

ŠOLSKI CENTER VELENJE

Elektro in računalniška šola

Trg mladosti 3, 3320 Velenje

Mladi raziskovalci za razvoj Šaleške doline

Raziskovalna naloga

## **OD IDEJE DO REALNEGA 3D-MODELA**

(Modeliranje in priprava modelov s programom Blender 2.73a, program Repetier-Host 1.0.6 za razrez in pošiljanje podatkov v 3D-tiskalnik Mendel Max 2.5)

Tematsko področje: TEHNIŠKE VEDE

Avtor: Anej Lekše, 2. letnik

Mentor: Nedeljko Grabant, dipl. inž.

Velenje, 2015

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2015.

Mentor: Nedeljko Grabant, dipl. inž.

Datum predavitve: marec 2015



By: Anej Lekše, Nedeljko Grabant

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

ŠD ŠC Velenje, šolsko leto 2014/2015

KG 3D-tisk /3D-tiskalnik /Blender 2.73a /modeliranje/ Mendel Max/ Repetier-Host /PLA

AV LEKŠE, Anej

SA GRABANT, Nedeljko

KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2015

LI 2015

IN OD IDEJE DO REALNEGA 3D-MODELA

TD Raziskovalna naloga

OP *IX, 40 s., 9 tab., 50 sl., 0 p., 6 vir*

IJ SL

JI sl

AI

V raziskovalni nalogi je na kratko predstavljen program Blender 2.73a kot orodje za 3D-modeliranje, animacijo, upodabljanje in post-procesiranje za 3D-tisk. Pojasnjeni so pojmi 3D-tiskanja in našteje najpogostejše metode in vrste 3D-tiskanja. V raziskovalni nalogi je na kratko predstavljen 3D-tiskalnik Mendel Max 2.5, s katerim smo tiskali modelirane 3D-modele.

V raziskovalni nalogi smo preverili hipotezo, ali je Blender kot odprtokoden (brezplačen) program za 3D-oblikovanje kos plačljivim programom za 3D-oblikovanje v smislu potenciala, ki ga ponuja za pripravo in izvoz modelov za 3D-tiskanje.

V nalogi so predstavljena tudi pravila in smernice pri 3D-oblikovanju modelov za lažje delo in zmanjšanje stroškov 3D-tiskanja. V praktičnem delu naloge so v Blenderju modelirani trije modeli (t. i. »drevo«, logotip skupine Streetlight Manifesto in model Ibanezove električne kitare), ki so bili natisnjeni v 3D.

Končni rezultat tiskanja je odvisen od številnih faktorjev in parametrov programske opreme, med ostalim je odvisen tudi od 3D-tiskalnika, materiala in nastavitvev. Ugotovili smo, da je za kakovostne izdelke potrebno veliko izkušenj in poznavanja posebnosti 3D-tehnologije tiska.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND ŠC Velenje, 2014/2015
- CX 3D print /3D printer /Blender 2.73a / modelling/ Mendel Max/ Repetier-Host /PLA
- AU LEKŠE, Anej
- AA GRABANT, Nedeljko
- PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
- PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2015
- PY 2015
- TI From an idea to a real 3D-model (modeling and designing with Blender, Repetier-Host 1.0.6 for cutting and transmitting data to the 3D-printer Mendel Max 2.5)
- DT RESEARCH WORK
- NO IX, 40 p., 9.tab., 50 fig., 0 app., 6 ref.
- LA SL
- AL sl/en

In this research paper we introduced an open source software Blender 2.73a as a tool for 3D-modeling, animation and post-processing for 3D-printing. We also explained the essential terms used in 3D-printing, as well as the most common methods and types of 3D-printing. This research also covers the presentation of the MendelMax 2.5 3D-printer which was used for printing our 3D-models.

We started with the assumption that Blender - as an open source software (freeware) - offers the same potential for 3D-modelling and exporting various models, in comparison to non-free software.

We also presented the rules and various guidelines that make 3D-modeling easier, as well as the reduction of costs and the amount of material used for 3D-printing. Within the practical part of the research we modelled three models (the so-called “tree”, a logo of the band Streetlight Manifesto and a model of the Ibanez electric guitar) which were 3D-printed later.

The final result of our 3D-printed objects highly depends on various factors and parameters set by the software we use, but most of all, it depends on the 3D-printer, the material that we use, and the custom user-preferences that we set in our 3D-printing software.

We found out that in order to make a high-quality product, we need a lot of experience and knowledge about the specifics of 3D-printing technology.

The final result of our 3D-printed objects highly depends on various factors and parameters set by the software we use, but most of all it depends on the 3D-printer, material that we use, and custom user-preferences that we set in our 3D-printing software.

We found out that in order to make a high-quality product, we need a lot of experience and knowledge about specifics of 3D-printing technology.

## **KAZALO KRATIC**

% – odstotek

€ – evro

3D – tridimenzionalno

ABS – angl. Acrylonitrile Butadiene Styrene, vrsta plastike ABS (oz. akrilonitril butadien stiren)

angl. – prevod iz angleškega jezika

BY – priznanje avtorstva

CC – angl. Creative Commons, kreativna skupnost

cca – približno, okoli

dipl. – diplomirani

ERŠ – Elektro in računalniška šola

g. – gospod

ga. – gospa

HTML - Hyper Text Markup Language (slovensko jezik za označevanje nadbесedila)

http – angl. hipertext transfer protokole, nadbесedilni prenosni protokol

inž. – inženir

npr. – na primer

PLA – angl. Polylactic acid ali polylactide (PLA, Poly), vrsta plastike PLA (oz. polilaktid)

ŠCV – Šolski center Velenje

sl. – slovensko

spl. – splet

t. i. – tako imenovani

URL - naslov spletnih strani v svetovnem spletu

wiki – Wikipedia

www – world wide web - svetovni splet

**KAZALO VSEBINE:**

1	UVOD .....	1
1.1	Namen raziskovanja .....	1
1.2	Hipoteze.....	1
2	PREGLED OBJAV .....	2
2.1	Kaj je 3D-tiskanje?.....	2
2.2	Krajši zgodovinski pregled 3D-tiskanja .....	2
2.3	Vrste 3D-tiskalnikov in tehnologij .....	3
2.4	Osnovna predstavitev tiskalnika RepRap MendelMax 2.5 .....	4
2.5	Modeliranje v programu Blender .....	6
2.6	Predstavitev formatov za 3D-tiskanje .....	7
2.6.1	Format STL .....	7
2.6.2	Format OBJ .....	7
2.6.3	Format X3D.....	8
2.6.4	Format VMRL2.....	8
2.6.5	Format PLY .....	8
2.7	Nasveti za pripravo pravih 3D-modelov .....	9
2.8	Uporaba Blenderja pri pripravi modela za 3D-tisk .....	9
2.9	Repetier Host.....	9
2.10	Priprava 3D-modelov za tisk.....	11
3	MATERIALI IN METODE DELA.....	13
3.1	Priprava tiskalnika MendelMax 2.5 za 3D-tisk.....	14
3.2	Praktični primeri za pripravo pravih 3D-modelov .....	14
3.2.1	Predmet mora biti enoten.....	14
3.2.2	Predmet naj bo votel.....	17
3.2.3	Merske enote in merilo.....	18
3.2.4	Dodajanje modifikatorja Solidify .....	20
3.3	Drugi modeli za tiskanje in postopki izdelave.....	21
3.3.1	Napis Streetlight Manifesto .....	21
3.3.2	Kitara.....	24
3.4	Merjenje gostote plastike in vlage.....	27
3.5	Tiskanje 3D-modelov .....	28
4	RAZPRAVA .....	28
4.1	Težave pri tiskanju .....	33
4.2	Najpogostejše napake pri 3D-modelih, ki bi jih radi natisnili .....	33
4.3	Predlogi izboljšave kakovosti tiskanja 3D-modelov .....	34

5	ZAKLJUČEK.....	38
6	ZAHVALA.....	39
7	VIRI.....	39
8	AVTOR RAZISKOVALNE NALOGE.....	40

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Fotografija tiskalnika MendelMax 2.5, lasten vir .....	5
Slika 2:	Glavni deli tiskalnika MendelMax 2.5, lasten vir .....	6
Slika 3:	Formati za 3D-tisk, ki jih podpira Blender, lasten vir.....	7
Slika 4:	Začetni pogled pri prvem zagonu programa Repetier Host, lasten vir.....	10
Slika 5:	Na desni strani je odprt urejevalnik G-kode, lasten vir.....	10
Slika 6:	Ročne kontrole za upravljanje položaja ogrete postelje, pomikanje in izrivanje plastične niti, lasten vir .....	11
Slika 7:	Vklop prikaza Mesh 3D Print Toolbox, lasten vir .....	11
Slika 8:	Zavihek v Blenderjevi orodjarni oz. Toolbox 3D Printing z možnostjo preverjanja modela (angl. Checks), lasten vir.....	12
Slika 9:	Testna modela kvadratne prizme in obroča.....	13
Slika 10:	Uporabljene merilne naprave in pripomočki, lasten vir .....	13
Slika 11:	Postelja, slikana s termo kamero po petih in dvajsetih minutah (z leve na desno), lasten vir	14
Slika 12:	Neenoten oz. večdelni predmet, lasten vir .....	15
Slika 13:	Drevesu odstranimo spodnjo ploskev, lasten vir.....	15
Slika 14:	Kvader razdelimo na več delov, kar je uporabno za naslednje korake obdelave, lasten vir ..	16
Slika 15:	Dodajanje modifikatorja Boolean, lasten vir.....	16
Slika 16:	Predmeta združena v enega, lasten vir .....	17
Slika 17:	Na sredini smo označili štiri segmente, ki jih bomo odstranili, lasten vir .....	17
Slika 18:	Izbira enot meter(angl. Metric) , lasten vir.....	18
Slika 19:	Položaj, zasuk, skalirni faktor in dimenzije predmeta, lasten vir.....	18
Slika 20:	Pomanjšan predmet, lasten vir .....	19
Slika 21:	Ponastavljanje merila, lasten vir .....	19
Slika 22:	Določanje debelino sten v modifikatorja Solidify, lasten vir.....	20
Slika 23:	Shranjevanje datoteke s podaljškom .blend, lasten vir.....	20
Slika 24:	Izvoz v STL-format s pomočjo menija File  Export, lasten vir.....	21
Slika 25:	Šablona za napis, vir [4].....	21
Slika 26:	Prvi del napisa, lasten vir .....	22
Slika 27:	Modeliranje z 2D-krivuljami, lasten vir.....	22
Slika 28:	Končan napis, lasten vir .....	23
Slika 29:	Pomanjšan napis in ponastavljeno merilo, lasten vir .....	23
Slika 30:	Ibanez RG – 35550 MZGK, vir: [5].....	24
Slika 31:	Osnova za kitaro, lasten vir.....	24
Slika 32:	Izdelava trupa kitare, lasten vir .....	24
Slika 33:	Izdelava vratu kitare, lasten vir .....	25
Slika 34:	Izdelava glave kitare s krivuljami, lasten vir.....	25
Slika 35:	Pretvarjanje krivulje v Mesh objekt, lasten vir .....	26
Slika 36:	Končan model kitare, lasten vir .....	26
Slika 37:	Končana kitara na podstavku, lasten vir.....	26
Slika 38:	Najbolje natisnjeni modeli .....	28



Slika 39: Neuspešno in uspešno natisnjena kitara .....	28
Slika 40: Nekaj neuspešno ali polovično natisnjenih izdelkov .....	29
Slika 41: Lepo natisnjem tangram .....	29
Slika 42: Različni tipi polnila od leve proti desni (Rectilinear, Line, Honeycomb, Concentric (pravokotno, premice, čebelje satje in koncentrično)) .....	29
Slika 43: Vse orojarne Repetier-Host 1.0.6 (Object Placement, Slice- pred in po razrezu, Preview – Preview in G-code editor, Manual Control) z leve na desno.....	30
Slika 44: Prva dva zavihka v nastavitvah tiskalnika (Connection in Printer).....	30
Slika 45: Zadnji trije zavihki v nastavitvah tiskalnika (Extruder, Printer Shape in Advanced) .....	31
Slika 46: Prva dva menija v zavihku Printer Settings v programu Slic3r .....	31
Slika 47: Nastavitve hitrosti izrivne šobe, ki potuje po mizi oz. predmetu (v meniju Speed v zavihku Print Settings).....	32
Slika 48: Nastavitve niti in ogrevanje šobe za izriv ter postelje (v meniju Filament v zavihku Filament Settings).....	32
Slika 49: Premajhen objekt in tisti z mejno stranico z okrog 1,2 cm na koncentrirani površini .....	34
Slika 50: Mladi raziskovalec Anej Lekše .....	40

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava glavnih tehnologij 3D-tiskalnikov, vir [6] .....	3
Tabela 2: Merjenje in izračun gostote materiala .....	27
Tabela 3: Parametri 3D-tiskanja kvadratne prizme .....	34
Tabela 4: Odstopanje dimenzije natisnjenih kvadratnih prizem.....	35
Tabela 5: Rezultati meritev, časa tiskanja št. plasti, porabe niti in mase natisnjenih kvadratnih prizem .....	36
Tabela 6: Dimenzije in rezultati tiskanja obročev .....	36
Tabela 7: Poraba materiala glede na različne gostote polnila in tipov polnila obročev .....	37
Tabela 8: Primerjava velikosti modela kitare Ibanez s časom tiskanja in porabo plastične niti.....	37
Tabela 9: Primerjava parametrov tiska kompleksnih 3 izdelkov .....	38

## 1 UVOD

Prvi 3D-tiskalniki so se pojavili leta 1984, ko je Chuck Hull, oče veje 3D-tiskanja, imenovane stereolitografija, patentiral metodo 3D-tiskanja z uporabo fotopolimerov.

Danes so zelo popularni odprtokodni tiskalniki (angl. Open-source 3D printers):

- RepRap (<http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap>, 19. 1. 2015),
- Fab@Home (<http://en.wikipedia.org/wiki/Fab@Home> oz. <http://www.fabathome.org/index.php?q=node/10>, 19. 1. 2015),
- Contraptor (<http://www.contraptor.org/>, 19. 1. 2015).

V raziskovalni nalogi nas je zanimalo 3D-modeliranje, post-procesiranje za 3D-tisk in sam postopek 3D-tiskanja.

Končni rezultat tiskanja je odvisen od številnih faktorjev in parametrov programske opreme, med ostalim je odvisen tudi od 3D-tiskalnika, materiala in nastavitev, kar bomo videli v tej raziskovalni nalogi.

### 1.1 Namen raziskovanja

Namen raziskovalne naloge je spoznati in optimizirati celoten postopek od modeliranja do končnega natisnjene 3D-izdelka iz plastike. Spoznati možnosti programa Blender 2.73a kot orodja za 3D-modeliranje in priprava teh modelov za tisk v formatu STL. Format STL zna prebrati program Repetier-Host 1.0.6, jih razrezati na tiskalne plasti in poslati te podatke v 3D-tiskalnik Mendel Max 2.5, ki natisne realne modele.

### 1.2 Hipoteze

Pred delom smo si zastavili naslednje hipoteze:

1. Z odprtokodnim programom Blender 2.73a lahko modeliramo in pripravimo za tisk 3D-objekte enakovredno kot s komercialnim 3D-modelirnikom na primer Pro Engineer.
2. Repetier Host je primeren in uporaben program za razrez (angl. Slice) modelov v STL-formatu in njegovo pošiljanje v 3D-tiskalnik RepRap MendelMax 2.5.
3. Predvidevamo, da je 3D-tiskalnik MendelMax 2.5 primeren za tiskanje različnih skoraj poljubnih 3D-modelov za domačo in šolsko uporabo.
4. 3D-tiskalnik MendelMax 2.5 je primerna strojna oprema za uvajanje učencev in dijakov v tehnologijo 3D-tiskanja.

## 2 PREGLED OBJAV

Pri pregledu objav obravnavamo, kaj je 3D-tiskanje, krajši zgodovinski pregled le-tega, vrste 3D-tiskalnikov, modeliranje modelov za tisk, uporaba programov Blender in Repetier Host pri 3D-tiskanju, uporabljeni materiali, uporaba in prihodnost le-tega.

### 2.1 Kaj je 3D-tiskanje?

3D-tiskanje je postopek, kjer najpogosteje z dodajanjem materiala iz digitalnega modela izdelamo fizični objekt. Najprej računalniško izdelani 3D-model (avtorski, izdelan po naročilu ali pridobljen z različnih temu namenjenih spletnih strani) preobrazimo v format, ki ga 3D-tiskalnik prebere in nato proizvede fizični 3D-model.

3D-tiskanje je proces, ko s 3D-tiskalnikom natisnemo tridimenzionalni model, ki ga pred tem oblikujemo z računalniškim programom t. i. modelirnikom. 3D-tiskalnik temelji na »polaganju« tankih plasti materiala na podlago in tako ustvari željeni model.

Tehnologija se uporablja za izdelavo prototipov, industrijsko oblikovanje, arhitekturo, izdelovanje konstrukcij in celo na področju letalske in vesoljske industrije.

3D-tiskalniki lahko za trirazsežno tiskanje uporabljajo več različnih materialov. Najbolj pogosti so:

- guma,
- plastika,
- keramika,
- poliuretanski materiali.

### 2.2 Krajši zgodovinski pregled 3D-tiskanja

Naslednje besedilo je povzeto s spletne strani: <http://www.3d-tisk.si/S201/D65/Zgodovina+3D-tiskanja> in [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing), 10. 1. 2015.

Prvotna oprema in materiali za 3D-tiskanje so bili razviti v 80. letih prejšnjega stoletja. Leta 1981 je Hideo Kodama iz Inštituta Nagoya Municipal Industrial Research izumil metodo tiskanja tridimenzionalnega plastičnega modela s foto-kaljenjem polimera. Nato je leta 1984 Chuck Hull iz 3D Systems Corporation razvil prototip sistema, ki temelji na postopku, znanem kot stereo litografija, v kateri so dodane plasti z ultravijoličnimi laserji. Hullov prispevek je tudi zasnova datotečnega formata STL (STereoLithography), zelo uporabljanega v programski opremi za 3D-tiskanje in tudi digitalnega razreza ter tehnik polnjenja, ki so še danes zelo razširjeni. Izraz 3D-tiskanje se je prvotno nanašal na postopek, ki uporablja standardne in specialne brizgalne glave, čeprav so se pozneje razvile še druge tehnike. Tehnologija, uporabljana v večini današnjih 3D-tiskalnikov (posebej v hobi in poročniško orientiranih modelih), deluje na podlagi oblikovanja modela z iztiskanjem plastike. V 80. in 90. letih

se je razvilo tudi več metod 3D-tiskanja s kovinami na podlagi sintranja ali taljenja (npr. selektivno lasersko sintranje, neposredno sintranja kovine z laserjem). Večina je delovala na principu odzemanja materiala (ne dodajanja), kot npr. CNC-rezkanje. Sredi 90-tih so se pojavile metode z odlaganjem oz. dodajanjem materialov. Okoli leta 2010 je to področje iz izrazito tehnične rabe prešlo v širšo uporabo na področjih izdelave prototipov, hitro prilagodljive proizvodnje in »namizne« (desktop) proizvodnje ipd.

### 2.3 Vrste 3D-tiskalnikov in tehnologij

Naslednje besedilo je povzeto s spletne strani: <http://dne.ena.com/3D-tisk/3D-tisk/3D-tiskanje-spoznajte-tehnologijo.html> in [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing), 10. 1. 2015.

Danes je na razpolago veliko tehnologij 3D-tiskanja. Glavna razlika med njimi je v načinu, kako se nalagajo plasti, in v materialu, ki se uporablja zanje. Pri nekaterih se material tali ali mehča (npr. selektivno lasersko taljenje, neposredno lasersko sintranje), pri drugih pa se tekoč material strjuje (npr. stereo litografija). Obstajajo še druge tehnologije, vsaka pa ima svoje prednosti in slabosti. Glavni dejavnik pri izbiri naprave so običajno hitrost, cena 3D-tiskalnika, stroški tiskanja in izbira materialov ter možnosti barv. Tiskalniki, ki delajo neposredno s kovinami, so praviloma dragi. V nekaterih primerih je cenejši nakup tiskalnika za izdelavo kalupa, ki se nato uporablja za izdelavo kovinskih delov.

Najpogostejše vrste 3D-tiskalnikov oz. uporabljenih tehnologij:

- Iztiskanje staljenega materiala (model je natisnjen tako, da se nanašajo tanke plasti staljenega materiala v večjih plasteh – ta način je uporabljen tudi pri našem tiskalniku).
- Spajanje zrnatih materialov - sintriranje (selektivno spajanje zrnatih elementov na postelji).
- Fotopolimerizacija (pri tem procesu se pod posebnimi pogoji strjuje tekoči polimer).

Več o vrstah 3D-tiskalnikov oz. uporabljenih tehnologij in materialov je zbrano v naslednji tabeli (tabela 1).

Tabela 1: Primerjava glavnih tehnologij 3D-tiskalnikov, vir [6]

Tip	Tehnologija	Materiali
<b>Iztiskanje materiala (angl. Extrusion)</b>	Modeliranje s ciljnim nalaganjem (angl. Fused deposition modeling FDM)	Termoplasti (ABS, PLA), HDPE, evtektične kovine, prebavljivi materiali, guma, glina za oblikovanje, plastika, silikon, porcelan, kovinska glina.

Tip	Tehnologija	Materiali
	Iztiskanje s šobo (angl. Robocasting)	Keramični materiali, kovinske zlitine, kermet, keramične in kovinske matrice.
<b>Tiskanje z žico</b> (angl. Wire)	Izdelava z elektronskim žarkom	Skoraj vse kovinske zlitine.
<b>Tiskanje z granulami</b> (angl. Granular)	Direktno kovinsko lasersko sintranje	Skoraj vse kovinske zlitine.
	Taljenje z elektronskim žarkom (EBM)	Skoraj vse kovinske zlitine, vključno s titanovimi zlitinami.
	Selektivno lasersko taljenje (SLM)	Titanove zlitine, kobalt-kromove zlitine, nerjaveče jeklo, aluminij.
	Selektivno toplotni sintranje (SHS)	Termoplastični prah.
	Selektivno lasersko sintranje (SLS)	Termoplasti, kovinski prah, keramični prah.
<b>Tiskanje s prahom in šobami</b> (angl. Powder bed and inkjet head 3D printing)	3D-tiskanje z mavcem (PP)	Mavec.
<b>Laminiranje (angl. Laminated)</b>	Proizvajanje plastificiranega modela (angl. LOM)	Papir, kovinska folija, plastični film.
<b>Polimerizacija s svetlobo</b> (angl. Light polymerised)	Stereo litografija	Fotopolimeri.
	Digitalno svetlobno procesiranje (angl. DLP)	Fotopolimeri.

Več o tehnologijah 3D-tiskalnikov je v nemščini dostopno na spletišču: <http://www.3d-drucker-world.de/3d-druckverfahren>, 18. 2. 2015.

Materiali se nanašajo plast za plastjo na različne načine. Najbolj razširjen je način stiskanja staljenega polimera skozi tanko šobo (na ta način tiska naš tiskalnik). Da lahko 3D-objekt natisnemo, morajo biti šoba in/ali še drugi deli tiskalnika zmožni premikanja po vseh treh oseh.

## 2.4 Osnovna predstavitev tiskalnika RepRap MendelMax 2.5

MendelMax 2.5 je 3D-tiskalnik, ki ga je razvilo podjetje RepRap. Cel tiskalnik je dolg 47 cm, širok 45 cm in visok 45 cm. Z njim je možno natisniti predmet, ki je velik največ 32 cm x 25 cm x 25 cm. 3D-predmeti, ki jih s tem tiskalnikom natisnemo, so natančni do desetinke milimetra.

Na uradni spletni trgovini ta tiskalnik stane 1400 €, lahko pa za ta tiskalnik dobimo tudi načrt in nekatere dele celo natisnemo sami, medtem ko druge izdelamo iz kovine, preostale dele, kot so elektromotorji in integrirana vezja, pa kupimo preko interneta ali v specializiranih trgovinah.

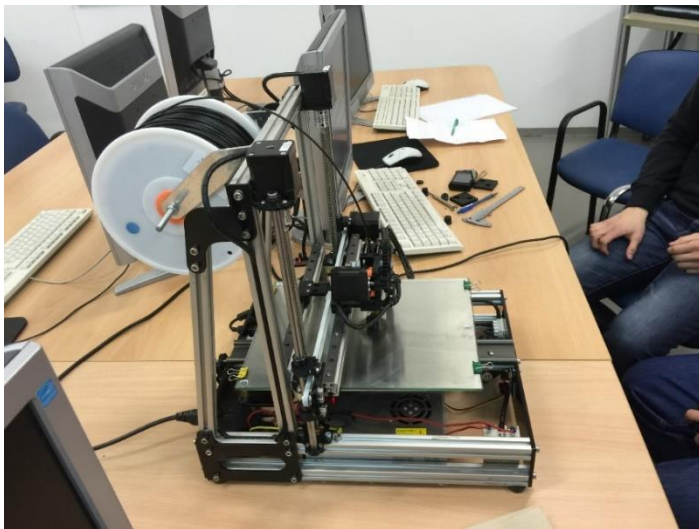
Tiskalnik lahko tiska z dvema vrstama plastike, in sicer PLA- in ABS-plastiko

(<http://www.reprap.cc/shop/en/content/mendelmax-25>, 7. 1. 2014).

Tehnični podatki:

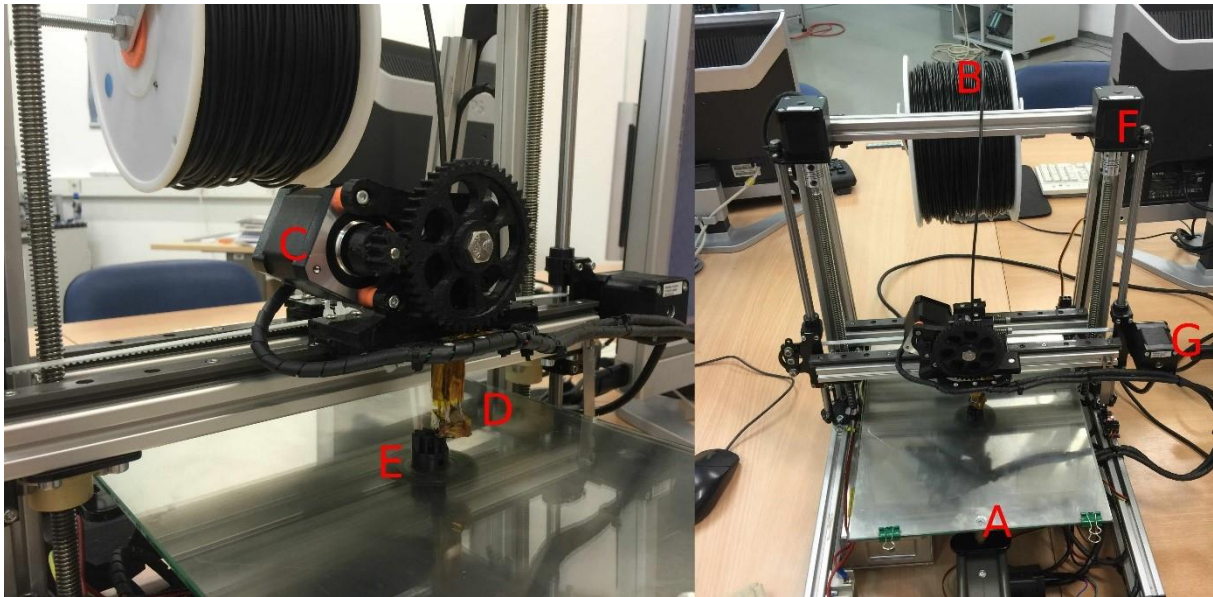
- Velikost tiskalnika (W / L / H): 450x470x450 mm
- Obseg tiskanja (X / Y / Z): cca.: 320x250x250 mm
- Potovalna hitrost: do 200 mm/s
- Sprememba položaja oz. največja natančnost: 0,1 mm
- Materiali: ABS / PLA + vsi drugi materiali za običajne 3D-tiskalnike
- Ogrevana postelja (podlaga)
- Okvir: aluminij
- Gibanje: linearno vodilo (X- in Y-osi), natančnost pozicioniranja po Z-osi
- Ogrevana postelja: 24 V, 200 W
- Napajanje: 110-230 VAC

Na naslednji fotografiji vidimo tiskalnik MendelMax 2.5 (slika 1).



*Slika 1: Fotografija tiskalnika MendelMax 2.5, lasten vir*

Slika 2 prikazuje glavne sestavne dele 3D-tiskalnika.



Slika 2: Glavni deli tiskalnika MendelMax 2.5, lasten vir

Glavni sestavni deli 3D-tiskalnika MendelMax 2.5 so:

- A. Ogrevana podlaga za tiskanje, imenovana postelja (angl. Heatbed), ta se pomika po Y-osi.
- B. Kolut s plastično nitjo (material za tiskanje).
- C. Koračni motor za iztiskanje žice.
- D. Tiskalna glava oz. šoba (angl. Extruder).
- E. Tiskanje 3D-modela.
- F. Koračni motor in vodilo za premikanje po Z-osi.
- G. Koračni motor in vodilo za premikanje po X-osi.

Pred tiskanjem potrebujemo 3D-modele in v naši raziskovalni nalogi smo izbrali Blender kot modelirnik le-teh.

## 2.5 Modeliranje v programu Blender

V Blenderju je možno modelirati (ustvarjati 3D-predmete ali modele), animirati, upodabljati (ustvarjati filme ali slike), izvesti kompozicijo in filmsko montažo vključno z zvokom in 3D-interaktivno vsebino oz. igro (angleško je to na kratko model – shade – animate – render – composite – interactive – 3D).

Je odprtokoden, kar pomeni, da ga lahko zastonj prenese kdorkoli na njihovi spletni strani (<http://www.blender.org>, 15. 11. 2014).

Razvili so ga v nizozemskem studiu Neo Geo. Na začetku je bil program plačljiv, leta 2002 pa ga razvijalci dajejo širši javnosti brezplačno.



## 2.6 Predstavitev formatov za 3D-tiskanje

### 2.6.1 Format STL

Najpogostejši format za tiskanje je STL-format. Kratica STL pomeni stereo litografija oz. angl. 'STereoLitography' ali Standard Tessellation Language. To je oblika formata, ki ga zna brati program, ki upravlja s 3D-tiskalnikom. Ta format opiše le površino geometrije 3D-objekta.

Naslednje besedilo je povzeto po: [http://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_%28file\\_format%29](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_%28file_format%29), 15. 12. 2014.

Ta datotečni format je podprt s številnimi drugimi pisarniškimi paketi; pogosto se uporablja za hitro izdelavo prototipov in računalniško podprto proizvodnjo. STL-datoteke opisujejo samo geometrijsko površje tridimenzionalnega objekta brez zapisa barve, teksture ali druge običajne CAD-lastnosti modelov. Format STL omogoča tako ASCII in binarni zapis teh podatkov. Binarne datoteke so bolj pogosto v uporabi, saj so bolj kompaktne. Datoteka .stl opisuje nestrukturirano triangulirane površine, ki jih v enotskih normalah in ogliščih (ki so praviloma zapisana po desnem pravilu) sestavljajo trikotniki, ki uporabljajo kartezični tridimenzionalni koordinatni sistem. STL-koordinate morajo biti pozitivne številke in ne vsebujejo nobenih informacij o skaliranju, uporabljene enote so poljubne.

Drugi formati za 3D-tisk, ki jih omogoča Blender, so še: OBJ, X3D, VMRL2 in PLY (slika 3).



Slika 3: Formati za 3D-tisk, ki jih podpira Blender, lasten vir

### 2.6.2 Format OBJ

Naslednje besedilo je povzeto po: <http://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/data/obj/obj.html>, 15. 12. 2014.

OBJ je podatkovna struktura, ki vsebuje primere OBJ-datoteke, ta format shrani podatke opisa površine 3D-objekta, ki je sestavljen iz trikotnikov ali poligonov višje stopnje in je pod GNU LGPL-licenco. Značilnosti OBJ-datoteke: ASCII (obstaja tudi binarni različica, za katere se uporablja "MOD" podaljšek v imenu datoteke); omogoča zapis barve površja; 3D-podatki; ne omogoča stiskanja; vsebujejo definicije 1 ali več imenovanih 3D-objektov;

Več podatkov o tem formatu je dostopnih na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront\\_.obj\\_file](http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file), 15. 12. 2014.



### 2.6.3 Format X3D

Naslednje besedilo je povzeto po: <http://en.wikipedia.org/wiki/X3D>, 15. 12. 2014.

X3D je ISO-standard, ki temelji na datotečnem formatu XML in se uporablja za zapis 3D-računalniške grafike. To je naslednik Virtual Reality Modeling Language (VRML). X3D-funkcije razširitve VRML (npr. CAD, geoprostorske, humanoidne animacije, NURBS itd), sposobnost za kodiranje scene z uporabo sintakse XML kot tudi Open -Inventor sintakse VRML97 ali binarni zapis in izboljšano vmesniki za programiranje aplikacij (API). Razširjen X3D podpira večstopenjsko in več-teksturo upodabljanje; podpira tudi senčenje s lightmapami in normalmapami. Od leta 2010 X3D podpira t. i. odloženo arhitekturo upodabljanje. Uporabnik lahko uporablja tudi optimizacije vključno BSP / štiriško / oktalna drevesa (angl. OctTree) ali izločitev v X3D- sceni. X3D lahko delajo z drugimi odprtokodnimi standardi, vključno z XML, DOM in XPath. Več o verzija X3D je dostopno na spletišču: <http://www.web3d.org/>, 15. 12. 2014.

### 2.6.4 Format VMRL2

Naslednje besedilo je povzeto po: <http://en.wikipedia.org/wiki/VRML>, 15. 12. 2014.

VRML (Virtual Reality Modeling Language, pred letom 1995 je bil znana kot Virtual Reality Markup Language) je standardni format datotek, ki predstavlja 3-dimenzionalno (3D) interaktivno vektorsko grafiko, ki je namenjena predvsem za uporabo na svetovnem spletu. Ta zapis je bil nadomeščen z X3D.

VRML ali jezik za modeliranje navidezne resničnosti (angleško Virtual Reality Modelling Language) je metoda prikazovanja tridimenzionalnih podob na spletnih straneh. VRML je platformsko neodvisen programski jezik, ki ustvari prizor navidezne resničnosti, skozi katerega se lahko uporabniki »sprehajajo« in sledijo povezavam, podobno kot pri »običajni« spletni strani.

### 2.6.5 Format PLY

Naslednje besedilo je povzeto po: [http://en.wikipedia.org/wiki/PLY\\_%28file\\_format%29](http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_%28file_format%29), 15. 12. 2014.

PLY je oblika računalniške datoteke znan kot poligonski datotečni format angl. Polygon File Format ali znan še kot Stanford Triangle Format. Na Univerzi Stanford v okvirju digitalnega Michelangelov projekta uporablja format ply za izjemno visoko ločljivost 3D-optično branje Michelangelovega kipa "Davida". Format je bil v glavnem namenjen za shranjevanje tridimenzionalnih podatkov iz 3D-skenerjev. Podpira dokaj preprost opis enega predmeta kot seznam nominalno ravnih poligonov. Mogoče je shraniti tudi različne lastnosti: barvo in prosojnost, površinske normale, teksturne koordinate in vrednotenje zaupanja podatkov. Oblika omogoča zapis, da imajo različne lastnosti sprednji in zadnji poligon. Obstajata dve različici datotečnega formata, ena v ASCII, drugi v binarni obliki.

Pipistrelovo podjetje ponuja na spletu <http://www.3d-studio.si/storitve/3d-print> storitve tiskanja v formatih .STL, .VRM, .PLY, .3DS.

## 2.7 Nasveti za pripravo pravih 3D-modelov

Osnovna pravila pri 3D-modeliranju za tisk so:

1. Predmet mora biti enoten.
2. Priporočeno je, da je predmet votel (zmanjša stroške tiskanja, saj se natisnejo le stene predmeta).
3. Merske enote in merilo.
4. Ali lahko predmet stoji sam ali mora imeti podstavek, je pomembno, ko tiskamo npr. modele ljudi ali podobne stvari.
5. Kompleksnost predmeta (če želimo zmanjšati stroške tiskanja, je priporočljivo, da je predmet čim preprostejši).

Ta pravila so pozneje praktično predstavljena.

## 2.8 Uporaba Blenderja pri pripravi modela za 3D-tisk

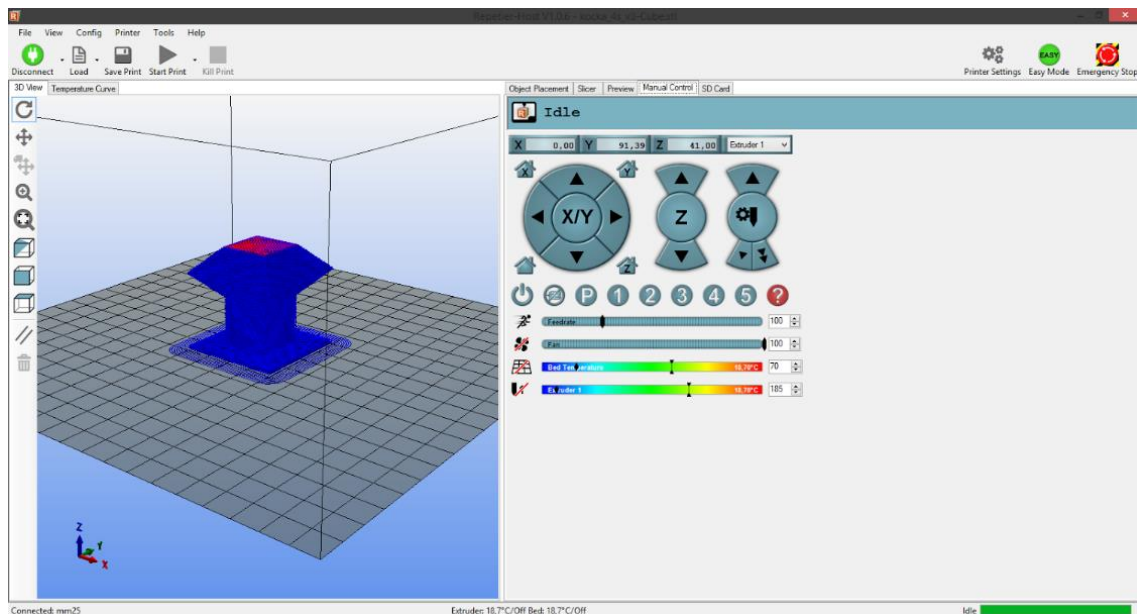
Blender je kot večina programov za 3D-oblikovanje zahteven za uporabo. Tudi pri 3D-tiskanju se moramo držati nekaterih pravil in smernic, ki pomagajo zmanjšati stroške in omogočajo uspešno tiskanje.

## 2.9 Repetier Host

Repetier-Host 1.0.6 je dokaj preprost program za nadziranje in pošiljanje datotek na 3D-tiskalnik. V njem lahko dodajamo in urejamo STL-datoteke, ki smo jih izvozili iz programa za 3D-oblikovanje. Vključuje tudi vgrajen program za »rezanje«, imenovan Slic3r. Možno je tudi preklapljanje med dvema rezalnikoma na plasti, in sicer med Slic3r-jem ter Skeinforge-om.

Vanj je vključen tudi urejevalnik G-kode. V njem je mogoče spremeniti, shraniti ali analizirati kodo. Repetier Host lahko naložimo na operacijski sistem Windows XP (ali novejši), Linux in Mac OS X. Ob zagonu progama Repetier Host (slika 4) vidimo njegovo pravo zaslonsko okno.

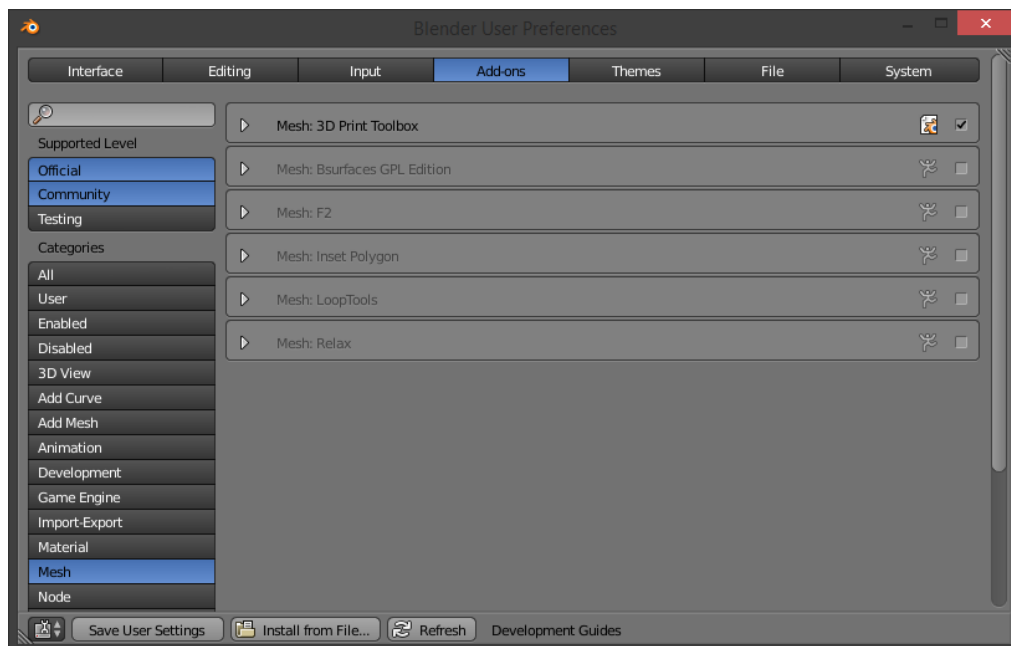




Slika 6: Ročne kontrole za upravljanje položaja ogrete postelje, pomikanje in izrivanje plastične niti, lasten vir

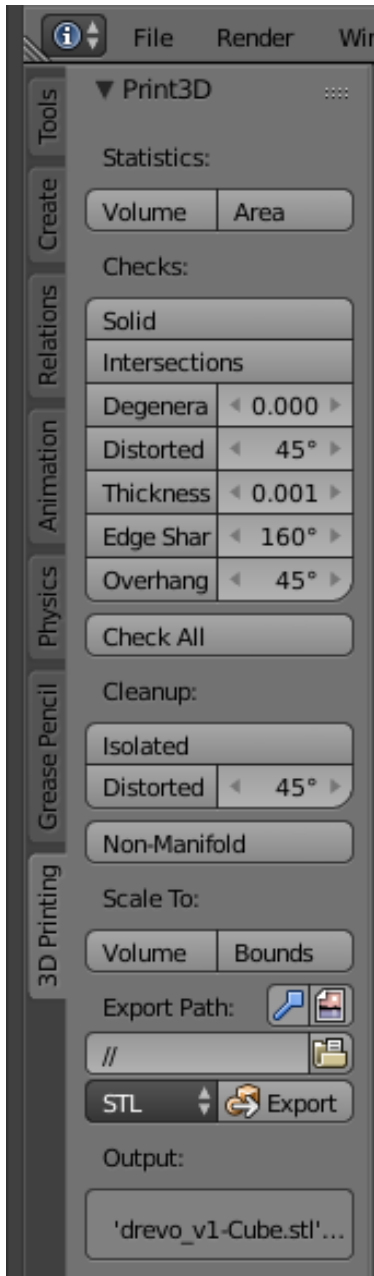
## 2.10 Priprava 3D-modelov za tisk

Ko modele dokončamo v modelirniku, jih je treba izvoziti npr. kot .stl datoteko, ki jo program za 3D-tiskanje »razume«. Iz programa Blender lahko izvozimo datoteko, v tem formatu lahko uporabimo postopek, ki je opisan že v prejšnjem delu naloge ali pa v Blenderju vključimo knjižnico 3D Print Toolbox (slika 7). To najdemo tako, da v zavihku User Preferences izberemo meni Mesh in preprosto označimo kljukico v potrditvenem polju za prikaz željenega zavihka v orodjarni (angl. Tool Shelf).



Slika 7: Vkllop prikaza Mesh 3D Print Toolbox, lasten vir

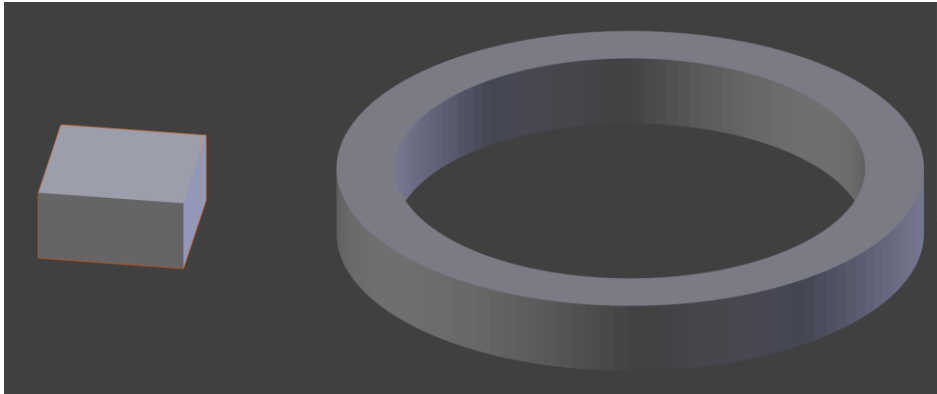
Ko smo to knjižnico vključili, se nam mora na levi strani pojaviti zavihek 3D Printing (slika 8), v katerem lahko enostavno z enim klikom izvozimo .stl datoteko ali preverimo, če je naš predmet za tiskanje primeren.



Slika 8: Zavihek v Blenderjevi orodjarni oz. Toolbox 3D Printing z možnostjo preverjanja modela (angl. Checks), lasten vir

### 3 MATERIALI IN METODE DELA

Za določanje kakovost tiska smo najprej v Blenderju modelirali osnovne oblike modela kvadratne prizme (robovi: 2 x 2 x 1 cm) in primeru obroča (premer 4,7 cm, višina 0,5 cm, debelina stene 0,5 cm) in potem naredili več poskusov tiskanja z različnimi kombinacijami parametrov tiskanja (slika 9).



Slika 9: Testna modela kvadratne prizme in obroča

Pri merjenju kakovosti tiska in določanju gostote plastične žice za izrivanje smo uporabili različne merilnike (slika 10, z leve na desno):

- precizna tehtnica (KERN EW),
- termo kamera (FLUKE Ti 25),
- merilnik vlage in temperature (FLUKE 971),
- kljunasto merilo (HOLEX),
- tračno merilo (meter).



Slika 10: Uporabljene merilne naprave in pripomočki, lasten vir



### 3.1 Priprava tiskalnika MendelMax 2.5 za 3D-tisk

Da lahko sploh pričnemo tiskati naše modele, je treba tiskalnik tudi pripraviti. To vsebuje kalibriranje postelje, ogrevanje postelje in tiskalnika in povezavo z računalnikom.

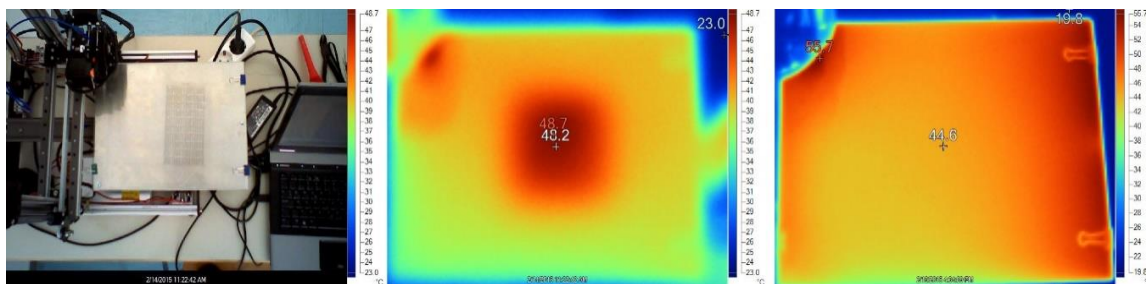
Mizo kalibriramo (umerimo) s privijanjem ali odvijanjem treh vijakov, s katerimi je pritrjena postelja. S tem višamo oz. nižamo njen položaj. Postelja je prav umerjena, ko lahko med tiskalno glavo in posteljo z minimalnim uporom drsi list papirja. Pomembno je, da je postelja umerjena po njeni celotni površini.

Preko USB-priključka 3D-tiskalnik priključimo na računalnik, na katerega smo že prej naložili predvideno programsko opremo. Nato ga priključimo na električno napetost.

Ko smo to naredili, tiskalnik povežemo z računalnikom s funkcijo Connect. Da se vsi željeni deli pravilno ogrejejo, jih v zavihku Manual Control označimo in nastavimo željeno temperaturo.

Ogreti moramo tiskalno glavo s šobo (angl. Extruder) in posteljo (angl. Print Bed). Tiskalna glava se ogreje na temperaturo med 185 in 200 stopinj Celzija. Postelja se navadno nastavi na temperaturo okoli 70 stopinj Celzija. Slednja praviloma rabi bistveno več časa, da se ogreje na željeno temperaturo, kot tiskalna glava.

Spodnje termo slike (slika 11), ki so bile posnete s toplotno kamero, prikazujejo gretje postelje v roku dvajsetih minut s časovnimi intervali 5 minut.



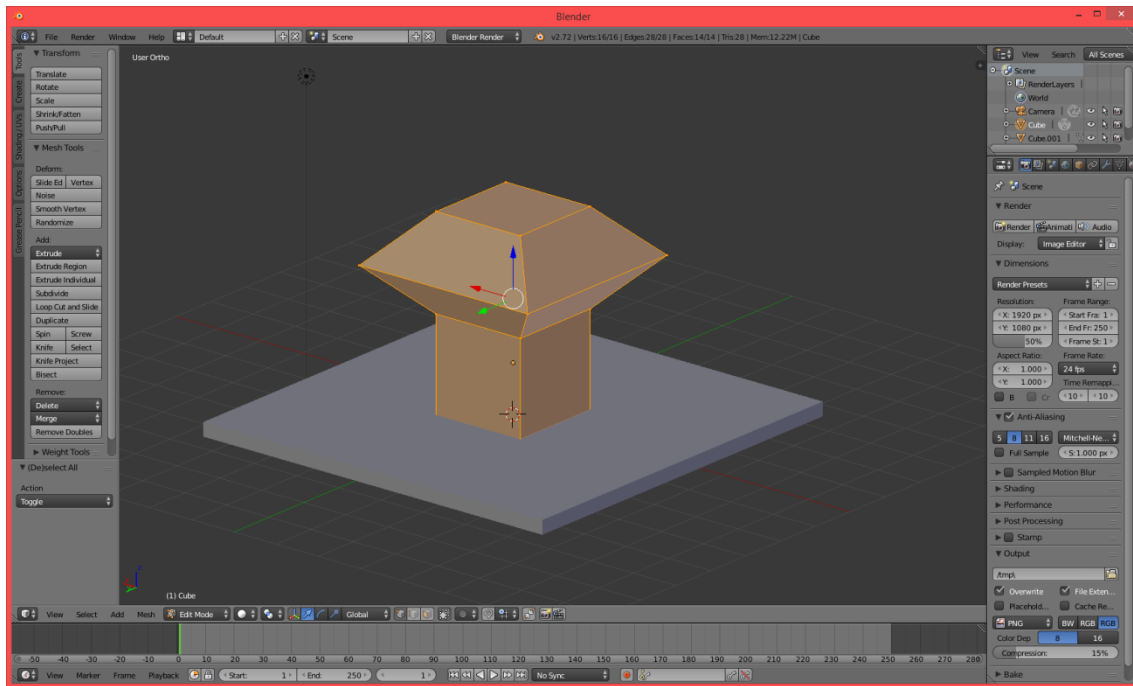
Slika 11: Postelja, slikana s termo kamero po petih in dvajsetih minutah (z leve na desno), lasten vir

### 3.2 Praktični primeri za pripravo pravih 3D-modelov

Prej smo imeli našeta osnovna pravila pri 3D-modeliranju za tisk, sedaj v nadaljevanju bo to praktično pojasnjeno.

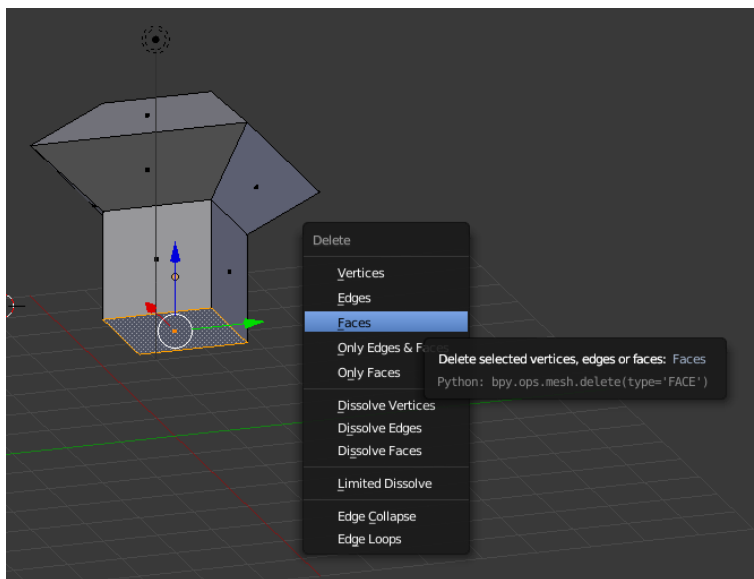
#### 3.2.1 Predmet mora biti enoten

Predmet, ki je oranžno osenčen (slika 12), ni enoten s kvadrom podlage (dva ločena predmeta), zato ga tudi 3D-tiskalnik ne more natisniti. Da ga naredimo iz enega dela, moramo spodnji kvader združiti z zgornjim delom, oranžno označenim predmetom.



Slika 12: Neenoten oz. večdelni predmet, lasten vir

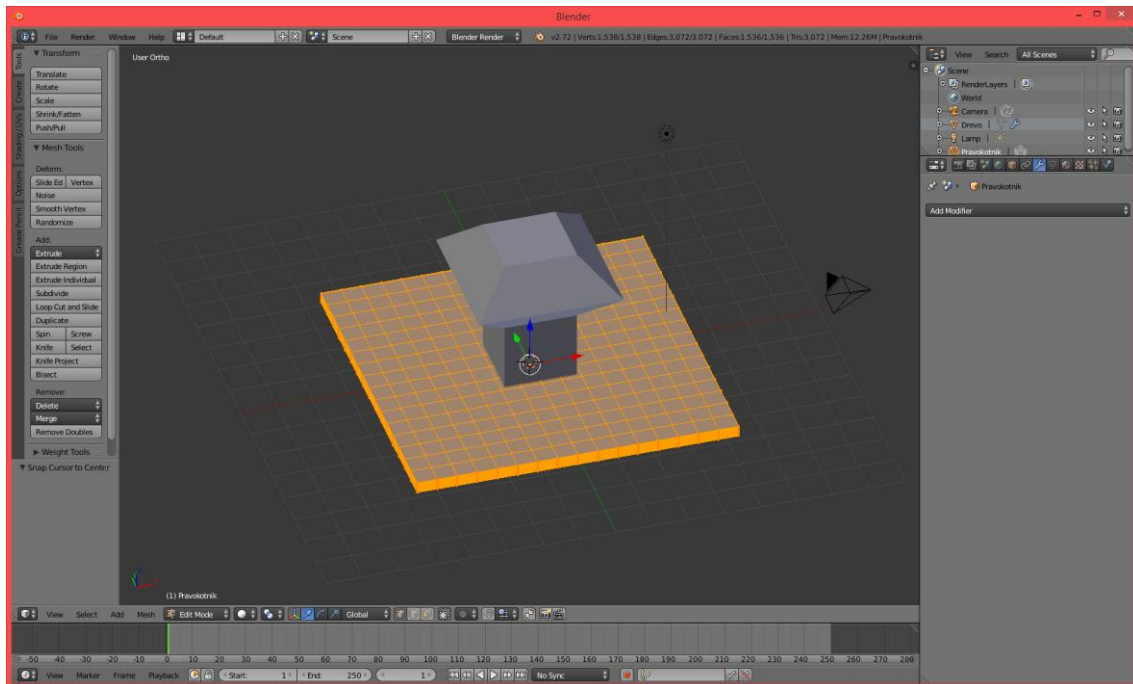
To bomo naredili tako, da bomo osnovni predmet (poimenujmo ga drevo) izbrali v objektnem načinu in združili oba objekta v enega s pomočjo modifikatorja Boolean.



Slika 13: Drevesu odstranimo spodnjo ploskev, lasten vir

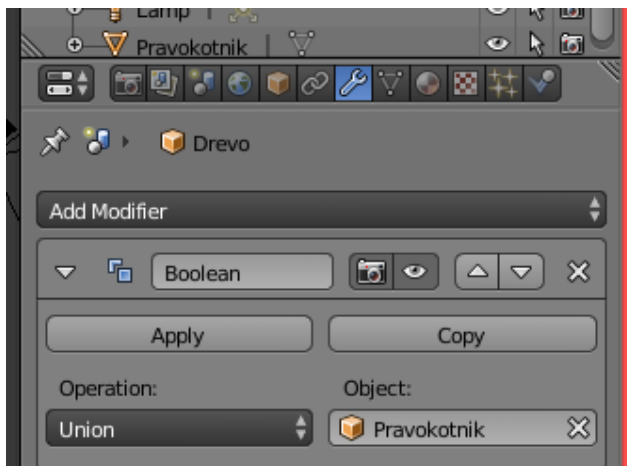
Da drevesu odstranimo spodnjo ploskev (slika 13), je pomembno zato, da predmet naredimo votel in kasneje dodamo modifikator Solidify, s katerim predmetu naredimo debelejšje stene.





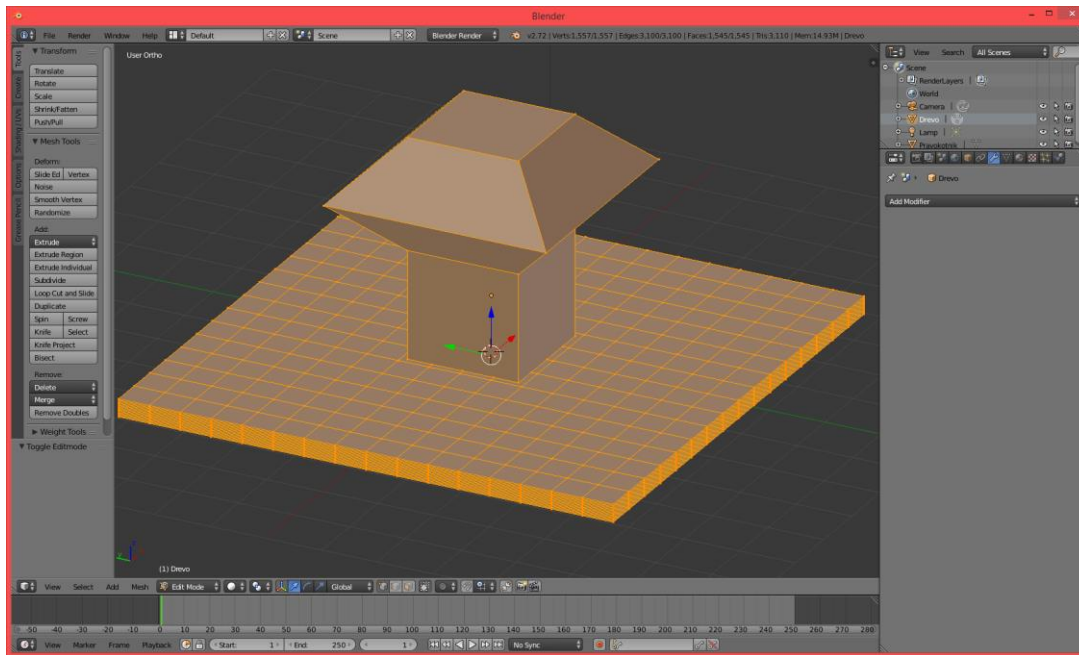
Slika 14: Kvader razdelimo na več delov, kar je uporabno za naslednje korake obdelave, lasten vir

Opcija Union pri modifikatorju Boolean oba predmeta združi v enega brez podvajanja točk (slika 15).



Slika 15: Dodajanje modifikatorja Boolean, lasten vir

Predmeta preprosto postavimo v željeno lego in potrdimo našo izbiro s klikom na gumb Apply (slov. Uporabi).

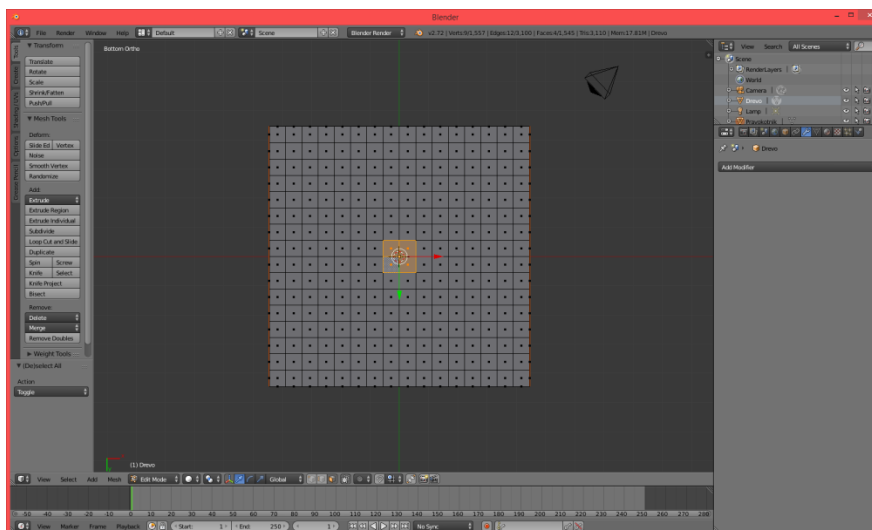


Slika 16: Predmeta združena v enega, lasten vir

### 3.2.2 Predmet naj bo votel

Da zmanjšamo porabo materiala za tiskanje in posledično tudi prihranimo denar, je priporočeno, da predmet naredimo votel. Če recimo natisnemo kocko z robom 20 cm, bomo za to porabili  $8000 \text{ cm}^3$  materiala, če pa naredimo votlo kocko s steno, ki je debela 2 mm, pa bomo porabili le približno  $237 \text{ cm}^3$  materiala (potreben volumen materiala lahko preverimo npr. v Blenderjevem zavihku Toolbox 3D Printing).

Da bi prihranili tudi pri našem predmetu, smo pri drevesu odstranili spodnjo ploskev in mu »odvzeli« volumen. Pri kvadru bomo naredili podobno zadevo, vendar bomo namesto cele spodnje ploskve odstranili le štiri segmente in tako naredili manjšo luknjo (slika 17).



Slika 17: Na sredini smo označili štiri segmente, ki jih bomo odstranili, lasten vir

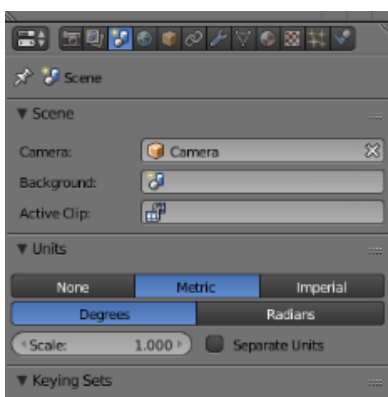
Pomembno je, da odstranimo ploskve, ki so na manj vidnem mestu (npr. na spodnjem delu), saj bo tudi na našem natisnjenem objektu luknja.

Naslednji korak je, da določimo merilo in merske enote, preden dodamo modifikator Solidify, ki bo odebelil stene objekta.

### 3.2.3 Merske enote in merilo

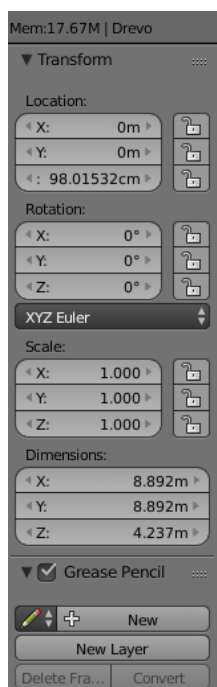
Da lahko predmet natisnemo s 3D-tiskalnikom, moramo najprej določiti mere objekta in merilo.

Da pretvorimo iz Blenderjevih enot v metre in centimetre, preprosto v meniju Scene na desni strani pod zavihkom Units izberemo Metric (metrični sistem) (slika 18).



Slika 18: Izbira enot meter(angl. Metric) , lasten vir

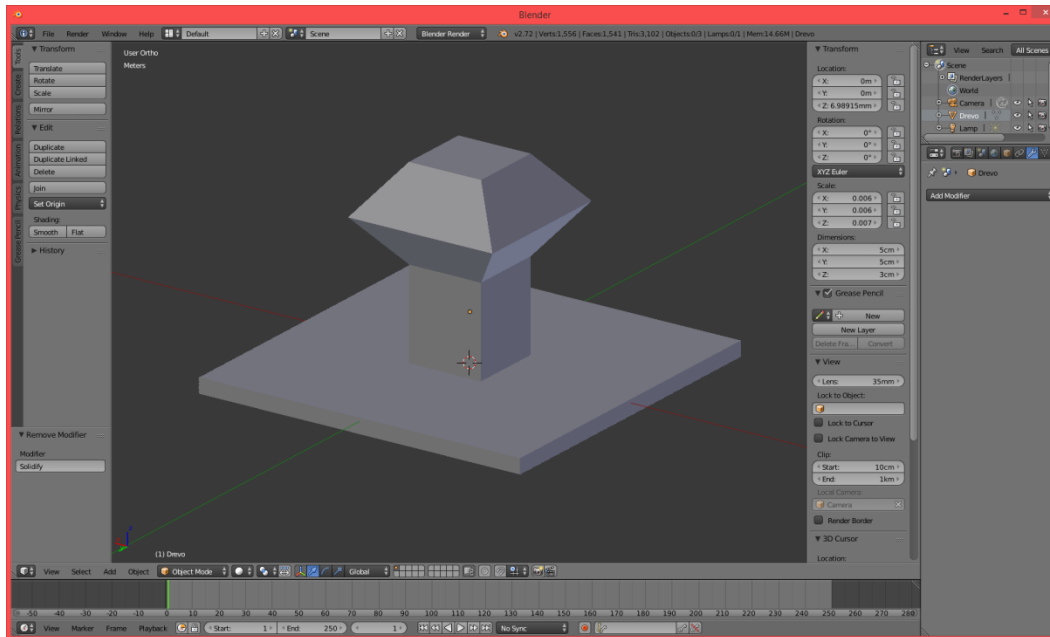
V urejevalniku Tools self v panelu Transforms natančno vidimo dimenzije, merilo in pozicijo predmeta (slika 19).



Slika 19: Položaj, zasuk, skalirni faktor in dimenzije predmeta, lasten vir

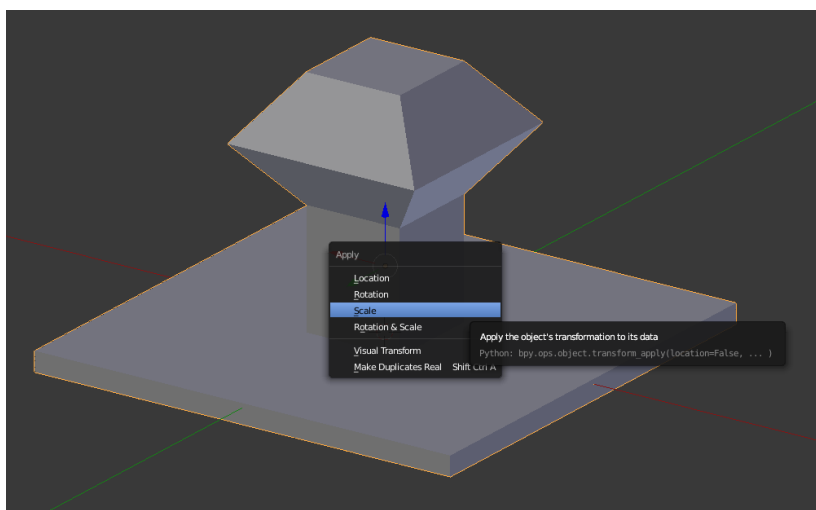
V meniju, ki ga odpremo s klikom na črko N na tipkovnici, vidimo predvsem številske podatke, med katerimi opazimo, da je predmet velik 9x9x4 metre, kar je za tiskalnik veliko preveč. Pri našem predmetu bodo dimenzije okrog 5x5x3 centimetre.

Da to naredimo, predmet preprosto skrčimo s funkcijo Scale, ki jo vključimo s pritiskom na tipko (S) na tipkovnici (slika 20).



Slika 20: Pomanjšan predmet, lasten vir

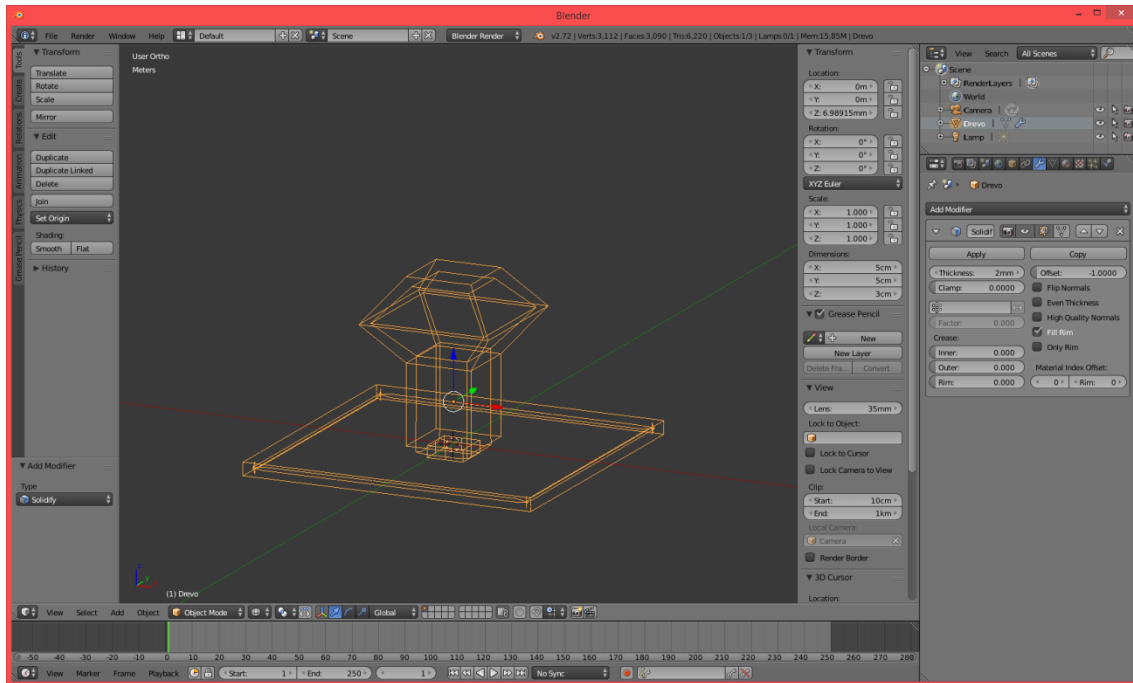
Ko predmetu določimo dimenzije, moramo ponastaviti tudi merilo, da pri tiskanju ne pride do težav. To naredimo tako, da pritisnemo tipki Ctrl + (A) in izberemo opcijo Scale (slika 21).



Slika 21: Ponastavljanje merila, lasten vir

### 3.2.4 Dodajanje modifikatorja Solidify

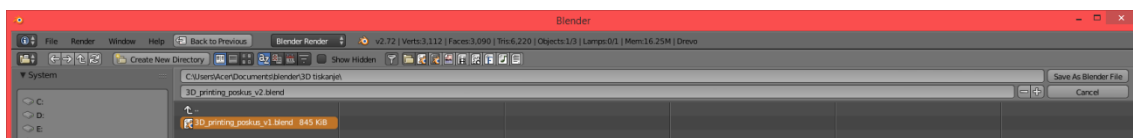
Ko smo z urejanjem predmeta in merili končali, je čas, da našemu predmetu odebelimo stene. To lahko naredimo na več načinov. Najbolj enostaven način za naš predmet je uporaba modifikatorja Solidify, s katerim lahko po želji določamo debelino sten (slika 22).



Slika 22: Določanje debelino sten v modifikatorja Solidify, lasten vir

Za naš lik bo dovolj, če bo debelina sten 2 mm, če pa želimo natisniti večji objekt, pa bi bilo priporočljivo izbrati debelino, ki se nam zdi ustrezna.

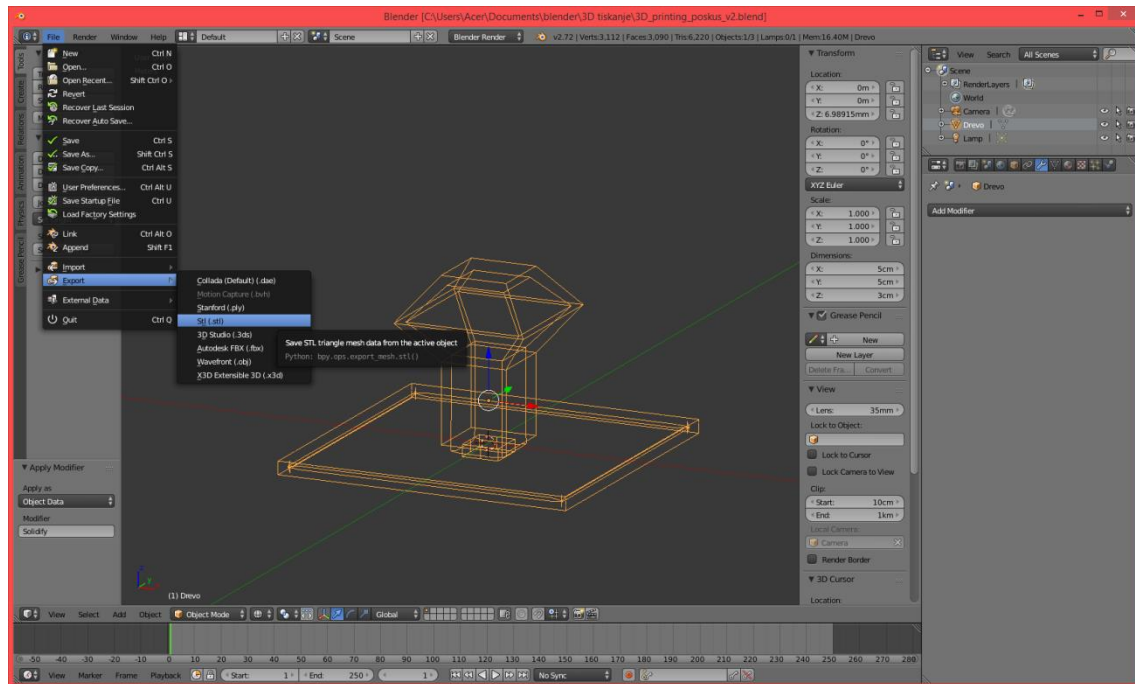
Ko z oblikovanjem končamo, moramo datoteko še shraniti. Shranimo jo lahko v formatu `.blend`, ki je osnovni datotečni format Blenderja (slika 23).



Slika 23: Shranjevanje datoteke s podaljškom `.blend`, lasten vir

Da lahko predmet tudi natisnemo s 3D-tiskalnikom, moramo datoteko izvoziti v pravem formatu, ki ga zna tiskalnik »brati«. Najbolj pogost je format `.stl`.

To naredimo tako, da v menijski vrstici v Blenderju izberemo možnost Export in izberemo prej omenjeni format ali uporabimo zavihek 3D-tiskanje (angl. 3D Printing) (slika 24).



Slika 24: Izvoz v STL-format s pomočjo menija File |Export, lasten vir

### 3.3 Drugi modeli za tiskanje in postopki izdelave

Poleg »drevesa« smo se odločili izdelati še več modelov, kot so napis na pravokotni podlagi in model električne kitare.

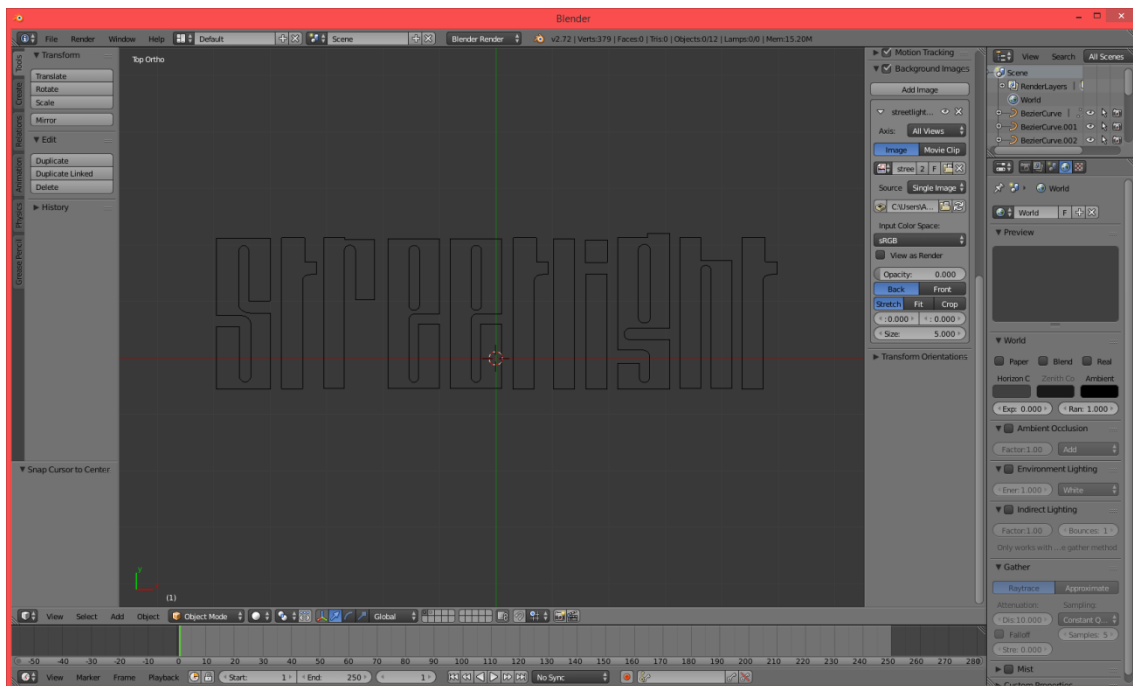
#### 3.3.1 Napis Streetlight Manifesto

Naredili smo 3D-logotip glasbene skupine Streetlight Manifesto (slika 25). Ta model smo naredili tako, da smo s krivuljami (angl. Curves) obrobili črke na spodnji sliki in jih razširili v višino. Ker ta model ne bo visok, ga bomo natisnil kot polnega in ne votlega.



Slika 25: Šablona za napis, vir [4]

V Blenderju je s krivuljami precej enostavno poustvariti stvari, kot so logotipi, napisi, simboli, itd. (slika 26).



Slika 26: Prvi del napisa, lasten vir

Če jih želimo kasneje urejati kot Mesh-objekte, jih moramo »pretvoriti« s funkcijo Alt + C in nato izberemo možnost Curve to Mesh (slika 27).

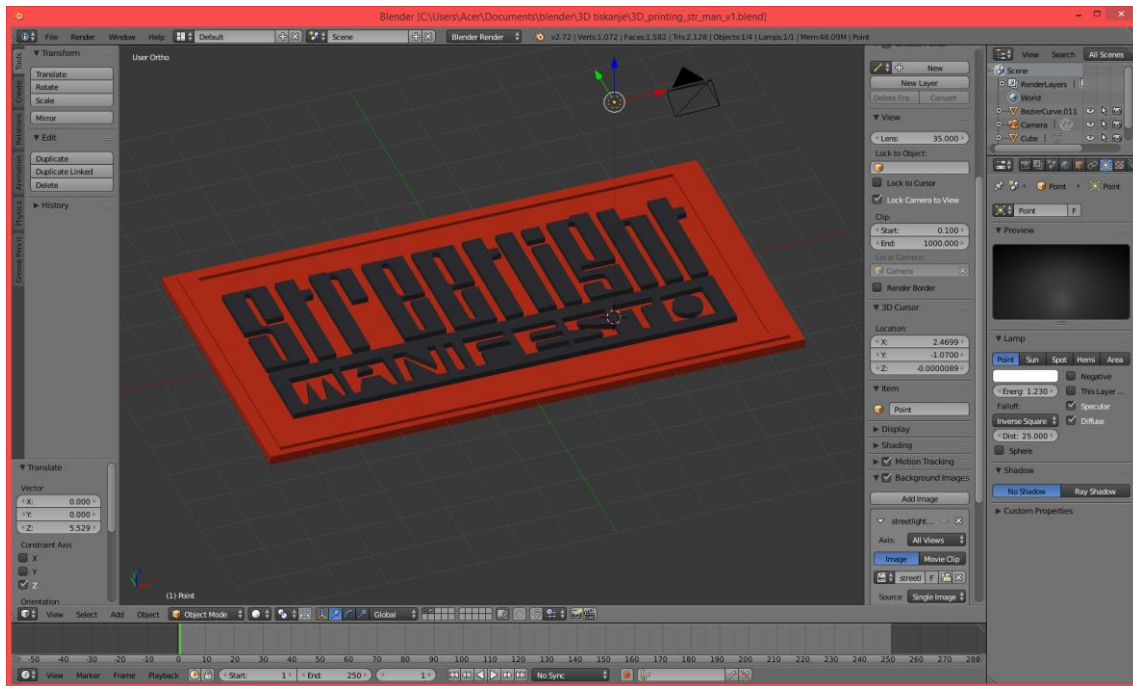


Slika 27: Modeliranje z 2D-krivuljami, lasten vir

Za lažje oblikovanje pretvorimo 3D-krivulje v 2D-krivulje, s katerimi lahko upravljamo po dveh oseh.

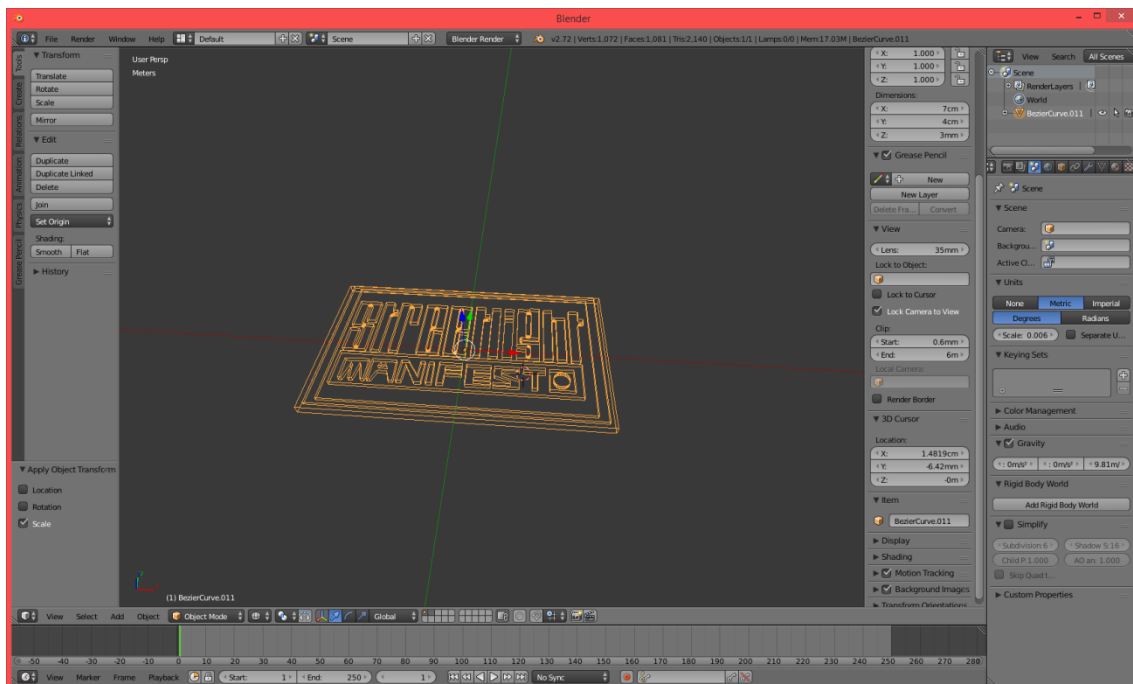
Na naslednji sliki se vidi končan napis, ki je pobarvan (slika 28).





Slika 28: Končan napis, lasten vir

Sledi pomanjšanje napisa in ponastavitev merila, kot smo opisali že pri prejšnjem modelu (slika 29).



Slika 29: Pomanjšan napis in ponastavljeno merilo, lasten vir

Nato model še izvozimo kot .stl datoteko, ki jo lahko »bere« 3D-tiskalnik.



### 3.3.2 Kitara

V okviru naloge smo naredili tudi model pokončne električne kitare na okroglem podstavku (podstavek je pomemben zaradi pokončne lege predmeta). Namen je bil ugotoviti, če lahko tiskalnik natisne tudi bolj zahtevne oblike, kot so krivulje na trupu kitare.

Kljub temu bo model precej preprost, saj se ne bomo spuščali v podrobnosti, kot so strune, magneti, uglaševalci ...

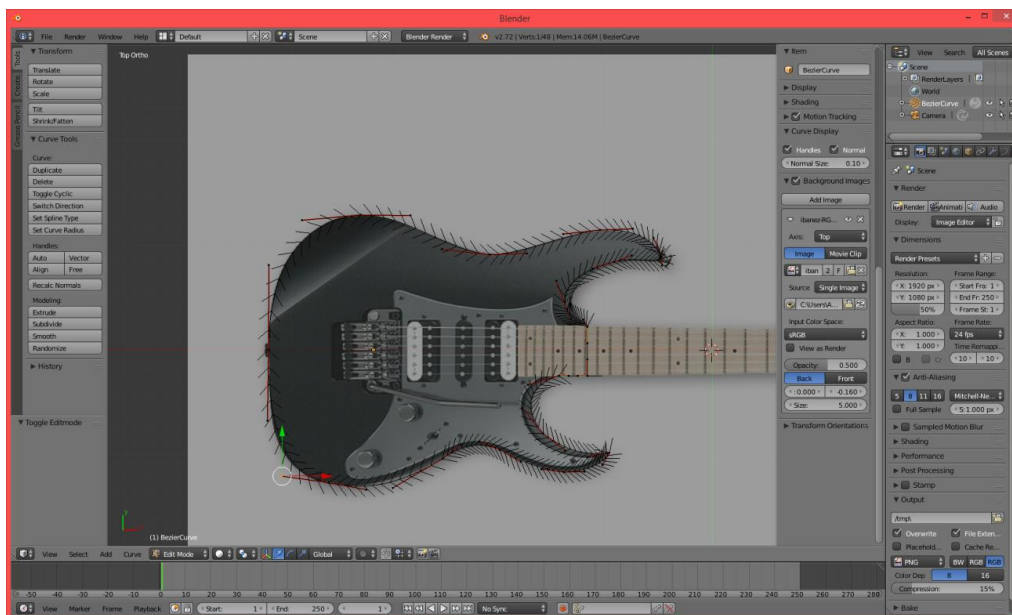
Kot osnovo smo si izbrali Ibanezovo kitaro RG – 35550 MZGK, ki jo lahko vidimo na sliki spodaj (slika 30) in jo uvozili v Blener kot ozadje.



Slika 30: Ibanez RG – 35550 MZGK, vir: [5]

Slika 31: Osnova za kitaro, lasten vir

Tega predmeta se bomo lotili podobno kot napisa, vendar bo narejen iz treh kosov, in sicer iz trupa, vratu in glave. Začeli smo z izdelavo trupa (slika 32). Preprosto dodamo krivuljo in sledimo robu na sliki, ki jo imamo kot šablono.



Slika 32: Izdelava trupa kitare, lasten vir

Naslednji korak je izdelava vratu kitare. Za ta del, ki je precej preproste oblike, lahko uporabimo kar Mesh telo, kot na primer kocko ali kar pravokotnik. V primeru modela kitare smo uporabili pravokotnik in ga postavili na začetek vratu na šabloni in ga preprosto raztegnili do konca vratu ter ga na ožjem delu malo skrčili (slika 33).



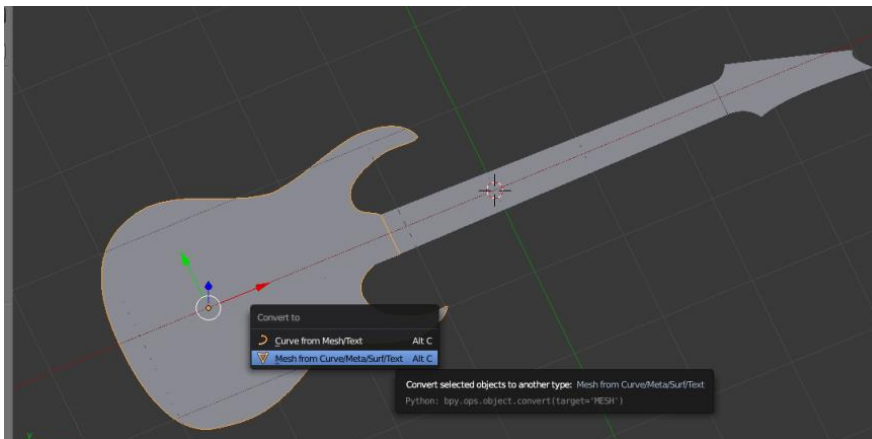
Slika 33: Izdelava vratu kitare, lasten vir

Glave kitare (del na koncu vratu, kamor so vpete strune) zaradi kompleksne oblike z Mesh objektom ne bi natančno poustvarili, zato smo uporabili krivulje (slika 34).



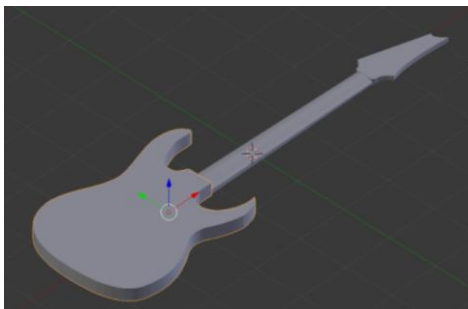
Slika 34: Izdelava glave kitare s krivuljami, lasten vir

Da bomo lahko model natisniti, mu moramo dodati maso in volumen. To naredimo tako, da pretvorimo 2D-krivulje v Mesh objekte in nato razširimo predmete po Z-osi s funkcijo Extrude (E) (slika 35).



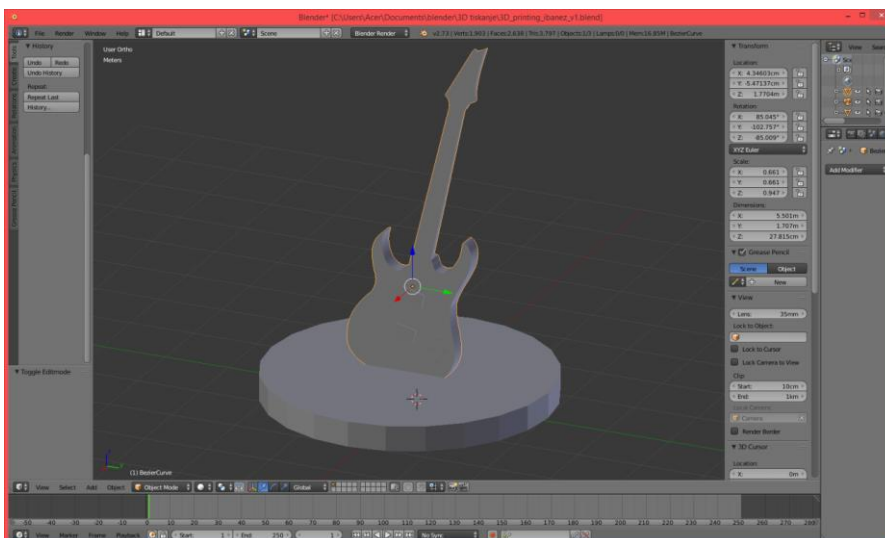
Slika 35: Pretvarjanje krivulje v Mesh objekt, lasten vir

Naslednji korak je, da združimo vse tri dele v enega z modifikatorjem Boolean (opcija Union) in dobimo končan model kitare (slika 36).



Slika 36: Končan model kitare, lasten vir

Sledi še dodajanje podstavka in postavitve kitare v željeno lego (slika 37). Predmet še pomanjšamo in ga izvozimo kot .stl datoteko.



Slika 37: Končana kitara na podstavku, lasten vir

### 3.4 Merjenje gostote plastike in vlage

Naš tiskalnik lahko tiska z ABS in PLA plastiko, drugi, boljši tiskalniki pa lahko tiskajo celo s kovino, keramiko, raznimi drugimi vrstami plastike, različnimi zrnatimi materiali,...

Uporabili smo črno, rumeno, oranžno in modro PLA plastiko ter plastiko.

Gostota naše oranžne PLA plastične žice je bila  $0,997 \text{ g/mm}^3$ , gostota rumene PLA žice pa  $0,998 \text{ g/mm}^3$ .

To smo izračunali na osnovi izmerjene mase, dolžine in premera plastične niti (tabela 2).

Tabela 2: Merjenje in izračun gostote materiala

Material	Dolžina [m]	Premer [mm]	Gostota [ $\text{g/mm}^3$ ]
Žica iz PLA-plastike (oranžna)	12,25	2,95	0,997
Žica iz PLA-plastike (rumena)	10,09	3,00	0,998

Med tiskanjem smo z merilnikom preverili odvisnost tiskanja od vlage in temperature okolice. V prvem primeru je bila vlaga 46,3 % , temperatura pa  $19.7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Naslednje tiskanje smo ponovili pri vlagi 39,9 % in temperatura  $17.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , pri čemer pri kvaliteti tiska dveh enakih 3D-modelov nismo opazili razlik.

## 4 RAZPRAVA

### 4.1 Tiskanje 3D-modelov

Ugotovili smo, da je tiskalnik sposoben natisniti obilo modelov, ki so bolj ali manj zahtevni. Nekaj najbolj uspešno natisnjenih modelov lahko vidimo na spodnji sliki (slika 38). Najbolj posrečeno natisnjen je bil, po našem mnenju, model kitare.



Slika 38: Najbolje natisnjeni modeli

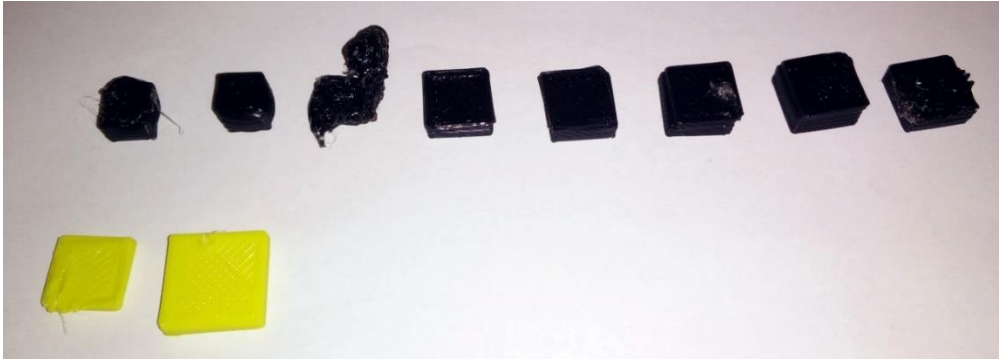
Poleg uspešnih izdelkov pa seveda ne gre brez manj posrečenih poskusov, ki so včasih delovali smešno. Na naslednji sliki je prikazana uspešno in neuspešno natisnjena kitara (slika 39).



Slika 39: Neuspešno in uspešno natisnjena kitara

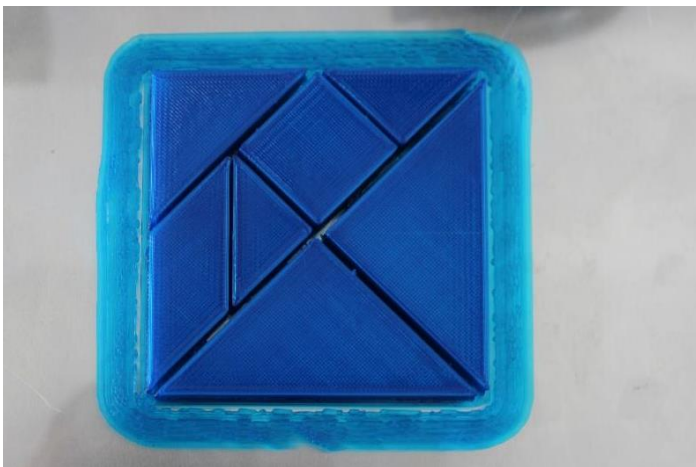
Na naslednji sliki (slika 40) vidimo še ostale neuspele izdelke, ki so zaradi različnih razlogov spodleteli.





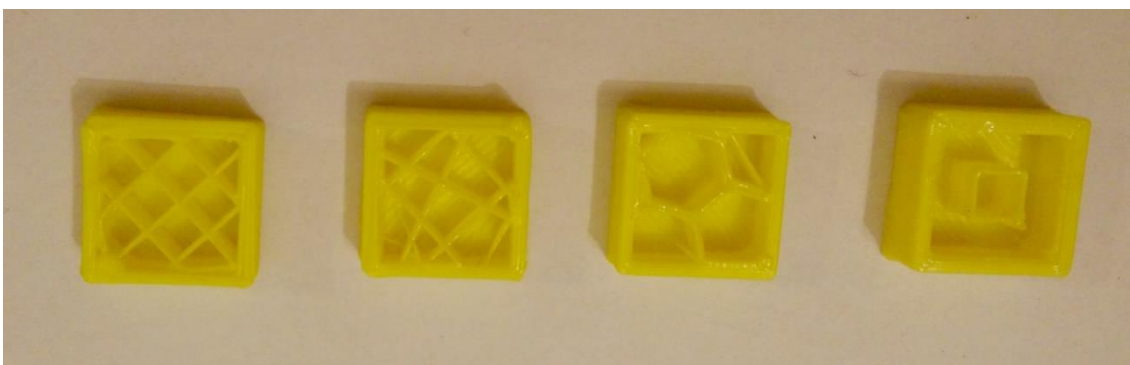
Slika 40: Nekaj neuspešno ali polovično natisnjenih izdelkov

Na tej sliki (slika 41) lahko vidimo še uspešno 3D-natisnjen tangram.



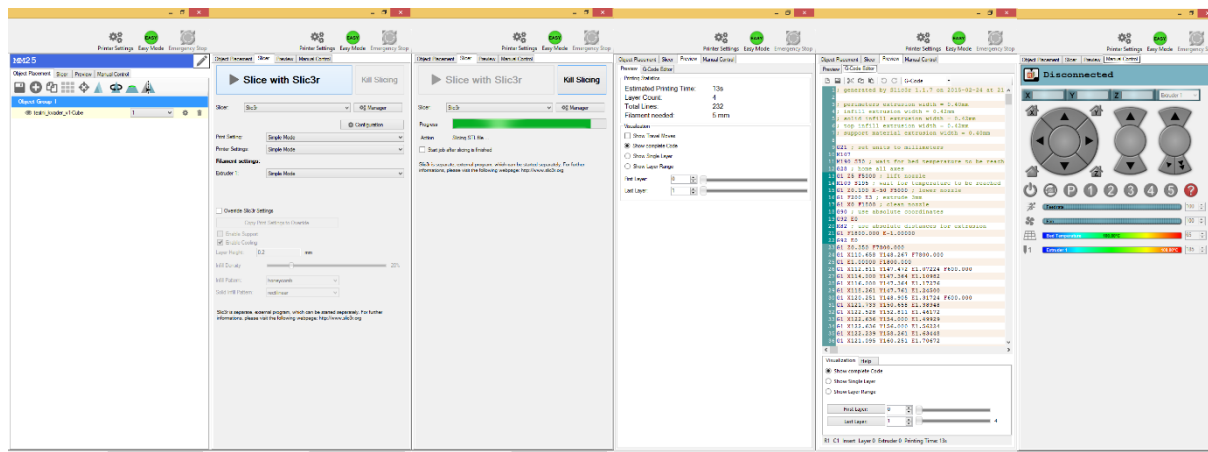
Slika 41: Lepo natisnjem tangram

V programu Repetier Host pred razrezom (angl. Slice) imamo na izbiro nekaj tipov polnila notranjosti modela (slika 42). Kot osnovni je izbran Rectilinear (skrajno levo), lahko pa izbiramo tudi med drugimi tipi, ki so prikazani zgoraj, in s tem izboljšujemo rezultate tiskanja.



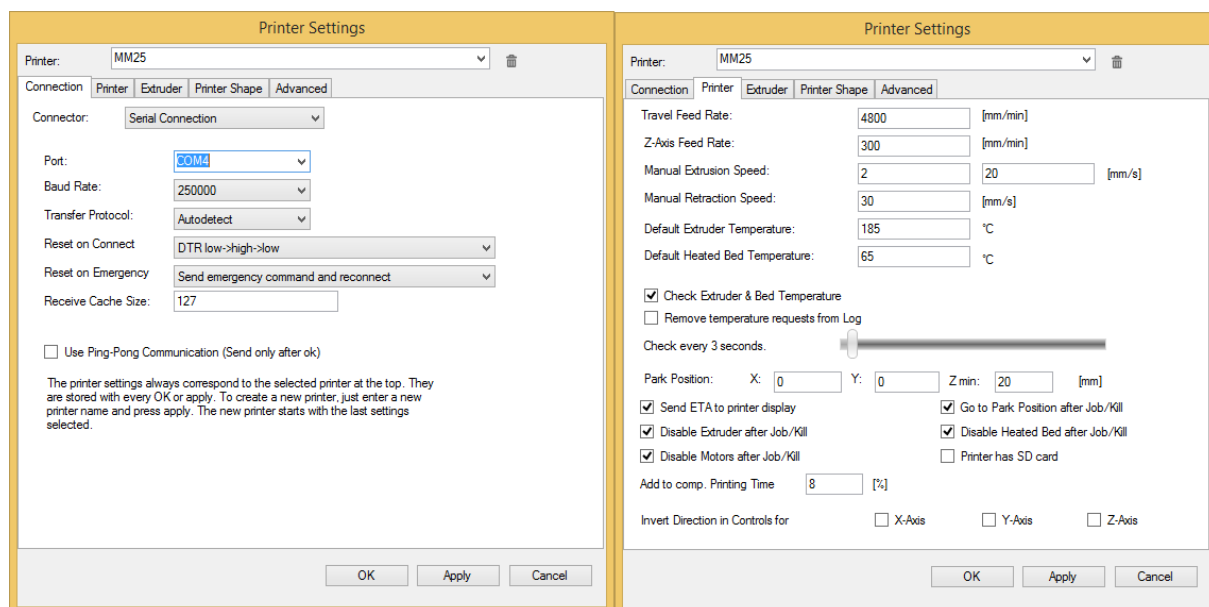
Slika 42: Različni tipi polnila od leve proti desni (Rectilinear, Line, Honeycomb, Concentric (pravokotno, premice, čebelje satje in koncentrično))

3D-tisk je na pravi pogled zanimiv in precej bolj zahteven od navadnega 2D-tiska. Saj je že samo modeliranje zahtevno, če bi navaden uporabnik brez ustreznih znanj želel takoj izdelat 3D-model. Sicer precej modelov dobimo tudi zastonj na spletu. Naslednja stopnja je uporaba programa za izvoz datoteke npr. v STL-format, ki ga naložimo v npr. program za tiskanje, kot je npr. Repetier-Host. Ta ima orodjarno s štirimi zavihki (slika 43).



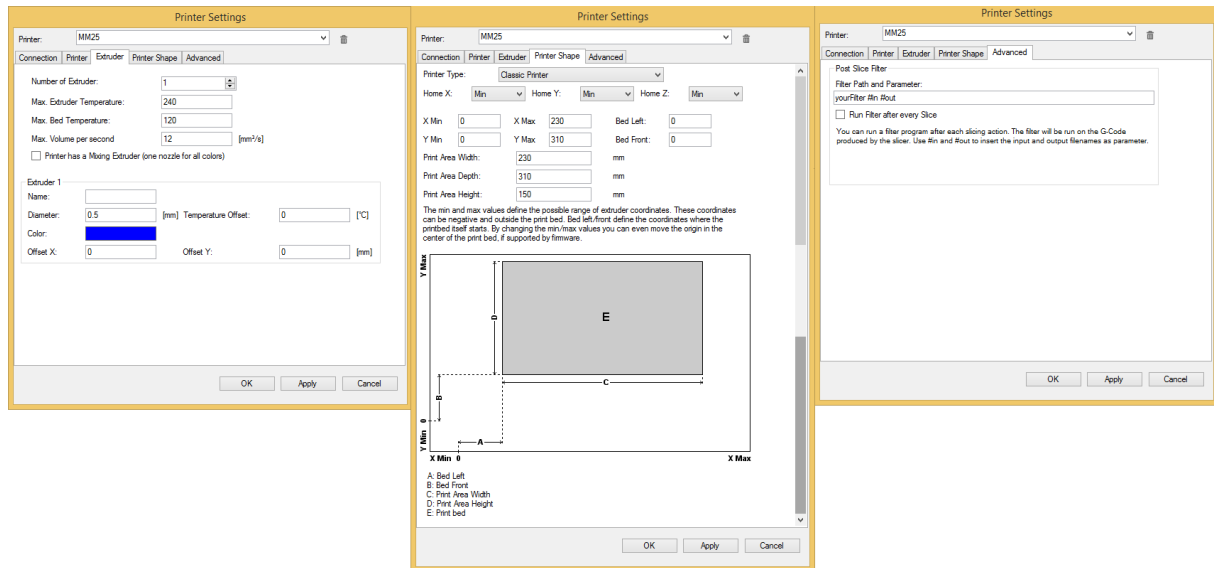
Slika 43: Vse orojarne Repetier-Host 1.0.6 (Object Placement, Slice- pred in po razrezu, Preview – Preview in G-code editor, Manual Control) z leve na desno

V njem se srečamo že z nastavitvami tiskalnika, ki prav tako vključuje pet zavihkov, kot je povezava angl. Connection in Printer (slika 44). Vidimo, da je tu precej parametrov in nastavitvev, od katerih lahko večino pustimo na privzetih vrednostih, temperature postelje je treba sicer nastaviti glede na uporabljeno nit oz. material za tiskanje.



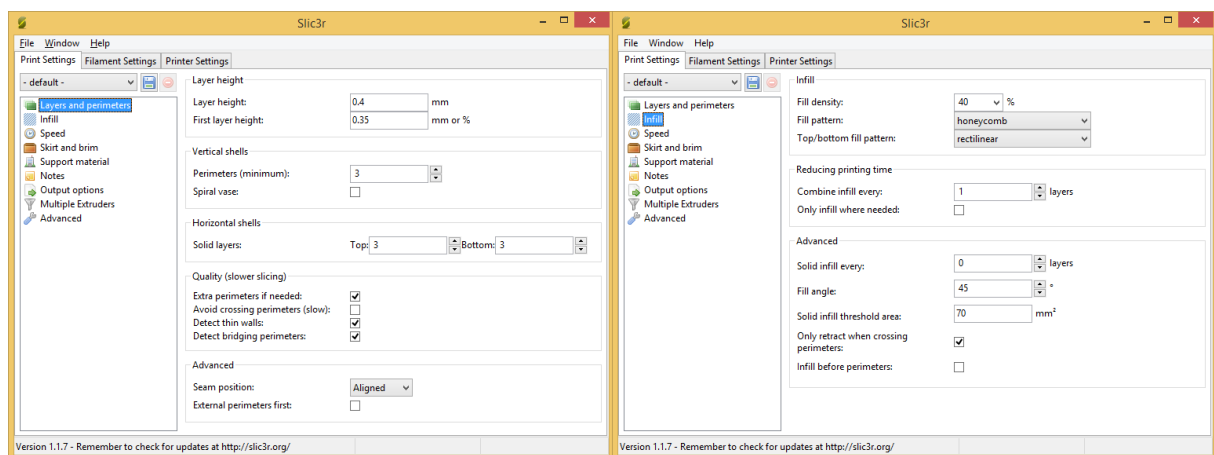
Slika 44: Prva dva zavihka v nastavitvah tiskalnika (Connection in Printer)

V naslednjem zavihku je potrebno nastaviti parametre šobe za iztiskanje, dimenzije postelje oz. maksimalni volumen, ki ga tiskalnik lahko natisne (slika 45).



Slika 45: Zadnji trije zavihki v nastavitvah tiskalnika (Extruder, Printer Shape in Advanced)

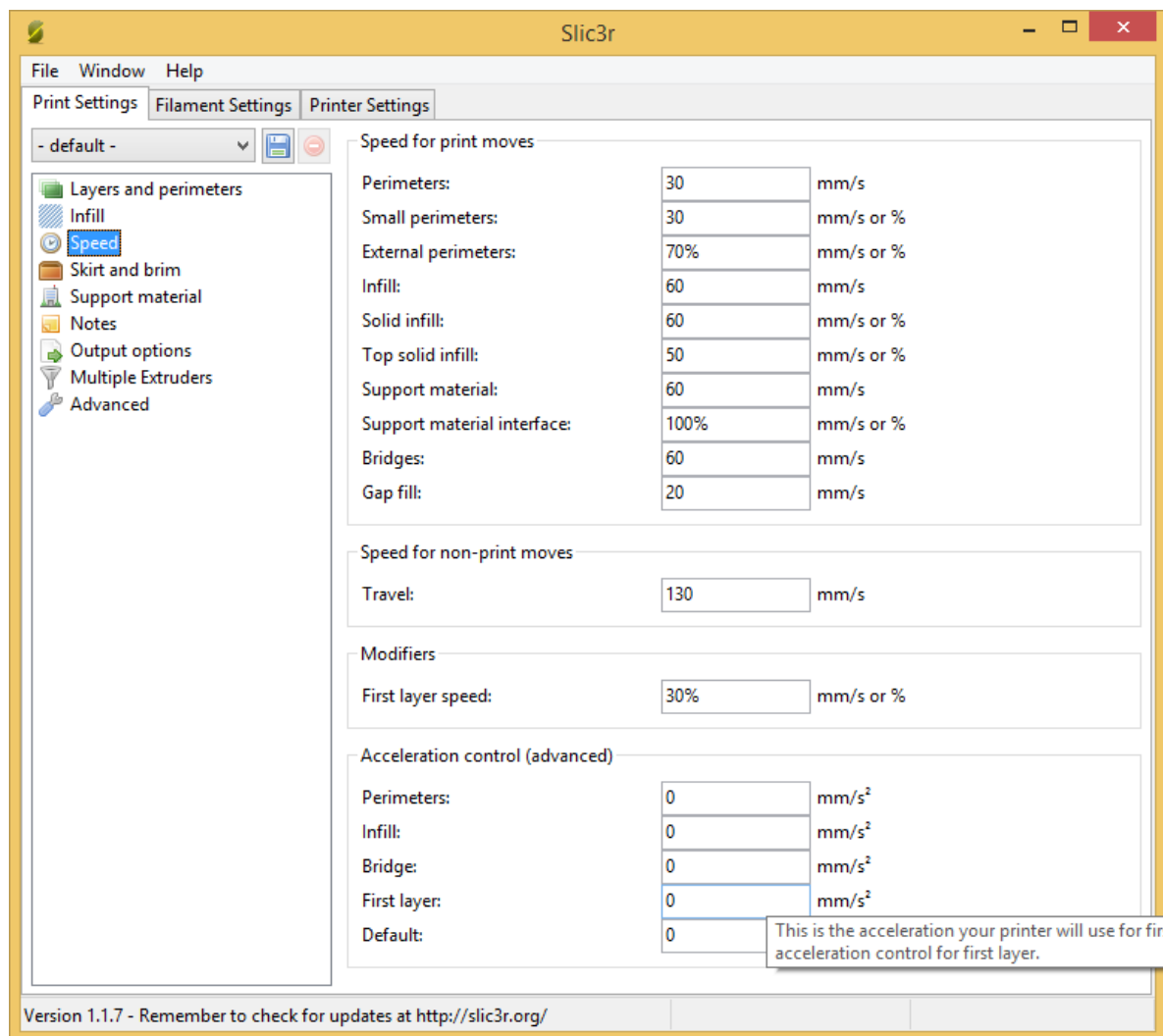
Model je potrebno potem v zavihu orodjarne Slice razrezati (če je to naš privzeti program za razrez), preden to naredimo, moramo nastaviti parametre razreza s klikom na gumb Configuration (drugo okno na sliki 43) in odpre se nam pogovorno okno Slic3r, ki ima tri zavihke Print settings, Filament Settings in Printer Settings (slika 46). V prvem meniju nastavlamo višino plasti nalaganja plastike in prvo plast ter še celo množico parametrov. V meniju Infill nastavlamo gostoto polnila (Fill Density) in vzorec polnila Fill patern ... (desna slika 46).



Slika 46: Prva dva menija v zavihu Printer Settings v programu Slic3r

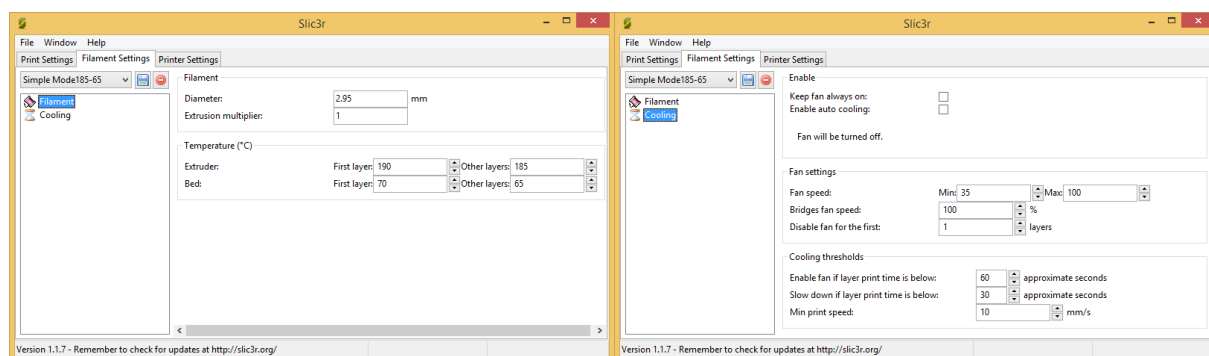
Ugotovili smo, da je zelo pomembno tudi, kako hitro izrivna šoba potuje po mizi oz. predmetu, kar se nastavlja v meniju Speed. Njegovi parametri so dostopni v zavihu Print Settings (slika 47). Če se natisnjen material ne ohladi, ko gre šoba ponovno skozi to maso, se ta nima kam nalagati. To je precej problematično pri majhnih predmetih ali tiskanju tankih črt, kot je pri napisih. Teh parametrov je precej in bilo bi jih dobro še podrobneje raziskati (tiskalnik smo imeli na razpolago le dober teden). Drugih nastavitvev je tu še precej in jih zaradi omejenosti pisnega izdelka ne moremo podrobneje predstaviti.





Slika 47: Nastavitve hitrosti izrivne šobe, ki potuje po mizi oz. predmetu (v meniju Speed v zavihku Print Settings)

Pomembno je pravilno nastaviti parametre za nit, s katero tiskamo Filament Settings (slika 48), ker vstavimo našo dimenzijo niti in temperature taljenja plastične niti ter postelje pri prvi plasti in ostalih plasteh.



Slika 48: Nastavitve niti in ogrevanje šobe za izriv ter postelje (v meniju Filament v zavihku Filament Settings)

Zaenkrat je dovolj osnovnih nastavitvev, saj se lahko nastavlja skupaj več kot 200 parametrov glede različnih pogojev, kot so velikost predmeta, uporabljen material za izriv, vlaga, temperatura prostora

...

## 4.2 Težave pri tiskanju

Kompleksne izdelke smo tiskali zaradi namena testiranja izdelave praktičnih in okrasnih izdelkov. Že pri tiskanju drevesa se je pojavila prva težava, in sicer se predmet ni dovolj dobro oprijel podlage, zaradi česar se je med tiskanjem zamaknil. To je bila posledica preozkega »debla« nastavitve Brim (okvir). To bi lahko popravili tako, da bi razširili deblo ali upočasnili hitrost premikanja glave tiskalnika. Tako bi se lahko plasti sproti dovolj ohladile, da bi bil nanos nove plasti nemoten.

Naslednja težava se je pojavila pri napisu Streetlight Manifesto. Tekst je bil prenizek, da bi se dobro videl. To težavo smo odpravili tako, da smo model v Blenderju ali v Repetieru Host preprosto raztegnili v višino. Nato smo ga 3D natisnili in končni izdelek je izpolnil naša pričakovanja.

Največje preglavice nam je povzročal model kitare, ker je bil na začetku postavljen pokončno na podstavku. Tako se v predelu vrata, ki je zelo ozek, izrivana masa ni mogla sproti zadosti ohlajati in so se pojavila težave pri tisku. Na novo nanosena plast se ni mogla dovolj hitro ohlajati in bi bil končni izdelek deformiran (nenatisjen). Zato smo uporabili drugačen pristop kot pri napisu. Tukaj smo iz modela odstranili podstavek in kitaro postavili v ležeč položaj. Model je po tiskanju izpadel zelo lepo in kakovostno.

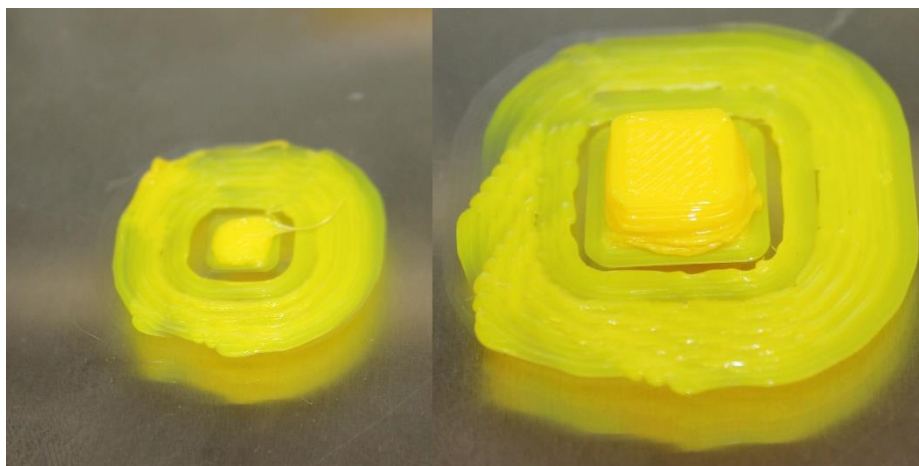
Glavni vzrok za naše »težave« je po našem mnenju ta, da se spodnje plasti pred novim nanosom ne ohladijo dovolj. Zaradi tega je treba oblikovati modele, ki imajo dovolj široke površine, da se lahko plasti dovolj ohladijo.

## 4.3 Najpogostejše napake pri 3D-modelih, ki bi jih radi natisnili

Najpogostejša napaka pri tiskanju je, da so predmeti premajhni. To močno vpliva na kvaliteto in izgled končnega izdelka. Če je predmet preozek, obstaja skoraj gotova možnost, da se spodnje plasti ne bodo utegnile ohladiti pred nanosom novih. To pomeni, da se bo predmet deformiral (ne bo imel ravnih robov) ali pa se je odlepil od postelje.

Druga zelo pogosta napaka in precej velik problem je tiskanje visečih ter poševnih robov. Ti ne smejo presegati 45°. Na novo nanosene plasti pri teh robovih nimajo dobre opore in se lahko povesijo, preden se do konca posušijo.

Če je predmet razmeroma podroben (kot so črke na napisu), je pomembno, da je dovolj velik, saj lahko problem nastane, ko so robovi (v našem primeru robovi črk) preblizu skupaj. Takrat obstaja možnost, da se razni detajli ne bodo dobro natisnili (slika 49).



Slika 49: Premajhen objekt in tisti z mejno stranico z okrog 1,2 cm na koncentrirani površini

#### 4.4 Predlogi izboljšave kakovosti tiskanja 3D-modelov

Da bi ugotovili kakovost tiska oz. bi lahko sklepali glede na rezultate meritev, smo na preprostem primeru modela kvadratne prizme (robovi: 2 x 2 x 1 cm) in obroča (premer 4,7 cm, višina 0,5 cm, debelina stene 0,5 cm) naredili več poskusov tiskanja z različnimi kombinacijami parametrov tiskanja. V naslednji tabeli so prikazani nastavljeni parametri 3D-tiskanja za kvadratno prizmo (tabela 3).

Tabela 3: Parametri 3D-tiskanja kvadratne prizme

Oznaka kvadra	Parametri tiskanja				
	Tip polnila	Gostota polnila	Hitrost tiskanja	Višina plasti	Širina obrobe
K1	Rectilinear	70	15 mm/s	0,5 mm	6 mm
K2	Rectilinear	50	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K3	Rectilinear	30	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K4	Rectilinear	10	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K5	Honeycomb	10	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K6	Concentric	10	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K7	Line	10	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K8	Hilbertcurve	10	15 mm/s	0,5 mm	5 mm
K9	Rectilinear	40	20 mm/s	0,2 mm	5 mm
K10	Honeycomb	40	20 mm/s	0,1 mm	5 mm
K11	Concentric	40	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K12	Honeycomb	40	25 mm/s	0,3 mm	5 mm
K13	Honeycomb	100	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K14	Honeycomb	50	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K15	Rectilinear	60	25 mm/s	0,3 mm	5 mm
K16	Rectilinear	50	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K17	Line	50	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K18	Octagramspiral	50	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K19	Archimedanchords	50	25 mm/s	0,5 mm	5 mm
K20	Hilbertcurve	50	25 mm/s	0,5 mm	5 mm

V pripadajoči tabeli (tabela 4) pa še rezultati oz. dejanske dimenzije modelov za posamezne izbrane parametre. Iz tabele vidimo, da smo največje odstopanje po dolžini dobili pri 50 % polnilu tipa Achimedanchords, najmanjše odstopanje po širini pa pri vzorcu K5 in K20 (10 in 50 % polnila in različnih tipov polnila). Po višini so brez napake najbolj izstopali vzorci K4, K5, K10, K20.

Tabela 4: Odstopanje dimenzije natisnjenih kvadratnih prizem

Oznaka kvadra	d	š	v	d	š	v	$\Delta d$	$\Delta \text{š}$	$\Delta v$	$\% \Delta d$	$\% \Delta \text{š}$	$\% \Delta v$
K1	2,00	2,00	1,00	2,05	1,95	0,95	0,05	-0,05	-0,05	2,50	-2,50	-5,00
K2	2,00	2,00	1,00	2,00	1,95	0,90	0,00	-0,05	-0,10	0,00	-2,50	-10,00
K3	2,00	2,00	1,00	2,05	1,95	1,03	0,05	-0,05	0,03	2,50	-2,50	3,00
K4	2,00	2,00	1,00	1,95	1,99	1,00	-0,05	-0,01	0,00	-2,50	-0,50	0,00
K5	2,00	2,00	1,00	1,99	2,00	1,00	-0,01	0,00	0,00	-0,50	0,00	0,00
K6	2,00	2,00	1,00	2,00	1,95	0,95	0,00	-0,05	-0,05	0,00	-2,50	-5,00
K7	2,00	2,00	1,00	1,97	2,05	0,95	-0,03	0,05	-0,05	-1,50	2,50	-5,00
K8	2,00	2,00	1,00	2,00	1,95	1,05	0,00	-0,05	0,05	0,00	-2,50	5,00
K9	2,00	2,00	1,00	1,99	1,95	1,05	-0,01	-0,05	0,05	-0,50	-2,50	5,00
K10	2,00	2,00	1,00	2,00	1,95	1,00	0,00	-0,05	0,00	0,00	-2,50	0,00
K11	2,00	2,00	1,00	2,00	1,97	0,95	0,00	-0,03	-0,05	0,00	-1,50	-5,00
K12	2,00	2,00	1,00	2,00	2,05	1,00	0,00	0,05	0,00	0,00	2,50	0,00
K13	2,00	2,00	1,00	2,05	2,05	1,03	0,05	0,05	0,03	2,50	2,50	3,00
K14	2,00	2,00	1,00	2,00	1,95	0,99	0,00	-0,05	-0,01	0,00	-2,50	-1,00
K15	2,00	2,00	1,00	1,98	1,95	0,95	-0,02	-0,05	-0,05	-1,00	-2,50	-5,00
K16	2,00	2,00	1,00	2,05	1,95	0,95	0,05	-0,05	-0,05	2,50	-2,50	-5,00
K17	2,00	2,00	1,00	2,03	2,05	1,05	0,03	0,05	0,05	1,50	2,50	5,00
K18	2,00	2,00	1,00	2,00	1,95	0,95	0,00	-0,05	-0,05	0,00	-2,50	-5,00
K19	2,00	2,00	1,00	2,15	1,95	0,95	0,15	-0,05	-0,05	7,50	-2,50	-5,00
K20	2,00	2,00	1,00	2,05	2,00	0,97	0,05	0,00	-0,03	2,50	0,00	-3,00

Najkrajši čas tiskanja z najmanj porabljenimi niti in seveda najmanjšo maso je imel vzorec K8 in največ K1 (največje polnilo in ta element bi pri tlačni porušitveni obremenitvi verjetno vzdržal največ).

Tabela 5: Rezultati meritev, časa tiskanja št. plasti, porabe niti in mase natisnjenih kvadratnih prizem

Oznaka	Tip polnila	Gostota polnila (%)	Višina plasti (mm)	t(m)	t(s)	Št. plasti	Poraba niti (mm)	Masa (g)
K1	Rectilinear	70	0,5	11	7	20	497	5
K2	Rectilinear	50	0,5	11	1	20	441	4,2
K3	Rectilinear	30	0,5	10	42	20	384	3,4
K4	Rectilinear	10	0,5	10	13	20	327	3,2
K5	Honeycomb	10	0,5	10	12	20	327	3,2
K6	Concentric	10	0,5	10	19	20	331	3,3
K7	Line	10	0,5	10	4	20	321	3,1
K8	Hilbertcurve	10	0,5	9	55	20	313	3,0
K9	Rectilinear	40	0,2	25	1	50	403	4,1
K10	Honeycomb	40	0,1	46	13	100	406	3,5
K11	Concentric	40	0,5	10	53	20	408	3,4
K12	Honeycomb	40	0,3	17	38	33	423	3,4
K13	Honeycomb	100	0,5	11	14	20	583	4,4
K14	Honeycomb	50	0,5	11	8	20	458	4,2
K15	Rectilinear	60	0,3	17	57	33	470	4,1
K16	Rectilinear	50	0,5	11	1	20	441	4,1
K17	Line	50	0,5	11	0	20	437	4,2
K18	Octagramspiral	50	0,5	10	46	20	387	4,1
K19	Archimedanchords	50	0,5	11	0	20	423	4,1
K20	Hilbertcurve	50	0,5	11	1	20	423	4,3

Parametri in dejansko izmerjene dimenzije 3D-tiskanja obročev so predstavljene v tej tabeli (tabela 6). Iz tabele sklepamo, da je v primeru dobivanja zelenih dimenzij za bolj oglate predmete potrebo tiskati z vsaj 50 % polnilom.

Tabela 6: Dimenzije in rezultati tiskanja obročev

Oznaka obroča	$d_x$	$d_y$	$d_x$	$d_y$	$\Delta d_x$	$\Delta d_y$	$\% \Delta d$	$\% \Delta S$	Tip polnila	Gostota polnila
O1	4,70	4,70	4,70	4,70	0,00	0,00	0	0	Rectilinear	0,7
O2	4,70	4,70	4,70	4,70	0,00	0,00	0	0	Rectilinear	0,5
O3	4,70	4,70	4,70	4,72	0,00	-0,02	0	-0,4	Rectilinear	0,3
O4	4,70	4,70	4,71	4,70	-0,01	0,00	-0,2	0	Rectilinear	0,1
O5	4,70	4,70	4,69	4,70	0,01	0,00	0,21	0	Honeycomb	0,1

Z višanjem gostote polnila se logično poveča tudi masa objekta (tabela 7).

Tabela 7: Poraba materiala glede na različne gostote polnila in tipov polnila obročev

Oznaka obroča	Tip polnila	Gostota polnila	Hitrost tiskanja (mm/s)	Višina plasti (mm)	Širina obrobe (mm)	Masa (g)
O1	Rectilinear	0,7	15	0,5	6	5,5
O2	Rectilinear	0,5	15	0,5	5	4,9
O3	Rectilinear	0,3	15	0,5	5	4,4
O4	Rectilinear	0,1	15	0,5	5	4,6
O5	Honeycomb	0,1	15	0,5	5	4,9

Vse natisnjene modele smo natančno pregledali in analizirali. Po analizi kvalitete izdelanih modelov glede na parametre tiskanja smo ugotovili, da:

1. Pri kvadratni prizmi se je kot najboljša možnost izkazal nabor parametrov, uporabljen pri modelu 5, in sicer:

tip polnila: Honeycomb (čebelje satje), gostota polnila: 10 %, hitrost tiskanja: 15 mm/s, višina plasti: 0,5 mm, širina obrobe: 5 mm.

2. Pri obroču pa so se kot najboljši možni nastavljeni parametri izkazali: tip polnila: Concentric (koncentrično), gostota polnila: 50 %, hitrost tiskanja: 15 mm/s, višina plasti: 0,5 mm in širina obrobe: 3 mm.

Iz tega sklepamo, da je potrebno parametre tiskanja dobro prilagoditi vsakemu posameznemu modelu. Npr. koncentrični tipi polnila je veliko primernejši za zaobljene 3D-modele, saj se oblika polnila vzporedno prilega zunanemu robu modela. Oblika polnila s čebeljim satjem pa se dobro izkaže pri ravnih robovih, saj nudi dobro oporo za nove plasti. Z reguliranjem gostote, oblike polnila in drugih parametrov tiskanja lahko lastnosti natisnjene modela prilagodimo našim željam in zahtevam za vsak specifičen model. S temi izkušnjami in znanjem lahko bistveno hitreje in ceneje ustvarimo kvaliteten končni izdelek.

Zanimivo je, da se čas tiskanja hitro podaljšuje, ko tiskamo vedno večji model, in sicer prehod iz 100 % na 200 % velikost. Kar bi pri kocki pomenilo povečanje volumna za faktor 8, samodejno ne pomeni tudi podaljšanja časa tiskanja za isti faktor in količine porabljenih plastičnih nit, s katero tiskamo (tabela 8). Tiskanje roba in notranjosti je časovno različno za različno velike modele.

Tabela 8: Primerjava velikosti modela kitare Ibanez s časom tiskanja in porabo plastične niti

Povečava/ pomanjšava	Čas tiskanja		Poraba materiala [mm]	Faktor podaljšanja ali skrajšanja časa tiska
	minute	sekunde		
50 %	5	39	165	0,286075949
Izvirnik 100 %	19	45	1025	1,000000000
150 %	52	49	3217	2,674261603
200 %	105	46	6976	5,355274262

## 5 ZAKLJUČEK

Po opravljeni raziskavi, poskusih modeliranja in tiskanju vzorcev lahko za zastavljene hipoteze ugotovimo:

- Hipoteza 1: »Z odprtokodnim programom Blender 2.73a lahko modeliramo in pripravimo za tisk 3D-objekte enakovredno kot s komercialnim 3D-modelirnikom (na primer Pro Engineer)«. Hipotezo smo potrdili, saj z ustreznim nivojem poznavanja programa Blender dejansko lahko pripravimo vse modele, ki jih je tiskalnik zmožen natisniti. Blender je tudi opremljen z vsemi potrebnimi orodji in dodatki za predpripravo 3D-tiska.
- Hipoteza 2: »Repetier Host je primeren in uporaben program za razrez (angl. Slice) modelov v STL-formatu in njegovo pošiljanje v 3D-tiskalnik RepRap MendelMax 2.5.«: Hipotezo smo potrdili, saj so bili vsi modeli, ki so bili predmet te raziskovalne naloge, izvedeni s to programsko opremo in pri naših modelih nismo naleteli na omejitve.
- Hipoteza 3: »Predvidevamo, da je 3D-tiskalnik MendelMax 2.5 primeren za tiskanje različnih skoraj poljubnih 3D-modelov za domačo in šolsko uporabo«. Te hipoteze nismo ne potrdili in ne ovrgli, saj je bilo kljub mnogo zmodeliranim in natisnjenim modelom število teh primerov še vedno precej omejeno. Vsekakor je MendelMax 2.5 zelo uporaben, seveda pa se je potrebno zavedati določenih omejitev, ki jih prinaša že sama tehnologija, kot je bilo v nalogi opisano.
- Hipoteza 4: »3D-tiskalnik MendelMax 2.5 je primerna strojna oprema za uvajanje učencev in dijakov v tehnologijo 3D-tiskanja«. Hipotezo smo potrdili, saj 3D-tiskalnik MendelMax 2.5 in pripadajoča programska oprema nudi vso potrebno podporo in možnosti za začetno spoznavanje in razumevanje tehnologije 3D-tiskanja.

Poleg 3D-tiskanja so bila v nalogi predstavljena tudi pravila in smernice pri 3D-oblikovanju modelov za lažje delo in zmanjšanje stroškov 3D-tiskanja (tabela 9). V praktičnem delu naloge so v Blenderju modelirani trije modeli (t. i. »drevo«, logotip skupine Streetlight Manifesto in model Ibanezove električne kitare), ki so bili nato natisnjeni v 3D.

Tabela 9: Primerjava parametrov tiska kompleksnih 3 izdelkov

Model	Tip polnila	Gostota polnila	Višina plasti (mm)	Čas tiskanja			Št. plasti	Poraba niti (mm)
				t(h)	t(m)	t(s)		
Drevo	Rectilinear	50	0,5	1	2	20	103	2722
Kitara	Rectilinear	50	0,5	0	19	45	17	1025
Napis	Rectilinear	30	0,5	0	36	52	20	1585

Končni rezultat 3D-tiskanja je odvisen od številnih faktorjev in nastavljenih parametrov razreza programske opreme, med ostalim je odvisen tudi od vrste 3D-tiskalnika in njegovih parametrov, materiala in nastavitvev ter okolijskih parametrov, kot sta temperatura in vlaga. Ugotovili smo, da je za kakovostne izdelke potrebno veliko izkušenj in poznavanja posebnosti posamezne 3D-tehnologije tiska.

## 6 ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Nedeljku Grabantu za pomoč pri uvajanju v 3D-tisk, Vladu Sajtlu in Viljemu Osojniku ter Urošu Lukiču za podporo pri izposoji 3D-tiskalnika, Mariji Klemenšek za lektoriranje, Jolandi Melanšek za lektoriranje angleškega povzetka. Posebej se zahvaljujem tudi staršem in prijateljem, ki so me pri tej nalogi podpirali in vzpodbujali.

## 7 VIRI

3D-tiskanje (Wikipedija):

[1] <http://sl.wikipedia.org/wiki/3D-tiskanje>, 27. 12. 2014

3D-tiskanje z Blenderjem (video YouTube):

[2] <https://www.youtube.com/watch?v=KvWITenCh5c>, 2. 1. 2015

Blender (Wikipedija):

[3] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Blender>, 2. 1. 2015

Logotip Streetlight Manifesto:

[4]

[http://images.victoryrecords.com/resources/streetlightmanifesto/logos/StreetlightManifesto\\_Logo.jpg](http://images.victoryrecords.com/resources/streetlightmanifesto/logos/StreetlightManifesto_Logo.jpg),

2. 1. 2015

Kitara Ibanez:

[5] <http://www.altomusic.com/media/catalog/product/i/b/ibanez-RG3550MZGK-0.jpg>, 3. 1. 2015

Vrste tiskalnikov in zgodovina le teh:

[6] [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing), 3. 1. 2015



## 8 AVTOR RAZISKOVALNE NALOGE

Anej Lekše (slika 50) je dijak 2. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ) v Velenju. Obiskuje program Tehnik računalništva. Za to nalogo se je odločil, saj je v tem videl priložnost, da se nauči nekaj novega in da pridobi dragocene izkušnje iz področja, ki ima velik potencial v prihodnosti. V prvem letniku se je spoznal s programom Blender in 3D-oblikovanjem. Poleg šole se ukvarja s športom, trenira karate, ukvarja se z motociklizmom in igra kitaro.



*Slika 50: Mladi raziskovalec Anej Lekše*