

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Предмет: Производне технологије
Број индекса: 816/2013

Невена С. Петровић

**Конструкција и технологија израде уисног
система студентске формуле
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Недић Богдан ред. проф.
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада потребно је проучити правила везана за дизајн усисног система дефинисана самим такмичењем, одговарајућу литературу из области конструисања усисног система возила са пиком на усисне системе Формуле студент. Извршити упоредну анализу и изучити литературу која се бави конструкцијом овог елемента. Посредством упоредне анализе, прикупљених информација о дизајну и пројектовању усиса са поштовањем пропозиција, економских и производних могућности, дати прву верзију што оптималнијег конструкционог решења и одабрати његову технологију израде. Дефинисати материјале који се углавном користе за израду усисног система. Технологију 3Д штампања детаљно описати као и одабрани материјал.

Препоручена литература:

- [1] <http://fsaeonline.com/page.aspx?pageid=e179e647-cb8c-4ab0-860c-ec69aae080a3>, 25.09.2016
- [6] www.reprap.org, 20.09.2016
- [7] www.bitsfrombytes.com 02.10.2016

Садржај

Резиме	5
1. Уводна разматрања	6
1.1 О такмичењу формуле студент	6
1.2 Структура такмичења и дисциплине.....	6
1.3 Појам индустријског дизајна.....	7
2. Конципирање конструкције уисног система	9
2.1 Упоредна анализа	13
2.2 Процес конструисања	16
3. Технологија 3Д штампања	21
3.1 Историја 3Д штампања	21
3.2 Уопштено о технологији 3Д штампања	21
3.3 Rapid prototyping.....	22
3.4. Поступак израде прототипова на 3Д штампачу	26
3.5 Селективно ласерско синтеровање	30
3.6 Карактеристике материјала који могу да се штампају на изабраном уређају.....	32
3.7 Карактеристике одабраног материјала.....	33
3.8 Штампање елемената студентске формуле и значај 3Д штампања за тимове на ФС такмичењу	34
4. Закључак	36
5. Литература	37

Резиме

Завршни рад обухвата прикупљање и обраду података, као и технологију за израду уисног система на Формули студент. У овом раду одабрана је и представљена метода за израду уисног система, као и материјал од ког се израђује. Такође у раду је представљен и дизајн уисног система, упоредна анализа. На основу упоредне анализе, прикупљених података о дизајну и пројектовању уиса, дата је прва верзија уисног система Формуле студент.

Кључне речи

Усисни систем, формула студент, 3Д штампа.

Summary

The final work includes data collection and processing, as well as the technology for making the intake system at the Formula Student. In this work was selected and present a method for making the intake system and the material from which is made. Also in the paper is presented a design of the intake system and comparative analysis. Based on comparative analysis of data collected on the design and design of the intake, obtained the first version of the intake system Formule student.

Key words

Intake system, formula student, 3D printing.

1. Уводна разматрања

1.1 О такмичењу формуле студент

Formula SAE, које организује SAE међународна организација (Society of Automotive Engineers), је такмичење у којем данас учествује преко четири стотине универзитетских тимова из целог света. Прво такмичење одржано је давне 1978. године у Сједињеним Америчким Државама. Циљ студента, који учествује у овом такмичењу, је да научи нове и усаврши већ постојеће вештине у техници, кроз пројектовање, конструисање и израду тркачког возила (формуле). Највећи подстицај напредовању студената даје динамички део такмичења, који се састоји из четири дисциплине: Тест убрзања, Тест ослањања, Брзи круг и Тест издржљивости. Такмичење се састоји и из статичког дела, у коме се врши одбрана, како изабраних и пројектованих техничких решења, тако и економских фактора (трошкови израде и тржишна одрживост). Такмичења Формула студент се одржавају на годишњем нивоу и на њима тимови треба да покажу целогодишњи рад на пројектовању и изради болида. Од самих почетака, такмичења су подржана од стране најважнијих људи из ауто-мото индустрије, од којих су неки и судије на самим такмичењима. Постоји седам званичних такмичења, која се одржавају у: Сједињеним Америчким Државама (Michigan и Nebraska), Аустралија, Бразил, Италија, Велика Британија и Немачка. Од 2006. године Ross Brawn, бивши технички директор Ferrari F1 тима и садашњи технички директор Mercedes GP F1 тима, је главни промотер Формуле студент. Већина младих инжењера запослених у Мерцедесовом тиму су дошли управо из Формуле студент [1].

1.2 Структура такмичења и дисциплине

Класа 1 Такмичење у статичким и динамичким дисциплинама Мотор са унутрашњим сагоревањем	Класа 1А Такмичење у статичким и динамичким дисциплинама, Возило побољшано системом за смањење емисије издувних гасова
Класа 2 Такмичење у статичким и динамичким дисциплинама Пројекат возила и делова у CAD програмима и симулације Израда шасије аутомобила	Класа 2А Такмичење тима као у Класи 2 Побољшање пројекта возила Побољшан системом за смањење емисије издувних гасова

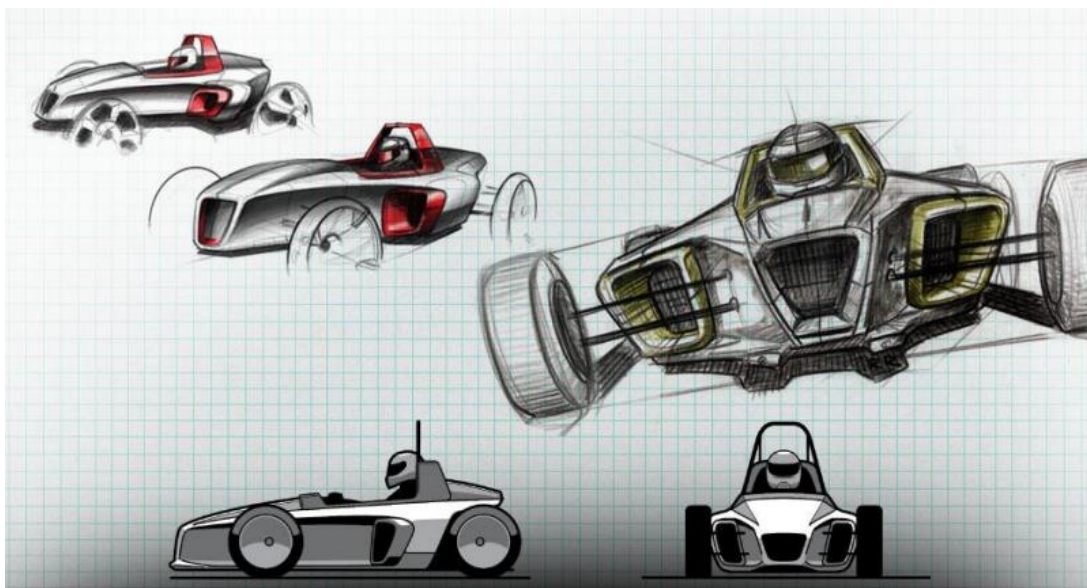
Табела 1. Приказ класа за такмичење

Статичке дисциплине	Динамичке дисциплине
Оцена конструкције (Design event) - Детаљно представљање концепта и инжењеринга групи судија из аутомобилске индустрије 150 поена Оцена трошкова и организације (Costs event) - Презентација анализе трошкова, са акцентом на оптимизацији и економичности пројекта 100 поена Пословна презентација (Business presentation) - Презентација тркачког болида тиму судија (“потенцијалним инвеститорима”) 75 поена	Тест убрзања (Acceleration) - Вози се права деоница у дужини од 75м 75 поена Тест осмице (Skidpad) - Вози се на полигону у облику броја 8 50 поена Вожња слалом (Auto cross) - Вози се један круг стазе који је квалификација за старт теста издржљивости 150 поена Test izdržljivosti (Endurance) - Вози се 22 км стазе са обавезном изменом возача на пола трке. Возачи имају 120 секунди да изврше замену за воланом 300 поена

Табела 2. Статичке и динамичке дисциплине

1.3 Појам индустријског дизајна

Индустријски дизајн је стваралачка активност чији је циљ да одреди формалне квалитете индустријски произведених предмета. Први 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 индустријским производњом. Примери цртежа дизајна Формуле студент приказани су на *слици 1* [1].



Слика 1. Дизајн Формуле студент

Индустријски дизајн је комбинација примењене уметности и науке, која побољшава естетику. Употреба индустриског дизајна је да креира и да извршава дизајерска решења у односу на форму употребну вредност, физичку ергономију, маркетинг, развој брэнда и продају.

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 и 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.

Усисни систем

На делу мотора постоји део тзв. „Лептир“ који први реагује притиском педале гаса. Овај део представља округла плочица која на себи има постављену осовуну, смештена је унутар усисне цеви и има задатак да допреми ваздух до цилиндара односно до усисних вентила. Притиском педале гаса плочица се закреће. Без поменутог притиска педале плочица је у вертикалном положају о односу на усисну цев.

Због једноставности израде конструкције великосеријских аутомобила, довод ваздуха се решава тако да кроз једну цев долази укупна количина ваздуха потребна за „напајање“ свих цилиндара, где се она потом грана у онолико цеви колико има цилиндара. Предности ове конструкције су у томе што је довољно поставити један „Лептир“ и то на самом почетку усисне гране. Такође усисни систем може да се конструише тако да постоји више појединачних грана од којих свака има посебан „Лептир“ за регулисање унете количине ваздуха.

2. Конципирање конструкције усисног система

Усисни систем се углавном састоји од пет једноставних компоненти:

- филтера за ваздух;
- рестриктора;
- грла усиса;
- тела усиса;
- разводника;

Свака компонента има специфичну улогу у циљу достављања ваздуха мотору. Филтер за ваздух представља први корак у остварењу овог циља и служи да обезбеди да свеж и чист ваздух уђе у систем. Грло усиса је механички контролисано од стране возача и њиме контролишемо количину ваздуха која улази у систем у зависности од положаја педале. Рестриктор је обавезан део усисног система и налази се између усисног грла и тела усиса и служи да ограничи снагу мотора. Дифузор (део рестриктора) се користи за равномерно смањење притиска. Коначно, тело усиса служи као комора за ваздух на статичном притиску, а разводници служе да доставе ваздух из тела усиса до цилиндара мотора. Разумевањем како интегрисати и оптимизовати ових 5 компоненти је од кључног значаја за дизајнирање ефикасног усиса [1].

Циљеви и ограничења

1. Циљеви

Следећих седам циљева одређују дизајн усисног система током израде пројекта. Листа је састављена на основу истраживања методологијом дизајнирања усисног система и различитих докуманата написаних од других Формула САЕ тимова. Циљеви су подељени у три групе.

Група 1:

- Минимализовати рестрикције протока ваздуха
- Направити највеће могуће пуњење система

Група 2:

- Повећати проток ваздуха кроз разводнике
- Смањити губитке

Група 3:

- Смањити потрошњу горива
- Побољшати естетику усиса
- Смањити масу

Циљеви из групе 1.

Циљеви из групе 1 су најбитнији за успешно дизајнирање „ручно“ рађеног усисног система. Она обухватају смањење рестрикције протока ваздуха и повећавање пуњења усисног система. Тим може успешно смањити рестрикције протока ваздуха на више начина, укључујући коришћење глатких исполираних површина у унутрашњости свих делова и отклањајући све оштре делове у усисним цевима. На пример, све површине у грани експанзије су обрађене тако да омогуће гладак проток ваздуха, а унутрашњост је пескарена и полирана да би се побољшала завршна обрада. Такође тим бира дизајн са најбољим напајањем да би се омогућио несметан проток ваздуха. Овакав дизајн се користи код већине усисних система јер постоји доста оштрих савијања цеви, које могу довести до већих губитака. Повећање количине дотока ваздуха у мотор је доста битно зарад остваривања максималног обртног момента [2].

Циљеви из групе 2.

Циљеви из групе 2 представљају групу циљева који служе са што равномерније повећање брзине у разводницима и за смањење губитака између четири цилиндара у мотору. Битно је повећати брзину ваздуха да би се обезбедио већи довод горива у мотор. То омогућава бољу смешу између бензина и ваздуха, а из тога добијамо већу снагу. Такође, смањење губитака између цилиндара остварује се так што се у сваку грану доведе иста количина ваздуха. Ако то не урадимо неки од цилиндара ће добијати већу количину ваздуха, из чега ће произићи неједнаке перформансе мотора, што ће ометати остваривања максималног обртног момента и снаге. Иделано је да се у сваки цилиндар доведе 25 % ваздуха. Главно шта тим треба да уради је да одабере систем са најбољим напајањем ваздуха, зарад остварења једнаке дистрибуција ваздуха у цилиндрима. Код система где је усис са стране, први цилиндар добија више ваздуха док до последњег ваздух једва да долази. Зато је одлучено да се постави усис са горњим напајањем ваздухом [2].

Циљеви из групе 3.

Циљеви из групе 3 укључују максималну економичност потрошње горива, естетику и смањење масе. Иако су ови циљеви мање битни у односу на пређашње, они се морају посматрати при изради пројекта. Економичност потрошње горива се постиже при одабиру оперативног броја обртаја. Такође визуелни изглед усиса и његова маса је разматрана приликом израде.

Ограничења

Како је раније поменуто, ФСАЕ је поставио стога ограничења везана за усисни систем. Приви и најбитнији је рестриктор од 20 mm. Други је само један довод ваздуха у рестриктор. Трећи је да димензије усисног система морају бити испод задњег обруча и у склопу возила и да компоненте веће од 13,8 инча морају бити заштићене од судара. Такође усисни систем мора да буде у могућности да ради од -20 до 150°C, са 100% сигурношћу.

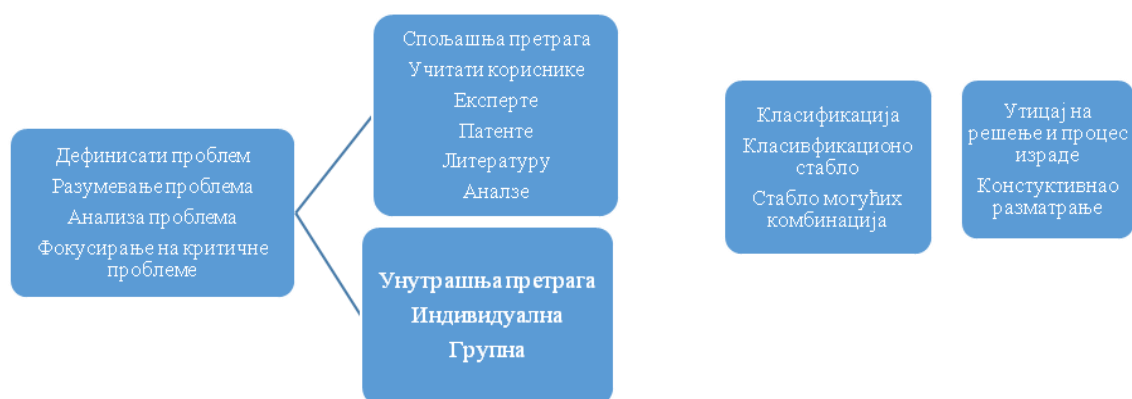
Инжењерске карактеристике

Квалитет повезан са потрошачким захтевима, као кључ инжењерских карактеристика мора се узети у разматрање током процеса дизајнирања. Сваки од потрошачких захтева мора бити повезан са фактором тежине, базираном на његовој важности у завршавању пројекта. То је битно да би се утврдило која ће од инжењерских карактеристика бити у фокусу током дизајнирања. Инжењерске карактеристике су дате користећи систем од три гуме, базираном на важности потрошачких захтева. Ове вредности се множе са њиховим фактором масе и сумирају се да би се добила пуна вредност по реду за сваку инжењерску карактеристику. Највећи резултат се узима у разматрању за време дизајнирања [2].

Најважнији потрошачки захтев код Формула САЕ уисног система је цена, излазна снага и интеграција система залиха. Цена је битна када разматрамо неки масовно продајни део. Са обзиром да се возило не користи стално већ је за специјалне прилике то битно утиче на цену. Због тога је пожељно направити тачан прототип да не би долазило до додатних трошкова [2].

Генерисање концепта

Метод 5 корака који смо одабрали значи да направимо шему концепта дизајна.

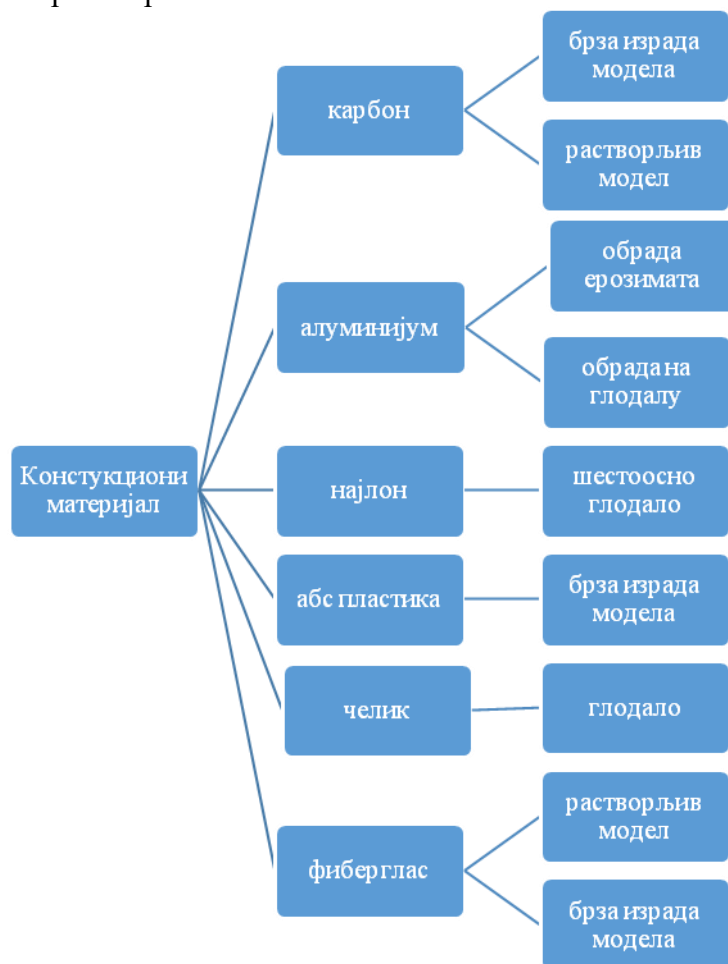


Слика 2 Шема концепта дизајна

Први од 5 корака је дефинисање проблема, што је тим урадио на почетку пројекта. У другом кораку, тим истражује дизајн на основу других тимова. На пример чланак објављен од стране формула САЕ тима пружио је кључну информацију у дизајнирању система. Закључно са документима других тимова, систем је успешно разматран. У чланку се налазило више могућих решења за уисни систем. За корак три, тим је почео претрагу на програму САЕ да би утврдио функционалност других уисних система. Са обзиром да је формула такмичење још увек у развоју, не постоји пуно усклађених података. На срећу неки чланови тима имају искуства у тркама и искуства са колима што је помогло.

Да би се комплетирао четврти корак тим је одабрао концепт класификационг дрвета, да генерише идеје. Једна од предности овог система је лакоћа уклањања неефикасних идеја. Анализа је вршена коришћењем главних параметара као што је материјал, излед цевовода, конфигурација тела.

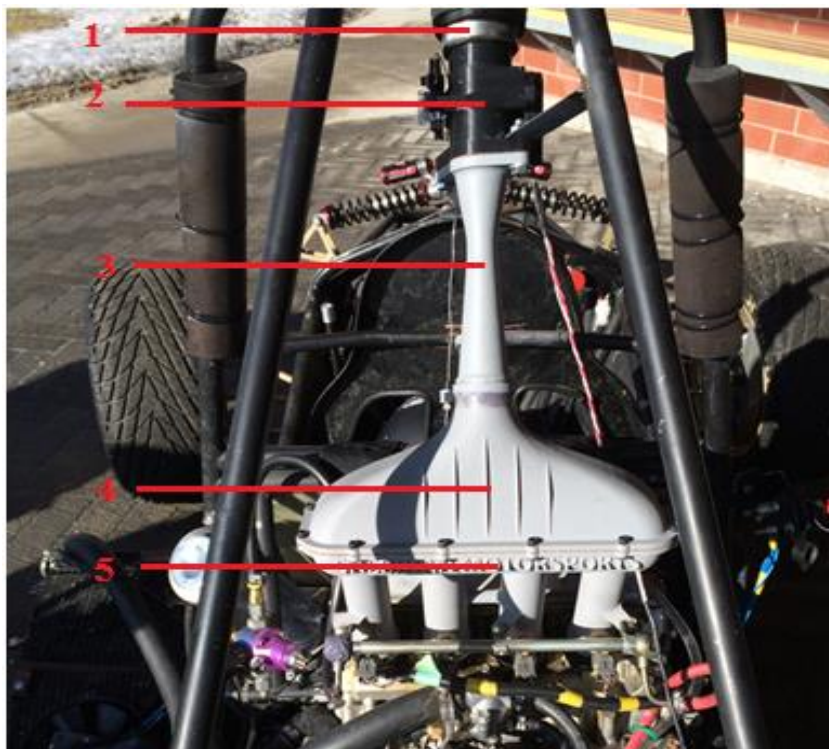
Слика 3 приказује стабло везано за материјале. Напомена, челик је елиминисан због масе. Крајњи корак захтева организацију концепта да би осигурао могуће проблеме које треба размотрити.



Слика 3 Конструкциони материјали

2.1 Упоредна анализа

У ову фазу спада анализа система и/или делова на већ постојећим студентским формулама и возилима сличних карактеристика. Из ње треба проистећи довољан број информација везан за део/систем тако да се јасно постави технички задатак и листа захтева из којих би следило најоптималније конципирање конструкције. При конципирању система за усис извршена је упоредна анализа према јавно доступним подацима на интернету. На **слици 2** приказан је усисни систем тима са „Sheridan“ колеца [3] из Канаде. Ово је један од најосновнијих типова усисног система.



Слика 4. Усисни систем тима „Sheridan“ [1]

1 – филтер за ваздух; 2 – рестриктор са TPS сензором

3 – грло усиса; 4 – тело усиса; 5 – разводници

Поред већ поменутог модела система са **слике 4** постоје разни типови и врсте истог. Њихов облик је последица одабира дизајна целокупног возила, врсте мотора (броја цилиндара, њихове величине, начина убризгавања итд.) док су димензије углавном добијене према излазним вредностима програма „Ricardo Wave” и „Solid flow“. Постоји више могућности позиционирања усисника као што је приказано на **сликама 4, 5 и 6**. На **слици 5** усисник је позициониран ка диференцијалу што није увек случај. Предност оваквог конципирања конструкције је у томе да се центар масе читавог усиса налази доста ниже него као код возила на **слици 6**.



Слика 5. Усисни систем позициониран ка диференцијалу

Углавном се усисник поставља тако да буде позициониран изнад главе возача, као што је приказано на *слици 6*. Поједини тимови су конципирали усисни систем тако да им се усисник налази са стране возила (*слика 7*) што је нека средина између већ поменутих. Углавном је главни критеријум за конструкцију истог постављен преко добијених резултата из програма „Ricardo Wave”, „Solid Flow“, одабране геометрије мотора и шасије.



Слика 6. Усисник позициониран изнад главе возача [2]



Слика 7. Усисник позициониран на левој страни возила [3]

Закључак добијен из упоредне анализе

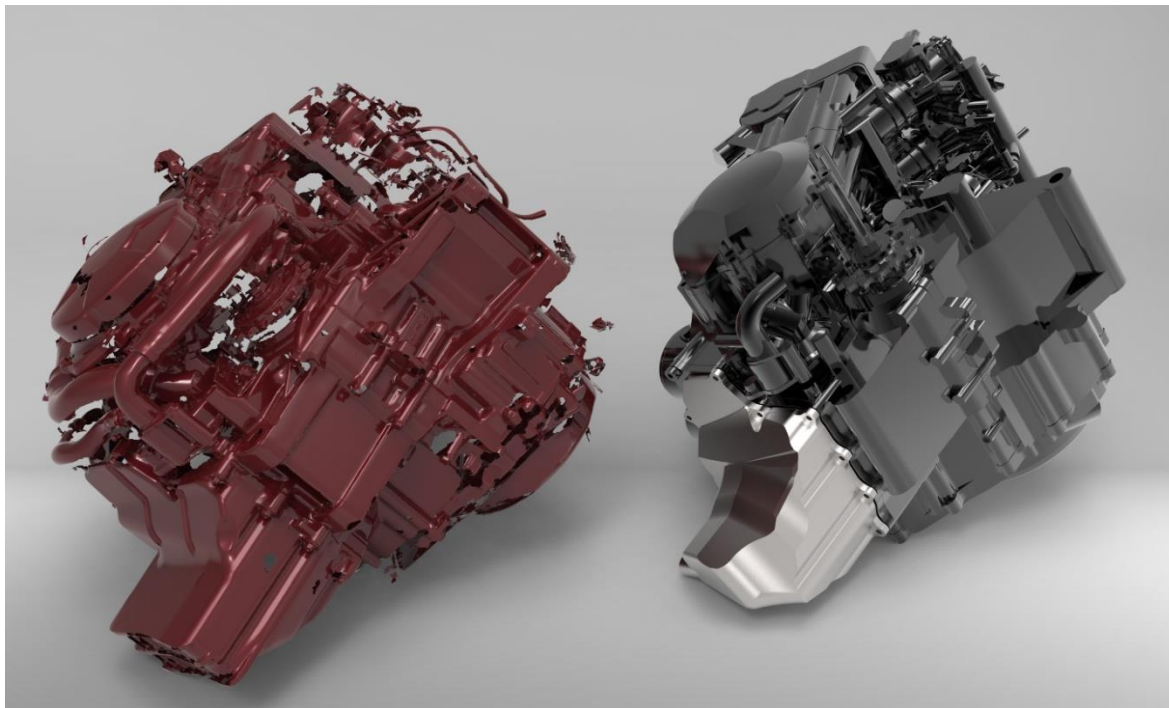
Према геометрији одабраног мотора и конструкције, приказаним примерима усисног система и производним могућностима одабран је концепт усисног система према *слици 4*. Такође, усвојен је рестриктор са **TPS** сензором (**AT Power**) који је коришћен код већине већ постојећих тимова. Изглед је дат на *слици 8*.



Слика 8. 3D модел рестриктора AT Power

2.2 Процес конструисања

Да би се дефинисао простор унутар склопа возила где ће се налазити усисни систем, потребно је добити тачне димензије погонског агрегата „Honda CBR 600 RR“ као и делова који служе за везу између агрегата и разводника. Применом технике **3Д** скенирања добијен је модел агрегата у виртуелном свету. На **слици 9.** приказан је скен агрегата и **3Д** модел израђен на основу њега.



Слика 9. Скен мотора „Honda CBR 600 RR“ (лево) и 3Д модел истог (десно)

Део који служи за везу између агрегата и разводника је потребно што прецизније измерити јер се унутар њега позиционирају разводници тако да нема зазора између њих.



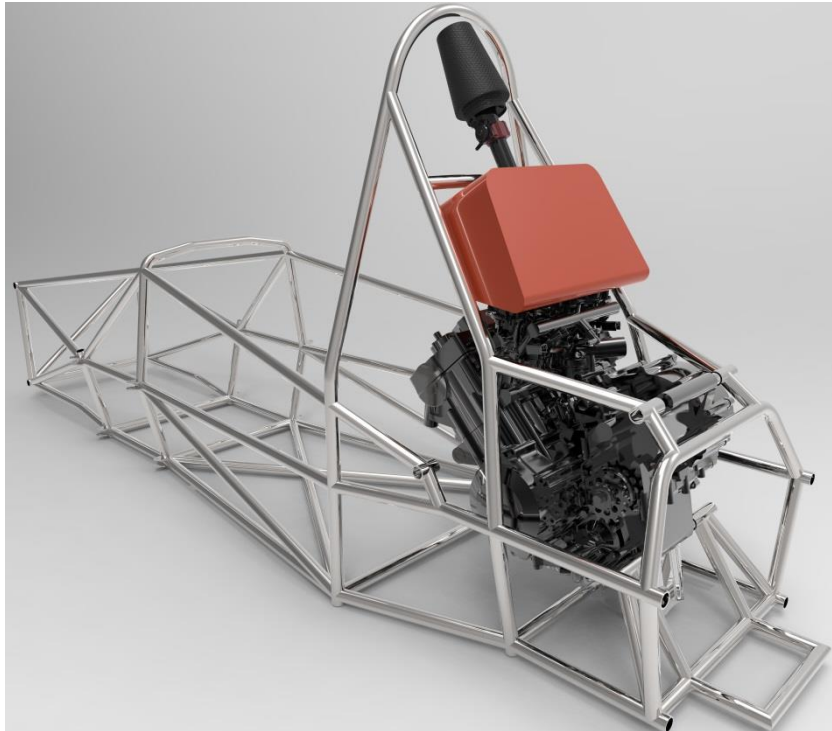
Слика 10. Скен везе (лево) и 3Д модел истог (десно)

Основни процеси скенирања приказани су на **слици 11**. У горњем левом делу слике приказан је очишћени и одмашћени део који је потребно скенирати (део за везу између агрегата и разводника). Део се прска спрејем који даје добру рефлексију површина као што је приказано у горњем десном делу слике. Ово је неопходно јер уређај који је коришћен за скенирање не препознаје површи које довољно не рефлектују светлост (површи тамнијих боја). Након сушења спреја, приступљено је скенирању дела (доњи леви део слике). Било је потребно „снимити“ део са свих страна у што мање снимака тако да се добије квалитетан виртуални приказ. Постављене су референтне тачке у близини дела које омогућавају прецизно мерење посматраног елемента. Након скенирања, део је убачен у одговарајући софтвер (доњи десни део слике) у којем је дефинисан координатни систем и преснимљен је тип датотеке **.stl** да би се могао отворити у CAD софтверима као што је CATIA.



Слика 11. Основни процеси 3D скенирања

Реверзним инжењерингом добијене су тачне мере потребних делова те је самим тим дефинисана геометрија веза усисног система са агрегатом. Такође, уз помоћ добијених елемената и већ постојећег модела рама М2 одређен је тачан геометријски простор усисног система, односно тела усиса и разводника као што је приказано на **слици 12**. Циљ је да врх рестриктора буде одмах изнад главе возача тако да се тиме утиче на смањење центра масе возила и да не буде преблизу цилиндара мотора тако да усисани ваздух након изласка из рестриктора има довољно простора да експандира и у што равномернијој мери улази у цилиндре мотора. Такође, угао између нормалне равни на осу рестриктора и хоризонталне равни треба износити 25° према упоредној анализи.



Слика 12. Предвиђени простор за тело усиса са разводницима

Према свему већ наведеном, конструисана је прва верзија усисног система приказана на *слици 13*



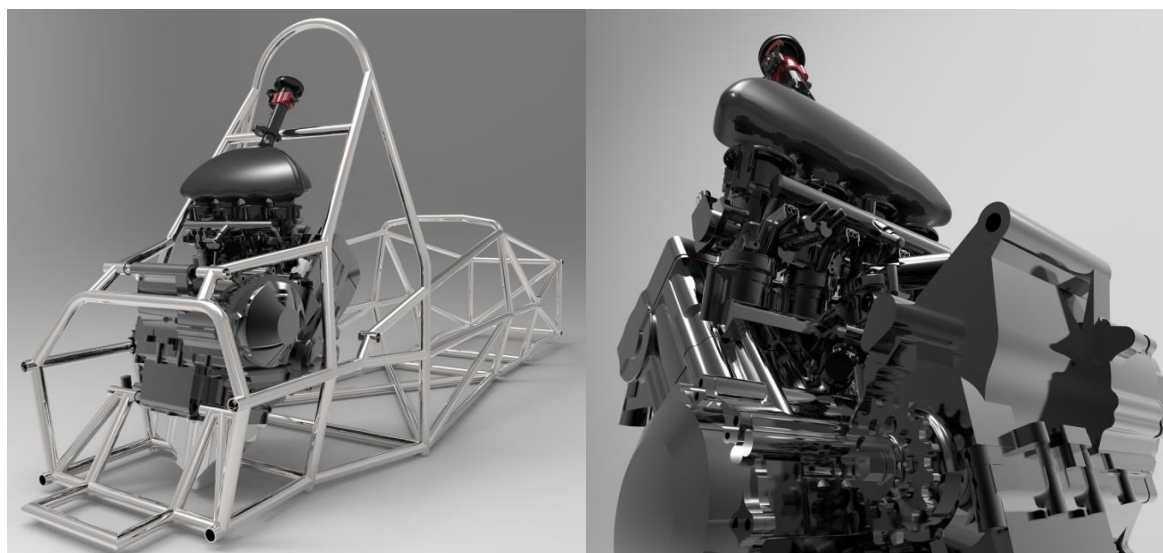
Слика 13. Прва верзија усисног система студентске формуле
1 – филтер за ваздух; 2 – рестриктор са TPS сензором
3 – тело усиса; 4 – разводници

Филтрер за ваздух иде у склопу са купљеним рестриктором. Главна карактеристика филтрера, према којој се врши његов одабир, заснива се на протоку ваздуха кроз њега. Склоп филтрера и рестриктора приказан је на *слици 14*.



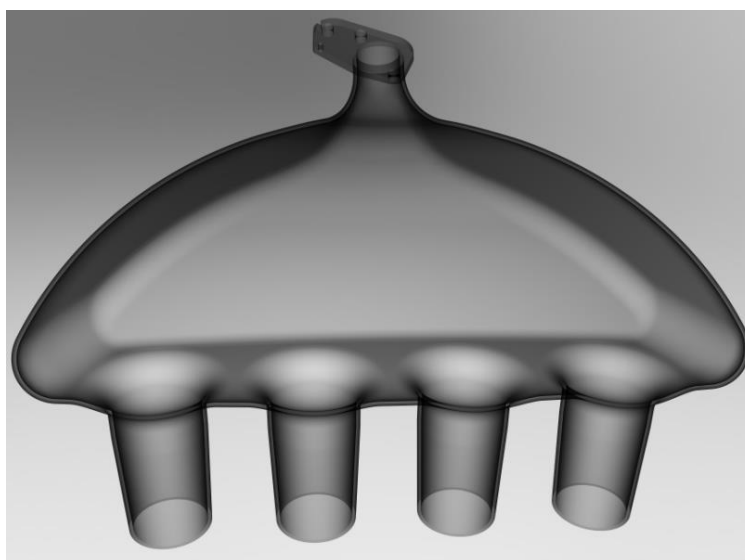
Слика 14. Склоп рестриктора са TPS сензором и филтрера

Већина тимова не поставља филтрер већ је проток дефинисан самим обликом врха рестриктора као што је приказано на *слици 15*. Због уске повезаности свих елемената погонског система, тек након математичког моделирања мотора, конструкције издувног система и употребе софтвера „Ricardo Wave“ и „Solid Flow“ знаћемо да ли је боља верзија уисног система са или без филтрера за наш погонски систем.



Слика15.Постављени уисни систем без филтрера за ваздух

Такође, због уске везе са осталим елементима погонског система (највише издувом), употребом поменутих софтвера, оптимизација прве верзије усисног система биће заснована на промени дужине разводника, промени запремине ваздушне коморе (тела усиса) и полупречника појединих заобљења, док ће облик бити у великој мери задржан. Прва верзија тела усиса са разводницима приказана је на *слици16.* под „рендгенским светлом“ употребом програма „*KeyShot 6*“. Дебљина зидова тела усиса са разводницима зависи од врсте материјала од којег ће се правити. Према упоредној анализи, у зависности од материјала, његова дебљина се креће од 0,4 до 3mm.



Слика16. Ренгенски приказ тела усиса са разводницима

Читав склоп усисног система је изложен гравитационим, инерцијалним (услед убрзања возила) и запреминским силама које настају у унутрашњости услед дејства ваздуха. Такође, не треба занемарити вибрације и отпор ваздуха супротан правцу кретања возила којем је спољашњост система изложена. Када се узму у обзир сва оптерећења, без порарачуна чврстоће система, према упоредној анализи, материјали за израду који задовољавају критеријуме постављене у глави 2, а доступни су и економски исплативи су:

- Полиестер;
- Карбонска влакна;
- ABS пластика;
- GF пластика.

Са технолошког аспекта, најједноставније и економски најисплативије решење је примена полиестера за израду усисног система. Међутим, како је за примену полиестера потребна израда дводелног калупа и потом употреба завртњева и осталих везивних елемената између добијених делова од полиестера, што би негативно утицало на масу и поузданост система, и ако је скупља технологија, одлучено је да се тело усиса са разводницима направи из једног дела применом технике 3Д штампања.

3.Технологија 3Д штампања

3.1 Историја 3Д штампања

Пре 30 година, амерички проналазач Чак Хал одштампао је први тродимензионални предмет. У питању је била пластична шоља направљена техником стереолитографије – стврдњавањем пластичне смоле под дејством светлости. Три године касније, Хал је патентирао ову технику и основао компанију „3D Systems”, која је и данас једна од водећих компанија на том пољу. 3Д штампа је модерна технологија производње тродимензионалних објеката. У тродимензионалној штампи објекат се креира сукцесивним наношењем слојева материјала. 3Д штампа представља генерално брже, јефтиније и лакше решење од других технологија производње 3Д објеката. Омогућава израду макета делова и склопова од више различитих материјала, различитих механичких и физичких својстава у јединственом процесу. Ова технологија производи моделе који верно oponaшају изглед, утисак и функционалност производа прототипа. У последњих неколико година 3Д штампачи су постали финансијски доступни малим и средњим предузећима, чиме се израда прототипа помера из тешке индустрије и у канцеларијско окружење. Сада је могуће и истовремено уклапање различитих врста материјала.

3.2 Уопштено о технологији 3Д штампања

3Д штампа или адитивна производња 3Д штампа (3D print) је јединствени процес у којем се штампају прави тродимензионални објекти свих облика. То је заправо адитивна производња, процес у којем се слојеви материјала додају један на други.

Један мали део области у којима су 3Д штампа и 3Д скенирање постали незаменљиви:

- Моделирање у архитектури
- Аутомобилска индустрија – функционални прототипи
- Машински делови
- Индустријски дизајн
- Модели географских планова
- Мода
- Дизајн ентеријера
- Крајњи производи – брза израда специфичних делова у малим серијама без потребе за специјалним алатом и дугим временом производње.
- Медицина
- Стоматологија
- Маркетинг – тестирање прототипа и производња малих серија промотивног материјала.

Селективно таложење с ламинирањем (Selective Deposition Lamination– SDL) је једна од технологија 3Д штампе.

Селективно

Ово је можда најважнија реч у акрониму и односи се на селективни метод који штампач користи да би ставио лепак између слојева папира. Самопријањајуће капи се распоређују с великом густином на местима од којих ће настати модел. За то време на другим местима, који служе као потпора, лепак ће бити распоређен с мањом густином. Захваљујући том селективном процесу, део папира који је служио као потпора, уклања се брзо и лако након завршетка штампе.

У старој ЛОМ технологији, све се лепило истим интензитетом, укључујући и потпорни материјал око модела. Током уклањања потпорног материјала, често је долазило до ломљења модела.

Таложeње

Таложeње се односи на метод наношења лепка у виду капљица на лист обичног папира. При чему се узима у обзир да се одређени део овог папира сече, и тако се процес понавља за сваки лист папира.

Овај процес је поприлично другачији од ЛОМ (производња објеката ламинацијом) технологије. Овде се лепак наноси на претходно постављен материјал и наноси се преко целе површине пре исецања.

Ламинирање

Ламинирање је реч која описује процес сукцесивног слагања материјала, у овом случају обичног канцеларијског папира. Овај папир се лепи да би се добио крајњи, здрав и одржив производ. Иако су штампани прототипи направљени од обичног папира, изузетно су издржљиви и не требају се додатно ојачавати. Можете их користити безбедно чим изађу из штампача. Модели нису крти и неће се оштетити или разбити ако дође до испустања. Такође се могу бушити, резбарити, манипулисати на разне начине и чак учинити водонепропусним са само једним потапањем у лак (заптивну смесу).

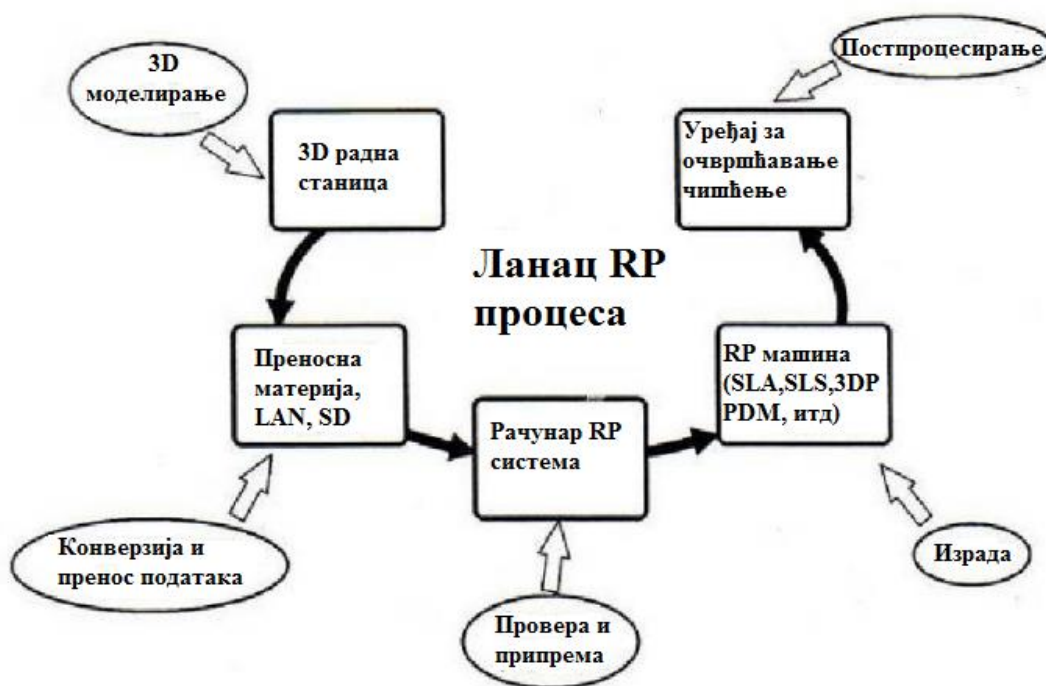
3.3 Rapid prototyping

Брза израда прототипова (Rapid prototyping –RP) представља низ релативно нових, углавном адитивних технолошких поступака, који омогућавају директну производњу сложених објеката користећи као улаз 3Д дигитални геометријски модел [5]. Геометријски модел може се формирати коришћењем неког CAD програма или 3Д скенирањем постојећег објекта [6] и каснијом обрадоом резултата (реверзни инжењеринг, Reverse Engineering-RE) [7].

У оквиру пројекта названог RepRap на „Batx” универзитету из Велике Британије, развијена је технологија коју је компанија „Bost From Butes“ даље усавршила и 2005. године тржишту понудила свој 3Д штампач RapMap прво у верзији 1.0 па 2.0, 2.1[8].

Ове верзије RapMap 3Д штампача су имале само механички део док се од клијента очекивало да управљање механиком осмисли сам, тј. да искористи решења представљена RepRap пројектом. Bost From Butes је 2009. Године представио верзију RapMap 3.0 штампача који је био прва верзија која је садржала и електронику која је дала RapMap-у могућност самосталног штампања[9]. Убрзо након развоја 3Д штампач RapMap је увршћен у образовни систем Велике Британије и данас се налази у преко 200 школа широм те земље. Ова технологија спада у поступке који користе принцип наношења топљеног материјала у простору и његовог слагања по слојевима након чега се формира жељени објекат. Као материјал се користе разни типови пластике различитих боја. Најчешћи материјали у употреби су ABS и PLA, од којих се ABS добија из нафте (као већина пластичних полимера) док се PLA прави од скроба.

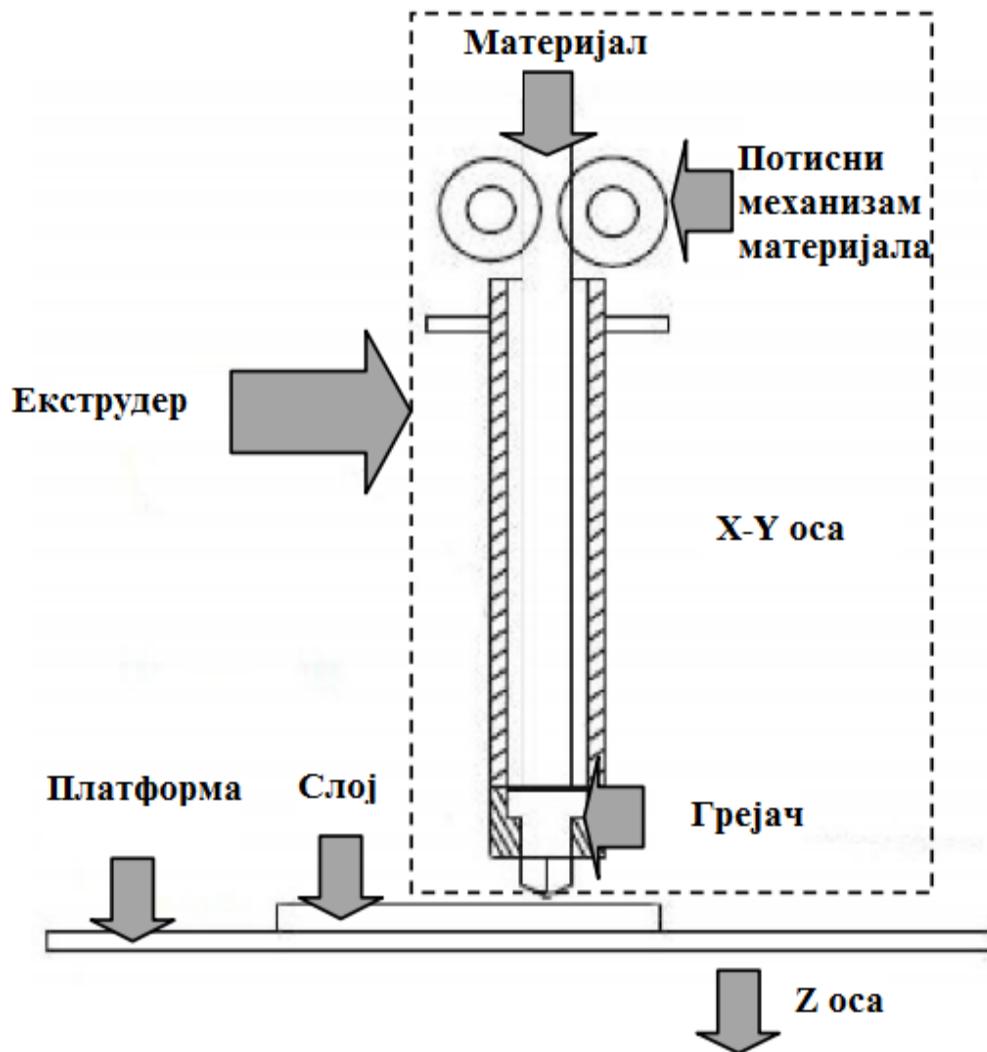
RapMap представља CNC (Computer Numerical Control) машину базирану на поступку екструдовања пластике у простору. Постизањем задате температуре у зависности од врсте пластике врши се њена екструзија у виду танке „нити“ којом се „исцртава“ слој по слој и тако врши штампање објекта-модела.



Слика 17. Ланац RP процеса[10]

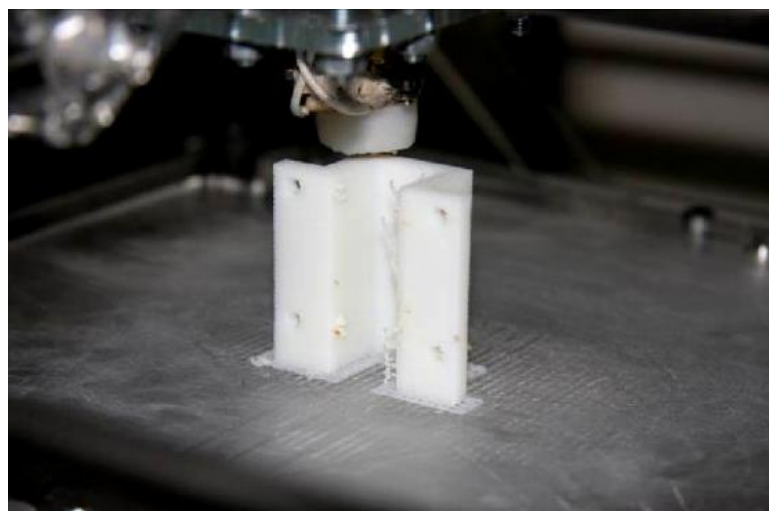
На **слици 18.** је приказан поступак 3Д штампе. На овом приказу треба уочити следеће делове: екструдер и платформу.

Екструдер (истискивач) преко потисног механизма доводи материјал до грејача где постизањем радне температуре истискује пластику образујући слој (лауер) на платформи. Екструдер поседује могућност кретања по X и Y координатама. Након завршене прве операције долази до спуштања платформе у правцу Z осе за дебљину слоја и све је спремно за наредни циклус. Екструдер, као и радну платформу покрећу степ мотори којима се управља електроником путем које се врше подешавања параметара температуре, брзине истискивања материјала, дебљине слоја, као и позиционирање главе грејача у односу на платформу.



Слика 18. Поступак штампања једног слоја [11]

Штампање дела у завшној фази штампе приказано је *сликом 19*



Слика 19. Поступак 3D штампе

Овако добијени делови 3Д штампом могу имати различите примене, оне су бројне и делови се стално умножавају [12]. Поседују и могућност постпроцесирања која се своди на инфилтрирање модела цијаноакрилатним лепком који поспешује издржљивост модела. У Центру за информационе технологије Машинског факултета у Крагујевцу израђени су неки од прототипова приказаних *сликом 20*.



Слика 20. Примери израђених делова

Стално се ради на усавршавању поступка 3Д штампе као и на новим материјалима који се могу користити за штампу. Као добар показатељ континуираног усавршавања је и последња верзија под називом BFB 3000 која користи до три екструдера са три различита материјала. Приказ 3Д штампача RapMan3.1 са једним екструдером дат је *сликом 21*.

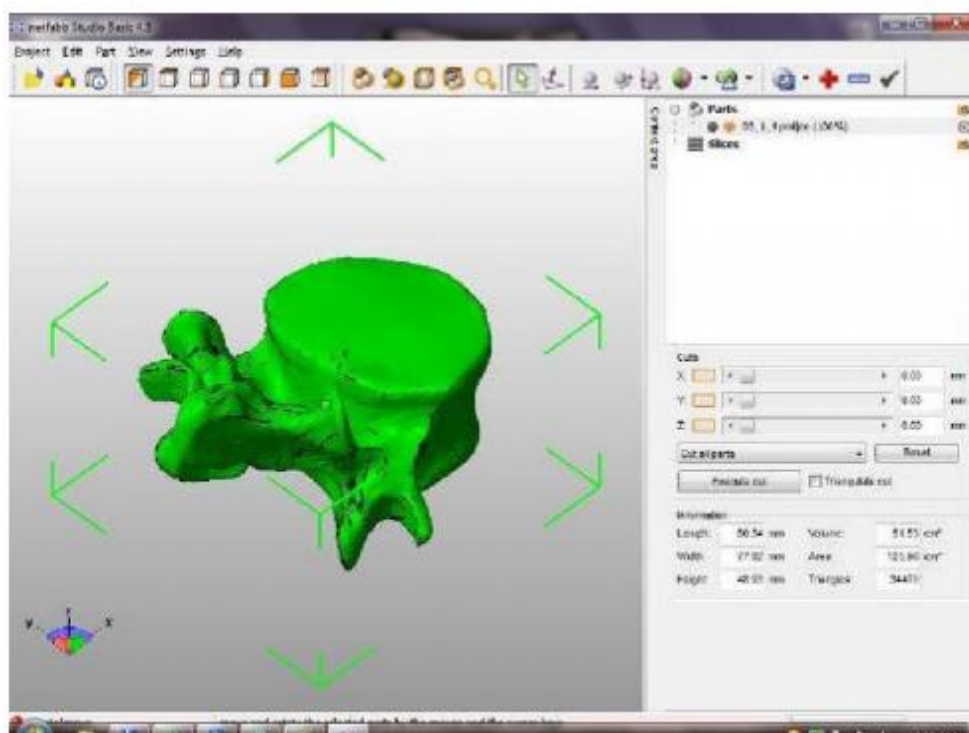


Слика 21. Bits From Butes RapMan 3.1 у просторијама Центра за информационе технологије Машинског факултету у Крагујевцу

3.4. Поступак израде прототипова на 3Д штампачу

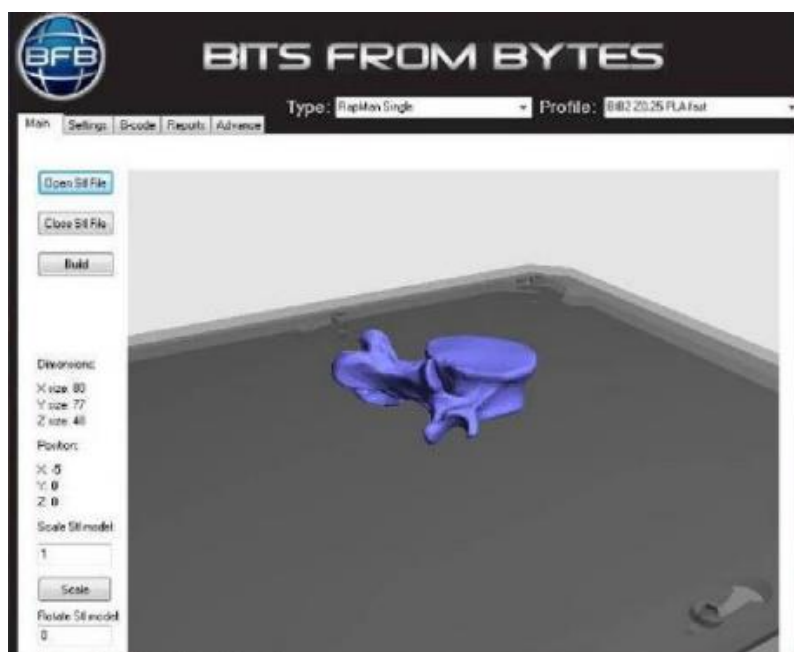
RapMap штампач, као и сваки други CNC захтева да се процес припреми у САМ програму.

САМ програм анализира 3Д објекат и припрема команде за управљање RapMap -ом. За управљање се користи стандардни језик G-Code. За RapMap постоје 2 основна САМ пакета. Први пакет је „open-source“ и зове се Skeinforge [13] и ради на свим данас доступним оперативним системима. Овај програм нуди велике могућности за кастомизацију процеса штампе али је прилично компликован за коришћење и нема никакав кориснички interface. Други САМ пакет је AXON [9] и то је пакет који нуди фирма Bits From Butes (бесплатно); заснован је на Skeinforge пакету али има свој графички interface. На жалост, AXON ради само на Microsoft Njindonjs оперативном систему [15].



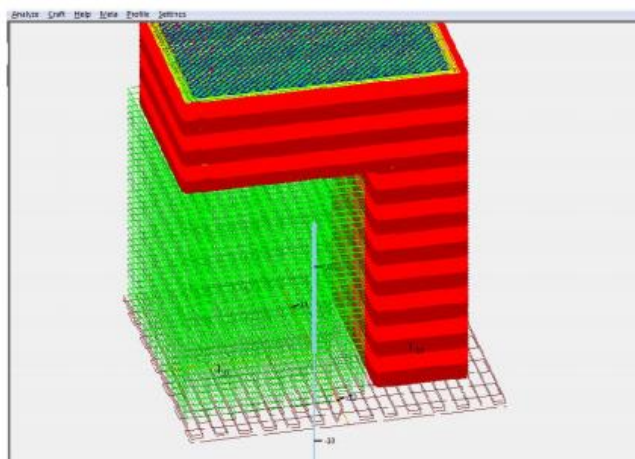
Слика22. STL фајл учитан у “Netfabb Studio basic”

Уобичајен поступак израде прототипа подразумева следеће кораке: израду 3Д модела, чување модела у формату који САМ пакети умеју да препознају (STL), уклањање могућих неправилности у STL формату, превођење САМ пакетом у G-код и на крају штампање модела.



Слика 23. STL фајл учитан у Аџон Софтњаре

Аџон софтвер подржава STL формат. Приликом увоза STL формата може доћи до проблема који су последица неких недостатака приликом самог моделирања објекта. Грешке у STL фајлу је могуће отклонити у апликацији Netfabb Studio (верзија „basic“ је слободно доступна Аџон софтвер подржава STL формат. Приликом увоза STL формата може доћи до проблема који су последица док се „professional“ верзија плаћа). Радно окружење апликације Netfabb Studio Basic приказано је сликом 20. Netfabb Studio Basic апликација која се може користити за решавање једноставнијих проблема са STL фајловима, док се озбиљнији проблеми морају решавати помоћу специјалних апликација (на пример Netfabb Studio Professional) [9]. Након поправки евентуалних неправилности STL фајла врши се његово учитавање у Аџон софтвер. Интерфејс радног окружења Аџон софтвера приказан је **сликом 23**. Најзначајнији параметри процеса који се могу подесити у Аџон софтверу су: „Layer Thickness“ – дебљина слоја, „Temperature“ – радна температура екструдовања материјала, „Support option“ – ослонац при штампи за делове у ваздуху. Визуелизација ослонаца означеног зеленом бојом може се видети на **слици 24**.



Слика 24. Модел генерисан у САМ пакету Скеинфорге

Након подешавања параметара штампе, врши се превођење В фајла у G-код. Тако добијени фајл се учитава на СД картицу са које се покреће у штампу. У Центру за информационе технологије Машинског факултета у Крагујевцу у употреби је 3Д штампач RapMan 3.1. Узимањем података методом Реверзног инжењеринга(RE) на основу СТ (Computer Tomography) снимака и каснијом обрадом добијен је референтни модел на основу кога је израђен CAD модел. У CIT-у је употребом 3Д штампача у оквиру курса Брза израда прототипова [10], израђен модел пршљена (слика 25). Модел је израђен од пластике типа PLA која је биоразградива. Израда је трајала нешто више од 4,5 часа.



Слика 25. Модел пршљена израђен у Центру за информационе технологије Машинског факултета у Крагујевцу

Након скидања са радне платформе основно постпроцесирање састоји се у пажљивом уклањању ослонаца. Као коначан резултат добијен је модел пршљена приказан **сликом 25**. Извршено је поређење димензија добијеног модела са моделом генерисаног софтвером и утврђено је одлично димензионо слагање. Модели добијени овим поступком 3Д штампе могу имати разноврсне примене почев од добијања концепцијских до функционалних делова. У Центру за информационе технологије 3Д штампач RapMan3.1 користи се у процесима извођења наставе и вежби из предмета Брза израда прототипова.



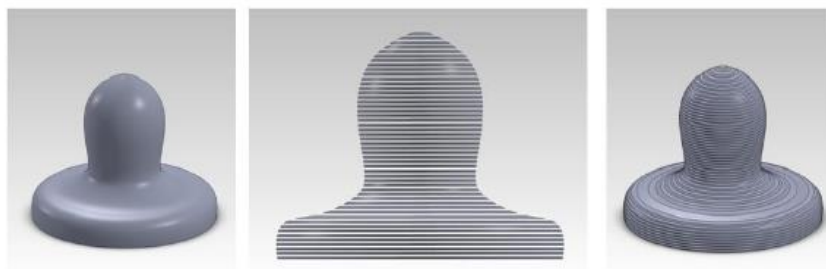
Слика 26. ZPrinter 310 Систем у просторијама Центра за информационе технологије Машинског факултета у Крагујевцу

Поред RapMan 3Д штампача у Центру за информационе технологије је у употреби и 3Д штампач 3Printer 310 приказан *сликом 26*, који се такође користи у просецу наставе.

За разлику од 3Д штампача 3Printer 310 Систем [14] који је скуп по свим параметрима почев од материјала који користи, времена израде дела до одржавања, коришћење 3Д штампача RapMan 3.1 пружа добру полазну основу у процесима едукације. Његовом применом сваки ђак, студент, за кратко време може овладати техникама брзих производних технологија. Малобројне предности у односу на професионалне 3Д штампаче огледају се у вишеструко нижој цени, начину одржавања и пре свега ефикасности употребе као наставног средства.

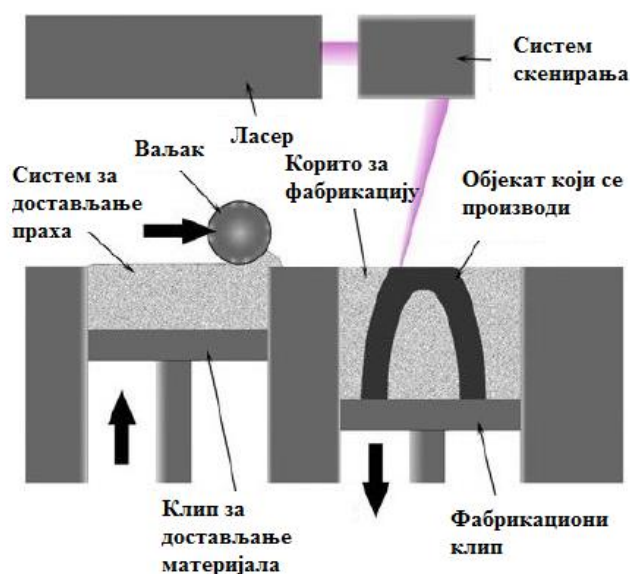
Савремени RP системи су развијени на бази проверених и усавршених технологија и, као такви, могу имати широку примену у процесима развоја производа, са друге стране такозвана „open source“ решења какав је RapMan могу допринети бољем схватању начина рада брзих производних технологија као и њихову примену у научно-истраживачком раду. Иако је RP релативно нова технологија у индустрији, ове савремене технологије су за кратко време омогућиле достизање низа циљева које модерно тржиште дефинише, као што су примарни захтеви скраћења времена до појаве производа на тржишту и смањење цене производа. Из свега се намеће и потреба образовања нових генерација стручњака у областима RP и RE. Акредитован курс брза израда прототипова, развијен на Машинском факултету у Крагујевцу је због свог значаја и квалитета награђен као најбољи у Србији у оквиру ЊУС Аустрија CDP програма за развој нових наставних програма [10]. Поред специјалиста у овим областима, значајна је и могућност укључивања шире школске популације у коришћење ових технологија, почев од основних и средњих школа, до нетехничких факултета. Могућности које се отварају у оквиру наставе нпр. Ликовне уметности, дизајна кроз олакшану израду скулптура или историје кроз 3Д реплике историјских експоната или географије израдом рељефа, свакако није комплетан списак идеја на које овај рад треба да укаже. Искуства стечена у СИТ-у могу бити добра полазна основа и подршка назначеној популаризацији ове савремене технологије у школском систему и свакако треба очекивати да се у неком тренутку школе стратешки укључе у ове процесе, као што је то урађено са информатиком. На крају, треба напоменути да су и сами коаутори овог рада учесници образовног процеса, студенти Машинског факултета у Крагујевцу.

3.5 Селективно ласерско синтеровање



Слика 27. Селективно ласерско синтеровање

Приликом селективног ласерског синтеровања, објекат се производи sukcesивним додавањем танких хоризонталних слојева, како је приказано на *слици 27*.



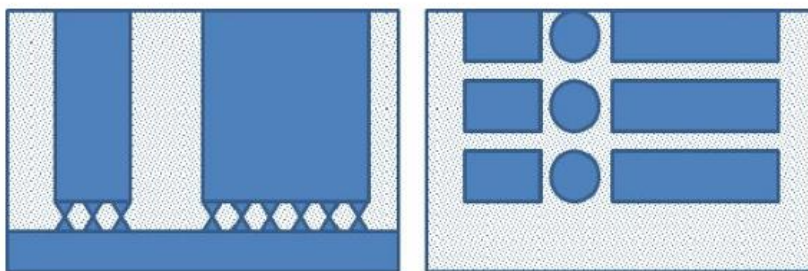
Слика 28. –СЛС принцип рада машине

Сваки од слојева се производи тако што се на изнад дела објекта који је претходно изграђен нанесе танак слој праха који се ласерским снопом истопа у облику следећег слоја (*слика 28*). При хлађењу истопљеног дела праха он се повезује хоризонтално (формирајући нови слој) и вертикално (спајајући се са остатком дела). Облик сваког слоја одређује компјутер на основу компјутерског модела објекта, и на основу тако израчунатих попречних пресека управља процесом топљења праха.

Назив „селективно ласерско синтеровање“ представља скраћени опис описаног поступка у коме се процесом синтеровања спаја само онај део праха који је ласером истопљен.

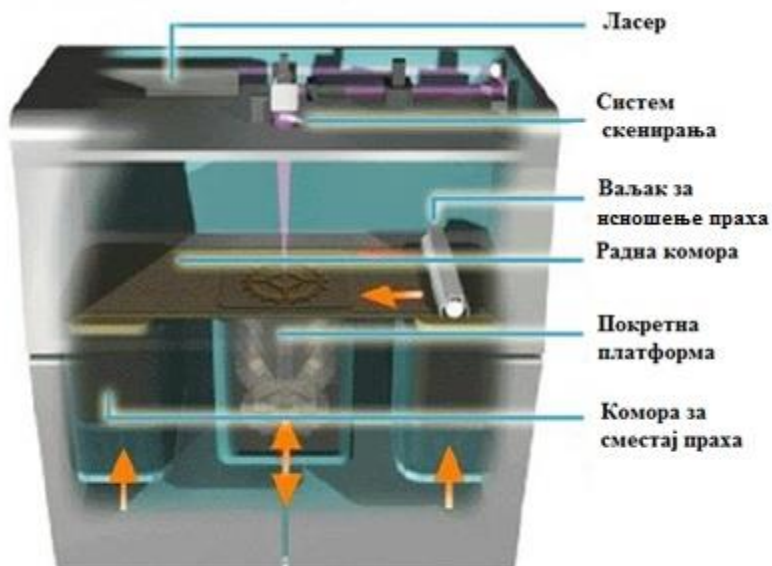
Описаним поступком се објекат формира без алата, па се истовремено једном машином може производити више објеката, различитих облика и димензија, тако што се њихови слојеви производе синхроно. Селективним ласерским синтеровањем се могу производити објекти од пластичних (углавном на бази полиамида) и металних (на бази челика, алуминијума и титанијума) материјала.

С обзиром да је за топљење метала потребно уложити много већу количину топлоте него за топљење пластике, приликом производње металних објеката је неопходно одводити топлоту, па се при производњи металних објеката користи метална платформа и ослонци за одвођење топлоте, како је то приказано на **Слици 29.** (лево). Из тог разлога је након производње металних објеката селективним ласерским синтеровањем накнадном обрадом потребно одвојити објекте од платформе. Поред тога, накнадном механичком (пескарење, полирање) и термичком (каљење) обрадом се може побољшавати површински квалитет објеката произведених селективним ласерским синтеровањем металног праха [15].



Слика 29. Производња пластичних објеката један изнад другог

С обзиром да при производњи објеката од пластике нису потребни платформа и ослонци за одвођење топлоте, могућа је и производња пластичних објеката једног изнад другог, како је то приказано на **Слици 29.** (десно). Површински квалитет објеката произведених селективним ласерским синтеровањем пластичног праха се може побољшати механичком обрадом (пескарењем) [15].



Слика 30. Основни делови 3Д штампача

3.6 Карактеристике материјала који могу да се штампају на изабраном уређају

Преглед неких релевантних карактеристика

Назив материјала	Модул еластичности (МПа)	Затезна чврстоћа (МПа)	Издужење при кидању (%)
ALUMIDE®	3800* / 3200**	48* / 40**	4* / 2.4**
CarbonMide®	6100/3400/2200***	72/56/25***	4.1/6.3/1.3***
PA 2200/2201	1700* / 1650**	48* / 47**	20* / 10**
PA 2210 FR	2500* / 2300**	45* / 37**	4.7* / 2.4**
PA 3200 GF	3000* / 2500**	49* / 47**	8* / 5.6**
PrimeCast® 101	1600*	5.5* / 1.2**	0.4*
PrimePart® DC	1550	48	48

Табела 3. Преглед неких релевантних карактеристика [15]

*x-/y-правац, **z-правац, ***x-/y-/z-правац

Назив материјала	Врста материјала	Намена
ALUMIDE®	РА 12 испуњен Алуминијумом	Прецизно димензионисање, висока могућност престављања модела, уносиви алати, ручна обраде бушењем
CarbonMide®	Полиамид испуњен карбонским четицама	Мале масе, механички оптерећени, функционални делови
PA 2200/2201	Полиамид 12	Представљање модела, функционални делови/ коначни продукти, резервни делови
PA 2210 FR	Полиамид отпоран на ватру 12	Функционални делови који захтевају рад на високим температурама
PA 3200 GF	Полиамид са стакленим честицама	Компоненте кућишта, термички веома коришћени делови, отпорност на хабање
PrimeCast® 101	Полистирен	Пробни шаблони, главни шаблони за гипсане/ вакумске ливове
PrimePart® DC	Полиамид 11	Компоненте за аутомобиле (делови ентеријера), за потребе авиоиндустрије

Табела 4. Полимерних материјала и њихове типичне примене [15]

3.7 Карактеристике одабраног материјала

Материјал

CarbonMide®-за делове под високим механичким оптерећењима
Суштинска својства материјала

-Општи подаци материјала

- Специфична густина: 0.50 g/cm³
- Густина Ласерски синтерованих делова: 1.04 g/cm³

- Механичка својства

- Отпорност на модул X/Y/Z: 6100/3400/2200 МПа
- Затезна чврстоћа X/Y/Z: 72/56/25 МПа
- Истезање до пуцања X/Y/Z: 4.1/6.3/1.3 %

-Термичка својства

- Тачка топљења: 172 - 180 °C

-Електрична својства

- Специфична отпорност: $46.3 \cdot 10^{-3} \Omega m$
[-5...+5V] x

Антрацит црна боја, полиамид 12 ојачан угљеничним честицама, материјал одличне крутости и максимизираног односа тежина-јачина. Зависно од орјентације дела у радној комори машине и правца изградње дела, распоред угљеничних честица може бити различито распоређен у правцима x, y и z оса, што утиче на механичке особине које могу бити различите у та три правца [15].

Особине:

- екстремна јачина и крутост
- термална и електрична проводљивост
- најбољи однос јачина/тежина
- производи мале тежине

Примена:

- лаки и крути функционални делови
- замена за метал
- механички напрегнути делови који су оптимизовани
- са циљем смањења тежине
- аеродинамичке компоненте у мотору за примену у спорту

3.8 Штампање елемената студентске формуле и значај 3Д штампања за тимове на ФС такмичењу

Примена 3Д штампаних делова у свету студентске формуле је веома велика. Пошто сваки од тимова функционише као предузеће, њихова конкурентна предност је веома битна. Применом 3Д штампе се то и постиже. Постоје тимови који имају сопствене 3Д штампаче још од 2011. године (попут тима са Универзитета у Волонгонгу из Аустралије) те на њима израђују прототипове разних елемената. Осим прототипова, честа је и израда функционалних делова попут усисника, дифузора, делова волана, система за управљање, кочење и других. На *слици 31* приказан је изглед 3Д штампаног модела и његов положај у склопу формуле.



Слика 31. Изглед 3Д штампаног модела и његов положај у склопу формуле [4]

На питање: Да ли су штампачи помогли Волонгонгу да успостави конкурентну предност?

Вођа тима Нејтан Тарлinton мисли тако. Рекао је:

"Са нашим 3Д штампачем, можемо дизајнирати и направити прототип делове брзо и ефикасно", наводи он. "Штампање дела сада траје око три дана. Раније је било потребно две до три недеље да се добије коначан резултат. Шта више штедимо хиљаде долара на трошковима развоја. То нас аутоматски чини више конкурентнима јер цена је кључни елемент у конкуренцији. "

И зато што је 3Д штампање поједноставило процес дизајнирања, тимови могу да експериментишу са разним јединственим и сложенијим решењима за проблеме које они не би били у стању да на други начин произведу.

"Раније смо користили "aluminum fabricating style system". "То значи да ако желимо да створимо нове сложене облике и делове као грану, било би изузетно тешко. Ми смо морали да исечемо алуминијум и савијемо цеви пре него што их заваримо у одговарајуће облике. То је врло дуго трајало и било је нетачно. Сада, захваљујући нашим 3Д штампачима, можемо брже створити делове које желимо и са већом прецизношћу. " На *слици 32* приказан је изглед болида поменутог тима.

"3Д штампање нам је дефинитивно помогло да наоштримо своју конкурентску предност", закључује Тарлинтон [16].



Слика 32. Изглед формуле аустралијског тима са Универзитета у Волонгону [4]

Поред 3Д штампања, постоје и друге технологије за израду уисног система. Уисни систем може да се изради на CNC машини. У данашње време машинска индустрија је скоро не замислива без саврених CNC машина. Свака CNC машина чита програм написан у „G- kodu”, који креира корисник. CNC машине имају мање-више исте делове као и старе NC машине. Битна разлика је додаток контроле (CNC) јединице и серво мотора на све осовине.

Поред поменутих технологија, постоји и поступак израде уисног система помоћу калупа.

4. Закључак

Усисни систем је могуће дефинисати и израдити на више начина али сваки од њих мора бити у складу са правилима ФСАЕ организације. Како би одредили прави приступ конструкцији и технологији израде било је неопходно изучити правила, већ постојеће моделе на осталим студентским формулама и литературу која се бави темом овог рада. На основу изучене литературе, одређени су основни циљеви усисног система:

- Минимализовати рестрикције протока ваздуха
- Направити највеће могуће пуњење система
- Повећати проток ваздуха кроз разводнике
- Смањити губитке
- Смањити потрошњу горива
- Побољшати естетику усиса
- Смањити масу

Применом стеченог знања, постигнута је већина постављених циљева и према већ постојећим конструкцијама овог система, тачним димензијама елемената са којим је усисни систем у спрези/склопу, геометрији возила и изабраном положају усисног система, дефинисана је конструкција тела усиса и разводника као његових најбитнијих елемената.

Усисни систем, као део погонског система битно утиче на рад мотора. У уској је спрези са издувним системом и зато се његово конструисање врши паралелно са конструисањем осталих елемената/система који су везани за погонски агрегат. Због тога, дефинисана конструкција није у потпуности спремна за израду јер оптимизација рада мотора првенствено зависи од везе између усисног и издувног система. Такође, димензије појединих елемената прве верзије израђеног 3Д модела тела усиса и разводника у великој мери зависе од излазних података добијених употребом програма „Ricardo Wave” и „Solid Flow“. Због тога, коначна верзија усисног система може се добити тек након конципирања конструкције издувног система и употребе поменутих програма.

Овим радом је дефинисана прва, основна функционална верзија усисног система, постављени су циљеви и ограничења, детаљно је описана и одређена технологија израде и материјал од које ће се правити.

3Д штампа или адитивна производња 3Д штампа (3D print) је јединствени процес у којем се штампају прави тродимензионални објекти свих облика. То је заправо адитивна производња, процес у којем се слојеви материјала додају један на други.

Изабрани материјал је Полиамид испунјен карбонским четицама. Особине материјала су: екстремна јачина и крутост, најбољи однос јачина/тежина, производи мале тежине, термална и електрична проводљивост.

5. Литература

- [1] <http://fsaeonline.com/page.aspx?pageid=e179e647-cb8c-4ab0-860c-ec69aae080a3>, 25.09.2016
- [2] Department of Mechanical Engineering University of Kentucky Lexington, KY 40506-0503
- [3] <http://3dprintingcanadablog.com/2014/03/sheridan-college-fsae-team-uses-additive-manufacturing/#.V9bDf1t97IU>, 02.10.2016
- [4] <http://www.fsae.com/forums/archive/index.php/t-4838-p-2.html?s=41dccd734f03d872bd8a9c83ff4da807>, 02.10.2016
- [5] Harrison P., Rapid Prototyping user guide, Faculty of computing Sciences and Engineering, De Montfort University, Leicester, 2003
- [6] Trajanović M., Manić M., Mišić D., Vitković N., Ekspertni sistem za odabir metoda 3D skeniranja fizičkih objekata, YU info 2005, Kopaonik
- [7] Trajanović M., Manić M., Mišić D., Vitković N., Upotreba tehnika reverzibilnog inženjerstva na primeru kašike varalice, (Zbornik radova, YU info 2006, Kopaonik
- [8] www.reprap.org, 05.10.2016
- [9] www.bitsfrombytes.com, 06.10.2016
- [10] Grujović N., Brza izrada prototipova-rapid prototyping, skripta izdata u okviru WUS Austria CDP+ 141-2004, Mašinski fakultet Kragujevac, 2005
- [11] Gibson I, Rosen DW, Strucker B., Additive Manufacturing Technologies, Rapid Prototyping to Direct Digital manufacturing, s.143-156. Springer New York Heidelberg Dordrecht, London
- [12] Pham D.T., Gault R.S., A comparison of rapid prototyping technologies, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Elsevier Science, (ISSN 0890-6955), Volume 38, Number 10, October 1998, s. 1257-1287
- [13] <http://fabmetheus.crsndoo.com/>, 07.10.2016
- [14] www.zcorp.com, 07.10.2016
- [15] http://www.3dimpuls.com/sites/default/files/dok_book/formiga_p_materials_en_0.pdf, 09.10.2016
- [16] <http://www.stratasys.com/resources/case-studies/automotive/formula-sae>, 09.10.2016