



REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
U STRUKOVNOM OBRAZOVANJU U STROJARSTVU
Industrija 4.0



POVEZIVANJE I POSTAVLJANJE FDM PRINTERA

Predavač: Ivan Živković



SADRŽAJ

01

Povezivanje s PC-em

Načini prijenosa podataka i upravljanja pisača pomoću računala

03

Postavke

Utjecaj parametara na ispis

02

Slicer

Pretvorba 3D modela u G kod

04

Ponavljanje

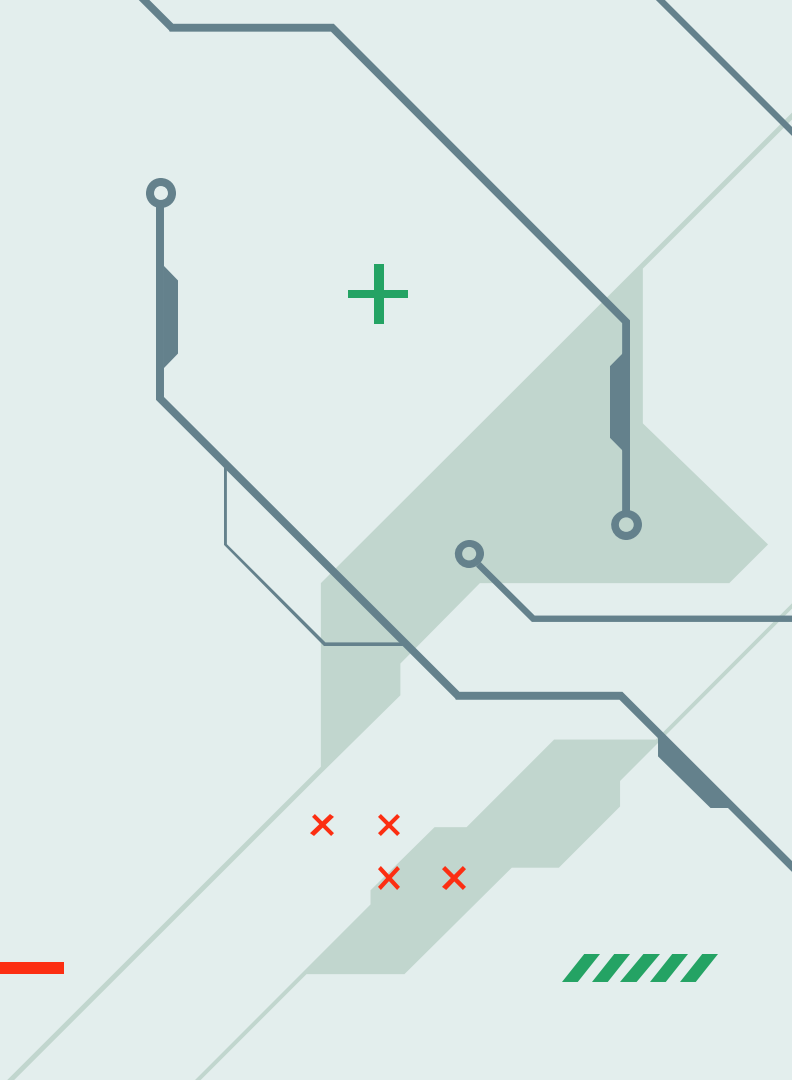


01
Povezivanje s
PC-em



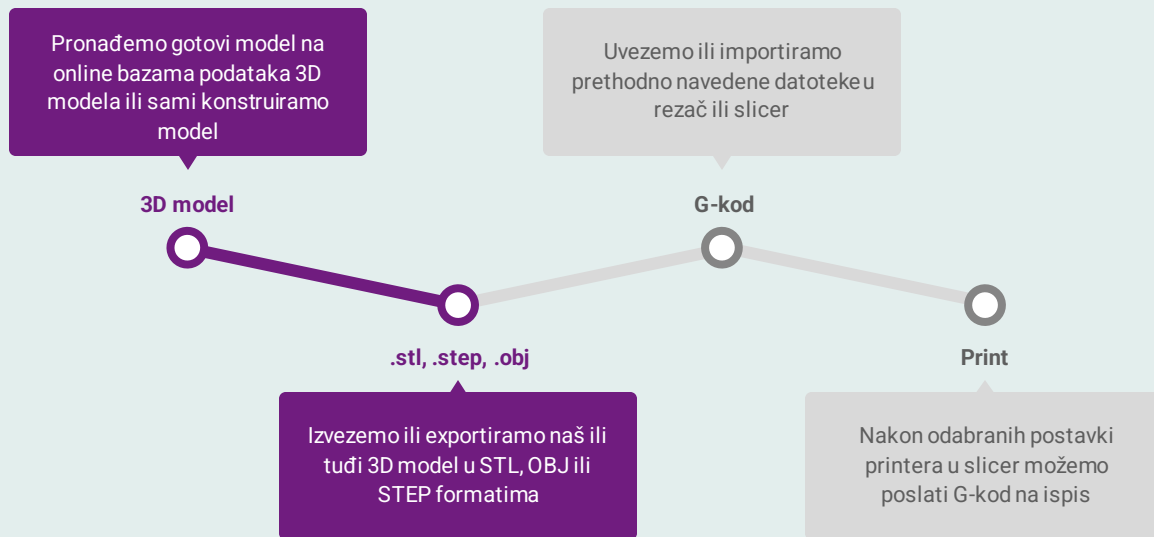
Vrste prijenosa podataka

Pregled načina na koje možemo prenijeti podatke s računala na printer



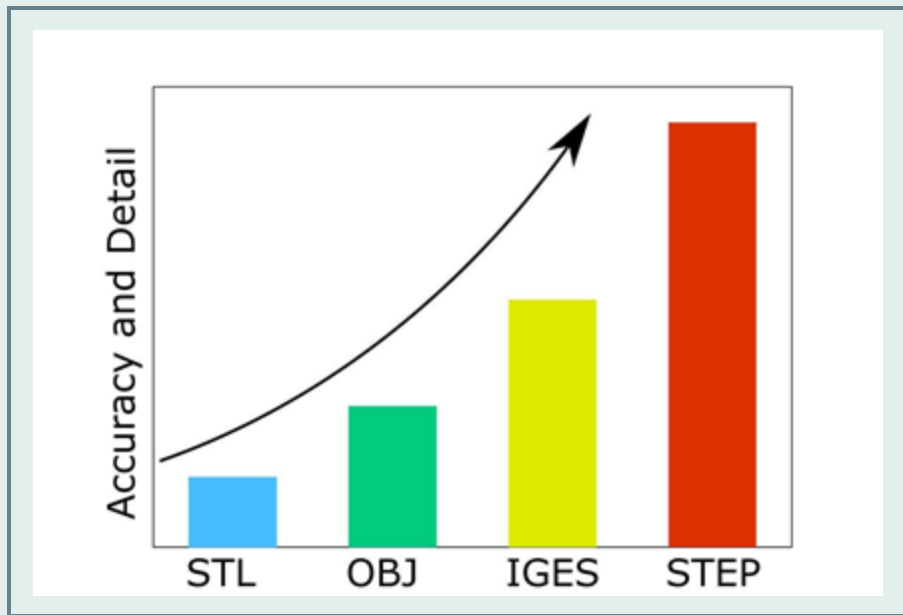
Uvod o formatima

- Workflow ili tijek rada kod većine, ako ne i svih 3D printera:

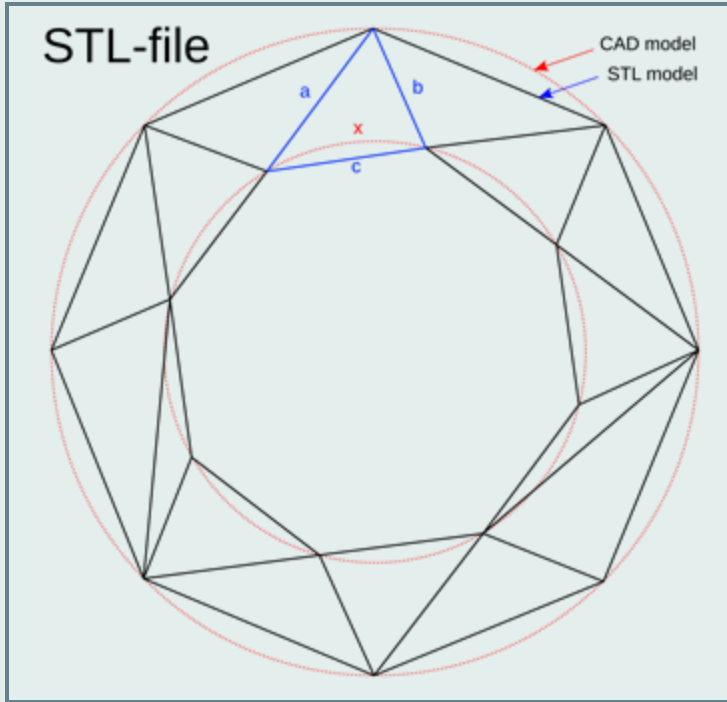


Uvod o formatima

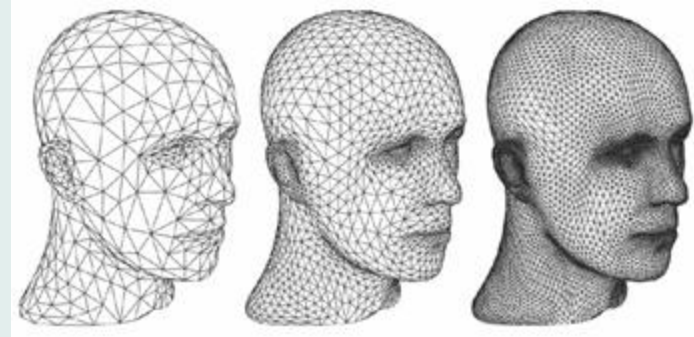
- Vrste formata korištenih u aditivnim tehnologijama:
 - **STL (Standard Tessellation Language)** - STL je najčešće korišten format u 3D printanju koji opisuje površinu objekta koristeći trokutaste poligone. Ovaj format je jednostavan, ali ne sadrži informacije o boji, teksturi, ili materijalu – samo o geometriji.
 - **OBJ (Object File)** - OBJ format omogućuje pohranu geometrije objekta zajedno s informacijama o boji, teksturi i materijalu, što ga čini prikladnim za detaljnije modele u 3D printanju. Za razliku od STL-a, može se koristiti za višebojne i višematerijalne printeve.
 - **STEP (Standard for the Exchange of Product Data)** - STEP format je univerzalni CAD format koji pohranjuje informacije o cijelom objektu, uključujući njegovu geometriju, materijalne karakteristike i sklopne dijelove. Koristi se za razmjenu detaljnih tehničkih podataka između različitih softverskih platformi.
 - **G-code (Geometric Code)** - G-code je jezik koji se koristi za upravljanje CNC strojevima, uključujući 3D printere. On sadrži upute koje printer prati kako bi izgradio objekt, poput pokreta mlaznice, temperature ekstrudera i brzine printanja.



Preciznost i očuvanje detalja kod različitih formata



Konverzija CAD modela u STL datoteku



Vrste prijenosa podataka

- Vrste prijenosa G-koda s računala na printer:
 - **Memorijska kartica (SD kartica ili USB stick)**
 - Podaci se izvezu na memorijsku karticu ili USB stick
 - Kartica ili USB se spoji na printer
 - U meniju printera se pusti model na printanje
 - **Serijski prijenos (Žičano)**
 - Uglavnom USB B na USB A kabel
 - G-kod se direktno šalje na 3D printer
 - Može se pustiti print u meniju printera ili u sliceru s računala
 - **Mrežni prijenos (Bežično)**
 - Bluetooth (rjeđe) ili WiFi (češće) komunikacija
 - Računalo i printer moraju biti na istoj mreži da bi funkcioniralo
 - Udaljeni pristup se može postići VPN-om
 - Može se pustiti print u meniju printera ili u sliceru s računala



02

Slicer

Slicer

Što je slicer?

Kakve formate možemo uvesti u slicer?

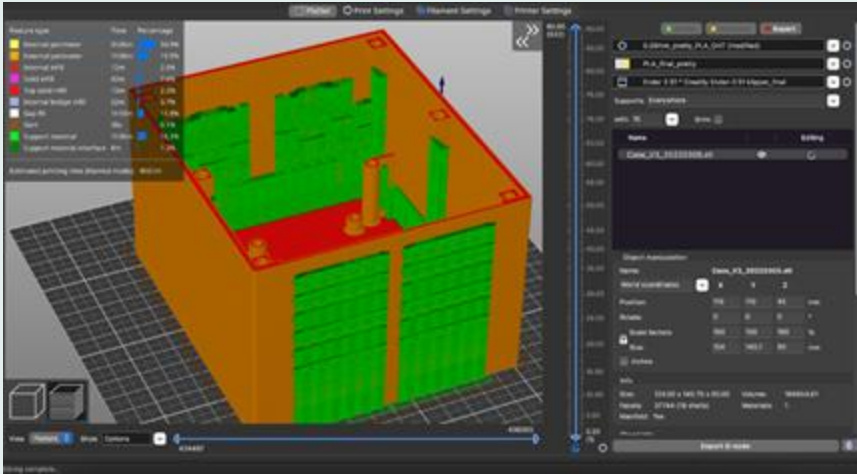
Koji su najpoznatiji sliceri?



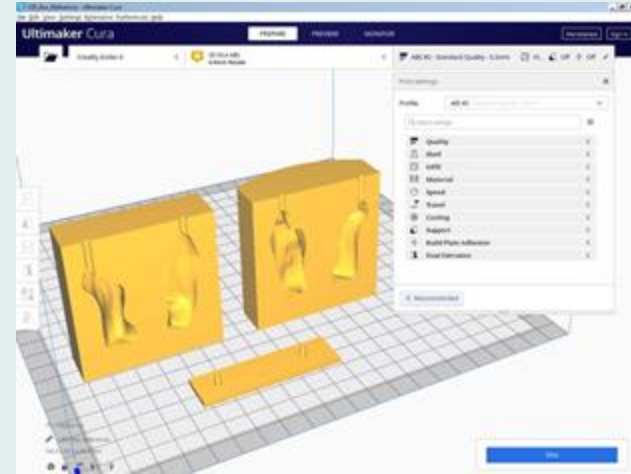
Slicer

- Slicer ili rezač je softver koji priprema 3D model za printanje na 3D printeru. Vrsta CAM (Computer Aided Manufacturing) softvera kao i kod CNC strojeva. Njegova glavna funkcija je prevođenje 3D modela (obično u formatu poput STL, OBJ ili STEP) u niz slojeva koji će printer ispisivati jedan po jedan. Ti slojevi se generiraju na temelju postavki koje korisnik definira u sliceru, neke od njih su:
 - Debljina sloja
 - Brzina printanja
 - Temperatura hotenda i podloge
 - Korištenje potpornog materijala (support)
 - Način ispunjavanja (infill)
- Kada softver završi s ovim procesom, generira G-kod – niz uputa koje 3D printer slijedi kako bi ispisao objekt.

Popularni sliceri

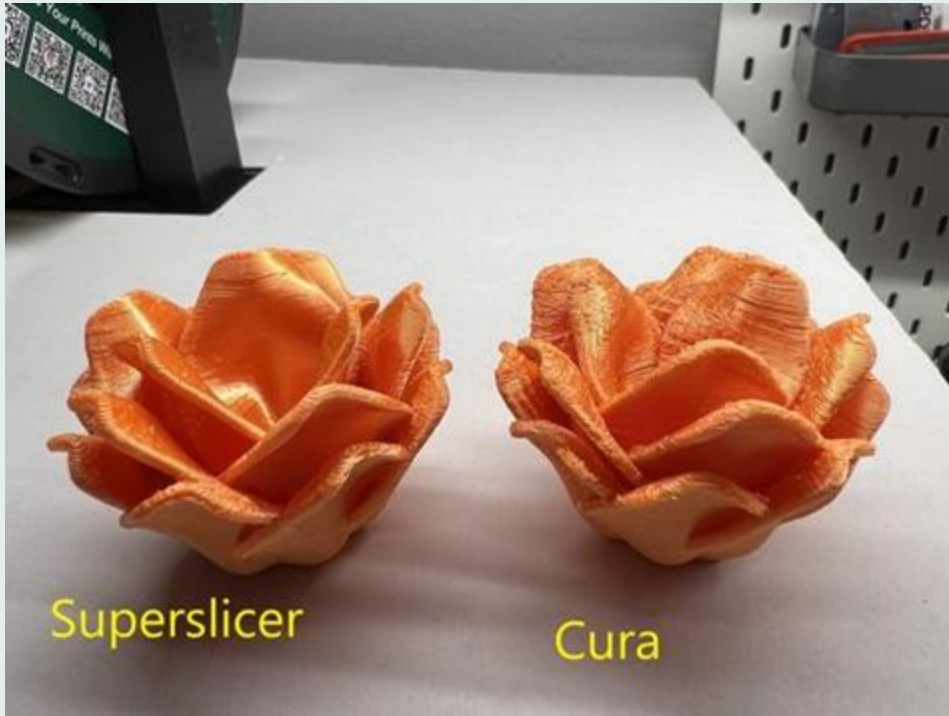


Superslicer



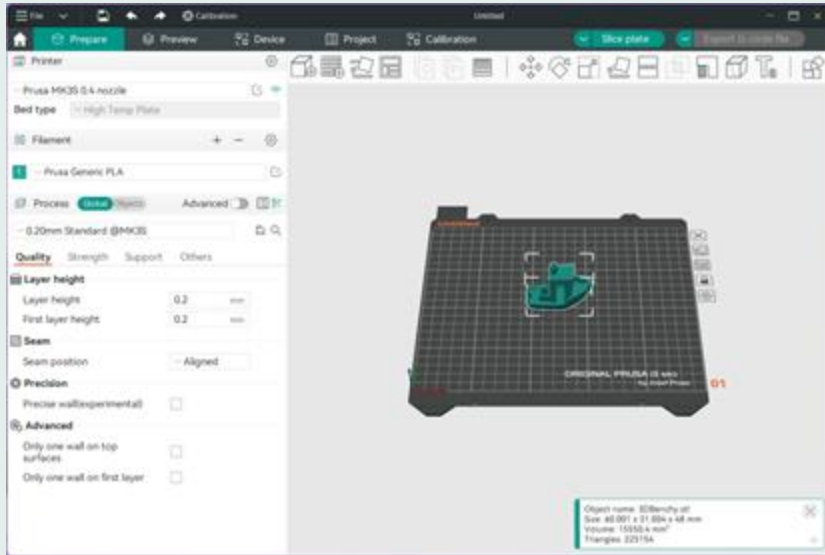
Cura

Popularni sliceri



Usporedba ispisanog modela
korištenjem Superslicera i Cura
slicera

Popularni sliceri



Orca slicer



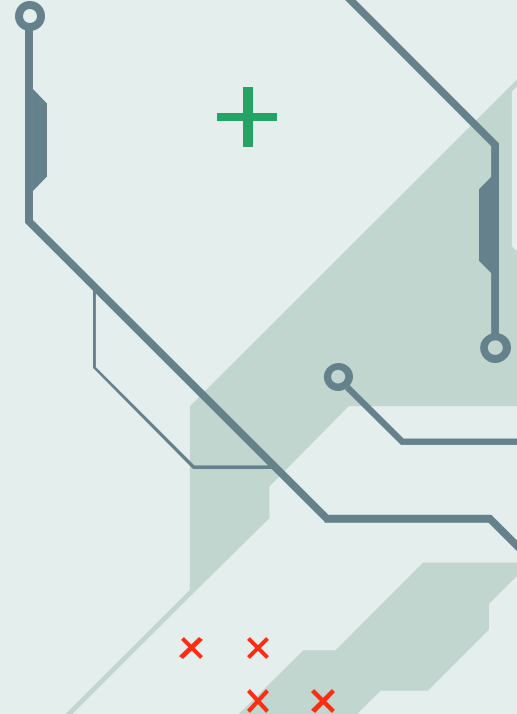
Lychee slicer za DLP i SLA tehnologije



03 Postavke slicera

Postavke slicera

Pregled utjecaja različitih postavki slicera na konačni model



Najvažniji parametri u sliceru

Hotend
temperature

1

Temperatura
glave/nozle

Bed
temperature

2

Temperatura
radne podloge

Layer
height

3

Visina sloja

Infill

4

Ispun

Najvažniji parametri u sliceru

Walls



Postavke
ljuske modela

Speed



Brzina ispisa i
kretanja

Support



Potporne
strukture

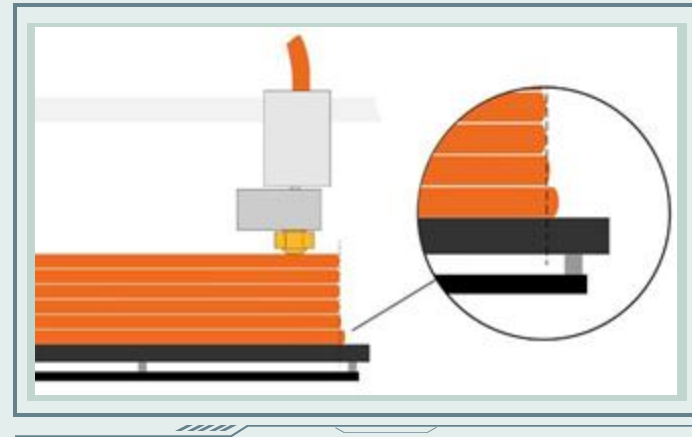
Brim



Prijanjanje
modela za radnu
podlogu

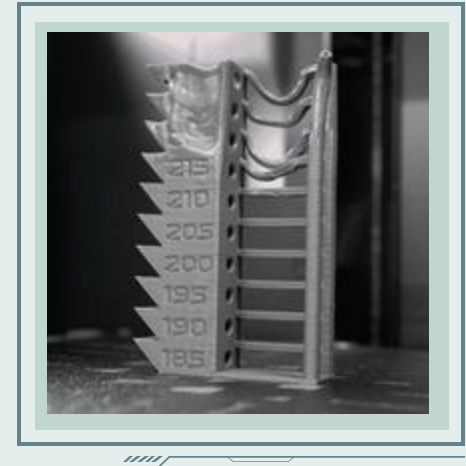
Temperatura radne podloge

- Temperaturo radne podloge podešavamo prema karakteristikama materijala kojim printamo
- Uglavnom je ta vrijednost jednaka temperaturi mekšanja materijala kojim printamo
- Ako imamo velike plohe, one imaju tendenciju odljepljivanja s radne površine, stoga je potrebno povisiti tu temperaturu
- Previsoka temperatura radne plohe može uzrokovati pretjerano omekšavanje slojeva bliskih podlozi i stvoriti tzv. "Elephant's foot"



Temperatura glave/nozle

- Temperaturu glave podešavamo prema karakteristikama materijala kojim printamo
- Ta vrijednost je jednaka temperaturi taljenja određenog materijala
- Temperature glave za sve materijale mogu varirati +/- 20°C, imajte na umu da viša temperatura uzrokuje veću viskoznost i time brže printanje, a i obratno
- Također, viša temperatura glave uzrokuje otežano hlađenje printanog filameta, čime se znatno gubi na kvaliteti (možemo doskočiti tome boljim hlađenjem)
- Kalibracija pomoću Temperature Towera



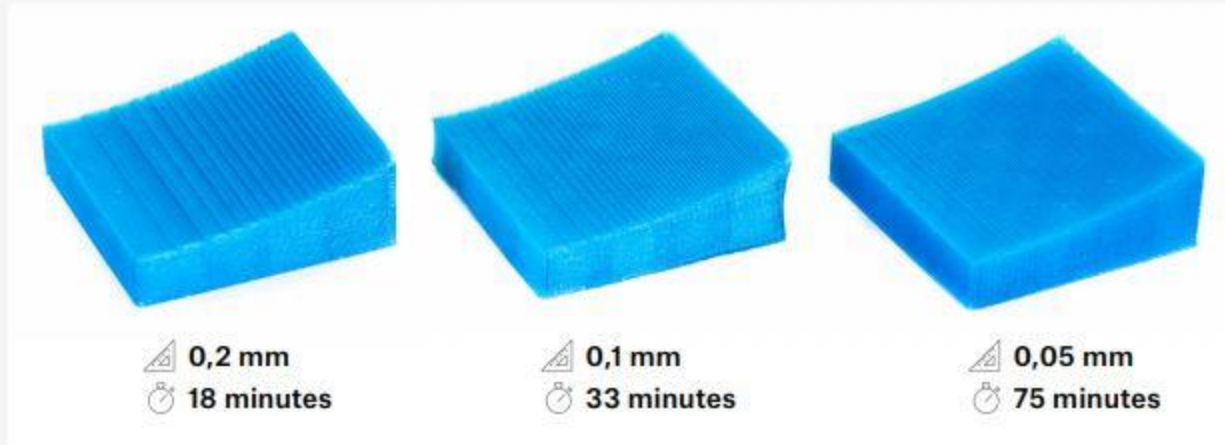
Visina sloja

- Visina sloja u 3D printanju odnosi se na debljinu svakog pojedinačnog sloja koji 3D printer polaže prilikom ispisa. To je ključna postavka u slicer softveru jer direktno utječe na kvalitetu, brzinu i čvrstoću printa.
- **Kvaliteta printa (rezolucija):**
 - Manja visina sloja: Proizvodi finije detalje i glađu površinu jer su slojevi tanji i bolje se stapaju. Na primjer, visina sloja od 0,1 mm će stvoriti detaljniji print od visine sloja od 0,3 mm.
 - Veća visina sloja: Rezultira bržim printanjem, ali s vidljivijim "linijama slojeva" i manje glatkim površinama.
- **Brzina printa:**
 - Manji slojevi: Sporije printanje jer printer mora položiti više slojeva kako bi izgradio istu visinu.
 - Veći slojevi: Brže printanje jer je potrebno manje slojeva za postizanje iste visine.
- **Čvrstoća printa:**
 - Deblji slojevi često rezultiraju čvršćim printovima jer manje slojeva znači manje prilika za slabije vezivanje između njih.
 - Tanji slojevi mogu dovesti do malo slabijeg printa, ali poboljšavaju kvalitetu površine.
- **Uobičajene visine slojeva:**
 - Fini detalji: 0,05 do 0,15 mm (koristi se za detaljne dijelove, prototipe).
 - Standardna kvaliteta: 0,2 mm (dobar balans između kvalitete i brzine).
 - Brzo printanje: 0,3 do 0,4 mm (koristi se kada je brzina prioritet u odnosu na kvalitetu).



Visina sloja

How the layer height affects the object's surface



Utjecaj visine sloja na kvalitetu i brzinu printanja



Ispun

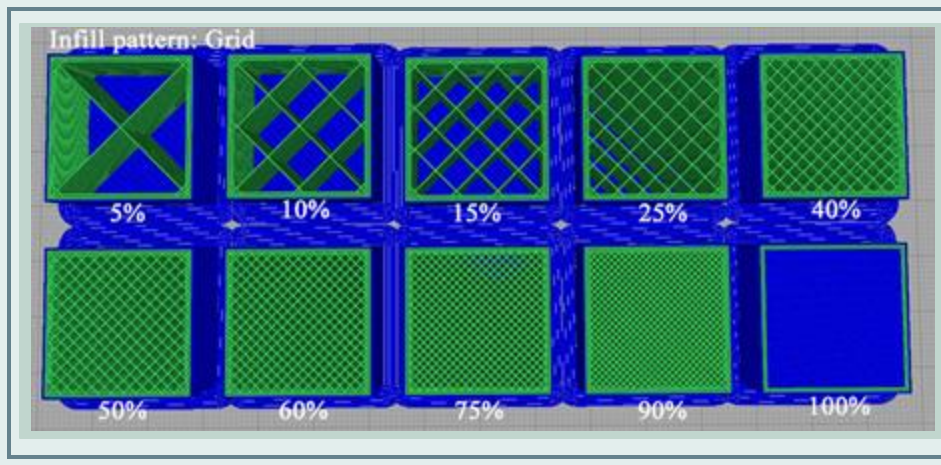
- Ispun (infill) u 3D printanju odnosi se na unutarnju strukturu koja ispunjava unutrašnjost printanog objekta.
- Postavlja se u slicer softveru i određuje koliko će unutrašnjost biti čvrsta, šuplja ili gusta, a pritom ne utječe na vanjski izgled objekta, već na njegovu težinu, čvrstoću i trajanje printanja.
- Najvažniji parametri:
 - **Gustoća ispuna**
 - **Vrsta ispuna**



Ispun

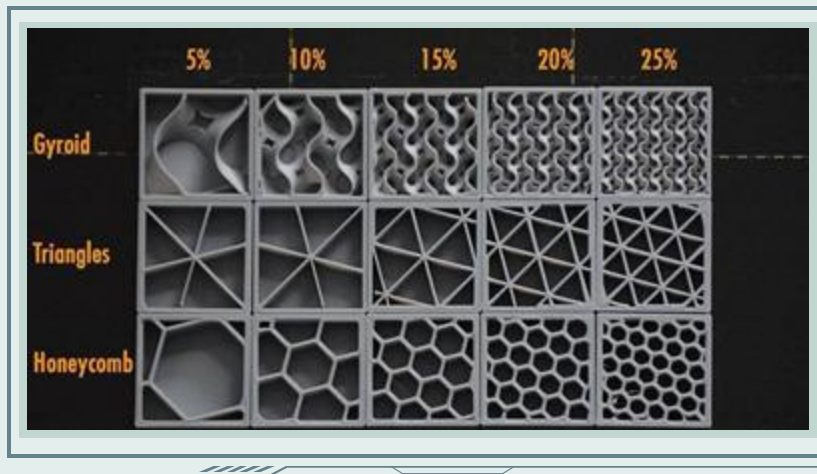
- **Gustoća infilla:**

- Izražava se u postotcima (%). Na primjer, ispun od 20% znači da će 20% unutrašnjosti objekta biti ispunjeno materijalom, a ostatak će biti prazan.
- **Manja gustoća (0-20%):** Koristi se za estetske ili ukrasne objekte gdje čvrstoća nije važna. Ovi objekti su lagani i brže se printaju.
- **Srednja gustoća (20-50%):** Omogućuje dobar balans između čvrstoće i težine, često korištena za prototipe i funkcionalne dijelove.
- **Veća gustoća (50-100%):** Pruža veliku čvrstoću, koristi se za dijelove koji trebaju izdržati visoke naprezanja ili opterećenja, ali povećava vrijeme printanja i količinu materijala.



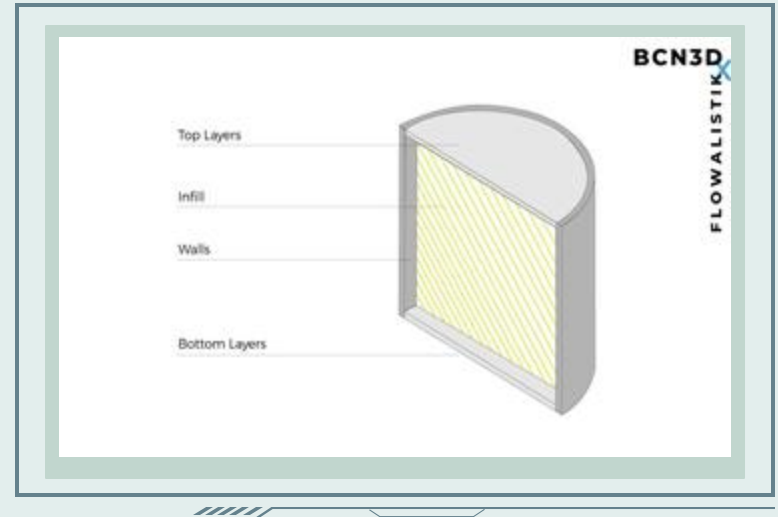
Ispun

- Postoje različiti uzorci ispuna, koji utječu na čvrstoću, fleksibilnost i brzinu printanja, a neki od najpoznatijih su:
 - **Grid (mreža):** Jednostavan i brz za printanje, ali ne pruža maksimalnu čvrstoću.
 - **Triangular:** Pruža dobru čvrstoću uz uštedu materijala.
 - **Honeycomb (saće):** Popularan zbog visoke čvrstoće i male potrošnje materijala.
 - **Gyroid:** Ravnomjerno raspoređena čvrstoća u svim smjerovima, često korišten za tehničke dijelove.



Zidovi

- Utječu samo na unutrašnju strukturu, kao i infill
- Wall loops - broj bočnih zidova koji će se isprintati
- Top shell layers - broj slojeva “stropa”
- Bottom shell layers - broj slojeva poda
- Ako želimo čvršći, a lakši proizvod, smanjit ćemo gustoću infilla, a povećati broj ljuski/slojeva



Zidovi



Zidovi

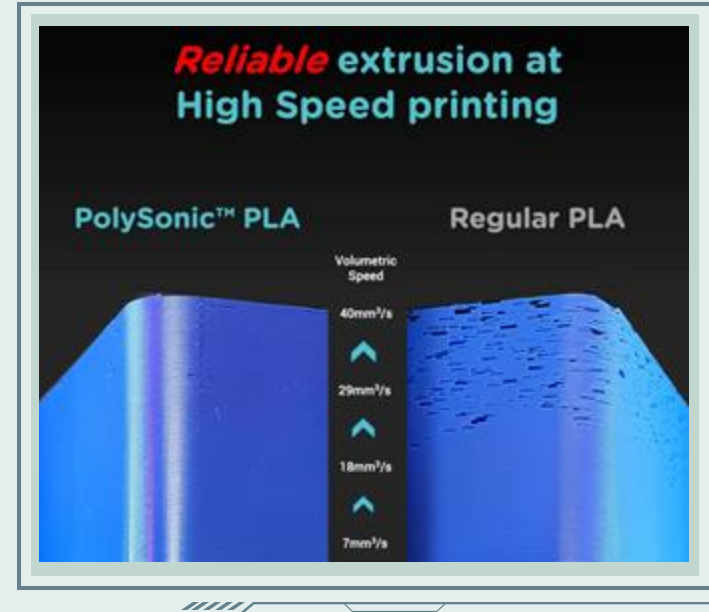


x x
x x

Utjecaj broja zidova na prozirnost proizvoda

Brzina

- U sliceru je brzina definirana **milimetrima u sekundi** (mm/s)
- Brzina kretanja glave printera
- Brzina prvog sloja treba biti dovoljno spora da se filament stigne dobro primiti za radnu podlogu
- Ako je brzina ostalih slojeva prebrza, ekstruder neće moći pratiti tu brzinu (dovoljno brzo istiskivati materijal) i doći će do underextrusiona
- Sporijom brzinom vanjskog zida (onog koji mi vidimo kada se model isprinta) dobivamo bolju kvalitetu ispisa
- **Volumetrijski protok** (Volumetric flow)
 - Definiran je **mm³/s** - koliko kubičnih milimetara u sekundi ekstruder može istisnuti
 - Svi brzine koje smo prethodno definirali se prilagođavaju volumetrijskom protoku
 - Najbolji način za kontrolu ukupne brzine printanja



Potporne strukture

- Potporne strukture (supports) u 3D printanju su privremeni dijelovi koje printer izrađuje kako bi podupro dijelove modela koji su u zraku i ne bi se mogli isprintati bez dodatne potpore. Ove strukture su ključne za izradu složenih modela s prevjesima ili šupljim dijelovima. Nakon završetka printanja, potporne strukture se uklanjaju. Potporne strukture su nam potrebne kod sljedećih pojava:
 - **Prevjes** (overhang) je dio modela koji se proteže vodoravno bez oslonca ispod njega. Većina 3D printera može uspješno ispisati prevjese do određene granice (obično oko 45 stupnjeva). Za prevjese koji su strmiji od toga, potrebne su potpore kako bi se spriječilo propadanje materijala ili loša kvaliteta slojeva.
 - **Mostovi** (bridging) su ravni dijelovi koji spajaju dvije točke modela bez oslonca između. Kratki mostovi mogu se isprintati bez potpore, ali za duže mostove potrebne su potpore kako bi se spriječilo "opuštanje" filamenta tijekom printanja.



Potporne strukture

- Vrste potpornih struktura:
 - **Mreža** (grid) - Potpore u obliku mreže koje podržavaju složenije dijelove modela.
 - **Stablo** (tree) - Potpore koje nalikuju granama stabla i formiraju se ispod prevjesa. Efikasne su jer koriste manje materijala i lakše se uklanjaju.
 - Prilagođene (custom) - crtamo ih u CAD programu po želji, nemaju veze sa slicerom
- Način uklanjanja potpornih struktura:
 - Nakon završetka printanja, potpore se obično uklanjaju ručno, rezanjem ili lomljenjem. Neki materijali za potpore su dizajnirani da se lako otklone, dok drugi mogu zahtijevati alat poput kliješta ili nožića.
 - Topive potpore: Kod dual-ekstruder printera moguće je koristiti topivi materijal (kao PVA ili HIPS), koji se jednostavno rastopi u otopini, čime se izbjegava oštećivanje modela tijekom uklanjanja potpora. Postoje potporni filamenti koji su topivi u vodi ili u lužini.



Potporne strukture

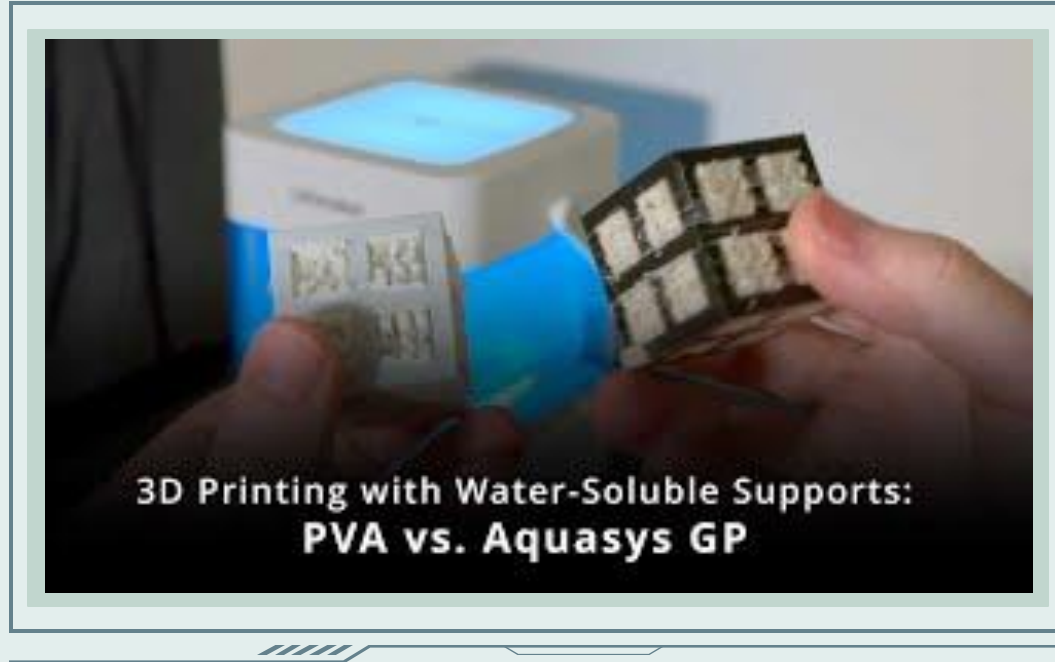


x x
x x

Mrežasta struktura i struktura drveta



Potporne strukture



x x
x x

Topive potporne strukture

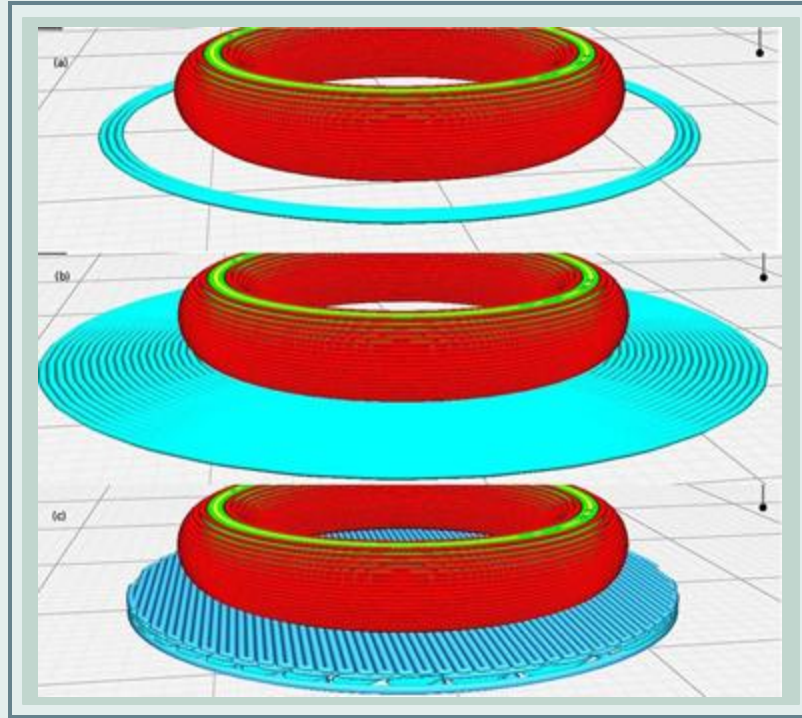


Prijanjanje za radnu plohu

- **Brim** u 3D printanju odnosi se na tanki sloj dodatnog materijala koji se ispisuje oko donjeg dijela modela, ali nije direktno ispod njega. Glavna svrha brima je poboljšati prijanjanje modela na podlogu i spriječiti deformacije (warping) tijekom printanja.
- **Raft** u 3D printanju je dodatni sloj materijala koji se ispisuje ispod cijelog modela. To je baza koja pomaže poboljšati prijanjanje modela na podlogu i sprječava probleme poput savijanja (warpinga) i loše prve slojeve.



Potporne strukture



- a) Skirt
- b) Brim
- c) Raft





04

Ponavljanje



1. Koji su najpoznatiji formati 3D modela koje možemo učitati u slicer?
2. Što radi slicer?
3. Navedite barem 4 važna parametra u sliceru.
4. Kako visina sloja utječe na brzinu printanja, a kako na kvalitetu?
5. Kako gustoća ispuna utječe na brzinu printanja, a kako na čvrstoću?



Hvala!

Ako imate pitanja, pošaljite mi upit:
ivan.zivkovic13@skole.hr
Kabinet 3, RCK