

Projektiranje i izrada kalupa za lijevanje čokolade

Lončar, Zoran

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:653566>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Bjelovar University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

Projektiranje i izrada kalupa za lijevanje čokolade

Završni rad br. 01/MEH/2022

Zoran Lončar

Bjelovar, svibanj 2022.



Veleučilište u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Student: **Lončar Zoran**

JMBAG: 0314019345

Naslov rada (tema): **Projektiranje i izrada kalupa za lijevanje čokolade**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **dr.sc. Tomislav Pavlic**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. **Ivana Jurković, mag. educ. philol. angl. et germ., predsjednik**
2. **dr.sc. Tomislav Pavlic, mentor**
3. **Danijel Radočaj, mag.inž.meh., član**

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 01/MEH/2022

U sklopu završnog rada potrebno je:

1. Opisati konvencionalne postupke proizvodnje kalupa za lijevanje čokolade.
2. Opisati projektiranje i izradu kalupa korištenjem CAD/CAM/CNC proizvodnog lanca.
3. Opisati projektiranje i izradu kalupa korištenjem aditivnih tehnologija.
4. Izraditi CAD model kalupa.
5. Izraditi kalup korištenjem obrade odvajanjem čestica.
6. Izraditi kalup korištenjem aditivne proizvodnje.

Datum: 10.02.2022. godine

Mentor: **dr.sc. Tomislav Pavlic**



Zahvala

Zahvaljujem roditeljima, obitelji i prijateljima na podršci tijekom studiranja. Posebno zahvaljujem mentoru dr. sc. Tomislavu Pavlicu, mag. ing. mech. na savjetima, smjericama i pruženom vremenu za izradu ovoga rada.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. ADITIVNE TEHNOLOGIJE.....	2
2.1 Karakteristike aditivne proizvodnje.....	2
2.2 Koraci izrade u aditivnoj proizvodnji.....	3
2.3 Faze aditivne proizvodnje.....	5
2.3.1 Brza izrada prototipova.....	5
2.3.2 Brza izrada alata i kalupa.....	6
2.3.3 Izravna brza proizvodnja.....	7
2.4 Podijela aditivne proizvodnje.....	8
2.5 Taložno očvršćivanje – FDM.....	9
2.5.1 Princip rada.....	10
2.5.2 Materijali.....	11
2.5.3 Prednosti i nedostaci.....	13
3. OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA	15
3.1 Podjela postupaka.....	16
3.2 Gibanja na alatnim strojevima.....	17
3.3 Prednosti i nedostaci.....	18
3.4 CNC glodanje.....	19
3.4.1 Podijela postupaka glodanja.....	20
3.4.2 Alati za glodanje.....	22
3.4.3 Programiranje CNC glodalica.....	24
3.4.4 G kod.....	25
4. PROJEKTIRANJE I IZRADA KALUPA ZA LIJEVANJE ČOKOLADA.....	27
4.1 Projektiranje kalupa čokolade u obliku Grada Bjelovara.....	27
4.2 Projektiranje kalupa čokolade u obliku Veleučilišta u Bjelovaru.....	33
4.3 Izrada modela čokolada na 3D printeru.....	37
4.3.1 Prusa i3 MK3S+.....	37
4.3.2 Postupak pripreme i 3D printanje.....	38
4.4 Izrada drvenog kalupa na CNC glodalici.....	43
4.4.1 CNCEST 6040 – 4 axis.....	43
4.4.2 Parametriranje i generiranje G koda u ArtCAM-u.....	44
4.4.3 Glodanje na CNC glodalici.....	48
5. LIJEVANJE EKSTRASIL RTV-2 SILIKONA.....	51
6. LIJEVANJE ČOKOLADE U SILIKONSKE KALUPE	53
7. ZAKLJUČAK.....	55
8. LITERATURA	56
9. OZNAKE I KRATICE.....	58
10. SAŽETAK.....	59
11. ABSTRACT	60

1. Uvod

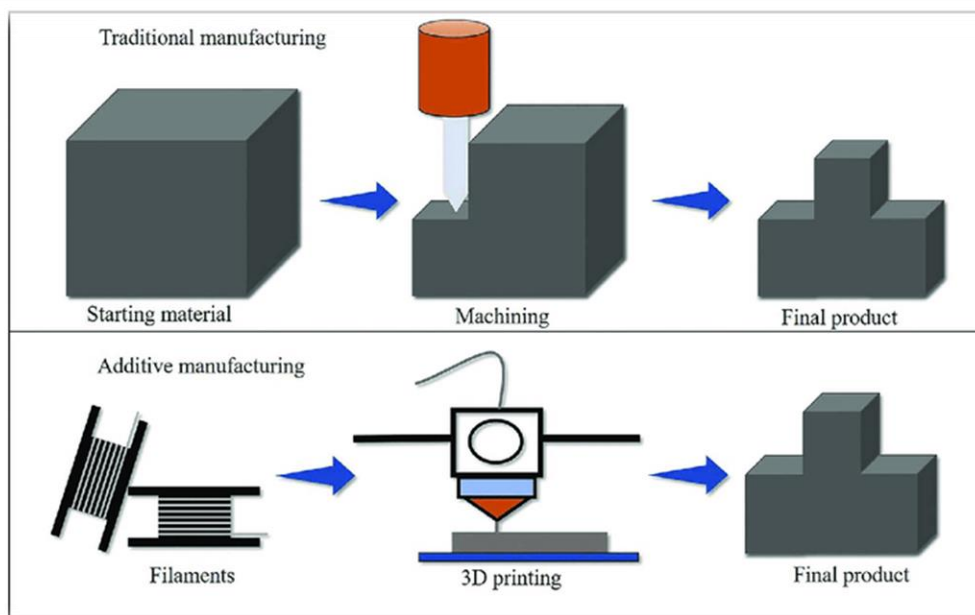
Aditivne tehnologije svakodnevno uzimaju sve veći zamah u svijetu tehnologije. Glavni razlozi tome su jednostavnost izrade, niska cijena i u većini slučajeva nepotrebna dodatna obrada. Upravo zbog toga pronalaze sve veću upotrebu kako u industrijskom okruženju, tako i u kućnim amaterskim uvjetima izrade. Za razliku od aditivnih tehnologija, obrada odvajanjem čestica je puno raširenija, ima dugu povijest korištenja i zauzima većinu tehnologije proizvodnje današnjice.

U ovom radu biti će prikazan postupak projektiranja i izrade kalupa za lijevanje čokolade primjenom aditivnih tehnologija pri izradi modela te sama izrada kalupa postupkom odvajanja čestica. Proizvod koji se lijeva su čokoladice standardizirane gramaže u obliku loga Grada Bjelovara i Veleučilišta u Bjelovaru.

2. ADITIVNE TEHNOLOGIJE

2.1 Karakteristike aditivne proizvodnje

Aditivna tehnologija ili aditivna proizvodnja je grana proizvodnog strojarstva. Počela se razvijati i primjenjivati u drugoj polovici 80-tih godina prošlog stoljeća. Idejno je zasnovana na temelju brze izrade prototipova. Zahtjevi proizvodnje za raznim varijacijama proizvoda bez popratnih troškova konstruiranja uređaja i alata za njihovu realizaciju dovode do naglog porasta primjene aditivnih tehnologija. Aditivne tehnologije se baziraju na nanošenju tankih slojeva čestica materijala koji može biti u krutom, tekućem ili praškastom stanju. Glavna prednost je izrada tvorevine u jednom koraku. Aditivnom proizvodnjom mogu se izraditi predmeti složene geometrije na temelju računalnog 3D modela. Takvim pristupom mogu se izraditi predmeti koji do sada nisu bili izvedivi.



Slika 2.3.1 – Usporedba aditivne i suptraktivne proizvodnje

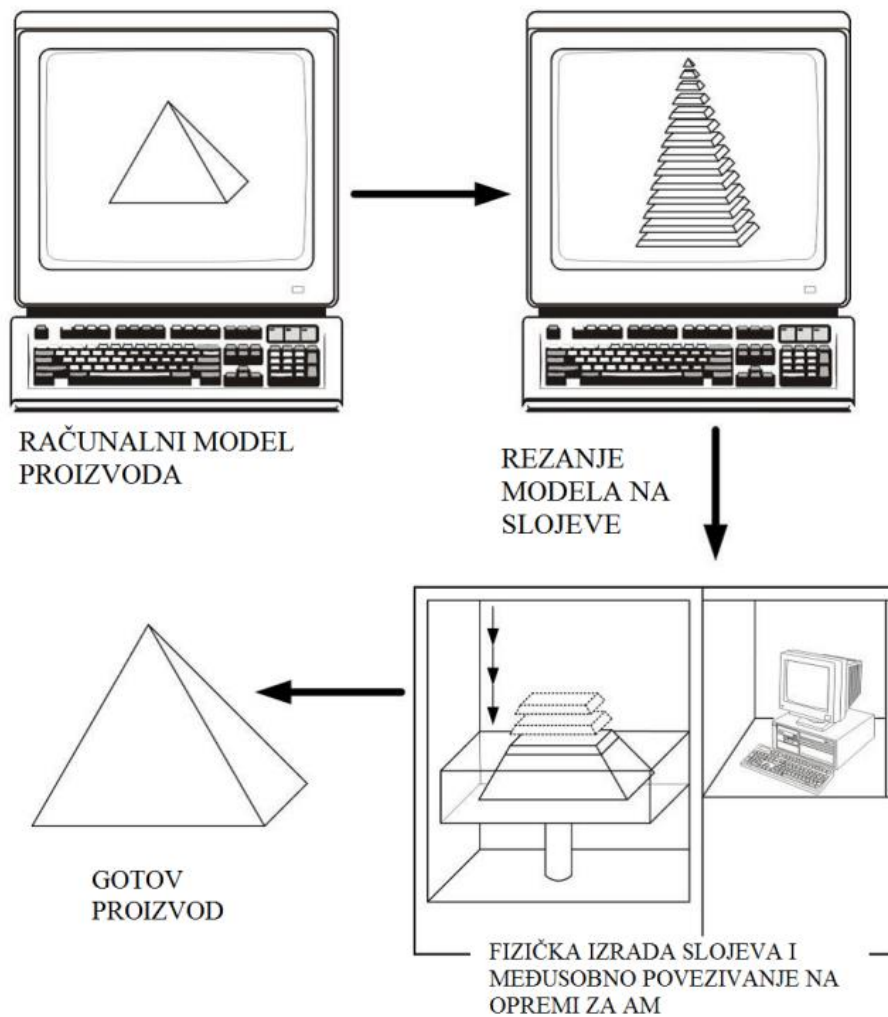
Preuzeto: https://www.researchgate.net/figure/Conceptual-comparison-of-traditional-and-additive-manufacturing-Persons-2015_fig1_341208689

Na slici 2.1.1 prikazana je usporedba klasične suptraktivne obrade gdje se materijal odnosi da bi se dobio završni proizvod pri čemu nastaje mnogo otpadaka. Usporedno je prikazana aditivna proizvodnja gdje se materijal nanosi u slojevima i tako dolazi do minimalnog stvaranja otpadnog materijala.

2.2 Koraci izrade u aditivnoj proizvodnji

Postupak izrade gotovog proizvoda može se opisati kroz sljedeće korake:

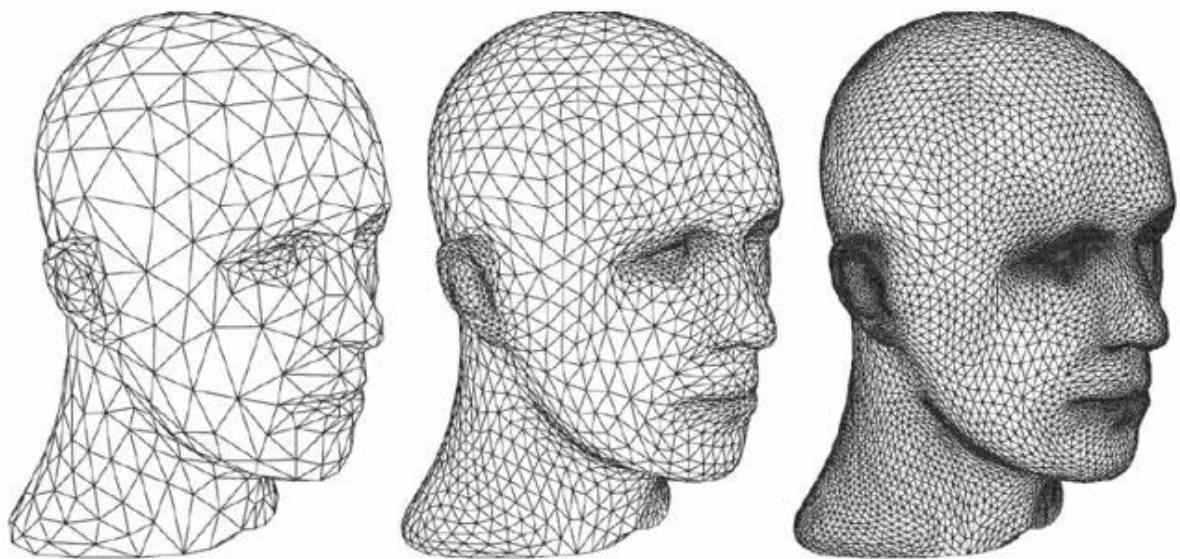
- izrada računalnog CAD modela
- pretvaranje CAD modela u STL datoteku
- učitavanje STL datoteka na stroj za aditivnu proizvodnju
- podešavanje parametara stroja
- izrada modela
- vađenje modela
- procjena o potrebi naknadne dorade
- primjena modela



Slika 2.3.1 – Faze izrade proizvoda

Preuzeto: http://repositorij.fsb.hr/8114/1/Mandi%C4%87_2017_diplomski.pdf

Proces izrade započinje konstruiranjem 3D računalnog modela, takozvanog CAD modela (eng. *Computer Aided Design*). Model se sprema u STL formatu (eng. *Standard Tessellation Language*) koji CAD model prikazuje u obliku mnoštva međusobno povezanih trokuta. Uz STL upotrebljava se AMF datoteka (eng. *Additive Manufacturing File*) koja prikazuje jedan ili više objekata raspoređenih u vektore. U AMF formatu dostupno je dodavanje boja i materijala. Na temelju podešavanja parametara uređaja, učitana datoteka se reže u slojevima i slaže u trodimenzionalni model. 2D slojevi visoke preciznosti u ravnini x-y se slažu u visinu čija preciznost ovisi o debljini sloja koji se nanosi. Nakon parametriranja vrši se generiranje G koda te izrada predmeta. Gotovi proizvod vadi se iz uređaja, uklanjaju se viškovi materijala, potporne strukture te se vrši kontrola. Ukoliko zadovoljava zadanim kriterijima vrši se njegova primjena, u suprotnom se doraduje ili se ponavlja postupak izrade do dobivanja željene kvalitete.



Slika.1.2.2 – STL datoteke različite kvalitete

Preuzeto: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/create-3d-file/what-is-an-stl-file/>

2.3 Faze aditivne proizvodnje

Faze aditivne proizvodnje je moguće podijeliti u tri skupine:

- postupci brze izrade prototipova (eng. *Rapid Prototyping*) – RP
- postupci brze izrade alata i kalupa (eng. *Rapid Tooling*) – RT
- postupci izravne brze proizvodnje (eng. *Rapid Manufacturing*) – RM

2.3.1 Brza izrada prototipova

Postupci brze izrade prototipova razvijani su od 1987. godine. Predstavljaju skupinu postupaka koji omogućavaju brzu izradu modela sa svojstvom oponašanja geometrije, materijala i funkcija budućeg proizvoda. Time se dobivaju potrebne informacije o ponašanju proizvoda. Na temelju informacija vrše se analize o daljnjoj doradi proizvoda. Prototipovi služe kao temelj za unaprijeđenje razvoja proizvoda.

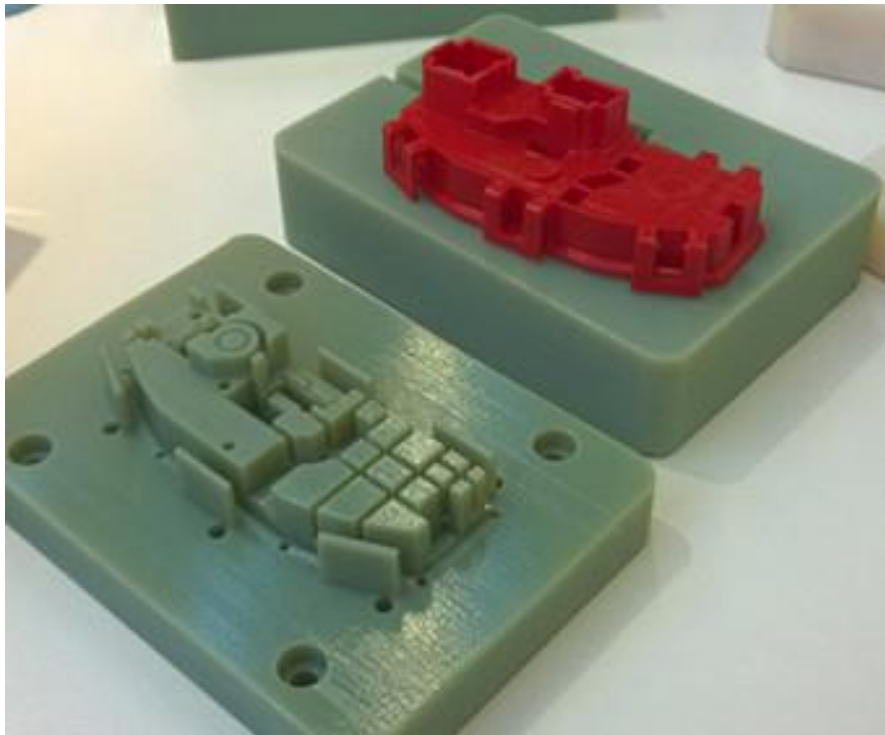


Slika 2.3.1.1 – Razvoj prototipova računalnog miša

Preuzeto: <https://zmorph3d.com/blog/designing-3d-printed-wireless-mouse/>

2.3.2 *Brza izrada alata i kalupa*

Postupci brze izrade alata i kalupa služe za proizvodnju alata i kalupa ili njihovih pojedinih kompleksnih dijelova. Upotrebljuju se za prototipove ili probne serije proizvodnje pomoću istog procesa kojim će se proizvoditi gotov proizvod. Proces proizvodnje može biti sačinjen od više postupaka proizvodnje. Može biti i u kombinaciji s klasičnim postupcima izrade alata i kalupa. Načinom slojevite gradnje omogućeno je skraćivanje vremena za izradu geometrijskih zahtjevnih alata i kalupa.

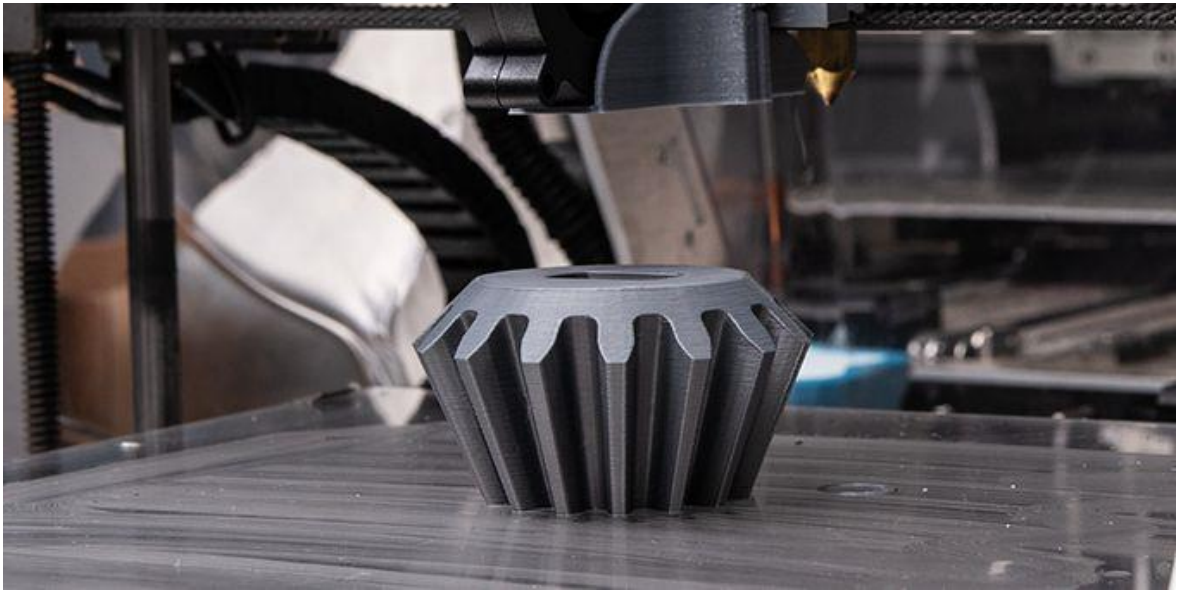


Slika 2.3.2.1 – Primjer brze izrade kalupa

Preuzeto: <https://uyeeprototype.com/rapid-tooling>

2.3.3 *Izravna brza proizvodnja*

Izravna proizvodnja podrazumijeva pojedinačnu, maloserijsku proizvodnju gotovog proizvoda. Postupci izravne proizvodnje omogućuju izradu bez potrebe za dodatnim alatima te su najbolje rješenje za maloserijsku proizvodnju. Upotreba je ograničena zbog ograničenosti u materijalu. Razvojem novih materijala očekivan je porast primjene izravne brze proizvodnje.



Slika 2.3.3.1 – Izravna brza proizvodnja

Preuzeto: <https://3ddruck24.de/damaszener-stahl-im-3d-druck/>

2.4 Podjela aditivne proizvodnje

Podjelu aditivne proizvodnje možemo sagledati s više stajališta. Osnovna podjela aditivne proizvodnje:

- vrsta materijala
- izvor energije
- postupak izdizanja sloja
- geometrija tvorevine

Jedna od najvažnijih karakteristika prema kojima se dijele sami postupci je podijela materijala na kojem su bazirani postupci, a to su:

- kapljevit materijali
- praškasti materijali
- kruti materijali

Postupci koji primjenjuju materijal na bazi krutih materijala su:

- taložno očvršćivanje (eng. *Fused Deposition Modeling*) - FDM
- proizvodnja laminiranih objekata (eng. *Laminated Object Manufacturing*) -LOM

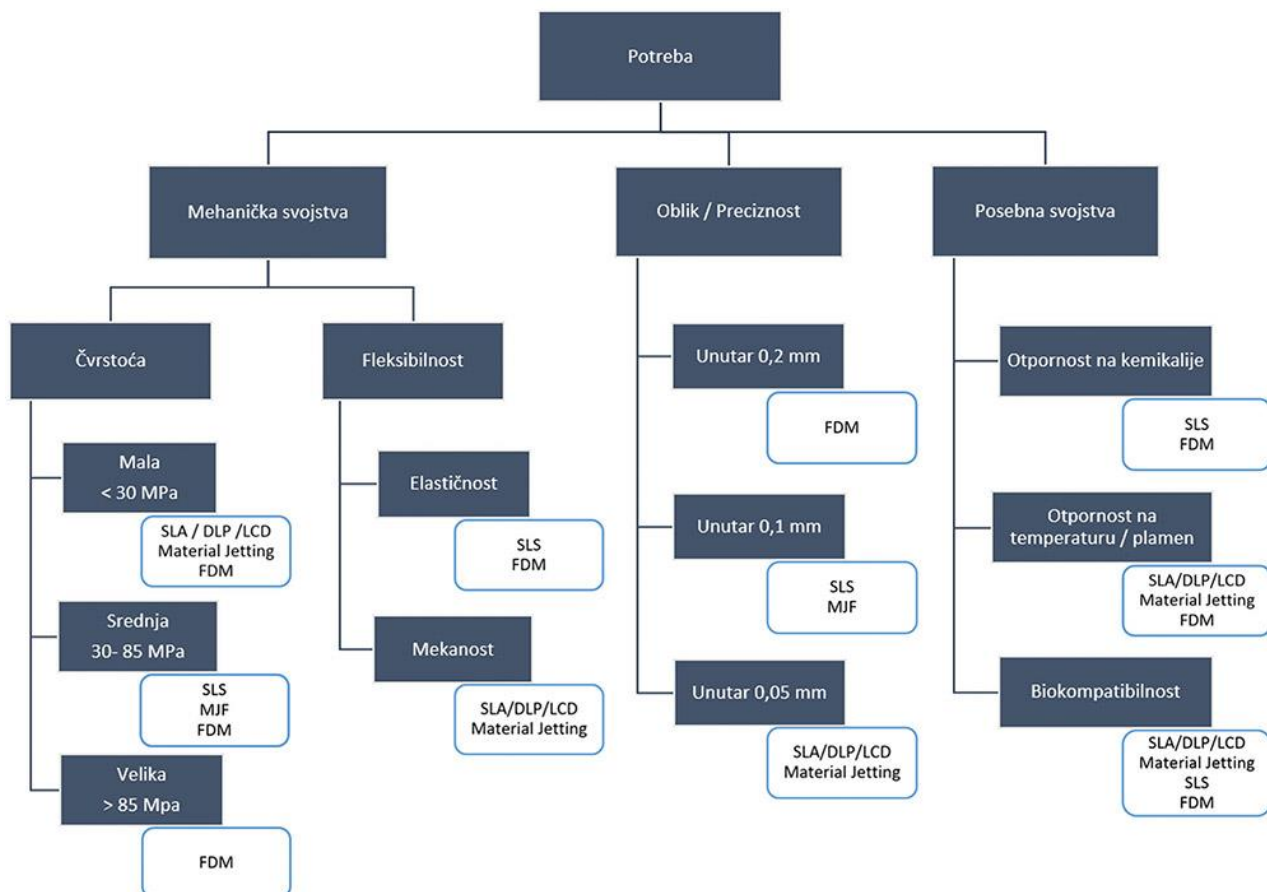
Postupci koji primjenjuju kapljevite materijale:

- stereolitografija (eng. *Stereolithography*) - SLA
- PolyJet postupak
- očvršćivanje digitalno obrađenim svjetlosnim signalom (eng. *Digital Light Processing*) - DLP
- proizvodnja silikonskih kalupa (eng. *Room Temperature Vulcanisation*) - RTV kalupi

Postupci koji primjenjuju praškaste materijale:

- selektivno lasersko srašćivanje (eng. *Selective Laser Sintering*) - SLS
- 3D tiskanje (eng. *3D Printing*) - 3DP
- taloženje metala (eng. *Laser Engineering Net Shaping*) – LENS
- selektivno lasersko taljenje (eng. *Selective Laser Melting*) - SLM
- taljenje s pomoću snopa elektrona (eng. *Electron Beam Melting*) – EBM

- direktno lasersko sinteriranje metala (eng. *Direct metal laser sintering*) – DMLS



Slika 2.4.1 – Svojstva AT postupaka

Preuzeto: <https://izit.hr/blog/smjernice-za-odabir-aditivne-tehnologije-za-izradu-polimernih-dijelova/>

Sam odabir postupka aditivne izrade ovisi o potrebama.

Na slici 2.4.1 prikazane su opće karakteristike svakog postupka koje služe kao podloga za odabir procesa.

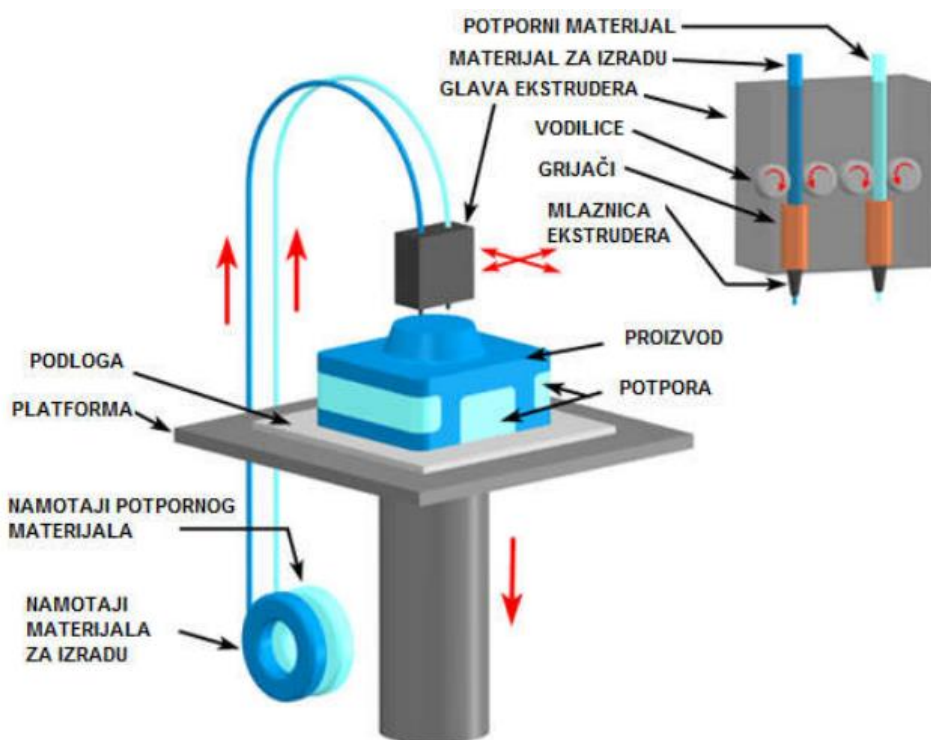
2.5 Taložno očvršćivanje – FDM

Taložno očvršćivanje (eng. *Fused Deposition Modeling*) je najrasprostranjeniji postupak aditivne proizvodnje. Razvijen je 1980-ih godina u Sjedinjenim Američkim

Državama pod okvirom tvrtke Advanced Ceramics Research. Patentiran je i komercijaliziran 1990-ih od strane tvrtke Stratasys koja ga je usavršila. FDM postupak je daleko najrasprostranjeniji i najbrže rastući postupak aditivne proizvodnje. Pretpostavlja se da je udio FDM tehnologije preko 50% na tržištu aditivne proizvodnje.

2.5.1 Princip rada

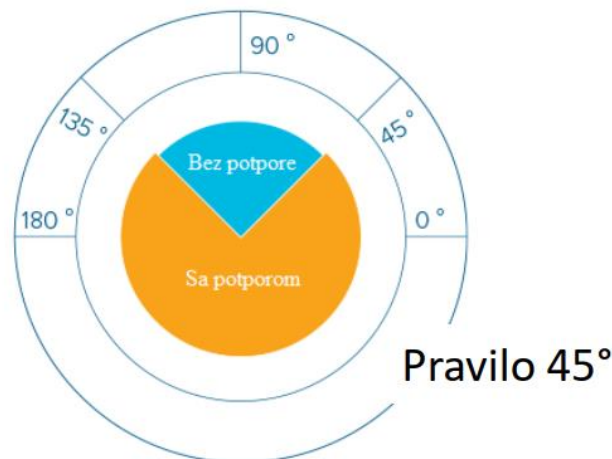
Polimerni materijal u obliku žice uvlači se u zagrijanu glavu ekstrudera pomoću nazubljenih vodilica. Pri visokoj temperaturi omekšani materijal istiskuje se kroz mlaznicu na zagrijanu podlogu. Mlaznica i podloga računalno su upravljani te su im omogućene kretnje u tri osi. Nanošenjem tankog sloja materijala na zagrijanu podlogu dolazi do brzog skrućivanja pri sobnoj temperaturi. Nakon nanešenog sloja vrši se posmak u visinu u vrijednosti debljine sloja te se vrši nanošenje novog sloja na postojeći.



Slika 2.5.1.1 – FDM postupak

Preuzeto: <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A909/datastream/PDF/view>

Kod složenije geometrije proizvoda potrebno je dodavanje potporne strukture, a izvodi se primjenom dvostruke glave ekstrudera. U jednoj mlaznici nalazi se materijal za izradu potpore, a u drugoj materijal za izradu proizvoda. Kod FDM postupka potporna struktura je obavezna za sve proizvode čiji se kutevi manji od 45° i veći od 135°.



Slika 2.5.1.2 – Područje primjene potporne strukture

Preuzeto: Golubić S. *Aditivne tehnologije (kolegij Aditivne tehnologije)*, Veleučilište u Bjelovaru, 2018.

2.5.2 Materijali

Odabir materijala za FDM postupak veže za sobom pravilno parametriranje radnih temperatura podloge i ekstrudera. Svaki materijal ima različite temperature tališta i stvrdnjavanja. Temperatura mora biti dovoljna da se omekšani materijal kontinuirano nanosi na podlogu te da se dovoljno brzo stvrdne pri izlasku. Najčešće korišteni materijali u FDM postupku su ABS i PLA.

ABS (akrilonitril / butadien / stiren) je amorfni polimer koji nastaje polimerizacijom akrilonitrila (15-35%) i stirena (40-60%) u prisustvu polibutadiena (5-30%). Stiren daje mogućnost prerade i površinski sjaj. Akrilonitril daje čvrstoću, kemijsku i toplinsku otpornost. Butadien daje tvrdoću i otpornost na niskim temperaturama. Primjenjuje se u automobilske industriji, elektronici te za izradu prototipova. ABS ima slabu otpornost na vanjske vremenske uvijete pa se većinom koristi u interijeru.

Gustoća	g/cm ³	1,0 – 1,05
Vlačna čvrstoća	MPa	40 - 50
Čvrstoća na udar	kJ/m ²	10 - 20
Toplinska rastezljivost	×10 ⁻⁶	70 - 90
Temperatura omekšavanja	°C	80-95

Slika 2.5.2.1 – Svojstva ABS-a

Preuzeto: Golubić S. Aditivne tehnologije (kolegij Aditivne tehnologije), Veleučilište u Bjelovaru, 2018.

PLA (polilaktid), odnosno poliaktična kiselina je biorazgradivi polimer dobiven iz laktične kiseline. Odlikuju ga vrlo slaba mehanička svojstva, krhkost, niska cijena i slabija postojanost pri višim temperaturama. Ima nisku temperaturu tališta koja iznosi od 160 °C do 220 °C. Primjenjuje se u prehrambenoj industriji i industriji odjeće zbog svojstva biorazgradivosti. Moguće ga je više puta rastaliti i ponovno koristiti. Jedan je od najkorištenijih polimera u FDM postupku.



Slika 2.5.2.2 – PLA filament

Preuzeto: <https://www.dreamstime.com/photos-images/filament.html>

PC (polikarbonat) je proziran amorfan polimer. Karakteriziraju ga tvrdoća, čvrstoća, dobra električna svojstva te izuzetna UV stabilnost. Zbog svoje prozirnosti i mogućnošću dodavanja boja čini proizvod estetski privlačnim. Odlikuje ga točnost izrade, izdržljivost i dobra stabilnost. Zbog svojih dobrih svojstava koristi se u raznim granama industrije, posebice u medicinskoj i autoindustriji.



Slika 2.5.2.3 – Proizvod od polikarbonata

Preuzeto: <https://www.rapidsol.org/polycarbonate.aspx>

Ostali materijali koji se koriste su PS (polistiren), PA (poliamid), PEEK (polieter-eterketon), PET (polietilen-tereftalat), PVA (polivinil-amid), PP (polipropilen), PMMA (polimetil-metal krilat).

2.5.3 Prednosti i nedostaci

Prednosti FDM postupka:

- minimalan otpad - nema suvišnog materijala koji bi se u drugim postupcima naknadnom doradom odstranjivao, osim potporne strukture koja čini minimalan otpad
- jednostavna upotreba – za izradu proizvoda potreban je samo STL dokument
- lako uklanjanje potporne strukture – potporna struktura je oslabljena na mjestima dodira s modelom te se lako uklanja
- niski troškovi održavanja

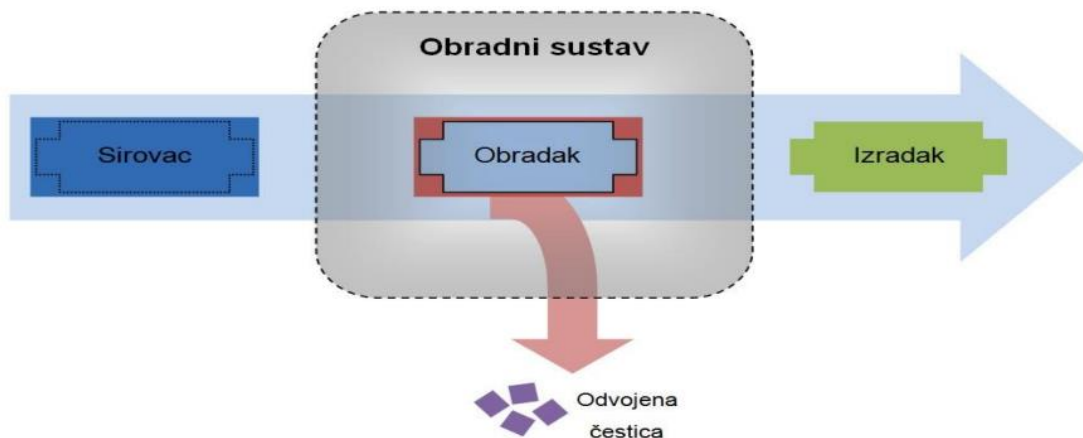
- brzina i sigurnost rada stroja
- mala investicija
- laka izmjena materijala
- mogućnost izrade više proizvoda u isto vrijeme
- nema potrebe za grijanjem i hlađenjem
- praktičnost i prenosivost uređaja
- male dimenzije uređaja
- mala potrošnja energije

Nedostatci FDM postupka:

- ograničena točnost izrade
- sporost izrade
- potreba za naknadnom doradom
- upotreba potpornog materijala
- ograničen izbor materijala
- oscilacije temperature mogu dovesti do raslojavanja proizvoda
- vitoperenje dugih proizvoda
- vidljivost linija između slojeva
- smanjena čvrstoća okomito na smjer izrade sloja

3. OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA

Obrada odvajanjem čestica je najzastupljenija i najvažnija tehnologija u proizvodnoj industriji. Čini oko 30 % ukupnog BDP-a industrijski razvijenijih država. Tehnologija se sastoji od niza različitih postupaka. Obrada se odvija na način da se početnom materijalu odstranjuje određena količina materijala s ciljem formiranja proizvoda željenih dimenzija. Odvajanje čestica se vrši na alatnom stroju. Za izradu gotovog proizvoda potrebno je proći kroz više različitih postupaka obrade odvajanja čestica.



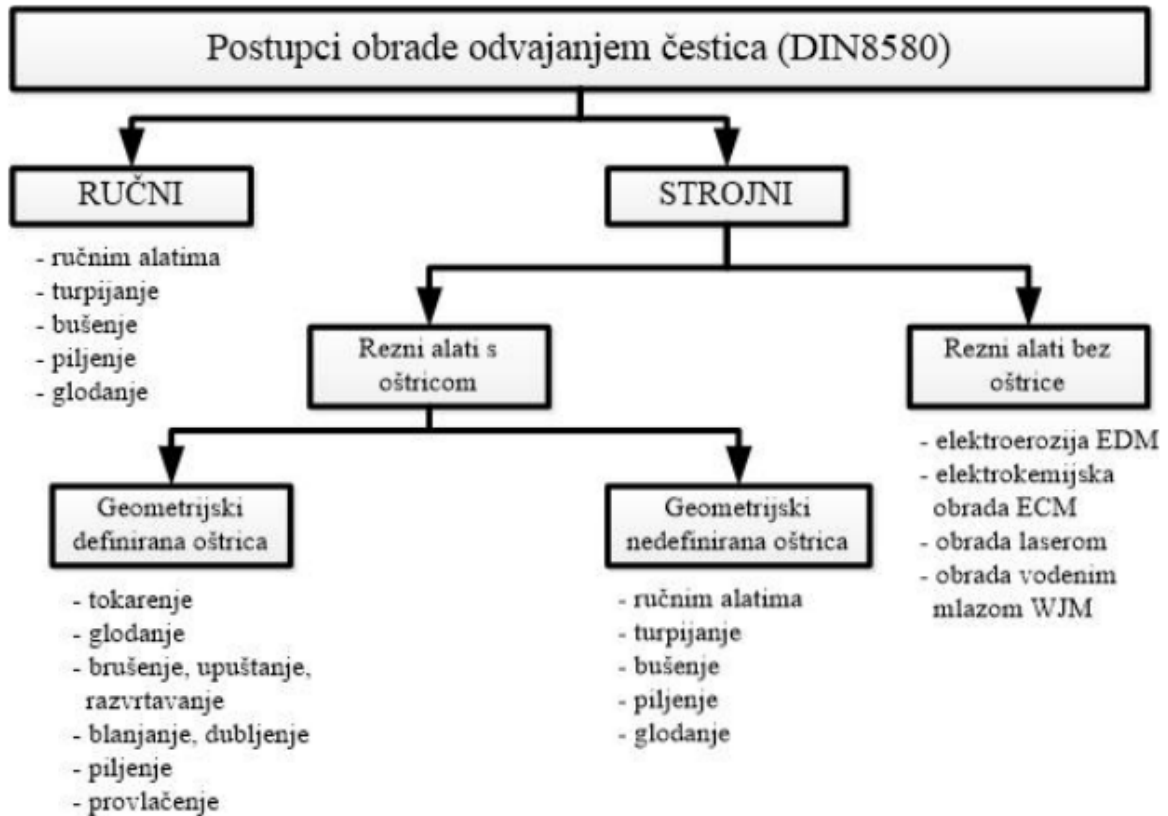
Slika 3.1 – Ilustracija obrade odvajanjem čestica

Preuzeto: http://repositorij.fsb.hr/7438/1/%C5%BDupan_2017_zavr%C5%A1ni_preddiplomski.pdf

Na slici 3.1 prikazan je proces obrade. Sirovac ili početni materijal obrađuje se na alatnom stroju koji vrši odvajanje čestica u svrhu dimenzijskog oblikovanja izradka. Učinkovitost procesa ovisi o odabiru parametara i režima rada. Povećanjem brzine rezanja povećava se produktivnost, pri čemu se smanjuje kvaliteta obrade i dolazi do rasta topline u zoni obrade. Nastala toplina uzrokuje deformacije i trošenje alata što dovodi do smanjenja vijeka trajanja alata. Da bi se zadržala produktivnost te smanjile neželjene pojave koriste se sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHIP).

3.1 Podjela postupaka

Postupci obrade odvajanjem čestica dijele se na ručne i strojne. Strojni postupci su podijeljeni na postupke koji koriste rezne alate s oštricom i bez oštrice. Rezni alati s oštricom mogu biti s geometrijski definiranom i nedefiniranom oštricom. Podjela je prikazana na slici 3.1.1.



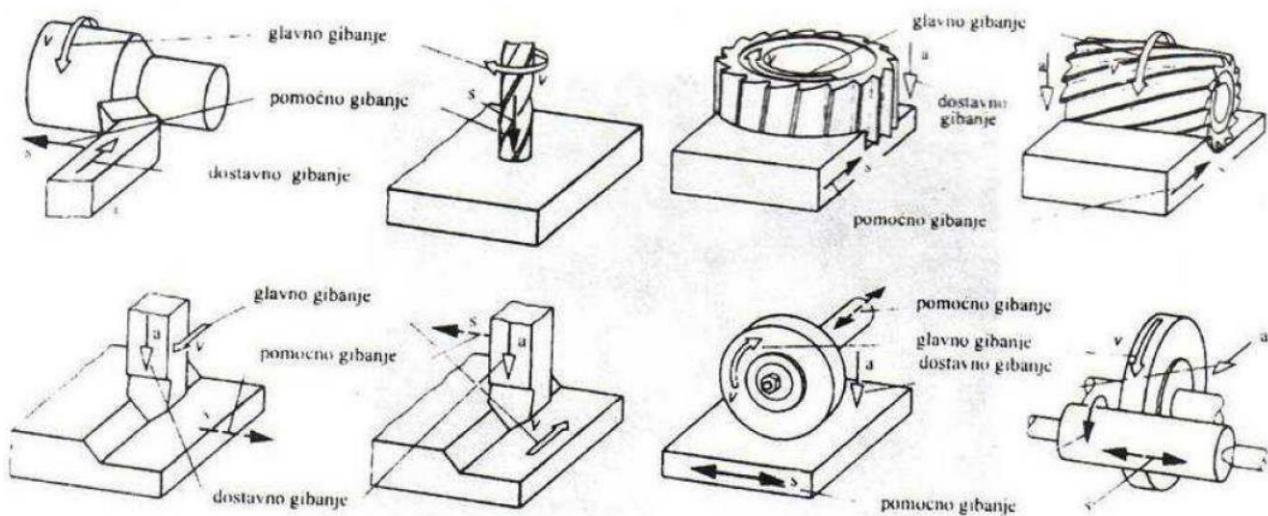
Slika 3.1.1 – Podjela postupaka odvajanja čestica

Preuzeto: http://repozitorij.fsb.hr/4799/1/Sokele_2015_zavrzni_preddiplomski.pdf

3.2 Gibanja na alatnim strojevima

Gibanja mogu biti kružna i translacijska. Mogu se odvijati kontinuirano i diskontinuirano. Gibanja na alatnim strojevima mogu se podijeliti na:

- Glavno gibanje - gibanje kojim se stvara odvojena čestica. Definirano je brzinom rezanja. Za glavno gibanje se troši najviše snage. Većinom se radi o kontinuiranoj rotaciji, ovisno o vrsti obrade.
- Pomoćna gibanja - sva ostala gibanja kojim se ne vrši odvajanje čestica. Pomoćna gibanja se mogu podijeliti na:
 - Posmično gibanje - omogućava kontinuitet obavljanja procesa obrade. Definirano je posmičnom brzinom. Većinom se radi o kontinuiranoj translaciji koja ovisno o vrsti obrade izvodi obradak, alat ili oboje.
 - Dostavno gibanje - gibanje izvan obrade. Omogućuje primicanje i odmicanje alata obratku ili obratka alatu. To je posmično gibanje kod kojeg nema doticaja alata i obratka. Većinom je u obliku kontinuirane translacije.

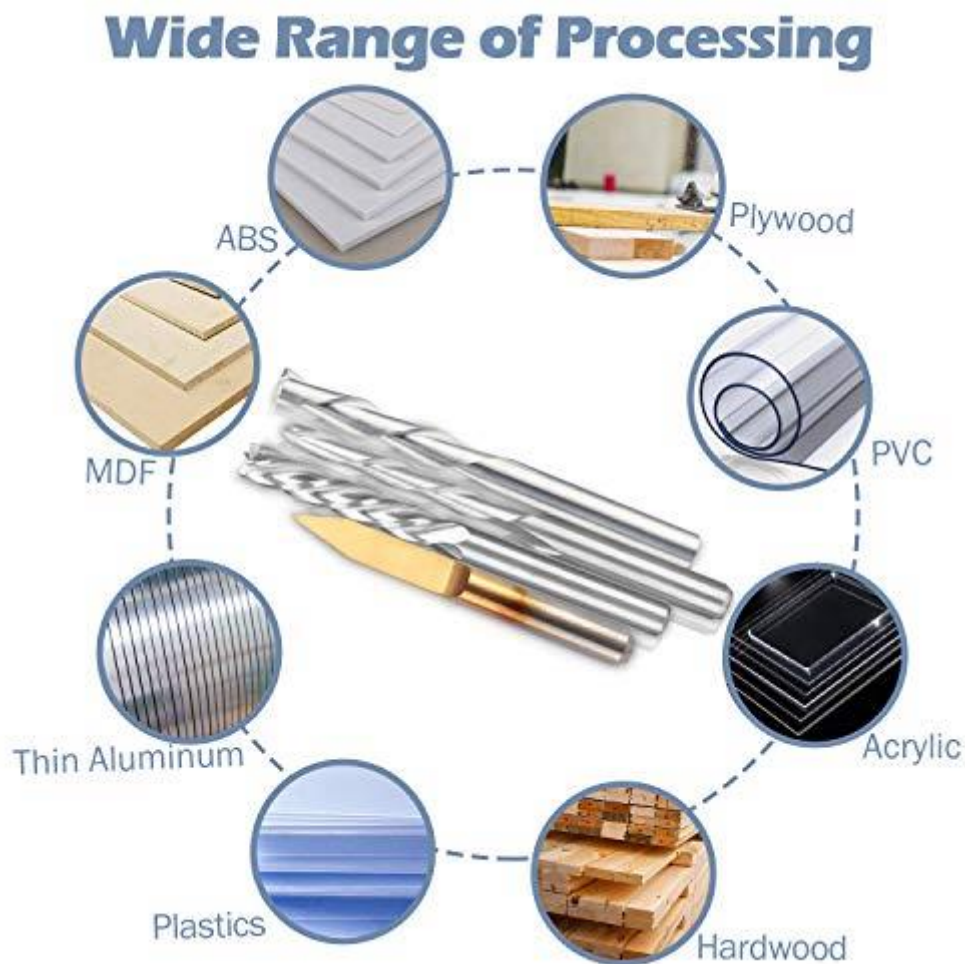


Slika 3.2.1 – Gibanja na alatnim strojevima

Preuzeto: https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/29012014_strojna_obrada.pdf

3.3 Prednosti i nedostatci

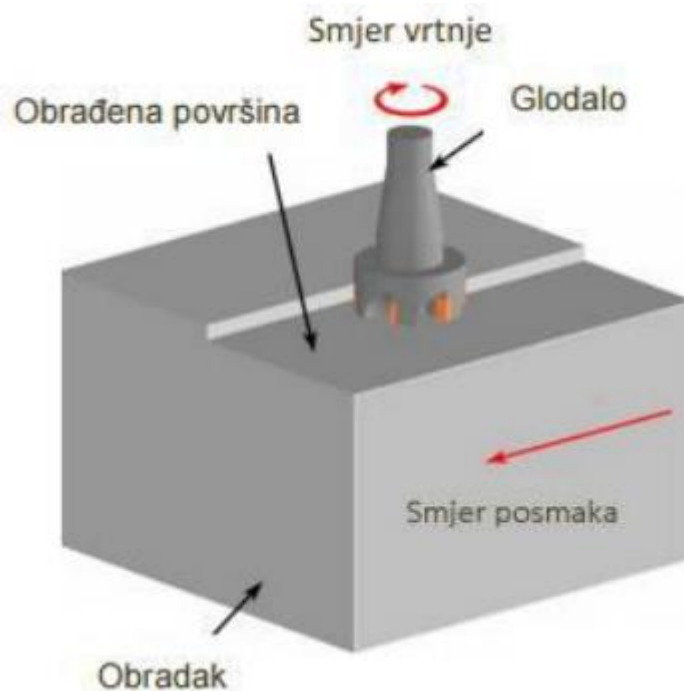
Obrada odvajanjem čestica je tehnologija kojom se može postići visoka kvaliteta obrađene površine pri visokoj točnosti bez potrebe naknadne dorade. Najbolji je postupak za stvaranje oštih bridova, ravnih površina, obradu složenih površina i jedna od rijetkih metoda kojom se mogu obrađivati kaljeni i krti materijali. Nije najjeftinija i najbrža metoda, ali se mogu obrađivati gotovo svi materijali. Čestice nastale u procesu obrade te korištenje SHIP – a i njihovo odlaganje predstavljaju velik ekološki problem ove tehnologije. Za izradu proizvoda ponekad je potrebno korištenje više postupaka na različitim alatnim strojevima što podiže vrijeme i troškove izrade.



Slika 3.3.1 – Materijali upotrebljavani u OOČ

3.4 CNC glodanje

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica kojim se obrađuju različite površine proizvoljnog oblika. Izvodi se na alatnim strojevima, a to su većinom glodalice ili obradni centri. Glavno gibanje je kružno kontinuirano i izvodi ga alat. Pomoćna gibanja ovise o konstrukciji, a izvodi ih obradak i/ili alat. Alatni strojevi za glodanje mogu biti klasične ili CNC (eng. *Computer Numerical Control*) glodalice. Razlikuju se u načinu upravljanja. Klasične glodalice su upravljane od strane operatera, dok je CNC glodalica upravljana programskim G kodom. G kod može biti ručno unešeni ili programski generiran korištenjem CAM softvera.



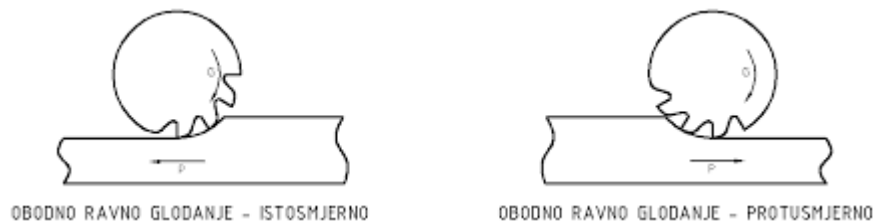
Slika 3.4.1 – Shema glodanja

Preuzeto: <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A915/datastream/PDF/view>

3.4.1 Podjela postupaka glodanja

Glodanje možemo podijeliti prema:

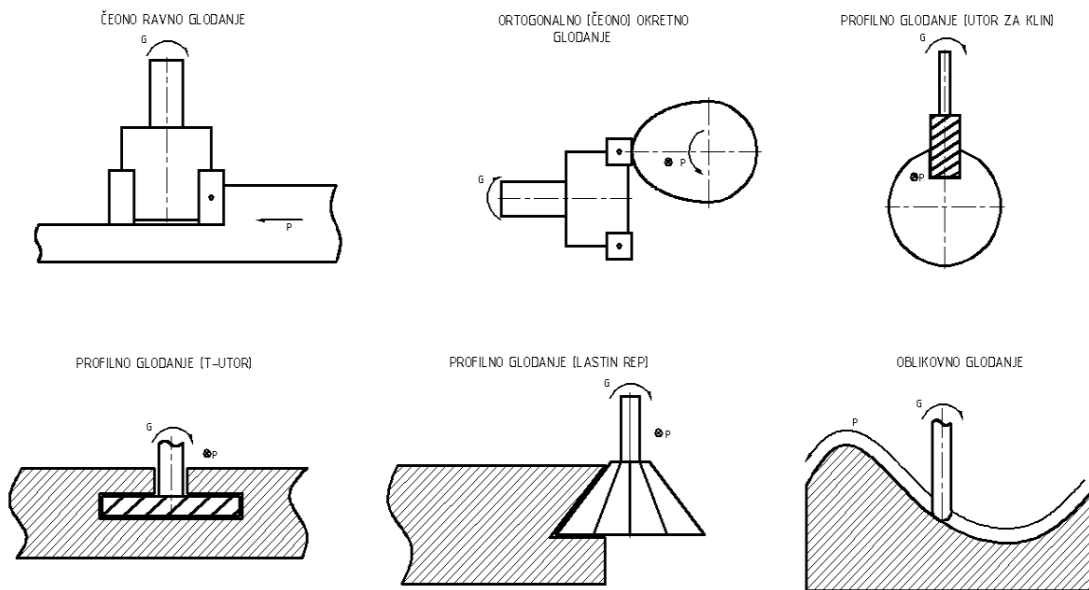
- kvaliteti obrađene površine:
 - grubo
 - fino
 - završno
- kinematici glodanja:
 - protusmjerno
 - istosmjerno



Slika 3.4.1.1 – Kinematike glodanja

Preuzeto: http://repositorij.fsb.hr/680/1/15_07_2009_Zavrzni_rad_-_Bruno_Benger.pdf

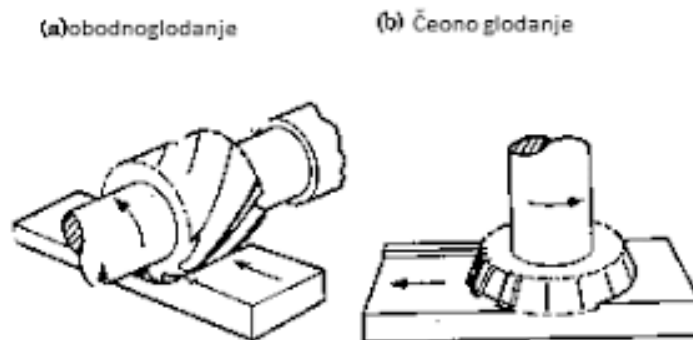
- Prema obliku obrađivane površine:
 - ravno (plansko)
 - okretno (okruglo i neokruglo)
 - profilno (glodanje utora, modularno)
 - oblikovno (kopirno ili CNC)
 - odvalno



Slika 3.4.1.2 – Podjela glodanja prema obliku obrađivane površine

Preuzeto: http://repozitorij.fsb.hr/680/1/15_07_2009_Zavrzni_rad_-_Bruno_Benger.pdf

- Prema položaju reznih oštrica:
 - obodno
 - čeono



Slika 3.4.1.3 – Podijela glodanja prema položaju reznih oštrica

Preuzeto: http://repozitorij.fsb.hr/680/1/15_07_2009_Zavrzni_rad_-_Bruno_Benger.pdf

3.4.2 *Alati za glodanje*

Alat za glodanje je glodalo. Glodalo karakterizira definirana geometrija reznog dijela s više reznih oštrica. Oštrice se nalaze na zubima glodala. Zubi mogu biti pozicionirani na obodnoj ili čeonj plohi glodala. Pri obradi više oštrica je istovremeno u zahvatu. Rezni dio se izrađuje od materijala iznimno veće tvrdoće od tvrdoće obradka. Najčešće korišteni materijali su brzorezni čelici, tvrdi metali, cermet, keramika i kubni nitrit bora.

Glodala se mogu podijeliti prema:

- načinu izrade glodala:
 - s glodanim zubima
 - s brušenim i tokarenim zubima
 - glave s umetnutim zubima
- obliku zubi glodala:
 - s ravnim zubima
 - sa zubima u spirali
 - sa zubima u križ
- obliku tijela glodala:
 - profilna
 - konusna
 - modularna
 - vretenasta
 - glodala valjkastog oblika
 - glodala valjkastog oblika za ozubljenja
 - glodala valjkastog oblika za navoje

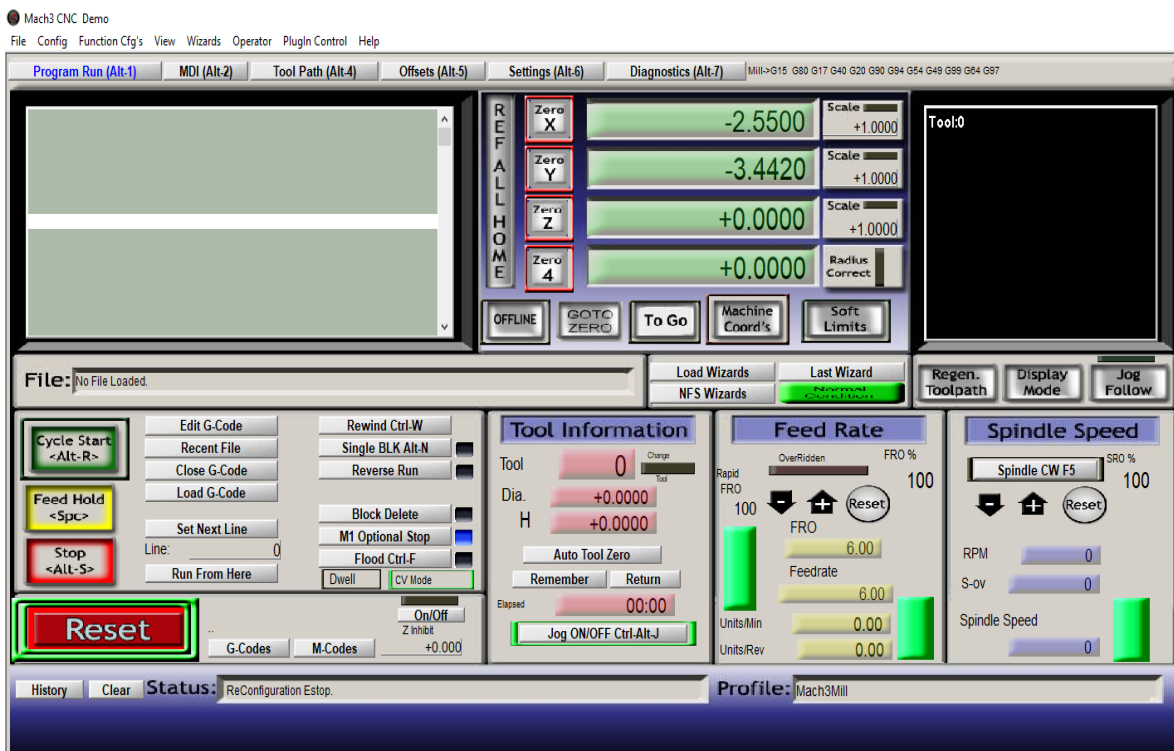
valjkasto glodalo		utorno glodalo	Slot mill	
		kutno glodalo za finu obradbu	End mill for finishing	
		spiralno svrdlo	Centre drill	
Dowertail cutter kutno glodalo		T-utorno glodalo	T-slot cutter	
		razvrtalo	Reamer	
		konusno upuštalo	Countersink	
Side and face cutter koturasto glodalo		utorno kuglasto	Ball nosed slot drill	
		zabušivač	Centre drill	
		profilno glodalo za rubove	Corner round	
plansko (čeono) glodalo		ureznik	Tap	
		kutno glodalo za grubu obradbu	End mill for roughing	
		ravno upuštalo	Countbore	

Slika 3.4.2.1 – Vrste i oblici glodala

Preuzeto: <https://wp-hr.wikideck.com/Glodalo>

3.4.3 Programiranje CNC glodalica

Programiranje CNC (eng. *Computer Numerical Control*) glodalica se može obavljati ručno ili s pomoću računalnog programa. Svodi se na kodiranje geometrijskih i tehnoloških informacija potrebnih za izradu proizvoda. Ručno programiranje je vrlo rijetko. Pri ručnom programiranju potrebno je unositi programski G kod red po red što oduzima mnogo vremena i postoji mogućnost pogrešnog unošenja podataka. Ujedno ručnim programiranjem mogu se programirati samo dvodimenzionalni proizvodi. Računalno programiranje podrazumjeva automatsko generiranje G koda na osnovu trodimezionalnog modela, pridruženih alata, materijala te režima obrade pomoću CAD/CAM sustava (eng. *Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing*). Računalnim načinom se smanjuje vrijeme izrade i povećava se opseg mogućnosti izrade proizvoda. Proces izrade proizvoda CNC glodanjem računalnim putem počinje izradom CAD modela. CAD model povezuje se sa CAM modulom za generiranje putanje alata. Putanja se generira na osnovi tehnoloških parametara i redoslijeda operacija. Putanja se simulira u CAM modulu te se dobiva simulacija kretanja alata. Nadalje se generirani podatci iz CAM modula obrađuju u postprocesoru te se ispisuje programski G kod. Unošenjem G koda u upravljačku jedinicu CNC stroja, stroj je spreman za proizvodnju.



Slika 3.4.3.1 – Upravljački program Mach3

3.4.4 *G kod*

G kod je programski jezik numeričke kontrole. Koristi se programiranje CNC strojeva. Naziv G kod je dobio iz razloga što svaki red koda počinje slovom G. Razvijen je 1950-ih godina u tvrtci Massachusetts Institute of Technology. Veoma je jednostavan programski jezik. Nema funkcija petlji, uvjetnih operatora i varijabli koje bi programer mogao definirati. G kod je skup naredbi. Svaka naredba je ispisana u svom redu te čini blok koda. Tijek izvođenja blokova je od vrha prema dnu. G kod je standardizirani kod.

Naredbe u G kodu dijele se na dvije skupine:

- G naredbe
- M naredbe

G naredbe označavaju glavne naredbe, a M pomoćne naredbe.

Primjeri najkorištenijih G naredbi kod glodanja:

- G00 – brzi pomak alata
- G01 – radni pomak alata
- G02 – kružni pomak alata u smjeru kazaljke sata
- G03 – kružni pomak alata u suprotnom smjeru kazaljke sata
- G40 – isključivanje kompenzacije promjera alata
- G41 – lijeva kompenzacija promjera alata
- G42 – desna kompenzacija promjera alata
- G43 – negativna kompenzacija dužine alata
- G54 – strojna radna nultočka koordinatnog sustava
- G17 – izbor radne ravnine xy
- G18 – izbor radne ravnine xz
- G19 – izbor radne ravnine yz
- G21 – mjerni sustav u inčima
- G20 – mjerni sustav u milimetrima
- G90 – apsolutni pomak u koordinatnom sustavu
- G91 – inkrementalni pomak u koordinatnom sustavu

Primjeri najkorištenijih M naredbi kod glodanja:

- M00 – optimalno zaustavljanje izvođenja programa
- M30 – kraj i resetiranje programa
- M03 – smjer vrtnje vretena u smjeru kazaljke sata
- M04 – smjer vrtnje vretena u suprotnom smjeru kazaljke sata
- M05 – zaustavljanje vrtnje vretena
- M06 – automatska izmjena alata
- M07 – uključivanje emulzije (magla)
- M08 – uključivanje emulzije (mlaz)
- M09 – isključivanje emulzije

Primjeri funkcija za određivanje režima rada:

- N (broj bloka)
- G (način gibanja i glavne naredbe)
- X Y Z (koordinate točke u smjeru koordinatnih osi)
- I J K (koordinate kod kružnih gibanja)
- S (brzina vrtnje radnog vretena)
- F (posmak – brzina glodanja)
- T (broj alata)
- D (korekcija promjera alata)
- M (pomoćne naredbe)
- H (dužina alata)
- O (naziv programa)

G kod se može izrađivati i uređivati u bilo kojem programu za uređivanje i pisanje teksta.

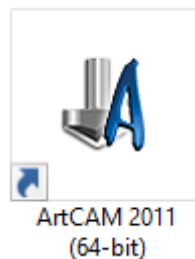
4. PROJEKTIRANJE I IZRADA KALUPA ZA LIJEVANJE ČOKOLADA

Cilj projekta je projektiranje i izrada kalupa za lijevanje čokolada standardne gramaže. Čokolade koje se lijevaju oblikom su s loga Grada Bjelovara (100 grama) i Veleučilišta u Bjelovaru (80 grama).

4.1 Projektiranje kalupa čokolade u obliku Grada Bjelovara

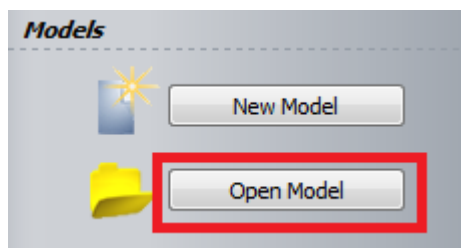
Za projektiranje modela čokolade korišten je program ArtCAM od tvrtke Autodesk. To je CAD/CAM program namjenjen za umjetničko modeliranje proizvoda. Nudi mnoštvo alata za dizajniranje reljefa modela, oblikovanje te CAM podršku s podešavanjem parametara alata, obrade i izvozom G koda. Korištena verzija je 64 bitna iz 2011. godine.

Klikom na ikonu otvara se program ArtCam 2011.

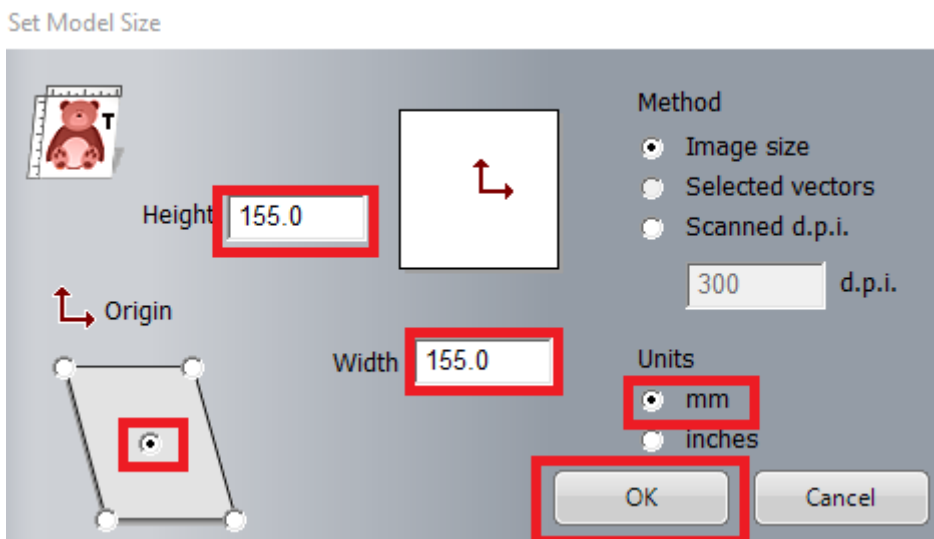


Slika 4.1.1 – ArtCAM 2011 ikona

Nakon otvaranja početne stranice na alatnoj traci potrebno je odabrati „Open Model“ čime se otvara skočni prozor u kojem je potrebno odabrati sliku iz koje će se raditi model. Odabirom slike loga Grada Bjelovara otvara se novi skočni prozor (slika 4.1.3) u koji se unose podatci o širini, dužini i visini po z osi. Na shemi u desnom kutu odabire se pozicioniranje kordinatnog sustava. Potrebno je označiti korištenje milimetarskog sustava mjerenja. Završetak unošenja parametara potvrđuje se tipkom „OK“.

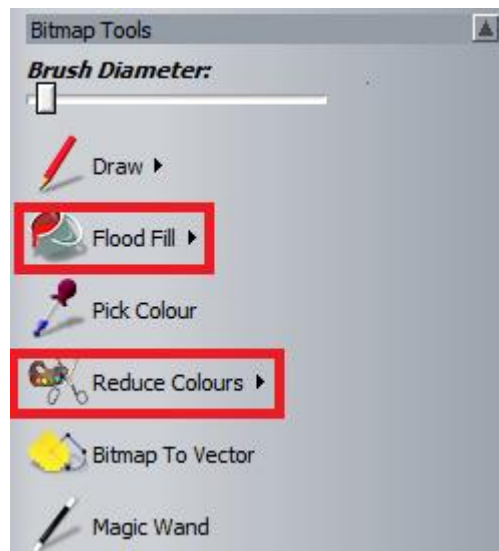


Slika 4.1.2 – Izgled naredbe „Open Model“



Slika 4.1.3 – Skočni prozor parametriranja slike

ArtCAM oblikuje reljef uvežene slike na osnovi boja koje prepoznaje na slici. Na slikama lošije kvalitete prepoznaje puno nijansi boja kojima su obojeni pikseli. Izdiranje i upuštanje reljefa vrši se pomoću boja. Uz mnogo nijansi boja to nije moguće napraviti. Potrebno je smanjiti broj boja kako bi se eliminirali pikseli raznih nijansa boja. To se radi uz pomoć naredbe „Reduce Colours“. U skočnom prozoru pomoću klizača odabire se na koliko boja će se slika reducirati. Naredbom „Flood Fill“ moguće je bojanje dijelova slike raznim bojama u svhu manipulacije reljefa pri oblikovanju.



Slika 4.1.4 – Naredbe „Flood Fill“ i „Reduce Colours“

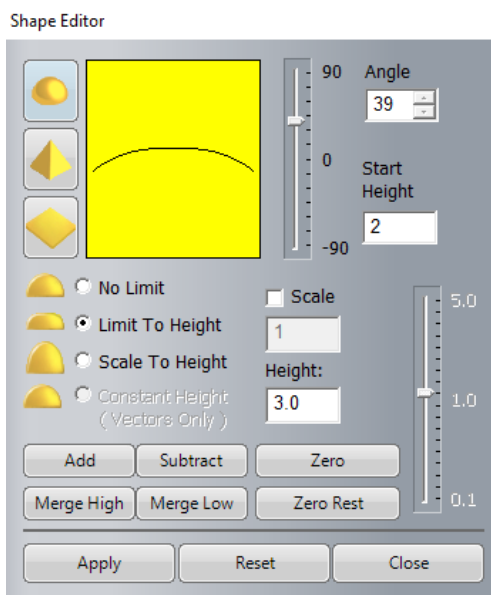


Slika 4.1.5 – Kvaliteta prije obrade slike



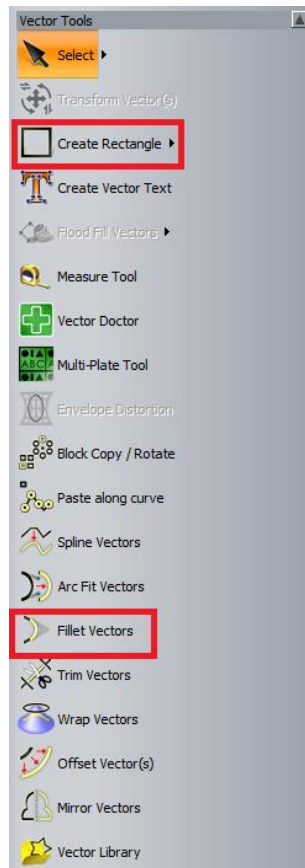
Slika 4.1.6 – Kvaliteta nakon obrade slike

Oblikovanje reljefa vrši se obabirom željene boje i klikom na naredbu „Shape Editor“. Zatim se otvara skočni prozor u kojem su ponuđena tri načina dodavanja ili oduzimanja materijala. Moguće je ravno, oblo ili piramidalno oblikovanje s mogućnošću upravljanja kuteva uspona i visina. Oblikovanja u „Shape Editoru“ prikazano je na slici 4.1.7.



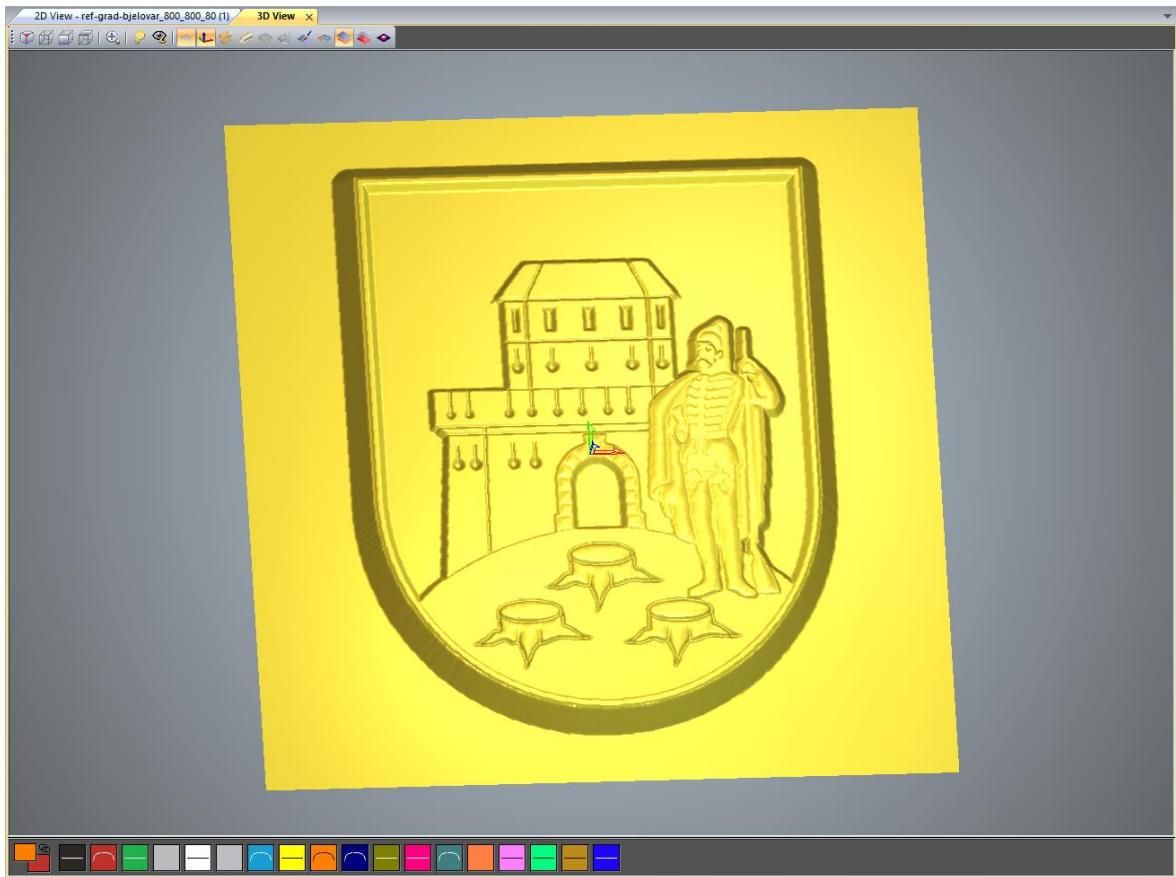
Slika 4.1.7 – „Shape Editor“

Završetkom oblikovanja pomoću boja dobiveni reljef može se pogledati u kartici „3D view“. Uz pomoć naredbe „Create Rectangle“ prikazane na slici 4.1.8 napravljen je pravokutnik kojem su naredbom „Fillet Vectors“ zaobljena dva ruba i s time je ostvaren okvir čokolade.



Slika 4.1.8 – Naredbe „Create Rectangle“ i „Fillet Vectors“

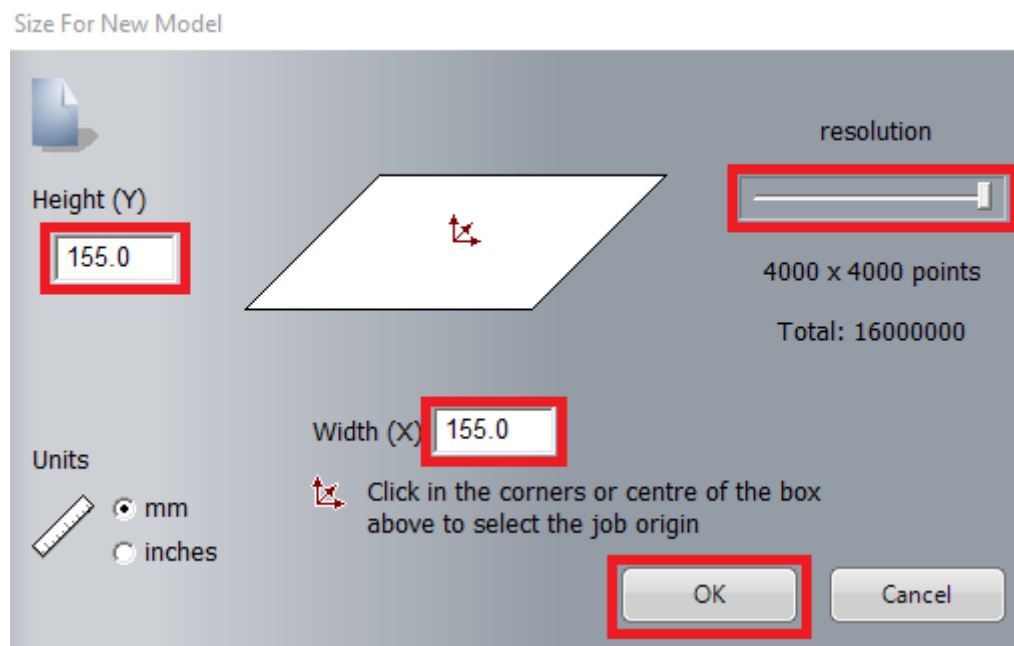
Izdizanjem okvira naredbom „Shape Editor“ stvoren je model čokolade. Naredbom „Add Draft“ dodaje se skošenje od 30 stupnjeva radi lakšeg vađenja čokolade iz kalupa. Naredbom „Smooth Relief“ zaglađuje se reljef. Konačno stanje modela prikazano je na slici 4.1.9.



Slika 4.1.9 – Model čokolade u obliku Grada Bjelovara

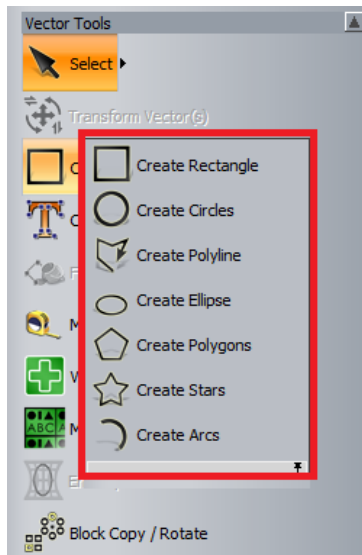
4.2 Projektiranje kalupa čokolade u obliku Veleučilišta u Bjelovaru

Za izradu kalupa loga Veleučilišta u Bjelovaru nije korištena fotografija kao baza izrade. Logo VUB-a je jednostavniji i može se nacrtati u ArtCAM-u. Pošto se ne učitava fotografija, na početnom zaslonu potrebno je odabrati relaciju „New Model“. U skočnom prozoru (slika 4.2.1) definiraju se parametri novog modela kao što su visina, širina radnog prostora, rezolucija te odabir sustava mjerenja. Na shemi radne površine odabire se sredina kao ishodište koordinatnog sustava.



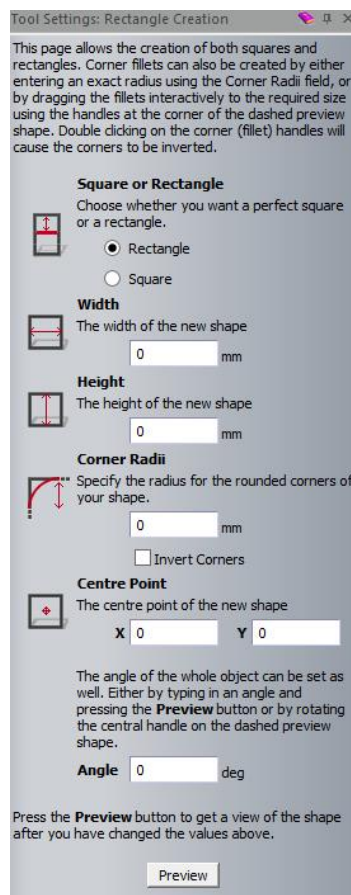
Slika 4.2.1 – Skočni prozor naredbe „New Model“

Nakon potvrde parametara novog modela otvara se radni prostor. Na alatnoj traci pod kategorijom „Vector tools“ nalaze se alati potrebni za crtanje VUB loga prikazani na slici 4.2.2.

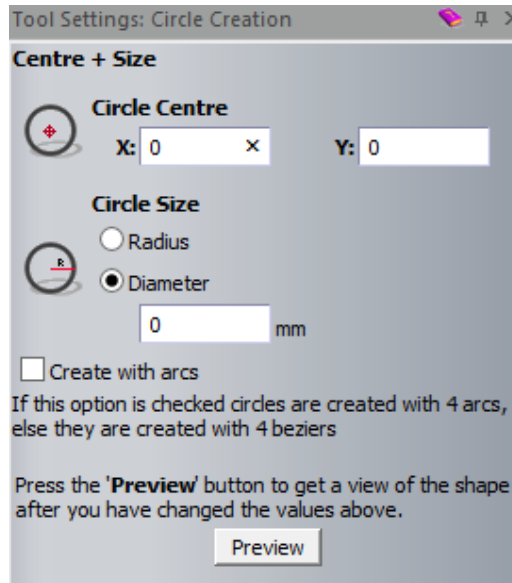


Slika 4.2.2 – Alati za crtanje vektora

Naredbom „Create Rectangle“ stvaraju se pravokutni vektori. Kružnice se stvaraju naredbom „Create Circle“. Unutar naredbi definiraju se parametri prikazani na slici 4.2.3 i slici 4.2.4 kao što su visina, širina, pozicija, kut nagiba, radijus zaobljenja kuteva i promjer.

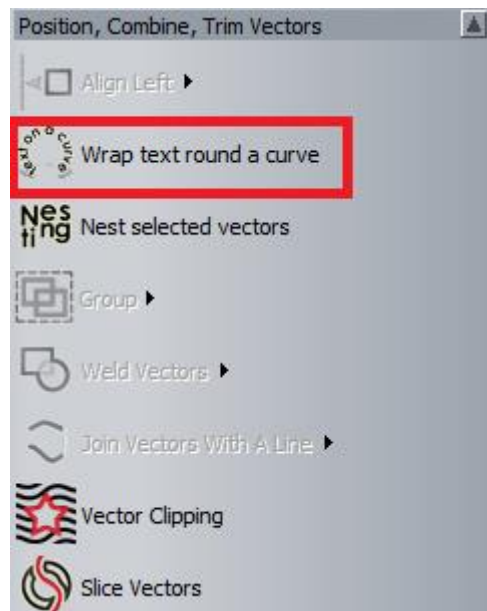


Slika 4.2.3 – Skočni prozor parametara naredbe „Create Rectangle“



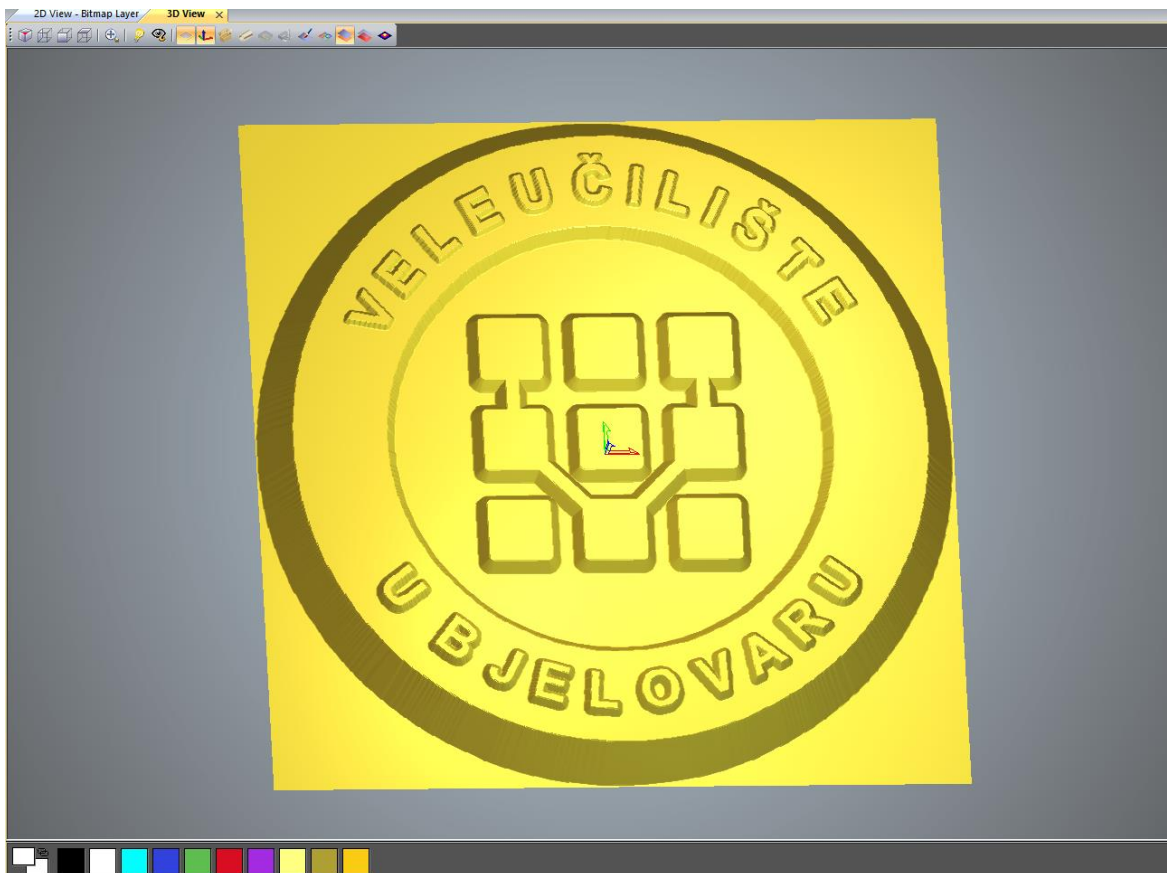
Slika 4.2.4 – Skočni prozor parametara naredbe „Create Circles“

Tekst „Veleučilište u Bjelovaru“ kreira se naredbom „Create Vector Text“ u kojoj je dostupan obabir fonta, veličine i proreda teksta. Da bi se natpis postavio po kružnici potrebno je korištenje naredbe „Wrap text round a curve“ (slika 4.2.5). U opcijama naredbe moguće je mjenjati poziciju teksta, poravnanje i razmak između slova.



Slika 4.2.5 – Naredba „Wrap text round a curve“

Nakon kreiranja svih vektora potrebno je naredbom „Shape Editor“ svaki vektor zasebno oblikovati u reljef. Naredbom „Add Draft“ dodaje se skošenje za lakše vađenje čokolade iz kalupa. Na slici 4.2.6 prikazan je kreirani reljef.



Slika 4.2.6 – Model čokolade u obliku Veleučilišta u Bjelovaru

4.3 Izrada modela čokolada na 3D printeru

4.3.1 Prusa i3 MK3S+

Uređaj korišten za 3D printanje je Prusa i3 MK3S+. Odlikuje ga visoka preciznost ispisa, pouzdanost, jednostavno korištenje te odličan omjer cijene i kvalitete.

Značajnije karakteristike ovog 3D printera su:

- radni volumen 25*21*21 cm
- visina sloja: 0.05 – 0.35 mm
- promjer filameta - 1.75 mm
- maksimalna brzina ispisa od 200+ mm/s
- maksimalne temperature mlaznice i radne podloge - 300°C / 120°C
- LCD zaslon
- automatska kalibracija
- ispis sa SD kartice
- napajanje od 240W

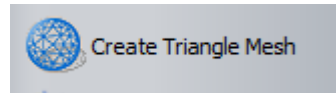


Slika 4.3.1.1 – Prusa i3 MK3S+

Preuzeto: <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-i3-mk3s-kit-3/>

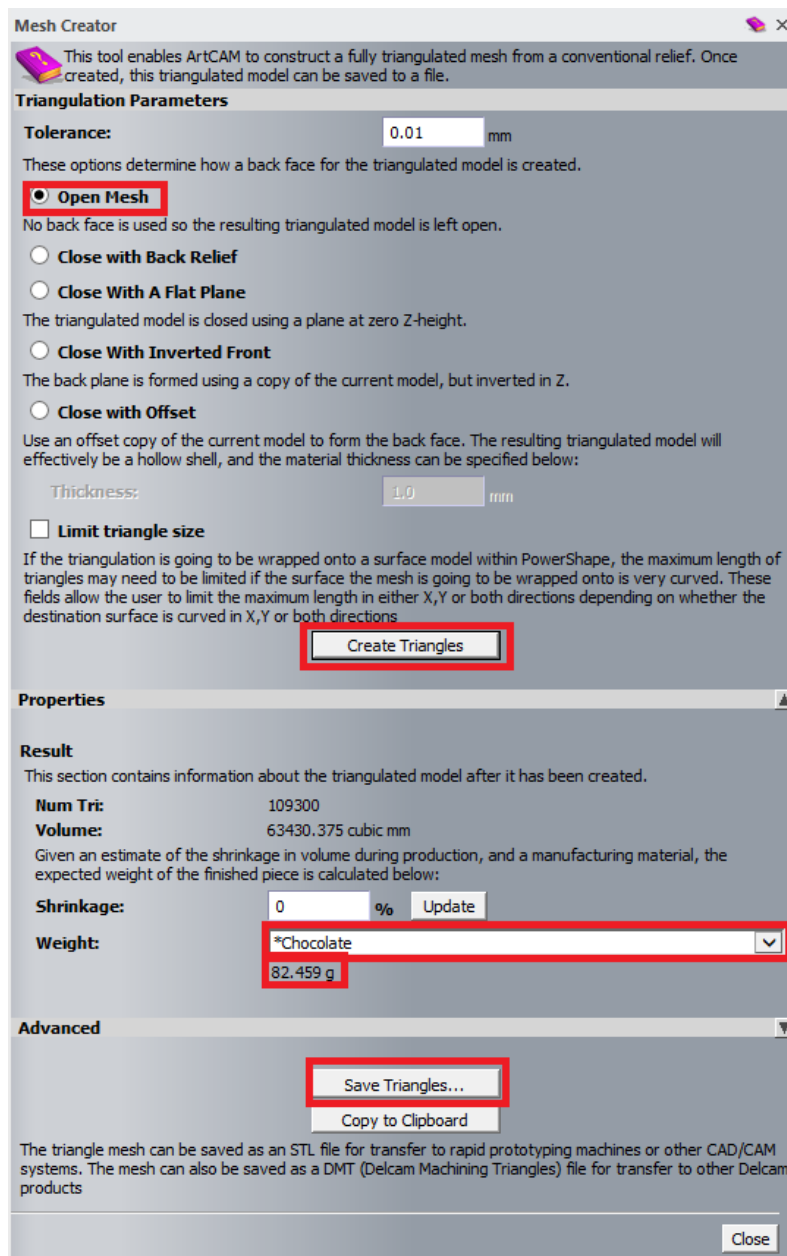
4.3.2 *Postupak pripreme i 3D printanje*

Model čokolade predstavlja gotov proizvod lijevanja. Izradom modela na 3D printeru uočavaju se nedostatci u dizajnu te se prepravljajem i ponovnom izradom usavršava proizvod. Takva tehnika aditivne proizvodnje naziva se brza proizvodnja pototipova. Dizajnirane modele potrebno je pretvoriti u STL format. U programu ArtCAM naredbom „Create Triangle Mesh“ (slika 4.3.2.1) moguće je generiranje STL formata.



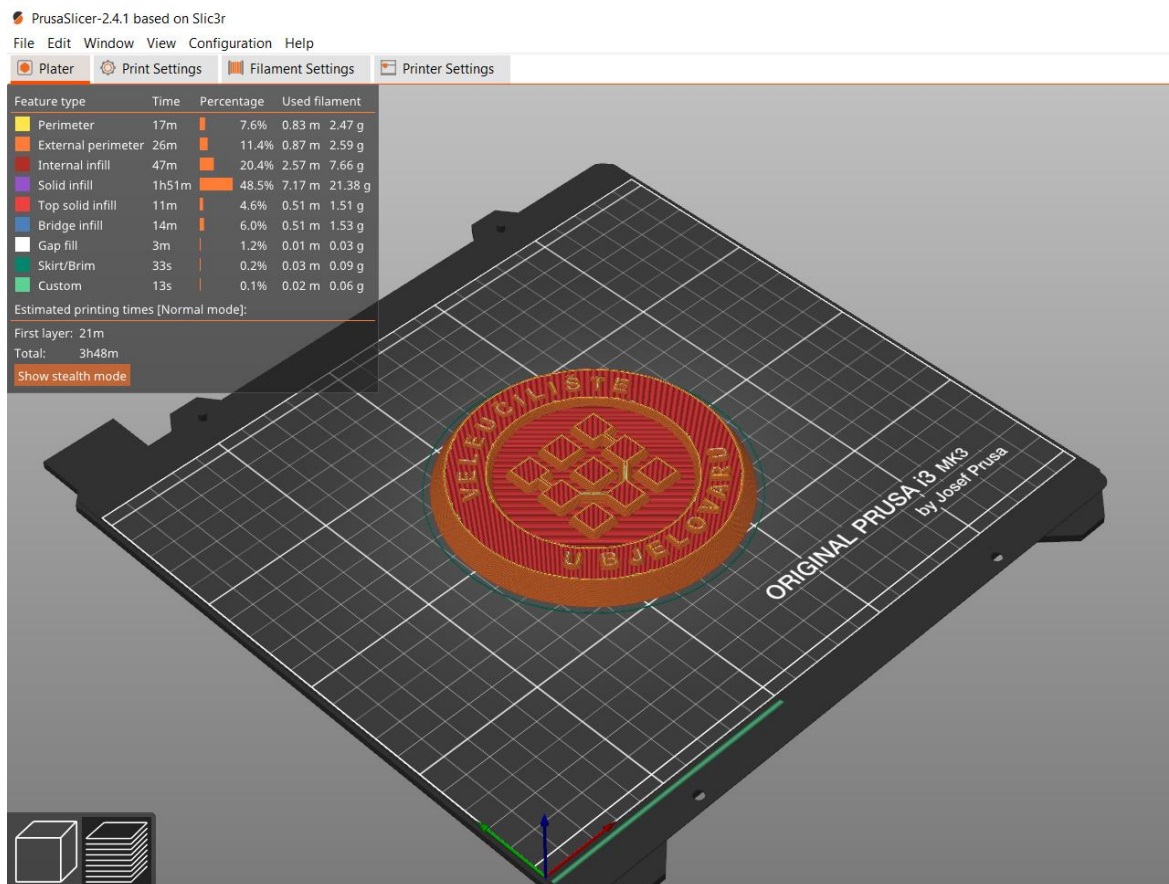
Slika 4.3.2.1 – Naredba „Create Triangle Mesh“

U skočnom prozoru (slika 4.3.2.2) naredbe moguć je odabir više načina stvaranja mreže trokuta. U slučaju modela čokolade izabire se parametar „Open Mesh“. Pod kolonom „Properties“ u relaciji „Weight“ odabire se kao materijal čokolada te se naredbom „Create Triangles“ generira mreža trokuta. Ispod relacije „Weight“ izračunata je masa modela s obzirom na dodani materijal te se provjerava točnost mase modela. Naredbom „Save Triangles“ sprema se generirana STL datoteka.



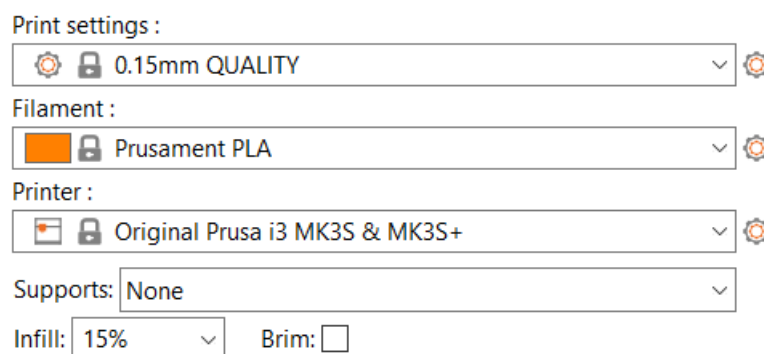
Slika 4.3.2.2 – Skočni prozor naredbe „Create Triangle Mesh“

Spremljena STL datoteka učitava se u program Prusa Slicer 2.4.1 u kojem se vrši rezanje modela u slojeve te slaganje slojeva i generiranje G koda potrebnog za rad 3D printera. Model učitani u program Prusa Slicer 2.4.1 smješten je na radnu ploču printera (slika 4.3.2.3). Model se na radnoj ploči može pomicati, rotirati, okretati te je time moguće smještanje više modela na radnu ploču i istovremeno printanje više modela.



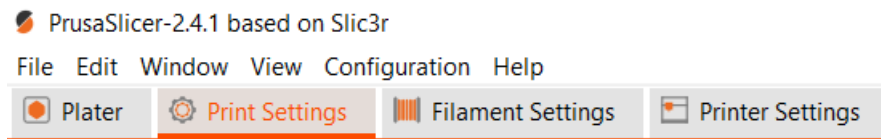
Slika 4.3.2.3 – Prusa Slicer 2.4.1

Sam program za rezanje nudi brojne mogućnosti podešavanja parametara 3D printera, materijala, strategije printanja. Najbitniji i najosnovniji korišteni parametri podešavanja (slika 4.3.2.4) su odabir korištenog 3D printera, odabir materijala, debljina nanešenog sloja i postotak ispune.



Slika 4.3.2.4 – Parametri 3D printanja

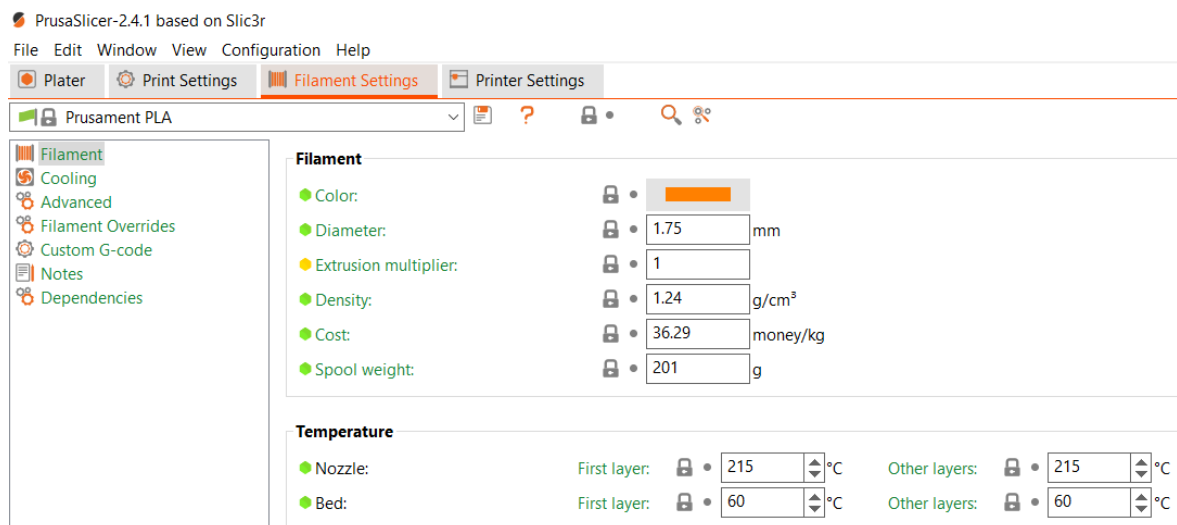
Grupe mogućih dodatnih podešavanja parametara u kojoj se nalaze dodatne podgrupe prikazane su na slici 4.3.2.5.



Slika 4.3.2.5 – Podgrupe parametara

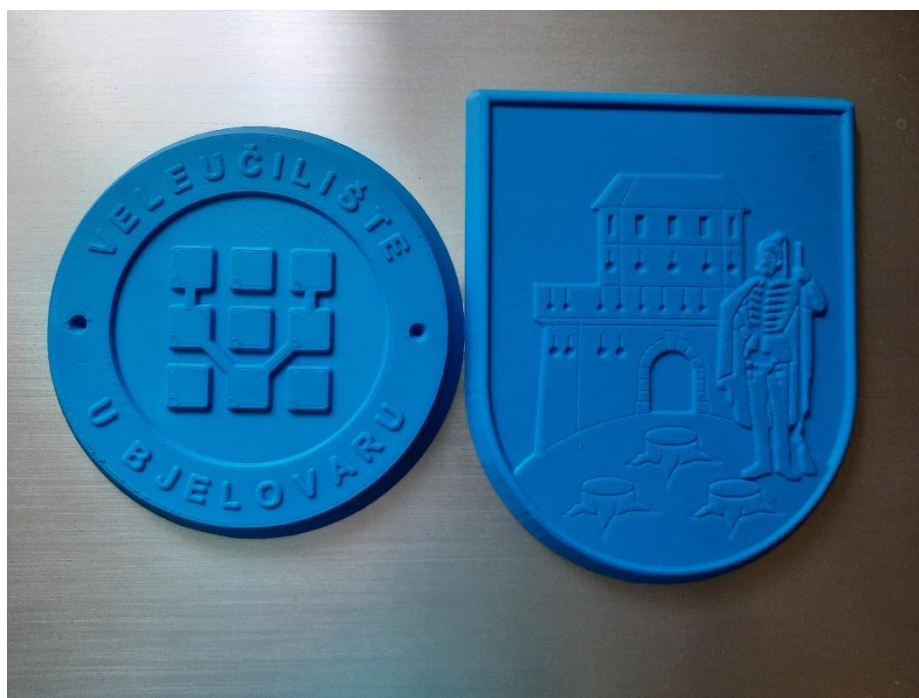
Parametri korišteni za izradu modela čokolada:

- korišteni materijal – PLA promjera 1.75 mm
- debljina sloja – 0.15 mm
- temperatura mlaznice ekstrudera – 215 °C
- temperatura radne podloge – 60 °C
- ispuna – 15 %



Slika 4.3.2.6 – Parametri filamenta

Za izradu modela čokolade u obliku loga VUB-a potrošeno je 37 grama materijala te 3 sata i 48 minuta rada uređaja. Izrada modela čokolade Grada Bjelovara trajala je 5 sati i 2 minute te je potrošeno 50 grama materijala.



Slika 4.3.2.7 – Isprintani modeli

Na slici 4.3.2.7 prikazani su modeli čokolada izrađeni na 3D printeru Prusa i3 MK3S+.

4.4 Izrada drvenog kalupa na CNC glodalici

Izradom prototipova modela čokolada na 3D printeru i otklanjanjem njihovih nedostataka dolazi se do faze izrade drvenog kalupa na CNC glodalici.

4.4.1 CNCEST 6040 – 4 axis

Drveni kalup izrađen je na četveroosnoj CNC glodalici CNCEST 6040. Odlikuje ju pouzdanost i visoka preciznost. Hlađenje vretena vodom omogućuje stabilno hlađenje i duži vijek trajanja. Radno područje glodalice iznosi: 600 (Y) * 390 (X) * 120 (Z) mm. Dimenzije aluminijskog radnog stola iznose 770 (Y) * 490 (X) mm. Vreteno snage 1500W omogućava obradu raznih metalnih i nemetalnih materijala kao što su drvo, PVC, bakar, aluminij, srebro, plastika i mnogi drugi materijali. Raspon okretaja glodala iznosi 0-24000 okretaja u minuti. Brzina glodanja ovisno o materijalu iznosi 0-2500 mm/min. Glodalica za glodanje prima sljedeće formate instrukcija: G kod, TAB format, nc format, NCC format. Upravljanje se vrši preko kontrolne jedinice koja se povezuje s glodalicom putem USB porta. Zaštita od neželjenih radnji osigurana je sigurnosnim stop gumbom.

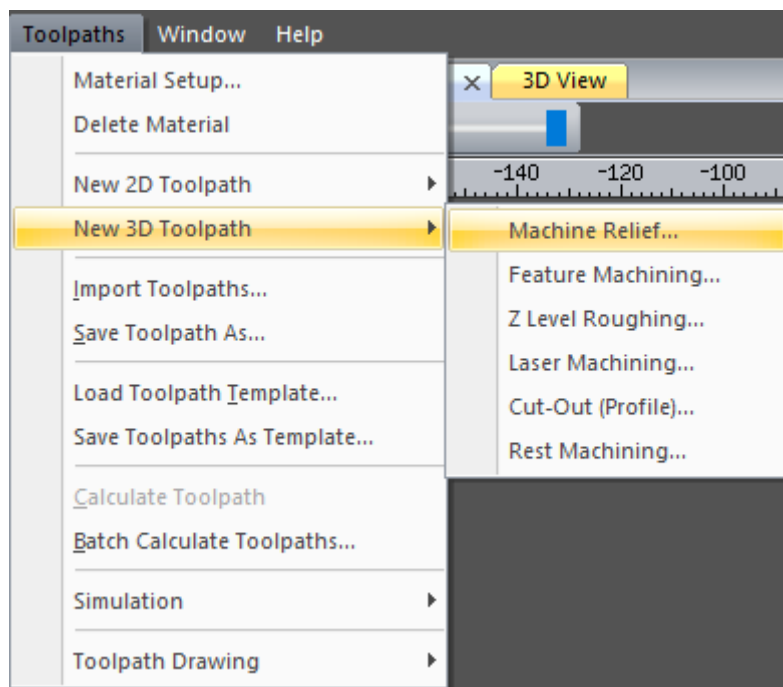


Slika 4.4.1.1 – CNCEST 6040

Preuzeto: <https://www.cncnest.com/products/4-axis-6040-cnc-router-engraver-usb-1500w-vfd-spindle-milling-machine-including-remote-controller>

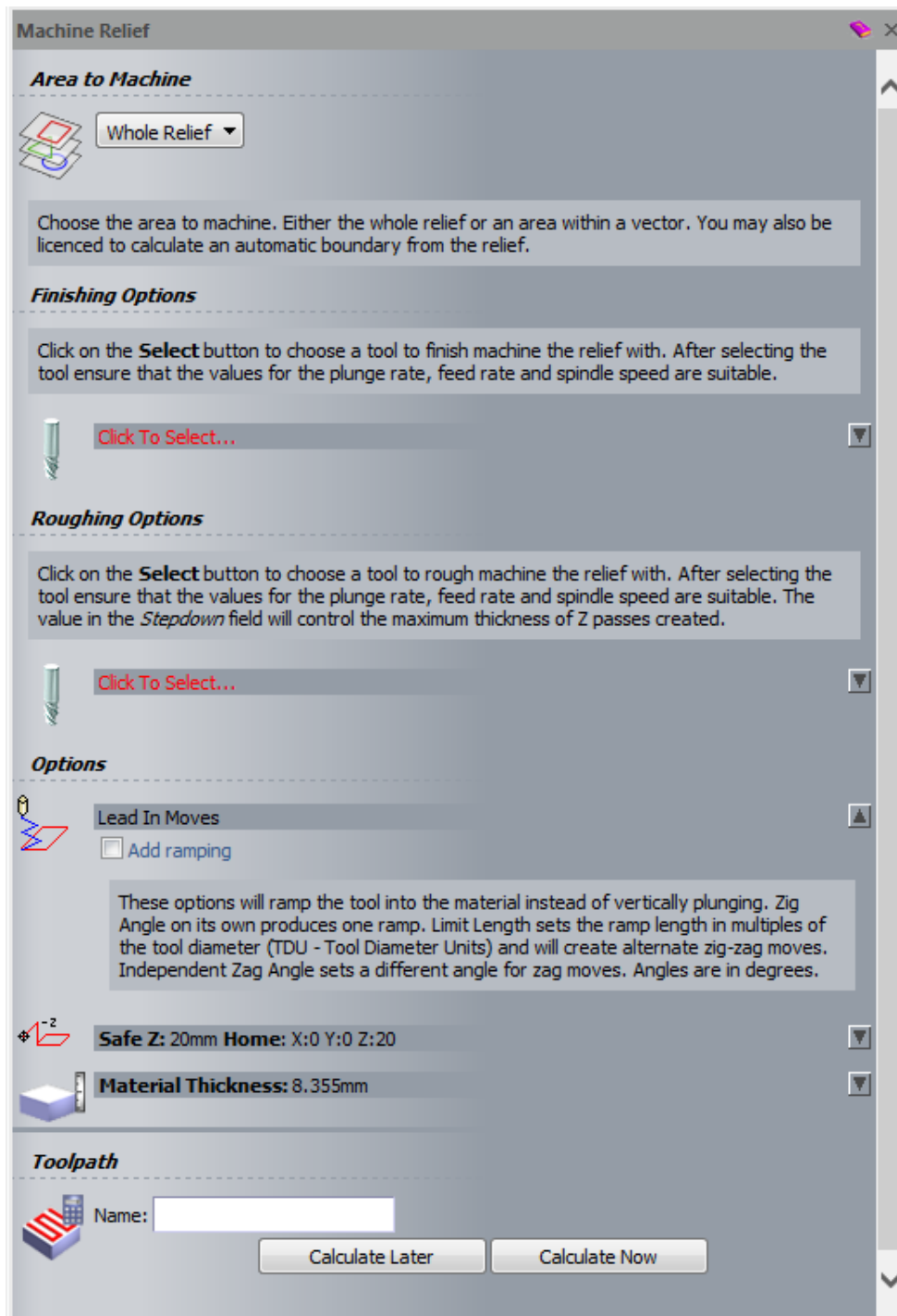
4.4.2 Parametriranje i generiranje G koda u ArtCAM-u

Program ArtCAM je umjetnički program za oblikovanje reljefa i njegovu izradu na CNC uređajima. Unutar relacije „Toolpath“ nalaze se naredbe za generiranje programskog G koda. Naredbe na temelju odabranih parametara generiraju putanju alata. Putanja se simulira i prikazuje izgled izradka. Za izradu kalupa čokolada s logom Grada Bjelovara i Veleučilišta u Bjelovaru koristi se naredba za 3D putanju alata „Machine Relief“ (slika 4.4.2.1).



Slika 4.4.2.1 – Smještaj naredbe „Machine Relief“

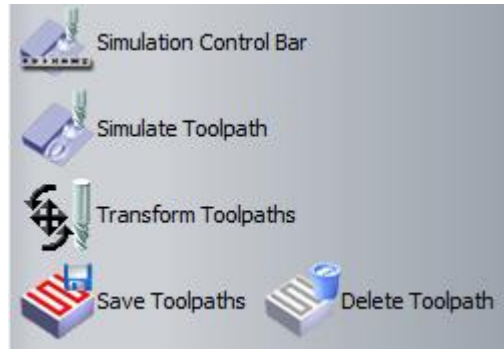
Odabirom naredbe „Machine Relief“ otvara se skočni prozor prikazan na slici 4.4.2.2. Naredba nudi oblikovanje cijelog reljefa ili oblikovanje obabrane konture. Pod kategorijom „Roughing Options“ odabire se glodalo za drvo „End Mill 6 mm“ za grubo glodanje. Pod „Finishing Options“ odabire se 3D glodalo za drvo „Ball Nose 3 mm“ kojim se vrši završna fina obrada.



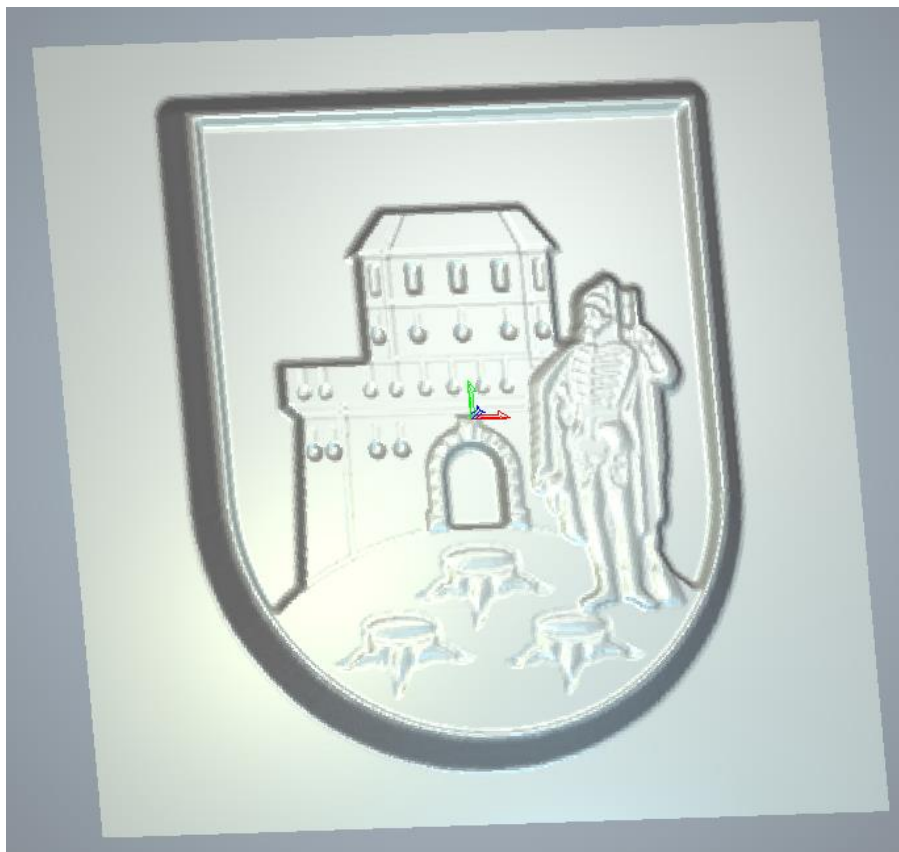
Slika 4.4.2.2 – Skočni prozor naredbe „Machine Relief“

Kada su glodala dodana, moguće je prilagođavanje parametara kao što su smjer glodanja, zahvat glodala, broj prolazaka po z osi. Završetkom parametriranja upisuje se naziv putanje alata i odabire se „Calculate Now“ čime se generira putanja.

U projektnom stablu pod kategorijom „Toolpath“ dodane su dvije putanje za dva alata. Klikom na alat pojavljuje se skočni prozor prikazan na slici 4.4.2.3. Naredbom „Simulate Toolpath“ simulira se putanja i prikazuje izgled izradka.

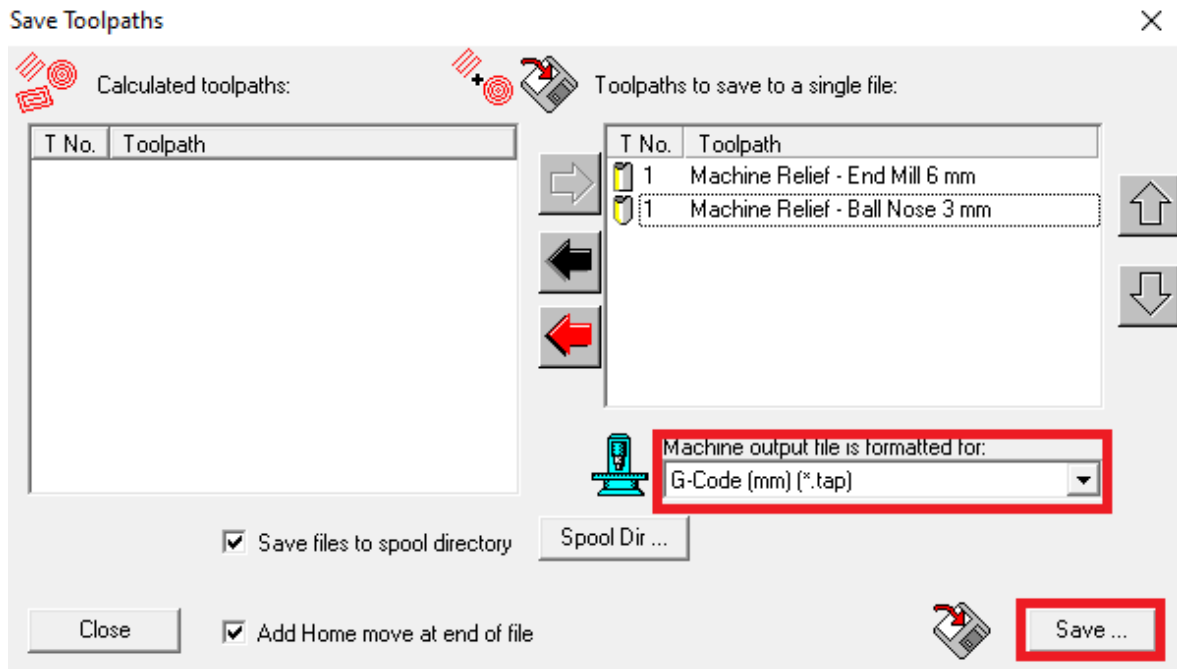


Slika 4.4.2.3 – Naredbe simuliranja



Slika 4.4.2.4 – Simulirani izgled produkta

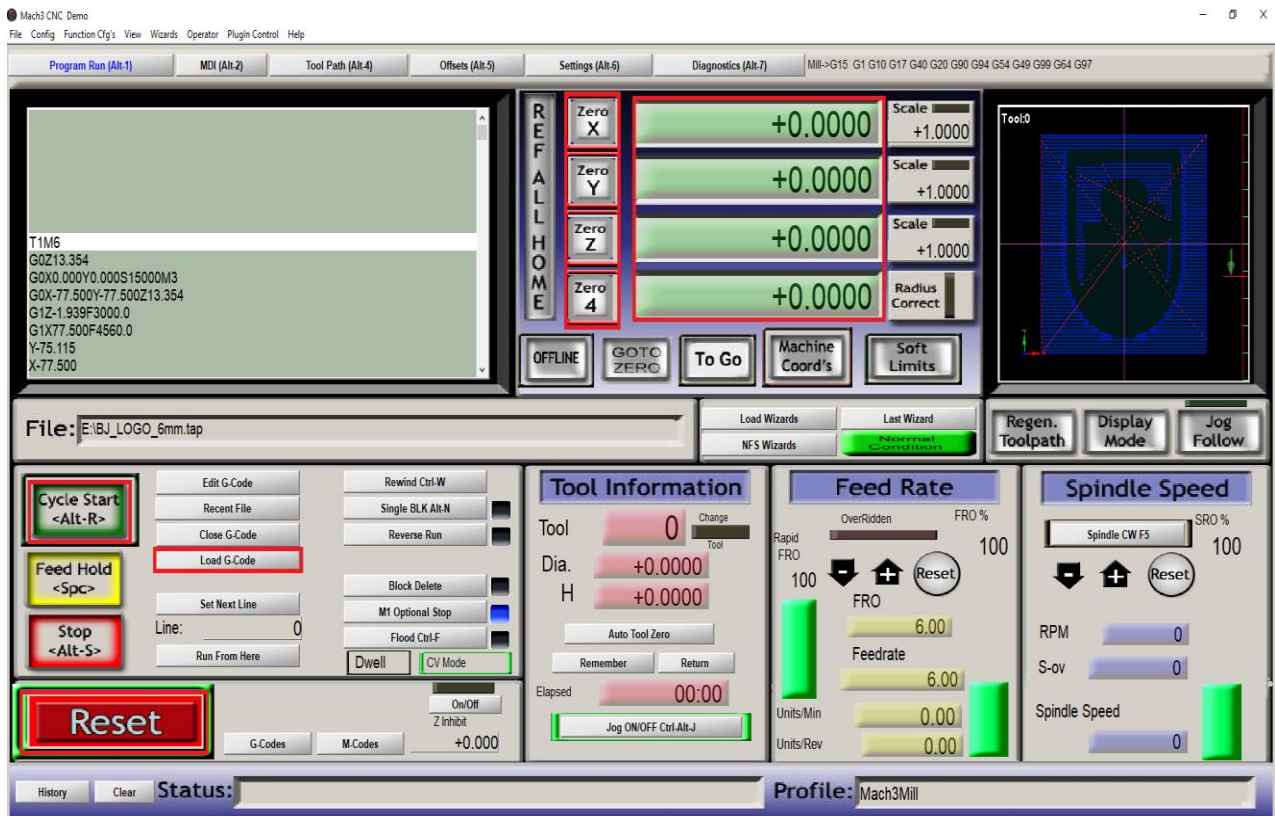
Naredbom „Save Toolpath“ prikazanom na slici 4.4.2.3 otvara se skočni prozor koji je prikazan na slici 4.4.2.5. Potrebno je pod relacijom „Machine output file is formatted for“ odabrati „G-Code“. Klikom na „Save“ putanja se generira u obliku G koda koji je potreban za rad CNC uređaja. Postupak generiranja G koda je identičan za oba kalupa.



Slika 4.4.2.5 – Skočni prozor naredbe „Save Toolpaths“

4.4.3 Glodanje na CNC glodalici

Upravljanje CNC glodalice vrši se pomoću programa Mach3. Mach3 obrađuje G kod te na temelju njega upravlja kretanjama koračnih motora CNC glodalice. Otvaranjem programa prikazuje se početni zaslon prikazan na slici 4.4.3.1. Za uspostavljanje veze s glodalicom potrebno je kliknuti na „Reset“. Uspostavljanjem veze potrebno je ručno tipkovnicom dovesti vreteno do radnog komada učvršćenog na radnu ploču i postaviti nultočke koordinatnog sustava. Naredbom „Load G – Code“ G kod se učitava u program. Navedene naredbe prikazane su na slici 4.4.3.1. Pokretanje vretena vrši se na kontrolnoj jedinici pritiskom na dugme „Run“. Uključenjem vretena i pritiskom na naredbu „Cycle Start“ započinje proces glodanja.



Slika 4.4.3.1 – Zaslon programa Mach3

Glodanje se vrši u dvije faze. U prvoj fazi izvodi se učitan G kod za grubu obradu s glodalom promjera 6 mm, a zatim se mijenja glodalo, učitava se drugi G kod i izvodi se završno glodanje s glodalom promjera 3 mm.



Slika 4.4.3.2 – Grubo glodanje

Na slici 4.4.3.2 prikazan je rezultat grube obrade CNC glodanja s glodalom „End Mill 6 mm“.



Slika 4.4.3.3 – Fino glodanje

Slika 4.4.3.3 prikazuje rezultat obrade s glodalom „Ball Nose 3 mm“.

5. LIJEVANJE EKSTRASIL RTV-2 SILIKONA

Kako bi se izlivena čokolada što lakše izvadila iz kalupa materijal za izradu kalupa mora biti fleksibilan. U tu svrhu korišten je ekstrasil RTV-2 silikon. Odlikuje ga izuzetna elastičnost i dugotrajnost. Ekstrasil RTV-2 je tekući dvokomponentni silikonski elastomer koji se koristi pri sobnim temperaturama 20-25°C. U tekući silikon dodaje se katalizator u omjeru 100:3. Nakon nekoliko minuta mješanja katalizatora i silikona spreman je za izlivanje.



Slika 5.1 – Silikon Ekstrasil RTV-2 i katalizator

Preuzeto: <https://www.artistvito.hr/proizvodi/hobby/materijali-za-izradu-kalupa/ekstrasil-rtv-2-silikon>

Silikon izliven u kalupe prikazan je na slici 5.2. Nakon 5 sati sušenja na sobnoj temperaturi spreman je za vađenje iz kalupa i upotrebu.



Slika 5.2 – Izliti silikon

6. LIJEVANJE ČOKOLADE U SILIKONSKE KALUPE

Za potrebe lijevanja čokolade ostvarena je suradnja s čokolaterijom Hedona d.o.o. u Križevcima. Zahvaljujući čokolateriji Hedona omogućeno je probno punjenje kalupa mliječnom čokoladom. Tvrtka se bavi proizvodnjom čokoladi i pralina koje proizvode osobe s invaliditetom. U pogonu čokolaterije izlivena je čokolada u silikonske kalupe i dobiveni su prvi proizvodi prikazani na sljedećim slikama.



Slika 6.1 – Kalupi i čokolade



Slika 6.2 – Čokolada u obliku loga Grada Bjelovara



Slika 6.3 – Čokolada u obliku loga Veleučilišta u Bjelovaru

7. ZAKLJUČAK

Primjena aditivnih tehnologija za izradu kalupa donosi brojne benifite. Sam čin projektiranja novog proizvoda zahtjeva izradu više primjeraka sve dok se ne isprave svi nedostaci. U tom pogledu aditivne tehnologije donose višestruke uštede. U jednom koraku uporabom cjenovno pristupačnog materijala dolazi se do proizvoda. Najveće nedostatke donosi ograničenost u materijalima, loša kvaliteta i sporost izrade. Klasične tehnologije obrade odvajanjem čestica donose visoku kvalitetu obrade i kraće vrijeme obrade. Za izradu kalupa neminovno je korištenje obrade odvajanja čestica. Potrebna je kvalitetno obrađena površina. Svaka nepravilnost na kalupu odražava se na silikon, a potom i na čokoladu. Budući razvoj aditivnih tehnologija dovest će do sve većeg izbora materijala i poboljšanja kvalitete proizvoda, a to će rezultirati sve većom primjenom.

8. LITERATURA

- [1] Pavlic T. Aditivne tehnologije: Predavanja iz kolegija Aditivne tehnologije; Veleučilište u Bjelovaru; 2018.
- [2] Golubić S. Aditivne tehnologije: Predavanja iz kolegija Aditivne tehnologije; Veleučilište u Bjelovaru; 2018.
- [3] <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A909/datastream/PDF/view>, preuzeto:27.5.2022.
- [4] http://repozitorij.fsb.hr/3235/1/Radani%C4%87_2015_zavrzni_preddiplomski.pdf, preuzeto:27.5.2022.
- [5] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A3394/datastream/PDF/view>, preuzeto: 4.6.2022.
- [6] file:///C:/Users/User/Downloads/viderscak_dalibor_fsb_2018_diplo_sveuc.pdf , preuzeto:10.6.2022.
- [7]http://repozitorij.fsb.hr/4724/1/%C5%A0iranovi%C4%87_2015_zavr%C5%A1ni_prediplomski.pdf, preuzeto:10.6.2022.
- [8]http://repozitorij.fsb.hr/7438/1/%C5%BDupan_2017_zavr%C5%A1ni_preddiplomski.pdf, preuzeto:15.6.2022.
- [9] <https://repository.ricent.uniri.hr/islandora/object/ricent%3A24/datastream/PDF/view>, preuzeto:16.6.2022.
- [10] <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A530/datastream/PDF/view>, preuzeto:16.6.2022.
- [11] http://repozitorij.fsb.hr/4799/1/Sokele_2015_zavrzni_preddiplomski.pdf, preuzeto:20.6.2022.
- [12] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/en/islandora/object/fsb%3A4224/datastream/PDF/view>, preuzeto: 20.6.2022.
- [13]https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/29012014_strojna_obrada.pdf, preuzeto: 20.6.2022.
- [14] <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A915/datastream/PDF/view>, preuzeto: 23.6.2022.
- [15] http://repozitorij.fsb.hr/680/1/15_07_2009_Zavrzni_rad_-_Bruno_Benger.pdf, preuzeto: 23.6.2022.
- [16] <https://cnc.com.hr/g-kod/>, preuzeto: 29.6.2022.

[17] <https://www.cncst.com/products/4-axis-6040-cnc-router-engraver-usb-1500w-vfd-spindle-milling-machine-including-remote-controller>, preuzeto: 29.6.2022.

9. OZNAKE I KRATICE

ABS - akrilonitril / butadien / stiren

AMF - Additive Manufacturing File (Datoteke aditivne proizvodnje)

BDP – Bruto domači proizvod

CAD - Computer Aided Design (Računalno potpomognuto projektiranje)

CAM - Computed Aided Manufacturing (Proizvodnja podržana računalom)

DMLS - Direct metal laser sintering (Direktno lasersko sinteriranje metala)

EBM - Electron Beam Melting (Taljenje snopom elektrona)

FDM - Fused Deposition Modeling (Taložno očvršćivanje)

LENS - Laser Engineering Net Shaping (Lasersko oblikovanje mreže)

LOM - Laminated Object Manufacturing (Proizvodnja laminiranih objekata)

PC - polikarbonat

PEEK – polieter/eter/keton

PET – polietilen/tereftalat

PLA - polilaktid

PMMA – polimetil/metal krilat

PP - polipropilen

PS - polistiren

PVA - polivinil-amid

PVC – poli/vinil/klorid

RM - Rapid Manufacturing (Brza proizvodnja)

RP - Rapid Prototyping (Brza izrada prototipova)

RT - Rapid Tooling (Brza izrada alata)

RTV - Room Temperature Vulcanisation (Proizvodnja silikonskih kalupa)

SHIP – Sredstvo za hlađenje i podmazivanje

SLA – Stereolithography (Stereolitografija)

SLM - Selective Laser Melting (Selektivno lasersko taljenje)

SLS - Selective Laser Sintering (Selektivno lasersko stašćivanje)

STL - Standard Tessellation Language (Standardni telesekcijski jezik)

10. SAŽETAK

Naslov: Projektiranje i izrada kalupa za lijevanje čokolade

Rad se zasniva na projektiranju kalupa za lijevanje čokolade standardnih gramaža. Projektiranje je vršeno u programu ArtCAM 2011. Izrada je temeljena na sintezi aditivnih tehnologija i klasičnih tehnologija obrade odvajanjem čestica. Modeli čokolade izrađeni su na 3D printeru dok su kalupi izrađeni na CNC glodalici. U kalupe je izliven tekući silikon u koji poprima negativ čokolade. Čokolada se lijeva u silikonski kalup.

Ključne riječi: ArtCAM, CNC glodalica, 3D printer, silikon

11. ABSTRACT

Title: Designing and making molds for pouring chocolate

This thesis presents the design of molds for casting chocolate of standard weights. The design was done in the program ArtCAM 2011. The production is based on the synthesis of additive technologies and classic technologies of processing by separating particles. The chocolate models were made using a 3D printer, while the molds were made using a CNC milling machine. Liquid silicone was poured into the moulds, taking the negative of the chocolate. The chocolate is poured into a silicone mold.

Keywords: ArtCAM, CNC milling machine, 3D printer, silicone

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>5. 7. 2022.</u>	Zoran Lončar	Zoran

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

Zoran Lončar

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 5. 7. 2022.

Lončar

potpis studenta/ice