

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Студијски програм: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Индустијски дизајн

Број индекса: 327/2012

Мирослав М. Милојевић

**Конструисање, моделирање и визуелизација
рама Формуле студент**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Лозица Ивановић - ментор**
- 2. Др Мирко Благојевић**
- 3. Др Богдан Недић**

Датум одбране:_____

Оцена:_____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да конструише рам Формуле студент. Полазећи од прегледа истраживања и анализе постојећих решења потребно је утврдити ограничења и потенцијалне недостатке. Рам конструисати према захтевима и прописаним стандардима Формуле студент. Потребно је размотрити варијантна решења са становишта техничког, функционалног, ергономског, естетског и економског фактора. Изабрати оптималну варијанту конструкције рама и урадити анализу и проверу рама коришћењем алата из CAD софтвера.

Препоручена литература:

- [1] Лозица Ивановић: Индустијски дизајн, подлоге за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2012.
- [2] Ненад Марјановић: Методе конструисања, Машински факултет, Крагујевац 1999. год
- [3] 2014 Formula SAE® Rules. *SAE International*
- [4] Chartree Sithananun: SAE Student Formula Space Frame Design and Fabrication, AMM21 The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering, October, 2011
- [5] Александар Стефановић: Друмска возила – основи конструкције, Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета, Ниш 2010. год.

Крагујевац, фебруар 2014.

ментор:

Др Лозица Ивановић, ванредни професор

РЕЗИМЕ

Индустријски дизајн представља стваралачку активност чији је циљ да одреди формалне квалитете индустријски произведених предмета, као што су естетика, функционалност, компактност, ергономија и економичност. Са аспекта индустријског дизајна представљен је целокупан процес конструисања рама Формуле студент у више фаза. Формула студент представља мали тркачки аутомобил, конструисан по узору на формулу 1. Због повећања безбедности, постоји низ захтева у пропозицијама, који су испоштовани при конструисању и изради овог болида формуле. Најпре је приступљено прикупљању информација потребних за даље детаљно конструисање, што подразумева и преглед истраживања у свету на тему рама Формуле студент. Након тога, било је потребно дефинисати листу захтева и ограничења, а затим и циљ који је остварен кроз финални производ. Главни циљ је направити рам формуле, чија маса не сме да пређе 35 килограма, и задовољити торзиону крутост конструкције. Између осталог потребно је било и остварити што бољу аеродинамику, ергономију и што ниже тежиште конструкције. Разматрање већег броја идеја и концепција је извршено са аспекта свих кључних фактора, који фигуришу у дизајну рама формуле. Рам је дизајниран у софтверу „CATIA“, у коме је извршена и структурна анализа оптерећења помоћу методе коначних елемената. Након оптимизације изабране концепције, реалистично је приказан коначан дизајн рама.

Кључне речи: *индустријски дизајн, рам, Формула студент, конструисање...*

ABSTRACT

Industrial design represents creative activity whose purpose is to determine the formal qualities of industrially produced objects such as aesthetics, functionality, compactness, ergonomics, and economy. The entire process of constructing the frame of Formula student is in several stages presented from the perspective of industrial design. Formula student is a small racing car, based on construction of the Formula One. Due to security issues, there is a number of regulations that must be respected in the construction and design of the Formula Student. The first thing that was done was collecting the information needed to further detail the design, which includes an overview of world research on the frame of Formula Student. After that it was necessary to define a list of requirements and restrictions, and then a goal that is achieved through the final product. The main goal is to make a car frame of weight below 35 kilograms, and meet the torsional rigidity. Among other things, it was needed to accomplish better aerodynamics, ergonomics, and the lower weight of construction. Consideration of a number of ideas and concepts is done from the aspect of the key factors, that influence the frame design of Formula car. The frame is designed in the "CATIA" software, in which the structural analysis of the load using the finite element method is performed. After optimization of the selected concept, the final design of the frame is realistically shown.

Keywords: *industrial design, frame, Formula student, construction ...*

Садржај

Резиме.....	1
1. Увод	5
1.1 Увод у индустријски дизајн.....	5
1.1.1 Појам дизајна.....	5
1.1.2 Појам индустријског дизајна.....	5
1.2 Историјски развој индустријског дизајна.....	6
1.3 Фактори индустријског дизајна	8
1.3.1 Фактори индустријског дизајна у машинству.....	9
1.4 Уводна разматрања о возилу Формула студент.....	9
2. Преглед истраживања на тему рама Формуле студент.....	11
2.1 Преглед референци истраживачких радова.....	11
3. Методологија конструисања.....	13
3.1 Општа разматрања.....	13
3.2 Системско конструисање.....	13
3.3 Процес конструисања.....	14
4. Анализа улазних података и разрада задатка.....	16
4.1 Уводна разматрања о раму Формуле студент.....	16
4.1.1 Основни делови рама.....	18
4.1.2 Типови чворних веза рама.....	19
4.2 Планирање производа (општа разматрања).....	20
4.2.1 Планирање развоја рама формуле.....	21
4.3 Разрада техничког задатка.....	22
4.3.1 Анализа постојећих конструкција рама.....	22
4.3.2 Спецификација ограничења.....	26
4.3.2.1 Минимална маса конструкције.....	27
4.3.2.2 Чврстоћа.....	28
4.3.2.3 Аеродинамика.....	28
4.3.2.4 Пропозиције.....	29
4.3.2.5 Просторна ограничења.....	34
4.3.2.6 Технолоичност рама.....	36
4.3.2.7 Ергономија.....	37
4.3.2.8 Монтажа и демонтажа.....	38
4.3.2.9 Услови рада.....	38
4.3.2.10 Ниско тежиште.....	38
4.3.2.11 Естетика.....	38
4.4 Формирање листе захтева.....	39
5. Конципирање рама и дизајн новог решења.....	41
5.1 Конципирање конструкције (општа разматрања).....	41
5.1.1 Конципирање конструкције рама.....	42
5.2 Идентификација проблема при конструисању рама.....	43

5.3 Анализа принципа решења.....	44
5.3.1 Претраживање принципа решења који задовољавају дефинисане захтеве.....	44
5.3.2 Комбиновање принципа решења.....	45
5.4 Развој прелиминарног облика рама.....	45
5.4.1 Конструисање и позиционирање основних обруча рама.....	45
5.4.2 Повезивање бочне структуре и осталих елемената на предњем делу рама.....	47
5.4.3 Виртуелни тест пролаза импактора кроз рама.....	49
5.4.4 Конструисање погонског дела рама.....	50
5.4.5 Процена рама према техничким и економским критеријумима.....	53
5.4.5.1 Планирање распореда свих система и елемената и њихова просторна ограничења.....	53
5.4.5.2 Прерасподела система за ослањање.....	54
5.4.6 Реконструкција погонског дела рама.....	54
6. Анализа оптерећења рама.....	58
6.1 Анализа оптерећења која делују на рам са аспекта статике и динамике.....	58
6.1.1 Силе отпора при кретању возила.....	58
6.1.1.1 Сила отпора при котрљању.....	58
6.1.1.2 Сила отпора ваздуха.....	59
6.1.1.3 Отпори инерцијалних сила – сила отпора убрзања и кочења.....	60
6.1.2 Анализа сила отпора при кретању	60
6.1.3 Тежине свих елемената и система возила, тежина возача.....	61
6.1.4 Центрифугална сила	62
6.1.5 Сила узгона.....	62
6.1.6 Резиме оптерећења рама Формуле студент.....	63
6.2 Методе прорачуна и тестови оптерећења рама.....	64
6.2.1 Тест торзионе крутости.....	64
6.2.2 Тест савојне крутости.....	65
6.3 Компјутерска анализа конструкције рама.....	65
6.3.1 Метода коначних елемената (МКЕ).....	65
6.3.2 Софтвер за анализу методом коначних елемената.....	66
6.3.2.1 Предпроцесор.....	66
6.3.2.2 Солвер.....	66
6.3.2.3 Постпроцесор.....	66
6.3.3 Структурна анализа конструкције рама.....	67
6.3.3.1 Генерисање мреже коначних елемената и избор материјала.....	67
6.3.3.2 Анализа торзионе крутости.....	67
6.3.3.3 Анализа савојне крутости.....	68
6.3.3.4 Остале анализе рама у датим условима.....	69
7. Коначан дизајн рама Формуле студент.....	71
7.1 Оптимизација прелиминарне варијанте.....	71
7.1.1 Ојачање предњег дела рама.....	71
7.1.2 Ојачање ослонца главног обруча	72
7.2 Коначан приказ и визуелизација рама Формуле студент.....	73
7.3 Разматрање коначног решења са становишта кључних фактора.....	75
7.3.1 Анализа рама са аспекта минималне масе.....	75
7.3.2 Анализа рама са аспекта чврстоће.....	75

7.3.3 Анализа рама са аспекта аероднимике и пропозиције.....	76
7.3.4 Анализа рама са аспекта ергономије и просторних ограничења.....	76
7.3.5 Анализа рама са аспекта монтаже и демонтаже.....	77
7.3.6 Анализа рама са аспекта ниског тежишта и естетике.....	78
7.3.7 Анализа рама са аспекта технологичности.....	78
7.3.7.1 Технолошка припрема цеви.....	78
7.3.7.2 Процес израде конструкције рама.....	79
8. Закључак.....	80
Списак литературе.....	81

1. УВОД

1.1 Увод у индустријски дизајн

1.1.1 Појам дизајна

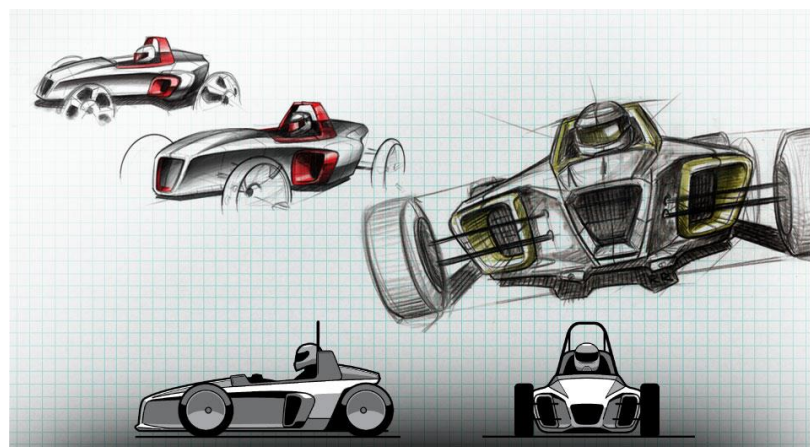
Енглеска реч „*Design*“ користи се и као именица, и као глагол, а односи се на процес израде плана за реализацију неке идеје, дакле на пројектовање. С обзиром на изванредно широк дијапазон подручја у коме је присутно пројектовање (машинство, архитектура, грађевина, намештај, мода, графички дизајн итд.), значење појма дизајн тумачи се увек у контексту неког од конкретних подручја стваралаштва. Под дизајном се, пре свега, подразумева примењена уметност, а затим наука и филозофија, чији је основни циљ да човекову околину прилагоди човеку, како би она постала што функционалнија и лепша. Дизајн је уметност, јер се њиме не могу бавити особе које немају изузетан осећај за лепо. Такође, дизајн се у одређеној мери сматра и науком, јер се заснива на појединим теоријским основама. Дизајн је и филозофија, због тога што се увек може дискутовати о томе да ли је нешто и зашто и колико, лепо или не.

Дизајн се дефинише као интелектуални, технички и креативни процес конципирања, конструисања и обликовања предмета, простора, услуга и визуелних комуникација. Представља интердисциплинарни делатност која повезује друштвене, хуманистичке и техничке науке са креативно-уметничком компонентом (дефиниција према ICSID-у: међународном удружењу индустријских дизајнера) [1]. Појам дизајн, као реч преузета из енглеског језика, постоји и у српском језику и култури од средине шездесетих година 20. века.

Треба разликовати дизајн индустријских производа (дизајн аутомобила, мотоцикала, телефона, апарата за домаћинство, намештаја, одеће и обуће, играчака, итд.), графички дизајн (дизајн књига, плаката, амбалаже, итд.), *WEB* дизајн, модни дизајн, дизајн текстила, дизајн накита, дизајн керамике и стакла, затим, дизајн ентеријера, сценски дизајн, еко дизајн, итд. [1, 2, 3].

1.1.2 Појам индустријског дизајна

Индустријски дизајн је стваралачка активност чији је циљ да одреди формалне квалитете индустријски произведених предмета. Ови формални квалитети укључују и спољни облик, али се првенствено односе на структурне и функционалне елементе, и односе, који један систем претварају у повезану целину и са становишта произвођача и са становишта потрошача. Такође, обухвата све аспекте човекове околине који су условљени индустријском производњом [1]. Примери цртежа дизајна Формуле студент приказани су на слици 1.1.



Слика 1.1 – Дизајн Формуле студент

Индустријски дизајн је комбинација примењене уметности и науке, која побољшава естетску, ергономску и употребну вредност производа. Улога индустријског дизајнера је да креира и извршава дизајнерска решења у односу на форму, употребну вредност, физичку ергономију, маркетинг, развој брэнда и продају [4].

Будући да се у изворном значењу реч дизајн дефинише првенствено као цртеж или пројекат, односно поступак пројектовања, а индустријски дизајн као пројектовање производа и предмета свакодневне употребе, који се производе индустријски, у тумачењу појма индустријског дизајна треба кренути од циља таквог конструисања.

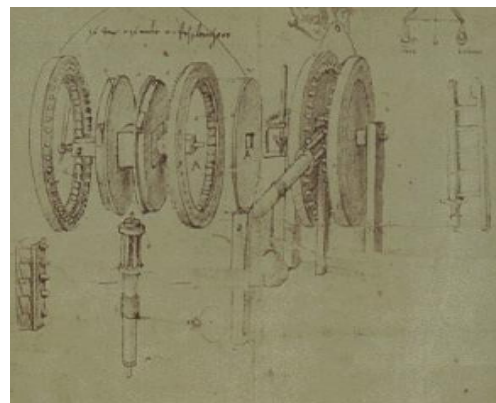
Основни циљ је пројектовање индустријских производа, и притом осигурати употребну вредност. Она се постиже применом конструкције коју одликује техничка функционалност. О томе брине конструктор, водећи рачуна о прикладности за производњу у планираној количини, тј. технологичности. Не мање битан фактор је прилагођавање човеку и прикладност за руковање или употребу, тј. ергономија. Секундарни циљ је и остварење профита продајом, кроз тржишну вредност, коју уз наведено подиже и допадљив изглед или естетика. Данас је уз све то постало нужно и уважавање свих еколошких захтева и мера за олакшање рециклаже.

Сматра се стваралачком активношћу, јер представља критично-вредносну делатност истраживања. Сам инжењер има задатак да селекује и разради релевантност података, елемената и фактора у циљу стваралачке-креативне иновације производа, његових функција и других квалитета. Индустријски дизајн се односи искључиво на производе машинске и серијске производње, што га одваја од занатског начина производње.

Развој производа је тимски рад, у коме равноправно учествују конструктори, технолози и дизајнери, и то од самог почетка конструктивне разраде. Структурна сложеност индустријског дизајна тражи поштовање одређеног организацијског модела. Свако свесно пројектовање захтева модел и методологију, која ће омогућити контролу процеса и пружити параметре за вредновање. У оном делу дизајна, који је близак уметничкој пракси, овакви модели неће бити од великог значаја, међутим у ономе што представља индустријски дизајн, методологија има велики значај. Дobar индустријски дизајн подразумева одређени квалитет производа, односно успостављање равнотеже између естетског и функционалног, производа и корисника, корисника и околине, што се може обезбедити кроз правилну примену методологије [1, 3].

1.2 Историјски развој индустријског дизајна

Историјски приказ индустријског дизајна почиње у периоду настанка машинске и серијске производње. Крајем 18. и почетком 19. века одвијао се поступни прелаз из феудализма у капитализам. У Енглеској су произвођачи све више улагали новац у стварање нових изума. Проналазак парне машине, а касније и проналазак мотора са унутрашњим сагоревањем и електромотора, изазвао је огроман преокрет у производњи, односно револуцију у индустрији. Серијска производња се развија, уводи се механизација и фабрички начин производње. Са индустријском револуцијом почиње и брз развој архитектуре и уметности.



Слика 1.2 – Прве конструкционе скице [1]

Друга половина 18. и прва половина 19. века је почетни период развоја дизајна. Први цртежи из 19. века приказани су на слици 1.2. У том периоду наука и многобројни изуми су се нагло развили. Изуми су имали у првом реду научну намену и облик им је био потпуно технолошког карактера (на пр. *Bell*-ов телефон из 1876., усисивач из 1907., телевизијски пријемник из 1926.). Понекад би обликом опонашали управо оне употребне предмете које су ефикасношћу премашили (трамвај на пару који имитира коња и кочију, или аутомобил у облику кочије). На развој индустријског дизајна утицао је пре свега развој архитектуре и инжењерства. У време док није постојала индустријска производња, није постојала битна разлика у стварању неког употребног предмета и скулптура, оба су били индивидуални производи. У тренутку кад се производња мења и постаје индустријска, обликовање производа престаје да буде уметност. Од тада се разликују уникатни предмети (настали уметничким занатством) и индустријски производи (индустријски дизајн). Када су употребни предмети почели индустријски масовно да се производе, било је потребно да се ослободе претераних украса којима се прикривала лоша израда или ружна форма. Претераност украса није лепа и назива се кич. Елементи кича прво се појављују у уметности 19. века као последица друштвених промена, односно појаве грађанског сталеза, процеса индустријализације и настанка масовне културе. Превладава мишљење да је кич уметност маса, карактеристика средње класе која имитирајући статусне симболе више класе покушава да се уздигне на њихов ниво. Међутим, то не мора искључиво да буде тако, јер је могућ и кич елите. Кич, као лош укус, у уметности настаје имитирањем појединих елемената уметничког дела, чиме се мења његово значење. Губи се уметничка вредност која постаје кич вредност. Крајем 19. века у Енглеској се јавила идеја о повезивању уметника и индустријске производње, како би се улепшали индустријски производи, а отклониле имитације и кич. Спајање уметности и индустријске производње покренуо је у Енглеској Вилијам Морис (*William Morris*) (*Arts and Crafts*) већ крајем 19. века, али су њихови производи били индивидуални и богато декорисани, дакле нису били у складу с модерним настојањима. Под његовим утицајем 1907. године у Минхену је основан „Немачки савез занатских и индустријских произвођача“ (*Deutscher Werkbund*). Једна од струја у том удружењу тежила је стандардизацији индустријских производа најбоље прилагођених намени, као и новим материјалима и техникама. Делатност „*Werkbunda*“ унапређује и развија Валтер Гропијус (*Walter Gropius*), који оснива специјализовану школу за истовремено бављење свим врстама обликовања – **Баухаус**, 1919. године у Вајмару (*Weimar*), приказана на слици 1.3. У тој школи заједно су радили уметници и занатлије, а циљ је био да се стамбени простор с намештајем и употребним предметима уједини јединственим духом, функционалношћу и једноставношћу. Према схватању Баухауса, предметима не треба додавање украса, који би скривали или поправљали ружне и безобличне делове, него треба те делове обликовати на леп, уметнички начин и предмет ће бити леп сам по себи. Под утицајем појединих праваца модерне уметности (експресионизма, кубизма а посебно неких грана апстрактне уметности), који су тежили поједностављењу и проналазили нове облике, обликовање употребних предмета добија ново значење – постизање функционалности предмета као креативан чин. Идеје Баухауса поштују се и данас у начелима индустријског дизајна: јединство намене (функције), поштовања материјала и процеса серијске производње [1, 4].



Слика 1.3 – Школа Баухаус 1919. година

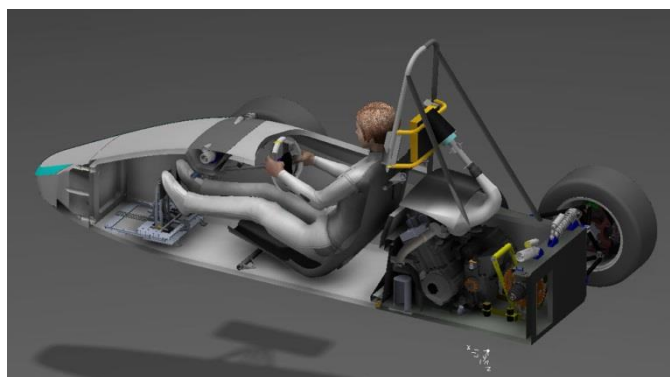
1.3 Фактори индустријског дизајна

Естетика: Естетика је наука о лепом. Естетика као грана филозофије, бави се посебним обликом људског стваралаштва — уметношћу. Естетика испитује лепо и вредно у уметности, суштину уметничког стварања и доживљаја уметничког дела.

Мотивација: Подразумева се психолошко стање позитивног или негативног стимуланса човека у односу на предмет са којим кореспондира. Мотивација ће стимулисати или дестимулисати човека да производ користи или га уопште купи.

Функција: Може да се дефинише као прилагођеност предмета испуњавању одређене намене, односно као сврха предмета. Функционалан је онај предмет који обликом следи своју намену. Анализа инжењера мора да пође од одређивања функције или намене производа, а у складу са диктираним потребама. Сваки предмет има свој одређени дијапазон основних и додатних функција, које одређују функционалну комплексност производа.

Ергономија: Ергономија је наука која се бави дизајном производа тако да они најбоље буду прилагођени људском телу. То је интердисциплинарна наука која се бави системом човек-машина како би се машина прилагодила човековим био-психо ограничењима како би употреба машине била ефикаснија, безбеднија и поузданија. Под појмом машина подразумева се сваки материјални предмет са којим човек долази у додир. На слици 1.4 приказано је експериментално тестирање ергономије возача, која представља битан фактор приликом дизајна целокупне формуле.



Слика 1.4 – Ергономија дизајна Формуле студент

Механизам: Од физичко-конструкционих услова који одређују производ директно ће зависити његов коначан облик. Разумљиво је, да ће улога механизма условити коначан облик неког предмета зависно од конкретног случаја: код компактних предмета улога механизма биће значајнија него код мање компактних.

Структура: Структура би могла да се дефинише као опис врста и категоризација елемената и њихових међуодноса у једном систему. У овом смислу структура је комплекснија категорија од механизма, јер зависи осим од физичких и технички датих околности функционисања и од употребљеног материјала, начина производње, завршне обраде и сличних ограничења.

Производња: Производња сама по себи диктира облик производа. Циљ је да дизајнирани производ има такав облик да његова производња буде што једноставније.

Економичност: Правилним обликом производа дизајн рационализује радни процес, стандардизује структуралне делове производа; економска пропаганда информисе тржиште о произвођачу и производу, да би на бази тога осигурала пласман. Дизајн, дакле синтетише све аспекте производње и потрошње у јединствени систем, што је основни предмет његовог рада.

Презентација: Дизајн сам по себи мотивише на куповину производа, али он садржи и једно значајније обележје: добар дизајн мора јасно да упозори на начин и карактер коришћења производа. Дакле, спољашњи облик предмета мора да презентује његову функцију [1, 19].

1.3.1 Фактори индустријског дизајна у машинству

Приликом конструисања и пројектовања једног индустријског производа у области машинства, постоји низ фактора који у мањој или већој мери утичу на коначан дизајн производа. Конструктор у фази разраде дизајна једног производа мора водити рачуна о следећим факторима:

Фактори првог приоритета:

- Функција, намена, структура, начин израде и технологичност (одливци, одпресци, откивци, делови предвиђени за обраду резањем, деформисањем, заваривањем) величина, маса, врста материјала, ергономски захтеви, безбедност, сигурност функционисања (степен сигурности: који се дефинише као однос критичног и радног напона), естетски захтеви преко облика, боје и визуелне комуникације, величина серије, рок испоруке, уговорени квалитет, радни век трајања.

Фактори другог приоритета:

- Степен искоришћења, степен аутоматизације, потрошња енергије, уговорена цена, склапање, монтажа, подешавање, означавање, испитивање, уградња.

Фактори трећег приоритета:

- Конзервација, паковање, амбалажа, складиштење, транспорт, одпакивање, деконзервација, руковање, експлоатација, сервис, одржавање, ремонт, утицај атмосфере, биолошки фактори, рециклажа, еколошки фактори, специјални захтеви (законски прописи, уговори, лиценце, могућност финансирања, рад при повишеним и сниженим температурама, рад на повишеним вибрацијама, херметичност, центричност, еластичност, крутост, једноставност монтаже и демонтаже, експлозивна заштита, хигијенски захтеви, могућност надоградње, итд.), лични захтеви (укус, навике, престиж, мода, комфор, пол, старосно доба, раса итд.).

1.4 Уводна разматрања о возилу Формула студент

Међународна асоцијација инжењера из ауто-мото сфере (SAE - *Society of Automotive Engineers*) покренула је пре више од три деценије интернационално такмичење на коме би студенти техничких факултета представљали своје универзитете на јединствен начин – правећи болиде по узору на формулу 1 (слика 1.5). Циљ такмичења јесте да се знање стечено на факултетима примени у пракси те да млади људи стекну одређени вид обуке и искуство које ће их припремити за будуће професије. Тимови студената имају посебан задатак да дизајнирају, израде и тестирају прототипове аутомобила, а све у складу са бројним и строго утврђеним правилима. Циљ младих инжењера је да приликом овог дизајна теже конструкционим иновацијама, и конструишу болид са што бољим перформансама и са мање финансија. Главни циљ јесте да фактор који представља однос квалитета и цене буде што већи. Мерило квалитета болида огледа се у дизајну, иновацијама при изради, безбедности, и наравно, перформансама возила.



Слика 1.5 – Такмичење Формула студент

Ради повећања безбедности студената на такмичењу, постоји низ прописа и ограничења који се морају испоштовати при конструисању и изради формуле, како би се стекла дозвола за такмичење. Највеће ограничење подразумева коришћење погонског агрегата запремине до 610 cm^3 . Најчешће се користе агрегати мотоцикала ове класе, од којих је најчешће у употреби агрегат Јамахе, Хонде или Сузукија (*Yamaha, Honda, Suzuki*). Као друго велико ограничење јесте смањење пречника усисне гране за ваздух на 22 mm. Фабричка усисна гране је пречника око 50 mm, што значи да се количина протока ваздуха смањује за више од 50%. Са овим ограничењима болид ће знатно смањити своју брзину и снагу, тако да је његова максимална брзина негде око 120 km/h до 150 km/h, у зависности од конструкције болида и његових перформанси. Убрзање болида такође умногоме зависи од конструкције и дизајна каросерија са аспекта аеродинамике, и оквирно је око 3 до 4 секунде од 0 km/h до 100 km/h. Поред ова два велика ограничења постоји и низ других геометријских ограничења. Међуосовинско растојање прописано је минимално 1525 mm, док је нека оптимална вредност између 1570 mm и 1620 mm, где болид постиже најбоље перформансе. Међуосовинско растојање директно утиче на стабилност возила у кривина, масу целокупног болида и његову управљивост. Приликом дизајна рама или других система на возилу, прописано је низ геометријских ограничења која се морају испоштовати везаних за ергономију и безбедност возача, положај мотора, као и минимална оптерећења која поједини елементи морају да издрже у току трке и такмичења. Такође прописане су и минималне карактеристике материјала који се користе за израду рама и елемената других система. Приликом дизајна комплетног болида посебан акценат се ставља на што мању потрошњу горива, економску исплативост израде (циљ је да за што мање новца се изради што бољи болид), што бољу аеродинамику и што ниже тежиште и мања маса возила.

Дизајн болида Формуле студент, има јако широк дијапазон значења. Сам избор габаритних димензија возила и њихова усклађеност (укомпонованост) са свим система јако је битна не само за естетику, већ и за боље перформансе возила (аеродинамика, стабилност, брзина и убрзање). Дужина болида Формуле студент креће се у просеку између 2800 mm и 3100 mm, висина у просеку између 1100 mm и 1500 mm, а ширина у просеку око 1500 mm.

И поред свих ових услова, студенти су у могућности да направе веома брзе и атрактивне болиде, који привлаче доста пажње у току израде, на самом такмичењу и дуго након одржавања истог. Један од примера оваквих типова болида је приказан на слици 1.6. Формуле студент најчешће касније бивају изложене на факултету чији студенти су их направили, и предмет су великог интересовања.



Слика 1.6 – Болид Формуле студент тима из Хамбурга

2. ПРЕГЛЕД ИСТРАЖИВАЊА НА ТЕМУ РАМА ФОРМУЛЕ СТУДЕНТ

Пре него што се започне са процесом дизајна и конструисања рама Формуле студент, потребно је приступити истраживању радова писаних на ову тему. Разлог ових истраживања јесте детаљно сагледавање свих аспеката анализе производа оваквог типа, и самим тим прикупљање што већег броја информација. Потребно је испитати начин на који се приступа конструисању просторног рама, све кључне факторе који су битни приликом процеса дизајна и њихове приоритете, као и развој и усавршавање рама кроз историју и његову оптимизацију.

2.1 Преглед референци истраживачких радова

Биће приказан кратак преглед истраживачких радова који говоре о процесу дизајна и израде просторног рама Формуле студент и опште анализе о самом возилу. Радови у свету који обрађују ову тему, претежно су писани од стране студената и професора, који сарађују на пројекту „Формула студент“.

Аутори референце [5] Chartree Sithananun, Chomchan Leelaphongprasut, Chinnadit Baitiang су се базирали на истраживању тима са Тајландског Универзитета у области дизајна и поступка израде просторног рама Формуле студент. Главни захтеви у процесу конструисања био је да маса рама не буде већа од 30 kg, и торзиона крутост не буде мања од 1200 Nm/°. Торзиона крутост представља особину отпора рама да се деформише приликом деловања момента увијања. Модел у процесу конструисања је урађен у програму „CATIA“, где је такође извршена структурна анализа помоћу методе коначних елемената. Детаљно је описан и приказан поступак израде рама. Када је рам физички израђен, урађен је експериментални тест торзионе крутости, где је утврђена тачна вредност торзионе крутости.

Аутори референце [6] су се базирали на допуни претходне референце [5]. Рад се своди на поређење нумеричке анализе методом коначних елемената и експерименталне методе одређивања торзионе крутости. У претходном раду разлика између нумеричких и експерименталних резултата, била је велика око 38%. Сходно томе поново је урађена нумеричка анализа у другом програму и према другом принципу, као и експериментални тест који је другачије постављен. Овога пута разлика ове две анализе била је око 5%, што је прихватљиво.

У раду [7], чији су аутори Mohd Azman, Abdullah, Muhd Ridzuan, су приказане две верзије дизајна рама тима са Универзитета из Малезије из 2012. године. За дизајн и анализу методом коначних елемената коришћен је софтвер „CATIA V5 R20“. Коришћене су квадратне цеви 25x25 mm за један, и комбинација цеви кружног и квадратног пресека за други дизајн. Урађено је неколико нумеричких анализа, у које спадају тест торзионе крутости, убрзања, кочења, савијања и удара. Затим је направљено поређење степена сигурности у свим тестовима између првог и другог дизајна. Разлике између степена сигурности једног и другог дизајна су јако мале.

Рад [8] формиран је као извештај једног тима са Америчког универзитета. Оптимизација и анализа рама методом коначних елемената извршена је у програму SolidWorks, истоименог тима. Урађена су два нумеричка теста, испитивање торзионе крутости и испитивање рама на савојну крутост. Такође је урађена и динамичка френквенционална анализа рама. Затим је описан принцип припреме цеви на веома једноставан начин помоћу одштампаног шаблона на папиру за сваку цев појединачно. Приказан је принцип израде рама уз помоћ стезних алата направљених од дрвених дасака.

Аутори референце [9] Edmund F. Gaffney III and Anthony R. Salinas, приказали су рад једног Америчког универзитета, у коме је детаљно описана методологија дизајна система за ослањање и рама. Полазни фактори при дизајну рама јесу свакако ослањање, мотор и положај возача. Дизајн рама уско је повезан са дизајном система за ослањање, тако да су они узајамно повезани. Рам је дизајниран и анализиран софтверски такође методом коначних елемената. Урађени су тестови торзионе и савојне крутости, који задовољавају. Модел је дизајниран из једног дела, тако да су занемарени заварени чворови, а резултати су апроксимирани одговарајућим фактором.

У референци [10] је на почетку детаљно приказана анализа пропозиције везане за конструисање рама, и издвојени су сви важни параметри и услови који се морају задовољити приликом дизајна. Циљ је направити чврст, лак и јефтин рам. Дизајн и структурна анализа урађени су у програму SolidWorks. Детаљно је описан поступак конструисања рама, који се претежно своди на ограничења прописана у пропозицијама. Такође детаљно је описан поступак анализе методом коначних елемената. Затим је приказан прорачун при избору апсорбера удара и процес дизајна каросерије.

Аутор А.Ј. Кемпа рада [11] базирао се на дизајну задњег дела рама тима са Универзитета у Ајндховену, из Холандије. Циљ је конструисање задњег дела рама, који може да повеже све компоненте за електрични погон возила. Пре него што је започет процес дизајна, постављени су циљеви коначног дизајна, као и кратак осврт на пропозиције које се морају испоштовати. Затим је усвојена листа захтева, након које је урађено неколико концепцијских варијанти, од којих је на крају изабрана једна. Следећи корак је израда макете реалних размера ради сагледавања ергономије, и структурна анализа у програму „FEMAP“.

Референца [12] представља званични детаљни извештај тима Чалмерс из Шведске, који је светски првак у класи Формуле студент. Рад је подељен у две фазе. Прва фаза приказује њихову методологију рада, и начин функционисања тима. Друга фаза детаљно приказује дизајн решења свих система, као начин на који су дошли до коначног дизајна, који су постављени циљеви пре почетка дизајна, који су битни фактори за сваки систем појединачно. Приказани су и процеси структурних анализа свих система.

3. МЕТОДОЛОГИЈА КОНСТРУИСАЊА

3.1 Општа разматрања

Конструисање се може дефинисати као процес трансформације идеје за реализацију неког новог производа у пројектну документацију која представља основу за његову производњу. У прошлости, на ниском нивоу производних снага, знања и технологије, конструисање и израда су се одвијали истовремено. Замисао за неки производ је стварана, разрађивана и реализована у радионици. Услед развоја људског друштва јављале су се потребе за све већим бројем различитих производа, у све већим количинама и са све сложенијим карактеристикама. Развој науке и технологије пратио је и омогућавао задовољење тих потреба. Осмишљавање нових производа могли су да раде људи који поседују виши ниво знања и искуства. Временом се конструисање издваја из процеса производње у заокружену целину вишеструко повезану са производњом и експлоатацијом.

Конструктори су знања стицали искуством, упознавањем са раније развијеним решењима, праћењем производње и експлоатације, стицањем теоријских научних и стручних знања, итд. Тада се конструише углавном по угледу на постојећа решења, уз мање или веће измене и побољшања. Побољшања конструкција су постепена. Производ се временом, од серије до серије, од произвођача до произвођача, побољшава, а при томе основне особине и принципи функционисања остају непромењени. Потпуно нове конструкције, засноване на до тада не примењиваним принципима су ретке и настају као плод изузетне надарености и надахнућа конструктора. На овај начин је технички напредак постао зависан од индивидуалних особина и инспирације појединца.

Индустријска револуција и нагли развој потреба за новим производима нису могли да прихвате постојеће стање. Конкурентски односи произвођача и ширег окружења су стимулисали развој одређених поступака који би осигурали и убрзали долажење до нових решења. У том смислу, посебна пажња се посвећује рационализацији процеса конструисања која се одвија у следећа два правца:

- Увођење методологије конструисања са циљем да се до нових решења дође применом одређене процедуре. Створен је читав низ различитих метода које подстичу нове идеје и размишљања као и њихову ефикасну реализацију, при чему оне не могу потпуно надоместити или искључити индивидуалне квалитете које конструктор треба да поседује.
- Увођење механизације и аутоматизације у процес конструисања, што се данас, у првом реду, остварује применом савремене рачунарске технике. Поред брзог и поузданог обављања рутинских послова, нагли развој рачунара и промена тзв. “вештачке интелигенције” омогућава им да обављају све већи део креативних активности. На тај начин се однос послова које обавља човек и рачунар у процесу конструисања стално повећава у корист рачунара.

3.2 Системско конструисање

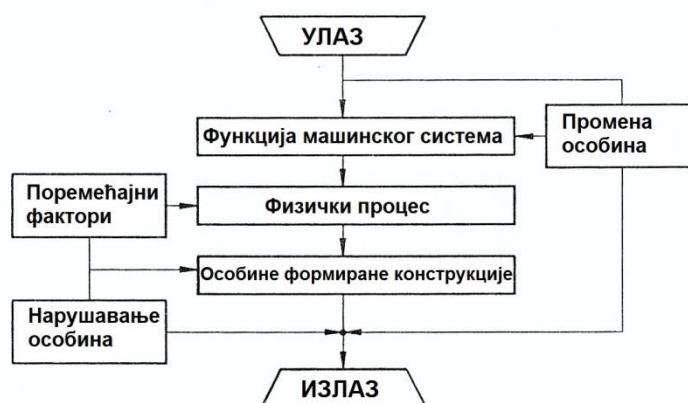
Пошто у поступку реализације производа конструисање има одлучујући утицај на његову техничку и економску вредност, конструктор мора тежити приступу који обезбеђује поуздано решавање постављеног задатка. У том смислу он треба да поседује специфичне вештине и знања на којима се заснива системски приступ и процедура.

Системско конструисање приказано је на слици 3.1 и треба да:

- подстиче директан приступ проблему, што значи да мора бити применљиво на све конструкторске активности, без обзира на њихове специфичности,

- стимулише инвентивност и суштинско разумевање проблема и тиме олакшава изналажење оптималних решења,
- буде компатибилно са концептима, методама и резултатима других дисциплина,
- не зависи од случаја, односно да буде применљиво на различите задатке,
- олакшава примену познатих решења на разматране задатке,
- буде прилагођено електронској обради података (примени рачунара),
- буде лако за учење и
- одражава модерни научни приступ руковођењу, тј. да смањује количину утрошеног рада, штеди време, спречава људске грешке и помаже остварењу општих интереса.

Један овакав приступ ће водити конструктора ка могућим решењима брже и поузданије од неког другог.



Слика 3.1 – Системско конструисање [13]

3.3 Процес конструисања

Процес конструисања почиње идејом да се развије нови производ, а завршава се испитаним прототипом. Резултат овог процеса је пројектна документација која представља подлогу за производњу. Решавање проблема конструисања обавља се у више међусобно повезаних фаза коришћењем принципа анализе и синтезе. Свака фаза представља заокружену целину сачињену од више операција. У овом процесу се иде од квалитативног ка квантитативном, што значи да се у сваком новом кораку врши конкретизација, побољшање и доградња претходног корака. У свакој фази процеса конструисања се обезбеђују подаци неопходни за наредну фазу али се, на основу тих података, могу критички процењивати и резултати претходних фаза.

У процесу конструисања конструктор се среће са различитим проблемима. Да би се дошло до оптималног конструкционог решења за постављени технички задатак потребно је проћи кроз неколико узастопних тачно дефинисаних фаза, приказано на слици 3.2. Главне фазе процеса конструисања су:

- разрада постављеног задатка,
- конципирање конструкције,
- формирање конструкције,
- детаљно конструисање.

Фаза разраде техничког задатка обухвата прикупљање информација о захтевима и ограничењима које поставља технички задатак. Ова фаза се извршава детаљном разрадом спецификација техничког задатка, односно формирање листе захтева.



Слика 3.2 – Фазе процеса конструисања [13]

Фаза конципирања конструкције обухвата одређивање структура функција, тражења принципа решења за поједине функције и њихово комбиновање у варијанте концепције. Потребно је формирати више различитих варијанти концепције и изабрати најбољу по техничким и економским критеријумима. Све кораке у овој фази треба детаљно и пажљиво проћи, јер је евентуалне недостатке тешко или немогуће отклонити у наредним фазама.

Фаза формирања конструкције обухвата избор распореда, облика и димензија делова и склопова на основу изабране концепције. Извршава се кроз два корака, формирањем прелиминарног (претходног) и дефинитивног (завршног) пројекта. Обично се ради више варијанти прелиминарног пројекта да би се добиле информације о предности и недостацима појединих варијанти.

Фаза детаљног конструисања обухвата коначан избор распореда, облика, димензија и материјала делова и склопова, карактеристика површина и проверу техничке и економске прихватљивости. У оквиру ове фазе врши се и израда и провера целокупне документације потребне за производњу и експлоатацију пројектованог машинског система [13].

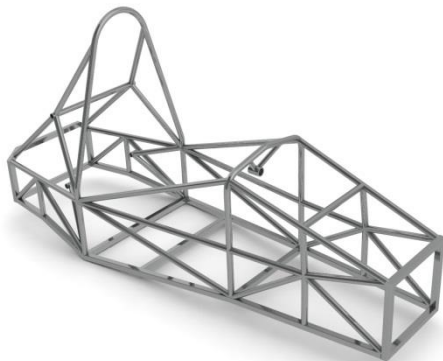
4. Анализа улазних података и разрада задатка

4.1 Уводна разматрања о раму Формуле студент

Рам возила је веома важан део и при конструкцији возила му се посвећује посебна пажња, пошто је оптерећен веома високим оптерећењима (статичким и динамичким) [14]. Под рамом возила подразумева се систем елемената који има основни задатак да возилу обезбеди крутост и омогући причвршћивање осталих склопова возила.

Разликујемо два различита типа рамова који се користе код возила Формула студент:

- просторни решеткасти рам, приказан на слици 4.1,
- монокок једноделни рам, приказан на слици 4.2.



Слика 4.1 – Просторни решеткасти рам



Слика 4.2 – Монокок једноделни рам

Монокок једноделни рам, као што сама реч каже израђен је из једног дела, најчешће од карбон фибера. Овакав тип рамова спада у специјалне рамове и формуле са овим рамом сврставају се у посебну категорију. Ретко је у употреби првенствено због високе цене, и сложености израде и саме везе са осталим системима. Далеко чешће је у употреби просторни решеткасти рам, на коме је овај рад и базиран.

Пред рам се такође поставља као задатак да исти буде лак, омогући задржавање облика при дејству сила насталих у току вожње у екстремно тешким али унапред предвиђеним условима, сходно сврси возила. Из тих разлога рам се израђује по принципима лаке челичне конструкције. Под лаким челичним конструкцијама подразумевају се рамови у облику решетке, састављени од великог броја појединачних цеви, састављених у облике разнокраких троуглова, чији се врхови спајају у чворове, као што је приказано на слици 4.1. Поједине цеви оваквог рама одликују се тиме да су исте оптерећене само на притисак и истезање али не и на савијање. Цевасти рамови се у принципу примењују код спортских возила, стога што имају велику чврстину а мале су тежине. Један од битних недостатака овакве конструкције је релативно скупља израда, укључујући профилисање цеви, велики број места за заваривање, алате за позиционирање цеви и слично, што све значајно поскупљује производњу [21].

Основне функције рама су:

- повезивање и обједињавање свих осталих система на возилу,
- прихватање и преношење свих оптерећења која делују на возило Формуле студент (тежине свих елемената возила, силе отпора при кретању, сила тежине возача, силе инерције, силе од управљања возилом, силе кочења и убрзања, ударне силе и друго),
- ергономија самог возача, као и његова заштита у току вожње [22].

Рам возила Формуле студент, дефинише геометрију комплетне формуле и повезује следеће системе возила: мотор, пренос снаге, системе за ослањање, кочење и управљање, системе за хлађење, систем за довод горива, апсорбер удара, каросерија, седиште и појасеви.

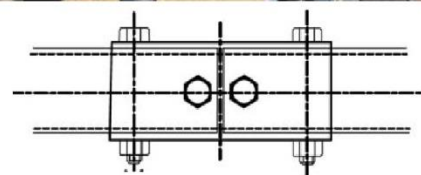
Пројектовање и израда рама представља велики изазов, јер велики број фактора утиче на његову коначну верзију. Рам се састоји од великог броја цеви које су повезане, и израђене најчешће од челика који мора да има карактеристике дефинисане пропозицијама такмичења. Осим челика у употреби су и посебни композитни материјали на бази алуминијума и титанијума, али је њихова цена јако велика, те је највећу примену има челични рам. Што се тиче профила цеви у употреби су најчешће танкозидне цеви кружног попречног пресека, а поред њих користе се и цеви танкозидног квадратног попречног пресека.

Веза цеви рама може да се оствари на два начина:

- *Завареним спојем* уколико је потребно да веза буде чврста и нераздвојива. Зависно од врсте материјала прописује се одређени поступак и технологија заваривања (слика 4.3.),
- *Раздвојивом завртањском везом*, уколико је потребно да се тај део рама привремено демонтира због монтаже или демонтаже неког елемента на формули (на пример мотор). Цеви се чеono спајају помоћу чауре монтирана преко цеви и четири завртња везана унакрсно. На слици 4.4 приказан је пример у пракси, и испод је дата шема везе.



Слика 4.3 – Заварена веза цеви



Слика 4.4 – Раздвојива веза цеви [15]

Да би возило било спремно за такмичење мора да задовољи сва правила прописана у правилнику. Главни захтеви за конструисање рама, јесте маса буде што мања и торзиона крутост већа од 1200 Nm/° [5], и што је могуће буде већа. Показатељ успешности дизајна рама са аспекта ова два захтева јесте коефицијент α , који представља однос торзионе крутости и масе рама и потребно је да буде што већи. Приказан је једначином:

$$\alpha = \frac{K}{M}, \quad (1)$$

где је је:

α – коефицијент квалитета конструкције [Nmkg/°],

M – маса целокупног рама [kg],

K – Торзиона крутост [Nm/°].

Торзиона крутост је особина рама да се супротстави оптерећењу које настаје приликом деловања момента увијања. Дефинише се као однос момента увијања и угла увијања и приказан је у једначини:

$$K = \frac{T}{\theta}, \quad (2)$$

где је је:

T – Момент увијања [Nm],

θ – Угао увијања [°].

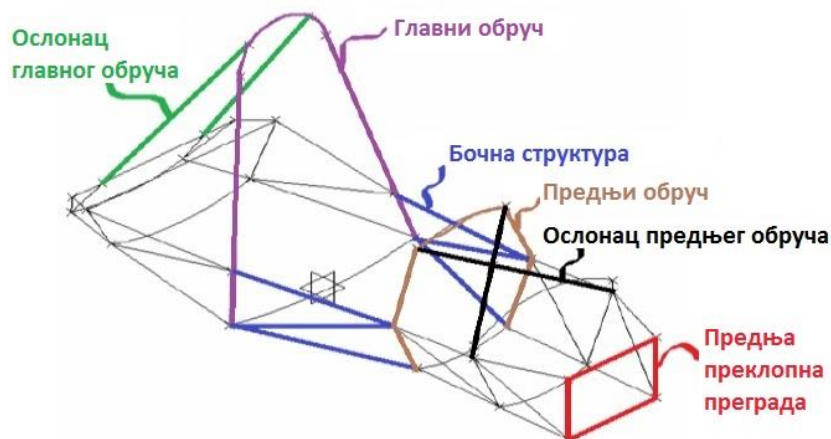
4.1.1 Основни делови рама

Просторни рам представља једну јако сложену решеткасту конструкцију, на којој се могу уочити, издвојити и дефинисати његови основни елементи, који су приказани на слици 4.5. Ради боље прегледности и уочавања елементи рама означени су различитим бојама. Најпре, рам се може поделити у три основне зоне:

- **Зона погонског дела формуле** (представља задњи део рама, и налази се иза главног обруча „Main Roll Hoop“, и у њој је смештен мотор, мењач, пренос снаге, систем за довод горива, усисни и издувни систем. Ова зона рама захтева велику чврстоћу и крутост због распореда маса возила, чија су тежишта претежно позади, које теже да услед инерције у кривини или при кочењу возила, деформишу рам на извијање),

- **Зона отвореног дела кабине возача** (представља средишњи део рама у коме је смештен возач и седиште за возача. Појасеви су у овој зони везани у шест тачака. У већини случајева тежиште целокупног болида Формуле студент налази се у овој зони),

- **Зона затвореног дела кабине возача** (представља предњи део рама у коме се налазе возачеве ноге и систем педала. Овај део рама је комплетно покривен, одозго и са стране каросеријом, а одоздо обичним лимом најчешће).



Слика 4.5 – Главни и основни делови рама [5]

Основни елементи рама приказани на слици 4.5, могу се дефинисати на следећи начин:

- **Главни обруч (Main Roll Hoop):** Приказан је љубичастом бојом – Највећи обруч савијен из једног дела који се налази иза леђа возача. Повезује предњи и задњи део рама формуле, и самим тим његов положај предваја зону кабине возача и зону погонског дела формуле. Представља један од два основна обруча који одређује висину и положај возача у болиду формуле.

- **Предњи обруч (Front Roll Hoop):** Приказан је светло браон бојом – Такође је обруч који је савијен из једног дела, и који се налази непосредно испред возача, изнад његових ногу, на коме су везани волан и контролна табла, те његова геометрија дефинише њихов положај. Уз главни обруч, спада у два основна обруча рама. Његов положај одваја отворену зону кабине возача где се налази седиште, и затворену зону кабине, где се налазе возачеве ноге и систем педала.

- **Предња преклопна преграда (Front Bulkhead):** Приказана је црвеном бојом – Представља први сегмент на раму у облику квадрата или правоугаоника, на који се са предње стране везује апсорбер удара. Геометрија овог елемента дефинише простор за возачеве ноге, као и линију аеродинамике. Због додатног ојачања на овај елемент може се дода још једна дијагонала цев.

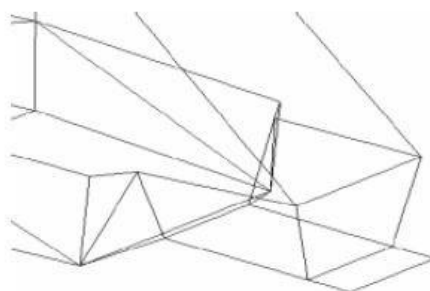
- **Бочна структура (Side Impact structure):** Приказана је плавом бојом – Преставља хоризонтално и дијагонално постављене цеви које имају задатак да заштите возача од бочних удара. Постављене су са бочних страна (леве и десне стране рама) у зони кабине возача на средишњем делу рама. Према пропозицијама морају бити на тачно одређеној висини, и конструисане тако да возач веома брзо може да напусти возило.

- **Ослонац главног обруча (Main Hoop bracing):** Приказан је зеленом бојом – Представља две дијагоналне цеви које подупиру и чине ослонац и ојачање главног обруча са задње стране. Ови елементи рама могу бити везани и раздовјивом везом, управо из разлога лакше монтаже и демонтаже мотора, првенствено због ослобађања простора на задњем делу рама.

- **Ослонац предњег обруча (Front Hoop bracing):** Приказан је црном бојом – Представља две дијагоналне цеви и паралелне цеви (зависно од саме конструкције и дизајна рама) које подупиру и чине ослонац и ојачање предњег обруча са његове предње стране. Често овај елемент повезује предњи обруч и предњу преклопну преграду.

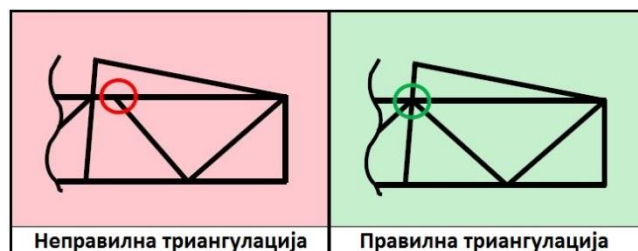
4.1.2 Типови чворних веза рама

Инжењерски развој процеса конструисања рама базира се на начину повезивања танкозидних цеви у чворове. Као што је већ наглашено, да рам представља једну веома сложену решеткасту конструкцију, и сходно томе распоред елемената (цеви) и начин њихових повезивања у чворове јако је битан. Најпре, рам се може посматрати као мрежа сачињена од већег броја елемената. Један елемент може бити јако неправилног облика и разликује се неправилан троугаони и четвороугаони елемент, на замишљеној мрежи рама, или као комбинација троугаоних и четвороугаоних елемената. Принцип везе четвороугаоних елемената назива се ректангулација и приказан је на слици 4.6.



Слика 4.6 – Принцип ректангулације [5]

Ректангулација се није најбоље показала, па је триангулација почела да се користи све чешће, и готово је немогуће направити добар рам без триангулације. Сходно томе челници такмичења Формула студент прописали су као једно од правила да се триангулација мора користити (слика 4.7). Принцип триангулације огледа се у томе да сваки елемент на замишљеној мрежи буде троугао, и да се свака цев сустиче у искључиво у чвори, тако да се најмање четири цеви сустичу у једном чвору.



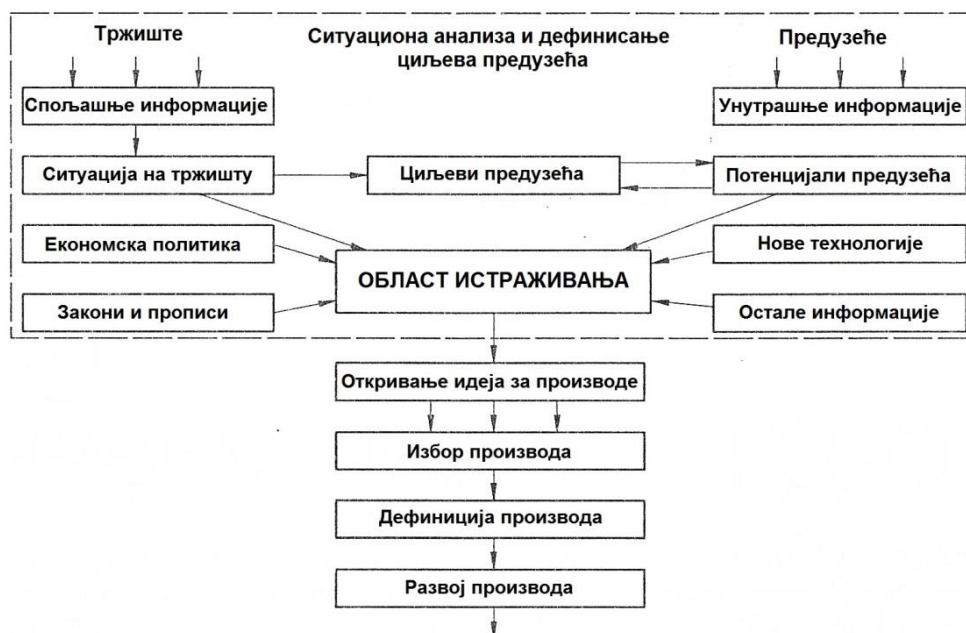
Слика 4.7 – Принцип триангулације [15]

4.2 Планирање производа (општа разматрања)

Планирање производа представља систематско тражење, избор и развој идеја за производима који ће обезбедити одређене ефекте. Идеје за стварање нових или побољшаних постојећих производа могу настати из унутрашњих и спољашњих извора. Унутрашњи извори предлога техничких процеса се јављају унутар самог производног система (у производном предузећу или самосталном конструкционом или развојном бироу). Они потичу од конструктора, руководиоца, технолога, инжењера одржавања и осталог техничког особља које ради у дотичном производном систему. Спољашњи предлози потреба потичу од наручиоца, понуда других произвођача или истраживачких организација, предлога других предузећа, итд.

На слици 4.8 шематски је приказан системски приступ планирања производа, који се састоји из следећих фаза:

- *Ситуациона анализа и дефинисање циљева тима или предузећа* обухвата анализу тржишта и разјашњавање потенцијала и циљева предузећа и представља важан корак у успешном планирању производа.
- *Откривање идеја за производе* представља главну потешкоћу у процесу планирања производа. Потребно је применити научно – систематски приступ и методе за откривање нових идеја.
- *Избор производа* између више различитих идеја има битног утицаја на даљи развој производа. На овом нивоу избор производа је доста груб због недовољно информација о примени усвојених идеја и особинама производа које тек треба развити.
- *Дефинисање производа* представља задњу фазу планирања производа. Укључује спецификацију најважнијих захтева и особина које се постављају пред производ [13].



Слика 4.8 – Системско планирање производа [13]

Са тржишта се добијају спољашње информације и економску ситуацију на тржишту, које могу утицати на планирање производа. Директно из предузећа, које је повезано са израдом производа добијамо информације о технологичности саме израде производа.

4.2.1 Планирање развоја рама формуле

Планирање једног сложеног производа као што је рам, захтева детаљну разраду и прикупљање свих потребних информација битних за конструисање, као и истраживање на тржишту и у самој привредној области (слика 4.9).

Што се тиче тржишних истраживања, најпре је анализирано тржиште са аспекта набавке свих потребних материјала за израду рама, свих могућих полуфабриката који се могу користити за рам. Потребно је увидети све могућности на тржишту (куповну моћ). Истражене су све фирме и veleprodajни трговински центри за челичне полуфабрикате цеви. Пошто је домаће тржиште недовољно, истраживања су проширена и на инострана тржишта, почевши од земаља региона све до централне и западне Европе.



Слика 4.9 – Тимско планирање производа

Други аспект истраживања тржишта је економија, што подразумева дефинисање цена свих материјала које задовољавају наше потребе, транспорта, увоза, царине, таксе, трошкови потребних услуга (заваривање, пескарење, фарбање, технолошка припрема...) и осталих административних трошкова. Трећи аспект је анализа закона и прописа приликом куповине материјала. Законски је прописано да куповином материјала морамо да поседујемо сву потребну папирологију о материјалу који се користи. Затим потребно је да након заваривања рама имамо сертификат о атесту заваривача, у зависности од прописаног поступка заваривања.

Што се тиче истраживања привреде, подразумева се детаљна анализа свих инжењерских и производних могућности које су нам на располагању у процесу израде рама. Ту спадају истраживања у области инжењеринга, могућности коришћења софтвера, потребних анализа и тестирања које су нам на располагању. У области производње потребно је истражити све могућности у области заваривања, обраде метала резање, припрема цеви на одређеним машинама који су нам доступна. Најпре су анализирани фирме и предузећа која се налазе у непосредној близини, а затим се круг анализе постепено проширује уколико резултати анализе не задовољавају. Поред тога потребно је прикупити све остале информације које су важне за реализацију производње рама, као што су анализе људског ресурса са којим се располаже, могућност коришћења радионичког простора и свих потребних алата и стезних прибора, и слично.

4.3 Разрада техничког задатка

Технички задатак представља улаз у процес конструисања и настаје услед техничких потреба и планирање производа са циљем да се постојеће техничко стање промени и обогати у корист човека. Поставка техничког задатка се добија или од наручиоца или од одељења која се баве планирањем у оквиру предузећа или тима. Иако је ограничен идејама и захтевима других, конструктор треба својим знањем и радом да обезбеди највећи утицај у средњорочном и дугорочном планирању. Планирање производа представља систематско тражење, избор и развој идеје за производима који ће обезбедити одређене ефекте.

Технички задатак се формира на основу захтева, услова, ограничења и жеља које се постављају пред будућу конструкцију. Често је технички задатак дефинисан од стране купца, али је неопходно да конструктор разради задатак и да га усагласи са наручиоцем и извођачима. Резултат разраде техничког задатка треба да буде спецификација, односно детаљан опис захтева, који се обично изводи у облику листе захтева.

Захтеви се деле на:

- *Чврсте захтеве* који морају бити у потпуности испуњени, па се њихово испуњење не квалификује при вредновању појединих решења.
- *Жеље* представљају захтеве које треба испунити у што је могуће већој мери. Оне се могу користити, у каснијем вредновању конкретних решења, као упоредне оцене појединих варијанти. При томе је погодно да се жеље класификују по важности.

Без обзира на врсту захтева (чврсти захтеви или жеље) они се могу изразити:

- *Квантитативно* – где су сви подаци исказани нумерички (бројевима), као на пример: димензије, број потребних елемената, максимална маса, пренета снага, итд.
- *Квалитативно* – где су подаци о захтевима изражени описно, као на пример: погодност руковања, отпорност на воду или корозију, естетски изглед, итд.

Захтеви могу бити врло разноврсни у зависности од конкретног проблема који се решава. Они се, пре свега, односе на остварење техничке функције уз одређене техничке и економске услове и ограничења и могу се поделити на:

- Функцију која се у листи захтева дефинише описно уз неопходне скице, димензије, материјал који треба предвидети, енергију коју треба користити итд. Нумерички и описни подаци важни за одвијање функције треба да буду јасно и прецизно унети у листу захтева.
- Радна својства се односе на квалитет извршења функције, погодност одржавања, поузданост и сигурност у раду, радни век итд.
- Ергономска својства проистичу из односа човек (руковалац) – машина и у првом реду се односе на безбедно и лако руковање или на аутоматизацију управљања.
- Технолошка својства треба да олакшају производњу и да је прилагоде производној опреми којом располаже произвођач.
- Услове испоруке који обухватају рокове за израду и/или пројектовање и друге сродне услове.
- Економске услове који обухватају захтеве у погледу трошкова, цена и других захтева економске природе.

Поред ових, у неким случајевима се могу дефинисати и друге групе захтева, као што су:

- спољни изглед (естетика), склапање и расклапање, транспорт и монтажа.

Листа захтева као и поставка техничког задатка представљају део конструкционе документације, па је погодно да њен облик (формат) буду усклађен са стандардима који се користе у дотичном предузећу или тиму. У листи захтева треба да буду јасно и прецизно унети и класификовани сви захтеви који су претходно наведени [13].

4.3.1 Анализа постојећих конструкција рама

Формула студент као класа формуле постоји више од 30 година, и према томе историјски развој овог возила, па самим тим и рама је значајан. Највећи развој возила Формуле студент огледа се управо у развоју рама, који представља највећи изазов за младе студенте конструкторе. Конструисања рама у великој мери подстиче креативност и иновације код младих инжењера и дефинише пропорцију и геометрију целокупног возила, тако да самим тим има и своју тежину у конструисању, јер је засигурно најодговорнији део на возилу Формула студент. Прва формула конструисана је 1981. године, где су у употреби биле јако тешке цеви квадратног попречног пресека, и приказана је на слици 4.10.



Слика 4.10 – Историјски приказ првих конструисаних возила Формула студент

Са слике 4.10 може се закључити да су прве конструкције рама биле доста једноставније, и није се толико водило рачуна о појединим битним факторима као што су ергономија и аеродинамика. Како се развијао процес конструисања рама из године у годину, постојао је све већи број фактора који су утицали на коначан дизајн рама. Самим тим и процес израде рама из годину у годину био је све сложенији, али са развојем технологије израде и стезних алата, могућност његове израде успешно прати повећање сложености геометрије рама.

Приликом дизајна рама, постоји велики број фактора, који утичу у већој или мањој мери на коначан дизајн. Битнији фактори, који се дефинишу као чврсти захтеви, јесу аеродинамика, минимална маса, задовољавајућа чврстоћа и ергономија возача. На основу низа фактора који утичу на дизајн рама, постоји велики број комбинација решења. Сходно томе, могу се уочити карактеристични типови рама, који су приказани у даљем тексту.

Рам са равном доњом линијом

Главна карактеристике овог рама, је та што има равну доњу линију, која је паралелна тлу, од почетка до краја рама. Предност оваквог типа рама, приказаног на слици 4.11, је једноставна и практична израда, јер се доње цеви могу израдити из једноделних цевних комада. Недостатак је мања аеродинамична својства у односу на рам са подигнутим предњим и задњим делом рама. Бољи тимови се претежно не одлучују за овакве типове рама, који је карактеристичан за почетничке тимове.



Слика 4.11 – Рам са равном доњом линијом

Рам са неравном доњом линијом



Главна карактеристика овог типа, приказаног на слици 4.12, је та што има доњу линију рама која није равна, састоји се из више нивоа, а паралелна је тлу. Најнижи део рама је средњи део у коме се налази возач, а најнижа тачка је у близини равни тежишта рама. Предњи део рама је издигнут како би се постигла боља аеродинамика, и већа сила потиска на предњем делу. Задњи део рама такође је подигнут због боље стабилности у кривини и управљивости. Израда оваквог типа рама је сложенија.

Слика 4.12 – Рам са неравном доњом линијом

Рам са додатном бочном конструкцијом



Овакви типови рамова (слика 4.13) имају доста ојачани средњи део, са додатном конструкцијом са леве и десне бочне стране возача. За ову конструкцију се везују хладњаци за мотор, учвршћују бочни усисници каросерије, и ако је у питању возило у класи електро погона, у овом делу се смешта батерија која захтева повећи простор и чврсту и сигурну везу са рамом. Додатна конструкција знатно проширује средњи део рама, што повећава масу целокупног рама.

Слика 4.13 – Рам са додатном бочном конструкцијом

Рам са вертикалним главним обручем

Главни вертикални обруч предваја две зоне на раму и представља ослонац за возача. Његов положај дефинисаће и положај наслона возача. Уколико је главни обруч вертикалан (90° у односу на тло), највећа предност је у нешто једноставнијој изради, него када се налази под углом. Недостатак је, незнатно мања аеродинамика, због мањег отпора ваздуха. Већина тимова користи вертикални главни обруч, као што је приказано на слици 4.14.



Слика 4.14 – Рам са вертикалним главним обручем

Рам са нагнутим главним обручем

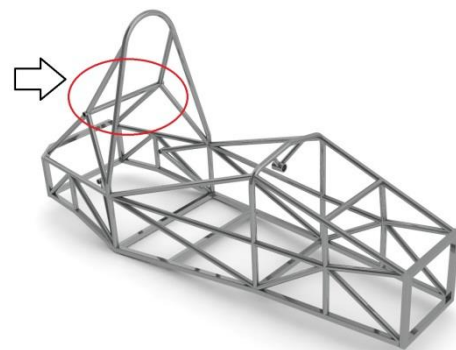


Уочљива карактеристика рама овог типа (слика 4.15) је та што је главни обруч савијен до десет степени у односу на вертикалу. Израда је мало сложенија, али је за нијансу и смањен отпор ваздуха, а самим тим је и мало побољшана аеродинамика. Тимови често конструишу рам са благо нагнутим главним обручем за пар степена максимално, због сложености израде. Код оваквог типа рама, се често користи увучен ослонац за раме.

Слика 4.15 – Рам са нагнутим главним обручем

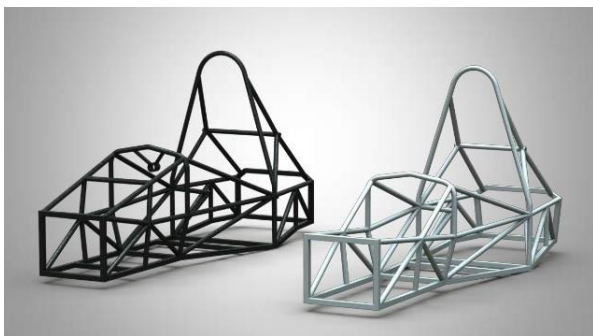
Рам са увученим ослонцем за раме

Под „ослонцем за раме“ подразумева се хоризонтална цев, која по пропозицијама мора имати дебљину зида као и главни обруч, и постављена је иза возача у висини рамена. За ову цев се везују две главне тачке везе за појасеве. Најчешће ова цев је заварена на главном обручу између леве и десне његове стране. У овом случају као на слици 4.16, она може бити и увучена, те се тиме добија простор да се положај возача помери уназад.



Слика 4.16 – Рам са увученим ослонцем за раме

Рам са карактеристичним предњим делом



Предњи део рама болида може имати два карактеристична типа приказаних на слици 4.17, и умногоме геометрија овог дела дефинише аеродинамику. Ослонци предњег обруча могу директно бити повезани са преклопном преградом, где је драстично смањен отпор ваздуха. Са друге стране ови ослонци могу бити изломљени тако да се повећава отпор ваздуха. Ово су два примера доброг дизајна (лево) и лошег дизајна (десно) на слици 4.17.

Слика 4.17 – Карактеристични примери предњег дела рама

Рам са оштрим задњим делом

Ово је јако карактеристичан тип рама (слика 4.18), који последњих године у све већој мери многи тимови узимају у разматрање. Разлог примене овакве конструкције је повећање торзионе крутости задњег дела рама, при чему се ослонци главног обруча директно везују за задњи доњи део рама, који је облику шпица. Оваква геометрија умногоме може да закомпликује могућност монтаже осталих система. Сходно томе потребно је детаљно испланирати задњи део рама.



Слика 4.18 – Рам са оштрим задњим делом

Рам са кутијастим задњим делом



Овај тип карактеристике задњег дела рама, приказан на слици 4.19, је присутан на готово свим рамовима, пре свега због већег простора и складније пропорције целокупног возила. Повећање торзионе крутости добија се додавањем дијагоналних цеви и формирањем триангулације. Конструкција задњег дела рама зависи од концепције возила и може бити мањих и већих димензија. Углавном се за њега везује задњим систем за ослањање.

Слика 4.19 – Рам са кутијастим задњим делом

Рам са додатним задњим кућиштем

Такође овај тип рама (слика 4.20) је јако карактеристичан, и има неколико својих изричитих предности и недостатака. Доста се разликује од стандардних сличних задњих делова рама, јер се додатно кућиште (најчешће од алуминијума) причвршћује на доста скраћен рам. Кућиште је уско и дугачко, и на њега се са бочне стране везује задњи систем за ослањање, а горња страна је предвиђена за везивање амортизера. Недостатак оваквог типа је смањена чврстоћа задњег дела рама.



Слика 4.20 – Рам са додатним задњим кућиштем

Рам са скраћеним задњим делом

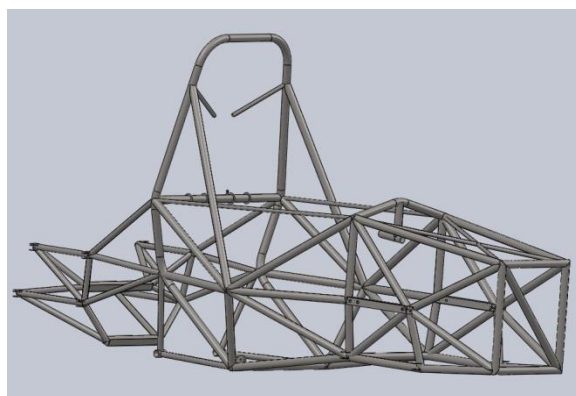


Конструкција задњег дела рама оваквог типа, приказана на слици 4.21, последњих година се све више примењује код бољих тимова. Предности су велике, и то највише смањење масе и компактност конструкције. У овом случају диференцијал и полу-вратила се налазе иза рама, и елементи система за ослањање морају бити искошени у погледу одозго, те оваква концепција задњег дела возила захтева детаљно планирање и конструисање, што представља једини недостатак у овом случају.

Слика 4.21 – Рам са скраћеним задњим делом

Рам са карактеристичном бочном конструкцијом

Према бочној конструкцији разликује се већи број карактеристичних типова рама, од којих се може издвојити звездаста конструкција приказана на слици 4.22, која повећава крутост средњег дела рама, али умногоме може да закомпликује израду и повећа концентрацију напона. Као најчешћа варијанта користи се стандардна бочна структура која је прописана и додаје се још једна цев са горње стране која може бити постављена дијагонално или хоризонтално.



Слика 4.22 – Рам са звездастом бочном конструкцијом

4.3.2 Спецификација ограничења

Као што је већ претходно напоменуто, на дизајн једног оваквог производа, рама Формуле студент, који представља сложену просторну решеткасту конструкцију, у мањој или већој мери утиче огроман број фактора. Потпуно је немогуће апсолутно задовољити све факторе, те се најпре морају одредити приоритети свих утицајних фактора. Што је већи број захтева који се морају испунити, и приоритетних фактора који утичу на коначан дизајн рама, креативност и слобода у процесу дизајна и конструисања је све мања.

Функција: Основна функција једног рама Формуле студент је пре свега повезивање свих компоненти система и мањих и већих елемената на возилу формуле студент. Конструкција рама чини базну основу возила, која апсолутно мора да издржи све врсте статичних и динамичких оптерећења која се јављају приликом вожње.

Циљ: Главни циљ једног конструктора производа оваквог типа, јесте да конструише рам који ће да задовољи све унапред дефинисане захтеве, а да коначан дизајн производа буде што лакши (има што мању масу) и буде што чвршћи. Притом се тежи ка томе да возило има што боље перформансе, које умногоме зависе од геометрије коначног дизајна рама.

На основу дефинисане функције и циља, потребно је одредити све факторе који утичу на коначан дизајн рама, и груписати их према приоритетима. На слици 4.23 приказан је блок дијаграм свих утицајних фактора на процес конструисања. Црвеном стрелицом означени су изразито чврсти захтеви који утичу на процес конструисања, а жутиим стрелицама означени су фактори који у мањој или већој мери утичу на процес конструисања.



Слика 4.23 – Блок дијаграм утицајних фактора на процес конструисања

У току процеса конструисања конструктор тежи остварењу циља који је унапред дефинисан. Рам Формуле студент мора у сваком смислу да задовољи његову функционалност, а то је могућност повезивања свих система и безбедност самог возача у току вожње, која обухвата степене сигурности и издржљивост рама на све врсте оптерећења којима је рам изложен.

4.3.2.1 Минимална маса конструкције

Минимална маса или тежина конструкције је засигурно захтев број један кога се конструктор мора придржавати приликом процеса конструисања рама Формуле студент. Главна је тежња да тежина целокупног возила буде што мања, а самим тим и тежња да сваки систем који се конструише и израђује појединачно има што мању тежину. Смањење тежине може се остварити коришћењем композитних и специјално легирајућих материјала, као и добрим конструкционим решењем која ће задржати задовољавајућу чврстоћу и поред смањења тежине. Постоји низ добрих разлога због чега се тежи смањењу масе возила. Маса као физичка величина директно утиче на интензитет оптерећења која се јављају на раму, најпре као статичка вредност, а затим као и динамичка вредност. Услед масе током кретања возила, ствара се инерцијална сила која највећи интензитет постиже приликом кочења, скретања и убрзања возила у току вожње на стази. Сходно томе смањењем масе директно ће се смањити интензитет статичких и динамичких оптерећења које трпи рам као основа возила Формуле студент. Поред претходно наведеног, смањењем масе возила постиже се већа потенцијална могућност за постизањем бољих перформанси формуле у трци и другим динамичким дисциплинама. Брзина и убрзање возила обрнуто су пропорционални маси возила. Још један веома битан фактор на који утиче маса целокупног возила јесте потрошња горива, где се наравно тежи да потрошња буде што мања.

Према истраживањима о раду других светских Формула студент тимова у конструисању и израду рама, биће постављен захтев за максималну тежину конструкције рама:

Максимална тежина конструкције рама: $m_{max}=35\text{ kg}$

4.3.2.2 Чврстоћа

Чврстоћа представља један јако комплексан захтев, који изискује детаљна истраживања у области механике и отпорности материјала. Уско је повезан са претходним захтевом минималне масе, јер представља његову обрнуто пропорционалну вредност. Што је маса рама мања, његова чврстоћа је мања, а са повећањем масе рама повећава се и чврстоћа. Сходно томе, потребно је пронаћи оптималну вредност и баланс између чврстоће и масе рама, те је главна тежња конструктора да направи што чвршћи, а што лакши рам. Како би се постигао у потпуности или бар приближно унапред дефинисани циљ, потребно је доста искуства, детаљне анализе и времена. Главни показатељи чврстоће конструкције рама јесу тестови на торзиону крутост и савојну крутост.



Торзиона крутост се сматра најмеродавнијим тестом који показује чврстоћу рама, јер је рам најкритичнији при напрезању на увијање изазвано инерцијалним силама при скретању возила у кривини на стази. Тест се може извести експериментално или нумерички помоћу одговарајућег софтвера, а принцип теста приказан је на слици 4.24. Други и допунски тест који показује да ли чврстоћа задовољава је тест на савојну крутост. Он се такође може извршити експериментално или нумерички.

Слика 4.24 – Принцип теста торзионе крутости [7]

Према истраживањима о раду других светских Формула студент тимова у конструисању и израду рама, биће постављен захтев за минималну торзиону и савојну крутост.

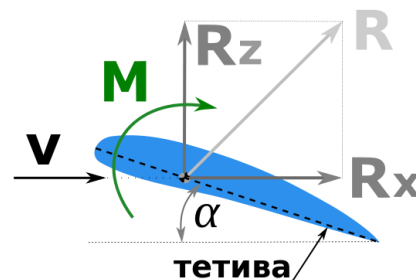
Минимална торзиона крутост: $K_{min}=1500 \text{ Nm/}^\circ$

Минимална савојна крутост: $S_{min}=1800 \text{ N/mm}$

4.3.2.3 Аеродинамика

Аеродинамика (од грч. αἴρ, aēr, aéros — ваздух, и δύναμις, dynamis — сила) је наука која се бави кретањем ваздуха у односу на чврста тела. Према том примењеном принципу релативног кретања, анализа феномена се изводи аналогно случају када тело мирује у струјном пољу ваздуха. Ова замена референтног стања је усвојена у теоријској аеродинамици, али је она уједно и основа већине експерименталних метода, нарочито аеротунелских испитивања. Теорија струјања и физикалност кретања чврстих тела изучавају међусобно дејство ваздуха и тела. То дејство се одређује у облику потенцијала поља опструјавања, расподеле притиска, сила и њихових момената. Општа аеродинамика се бави дефиницијом аеродинамичких карактеристика, коефицијената аеродинамичких сила и момената, познатог облика и геометрије [17].

У оквиру овог захтева, првенствено се подешава облик и геометрија рама у циљу побољшања опструјавања и постизања њених бољих аеродинамичких карактеристика, и тежњи идеалном аеродинамичном облику – облику „сузе“. У оквиру дизајна рама, није главни циљ постизање што мање аеродинамичке силе и момента, већ њихових компонената. Узгон R_z је компонента укупне аеродинамичке силе, нормална на правац брзине кретања, а отпор R_x је компонента у правцу кретања, и приказани су на слици 4.25.



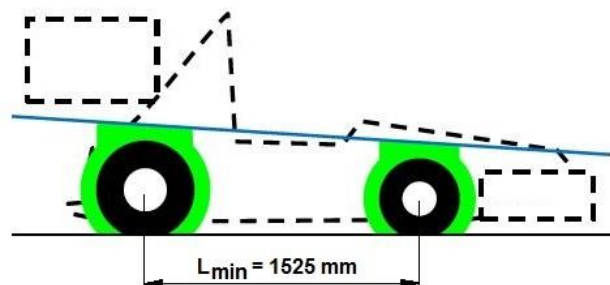
Слика 4.25 – Компоненте аеродинамичке силе [17]

4.3.2.4 Пропозиције

Пропозиције за такмичење Формула студент представља званичан документ издат од стране Међународне асоцијације инжењера из ауто-мото сфере (*SAE Internationale*), који чини скуп свих прописаних правила којих се млади конструктори морају придржавати приликом конструисања и израде возила Формуле студент. Конкретно за конструисање и израду конструкције рама, постоји низ прописаних правила којих се мора придржавати, везаних за геометрију, попречни пресек цеви, материјал од који су цеви израђене, безбедносна правила и слично.

1) Минимално међуосовинско растојање

Прописано је минимално међуосовинско растојање које се односи на целокупно возило, и износи 60 инча, односно 1525 mm, приказано на слици 4.26 [15]. Међуосовинско растојање доста утиче на даљи развој и дизајн рама, тако да је ова вредност једна од полазних основа за даљи развој конструкције рама Формуле студент.



Слика 4.26 – Минимално међуосовинско растојање возила

Усвојено међуосовинско растојање: $L=1600\text{ mm}$

2) Карактеристике цеви конструкције рама

У пропозицијама су прописане минималне димензије спољашњег пречника челичних цеви и дебљине зида за сваки елемент на раму посебно. Димензије су дате у табели 4.1.

Табела 4.1 – Минималне димензије цеви [15]

Елементи рама (оригинални називи на енглеском)	Спољашње димензије и дебљине зида цеви
Main & Front Hoops, Shoulder Harness Mounting Bar.	- цев кружног пресека 1 inch (25.4 mm) x 0.095 inch (2.4 mm), или 25 x 2.5 mm
Side Impact Structure, Front Bulkhead, Roll Hoop Bracing, Drivers Restraint Harness Attachment, EV: Accumulator Protection Structure.	- цев кружног пресека 1 inch (25.4 mm) x 0.065 inch (1.65 mm) или 25 x 1.75 mm - квадратна цев 1 inch x 1 inch x 0.049 inch или квадратна цев 25x25x1.25 mm или квадратна цев 26x26x1.2 mm
Front Bulkhead Support, Main Hoop Bracing Supports, Other structure EV: Tractive System Components.	- цев кружног пресека 1 inch (25,4 mm) x 0.049 inch (1,25 mm) или 25 x 1,5 mm - цев кружног пресека 26 x 1,2 mm

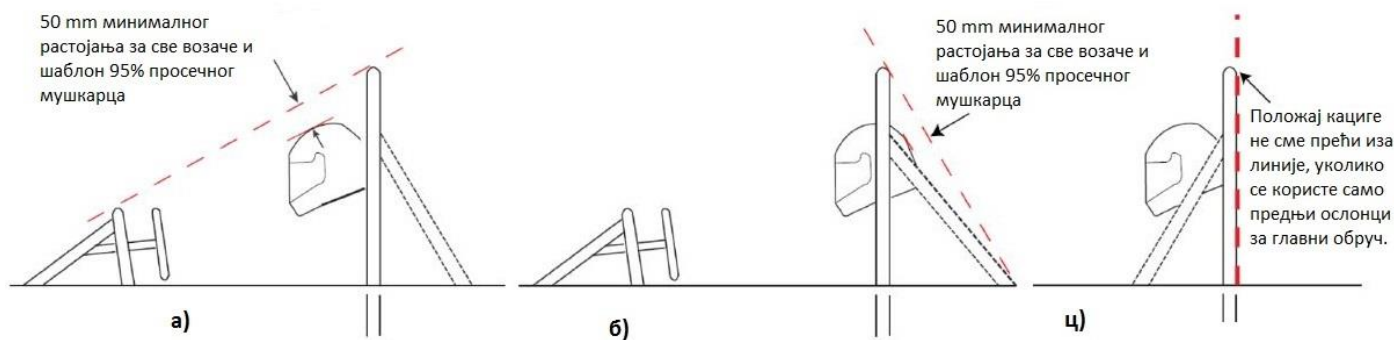
Што се тиче материјала, прописан је челик са минималних садржајем угљеника од 0,1% и минималних механичких карактеристика које су дате у табели 4.2.

Табела 4.2 – Минималне механичке карактеристике челика за цеви [15]

Назив	Назив на енглеском	Минимална вредност
Јангов модул (E)	Young's Modulus (E)	200 MPa
Граница течења (R_{eH})	Yield Strength (S_y)	305 MPa
Затезна чврстоћа (R_m)	Ultimate Strength (S_u)	350 MPa

3) Положај кациге возача

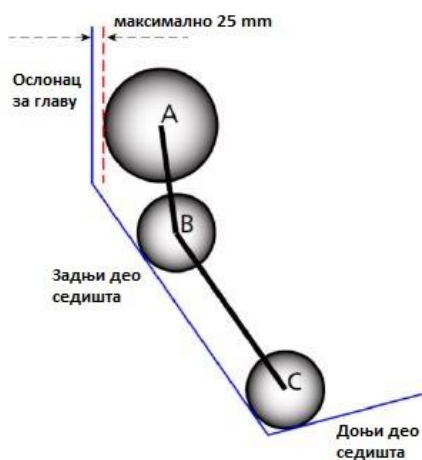
Ради повећања безбедности самог возача, прописано је неколико правила везаних за положај кациге у односу на поједине сегменте рама, а самим тим и на положај возача. У односу на ово ограничење, врши се конципирање одређених сегмената рама, као што су главни обруч, предњи обруч и ослонци главног обруча. На слици 4.27 приказана су три захтева везана за безбедност возача. Захтеви се односе се на минимално растојање између кациге и повучене замишљене линије која спаја врх главног обруча и врх предњег обруча (слика 4.27 под а), минимално растојање од задњег дела кациге до замишљене линије повучене од врха главног обруча до дна задњег ослонца за главни обруч, и на то да уколико се користи само предњи ослонац као ојачање за главни обруч на раму, кацига у нормалном положају возача не сме да пређе задњу линију главног обруча.



Слика 4.27 – Ограничења везана за безбедност возача: (а) предње ограничење, (б) задње ограничење и (ц) ограничење у случају коришћења само предњег ослонца за главни обруч [15]

4) Положај и шаблон тела возача

Такође овај захтев у пропозицијама представља једно од безбедносних правила. Ради стандардизације простора у кабини за возача, на основу научне анализе дефинисане су димензије и пропорције 95% просечног мушкарца на свету. Сходно тим димензијама формиран је шаблон за возача, ког конструктор рама мора да се придржава. Конструисање рама представља у великој мери и дизајнирање кабине возача, која је саставни део рама, где ергономија возача има велики утицај на сам процес конструисања.



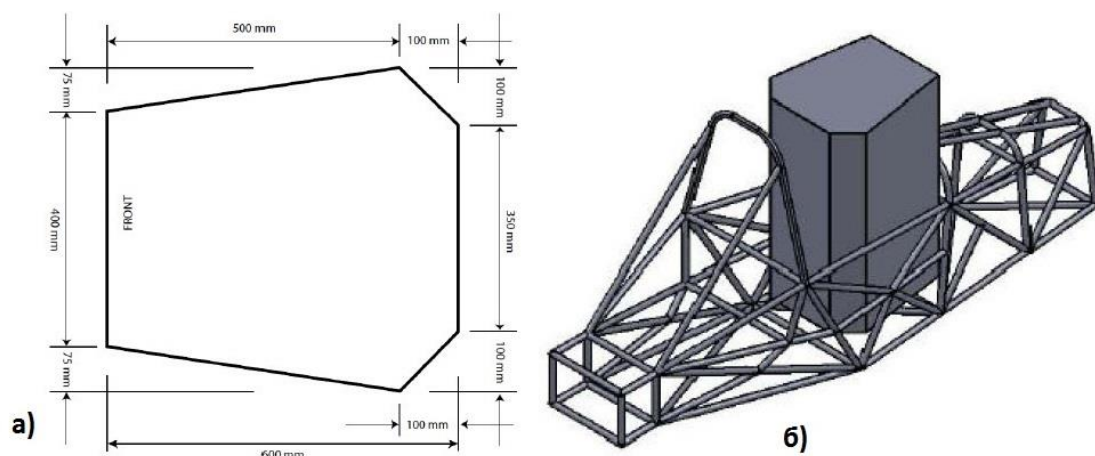
Дефинисани шаблон приказан је на слици 4.28 у виду шеме која представља и импровизује возача. Круг А пречника је 300 mm, и упрошћено представља главу са кацигом возача. Притом кацига може максимално бити удаљена 25 mm од површине ослонца за главу, у основном положају возача. Круг Б представља раме возача и пречника је 200 mm, а круг Ц представља куку возача и пречника је 200 mm. Линија која спаја тачку А и тачку Б дужине је 280 mm, и представља растојање између центра возачеве кациге и рамена. Линија која спаја тачку Б и тачку Ц представља растојање између центра рамена и кука возача и износи 490 mm. Прописано је минимално растојање између центра кука возача и предње површине предале које износи 915 mm, на које конструктор рама мора да обрати пажњу приликом димензионисања рама [15].

Слика 4.28 – Шематски приказан шаблон возача

5) Пролаз импактора

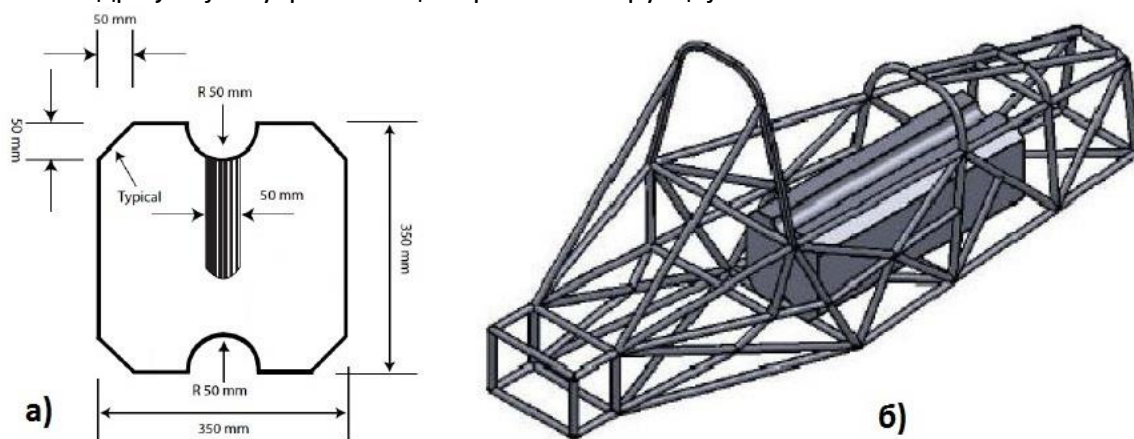
Овај захтев у пропозицијама односи се габаритне, тј. унутрашње максималне димензије кабине возача. Ради обезбеђивања довољног простора унутар кабине за возача, пре свега због ергономије и удобности самог возача, прописане су димензије одређених импактора (шаблонски израђених предмета) чији пролаз мора несметано да се омогући кроз рам у хоризонталном и вертикалном правцу.

На слици 4.29 приказан је цртеж хоризонталног импактора са свим димензијама, као и виртуелни тест пролаза овог импактора кроз конструкцију рама Формуле студент. У овом тесту, потребно је да се омогући несметани пролаз (приликом пролаза не сме бити контакта импактора и цеви рама) импактора у вертикалном правцу кроз средњи део рама, у простору предвиђеном за седиште возача, све док импактор не пређе горњу цев бочне структуре [15].



Слика 4.29 – Приказ хоризонталног импактора: (а) цртеж импактора са свим димензијама и (б) виртуелни тест пролаза хоризонталног импактора кроз конструкцију рама [10, 15]

На слици 4.30 приказан је цртеж вертикалног импактора са свим димензијама, као и виртуелни тест пролаза овог импактора кроз конструкцију рама. У овом тесту, потребно је да се омогући несметани пролаз импактора у хоризонталном правцу дуж кабине возача. Потребно је да импактор има несметани пролаз све до 100 mm испред предње површине педала формуле. Конструктор приликом конструисања рама мора да предвиди положај педала како би овај тест био успешно одрађен још у фази конципирања конструкције.



Слика 4.30 – Приказ вертикалног импактора: (а) цртеж импактора са свим димензијама и (б) виртуелни тест пролаза вертикалног импактора кроз конструкцију рама [10, 15]

6) Ослонци главног и предњег обруча

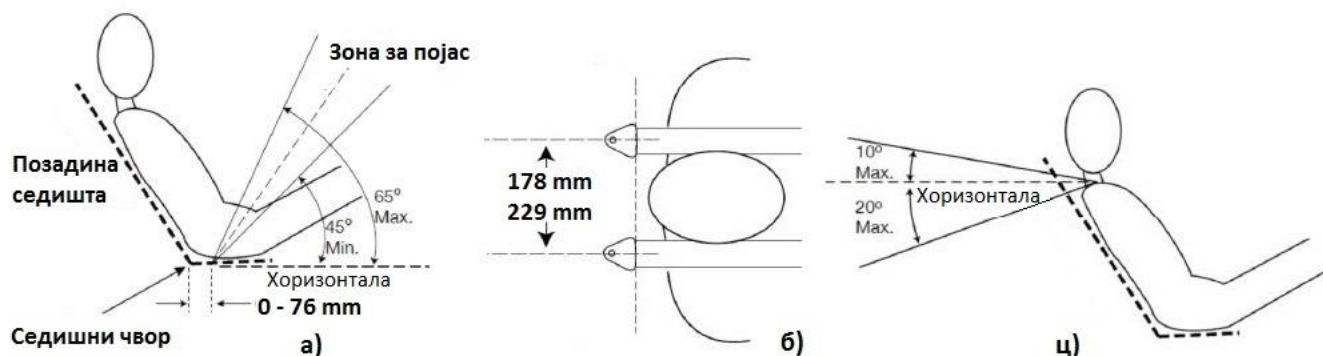
Захтев везан за ослонце главног и предњег обруча односи се на димензиона и геометријска ограничења положаја самих ослонаца. Ограничења су приказана на слици 4.31. Минимални угао између главног обруча и ослонаца главног обруча мора бити 30 степени, због чврстоће саме везе између ова две елементи на раму. Такође прописана је тачка везе ослонца за главни обруч која се налази при врху обруча и сме максимално да буде 160 mm удаљена од врха обруча. Што се тиче ограничења везаних за ослонце предњег обруча, њихова веза са предњим обручем може бити максимално 50 mm нижа од горње површине волана, а да притом ослонци предњег обруча буду израђени као део целине рама. Конструктор приликом конструисања рама и претходно наведених његових елемената, мора да предвиди и узме у обзир положај волана.



Слика 4.31 – Ограничења ослонаца главног и предњег обруча [15]

7) Веза појасева за рам

Ради безбедности самог возача, прописани су тачни положаји за везивање појасева за рама. Према пропису постоје две могућности: везивање појасева у пет, шест или седам тачака за рам. Због лакше куповине, изабран је принцип везе у шест тачака, јер су појасеви са шест кракова најчешћи на тржишту. Ограничења везе појасева за рам приказана су на слици 4.32. Две тачке биће везане иза возачевих рамена, две са стране и две испод возачевих ногу (испод седишта). Тачке везе испод возача имају дозвољено угаоно ограничење (слика 4.32 а) дефинисано као дозвољена зона за доњу везу појаса. Две тачке везане иза рамена возача имају одређени распон минималне и максималне ширине који је дозвољен за везу (слика 4.32 б). Поред овог ограничења тачке везе иза рамена возача имају и угаоно ограничење у погледу са стране (слика 4.32 ц). Било која од ових 6 наведених тачака веза појасева за рам, у попречном пресеку мора имати најмању површину од 90 cm².



Слика 4.32 – Ограничења везе појасева за рам: (а) ограничена зона за појас доње везе, (б) ограничење ширине везе иза рамена возача и (ц) и угаоно ограничење везе иза рамена [15]

8) Ограничење бочне структуре

Бочна структура представља конструкцију која је у суштини део целине рама, и која има задатак да заштити возача од бочних удара. У бочну структуру спадају следећи елементи:

- доњи елемент бочне структуре,
- дијагонала бочне структуре,
- горњи елемент бочне структуре.

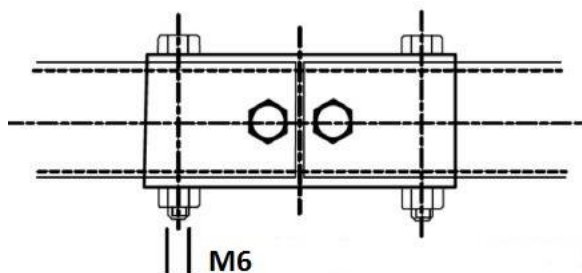
Поред ова три елемента, јако често се додаје још једна дијагонална цев изнад горње хоризонталне цеви бочне структуре, ради додатног ојачања средњег дела рама. Главно и једино ограничење које је везано за бочну структура јесте то да горњи елемент мора да буде на висини између 300 mm и 350 mm мерено од тла. Ово је доста сложено ограничење, приказано на слици 4.33, које захтева прецизну анализу и планирање целокупне концепције рама, јер делимично условљава геометријске положаје осталих елемената на раму.



Слика 4.33 – Ограничења бочне структуре [15]

9) Геометријска правила главних елемената рама

- Главни и предњи обруч морају бити израђени из једног дела и спојени на доњем делу структуре рама,
- У погледу са стране главни обруч може бити максимално нагнут до 10 степени уназад у односу на његов апсолутно вертикалан положај,
- У погледу са стране предњи обруч може бити нагнут максимално до 20 степени унапред у односу на његов апсолутно вертикалан положај,
- Предњи обруч може бити максимално удаљен 250 mm, од предње површине волана,
- Уколико је конструисана раздвојива веза, мора бити обезбеђена са два пара завртња M6 mm постављених унакрсно, један пар нормално постављен на други пар (слика 4.34),
- конструкција која је везана за главни обруч на који се везује ослонац за главу мора бити довољно чврста да издржи ударну силу $F=900\text{ N}$.



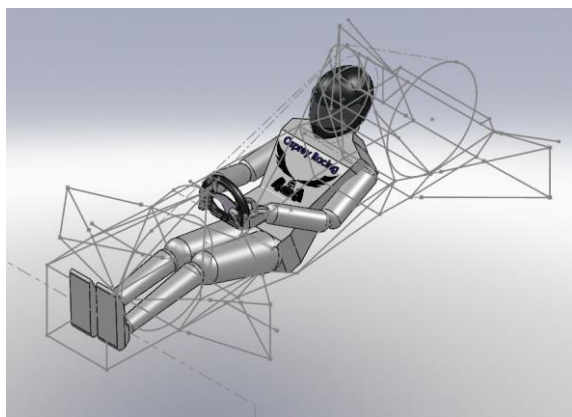
Слика 4.34 – Раздвојива завртањска веза ослонаца [15]

4.3.2.5 Просторна ограничења

Један од битнијих фактора који у великој мери утичу на дизајн рама јесу свакако просторна ограничења возача и појединих система. Рам као конструкција повезује све системе и елементе Формуле студент, и његова геометрија и димензије зависе од димензија и геометрије свих система које повезује, али и сваки од система је међусобно геометријски зависан. Сходно томе потребно је установити све габаритне димензије система и елемената и прелиминарно испланирати њихов распоред, ради ефикаснијег концептирања конструкције рама. Просторна ограничења која највише утичу на коначан дизајн рама приказана су даљем тексту рада.

1) Положај возача

Потребно је кренути од положаја и ергономије возача, као најкрупнијег ограничења. Шаблон возача дефинисан је у пропозицијама (описано у тачки 4.3.2.4 под 4) тако да на основу њега може се формирати конструкциона скица која импровизује положај самог возача. Помоћу



ове скице се може кренути са концептирањем основним елемената рама, као што је приказано на слици 4.35. Потребно је да возач поставимо у положај који је најприроднији за вожњу, у коме ће се возач осећати лагодно и комфортно. Ограничења и положај возача је потребно дефинисати у све три осе, како не би дошло до непредвидивих грешака. Сам положај возача и дефинише геометрију и пропорцију кабине возача, као и целокупне конструкције рама. Такође, потребно је предвидети да возач брзо и ефикасно може напустити возило услед потенцијалне опасности.

Слика 4.35 – Концептирање елемената рама на основу положаја возача

Захтев: угао положаја леђа возача у односу на хоризонталу око 40° , $5-10^\circ$ забачена глава уназад у односу на вертикалу, и положај волана приближно у висини груди.

2) Погонски део

Погонски део на Формули студент подразумева агрегат (мотор са мењачем), систем за упис ваздуха и издувни систем. За погон болида Формуле студент одлучено је за агрегат мотоцикла у класи до 600 cm^3 од Јамахе Р6 (*Yamaha R6 YZF*). Мотор је снаге до 100 kW , са максималним бројем обртаја $14,500\text{ min}^{-1}$. Габаритне димензије мотора су:

- максимална ширина: 461 mm ,
- максимална висина: 518 mm ,
- максимална дужина: 410 mm .

Потребно је на основу габаритних димензија мотора, уписног и издувног система, одредити и концептирати део рама иза возача где је смештен цео погонски део (слика 4.36). Сви погонски системи заједно са мотором захтевају конструисање посебних носача, како би се омогућила брза и лако монтажа и демонтажа мотора. Веза мотора за рам мора бити еластична, како се вибрације са мотора не би преносила на рам и стварале додатна оптерећења и напрезања на задњем делу рама.



Слика 4.36 – Положај мотора на задњем делу рама

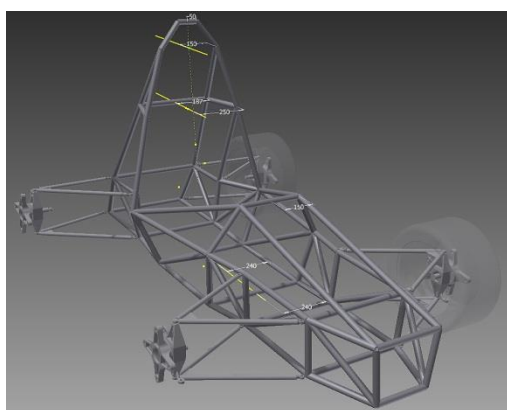
3) Систем педала

Систем педала (*Pedal Box*), представља конструкцију носача који повезују полуге и механизме квачила, кочнице и гаса (слика 4.37). Смештен је у предњем делу рама одмах иза предње преклопне преграде, и повезан је са доњим делом предњег рама. Сам систем педала мора бити конструисан тако се прилагоди ергономији возача, и да возач може несметано да ногом да даје команде на педалама. Сходно томе геометрија предњег дела рама зависи од геометрије система педала.



Слика 4.37 – Систем педала

4) Систем за ослањање

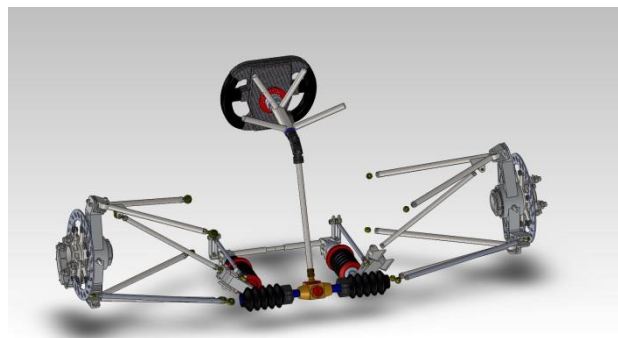


Систем за ослањање представља најсложенији и најодговорнији систем на возилу Формуле студент, после конструкције рама. Представља систем у виду механизма са гасним амортизерима који везује тачкове за рам, и чини један еластични сложени систем. Симетричан је у односу на подужну осу возила, и разликујемо предње и задње ослањање. Веза система ослањања за рам се мора посматрати истовремено са конципирањем и дизајном рама, јер геометрија делова рама на којима се везује систем за ослањање, умогне зависи од повољног и конструисаног положаја читавог механизма система ослањања (слика 4.38).

Слика 4.38 – Систем за ослањање везан на раму

5) Систем за управљање

Систем за управљање, приказан на слици 4.39, представља један од сложенијих система, и састоји се од волана са носачем, карданских вратила, зупчaste летве и спона. Повезан је са рамом, системом за ослањањем и главчинама тачкова. Зупчаста летва везана је за рам на доњем делу предњег дела рама, тако да доњи део рама зависи од ширине летве. Волан са карданским вратилима везан је за горњи део предњег обруча, те сходно томе висина предњег обруча директно је условљена овом веза. Сама веза волана за рам мора да задовољи пре свега ергономију возача, али и пропозиције које су дефинисане у тачки 4.3.2.4.



Слика 4.39 – Систем за управљање

6) Пренос снаге

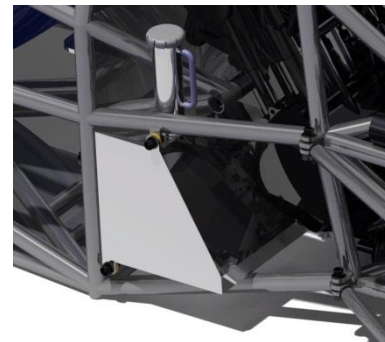


Слика 4.40 – Пренос снаге

Пренос снаге представља систем који је јако битан за постизање добрих перформанси возила Формуле студент. Састоји се од ланчаног преноса, диференцијала, носача диференцијала, и полу-вратила. Осно растојање ланчаног преноса директно утиче на геометрију задњег дела рама. Такође, потребно је конструисати везу носача диференцијала за рам, која утиче на дизајн рама у великој мери (слика 4.40).

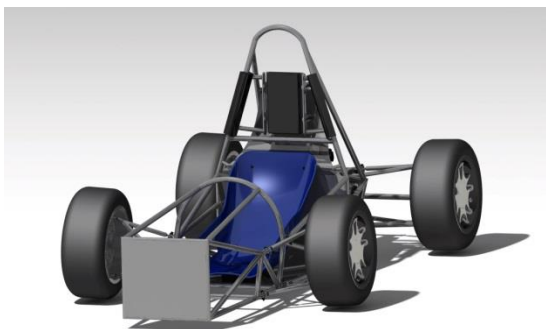
7) Систем за довод горива

Систем за довод горива представља систем који обезбеђује довод горива од резервоара до мотора. Геометрија овог система не утиче у великој мери на геометрију рама. Сам резервоар са пумпом за горивом се везује за рам еластичном везом. Према томе, потребно је приликом конструисања задњег дела рама и конципирања распореда система у овом делу возила, предвидети адекватан простор за резервоар. Такође је потребно конструисати еластичну везу резервоара за рам у најмање три тачке везе, као што је приказано на слици 4.41.



Слика 4.41 – Резервоар везан за рам

8) Седиште и појасеви



Седиште и појасеви (слика 4.42) представљају елементе ентеријера возила Формуле студент, односно кабине возача, и смештени су отвореном делу кабине возача. Сам њихов положај и начин везивања за рам, не утиче у великој мери на дизајн саме конструкције рама. Једино је потребно конструисати носаче за ове елементе. Сходно томе, потребно је делове рама за које се везују седиште и појасеви, прилагодити самој тој вези. Геометрија седишта прилагођава се ергономији возача.

Слика 4.42 – Седиште везано за рам

4.3.2.6 Технолоичност рама

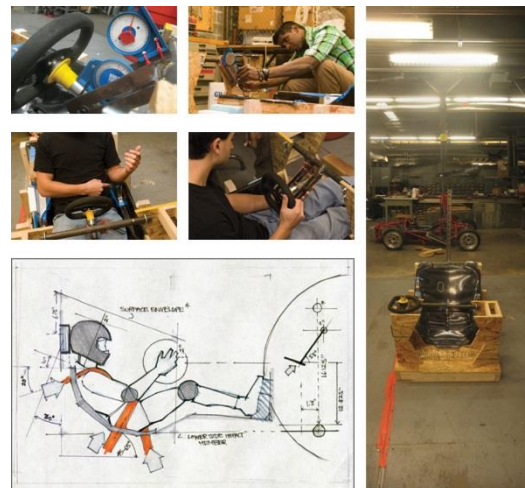
Технолоичност конструкције рама јесте особина, која представља меру прилагодљивости облика саме конструкције и њених делова процесу технологије и производње, приказан на слици 4.43. Захтеви технолошки исправног обликовања имају важну улогу у конструкцији, а обликовање је парцијални део процеса конструисања, нарочито у фази разраде конструкције рама. Остварење технолоичности конструкције подразумева могућност израде елемената конструкције са најмањим производним трошковима при рационалном коришћењу материјала, енергије и уложеног рада. Целокупна конструкције рама, као и њени делови треба да буду тако конструисани да њихов облик и величина што је могуће више одговарају постојећим полуфабрикатима, да је њихову израду могуће извршити на постојећим алатним машинама са што мање утрошака рада, материјала, алата и опреме. Ради лакшег остварења технолоичности конструктор треба да познаје израде и монтаже сваког конструкцијски разрађеног елемената на раму, као и целог склопа рама. Коришћење стандардизације у процесу конструисања обезбеђује повећање технолоичности, јер стандардизација геометријских делова и целог склопа рама омогућује већу примену стандардних алата, прибора и опреме, затим и стандардних материјала и полуфабриката. Посебно је важна процена технолоичности у ранијим фазама конструисања, још у процесу конципирања, када постоји могућност избора оптималне варијанте концепције према економским критеријумима [18].



Слика 4.43 – Процес израде рама Формуле студент

4.3.2.7 Ергономија рама

Основни појам ергономије дефинисан је у тачки 1.3, и она у суштини представља науку која се бави дизајном производа тако да они најбоље буду прилагођени људском телу. Настанак ергономије се везује за брзи развој технике и техничких средстава која су била све савршенија и ефикаснија, али се онда јавио човек као онај који својим ограничењима постаје лимитирајући фактор његовог развоја. На пример, технички узевши неко најсавршеније средство није „ергономско“ ако га човек са својим био-психо-социјалним карактеристикама не може да ефикасно користи и то је данас лимитирајући фактор техничког и технолошког развоја [19].

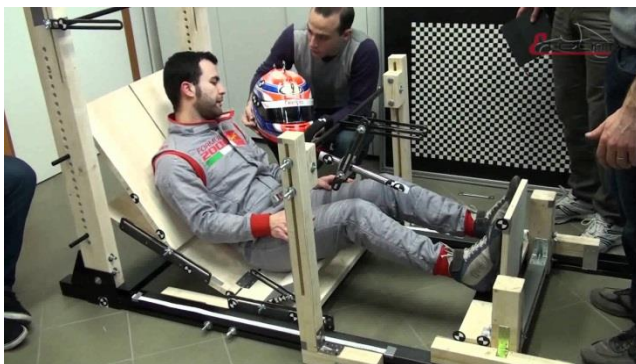


Слика 4.44 – Ергономија возила

Ергономија рама и просторно ограничење услед положаја возача су два фактора узајамно зависна, која директно утичу један на други. Како би конципирали распоред елемената рама, морамо узети у обзир ергономију и положај возача. Како би постигли адекватну ергономију возача, на основу претходно дефинисане ергономије, потребно је конструисати одређене елементе рама који директно утичу на положај возача. Сама ергономија возила Формуле студент (слика 4.44), умногоме зависи од конструкције рама. Рам је елемент, који дефинише пропорцију и геометрију целокупног возила, као и кабину и положај возача. Положај возача је веома важан, како би се возач осећао што лагодније и опуштеније приликом трке. Дobar положај возачу ће му омогућити да изведе трку најбоље што може. Са друге стране уколико је положај возача неадекватан, возач неће моћи да искаже све своје способности у току вожње, и сама вожња неће бити успешна. Ергономија рама зависи пре свега од положаја возача, затим простора у кабини (комфора), положаја волана, и прегледности возача приликом вожње. Она је важна скоро исто колико и постигнуте перформансе возила Формуле студент.

Најважнији задаци ергономије рама су:

- спречавање повреда и професионалних обољења возача,
- квантитативно и квалитативно повећање ефикасности у производњи,
- повећање ефикасности и сигурности употребе.



Ергономија је фактор који конструктор мора узети у обзир још у раној фази конструисања, у фази конципирања конструкције рама. Најбоља оцена ергономије рама је експериментални тест, који је приказан на слици 4.45. Овакав тест се изводи тако што се најпре конструише макета од дрвета, пластичних цеви или слично, која дефинише пропорције рама, седиште возача са тачним положајем, положај волана, положај система педала и видљивост возача. Овај тест се може извршити и софтверски.

Слика 4.45 – Експериментални тест ергономије рама Формуле студент

4.3.2.8 Монтажа и демонтажа

Монтажа и демонтажа свих система и елемената возила Формуле студент (независних или зависних од конструкције рама), приказана на слици 4.46, је доста битан фактор, који се мора узети у обзир још у фази конципирања рама, са аспекта геометрије и слободног простора. Рам је основа возила, који се први израђује и на који се монтирају редом сви остали елементи и системи Формуле студент, почевши од погонског дела. Потребно је унапред предвидети поступак и редослед монтаже, да у каснијој фази монтаже целокупног возила не би било проблема и недостатка простора.

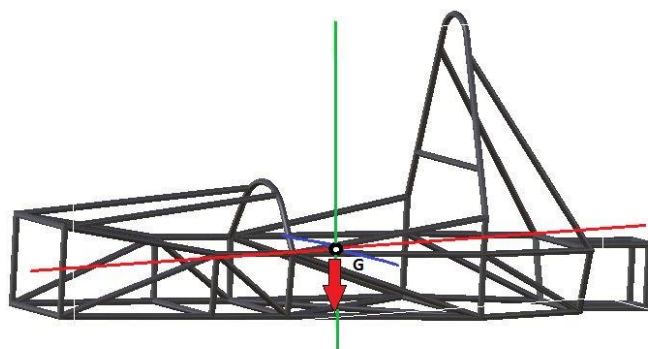


Слика 4.46 – Монтажа Формуле студент

4.3.2.9 Услови рада

Услови рада конструкције рама је фактор који се односи на врсте оптерећења која делују на рам, који свакако не треба запоставити. Рам као део возила Формуле студент, изложен је динамичким оптерећењима, и константним вибрацијама у току вожње, као и ударним оптерећењима. Сходно томе рам је склон кртом лому, и замору материјала. Према томе, мора бити изабран адекватан материјал за цеви, отпоран на крти лом и са довољном ударном жилавошћу и затезном чврстоћом, од којих ће рам бити израђен. Поред тога потребно је и повољно конструкцијско решење које ће обезбедити задовољавајући чврстоћу.

4.3.2.10 Ниско тежиште



Тежиште тела је тачка кроз коју пролази нападна линија силе тежине целог тела при ма каквом његовом положају у простору. Положај тежишта је непроменљив у односу на круто тело [20]. Код возила Формула студент, тежи се што ниже тежишту, како би возило било стабилније и безбедније у току вожње. Самим тим тежи се пре свега и што ниже тежишту рама (слика 4.47), као и што ниже распореду елемената возила. Према истраживању осталих тимова у вези тежишта, дефинисан је захтев за висину тежишта.

Слика 4.47 – Положај тежишта рама

Захтев: максимална висина тежишта $H=280$ mm, мерено у односу на најнижу тачку рама

4.3.2.11 Естетика

Појам естетике дефинисан је у тачки 1.3, и она у суштини представља науку о лепом [1]. Естетика као фактор, не утиче у великој мери на процес конструисања, али је свакако фактор који не треба занемарити. Поред свих претходно наведених фактора, који претежно у великој мери утичу на коначан дизајн рама, потребно је ипак тежити и естетски што лепшој конструкцији рама, пре свега због веће допадљивости и популарности целокупног возила Формула студент у што широј популацији.

4.4 Формирање листе захтева

Листа захтева представља део конструкционе документације, па је погодно да њен облик (формат) буде усклађен са стандардима који се користе у тиму. У листи захтева треба да буду јасно и прецизно унети и класификовани сви захтеви који су претходно наведени и детаљно анализирани [13]. У табели 4.3 приказана је листа захтева за конструкцију рама.

Табела 4.3 – Листа захтева за рам Формуле студент [13]

[illegible]

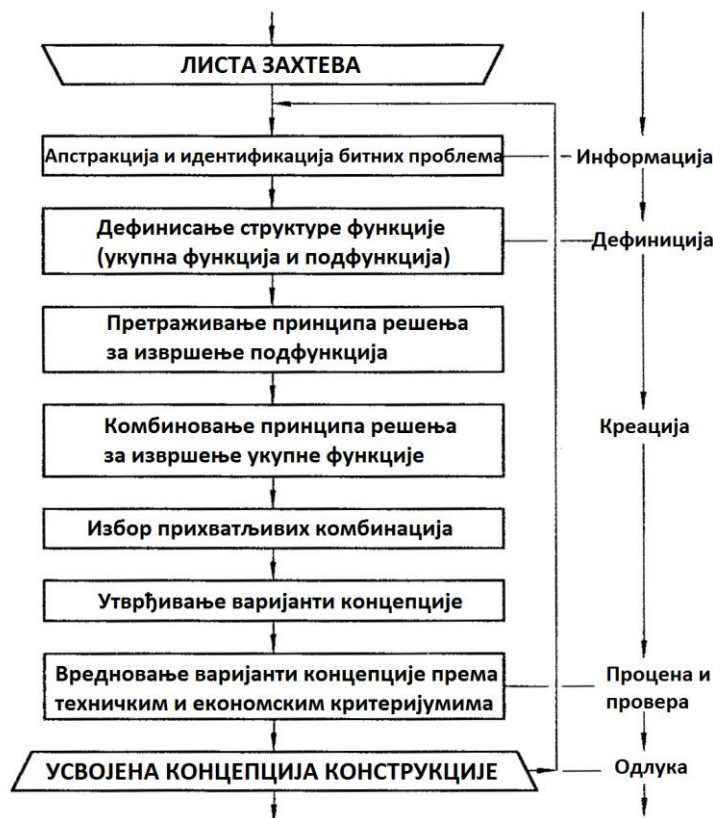
		ЛИСТА ЗАХТЕВА		Идентификација: ФС	
		(Конструкција рама; Формула студент)		Лист: 2	
				Листова: 2	
Редни број	ЗАХТЕВ			Чврст захтев	Жеља
	- Монтажа и демонтажа: потребно је да сви системи и елементи могу лако да се монтирају и демонтирају на возилу, - Минимална висина тежишта због стабилности ($H_{\max}=280\text{ mm}$), - Равномерна расподела масе рама - Естетика конструкције рама.			+	+ + +
3	РАДНА СВОЈСТВА: - Радни век 10 година са неопходном великом прецизношћу - Тачност позиционирања цеви у толеранцији до $\pm 1\text{ mm}$, - Рам је изложен динамичким оптерећењима и вибрацијама у току вожње. Овај фактор утиче на избор материјала, - Што већа продуктивност.			+	+ + +
4	ЕРГОНОМСКА СВОЈСТВА: - Угао леђа возача 40° у односу на хоризонталу, - Благо подигнуте ноге возача у односу на седиште, $5\text{-}10^\circ$ забачена глава возача уназад у односу на вертикалну, - Волан везан за рам, тако да се налази у висини груди возача, - Довољан простор у кабини (комфор возача), - Довољна прегледност возача.			+ + + +	+ +
5	ТЕХНОЛОШКА СВОЈСТВА: - Облик и величина елемената рама морају да одговарају постојећим полуфабрикатима на тржишту, - Израда елемената рама се врши на доступним машинама, - Стандардизација у процесу конструисања, - Што већа прилагодљивости облика саме конструкције и њених делова процесу технологије и производње. - Због концентracије напона максимално 6 цеви спојене у чвору			+ + +	+ +
6	ИСПОРУКА: Рок завршетка конструкције: 4 месеца			+	
7	ЕКОНОМСКИ УСЛОВИ: - Што мањи број елемента рама и што мања сложеност - Што једноставнија и бржа израда рама - Што мања цена рама (материјал+израда): максимум 400 евра			+	+ +

5. КОНЦИПИРАЊЕ РАМА И ДИЗАЈН НОВОГ РЕШЕЊА

5.1 Конципирање конструкције (општа разматрања)

Конципирање идејног решења машинске конструкције представља утврђивање глобалног размештаја делова и компонената ради остваривања задате функције. Ова фаза конструисања се често назива и пројектовањем и обухвата пут од идеје преко описа функција до идејног решења конструкције. Конципирање захтева доста знања о извршавању функција машинског система и о функционисањима нижег нивоа, па је то најчешће посао инжењера уско специјализованих за поједине области.

Конципирање конструкције се обавља у више међусобно повезаних етапа. Циљ је да се овај посао уради по унапред дефинисаној процедури која неће зависити од интуиције и надарености појединаца. Интуиција и надареност конструктора су пожељне и корисне у свакој фази конструисања (па и у конципирању), али индустријски не сме да веже свој развој за догађаје који се не могу планирати или на које се не може утицати. На слици 5.1 приказан је ток процеса конципирања конструкције са најбитнијим етапама.



Слика 5.1 – Процес конципирања конструкције [13]

Важан принцип при конципирању конструкције је апстракција постављеног проблема. Уместо да се одмах размишља о конкретним решењима, потребно је дефинисати систем апстрактним структурним функцијама, које могу да доведу до решења која нису слична постојећим. Уколико у фази конципирања пође од конкретног решења, конструктор запада у опасност да прихвата слична постојећа решења уопште не размишљајући о неким новим идејама које могу довести до знатно бољих конструкција. Анализа постојећих решења се широко примењује у даљем развоју конструкција јер представља најважнији извор знања и података. Апстракција задатка подразумева развој структурних функција без конкретних решења како ће се оне реализовати. Она омогућава идентификацију битних проблема и већу ширину приступа.

Апстракција проблема се врши на основу разрађеног техничког задатка односно листе захтева. Она се извршава кроз следеће кораке:

- елиминисањем личних наклоњености према појединим решењима,
- изостављање захтева који немају директног утицаја на функцију и ограничења која суштински не утичу на извршење функција.
- трансформисање квантитативних у квалитативне податке и њихово смањење само на најбитније,
- генерисање резултата из претходног корака и
- формирање проблема независно од могућих решења

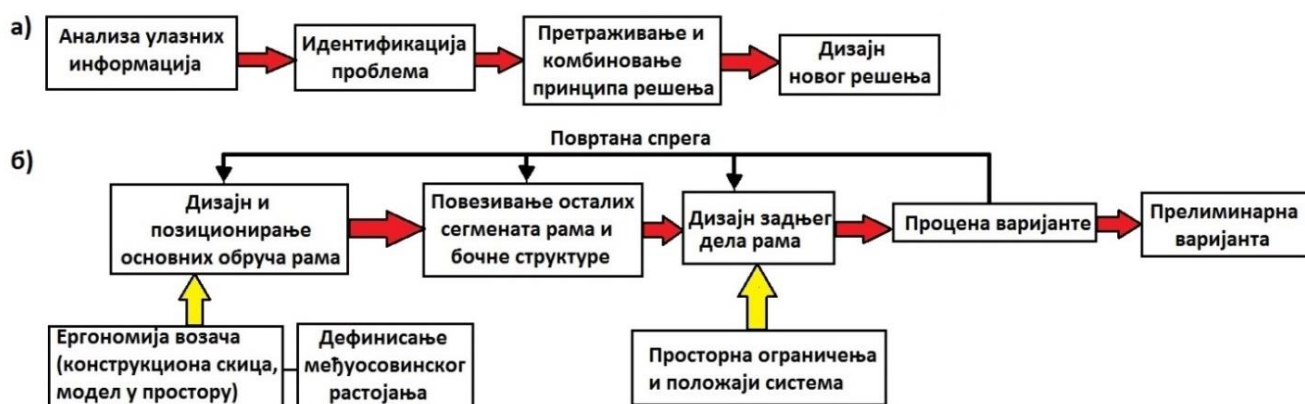
Суштина постављања техничког задатка треба да буде идентификована правилном формулацијом проблема. Разрада техничког задатка може да обезбеди проширивање па чак и измене оригиналног проблема, која треба да води што лакшим решењима. Док даљи ток конципирања се врши кроз следеће етапе. Прво се тражи скуп свих могућности за реализацију постављеног задатка, затим се бирају оне које су практично прихватљиве и на крају се опредељује за најпогоднију [13].

5.1.1 Конципирање конструкције рама

Конципирање конструкције рама представља пут од идеје и анализе информација до коначног дизајна рама. Конципирање, као и цео процес конструисања рама биће урађен у софтверском пакету „CATIA V5R20“.

Најпре је извршена анализа улазних података и детаљна разрада техничког задатка. Анализирани су сви утицајни фактори на процес конструисања, и у коликој мери и како утичу. Прикупљени су подаци о свим могућим карактеристичним типовима различитих конструкција рамова и дате су њихове карактеристике и предности и недостаци. Као резултат разраде техничког задатка формирана је листа захтева. На основу улазних информација и листе захтева приступа се процесу конципирања, који је приказан на слици 5.2.

Следеће је потребно извршити идентификацију проблема при конструисању рама, а затим се према томе одстрањују сва решења која се сматрају непогодним и неадекватним према унапред постављених захтевима. Након тога потребно је претражити све принципе решења рама, који су адекватни датим захтевима, за извршење функције. На основу ове анализе, комбиновањем адекватних принципа, долази се до идеје новог решења и дефинисања конкретног циља. Затим се на основу тога, приступа развоју прелиминарне варијанте, по принципу „повратне спреге“.



Слика 5.2 – Процес конципирања конструкције рама Формуле студент:

а) Етапа аналитичке припреме за развој новог решења, б) Етапа развоја новог решења

„Повратна спрега“ у процесу конструисања и дизајна рама, представља могућност да се конструктор врати корак уназад и измени конструкцију, након анализе и незадовољења конструкције са аспекта одређеног фактора. Конструктор константно анализира и тестира конструкцију у току процеса конструисања и дизајна, а на основу анализе и тестирања доноси закључке о задовољењу датих захтева. На основу ергономије возача, која се одређује помоћу скице или просторног модела возача, и дефинисањем међуосовинског растојања, приступа се дизајну и позиционирању основних обруча рама. Затим се повезују сви остали сегменти рама као и бочна структура, све до главног обруча. На основу просторног ограничења, и распореда и положаја система у погонском делу Формуле студент, наредни корак је конструисање задњег дела рама. Конструкција се детаљно разматра и анализира, те уколико се увиди неко незадовољење и неслагање, било са аспекта монтаже или просторног ограничења, конструктор се враћа корак уназад и врши корекције, све до потпуног задовољења прелиминарне верзије.

На крају конципирања се усваја прелиминарна варијанта. Затим ће усвојена варијанта бити процењена по техничким и економским критеријумима, и да ли је и у којој мери ова варијанта задовољила све претходно дефинисане захтеве.

5.2 Идентификација проблема при конструисању рама

Први корак пре него што се приступи процесу развоја дизајна конструкције, јесте свакако идентификација проблема који могу да је јаве приликом конструисања рама. Већина фактора, приказаних на слици 4.23, који у мањој или већој мери утичу на коначан дизајн рама и чине ограничења којих конструктор рама мора да се придржава, представљају уједно и потенцијалне проблеме који могу да се јаве у некој од каснијих фаза.

- Као прва проблематика јесте низ геометријских ограничења која су постављена у пропозицији, која у великој мери смањују креативност у дизајну и смањују број варијанти конструкције. Приликом сваког корака у процесу конструисања, конструктор мора да се осврће на саме пропозиције и константно проверава да ли је све испоштовано према њима. Ово представља додатан проблем и ограничење у сваком кораку процеса дизајна рама. Са друге стране, ова ограничења представљају и полазне кораке конципирања, према којима се даљи ток прилагођава.

- Два највећа захтева поред пропозиције јесу минимална маса и максимална чврстоћа. Ова два захтева су контрадикторна, тако да је сама проблематика код конструктора да нађе оптимум између њих. Често може да се деси да један од ова два фактора не буде у потпуности задовољен. Да се то не би десило конструктор мора да примењује принципе тријангулације који обезбеђују чврстоћу конструкције уз смањење масе, и константно врши анализе ова два фактора у току рада.

- Аеродинамика као наука за себе, има своје захтеве којих конструктор мора да се придржава као би овај фактор био задовољен. Потребно је да рама има облик „сузе“ [17], који подсећа на капљицу воде. То је идеалан аеродинамичан облик, годинама анализиран и експериментално тестиран. Никако се у конструкцији рама не сме јавити контра нагиб, како не би дошло да нарушавања аеродинамике. Предњи део рама не би требао бити у равни са најнижом тачком рама.

- Што се тиче просторних ограничења условљени геометријом осталих система и елемената на возилу Формула студент, могу да буду велики проблем, уколико се не изврши детаљна анализа и концепција читавог возила. Пре него што се приступи конципирању рама, потребно је детаљно испланирати распоред и положаје свих елемената чија геометрија утиче на дизајн рама. Потенцијални проблем може се јавити у конципирању задњег дела рама, јер је он најсложенији и зависи од низа просторних ограничења и положаја великог броја елемената. Овај део рама, може претрпети већи број измена до коначног дизајна, јер је скоро немогуће све предвидети пре почетка процеса конструисања.

- Ергономија као фактор захтева израду скице или просторног модела који импровизује реалан положај возача у односу на рам, пре него што се настави са конструисањем рама. Потребно је да возач има довољно, али не и превише простора, како би се осећао лагодно у вожњи, али и да његово положај у току вожње буде прилагођен најприроднијем положају у коме возач може да искаже све своје способности на стази.

- Услов монтаже и демонтаже могу у највећој мери да створе проблем у каснијој фази, уколико се не узме у обзир у процесу конципирања рама. Потребно је испланирати распоред и положаје свих система и елемената и предвидети довољан простор за њихову монтажу и демонтажу. Такође постоји могућности конструисања раздвојиве везе, управо због разлога лакше монтаже.

5.3 Анализа принципа решења

5.3.1 Претраживање принципа решења која задовољавају дефинисане захтеве

Након детаљне анализе улазних информација и идентификације свих проблема при конструисању рама, приступа се анализи принципа решења. Најпре је потребно претражити све принципе решења која задовољавају унапред дефинисане захтеве.

- На основу ергономије возача у односу на возило Формула студент, приступа се првом кораку у конципирању рама. Ово је свакако физички најкрупније ограничење, тако да је најлакше кренути од њега. Потребно је најпре урадити једну конструкциону скицу возача и основних сегмената рама у погледу са стране. Затим је потребно урадити просторни модел возача у реалном положају у току вожње, који служи као реална симулација ергономије у све три димензије. Сходно томе биће урађени основни сегменти рама, који чине основу рама.

- Приликом дизајна основних обруча рама, обавезно се мора узети у обзир ставка у пропозицији, где се захтева пролаз импактора у хоризонталном и вертикалном правцу кроз рам. Сваки од основних сегмената рама биће постављен вертикално, првенствено због лакше израде.

- Са аспекта аеродинамике облик предњег дела рама све до предњег обруча тежиће облику “сузе”, а сам предњи део рама до система за ослањање потребно је да буде издигнут у односу на најнижи ниво рама. Такође потребно да у погледу спреда доњи део рама буде нешто ужи у односу на горњи део, тако да се на предњем делу рама формира такозвано “аеродинамичко корито”. Тај нагиб не сме бити ни превелики како се не би добио контраефекат и повећала сила потиска на предњем делу рама.

- Задњи део рама у коме је смештен погонски део, биће израђен по принципу скраћеног рама, као што је приказано на слици 4.21. Полувршила ће се налазити иза најудаљеније тачке рама, мерене од предњег дела. Предност оваквог типа конструкције је пре свега смањење масе и компактност конструкције. Потребно је геометрију овог дела рама прилагодити свим осталим системима, превасходно због просторних ограничења и компактности конструкције.

- Што се тиче бочне структуре, неће бити додатне бочне конструкције због повећања масе, већ ће се доградити додатни носачи за хладњаке од лимова, због смањења масе. Горња дијагонала бочне структуре, због веће крутости овог дела конструкције и избегавања концентрације напона, биће постављена у приближно хоризонталном положају и везана при врху предњег обруча.

- Ради упрошћења израде и конструкције, ослонац за раме биће заварен на главном обручу на висини, која ће накнадно бити одређена према положају возача, јер њен положај директно утиче на положај везе појасева који је условљен пропозицијама. Ослонац за главу може бити благо увучен због ергономије возача. Сходно томе, положај возача неће прећи иза главног обруча рама.

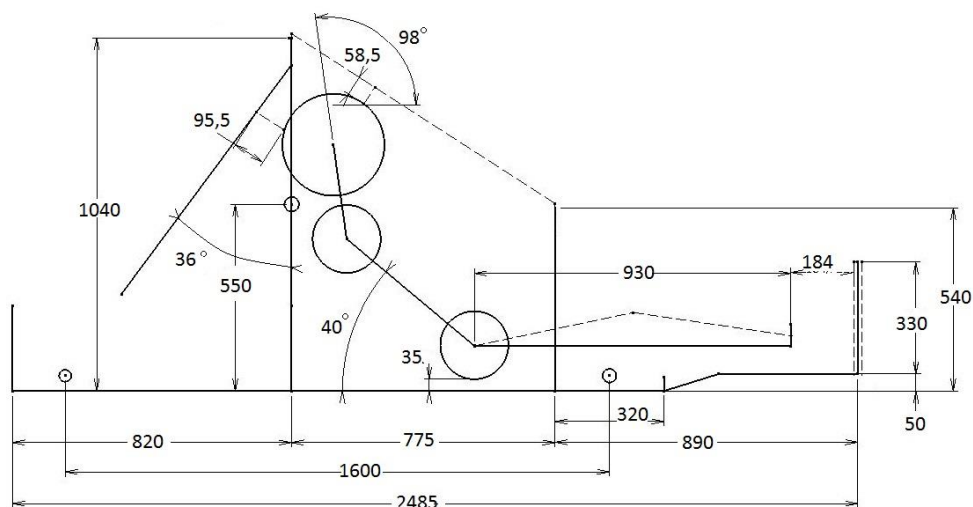
5.3.2 Комбиновање принципа решења

Након урађене идентификације проблема, који могу да се јаве приликом процеса конструисања, у старту су одбачене неке од могућих решења. Затим је извршена анализа типичних конструкционих решења за појединачне делове рама који ће задовољити захтеве и укупну функцију конструкције рама, која је унапред била дефинисана. Комбиновањем ових наведених решења са циљем стварања новог, бољег и јединственог решења, добија се целина конструкције рама која у потпуности задовољава све захтеве и жеље конструктора.

5.4 Развој прелиминарног облика рама

5.4.1 Конструисање и позиционирање основних обруча рама

Као што је већ напоменуто у процесу развоја прелиминарне варијанте први корак је дизајн и позиционирање основних обруча рама на основу ергономије возача и усвојеног међуосовинског растојања. У тачки 4.3.2.4 под 1, међуосовинско растојање је усвојено 1600 mm. Потребно је најпре урадити једну конструкциону скицу возача и основних сегмената рама у погледу са стране, која је приказана на слици 5.3. Због веће ергономије и аеродинамике предња преклопна преграда биће издигнут за 50 mm, у односу на предњи и главни обруч.

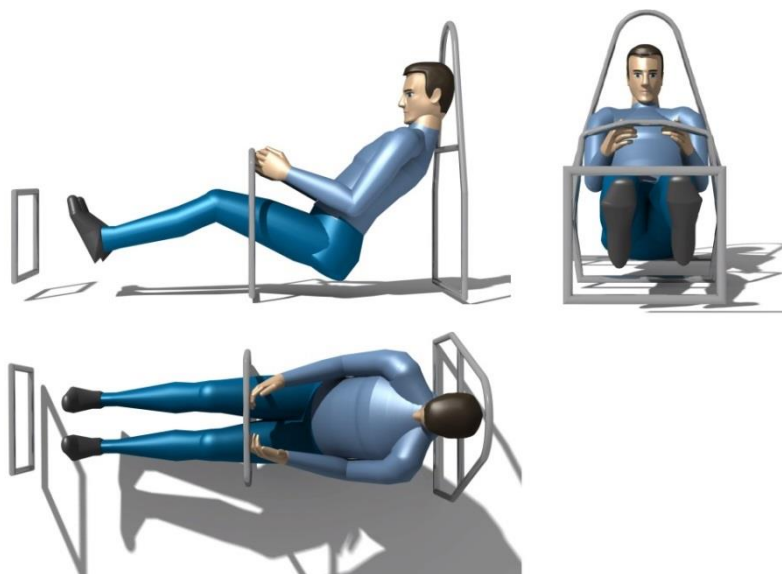


Слика 5.3 – Конструкциона скица положаја возача и основних обруча рама

На основу слике 5.3 можемо закључити следеће:

- Кук возача издигнут је 35 mm у односу на доњи ниво рама за висину седишта и стиропора, који ће бити везани за доњи део рама, према плану;
- Због веће ергономија, глава возача забачена је 8 степени у односу на вертикалну;
- Према захтеву угао положаја леђа возача је 40 степени у односу на хоризонталу;
- Растојање између кука возача и педала је 930 mm, што је веће од минимално прописаног;
- Безбедносна правила су у потпуности задовољена: Угао између ослонца и главног обруча је 36° (минимално је 30°), растојање између главе возача и замишљене линије која спаја врх главног и предњег обруча је 58,5 mm (минимално је 50 mm), и растојање између главе возача и ослонца главног обруча је 95,5 mm (минимално је 50 mm);
- Ширина ослонца на раму за систем за ослањање је према плану 320 mm;
- Висина ослонца за раме је 55 mm, како би пропозиције биле задовољене;
- Висине главних обруча (осна растојања): предња преклопна преграда 330 mm (380 mm од доњег нивоа рама), предњи обруч 540 mm и главни обруч 1040 mm.

Према скици са слике 5.3, биће урађени и позиционирани у простору основни сегменти рама, који чине основу целокупне конструкције. Затим, потребно је урадити модел возача у реалном положају у току вожње, који се користи за симулација ергономије. Симулација ергономије урађена је у модулу „*Ergonomic Design & Analysis*“ у софтверу „CATIA“, и приказана је на сликама 5.4 и 5.5.



Слика 5.4 – Три основна погледа симулације ергономије возача у односу на основу рама

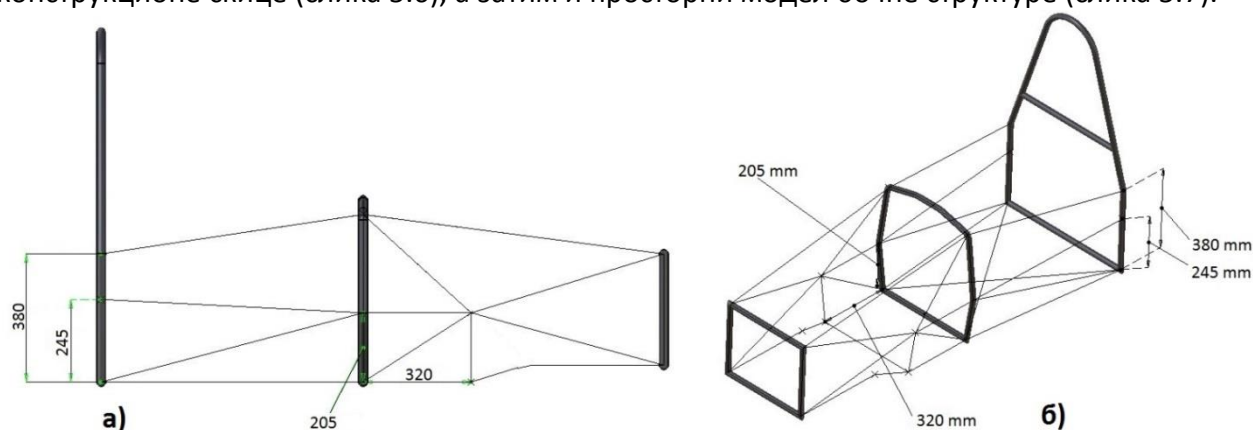


Слика 5.5 – Изометријски прикази симулације ергономије у односу на основу рама

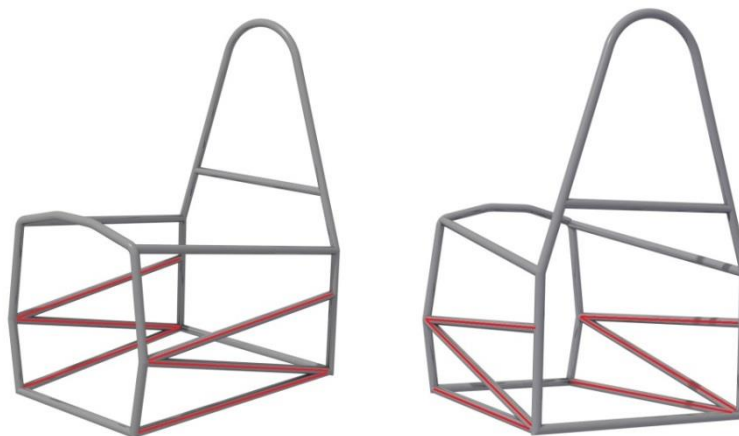
Анализа ергономије: Просторни модел возача урађен је према правилима пропозиција, тако да његова геометрија представља 95% просечног мушкарца у свету. Ширине основних обруча усвојене су на основу димензија импактора у пропозицијама, приказани на сликама 4.29 и 4.30. Према томе ширина предње преклопне преграде усвојена је 400 mm, ширина предњег обруча 430 mm у горњем, 520 mm у средњем и 460 mm у доњем делу, и ширина главног обруча 620 mm. Према сликама 5.4 и 5.5 можемо закључити да у првом процесу дизајна ергономија у потпуности задовољава задатке услове: Унутар кабине има довољно, али не и превише простора; волан ће се налазити у висини груди, тако да ће возачеве руку у току вожње бити на одговарајућој висини.

5.4.2 Повезивање бочне структуре и осталих елемената на предњем делу рама

Главно ограничење које представља чврст захтев у дизајну бочне структуре јесте ограничење приказано на слици 4.33, које се односи на то да горњи елемент бочне структуре мора буде на висини између 300 mm и 350 mm мерено од тла везан за главни обруч, и тежи се да његов положај буде приближно у хоризонталном положају. На основу овог ограничења, потребно је детаљно испланирати целокупну концепцију возила, јер оно делимично условљава остале системе. Одређено је међуосовинско растојање и геометрија везе система за ослањање за рам. Према геометрији самог система за ослањање, клиренс возила Формула студент (хоризонтално растојање мерено између најниже тачке возила и тла), биће између 35 mm и 45 mm. Сходно томе, горњи елемент боче структуре мора да буде везан за главни обруч на висини између 230 mm и 290 mm, мерено од најниже тачке рама до највише тачке тог елемента. Најпре ће бити урађене конструкционе скице (слика 5.6), а затим и просторни модел бочне структуре (слика 5.7).

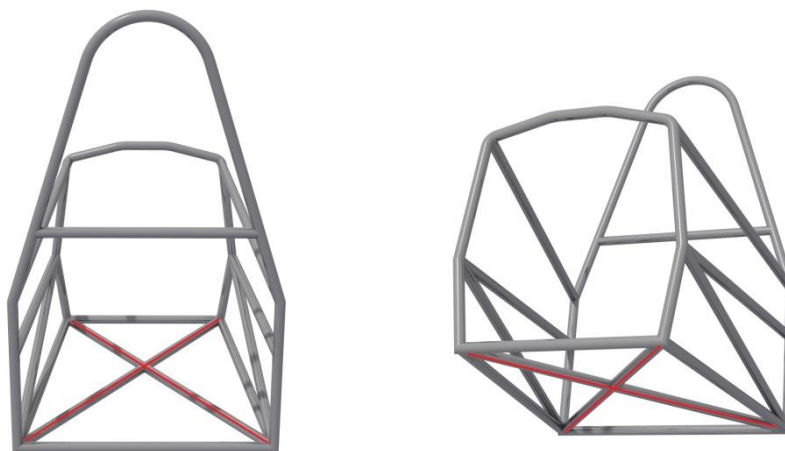


Слика 5.6 – Конструкциона скица бочне структуре и осталих повезаних елемената:
а) поглед са стране, б) изометријски поглед



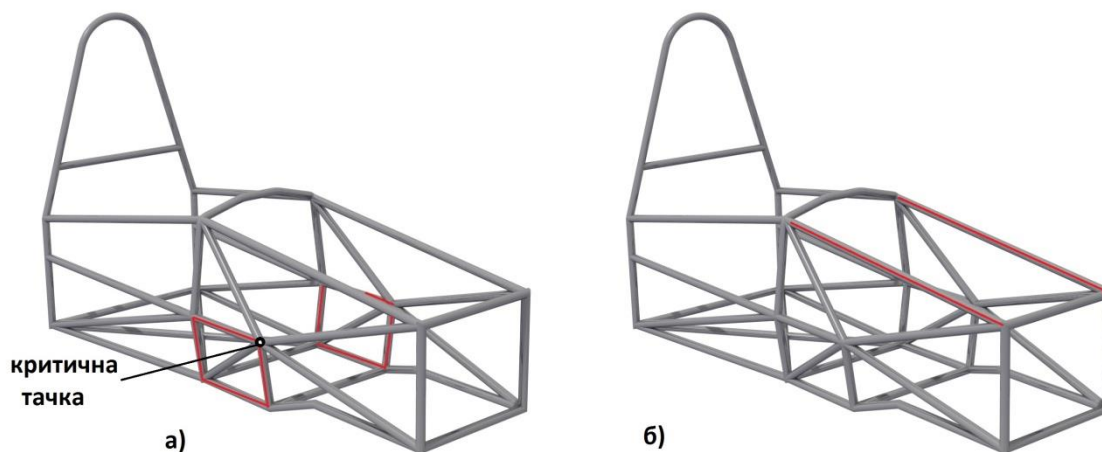
Слика 5.7 – Просторни модел бочне структуре (означен црвеном бојом)

Након дизајна бочне структуре, потребно је комплетирати овај део рама ојачањем доњег дела рама испод возача. Према референци [5] додавањем и ојачањем доњег дела кабине рама помоћу укрштених цеви, повећава се торзиона крутост за 10,4%, према експерименталном испитивању на радном столу. Ојачање је приказано на слици 5.8.



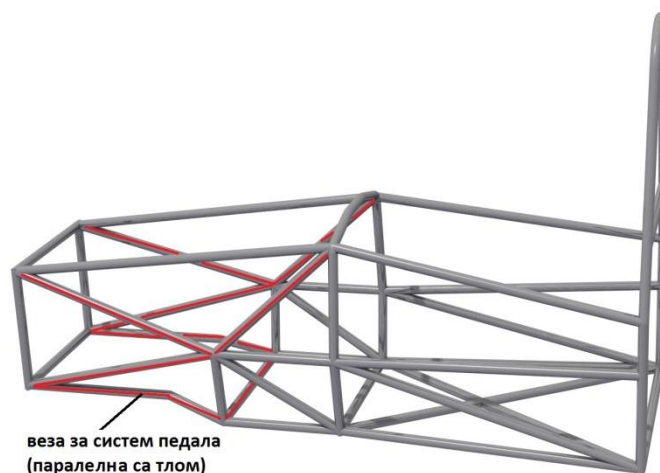
Слика 5.8 – Ојачање доњег дела кабине рама (означено црвеном бојом)

Према конструкционој скици са слике 5.6, приступа се креирању просторног модела повезаних елемената на предњем делу рама, између предњег обруча и предње преклопне преграде. Оно што смо претходно дефинисали јесте да ширина везе на раму за систем ослањања износи 320 mm, и њена висина 205 mm (усвојена према концепцији система за ослањање). Креирани модел приказан је на слици 5.9, на коме је црвеном бојом означен сегмент рама за везу система за ослањање, ојачан дијагоналном цеви између.



Слика 5.9 – Модел предњег дела рама са повезаним предњим обручем и предњом преградом:
а) означена веза рама за систем ослањања, б) означени ослонци предњег обруча

Главна и најкритичнија тачка је чвор у горњем десном углу квадрата везе за систем ослањања. У овој тачки везане су све остале цеви, тако да је предња бочна страна потпуно покривена триангулацијом, и за прелиминарни дизајн задовољава чврстоћу овог дела рама (означена на слици 5.9 а). На слици 5.10 приказани су и означени остали елементи на предњој бочној страни рама. Може се уочити да доњи ниво на предњем делу рама је виши у односу на доњи ниво сегмента за везу система за ослањање. Сам предњи део (део одмах иза предње преклопне преграде) мора бити паралелан са тлом, због везивања система педала, тако да је конструисан пад до најнижег нивоа рама (приказано и означено на слици 5.10).



Слика 5.10 – Модел предњег дела рама са назначеним осталим везним елементима

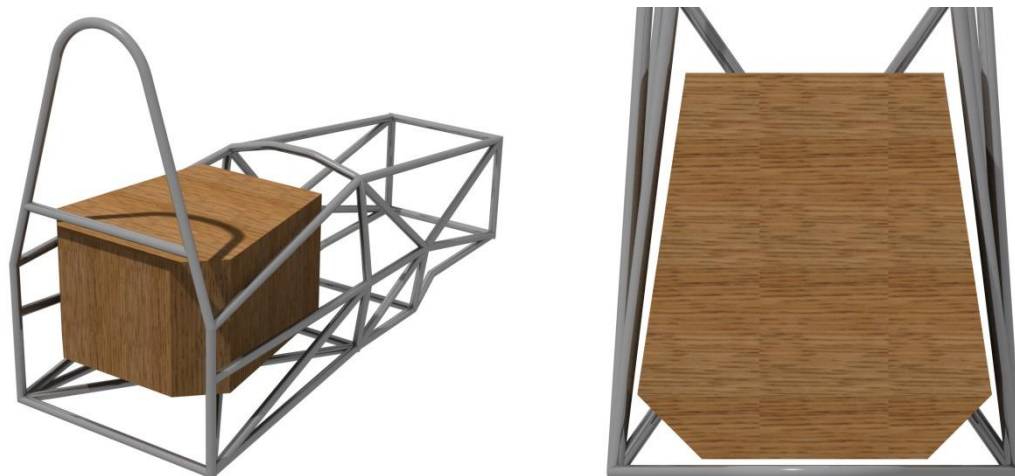
5.4.3 Виртуелни тест пролаза импактора кроз рам

Након завршеног дизајна предњег дела рама и кабине возача, све до главног обруча, потребно је тестирати конструкцију рама просторном симулацијом пролазом импактора као што је приказано на сликама 4.29 и 4.30. На слици 5.11 приказан је први виртуелни тест, у коме вертикални импактор мора да има несметан пролаз од почетка предњег обруча све до 100 mm испред површине педале у хоризонталном правцу (приликом пролаза не сме бити контакта импактора и цеви рама) [15]. Импактор је постављен у вертикалном положају, 90° у односу на тло, подигнут је за висину седишта и носача седишта, и центриран по уздужној оси рама.



Слика 5.11 – Виртуелни тест пролаза вертикалног импактора дуж рама

Пошто је виртуелни тест пролаза импактор дуж рама успешно реализован, и на основу ког дизајн рама у потпуности задовољава, приступа се другом виртуелном тесту. У другом тесту приказаном на слици 5.12, потребно је да се омогући несметани пролаз импактора у вертикалном правцу кроз средњи део рама (кабину возача), у простору предвиђеном за седиште возача, све док импактор не пређе горњу цев бочне структуре. Импактор се поставља у апсолутно хоризонталном положају паралелном тлу, центриран по уздужној оси рама, и спуштен тако да најнижа тачка импактора буде нижа од горње хоризонталне цеви бочне структуре. Такође и други виртуелни тест успешно је реализован, и на основу овог теста рам задовољава своју геометрију.

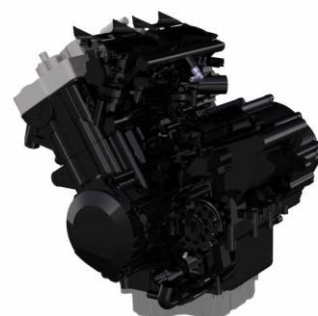


Слика 5.12 - Виртуелни тест пролаза хоризонталног импактора

Анализа дизајна предњег дела рама и кабине возача: Конципирање дизајна предњег дела рама и кабине возача извршена је према унапред задатим ограничењима и одабраним принципима решења у циљу стварања новог решења. Геометрија и положаји основних обруча рама конструисани су на основу ергономије возача и одговарајућих пропозиција. Бочна структура конструисана је према концепцији система за ослањање због одговарајућег висинског ограничења, а њен дизајн усвојен је на основу искустава других тимова. Предњи део рама виши је у односу на средњи део рама, због аеродинамике и ергономије возача. Елементи за везу система педала (означено на слици 5.10) су паралелни са тлом, управо због функције самих елемената. Оба виртуелна теста успешно су реализована, а на основу њих дизајн је одговарајући и задовољава дате пропозиције. Након завршеног комплетног дизајна предњег дела рама са кабином, закључено је да он у потпуности задовољава унапред дефинисане захтеве и ограничења.

5.4.4 Конструисање погонског дела рама

Следећа етапа у процесу конструисања рама јесте конципирање погонског, односно задњег дела рама, који се налази иза возача, и у коме је смештен погонски део возила Формула студент. Овај део рама је најсложенији, јер на њега утиче велики број фактора и просторних ограничења која нису предвидива у потпуности. У погонском делу рама налази се осим погона, и систем за довод горива, задњи део система за ослањање и пренос снаге. Погонски део подразумева мотор са мењачем, систем за усис ваздуха и издувни систем. Као што је већ напоменуто у тачку 4.3.2.5 под 2, за погон болида Формуле студент одлучено је за агрегат мотоцикла у класи до 600 cm³ од Јамахе Р6 (Yamaha R6 YZF). Прво и главно ограничење је геометрија и положај мотора који је у употреби. Најпре је урађен 3Д модел мотора, приказан на слици 5.13, и на основу његових габаритних димензија (које су и дате у тачки 4.3.2.5) и положаја, приступа се конципирању задњег дела рама.

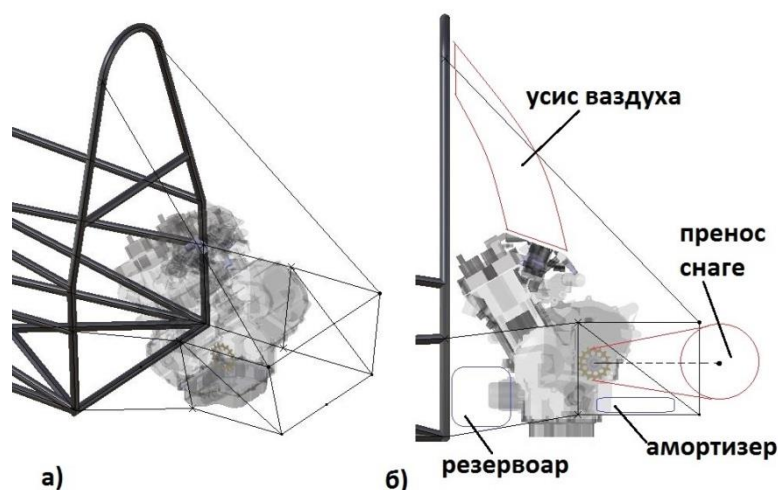


Слика 5.13 – Модел мотора Јамахе Р6

Као што је одређено у тачки 5.3.1, задњи део рама биће конструисан по принципу скраћеног рама, као што је приказано на слици 4.21. Предност оваквог типа конструкције је пре свега смањење масе која представља један од главних захтева, као и компактност конструкције. Сходно томе, потребно је детаљно анализирати и испланирати распоред свих система и елемената, који се налазе у погонском делу раму.

Потребно је да положај мотора буде што ближи основном обручу рама (што више буде померен напред), и његово тежиште буде што је ниже могуће у границама безбедности. Планирано је да положај система за усис ваздуха буде, изнад мотора, и да се простира дуж главног обруча, усмерен ка врху самог обруча. Издувни систем, који се састоји из издувне гране и ауспуха, биће смештен испред мотора и са његове десне стране. Положај ауспуха биће са доње десне стране рама. Сам мотор биће позициониран тако да буде што ближе главном обручу, и његово тежиште буде што је ниже могуће у границама безбедности.

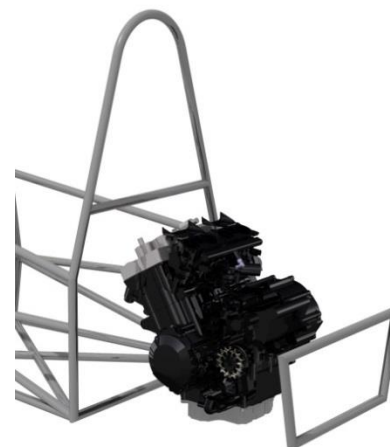
Што се тиче осталих система смештених у овом делу рама, потребно је уради детаљну анализу њихових размештаја, пре него што се крене у конципирање задњег дела рама. Дефинисано је међуосовинско растојање које износи 1600 mm, и према томе се конструише веза задњег система ослањања на раму, као и положај и концепција преноса снаге. Такође због концепције система за ослањање, задњи део рама на коме ће бити везан систем за ослањање, мора бити издугнут у односу на најнижи део рама за 55 mm. Простор за амортизере планиран је да буде на доњем делу задњег рама у бочну ивицу. На слици 5.14 дата је конструкциона скица задњег дела рама са планираним распоредом елемената.



Слика 5.14 – Конструкциона скица задњег дела рама

Положај задњег обруча на раму условљен је делимично међуосовинским растојањем, а више геометријом преноса снаге. На основу концепције преноса снаге, минимално потребно осно растојање ланчаног преносника снаге је 295 mm. Сходно том ограничењу, дефинисан је положај задњег обруча, тако да се оса задњих полу-вратила налази непосредно иза њега.

На слици 5.15 приказан је дизајн и положај задњег обруча, који је конструисан на основу претходно дефинисаних захтева и просторних ограничења. Може се приметити са слике да облик задњег обруча подсећа на пресек корита, тј. да је доњи део обруча ужи него горњи део. Пошто је мотор у свом доњем делу ужи, апсолутно нема потребе за простором у доњем делу рама. Разлог је уштеда масе, и делимично побољшање аеродинамике.



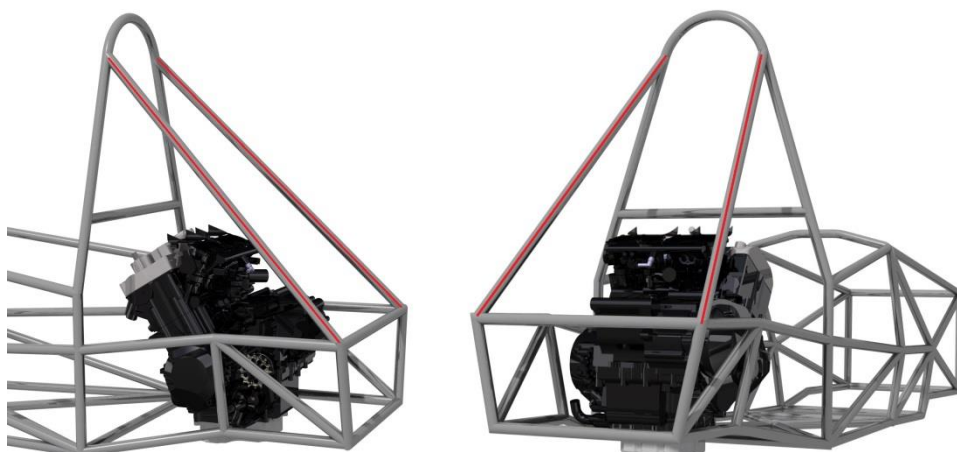
Слика 5.15 – Положај задњег обруча рама



Следећи корак је повезивање задњег обруча са главним обручем и конструисање везе рама са задњим системом ослањања (слика 5.16). С обзиром да је оса полу-вратила иза задњег обруча рама, ширина сегмента везе са ослањањем не утиче на међуосовинско растојање. Ширина овог сегмента је усвојена 300 mm, нешто мање од овог сегмента на предњем делу рама. Као и на сегменту на предњем делу, и овде је ојачан додавањем дијагоналне цеви која везује горњи леви чвор и доњи десни. Даља веза са главним обручем, конструисана је по принципу триангулације, тако да се свака цев сустиче у претходном чвору.

Слика 5.16 – Сегмент везе са системом ослањања

Последњи корак у фази конструисања задњег дела рама је позиционирање обруча главног рама. Према претходно дефинисаним захтевима, који су приказани на слици 4.31, да веза ослонца са главним обручем мора бити максимално 160 mm удаљена у односу на највишу тачку рама, и да угао мерен између ослонца и вертикалне мора бити најмање 30° [15], приступа се позиционирању овог ослонца задњег обруча. Како би торзиона крутост била што већа, потребно је да веза на главном обручу буде што нижа, а веза са задњим делом рама буде што више удаљена од главног обруча. Дизајн ослонца главног обруча приказан је на слици 5.17.



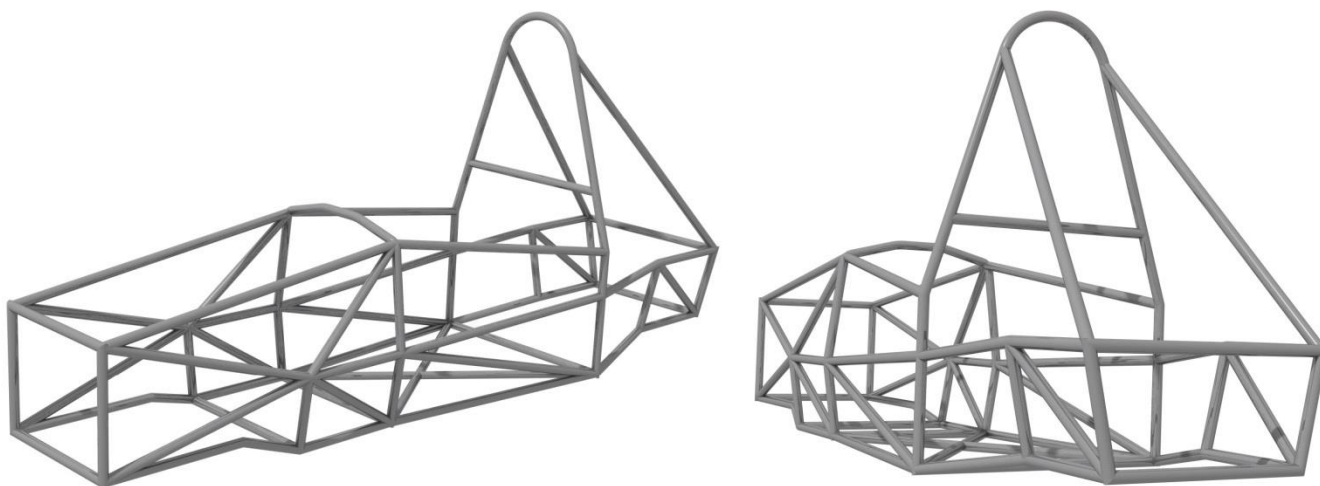
Слика 5.17 – Дизајн и позиционирање ослонца главног обруча

Сви погонски системи заједно са мотором захтевају конструисање посебних носача, како би се омогућила брза и лако монтажа и демонтажа мотора. Веза мотора за рам, која ће у каснијој фази бити конструисана, мора бити еластична, како се вибрације са мотора не би преносила на рам и стварале додатна оптерећења и напрезања на задњем делу рама. Конкретно елементи везе мотора за рам, биће позиционирани и конструисани према унапред тачно одређеном положају мотора.

Овим последњим кораком у процесу конципирања, долази се до прве прелиминарне варијанте конструкције рама, која је приказана на слици 5.18. Маса и висина тежишта одређена у програмском пакету „CATIA“ износе:

Маса рама: 30,35 kg

Висина тежишта рама: 264,5 mm



Слика 5.18 – Визуелни приказ прве прелиминарне варијанте рама

Према дефинисаним захтевима, подаци за масу и висину тежишта прве прелиминарне конструкције рама, су доста изнад очекивања и у великој мери задовољавају чврсте захтеве.

Анализа погонског дела рама: Конципирање дизајна погонског, тј. задњег дела рама, извршена је према низу фактора и просторних ограничења. Главни захтеви су геометрија и положај мотора, концепција преноса снаге, концепција система ослањања и међуосовинско растојање. Најпре је мотор постављен у оптималан положај, што ниже и што ближе возачу у границама безбедности. Затим на основу свих претходних ограничења, прво је позициониран задњи обруч и због концепције ослањања подигнут 55 mm у односу на најнижи део рама. Након тога повезани се елементи са између задњег и главном обруча, и на крају су позиционирани ослонци главног обруча, тако да угао између ослонца и главног обруча износи 36° , што задовољава пропозиције приказане на слици 4.31. Према првој варијанти задњег дела рама, резултати су задовољавајући. Пошто ово представља најсложенији део рама, и до коначне варијанте потребно је проћи још низ тестова и анализа.

5.4.5 Процена рама према техничким и економским критеријумима

Што се тиче економског критеријума, он је био један од чвршћих захтева који се провлачио кроз све досадашње кораке у процесу конструисања рама. Тежило се што једноставнијој и јефтинијој изради, те је сходно томе овај критеријум у потпуности задовољен.

Што се тиче техничког критеријума, он се првенствено односи на исправност планирања распореда свих система и елемената, правилно дефинисана просторна ограничења рама и задовољеност свих унапред дефинисаних техничких захтева и ограничења.

5.4.5.1 Планирање распореда свих система и елемената и њихова просторна ограничења

Мотор је позициониран иза возача, тако да је његово тежиште што ближе возачу и што ниже, а према његовом положају постављени су и издувни и уисни систем. Систем педала везан на предњем делу рама уз доњу линију рама. Према његовим димензијама, дефинисане су димензије предње преклопне преграде. Управљачки систем налази се на предњем делу рама, где је волан везан при врху предњег обруча. Према пропозицијама и тесту пролаза импактора положај волана на раму задовољава дефинисане захтеве. Кабина возача је довољно велика да у њу може да се веже и позиционира седиште без икаквих проблема. Појасеви се везују у шест тачака на раму, где ће накнадно бити конструисан додатан носач за везу испод седишта. Резервоар се према плану везује за рама са доње леве стране, па је сходно томе у овом делу рама остављен простор. Хладњаци ће бити везани са бочне стране рама на додатним носачима од лима

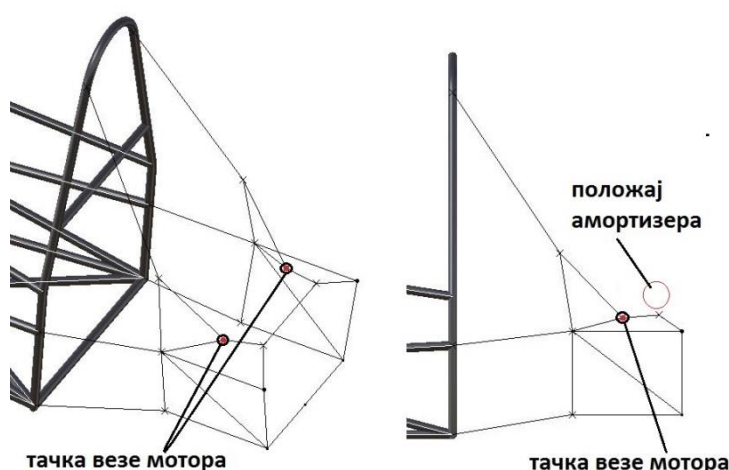
који ће се накнадно везати за рам (лака веза). Пренос снаге који се састоји од носача диференцијала, диференцијала, ланчаног преноса снаге и полу-вртила, смештен је у задњем делу рама иза мотора. Носачи диференцијала биће везани у тачкама везе мотора за рам еластичном везом, како би мотор и пренос снаге чинили једну целину. Планиран је преносни однос ланчаног преноса између 3 и 4, тако да ће простор у овом делу рама бити 100% искоришћен са јако мало зазора у склопу задњег дела возила. Што се тиче система за ослањање, планирање није најуспешније одрађено, због саме сложености система. Прерасподела система ослањања, утицаће на промену геометрије конструкције рама.

5.4.5.2 Прерасподела система за ослањање

Предњи систем за ослањање задржава своју концепцију, и амортизери ће се налазити на доњем делу рама, постављени дуж возила уз бочну ивицу. Због лоше кинематике задњег система за ослањање, пожељно је променити положај амортизера. Планирано да буде постављен у доњем делу рама дуж возила уз бочну ивицу, али на основу анализе са аспекта кинематике система ослањања, пожељно би било позиционирати амортизере у висини изнад сегмента везе за систем ослањања, постављено нормално на подужну осу возила, у приближно хоризонталном положају. При оваквом положају амортизера нападна сила деловаће директно ка амортизеру. Након поновне анализе кинематике система за ослањање, усвојена је коначна концепција задњег система за ослањање, према коме ће се геометрија рама прилагодити.

5.4.6 Реконструкција погонског дела рама

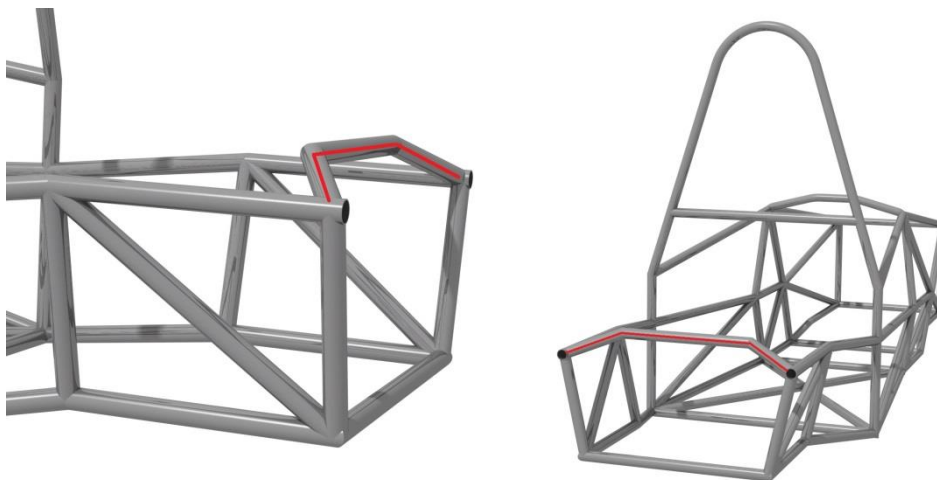
Сходно оваквој прерасподели задњег система за ослањање, геометрија погонског дела рама ће се изменити онолико колико је потребно. На основу детаљне просторне анализе, биће измењен дизајн ослонаца главног обруча и делимично задњи обруч рама, док ће остали елементи на овом делу рама остати непромењени. Према положају амортизера, потребно је ослободити простор за његов несметани ход приликом вожње на стази, тако што ће бити реконструисан најпре ослонац главног обруча. Конструкциона скица реконструкције погонског дела рама приказан је на слици 5.19.



Слика 5.19 – Конструкциона скица реконструкције погонског дела рама

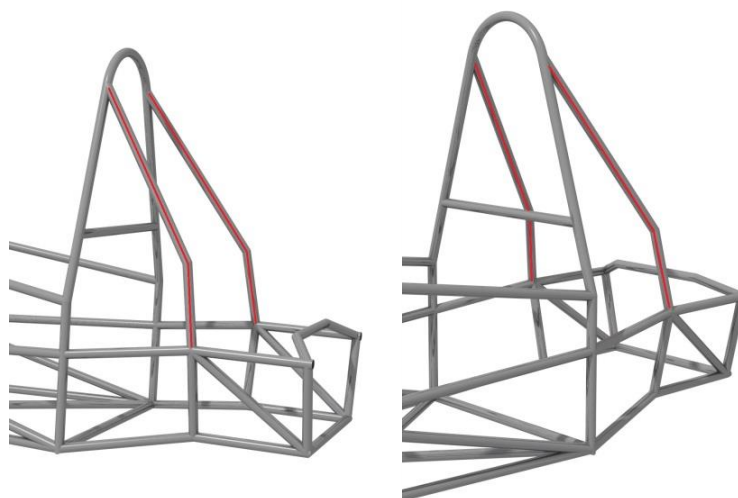
Главна идеја јесте да се поступком триангулације уједно формира конструкција која ће да садржи једну од тачака везе мотора и повезује ослонац главног обруча и задњи обруч. На ову конструкције надовезаће се задњи обруч, који је делимично измештен. Истовремено је повећан простор за гоњени ланчаник преноса снаге.

На основу конструкционе скице, приказане на слици 5.19, најпре је модификован задњи обруч, као што је приказано на слици 5.20. Његов горњи сегмент је измештен и позициониран мало изнад и увучен ка мотору, тако да његова тренутна позиција чини ослонац амортизерима.



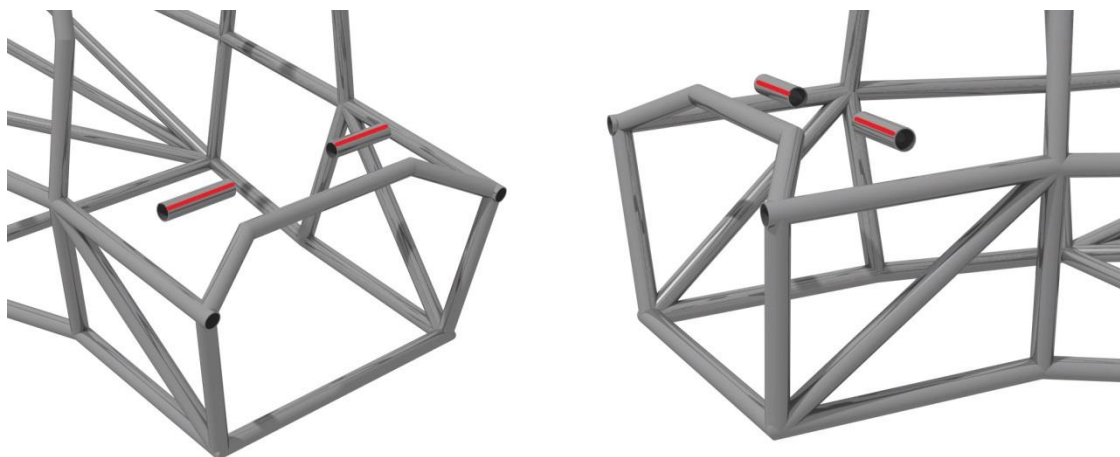
Слика 5.20 – Модификација задњег обруча рама

Након тога конструисани су ослонци главног обруча. Тачка везе са главним обручем остаје на истој позицији, с тим што се ови елементи неће директно везивати за задњи обруч рама, као у претходној варијанти дизајна. Њихова друга тачка везе биће позиционирана у простору отприлике у висини ослонца за раме, с тим што ће се поступком триангулације конструисати мрежа елемената тако да се задовоље дефинисани захтеви. Модификација ослонца главног обруча приказана је на слици 5.21.



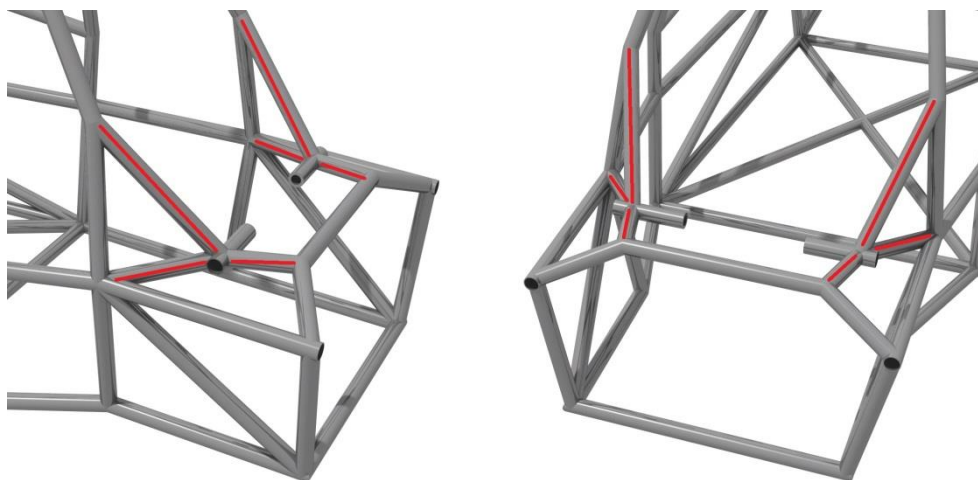
Слика 5.21 – Модификација ослонца главног обруча

Као што је претходно дефинисано, циљ је да се оствари такав дизајн тако да у једној целини повезује задњи обруч, ослонце главног обруча и једну од тачака везе мотора. Први корак у следећој фази процеса реконструкције задњег дела рама, је тачно позиционирање тачке везе мотора у простору и конструисање ослонца за носач мотора, који је приказан на слици 5.22. Ослонац за носач мотора представља цилиндар, који се састоји из цеви која је у употреби у овом делу рама $\varnothing 25 \times 1.5$ mm и чауре заварене са унутрашње стране цеви на страни ка мотору. Заварена чаура представља ослонац за чауру од полиуретанске гуме која се овде монтира.



Слика 5.22 – Позиционирање ослонца за везу мотора

Следећи корак је повезивање осталих елемената за ослонац везе мотора према конструкционој скици приказане на слици 5.19. Повезивање се врши поступком триангулације, као што је приказано на слици 5.23, како би чврстоћа овог дела рама била задовољавајућа, а самим тим и већа торзиона крутост.

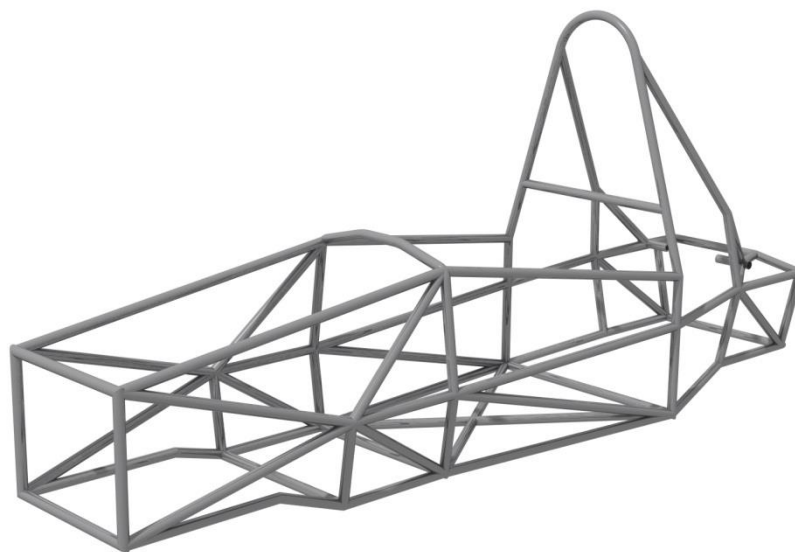


Слика 5.23 – Повезивање осталих елемената на задњем делу рама

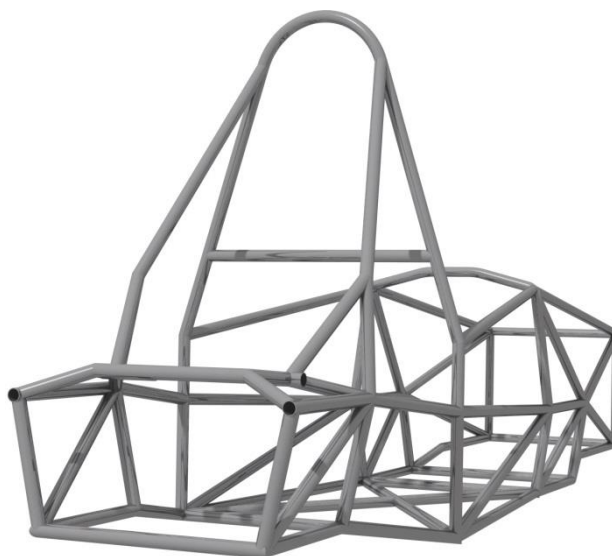
Анализа реконструкције погонског дела рама: Након процене рама према техничким критеријумима, закључено је да концепције задњег ослањања није задовољавајућа, те да ће њена промена утицати на промену конструкције погонског дела рама. Најпре је усвојена концепција задњег ослањања, а затим је на основу нових положаја амортизера приступљено конципирању рама. Главна идеја је била повезивање ослонца главног обруча, тачке везе мотора и задњег обруча рама, где се резултат види на слици 5.23. Сви остали елементи на погонском делу рама су непромењени, осим делимичне промене задњег обруча и ослонца главног обруча. Тренутно угао између ослонца и главног обруча је 2° мањи него у претходној варијанти, и износи 34° , што задовољава пропозиције према слици 4.31 (угао мора бити 30° минимално). Оваквом новом концепцијом погонског дела рама постигнуто је:

- Довољан простор за задњи систем ослањања и повећан простор за мотор и уисни систем,
- Знатно је повећана торзиона крутост задњег дела рама,
- Незнатно је повећана маса,
- Висина тежишта је смањена.

На сликама 5.24 и 5.25 приказана је реконструисана прелиминарна варијанта рама, која тренутно у потпуности задовољава унапред дефинисане захтеве, према листи захтева приказаној у табели 3.



Слика 5.24 – Прелиминарна варијанта у изомтеријском погледу спреда



Слика 5.25 – Прелиминарна варијанта у изомтеријском погледу спреда

Карактеристични подаци прелиминарне варијанте конструкције рама, добијени из програмског пакета „CATIA“ приказани су у табели 5.1.

Табела 5.1 – Подаци прелиминарне варијанте конструкције рама

Назив критеријума	Вредност критеријума рама
Висина тежишта	268,41 mm
Прерасподела масе рама	Предња осовина 48%, задња осовина 52%
Маса рама	31,36 kg
Дужина рама	2320 mm
Ширина рама	645 mm
Висина рама	1065 mm

6. АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА РАМА

6.1 Анализа оптерећења која делују на рам са аспекта статике и динамике

Рам као основна конструкција возила има једну од функција да прихвата и преноси сва оптерећења која делују на возило Формуле студент. Оптерећења која делују на рам могу се разврстати на следеће:

- тежине свих елемената и система возила,
- силе отпора при кретању у току вожње,
- сила тежине возача,
- инерцијалне динамичке силе које се јављају у току вожње,
- силе од управљања возилом,
- силе кочења и убрзања,
- ударне силе [22].

Статичко оптерећење рама изазивају тежине мотора, агрегата трансмисије и каросерије, и свих осталих система и елемената повезаних на раму, као и тежина возача. Динамичко оптерећење изазивају силе и моменти који се појављују приликом кретања возила – инерцијалне силе и моменти.

Заједно са рамом, каросерија образује основни носећи систем возила. Каросерија се може за рам причврстити еластичном везом, као што је и најчешће случај код возила Формуле студент. У том случају се сви агрегати и системи возила, постављају директно на рам возила. У овом случају рам прима сва оптерећења која се јављају при кретању возила [14].

6.1.1 Силе отпора при кретању возила

У најопштијем случају силе отпора које дејствују на возило у кретању могу се поделити на унутрашње и спољашње силе отпора. Под унутрашњим силама отпора подразумевају се све силе које дејствују при преносу снаге од мотора до точка, како инерционе тако и силе трења елемената трансмисије. Стога се ове силе отпора и зову унутрашњим силама. Њихово дејство се може са довољном тачношћу апроксимирати степеном корисности трансмисије, оном силом, тј. Моментом који се добија на погонским точковима возила Формула студент. Највеће оптерећење од унутрашњих сила трпе сами носачи погонских система на возилу, а понајвише тачке везе мотора са рамом, који уједно представљају и везе са системом за пренос снаге.

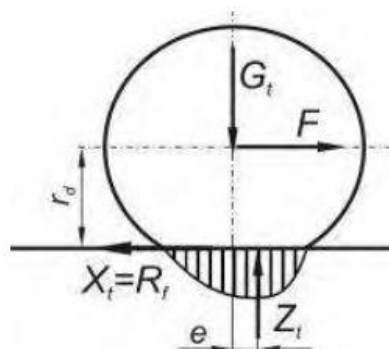
Спољашње силе отпора се могу поделити на:

- силе отпора при кретању возила из места,
- силе отпора при стационарном и нестационарном кретању.

Силе отпора при кретању возила из стања мировања у принципу се не узимају при прорачуну укупних сила као отпори кретању, јер су остале силе увек далеко више.

6.1.1.1 Сила отпора при котрљању R_f

Сила отпора котрљању точка по асфалту (путу) зависи пре свега од врсте точка и врсте и квалитета асфалта. У том смислу, разликују се облици котрљања у зависности од тврдоће точка и подлоге. Приликом кретања возила неравномерном брзином, на пример приликом убрзања или кочења, истом се супротстављају још и силе инерције R_i , које настају као производ масе возила и убрзања односно успорења. У таквом случају сматра се да се точак са пнеуматиком еластично деформише, стварајући “отисак” у тлу, при чему се сила реакције на тежину измешта из центра точка (слика 6.1) у правцу кретања због деформације пнеуматика.



Слика 6.1 – Отпор кретања еластичног точка при тврдом тлу [21]

Реакција тла од тежине G_t за случај приказан на слици 6.1 су X_t (хоризонтална реакција) и Z_t (вертикална реакција). Јасно је да се хоризонтална сила X_t може налазити у границама

$$0 \leq X_t \leq Z_t \cdot \mu, \quad (3)$$

при чему је μ коефицијент пријањања точка о асфалту, који се са довољном тачношћу може узети да је једнак коефицијенту клизања. Према слици 6.1 може се извести једначина

$$F \cdot r_d = Z_t \cdot e \rightarrow F = X_t = Z_t \cdot e / r_d, \quad (4)$$

при чему се однос e/r_d сматра коефицијентом отпора при котрљању f ($f \approx 0,02$) [21]. Из једначине (4) се види да силе F и X_t образују спрег сила која се уравнотежава моментом отпора котрљању

$$M_f = Z_t \cdot e, \quad (5)$$

тако да из биланса сила на точку следи

$$F = R_f = M_f / r_d = Z_t \cdot e / r_d = Z_t \cdot f = G_t \cdot f \quad (6)$$

Сила отпора при котрљању приказана у једначини (6) се преноси преко система за ослањање на рам, и делује у тачкама везе система ослањања за рам [21].

6.1.1.2 Сила отпора ваздуха R_v

Отпори ваздуха, односно ветра заузимају значајно место у оптерећењима на возило, тако да се у данашње време облику возила, боље речено аеродинамичности посвећује посебна пажња, као једном од значајних фактора који утичу на потрошњу горива и динамичко понашање возила на путу. Посебна пажња се такође посвећује и конструкцији облика бочних површина, с обзиром да сила бочног ветра не дејствује у тежишту површине, већ у метацентру исте, тако да од међусобног положаја тежишта возила и метацентра бочне површине, доста зависи каква ће бити стабилност возила на бочни ветар.

Математички израз којим се израчунава отпор ваздуха при кретању возила има следећи израз:

$$R_v = c_x \cdot \rho / 2 \cdot A \cdot (v \pm w)^n, \quad (7)$$

где појединачни параметри представљају:

c_x [-] – фактор аеродинамичности (код спортских возила 0,25 – 0,4) [21],

ρ [kg/m³] – густина ваздуха,

A [m²] – чеона површина возила (површина пројекција чеоне површине на управну раван), за спортска возила вредност се креће: 1 – 1,3 [21],

v, w [m/s] – резултујућа брзина возила, односно ветра (зависи од угла деловања ветра),

n [-] – експонент који зависи од брзине (0,3 – 2 за дозвучне брзине).

Сменом константних израза у једначини (7), добија се коефицијент отпора ваздуха K

$$K = c_x \cdot \rho / 2, \quad (8)$$

чија вредност за спортска возила износи између 0,15 – 0,3 [21].

Тако да се на крају добија израз за силу отпора ваздуха

$$R_v = K \cdot A \cdot (v \pm w)^n \quad (9)$$

6.1.1.3 Отпори инерцијалних сила – сила отпора убрзања и кочења R_i

Приликом убрзаног или успореног кретања возила, као последица другог Њутновог закона, јавља се сила отпора убрзању, односно успорењу, чешће звана инерциона сила, чије је дејство у тежишту возила. Ова сила има смер увек супротан од смера кретања возила. У процесу убрзања/кочења потребно је убрзати/успорити како транслаторне тако и ротационе масе. Услед тога укупна инерциона сила се рачуна као збир сила насталих од ових двеју маса

$$R_i = R_{iT} + R_{iO}, \quad (10)$$

при чему су:

$R_{iT} = m \cdot a = G/g \cdot a$ [N] – силе отпора убрзања транслаторних маса,

R_{iO} – сила отпора убрзања обртних маса.

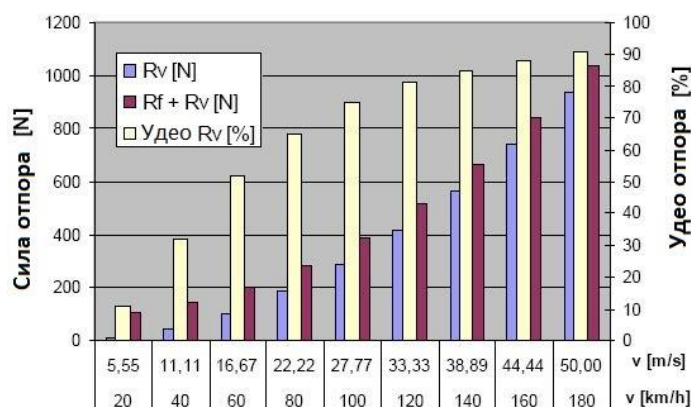
Сила отпора убрзања обртних маса садржи сложена извођења, и према [21] се долази до крајњег обрасца за укупну силу отпора инерцијалних сила који на основу експерименталних истраживања се може написати у облику

$$R_i = R_{iT} + R_{iO} = G/g \cdot a \cdot (1,03 + x \cdot i_m^2). \quad (11)$$

Израз у загради $(1,03 + x \cdot i_m^2)$ може се заменити коефицијентом δ који према експерименталним подацима износи $\delta = 1,5 - 1,8$ у 1. степену преноса, за мотора са вишестепеним мењачем [21].

6.1.2 Анализа сила отпора при кретању

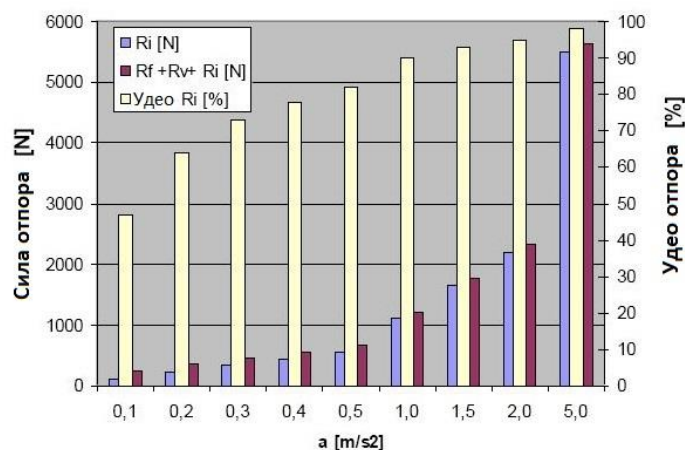
Како би се стекла боља „слика“ о вредностима у процентуалном уделу свих сила отпора при кретању, извршена су експериментална истраживања. На слици 6.2 приказан је дијаграм са вредностима отпора кретања возила при једноличном кретању на равном путу.



Слика 6.2 – Отпори кретања возила на равном путу [21]

Са слике 6.2 може се закључити да највећи утицај при отпору кретања возила имају силе отпора ваздуха и отпора при котрљању. При мањим брзинама већи удео у отпору има сила отпора при котрљању, док при брзинама већим од 60 km/h већи удео има сила отпора ваздуха. Испитано возило је масе 1000 kg, док предвиђена маса болида Формула студент са возачем износи између 340 kg и 360 kg.

На слици 6.3 приказан је дијаграм са вредностима отпора кретања возила масе 1000 kg при убрзаном кретању на равном путу.



Слика 6.3 – Отпори кретања при убрзаном кретању са почетном брзином 30 km/h [21]

Са слике 6.3 може се закључити да највећи утицај при отпору кретања при убрзању возила имају силе отпора ваздуха, отпора при котрљању и отпори инерцијалних сила. Укупна сила отпора је већа, него при равномерном кретању, и удео инерцијалних сила је знатан у односу на удео отпора котрљању и отпора ваздуха. Испитано возило је такође масе 1000 kg. Према истраживањима у раду других Формула студент тимова [5,6,7,8,9,10,11], возило се на стази креће просечном брзином од око 60 km/h, а сходно конфигурацији датим стазама на такмичењима и перформансама возила Формула студент, максималну брзину коју достиже на стази износи до 80km/h. Према овим експерименталним истраживањима и емпиријским подацима, возило Формула студент у екстремним ситуацијама достиже максимално убрзање до $a=0,8 \text{ m/s}^2$, а док инерција при кочењу у екстремним ситуацијама достиже и чак вредност успорења до $a=2,6 \text{ m/s}^2$ [23].

6.1.3 Тежине свих елемената и система возила и тежина возача

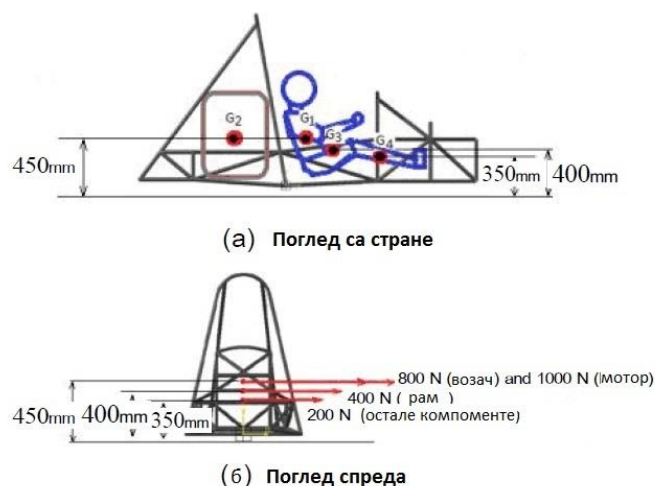
Тежине свих елемената и система возила, као и тежина возача, пре свега оптерећују конструкцију рама као статичко оптерећење при мировању возила, и њихов интензитет силе статичког оптерећења износи:

$$F_s = m \cdot g \text{ [N]} \quad (12)$$

Затим у току кретања возила, ове силе праве и додатна инерцијална оптерећења, и њихов интензитет силе у зависности од убрзања a износи:

$$F_i = m \cdot a \text{ [N]} \quad (13)$$

Силе од тежине свих система као и возача, делују у њиховим тачкама тежишта. Шематски приказ дејства сила појединачних маса дата је на слици 6.4. Највеће оптерећење засигурно трпи погонски део конструкције рама, јер елементи и системи позиционирани и везани у овом делу рама имају највећу масу (мотор са мењачем, усисни систем, издврни систем, пренос снаге, систем за довод горива, електроника). Сви ови елементи се могу посматрати као једна маса погонског дела, где је тежиште приближно тежишту мотора. Друга већа маса је свакако сам возач, који је позициониран на средини возила. Трећа утицајна маса јесте рам, чије се тежиште налази такође на средини возила. Као трећа маса, која се може издвојити, јесте скуп свих предњих елемената у које спадају систем за управљање и систем педала.



Слика 6.4 – Шематски приказ сила појединачних маса [5]

6.1.4 Центрифугална сила

Центрифугална сила је инерцијална сила, која се јавља код криволинијских кретања. Њен вектор правца пролази кроз центар кривине путање, нормалан је односу на вектор правца брзине и делује у смеру супротно од смера вектора центрипеталне силе. У општем случају, приликом кретања тела, ових центара има више, зависно на ком делу путање се тело налази. Образац за интензитет центрифугалне силе је

$$F_C = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (14)$$

где је:

m [kg] - маса тела инерције,

v [m/s] - брзина кретања возила,

r [m] - полупречник кривине [24].

Код возила Формула студент, центрифугална сила се може назвати и бочна инерцијална сила, која се јавља услед инерције убрзања и кочења у кривини. Као што је дато у једначини (14), њен интензитет зависи од масе тела инерције, брзине кретања возила и полупречника кривине. Бочне инерцијалне силе делују у кривини тако да изазивају момент увијања код возила, где највеће оптерећење свакако трпи рам. Према експерименталним подацима бочне инерцијалне силе, од маса приказаних на слици 6.4, могу направити момент увијања до 800 Nm [5].

6.1.5 Сила узгона

Сила узгона представља вертикалну компоненту отпора ваздуха, која тежи да смањи притисак између точка и тла, што изазива и смањење управљивости на управљачкој осовини. Узгон је компонента укупне аеродинамичке силе, нормална на правац кретања тела кроз ваздух. Обележава се са R_z и делује при кретању тела кроз ваздух, уравнотежујући његову тежину, слично као при потапању у течност. Представља резултат створене разлике притиска, са горње и доње стране возила. Може се постићи асиметричним опструјавањем ваздуха око тела. Асиметрично опструјавање се постиже ако се тело профилише, у пресеку са равни у којој се жели постићи вектор узгона, добијена контура је аеропрофил.

Сила узгона се може изразити помоћу једначине

$$R_z = C_z \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S, \quad (15)$$

где су:

R_z [N] – сила узгона,

C_F [-] – коефицијент узгона,

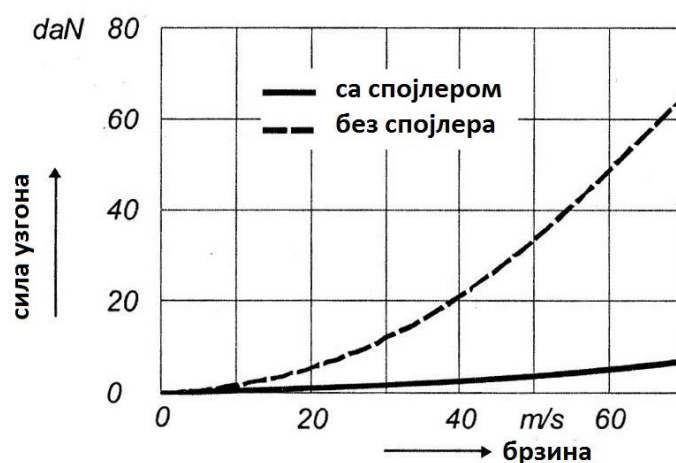
S [m²] – површина дејства силе,

V [m/2] – брзина,

ρ [kg/m³] – густина ваздуха.

У пракси се одвојено посматрају коефицијенти отпора за силу узгона на предњој и задњој осовини. Обликом каросерије, као и додавањем спојлера, може се постићи одговарајући однос силе узгона на предњој и задњој осовини. На тај начин се одговарајућим обликом ових делова возила посредно утиче на остварене вучне и кочне силе. Јасно је да је ефикасност кочења умањена за компоненту узгона, што је уочљиво при већим брзинама.

Ова сила изазива момент галопирања, који изазива подизање предње или задње осовине, зависно од подужне расподеле силе узгона. Сила узгона има велики утицај код спортских аутомобила, јер се крећу великим брзинама, док код Формуле студент нема толико велики утицај [25, 31]. Формула студент може да развије максималну брзину на стази до 80 km/h. На слици 6.5 приказан је график са вредностима силе узгона, добијених експерименталним путем.



Слика 6.5 – Зависност силе узгона од брзине возила, са и без спојлера [25]

6.1.6 Резиме оптерећења рама возила Формуле студент

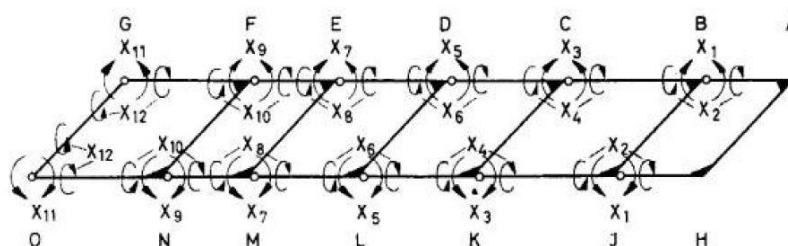
Након детаљне теоријске и експерименталне анализе, анализе услова на стази и класификације свих оптерећења која делују на рам возила Формула студент, може се извести закључак о конкретним интензитетима сила које делују, са приближном тачношћу (табела 6.1). Дејства свих оптерећења су релативна и у сваком тренутку зависе од великог броја фактора.

Табела 6.1 – Резиме оптерећења рама

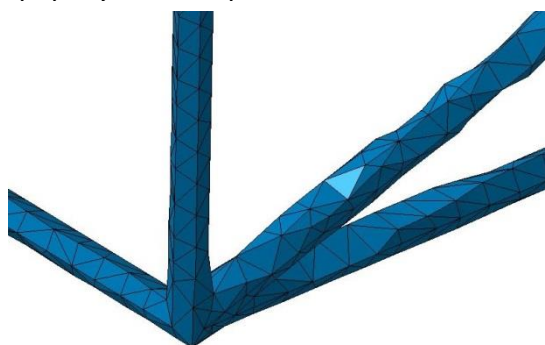
	Врста оптерећења	Распон интензитета	Напомена
1.	Статичко оптерећење	2600 ~ 2700 N	Сума свих елемената огибљене масе
2.	Сила отпор при котрљању	max ~ 60 N	Максимална вредност силе по точку
3.	Сила отпора ваздуха	max ~ 100 N	Максимална вредност силе
4.	Сила инерције при убрзању	450 ~ 500 N	При убрзању $a_{max}=0,8 \text{ m/s}^2$
5.	Сила инерције при кочењу	1500 ~ 1700 N	При кочењу $a_{max}=2,6 \text{ m/s}^2$
6.	Центрифугална сила	1700 ~ 1800 N	Оптерећење погонског дела (F_{max})
7.	Сила узгона	max ~ 100 N	Максимална вредност силе

6.2 Методе прорачуна и тестови оптерећења рама

При прорачуну рама користе се прорачунске методе прилагођене датој конструкцији система рама. Конкретно код рамова се могу примењивати из статике познате методе прорачуна одређених и неодређених носача, где се још од 1982. године по правилу врши методом коначних елемената. Овај прорачун се врши са посебно развијеним прорачунским програмима, при чему се рам дели на преко 100.000 малих елемената, а систем једначина обухвата око 500.000 непознатих. На слици 6.6 приказана је шема прорачуна оптерећења статички неодређеног рама, а на слици 6.7 приказан је пример нумеричког прорачуна рама методом коначних елемената.



Слика 6.6 – Шема прорачуна оптерећења статички неодређеног рама [22]

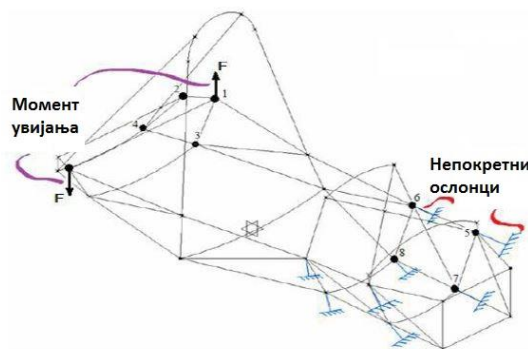


Слика 6.7 – Пример примене методе коначних елемената у прорачуну рама

При прорачуну рамова поред напона посебно се проверава угиб и увијање што је важно са становишта одржавања правилне уградње агрегата који се поставља на рам. Рамови се обавезно уз прорачуне, као уосталом и све остале компоненте возила, проверавају статичким и динамичким експерименталним испитивањима која се код рамова често могу извршити и са релативно једноставном опремом [22].

6.2.1 Тест торзионе крутости

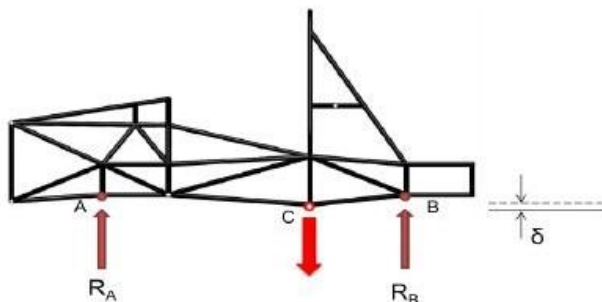
Тестирање рама на оптерећење увијања, може се назвати и тест торзионе крутости. Торзиона крутост представља особину конструкције рама да се супротстави оптерећењу које настаје приликом деловања момента увијања, и одупре промени облика, тј. деформацији. Дефинише се као однос момента увијања и угла увијања и приказан је у једначини (2). Торзиона крутост се сматра најважнијим тестом, јер симулира увијање погонског дела рама услед кочења, убрзања и скретања [10]. Из табеле 5, се јасно види да је центрифугална сила најкритичнија од свих спољашњих оптерећења која делују на рам. Тест се сасвим меродавно може извести нумерички помоћу одговарајућег софтвера методом коначних елемената (слика 6.6), а принцип теста дат је на слици 6.8.



Слика 6.8 – Дефинисани услови теста торзионе крутости у софтверу [7]

6.2.2 Тест савојне крутости

Други тест по важности, који показује да ли чврстоћа конструкције рама задовољава, је тест на савојну крутост. Ова тест представља статичку проверу средишњег дела кабине возача, јер у тој зони се налази тежиште возила Формула студент. Он се такође може извршити експериментално или нумерички помоћу методе коначних елемената. Савојна крутост се дефинише као однос силе савијања и вредности угиба. Овај тест се односи на статичку издржљивост рама при савијању средишњег дела. Возило, а самим тим и рам, је ослоњено у четири тачке ослонца (приказано на слици 6.8 као тачка А и тачка Б, у једној равни у погледу са стране), а док комплетна огибљена маса возила има статичку тежину која делује у тачки тежишта или у тачки приближна њој на средини возила (тачка Ц на слици 6.9).



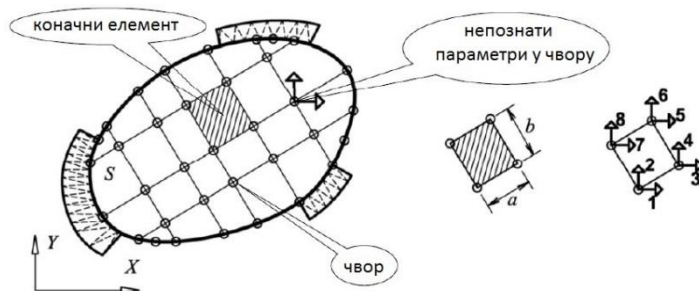
Слика 6.9 – Принцип теста савојне крутости [8]

Поред ова два главна теста, које је званично прописала Међународна асоцијација инжењера из ауто-мото сфере (SAE Internationale) [10,15], пожељно је урадити и још неколико тестова који се односе на реалне услове и дејства датих и претходно дефинисаних оптерећења.

6.3 Компјутерска анализа конструкције рама

6.3.1 Метода коначних елемената (МКЕ)

Метода Коначних Елемената –МКЕ (слика 6.10) представља нумеричку методу структурне анализе која се користи за добијање апроксимативних решења за широк спектар инжењерских проблема. МКЕ је довољно уопштена да подржи било који сложени облик конструкције, било која материјална својства као и различите облике оптерећења. У циљу примене МКЕ методе неопходно је добро познавање физике проблема који се анализира. Основна идеја МКЕ методе је физичка дискретизација стварног модела. То подразумева поделу неке структуре на коначан број елемената малих димензија. Дакле, простор континуума се дели на међусобно повезане непреклапајуће геометријске форме тј., елементе. Ти елементи малих димензија називају се коначни елементи. Мрежа коначних елемената је међусобно повезана карактеристичним тачкама које се називају чворови и у којима фигурише коначан број непознатих прорачунских величина. Савремени софтвери дозвољавају варијацију различитих облика елемената на континууму. МКЕ метода је заснована на: 1) подели комплексног облика на мале елементе, 2) формирању једначина равнотеже сваког елемента; 3) формирању система једначина; 4) решавању система једначина. Решавањем систем једначина добија се апроксимативно нумеричко решење за модел. Број чворова и елемената који се користе у нумеричкој анализи зависи од инжењерске процене. [26].



Слика 6.10 – Метод коначних елемената [27]

6.3.2 Софтвер за анализу МКЕ



Слика 6.11 – Принцип рада софтвера за МКЕ [27]

6.3.2.1 Предпроцесор

- Дефинисање типа коначних елемената према претходној фази планирања (једнодимензионално, дводимензионални, просторни),
- Креирање геометрије анализиране конструкције (у неком од CAD софтвера, у овом случају CATIA V5R20, или директно у предпроцесору МКЕ солвера),
- Генерисање мреже коначних елемената (аутоматски или ручно),
- Додељивање карактеристика материјала,
- Додељивање карактеристика попречног пресека (на пример: једнодимензионални, љуске, дводимензионални...),
- Дефинисање елемента са специфичним карактеристикама (еластичност, пригушење, трење, зазор, услови контакта између појединих коначних елемената...),
- Задавање спољашњих оптерећења (силе, моменти...),
- Постављање граничних услова (линеарна или угаона померања једнака нули или њихове комбинације).

Задата спољашња оптерећења и постављени гранични услови морају обезбедити статичку равнотежу разматране конструкције.

6.3.2.2 Солвер

Пресолвер:

- Учитава модел креиран у предпроцесору,
- Формулише математичку репрезентацију модела у облику система једначина.

Ако постоје неки недостаци, пресолвер зауставља даљи рад и спречава математичко решавање које би било немогуће. Ако је модел исправан, солвер наставља процес рада.

Математичко решавање:

- Израчунавање резултата система једначина

Постсолвер:

- Израчунавање напона, деформација, брзина за сваки чвор коначних елемената континуума,
- Резултати се шаљу у фајл резултата који постпроцесор може аутоматски да чита.

6.3.2.3 Постпроцесор

- Читање резултата анализе,
- Резултати могу бити приказани у виду дијаграма, табела, различитих облика графичког приказа, деформисаних стања континуума, облика модова природних учестаности,
- Постоје и алати за анимацију.

Постпроцесор укључује и израчунавање напона и деформација у свим координатним правцима. На основу тога добијају се главни напони и деформације [27].

6.3.3 Структурна анализа конструкције рама

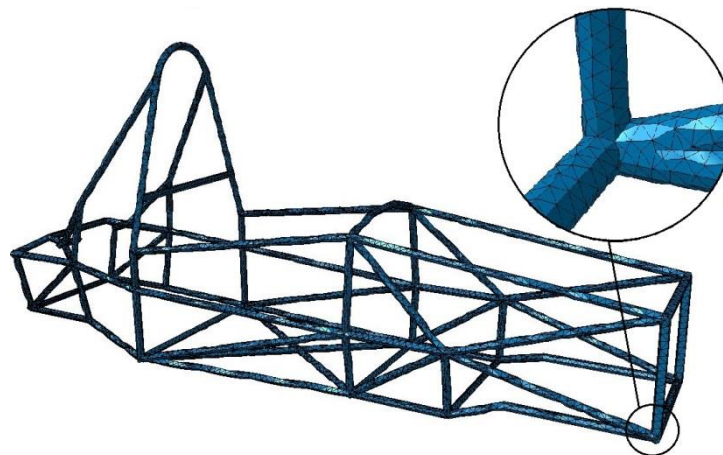
Након детаљног теоријског разматрања свих врста оптерећења која делују на рам са аспекта статике и динамике, класификације истих, прикупљања експерименталних података вредности оптерећења, и анализе услова конструкције, приступа се структурној анализи оптерећења и напона конструкције рама Формуле студент, методом коначних елемената.

6.3.3.1 Генерисање мреже коначних елемената на конструкцији и избор материјала

Структурна анализа конструкције рама Формуле студент урађена је у модулу „**Generative Structural Analysis**“ у програмском пакету „CATIA“. Програмски пакет ради са тродимензионалним тетрагоналним коначним елементима. Следећи корак је генерисање мреже коначних елемената, која ће бити одрађена аутоматски (слика 6.12). Изабрани материјал рама је челик Č.0563 (табела 6.2), повишене јачине, ниске цене, одлично заварљив и отпоран на крти лом [28].

Табела 6.2 – Карактеристике изабраног челика

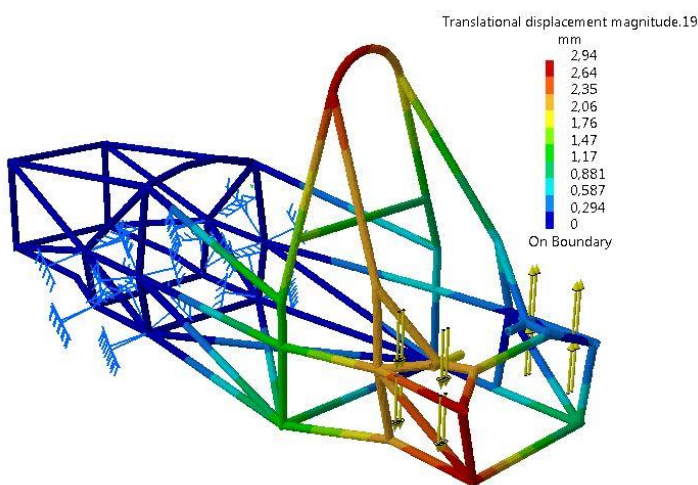
Ознака	R_{eH}	R_m	Ударна жилавост	Издужење (%)	% C
Č.0563/ S355J2g3	355 MPa	490-630 MPa	27 J (-20°C)	Max 22%	Max 0,22%



Слика 6.12 – Генерисање мреже коначних елемената рама

6.3.3.2 Анализа торзионе крутости

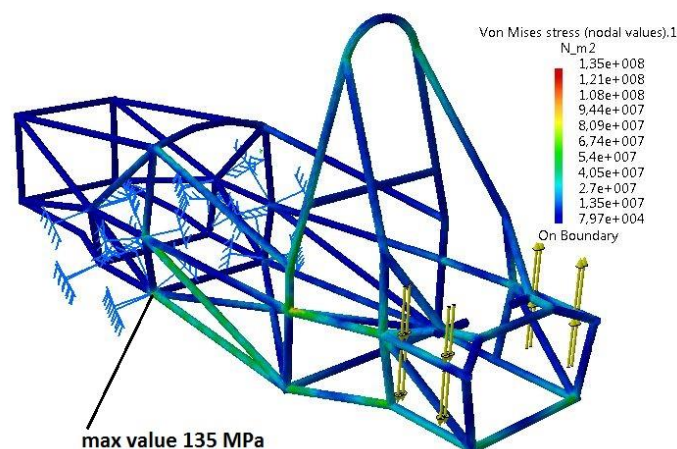
Након дефинисања торзионе крутости и прикупљених података о вредностима оптерећења, приступа се компјутерској анализи рама. Предњи део рама се према дефинисаним условима [5] учвршћује непокретним ослонцем, а задњем делу рама се постављају силе које настају услед инерције центрифугалне силе ($F=1800\text{ N}$), које теже да увију задњи део рама који је најкритичнији због расподеле маса и задње вуче возила Формула студент. Рам је такође оптерећен и статичким напрезањем, са реалном расподелом. На слици 6.13 приказани су резултати вредности померања графички обрађени у виду спектра боја. Са стране дата је скала вредности померања, где је црвеном бојом обележена зона највећег померања.



Слика 6.13 – Графички приказ вредности померања при торзионом тесту

Највеће деформационо померање на раму је при врху главног обруча и оно износи **2,93 mm** у најнеповољнијем случају. Вредност померања у зони дејства момента износи **2.81 mm**, тако да је сходно томе вредност угла увијања **$\theta=0,618$** . Момент увијања износи $T=F \cdot l=1800 \cdot 0,53=954 \text{ Nm}$, и сходно томе торзиона крутост према (2) износи: $K=T/\theta=954/0,612=1559 \text{ Nm/}^\circ$.

На слици 6.14 приказани су резултати вредности Фон Мизесовог напона у раму, под дејством момента увијања, графички обрађени у виду спектра боја. Са стране дата је скала вредности напона, где је црвеном бојом обележена зона највећег Фон Мизесовог напона. Највећа вредност напона је у доњем левом или десном чвору (у зависности од смера момента увијања) предњег обруча и она износи $\sigma_{max}=134,8 \text{ MPa}$.

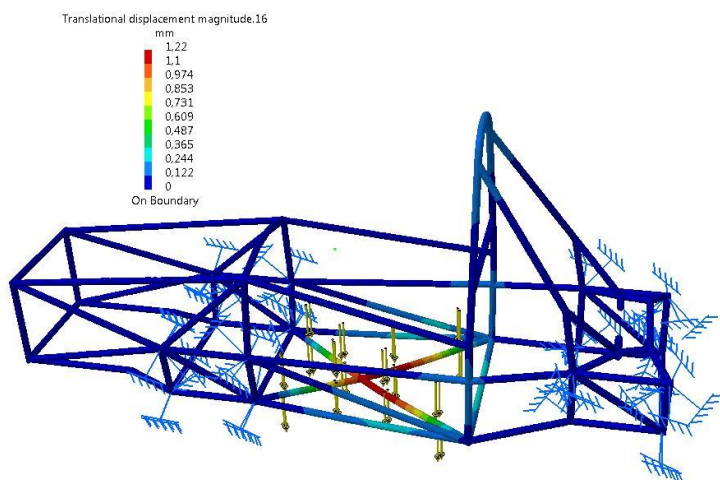


Слика 6.14 – Графички приказ вредности Фон Мизесовог напона при торзионом тесту

Дискусија анализе торзионе крутости: Након урађене компјутерске анализе теста торзионе крутости добијени су резултати померања и Фон Мизесовог напона. На основу резултата деформација рама, добијен је резултат торзионе крутости који износи **$K=1559 \text{ Nm/}^\circ$** , што задовољава дефинисани захтев ($K_{min}=1500 \text{ Nm/}^\circ$). Што се тиче напона, максимална вредност напона износи **$\sigma_{max}=134,8 \text{ MPa}$** . Критичан напон је напон течења изабраног челика приказан у табели 6, и он износи **$R_{eH}=355 \text{ MPa}$** . Према искуственим подацима и препорукама [29], критична зона на завареној конструкцији је зона ЗУТ-а (зона утицаја топлоте) код чворова на раму, где се као критична вредност напона узима вредност граниче течења помножена са фактором 0.7, и њена вредност износи **$R_{eH}=248 \text{ MPa}$** (критична вредност). Сходно максималном напону приликом теста торзионе крутости, степен сигурности са аспекта унутрашњег напона износи **$S=1,84$** .

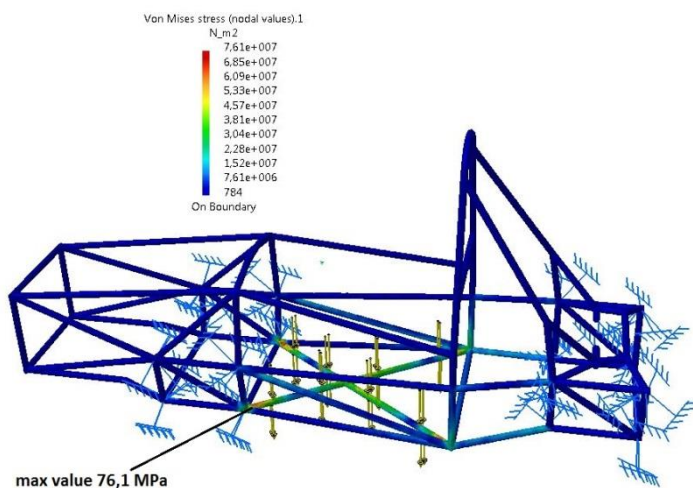
6.3.3.3 Анализа савојне крутости

Након дефинисања савојне крутости и прикупљених података о вредностима оптерећења, приступа се компјутерској анализи конструкције рама.



На слици 6.15 приказани су резултати вредности померања рама при тесту савојне крутости, графички обрађени. Са стране дата је скала вредности померања у виду спектра боја, где је црвеном бојом обележена зона највеће померања. Према принципу теста (слика 6.8), тачке везе са системом ослањања су учвршћене непокретним ослоном, а на средини рама, на дну кабине возача, задата је статичка сила тежине целог возила (**$F=2700 \text{ N}$**). Највеће померање је на средини кабине и износи **1,22 mm**.

Слика 6.15 - Графички приказ вредности померања при тесту савојне крутости



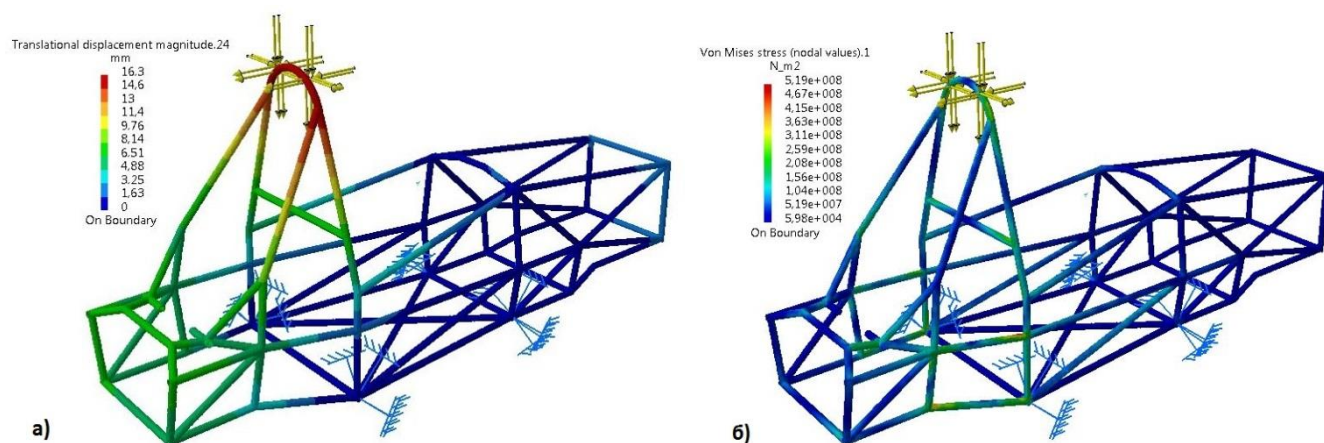
На слици 6.16 приказани су резултати вредности Фон Мизесовог напона у раму, под дејством статичког оптерећења у зони тежишта возила (дно кабине возача), графички обрађени. Са стране дата је скала вредности напона, где је црвеном бојом обележена зона највећег Фон Мизесовог напона. Највећа вредност напона је у доњем левом или десном чвору предњег обруча и она износи $\sigma_{max}=76,1 \text{ MPa}$.

Слика 6.16 – Графички приказ вредности Фон Мизесовог напона при тесту савојне крутости

Дискусија анализе савојне крутости: Након урађене компјутерске анализе теста савојне крутости, добијени су резултати померања и Фон Мизесовог напона. На основу резултата деформација рама, добијен је резултат савојне крутости, који представља однос силе и деформације, и износи $S=2700/1,22=2213 \text{ N/mm}$, што задовољава захтев ($S_{min}=1800 \text{ N/mm}$).

6.3.3.4 Остале анализе рама у датим условима

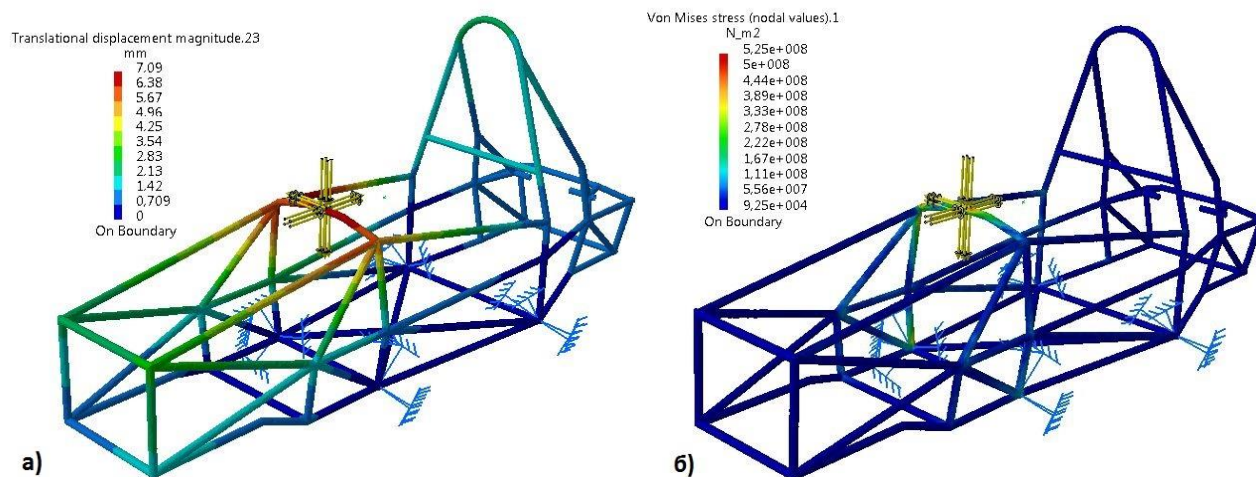
Након анализе торзионе и савојне крутости, урађене су и анализе рама према препоруци у раду Формула тима [10], које уједно представља и строгу пропозицију за рамове израђене од композитних материјала [15]. Доњи чворови (леви и десни) главног и предњег обруча су причвршћени непокретним ослонцима, а затим се задају оптерећења на главном, предњем обручу и предњој преклопној прегради. Деформациона померања за сва три теста не смеју да пређу 25mm, а да притом не настане лом материјала, тј. вредност Фон Мизесовог напона не пређе вредност затезне чврстоће челика. У табели дате су механичке карактеристике челика $\check{C}0563$, од кога је рам израђен, и његова вредност затезне чврстоће износи 560 MPa ($R_m=560 \text{ MPa}$). На слици 6.17 приказани су резултати деформације (слика 6.17 а) и Фон Мизесовог напона (слика 6.17 б), према тесту 1, где је оптерећен главни обруч са силама: $F_x=6 \text{ kN}$, $F_y=5 \text{ kN}$, $F_z=-9 \text{ kN}$ [10, 15].



Слика 6.17 – Резултати теста оптерећења главног обруча: (а) резултати померања рама, (б) резултати Фон Мизесовог напона

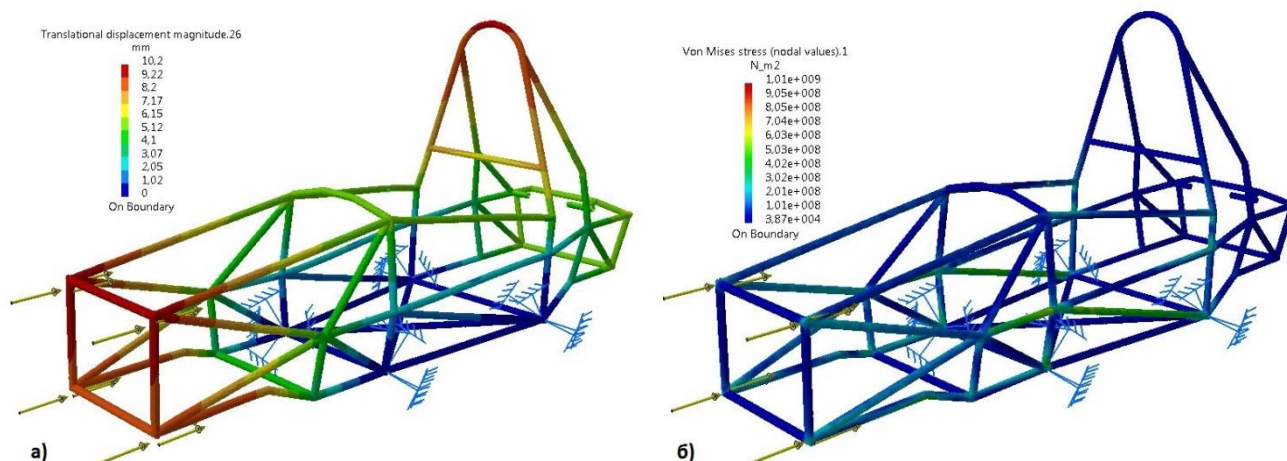
Може се уочити са слике 6.17, да је вредност померања $d=16,3 \text{ mm}$ (мање од 25 mm), а да максимална вредност Фон Мизесовог напона износи $\sigma_{max}=519 \text{ MPa}$ (мање од 560 MPa), што задовољава захтеве теста према пропозицији.

На слици 6.18 приказани су резултати деформације (слика 6.18 а) и Фон Мизесовог напона (слика 6.18 б), према тесту 2, где је оптерећен предњи обрuch са силама: $F_x=6 \text{ kN}$, $F_y=5 \text{ kN}$, $F_z=-9 \text{ kN}$ [10, 15]. Може се уочити да је вредност деформације $d=7,09 \text{ mm}$ (мање од 25 mm), а да максимална вредност Фон Мизесовог напона износи $\sigma_{max}=525 \text{ MPa}$ (мање од 560 MPa), што задовољава захтеве теста према пропозицији.



Слика 6.18 – Резултати теста оптерећења предњег обруча: (а) резултати померања рама, (б) резултати Фон Мизесовог напона

На слици 6.19 приказани су резултати деформације (слика 6.19 а) и Фон Мизесовог напона (слика 6.19 б), према тесту 3, где је оптерећена предња преклопна преграда са силама: $F_x=150 \text{ kN}$, $F_y=0 \text{ kN}$, $F_z=0 \text{ kN}$ [10, 15]. Може се уочити да је вредност померања $d=10,2 \text{ mm}$ (мање од 25 mm), а да максимална вредност Фон Мизесовог напона износи $\sigma_{max}=1010 \text{ MPa}$ (више од 560 MPa), што делимично задовољава захтеве теста према пропозицији, јер је вредност напона већа од затезне чврстоће изабраног челика.



Слика 6.19 – Резултати теста оптерећења предње преклопне преграде: (а) резултати померања рама, (б) резултати Фон Мизесовог напона

Након трећег теста, може се закључити да вредност напона прелази границу затезне чврстоће челика од кога је рам израђен. Пошто се ради о импровизацији анализе удара у баријеру, задата је огромна сила $F_x=150 \text{ kN}$, која се може јавити само у случају најнеповољнијег директног предњег удара. Ради повећања безбедности, потребно је ипак ојачати предњи део рама.

7. КОНАЧАН ДИЗАЈН РАМА ФОРМУЛЕ СТУДЕНТ

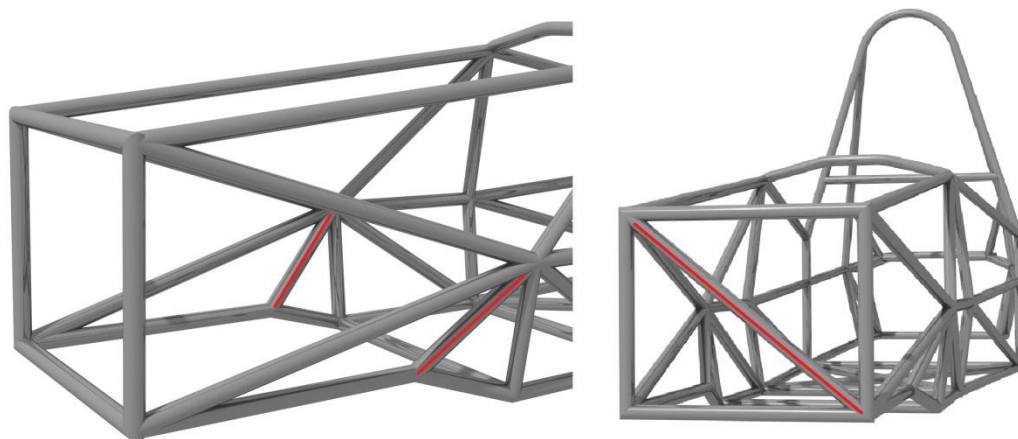
Након процеса развоја прелиминарне варијанте, почевши од идентификације проблема при конструисању, претраживања принципа који задовољавају дефинисане захтеве, и комбиновања датих принципа у циљу развоја новог решења, дошло се до усвојене прелиминарне варијанте. Извршена је анализа оптерећења прелиминарне варијанте рама, помоћу методе коначних елемената, и резултати скоро у потпуности задовољавају, осим теста који импровизује удар у баријеру. Сходно томе, потребно је додатно повећати чврстоћу предњег дела рама.

7.1 Оптимизација прелиминарне варијанте

Након детаљне анализе прелиминарне варијанте са аспекта кључних фактора, закључује се да се конструкција рама може оптимизовати додатним мањим изменама, које ће на мању штету једног фактора, допринети већу користи другог фактора. Неколико измена се може направити у циљу побољшања чврстоће конструкције.

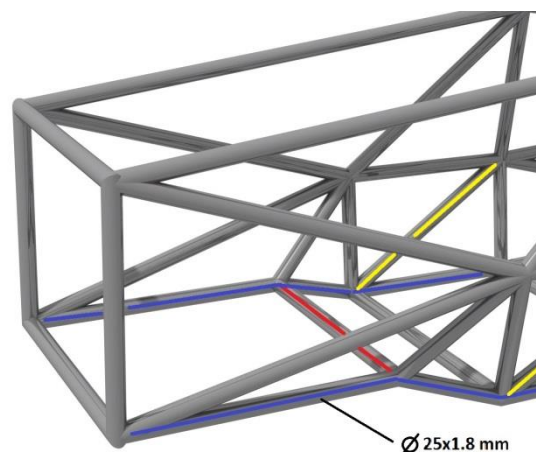
7.1.1 Ојачање предњег дела рама

Након детаљног разматрања са аспекта компјутерске анализе оптерећења рама, са слике 6.19 може се закључити, да услед јаког удара у баријери рам може бити критичан. Сходно томе потребно је предњи део рама доста ојачати. Најпре је потребно ојачати доњу бочну линију предњег дела рама, на превоју где се рам спушта на најнижи ниво. Из радијуса је потребно додати цев и спојити је са први чвором, ради ојачања превојне тачке, која је критична. Након тога, предња преклопна преграда се ојачава додавањем једне дијагоналне цеви (слика 7.1).



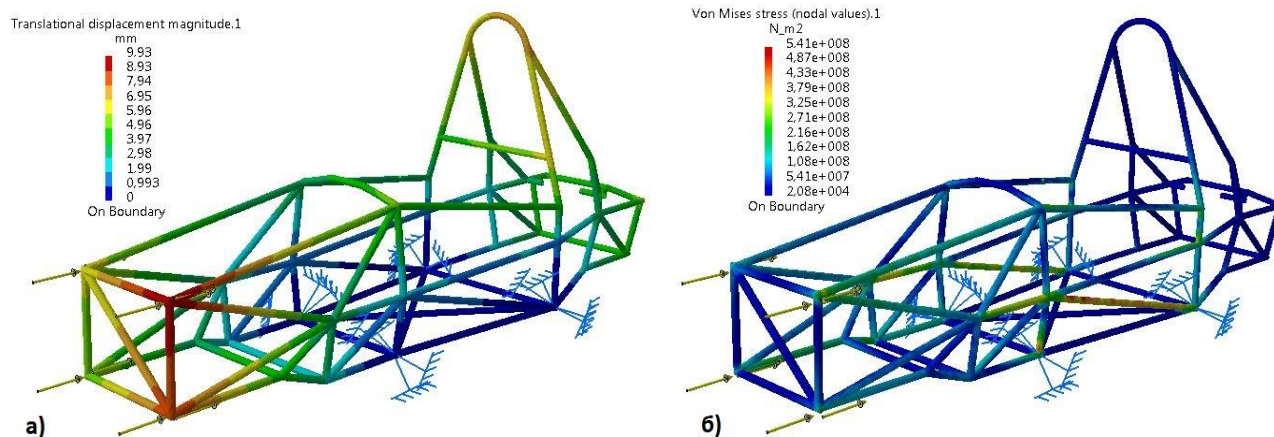
Слика 7.1 – Ојачање предњег дела рама

Како би се још више смањило деформационо померања на тесту симулације удара у баријеру, као и напон, потребно је додати још једну попречну цев на доњем делу рама, која спаја тачке превоја (слика 7.2, обележено црвеном линијом). Такође пожељно је и повећање попречног пресека цеви на доњим бочним елементима на димензије $\varnothing 25 \times 1.8 \text{ mm}$ (слика 7.2, обележено плавом линијом). Ради смањења концентрације напона, дијагонала између сегмента везе система ослањања је супротно оријентисана (слика 7.2, обележена жутом бојом).



Слика 7.2 – Ојачање доњег дела предњег рама

Након што је предњи део рама значајно ојачан, као што је приказано на сликама 7.1 и 7.2, потребно је поново урадити компјутерску анализу симулације удара у баријеру са истим условима (тест 3 у тачки 4.3.3.4), која је приказана на слици 7.3.

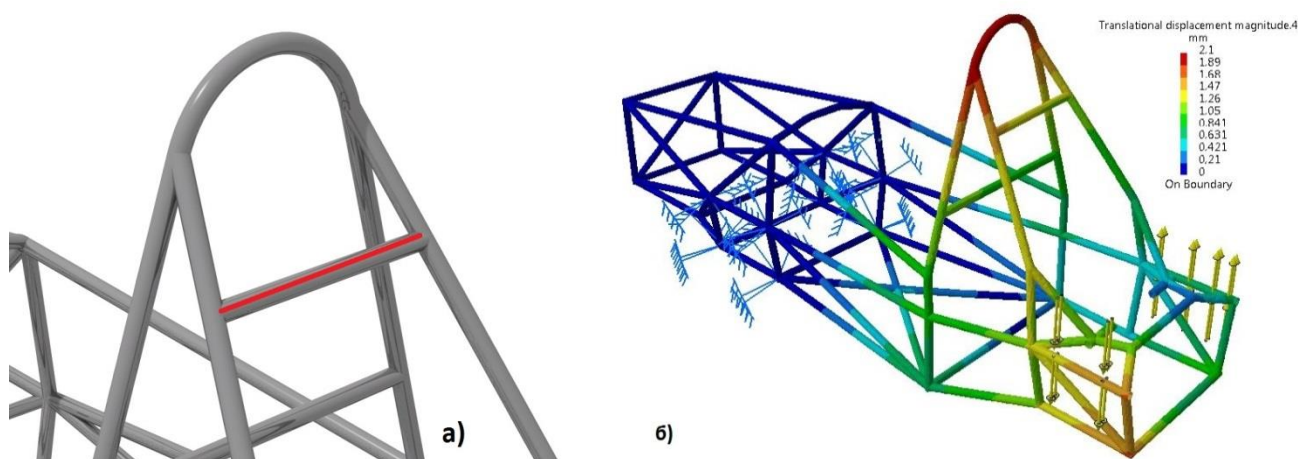


Слика 7.3 – Резултати поновног теста оптерећења предње преклопне преграде након ојачања: (а) резултати померања рама, (б) резултати Фон Мизесовог напона

Након добијених резултата поновног теста, може се закључити да вредност деформационог померања износи **$d=9,93$ mm** (мање од 25 mm), а да максимална вредност Фон Мизесовог напона износи **$\sigma_{max}=541$ MPa** (мање од 560 MPa), што сада задовољава захтеве теста према пропозицији, и неће доћи до лома конструкције услед најкритичнијег удара у баријеру.

7.1.2 Ојачање ослонца главног обруча

Након разматрања са аспекта компјутерске анализе оптерећења рама, са слике 6.12 може се закључити, да приликом теста торзионе крутости долази до великог померања горњег дела главног обруча. Према томе, при врху ослонца главног обруча додаје се једна попречно постављена цев, која ће умањити вредности померање овог дела рама (слика 7.4 а). Осим тога, овај елемент има и функцију ослонца за лим, који служи као заштита возача од прскања горива. Овај лим је предвиђен према пропозицијама [15], због безбедности самог возача. На слици 7.4 б, приказани су резултати поновног теста торзионе крутости након ојачања.

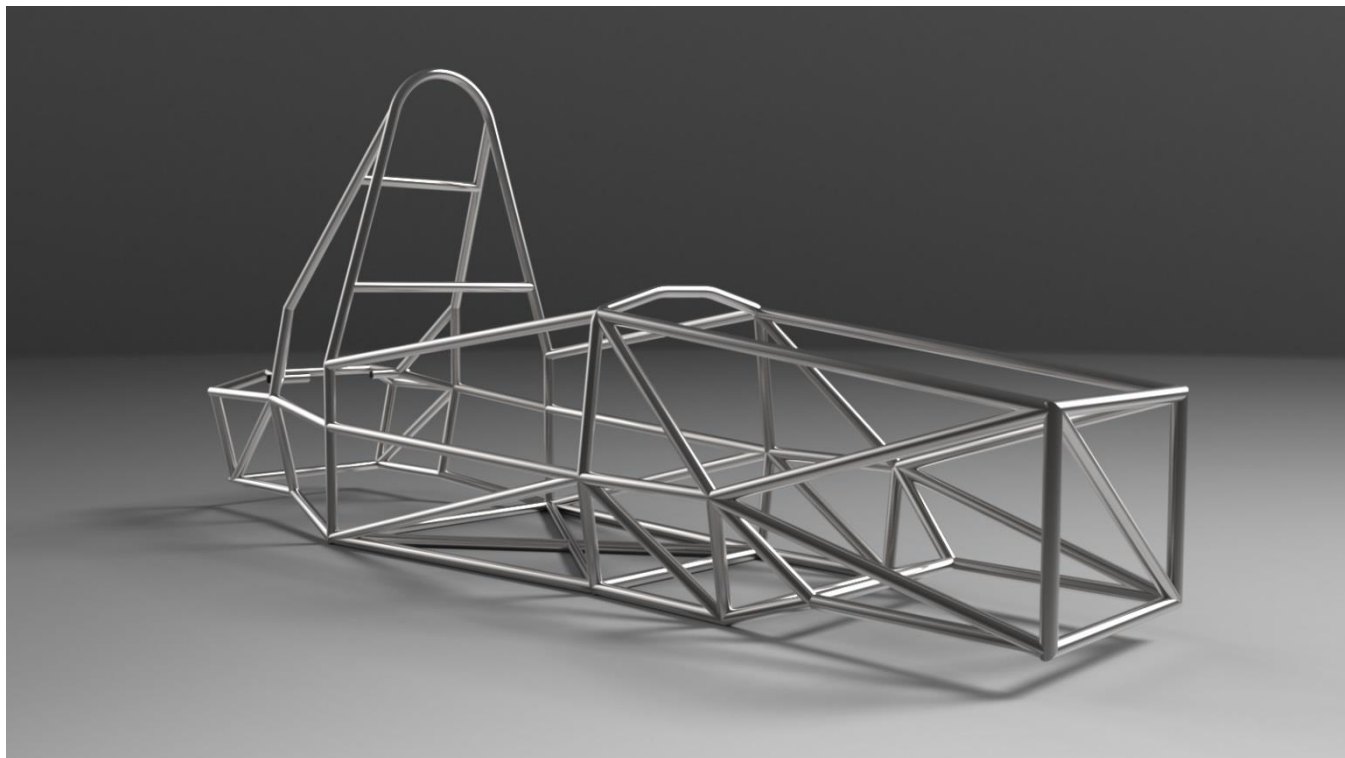


Слика 7.4 – Ојачање ослонца главног обруча: (а) приказ додатног елемента, (б) резултати померања поновног теста торзионе крутости након ојачања ослонца главног обруча

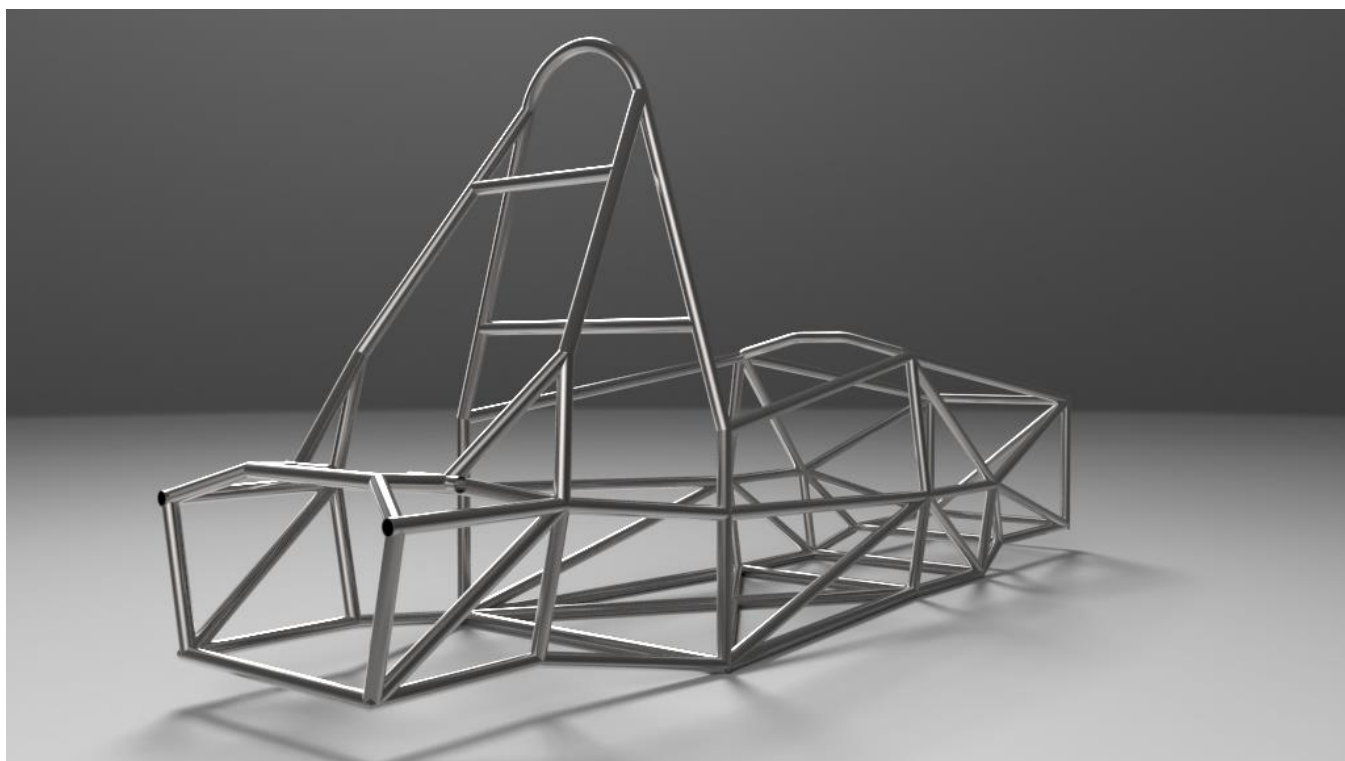
Са слике 7.4 може се закључити да након ојачања, вредност померања горњег дела рама износи **$d=2,1$ mm**, што је мање за 0,84 mm. Самим тим и торзиона крутост ће бити већа.

7.2 Коначан приказ и визуелизација рама Формуле студент

Након комплетног процеса конципирања конструкције рама, и процеса оптимизације, долази се до коначног дизајна рама, који је приказан на сликама 7.5 и 7.6.



Слика 7.5 – Визуелизација коначног решења рама - изометријски поглед спреда



Слика 7.6 – Визуелизација коначног решења рама - изометријски поглед отпозади

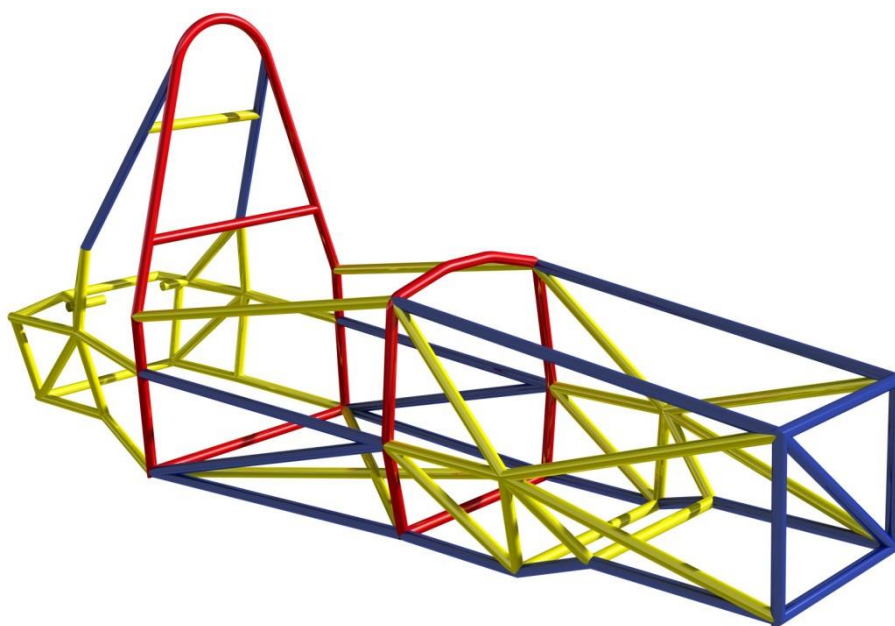
Карактеристични подаци коначног решења конструкције рама везани за геометрију, добијени из програмског пакета „CATIA“ приказани су у табели 7.1. Такође, у овој табели дате су упоредне вредности са прелиминарном варијантом, како би се направило поређење коначног и прелиминарног решења.

Табела 7.1 – Подаци коначног и прелиминарног решења конструкције рама

Назив критеријума	Вредност коначног решења	ПРЕЛИМИНАРНО РЕШЕЊЕ
Висина тежишта	267,01 mm	268,41 mm
Прерасподела масе рама	Предња-задња осовина: 49% - 51%	48% - 52%
Маса рама	33,061 kg	31,36 kg
Дужина рама	2320 mm	2320 mm
Ширина рама	645 mm	645 mm
Висина рама	1065 mm	1065 mm

Дискусија података коначног решења рама: Након оптимизације прелиминарне варијанте конструкције рама, на крају се дошло до коначног решења, који апсолутно задовољава све унапред дефинисане захтеве. Оптимизација је извршена са аспекта ојачања критичних делова конструкције, који нису у потпуности задовољили захтеве чврстоће. Ојачањем рама, увећана је маса за **1,7 kg** у односи на прелиминарну варијанту, што је незнатно, јер маса рама и даље задовољава дефинисани захтев. Додатним ојачањем незнатно је боље прераспоређена маса, тако да тренутно **49%** масе рама носи предња осовина, а **51%** задња осовина, што представља изузетан резултат. Конструктор рама Формуле студент тежи што равномернијој расподелу масе на предњој и задњој осовини возила, и тежи се расподели 50-50%. Такође, након оптимизације незнатно је тежиште рама спуштено још ниже за **1,3 mm** у односу на прелиминарну варијанту, што као коначан резултат је изузетан, и у потпуности задовољава унапред дефинисани захтев.

На слици 7.7 представљен је рам, са графичким приказаним дебљинама цевних профила. Црвеном бојом приказани су профили **Ø25x2.5 mm** који чине главни и предњи обруч, и ослонац за раме, плавом бојом профили **Ø25x1.8 mm** који предњу преклопну преграду, ослонаца предњег и главног обруча, бочну структуру, и доње бочне елементе предњег дела рама због ојачања у случају јаког удара у баријеру, а жутом бојом профили **Ø25x1.5 mm**, који чине све остале елементе.



Слика 7.7 – Графички приказ дебљина цевних профила рама

7.3 Разматрање коначног решења са становишта кључних фактора

Након приказан коначног решења конструкције рама, потребно је извршити анализу са аспекта свих кључних фактора који су дефинисани у фази прикупљања информације, пре почетка процеса конципирања. Неки од захтева дати су на основу истраживања о раду других бољих Формула студент тимова, неки на основу дефиниције Међународне асоцијације инжењера из ауто-мото сфере (*SAE Internationale*), а неки на основу искуствене препоруке из одређених литература.

7.3.1 Анализа рама са аспекта минималне масе

Минимална маса конструкције рама представља један од најчвршћих захтева, и остварује се правилном геометријом и правилним избором попречног пресека профила. У табели 4.1 дате су минималне димензије попречног пресека профила за одвојене сегменте и елементе рама. Анализирајући тржиште усвојене су димензије цеви које се могу купити, од који се рам може изградити. Истраживајући радове других тимова, постављен је захтев да маса рама не сме да буде већа од **35 kg**, што представља сасвим солидан рам са оваквом масом. Након прелиминарне варијанте маса рама износи **31,36 kg**, што је изузетан резултат за прелиминарну варијанту, и било је простора за евентуално ојачање рама и повећање масе. Пошто су урађене компјутерске анализе оптерећења рама, помоћу методе коначних елемената, закључено је да је предњи део рама било потребно знатно ојачати због удара у баријеру. У процесу оптимизације рама, извршено је ојачање предњег дела рама додавањем више елемената ради смањења деформационог померања и напон, као и додавање једног елемента на задњем делу рама, што због ојачања, што због потребне функције. Након ојачања рама, маса рама износи **33,06 kg**, што представља већу масу за 1,7 kg. Повећање масе је незнатно, и маса коначног решења конструкције рама у потпуности задовољава дефинисани захтев, чак шта више и 2 kg је лакша од вредности захтева.

7.3.2 Анализа рама са аспекта чврстоће

Чврстоћа конструкције рама, поред минималне масе преставља најчвршћи захтев, првенствено због безбедности самог возила Формула студент у току вожње. Остварује се правилним конструкционим решењем, применом принципа триангулације и правилним избором попречног пресека профила за одговарајуће елементе рама. Циљ је конструисати што лакшу и што чвршћу конструкцију, тако да однос крутости и масе рама буде што већи. Према захтеву који је дефинисан пропозицијама [15], конструкцију рама је потребно проверити са аспекта торзионе и савојне крутости, као најмеродавнији тестови који симулирају најкритичније ситуације на стази. Анализирајући извештаје о оптерећењима других тимова, постављен је захтев за торзиону $K_{min}=1500 \text{ Nm/}^\circ$ и савојну крутост $S_{min}=1800 \text{ N/mm}$. Поред тога, пожељно је урадити и тестове оптерећења главног и предњег обруча и предње преклопне преграде, такође прописаних према пропозицијама за алтернативно правила. Теоријском и експерименталном анализом прикупљени су подаци везани за оквирне интензитете сила које делују на конструкцију рама, приказани у табели 6.1. Прорачуни рама, урађени су помоћу компјутерске анализе методом коначних елемената, тако што су задати прописани услови тестова [15]. Резултати добијени нумеричким прорачунима приказани су у табели 7.2. Такође, приказани су и степени сигурности при појединим тестовима, за пластично деформисање (у односу на вредност R_{eH}) и лом конструкције (у односу на вредност R_m).

Табела 7.2 – Резултати нумеричких прорачуна конструкције рама

	Назив теста оптерећења	Вредност	Степен сигурности (R_{en})	Степен сигурности (R_m)
1.	Торзиона крутост	1967 Nm/°	$S=2,01$	$S=4,53$
2.	Савојна крутост	2213 N/mm	$S=3,25$	$S=7,36$
3.	Анализа главног обруча	16,3 mm	-	$S=1,08$
4.	Анализа предњег обруча	10,2 mm	-	$S=1,03$
5.	Анализа удара	9,93 mm	-	$S=1,04$

Прва два теста (торзиона и савојна крутост), представљају главне и меродавне тестове, које симулирају реалне критичне услове на стази, за које је добијена вредност крутости на задовољавајућем нивоу. Забележене су и вредности напона и померања, и на основу вредности напон израчунат је степен сигурности, за оба теста.

Преостала три теста представљају алтернативне тестове, који симулирају апсолутно најгоре могуће критичне ситуације у којима рам може да се нађе. Они су према пропозицијама [15], прописани за рамове израђене од алтернативних материјала (високо легирајући челици, композитни материјали, алуминијумске легуре и слично), али се у напомени препоручује да се ови тестови ураде и за рамове израђене од конструкционог челика. Главни захтев је да приликом сва три теста, деформационо померање не буде веће од 25 mm. Међутим, због превеликог оптерећења које се задаје раму, напони ће бити јако високи, али је битно само да не пређу вредност затезне чврстоће изабраног челика. Скоро да је немогуће да се оволико висока оптерећења јаве на раму, али због високе безбедности важно је само да степен сигурности на лом конструкције буде већи од 1.

На основу резултата тестова приказаних у табели 7.2, може се закључити да конструкција рама апсолутно задовољава све унапред дефинисане захтеве везане за чврстоћу.

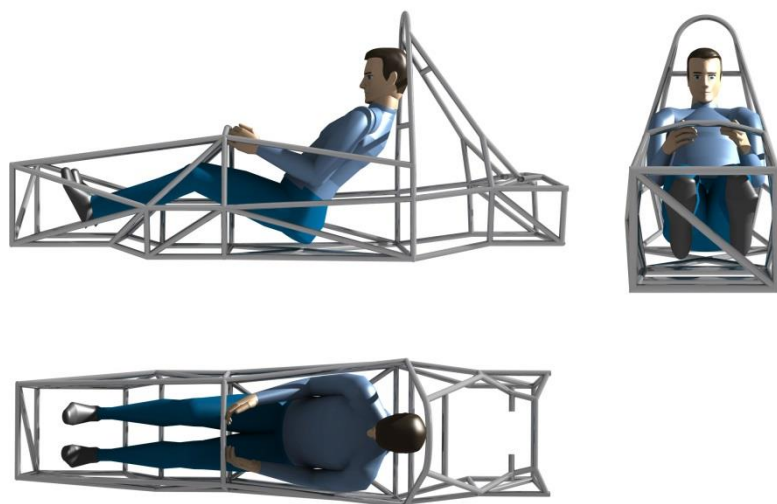
7.3.3 Анализа рама са аспекта аеродинамике и пропозиције

Што се тиче аеродинамике, главни захтев је да облик предњег дела, али целе конструкције, тежи идеалном аеродинамичном облику, облику „сузе“. Тежња конструктора је била такође и да рам буде што ужи, што нижи како би отпор ваздуха био што мањи. Такође предњи део рам је мало подигнут како би сила потиска била већа. Бочне стране предњег дела рама благо закошене, тако да имају облик корита, који побољшава аеродинамична својства конструкције рама. Са спектра аеродинамике, рам у потпуности задовољава унапред дефинисане захтеве.

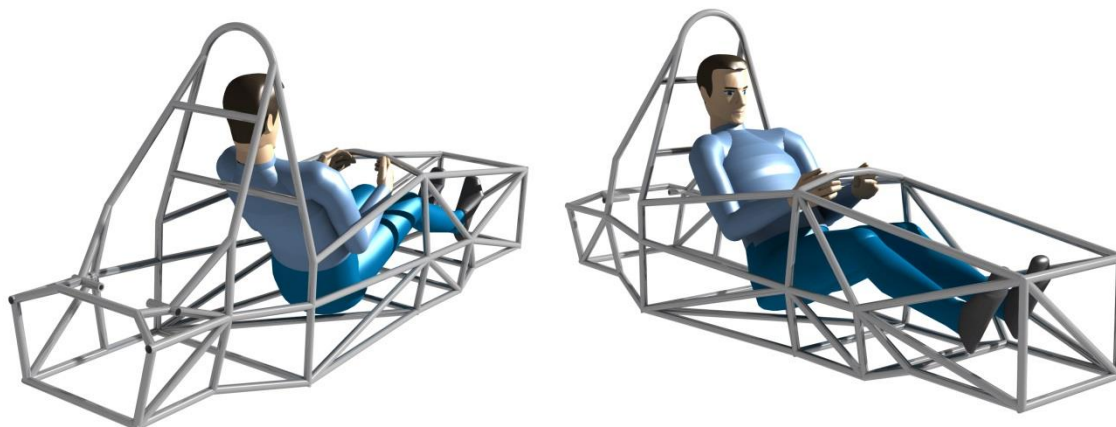
Што се тиче пропозиције, у процесу прикупљања информација, дефинисани су сви захтеви који се морају испоштовати, везаних углавном за геометрију и безбедност рама. Након свих тестова дефинисаних у пропозицијама, и разматрања коначне верзије рама, низ захтева из пропозиција је у потпуности задовољен.

7.3.4 Анализа рама са аспекта ергономије и просторних ограничења

Ергономија рама и просторна ограничења услед положаја и геометрије система и елемената возила, су два фактора узајамно зависна, која директно утичу један на други. Како би ергономија била на задовољавајућем нивоу, мора се пре свега узети у обзир положај система за управљање, систем педала, седишта, појасева, тачније свих система са којима возач долази у контакт. Урађен је модел возача у реалном положају у току вожње, који служи као симулација ергономије возача у односу на основу рама, која је приказана на сликама 7.8 и 7.9. Симулација ергоније урађена је у модулу „*Ergonomic Design & Analysis*“ у софтверу „CATIA“.



Слика 7.8 – Три основна погледа симулације ергономије возача у односу на основу рама



Слика 7.9 – Изометријски прикази симулације ергономије у односу на основу рама

Са слика које представљају симулацију ергономије, може се закључити да ергономија возача у односу на рама је на сасвим задовољавајућем нивоу. Возач се налази у природном положају у току вожње на стази, има сасвим довољно простора у кабини, као и адекватно растојање до система педала. Што се тиче просторних ограничења осталих система на возилу, све у потпуности задовољава. Ова ограничења су у току процеса конципирања рама, један од полазних фактора, на основу којих се приступало дизајну геометрије сегмената рама.

7.3.5 Анализа рама са аспекта монтаже и демонтаже

Монтажа и демонтажа је доста битан фактор, који се свакако узима у обзир још у фази конципирања, са аспекта геометрије система и елемената возила Формула студент. Узимају се у обзир слободни простор истих, како би несметано сваки систем и елемент мога са лакоћом да се монтира и демонтира. Због тога, је потребно унапред предвидети поступак монтаже и демонтаже. Најважније је да погонски део може лако да се монтира, на шта је вођено рачуна приликом дизајна погонског дела рама. Габаритне димензије мотора су биле полазни фактор за дизајн овог дела рама, као слободан простор за монтажу и демонтажу. Сходно томе, сваки сегмент рама је конструисан са овог аспекта, узимајући у обзир геометрију система, који се монтирају на том делу рама. Конструисање рама са овог аспекта у потпуности задовољава.

7.3.6 Анализа рама са аспекта ниског тежишта и естетике

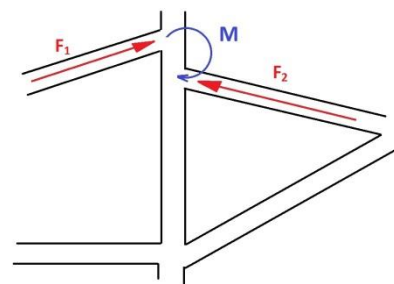
Код возила Формула студент, као и код свих спортских возила, тежи се што је могуће нижем тежишту, како би возило било стабилније и безбедније у току вожње. Сходно томе тежи се и што нижем тежишту рама. На основу истраживања о раду других бољих тимова, дефинисан је захтев да максимална висина тежишта може бити 280 mm. Након процеса конципирања и оптимизације, висина тежишта рама Формуле студент износи 267,01 mm, што је изузетан резултат, с обзиром да је тежиште 13 mm ниже од строго дефинисаног захтева.

Што се тиче естетике, она не представља чврст захтев, већ жељу конструктора. Без обзира на то, коначан дизајн рама је са естетске стране задовољавајући. Пропорција конструкције рама је складна, и тежи идеалном аеродинамичном облику, који је естетски леп.

7.3.7 Анализа рама са аспекта технологичности

Као што је дефинисано у захтеву, конструкција се треба прилагодити производњи и бити изложена што мањим трошковима израде, са што рационалнијим коришћењем материјала. Најпре је анализирано тржиште, и употребљене су танкозидне цеви кружног попречног пресека, димензија које се могу набавити на тржишту, у виду готових полуфабриката. У току процеса конципирања конструкције, водило се рачуна да сама израде не буде превише сложена, и да не дође до превелике концентрације напона.

Такође се водило рачуна приликом позиционирања цеви у чворне везе, да не дође до појаве унутрашњих момената. То су моменти, који се јављају унутар конструкције, услед спрега сила, који настаје дејством двеју сила супротних смерова, дуж цеви усмерених ка чворовима, који се налазе на неком растојању. Пример унутрашњих момената који се јављају, приказан је на слици 7.10.

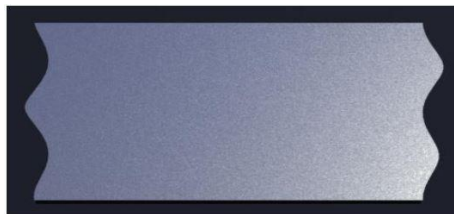


Слика 7.10 – Пример унутрашњих момената

Технологичност комплетне конструкције рама је на задовољавајућем нивоу.

7.3.7 1 Технолошка припрема цеви

Што се тиче саме припреме цеви за израду рама, планирана је припрема по принципу развијеног стања профила сваке појединачне цеви. У софтверу "Solid Works" за сваку цев појединачно, формира се развијено стање цеви у облику танког филма без масе. Развијено стање се може приказати пројекцијом у равни, и штампати у размери 1:1 (слика 7.11).



Слика 7.11 – Приказ развијеног стања цеви

Након штампања развијеног стања, папир се обмотава и лепи око цеви. Затим се цев полако и постепено обрађује одговарајућим алатима. Овакав принцип припреме цеви јако је популаран код великог броја Формула студент тимова у свету, јер представља брз и јако једноставан принцип, не перфектан, али задовољавајуће тачности, која захтева додатне дораде ивице цеви на местима спојева са другим цевима брусилицом [8].

7.3.7.2 Процес израде конструкције рама

Сам поступак израде биће изведен помоћу флексибилног стезног алата. За израду великих сложених просторних форми развијена је посебна конструкција флексибилног алата за велике сложене просторне конструкције. Решење конструкције алата базира се на концепту модуларне решеткасте платформе, која је еквивалент радног стола са 'Т' каналима и коришћењу стандардних елемената посебно дизајнираних за израду великих склопова. Модули решеткасте платформе су дизајнирани тако да омогућавају међусобно комбиновање ради добијања конфигурације "радног стола" која је оптимална основа за постављање конфигурације алата за израду релевантног склопа рама Формуле студент. Планарност површине решеткасте модуларне платформе се постиже преко специјалних носача. Специјално дизајнирани стандардни елементи омогућавају постављање конфигурације која може да прихвати веома велике елементе склопова који се израђују на овом флексибилном алату. На слици 7.12 је приказана примена флексибилног стезног алата намењеног за израду веома великих склопова сложених просторних облика.



Слика 7.12 – Флексибилни стезни алат

Основне предности флексибилног алата су следеће:

- вишеструко снижење трошкова по јединици производа са аспекта цене коштања алата,
- вишеструко скраћење времена потребног за стварање услова за производњу,
- вишеструко скраћење времена потребног за конструкцију алата,
- потпуна елиминација времена чекања на израду алата,
- повећана тачност израде конструкције.

Код израде прототипова и узорака омогућено је:

- мерење у координатном систему стола,
- олакшано постављање и фиксирање саставних делова склопа конструкције [30].

Након позиционирања цеви помоћу стезног алата, следећа фаза је делимично заваривање на местима пуног вара код чворова на решеткастој конструкцији рама, такозвано "хефтање". Ово се врши како би се смањили додатни унутрашњи напони, услед загревања при заваривању пуног вара. Када буде извршено хефтање комплетне конструкције, приступа се заваривању пуног вара, поступком ручног-електролучног заваривања (РЕЛ поступак). Као што је претходно наведено, рам ће бити израђен од конструкционог челика $\check{C}.0563 (S355j2g3)$, који спада у групу челика одличне заварљивости и повишене чврстоће. Поред тога, отпоран је и на крти лом.

8. ЗАКЉУЧАК

У овом мастер раду, са аспекта индустријског дизајна, представљен је целокупан процес конструисања и развоја рама Формуле студент, од прикупљања информација до коначног решења. Почетна фаза у процесу развоја била је прикупљање информација и преглед истраживања других тимова на тему рама Формуле студент. Затим је извршена анализа прикупљених података и планирање развоја рама формуле, и као продукт тога формирана је детаљна листа захтева. Листа захтева се односила на чврсте захтеве (минимална маса, чврстоћа, аеродинамика и пропозиције), и на мање чврсте захтеве (просторна ограничења, технологичност, ергономија, монтажа и демонтажа, услови рада, ниско тежиште и естетику).

Наредна фаза је била конципирање конструкције, која је вршена по принципу комбинације анализираних постојећих решења. Цео процес конципирања базира се на свим факторима и ограничењима, који су дефинисани у листи захтева. Најпре су анализирана сва могућа карактеристична конструкциона решења, на основу којих је извршен одабир решења, која задовољавају унапред дефинисане захтеве. На основу комбиновања већ постојећих решења, долази се до концепта потпуно новог решења. Најпре су дизајнирани и позиционирани основни обручи рама, на основу дефинисаног међуосовинског растојања и положаја возача, чија је ергономија симулирана у модулу програма „CATIA“. Затим је повезана бочна структура према одређеном захтеву, као и остали елементи на предњем делу рама. Следећи етапа је била конструисање погонског дела рама, на основу положаја и габаритних димензија мотора, и просторних ограничења осталих система у овом делу рама. Након процене рама према техничким и економским критеријумима, дошло се до закључка да услед промене концепције задњег система ослањања, потребно је променити и конструкцију задњег дела рама. На крају конципирања, усвојена је прелиминарна варијанта и дати су њени основни подаци, који претежно задовољавају критеријуме.

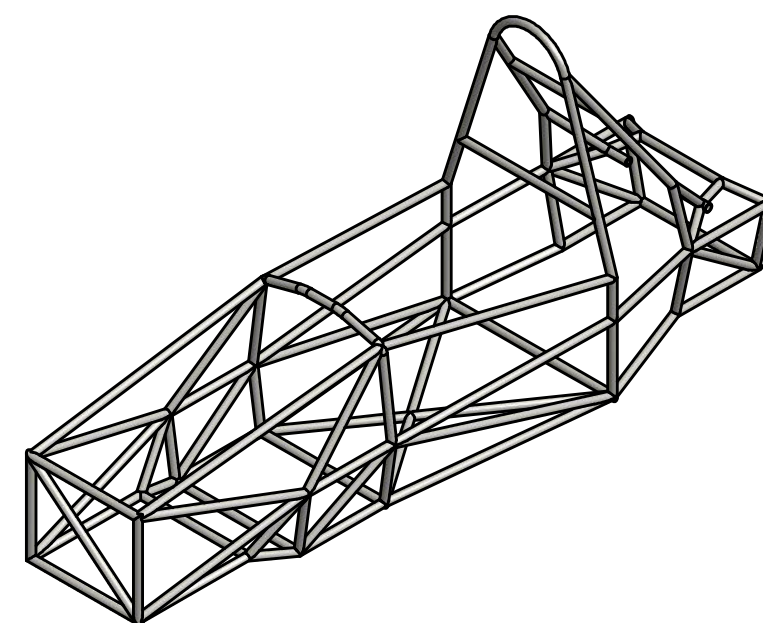
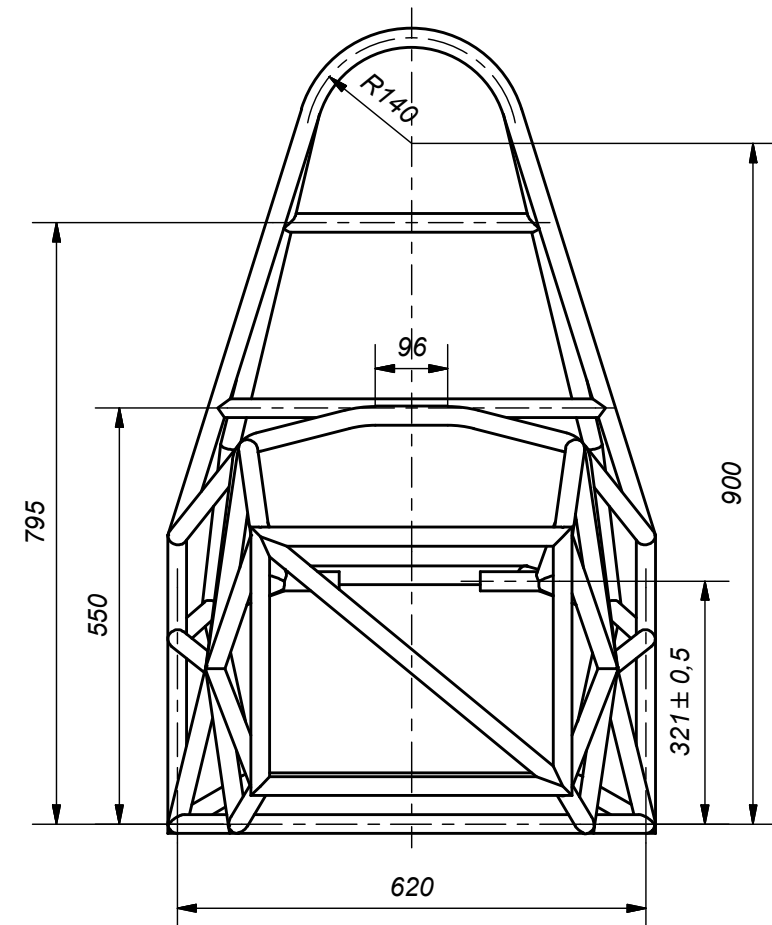
Извршена је теоријска анализа оптерећења са аспекта статике и динамике, која делују на рам. Сходно томе, на основу експерименталних и искуствених информација, прикупљени су подаци везани за интензитете сила, које делује на рам. Затим је помоћу методе коначних елемената, у програму „CATIA“, извршена анализа оптерећења. Добијени су резултати, који су у већој мери били задовољавајући. Једини тест који није задовољио је тест удара у баријеру.

На основу анализе оптерећења, и разматрања конструкције рама са аспекта просторних ограничења, извршена је оптимизација. Предњи део рама је знатно ојачан, а задњи делимично. Након тога, коначно решење рама размотрено је са становишта кључних фактора, и на основу тога, долази се до закључка да у потпуности задовољава све унапред дефинисане захтеве и критеријуме. На самом крају, реалистично је приказана конструкција рама.

Ово решење конструкције рама представља прототип, који је резултат вишемесечног истраживања и развоја оваквог типа конструкције. У циљу унапређивања и оптимизације решења рама, потребно је даље вршити детаљна истраживања и анализе.

СПИСАК ЛИТЕРАТУРЕ

- [1] Лозица Ивановић: Индустијски дизајн, подлоге за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2012.
- [2] Слободан Навалушић: Индустијски дизајн, Факултет техничких наука, Нови Сад 2011.
- [3] Бела Немет: Индустијски дизајн као саставница процеса иновирања, ИПЦ – иновационопредузетнички центар Ријера, Ријека 2010.
- [4] Преузето са сајта: http://sh.wikipedia.org/wiki/Industrijski_dizajn
- [5] Chartree Sithananun: SAE Student Formula Space Frame Design and Fabrication, AMM21 The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering, October, 2011
- [6] Tanawat Limwathanagura, Chartree Sithananun: The Frame Analysis and Testing for Student Formula, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012.
- [7] Mohd Azman. Abdullah, Muhd Ridzuan: Design, Analysis and Fabrication of Chassis Frame for UTeM Formula Varsity™ Race Car, International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME) Volume 1, 2013.
- [8] Evan Jenkins, Dave Baker: FSAE CHASSIS: PHASE IV REPORT, International conference in University of Delaware, October 2010.
- [9] Edmund F. Gaffney III and Anthony R. Salinas: Introduction to Formula SAE Suspension and Frame Design, International conference 971584 in University of Missouri – Rolla, 1996.
- [10] John McKaine: Frame and body design, University of Dublin, Institute of Technology, Dublin 2011.
- [11] A.J. Kemna: Design of a tubular steel space frame for a Formula Student race car, Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Eindhoven January 2011.
- [12] FSAE official presentation: Design presentation of Chamlers Formula student, July 2012.
- [13] Ненад Марјановић: Методе конструисања, Машински факултет, Крагујевац 1999. год
- [14] Иван Филиповић: Мотори и моторна возила, Машински факултет, Тузла 2006.
- [15] 2014 Formula SAE® Rules. *SAE International*
- [16] Преузето са сајта: <http://dc436.4shared.com/doc/sLkkVdjV/preview.html>
- [17] Преузето са сајта: <http://sr.wikipedia.org/sr/Аеродинамика>
- [18] Светислав Јовичић: Основи конструисања, Машински факултет, Крагујевац 2002. год.
- [19] Преузето са сајта: <http://sr.wikipedia.org/sr/Ергономија>
- [20] Преузето са сајта: <http://polj.uns.ac.rs/~mehanika/10%20teziste.pdf>
- [21] Александар Стефановић: Друмска возила – основи конструкције, Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета, Ниш 2010. год.
- [22] Р. Кнор: Пројектовање и конструисање моторних возила, Машински факултет, Сарајево 2005.
- [23] Преузето са линка https://www.youtube.com/watch?v=FN_Kbes4-4o
- [24] Катица Стевановић: Динамика, Машински факултет, Ниш 2006.
- [25] Александра Јанковић: Динамика аутомобила, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2008.
- [26] Јовичић Г.: Методе коначних елемената, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2012.
- [27] Мирко Благојевић, Зорица Ђорђевић: Метода коначних елемената, подлоге за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2013.
- [28] Милорад Јовановић, Вукић Лазић, Драган Адамовић, Нада Ратковић: Машински материјали, Машински факултет, Крагујевац 2003.
- [28] Преузето са сајта: <http://www.steelspecs.com/EN10025-2/EN10025-2S355J2G3STEELPLATE.html>
- [29] Перовић З: Заварене конструкције, Универзитет Црне Горе, Подгорица 2012.
- [30] Недић Б., Капларевић М.: Нови приступ пројектовању флексибилних прибора за израду сложених просторних делова, Конференција производног машинства Србије, Београд 2009. год.
- [31] Преузето са сајта: <http://sr.wikipedia.org/sr/Узгон>



Dimenzije: 2320x1065x645 mm				Masa: 33,061 kg		Materijal: Č.0563		Termička obrada:		Razmera: 1:10					
								Površinska zaštita:							
					Datum	Ime		Ram Formula student							
				Crtao	10.05.2014.	M.Milojevic									
				Overio											
				Standard											
				Fakultet inženjerskih nauka Kragujevac				A3 MR 001				1			
												A3			
St. i	Izmene	Datum	Ime												