

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Индустијски дизајн

Број индекса: 377/2016

Небојша Д. Милошевић

Моделирање и нумеричка анализа рама бицикла
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Лозица Ивановић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Изјављујем да сам овај мастер рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

377/2016 Небојша Милошевић

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- истражи и прикаже значај правилне примене методологије дизајна на примеру конструкције рама бицикла;
- прикаже постојеће конструкционо решење рама бицикла, предложи ново, а затим да разради варијантна решења;
- креира 3Д модел варијантних решења рама и анализира их применом методе коначних елемената;
- интерпретира резултате анализе и изведе закључак о применљивости модела.

Препоручена литература:

- [1] Лозица Ивановић, Синиша Кузмановић, Мирослав Вереш, Милан Рацков, Биљана Марковић, Индустријски дизајн, Уџбеник, ISBN 978-86-6335-017-8, Факултет инжењерских наука Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац, 2015.
- [2] Јурица Сорић, Метода коначних елемената, Уџбеник, ISBN 953-212-210-9, Универзитет у Загребу, 2004.
- [3] Дизајн у производњи – Мирослав Фрухт, Београд 1987.

Крагујевац, март 2019. године

Ментор:

Др Лозица Ивановић, редовни професор

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	6
ABSTRACT.....	6
1. УВОД	7
2. ИНДУСТРИЈСКИ ДИЗАЈН	9
2.1. Фактори који утичу на дизајн	10
2.1.1. Функција	10
2.1.2. Намена.....	11
2.1.3. Маса.....	11
2.1.4. Безбедност	12
3. БИЦИКЛ	13
3.1. Развој бицикала кроз историју	13
3.1.1. Велосипед	14
3.1.2. Бицикл са великим предњим точком	15
3.1.3. Бицикл са ланцем	16
3.1.4. Трицикл.....	17
3.2. Примена савремених бицикала у пракси	18
3.2.1. Брдски бицикл.....	18
3.2.2. Хибридни бицикли или „мешанци“	19
3.2.3. Друмски бицикл	20
3.2.4. ВМХ (bike-cross) бицикл.....	21
3.3. Елементи који чине један бицикл.....	22
3.3.1. Рам бицикла.....	23
3.3.1.1. Материјали за израду рама.....	24
3.3.1.2. Димензије рама бицикла	25
3.3.2. Погон.....	26
3.3.3. Систем кочења	26
3.3.4. Систем управљања.....	27
3.4. Предности и недостаци вожње бициклом	28
3.4.1. Предности вожње бициклом.....	28
3.4.2. Вожња бицикла као допринос здрављу	28
3.4.3. Очување животне средине	29

3.4.4.	Недостаци вожње бициклом	29
4.	ДИЗАЈН КОНЦЕПЦИЈЕ РАМА БИЦИКЛА	30
4.1.	Листа захтева конструкције рама бицикла	30
4.2.	Идејна решења	31
4.3.	Модел рама	33
5.	АНАЛИЗА НАПОНСКОГ ДЕФОРМАЦИОНОГ СТАЊА РАМА БИЦИКЛА.....	35
5.1.	Класификација метода за анализу структура	35
5.2.	Методе структурне анализе	35
5.3.	Метода коначних елемената	36
5.4.	Типови елемената	37
5.5.	Анализа рама бицикла методом коначних елемената	39
5.6.	Резултати испитивања постојећег решења рама	41
5.7.	Резултати испитивања новог решења рама	45
5.8.	Дискусија добијених резултата	50
6.	ЗАКЉУЧАК	51
	ЛИТЕРАТУРА.....	52

РЕЗИМЕ

Овај рад описује примену методе коначних елемената за симулацију понашања алуминијумске конструкције рама бицикла за урбану возњу. Узимајући у обзир параметре модела рама, попут димензија, међуосног растојања, координата центра равнотеже, особине материјала, у софтверском пакету „Autodesk Inventor Professional 2016“, примењено је максимално претпостављено статичко оптерећење на елементима рама намењених за ношење седишта, управљача и педала. Резултујући напон рама бицикла анализиран је у контексту перформанси које се односе на статичку издржљивост конструкције.

Кључне речи: *метода коначних елемената, рам бицикла, напон, статичка издржљивост*

ABSTRACT

This paper describes the application of a finite element method to simulate the behavior of an aluminum bicycle frame construction for urban riding. Taking into account the parameters of the frame model, such as dimensions, wheelbase, center of gravity coordinates, material properties, in the „Autodesk Inventor Professional 2016“ software package, the maximum assumed static load was applied to the frame elements intended to carry seats, handlebars and pedals. The resulting stress of the bicycle frame was analyzed in the context of performance related to the static endurance of the construction.

Keywords: *finite element method, bicycle frame, stress, static endurance*

1. УВОД

Данас је тешко направити нешто ново јефтиније или боље од оног што већ постоји на тржишту, а када се направи, веома га је тешко продати, а када се прода тешко га је наплатити, тако да то практично убија сваку помисао на израду нечега новог. Међутим, то баш и није тако. Постоји излаз, а то је израда производа са савременим дизајном. [3]

Дизајн представља примењену уметност која настаје процесом доношења серије одлука које имају за циљ конструисање, обликовање или креирање нечега применљивог. Дизајн се обично одвија по унапред одређеном плану, идеји или замисли. Сврха дизајна је реализација плана или идеје који могу бити узроковани потребом да се реши одређен проблем. Због тога се процес дизајна често дефинише и као процес решавања проблема. Особа која се бави дизајнирањем назива се **дизајнер**.

Дизајн је процес спровођења нове идеје или потребе тржишта у скуп информација из којих производ може бити израђен. Да би дизајн био добар мора задовољавати неке критеријуме. Почетна тачка неког дизајна је нова идеја или задовољење потреба тржишта, а крајња тачка је укупна спецификација производа која задовољава све потребе идеје, те се спроводи у дело.

Према Радомиру Вуковићу (оснивачу часописа КвадАрт): „Дизајн се разликује од уметности у томе што уметник за своје дело одговара само себи, а дизајнер себи и наручиоцу.“

Постоје неколико дисциплина дизајна, а неке од њих су:

- **индустријски дизајн,**
- дизајн ентеријера,
- графички дизајн,
- модни дизајн,
- сценски дизајн,...

Развојем технологије и сходно потребама друштва, намећу се нове области дизајна попут веб-дизајна, информационог дизајна, итд.

Појмови који се често вежу за дизајн су:

- ергономија,
- естетика.

Дизајн има велики утицај на основне карактеристике производа: [1]

- спољашњи изглед,
- конструкцију,
- боју,
- врсту материјала од кога је направљен,
- начин паковања итд.

Добар дизајн мора остворити свог ствараоца, околину и корисника. Није битна само естетика, већ дизајн мора решавати проблеме (првенствено да буде функционалан), а да би се све то остварило, дизајн мора имати подршку у доступним техничким материјалима.

Комплетни аспекти пројектовања се могу описати као:

- технички аспекти (обликовање, прорачуни, избор материјала и процеса),
- економски аспекти (трошкови, цена производа, тржиште),
- еколошки аспекти (утрошак енергије за производњу, емисија штетних гасова, могућност рециклаже,...),
- индустријски дизајн (облик, боја, осећај на додир, мирис → задовољство корисника)

Уметничко дело добија функцију употребљивости онда када му функција превазилази естетичност. Тада уметност постаје дизајн, а уметник дизајнер.

Када се говори о дизајну, треба разликовати дизајн индустријских производа (дизајн телефона, аутомобила, кућних апарата, одеће, обуће, намештаја, итд.), графички дизајн (дизајн плаката, књига, амбалаже, итд.), WEB дизајн, модни дизајн, дизајн накита, дизајн ентеријера, итд. У наставку, фокусирајући се на индустријски дизајн, детаљно ће се разматрати и разрадити процес моделирања и нумеричке анализе рама бицикла, пролазећи кроз призму захтева који концепт индустријског дизајна поставља.

2. ИНДУСТРИЈСКИ ДИЗАЈН

Индустријски дизајн је стратешки процес решавања проблема који покреће иновације, гради пословни успех и води ка бољем квалитету живота кроз иновативне производе, системе, услуге и искуства. [2]

Када се говори о суштини индустријског дизајна, треба имати у виду да индустријски дизајн као креативна дисциплина нема ничег заједничког са вештачким улепшавањем или искључивом променом облика и спољном изгледа производа. Другим речима, суштина индустријског дизајна се не своди само на естетику производа. У том погледу постоје чести неспоразуми који штете афирмацији правих вредности на пољу индустријског дизајна и правилној примени метода и праксе дизајна у производњи. [15]

У пракси, индустријски дизајнери су често део мултидисциплинарних тимова састављених од стратега, инжењера, пројектних менаџера, графичких дизајнера,... Сарадња толико различитих перспектива омогућава дизајнерском тиму да схвати проблем у највећој могућој мери, а затим осмисли решење које одговара јединственим потребама корисника. У завршним фазама процеса дизајна, индустријски дизајнери ће радити са машинским инжењерима, научницима за материјале, произвођачима и стратезима брендирања како би оживели своје идеје кроз производњу. После месеци, а понекад и година развоја, производ ће наћи начин да складишти полице широм света где људи могу да га купе. Када се говори о дизајну, треба разликовати дизајн индустријских производа (дизајн телефона, аутомобила, кућних апарата, одеће, обуће, намештаја, итд.), графички дизајн (дизајн плаката, књига, амбалаже, итд.), WEB дизајн, модни дизајн, дизајн накита, дизајн ентеријера, итд. Појавом све већег броја произвођача једне те исте врсте производа, са уједначеним нивоом квалитета, ценом, роковима испоруке, дизајн је постао пресудан фактор од којег зависи пласман. Зато се дизајну посвећује велика пажња како би се посебним дизајном производа придобили купци. Сви произвођачи настоје да својим производима дају специфичан дизајн, како би њиме обезбедили laku препознатљивост својих производа на тржишту. Наиме, сви произвођачи теже да производе што квалитетније произведу, међутим, многи нису у стању то да ураде, или због тога што не знају или што углавном из финансијских разлога не могу јер не располажу са одговарајућом технологијом. Тада су ти произвођачи принуђени да своје производе пласирају по нижој цени и на оним тржиштима која су још увек заинтересована и за производима таквог нивоа квалитета, тј. на оним тржиштима која још увек нису у могућности да купују скупље и квалитетније производе. Понекад и они произвођачи који су у могућности, или чак и производе високо квалитетну робу, израђују и мање квалитетне производе (али обично под другом марком), када постоји интересовање купаца и за таквим производима, што је данас све чешћи случај. На пример, произвођач пнеуматика (Michelin) у свом производном програму има и пнеуматике средњег квалитета (Goodrich и Kleber) и

нижег али сасвим задовољавајућег (Tigar). [3] Наравно, уз сваки квалитет иде и одговарајућа цена.

2.1. Фактори који утичу на дизајн

Током процеса дизајнирања неког производа, неопхоно је узети у обзир да дизајн зависи од много фактора, као на пример:

- функција,
- намена,
- маса,
- безбедност,... [4]

2.1.1. Функција

Функција јесте фактор који има највећи утицај на облик производа. Функционалност је самостални квалитет производа и може се самостално посматрати. Наиме, један производ може бити изузетно функционалан, али са ниским естетским и ергономским квалитетима. При дизајнирању и данас се акценат ставља на функцију, али се води рачуна и о томе да производ буде леп, да је ергономичан, да има прихватљиву цену итд. Као пример је узет миш за рачунаре компаније „Logitech“. (Слика 1)



Слика 1 – Модели рачунарског миша компаније „Logitech“

На овом примеру се јасно види да што је функција сложенија и миш може да изврши више функција, онда је и његов облик сложенији, а такође је и цена већа.

2.1.2. Намена

Облик производа треба да буде усклађен са наменом као и функцијом производа. Облик и цена производа у великој мери зависе од намене производа. Утицај намене на облик производа се најбоље може видети на примеру авиона намењеним различитим условима рада. (Слика 2)



*Слика 2 – Утицај намене производа на његов облик и димензије:
(1) школског; (2) путничког; (3) борбеног*

Школски авион намењен је за обуку пилота почетника, путнички као што сама реч каже, за превоз путника, а борбени авион првенствено за борбу против противничких ваздухоплова за превласт у ваздушном простору. Карактеришу га велика брзина, покретљивост, мале габаритне димензије у односу на путничке авионе и умањена уочљивост.

2.1.3. Маса

Знатан утицај на трошкове производње, не само у машинству, има маса па се због тога овом фактору придаје велики значај. Тежи се да потрошња материјала буде што мања, чиме се постиже и смањење трошкова производње. Уклањањем материјала на бочним површинама делова јер на тим местима су мања оптерећења се постиже

смањење трошкова производње. На слици 3 се може видети пример смањења масе ланчаника.



Слика 3 – Начин смањења масе ланчаника

Међутим, смањење масе се не врши на свим производима. Тамо где се захтева велика маса, као на пример код локомотива, те конструкције је потребно да имају велику масу како би обезбедиле што већу вучну силу ($F_\mu = \mu \cdot F_n$, где је μ – коефицијент трења, а F_n – нормална сила). [5]

2.1.4. Безбедност

Руковање неког производа може бити опасно за кориснике. Како би преузели одговарајуће мере којима би спречили потенцијални настанак несреће, или у случају да то нису у могућности, дизајнери су онда дужни да уграде штитнике и натписом на производу упозоре кориснике на постојећу опасност. Како се у друмском саобраћају најчешће дешавају несреће, безбедност је повећана тако што се у савремене аутомобиле уграђују ваздушни јастуци и завесе.

На пример, тамо где се јављају штетна испарења, неопходно је поставити вентилаторе како би избацили ваздух. О свим елементима безбедности корисника или радника, треба водити рачуна при куповини, односно уговарању куповине.

3. БИЦИКЛ

Прва ствар која се мора урадити пре него што се потпуно уђе у успостављање значења термина „бицикл“ јесте да се зна њено етимолошко порекло. У овом случају се може рећи да је он резултат суме три компоненте:

- латински префикс „bi-“ који се преводи као „два“,
- грчка реч „kuklos“ која се може превести као „точак“, и
- француски деминутив „-ette“. [6]

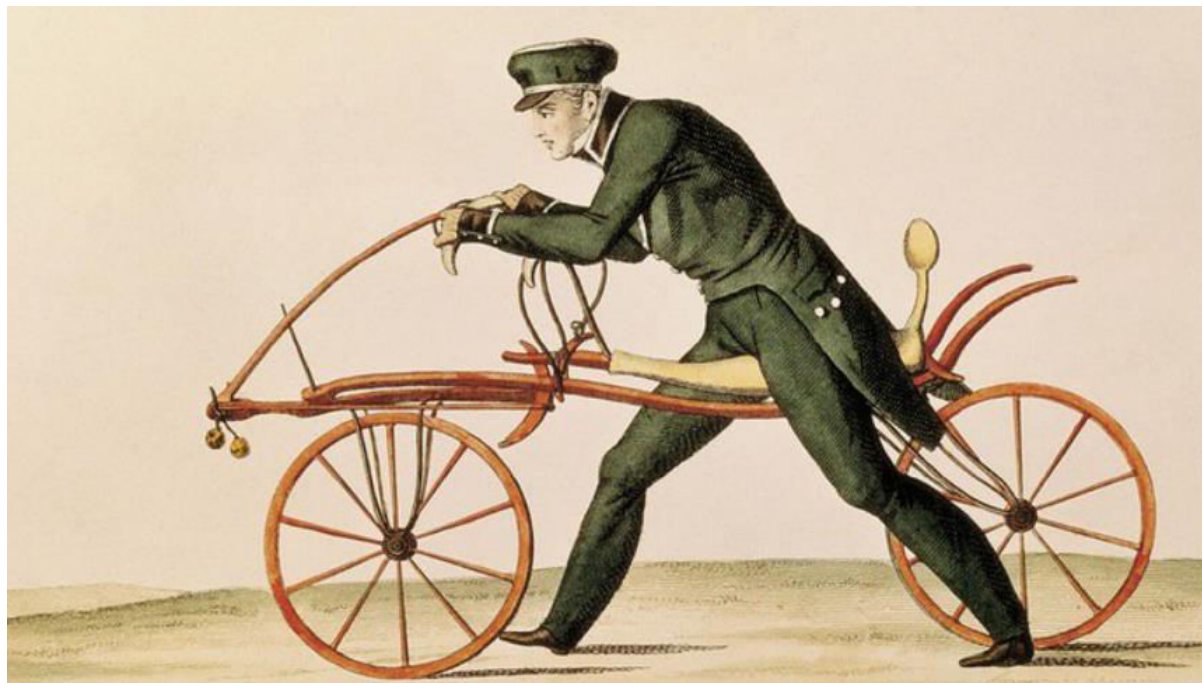
У савременом свету развила се свест о екологији. Загађење индустрија, емисија CO₂ у атмосферу, ограниченост фосилних горива, навели су на закључак да је такав систем неодржив. Потребна су алтернативна решења, развијају се еколошки прихватљивије технологије, усмерава се на смањење потрошних енергената и очување природе. У данашњем свету где преовладава убрзани ритам живота, популација експлицитно расте па се свакодневно повећава потреба за употребом превозних средстава.

Бицикл је најјефтиније и еколошки најприхватљивије копнено превозно средство. Такође је најприступачнији и најздравији облик превоза. Према дефиницији, бицикл је возило које има најмање два точка и које се покреће искључиво снагом возача.

3.1. Развој бицикала кроз историју

Први бицикл „*Laufmaschine*“ (слика 4) (нем. *тркачка машина*) је изумео 1817. године Карл Фридрих вон Драис (1785-1851) као замену за коња касније названу „велосипед“, о коме ће нешто више речи бити у наставку овог рада. Тај тада нови изум наметнуо се као добро и ефикасно решење за превоз на краћим релацијама. Овај бицикл се састојао од два точка исте величине у истој линији, рама који је требало да се опкорачи и управљача који је био причвршћен за рам. Био је израђен у потпуности од дрвета и тада није имао педале. Возач би се једноставно одгуривао ногама и тако ишао напред. Драисово возило, како је добило име по изумитељу „*Draisine*“, први пут је изложено на сајму у Паризу 6. априла 1818. године. Максимална брзина којом се кретало ово возило је 15 km/h. Верује се да је 1861. године паришки ковач Michaux уградио прве педале. Предњи точак постаје већи, па је тај бицикл био изузетно неудобан. Тада тај бицикл добија назив „Велосипед“. Због те неудобности је назван „boneshaker“ (костоломац). 1870. године Џејмс Старлеј израђује први бицикл са преносним механизмом. 1879. године настаје први модерни бицикл, какав нам је и данас познат. 1888. године Џон Бојс Данлоп развија пнеуматик за трицикл свог сина што је значајно повећало удобност бицикла. 1935. године појављује се први

алуминијумски рам, док су 1937. први пут коришћени мењачи. 1973. се на тржишту појављује „Shimano“ са првом генерацијом групе „Dura Ace“. 2009. године је „Shimano“ представио свој електронски мењачки систем „Dura Ace Di2“.



Слика 4 – Модел првобитног бицикла „Драисине“

Развој бицикала непрекидно расте. Постоје разни облици и величине бицикала, али већина типова конвенционалних рамова бицикала имају исте основне елементе. Осим развоја геометрије рамова, развијали су се и делови бицикала, тако и избор материјала делова и рамова бицикала.

3.1.1. Велосипед

Следеће појављивање машине на два точка било је 1865. године када су се појавиле педале које су биле монтиране директно на предњи точак. Ова машина је била позната као „Велосипед“ („брза нога“) (слика 5), али као што је већ речено раније био је познат као „Boneshaker“, будући да је такође био у целости израђен од дрвета, а касније са металним точковима. Комбинација ових елемената од којих је бицикл био израђен у комбинацији са каменим путевима био је разлог за изузетно неугодну и бучну вожњу.



Слика 5 – Модел велосипеда

3.1.2. Бицикл са великим предњим точком

1870. године појавили су се први бицикли који су у потпуности били израђени од метала. (Слика 6) Пре овог периода металургија није била довољно напредовала да би могла дати метал који би био довољно јак за мале металне делове. Педале су се још увек монтирале на предњи точак без преносног механизма. Гумени точкови и дуги кракови великог предњег точка довели су до знатно мирније вожње од претходних модела. Тај предњи точак је с временом постајао све већи јер су тадашњи инжењери Француз Ernest Michaux са својим учеником Pieere Lallementom, схватили да што је точак већи, то се даље може путовати једном ротацијом педала. Ова машина је прва машина у историји која је названа бицикл („два точка“). Нарочиту популарност имао је међу млађим мушкарцима, а коштао је отприлике шест месечних плата просечно плаћеног радника.

Будући да је возач седео тако високо изнад тежишта, ако би се предњи точак нагло зауставио због камена или рупе на путу, или пак изненадног истрчавања детета или пса, цео бицикл би се нагнуо напред према предњој осовини, а возач, са ногама заробљеним под управљачем, безобзирно би пао на главу. То је још једна мана овог бицикла. Иако је таквим бициклима било тешко управљати, популарност је ипак била велика.



Слика 6 – Бицикл са великим предњим точком

3.1.3. Бицикл са ланцем

Напредак у металургији омогућио је следећу иновацију: ланац и ланчаник. Дизајн бицикла (слика 7) вратио се на претходне моделе. Сада су оба точка била једнаке величине. Ипак, ови бицикли и даље су имали тврде гуме и вожња је упркос преносу снаге била неугодна.



Слика 7 – Бицикл са ланцем

3.1.4. Трицикл

Док су углавном мушкарци возили бицикле, жене су возиле трицикле (слика 8). Наиме, бицикл са великим предњим точком је имао нешто авантуристичко у себи управо због тога јер је њиме било тешко и ризично управљати. С друге стране, трицикл је пружао више достојанства за господу као што су лекари или свештеници. Први произвођач трицикала био је Ковентри Левер. Трицикл је постигао велику популарност захваљујући томе што га је било лако научити возити јер је стабилнији од бицикала управо због тог трећег точка. Два велика точка служила су за баланс, док је мањи, предњи служио за управљање.



Слика 8 – Модел трицикла

3.2. Примена савремених бицикала у пракси

Данашње време се, што се тиче бицикала, разликује од времена када су бицикли настајали по томе што сада постоји велики број врста бицикала. Неки од типова бицикала су:

- брдски бицикли,
- хибридни бицикли,
- друмски бицикли,
- остали (BMX, бицикли намењени деци, пони, моноцикл, тандем, трицикли, рикша бицикл, собни бицикл,...)

3.2.1. Брдски бицикл

Брдски бицикли (*енг. Mountain bike*) (слика 9) као што и њихов назив говори намењени су за вожњу по брдима и планинама. Карактеристика брдских бицикала су широке гуме, раван управљач, много брзина и амортизер на виљушки. Амортизери се могу налазити на предњој виљушки и/или код седишта које ублажава неочекиване ударце.



Слика 9 – Модели брдског бицикла
а) са амортизерима, б) без амортизера

3.2.2. Хибридни бицикли или „мешанци“

Хибридни бицикли могу се поделити у две подгрупе:

- градски и
- трекинг (trekking).

Хибриди, градски и трекинг су варијације настале на основи брдског бицикла, код којих се користећи тање гуме постиже мање трење у односу на подлогу. Код оваквих типова бицикала положај тела возача је усправнији и удобнији. Овакви типови бицикала често имају блатобране, носаче терета (корпе), штитнике ланца и ланчаника, светла, итд.

Градски бицикл:

Што се већ може уочити из назива овог типа бицикла, он је намењен за вожњу по урбаним градским срединама. Развој градских бицикала је узео замаха у задњих 20-ак година. Због додатака који се монтира на бицикл, маса може премашити чак 15 kg. [7] На слици 10 се може видети изглед једног градског бицикла.



Слика 10 – Модел градског бицикла

Трекинг бицикл (trekking bike):

Ова врста бицикала се углавном користи за друмску вожњу али понекад и по природним теренима. Овај бицикл има точкове са тањим гумама. Што се тиче опреме, сличан је бициклима за градску вожњу. Слика 11 приказује изглед трекинг бицикла.



Слика 11 – Модел трекинг бицикла

3.2.3. Друмски бицикл

Друмски бицикли (слика 12) су дизајнирани за трке, иако су избор и за свакодневну вожњу. Овај тип бицикла има аеродинамичну конструкцију и малу масу (уобичајено мања од 11 kg). Положај у коме се налази бициклиста у току вожње овог бицикла је савијени због закривљеног облика управљача што додатно доприноси аеродинамици, међутим је због тог разлога и неудобан. Овак тип бицикла не поседује додатке попут корпе, блатобрана, заштите за преносник и слично, што аутоматски доприноси смањењу масе.



Слика 12 – Модел друмског бицикла

3.2.4. BMX (bike-cross) бицикл

Ова врста бицикала (слика 13) је настала седамдесетих година прошлог века од стране *Schwinn* компаније. Сам термин „BMX“ представља скраћеницу за Bike-cross, трку која се вози на затвореној стази, али изузетно закомпликованој кривинама, рупама, скоковима, итд. Али последњих пар деценија овај термин генерално означава жонглирање или оно што се зове Freestyle BMX, вожња слободним стилем. Овај тип модела је стандардно веома низак, па мора имати изузетно стабилан рам и велике точкове од 20 инча, са пуно густих шара које омогућавају максималну додирну површину са тлом. Постоји само један пренос, што значи да не поседује мењаче нити друге додатне делове. [8]



Слика 13 – Модел BMX бицикла

На слици 14 се могу видети начини вожње за наведене врсте бицикала.



Слика 14 – Положај тела при вожњи

3.3. Елементи који чине један бицикл

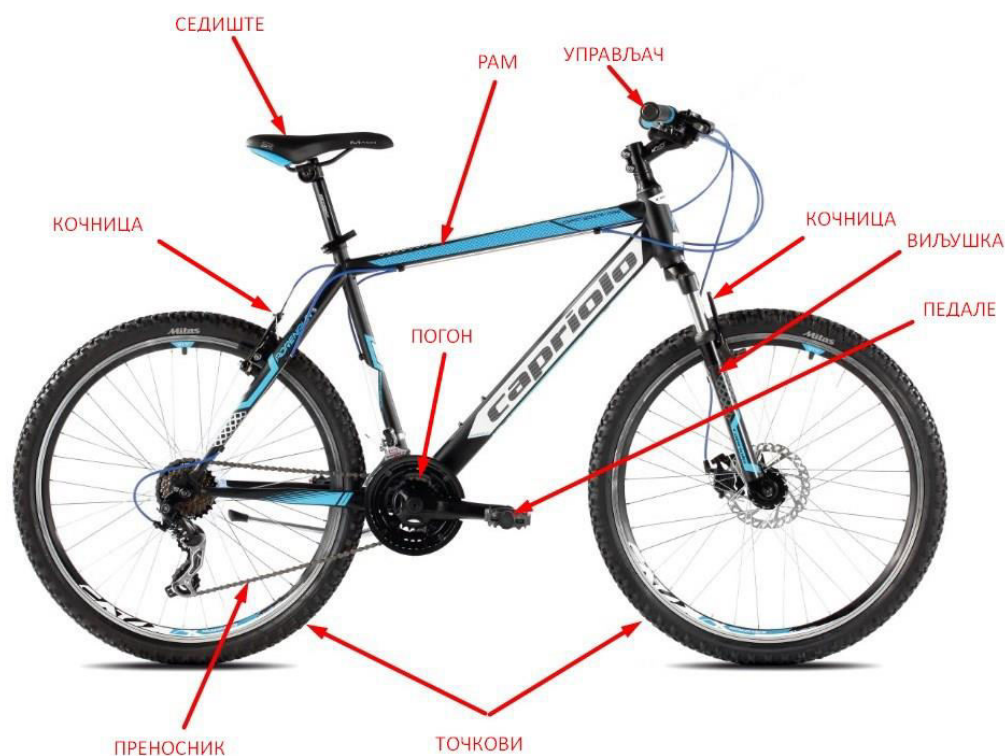
Да би неки бицикл вршио своју функцију, неопходно је да буде састављен од главних, а у зависности од типа бицикла и од помоћних делова. Главни делови бицикла су:

- Рам,
- Виљушка,
- Точкови,
- Погон,
- Педале,
- Седиште,
- Управљач,
- Кочнице,
- Преносник,

У помоћне делове спадају:

- Мењачи брзина,
- Амортизери,
- Корпе,
- Светло,
- Звонце,
- Блатобран,
- Кош за флашу и сл.

На слици 15 се могу видети означени главни елементи бицикла.



Слика 15 – Бицикл са његовим главним елементима

У наставку ће бити појашњена конструкција и функција неких од горе наведених елемената.

3.3.1. Рам бицикла

Рам (слика 16) јесте најважнији део бицикла јер је он основа истог и део који повезује све остале елементе у једну целину, према томе он мора бити прилагођен тј. компатибилан са другим елементима. Најчешће коришћен тип рама је дијамантског облика са два спојена троугла. Овај тип рама је познат и под називом сигурносни рам (*енг. safety frame*). Основни делови сигурносног рама су:

1. Горња цев,
2. Цев управљача,
3. Доња цев,
4. Цев седишта,
5. Улежиштење средње главе (лежаја),

6. Горња цев задње виљушке,
7. Доња цев задње виљушке,
8. Носач мењача,
9. Носач кочнице.



Слика 16 – Приказ обележених делова рама [9]

Карактеристике рама чине геометрија, крутост и маса. Маса и крутост су дефинисани обликом цеви и материјалима. Појам геометрија рама се односи на углове између цеви и њихову дужину.

3.3.1.1. Материјали за израду рама

Материјали од којих су се израђивали, а и дан данас се израђују савремени рамови су челици. То су челици са врло мало угљеника, са додатком мангана, хрома, молибдена, ванадијума и никла.

1975. године се појављује први бицикл са алуминијумским рамом, а десетак година касније почиње да се користи масовно у производњи рамова. Бицикли са алуминијумским рамовима су популарни првенствено због мале тежине, а и због приступачније цене у односу на челични рам. Међутим, за разлику од челичних рамова, алуминијумски нису толико отпорни на ударце.

Рамови израђени од титанијума су лакши од челичних, чвршћи од алуминијумских и имају анти-корозивна својства. Због чињенице да је јако удобан, рамови од овог материјала се врло често могу видети код људи који бициклом путују светом и прелазе дуж релације.

Рам бицикла не мора бити израђен искључиво од метала. То могу бити и композити. За многе бициклисте нема другог избора осим карбонских влакана. Овај

материјал је доминантан у свету бициклизма. Он је најлакши и најкрући материјал од свих претходно наведених. Међутим може бити и најскупљи. Карбон је најфлексибилнији материјал и нуди дизајнерима велики опсег прилагођавања. За разлику од других, овакав рам није ограничен обликом цеви и може се прилагодити да буде што аеродинамичнији. Дизајнери могу релативно лако манипулисати како би створили рам са посебном равнотежом и својствима, било да се ради о лакшем раму, удобности и крутости.

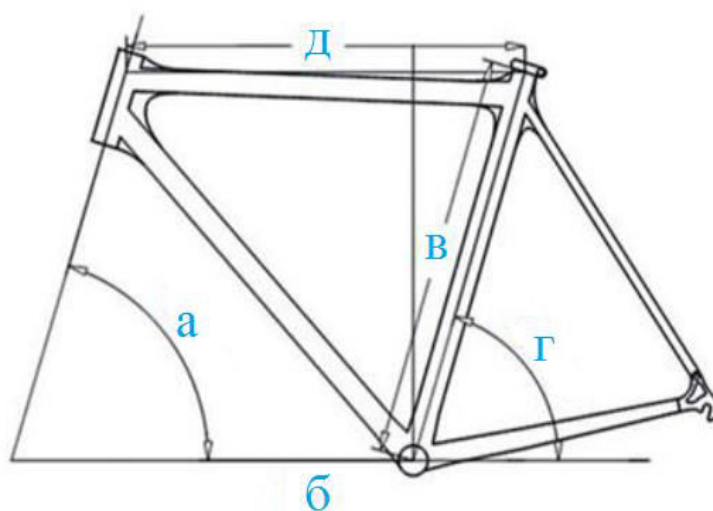
3.3.1.2. Димензије рама бицикла

У зависности од намене, бицикли се израђују у различитим величинама. Величине рамова су изражене у сантиметрима, инчима или словним ознакама. Рам бицикла се мери од центра средњег погона до тачке где цев седишта улази у рам. У табели 1 се могу видети стандардне димензије рама друмског бицикла.

Табела 1 – Стандардне димензије рама друмског бицикла [11]

Висина возача	Величина рама	
(cm)	(cm)	Величина
148 - 152	47 - 48	XXS
152 - 160	49 - 50	XS
160 - 168	51 - 52 - 53	S
168 - 175	54 - 55	M
175 - 183	56 - 57 - 58	L
183 - 191	58 - 59 - 60	XL
191 - 198	61 - 62 - 63	XXL

На слици 17 су приказане основне димензије и углови рама бицикла.



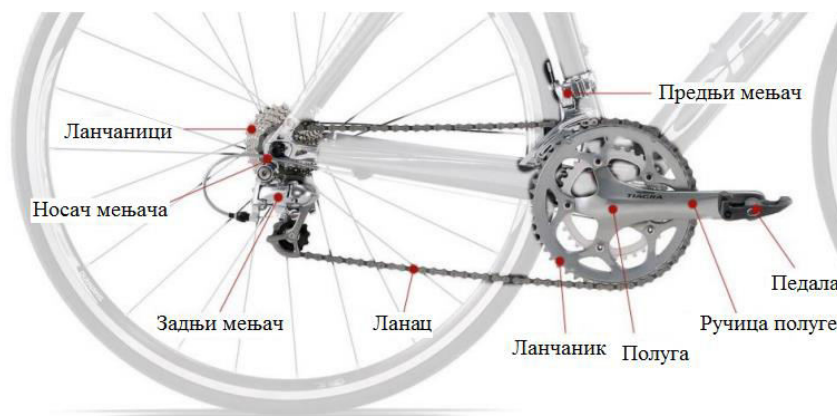
Слика 17 – Основне димензије и углови рама [12]

Где је:

а – Угао главе рама, **б** – Растојање између точкова, **в** – Висина подседишне цеви, **г** – Угао подседишне цеви, **д** – Растојање између подседишне цеви и главе рама.

3.3.2. Погон

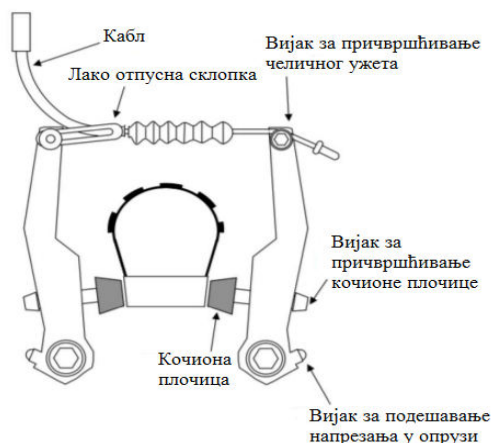
Погон код бицикала представља скуп компоненти педала, полуга, ланчаника, ланца, мењача, ручица мењача. Принцип рада погонског система је механички. Возач делује притиском на педале, сила се преноси преко полуга које делују као крак, те се ствара момент на осовину погона. Системом ланчаника и ланца, момент се преноси на погонски точак. Улога предњег и задњег мењача је покретање ланца по ланчанику, тј. мењање брзина, што резултира различитим оптерећењем педалирања. Већина система мењања брзина се темељи на механичком притиску ручице на управљачу где долази до затезања челичног ужета што резултира покретање предњег или задњег мењача у лево односно десно. На слици 18 се може видети погон бицикла са обележеним елементима.



Слика 18 – Елементи погона бицикла са ланчаним преносником

3.3.3. Систем кочења

За потпуну функционалност бицикла потребно је мислити на сигурност возача. Стога је развијен систем кочења који омогућава нагло и ефикасно заустављање. Већина бицикала је опремљена са две кочнице, предње и задње. Предње кочнице су причвршћене за предњу виљушку, док су задње причвршћене за задњу виљушку. Сврха кочница јесте заустављање окретања точка, те на тај начин зауставити кретање бицикла. Кочница је спојена помоћу ужета са ручицом кочнице која се налази на управљачу. Притиском ручице долази до реакције где се механичким или хидрауличним путем чељусти кочнице спајају, те се ствара сила трења која зауставља бицикл.



Слика 19 – Елементи „V brake“ кочнице

Најчешћи тип кочнице су оне које делују трењем на метални обруч точка тзв. „V brake“ приказане на слици 19. Све већу популарност имају диск кочнице код којих кочионе плочице притискају метални диск који је причвршћен за главчину. Диск кочнице (слика 20) показују боља својства кочења у различитим временским условима. Међутим, већина друмских бицикала и даље користи „калипер“ кочнице које обухватају цео обруч те притиском на ручицу, на управљачу, притисну обруч. Калипер кочнице су релативно лагане и једноставне за монтажу. Овај тип кочница је врло ефикасан при кочењу и једини недостатак јој је мала способност одвођења топлоте при интензивном кочењу.



Слика 20 – Диск кочница [10]

3.3.4. Систем управљања

Управљање је један од кључних елемената за коришћење бицикала. Помоћу управљача се мења смер кретања, али и задржава постојећи смер. Управљач је повезан са виљушком преко цеви управљача. Управљач и цев бицикла значајно утичу на удобност вожње. Дужином цеви дефинише се управљивост и прилагођеност величине бицикла. Виљушка је причвршћена за предњи точак који се окреће складно окретању

управљача. Иако је угао заокретања управљача велики (360°), при вожњи углавном не прелази 5° . Осим наведене функције виљушке, последњих неколико деценија су популарне виљушке са амортизерима које олакшавају вожњу, тј. амортизују ударце и нераван терен.

3.4. Предности и недостаци вожње бициклом

Бицикл као облик саобраћаја се брзо проширио у развијеним а и неразвијеним земљама. С обзиром на високе цене горива, очекивање је да ће се тренд наставити повећавати. Вожња бициклом је привлачан начин превоза у сврху транспорта људи свих узраста али и у сврху телесне рекреације и разоноде. За управљање бициклом није потребна возачка дозвола. Међутим, за разлику од ходања, вожња бицикала захтева већу покретљивост, виши ниво моторичких и физичких способности...

3.4.1. Предности вожње бициклом

Бицикл је идеално превозно средство за краће релације, посебно у урбаним срединама. Бицикли заузимају мало простора током вожње а и док су паркирани. Утицај саобраћајних гужви практично не постоји за бицикле и чини их једним од најбржих начина превоза. Када се у обзир узму трошкови сопственог аутомобила, трошкови јавног превоза, бицикли су јефтин начин превоза. Цена бицикла и његово одржавање је релативно ниска у поређењу са наведеним начинима транспорта.

3.4.2. Вожња бицикла као допринос здрављу

Осим тога што већина људи бицикл користи као превозно средство од тачке А до тачке Б, неоспоран је учинак на ментално и физичко здравље особе. Вожња бицикла захтева рад целог тела, па је вожња бицикла вежба за цело тело. Зглобови, руке, рамена, ноге, леђни и стомачни мишићи, бокови су стално у покрету и морају пратити ритам вожње.

Према подацима Светске здравствене организације, након дуванских производа, недовољно кретање је највећа претња телу. Недовољна телесна активност је међу главним узрочницима бројних болести у друштву. Учинци вожње бицикла на здравље су бројни, а неки од њих су:

- *кардиоваскуларни систем*: свакодневна вожња бициклом је ефикасна аеробна вежба. Смањује ризик од бројних болести као што су болести срца, висок крвни притисак, можданог удара, дијабетеса, итд.

- *контрола телесне масе:* вожња бицикла је добар начин скидања сувишних килограма јер активира и убрзава метаболизам те убрзава и сагоревање калорија. Такође, ово је одличан начин постизања жељене телесне мускулатуре као и форме.
- *одржавање снаге и координације:* помаже у повећању издржљивости. Активност вожње укључује као што је већ речено рад целог тела па тиме побољшава моторичке способности.
- *побољшава расположење:* има позитиван учинак на расположење. Ублажава депресију, смањује ниво стреса,...

3.4.3. Очување животне средине

Као што је познато, планета Земља се налази у фази климатских промена. Политика и део научне заједнице сматрају да је узрок томе све већа емисија загађења гасом CO₂ те је на снази спровођење политике смањења емисија загађења. Бицикл је идеалан пример како смањити удео емисије CO₂ и како сачувати природу око нас. У целој Европи, 30% свих путовања аутомобилом су краћа од три километара, а 50% их је краће од шест километара. С обзиром да је потрошња горива у градској вожњи, на краћим релацијама знатно већа него на отвореном путу, краће релације у градским срединама увелико доприносе повећању смањења издувних гасова.

3.4.4. Недостаци вожње бициклом

Кретање бициклом може представљати проблем у случајевима захтевних саобраћајних ситуација, недостатка бициклистичких и пешачких стаза, понашања других возача моторних возила, недостатка паркинг места, а у случају Србије, сигурно се ту може сврстати и квалитета самих путева. Посебно угрожена група су деца и старији возачи. Док код деце физичке, моторичке и визуелне способности још нису довољно развијене, код возача старије доби оне су у паду, тј. губе се с годинама. Када се гужва у саобраћају повећа, старије особе касне, а то може изазвати осећај несигурности, тескобе и стреса.

4. ДИЗАЈН КОНЦЕПЦИЈЕ РАМА БИЦИКЛА

4.1. Листа захтева конструкције рама бицикла

Како би се дошло до оптималне конструкције рама, формирана је листа захтева и жеља коју би ова конструкција требало у што већој мери да испуни. (Табела 2) [16]

Табела 2 – Листа захтева конструкције рама бицикла

Листа захтева и жеља	Захтев	Жеља
1.ФУНКЦИЈА 1.1. Повезивање саставних делова бицикла у целину.	*	
2.УСЛОВИ ТЕХНИЧКОГ ПРОЦЕСА 2.1 Габаритне димензије: -Висина: 605 mm -Дужина : 680 mm -Ширина: 100 mm 2.2 Материјал: Алуминијум 2.3 Дебљина цеви: 3-4 mm 2.4 Серијска производња	*	*
3. РАДНА СВОЈСТВА 3.1 Мала маса 3.2 Компатибилност са саставним деловима бицикла 3.3 Отпорност на лаке и средње ударце 3.4 Стабилна конструкција 3.5 Практичност 3.6 Лако одржавање	*	*
4. ТЕХНОЛОШКА СВОЈСТВА 4.1 Спајање делова поступком заваривања	*	
5. ЕРГОНОМСКА СВОЈСТВА 5.1 Без оштрих ивица 5.2 Удобност	*	
6. ИСПОРУКА 6.1 Крајњи рок: 1 месец		*
7. ЕКОНОМСКИ УСЛОВИ 7.1 Што приступачнији производ	*	

4.2. Идејна решења

Почетна, а и коначна идеја била је да рам бицикла има облик мотоцикала марке „*Harley-Davidson*“. (Слика 21)

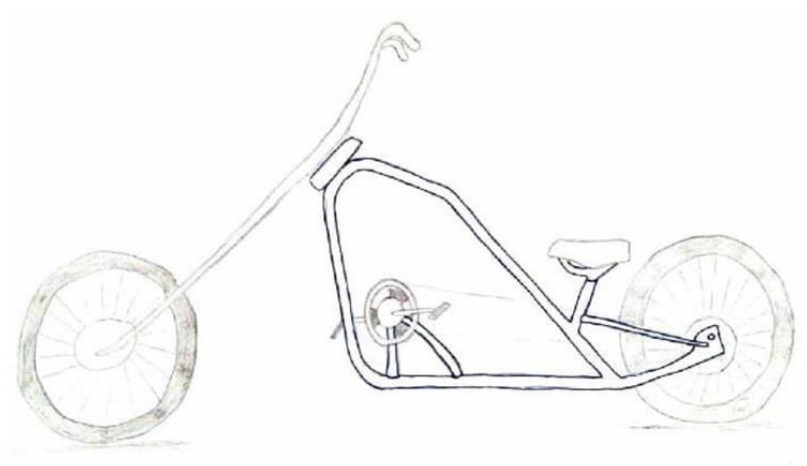


Слика 21 – Мотоцикл марке „*Harley-Davidson*“

У почетку је разрађено неколико идеја о концепцији рама бицикла, како би се дошло до оптималног решења. На сликама 22, 23 и 24 се могу видети првобитна идејна решења, односно коначно идејно решење рама.

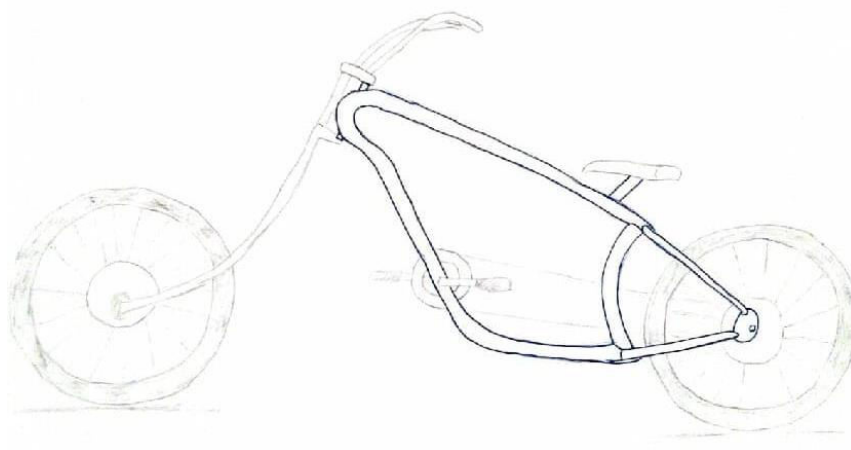


Слика 22 – Првобитно идејно решење рама



Слика 23 – Друго идејно решење рама

На слици 24 се може видети треће и усвојено коначно идејно решење рама бицикла. Оно је на неки начин по дизајну комбинација прва два идејна решења.



Слика 24 – Коначно идејно решење рама

4.3. Модел рама

На слици 25 се може видети изглед 3Д модела рама бицикла израђен у програму *Autodesk Inventor Professional 2016*.



Слика 25 – Нова концепција рама бицикла израђеног у *Autodesk Inventor Professional 2016*

Најпре је израђен модел предњег дела рама (слика 26).



Слика 26 – Предњи део рама бицикла

Предњи део рама састоји се од заварених главних алуминијумских носећих цеви кружног попречног пресека пречника $\varnothing 40$ mm и дебљине 4 mm. Такође се састоји од цеви намењене за монтирање зедишта пречника $\varnothing 26$ mm, дебљине 3 mm, као и цеви намењене за монтирање управљача односно цеви за монтирање предње виљушке. Маса предњег дела рама износи 6,54 kg, док су габаритне димеције 40 x 610 x 680 mm. Као ојачање, направљено је ребро дебљине 6 mm, које у овом случају има и естетску улогу. Муња на ребру би представљала „моћ“ и снагу коју имају горе поменути мотоцикли на основу којег је рам бицикла израђен.

Што се тиче задњег дела рама тј. виљушке (слика 27), састоји се такође од алуминијумских цеви пречника $\varnothing 20$ mm и дебљине 3 mm. На крајевима горње и доње виљушке налази се део који служи за монтирање осовине задњег точка. Димензије задње виљушке одговарају точку пречника $\varnothing 450$ mm. Осно растојање између точкова би износило 1375 mm.



Слика 27 – Задња виљушка

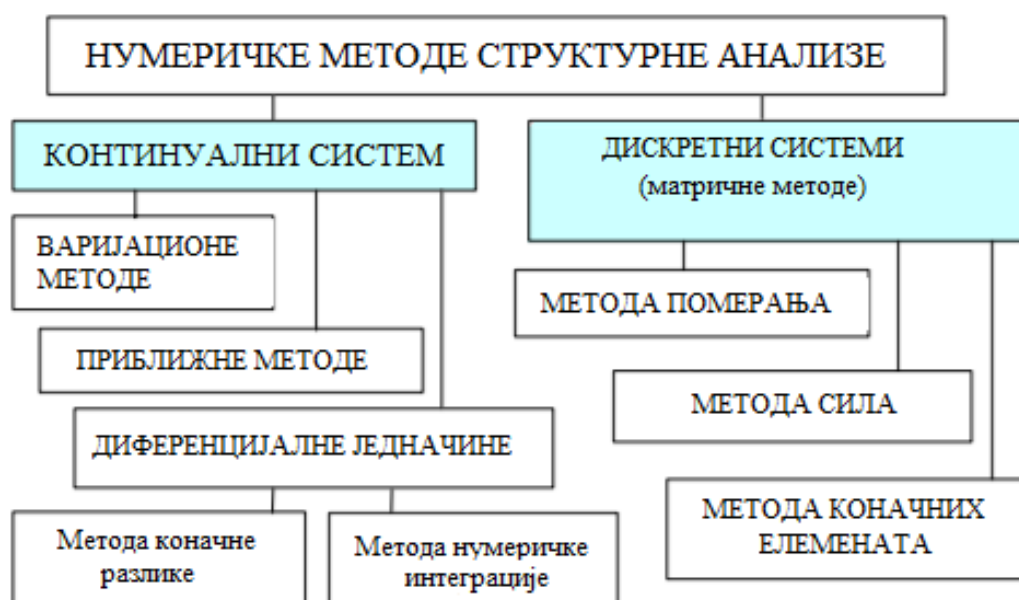
5. АНАЛИЗА НАПОНСКОГ ДЕФОРМАЦИОНОГ СТАЊА РАМА БИЦИКЛА

5.1. Класификација метода за анализу структура

Методама анализе се у фази пројектовања машина и опреме траже одговори о њиховим својствима отпорности, поузданости, носивости, кинематском понашању, динамичком одговору. Скуп свих захвата тражења одговора о својствима бази физичке форме, постављају се упрошћени механички модели. За те упрошћене механичке моделе постављају сложеног система – структуре, представља **структурну анализу**.

5.2. Методе структурне анализе

Методе структурне анализе деле се на **аналитичке** и **нумеричке**. Примена аналитичких метода је ограничена на једноставне случајеве за које је могуће наћи решење у затвореном облику. Решења се код аналитичких метода траже преко редова или специјалних функција. Реалне структуре се у пракси третирају нумеричким методама и оне се могу односити на континуалне и дискретне системе. Слика 28 показује класификацију данас актуелних нумеричких метода структурне анализе.



Слика 28 – Преглед нумеричких метода за анализу структура

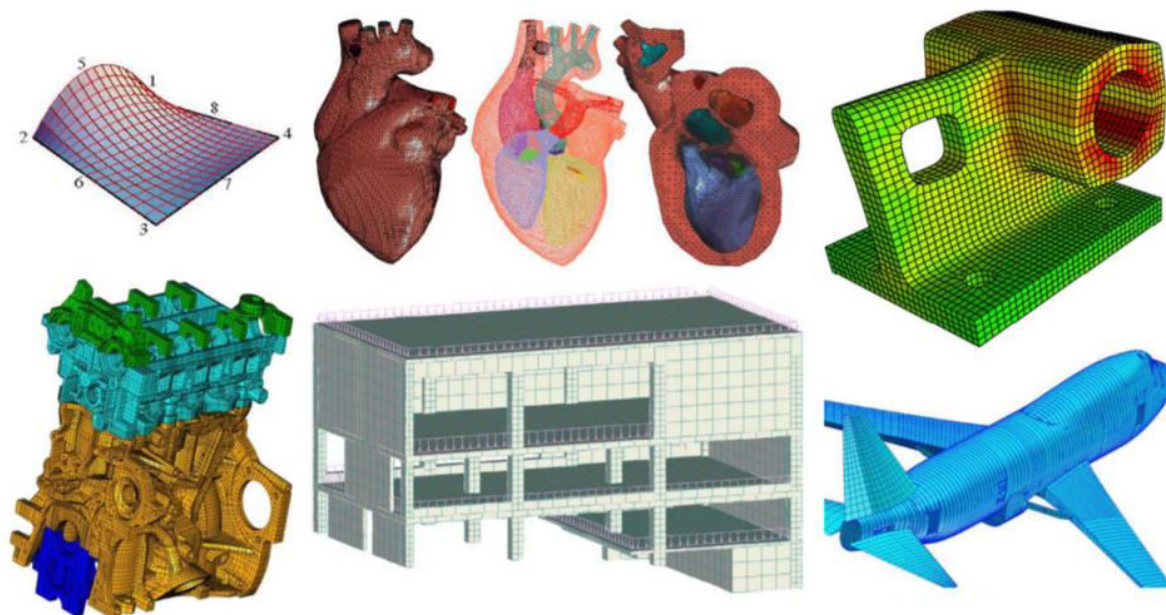
5.3. Метода коначних елемената

МЕТОДА КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА - МКЕ (*Finite Element Method - FEM*), користи различите типове метода, примењених на дискретном моделу за структурну анализу континуума. Континуум се дискретизује коначним бројем елемената и степени слободе кретања. Успех примене методе је у квалитету изабраних апроксимација коначних елемената постављеног модела. Тачност израчунавања је дефинисана квалитетом изабраних функција облика (интерполационих функција), мрежом и типом коначних елемената. Ова метода се своди на решавање диференцијалних једначина којима се описује стање напона и доформација тела сложених геометрија, структура или контруних услова.

Метода коначних елемената се може применити код:

- статике носећих конструкција,
- динамике носећих конструкција,
- проблема провођења тополоте,
- симулације обраде пластичним деформисањем.

На слици 29 се могу видети неки од примера примене МКЕ.



Слика 29 – Примери примене методе коначних елемената [13]

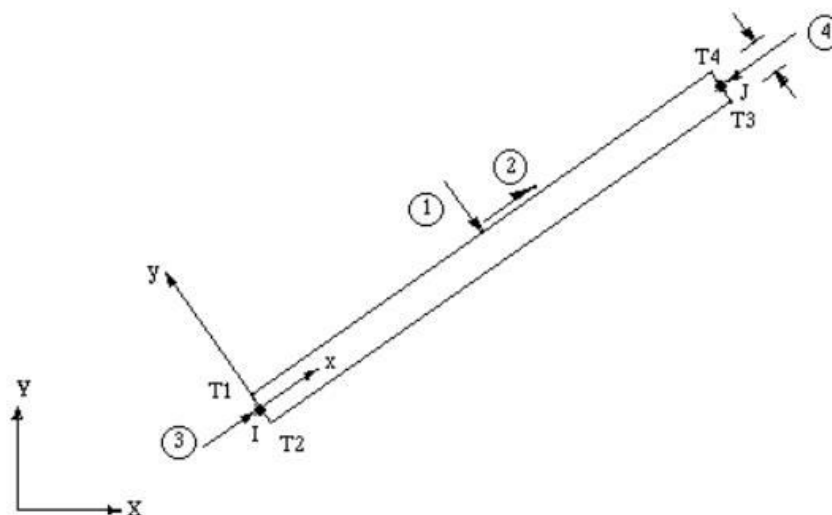
5.4. Типови елемената

У наставку ће бити описана колекција елемената који се најчешће користе за моделирање објеката. Ова колекција се састоји од различитих линијских, раванских и просторних елемената. Најпре ће бити изложени линијски елементи.

Линијски коначни елементи

Линијски коначни елемент је део праве или криве линије (слика 30). Код овог типа елемента, једина димензија која се разматра јесте дужина. Примери су:

- греде,
- штапови.



Слика 30 – Линијски коначни елемент

Линијски елемент је са два чвора и има три степена слободе у сваком чвору: трансляције у x и y – правцу и ротацији око z осе. Слика показује геометрију, чворове и координатни систем за дати елемент.

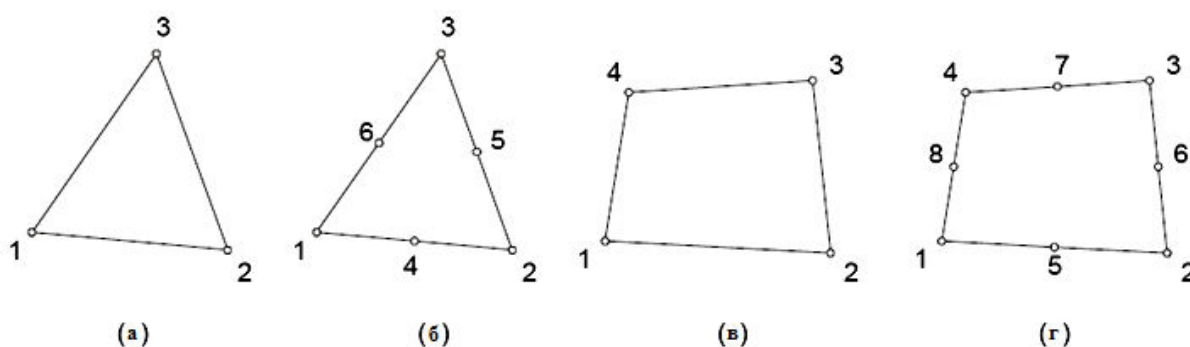
Постоји више врста линијских елемената који се могу користити у свим типовима анализе код којих се може применити више типова оптерећења и код којих се као излаз може добити више тражених величина.

Равански коначни елементи

У случају раванских елемената, као и код просторних елемената, постоји више врста, тако да они чине фамилију раванских коначних елемената за моделирање континуума. Програмом су подржани следећи равански елементи:

- троугао,
- троугао са међучворовима,
- четвороугао,
- четвороугао са међучворовима.

На слици 31 је дат приказ ових елемената и начин на који се дефинишу уз помоћ чворова.



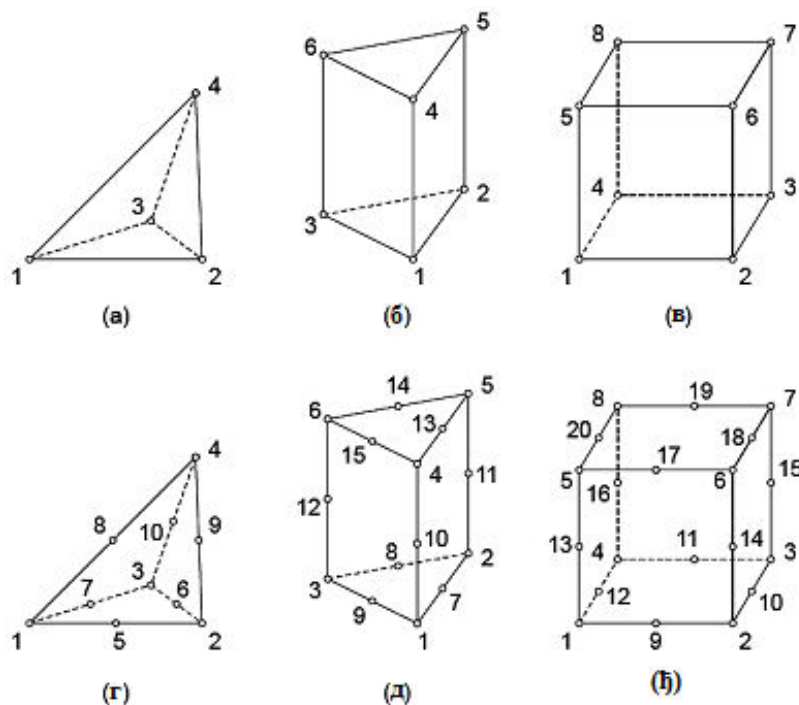
Слика 31 – Типови раванских елемената. (а) Троугао; (б) Троугао са међучворовима; (в) Четвороугао; (г) Четвороугао са међучворовима

Просторни коначни елементи

Ови коначни елементи се користе за моделирање тродимензионалних тела општег облика (3Д континуума). Елемент може имати различит број чворова – уобичајен број је од 8 до 21. Овакав елемент се назива основним и ограничен је са шест површи. Од оваквог елемента се могу формирати и други просторни облици, као што су призма, тетраедар, четворострана пирамида. Ови елементи настали поклапањем неких чворова основног елемента називају се дегенерисани 3Д елементи. У актуелној верзији програма подржани су следећи елементи:

- тетраедар,
- тетраедар са међучворовима,
- призма,
- призма са међучворовима,
- основни 3Д елемент,
- основни 3Д елемент са међучворовима. [14]

На слици 32 је дат приказ ових елемената и начин на који се дефинишу уз помоћ чворова (елементи са међучворовима, у општем случају имају криволинијске ивице).

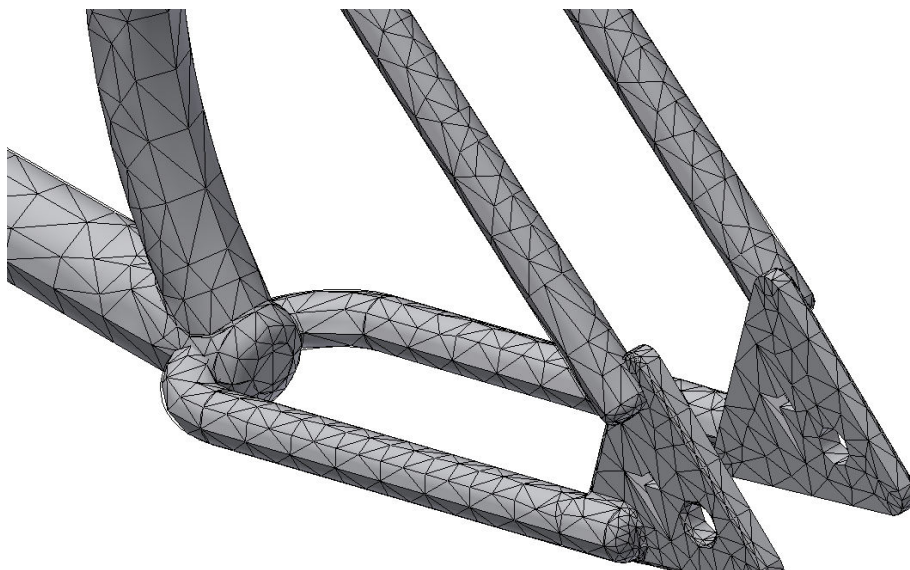


Слика 32 – Типови просторних елемената. (а) Тетраедар; (б) Призма; (в) Основни 3Д елемент; (г) Тетраедар са међучворовима; (д) Призма са међучворовима; (ђ) Основни 3Д елемент са међучворовима [14]

5.5. Анализа рама бицикла методом коначних елемената

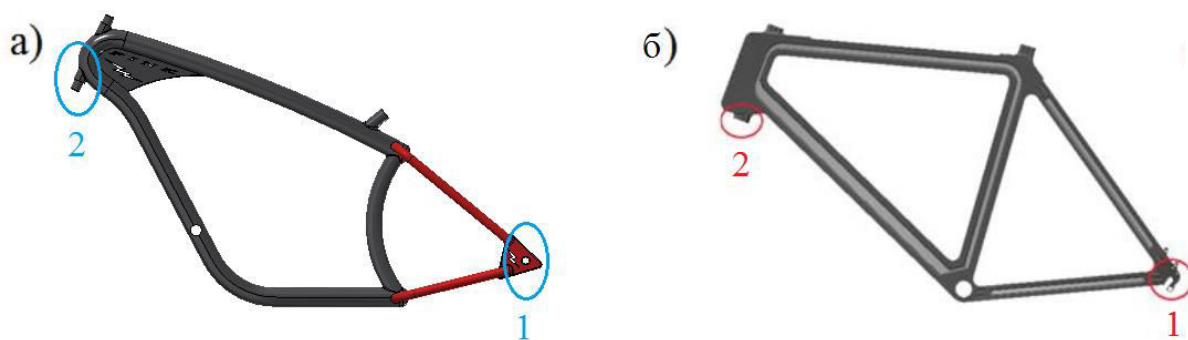
Деформација рама може довести до хаварије целог бицикла. Да се то не би догодило, неопходно је извршити анализу напона. Анализа напонског и деформационог стања, као и модел рама рађена је у софтверу *Autodesk Inventor Professional 2016*.

Дискретизација рама бицикла је извршена мрежом тродимензионалних (просторних) коначних елемената који су у облику параболичног тетраедра. (Слика 33)



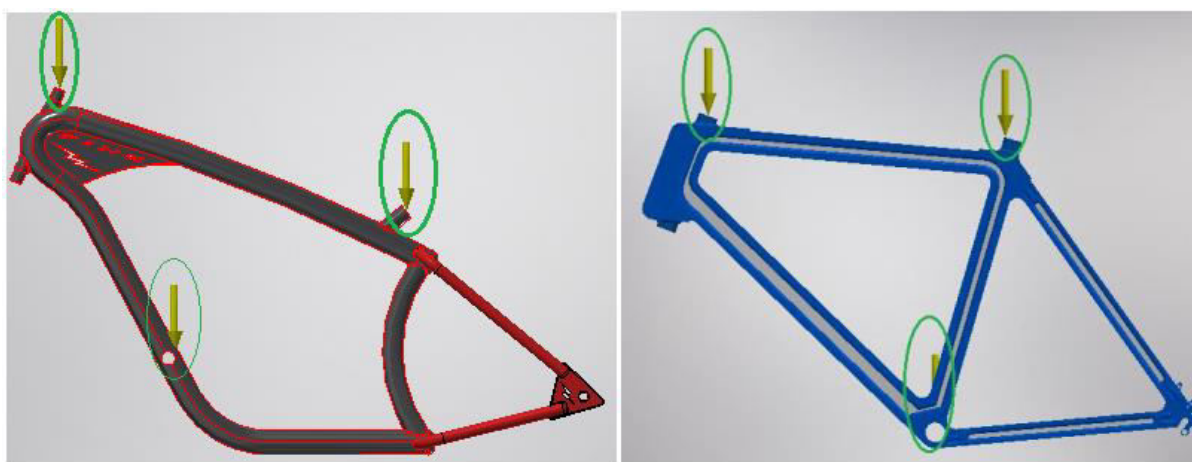
Слика 33 – Генерисање мреже коначних елемената

На слици 34 се могу видети задати ослонци на две позиције рама представљеног у мастер раду [7] (у даљем тексту **постојећа концепција**) као и тренутно анализиране концепције (у даљем тексту **нова концепција**). Тачке ослањања се налазе код задње осовине (1) и на месту где се цев управљача ослања на виљушку (2).



Слика 34 – Задавање ограничења: а) Нова концепција рама;
б) Постојеће решење рама

Након што је извршено задавање ограничења, потребно је задати оптерећење. У овом случају, оптерећење је концентрисано у три тачке и то на местима на којима би возач својом масом деловао на рам бицикла. Та три места су седиште, педале и управљач што се може видети на слици 35. За све три силе је узета вредност од 1500 N која представља максималну тежину човека. Силе су постављене у вертикалном положају са смером на доле. Укупна сила која делује на рам бицикла је 4500 N, што је приближно једнако маси од 458,9 kg. Ако се узме у обзир да је просечна маса бициклисте 75 kg, долази се до закључка да се вредности сила које делују на рам бицикла при нормалној експлоатацији, чак и по неравним подлогама, неће ни приближити вредностима сила коришћеним при испитивању.



Слика 35 – Приказ задатих оптерећења

5.6. Резултати испитивања постојећег решења рама

Након постављања оптерећења и завршне анализе добијени су резултати приказани у табелама 3, 4, 5, 6, 7 и 8.

Табела 3 – Физичке карактеристике рама

Mass	2.77085 kg
Area	663361 mm ²
Volume	1026240 mm ³
Center of Gravity	x=-32.8029 mm y=-165.24 mm z=308.316 mm

Табела 4 – Особине материјала од којег је израђено постојеће решење рама

Name	Aluminum 6061	
General	Mass Density	2.7 g/cm ³
	Yield Strength	275 MPa
	Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Stress	Young's Modulus	68.9 GPa
	Poisson's Ratio	0.33 ul
	Shear Modulus	25.9023 GPa

Табела 5 – Карактеристике мреже коначних елемената постојећег решења рама

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Табела 6 – Вредности сила које делују на модел

Сила 1		Сила 2		Сила 3	
Load Type	Force	Load Type	Force	Load Type	Bearing Load
Magnitude	1500.000 N	Magnitude	1500.000 N	Magnitude	1500.000 N
Vector X	0.000 N	Vector X	0.000 N	Vector X	0.000 N
Vector Y	-1500.000 N	Vector Y	-1500.000 N	Vector Y	-1500.000 N
Vector Z	0.000 N	Vector Z	0.000 N	Vector Z	0.000 N

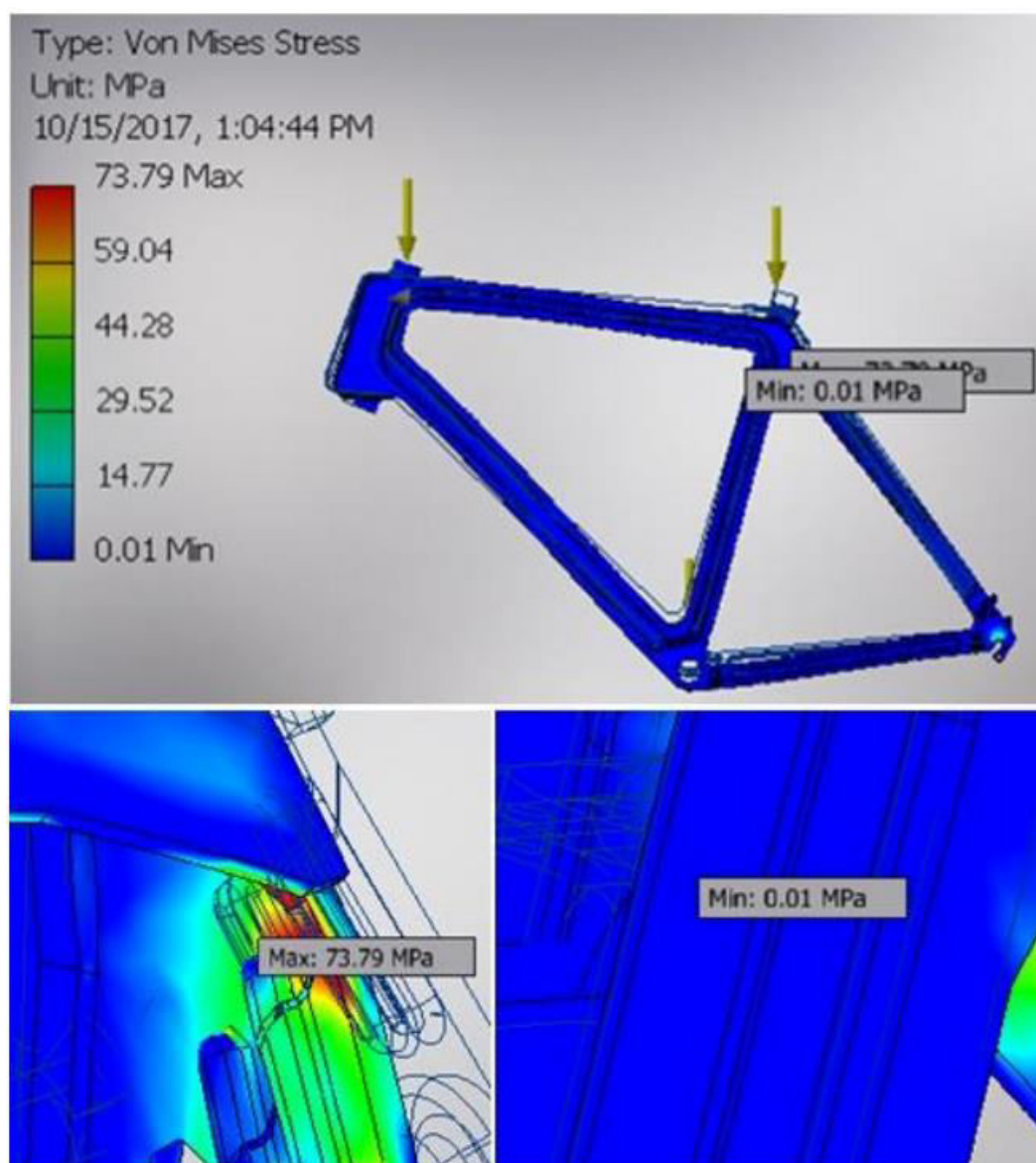
Табела 7 – Реакције сила и момената

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	2392.33 N	0 N	3.61119 N m	3.61119 N m
		2235.63 N		0 N m
		-851.601 N		0 N m
Pin Constraint:1	2419.21 N	0 N	17.1687 N m	17.1685 N m
		2264.37 N		0 N m
		851.598 N		-0.0751031 N m

Табела 8 – Укупни резултати испитивања постојеће концепције рама

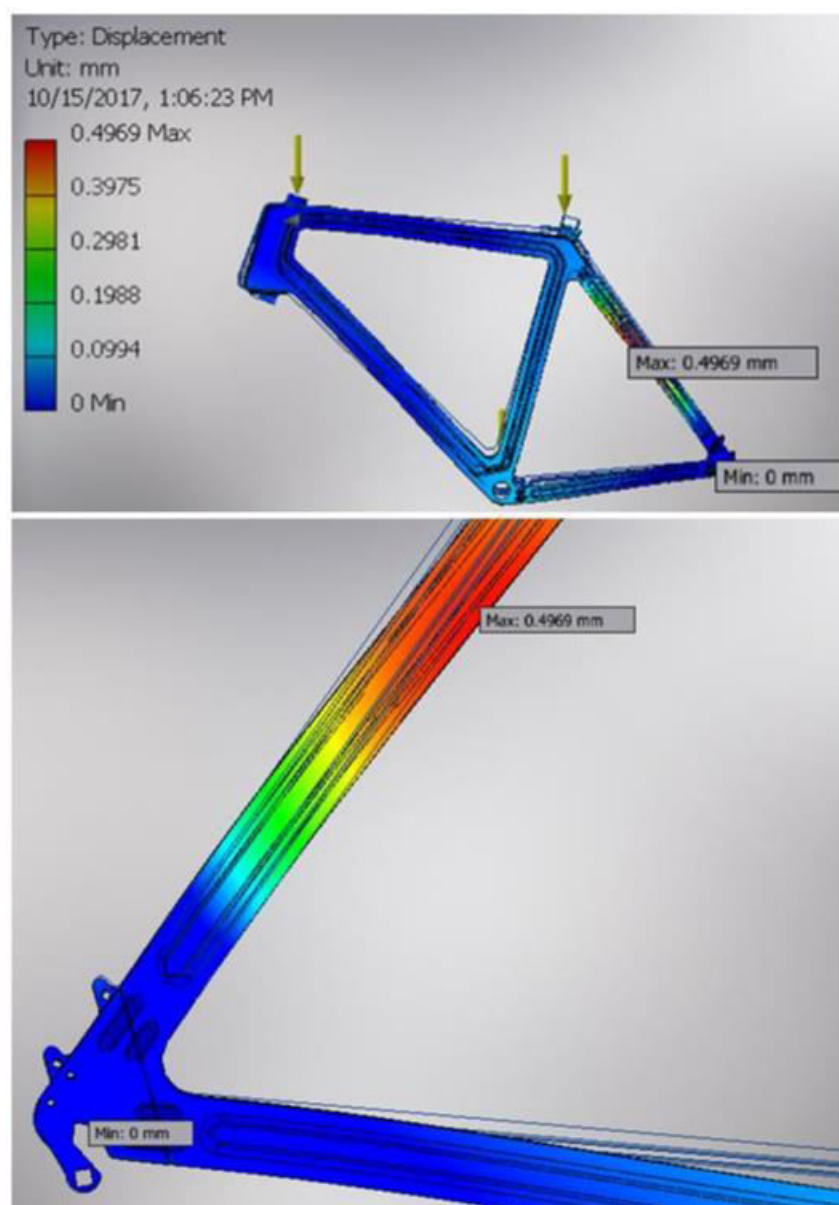
Name	Minimum	Maximum
Volume	1026240 mm ³	
Mass	2.77085 kg	
Von Mises Stress	0.00835882 MPa	73.7933 MPa
1st Principal Stress	-25.8724 MPa	79.5699 MPa
3rd Principal Stress	-104.696 MPa	22.8846 MPa
Displacement	0 mm	0.496883 mm
Safety Factor	0.891911 ul	15 ul
Stress XX	-45.9151 MPa	44.8436 MPa
Stress XY	-31.081 MPa	27.7511 MPa
Stress XZ	-19.2473 MPa	20.2144 MPa
Stress YY	-75.826 MPa	59.4064 MPa
Stress YZ	-13.1799 MPa	21.9328 MPa
Stress ZZ	-46.4966 MPa	46.1859 MPa
X Displacement	-0.483117 mm	0.480449 mm
Y Displacement	-0.182016 mm	0.0131839 mm
Z Displacement	-0.038731 mm	0.120922 mm
Equivalent Strain	0.000000107691 ul	0.00102676 ul
1st Principal Strain	-0.00000206442 ul	0.000894942 ul
3rd Principal Strain	-0.00121718 ul	0.00000402075 ul
Strain XX	-0.000330316 ul	0.000437265 ul
Strain XY	-0.000599967 ul	0.000535688 ul
Strain XZ	-0.000371538 ul	0.000390205 ul
Strain YY	-0.000678894 ul	0.000504691 ul
Strain YZ	-0.000254416 ul	0.000423377 ul
Strain ZZ	-0.00034076 ul	0.00035783 ul
Contact Pressure	0 MPa	32.7118 MPa
Contact Pressure X	-25.7968 MPa	26.3991 MPa
Contact Pressure Y	-22.4218 MPa	19.3977 MPa
Contact Pressure Z	-17.5317 MPa	13.9527 MPa

На слици 36 су приказани Фон Мизесови напони који представљају вредности које се користе да би се утврдило да ли ће дати материјал попустити или се сломити и места у којима се јавља максимална и минимална вредност напона. Максимална вредност се јавља на месту где се налази прелом односно промена угла стране рама и износи 73,8 МПа, док се на месту пресованог ојачања јавља минимална вредност од 0,01 МПа.



Слика 36 – Приказ Фон Мизесових напона код постојеће концепције рама

На слици 37 приказане су деформације и места на којима се јављају максимална и минимална вредност деформације рама. На средини горњег дела задње виљушке јавља се максимална вредност померања од 0,49 mm. На месту монтирања задњег точка нема деформација.



Слика 37 – Деформације постојеће концепције рама

5.7. Резултати испитивања новог решења рама

Како би се установило да ли нова концепција рама бицикла боље или лошије подноси задата оптерећења од постојећег решења, извршено је испитивање напонског и деформационог стања нове концепције.

Након извршене анализе добијени су резултати приказани у табелама 9, 10, 11, 12, 13 и 14.

Табела 9 – Физичке карактеристике рама

Mass	7.68601 kg
Area	374881 mm ²
Volume	2846670 mm ³
Center of Gravity	x=-48.1323 mm y=-52.6326 mm z=-49.8859 mm

Табела 10 – Особине материјала од којег је израђено ново решење рама

Name	ALUMINIUM	
General	Mass Density	2.7 g/cm ³
	Yield Strength	20 MPa
	Ultimate Tensile Strength	70 MPa
Stress	Young's Modulus	73 GPa
	Poisson's Ratio	0.33 ul
	Shear Modulus	27.4436 GPa

Табела 11 – Карактеристике мреже коначних елемената нове концепције рама

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

Табела 12 – Вредности задатих сила које делују на модел

Сила 1

Load Type	Force
Magnitude	1500.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	-1500.000 N

Сила 2

Load Type	Force
Magnitude	1500.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	-1500.000 N

Сила 3

Load Type	Force
Magnitude	1500.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	-1500.000 N

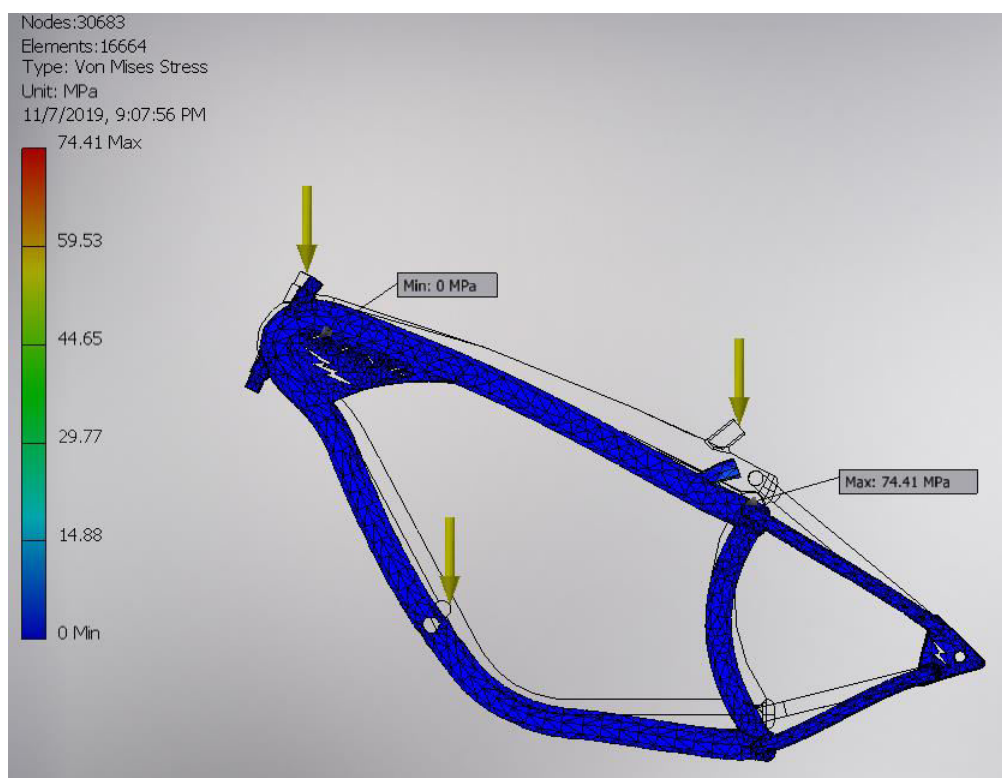
Табела 13 – Реакције сила и момената

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	1878 N	-3.02576 N	13.0175 N m	-11.2547 N m
		674.427 N		6.46661 N m
		1752.72 N		-0.985075 N m
Pin Constraint:1	2828.86 N	3.08796 N	33.5555 N m	-33.5398 N m
		-674.375 N		0.927589 N m
		2747.3 N		0.438339 N m

Табела 14 – Укупни резултати испитивања нове концепције рама

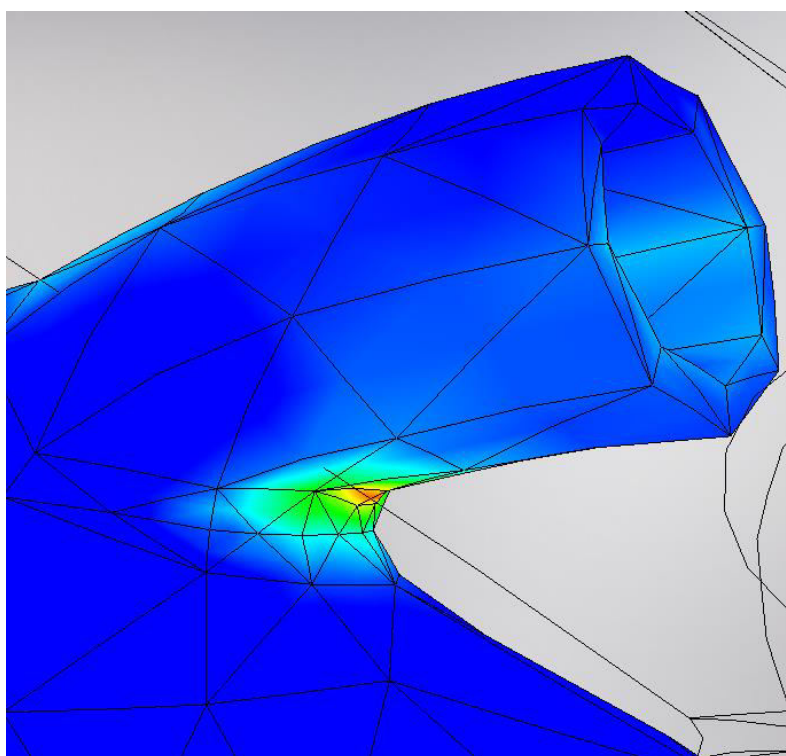
Name	Minimum	Maximum
Volume	2846820 mm ³	
Mass	7.68642 kg	
Von Mises Stress	0.00350998 MPa	74.4077 MPa
1st Principal Stress	-27.6972 MPa	51.6253 MPa
3rd Principal Stress	-107.547 MPa	9.28301 MPa
Displacement	0 mm	0.194179 mm
Safety Factor	0.268789 ul	15 ul
Stress XX	-67.6355 MPa	51.5454 MPa
Stress XY	-31.2883 MPa	16.9578 MPa
Stress XZ	-30.2668 MPa	15.0655 MPa
Stress YY	-55.1479 MPa	25.0637 MPa
Stress YZ	-14.7843 MPa	37.7412 MPa
Stress ZZ	-58.7998 MPa	16.1987 MPa
X Displacement	-0.111639 mm	0.11829 mm
Y Displacement	-0.0476604 mm	0.0676149 mm
Z Displacement	-0.19305 mm	0.00308181 mm
Equivalent Strain	0.0000000437796 ul	0.000982392 ul
1st Principal Strain	0.0000000238361 ul	0.000664539 ul
3rd Principal Strain	-0.00116652 ul	0.0000000567858 ul
Strain XX	-0.000722426 ul	0.000663085 ul
Strain XY	-0.000570046 ul	0.000308958 ul
Strain XZ	-0.000551437 ul	0.000274481 ul
Strain YY	-0.000314855 ul	0.000275471 ul
Strain YZ	-0.000269358 ul	0.000687614 ul
Strain ZZ	-0.000632855 ul	0.000238558 ul
Contact Pressure	0 MPa	75.1669 MPa
Contact Pressure X	-14.9855 MPa	37.3249 MPa
Contact Pressure Y	-21.3995 MPa	45.6074 MPa
Contact Pressure Z	-18.5512 MPa	46.6571 MPa

На слици 38 су приказани Фон Мизесови напони и места у којима се јавља максимална и минимална вредност напона. Максимална вредност се јавља у пределу седишне цеви и износи 74,41 МПа, док се минимална вредност напона јавља у пределу цеви управљача и износи 0 МПа.



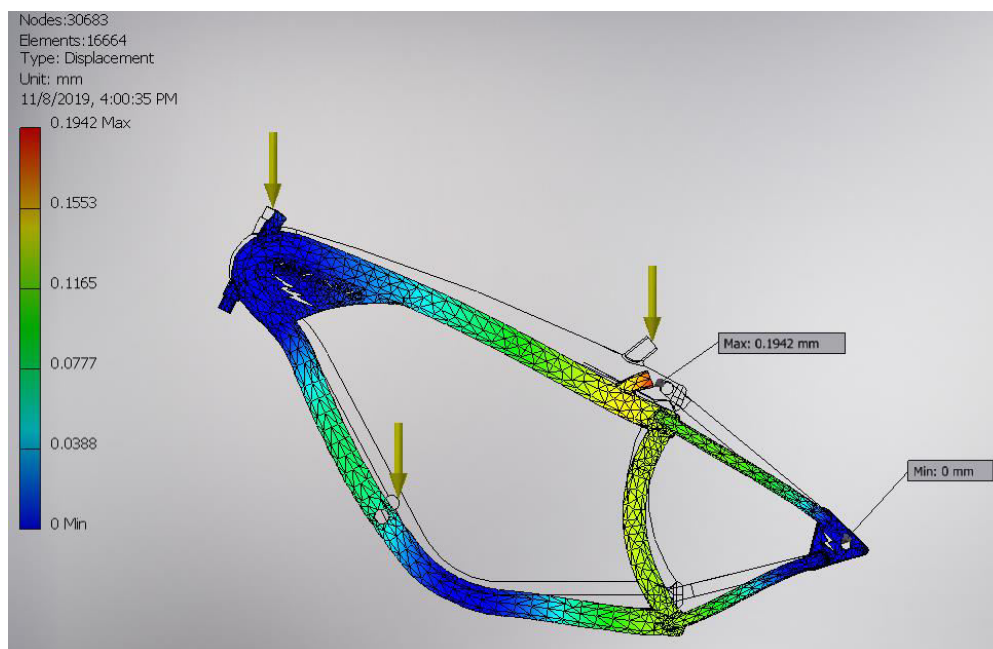
Слика 38 – Приказ Фон Мизесових напона нове концепције рама

На слици 39 се види место максималног напона који износи 74,41 МПа.



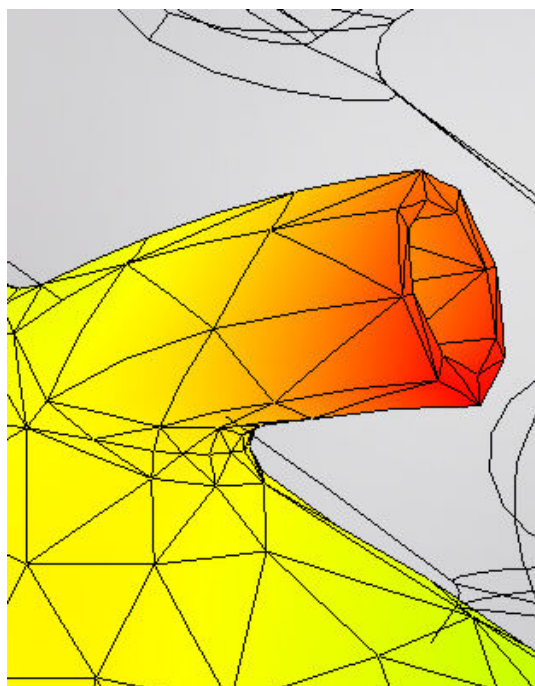
Слика 39 – Место максималне вредности напона

На слици 40 су приказане деформације и места на којима се јављају максимална и минимална вредност деформација рама. На месту седишне цеви јавља се максимална вредност померања од 0,19 mm, док на месту монтирања задњег точка нема деформација.



Слика 40 – Деформације нове концепције рама

Слика 41 приказује место максималне вредности деформације које износи 0,19 mm.



Слика 41 – Место максималне вредности деформације

5.8. Дискусија добијених резултата

Након упоређивања добијених резултата, може се закључити да је деформација мања код нове концепције за 0,3027 mm у односу на постојећу концепцију.

Што се тиче напона, код нове концепције се јављају већи напони у односу на постојећу концепцију и то за 0,62 МПа.

Разлика у маси између нове и постојеће концепције је 4,92 kg.

Упоредни преглед добијених резултата је приказан у табели 15.

Табела 15 – Упоредни приказ резултата постојеће и нове концепције

	Постојеће решење	Ново решење	Разлике добијених вредности
Максимална деформација	0,4969 mm	0,1942 mm	0,3027 mm
Максимални напон	73,79 МПа	74,41 МПа	0,62 МПа
Маса	2,77 kg	7,69 kg	4,92 kg

На основу упоредне табеле, може се утврдити да су разлике у добијеним резултатима између новог и постојећег решења што се тиче напона и деформације занемарљиве, док је разлика у масама већа за 177%, тако да нова концепција задовољава критеријуме функционалности и поузданости.

С обзиром да разлика у масама иде у корист постојеће концепције, израда постојећег рама је јефтинија због мањег утрошка материјала, али је израда рама нове концепције једноставнија због употребе стандардних цеви (DIN EN 10220), што представља главну разлику између ове две концепције. Тако да обе концепције рама имају предности и мане једна у односу на другу.

6. ЗАКЉУЧАК

Бицикл је најјефтиније и еколошки најприхватљивије копнено превозно средство. Такође је и најприступачнији и најздравији облик превоза. Према дефиницији, бицикл је возило које има најмање два точка и које се покреће искључиво снагом возача. Употреба бицикла је учесталија у равничарским пределима као у Војводини, Холандији, итд. Бицикли су због своје економске исплативости често превозно средство сиромашнијих слојева становништва као у Кини, Вијетнаму, итд.

Овај рад описује процес дизајнирања рама бицикла полазећи од идејних решења и усвајање истих, избора материјала, израде 3Д модела, нумеричке анализе рама као и упоређивање добијених резултата са постојећим, већ раније анализираним, резултатима. Као што је већ речено, анализа је извршена применом нумеричке анализе, методом коначних елемената. Решења добијена овом методом су приближна и зависе од интерполационих функција, мреже и типа коначних елемената. Да би се извршила анализа методом коначних елемената, неопходно је коришћење одговарајућих софтвера. У овом раду је анализа рађена у софтверском пакету „Autodesk Inventor Professional 2016“.

Анализа је прво извршена за постојеће решење а потом за концепцију која је представљена у овом раду. Након упоређивања добијених резултата дошло се до закључка да се нова концепција која је представљена и анализирана у раду боље показала што се тиче деформација у односу на постојеће решење док је добијени напон занемарљиво већи, а маса већа за 177% тако да без обзира на то, нова концепција рама задовољава све критеријуме попут функције, стабилности, поузданости и цене.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Драган Цветковић, Дизајн и развој производа, Универзитет Сингидунум, Департман за инжењерски менаџмент, ISBN 978-86-7912-335-0, Београд, 2011.
- [2] <https://wdo.org/about/definition/>, приступљено 11.3.2019. године
- [3] http://iprod.masfak.ni.ac.rs/resources/project_results/wp_3_3/UNS_-_Industrial_Design.pdf, приступљено 11.3.2019. године
- [4] http://iprod.masfak.ni.ac.rs/resources/project_results/wp_4_3/UNS_-_Factors_that_affect_on_Industrial_Design.pdf, приступљено 11.3.2019. године
- [5] Лозица Ивановић, Синиша Кузмановић, Мирослав Вереш, Милан Рацков, Биљана Марковић, Индустријски дизајн, Уџбеник, ISBN 978-86-6335-017-8, Факултет инжењерских наука Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац, 2015.
- [6] <https://definicion.de/bicicleta/>, приступљено 11.4.2019. године
- [7] Дизајн нове концепције рама бицикла – мастер рад – Бранислав А. Стевановић, Крагујевац 2017.
- [8] <https://mpora.com/bmx/short-history-bmx-sport-got-started#pchlk4uyqUkre8aE.97>, приступљено 14.4.2019. године
- [9] <https://www.taiwantrade.com/products/list/bicycle-frames-frame-parts-6250-cateGallery.html>, приступљено 14.4.2019. године
- [10] <https://www.totalbike.rs/delovi/kocnica/disk-kocnice-za-bicikl>, приступљено 14.4.2019. године
- [11] <https://www.totalbike.rs/blog/kako-odabrati-pravu-velicinu-bicikle>, приступљено 5.5.2019. године
- [12] <https://www.cyclingabout.com/understanding-bicycle-frame-geometry/>, приступљено 5.5.2019. године
- [13] https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/mke1_predavanje_1475568191251.pdf, приступљено 3.11.2019. године
- [14] Јурица Сорић, Метода коначних елемената, Уџбеник, ISBN 953-212-210-9, Универзитет у Загребу, 2004.
- [15] Дизајн у производњи – Мирослав Фрухт, Београд 1987.
- [16] Методе конструисања – Ненад Марјановић, Крагујевац 1999.