

ŠOLSKI CENTER VELENJE

Elektro in računalniška šola

Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

REKONSTRUKCIJA DOMAČEGA 3D-TISKALNIKA

(video nadzor, daljinski vklop tiskanja in odstranjevanje 3D-modelov iz tiskalnika)

Tematsko področje:

APLIKATIVNI INOVACIJSKI PREDLOGI IN PROJEKTI

Avtorja:

Branko Hudolin, 4. letnik

Valentin Podkrižnik, 4. letnik

Mentor:

Nedeljko Grabant, dipl. inž. elektrotehnike

Velenje, 2017

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017.

Mentor: Nedeljko Grabant, dipl. inž. elektrotehnike

Datum predavitve: marec 2017



By: B. Hudolin V. Podkrižnik, Nedeljko Grabant

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	ŠC Velenje, šolsko leto 2016/2017
KG	3D-tiskalnik 3D-tiskanje rekonstrukcija izmet video nadzor
AV	HUDOLIN, Branko/PODKRIŽNIK, Valentin
SA	GRABANT, Nedeljko
KZ	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA	ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola
LI	2017
IN	REKONSTRUKCIJA DOMAČEGA 3D-TISKALNIKA
TD	RAZISKOVALNA NALOGA
OP	X, 42 str., 5 tab., 0 graf., 40 slik., 0 pril., 34 vir
IJ	SL
JI	sl
AI	

V raziskovalni nalogi je na kratko pojasnjen pojem 3D-tiskanja in najpogostejši modeli 3D-tiskalnikov na trgu z njihovimi prednostmi in slabostmi. Predstavljeni so različni načini 3D-tiskanja in materiali, ki se uporabljajo v 3D-tiskanju dandanes. V raziskovalni nalogi je predstavljen tudi doma izdelani 3D-tiskalnik, ki ga krmilimo z video nadzorom in daljinskim krmiljenjem preko spleta. Ima izdelan sistem za odstranjevanje 3D-modelov in daljinsko nalaganje novih 3D-modelov za tiskanje. Ob primeru napake pošlje elektronsko sporočilo administratorju.

V raziskovalni nalogi sva preverila, ali lahko 3D-tiskalnik popolnoma krmilimo preko drugih naprav, kot so pametni telefoni, tablice ali računalnik. V nalogi je predstavljen tudi način, kako lahko takšen sistem krmiljenja 3D-tiskalnika naredi posameznik. V praktičnem delu sva sistem krmiljenja testirala, preverila video nadzor in avtomatski izmet 3D-modelov.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND ŠC Velenje, 2016/2017

CX 3D printer | 3D printing | reconstruction | eject | video surveillance

AU HUDOLIN, Branko | PODKRIŽNIK, Valentin

AA GRABANT, Nedeljko

PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola

PY 2017

TI RECONSTRUCTION OF A HOMEMADE 3D-PRINTER

DT RESEARCH WORK

NO X, 42 p., 5.tab., 40 img., 0 graf., 0 ann., 34 ref.

LA SL

AL sl/en

AB

In the research paper we briefly explained the concept of 3Dprinting and described the most common models of 3Dprinters available on the market with their advantages and disadvantages. We also presented different ways of 3Dprinting and materials that are used for it nowadays. The research paper also covers the description of a homemade 3Dprinter, which is controlled by video surveillance and remote control via internet. It has a system for the removal of already printed 3Dmodels and for remote download of new 3Dmodels for printing. In case of a failure, an email is sent to the administrator.

We also tested whether the 3Dprinter can be completely controlled via other devices, such as smart phones, tablets or computers. We described the process of how such a system can be made by any individual. In the practical part of the research, we tested the control system, checked the video surveillance and the automatic ejection of 3Dmodels.

KAZALO KRATIC

% – odstotek

.py– končnica datoteke Python programa

€ – evro

° – stopinje kota

°C – stopinje Celzija

2D – dvodimenzionalno

3D – tridimenzionalno

4988/DRV8825 – gonilnik koračnih motorjev

A – enota za tok (amper)

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

angl. – prevod iz angleškega jezika

ASCII – strojno ukazni jezik za interpretiranje diskretnih gibov

ASTM – angl. American Society for Testing and Materials (Ameriška družba za testiranje in materiale)

By – priznanje avtorstva

CAD – angl. computer-aided design (računalniško podprto oblikovanje)

CAE – angl. computer-aided engineering (računalniško podprt inženiring)

CAM – angl. computer-aided manufacturing, (računalniško podprta proizvodnja)

CNC – računalniško numerično krmiljenje (angl. Computer numerical control)

DIY – doma narejeno

EEPROM – električni izbrisljiv in programirljiv spomin za branje

FDM – angl. Fused Deposition Modeling (odlaganje taljenega materiala)

g-koda – format zapisovanja komandnih kod

GT2 – zobati jermen

html – standardni jezik za izdelavo spletnih strani

http – Hypertext prenosni protokol

Hz – enota za frekvenco

KB – enota za velikost informacije

Kn. – knjiga

LCD – zaslon s tekočimi kristali

LED – svetleča dioda (angl. Light-emitting diode)

MJPEG – video format

mm – milimeter

Mp – število slikovnih pik

OS – operacijski sistem

PHP – orodja za osebno spletno stran (angl. Personal Home Page Tools)

PLA – angl. Polylacticacid (plastika iz polilaktične kisline)

PTC – angl. ParametricTechnologyCorporation (Združba za parametrično tehnologijo)

PWM – pulzno širinska modulacija

RAM – pomnilnik z naključnim dostopom

RAMPS – razširitvena plošča

SD – spominska kartica

SLA – stereolitografija

SLS – selektivno lasersko sintiranje

STL – format za 3D-oblike

t. i. – tako imenovano

tj. – to je

UNO – programirljiva plošča

USB – univerzalni serijski priključek

UV – ultravijolično

V – enota za napetost (volt)

WIFI – brezžični internet

www– svetovni splet

KAZALO VSEBINE:

1	UVOD	1
1.1	Namen raziskovalne naloge.....	1
1.2	Hipoteze.....	1
2	Pregled STANJA TEHNIKE.....	2
2.1	Kaj je 3D-tiskanje?.....	2
2.2	Vrste 3D-tiskalnikov	2
2.2.1	Kartezična izvedba 3D-tiskalnika.....	2
2.2.2	Delta izvedba 3D-tiskalnika	3
2.3	Procesi in tehnologije 3D-tiskanja.....	4
2.3.1	Tehnologija fotopolimerizacije	4
2.3.2	Brizganje materiala.....	5
2.3.3	Tehnologija spajalno brizganje.....	5
2.3.4	Tehnologija z izrivanjem materiala.....	6
2.3.5	Tehnologija s spajanjem na podlagi praha	7
2.3.6	Tehnologija spajanja oz. laminiranja plošč	7
2.3.7	Tehnologija odlaganje z usmerjeno energijo.....	8
2.4	Primeri uporabe 3D-tiskanja.....	9
2.5	3D-tiskanje v industriji	9
2.6	3D-tiskanje doma	9
2.7	3D-tiskanje v zdravstvu.....	10
2.8	Prihodnost 3D-tiskanja	10
2.9	Priprava 3D-modelov za tisk	10
2.9.1	Program PTC CreoParametric	11
2.9.2	Program SketchUp.....	11
2.9.3	Program Repetier-host.....	12
2.9.4	Program Slic3r.....	13
2.9.5	Program Cura	14
2.9.6	G-koda	15
2.10	Dostop in upravljanje 3D-tiskalnika z Repetier-strežnikom	15
3	Predstavitev 3D-tiskalnika.....	16
3.1	Osnovna predstavitev doma izdelanega 3D-tiskalnika.....	17
3.2	Pregled komponent 3D-tiskalnika	18
3.3	Elektronski del 3D-tiskalnika	18
3.3.1	Repetierjeva strojna in programska oprema ter konfiguracijskega orodja	18
3.3.2	Mikrokontroler Arduino MEGA 2560	19
3.3.3	Razširitvena plošča RAMPS 1.4	20

3.3.4	Gonilniki koračnih motorjev	21
3.3.5	Koračni motor NEMA 17.....	21
3.3.6	Grelna miza	23
3.3.7	Grelec 3D-tiskalne glave	23
3.3.8	Končna stikala	24
3.3.9	LCD-pametni prikazovalnik.....	25
3.4	Mehanski deli 3D-tiskalnika.....	25
3.4.1	Linearni ležaji in puše	25
3.4.2	Linearna vodila.....	26
3.4.3	3D-tiskalna glava.....	27
3.4.4	Mehanizem za izmet 3D-modelov.....	27
3.5	Pregled komponent nadzora in izmeta 3D-tiskalnika.....	28
3.5.1	Raspberry PI 3 model B	28
3.5.2	Kamera 8Mp.....	29
3.5.3	Servo motor	30
3.6	Vrste 3D-tiskalnih plastičnih niti.....	30
3.6.1	Plastika iz polilaktične kisline (PLA).....	31
3.6.2	Prožna plastika iz polilaktične kisline (Flexible PLA).....	31
3.6.3	Plastika akrilonitril butadien stiren (ABS)	31
3.6.4	Najlon	31
3.6.5	Plastika z dodatkom lesa (LAYWOO-D3).....	32
3.7	Cena rekonstrukcije mehanizma za izmet in video nadzornega sistema.....	32
4	Rezultati in Razprava	33
4.1	Težave pri izmetu 3D-izdelka	34
4.2	Komunikacije med sistemi	34
4.3	Natančnost tiskanja.....	35
4.4	Težave pri pisanju programov za Raspberry PI.....	36
4.5	Potek izdelave izmeta in video nadzora	36
5	Zaključek.....	39
6	Povzetek	39
7	Zahvala	40
8	Viri	40
8.1	Knjižni viri	41
9	AVTORJA RAZISKOVALNE NALOGE.....	42

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Primer izvedbe kartezičnega 3D-tiskalnika znamke Ultimaker, vir: [1]</i>	3
Slika 2: Primer izvedbe delta 3D-tiskalnika znamke Tripodmaker, vir [2].....	4
Slika 3: Princip delovanja 3D-tiska s fotopolimerizacijo (angl. Vat Photopolymerisation), vir: [3]	5
Slika 4: Brizganje materiala (Material Jetting), vir: [3]	5
Slika 5: Princip delovanja Tehnologije s spajalnim brizganje (angl. Binder Jetting), vir: [3]	6
Slika 6: Princip delovanja tehnologije z izrivanje materiala (angl. Material Extrusion), vir: [3]	7
Slika 7: Princip delovanja tehnologije s spajanjem na podlagi praha (Powder Bed Fusion), vir: [3]	7
Slika 8: Princip delovanja tehnologije spajanja oz. laminiranja plošč, vir: [3]	8
Slika 9: Princip delovanja tehnologije odlaganje z usmerjeno energijo (DirectedEnergyDeposition), vir: [3].....	8
Slika 10: Uporabniškega vmesnika programa PTC CreoParametric, vir [6].....	11
Slika 11: Uporabniškega vmesnika programa SketchUp, vir [7]	12
Slika 12: Primer 3D-modela v uporabniškem vmesniku programu Repetier-host, lasten vir	13
Slika 13: 3D-ogled modela v programu Slic3r pri pretvorbi v format za 3D-tiskanje, lasten vir	14
Slika 14: 3D-ogled modela v programu Cura pri pretvorbi v format za 3D-tiskanje, lasten vir	14
Slika 15: Čelna plošča Repetier-strežnika, lasten vir	16
Slika 16: Upravljanje pozicije tiskalne mize, lasten vir	16
Slika 17: Naš doma izdelani 3D-tiskalnik, lasten vir	17
Slika 18: Začetna stran za nastavitev Repetierjeve strojne programske opreme, vir [10].....	19
Slika 19: Mikrokrmilnik Arduino MEGA 2560, lasten vir	19
Slika 20: Razširitvena plošča RAMPS 1. 4, lasten vir	20
Slika 21: Gonilnik koračnega motorja Pololu A4988, lasten vir.....	21
Slika 22: Koračni motor NEMA 17, lasten vir.....	22
Slika 23: Grelna miza, lasten vir	23
Slika 24: Grelec3D-tiskalne glave s termočlenom, lasten vir	24
Slika 25: Končno ali mikrostikalo, lasten vir	24
Slika 26: LCD-pametni prikazovalnik, lasten vir.....	25
Slika 27: Primer linearnega ležaja, vir [17].....	25
Slika 28: Samomazalna medeninasta puša, lasten vir	26
Slika 29: Linearno vodilo iz svetlo vlečenega jekla, lasten vir	26
Slika 30: 3D-tiskalna glava, lasten vir.....	27
Slika 31: Ročaj za izmet je pritrjen na servo motor, lasten vir.....	27
Slika 32: Raspberry PI 3, lasten vir	29
Slika 33: Modul kamere za Raspberry pi, lasten vir.....	29
Slika 34: Servo motor, lasten vir	30
Slika 35: 3D-model v obliki kocke, lasten vir	35
Slika 36: Natančnost 3D-tiskanja kompleksnega 3D-modela, lasten vir	36
Slika 37: Izdelek z nepravilnostmi na stranicah zaradi neprimerne temperature pri 3D-tiskanju, lasten vir	36
Slika 38: Koda za premik servo motorja pred urejanjem (levo) in po urejanju (desno), lasten vir	37
Slika 39: Spletna stran za upravljanje 3D-izmeta, lasten vir.....	38
Slika 40: Mlada raziskovalca Branko Hudolin in Valentin Podkrižnik (z leve proti desni)	42

KAZALO TABEL

Tabela 1: Glavni ukazi G-kode pri 3D-tiskanju	15
Tabela 2: Tehnični podatki za Arduino MEGA 2560, vir [11]	20
Tabela 3: Primerjava gonilnika s hladilnimi rebri in brez njih, vir [13].....	21
Tabela 4: Lastnosti motorja NEMA 17, vir [16]	22
Tabela 5: Cena delov rekonstrukcije	32
Tabela 6: Meritve natančnosti 3D-tiskanja izdelka kockaste oblike	35

1 UVOD

Ker se kot mlada raziskovalca zanimava za novosti v tehniki dandanes in inovativne ideje, sva se odločila izdelati sistem, ki bi omogočal daljinsko in avtomatsko krmiljenje doma izdelanega 3D-tiskalnika (slika 17). Odločila sva se predvsem na podlagi tega, ker takšni sistemi na trgu niso pretirano razširjeni, le na dražjih in potrošnikom težje dostopnim 3D-tiskalnikih. Sam sistem omogoča, da lahko s povezavo na internetno omrežje preko strežnika krmilimo 3D-tiskalnik, spremljajmo sam proces v živo preko prenosa spletne kamere, dodajamo 3D-modele v čakalno vrsto za tisk in spremljamo izmet po končanem tiskanju.

1.1 Namen raziskovalne naloge

Namen raziskovalne naloge je spoznati, kaj je 3D-tiskanje, kako je dandanes razširjeno in dostopno ter kateri so najpogostejši načini 3D-tiskanja. Izdelati sistem avtomatskega krmiljenja doma izdelanega 3D-tiskalnika (slika 17) s pomočjo ploščice Raspberry PI (slika 32) in spletne kamere (slika 33). Prilagoditi celoten sistem, da je kompatibilen z drugimi modeli 3D-tiskalnikov. Približati sistem, ki pa uporabljajo dražji 3D-tiskalniki, potrošnikom, ki si tega ne morejo privoščiti.

1.2 Hipoteze

Pred delom sva si zastavila naslednje hipoteze:

1. 3D-tiskalnik je mogoče popolnoma krmiliti preko drugih naprav (pametni telefon, tablica ...).
2. Sistem nadzora je mogoče izdelati in sprogramirati z osnovnim znanjem iz mehatronike.
3. Sistem izmeta deluje avtomatsko brez večjih težav.
4. Video nadzor omogoča dovolj dobro sliko za spremljanje samega procesa 3D-tiskanja.
5. 3D-tiskalnik lahko samodejno natisne več 3D-modelov zaporedoma.

2 PREGLED STANJA TEHNIKE

V pregledu stanja tehnike obravnavava, kaj je 3D-tiskanje, bistvene značilnosti le-tega, vrste 3D-tiskalnikov, prednosti in slabosti le-teh, procese in tehnologije 3D-tiskanja, modeliranje in pripravo modelov za tisk, primere aplikacij 3D-tiskanja.

2.1 Kaj je 3D-tiskanje?

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [2 kn.].

3D-tiskanje ali aditivna proizvodnja (angl. Additivemanufacturing) je postopek izdelave tridimenzionalnih trdnih objektov, ki so lahko skoraj katere koli oblike iz prej pripravljenega digitalnega modela. Nastanek željenega modela dosežemo z uporabo aditivnega postopka, pri katerem se dodajajo plasti materiala. Dandanes se je ta tehnologija močno razširila in se uporablja za izdelavo prototipov in v porazdeljeni proizvodnji na področjih industrijskega oblikovanja, arhitekture kot tudi v avtomobilski, letalski in vesoljski industriji ter zdravstvu. Cenovno dostopna je postala tudi širši javnosti za domačo uporabo.

2.2 Vrste 3D-tiskalnikov

Dandanes na trgu kroži veliko različnih vrst in modelov 3D-tiskalnikov. Najpogostejša in najbolj cenovno dostopna pa sta še vedno kartezični (*slika 1*) in delta model (*slika 2*).

2.2.1 Kartezična izvedba 3D-tiskalnika

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [26] in [27].

Kartezična izvedba 3D-tiskalnika (*slika 1*) je danes najbolj priljubljen model izvedbe 3D-tiskalnikov. Poimenovan je po dimenzionalnem koordinatnem sistemu oz. prostorskih oseh (X-, Y-, Z-osi), ki se uporablja za določanje premikov v treh dimenzijah. Kartezični 3D-tiskalniki so običajno sestavljeni tako, da vsebujejo s tiskalno mizo (*slika 23*), ki se premika samo po prostorski Z-osi. Sistem za dovajanje materiala je v večini primerov nameščen na X-osi in Y-osi in se lahko premika v štirih smereh. Obstajajo tudi variacije v premikanju samih delov sistema.

Prednosti kartezičnega modela so: enostavno kalibriranje in odpravljanje napak, so bolj pogosti, pogosta uporaba sistema dveh 3D-tiskalnih glav ...

Slabosti kartezičnega modela: zelo počasno gibanje tiskanja po Z-osi, pogoste napake pri tiskanju, potrebno pogosto nadzorovanje sistema prenosa gibanja, še posebej pri jermenskem prenosu, različne vztrajnosti gibanja na vsako os, počasna hitrost tiskanja ...



Slika 1: Primer izvedbe kartezičnega 3D-tiskalnika znamke Ultimaker, vir: [1]

2.2.2 Delta izvedba 3D-tiskalnika

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [26] in [27].

Tudi delta izvedba 3D-tiskalnika (slika 2) deluje v kartezični ravnini, toda se bistveno razlikuje po zgradbi in izgledu. Tiskalna glava (slika 30) je nameščena nad tiskalno mizo (slika 23) s tremi nosilci, ki se pomikajo po navpičnih vodilih (slika 29), ki so razporejeni v trikotni konfiguraciji, iz tega tudi izhaja ime delta. Oblikovani so bili za doseganje velikih hitrosti, njihova tiskalna miza pa se ne premika. V nekaterih primerih trdijo izkušeni strokovnjaki ali graditelji teh modelov, da imajo ti modeli slabšo kvaliteto tiskanja od kartezičnih.

Prednosti delta modela: dosega velike hitrosti tiskanja in velike pospeške, hitro odpravljanje mehanskih napak, odporni na protiudarce njihovih koračnih motorjev (slika 22), nizki stroški vzdrževanja, boljši izgled, hitrejša pomikanje po Z-osi ...

Slabosti delta modela: dolgotrajna kalibracija, nihanje celega sistema, težko je določiti vzrok napake, potrebna dobra izgradnja modela, če ni pravilno kalibriran, ni možno doseči natančnosti, ti modeli so redki in manj podprti na medmrežju (na forumih spletnih strani) kot kartezične izvedbe ...



Slika 2: Primer izvedbe delta 3D-tiskalnika znamke Tripodmaker, vir [2]

2.3 Procesi in tehnologije 3D-tiskanja

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

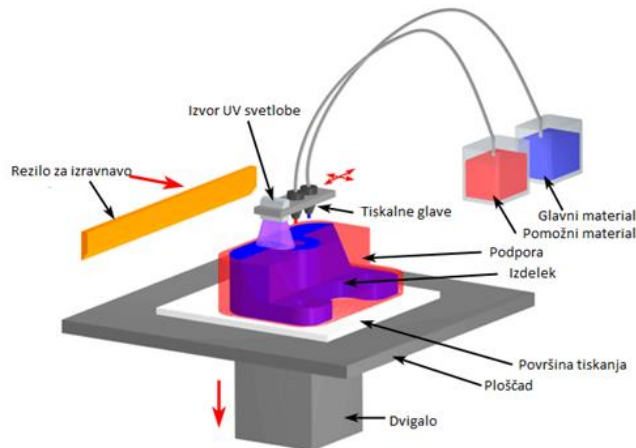
Danes 3D-tiskalniki uporabljajo različne tehnologije. Obstaja veliko načinov, kako pridemo od računalniškega modela do končnega 3D-objekta, ki ga želimo natisniti. Skoraj vsi 3D-tiskalniki pa temeljijo na enakem aditivnem principu ustvarjanja realnega modela: dodajanje materiala plast za plastjo. Posamezni 3D-tiskalniki se razlikujejo po načinu nanosa novih plasti na prejšnje in po debelini posamezne plasti. Nekatere metode uporabljajo taljenje ali mehčanje materiala za izdelavo plasti. Selektivno lasersko sintiranje (angl. Selective Laser Sintering - SLS) in odlaganje taljenega materiala (angl. FusedDepositionModeling - FDM) sta najpogostejši tehnologiji, ki uporabljata ta način 3D-tiskanja. Druga metoda tiskanja je, ko govorimo o strjevanju tekoče smole oz. plastične raztopine s pomočjo UV-laserja ali kakšnega drugega podobnega vira svetlobe za polimerizacijo in to plast za plastjo. Od leta 2010 je Ameriška družba za testiranje in materiale (angl. AmericanSocietyforTesting and Materials–ASTM) razvila standarde, ki razdelijo aditivno proizvodnjo v 7 kategorij.

2.3.1 Tehnologija fotopolimerizacije

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija fotopolimerizacije(angl. Vat Photopolymerisation) je uporabljena pri 3D-tiskalnikih s posodo, napolnjeno s tekočim polimerom oz. smolo, ki se ob stiku z izvorom UV-svetlobe strdi. Najbolj pogosto uporabljena tehnologija v tem procesu je stereolitografija

(angl. Stereolithography - SLA). Ta tehnologija vključuje kad s tekočo smolo ali polimerom in ultravijolični laser strjuje to plast za plastjo in s tem se zgradi 3D-objekt. Za vsako plast ali sloj laserski žarek sledi prečnemu prerezu dela vzorca na površini tekoče smole ali polimera. Izpostavljenost ultravijolični svetlobi suši in strdi vzorec na smoli ali polimeru in ga združi k prejšnji strjeni plasti predmeta.



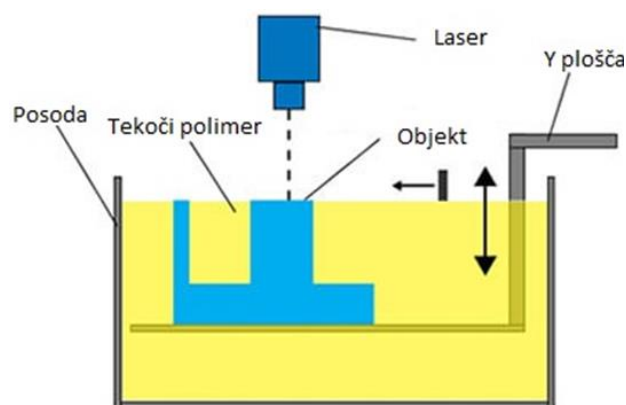
Slika 3: Princip delovanja 3D-tiska s fotopolimerizacijo (angl. Vat Photopolymerisation), vir: [3]

2.3.2 Brizganje materiala

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija brizganje materiala (angl. Material Jetting) je proces, kjer se plast tekoče polimerske smole nanaša na podlago v obliki kapljic skozi šobo majhnega premera.

Tehnologija deluje na podoben način kot navadni tiskalniki, vendar je v tem primeru smola nanesena plast za plastjo, da zgradi 3D-objekt, in strjena s pomočjo UV-svetlobe.

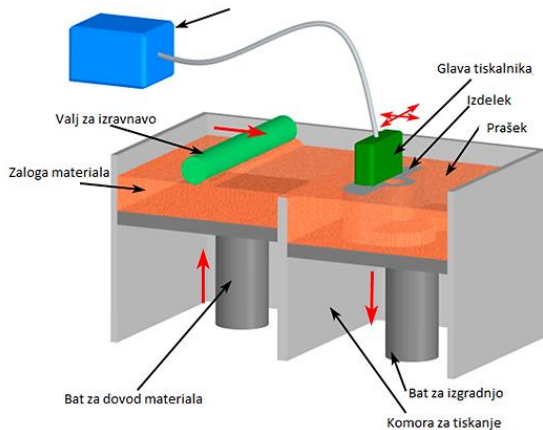


Slika 4: Brizganje materiala (Material Jetting), vir: [3]

2.3.3 Tehnologija spajalno brizganje

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija spajalno brizganje (angl. Binder Jetting) uporablja dva materiala: keramični prašek in tekoče vezivo. V komori za 3D-tiskanje se prašek enakomerno razporeja v enake plasti, na katerega se nanaša tekoče vezivo skozi šobo, ki povežejo prašne delce materiala v prej modelirano 3D-obliko. Končni izdelek je »zlepljen«. Po končanem tiskanju se odvečni prašek odstrani in uporabi za izdelavo naslednjega izdelka.

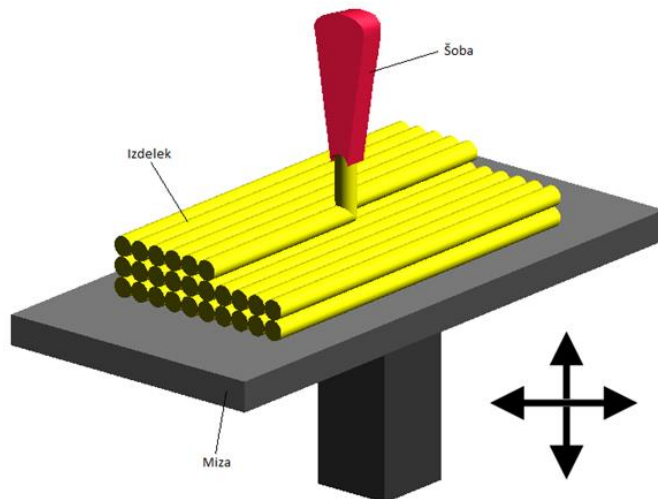


Slika 5: Princip delovanja Tehnologije s spajalnim brizganje (angl. Binder Jetting), vir: [3]

2.3.4 Tehnologija z izrivanjem materiala

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija z izrivanjem materiala (angl. Material Extrusion) deluje s pomočjo plastične nitke (angl. Plastic filament) ali kovinske žice, ki je odvita iz tuljave in transportirana do glave tiskalnika (slika 30), ki izklopi ali vklopi pretok materiala. Glava tiskalnika je ogrevana in tali material. Glava se lahko premika v obe vodoravni in navpični smeri z numerično krmiljenim mehanizmom, ki je posredno ali neposredno nadzorovan s paketom računalniško podprte proizvodnje (angl. computer-aided manufacturing – CAM). Objekt je pridobljen z iztiskanjem staljenega materiala skozi šobo, ki tvori plasti. Material se ohladi takoj po izrivu materiala iz šobe tiskalne glave tiskalnika. Ta tehnologija se pogosto uporablja v povezavi z dvema polimernima materialoma: PLA (3.6.1), (angl. Polylactic acid) in ABS (3.6.3), (angl. Acrylonitrile Butadiene Styrene), glavne razlike med njima pa so talilna temperatura ter trdnost in raven krčenja pri ohlajanju. Na trgu se pojavljajo vedno novi in boljši materiali, kot so materiali z lastnostmi lesa (3.6.5), gume in celo prevodni materiali. Naša raziskovalna naloga Rekonstrukcija domačega 3D-tiskalnika vsebuje tak tip 3D-tiskalnika.

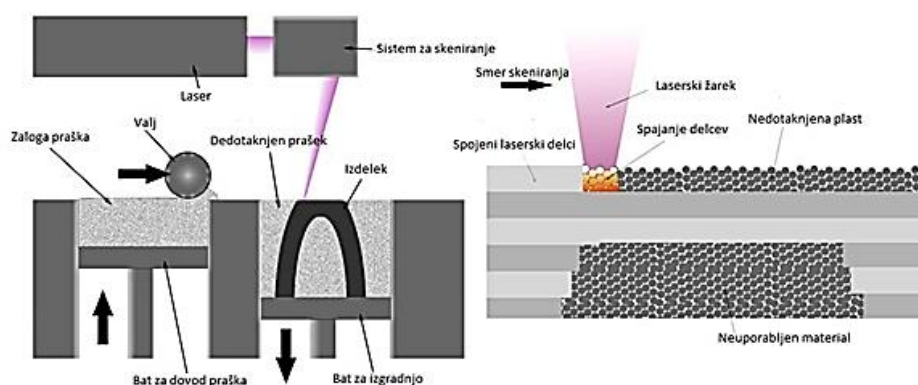


Slika 6: Princip delovanja tehnologije z izrivanje materiala (angl. Material Extrusion), vir: [3]

2.3.5 Tehnologija s spajanjem na podlagi praha

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija s spajanjem na podlagi praha (angl. Powder Bed Fusion) uporablja laserje visokih moči, da spoji majhne delce plastičnega, kovinskega, keramičnega ali steklenega prahu v predmet, ki ima želeno tridimenzionalno obliko. Laser selektivno spaja prahu podoben material s prečkanjem posamezne plasti. Ko je ena plast strjena, se tiskalna miza zniža za debelino ene plasti in nanj se nanese nov sloj praška, pri čemer se postopek ponavlja, dokler 3D-predmet ni dokončan. Ves nestrjen prašek ostane na tiskalni mizi in postane podporni material za predmet. Prašek, ki ostane po tiskanju, lahko uporabimo za tiskanje naslednjega 3D-izdelka.

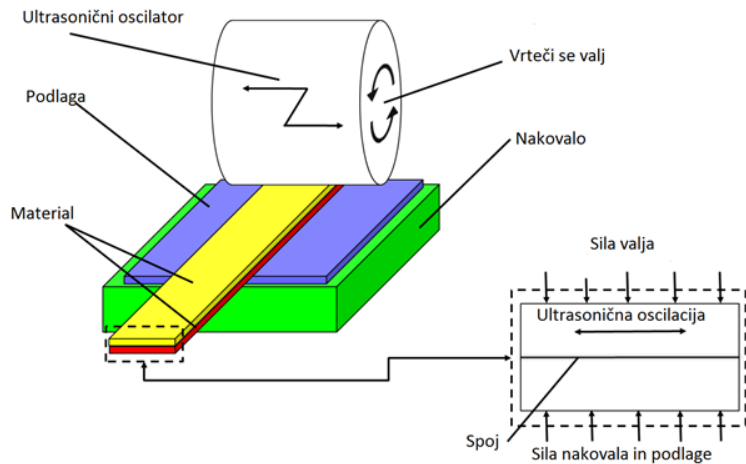


Slika 7: Princip delovanja tehnologije s spajanjem na podlagi praha (Powder Bed Fusion), vir: [3]

2.3.6 Tehnologija spajanja oz. laminiranja plošč

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija spajanja oz. laminiranja plošč (angl. SheetLamination) vključuje material v obliki listov, ki se poveže z zunanjo silo. Lističi so lahko iz različnih materialov kot na primer kovina, papir ali polimer. Pločevine so zvarjene z ultrasoničnim varjenjem v plasteh, nato pa še dokončno oblikovane s CNC-strojem. Če uporabljamo papir, so listi zlepljeni z lepilom in odrezani na mero z ostrimi in natančnimi noži.

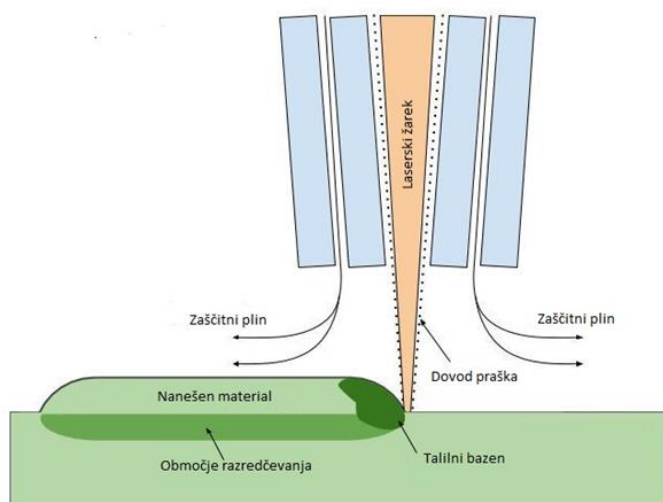


Slika 8: Princip delovanja tehnologije spajanja oz. laminiranja plošč, vir: [3]

2.3.7 Tehnologija odlaganje z usmerjeno energijo

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Tehnologija odlaganje z usmerjeno energijo (angl. DirectedEnergyDeposition) se največ uporablja v visokotehnološki kovinski industriji in hitrih proizvodnih aplikacijah. Naprava za 3D-tiskanje je po navadi pritrjena na robotsko roko z več osmi in je sestavljena iz šobe, ki nanaša kovinski prašek ali žico na tiskalno površino, ter vira energije. Ta je lahko laser, elektronski snop ali plazemski lok, ki topi prašek ali žico in ustvarja trden predmet.



Slika 9: Princip delovanja tehnologije odlaganje z usmerjeno energijo (DirectedEnergyDeposition), vir: [3]

2.4 Primeri uporabe 3D-tiskanja

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Primeri uporabe 3D-tiskanja vsebujejo naglo izdelavo prototipov, izdelavo modelov arhitekturnega obsega in maket, zdravstveno varstvo (po novem je pričakovati 3D-tiskanje umetnih udov in tiskanje s človeškim tkivom ...) in zabavo (3D-tiskanje filmskih rekvizitov ...).

Drugi primeri 3D-tiskanja vključujejo rekonstrukcijo fosilov v paleontologiji, reproduciranje starodavnih artefaktov v arheologiji, rekonstrukcijo kosti in udov v forenzični patologiji ter rekonstrukcijo močno poškodovanih dokazov, pridobljenih ob preiskavah na kraju zločina.

2.5 3D-tiskanje v industriji

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

V zadnjih nekaj letih je izraz 3D-tiskanje postal bolj znan in tehnologija je dosegla širšo javnost. Kljub temu pa veliko ljudi izraza še nikoli ni slišalo, čeprav je tehnologija v uporabi že desetletja. Še posebej so jo uporabljali proizvajalci v svojih procesih oblikovanja za izdelavo prototipov za tradicionalno proizvodnjo in raziskave.

Seveda se ob tem postavlja vprašanje, zakaj 3D-tiskalnik uporabljati za te namene. Dandanes je na trgu mogoče kupiti poceni 3D-tiskalnike za več tisoč dolarjev, ki omogočajo podjetjem, da prihranijo veliko časa, ki bi ga sicer potrebovala za izdelavo prototipa.

Poleg hitrega tiskanja prototipov je 3D-tiskanje primerno tudi za hitro proizvodnjo. Hitra proizvodnja je nova oblika proizvodnje, kjer podjetja uporabijo 3D-tiskalnike za hitro izdelavo izdelkov po naročilu. Na ta način tiskani predmeti niso prototipi, ampak končni izdelek. Zaradi te tehnologije lahko pričakujemo večjo razpoložljivost na željo kupca prilagojenih predmetov.

2.6 3D-tiskanje doma

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Osebno ali domače 3D-tiskanje je namenjeno predvsem za hobije ali pa za navdušence, porast te smeri se je pričel leta 2011. Zaradi hitrega razvoja na tem trgu postajajo tiskalniki vedno cenejši. Cene se po navadi gibljejo od 250 € do 2500 €. To omogoča dostopnost te tehnologije širši množici. Za nižanje cen tiskalnikov na trgu je zelo pripomogel odprtokodni projekt RepRap (<http://www.reprap.cc>). Za približno tisoč evrov se lahko kupijo RepRap komplet in

si potem kupec lahko sestavi svoj namizni 3D-tiskalnik. Vsi, ki delajo na tem projektu, delijo svoje znanje in omogočajo, da ga uporabijo tudi ostali.

2.7 3D-tiskanje v zdravstvu

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Obeti za uporabo 3D-tiskalnikov v medicini se razvijajo z zelo veliko hitrostjo, ko strokovnjaki začnejo uporabljati 3D-tiskanje za naprednejše oblike. Pacienti po vsem svetu čutijo izboljšano kakovost oskrbe s 3D-natisnjenimi vsadki.

3D-tiskanje proučujejo tudi biotehniška podjetja in akademski krogi za morebitno uporabo v aplikacijah tkivnega inženiringa, kjer bi v prihodnosti organi in udje bili zgrajeni z vbrizgalno tehniko.

Plasti živih celic bi bile nanese na želatinast medij in počasi zgrajene, da bi tvorile tridimenzionalno strukturo. Ta smer raziskovanja se imenuje Bio-tiskanje.

2.8 Prihodnost 3D-tiskanja

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3].

Nekateri zagovorniki aditivne proizvodnje napovedujejo, da bo ta tehnološki razvoj spremenil naravo porabe, saj bodo potrošniki zeleno stvar lahko izdelali doma, namesto da bi jo kupili.

3D-tiskalniki z zmogljivostjo tiskanja v različnih barvah in različnih materialih že obstajajo in se bodo izboljševali do točke, ko bodo njihovi izdelki pripravljani za preboj na trg. Z vplivi na rabo energije, zmanjševanje odpadkov, prilagajanje, razpoložljivosti izdelka, medicino, umetnost, gradbeništva in znanosti bo 3D-tiskanje spremenilo proizvodni svet, kot ga poznamo danes.

Po najinem mnenju je le vprašanje časa, kdaj bodo 3D-tiskalniki postali tako dostopni, da si ga bo lahko privoščil vsak potrošnik. Velik napredek bo po najinem mnenju prinesla ta tehnologija tudi v medicini, ko bodo zdravniki lahko natisnjene biološke dele izdelali po potrebah in željah posameznika tako, da se bodo skoraj popolnoma prilegali njegovemu telesu.

2.9 Priprava 3D-modelov za tisk

3D-modele za tisk pripravimo tako, da jih najprej modeliramo, nato pa razrežemo na plasti in hkrati pretvorimo v format, ki ga lahko prebere in uporabi 3D-tiskalnik. Za to uporabljamo najrazličnejše programe, ki jih lahko pridobimo na medmrežju.

2.9.1 Program PTC CreoParametric

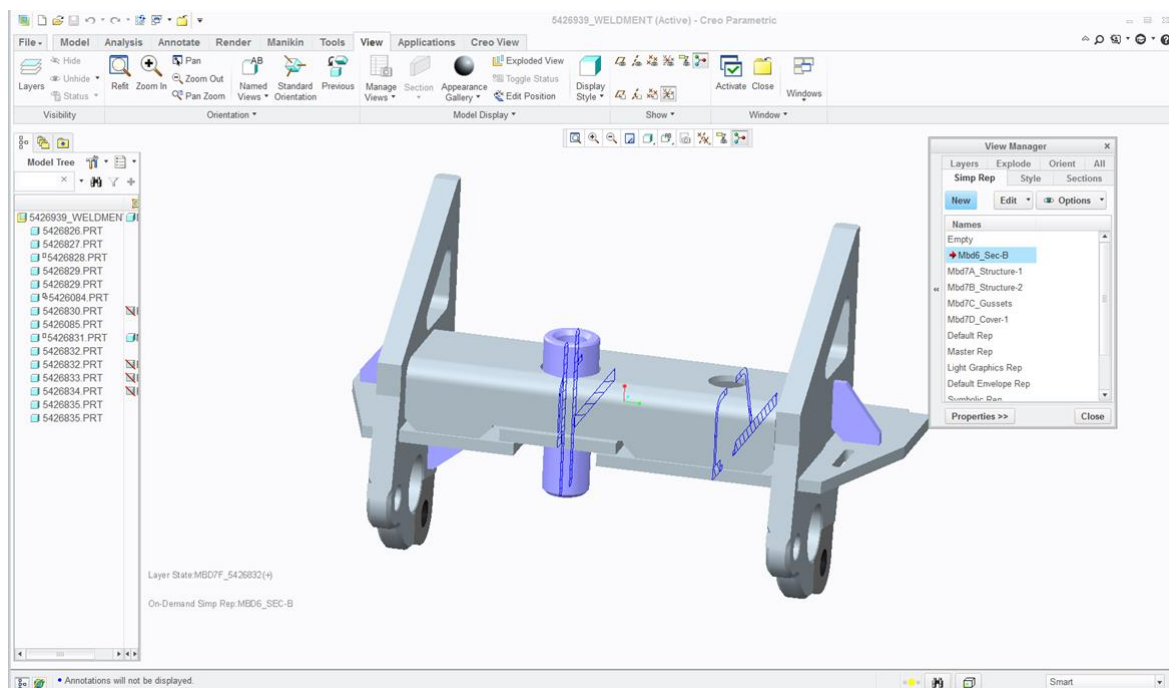
Naslednje besedilo je povzeto po viru: [4].

Creo (*slika 10*) je PTC-jeva integrirana 3D/CAM/CAE-rešitev, ki jo uporabljajo samostojni proizvajalci za strojni inženiring, oblikovanje in proizvodnjo.

Bilj je prvi 3D-CAD-modelirni sistem, ki temelji na pravilih industrijskih omejitev (parametrov). Pristop parametričnega modeliranja uporablja parametre, dimenzije, funkcije in odnose, da bi prikazal predvideno obnašanje končnega izdelka in omogočal avtomatizacijo in optimizacijo načrtovanja in razvoja.

Lahko se uporablja za ustvarjanje digitalnih 3D-modelov. Sestavljeni so iz 2D- in 3D-trdnih podatkov modela, ki se lahko uporabljajo tudi za analizo končnih izdelkov, za hitro izdelavo prototipov, projektiranje orodij in CNC-proizvodnjo.

Vsi podatki so povezani in izmenljivi med CAD-, CAE- in CAM-moduli brez potrebe pretvarjanja iz enega v drug modul.



Slika 10: Uporabniškega vmesnika programa PTC CreoParametric, vir [6]

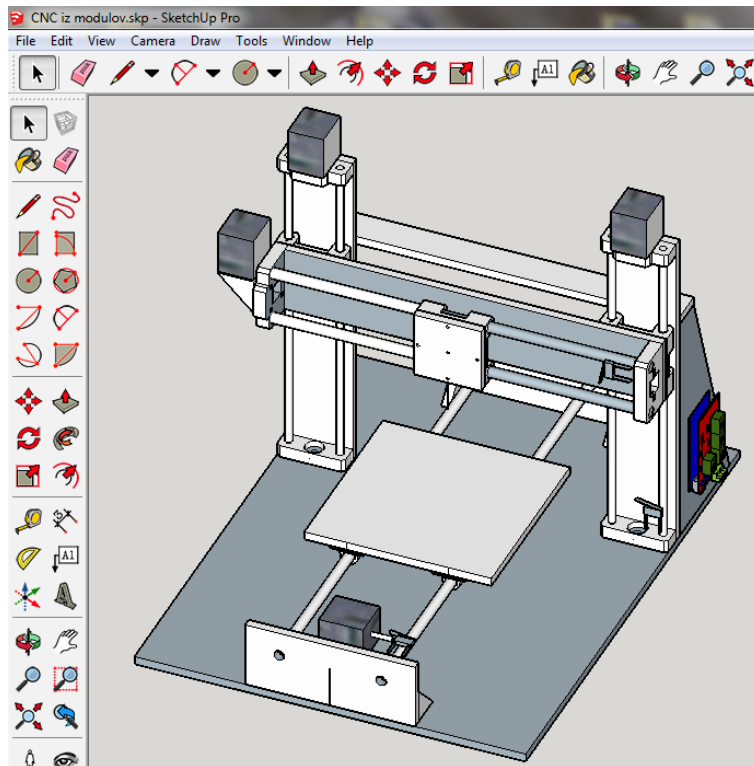
2.9.2 Program SketchUp

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [5].

SketchUp je računalniški program za 3D-modeliranje (*slika 11*), ki zajema široko paleto risarskih aplikacij, kot so arhitektura, notranje oblikovanje ter strojništvo.

Namenjen je predvsem za vse ustvarjalce, ki potrebujejo hitro ter lahko izrisovanje 3D-modelov. Ponuja mnogo vtičnikov, ki razširijo ponudbo orodij ali drugih funkcij programa. Pri 3D-tiskanju vsekakor pride v poštev vtičnik za izvažanje 3D-modelov v STL-obliki, ki se potem potrebuje v programih za pretvorbo le-teh v G-kodo (2.9.6).

Na spletu je zanj na voljo odprtokodna knjižnica, polna modelov, v katero lahko uporabniki objavljajo svoje modele.



Slika 11: Uporabniškega vmesnika programa SketchUp, vir [7]

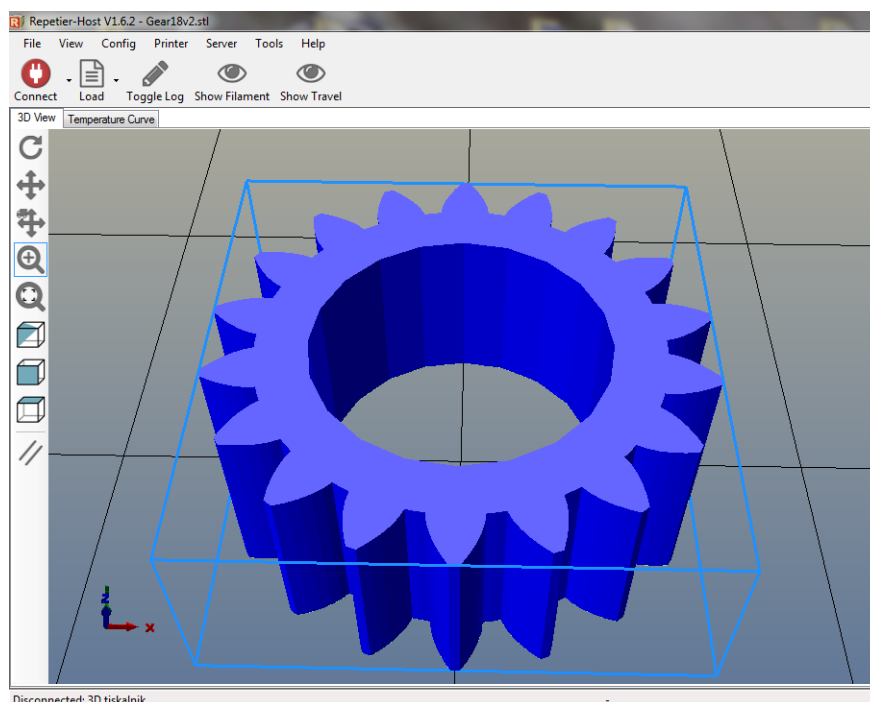
2.9.3 Program Repetier-host

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [8].

Je program za razrez modela in pripravo le-tega za tiskanje s 3D-tiskalnikom. Ta program se uporablja za krmiljenje 3D-tiskalnikov z Arduino mikrokrmilnikom (slika 19). Za delovanje povezave med programom Repetier-host in mikrokrmilnikom Arduinose podatki prenašajo s pomočjo USB-kabla. Arduino mikrokrmilnik mora tudi ustrezati naslednji lastnosti, kot je najmanj 128KB RAM, in temu zadošča ArduinoMEGA 2560. Pomembno je tudi, da ima dovolj priključnih nožic za razširitevno ploščico RAMPS 1.4 (slika 20). Trenutno podpirani mikrokrmilniki so tudi Gen 6, MegaTronics in RUMBA.

Odvisno je od mikrokrmilnika, saj lahko program poganja 3D-tiskalnik zelo hitro, tudi hitreje kot je šoba (angl. extruder) sposobna dovajati in iztisniti plastično nit. Program si že za

vnaprej shranjuje nekaj korakov in nato izvaja vsakega od naloženih 16 korakov, da med obratovanjem ne pride do ustavljanja zaradi kratkih premorov zaradi prenosa naslednjih korakov. S tem omogoča neprekinjeno in časovno krajše tiskanje.



Slika 12: Primer 3D-modela v uporabniškem vmesniku programu Repetier-host, lasten vir

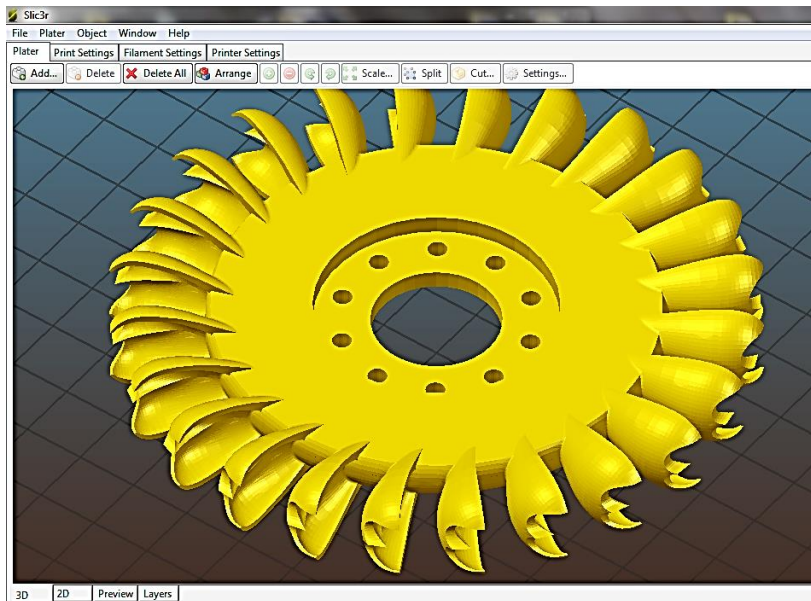
2.9.4 Program Slic3r

Je program, uporabljen za pretvorbo formata 3D-modela v t. i. G-kodo (2.9.6). V programu je potrebno nastaviti vse parametre, ki ostanejo v spominu in nam jih ni potrebno vedno znova vpisovati, razen če nam kateri od parametrov ne ustreza za željen model. Pomemben parameter je višina plasti, ki določa razmik med vsako plastjo. Pri večjem razmiku dobimo bolj grobo površino modela ter krajši čas izdelave. Za razliko pri manjšem razmiku med plastmi dobimo fino površino modela, vendar se čas izdelave zelo poveča. Pri razmiku pa smo omejeni, saj razmik ne sme biti večji od premera luknje v šobi. Najbolj pomemben parameter je vsekakor polnjenje modela. Možnost polnjenja je v območju od 0 % in do 100 %, torej je model lahko votel, nekajodstotno poln ali popolnoma poln. Z večanjem odstotka polnjenja modela se z večanjem le-tega povečuje trdnost in manjša prožnost natisnjene modela.

Parameter za uporabo tiskanja pomožnega materiala je nadvse uporaben pri modelih mostovih oz. kjer 3D-tiskalnik vsekakor ne bi mogel izvesti zahtevnih previsov (po navadi so to koti večji od 45°) in bi model pri samem tiskanju spremenil obliko zaradi sile gravitacije, kar je seveda nezaželeno. Nastavitve parametrov hitrosti lahko veliko pripomore k natančnosti natisnjene modela. Možno je nastavljati hitrosti glave 3D-tiskalnika pri majhnih ali večjih

parametrah, polnjenju, polnjenju spodnje ter zgornje plasti, pomožnega materiala in odprtih ter mostov.

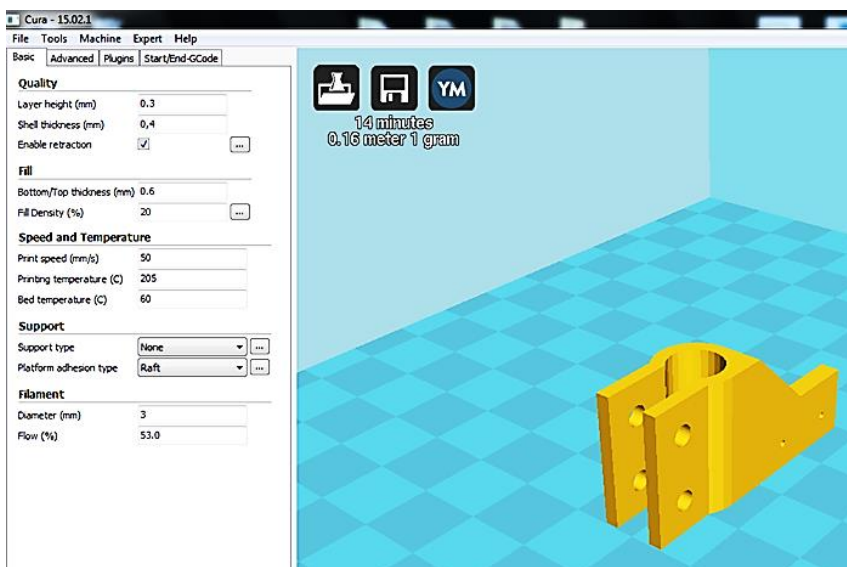
Obvezno je potrebno nastaviti premer in vrsto plastične niti ter 3D-tiskalnika. Program potrebuje premer plastične niti za izračun hitrosti motorja, ki potiska nit. Nastavljeno primerno temperaturo grelcev (slika 24) na šobi in grelni mizi (slika 23) pri prvi plasti ter ostalih plasteh. Pomembna pa je tudi velikost delovne površine mize in število šob.



Slika 13: 3D-ogled modela v programu Slic3r pri pretvorbi v format za 3D-tiskanje, lasten vir

2.9.5 Program Cura

Je (slika 14) precej podoben program za razrez plasti (angl. slic3r), ki je bil narejen za znamko tiskalnikov Ultimaker (slika 1).



Slika 14: 3D-ogled modela v programu Cura pri pretvorbi v format za 3D-tiskanje, lasten vir

Program precej natančno opredeli potreben čas za določen model in je prijazen za uporabo predvsem pri obračanju, skaliranju ter kopiranju modelov. Omogoča tudi objavljanje modelov na spletni strani <https://www.youmagine.com/>, 14. 2. 2017.

2.9.6 G-koda

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [9].

Oba programa Slic3r in Cura pretvorita narisani 3D-model v strojni jezik, ki ga lahko prebere 3D-tiskalnik, tj. G-koda. V tej kodi so zapisane vse potrebne nastavitve in pomiki, ki so potrebni za 3D-tiskanje. Napisana je v strojnem jeziku, ki ni lahko berljiv.

Obstaja nekaj različnih načinov za pripravo G-kodiranj za tiskalnik. Ena je uporaba programov kot so Slic3r (slika 13), Skeinforge ali npr. Cura (slika 14). Ti programi 3D-model narežejo na plasti ter v izhodno obliko G-kodiranj za vsako plast. Končna možnost je, da sami ročno napišemo G-kodo. To je lahko najboljša izbira, če bi radi le preizkusili nekaj testnih linij, medtem ko umerjamo tiskalnik.

Jezik G-koda je alfa-numerična temelji na ASCII-strojni jezik za interpretiranje diskretnih gibov numeričnih strojev (tabela 1).

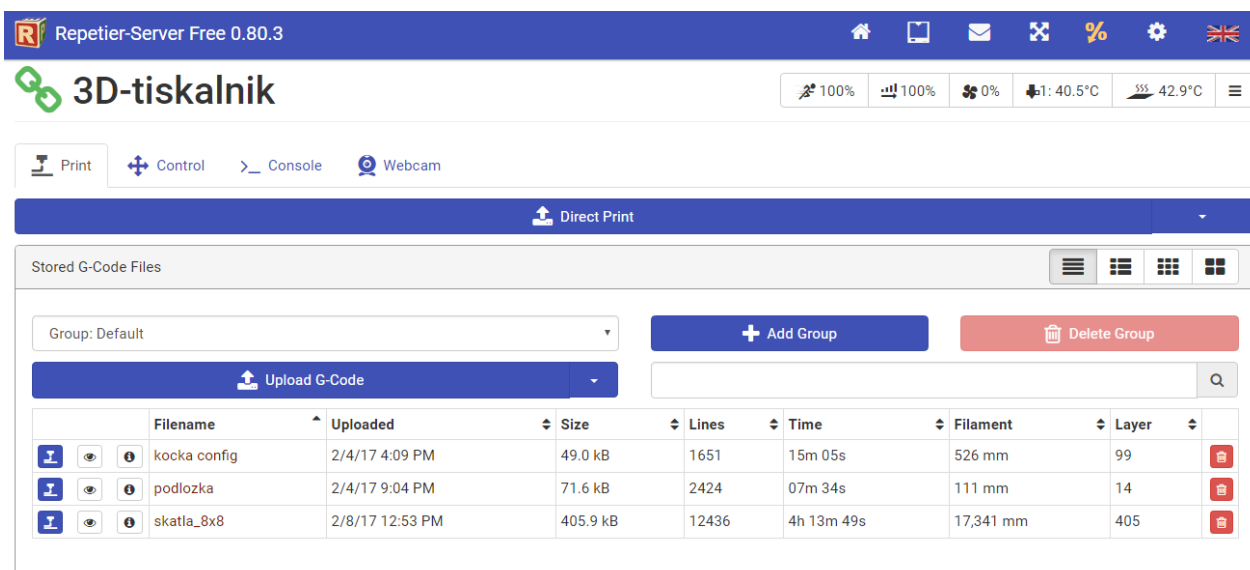
Tabela 1: Glavni ukazi G-kode pri 3D-tiskanju

Ukaz	Pomen ukaza
M190 S60	Segrevanje grelne mize na 60 °C
M104 S210	Segrevanje šobe dna 210 °C
F28	Postavitev vseh osi v izhodišče
G21	Nastavitev enot v mm
G90	Uporaba absolutnih koordinat
G1	Delovni gib
M84	Izklop koračnih motorjev

2.10 Dostop in upravljanje 3D-tiskalnika z Repetier-strežnikom

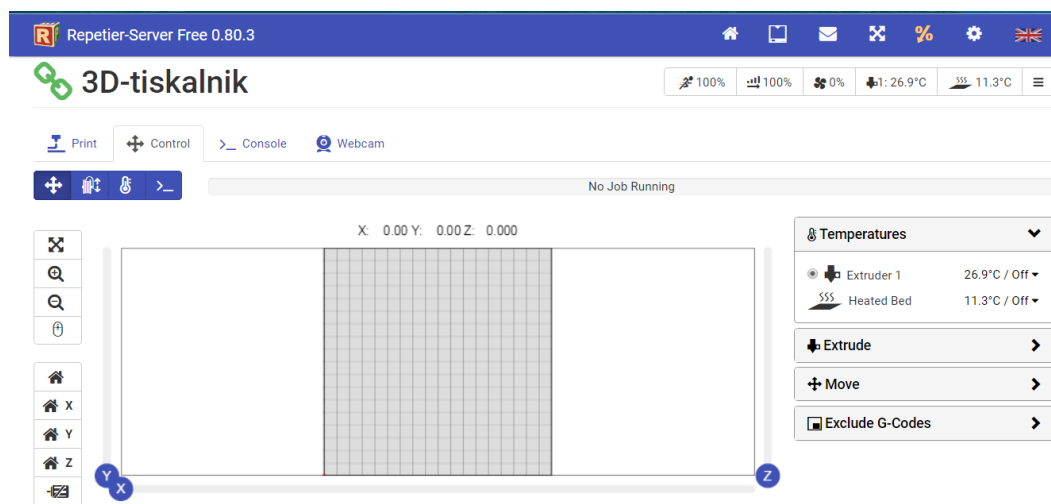
Naslednje besedilo je povzeto po viru: [25].

Omogoča lahek dostop in nadzor 3D-tiskalnika kjerkoli preko pametnega telefona ali tabličnega računalnika. Vključen ima nadzor s spletno kamero (slika 33), ki ustvarja presenetljivo kakovostne video posnetke s časovnimi zamiki. Poganja lahko tudi več tiskalnikov hkrati. Repetier-strežnik (slika 15) (ang. Repetier-Server) deluje na OS Windows, Mac in Linux, celo na mikroračunalnikih, kot je Raspberry PI (slika 32).



Slika 15: Čelna plošča Repetier-strežnika, lasten vir

Za nalaganje v naprej narisanih 3D-modelov je za tiskanje potrebno le malo spomina. Vsak model si lahko tudi pred tiskanjem ogledamo. Na daljavo lahko upravljamo tudi funkcije, kot so segrevanja in ohlajanja tiskalne mize (slika 23) in 3D-tiskalne glave (slika 30), merimo in spremljamo tudi hitrost ogrevanja in hlajenja, ki je potrebno za natančno tiskanje. Upravljamo lahko tudi položaj same tiskalne mize.



Slika 16: Upravljanje pozicije tiskalne mize, lasten vir

3 PREDSTAVITEV 3D-TISKALNIKA

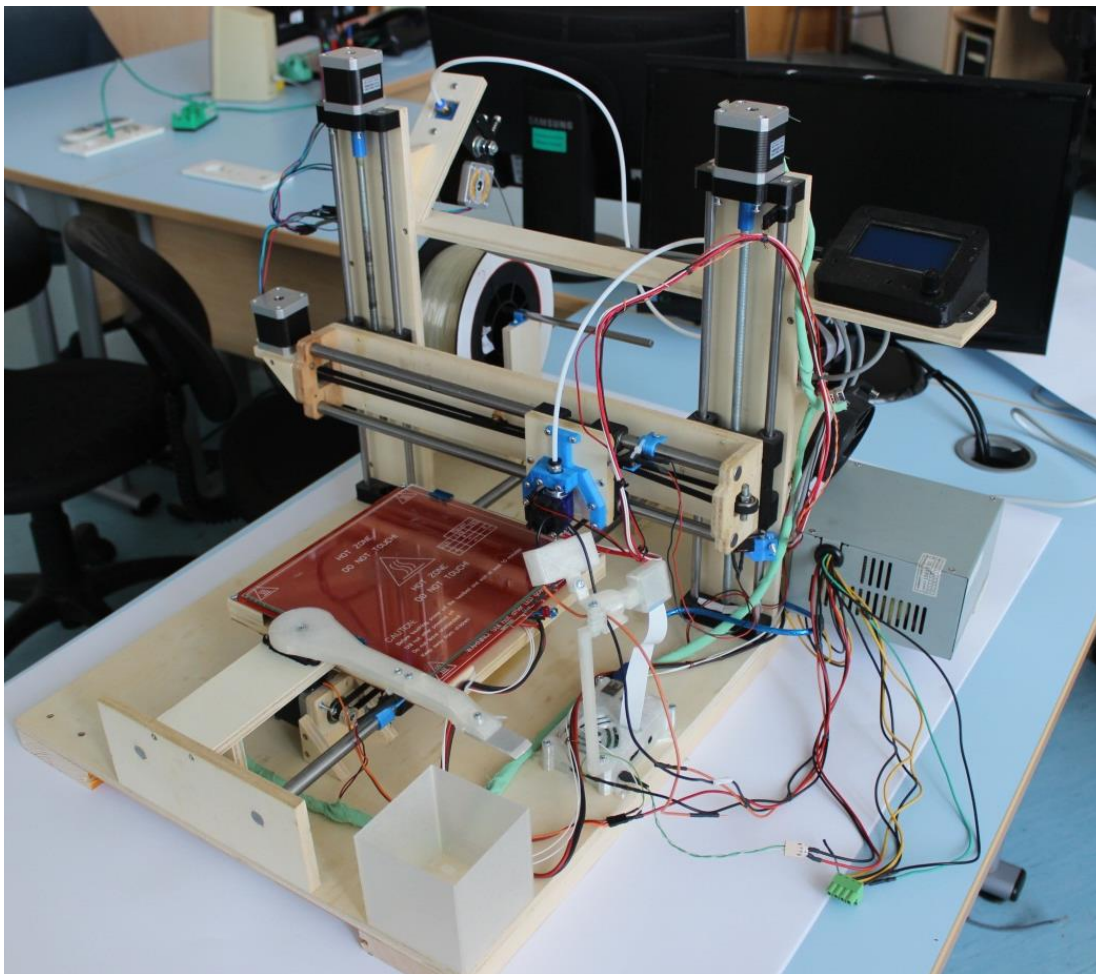
V nadaljevanju bomo na kratko predstavili naš doma izdelani 3D-tiskalnik (slika 17), ki sva ga rekonstruirala in dogradila z lastnim sistemom video nadzora in avtomatskega izmeta (slika 39) natisnjenih izdelkov.

3.1 Osnovna predstavitev doma izdelanega 3D-tiskalnika

3D-tiskalnik je kartezične oblike (slika 1). Namenjen je tiskanju 3D-modelov iz plastike PLA (3.6.1), ki je med vsemi najbolj preprosta. Uporablja plastiko premera 1.75 mm, ki s koračnim motorjem (slika 22) potiska v šobo (angl. extruder). K boljši kvaliteti 3D-tiskanja modelov pripomore grelna miza (slika 23) s stekleno delovno površino, ki jo je pri tiskanju plastične niti PLA (3.6.1) priporočljivo segreti na 60 °C. H kvaliteti pa pripomore tudi ventilator, ki je predvsem nepogrešljiv pri tiskanju pod kotom od 45° do ravnih mostov. Krmiljenje 3D-tiskalnika je izvedeno z mikrokrmilnikom Arduino (slika 19), na katerega priključimo razširitveno ploščo Ramps z gonilniki koračnih motorjev, ki potrebujejo kvalitetno hlajenje.

Premikanje Z-osi je izvedeno z dvema koračnima motorjema, ki preko navojnih palic in matic izvajata linearno gibanje, za vodenje osi poskrbijo plastične puše, ki drsijo po okroglih kovinskih vodilih (slika 29).

Premikanje X- in Y-osi je izvedeno z jermenicami ter jermeni GT2. Vse osi so omejene s končnimi stikali (slika 25).



Slika 17: Naš doma izdelani 3D-tiskalnik, lasten vir

Pri povezavi 3D-tiskalnika z računalnikom ali pametnim telefonom smo uporabili Raspberry PI (slika 32), ki vzpostavi povezavo z Arduino (slika 19) kot računalnik preko USB-priključka ter ga krmilimo daljinsko s pomočjo spletnega strežnika. Na mikroročunalnik Raspberry PI se naloži Repetier-strežnik (slika 15), ki vzpostavi povezavo z zunanjim uporabnikom in 3D-tiskalnikom ter uporabniku omogoča popolno upravljanje 3D-tiskalnika.

Obenem pa Repetier-strežnik omogoča nalaganje 3D-modelov na strežnik, kar nam omogoča tiskanje teh modelov kadarkoli. Z dodatnim nalaganjem aplikacij na Raspberry PI (slika 32) sva omogočila tudi video prenos v živo preko dodatne kamere (slika 33), ki se priključi na Raspberry PI. Na voljo je tudi spletna stran (slika 39), ki omogoča daljinsko voden izmet, izveden s servo motorjem (slika 34) in hkrati prenos video slike v živo.

3D-tiskalnik je možno na daljavo pripraviti, nastaviti za tiskanje in ga vseskozi nadzorovati preko video prenosa v živo ter vklopiti avtomatski izmet natisnjene 3D-modela.

3.2 Pregled komponent 3D-tiskalnika

Da lahko 3D-model pretvorimo v fizično obliko, je potrebno imeti 3D-tiskalnik ali ga sami sestaviti. Za izdelavo 3D-tiskalnika uporabimo najrazličnejše komponente, ki sestavljajo njegov elektronski in strojni del. Od kakovosti komponent pa je odvisna tudi natančnost in hitrost 3D-tiskalnika.

3.3 Elektronski del 3D-tiskalnika

V nadaljevanju so opisane komponente, ki tvorijo »možgane« 3D-tiskalnika. So zelo pomembne, saj skrbijo za pravilno izvajanje operacij tiskalnika ter njegovo delovanje. Omogočajo premikanje po prostorskih oseh, prenos 3D-modelov za tiskanje in komuniciranje med ostalimi komponentami.

3.3.1 Repetierjeva strojna in programska oprema ter konfiguracijskega orodja

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [10].

Repetierjeva strojna programska oprema (angl. firmware) je rešitev za tipično konfiguracijo, ko gre za ustvarjanje in posodabljanje novega vmesnika za lasten 3D-tiskalnik (slika 18). V orodju je veliko različnih parametrov, ki jih je potrebno določiti oz. nastaviti.

V tem orodju so skrite vse informacije in nastavitve, ki niso pomembne za tiskalnik. Uporabniku nudi listanje med zgornjimi meniji od leve proti desni, vsaka od nastavitvev ima najboljšo možno prikazano razlago.

V prvem meniju so vse splošne nastavitve. Najpomembnejša nastavitvev je oblika 3D-tiskalnika, ki je lahko kartezični (slika 1) ali delta model (slika 2).

Nekaj nastavitvev je za hitrost in vrsto komunikacije med mikrokrmilnikom Arduino (slika 19) in računalnikom. Delovna površina se nastavi v mm.

Repetier-Firmware configuration tool for version 0.92.9 version



Introduction

The configurator is the solution to the typical configuration hell when it comes to creating or updating a new firmware for your 3d printer. While the wanted values are quite simple, many users get lost in the different options and when they need to be set. In this configurator we try to hide all information and settings that are not relevant for your printer, based on previous answers. For that reason work yourself through the top menus from left to right and answer the questions from top to bottom.

This is the latest stable version. You can also use the older version 0.91 or the development version with all fixes and improvements for the next major release.

Switch to 0.91

Switch to development

Upload old configuration

If you have already made a configuration - including older versions - you can upload the Configuration.h or config.json file to set all options to that settings. If you choose the Configuration.h, the settings are taken from the embedded json string. All changes in the normal part are lost. New parameter are highlighted like this:

I'm a new option!

Izberite datoteko Nobena datoteka ni izbrana

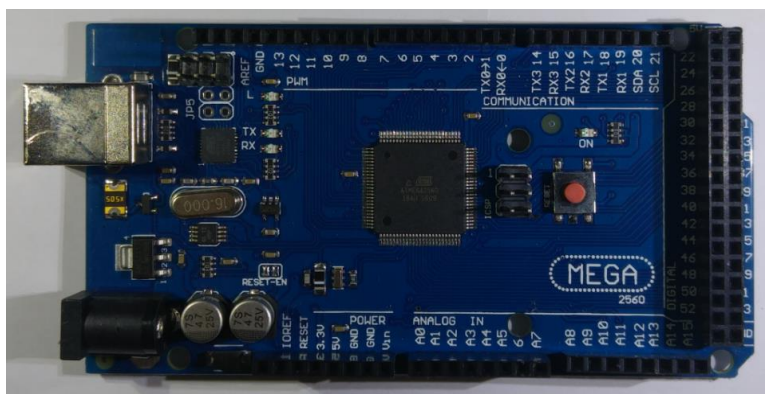
Slika 18: Začetna stran za nastavitve Repetierjeve strojne programske opreme, vir [10]

3.3.2 Mikrokrmilnik Arduino MEGA 2560

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [11].

Arduino MEGA 2560 (slika 19) je tiskano vezje, ki ima vgrajen mikrokrmilnik ATMEGA 2560. Ta vsebuje 54 digitalnih sponk, ki so lahko uporabljene kot vhodne ali izhodne, od katerih je 15 sponk, ki imajo opcijo uporabe kot PWM-izhodi. Naslednjih 16 sponk je uporabljenih kot analogni vhodi. Za hitrost delovanja plošče poskrbi kristalni oscilator s 16 MHz. Na Arduino tiskanem vezju je tudi USB-priključek, napajalni priključek ter gumb za ponastavitev (angl. Reset) mikrokrmilnika Arduino. Za delovanje potrebuje le USB-povezavo z računalnikom ter napajanje, ki ga lahko tudi naredimo z baterijo ali napajalnikom.

Mikrokrmilnik Arduino MEGA 2560 je združljiv z vsemi razširitvenimi ploščami, prirejenimi za ploščo Arduino UNO. Napetost, s katero deluje, je 5 V enosmerne napetosti. Priporočljiva vhodna enosmerna napetost za normalno delovanje Arduina MEGA 2560 je med 7-12 V.



Slika 19: Mikrokrmilnik Arduino MEGA 2560, lasten vir

Tehnični podatki ploščice ArduinoMEGA 2560 (slika 19) so navedeni v tabeli 2.

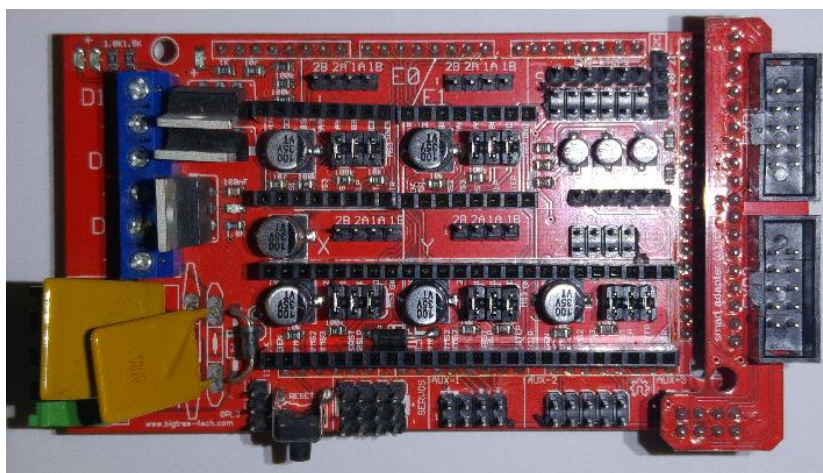
Tabela 2: Tehnični podatki za Arduino MEGA 2560, vir [11]

Mikrokontroler ATMEGA2560	Lastnosti
Napajalna napetost	6 V–20 V
Digitalni vhodno/izhodni priključki	54 (15 priključkov zagotavlja PWM)
Analogni vhodni priključki	16
Enosmerni tok na vhodno/izhodnih priključkih	20 mA
Enosmerni tok na 3,3 V priključku	50 mA
Flash spomin	256 kB
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
Oscilator	16 MHz
Dolžina	101,52 mm
Širina	53,3 mm
Teža	37 g

3.3.3 Razširitvena plošča RAMPS 1.4

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [12].

Kratica RAMPS (slika 20) je nastala iz angl. originala: RepRap Arduino MEGAPololuShield– to je razširitvena kratica za Arduino MEGA. V glavnem je narejen za uporabo gonilnikov koračnih motorjev (podobno kot 4988 gonilniška plošča). RAMPS lahko deluje le, ko je povezan z njegovo matično ploščo Arduino MEGA 2560 (slika 19) in z gonilniki koračnih motorjev 4988/DRV8825 (slika 21). Ploščica je zelo stabilna v delovanju in ima veliko združljivost z večino 3D-tiskalnikov (z vsemi RepRap modeli).



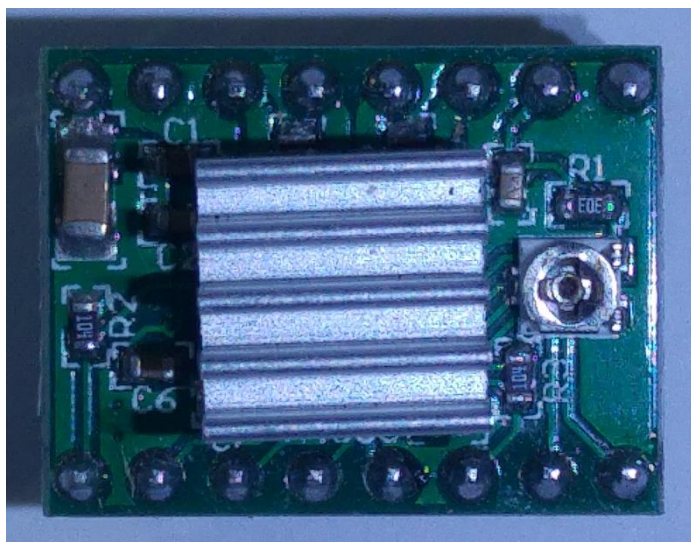
Slika 20: Razširitvena plošča RAMPS 1.4, lasten vir

Kombinacija ploščice RAMPS 1.4 (slika 20), krmilnika ArduinoMEGA2560 (slika 19) in gonilnikov koračnih motorjev A4988/DRV8825 je postala prevladujoči trend pri DIY 3D-tiskalnih nadzornih ploščah.

3.3.4 Gonilniki koračnih motorjev

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [13].

Pololu A4988 (slika 21) je mikrokoraki gonilnik motorja z vgrajenim prevajalnikom za enostavno delovanje. Izdelan je za upravljanje bipolarnih koračnih motorjev (slika 22) v polnem, polovičnem, četrtinskem, osmiškem in šestnajstiškem koračnem načinu. Pretvornik, ki pretvori impulze iz plošče RAMPS (slika 20) v premike motorja, je osnova za enostavno delovanje plošče A4988. Preprost vnos enega impulza na vhod za en korak (angl. STEP) premakne motor za en obrat. Gonilniki so lahko s hladilnimi rebri (slika 21) ali brez njih.



Slika 21: Gonilnik koračnega motorja Pololu A4988, lasten vir

Primerjavo lastnosti najdete v tabeli 3.

Tabela 3: Primerjava gonilnika s hladilnimi rebri in brez njih, vir [13]

Veličine	S hladilnimi rebri	Brez hladilnih reber
Tok	2 A	1 A
Napetost	Do 35 V	Do 35 V

3.3.5 Koračni motor NEMA 17

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [14] in [15].

Koračni motor NEMA 17 (slika 22) je brezkrtačni enosmerni elektromotor, ki razdeli en obrat na več enakih korakov. Položaj motorja lahko upravljamo tako, da se premakne in drži v enem od

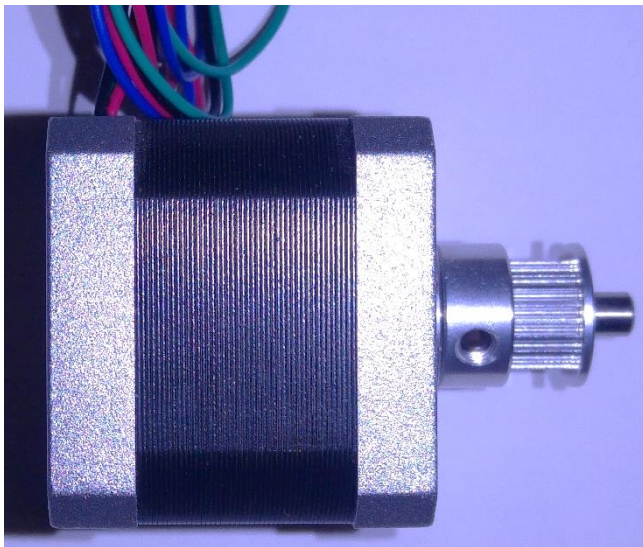
položajev oz. korakov brez kakršne koli povratne informacije senzorjev (angl. open-loopcontrol), če je motor pravilno dimenzioniran za določeno aplikacijo glede na dovoljen navor in hitrost.

Poznamo tri glavne tipe koračnih motorjev: koračni motorji s trajnim magnetom, hibridni koračni motorji in koračni motorji s spremenljivo reluktanco. Veliko se uporabljajo v robotski industriji.

Ime NEMA se nanaša na velikost okvirja motorja, ki je standardizirana s strani ameriškega Nacionalnega električnega združenja proizvajalcev (angl.

US NationalElectricalManufacturersAssociation). Določa velikosti »obrazca« motorja, ne pa njegove dolžine. Tako poznamo velikosti koračnih motorjev od NEMA 8 do NEMA 42.

NEMA 17 (slika 22) je eden izmed večjih modelov, kar pomeni, da ima večji navor, vendar pa njegova fizična velikost ni indikator njegove moči.



Slika 22: Koračni motor NEMA 17, lasten vir

Lastnosti motorja so navedene v tabeli 4.

Tabela 4: Lastnosti motorja NEMA 17, vir [16]

Veličine	Vrednosti
Tok	1,8 A
Napetost	2,8 V
Navor	0,43 Nm
Korak	1,8°
Dolžina	43,2 mm
Širina	43,2 mm

3.3.6 Grelna miza

Njeno delovanje je precej preprosto, kajti potrebuje napetost 12 V ali 24 V in je sestavljena iz termo odpornega polimera, na kateri je neparjen tanek bakren sloj, kot črta napeljan po plošči s točno določenim razmikom. Skozi ta sloj steče večji tok ter pri tem ustvarja toploto do potrebne temperature, ki naj ne presega 130 °C. Seveda je potrebna temperatura odvisna od vrste plastike, ki je pri tiskanju uporabljena.

Grelna miza (slika 23) je le dodatek, s katerim se lahko izboljša kvaliteta tiskanja, kajti tiskanje p PLA-(polylacticacid) plastično nitjo (3.6.1) je boljše pri temperaturi mize 60 °C, vendar je izvedljivo tudi brez nje. Pri tiskanju z ABS-plastiko (3.6.3) je grelna miza nepogrešljiva. Pri tem je najprimernejša temperatura podlage 110 °C.

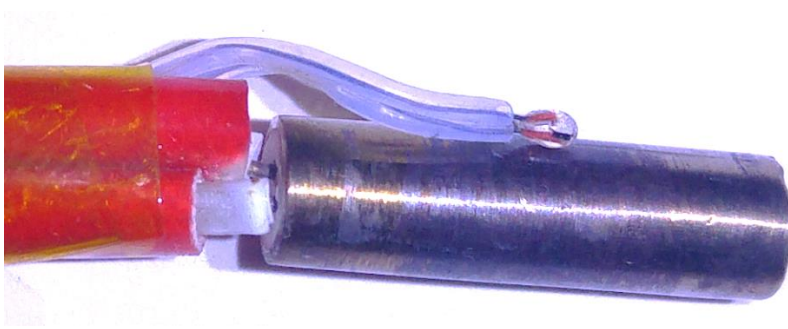


Slika 23: Grelna miza, lasten vir

3.3.7 Grelec 3D-tiskalne glave

Uporablja se za segrevanje šobe v tiskalni glavi (slika 30) in omogoča, da se plastična nit, ki jo uporabljamo za tiskanje, tali. Najpogosteje so grelci sestavljeni iz keramičnega telesa, v katerem je navita žica, ki se nato segreva. V 3D-tiskalnikih so najbolj razširjeni 40 W grelci. Za njegovo delovanje mu moramo zagotoviti priključno napetost +12 V.

Dodamo tudi termočlen (slika 24), da lahko meri trenutno temperaturo grelca.

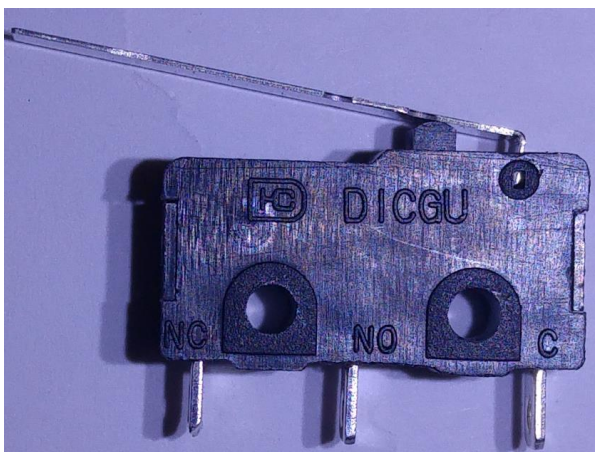


Slika 24: Grelec 3D-tiskalne glave s termočlenom, lasten vir

3.3.8 Končna stikala

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [3kn].

So pomembni sestavni deli, ki so uporabljeni za pozicioniranje vseh treh osi. Na splošno uporabljajo mikro stikala (slika 25), ki so nameščena tako, da zaznajo fizične meje potovanja tiskalne glave za vsako os in v vsaki smeri pomika. Končna stikala so enostavne kompaktne izvedbe in se na njih spreminja le prožilni mehanizem glede na potrebe naprave. Stikala se uporabljajo za doseganje meja in so namenjena kot varnostni elementi ter nemudoma ustavijo premikanje tiskalne glave po oseh, predno bi se zgodila nesreča. Na 3D-tiskalniku vsako stikalo določi mejo oz. lokacijo, kjer se premikanje tiskalne glave po osi ustavi in to je njena izhodiščna točka. V primeru aktiviranja stikala sistem izgubi korake ali moč. Pri aktiviranju je potrebno paziti, da ne prekoračimo maksimalne nazivne hitrosti približevanja, saj lahko tako mehansko poškodujemo končno stikalo. Skrajni položaji, kjer so stikala, so zapisani v G-kodi (2.9.6) kot kratica G53. Mikrostickala so elementi, ki so lahko žično izvedeni kot zaprti (N / C) ali normalno odprti (N / O). Za končna stikala (slika 25) je priporočljivo, da so žično izvedena kot zaprta (N / C) zaradi varnostnih razlogov, ker nam omogočajo večjo varnost v primeru prekinitve vodnikov od stikala do procesorja.

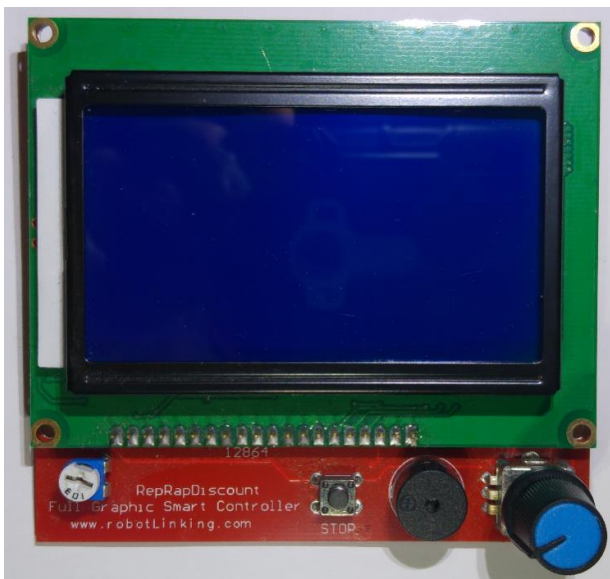


Slika 25: Končno ali mikrostickalo, lasten vir

3.3.9 LCD-pametni prikazovalnik

Na razširitveno ploščo se lahko priključi LCD-prikazovalnik (slika 26), ki ima rotacijski gumb za nadzor funkcij 3D-tiskalnika in vseh pomembnih parametrov ter ni potrebno, da je mikrokrmilnik Arduino (slika 19) ves čas povezan na računalnik. Na LCD-prikazovalnik je vgrajen tudi čitalnik SD-kartice, na katero naložimo potrebno datoteko za tiskanje 3D-modela. Ta funkcija je uporabna, saj z njo nadomestimo potrebo po tem, da bi morali imeti stalno priključen računalnik.

V najinem primeru ima pametni zaslon ločljivost 128x64 slikovnih točk in prikazuje tudi pomembne parametre 3D-tiskalnika.



Slika 26: LCD-pametni prikazovalnik, lasten vir

3.4 Mehanski deli 3D-tiskalnika

Mehanski deli 3D-tiskalnika tvorijo njegovo osnovno strukturo. Pomembno je, da so natančno izdelani, saj tudi pripomorejo k natančnosti in stabilnosti delovanja 3D-tiskalnika.

3.4.1 Linearni ležaji in puše

Za prenos gibanja tiskalne glave po oseh 3D-tiskalnika lahko uporabljamo dva izmed najbolj pogostih strojnih elementov: linearne ležaje ter puše.



Slika 27: Primer linearnega ležaja, vir [17]

Po vodilih X- in Y-osi doma izdelanega 3D-tiskalnika drsijo samomazalne puše (slika 28) z medeninastim ohišjem zunanjšega premera 14 mm in notranjega premera 12 mm.

Medeninaste puše imajo boljše lastnosti od linearnih krogličnih ležajev in to se pokaže pri daljši uporabi (slika 28). Linearni kroglični ležaji (slika 27) na palici pustijo sledi zaradi obrabe, saj se kroglice ves čas vrtijo po isti površini. Še posebej izrazito se to pokaže, če linearni kroglični ležaji prenašajo večjo silo in so stalno obremenjeni.



Slika 28: Samomazalna medeninasta puša, lasten vir

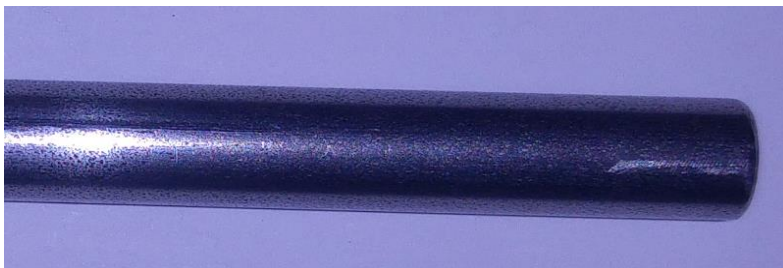
Za prenos gibanja po vodilih Z-osi pa sva uporabila plastične puše, natisnjene na 3D-tiskalniku s PLA-plastiko (3.6.1). Puše so posebne oblike, tako da z lahkoto drsijo po vodilu brez mazanja, ki ni potrebno zaradi majhnih hitrosti pomikanja Z-osi (slika 28).

3.4.2 Linearna vodila

Vodila so iz svetlo vlečenega jekla (slika 29). Za X-os in Y-os je uporabljena polna okrogla palica premera 12 mm, po katerih drsijo samomazalne puše (slika 28) z medeninastim ohišjem.

Vodilo za Z-os je polna okrogla palica premera 8 mm, po kateri drsijo plastične puše, natisnjene na 3D-tiskalniku s PLA-plastiko.

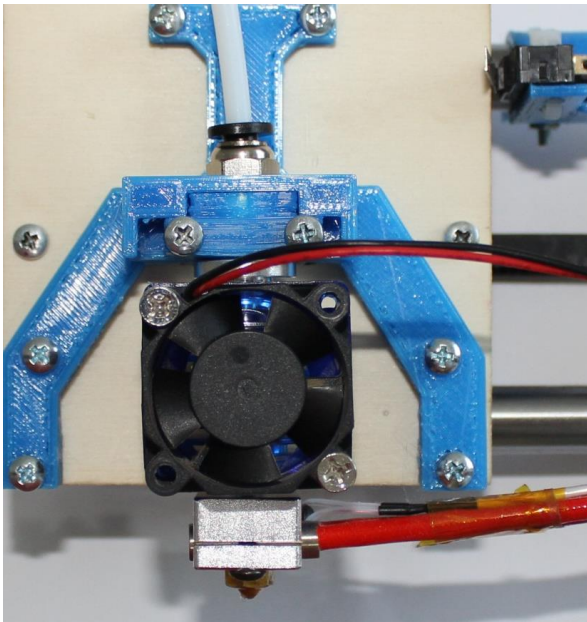
Za X- in Y-os je uporabljen debelejši premer vodila, saj ti dve osi prenašata večjo silo pri 3D-tiskanju v primerjavi z Z-osjo, ki ni tako obremenjena.



Slika 29: Linearno vodilo iz svetlo vlečenega jekla, lasten vir

3.4.3 3D-tiskalna glava

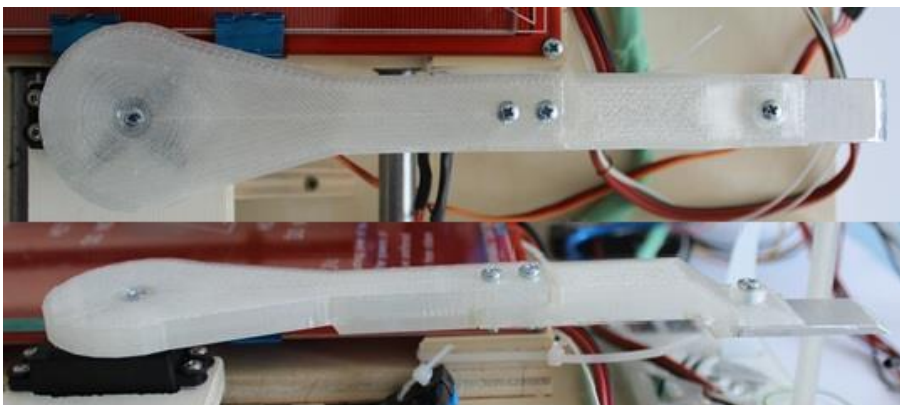
3D-tiskalna glava (slika 30) je sestavljena iz sedmih delov. Hladilna rebra iz aluminija, v katero je vstavljena navojna palica z izvrtino 3 ali 1,75 mm za plastično nit, s katero tiskamo. Pod rebri je aluminijasta kocka, v katero se vstavi grelec 3D-tiskalne glave ter termo člen za merjenje temperature šobe. Nazadnje se v aluminijasto kocko zavijači šoba, ki je najpomembnejši sestavni del 3D-tiskalne glave. Skozi njo je izvrtina, skozi katero koračni motor potiska plastično nit na 3D-tiskalno mizo (slika 23) s stekleno delovno površino. Plastična nit se v šobi topi in ta prehod iz hladnega v vroči del šobe se najpogosteje zamaši.



Slika 30: 3D-tiskalna glava, lasten vir

3.4.4 Mehanizem za izmet 3D-modelov

Opravlja mehansko delo pri izmetu natisnjenih izdelkov. Natisnjena je iz PLA-niti (3.6.1). V predelu, kjer je pritrjena na servo motor, je okrogle oblike s premerom 50 mm. Dolžina ročaja za izmet (slika 31) je 230 mm..



Slika 31: Ročaj za izmet je pritrjen na servo motor, lasten vir

Del, ki se giblje nad tiskalno mizo, je širine 20 mm in višine 10 mm. Na koncu ročaja za izmet je aluminijasto rezilo

3.5 Pregled komponent nadzora in izmeta 3D-tiskalnika

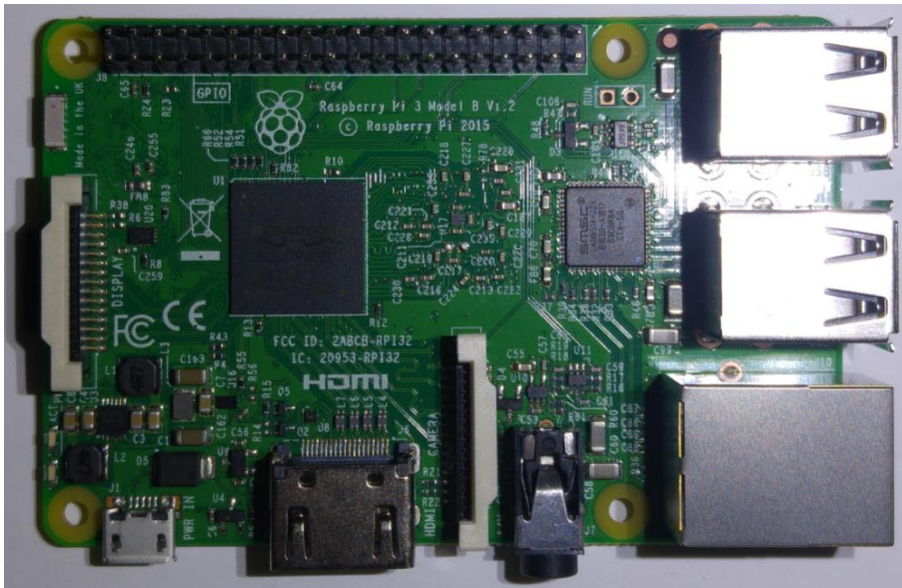
Komponente nadzora delujejo kot lasten sistem. Ta sistem komunicira z elektronskimi komponentami 3D-tiskalnika in ta jim daje določene povratne informacije ter ukaze. Omogočajo prikaz video nadzora in krmiljenje motorja (slika 34) za izmet natisnjenih 3D-modelov.

3.5.1 Raspberry PI 3 model B

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [23]

Raspberry Pi (slika 32) so izboljšali iz enega jedra s frekvenco 700 MHz na štiri jedra z 900 MHz. Povečali so pomnilnik iz 512 MB na 1 GB. Procesor s štirimi jedri odslej deluje s 1200 MHz na jedro, pri čemer mu pomagata 32 kB velik prvonivojski in 512 kB velik drugonivojski predpomnilnik ter glavni pomnilnik, ki pri velikosti 1 GB ostaja nespremenjen.

Na voljo ima mrežni priključek, 4 USB-vhode in 40 vhodno-izhodnih priključnih sponk. Za komunikacijo z drugimi napravami in posledično ljudmi to pri večini projektov zadošča. Večji problem je povzročila situacija, ko je bil Raspberry PI od naprave, s katero je komuniciral, bolj oddaljen oziroma ni bilo opcije za povezavo s kablom. Odslej je rešena tudi ta pomanjkljivost, saj kot že omenjeno, Raspberry PI 3 podpira tako povezovanje preko WIFI kot Bluetooth. Za oba protokola je na voljo podpora zadnjim in preizkušenim tehnologijam. S tem potrebe po dodatnih adapterjih za več povezljivosti ni več, hkrati pa je naprava še bolj kompaktna in primerna za uporabo v projektih, kjer je prostor ena izmed glavnih težav. Zaradi novega procesorja je na vezju nekaj dodatnega prostora za WIFI-anteno. Ta se nahaja na spodnji strani naprave, desno od reže za mikro SD-kartico in je tako majhen, da napisa na njem ni mogoče prebrati s prostim očesom. Zagotavlja podporo obema omenjenima protokoloma, s tem da je FM-sprejemnik za radio, ki je prav tako integriran vanj, izključen. Miniatura antena, ki omogoča povezljivost, se nahaja na zgornji strani naprave, desno od GPIO-priključnih sponk in levo od trakovnega priključka za zaslon. Za dosego tega je bilo potrebno spremeniti lokacijo LED-indikatorjev, ki označujejo delovanje naprave. Te se sedaj nahajajo takoj pod mikro USB-priključkom za napajanje. Za razliko od prejšnjih dveh verzij je bil posodobitve deležen še mikro SD-priključek, ki odslej ne deluje več na potisk. V primeru vstavljanja ali odstranjevanja mikro SD-kartice jo je bilo potrebno potisniti, da je skočila noter ali ven, sedaj se kartico le enostavno vstavi ali vzame iz reže.



Slika 32: Raspberry PI 3, lasten vir

3.5.2 Kamera 8Mp

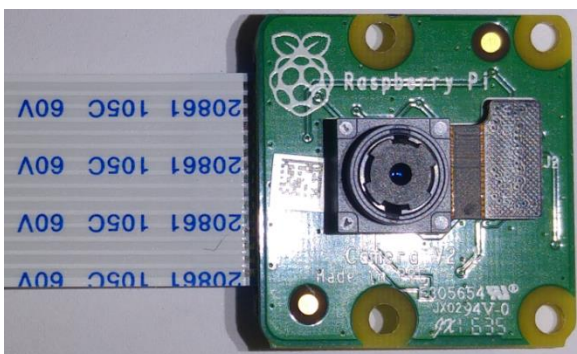
Naslednje besedilo je povzeto po viru: [24]

Raspberry PI-modul kamere (slika 33) verzije 2 nadomesti prvotni modul kamere. Modul kamere ima 8 milijonov slikovnih točk in senzor za ostrenje.

Modul kamere se lahko uporablja za snemanje video posnetkov visoke ločljivosti in zajemanje fotografij. Ta je enostaven za uporabo pri začetnikih, vendar veliko ponuja tudi naprednim uporabnikom, če želijo razširiti svoje znanje. Obstaja veliko primerov, kjer ljudje to uporabljajo preko spleta za časovno zakasnitev, počasne posnetke in druge video spretnosti. Možna je tudi uporaba nastavitvev iz knjižnice za ustvarjanje učinkov.

Podatke posreduje preko 15 cm traka kabla na vrata CSI na Raspberry PI (Slika 32). Kamera deluje z vsemi modeli Raspberry PI 1, 2 in 3, obstajajo številne knjižnice za uporabo kamere vključno s knjižnico (Picamera Python).

Modul kamere je zelo priljubljena v domačih varnostnih aplikacijah za prosto živeče živali.



Slika 33: Modul kamere za Raspberry pi, lasten vir

3.5.3 Servo motor

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [4K].

Servo motor (slika 34) je pravzaprav kombinacija motorja z reduktorjem in miniaturno nadzorno elektroniko, običajno vgrajena v plastično ohišje, ki je zaprto vodotesno. Motor je lahko uporabljen kot AC oziroma DC, če je DC, je lahko navaden ali brezkrtačni. Je vrsta motorja, ki ni namenjen za neprekinjeno rotacijo. To je naprava, ki išče položaj. Rotacijsko območje je več kot 180 stopinj ter bistveno manj kot 360 stopinj. Elektronika v notranjosti motorja ohišja prejema ukaze iz zunanjega krmilnika. Ukaz s številom določa želeni kot zasuka, merjen kot odmik od obeh strani središča. Motorja obrne hitro in na določenem mestu ustavi. V odsotnosti take sile in medtem ko motor miruje, bo ta porabil zelo malo toka.

Industrijski servo motorji običajno potrebujejo krmilnik. Shema kodiranja in kontrolni signali so lahko zaščiteni. Močni motorji so lahko zasnovani tako, da delujejo na trifazno moč na relativno visoki napetosti in lahko se uporabljajo v aplikacijah, kot so proizvodne linije avtomatizacije.

Za manjše servo motorje je tipičen razpon impulznih širin od 1ms do 2ms, ki določajo obseg -90 do +90 stopinj na obeh straneh od središča.

Mikro krmilnik je lahko neposredno povezan s servom, omogoča izredno preprost in prilagodljiv način za upravljanje naprave za določanje položaja. Alternativno preprost pulzni generator, kot je integrirano vezje 555, kot časovnik, ki se lahko uporablja za krmiljenje. Nekatere krmilne plošče imajo povezave USB, ki omogočajo upravljanje servo motorja preko računalniške programske opreme.



Slika 34: Servo motor, lasten vir

3.6 Vrste 3D-tiskalnih plastičnih niti

Naslednje besedilo je povzeto po viru: [1K].

V preteklosti so bile 3D-tiskalne niti omejene le na plastičnih niti iz ABS (3.6.3) in PLA (3.6.1), dandanes pa je na trgu vedno več različnih materialov, ki se uporabljajo v 3D-tiskanju. Vsak material ima drugačne lastnosti, namen uporabe in temperaturo, pri kateri je uporaben za 3D-tiskanje.

3.6.1 Plastika iz polilaktične kisline (PLA)

Plastična nit PLA je na voljo v različnih barvah, lahko je tudi motna ali prosojna. Je priljubljena izbira za 3D-tiskanje, ki je rastlinskega izvora (koruza ali krompir) in biološko razgradljiva. Ogrevano steklo na 60 °C omogoča gladke površine dna na tiskanem modelu.

- **Temperatura tiskalne glave:** 185–235 °C
- **Temperatura grelne mize:** tiskalno okolje do 60 °C
- **Tiskalna površina:** moder lepilni trak, steklo, polimid lepilni trak, aluminij, lak za lase

3.6.2 Prožna plastika iz polilaktične kisline (Flexible PLA)

Mehka PLA-plastična nit je gumijasta in prilagodljiva pri tiskanju, je pa omejena v izboru barve. Za najboljše možne dosežene rezultate je priporočljivo tiskanje pri nižji hitrosti od običajne PLA-plastike.

- **Temperatura tiskalne glave:** 210– 240 °C
- **Temperatura grelne mize:** temp. okolice
- **Tiskalna površina:** moder lepilni trak, steklo

3.6.3 Plastika akrilonitril butadien stiren (ABS)

ABS je plastika, uporabljena v lego kockah, ohišjih elektronskih aparatov in jo je mogoče dobiti v barvah mavrice. Za tiskanje s to plastiko mora biti visoka temperatura tiskalne površine, ki je v tiskalni komori, kjer se zrak ogreje na primerno temperaturo. S tem se doseže, da ne pride do deformacije modela in ima pravilen oprijem na tiskalno površino (slika 23).

- **Temperatura tiskalne glave:** 215– 250 °C
- **Temperatura grelne mize:** 90 – 115 °C
- **Tiskalna površina:** polimidni lepilni trak

3.6.4 Najlon

Najlon je preprosto barvati, vendar ga je težavno uporabljati zaradi krčenja, razvijanja. Je močan in ima nizko trenje, kar je uporabno pri nekaterih napravah. Model je lahko fleksibilen tudi kadar ima tanke plasti.

- **Temperatura tiskalne glave:** 235– 260 °C, vendar se najbolje upogne pri 245 ° C
- **Temperatura grelne mize:** temp. okolice
- **Tiskalna površina:** moder lepilni trak

3.6.5 Plastika z dodatkom lesa (LAYWOO-D3)

Ta plastika pri tiskanju oddaja vonj po lesu. Narejena je iz 40 % recikliranega lesa in vezljivega polimerja ter ima različne odtenke. Odtенок je odvisen tudi od spremembe temperature. Pri nižji temp. je odtenek svetlejši, pri višji temp. pa temnejši. Na modelu pušča niti pri praznem hodu, ko ne brizga plasti.

- **Temperatura tiskalne glave:** 175– 250 °C
- **Temperatura grelne mize:** temp. okolice
- **Tiskalna površina:** moder lepilni trak

3.7 Cena rekonstrukcije mehanizma za izmet in video nadzornega sistema

Skupno ceno celotnega sistema izmeta sva izračunala na podlagi aktualnih cen prodajne spletne strani eBay [29], kjer sva kupila spodaj navedene komponente.

Tabela 5: Cena delov rekonstrukcije

Komponenta	Cena komponente
Raspberry pi	43 €
Raspberry pi camera 8Mp	28 €
Servo motor	10 €
Mikro SD-kartica	20 €
Ohišje	10 €
Skupaj:	111 €

Cena vseh delov, ki so vključeni v rekonstrukcijo, znaša 111 €. Tu ni vključena cena dela, žic in drobnega materiala.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Ob izdelavi najine raziskovalne naloge sva se veliko naučila in misliva, da nama bo koristila tudi pri nadaljnjem študiju. Spoznala sva postopke izdelave projekta od faze načrtovanja, poteka izdelave pa vse do končnega izdelka. Ob tem sva naletela tudi na težave, vendar sva ugotovila, kako se lotiti teh problemov in jih tudi rešiti. Sama tehnologija 3D-tiskanja se je v zadnjih letih že tako razširila, da je postala na zahodu dostopna že veliki večini prebivalstva, skorajda vsakomur. Pred skoraj desetletjem so bili 3D-tiskalniki nova ideja, ki je uvedla veliko novosti v industriji in proizvodnji izdelkov.

Na začetku najinega raziskovanja sva si postavila naslednje hipoteze:

1. 3D-tiskalnik je mogoče popolnoma krmiliti preko drugih naprav (pametni telefon, tablica ...).
2. Sistem nadzora je mogoče izdelati in sprogramirati z osnovnim znanjem iz mehatronike.
3. Sistem izmeta deluje avtomatsko brez večjih težav.
4. Video nadzor omogoča dovolj dobro sliko za spremljanje procesa 3D-tiskanja.
5. 3D-tiskalnik lahko samodejno natisne več 3D-modelov zaporedoma.

Potrdila sva prvo hipotezo, ki pravi, da je 3D-tiskalnik mogoče popolnoma krmiliti preko drugih naprav, saj sva doma izdelani 3D-tiskalnik lahko krmilila preko računalnika in pametnega telefona. Lahko sva nalagala nove 3D-modele za tiskanje, spreminjala temperaturo tiskalne mize in 3D-tiskalne glave, spreminjala položaj tiskalne mize ter spremljala video nadzor.

Delno lahko potrdiva drugo hipotezo, ki pravi, da je sistem nadzora mogoče izdelati in sprogramirati z osnovnim znanjem iz mehatronike. Samo sestavljanje sistema in povezovanje komponent sva opravila brez težav, medtem ko sva potrebovala nekaj pomoči pri sprogramiranju sistema Raspberry PI ter PHP-spletne strani.

Prav tako sva delno potrdila tretjo hipotezo, ki pravi, da sistem izmeta deluje avtomatsko brez večjih težav. Težave pri izmetu se pojavijo, kadar se izdelek premočno prilepi na grelno mizo, kar pomeni, da izdelka mehanizem za izmet ni sposoben odstraniti z grelne mize. Pogon, ki je izveden s servo motorjem, izgubi potisni moment zaradi dolžine mehanizma za izmet. V takem primeru je potrebno ohladiti tiskalno mizo, pri čemer se plastika krči in 3D-model se lažje odstrani od tiskalne mize (slika 23).

Potrdila sva tudi četrto hipotezo, ki pravi, da video nadzor omogoča dovolj dobro sliko za spremljanje procesa, saj je slika dovolj ostra in časovni zamik pri prenosu ni velik. Za še boljšo sliko pa sva kameri dogradila LED-sijalko, ki osvetli delovni prostor 3D-tiskalnika.

Delno sva potrdila peto hipotezo, ki pravi, da lahko 3D-tiskalnik samodejno natisne več 3D-modelov zaporedoma, saj to velja za manjše število modelov, ki jih želimo natisniti. Če se to število zelo poveča, se lahko zgodi naslednja težava: saj bi se lahko zaradi velikega števila že natisnjenih in izvršenih izdelkov; nekateri od teh padli pod grelno mizo v področje linearnih vodil Y-osi, kar bi oviralo njuno delovanje.

4.1 Težave pri izmetu 3D-izdelka

Težave se pojavijo pri izmetu, kadar se izdelek premočno prilepi na grelno mizo (slika 23), kar pomeni, da mehanizem za izmet izdelka (slika 31) ni sposoben odstraniti z grelne mize. Servo motor (slika 34), na katerega je pritrjen mehanizem za izmet, izgubi potisni moment zaradi dolžine izmetala. Pri tem si lahko pomagamo tako, da izklopimo gretje grelne mize, saj se izdelek pri ohlajanju krči. To pripomore k lažjemu odstopu izdelka od grelne mize.

Kot druga rešitev se pokaže, da postavimo izmetalo na sredinsko pozicijo ter pomikamo y-os z izdelkom proti mehanizmu za izmet. Tako oster del mehanizma za izmet prodre pod izdelek ter ga odlepi od grelne mize. Nato odmaknemo mehanizem za izmet in y-os pripeljemo bližje ter izvržemo izdelek.

Naslednja težava bi se lahko pojavila pri velikem številu že natisnjenih in izvršenih izdelkih, ki bi lahko prišli pod grelno mizo, kjer so vodila (slika 29) y-osi ter bi ti ovirali delovanje y-osi. Rešitev bi bila pod kotom postavljena zaščita grelne mize, da bi se izdelki pomikali stran od y-osi ter njenih vodil.

4.2 Komunikacije med sistemi

Najpomembnejša komunikacija je potekala med Raspberry PI (slika 32) in mikrokrmilnikom Arduino (slika 19), kjer se prenašajo ukazi ter podatki G-kode (2.9.6) za 3D-tiskanje. Povezava med njima je vzpostavljena z USB-kablom.

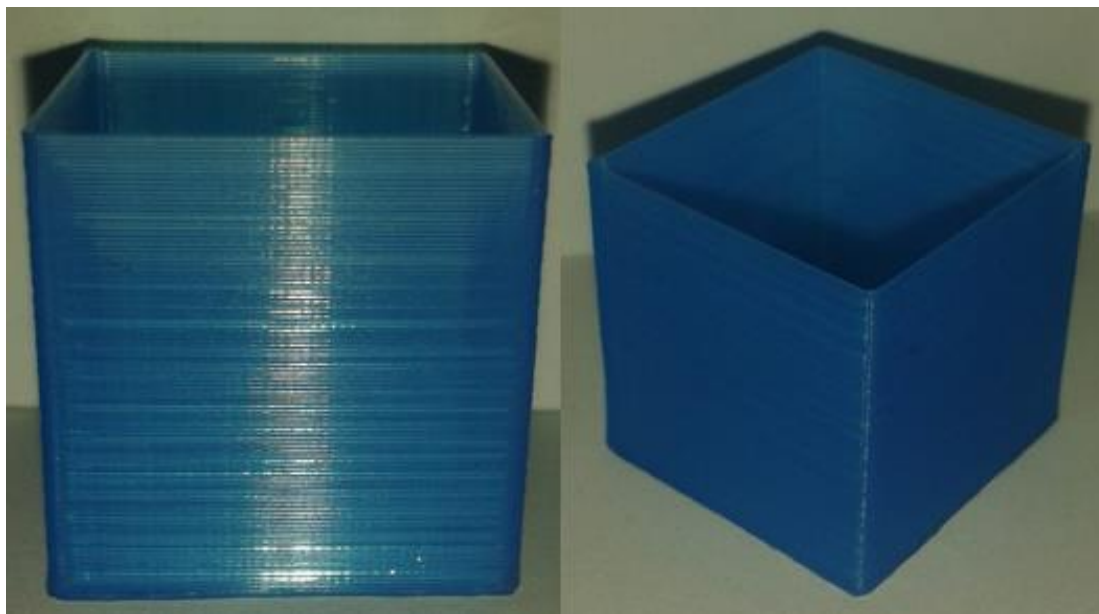
Naslednja povezava je med Raspberry PI in spletnim strežnikom. Vzpostavljena je preko WIFI-povezave. Nato je še povezava računalnika, pametnega telefona ali tablice s spletnim strežnikom preko WIFI-povezave.

Na Raspberry PI je nastavljen Repetier-strežnik (slika 15), ki povezuje spletno stran iz druge naprave z mikrokrmilnikom Arduino. Nastavljen je tudi strežnik Apache, ki povezuje spletno

stran v formatu PHP. Ta spletna stran zaganja datoteke v formatu s končnico .py, iz katerih se ukazi prenesejo na izhode Raspberry PI. Ti izhodi so: kamera, priključki za servo motor, priključki za LED-svetilko ter program za zaustavitev Raspberry PI.

4.3 Natančnost tiskanja

Za primerjavo natančnosti tiskanja sva uporabila votel model v obliki kocke (slika 35).



Slika 35: 3D-model v obliki kocke, lasten vir

Mere so izmerjene na stotino milimetra natančno. Vse enote so v mm.

Tabela 6: Meritve natančnosti 3D-tiskanja izdelka kockaste oblike

Višina plasti (mm)	Zunanja mera (mm)	Realna zunanja mera (mm)	Notranja mera (mm)	Realna notranja mera (mm)	Širina stene (mm)	Realna Širina stene (mm)	Višina izdelka (mm)	Realna višina izdelka (mm)
0,4	20	20	19,2	18,95	0,4	0,4	20	19
0,3	20	19,8	19,2	19	0,4	0,35	20	19,7
0,2	20	19,95	19,2	18,7	0,4	0,65	20	20,05
0,1	20	20	19,2	18,8	0,4	0,7	20	20
0,2	80	79,8	77,6	77	1,2	1,5	80	81,2

Izdelani 3D-tiskalnik (slika 17) lahko tiska večje izdelke in ima le redkokdaj problem s tem, da se prva plast ne bi dobro prijela na grelno mizo (slika 36).



Slika 36: Natančnost 3D-tiskanja kompleksnega 3D-modela, lasten vir

Zaradi neprimerne temperature pri 3D-tiskanju so se na izdelku pojavile neurejene izbokline (slika 37).



Slika 37: Izdelek z nepravilnostmi na stranicah zaradi neprimerne temperature pri 3D-tiskanju, lasten vir

4.4 Težave pri pisanju programov za Raspberry PI

Težave so se največkrat pojavile zaradi napake pri pisanju in izvrševanju ukazov. Pri pisanju ukazov so zelo pomembne velike, male črke, pomišljaji ter drugi znaki, zaradi katerih ukaz ni veljaven. Vsekakor pa si morajo ukazi slediti v pravilnem vrstnem redu.

4.5 Potek izdelave izmeta in video nadzora

Za izvedbo priklopa in krmiljenja servo motorja (slika 34) sva raziskala naslednjo povezavo [18].

Servo motor je bilo potrebno pravilno priključiti, saj ima tri vodnike. Vodnik oranžne barve je signalni, rdeč ter črn vodnik sta za močnostno napajanje servo motorja. Dodatno potrebuje tudi zunanji izvor napetosti za normalno delovanje, da ne preobremenimo izhoda Raspberry PI (slika 32).

V terminalnem oknu Raspberry PI-ja sva izvršila naslednje ukaze:

Namestitev vezave wiringpi: `sudo apt-get install -y wiringpi`; `sudo pip install wiringpi`.

Namestitev programa Python za programiranje: `sudo apt-get install -y python-pip`.

Nato sva preizkusila naslednji program (slika 38), ki sva ga z nekaj preureditvami tudi uporabila.

```

1 # Servo Control
2 import time
3 import wiringpi
4
5 # use 'GPIO naming'
6 wiringpi.wiringPiSetupGpio()
7
8 # set #18 to be a PWM output
9 wiringpi.pinMode(18, wiringpi.GPIO.PWM_OUTPUT)
10
11 # set the PWM mode to milliseconds stype
12 wiringpi.pwmSetMode(wiringpi.GPIO.PWM_MODE_MS)
13
14 # divide down clock
15 wiringpi.pwmSetClock(192)
16 wiringpi.pwmSetRange(2000)
17
18 delay_period = 0.01
19
20 while True:
21     for pulse in range(50, 250, 1):
22         wiringpi.pwmWrite(18, pulse)
23         time.sleep(delay_period)
24     for pulse in range(250, 50, -1):
25         wiringpi.pwmWrite(18, pulse)
26         time.sleep(delay_period)
27
1 # Servo Control
2 import time
3 import wiringpi
4
5 # use 'GPIO naming'
6 wiringpi.wiringPiSetupGpio()
7
8 # set #18 to be a PWM output
9 wiringpi.pinMode(18, wiringpi.GPIO.PWM_OUTPUT)
10
11 # set the PWM mode to milliseconds stype
12 wiringpi.pwmSetMode(wiringpi.GPIO.PWM_MODE_MS)
13
14 # divide down clock
15 wiringpi.pwmSetClock(192)
16 wiringpi.pwmSetRange(2000)
17
18 delay_period = 0.03
19 delay_period_1 = 0.008
20 period = 1
21
22 while True:
23     for pulse in range(70, 250, 1):
24         wiringpi.pwmWrite(18, pulse)
25         time.sleep(delay_period)
26     for pulse in range(250, 70, -1):
27         wiringpi.pwmWrite(18, pulse)
28         time.sleep(delay_period_1)
29     time.sleep(period)
30
31 break

```

Slika 38: Koda za premik servo motorja pred urejanjem (levo) in po urejanju (desno), lasten vir

Naslednji korak je bil nalaganje programa Repetier-strežnik [19].

V Raspberry PI sva morala najprej prenesti Repetier-server (slika 15) z uradne spletne strani Repetier [20].

Potem sva morala v terminalu izvesti naslednje ukaze:

Pridobiti posodobitve: `sudo apt-get update`; `sudo apt-get upgrade`.

Ter program namestiti: `sudo dpkg -i Reptier-Server-0.70.1-Linux.deb`.

Za tem je sledilo nameščanje gonilnikov, ki so bili potrebni za delovanje kamere (slika 33).

Pri tem sva našla spletno povezavo z navodili in ukazi [21].

Sledilo je izvrševanje ukazov v terminalu:

Prenos MJPG-toka (ang. MJPG streamer): `git clone https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer.git`.

Odprtje mape: `cd mjpg-streamer/mjpg-streamer-experimental/`.

Postavitev MJPG-toka in namestitvev: `cmake -G "UnixMakefiles"; make; sudo make install`

ter ga zagnati: `sudo su; cd /usr/local; wget http://download.repetier-server.`

`com/files/server/extras/mjpgstreamer-init-debian/Repetier-Setup.zip; unzip Repetier-Setup.zip; cd Repetier-Setup/etc; nanowebcam.conf`.

Iskanje IP-naslova (ip 192. 168. 0. 117) ter ga vstaviti v naslov (`http://<ip naslov>:8080/?action=stream`).

Nameščanje programa Apache, ki sva ga uporabila za spletni strežnik, preko katerega sva dostopala do najine spletne strani (slika 39), ki sva jo pisala v obliki PHP. Pri nameščanju sva si pomagala s spletno stranjo [22].

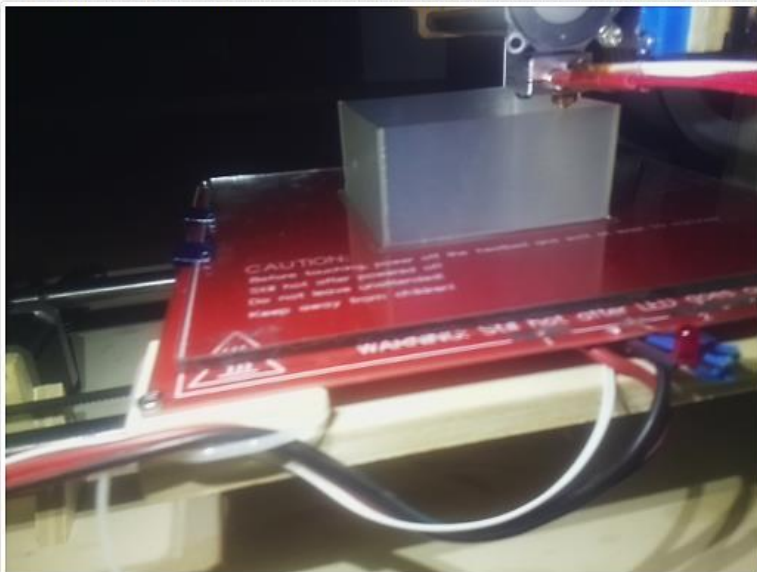
V mapi html sva namestila Apache in PHP (`cd /var/www/html; sudo apt-get install apache2 -y; sudo apt-get install php5 libapache2-mod-php5 -y`) ter datoteko index.html nadomestila z datoteko index.php, v katero sva napisala našo spletno stran.

Spletna stran omogoča video nadzor v živo in upravljanje mehanizma za izmet, ki je lahko avtomatski ali ročen. Ročen izmet omogoča postavitvev mehanizma za izmet v poziciji skrajno desno in skrajno levo ter sredinsko. Spletna stran omogoča tudi vklop LED-lučke za 20 sekund ali 90 sekund. Navsezadnje omogoča tudi zaustavitev sistema Raspberry PI.

Najti jo je mogoče pod spletnim naslovom (`http://192. 168. 0. 117/`).

Spletna stran za upravljanje 3D izmeta

Na tej strani omogočamo, da avtomatsko izvržete vaš natisnjeni izdelek. V pomoč pa vam je tudi spodnja kamera.



Upravljanje izmeta

Avtomatski izmet

Sredinska postavitev

Skrajno levo

Skrajno desno

Zaustavitev

LED 90s

LED 20s

Slika 39: Spletna stran za upravljanje 3D-izmeta, lasten vir

5 ZAKLJUČEK

Takšen video nadzor imajo trenutno na trgu le redki proizvajalci 3D-tiskalnikov za domačo uporabo. Avtomatskega izmeta nisva zasledila pri nobenem 3D-tiskalniku in predvidevava, da je to še v razvoju.

Tega projekta sva se lotila, ker se nama je zdel izvedljiv z znanji iz srednje šole ter informacijami na spletu.

Najin projekt pa bi bil izvedljiv na vseh vrstah kartezičnih in delta 3D-tiskalnikih. Potrebno bi bilo le spremeniti postavitev ter pritrditev komponent glede na posamezno izvedbo in dimenzijo 3D-tiskalnika. Zaradi tega bi imeli več možnosti dati tiskati 3D-model, ko nismo doma, vmes opazovati nastajanje modela ter po potrebi v primeru napake tudi prekiniti tiskanje le-tega.

6 POVZETEK

V raziskovalni nalogi je opisan doma izdelani 3D-tiskalnik, predstavljeno je področje 3D-tiskanja, različni načini in materiali za tiskanje ter trenutno najpogostejši modeli doma izdelanih 3D-tiskalnikov z njihovimi prednostmi in slabostmi. V lanskem šolskem letu je eden od avtorjev doma izdelal 3D-tiskalnik. To je naprava, s katero lahko že vnaprej ustvarjen računalniški model pretvorimo v fizično obliko s pomočjo materiala, ki ga ta natisne z izrivanjem plastične mase iz šobe. Med izdelavo naloge sva preverila, ali lahko 3D-tiskalnik popolno krmilimo daljinsko preko drugih naprav, kot so: pametni telefoni, tablice ali računalnik. V nalogi sva opisala postopek nadgradnje doma izdelanega 3D-tiskalnika z daljinskim video nadzorom in krmiljenjem preko spletnega strežnika ter z novim lastnim sistemom avtomatskega izmeta natisnjenih 3D-izdelkov. Namen naloge je bil podrobno opisati postopek nadgradnje 3D-tiskalnika, ki je tako natančen, da si lahko zgradi podoben sistem vsakdo sam, če le ima malo finančnih sredstev in nekaj znanj s področja mehanike, elektronike in računalništva. S tem postane doma izdelani 3D-tiskalnik cenovno ugodna rešitev glede na sistem, ki ga že danes ponujajo le nekateri proizvajalci dražjih modelov 3D-tiskalnikov. Ta je celo za vsaj eno stopnjo boljši.

7 ZAHVALA

Raziskovalna naloga ne bi bila v takšni obliki, če nama pri nastajanju le-te ne bi pomagalo veliko ljudi. Zahvala je torej namenjena naslednjim:

- mentorju Nedeljku Grabantu, dipl. inž., za pomoč, voljo, vztrajnost, njegov prosti čas in spodbudo pri nastajanju raziskovalne naloge;
- najinim staršem;
- Mariji Klemenšek, prof., za lektoriranje;
- Jolandi Melanšek, prof., za lektoriranje angleškega povzetka;
- učiteljem ERŠ in ravnatelju Simonu Konečniku, univ. dipl. inž., za vso podporo in spodbudo;
- razredničarki Jolandi Melanšek, prof., za veliko razumevanje in vse opravičene ure;
- recenzentu raziskovalne naloge;
- komisiji Mladih raziskovalcev in koordinatorici gibanja Mladi raziskovalci Karmen Hudournik;
- Francu Klavžu za pomoč pri programiranju v Pythonu;
- vsem neomenjenim, ki so kakorkoli pomagali pri izdelavi naloge.

8 VIRI

- [1] Kartezični 3D-tiskalnik znamke Ultimaker: <https://goo.gl/0BMhPk>, 1. 02. 2017
- [2] Delta 3D-tiskalnik znamke Tripodmaker: <https://goo.gl/3XoEcC>, 1. 02. 2017
- [3] Procesi in tehnologije 3D-tiskanja, Primeri in aplikacije 3D-tiskanja: <https://goo.gl/SaL7eE>, 2. 02. 2017
- [4] Program PTC CreoParametric: https://en.wikipedia.org/wiki/PTC_Creo_Elements/Pro, 8. 02. 2017
- [5] Program SketchUp: <https://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp>, 8. 02. 2017
- [6] Videz programa PTC CreoParametric: <https://goo.gl/9cwnvC>, 8. 02. 2017
- [7] Videz programa SketchUp: <https://goo.gl/ahBAjB>, 8. 02. 2017
- [8] Program Repetier-host: <https://www.repetier.com/documentation/repetier-firmware/repetier-firmware-introduction/> 28. 12. 2016
- [9] G-koda: <http://reprap.org/wiki/G-code>, 8. 02. 2017
- [10] Repetier vmesnik konfiguracijskega orodja: <https://www.repetier.com/firmware/v092/index.php>, 9. 02. 2017
- [11] Tehnični podatki Arduino MEGA 2560: <https://goo.gl/Mm1Znt>, 9. 02. 2017
- [12] RAMPS 1. 4: <http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Ramps1.4>, 9. 02. 2017
- [13] Gonilniki koračnih motorjev: <https://goo.gl/qKruvq>, 9. 02. 2017
- [14] koračni motor: https://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor, 9. 02. 2017

- [15] NEMA 17: http://reprap.org/wiki/Stepper_motor, 9. 02. 2017
- [16] Lastnosti koračnega motorja NEMA 17: http://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor, 9. 02. 2017
- [17] Primer linearnega ležaja: <https://goo.gl/Cz2Otc>, 9. 02. 2017
- [18] Primer priklopa in krmiljenja servo motorja: <https://learn.adafruit.com/adafruits-raspberry-pi-lesson-8-using-a-servo-motor/software>, 12. 02. 2017
- [19] Primer nalaganja programa Repetier-server: <https://www.youtube.com/watch?v=Bdf4vFsKXlg>, 12. 02. 2017
- [20] Prenos programa Repetier-server: <https://www.repetier-server.com/download-repetier-server/>, 12. 02. 2017
- [21] Primer nameščanja gonilnikov za kamero: <https://www.repetier-server.com/setting-webcam-repetier-server-linux/>, 12. 02. 2017
- [22] Primer nameščanja programa Apache: <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/web-server/apache.md>, 12. 02. 2017
- [23] Raspberry PI 3 model B: <https://slo-pi.com/clanki/raspberry-pi-3-model-b>, 20. 12. 2016
- [24] Kamera 8Mp: <https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>, 20. 12. 2016
- [25] Repetier strežnik: <https://www.repetier.com/>, 28. 12. 2016
- [26] Kartezični in delta model 3D-tiskalnika: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/2rpx98/advice_delta_vs_cartesian/, 2. 02. 2017
- [27] Delta in kartezični model 3D-tiskalnika: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>, 2. 02. 2017
- [28] 3D-tiskanje: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>, 2. 02. 2017
- [29] Prodajna spletna stran eBay: <http://www.ebay.com/>, 4. 01. 2017

8.1 Knjižni viri

- [1kn.] Kaziunas, F. A. 2013. Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers. Maker Media, San Francisco
- [2kn.] Kelly, J. 2013. 3D-Printing: Build Your Own 3D-Printer and Print Your Own 3D-Objects. Pearson Education, New Jersey
- [3kn.] Overby, A. 2010. CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation. McGraw-Hill, New York
- [4kn.] Platt, C. 2012. Encyclopedia of Electronic Components: Power Sources and Conversion. Maker Media, San Francisco

9 AVTORJA RAZISKOVALNE NALOGE

Branko Hudolin je dijak 4. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ), smer tehnik mehatronike, v Velenju. Za raziskovalno nalogo se je odločil, ker so ga zanimala lastnosti in funkcije Raspberry PI, Pythona in video strežnika ter 3D-tiskalnika. Zanima ga tudi programiranje v Raspberry PI in PHP-spletni jezik. Zelo je aktiven tudi na športnem področju, saj je član v judo kluba Shido. V prihodnosti se želi ukvarjati s programiranjem ter izdelavo raznih aplikacij za 3D-tiskalnike.

Valentin Podkrižnik je dijak 4. letnika Elektro in računalniške šole (ERŠ), smer tehnik mehatronike, v Velenju. Za izdelavo raziskovalne naloge se je odločil, ker se zanima za progresivno tehnologijo 3D-tiskanja, postopek izdelave in programiranja 3D-tiskalnika in pridobivanja novega znanja na področju PHP-programiranja. Aktiven je tudi na strojnem področju, saj ga zanimajo različni obdelovalni postopki in napredki v CNC-tehnologiji in robotiki. V prihodnosti se želi ukvarjati z izdelavo nadzornih sistemov za 3D-tiskalnike.



Slika 40: Mlada raziskovalca Branko Hudolin in Valentin Podkrižnik (z leve proti desni)