může být nejen efektivní, ale také efektní.

### 2.1.3. Pohonná jednotka

K pohonu vozu bude sloužit dvojice stejnosměrných elektromotorů, každý o nominálním výkonu 16kW, tzn. celkově 32kW. Vzhledem k předpokládané hmotnosti okolo 600kg je tento výkon naprosto dostačující. Navíc tyto motory lze krátkodobě přetížit a pro zrychlování počítat tedy i s výkonem vyšším. Charakteristika výkonu elektromobilů je navíc diametrálně odlišná od spalovacích motorů, výkon by měl být mírně překvapující.

Součástí pohonu musí být taktéž řídicí elektronika pohonné jednotky, odpojovač a další elektrická výbava zajišťující bezpečnost během provozu.

### 2.1.4. Přenos výkonu

Celé pohonné ústrojí je umístěno u zadní nápravy a poháněná je také zadní náprava. Předpokládáme max. rychlost do 120km/h. Při použití pneumatik o rozměrech 165/55R13 a maximálních otáčkách motoru cca 2800/min bude zapotřebí do pohonné soustavy umístit jednostupňovou převodovku o převodu cca  $i=0,45$ .

$$o = (13 * 25) + 2 * (165 * 0,55) = 1585mm$$

$$n_{nakole} = \frac{v_{max}}{o} = \frac{\frac{120}{3,6}}{1,585} = 21^{-1}$$

$$i = \frac{21}{\frac{n_{mot}}{60}} = 0.45$$

### 2.1.5. Baterie

Na použitých bateriích pochopitelně závisí dojezd elektromobilu. V následující části práce naleznete studii závislosti dojezdu elektromobilu na konfiguraci baterií. Studie byla provedena na vzorovém voze, na kterém bylo možno provést měření. Parametry vozu nejsou totožné s navrhovaným vozem, ale dostatečně umožňují předběžný návrh konfigurace. Předpokládáme tedy použití moderních článků SINOPOLE s nominálním napětím 3,2V v konfiguraci 16x3,2V tzn. 48V a kapacitě 100Ah nebo 200Ah.

### **Managment baterií**

Pro optimální funkci a dlouhou životnost baterií je nezbytné řízení nabíjecího a vybíjecího cyklu. K tomu slouží battery management. Jedná se o elektroniku řídicí tyto procesy. Z hlediska konstrukce rámu nehraje umístění tohoto zařízení roli. Bude umístěno v prostoru pro baterie.

## 2.2. Studie dojezdových parametrů simulovaného vozidla

Tato část práce obsahuje teoretický výpočet dojezdové vzdálenosti elektromobilu v závislosti na konfiguraci baterií sloužících k pohonu elektromobilu. Některá teoretická data jsou podložena praktickými zkouškami. Použité komponenty jsou reálné a některé i prakticky vyzkoušené na elektromobilu vznikajícím na Katedře konstruování strojů při ZČU.

### 2.2.1. Teoretický základ

#### Odpor valení:

$$O_f = f * m * g$$

$f$ ...součinitel odporu valení  
 $m$ ... hmotnost [kg]  
 $g$ ...gravitační zrychlení [ $m*s^2$ ]

#### Odpor vzduchu:

$$O_{vz} = c_x * \frac{\rho}{2} * S_x * v^2$$

$c_x$ ...součinitel odporu vzduchu  
 $\rho$ ...hustota vzduchu [ $kg/m^3$ ]  
 $S_x$ ...čelní plocha vozu [ $m^2$ ]  
 $v$ ...rychlost vozu [ $m/s$ ]

#### Zrychlení

$$F = m * a$$

$a$ ... zrychlení [ $m*s^2$ ]

#### Stoupání

$$F = m * g * \sin \alpha$$

$\alpha$ ...úhel stoupání

### 2.2.2. Použité komponenty

#### Elektromotor

- napětí 48V, nominální výkon 4Kw

#### Baterie SINOPOL

- Články s nominálním napětím 3,2V tzn. pro 16ks v sérii : 48V

Kapacita dle konfigurace :

- ke hmotnosti přičteno 1% pro spojovací materiál
- reálná kapacita snížena o 20% pro ztráty a nedokonalé nabíjení

Tabulka 1 Kapacity akumulátorů

kapacita [Ah]	kapacita [Wh]	kapacita reálná -20 %[Wh]	hmotnost [kg]	hmotnost +1%
100	4800	3840	49,6	50,1
140	6720	5376	74,1	75
160	7680	6144	80	81
200	9600	7680	92,6	94

### **Rám ,chassis**

- svařovaný trubkový rám o hmotnosti cca 300kg
- Pneu 165/70 R13

### **Posádka**

- pro výpočet uvažujeme obsazení jednou osobou, řidičem, 80Kg.

## **2.2.3.Výpočet odporů**

### **Odpor vzduchu**

Odpor vzduchu dle výpočtu viz výše, s rychlostí roste, dokonce ve druhé mocnině s rychlostí. Ovšem naše uvažované vozidlo se pohybuje max rychlosti 50km/h ,průměrnou rychlostí cca 30km/h. Vzhledem k obtížnosti odhadu rozsahu rychlostí během trasy budeme uvažovat  $O_{vz}$  pro 30km/h , konstantní, tzn. :

$$O_{vz} = 0,35_x * \frac{1,19}{2} * 1_x * \left(\frac{30}{3,6}\right)^2 = 14,16N$$

Pro výpočet zaokrouhlíme na 20N

### **Odpor valení**

- pneu 165/70 R13
- uvažujeme koeficient valení 0,02, hmotnost dle konfigurace baterií, rámu a obsazení
- hmotnost rámu 300kg
- obsazení 80kg

$$O_f = 0,02 * \text{variace hmotností} * 9,81$$

### **Ověření valivého odporu**

- velikost odporu valení byla ověřena měřením. Na experimentálním vozidle byl naměřen odpor valení 72,2N. Pro prázdné vozidlo osazené bateriemi o váze 52Kg
- odpovídá celkové hm. 352Kg



### Celkový odpor

Přepočet síly na výkon při průměrné rychlosti 30km/h :

$$P[w] = F * \frac{30}{3,6}$$

Tabulka 2 Změna odporu v závislosti na akumulátorech

konfigurace [Ah]	odpor vzduchu [N]	odpor valení [N]	celkový odpor [N]	výkon odporů [W]
100	20	84.5	104,5	869
140	20	89.27	109,27	910
160	20	90.44	110,44	920
200	20	92.99	112,99	941

### Výpočet dojezdu pro ideální trať

$$t[h] = \frac{E[Wh]}{P[W]}$$

$$s[km] = t[h] * 30[km/h]$$

Tabulka 3 Teoretický dojezd

konfigurace	kapacita baterií [Wh]	odpory [W]	čas [h]	vzdálenost [km]
1	3840	869	4,41	132
2	5376	910	5,9	177
3	6144	920	6,67	200
4	7680	941	8,15	244

Vypočtené možné dojezdové vzdálenosti platí pro ideální trať, bez převýšení, brzdění, zrychlování. Proto se s lineárním zvyšováním kapacity (hmotnosti) akumulátorů také zvyšuje lineárně dojezd, což je velmi nepravděpodobné. Je nezbytné simulovat i další ztráty a odpory aby se výpočet přiblížil realitě.

#### 2.2.4. Simulace reálného provozu

V rámci simulace reálného provozu zavedeme faktor zrychlování a stoupání

Myšlenou trať procentuelně rozdělím :

Plná cestovní rychlost	50%
Plná akcelerace	10%
Stoupání (5%)	20%
Klesání (5%)	20%

##### **Plná rychlost**

- platí jízdní odpory dle předchozí kapitoly
- projevují se na 100% trati

$$F = F_{vzd} + F_{val}$$
$$E = E_{vzd} + E_{val} = s * (F_{vzd} + F_{val})$$

##### **Akcelerace**

- elektromobil je schopen dosáhnout max. síly na kole 428N
- četnost na 10% trati

$$E_{akc} = 0,1 * s * F_{akc}$$

##### **Stoupání**

- uvažujeme stoupání 5%, tzn. úhel stoupání 2,25°
- výskyt na 20% trati

$$F_{st} = m * g * \sin \alpha$$
$$F_{st} = m * 0,385$$
$$E_{st} = 0,2 * s * F_{st}$$

##### **Klesání**

- teoreticky by zde mohla vznikat využitelná energie (záporná síla) ,bohužel rekuperace je velmi neúčinná, závislá na jízdním stylu a proto uvažujeme, že nabytá potenciální energie ze stoupání bude zmařena brzděním
- na 20% trati

$$F_{kl} = 0$$

### Výpočtový návrh

- výpočet dojezdu je proveden součtem energií spotřebovaných k překonání odporů
- byl sestaven jednoduchý vzorec v tabulkovém procesoru

$$E_{celk} = E_{stoup} + E_{val} + E_{akc} + E_{vzd}$$

$$E_{celk} = s * (0,2 * F_{stoup} + F_{val} + 0,05 * F_{akc} + F_{vzd})$$

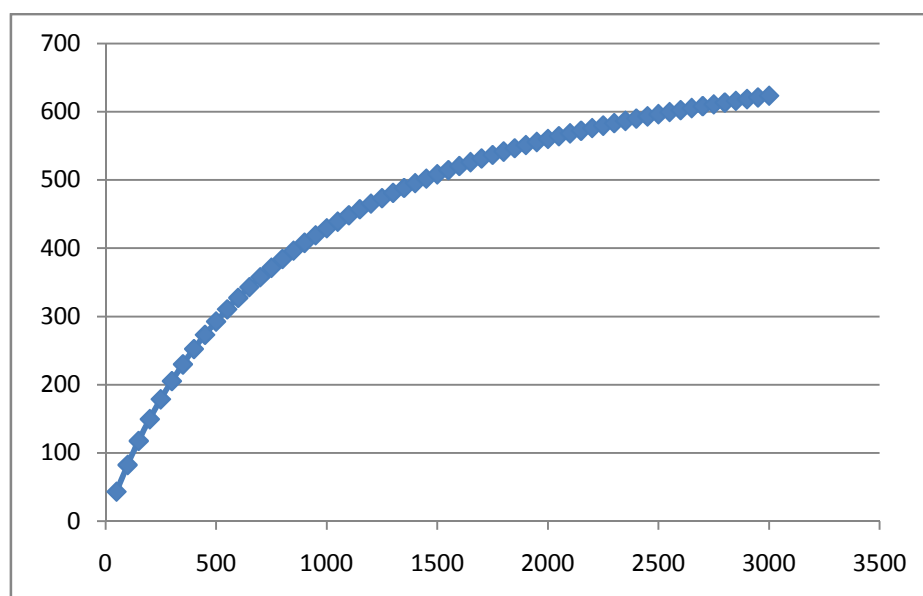
- žlutě podbarvená okna pro zadání hodnot

Tabulka 4 Výpočetní tabulka

hmotnosti	[kg]			kapacita [Ah]	[kWh]	kWh *0,8	energie [J]
hmotnost rámu	300			100	4800	3840	13824000
zátěž (osoby)	80						
baterie	50						
celková	430						
síly	[N]	% z trasy	[N]				
stoupání 5%	165,56	0,2	33,11			energie [J]	13824000
valení	84,36	1	84,366			dráha [m]	82492,149
zrychlení	301	0,1	30,1				
odpor vzduchu	20	1	20			dojezd [km]	82,49
celkem			167,57				

Graf závislosti dojezdu [km] na kapacitě baterií [Ah]

- kapacita Ah ...osa x
- dojezd km ...osa y



Pro obsazení jednou osobou

Tabulka 5 Dojezd s jednou osobou

konfigurace	kapacita [Ah]	kapacita baterií [Wh]	vzdálenost [km]
1	100	3840	82,5
2	140	5376	111
3	160	6144	124
4	200	7680	150

Pro obsazení dvěma osobami

Tabulka 6 Dojezd se dvěma osobami

konfigurace	kapacita [Ah]	kapacita baterií [Wh]	vzdálenost [km]
1	100	3840	71
2	140	5376	96
3	160	6144	108
4	200	7680	130

### ***Diskuse výsledků***

Provedením výpočtů bylo dokázáno, že navyšování kapacity baterií není jednoznačnou výhodou. Vysoká hmotnost baterií se negativně promítá v dojezdu elektromobilů. Navyšováním kapacity se navyšuje hmotnost. Valivý odpor roste nepatrně, ale ztráty nabyté a nevyužité potenciální a kinetické energie jsou značné. Prosté kvantitativní navyšování kapacit tedy není pokrokem, je třeba zvyšovat hlavně efektivitu a hledat ideální konfigurace.

## **2.3.Aplikace studie na vývoj nového elektromobilu**

Dosažené znalosti aplikujeme na vyvíjený elektromobil. Stanovíme tedy možné konfigurace baterií a exaktně vybereme nejlepší varianty pro rozvoj konstrukce.

### ***Vstupní informace pro srovnání***

- článek 3,2V 100Ah 139USD, 3,1Kg
- článek 3,2V 60Ah 66USD, 2Kg

tzn. : 48V 100Ah ... 49,6 Kg ,2224USD

48V 160Ah ... 81,6Kg ,3280USD

48V 200Ah ... 99,2 Kg ,4448USD

### 2.3.1. Párové srovnání kritérií variant osazení bateriemi

- pro první srovnání navržených variant byla použita metoda párového srovnání kritérií

Tabulka 7 Párové srovnání kritérií kapacity

	pořadové číslo	počet voleb	pořadí významu	váha	100Ah		160Ah		200Ah?	
					prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Finanční náročnost	1	3	2.	3	100	300	68	204	50	150
Konstrukční náročnost	2	2	3.	2	100	200	80	160	80	160
Rozložení hm.	3	3	2.	3	90	270	90	270	100	300
Hmotnost	4	3	2.	3	100	300	82	246	50	150
Dojezd	5	4	1.	4	60	240	80	320	100	400
Ekolog. zátěž	6	0	4.	1	70	70	80	80	90	90
Celkem ( max = 16*100=1600)					1380		1280		1250	
Užitnost v relativním vyjádření					<b>86%</b>		<b>80%</b>		<b>78%</b>	

Tabulka 8 PSK

	Fin. Nároč	Konstr. Nár	Rozl. hm	Hmotnost	Dojezd	Ekolog. zátěž
Finanční náročnost	x					
Konstrukční náročnost	1	x				
Rozložení hm.	1	3	x			
Hmotnost	4	2	3	x		
Dojezd	5	5	5	4	x	
Ekolog. zátěž	1	2	3	4	5	x

## 2.4.Studie proveditelnosti

Hlediska analýzy realizovatelnosti

= technické (fyzikální)

- automobil je konstrukčně vyrobitelný, navržen dle technologických možností

= ekonomické (krytí nákladů, zisk) "

- předpokládané náklady 250000-300000Kč ,prodejní cena 350000Kč

= atd.

- předpokládáme technickou proveditelnost vzhledem k současným zkušenostem v konstrukci podobných zařízení
- ekonomická proveditelnost závisí na zkušenostech zadavatele a jeho posouzení výsledného produktu
- finanční proveditelnost je pravděpodobná vzhledem k rozsahu projektu

Vstupní informace

- stručná rešerše současného stavu adekvátní techniky na trhu
- praktické znalosti členů týmu, kteří jsou v oboru aktivní
- zadání

Metodika řešení teorie a metodologie poznatků integrovaného inženýrského konstrukčního a průmyslového designu.

## 2.5.FMEA

Jedna z metod, jak odhalit rizikové prvky konstrukce je tak zvaná FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) - analýza možného výskytu a vlivu vad. Aplikuje se za účelem včasného rozpoznání možných slabých stránek a zavedení vhodných opatření, aby k nežadoucím vlivům nedošlo. S touto metodou se začíná již při zahájení konstrukčních (vývojových) prací.

Tabulka 9 FMEA

Funkce konstrukce požadavky	Možná vada	Možné následky	význam	Příčiny vady	výskyt	odhalitelnost	Opatření	Rizikové číslo
Pevnost a tuhost konstrukce	Porušení svaru	Poškození rámu	10	Nevhodný svar	2	5	Pevnější svar	100
	Deformace profilů použitých v rámu	Změna geometrie rámu	8	Špatný návrh profilů (poddimenzování)	2	7	Vhodnější profily použité při konstrukci	112
	Nedostatečná tuhost profilů	Nízká tuhost	7	Špatná kontrakce rámu	3	6	Optimalizace tvaru rámu	126
Přesnost funkčních částí a ploch	Nepřesnost funkčních částí, ploch	Nedokonalé smontování	7	Nevhodné tolerance	4	4	Korekce tolerancí	112
Povrchová úprava	Koroze	Narušení vzhledu	5	Špatná povrchová úprava	6	5	Změna materiálu	150
	Nízká trvanlivost		5		6	5	Změna materiálu	150

## 2.6.Swot analýza

Jedná se o metodu určenou pro získání přehledu o slabých a silných stránkách posuzovaného tématu.

xxx	S – silné stránky	W – slabé stránky
O – příležitosti	strategie SO	strategie WO
T – hrozby	strategie ST	strategie WT

Tabulka 10 Swot analýza

### Swot elektromobilu

<i>Silné stránky</i>	<i>Slabé stránky</i>
Jednoduchost	Dojezd
Ekologičnost	Praktičnost
Cena	
Styl	
Ekolimity	
<i>Příležitosti</i>	<i>Hrozby</i>
Nahrazování spalovacích motorů	Nedůvěra trhu k novým výrobkům
Příležitosti při obnově vozového parku	Životnost baterií
Alternativa MHD	

Tabulka 11 Hodnocení elektromobilu

### 2.6.1.Diskuse výsledků FMEA a SWOT

Nástroje jako FMEA, SWOT, příp. párové srovnání kritérií pomáhají kvalifikovaně rozhodnout o směru vývoje, o konstrukčních změnách tak, abychom co nejlépe předešli možným problémům a abychom volili efektivní konstrukční cestu.

Párové srovnání kritérií pro výběr baterií je téměř exaktní výběr konfigurace podle vložených parametrů. Výsledkem je volba nejlehčí, nejlevnější konfigurace baterií. Zde je optimální nejmenší konfigurace baterií 100Ah.

Nástroj typu FMEA udává, které konstrukční prvky mohou být zdrojem poruch a vad. Na tyto body je potom potřeba soustředit pozornost při konstrukci. Zde je největším problémem trvanlivost a tuhost konstrukce.



### 3.Rozbor technických parametrů

#### 3.1.Rozbor hmotnostních zatížení

Předpokládané zatížení rámu

- pasažéři 2x80kg ...	160kg
- baterie max. 200Ah ...	99kg
- elektromotory 2x11kg ...	22kg
- převodovka, přenos výkonu ...	20kg
- řídicí a regulační elektronika ...	10kg
- zavazadla ...	30kg
- kapotáž cca 50kg ...	50kg

**CELKEM 364kg**

Další hmotnosti

- pneu a disk 4x10kg (165/70 R13) ...	40kg
- tlumič, pružina 4x3kg ...	12kg
- zavěšení kol 4x5kg ...	20kg

Rozvaha předpokládané hmotnosti rámu

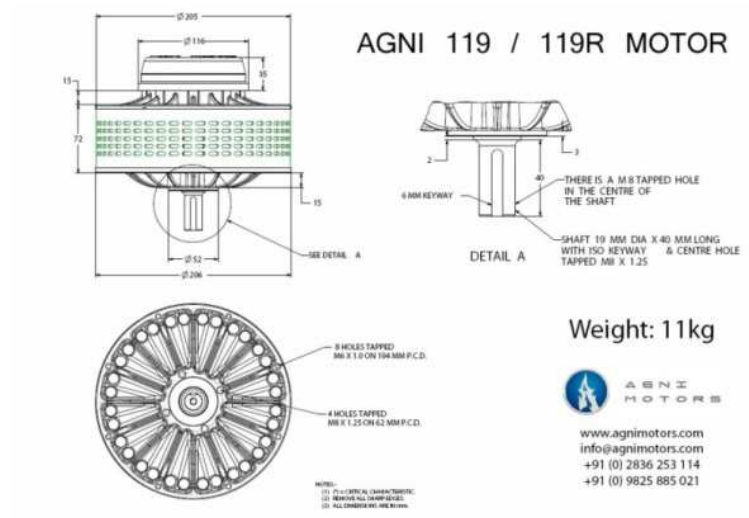
- cca 200kg

Při plnění těchto uvedených hmotností je celková hmotnost obsazeného automobilu **636Kg ± 10%**. Tyto hmotnosti lze použít pro základní návrhové výpočty, pro stanovení dojezdových parametrů a dimenzaci nosných komponentů

## 3.2.Komponenty

### 3.2.1. Motor

Pro pohon vozu budou sloužit dva stejnosměrné elektromotory Agni 119R. Každý o jmenovitém výkonu max 16kW. Tzn. celkově 32kW, přičemž elektromotory je možno krátkodobě přetížít až na dvojnásobek výkonu. Tyto parametry zaručí vozu přiměřenou dynamiku, zejména v kombinaci s předpokládanou celkovou hmotností cca 600kg.



Obrázek 13 Motor AGNI 119<sup>10</sup>

### 3.2.2. Baterie

Pro napájení navrhovaného vozu budou použity baterie SINOPOLY. Tyto baterie jsou založeny na technologii LiFePO4. Mají vysokou energetickou hustotu. Článek o nominálním napětí 3,2 voltu a operačním 2,8-3,6V váží 3,1Kg. Kapacita článku je 100Ah. Tyto články budou složeny sériově do baterie o napětí 48V. To znamená 16x3,2V. To je cca 49,6Kg váhy na 100Ah.

Velikost baterií je 221x142x61mm



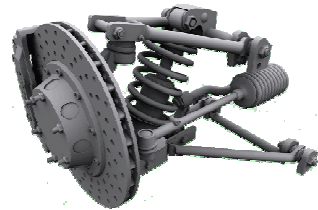
Obrázek 14 Baterie SINOPOLY<sup>10</sup>

<sup>10</sup>dostupné na <http://www.agnimotors.com>

### 3.3.Předpoklady pro konstrukci

#### *Zavěšení kol*

Zásadním předpokladem pro návrh rámu je umístění a druh zavěšení kol. Pro elektromobil je předpokládáno lichoběžníkové zavěšení. Pro tento účel je třeba připravit v rámu horizontální nosníky, dva nad sebou, v místě zavěšení.



Obrázek 15 Zavěšení lichoběžníkové <sup>11</sup>

#### *Zavěšení pohonu*

Důležitým prvkem pohonu je bezesporu elektromotor, ten je nutno dobře upevnit v rámu. Vzhledem k charakteru elektromotoru, bude situace výrazně jednodušší než se spalovacím motorem. Elektromotor neprodukuje téměř žádné vibrace a také hlukové emise jsou nízké, proti spalovacímu motoru spíše nulové. Motor bude upevněn s převodovkou pevně v rámu, s možným použitím pryžových silentbloků. Relativní pohyby motoru vůči rámu budou minimální. Relativní pohyby kol vůči převodovce řeší použití poloos a homokinetických kloubů.



Obrázek 16 Motor Agni <sup>12</sup>

#### *Umístění posádky*

Vzhledem k charakteru automobilu bude umístění posádky konvenční, dvě sedadla vedle sebe, cca v polovině rozvoru mezi nápravami. Hlavním parametrem pro umístění sedadel je ergonomie polohy posádky, nízko nad vozovkou. Umístění posádky má významnou roli v rozložení hmotností, proto jsou sedadla blízko středu automobilu.

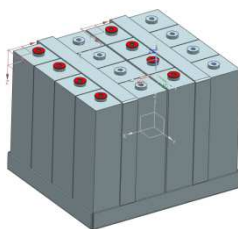
---

<sup>11</sup> dostupné na <http://www.autorozvody.cz/autopédie/podvozek-vozidla.html>

<sup>12</sup> dostupné na <http://www.agnimotors.com>

### ***Umístění baterií***

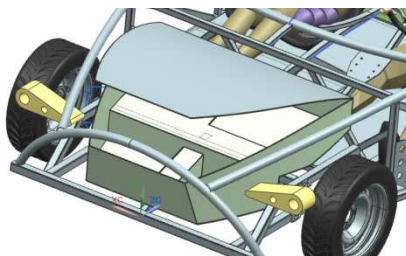
Baterie elektromobilu mají zásadní vliv na celkovou stavbu automobilu. Důležitými faktory jsou poměrně vysoká hmotnost, nutnost ochrany baterií a posádky před jejich potenciální nebezpečností při nehodě. Hmotnost má pochopitelně vliv na těžiště vozidla a na jeho dynamiku. Baterie je nutno chránit před mechanickým poškozením a zároveň je nutné ochránit posádku v případě nehody před kinetickou silou této masy.



Obrázek 17 Baterie model

### ***Možnosti umístění zavazadel***

Poměrně benevolentní přístup si můžeme dovolit v případě umístění prostoru zavazadelníku. Vzhledem k předurčení vozidla nepředpokládáme nutnost přepravovat rozměrné a těžké předměty. Připravujeme tedy přepravní kapacitu pro běžná příruční zavazadla v řádu několika desítek litrů objemu zavazadelníku. S vlivem na změnu polohy těžiště počítáme minimálně.



Obrázek 18 Zavazadlový prostor

### ***Doplňkové části***

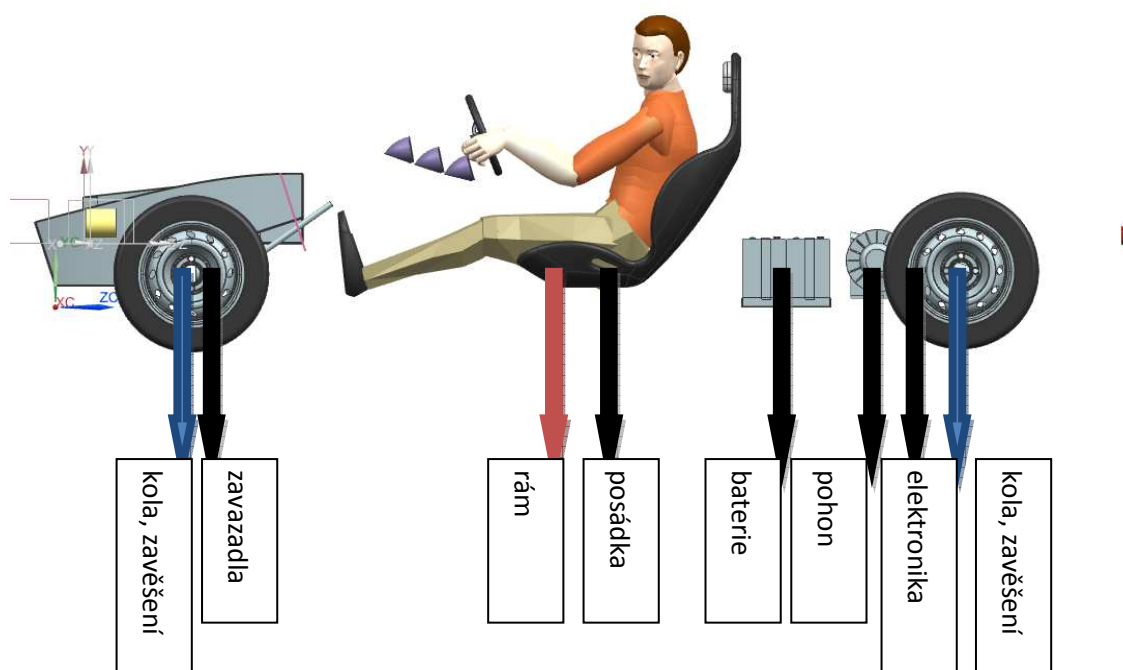
Neméně důležitou součástí elektromobilu je řídicí elektronika a kabeláž. Z hlediska požadavků na konstrukci se jedná o méně náročný faktor. Pro kabelové svazky nebudeme předpokládat žádná speciální konstrukční opatření. Co se týče řídicí elektroniky tak předpokládáme umístění v zadní části vozu, kde je na tyto komponenty dostatek prostoru.

### 3.4.Zatížení, hmotnosti a jejich umístění

Výše uvedené parametry definují teoretický výpočtový model pro zatížení automobilu. Pro výpočet zatížení tedy použijeme hmotnost plně obsazeného vozu o váze 650Kg.

#### Těžiště

Pro správný výpočet zatížení rámu při průjezdu obloukem je nutné stanovit těžiště vozu. Protože neznáme zcela konstrukci vozu, pokusíme se předběžně stanovit těžiště z dostupných dat, viz. předpoklady pro konstrukci.



Obrázek 19 Těžiště

Tabulka 12 Těžiště

Prvek vozidla	Hmotnost [kg]	Výška nad vozovkou [mm]	Souřadnice od začátku vozu [mm]
Kola, zavěšení	72	256	490,3040
zavazadla	30	440	420
Rám	150	377	1760
Posádka	160	340	1900
Baterie	92	248	2460
Pohon	32	299	2800
Elektronika	10	400	2900

Výpočtová hmotnost pro zjištění těžiště je 546Kg. Do místa těžiště umísím též hmotnost předpokládané kapotáže a hmotnostní rezervu. Výslednou hmotnost obsazeného vozidla uvažujeme 650Kg podle rozboru technických parametrů. Těžiště obsazeného vozu se nachází 327mm nad vozovkou. Vodorovná souřadnice těžiště je 1927mm od předního nárazníku vozu, tzn. téměř totožná s těžištěm posádky.

### 3.4.1. Průjezd zatáčkou

Pro stanovení zatěžovacího stavu pro torzní tuhost je třeba stanovit zatížení předního vnějšího kola při průjezdu zatáčkou. Vzhledem k charakteru vozu lze dle běžné praxe předpokládat maximální boční přetížení 1,5-2g.

Působící odstředivá síla :

$$F_o = m * a$$

$$F_o = 650 * 2 * 9,81$$

$$F_o = 12753N$$

$F_o$  - odstředivá síla [N]

$m$  - hmotnost [kg]

$a$  - zrychlení [ $m*s^{-2}$ ]

Působící moment :

$$M_o = F_o * h$$

$$M_o = 12753 * 0,327$$

$$M_o = 4170,2Nm$$

$M_o$  - moment převracející vozidlo [Nm]

$h$  - výška těžiště [m]

Síla působící na kolo :

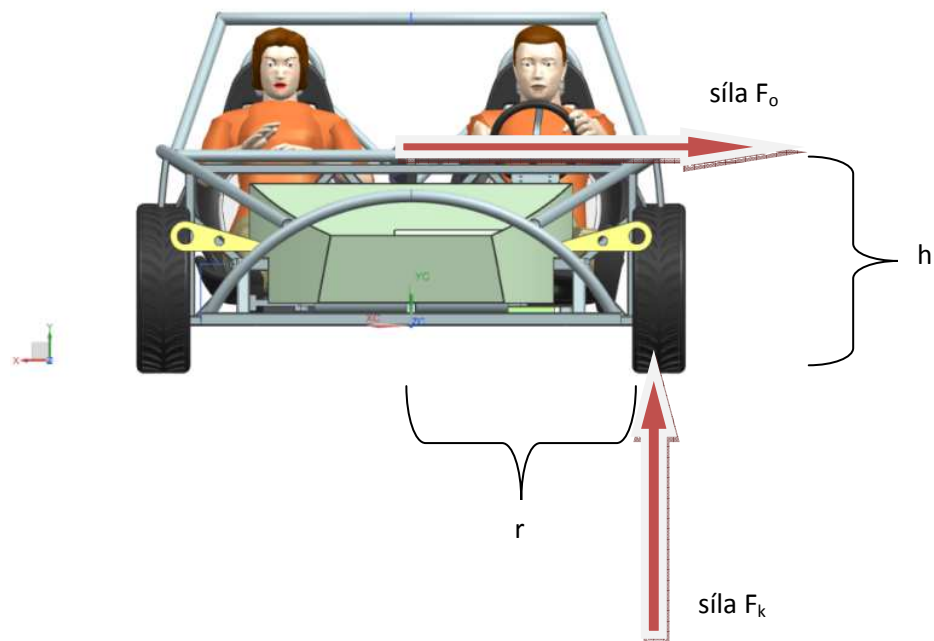
$$F_k = M_o / r$$

$$F_k = 4170,2 / 0,6$$

$$F_k = 6950,4N$$

$F_k$  - síla, působící proti momentu převrácení, v místě styku pneumatiky a vozovky

$r$  - poloměr působení síly, tj. vzdálenost pneumatiky od podélné osy vozidla



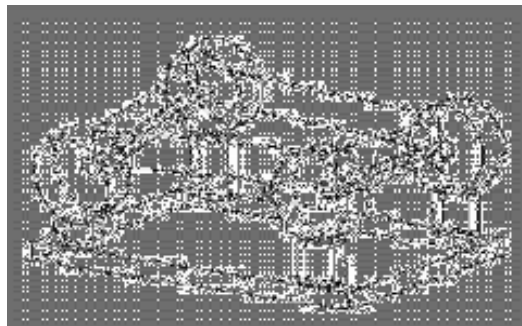
Obrázek 19 Průjezd obloukem

Pro udržení vozidla při průjezdu zatáčkou je třeba, aby vnější kolo přenášelo sílu až 6950N. Tato síla je dále přenášena na rám a proto je nutné rám dimenzovat právě na krut vyvolaný touto silou na rameni  $r$ , což je vzdálenost kola od podélné osy vozidla.

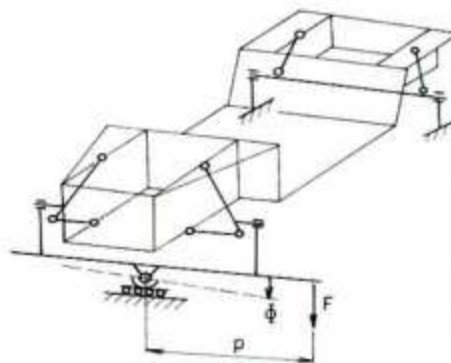
### 3.4.2. Torzní tuhost

Torzní tuhost ovlivňuje jízdní vlastnosti vozu při dynamické změně směru jízdy. Torzní tuhost zajišťuje přenos zatížení kola mezi přední a zadní nápravou. Malá torzní tuhost zvyšuje odezvu řidiče při změně jízdního směru. Jednoduše řečeno změna zatížení mezi přední nápravou se na zadní právě projevuje se zpožděním. Dále malá torzní tuhost znamená velké deformace rámu, které absorbují energii se zatížení kola a tím se zatížení kola snižuje. To má za následek snížení maximálního bočního přetížení. Malá torzní tuhost má za následek nízkou vlastní frekvenci rámu, což může vybudit rázy do zavěšení a způsobovat nestabilní jízdu vozu. Torzní deformace rámu v průjezdu zatáčkou dále způsobuje změnu geometrie podvozku, která je také nežádoucí.<sup>4</sup>

Pro ověření návrhové torzní tuhosti bude provedena simulace podle následujícího modelu. Rám vozu se v místě zadní nápravy vetkne, zafixuje a přední náprava je zatížena momentem podle následujícího schématu.



Obrázek 20 Schéma torze vozu



Obrázek 21 Mechanické schéma krutu rámu

---

<sup>4</sup>ing.Michal Skovajsa; Optimalizace prostorového rámu formule student UWB2012b s dosažením minimální hmotnosti s dostatečnou torzní hustotí



### 3.5.Diskuse

Ve třetí kapitole této práce byla provedena specifikace základních požadavků a komponent. Rozbor hmotností ukazuje, že pro návrh reálného elektromobilu je třeba počítat s celkovou váhou okolo 650Kg, přičemž je počítáno i s případnou hmotnostní rezervou. Rezerva je nutná z důvodu, že v současné fázi nejsou známy zcela konstrukční detaily. Komponenty jsou součástí návrhu, ale definitivní hmotnosti a jejich umístění budou známy až po celkové konstrukci.

Navrženy tedy byly předpokládané hlavní komponenty, tj. elektromotor, baterie. Elektromotor je potřeba upevnit v karoserii a zajistit přenos výkonu do převodovky. Detailní řešení konstrukce pohonu není součástí práce, a proto pouze předpokládáme návrh tohoto řešení. Předběžně jsme tedy stanovili upevnění obou elektromotorů přímo do skříně převodovky. Převodovka bude následně pevně spojena s karosérií. Bylo dále stanoveno množství a umístění baterií. Známe též místo pro posádku a zavazadla. Důležitým předpokladem je zavěšení podvozku.

Součástí tohoto rozboru je výpočet těžiště.

Dále bylo spočteno namáhání konstrukce při průjezdu zatáčkou a navržen způsob jejího testování.



Obrázek 22 Schéma návrhu konstrukce

## 4.Konstrukční řešení

### 4.1.Návrh možných variant řešení rámu

Pro správné navržení struktury rámu předem navrhne tři varianty. Vzhledem k dostupným informacím a výše uvedeným rešerším rámu zvolím varianty takto:

- 1.varianta
  - velmi jednoduchá varianta
  - trubkový rám vyplňuje tvary karoserie
  - podobné Attack K-1
- 2.varianta
  - struktura vychází z tvarů s předpokládanou vysokou tuhostí
  - design vychází ze struktury
  - nezbytné kompromisy v místech pohonu, osádky
- 3.varianta
  - ostrá varianta zaměřená na nízkou hmotnost, vysokou tuhost
  - s minimálními kompromisy v oblastech pro posádku

#### ***Porovnání tuhosti***

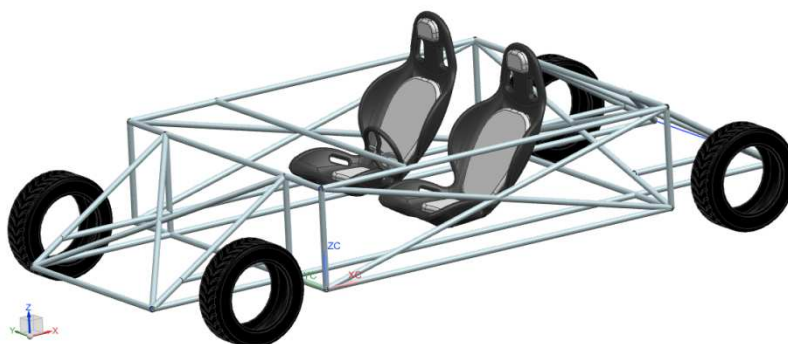
Navržené varianty zhodnotíme MKP analýzou na jejich zjednodušených modelech. Abychom porovnávali pouze strukturu, použijeme **stejný průřez nosníků TR35/2**. Konstrukce budou namáhány stejnými silami a ve stejných působištích. Porovnáme ve dvou krocích.

- a) zadní náprava pevně vetknuta, na přední nápravě silová dvojice
- b) zadní náprava se simulovaným zavěšením fixována ve smyslu zkroucení, na přední nápravě také se simulovaným zavěšením vynucený posuv o 2mm ve smyslu krutu po kružnici

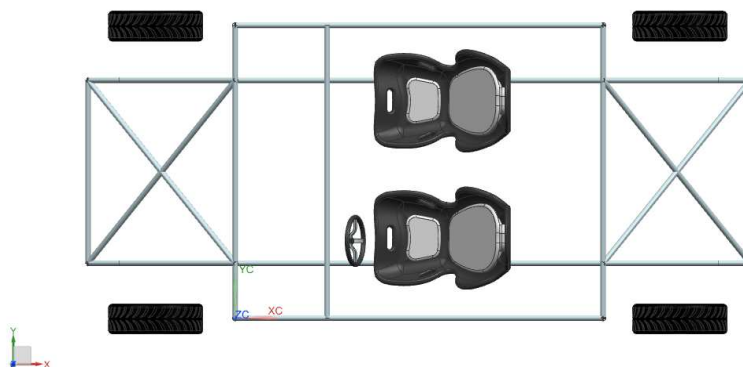
#### 4.1.1. Varianta 1

První variantu s primárně jednoduchou konstrukcí, zaměřenou na snadnou, nenáročnou výrobu jsme koncipovali ve tvaru obdélníku. Varianta splňuje částečně požadavky na komfort, prostor a uživatelskou přístupnost. Vzhled nehraje roli. Vše podřízeno jednoduchosti. Samozřejmě se v tomto případě jedná o primitivní konstrukci, jde ovšem pouze o naznačení struktury. Není třeba doplňkových detailů abychom naznačili chování této struktury založené na kolmých nosíků doplněných o trojúhelníkové vzpěry.

- profil trubka  $\varnothing 35$  ,síla stěny 2mm
- 37,51Kg



Obrázek 23 Varianta 1

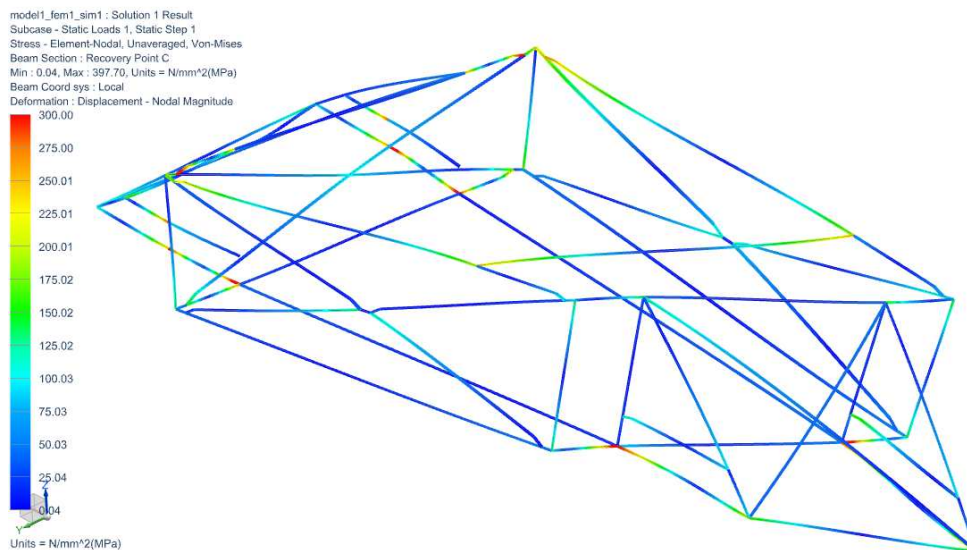


Obrázek 24 Varianta 1

### Předběžná simulace torzní tuhosti varianty 1

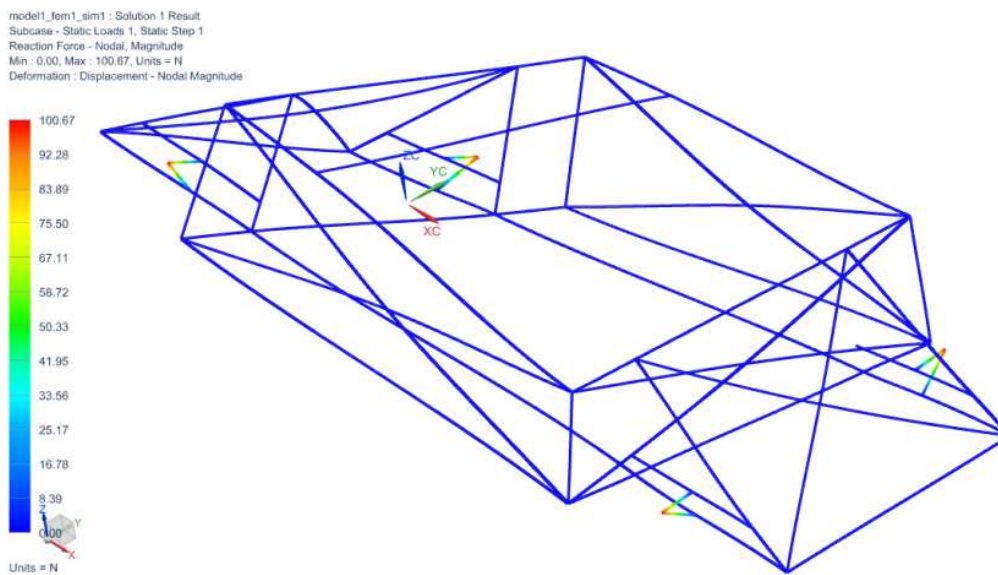
Pro předběžný výpočet torzní tuhosti rámu byl použit výpočet s 2D prvky. Profil 2D prvku je trubka o průměru 35mm se silou stěny 2mm.

- profil TR35/2
- zatížení na kolo 4500N
- 37,51Kg



Obrázek 25 Varianta 1 test 1

- nucený zkrut 2mm
- reakční síla 100.67N

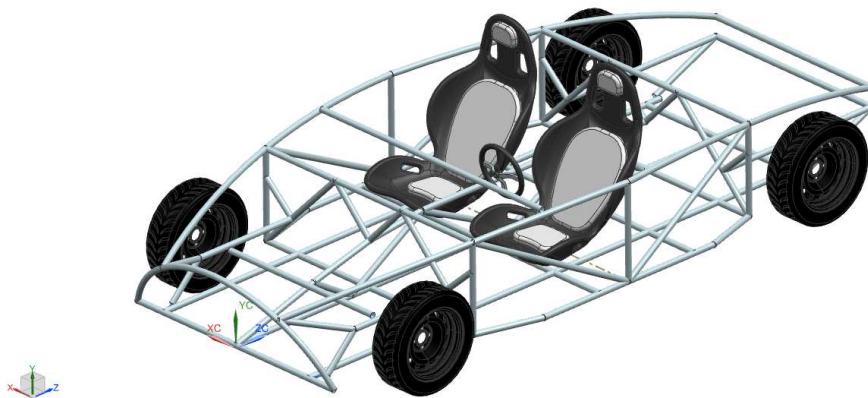


Obrázek 26 Varianta 1 test 2

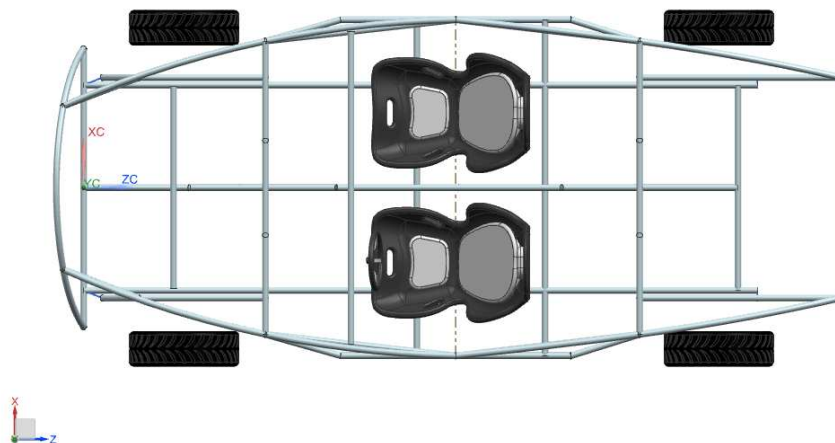
#### 4.1.2.Varianta 2

Druhá varianta již obsahuje prvky designu, které by byly příznány i při následné kapotáži. Myšleno bylo také na komfortní prvky a celkově se jedná jako o kompromisní řešení. Pro objektivní posouzení uvažujeme při simulacích pouze kruhový průřez profilů, jako u ostatních návrhů.

- předběžně profil trubka  $\varnothing 35$  ,síla stěny 2mm
- 77Kg



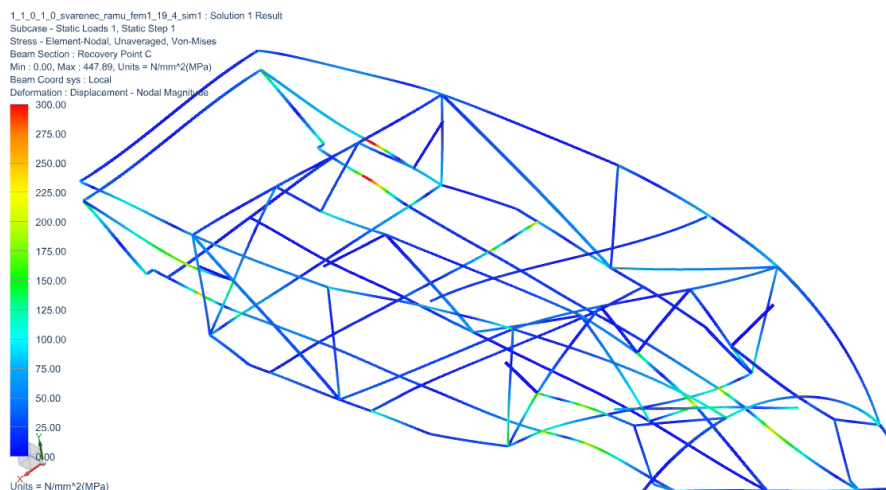
Obrázek 27 Varianta 2



Obrázek 28 Varianta 2

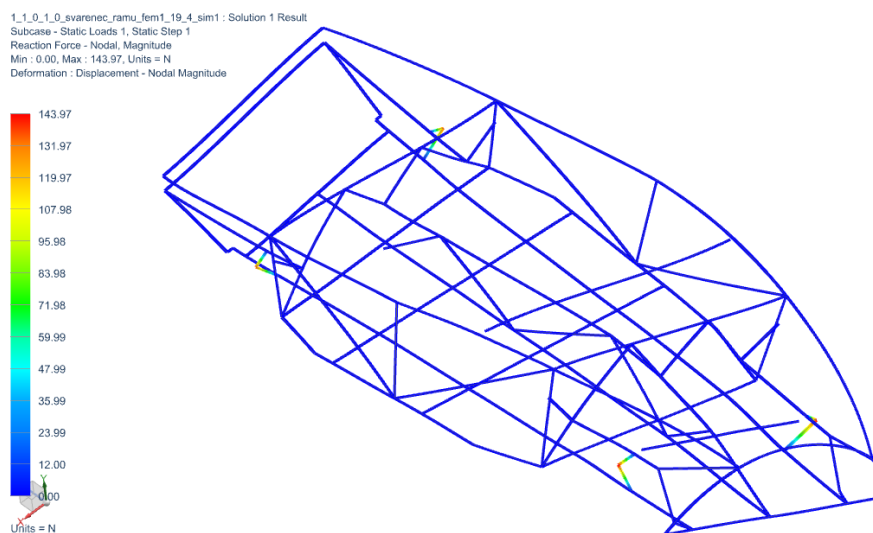
### Předběžná simulace torzní tuhosti varianty 2

- profil TR35/2
- zatížení na kolo 4500N
- 77Kg



Obrázek 29 Varianta 2 test 1

- nucený zkrut o 2mm
- reakční síla 143.97N

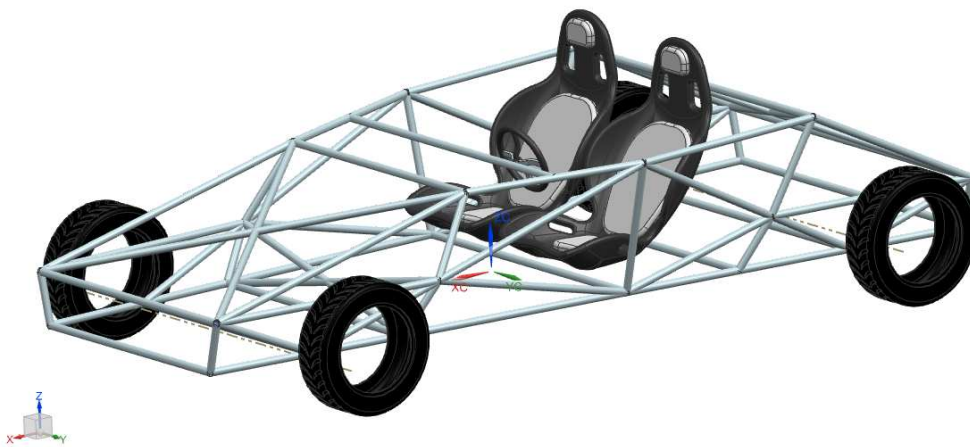


Obrázek 30 Varianta 2 test 2

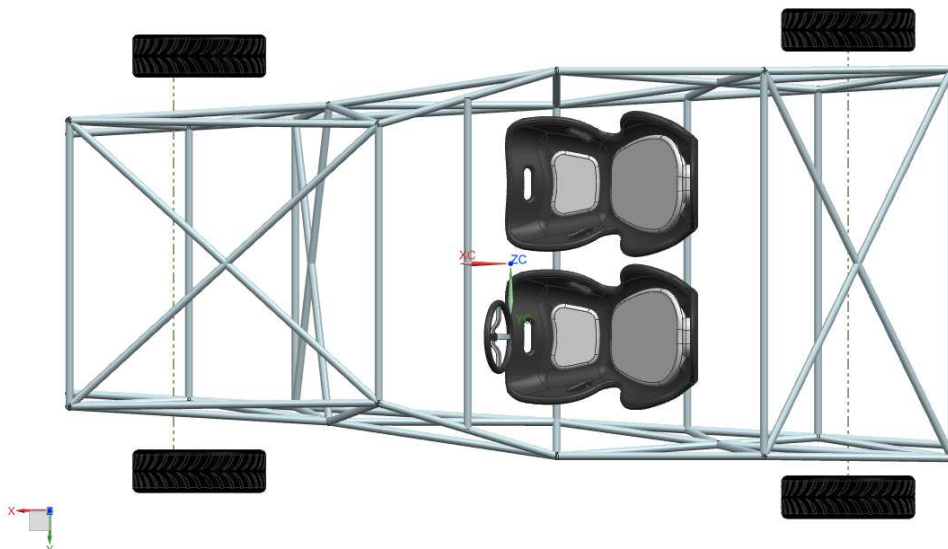
### 4.1.3.Varianta 3

Poslední variantu koncipujeme jako odolnou, tuhou konstrukci, zaměřenou na splnění nejvyšších požadavků na tuhost, za předpokladu kompromisů ze strany komfortu a praktičnosti, příp. estetiky vozu.

- profil trubka  $\varnothing 35$  ,síla stěny 2mm
- 40,35Kg



Obrázek 31 Varianta 3

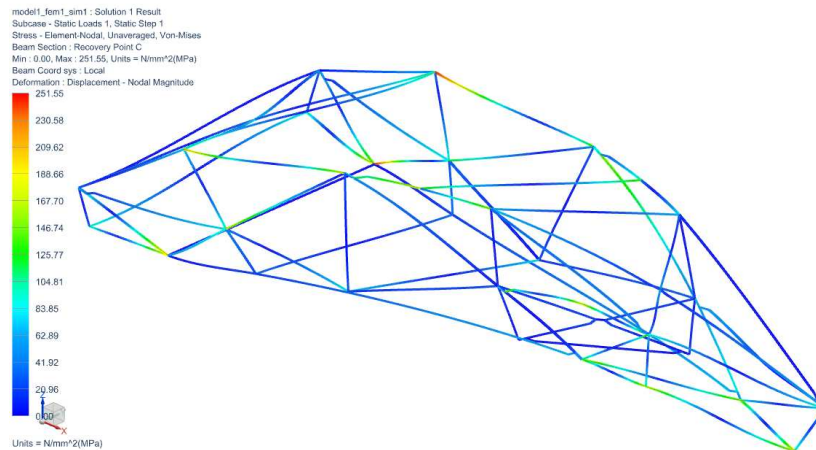


Obrázek 32 Varianta 3

### Předběžná simulace torzní tuhosti varianty 3

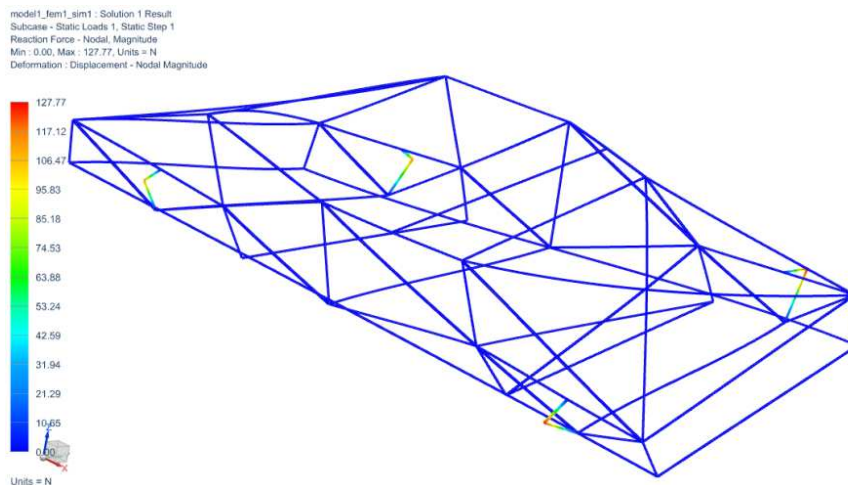
Opět pro předběžný výpočet torzní tuhosti rámu byl použit výpočet s 2D prvky. Profil 2D prvku je trubka o průměru 35mm se silou stěny 2mm.

- profil TR35/2
- zatížení na kolo 4500N
- 40,35Kg



Obrázek 33 Varianta 3 test 1

- nucený zkrut 2mm
- reakční síla 127.77N



Obrázek 34 Varianta 3 test 2



#### 4.1.4. Shrnutí

V následující tabulce jsou shrnuty výsledky simulací tří variant ráků.

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Materiál	S355J2	S355J2	S355J2
Profil	TR35/2	TR35/2	TR35/2
Zkrut	2mm	2mm	2mm
Reakční síla	100,67N	143N	127N
Hodnocení %	69%	100%	89%
Zatížení na kolo	4500N	4500N	4500N
Max. napětí	397MPa	447MPa	251MPa
Hodnocení %	62,9%	56%	100%
Celkové hodnocení	<b>65,95%</b>	<b>78%</b>	<b>94%</b>

Tabulka 12 Výsledky MKP

Protože byl pro srovnání variant použit jednotný profil tyčí, je možné skutečně porovnat pouze navrhovanou strukturu a vyloučit tak vliv průřezové charakteristiky. Ráky jsou pochopitelně stejného rozchodu a rozvoru. Z výsledků vyplývá, že torzní tuhost je nejnižší u varianty 1. Reakční síla je nejnižší, tzn. že tuhost je nejnižší. Napětí v nosnících dosahuje nejvyššího napětí. Srovnání variant 2 a 3 není jednoznačné. Varianta tři má vyšší tuhost a napětí dosahuje nejnižších hodnot. Varianta dvě vykazuje poněkud sporné výsledky. Tuhost je nejvyšší, ale ve špičce vykazuje nejvyšší napětí, což naznačuje slabý bod struktury. Výsledky byly vyjádřeny v procentech. Třetí varianta vykazuje vysoké hodnoty, navíc oba parametry jsou vyrovnané. Jako varianta s nejlepší torzní tuhostí byla vybrána varianta 3, následně var.2 a varianta 1 vykazuje tuhost nejnižší.

## 4.2.Srovnání variant

- pro první srovnání navržených variant byla použita metoda párového srovnání kritérií

Tabulka 13 PSK

	pořadové číslo	počet voleb	pořadí významu	váha	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
					prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Finanční náročnost	1	1	4.	1	80	80	60	60	70	70
Konstrukční náročnost	2	2	3.	2	80	160	60	120	70	140
Rozložení hm.	3	2	3.	2	70	140	70	140	70	140
Hmotnost	4	3	2.	3	90	270	70	210	80	240
Estetika	5	3	2.	3	30	90	90	270	50	150
Torzni tuhost	6	4	1.	4	70	320	80	320	90	360
Celkem ( max = 15*100=1500)					1060		1120		1100	
Užitnost v relativním vyjádření					<b>71%</b>		<b>75%</b>		<b>73%</b>	

Tabulka 14 PSK

	Fin. Nároč	Konstr. Nár	Rozl. hm	Hmotnost	Estetika	Tuhost
Finanční náročnost	x					
Konstrukční náročnost	2	x				
Rozložení hm.	1	3	x			
Hmotnost	4	4	4	x		
Estetika	5	2	3	5	x	
Tuhost	6	6	6	6	5	x

#### 4.2.1. Porovnání torzní tuhosti variant

##### *Výsledky*

Je zřejmé, že konstrukce všech tří variant jsou silně namáhané. V místech maximální koncentrace napětí dosahuje napětí přes 250Mpa. Těchto hodnot ovšem dosahují napětí v místech simulované zadní nápravy. Nápravu jsme ale simulovali pevným vetknutím, což výsledky poněkud zkresluje. Tyto maximální hodnoty berme pouze orientačně. Zaměříme se na celkové namáhání konstrukcí.

Druhou variantou namáhání jsme simulovali **ideální krut karoserie** tak, že jsme připravili vetknutí naznačenými rameny. Zadní kola jsme fixovali proti posuvu po pomyslné kružnici krutu, v místech přední nápravy byl vynucen posuv o 2mm. Tím dostáváme reakci na toto posunutí v místech kol. To znamená tuhost v její přesné definici síla/posuv. Všechny tři konstrukční varianty vykazují poměrně rovnoměrné zatížení konstrukce, které se zvyšuje v místech zavěšení kol. Řádově dosahuje na napětí na konstrukci v průměru 150-200Mpa, mezi variantami s rozdílem míst působení. Nejnižší hodnoty napětí vykazuje poslední, třetí varianta. Zmínit je třeba, že v aktuální dimenzaci vykazují všechny varianty **příliš vysoké namáhání** a bude nutné upravit dimenzaci bez ohledu na variantu.

#### 4.2.2. Diskuse výsledků a výběr varianty pro rozpracování

Z výsledků je jasné, že každá varianta má svá specifika a každou variantu by bylo možné obhájit jako vhodnou pro určité požadavky na provoz. Požadavky pro vůz, který je předmětem návrhu v této práci jsou specifikované v úvodu a určují, která varianta bude optimální. Protože nenavrhneme závodní vůz, **není torzní tuhost vozu jediným kritériem**. Proveditelnost konstrukce a dostupnost materiálu a komponentů je naopak kritériem podstatným. Jako vůz pro běžné použití musí koncepce splnit také požadavky na určitý komfort a praktičnost. První primitivní varianta ukazuje, že i jednoduchá konstrukce plní stejné požadavky na tuhost jako varianty složitější, k finální konstrukci, ale postrádá další podstatné prvky, jako přizpůsobení se posádce, základ designu atd. Třetí varianta plní velmi dobře pevnostní požadavky, vzhled finálního vozu by neomezovala. Zásadní problém nastává z hlediska uložení baterií a absence alespoň minimálního prostoru pro zavazadla.

Z předešlých požadavků a výsledků považuji druhou variantu jako optimální řešení pro splnění daného úkolu. Tato varianta bude dále podrobně rozpracována.

### 4.3.Konstrukce vybraného rámu

Na konstrukci rámu byly primárně použity běžně dostupné prvky a profily, a to z důvodu možnosti reálné stavby vozu. Převážnou většinou profilů jsou čtyřhranné trubky s průřezem 30x30x2 a 40x40x2 ,dále pak kruhové trubky, plechy.

#### 4.3.1. Konstrukční předpoklady

##### ***Konstrukční materiál***

Pro konstrukci předpokládáme použití běžné konstrukční oceli S355J2, je svařitelná, běžně dostupná a s mezí kluzu 355MPa uspokojí mechanické požadavky.

##### ***Povrchová úprava***

Nejlepším způsobem ochrany takovýchto svařovaných konstrukcí je žárové zinkování. Vzhledem k provozu v agresivním prostředí je pozinkování nejčastější ochrana karoserií. Spolu s lakem tvoří spolehlivou ochranu.

##### ***Další technologie***

Jako zajímavá technologie a alternativa je možné použití kompozitních částí. V rámu je množství nosníků, vzpěr, které by bylo možné nahradit kompozitní alternativou. Což by snížilo hmotnost.

##### ***Dimenzace***

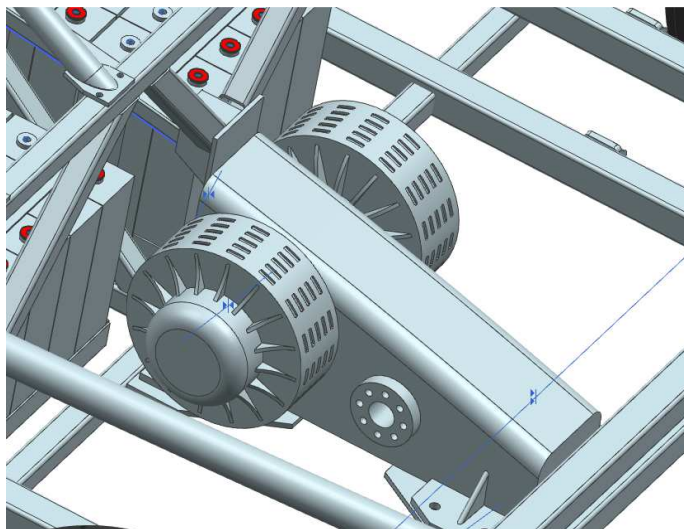
Z referenčních modelů tří variant a jejich MKP analýzy vyplývá, že původní navrhovaný profil TR35/2 není plně dostačující. Kromě změny profilů bude tuhost vylepšena použitím dalších výstužných elementů. To vše dle podmínky :

$$\sigma = \frac{Re}{k} \leq \sigma_{dov}$$

### 4.3.2. Konstrukční detaily rámu vozu

#### *Převodovka součástí skeletu*

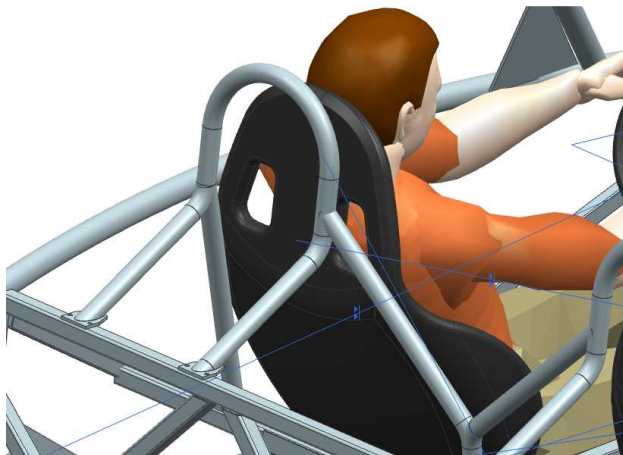
Jako zajímavou část konstrukce považuji převodovou skříň, která byla umístěna tak, že tvoří součást rámu a tvoří pevný prvek ve skeletu. Přenáší síly a zvyšuje tuhost konstrukce.



Obrázek 35 Převodovka s motorem

#### *Ochrana při převrácení*

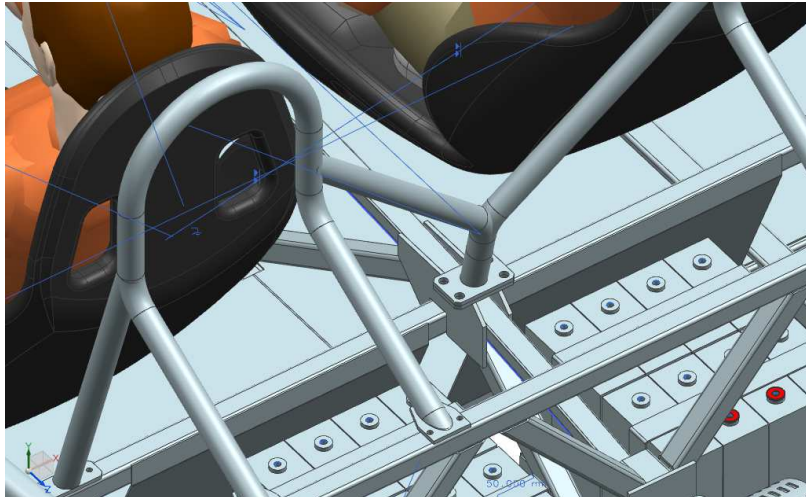
Bezpečnostní prvky pro ochranu posádky při převrácení jsou rám předního skla a hlavový oblouk za posádkou. Je tvořen svařovanými trubkami a do rámu je šroubován svorníky. Jeho dimenzace a simulace zatížení jsou v kapitole zkoušek rámu.



Obrázek 36 Ochrana při převrácení

### ***Konstrukční uzel za posádkou***

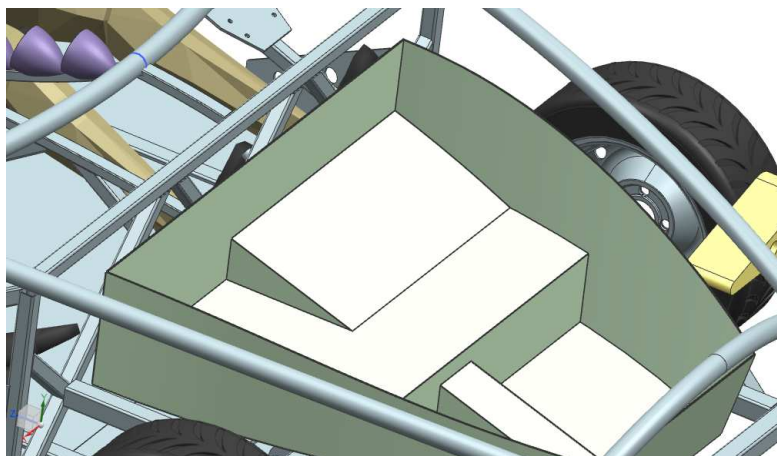
Na následujícím obrázku je vidět konstrukční uzel za posádkou. Vidíme spoj hlavového oblouku a celkového rámu, nosník ochranných plechů baterií a samotné baterie.



Obrázek 37 Konstrukční uzel za posádkou

### ***Zavazadlový prostor***

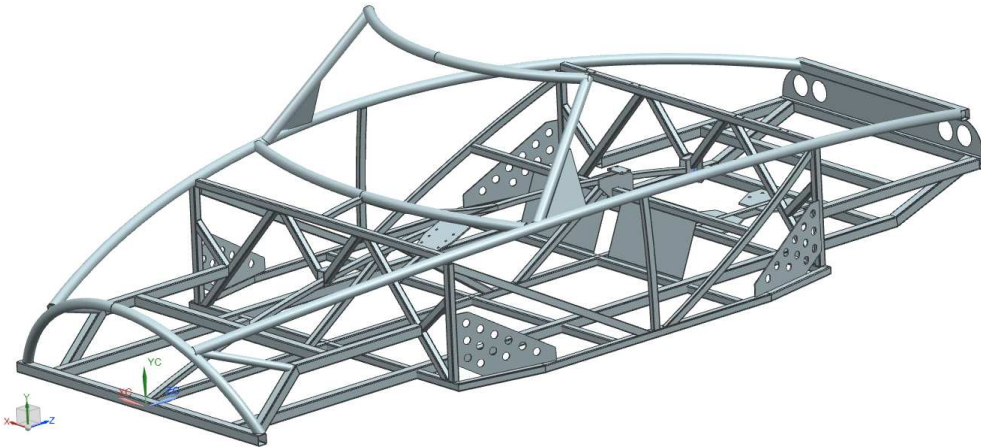
Komfortní, ale nezbytnou součástí praktického automobilu je alespoň minimální zavazadlový prostor. Zde se naskýtá možnost umístění vpředu, po vzoru běžných sportovních automobilů. Jednoduchá, plechová vana je montovaná přímo na rám a pokud je automobil bez kapotáže tvoří tvarový celek se skeletem.



Obrázek 38 Zavazadlový prostor

### ***Hlavní svařenec rámu vozu***

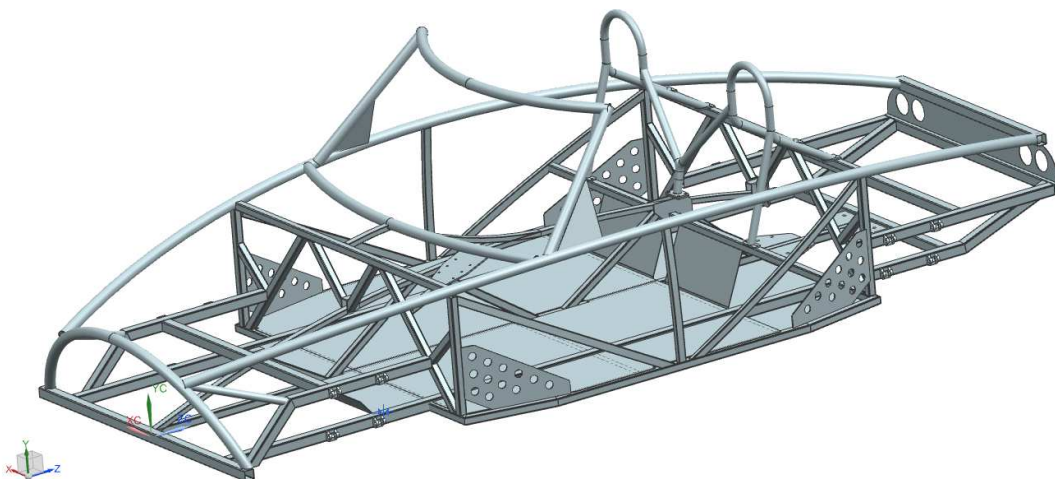
Na obrázku je hlavní svařenec rámu vozu. Jedná se o největší součást vozu. Profily jsou svařeny MIG technologií. Oproti MAG svařování vykazuje lepší výsledky při dynamickém zatěžování. Možná je také metoda TIG/WIG. Na tomto celku bude následně provedena protikorozní úprava a bude provedena další montáž.



Obrázek 39 Svařenec rámu

### ***Montážní sestava***

Zde je sestava po montáži. Šroubovaná podlahová část, Hlavový oblouk a příprava pro zavěšení podvozkových částí.



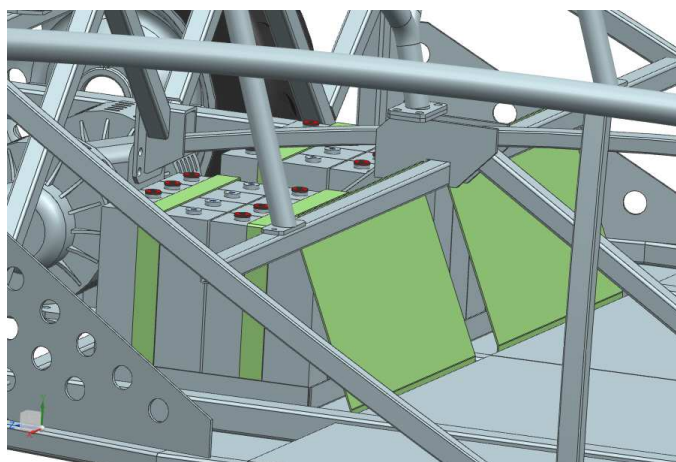
Obrázek 40 Montážní celek rámu

## 5. Zhodnocení navržené koncepce

### 5.1. Bezpečnost vybraných prvků

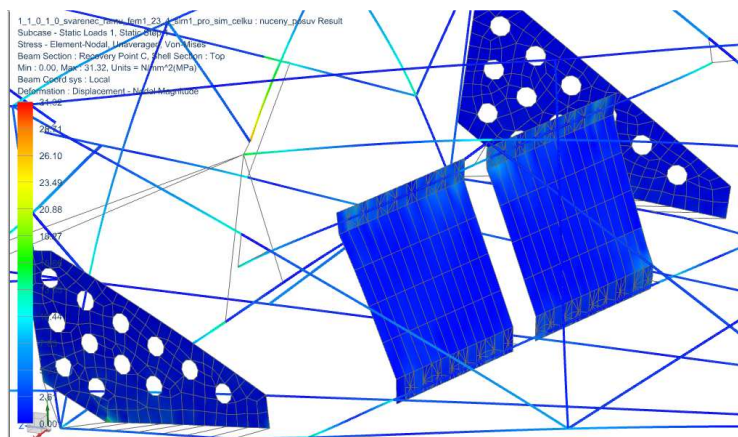
#### 5.1.1. Zabezpečení baterií

Baterie jsou zabezpečeny tak, že jsou pevně fixovány v pomocném rámu. Jsou tedy dostatečně upevněny i v případě převrácení vozu. V případě čelního nárazu vozu je posádka chráněna před kinetickou energií baterií pevnou plechovou přepážkou.



Obrázek 41 Zabezpečení baterií

Jak je vidět z následujícího obrázku, má přepážka nejen ochrannou funkci, ale je též součástí skeletu a přispívá celkové tuhosti rámu. Při torzním namáhání se napětí přenáší do plechů.



Obrázek 42 Zabezpečení baterií, vliv na tuhost rámu



### 5.1.2. Hlavový rám

Je nutné předpokládat i scénáře nehody vozu. Jednou z možností ohrožení posádky je převrácení vozidla. Při takové situaci chrání posádku hlavně rám nad hlavou. Jedná se o svařovaný trubkový rám, který se svorníky připevní ke karoserii. Jelikož se jedná o samostatný díl. Provedeme statickou analýzu na tomto samostatném dílu.

- dimenze dílu : trubka  $\varnothing 40$ , síla stěny 3mm

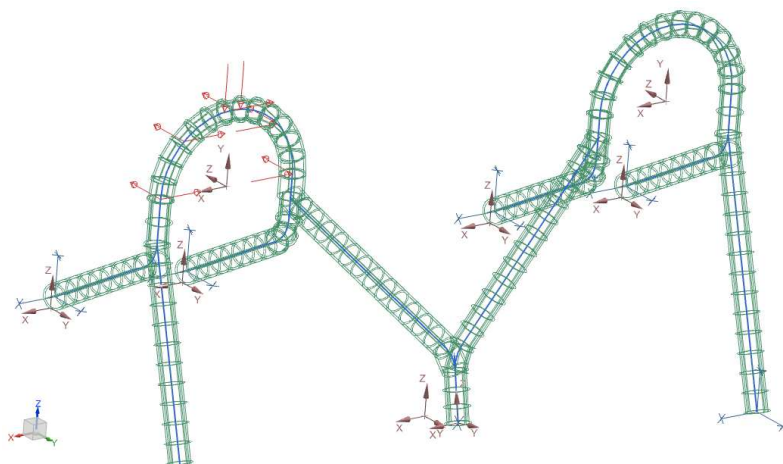
namáháno dle SAE : 9000N svisle na oblouk

6000N v ose vozu směrem dozadu

5000N boční, kolmo na osu vozu

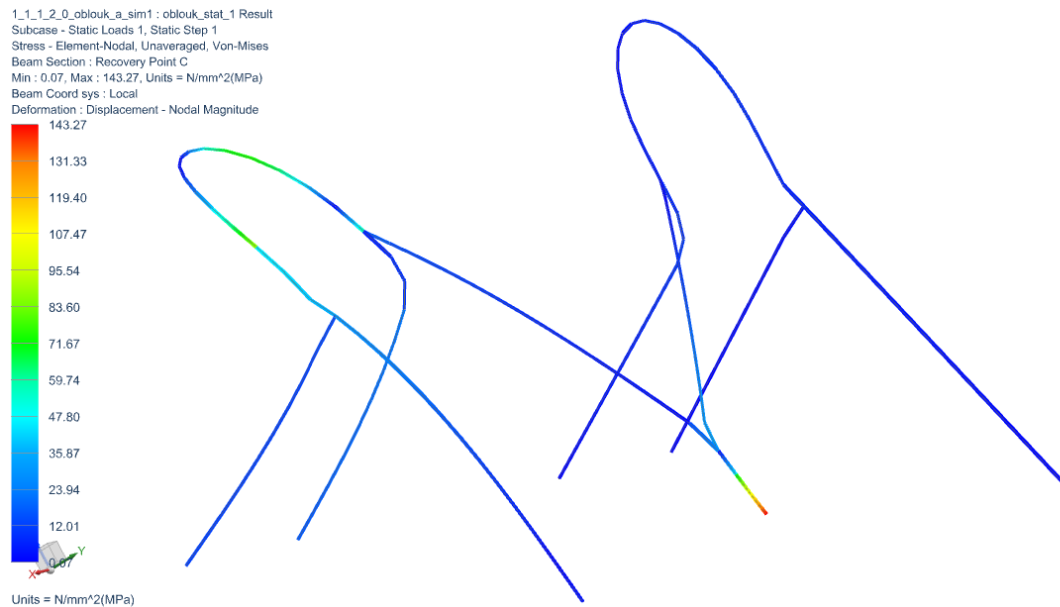


Obrázek 43 Hlavový oblouk



Obr. 44 Zatížení oblouku

### Výsledek statické analýzy oblouku



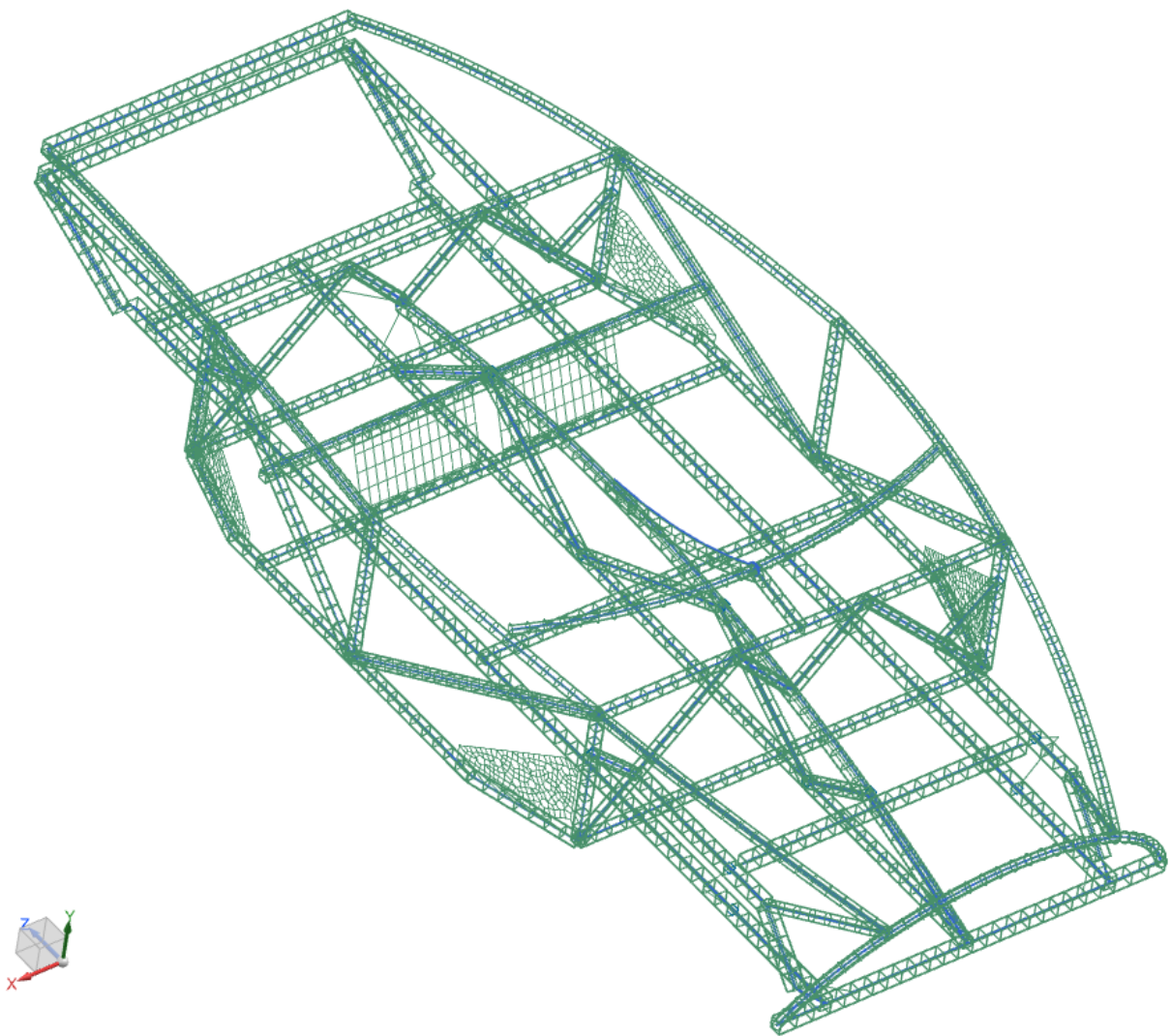
Obrázek 44 Oblouk FEM analýza

Zatěžování oblouku dle předchozího zadání způsobuje v oblouku napětí podle obrázku. Maximálně dosahuje 143Mpa, což je v mezích dimenzace pro materiál S355J2. Konstrukce tak vyhovuje.

## 5.2. Torzní tuhost

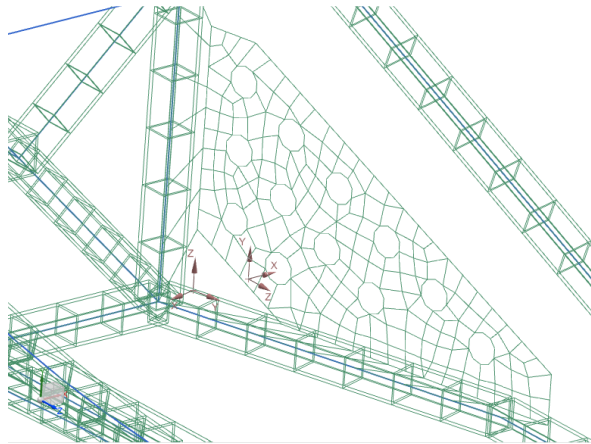
### 5.2.1. Vybrané prvky FEM sítě

Následující obrázek zobrazuje celkové síťování rámu. Jsou zde použity 1D a 2D prvky. Pro 1D prvky jsou přiřazeny průřezové charakteristiky trubek a 2D prvkům je přiřazena tloušťka materiálu. Toto tvoří reálný model, který lze dle požadavků namáhat.



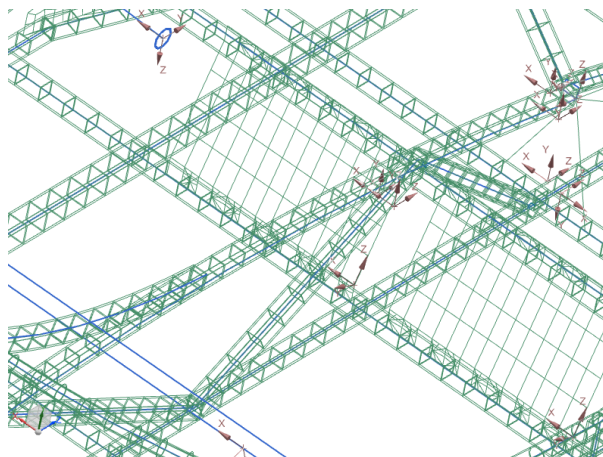
Obrázek 44 FEM síť celku

- detail síťování plechu 2D a napojení na 1D síť rámu



Obrázek 45 Výztuha FEM síť

- 2D síť ochrany baterií, napojení na 1D



Obrázek 46 Ochrana baterií FEM síť

### 5.2.2. Reakční síly

V následující simulaci je názorně vidět jak se rám chová ve stavu předem určené deformace. Zadní náprava se simulovaným zavěšením je fixována, ne ovšem naprosto pevně. Použitím válcového souřadného systému jsme schopni zakázat posuv právě po kružnici základny pomyslného válce s osou totožnou s podélnou osou rámu. A právě body předního zavěšení mají určený posuv po kružnici o 2mm. Tím získáme čistou deformaci krutem. V bodech fixace se projeví reakční síly, konkrétně 316N. Je tedy možné spočítat tuhost.

$$\text{Pro úhel natočení : } \sin \alpha = \frac{2}{600}$$

$$\alpha = 0,19^\circ$$

$$\text{Pro moment : } M = 2 * F * r$$

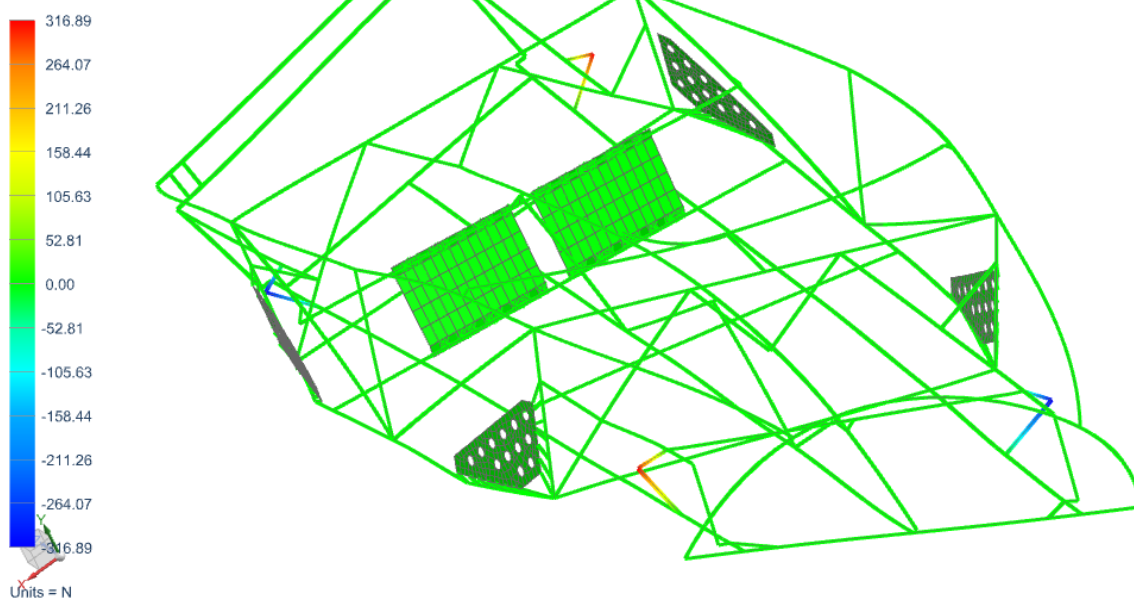
$$M = 2 * 316,89 * 0,6 = 380,27 [Nm]$$

$$\text{Pro tuhost : } k_M = \frac{M}{\alpha}$$

$$k_M = \frac{380,27}{0,19} = 2001,4 \left[ \frac{Nm}{^\circ} \right]$$

$$\text{Přepočteno na 1m } k_{M1} = km * l = 2001,4 * 2,55 = 5102 \left[ \frac{Nm^2}{deg} \right]$$

1\_1\_0\_1\_0\_svarenec\_ramu\_fem1\_23\_4\_sim1\_pro\_sim\_celku : nuceny\_posuv Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Reaction Force - Nodal, Y  
Min : -316.89, Max : 316.89, Units = N  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

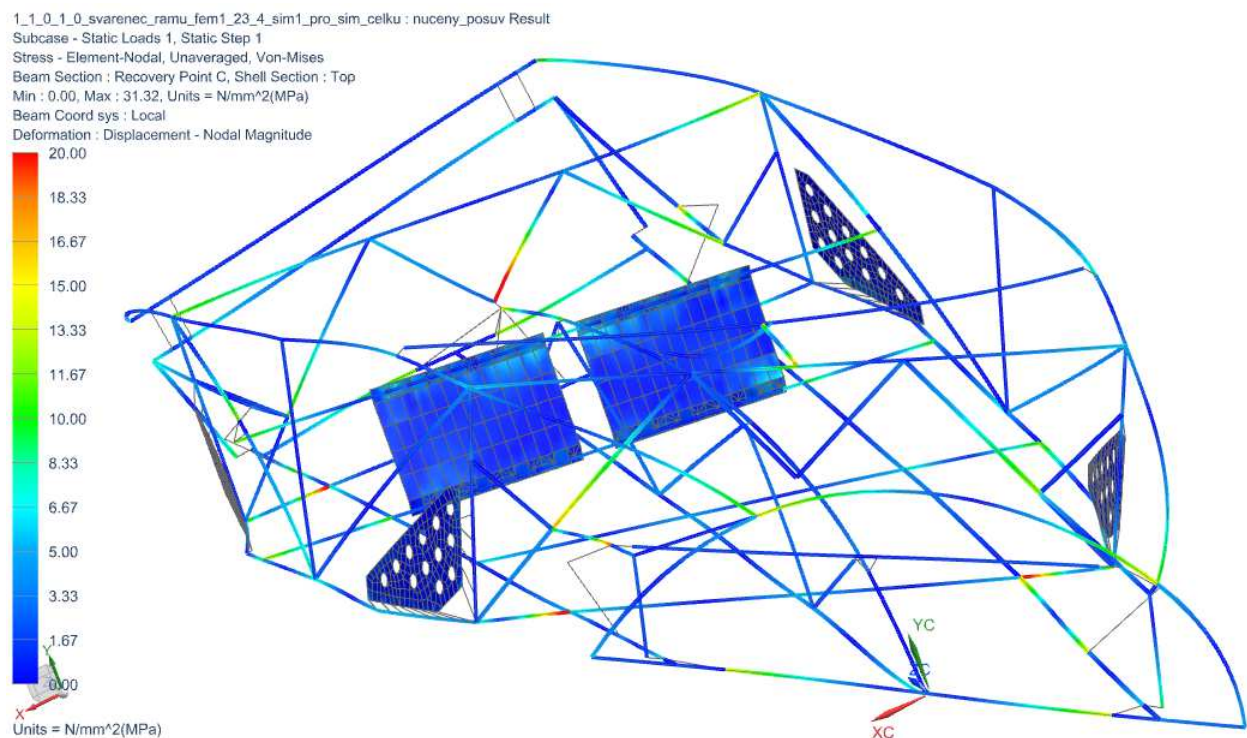


Obrázek 47 Nucená torze posunutím o 2mm po kružnici

### 5.2.3. Zatížení momentem

Druhá simulace ukazuje reakci rámu u na přesně stanovené zatížení. Z výpočtu průjezdu vozidla obloukem vyplývá, že na kole vně oblouku může působit až 6950N při bočním přetížení 1,5-2g ve směru normály oblouku. S touto silou je tedy nutné počítat při výpočtu torzní tuhosti rámu. Abychom přibližně simulovali namáhání na zkušební stoličce, dělíme sílu mezi levé a pravé kolo přední nápravy, přičemž zadní nápravu fixujeme dle předchozího schématu. Dostáváme výsledky namáhání při průjezdu. Ve špičkách napětí musíme počítat s velikostí napětí 31Mpa

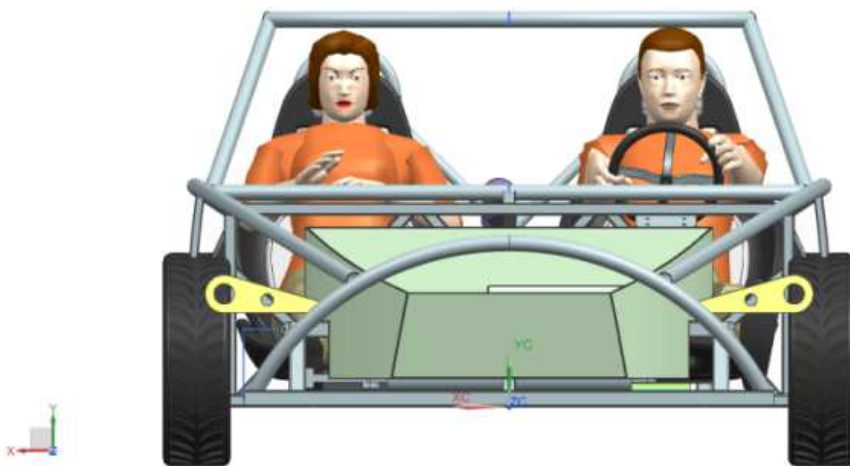
- zatížení 6950N
- maximální napětí 31Mpa



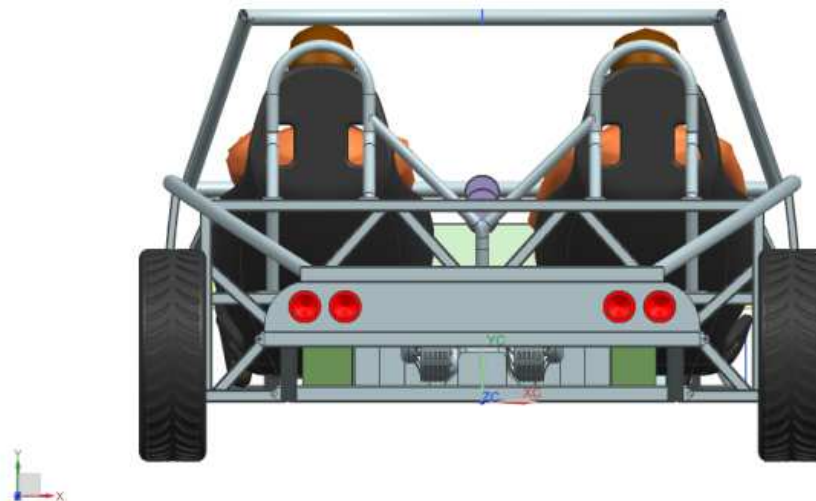
Obrázek 48 Zkrut vyvolaný momentem

### 5.3. Zhodnocení celku

Na následujících obrázcích můžeme vidět vizualizace výsledku návrhu elektromobilu. Pro doplnění finální podoby je návrh doplněn posádkou a některými dalšími komponentami ve schematické podobě.

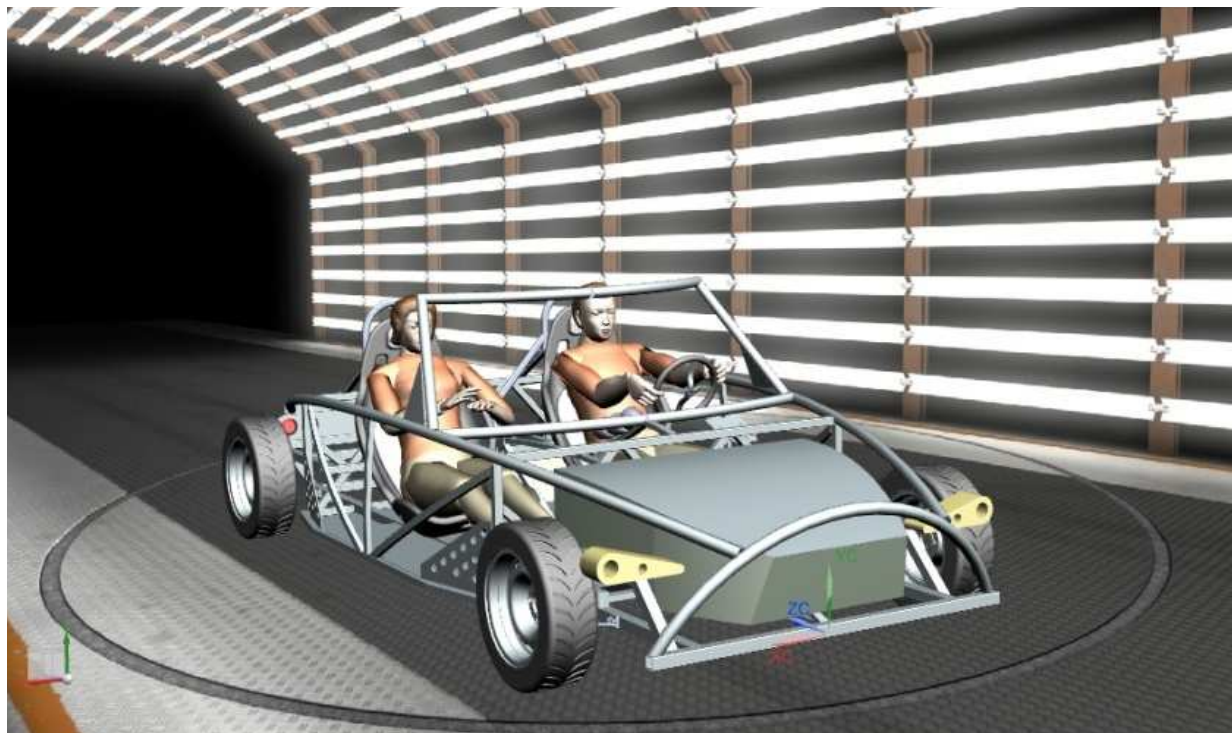


Obrázek 49 Celkový pohled zepředu

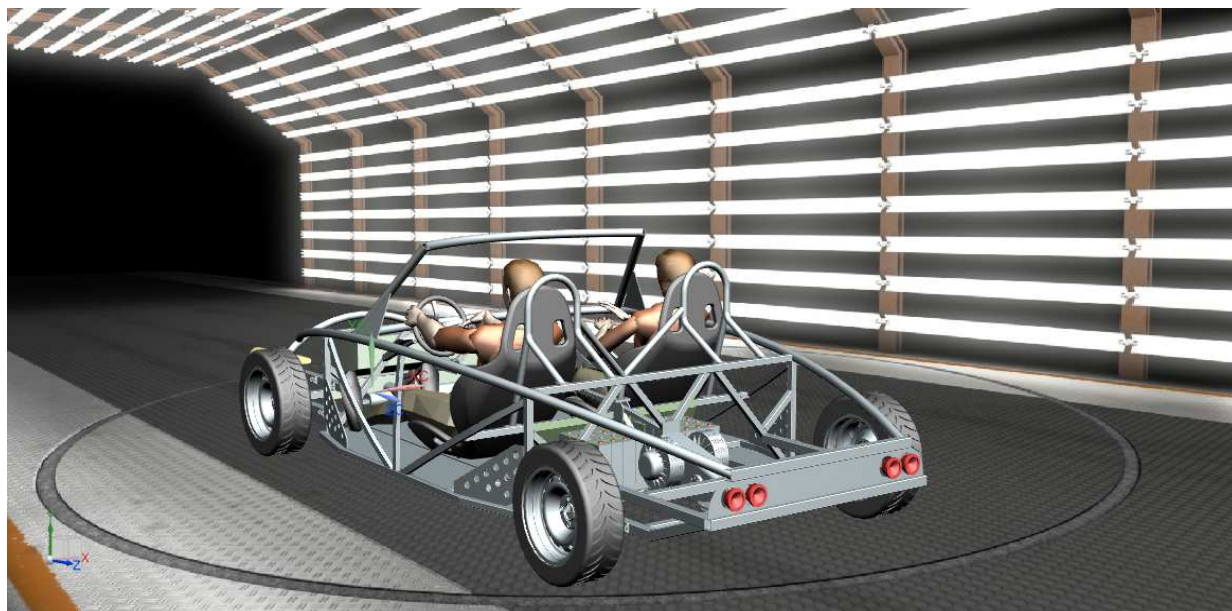


Obrázek 50 Celkový pohled zezadu

### *Rendery elektromobilu*



Obrázek 51 Render vozidla



Obrázek 52 Render vozidla



## 5.4. Dojezdová charakteristika navrženého elektromobilu

Dojezdovou charakteristiku automobilu zpracujeme pro dvě konfigurace 100Ah a 200Ah. Vzhledem ke konstrukci skeletu není problém připravit elektromobil ve dvou i třech konfiguracích. Rozdílem je reálně pouze rozdíl v ceně baterií.

### 5.4.1. Dojezdový výpočet dle studie

Tabulka 15 Dojezd 100Ah

	kg		Ah	kWh	kWh *0,8	J
hmotnost rámu	390		100	4800	3840	13824000
zátěž (osoby)	160					
baterie	50					
celková	600					
síly	N	proc/trasa	N			
stoupání 5%	231,025	0,2	46,205		energie batt	13824000
valení	117,72	1	117,72		dráha	61188,447
zrychlení	420	0,1	42			
vzduch	20	1	20		km	<b>61,19</b>
celkem			225,925			

Tabulka 16 Dojezd 200Ah

	kg		Ah	kWh	kWh *0,8	J
hmotnost rámu	390		200	9600	7680	27648000
zátěž (osoby)	160					
baterie	100					
celková	650					
síly	N	proc/trasa	N			
stoupání 5%	250,2771	0,2	50,05542		energie batt	27648000
valení	127,53	1	127,53		dráha	113737,8
zrychlení	455	0,1	45,5			
vzduch	20	1	20		km	<b>113,74</b>
celkem			243,0854			

## 5.5. Ekonomické aspekty elektromobilu

### 5.5.1. Ekonomická rozvaha výroby elektromobilu 100Ah

Pokusili jsme se o odhadovanou rozvahu nákladů na výrobu automobilu. Za současného stavu návrhu automobilu není možné stanovit náklady přesně, nicméně tento odhad plně postačí k dalšímu záměru kalkulace provozu. Orientační částky jsou v Kč.

#### **Rám**

- materiál rámu	1x15000
- výroba	1x20000
- povrchová úprava	1x15000

#### **Pohon**

- baterie	1x44000
- motor	2x39000
- elektronická výbava pohonu	1x40000
- převodovka	1x20000

#### **Podvozek**

- zavěšení, brzdy	4x4000
- tlumiče/pružiny	4x3000
- pneu, disky	4x3000
- řízení	1x3000

#### **Interiér**

- sedadla	2x3000
- řízení	1x2000
- ovládání	1x5000

#### **Exteriér**

- osvětlení vnější	1x10000
- dodatečná kapotáž	1x20000

#### **Montáž**

1x50000

---

368000

### 5.5.2. Provoz elektromobilu

Zde uvidíme hlavní přednosti provozu elektromobilu.

#### ***Provozní spotřeba energie***

Z předešlých výpočtů známe spotřebu energie elektromobilu. U varianty 100Ah jsme určili dojezd 61,19km na plné nabití 100Ah včetně ztrát nedokonalým nabitím. To znamená 1,63Ah na 1km.

Kapacita 100Ah při 48V znamená 4800 Wh. Pokud předurčíme běžnou sazbu 5Kč/kWh, znamená to dobití 24Kč za plné nabití akumulátorů.

Cena za kilometr jízdy:

$$1km = \frac{\text{cena nabití}}{\text{dojezd km}}$$

$$1km = \frac{24}{61,19}$$

$$1km = 0,39 \left[ \frac{Kč}{km} \right]$$

#### ***Kapaliny, náplně, spotřební materiál***

Elektromotor nemá žádné provozní náplně. Je chlazen vzduchem.

Převodovka, klouby a další mechanické komponenty mají trvalou tukovou náplň.

Kalkulace dalších kapalin jako náplň klimatizace, čistících kapalin atd. je bezpředmětná.

#### ***Servis***

Servisní náklady na provoz elektromobilu jsou minimální. Předpokládáme kontrolu mechanických částí, motoru, převodovky cca 1x za 60000km. Nechceme příliš polemizovat o nákladech, které nyní nedokážeme vyčíslit, ale je zřejmé, že proti servisu spalovacích motorů, které jsou mnohem častější a jsou spojené s výměnou kapalin, bude servis řádově několikrát levnější.

- např. jen výměna motorového oleje : - interval 15000km ,cena cca 1500Kč, při předpokládané životnosti automobilu to znamená 30000Kč

### 5.5.3. Likvidace

Mezi důležité faktory životního cyklu elektromobilu patří omezená životnost baterií. Baterie se obvykle mění dvakrát až třikrát za životnost celého automobilu. Po jejich výměně nalézají použité baterie místo v bateriových stanicích a záložních zdrojích. Podotkněme, že likvidace použitých olejů ze spalovacích motorů není nikterak jednodušší. Zbytek automobilu je srovnatelný s jinými automobily, tzn. je složen z ocelových, hliníkových a plastových součástí a jejich likvidace se provádí konvenčními metodami.

### ***Závěr ekonomické rozvahy***

Na závěr ekonomické rozvahy byla shrnuta dostupná data z životního cyklu elektromobilu. Hodnoty v tabulce jsou v Korunách českých, jejich výše je orientační

Tabulka 17 Závěr ekonom. rozvahy

	Elektromobil	Konvenční pohon
Pořizovací náklady	370000	200000
Palivo na 300000km	117000	600000
Servis	5x10000 pravidelný servis 2 až 3 x 44000 výměna baterií	5x10000 30000 motorový olej Rozvody ??? Poruchy mech. částí ???
	Daňové úlevy	Ekologické poplatky
Celkem	655000	880000

V uvedené tabulce jsem se pokusil vyzdvihnout hlavní rozdíly v ekonomice životního cyklu elektromobilu. Tyto data jsou ovšem spekulativní. Jistě by se našel ne jeden rozdílný názor ukazující odlišné výsledky. Elektromobily mají dnes nezpochybnitelně vyšší pořizovací náklady. Na kolik je toto způsobeno velmi odlišnými počty produkovaných vozů by bylo opět spekulací. Servisní náklady jsou sníženy díky velmi jednoduchému systému pohonu (elektromotor – jedna pohyblivá součást, převodovka max. 1-2 stupňová). Provozní náklady z fyzikálního hlediska jsou nižší, protože efektivita pohonu je násobně vyšší než u spalovacího motoru.

## 5.6. Závěr

Doprava lidí, transport materiálu, pohyb, je od nepaměti velkým úkolem pro lidstvo. Paradoxně ve většině případů se jedná o velmi neúčinný proces. Přeprava nákladu na velkou vzdálenost stojí kvanta energie a přitom rozdíl potenciální energie bývá nulový. Přeprava je tedy pouze ztrátou energie, a to obrovskou.

Jízdní odpory, účinnosti a další faktory, které tyto ztráty vytvářejí, znesnadňují přesuny jak osobním automobilům i nákladním vozům. Jedná se především o odpor valení, odpor vzduchu a další odpory související s dynamikou vozidla. Odpory ve své definici obsahují vyjádřenou hmotnost pohybujícího se objektu. Snižování hmotnosti hraje tedy podstatnou roli. Vysoká hmotnost znamená také vysokou kinetickou energii, kterou většinou nedokážeme efektivně využít a maříme ji brzděním. V definici odporu vzduchu na druhou stranu největší problém znamená rychlost, a to v druhé mocnině. Pak se musíme rozhodnout, zda cestovat rychle nebo úsporně.

Vidíme, že cesta k úsporám energie v oblasti dopravy není ani v nejmenším jednoduchá. Prakticky se jedná o cestu „proti fyzikálním zákonům“. Toto jest známo již po desítky let, ale lidé byli zvyklí plýtvat téměř neomezeně energiemi. Dříve nás brzdila technika, dnes nás brzdí zdroje energie. Zásoby nerostného bohatství jako je ropa, zemní plyn atd. se tenčí a jsme nuceni hledat alternativy. Elektromobilita je sice cesta s mnoha kompromisy, ale je absolutně spravedlivá. Samozřejmě, je-li někdo zvyklý na využívání desítek až stovek kilowat výkonu spalovacích motorů, což znamená při jejich třicetiprocentní účinnosti trojnásobný příkon v podobě spalovaného paliva, těžko jej budeme uvykat na spokojení se s řádově menšími přídělky energie. Lehko se vytápí vůz s desítkami kilowat zbytkového tepla, ovšem když Vám ubývají s topením v zimním období kilometry dojezdu z baterie, je situace složitá. Tankování megajoulu energie v podobě benzínu je otázkou několika minut, ale dobýt tolik energie do baterií je otázkou hodin.

Podstatou této práce není filosofická rozprava nad energetickým blahobytem na našich silnicích. Úkolem práce bylo nalezení aplikovatelného kompromisu, nalezení schůdné cesty skrz rozbor elektromobilních možností, přes opodstatněný konstrukční návrh nového vozu na elektrický pohon.

Počáteční fakta byla získána rešerší automobilových karoserií. Rozboru byla podrobena tři vozidla se svařovaným rámem. Studie dojezdových možností elektromobilů posloužila jako zdroj cenných informací pro následnou systematickou specifikaci hlavních požadavků. Bylo zjištěno, že dojezdové vzdálenosti elektromobilů nejsou přímo úměrné kapacitě baterií. Pro navrhovaný elektromobil byla vybrána konfigurace baterií o kapacitě 100Ah s předpokládaným dojezdem maximálně 80 kilometrů. Ze specifikovaných požadavků a zvolených komponent plynou požadavky na konstrukci rámu. Rám vybraný ze tří variant byl podrobně rozpracován a následně podroben simulacím. Výběr ze tří variant je podložen výpočtem tuhosti a srovnáním. Konstrukce i simulace byly provedeny v CAx softwaru NX8.5. Simulace a výpočet metodou konečných prvků poskytly údaje o torzní tuhosti a odolnosti rámu. Torzní tuhost rámu byla stanovena na  $2000\text{Nm}/1^\circ$ . Byl proveden výpočet přetížení vozidla při průjezdu obloukem a z toho spočteno zatížení vnějšího kola tj. 6950N. Vznikl ucelený návrh skeletu pro sportovní elektromobil. Simulacemi kompletního rámu bylo zjištěno, že zatížením dochází k namáhání maximálně do 30MPa, což je zcela v mezích dimenzace. Detaily jako konstrukce zavěšení kol, řízení či pohon nemohly být součástí práce, z důvodu omezeného rozsahu. Na závěr byla znovu provedena analýza dojezdů. Pro konfigurace bylo stanoveno : 100Ah-61km ,200Ah-113km. Ekonomickým rozbořem životního cyklu elektromobilu byla obhájena konkurenceschopnost vůči vozu s konvenčním pohonem.

Je poměrně složité ujmout se úkolu návrhu tak komplexního jako je návrh celého automobilu v jedné diplomové práci. Z tohoto důvodu bylo nutné omezit návrh na konstrukci skeletu a stručnou studii dojezdových možností elektromobilu. Návrh byl dokončen. Tím vznikl konstrukční podklad pro možnou reálnou výrobu skeletu i celková rozvaha uživatelských vlastností vozidla.

## 6.1.Seznam obrázků

Obrázek 1 Elektromobil, který dosáhl jako první 100km/h.....	10
Obrázek 2 GM EV1.....	11
Obrázek 3 Ford Transit Connect Electric <sup>3</sup> .....	13
Obrázek 4 Elektromobil Opel <sup>4</sup> .....	15
Obrázek 5 Druhy rámu <sup>5</sup> .....	16
Obrázek 6 Ariel Atom <sup>6</sup> .....	17
Obrázek 7 Ariel Atom – rám <sup>6</sup> .....	17
Obrázek 8 Ariel Atom <sup>7</sup> .....	18
Obrázek 9 K1 Attack .....	19
Obrázek 10 K1 Attack .....	19
Obrázek 11 Factory 5.....	20
Obrázek 12 Factory 5.....	20
Obrázek 13 Motor AGNI 119 .....	34
Obrázek 14 Baterie SINOPOLY.....	34
Obrázek 15 Zavěšení lichoběžníkové.....	35
Obrázek 16 Motor Agni .....	35
Obrázek 17 Baterie model.....	36
Obrázek 18 Zavazadlový prostor .....	36
Obrázek 19 Těžiště .....	37
Obrázek 20 Schéma torze vozu .....	40
Obrázek 21 Mechanické schéma krutu rámu.....	40
Obrázek 22 Schéma návrhu konstrukce .....	41
Obrázek 23 Varianta 1 .....	43
Obrázek 24 Varianta 1 .....	43
Obrázek 25 Varianta 1 test 1 .....	44
Obrázek 26 Varianta 1 test 2 .....	44
Obrázek 27 Varianta 2 .....	45
Obrázek 28 Varianta 2 .....	45
Obrázek 29 Varianta 2 test 1 .....	46
Obrázek 30 Varianta 2 test 2 .....	46
Obrázek 31 Varianta 3 .....	47
Obrázek 32 Varianta 3 .....	47
Obrázek 33 Varianta 3 test 1 .....	48
Obrázek 34 Varianta 3 test 2 .....	48
Obrázek 35 Převodovka s motorem .....	53
Obrázek 36 Ochrana při převrácení .....	53
Obrázek 37 Konstrukční uzel za posádkou .....	54
Obrázek 38 Zavazadlový prostor .....	54
Obrázek 39 Svařenec rámu .....	55
Obrázek 40 Montážní celek rámu .....	55
Obrázek 41 Zabezpečení baterií.....	56
Obrázek 42 Zabezpečení baterií, vliv na tuhost rámu.....	56
Obrázek 43 Hlavový oblouk.....	57
Obrázek 44 Oblouk FEM analýza.....	58

Obrázek 45 Výztuha FEM síť.....	60
Obrázek 46 Ochrana baterií FEM síť.....	60
Obrázek 47 Nucená torze posunutím o 2mm po kružnici.....	61
Obrázek 48 Zkrut vyvolaný momentem .....	62
Obrázek 49 Celkový pohled zepředu.....	63
Obrázek 50 Celkový pohled zezadu.....	63
Obrázek 51 Render vozidla.....	64

## 6.2.Seznam tabulek

Tabulka 1 Kapacity akumulátorů.....	23
Tabulka 2 Změna odporu v závislosti na akumulátorech .....	25
Tabulka 3 Teoretický dojezd.....	25
Tabulka 4 Výpočetní tabulka .....	27
Tabulka 5 Dojezd s jednou osobou.....	28
Tabulka 6 Dojezd se dvěma osobami .....	28
Tabulka 7 Párové srovnání kritérií kapacity .....	29
Tabulka 8 PSK .....	29
Tabulka 9 FMEA.....	31
Tabulka 10 Swot analýza .....	32
Tabulka 11 Hodnocení elektromobilu .....	32
Tabulka 12 Těžiště .....	37
Tabulka 13 PSK .....	50
Tabulka 14 PSK .....	50
Tabulka 15 Dojezd 100Ah.....	65
Tabulka 16 Dojezd 200Ah.....	65

## 6.3.Seznam příloh

Výkres sestavy elektromobilu .....	příloha 1
Výkres sestavy rámu.....	příloha 2
Výkres svařence rámu.....	příloha 3



## 6.4. Seznam literatury

### ***Knížní***

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra - obecné strojní části 1*. Brno: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3
- [2] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra - obecné strojní části 2*. Praha: Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-202-5
- [3] LEINVEBER, J.: *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1999  
ISBN 80-86490-74-2
- [4] BAJER, J.: *Mechanika 1*. Univerzita Palackého, 2004, ISBN 80-244-0819-8
- [5] MICHALEC, J.: *Pružnost a pevnost I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 80-01-02359-1
- [6] VLK, F., *Podvozky motorových vozidel : pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*, Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk 2000
- [7] VLK F.: *Koncepce motorových vozidel*, Nakladatelství a vydavatelství Vlk Brno , 2000
- [8] Přednášky a materiály z předmětu *Základy stavby dopravní a manipulační techniky* (KKS)

### ***Dostupné na internetu***

- [9] HISTORIE ELEKTROMOBILISMU [online]2015 [citace 12.1.2015] <http://elektromobil.vseznamu.cz/historie-elektromobilismu>
- [10] HISTORIE HYBRIDNÍCH AUT [online] 2015 [citace 2.3.2015] <http://www.hybrid.cz/tagy/historie-hybridnich-aut>

## **6.5.Poděkování**

Závěrem bych rád poděkoval za umožnění zpracovávat v diplomové práci téma zajímavé a velmi tvůrčí. Díky patří konzultantovi ing. Michalovi Skovajsovi, který se podělil o zkušenosti s konstrukcí svařovaných rámců pro formuli SAE. Pochopitelně nejdůležitější role a s ní spojené díky patří docentovi Formánkovi za vedení této práce. Bez realistických rad a praktických zkušeností by nebylo možné tuto práci dokončit.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

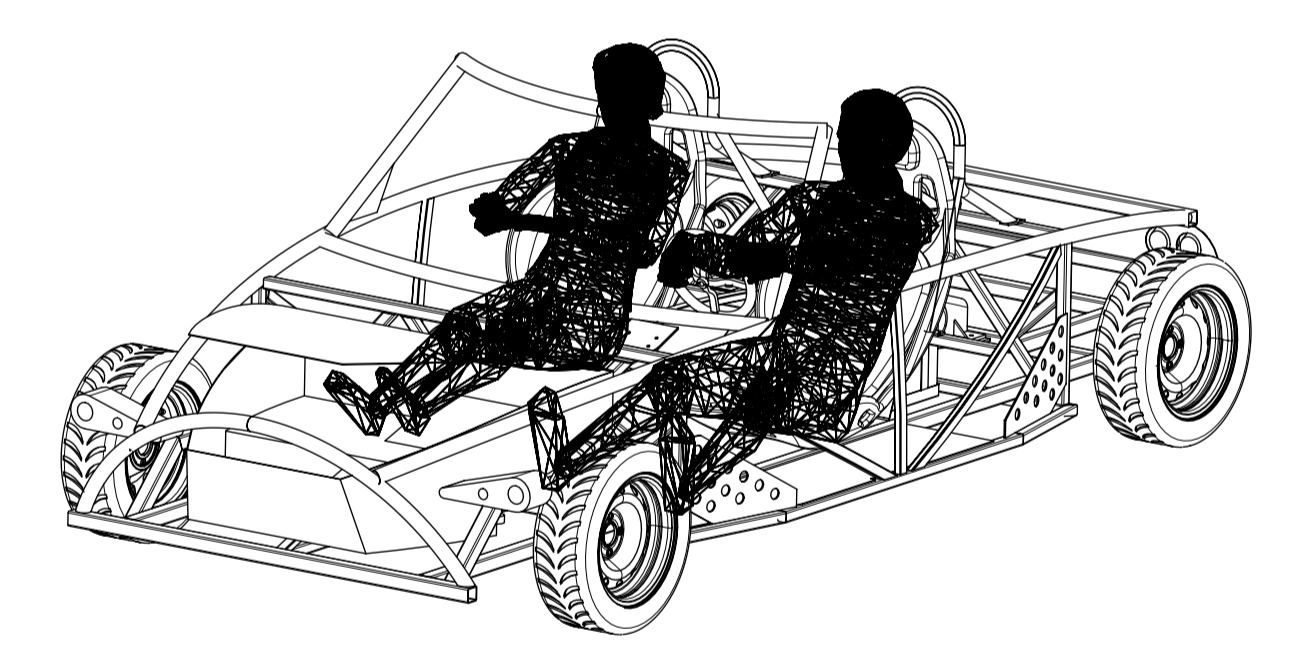
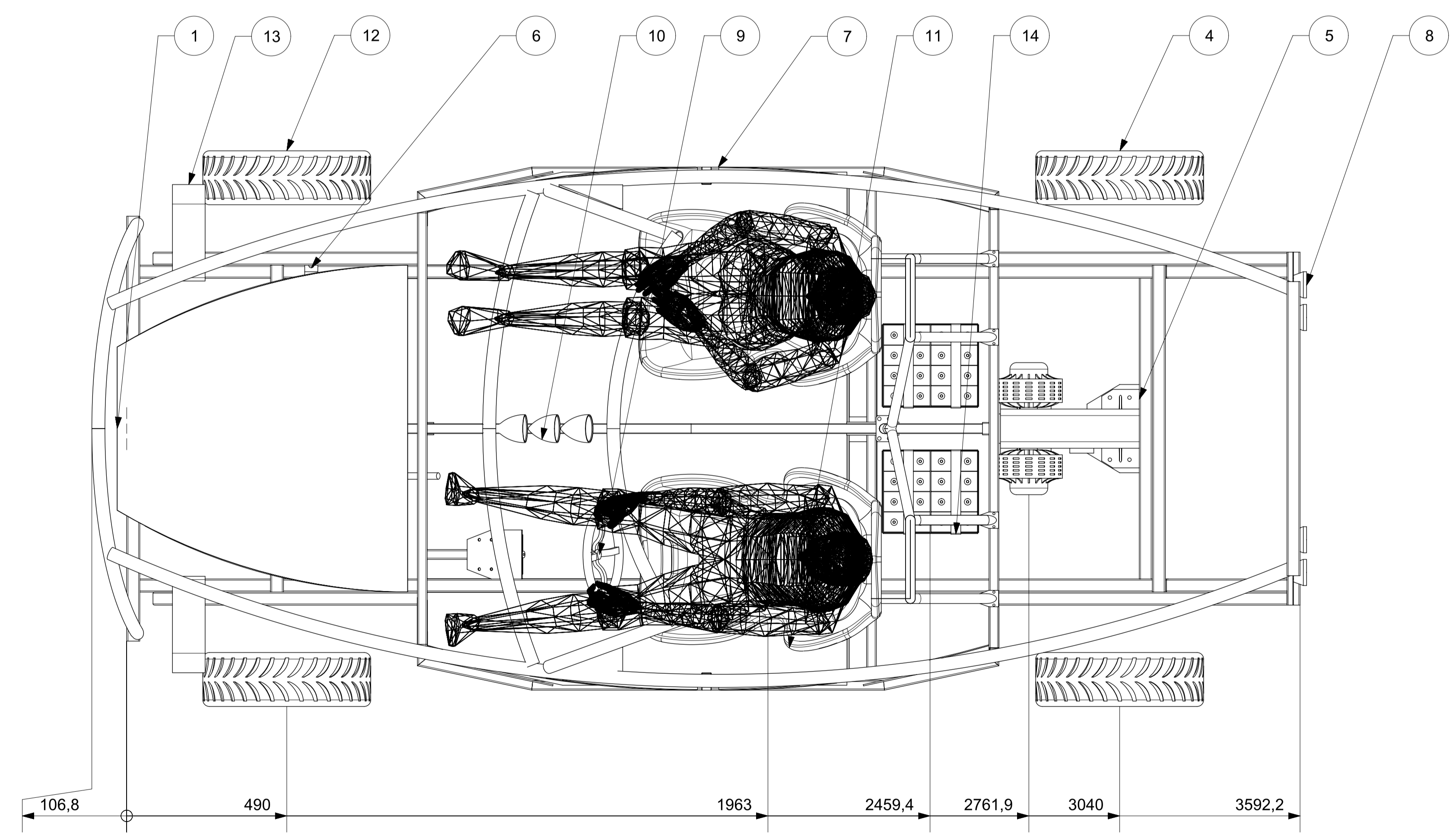
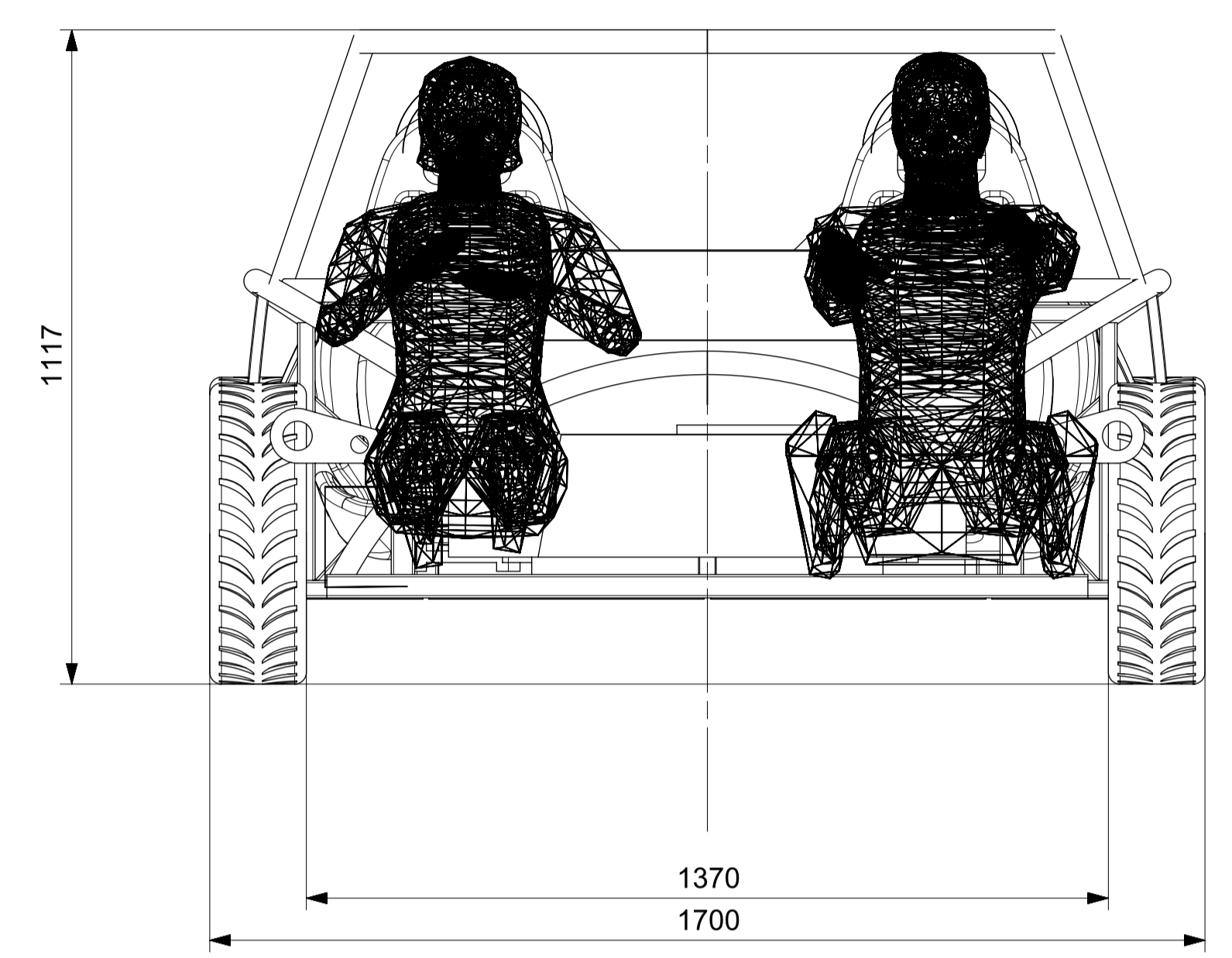
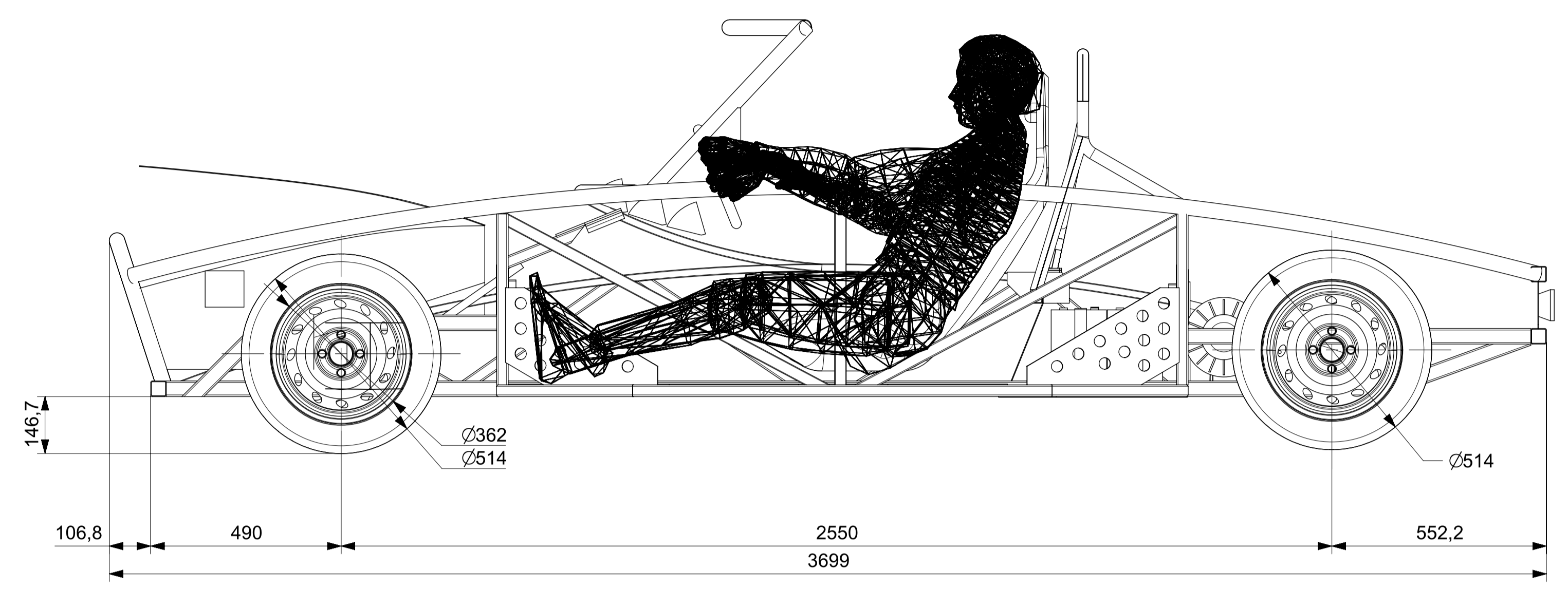
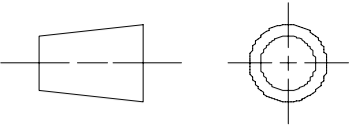
F

G

G

H

H



14	1_7_0_0_0_PRISLUSENSTVI	1
13	SVETLA_PREDNI	2
12	PNEU_165_55_R13_P	2
11	SEAT002	2
10	BUDIK	3
9	STEARING	1
8	SVETLA_ZADNI	4
7	1_1_0_0_0_RAM_VOZU	1
6	1_2_0_0_0_SESTAVA_RIZENI	1
5	1_3_0_0_0_SESTAVA_POHONU	1
4	PNEU_165_55_R13	2
3	RIDIC	1
2	SPOLUJEZDEC	1
1	1_6_0_0_0_ZAVAZADELNIK	1
PC NO	PART NAME	QTY

**SIEMENS** THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

FIRST ISSUED	Marek	TITLE	ELEKTROMOBIL SCHEMATICKA SESTAVA
DRAWN BY		SIZE	A1
CHECKED BY		DRG NO.	1_0_0_0_0_sestava_celku_elmob_dwg1
APPROVED BY		SHEET REV	A
		SCALE	1:10
		SHEET 1 OF 1	

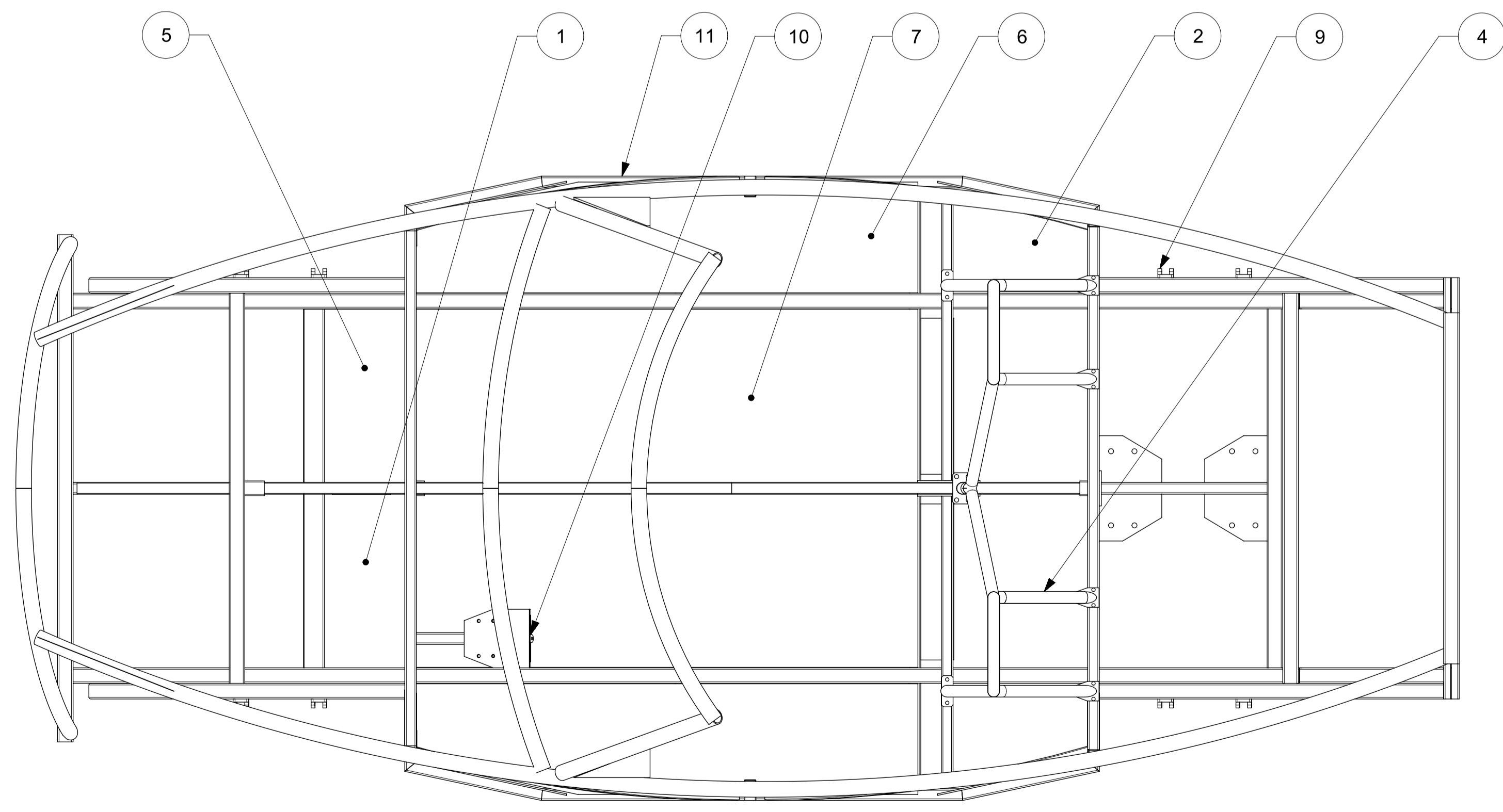
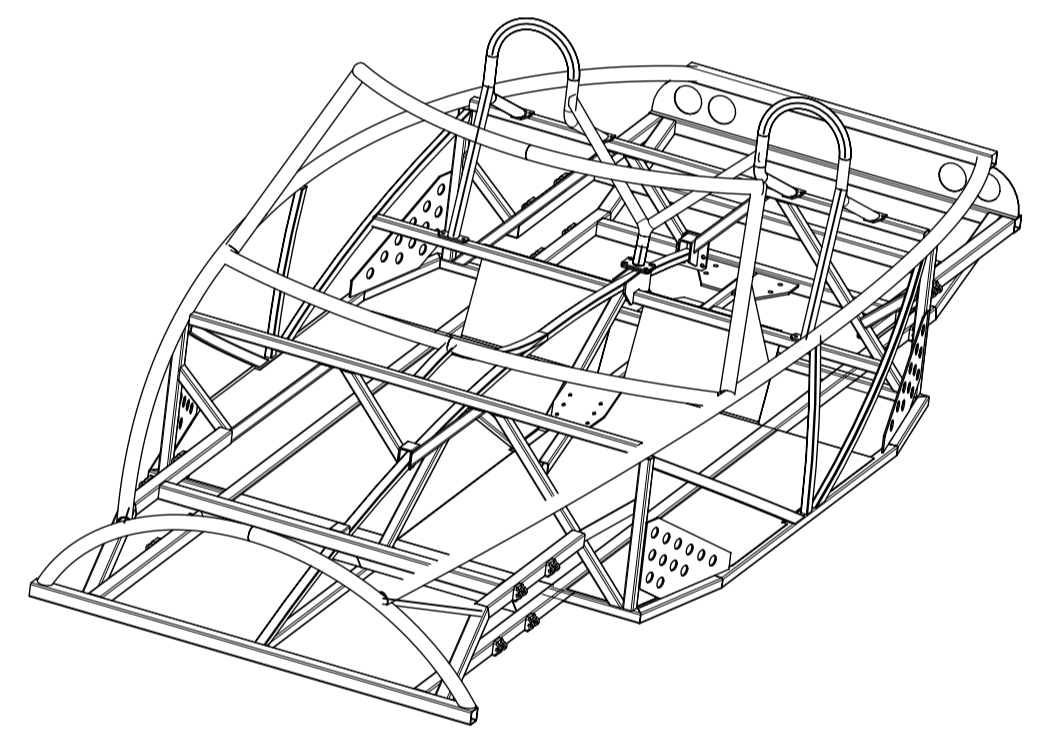
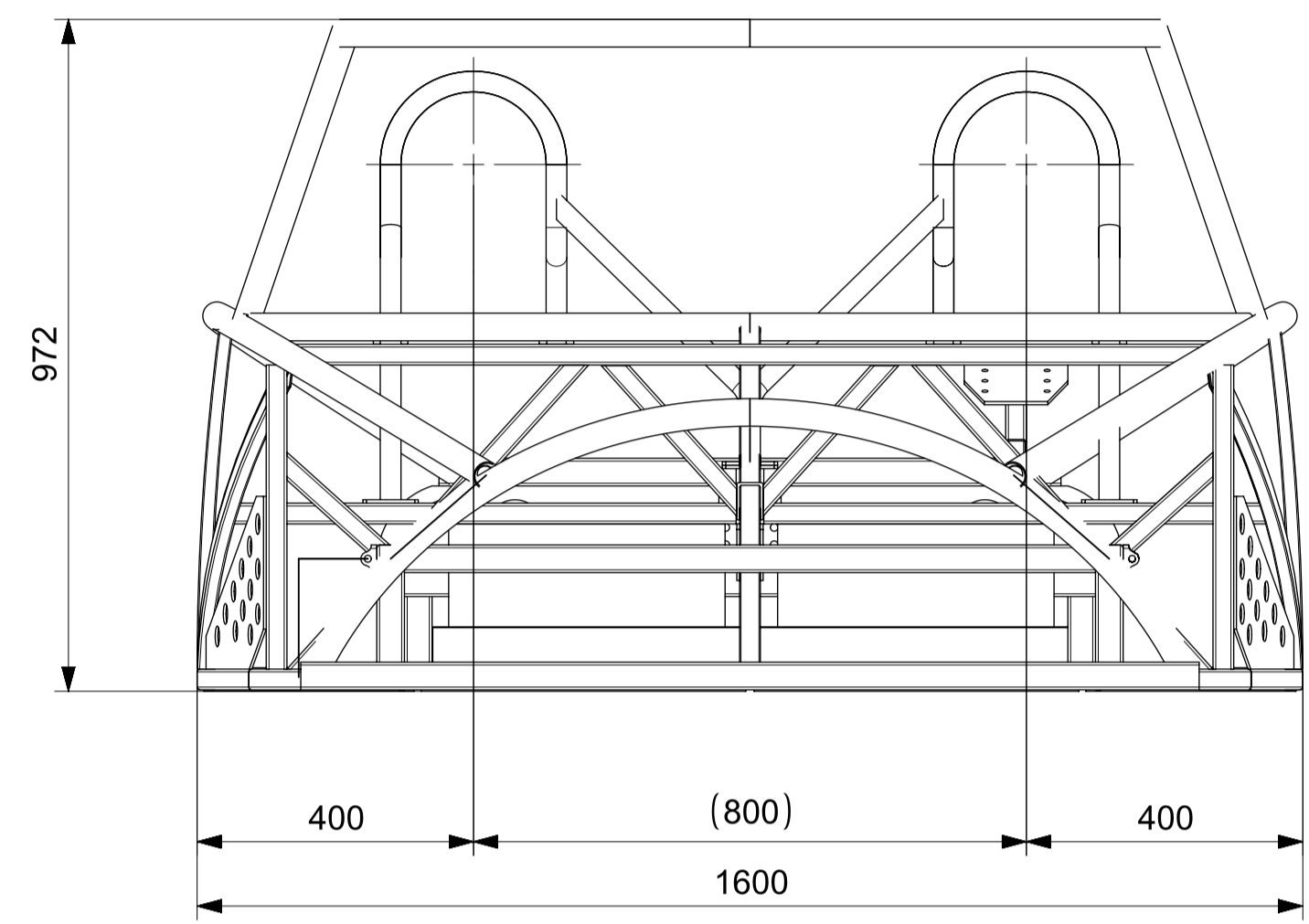
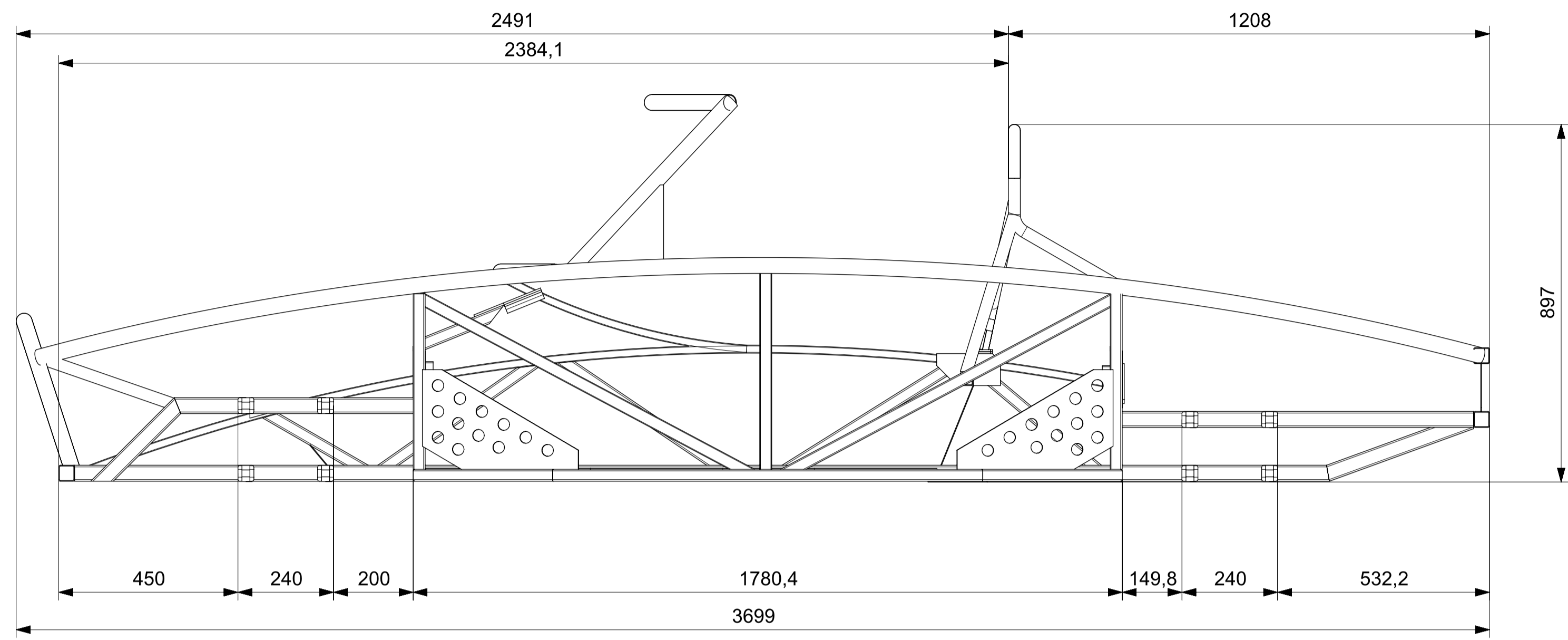
ALL DIMENSIONS IN MM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H



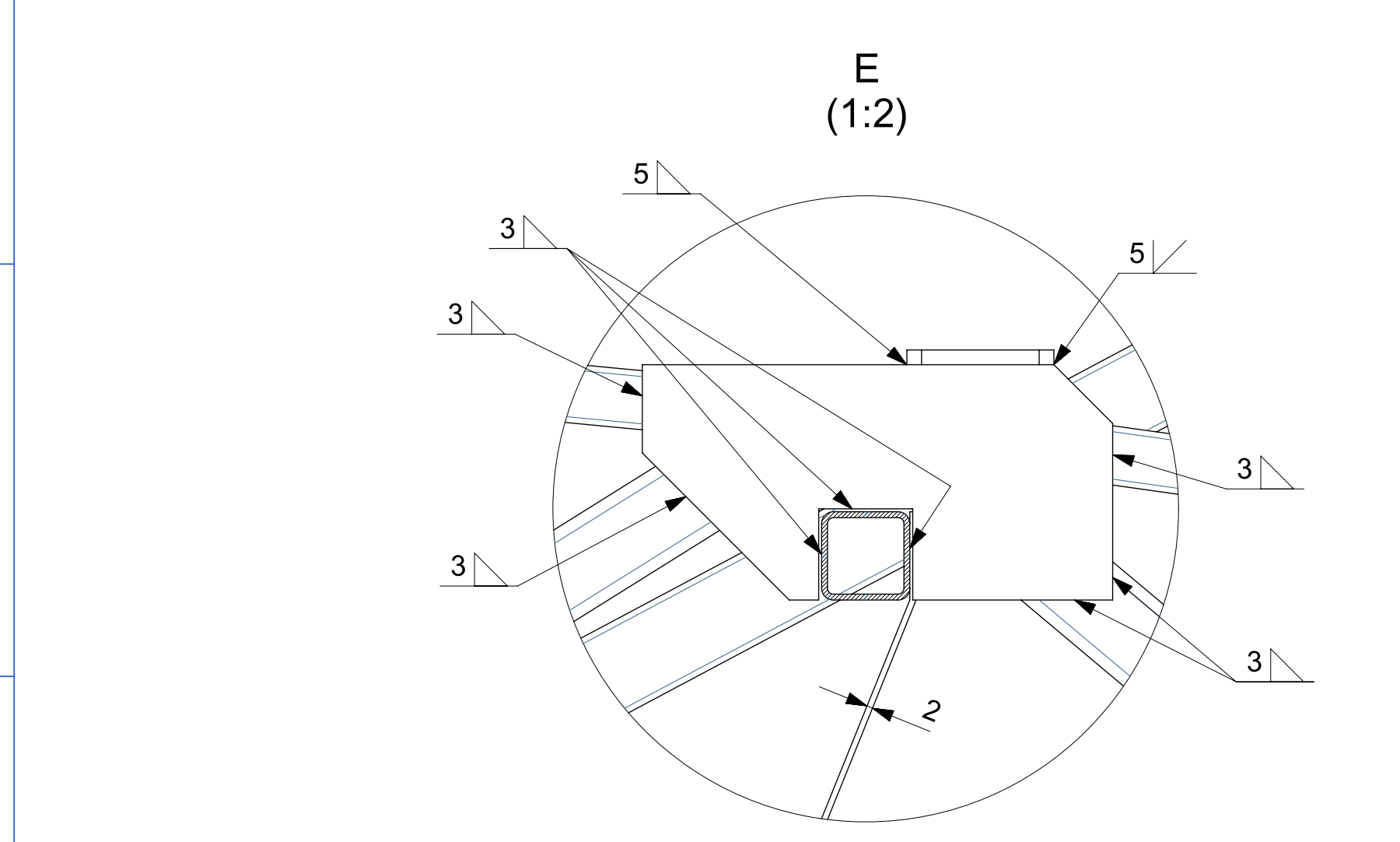
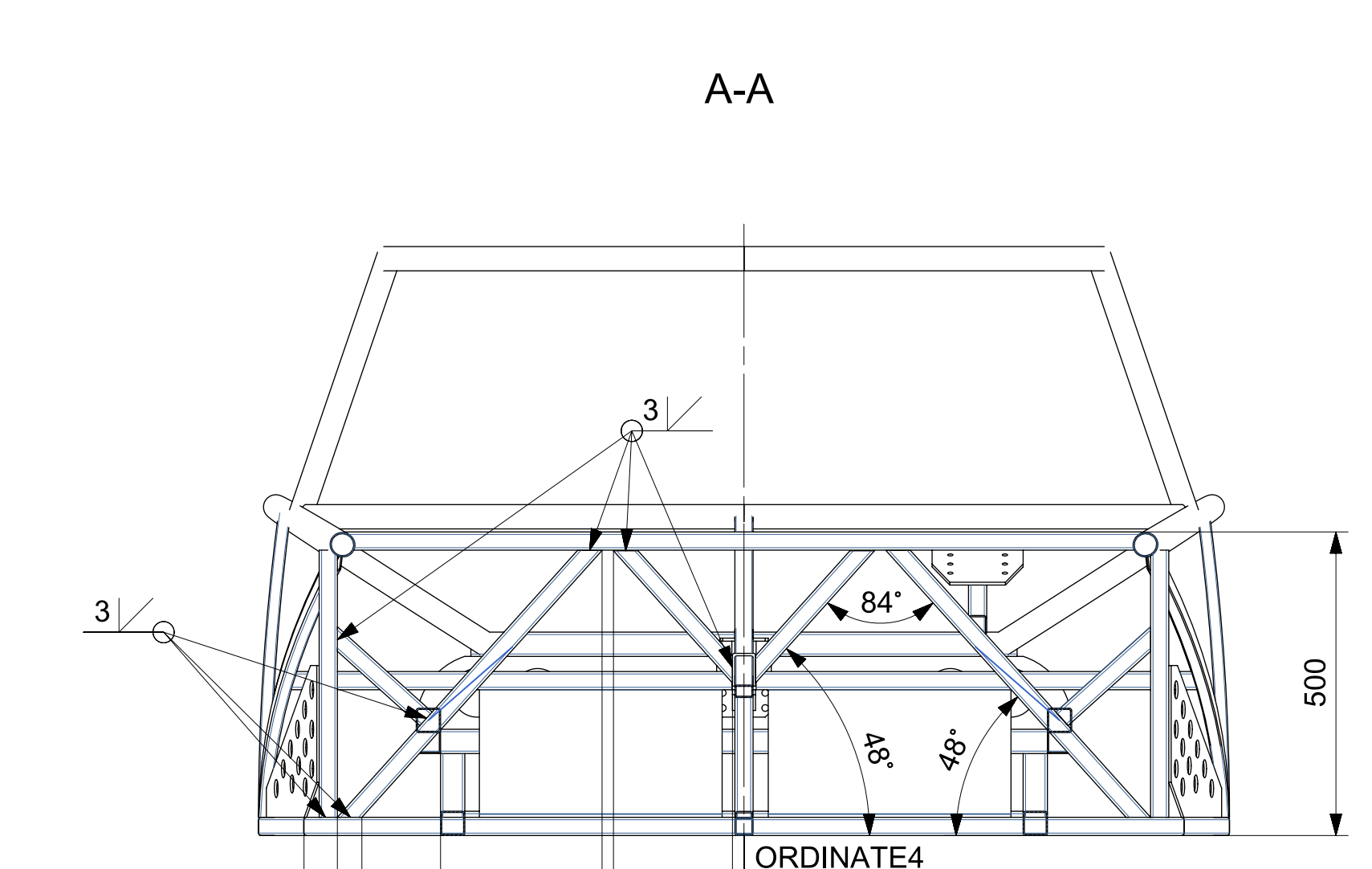
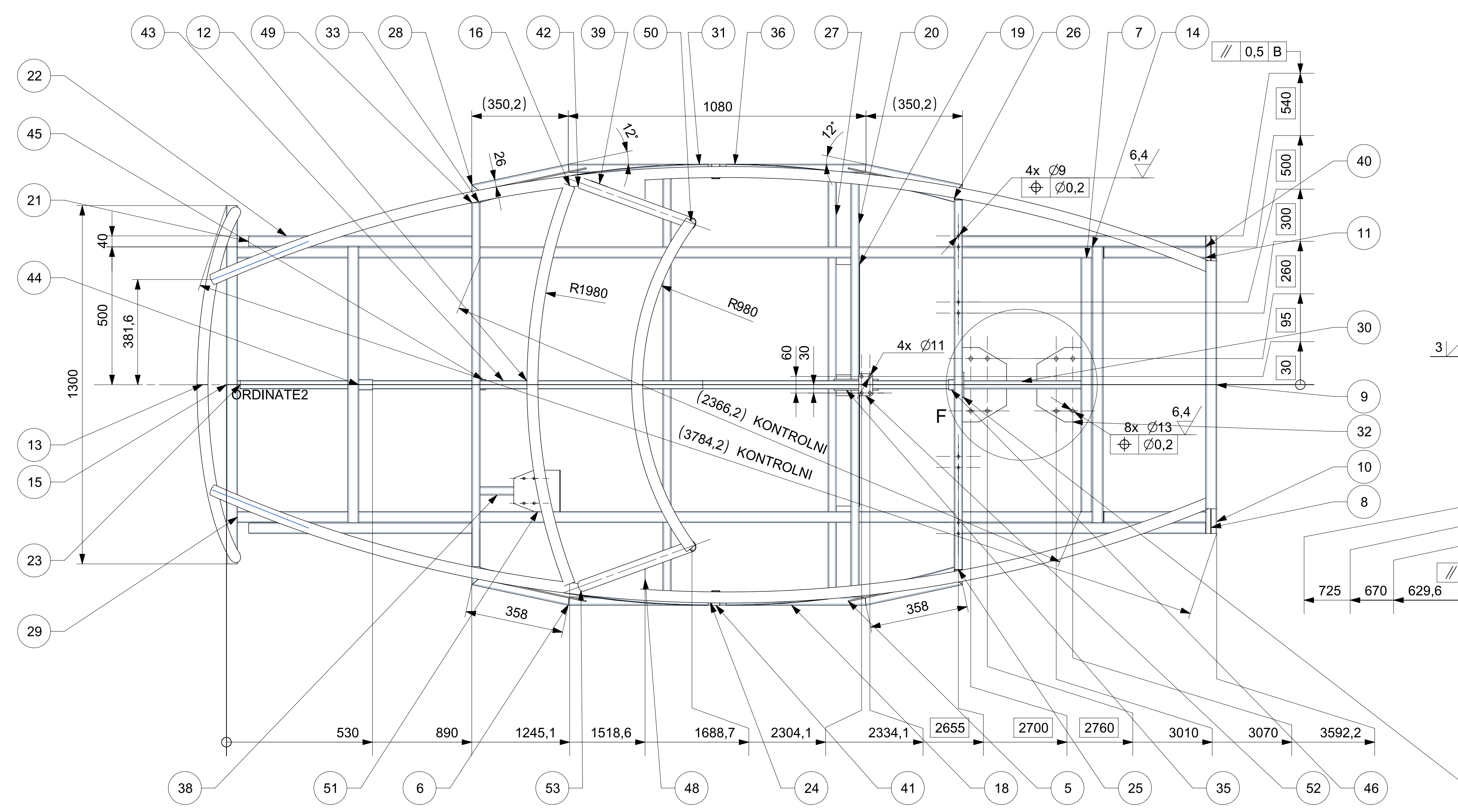
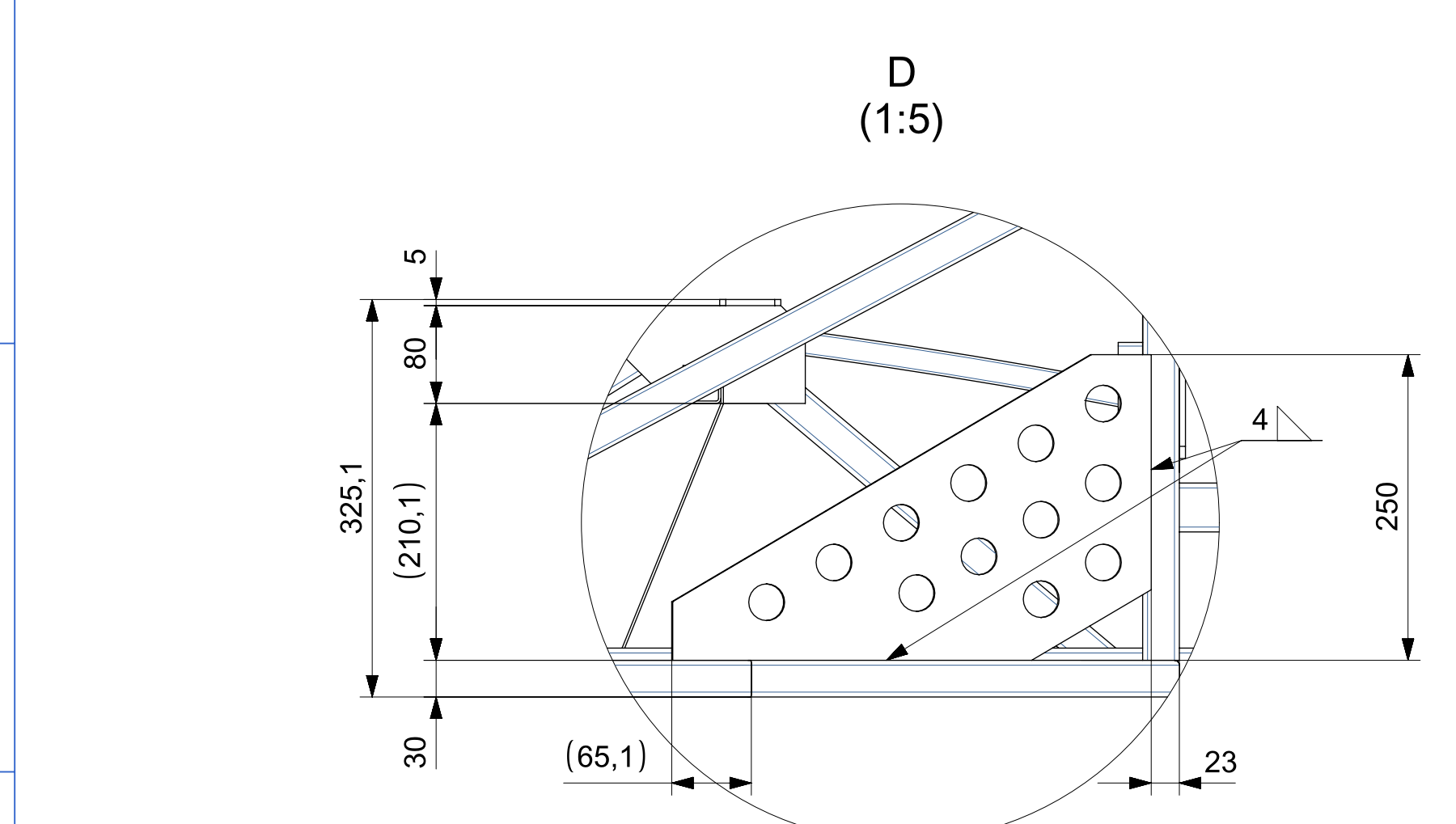
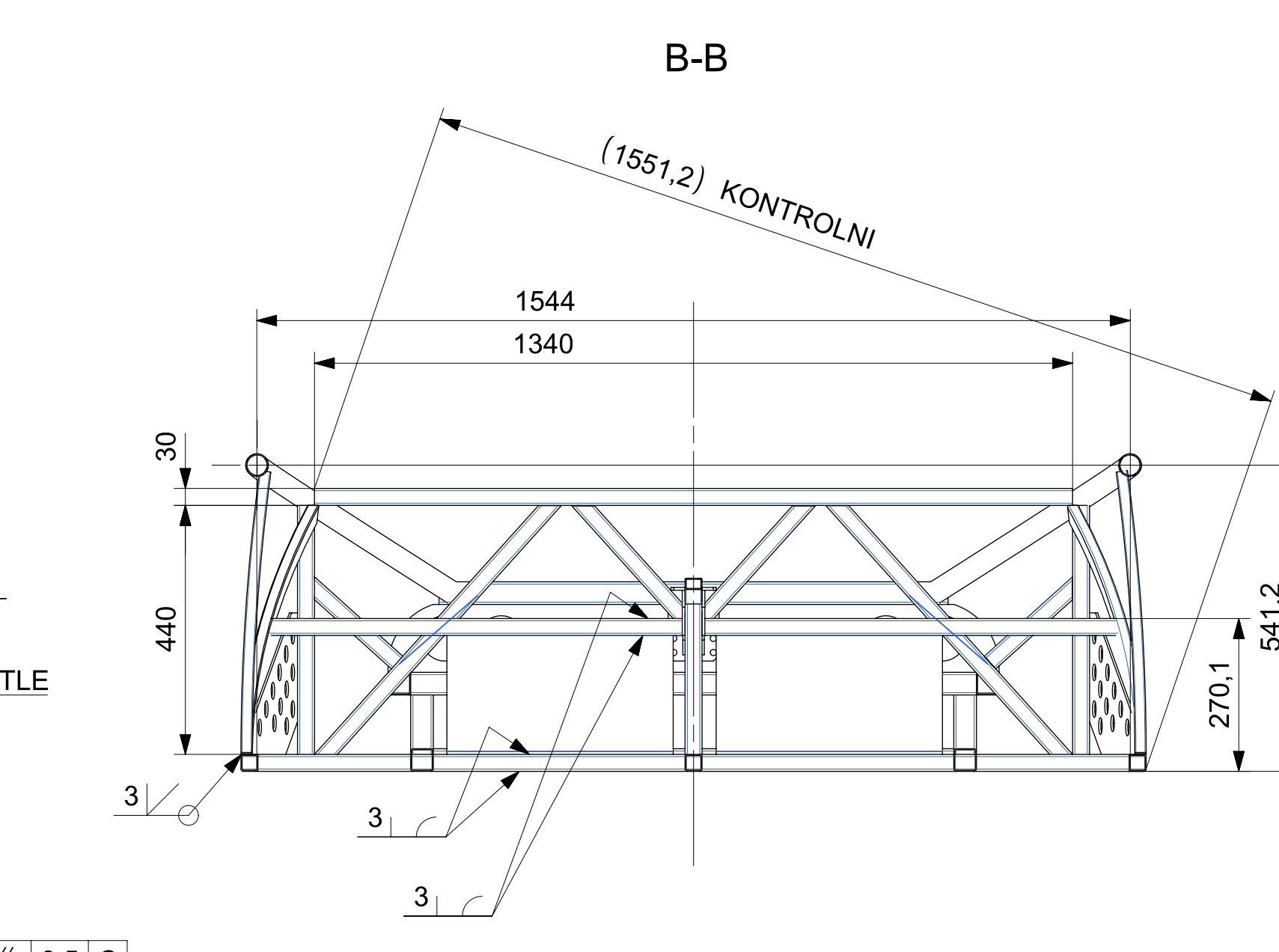
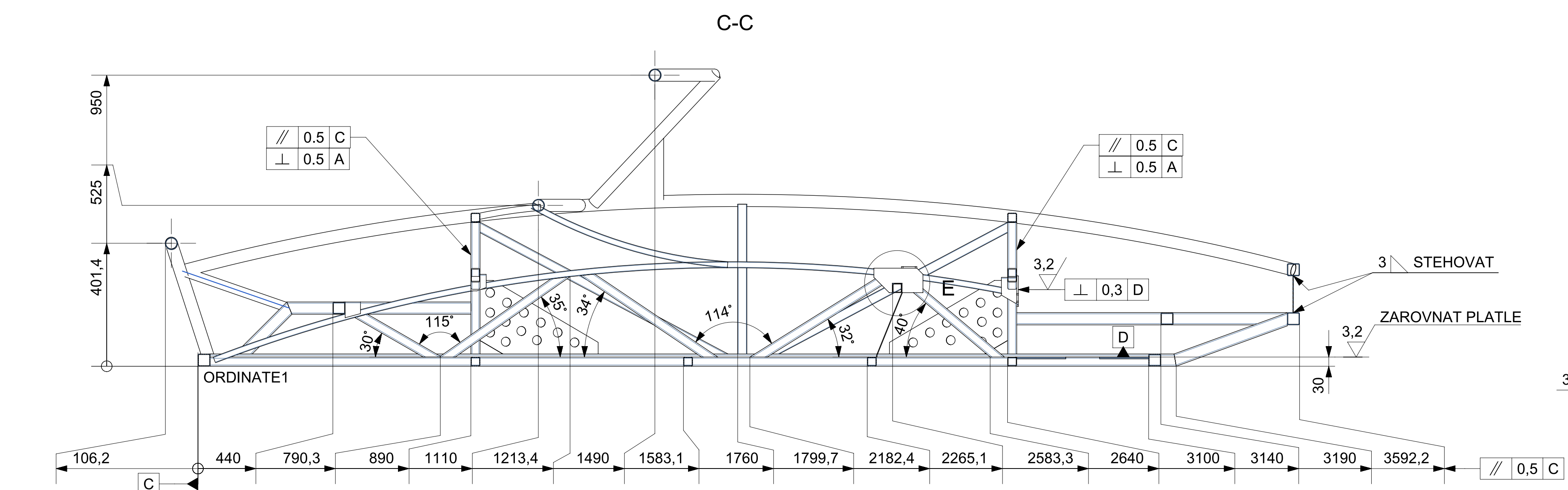
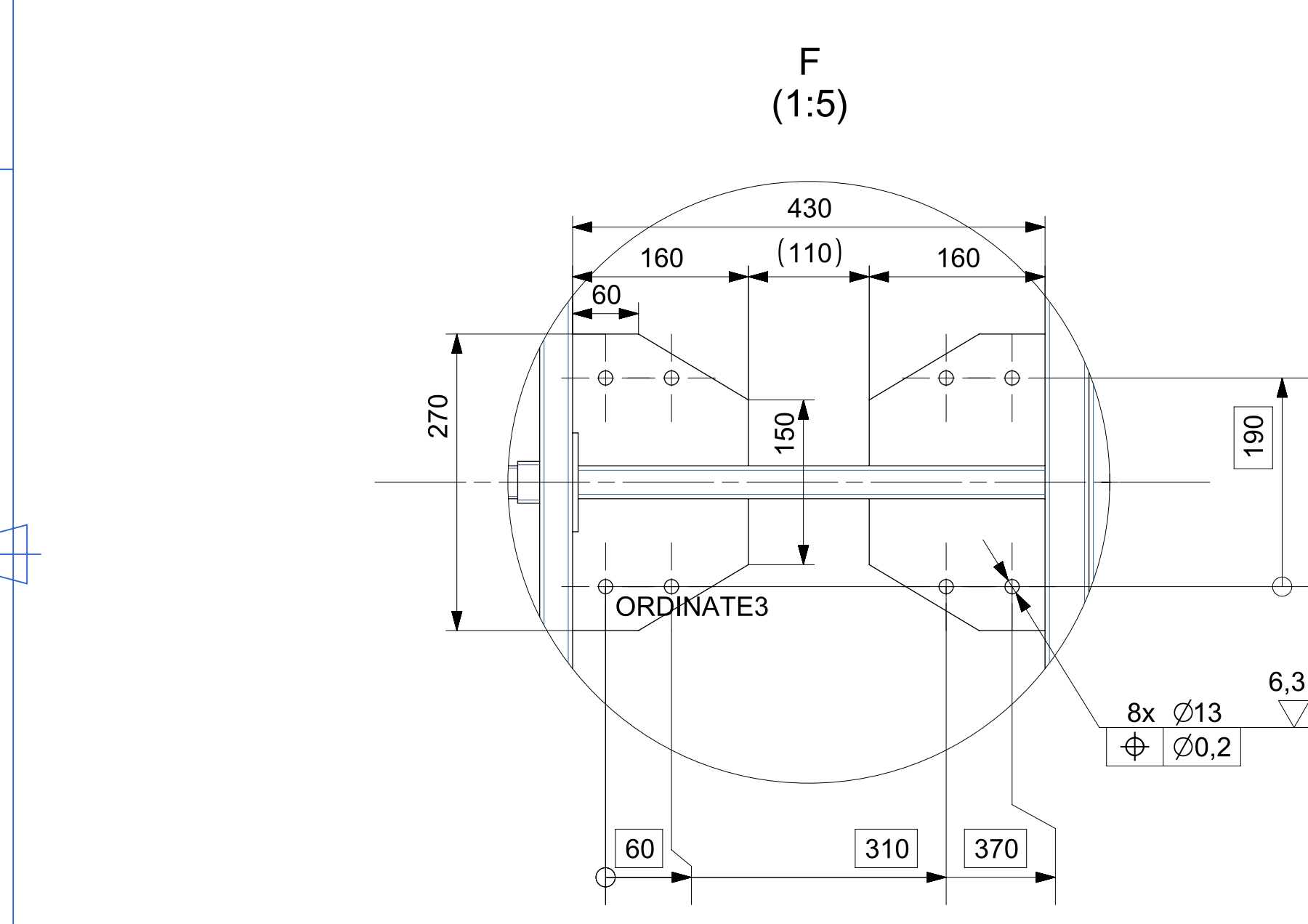
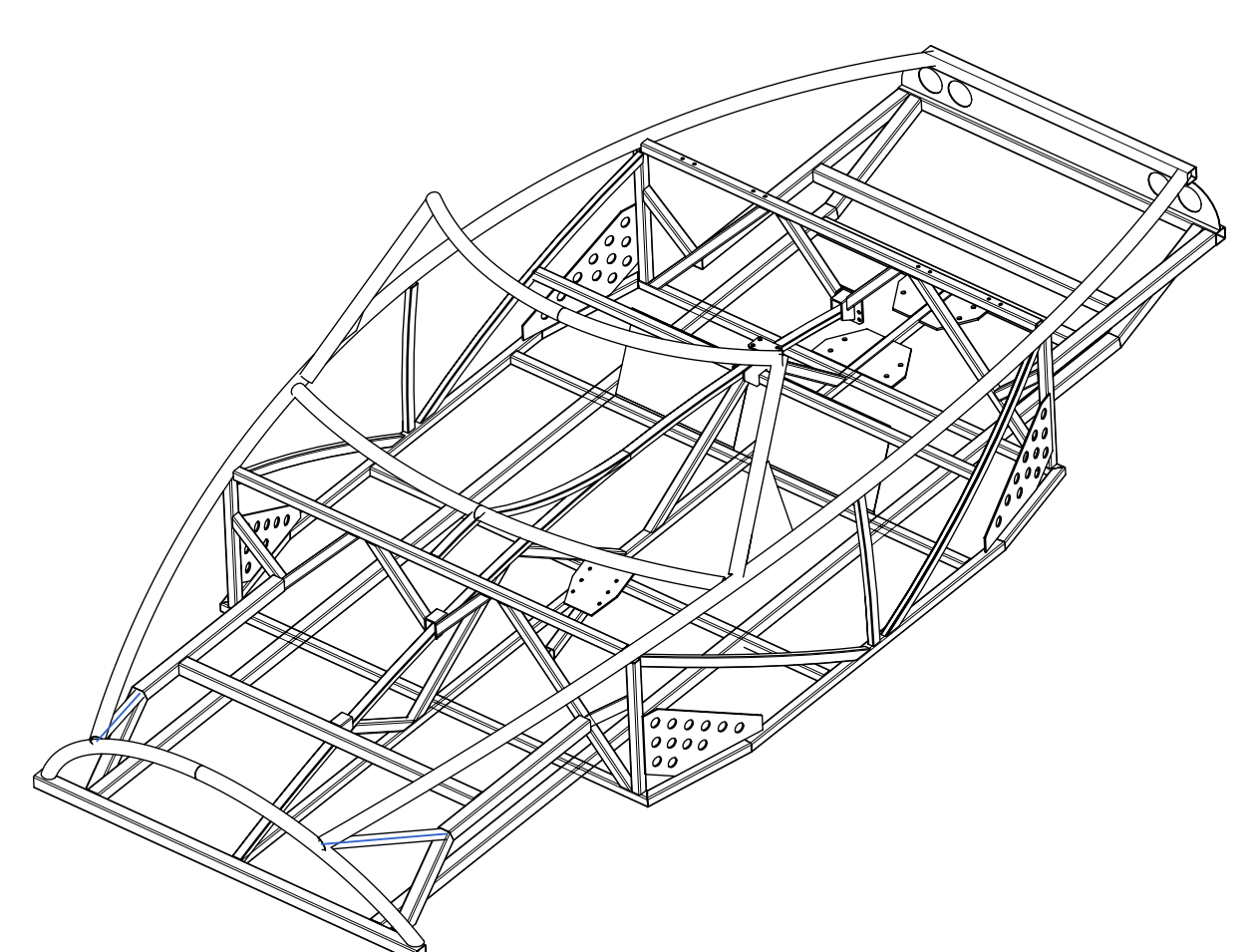
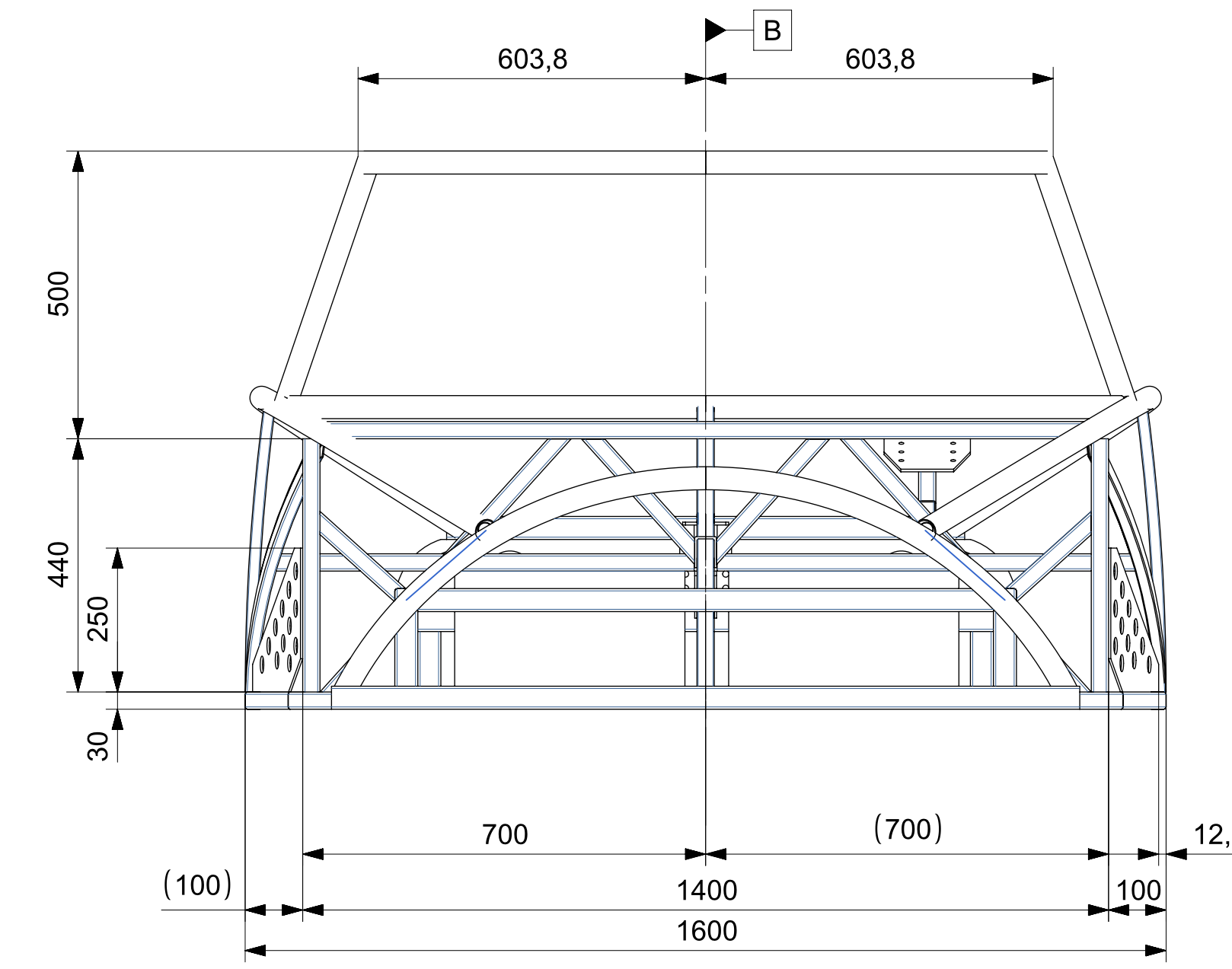
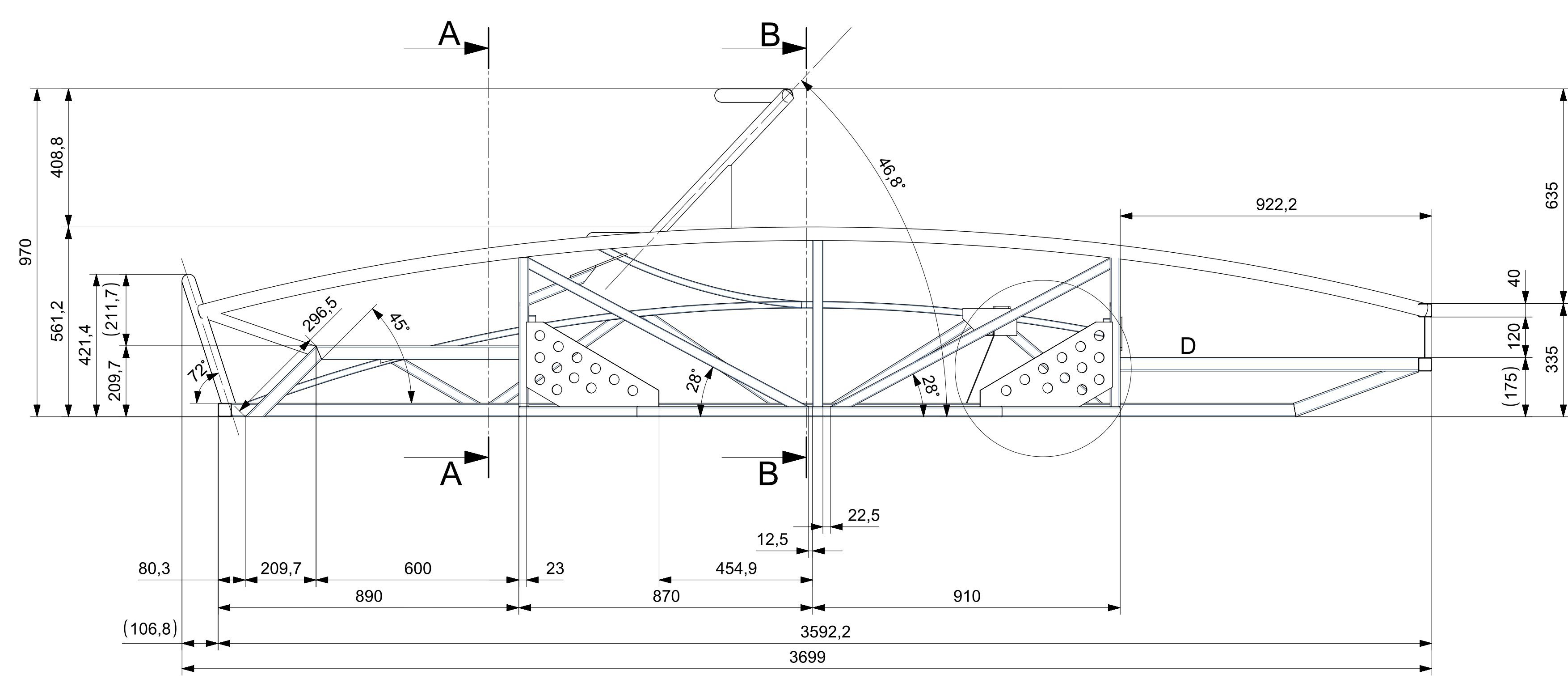
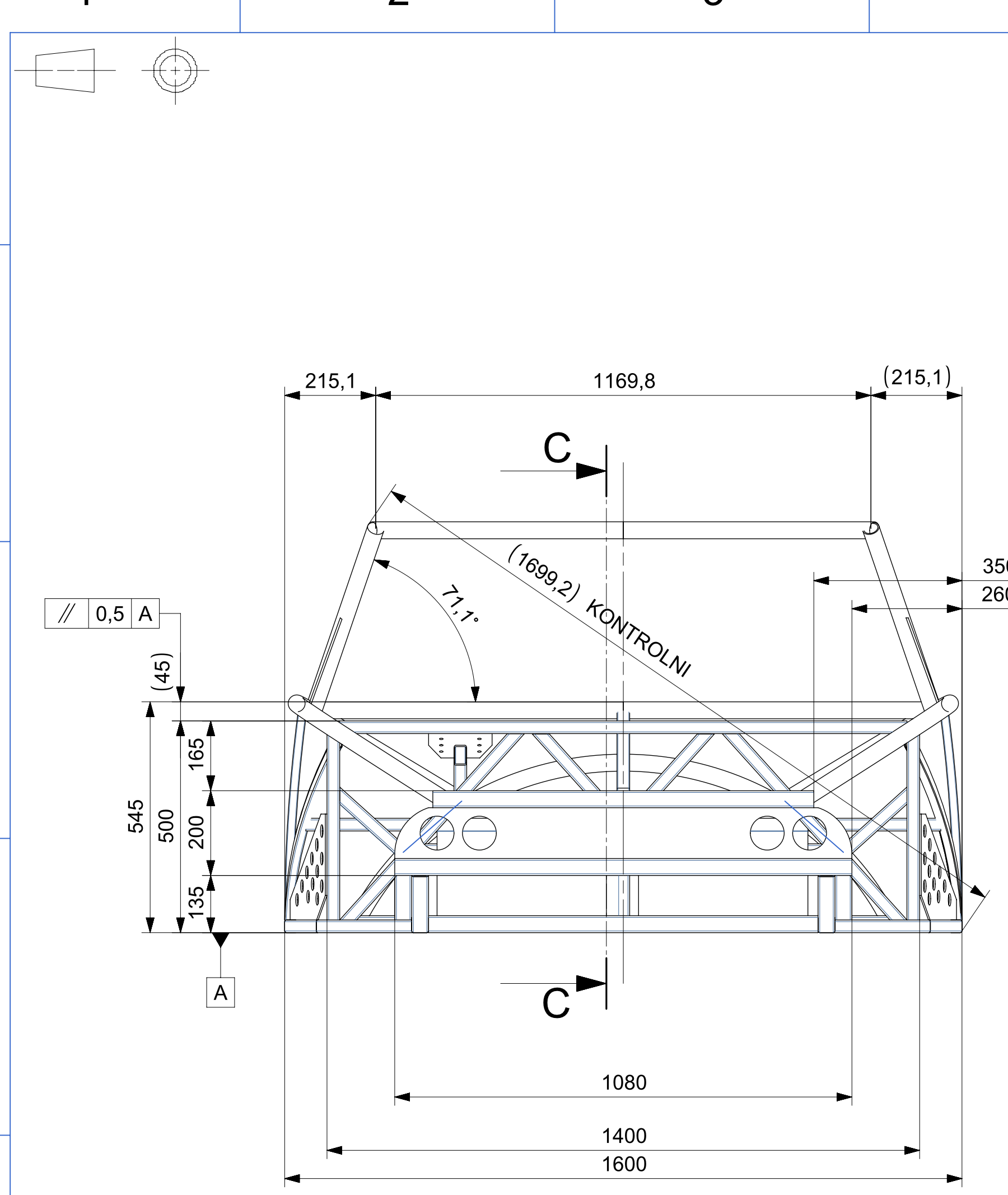
3.LAKOVAT DLE RAL  
2.PO MONTAZI CISTIT, ODMASTIT  
1.SROUBOVE SPOJE JISTIT LEPIDLEM NA JISTENI PROTI POVOLENI

16	SROUB_ZAPUSTNY_M6	120
15	PODLOZKA_M8	16
14	MATICE_6HR_M8	16
13	SROUB_6HR_M8X30	4
12	SROUB_6HR_M8X60	12
11	1_1_0_1_0_SVARENEC_RAMU	1
10	1_1_2_0_1_KONZOLA_VOLANT	1
9	1_1_0_0_1_KONZOLA_ZAVESENI	16
8	1_1_0_0_2_ZAVESENI	1
7	1_1_0_0_3_PODLAHA	2
6	1_1_0_0_4_PODLAHA_B	2
5	1_1_0_0_5_PODLAHA_C	1
4	1_1_1_2_0_OBLOUK	1
3	1_1_0_0_3_PODLAHA_Z	2
2	1_1_0_0_4_PODLAHA_B_Z	2
1	1_1_0_0_5_PODLAHA_C_P	1
PC NO	PART NAME	QTY

<b>SIEMENS</b>		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE	
FIRST ISSUED	Marek	TITLE	ELEKTROMOBIL MONTAZNI SESTAVA
DRAWN BY		SIZE	A1
CHECKED BY		DRG NO.	1_1_0_0_0_ram_vozu_dwg1
APPROVED BY		SHEET REV	A
		SCALE	1:10
		SHEET 1 OF 1	

ALL DIMENSIONS IN MM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



6. HMOTNOST PRED OBROBENIM 137KG  
 5. NEKOTOVANE ROZMERY DLE ISO-2768  
 4. PUVRCHOVA UPRAVA - ZINKOVANI  
 3. KONTROLOVAT DLE KONTROLNICH KOT  
 2. VRTAT PO ZIHANI  
 1. SVAřit MIG, METODA 141 event. 131

53	1_1_0_1_37_SLOUPEK	1
52	1_1_0_1_47_PLATLE_SVAZ	1
51	1_1_0_1_44_PLATLE_VOLANT	1
50	1_1_0_1_35_RAM_OKNO	1
49	1_1_0_1_6_JEKL_BEZ_DER	1
48	1_1_0_1_49_ROH_OKNO_L	1
47	1_1_0_1_27_JEKL_VYPLET_2	1
46	1_1_0_1_40_KONZOLA_ZADEK	1
45	1_1_0_1_40_KONZOLA_PREDEK	1
44	1_1_0_1_40_KONZOLA_PREDEK_A	1
43	1_1_0_1_43_JEKL_OHYB	1
42	1_1_0_1_37_SLOUPEK_P	1
41	1_1_0_1_34_JEKL_OHYB_BOK_C	2
40	1_1_0_1_30_NOSNY_40_40_2_HRAZDA_ZAVESEN	2
39	1_1_0_1_49_ROH_OKNO	1
38	1_1_0_1_45_VZPERA_VOLANT	1
37	1_1_0_1_41_JEKL	4
36	1_1_0_1_32_JEKL_OHYB_BOK	2
35	1_1_0_1_46_PLATLE_BATT	2
34	1_1_0_1_42_PLATLE_SVAZ	1
33	1_1_0_1_39_VZPERA	4
32	1_1_0_1_36_PLATLE_ELMOT	4
31	1_1_0_1_33_JEKL_OHYB_BOK_B	2
30	1_1_0_1_1_PATERNI_40_40_3	1
29	1_1_0_1_2_NOSNY_30_30_2	2
28	1_1_0_1_3_JEKL_B_30_30_2	2
27	1_1_0_1_10_JEKL_B_30_30_2_ROVNY	2
26	1_1_0_1_5_JEKL	4
25	1_1_0_1_6_JEKL	1
24	1_1_0_1_7_TR1	2
23	1_1_0_1_11_PATER_JEKL_OHYB	1
22	1_1_0_1_9_NOSNY_40_40_2_HRAZDA_ZAVESENI	2
21	1_1_0_1_8_NOSNY_40_40_2_HRAZDA_ZAVESENI	2
20	1_1_0_1_12_JEKL_B_30_30_2_BATT_PR	1
19	1_1_0_1_13_PLECH_BATT	2
18	1_1_0_1_4_JEKL	2
17	1_1_0_1_13_JEKL_PRICKA_PRED	4
16	1_1_0_1_14_TR_PALUBNI	1
15	1_1_0_1_15_NARAZNIK	1
14	1_1_0_1_16_JEKL_ZAV	2
13	1_1_0_1_17_TR_PREDNI	1
12	1_1_0_1_18_JEKL_OHYB_INT	1
11	1_1_0_1_19_NOSNY_ZADEK	2
10	1_1_0_1_20_NARAZNIK_ZADEK	1
9	1_1_0_1_21_NARAZNIK_ZADEK	1
8	1_1_0_1_22_MASKA_ZADEK	1
7	1_1_0_1_23_NOSNY_30_30_2	1
6	1_1_0_1_24_BOK_ZKOS	4
5	1_1_0_1_25_PL_BOK	4
4	1_1_0_1_26_JEKL_VYPLET	1
3	1_1_0_1_27_JEKL_VYPLET_1	1
2	1_1_0_1_28_JEKL_VYPLET_1	1
1	1_1_0_1_29_JEKL_VYPLET_1	1
PC NO	PART NAME	QTY

SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE	
FIRST ISSUED	Marek	TITLE	RÁM ELEKTROMOBILU
DRAWN BY		SIZE	A0
CHECKED BY		DRG NO.	1_1_0_1_0_svarenc_ramu_dwg1
APPROVED BY		SCALE	1:1
		SHEET	1 OF 1

ALL DIMENSIONS IN MM