



REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
U STRUKOVNOM OBRAZOVANJU U STROJARSTVU
Industrija 4.0

MEHATRONIKA 3D PRINTERA

Predavač: Ivan Živković

SADRŽAJ

01

Komponente Mehanika

Najvažniji mehanički dijelovi 3D
printera

03

Konfiguracije

Prednosti i mane različitih
konfiguracija 3D printera

02

Komponente Elektronika

Najvažniji elektronički dijelovi
3D printera

04

Ponavljanje



01

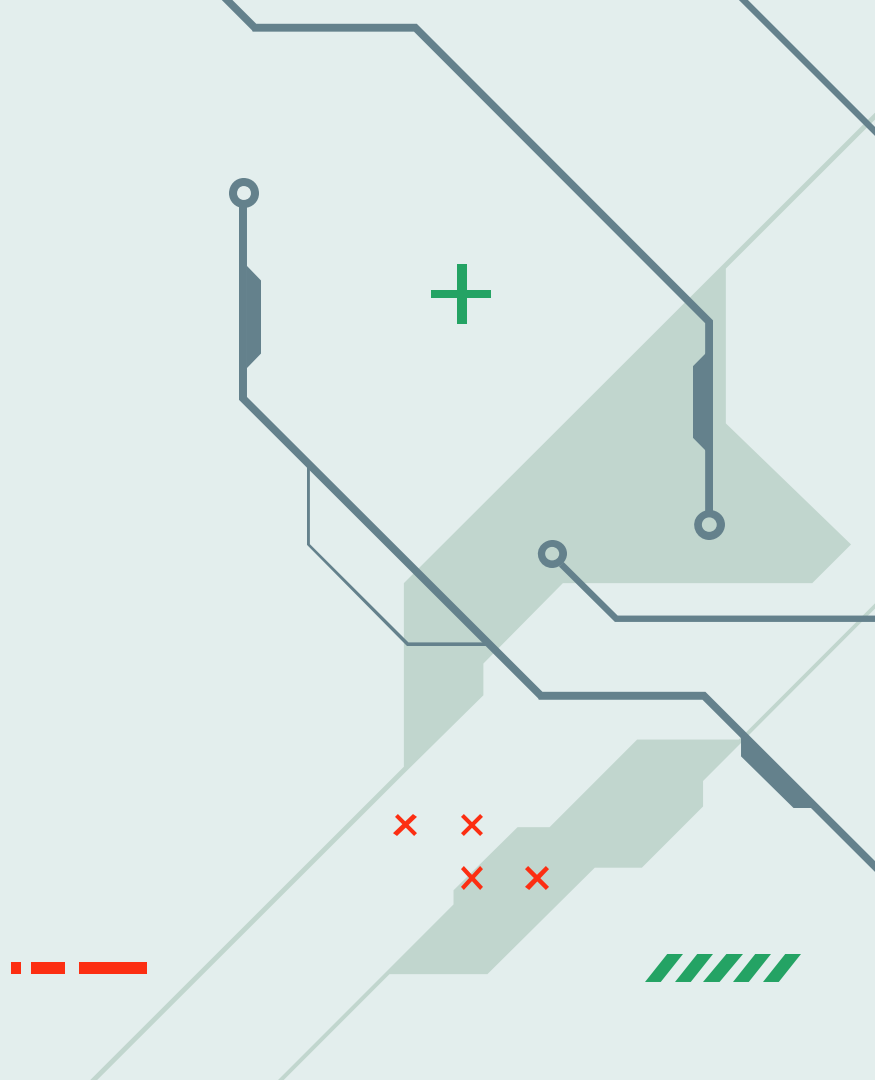
Mechanika

Mehanika

Koje mehaničke komponente su zaslužne za kretanje 3D printera?

Koje su prednosti i mane različitih mehaničkih komponenti?

Kako funkcionira glava pisača?

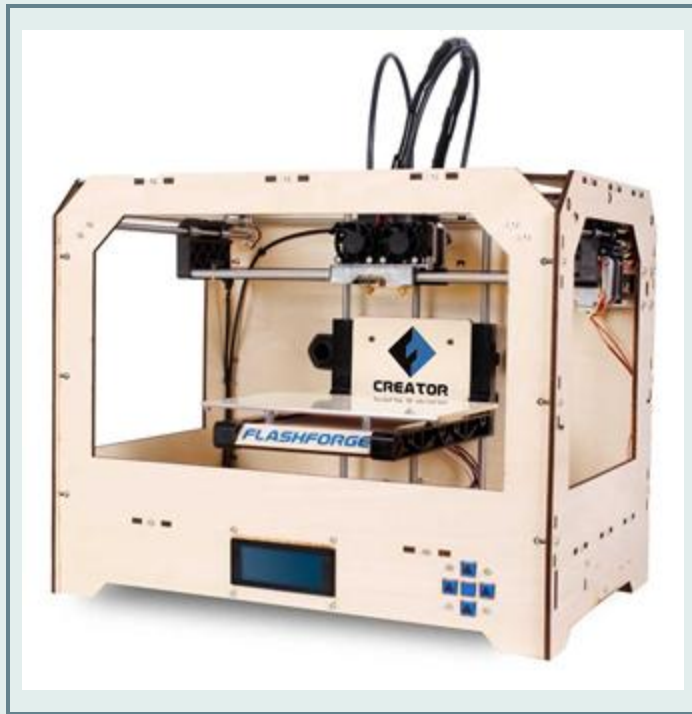
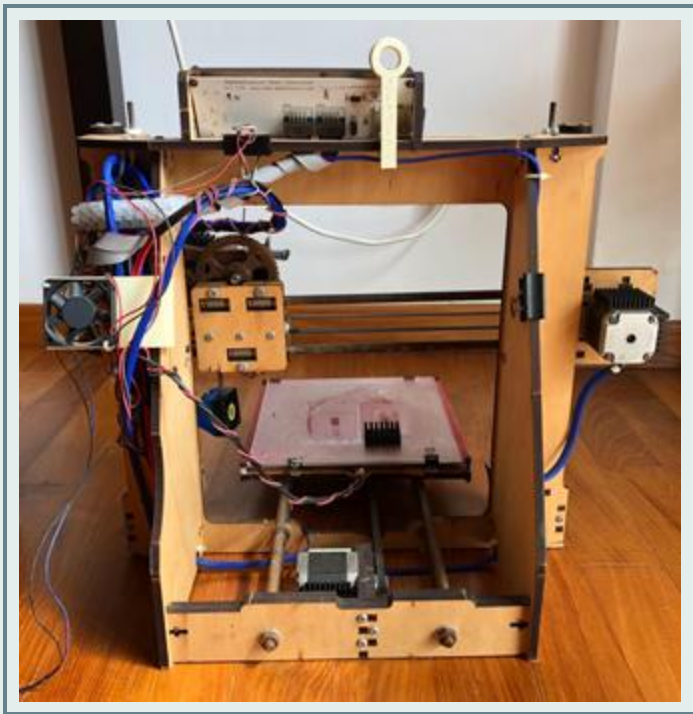


Mehanika FDM printera

Okvir i konstrukcija

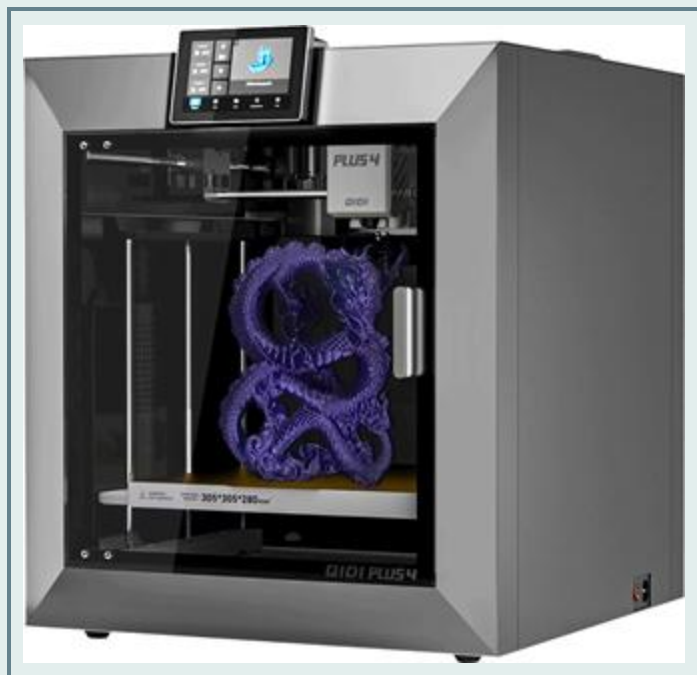
Materijali od kojih su sačinjeni okviri (eng. *Gantry*) FDM printera:

- **Drvo**
 - prvi printeri kućne izrade su imali **vanjsko** kućište od drvenih plehova koje je bilo moguće izrezati po mjeri na laserskim CNC rezačima
- **Plastika**
 - većina printera danas ima izrađeno **vanjsko** kućište (chamber) od plastike ili pleksiglasa
- **Aluminij**
 - najvažniji materijal u konstrukciji komercijalnih 3D printera zbog svoje male težine, čvrstoće i cijene
 - koristi se kao nosivi materijal, tj. kostur za sve važne komponente (npr. Nosači X, Y, Z osi)
 - Aluminijski profil koji se može vidjeti na većini jeftinijih *Bed slinger* printera je **V-Slot 2020** i **2040**, tj. 20mm x 20mm i 20mm x 40mm
- **Čelik**
 - Težina i čvrstoća čelika čine **industrijske** printere robusnima i otpornijima na vibracije

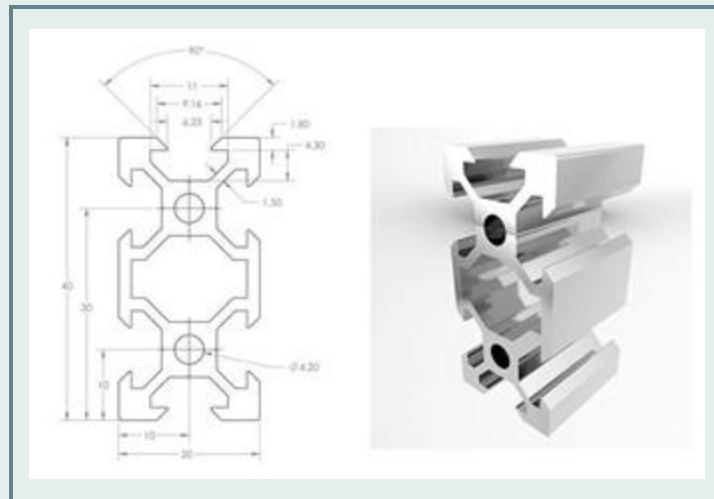
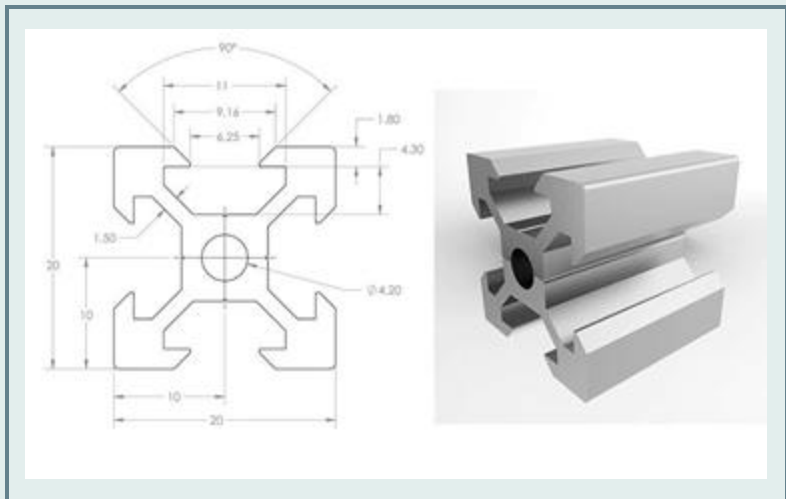


× ×
× ×

“Drveni” 3D printeri



Uporaba plastike i aluminija u konstrukciji



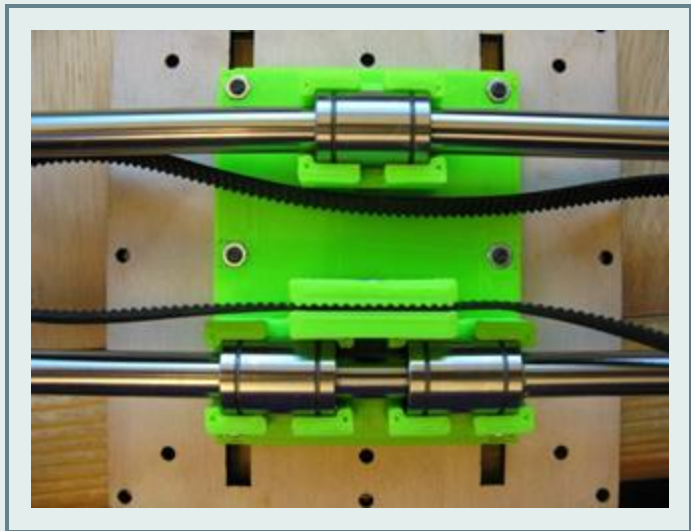
V-Slot 2020 i 2040

Mehanika FDM printera

Linearni mehanizmi

Vrste linearnih mehanizama (mehanizmi koji osiguravaju kretanje u jednom/linearnom smjeru):

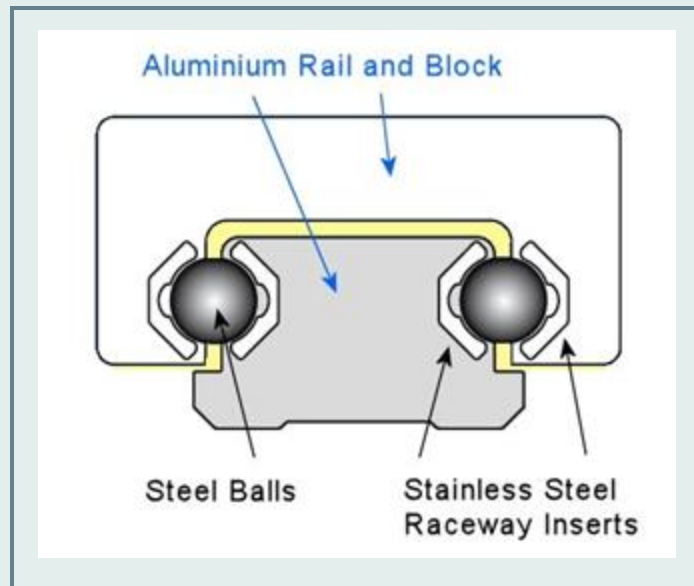
- **Linearni ležajevi i šipke (vodilica linearnog pokreta)**
 - precizni i dugotrajni, pogodni za profesionalne printere, ali su zahtjevni u pogledu održavanja - podmazivanje
- **Tračne vodilice ili vlakici (vodilica linearnog pokreta)**
 - izuzetno stabilne i precizne, zahtjevaju podmazivanje i visoku točnost kod montaže, idealne za industrijske i napredne printere, no vrlo skupe
- **Kuglični ležajevi i polimerni valjci/kotačići (vodilica linearnog pokreta)**
 - ekonomični i prilagodljivi, vrlo tihi, odlični za hobi printere, ali s nižom točnošću i većim trošenjem s vremenom, ne zahtjevaju podmazivanje
- **Navojno vreteno (pogon linearnog pokreta)**
 - ekonomične, precizne, ali spore i sklone trošenju; najbolje za osi s manjim potrebama za brzinom (npr. Z-osi)
- **Kuglični vijci (pogon linearnog pokreta)**
 - vrlo precizni, brzi i trajni, no desetostruko skuplji i manje prikladni za povratno kretanje bez osiguranja; idealni za precizne aplikacije s visokim opterećenjem
- **Remen i zupčanci (pogon linearnog pokreta)**
 - brzi i povoljni, no manje precizni i manje trajni zbog elastičnosti remena, idealni za brze pomake (X i Y osi)
 - najčešće korišten remen je GT2



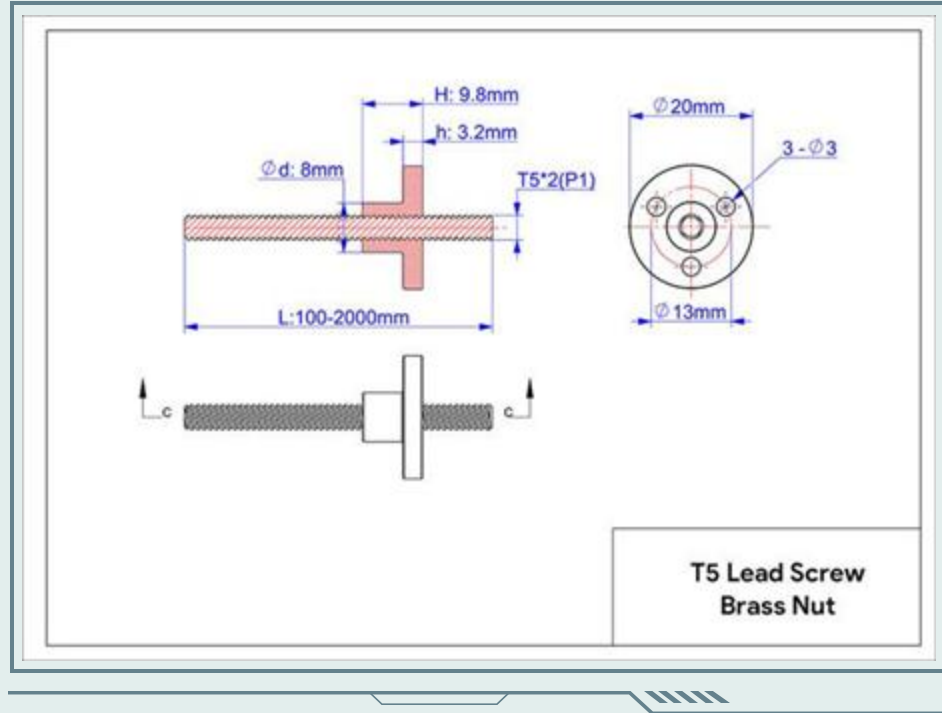
Linearni ležaj i šipka



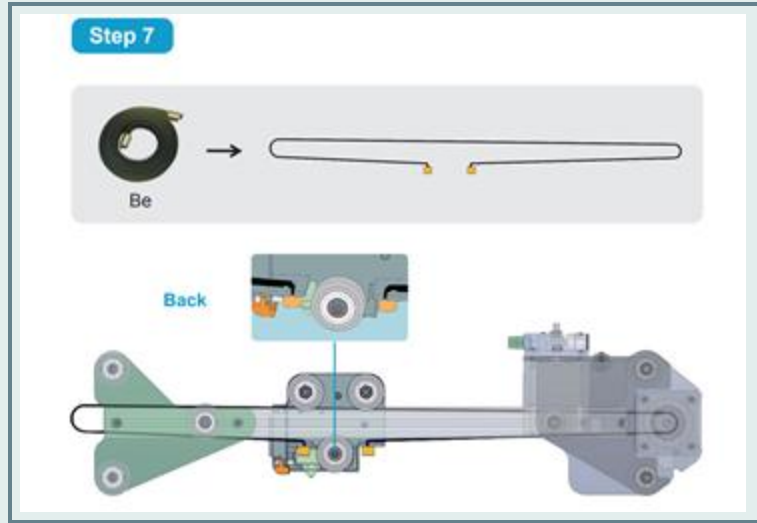
Linearni kotačići i V-Slot profil



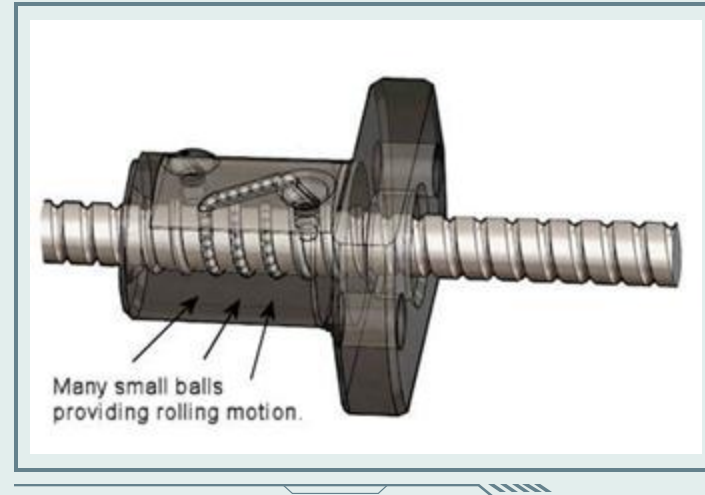
Linearne tračne vodilice ili vlakići



Navojno vreteno kao pogon Z osi



Pogonski remen X osi



Kuglični vijak



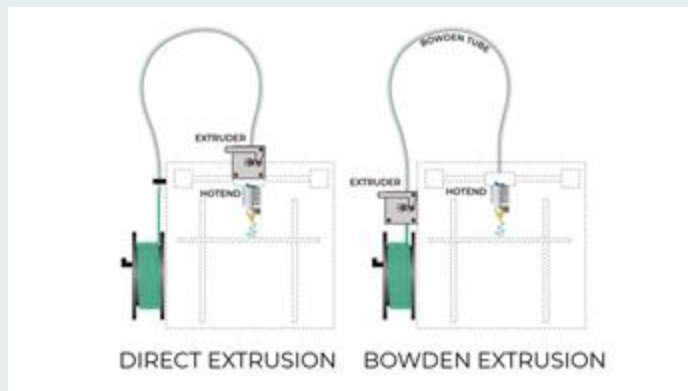
Mehanika FDM printera

Ekstruder

Ekstruder je mehanički sklop koji kontrolira protok filameta u glavu printera.

Vrste ekstrudera:

- **Bowden ekstruder**
 - Ekstruder je montiran na okvir printera, a filament putuje kroz Bowden/teflonsku cijev do glave
 - Lošija kontrola protoka filameta, no olakšava glavu time što je montiran na okvir
 - Problemi kod ispisa fleksibilnih materijala jer dolazi do kompresije i istezanja u teflonskoj cijevi
- **Direct drive ekstruder**
 - Ekstruder je izravno montiran iznad grijane glave
 - Bolja kontrola protoka filameta, no otežava glavu i unosi vibracije



Mehanika FDM printera

Glava

Dijelovi glave:

- **Nozla/sapnica**
 - Najčešći promjer izlazne rupe je 0,4 mm, no postoje varijante 0,2; 0,6; 0,8 i 1,0 mm
 - Mjedene sapnice koristimo kod većine materijala jer mjed dobro provodi toplinu
 - Sapnice od kaljenog čelika koristimo kod materijala s punjenjem od ugljičnih i staklenih vlakana ili nekim drugim punjenjem
- **Grijaći blok**
 - Aluminijski blok u kojem je navoj za prihvat sapnice i toplinske barijere, te rupe za grijač i senzor temperature
- **Toplinska barijera (eng. *Heatbreak*)**
 - Metalna cijev izrađena od metala koji loše provode toplinu kako bi se spriječilo grijanje filameta u dijelu glave u kojem je to nepoželjno
 - Bimetalne toplinske barijere su izrađene od jezgre koja loše provodi toplinu i plašta koji dobro provodi toplinu kako bi se što bolje prenijela nepoželjna toplina na hladnjak
- **Hladnjak**
 - Hladnjak služi hlađenju toplinske barijere i uglavnom dolazi u kombinaciji s ventilatorom
- **Teflonska cijev**
 - Cijev za vođenje filameta do glave printera, ima nizak faktor trenja



Teflonska cijev

Pneumatska uvodnica

Hladnjak

Toplinska barijera ili
Heatbreak

Grijaći blok

Sapnica ili nozla



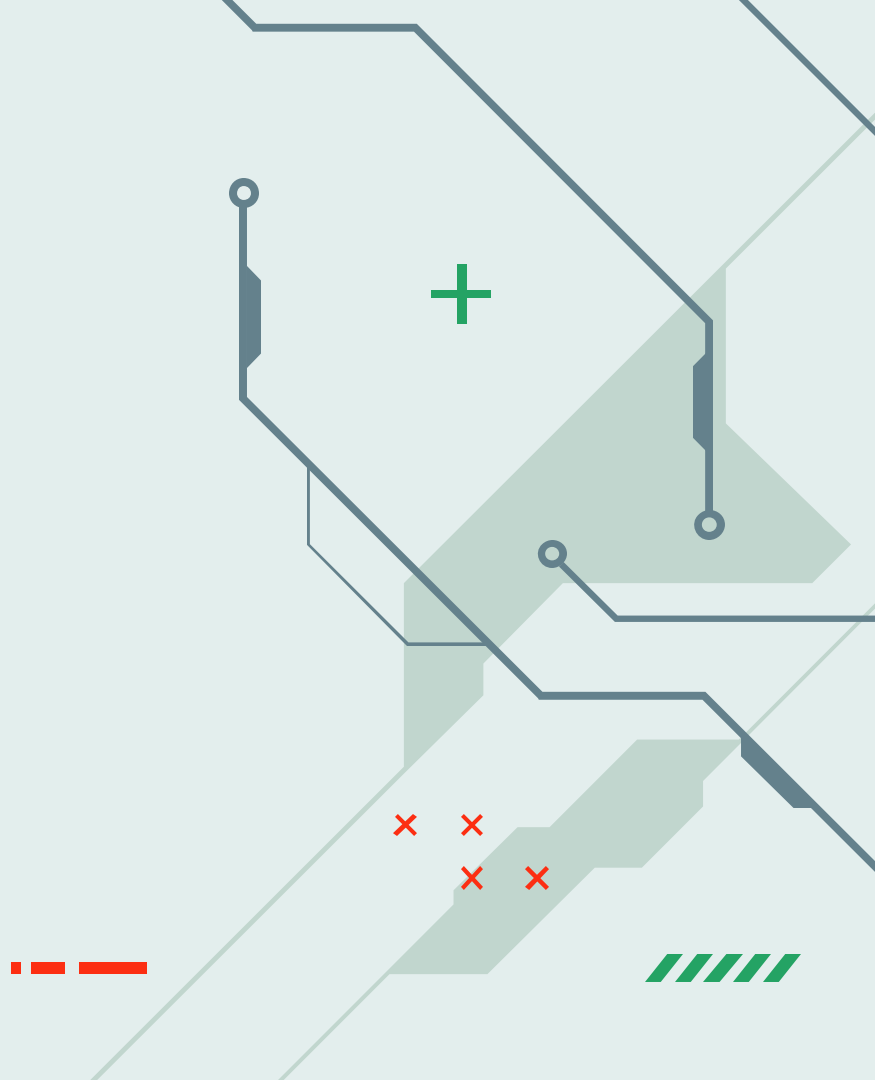


02

Elektronika

Elektronika

Koje elektroničke komponente su zaslužne za kretanje i upravljanje 3D printerom?
Koji senzori i aktuatori su potrebni za rad 3D printera?



Elektronika FDM printera

Motori

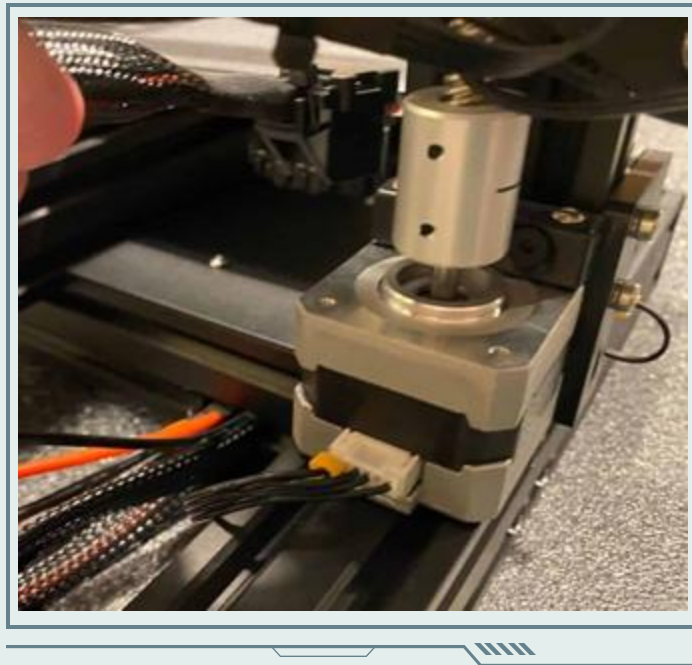
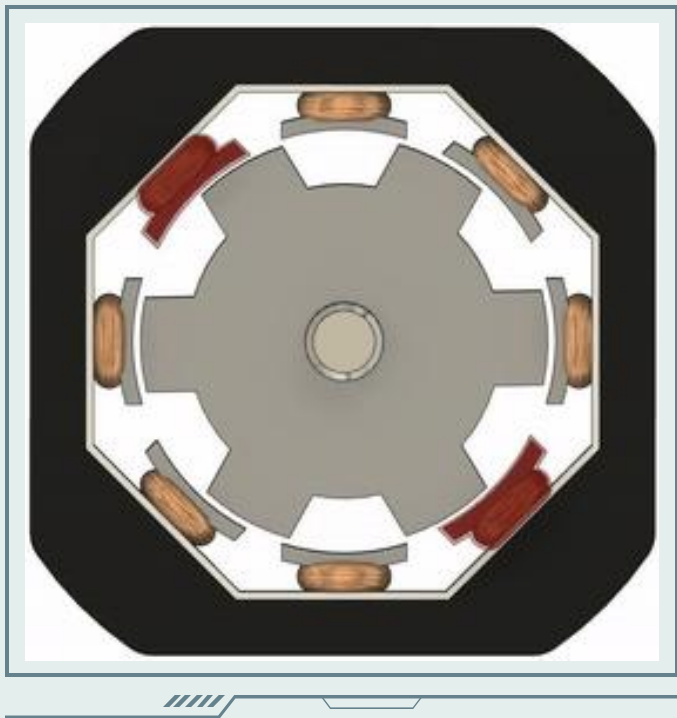
Vrste elektromotora i njihova primjena:

- **Koračni motori (Stepper motor)**

- Koračni motor je vrsta elektromotora koji se pokreće u **preciznim koracima** (stepovima), za razliku od kontinuiranog okretanja kao kod običnih motora
- Svaki puls ili impuls napona uzrokuje da se motor okrene za točno određeni kut, što omogućava visoku kontrolu položaja bez potrebe za dodatnim sensorima
- U kombinaciji sa zupčanicom i remenom služi za pomicanje X i Y osi na printeru
- U kombinaciji s navojnim vretenom služi za pomicanje Z osi
- U kombinaciji s dvostrukim zupčanicom i prijenosom služi za ekstrudiranje filamenta
- Najčešće vrste koračnih motora na 3D printerima su NEMA 14, 17 i 21

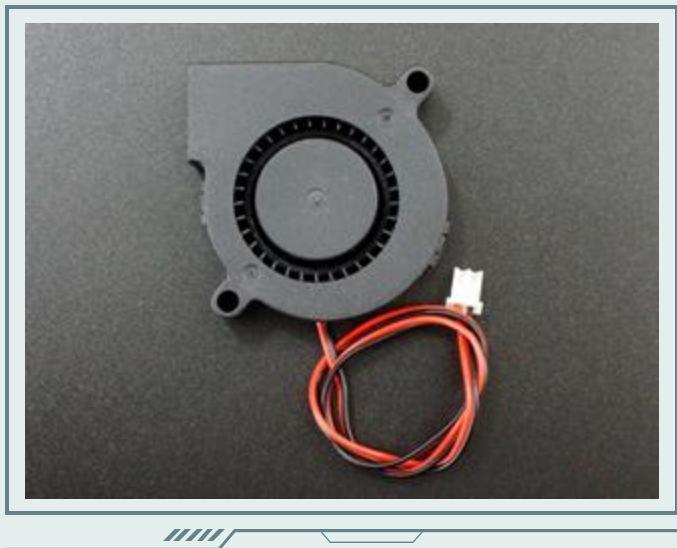
- **Motori bez četkica - ventilatori (Fan)**

- FDM printer koristi minimalno 3 ventilatora
- Ventilator za hlađenje matične ploče i elektronike
- Ventilator za odvođenje topline s hladnjaka glave
- Ventilator za hlađenje ekstrudirane plastike koji dolazi u kombinaciji s usmjerivačem protoka zraka
- Opcionalno - ventilator s grijačem za regulaciju temperature u komori
- Opcionalno - fiksni ventilator za dodatno hlađenje ekstrudirane plastike koji je veći i jači od standardnog
- Opcionalno - ventilator s filterom zraka (aktivni ugljen i ostala sredstva za pročišćavanje zraka)



Koračni motor





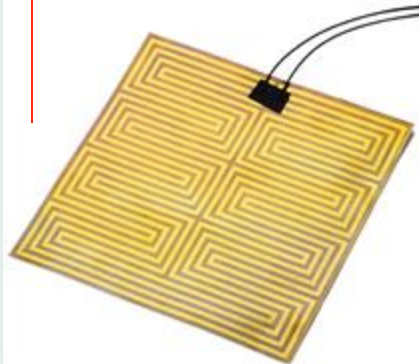
Turbinski i radijalni ventilatori

Elektronika FDM printera

Grijanje

Vrste grijača i njihova primjena:

- **Grijač na glavi printera (Hotend heater)**
 - Uložak s grijačem snage 40-80W nalazi se u aluminijskom bloku grijaće glave
- **Grijač radne plohe (Bed heater)**
 - Grijaća ploha nalazi se ispod radne plohe i prosječna snaga takvog grijača je 150-400W
- **Opcionalno - Grijač radne komore (Chamber heater)**
 - U kombinaciji s ventilatorom, nalazi se na kućištu 3D printera te regulira temperaturu u komori (~150-300W)



Elektronika FDM printera

Senzorika

Vrste senzora i njihova primjena:

- **Senzori temperature - termistori i termoparovi**
 - Mjere temperaturu grijaće glave (hotend) i grijane radne plohe
 - Omogućuju održavanje stabilne temperature tijekom ispisa
- **Senzori krajnjeg položaja (Endstop switch)**
 - Služe za kalibraciju početne pozicije osi (home pozicija)
 - Mogu biti mehanički, optički ili magnetski
- **Opcionalno - Akcelerometar**
 - Služi za mjerenje vibracija i rezonancija koje printer kompenzira (poništava) prilikom rada
 - Nalazi se na glavi 3D printera
 - Poboljšava kvalitetu krajnjeg proizvoda
- **Opcionalno - Senzor visine nozle od radne plohe (Probe)**
 - Senzori koji mjere udaljenost između sapnice i radne plohe
 - Omogućuju mapiranje i automatsko niveliranje plohe za poboljšani prvi sloj ispisa
- **Opcionalno - Tenzimetarski senzor ili senzor sile**
 - Detekcija pritiska filameta: Mogu se koristiti za praćenje sile kojom ekstruder gura filament, što pomaže u prepoznavanju problema poput začepjenja mlaznice ili neujednačenog protoka
 - Automatsko niveliranje pomoću detekcije dodira: Na printerima gdje se sapnica koristi za automatsko niveliranje stola, tenzometarski senzori sile mjere pritisak sapnice na površinu stola. Tako omogućuju preciznu detekciju dodira bez korištenja senzora visine nozle.



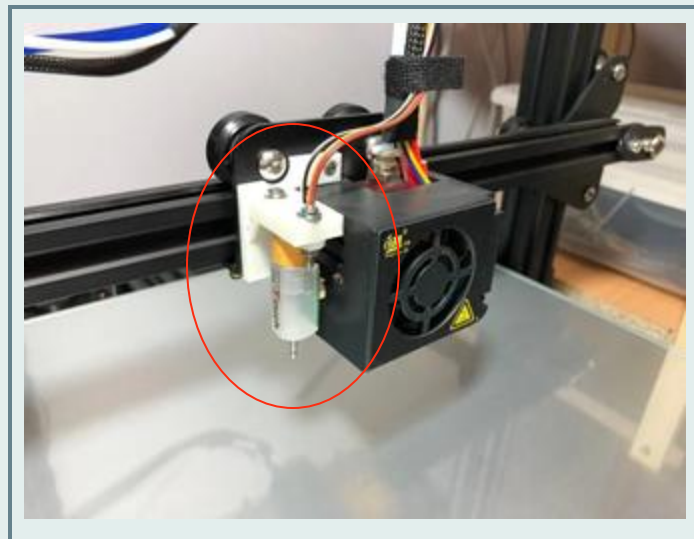
Termistor



Termopar



Senzor krajnjeg položaja

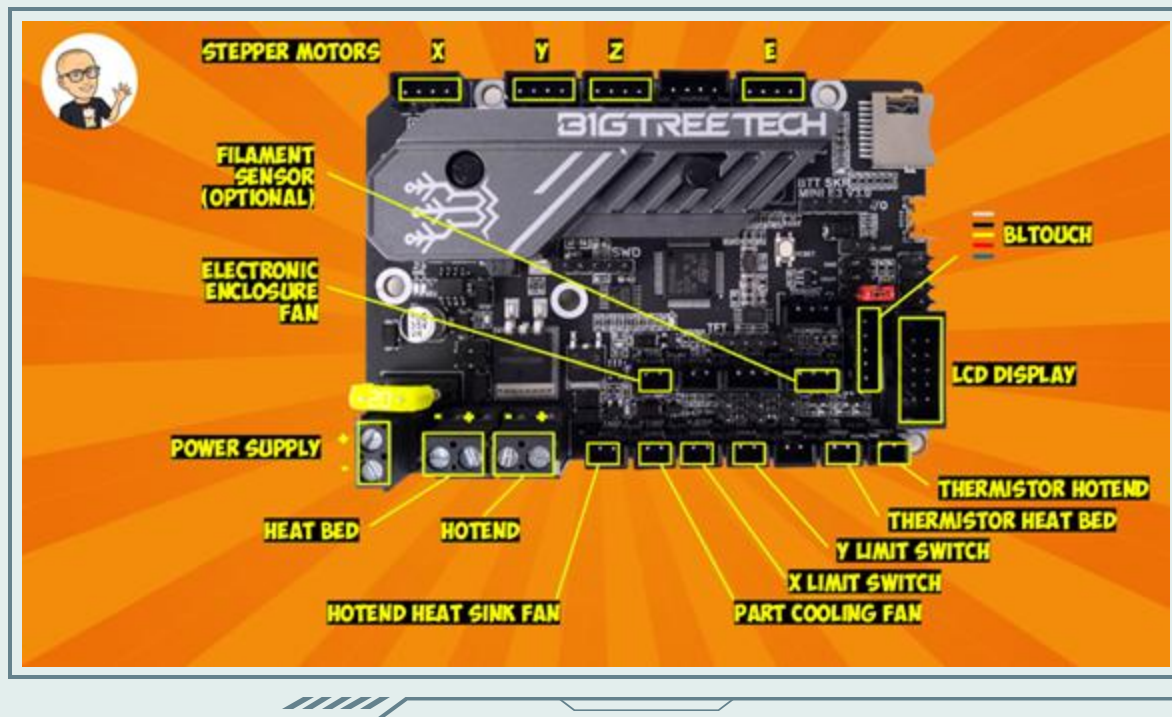


Proba (BL Touch)

Elektronika FDM printera

Ostala elektronika i upravljačka jedinica:

- **Matična ploča**
 - Računalo ili mikrokontroler
 - Upravlja s elektroničkim komponentama - senzori, grijači, elektromotori, ekran
- **Displej**
 - Služi za prikaz svih parametara, upravljanje i trenutno stanje printera
 - Postoje printeri koji nemaju ekran - upravljanje s tableta ili mobitela
- **Napajanje**
 - Napaja elektroniku s električnom strujom
 - Prosječna snaga napajanja na printerima je od 150-600W



Matična ploča (SKR Mini E3)



Ekran



Napajanje



03

Konfiguracije FDM printera



Konfiguracije

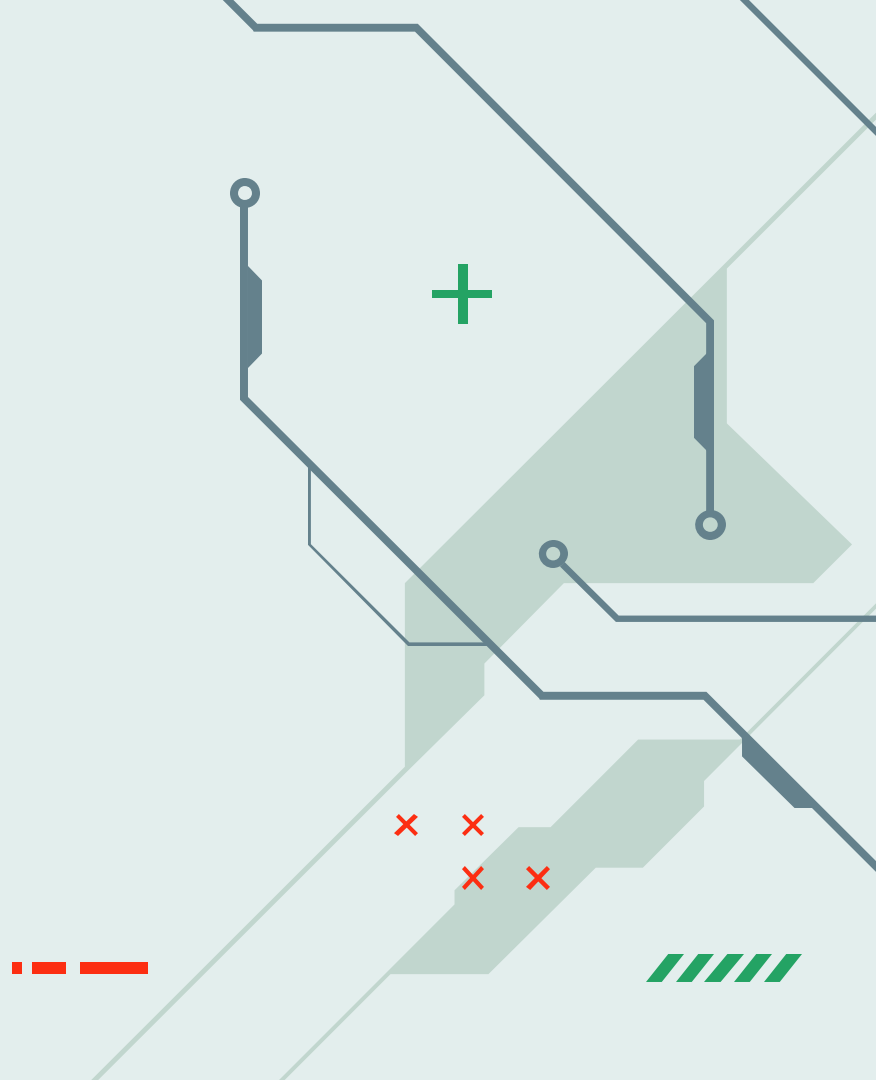
Kartezijanska ~ Bedslinger

CoreXY

Delta

Polarna

SCARA



Bedslinger konfiguracija

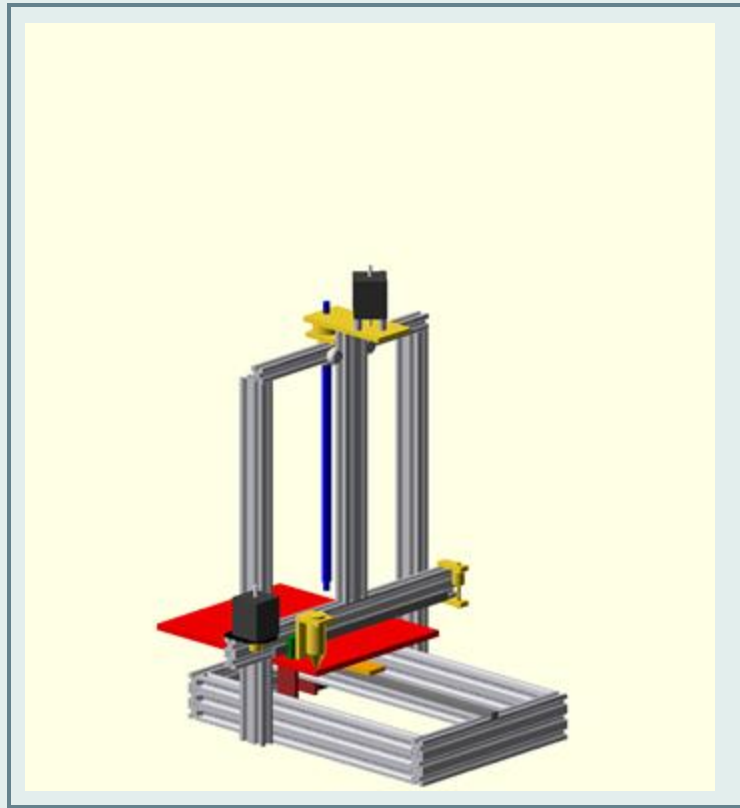
Varijanta kartezijske konfiguracije gdje se radna ploča pomiče naprijed-nazad u Y smjeru, dok X i Z osi pokreću glavu printera

- **Prednosti:**

- **Jednostavna konstrukcija:** Pomična ploča i dostupnost komponenti (lagan prilaz) olakšavaju postavljanje i održavanje.
- **Povoljna:** Često je jeftinija opcija zbog jednostavnijeg dizajna.
- **Široka podrška:** Zbog popularnosti i3 dizajna, lako je pronaći dodatke i podršku.

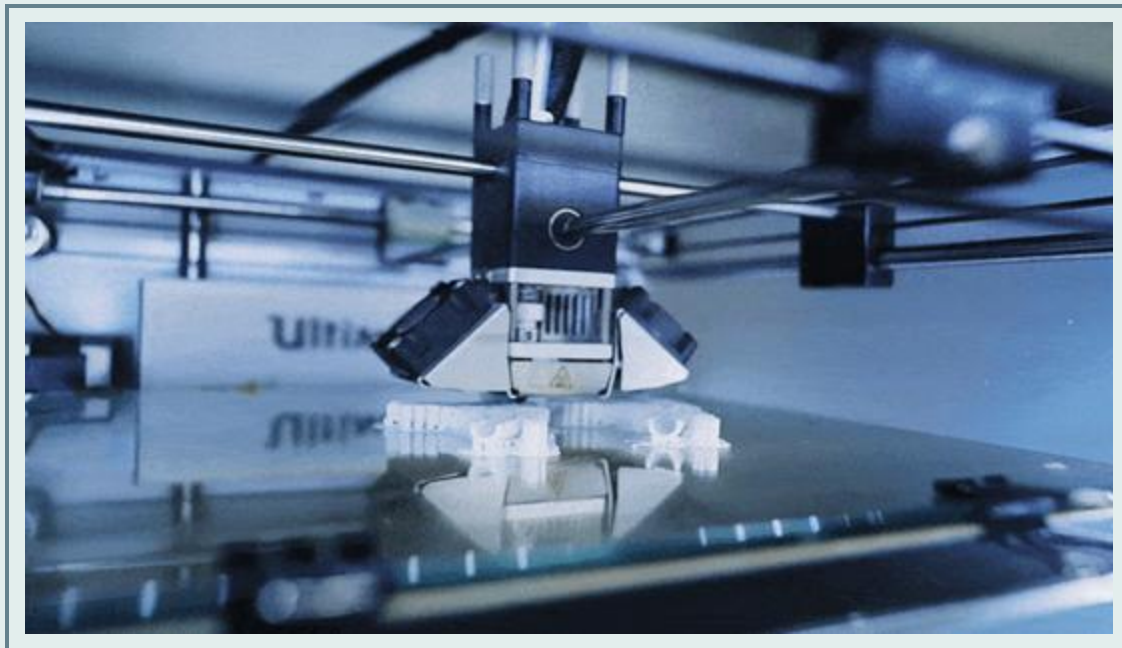
- **Mane**

- **Ograničena brzina:** Pomična radna ploča može izazvati vibracije na većim brzinama, pa je manje stabilan za brze ispise.
- **Veće inercijske sile:** Kod većih ispisa inercija radne ploče može smanjiti preciznost i stabilnost.
- **Veći prostor:** Zbog pomicanja radne ploče potreban je dodatni prostor ispred i iza printera.



Kretanje Bedslinger printera

CoreXY konfiguracija



CoreXY konfiguracija

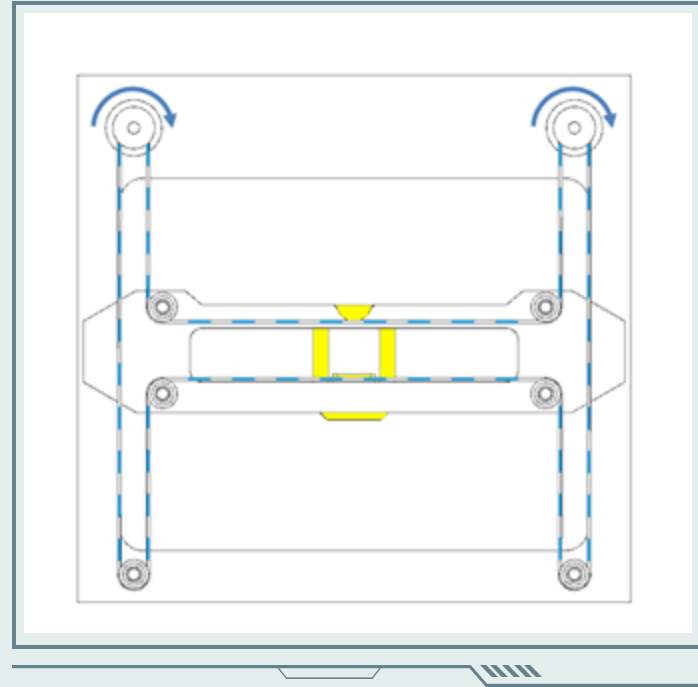
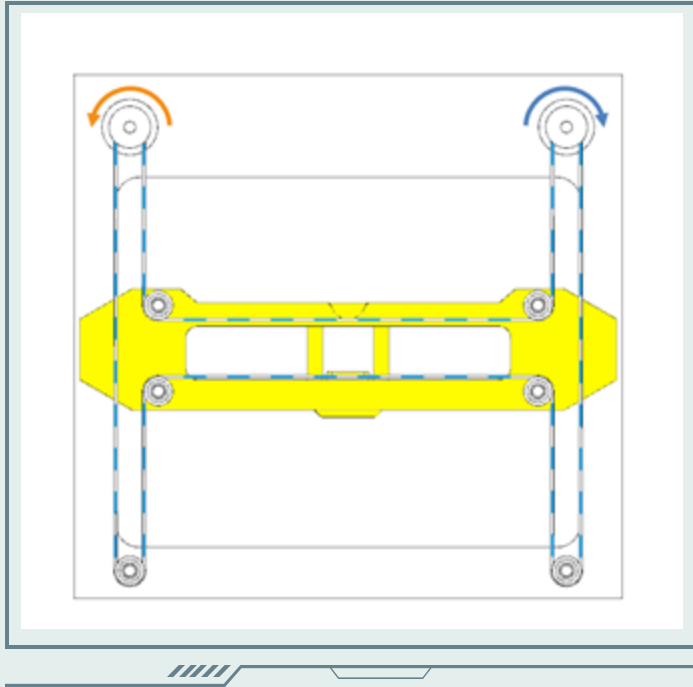
Dvije remenske petlje povezuju motor s glavom ekstrudera koja se kreće u X i Y smjeru, dok Z-os ostaje neovisna

- **Prednosti:**

- **Veća brzina i stabilnost:** Manje pomične mase i remenski sustav omogućuju veće brzine bez gubitka stabilnosti.
- **Manje vibracija:** Kreće se samo ekstruder, što smanjuje rizik od vibracija na većim brzinama.
- **Veći radni volumen:** Zbog kompaktnijeg dizajna omogućuje veći radni prostor unutar sličnog okvira.

- **Mane**

- **Kompleksna konstrukcija:** Montaža remenskog sustava i kalibracija mogu biti složeniji, što može zahtijevati više vremena.
- **Skuplje održavanje:** Potrebno je često održavanje te koristi skuplje mehaničke komponente (vodilice linearnog pogona).



Kinematika CoreXY printer

Delta konfiguracija

x x
x x



Delta konfiguracija

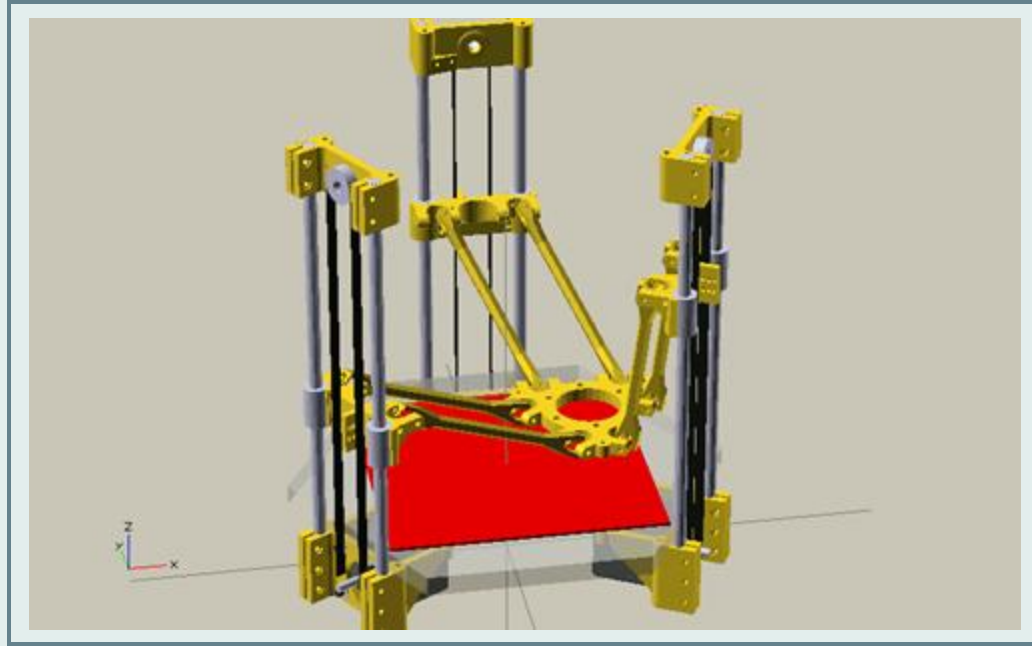
Koristi tri identična kraka montirana na okruglu radnu ploču koja se pokreće u Z smjeru

- **Prednosti:**

- **Izuzetno brzi ispisi:** Pokretni dijelovi su lagani, omogućujući brzo kretanje.
- **Veći radni volumen u odnosu na veličinu okvira:** Dizajn omogućuje vertikalno printanje visokih objekata.
- **Jednoliko kretanje:** Posebno je dobar za zakrivljene površine i glatke prijelaze.

- **Mane**

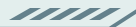
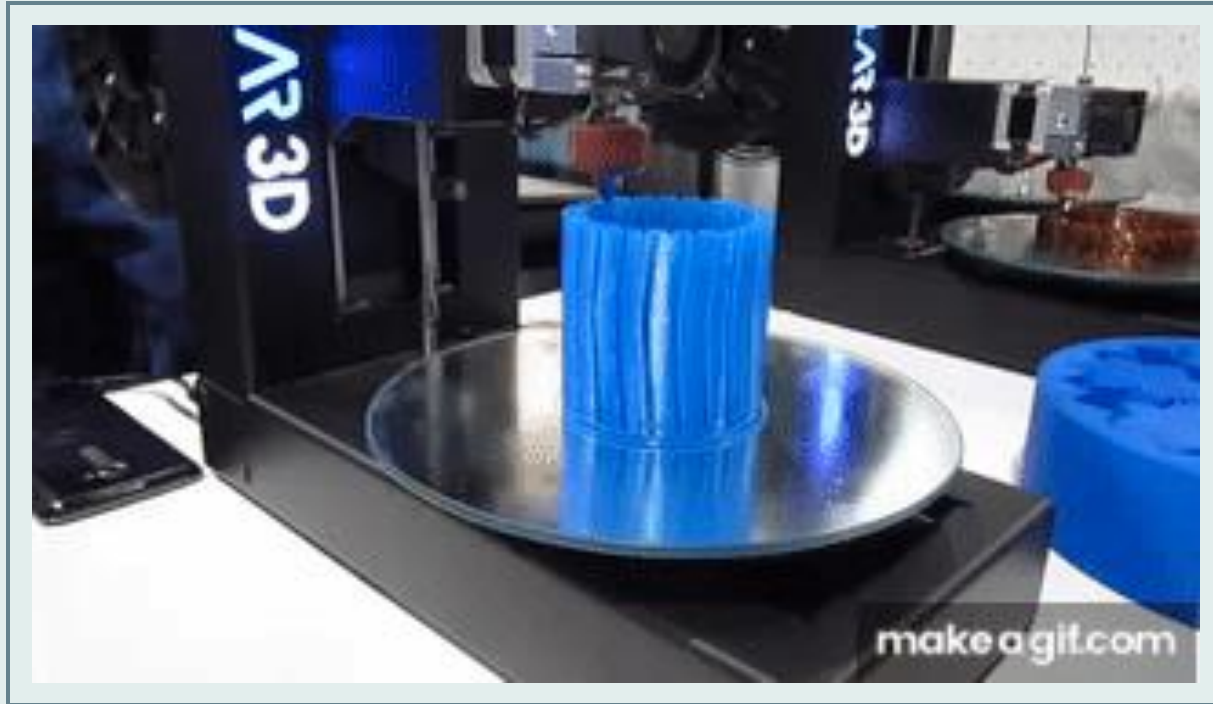
- **Teško za kalibraciju:** Zbog složene geometrije, kalibracija može biti izazovna, pogotovo za korisnike bez iskustva.
- **Smanjena preciznost u krajevima:** Na rubovima ispisa točnost može opasti jer se kretanje svakog kraka sinkronizira (pokreti krakova postaju ovisniji jedan o drugome).
- **Ograničen na specifične oblike ispisa:** Bolje funkcionira s objektima cilindričnog oblika, što može ograničiti dizajn.



Kinematika Delta printera

Polarna konfiguracija

x x
x x



Polarna konfiguracija

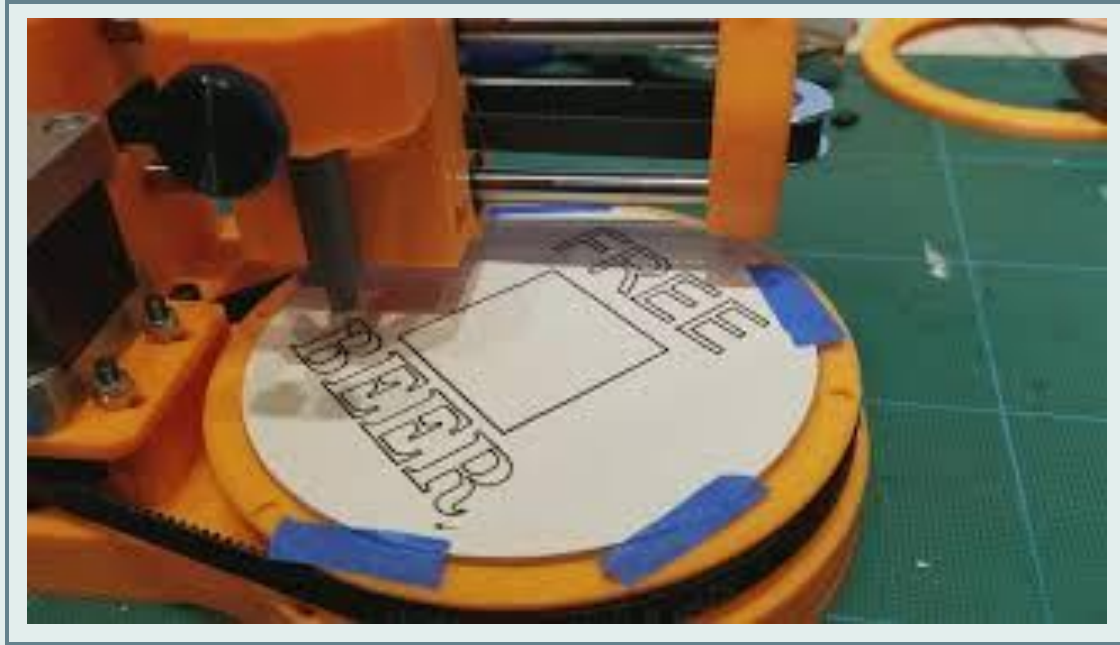
Koristi radnu ploču koja rotira dok se ekstruder kreće linearno

- **Prednosti:**

- **Štedi prostor:** Dizajn omogućava manji fizički okvir za sličan radni volumen.
- **Pogodna za okrugle objekte:** Posebno je dobar za izradu cilindričnih i sferičnih objekata.

- **Mane**

- **Kompleksna geometrijska pretvorba:** Potrebna je dodatna kontrola za ispis kompleksnih geometrija.
- **Manje precizna kod pravokutnih oblika:** Rotacijska os može otežati ravne linije.
- **Manja podrška i dostupnost:** Manje se koristi u komercijalnim printerima, pa su opcije za nadogradnju ograničene.

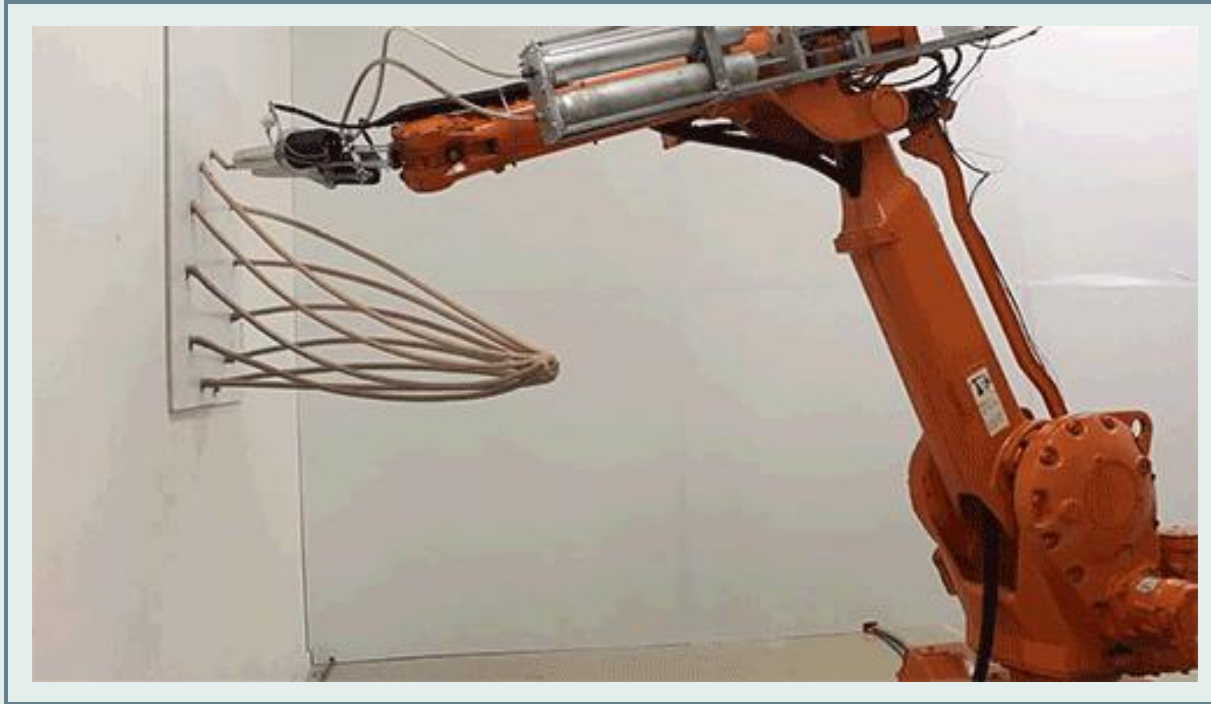


× ×
× ×

Polarna kinematika

SCARA konfiguracija

x x
x x



SCARA konfiguracija

Selective Compliance Assembly Robot Arm

Robotski krakovi zamjenjuju standardne osi i pomiču ekstruder koristeći rotacijska kretanja

- **Prednosti:**

- **Velika fleksibilnost:** Može raditi u neobičnim oblicima i dosegnuti "teško dostupna" mjesta unutar radnog volumena.
- **Veliki radni volumen:** Omogućuje ispis velikih objekata u kompaktnijem okviru.

- **Mane**

- **Složenost:** Zbog rotacijskih kretanja, teško je precizno kalibrirati za točne linearne ispise.
- **Manja preciznost:** Rotacijski sustav otežava postizanje preciznosti ravnih linija.
- **Visoka cijena i ograničena dostupnost:** Ova konfiguracija je rijetka i zahtijeva kompleksnu kontrolu.



SCARA kinematika



04

Ponavljanje



1. Nabroji barem dvije vrste vodilica linearnog pokreta i dvije vrsta pogona linearnog pokreta.
2. Koje dvije vrste ekstrudera postoje i koja je glavna razlika?
3. Koja vrsta elektromotora se koristi za pogon u 3D printerima?
4. Nabrojite 5 elektroničkih komponenti u 3D printeru?
5. Koje su 3 najpoznatije vrste konfiguracija i što ih odlikuje?



Hvala!

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