

Универзитет у Крагујевцу  
Факултет техничких наука у Чачку



Пројектни задатак из предмета:

## **РЕИНЖЕЊЕРИНГ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА**

Тема:

### **3Д штампач**

**Смер:** Мехатроника

**Студенти:**

Ђура Ђукановић 214/2013  
Богдан Гајић 171/2013

**Наставник:**

Проф.др Срећко Ђурчић

**Асистент:**

Милош Божић, дипл. инж. ел.

**Сарадник:**

Војислав Вујичић, мас. инж. мех

Чачак, Јун 2017

# Садржај

1. Увод.....	3
2. Опис компоненти .....	4
2.1. Корачни мотор.....	4
2.2. RAMPS 1.4.....	6
2.3. Оптокаплери .....	11
2.4. RepRap „паметни“ контролер .....	11
3. "Pinout" каблова .....	13
4. Подешавање софтвера (Repetier - Host) .....	14
5. 3Д модел.....	18
6. Економски аспект.....	20
7. Литература .....	22

## 1. Увод

Главни предмет овог пројектног задатка јесте реинжењеринг постојећег 3Д штампача који се налази у лабораторији за Мехатронику на самом факултету. Наш циљ је био да се осмисли лепши изглед самог 3Д штампача како би цео штампач изгледао лепше, уређеније, како би се у будућности његовим компонентама могло лакше приступати, да он врши функцију за шта је направљен а то је 3Д штампа, а када то није потребно да се његове компоненте могу користити за разна испитивања у самој лабораторији. Поред физичког изгледа наш циљ био је да се штампач оспособи за штампу. То је значило подешавање параметара свих компонената.



*Слика 1. Слика 3Д штампача са обележеним компонентама*

Ознаке компоненти:

1. Корачни мотор X осе
2. Корачни мотор Y осе

3. Корачни мотор Z осе
4. LCD дисплеј
5. Кућиште са драјверима и микроконтролером
6. Напајање 3Д штампача
7. Носач катура са пластиком

## 2. Опис компоненти

### 2.1. Корачни мотор

Корачни мотори спадају у класу синхроних машина са јединственом карактеристиком начина рада према коме се њихово кретање врши по дискретним тј корачним механичким покретима. Један обртај који направи вратило мотора, окрећући се око сопствене осе састоји се од конструкционо одређеног броја угаоних помераја. Дакле, једна корак мотора одговара окрету његовог вратила, у једну или другу страну, за константну вредност угла. Вредност угла која дефинише корак мотора директно зависи од типа конструкције корачног мотора. Брзина им зависи од учестаности импулса доведених на намотаје статора. Због својих својстава и лаког начина контроле кретања, које одговара потребама кретања по три основне осе, корачни мотори представљају најприкладније решење за рад 3Д штампача. Иначе, често се могу срести у машинама и уређајима попут обичних штампача, фотокопир машина, машина за шивење, пилот машинама итд.

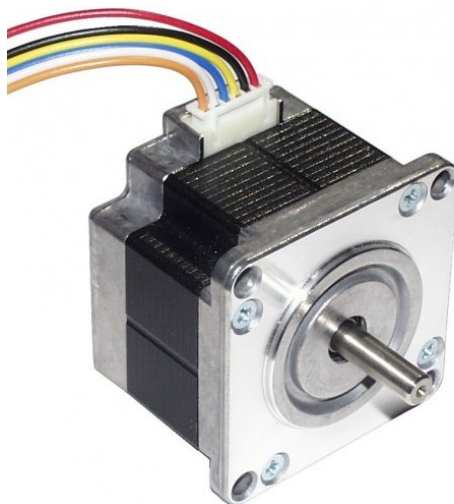
Основна карактеристика корачних мотора јесте њихова резолуција. Као резолуција дефинише се конструкциона вредност једног корака мотора представљена кроз угаони померај. Обележава се са  $k$ , а представља количник вредности пуног угла ( $360^\circ$ ) и укупног броја помераја ( $N_k$ ). Поред резолуције као карактеристике корачног мотора треба споменути и статички, односно динамички момент мотора. Статички момент корачног мотора јесте момент држања мотора, док динамички узима зависност у односу на брзину обртања.

Подела корачних мотора врши се према више критеријума па су у односу на параметре класификације изводи на следећи начин:

- Стварање магнетног поља:
  - Перманентни магнет;
  - Електромагнет;
- Тип побуде:

- Релуктантни корачни мотори;
- Корачни мотори са перманентним магнетима;
- Хибридни корачни мотори;
- Смештај побуде:
  - Роторска побуда;
  - Статорска побуда;
- Начин кретања:
  - Транслационо кретање;
  - Ротационо кретање;
- Начин везивања намотаја:
  - Униполарни;
  - Биполарни;

У нашем случају, за потребе израде 3Д штампача искоришћена су три корачна мотора хибридног типа. Основна улога корачних мотора при изради практичног дела рада односи се на регулацију кретања одређених механичким делова. Два корачна мотора искоришћена су ради регулације кретања главе мотора. Позиционирани су на површину плексигласа у таквом систему и односу где је без проблема омогућено истовремено кретање главе у било ком правцу и смеру дводимензионалне равни (X и Y осе). Трећи преостали корачни мотор искоришћен је ради кретања дуж правца треће (Z) осе.

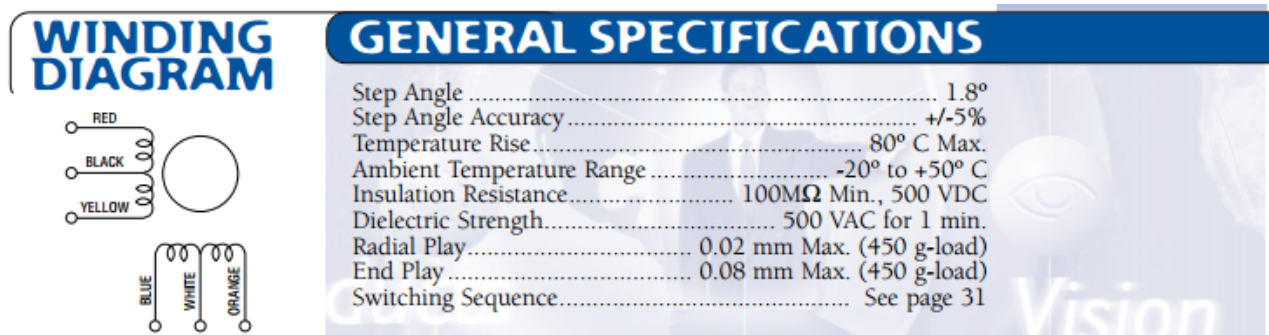


*Слика 4: Приказ корачног мотора коришћеног у реализацији рада*

На основу ознаке коју носе на себи о мотору се могу закључити неки од основних параметара. Ознаке мотора дате су табеларно уз појашњење сваке ознаке појединачно.

У нашем случају коришћени су мотори са ознаком 23LM – C351 – 03. На основу дате ознаке, а позивајући се на претходну **Слика 25** могу се констатовати неки од параметара

корачног мотора. Димензија корачног мотора прерађена као што је у упутству дато износи 2,3". У питању је корачни хибридни мотор, чија је вредност једног корака 1,8°. Број намотаја мотопе је 51 и мотор припада групи стандардних корачних мотора.



Слика 6: Основне спецификације корачног мотора класе 23LM-C3  
[Precision Step Motors]

Када је реч о основним спецификацијама корачног мотора овог типа, поред наглашене величине корака треба нагласити и остале параметре. Прецизност корака налази се на нивоу +/-5%. Максимална радна температура износи 80°C. Опсег температуре радног окружења мора бити у границама -20°C - +50°C. Изолациона отпорност подешена је на минималну вредност од 100M $\Omega$  (10<sup>8</sup> $\Omega$ ). Са леве стране слике приказан је изглед изведених намотаја које је даље потребно повезати. Повезивање корачних мотора врши се са контролером RAMPS 1.4.

Радни напон корачних мотора овог типа је 2,5V док је називна струја вредности 2A. Отпорност у намотајима је 1,25 $\Omega$ . Момент инерције окретања износи 110g/cm<sup>2</sup>. Тежина мотора износи 450g.

## 2.2. RAMPS 1.4

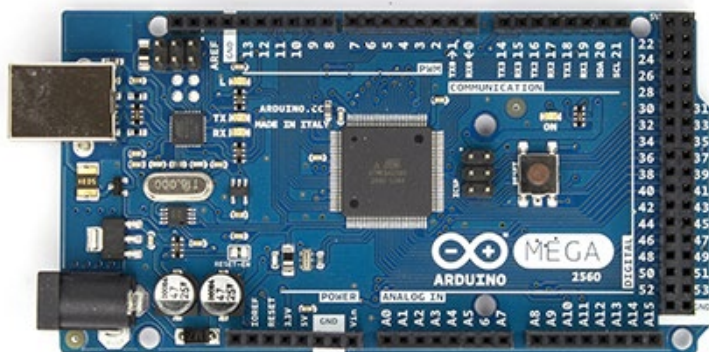
Основна електронска компонента која је искоришћена приликом рада на стварању 3Д штампача. Његова основна улога јесте повезивање свих осталих искоришћених електронских компоненти. На овај контролер директно се повезују искоришћени корачни мотори, оптокаплерски сензори као и екструдер термопластичне жице.

RAMPS 1.4 представља контролерску компоненту која од периода 2014. године носи епитет најчешће коришћене компоненте приликом конструисања и прављења RepRap машина. Састоји се из два основна дела чије спајање даје коначну RAMPS 1.4 контролерску компоненту. Један део представља RAMPS 1.4 SHIELD, док је други део Arduino Mega 2560.





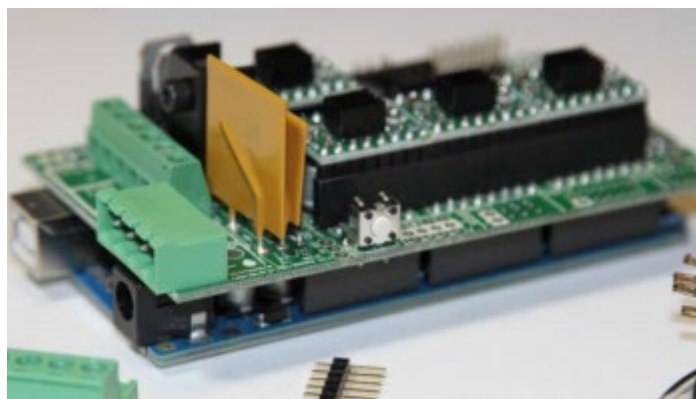
*Слика 7: RAMPS 1.4 SHIELD*



*Слика 8: Arduino Mega 2560*

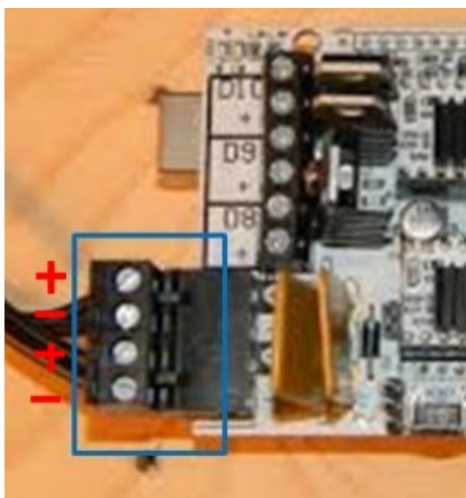
На RAMPS 1.4 директно се могу везати драјвери за корачне моторе. Максимално је предвиђено везивање пет драјвера. У односу на број драјвера, чије присуство није обавезно, могуће је извршити повезивање пет корачних мотора. RAMPS 1.4 поседује места за повезивање расхладних елемената, термо површине, сензоре (максимално 6 граничних елемената). LCD контролер такође поседује своје место за коненцију са RAMPS 1.4.

На примеру RAMPS 1.4 контролера који је изабран за употребу при прављењу 3Д штампача драјвери корачних мотора већ се налазе повезани на самој платформи.



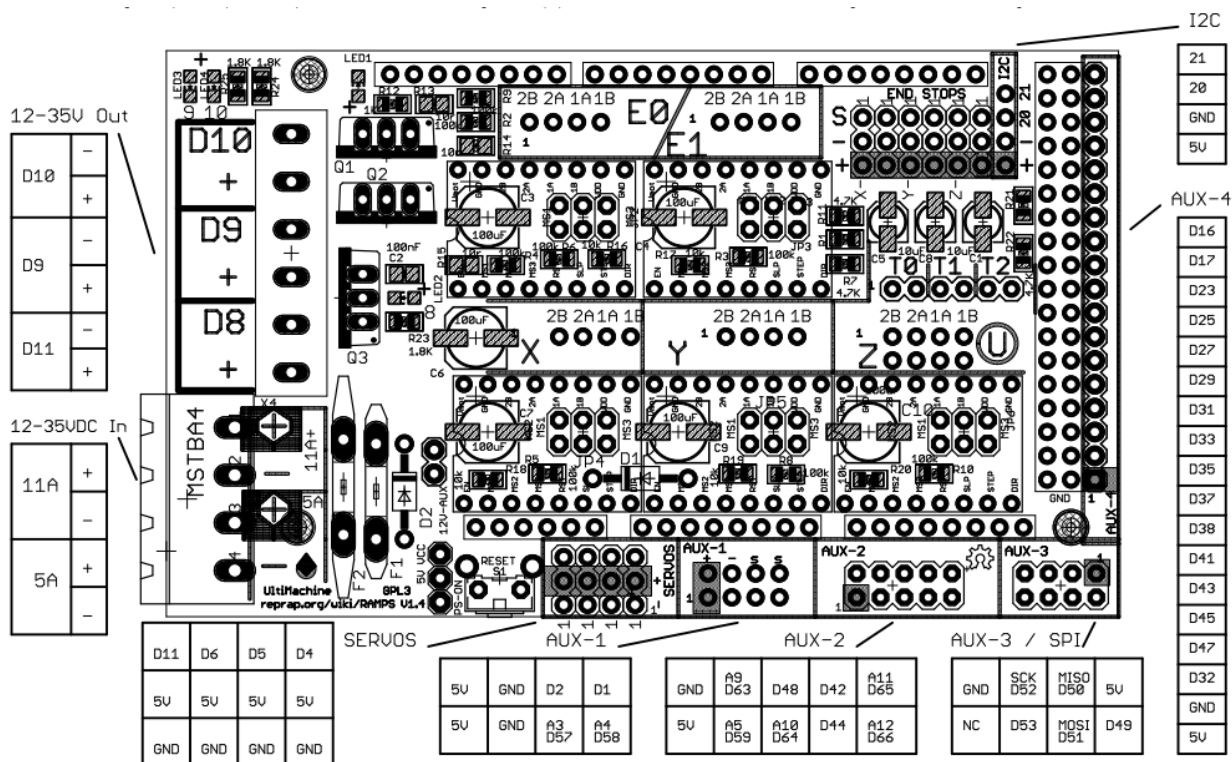
*Слика 9: Степ драјвери (четири позиционирана драјвера)  
[RAMPS 1.4 Assembly Guide]*

Напајање контролерске компоненте врши се на 12V. Напонски ниво напајања може бити и 24V, уз потребну модификацију.



Слика 10: Пинови за прикључивање напајања  
[RAMPS 1.4 Assembly Guide]

Приказ и опис пинова које на себи поседује RAMPS 1.4, уз опис елемената који се везују на сваки пин појединачно налази се на слици која следи.



Слика 11: Схематски приказ RAMPS 1.4  
[Johnny Russel – UltiMachine, 2011]



Напајање RAMPS 1.4 могуће је повезати у напоском опсегу 12-35V једносмерне струје. Налази се у доњем левом делу претходно приказане слике. У горњем левом делу налазе се излазни пинови у вредносном опсегу 12-35V.

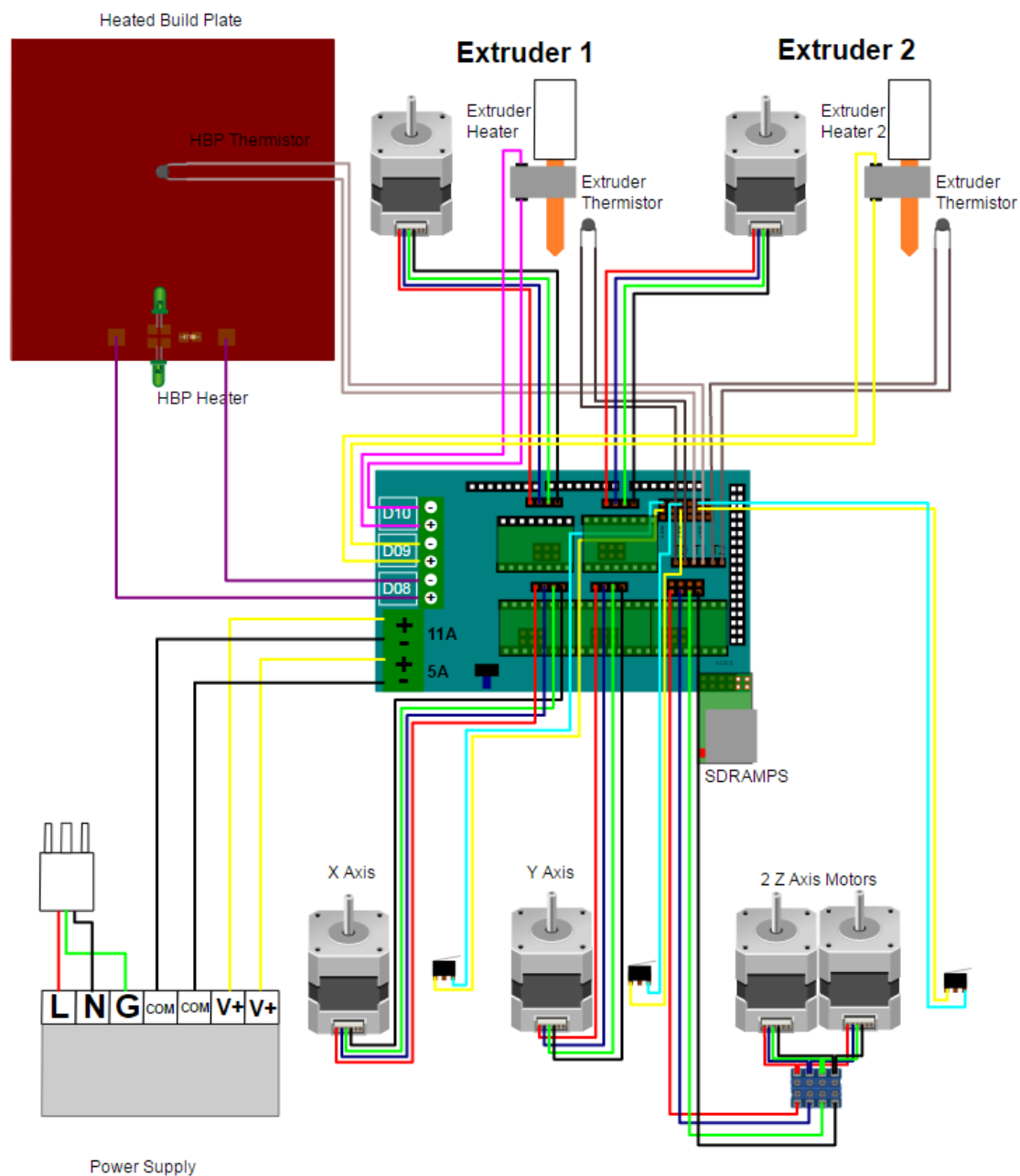
У горњем делу слике налазе се две групе пинова који су обележени симболима E0/E1. Обе групе пинова одговарају повезаним екструдерима. У нашем случају биће искоришћена једна група пинова на коју ће бити повезана глава штампача.

Паралелно испод претходно описаних пинова искоришћених за екструдере, налазе се групе пинова обележених симболима који одговарају ознакама оса кретања на 3Д штампачу. Групе X и Y предодређене су за повезивање по једног корачног мотора. Са друге стране, пинови везани за кретање дуж Z осе подељени су у две групе, тако је омогућено повезивање два уређаја за реализацију кретања.

На десној страни слике налазе се две групе пинова са ознакама AUX-3 и AUX-4. На ову групу пинова непосредно се повезује LCD дисплеј.

Изнад групе пинова који одговарају компонентама за реализацију кретања дуж Z осе налази се група од шест пинова који су намењени за повезивање термисторских компоненти. На ове пинове повезује се и термоплата, саставни део редне површине 3D штампача.

Група пинова (END STOPS) која се налази непосредно изнад термисторских пинова, подељена је у три реда. Ова групација пинова намењена је повезивању механичких прекидача који контролишу максималну количину кретања у односу на све три осе.



**Слика 12:** Схематски повезивања електронских компоненти са RAMPS 1.4 Shield  
[RAMPS 1.4 - Wikipedia]

Повезивање електронских компоненти у нашем случају извршено је на следећи начин:

- Корачни мотори: повезани су посредно на RAMPS 1.4 преко пара „мушког“, односно „женског“ порта. Порт на себи садржи 25 пинова за повезивање означених редним бројевима. Пинови који одговарају корачним моторима у односу на осе које мотори покрећу су: X оса (пинови број 1, 2, 14, 15), Y оса (4, 5, 17, 18), Z оса (11, 12, 23, 24);
- Оптичкаплери: Искоришћена су три оптокаплерска сензора, за сваку осу кретања по један. Кретање осе X ограничено је сензором чији су крајеви доведени на пар портова,

као што је то случај са сва три корачна мотора (3, 7, 8). Остала два сензора директно су везана на RAMPS 1.4 на, за то предвиђена места;

- Усмерач термопластичне жице: у основи, корачни мотор, повезан је са RAMPS 1.4 преко контакторске плочице;
- Термо плоча: везује се директно за контролор преко НТЦ термистора 100k;
- Грејач главе штампача: повезује се директно на контролер на T0 пин;

### 2.3. Оптикаплери

Као елементи ограничења количине кретања по све три осе искоришћени су оптички сензори у инфрацрвеном подручју рада. Сензор овог типа састоји се од диоде и транзистора. Сензори раде као НО контакти. Ради оперативности рада оптокаплера на + крају диоде додаје се отпорност 470Ω, док се на + страни транзистора додаје отпорност 10kΩ. Отпорности су међусобно везане на ред. Са сваког оптокаплера изведена су три краја (+, - и сигнални крај). Сигнални крај налази се између отпорности 10kΩ и емитора транзистора.

### 2.4. RepRap „паметни“ контролер

Поред главног контролера RAMPS 1.4 употребљен је и, такозвани „паметни“ контролер намењен RepRap машинама. Основни елементи садржани у овом контролеру су читач SD картице, ротациони енкодер, као и дисплеј са максимално двадесет карактера и четири линије писања.

Постојање читача SD картице омогућава њену употребу, односно могућност одсуства рачунара. Контрола кретања по осама, као и процес калибрације могућ је употребом постојећег енкодера. Оваква могућност постојана је чињеницом да генерисани г-код може бити позициониран у меморији SD картице.

Контролер је на RAMPS 1.4 повезан помоћу „паметног“ адаптера. Са једне стране адаптер обједињује пинове RAMPS 1.4 контролера (AUX4 и AUX5), док се са друге стране на адаптеру издвајају пинови на које се повезују два једнака конектора контролера. У колико дође до замене места конекторима приликом повезивања, доћи ће до јављања звучног сигнала који јавља појаву проблема тј грешке.



*Слика 13: RepRap „паметни“ контролер*

### 3. "Pinout" каблова

Ради лакшег сналажења и праћења повезивања компоненти 3Д штампача, урађена је табела 1 са бројним ознакама шта је и на који је пин повезано.

*Табела 1. Табела са расподелом пинова*

Бр. пина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Бр. ком.	1	1	4	2	2	/	4	4	/	/	3	3	/
Бр. пина	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	/
Бр. ком.	1	1	/	2	2	5	5	5	/	3	3	/	/

1. Корачни мотор X осе
2. Корачни мотор Y осе
3. Корачни мотор Z осе
4. Гранични прекидач X осе
5. Гранични прекидач Y осе
6. Гранични прекидач Z осе (директно повезан на контролер)



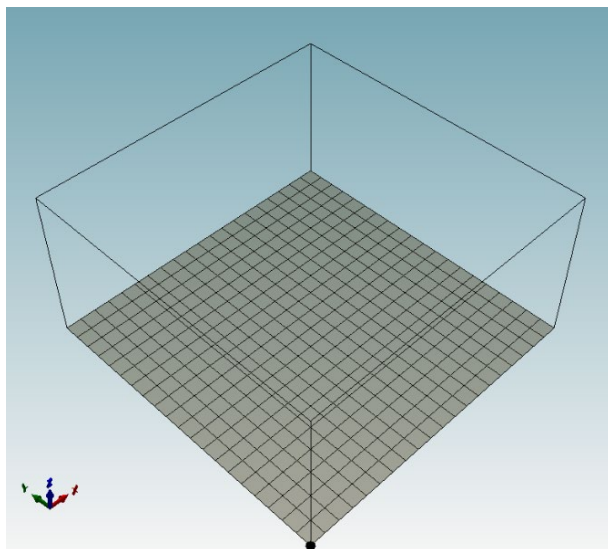
#### 4. Подешавање софтвера (Repetier - Host)

Како би целокупна прича везана за реализацију прототипа 3D штампача била употпуњена, недостаје опис функције њене завршне целине. У питању је софтвер, односно програмабилни део, који представља завршну целину приче нашег штампача. Као и на постојећем штампачу, искоришћен је програм Repetier-Host.



*Слика 15: Repetier-Host, софтверска подршка 3D штампача*

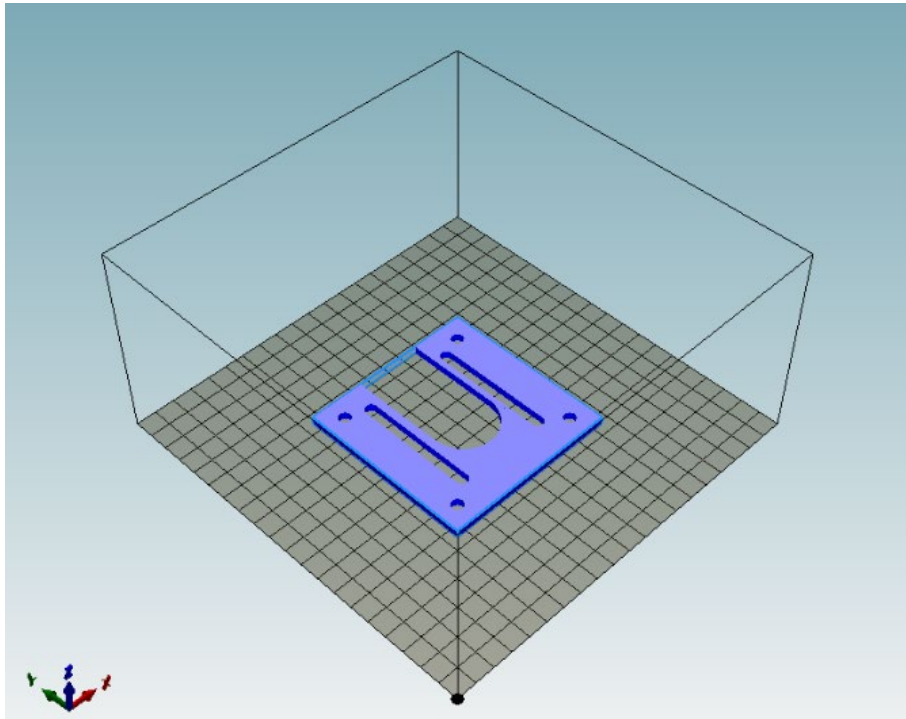
Помоћу креирања изгледа жељеног предмета у STL file-у и учитавања истог, од стране програма, добија се симулациони изглед жељеног предмета. Предмет је постављен на симулацију радне површине. На доњој левој страни прозора налази се приказ тродимензионалног координатног система који помаже ми позиционирању предмета на радно поље.



*Слика 16: Симулација радне површине*

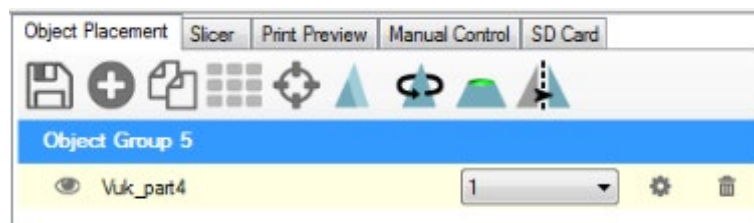
Након креирања 3D модела жељеног предмета у одређеном CAD програму (у нашем случају реч је о програму Solidworks) и складиштења податка под STL типом, могуће је исти податак увести у Repetier-Host. Пре увођења STL податка потребно је обезбедити

конекцију софтвера и електронских компоненти, што се омогућава повезивањем рачунара са Arduino Mega контролором.



*Слика 17: Увежен STL тип 3D модела*

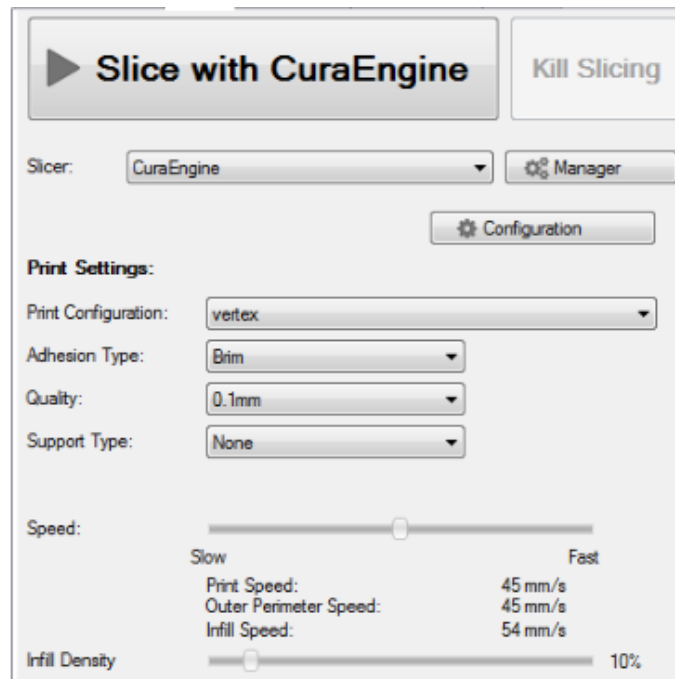
Са десне стране екрана у сваком моменту налази се приказ основног мениа функционисања софтвера. Подела на пет група, односно картица олакшава праћење и контролу процеса производње и рада 3D штампача.



*Слика 18: Контролни мени*

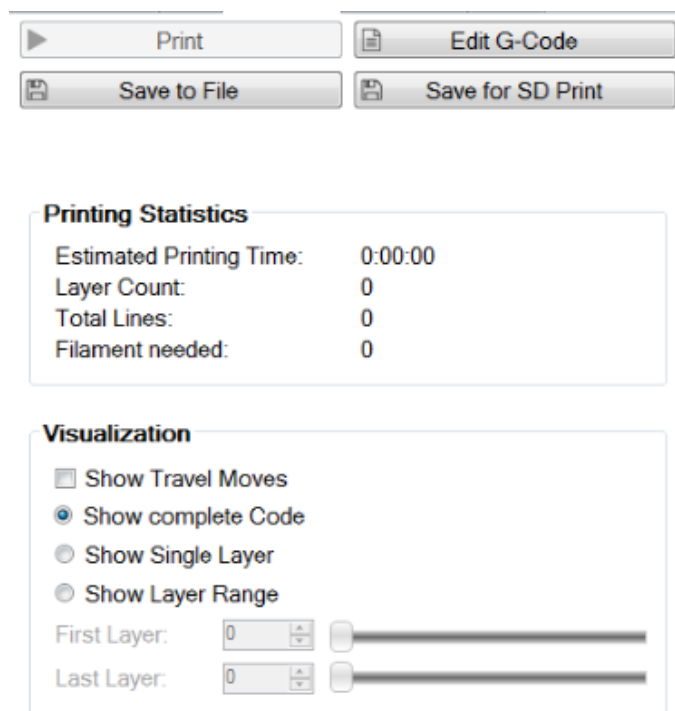
Прва картица чији приказ пружа мени задужена је за дефинисање елемената који су тренутн позиционирани на радну површину. У датом примери, на радној површини налази се само један предмета, чији је назив наведен у првој картици Object Placement.

Друга по реду картица Slice односи се на најважнији сегмент рада софтвера. У оквиру те картице налази се командно дугме чијом активацијом долази до формирања Г-кода. Г-код представља тачно утврђен пут главе 3D штампача при кретању и изради предмета.



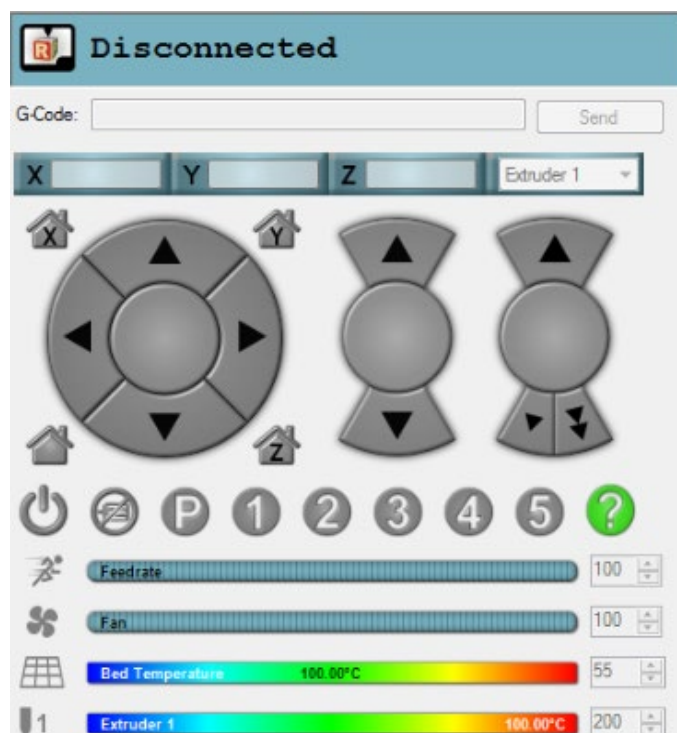
*Слика 19: Slice картица контролног мениа*

Наредна картица односи се на саму штампу односно на приказ Г-кода. У оквиру ове картице је и стартно поље штампања.



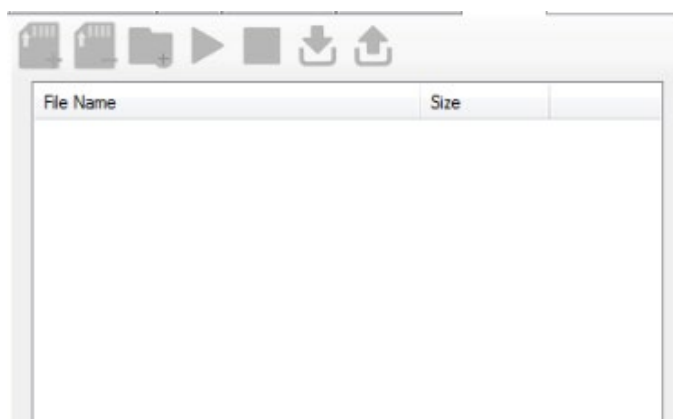
*Слика 20: Print Preview картица контролног мениа*

Картица Manual Control односи се на дефинисање основних параметара, попут брзине кретања главе у радном режиму, јачине хлађења, али и регулације темпратуре. Након стартовања програма (картица Print Preview) само штампање неће бити започето док се не успоставе потребни услови. Захтевани услови односе се на подешавање параметара температуре, како главе тако и радне површине на одређени, оепративни ниво.



*Слика 21: Manual Control картица контролног мениа*

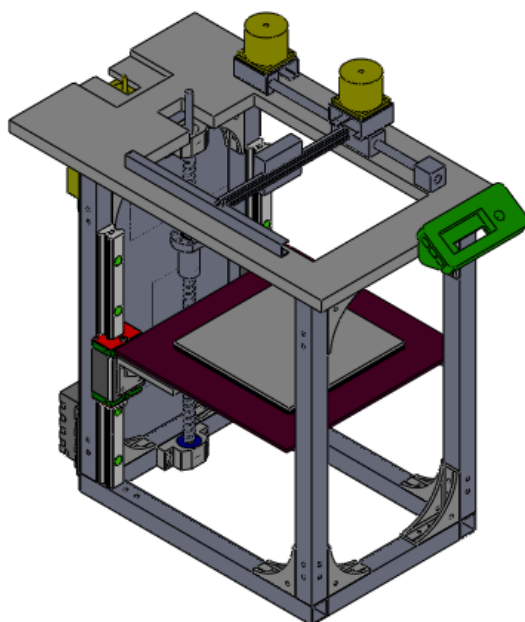
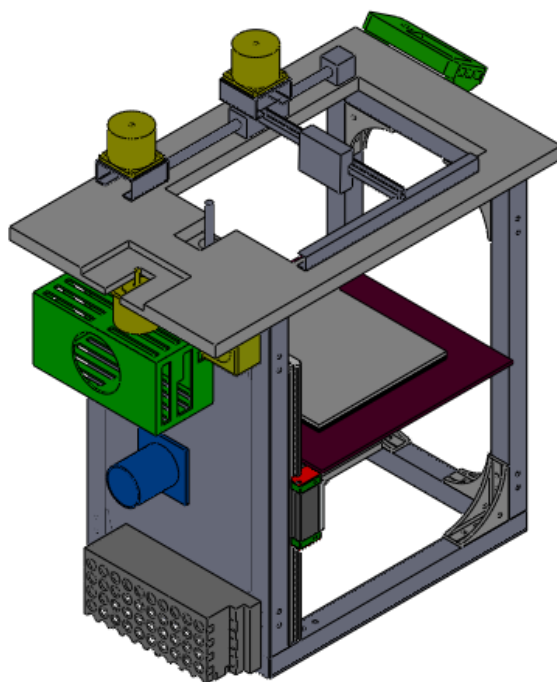
Последња картица односи се на присуство SD картице преносне меморије. Поседовање поменуте картице подразумева складиштење Г-кода на себе.



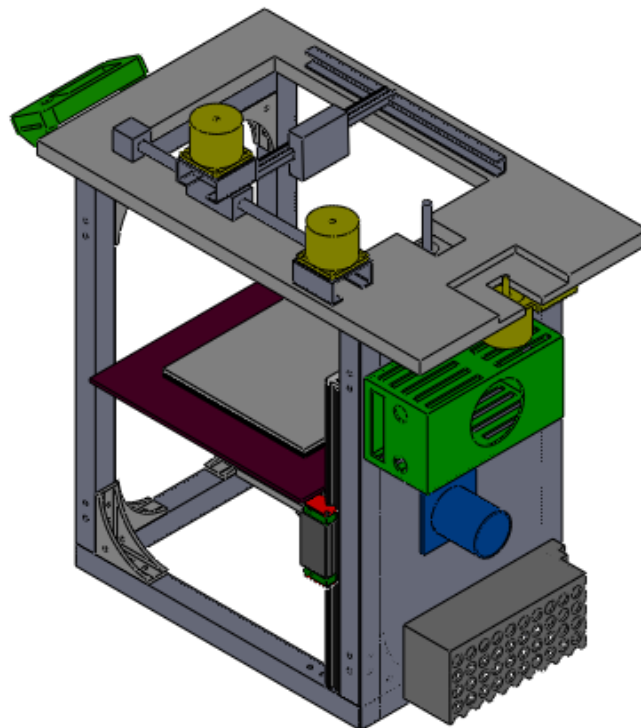
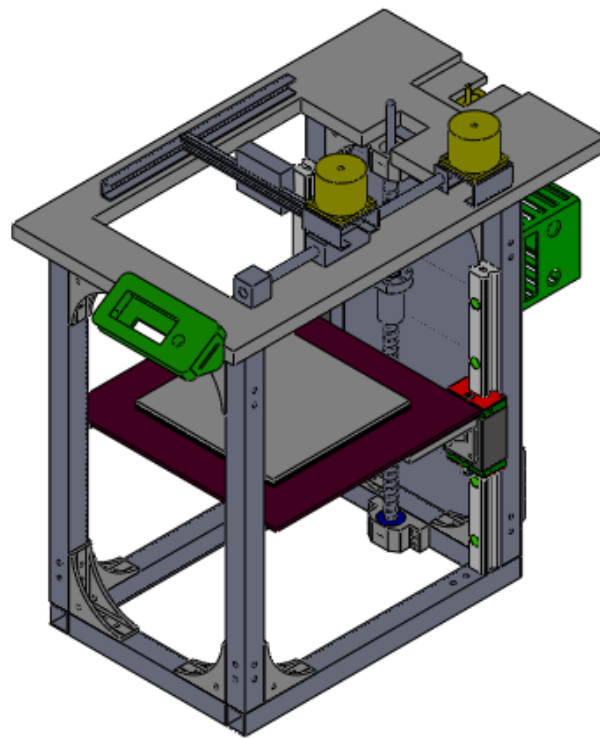
*Слика 22: SD Card картица контролног мениа*

## 5. 3Д модел

На следећим сликама ће бити представљен 3Д модел 3Д штампача након реинжењеринга.







## 6. Економски аспект

У оквиру поглавља економског аспекта биће речи о укупној цени коштања 3D штампача посматрано секвенцијално. У наредној табели приказане су све цене искоришћених компонената појединачно. Треба нагласити да су неки елементи коришћени при склапању 3D штампача предимензинисани, тј да је једнаку функционалност могуће остварити коришћењем истих компоненти редукованих димензија.

*Табела 2: Цена коштања искоришћених компоненти*

Компонента	Цена коштања
Алуминијумски профили	5000,00 РСД
Корачни мотор (3 ком)	1200,00 РСД/ком
RAMPS 1.4 и Arduino Mega	5000,00 РСД
Оптокаплери (3 ком)	50,00 РСД/ком
Плексиглас уз преносни 2D систем	4000 РСД
Вођице уз носећа колица	12000,00 РСД
Навојно вретено уз лежај са ременицама	15000,00 РСД
Радна површина (стакло, термоплата, пертинекс подлога)	1200 РСД
Глава 3D штампача	1100 РСД
Лимени поклопац са задње стране	300 РСД
Кућиште за драјвере и ЛЦД дисплеј	Штампано на 3Д штампачу у лабораторији
Носач катура са пластиком	Штампано на 3Д штампачу у лабораторији

Укупна цена коштања наведених компоненти износи 47.350,00 РСД. У зависности од смањења димензија искоришћених делова укупну цену коштања могуће је минимално гледано преполовити. Наведене цене су цене коштања компоненти не узимајући у обзир цену коју неминовно са собом носи и сам радни процес, утрошено време, стрпљење и константан рад. Приликом рачунања цене коштања „ручног рада“ обично се користи однос 1:1, одакле се закључује да је цена рада приближна цени коштања компоненти. Продајне цене сличних 3D штампача крећу се далеко изнад реалне цене коштања њиховог конструисања и прављења. У тим случајевима велики утицај има аспект зараде. Са знањем стеченим приликом израде пројеката овог рада или њему сличних, уз даље одговарајуће усавршавање при раду, могуће је израду оваквих машина посматрати из пословног сегмента.

## 7. Литература

- [1] *Elizabeth Matias, Bharat Rao - 3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business*
- [2] *Anderson, C. - Makers: The new Industrial Revolution - 2012.*
- [3] *3D Printing and the Future of Manufacturing - CSC Leading Edge Forum*
- [4] *[https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing) - 1.6.2017.*
- [5] *<http://www.3dimpuls.com/srl/book/export/html/2> - 1.6.2017.*
- [6] *RAMPS 1.4 Assembly Guide*
- [7] *[http://www.reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.4](http://www.reprap.org/wiki/RAMPS_1.4) - 1.6.2017.*
- [8] *[http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount\\_Smart\\_Controller](http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Smart_Controller) - 1.6.2017.*
- [9] *Minebea Stepper Motor Information & Specifications – The Project Asylum*
- [10] *Precision step motors – NMB Corporation*