



REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
U STRUKOVNOM OBRAZOVANJU U STROJARSTVU
Industrija 4.0



UVOD U ADITIVNE TEHNOLOGIJE

Predavač: Ivan Živković



SADRŽAJ

01

Povijest

Povijest industrije i
proizvodnog procesa

03

Materijali

Vrste različitih polimera i
drugih materijala

02

Principi rada

Vrste 3D printera

04

Ponavljanje

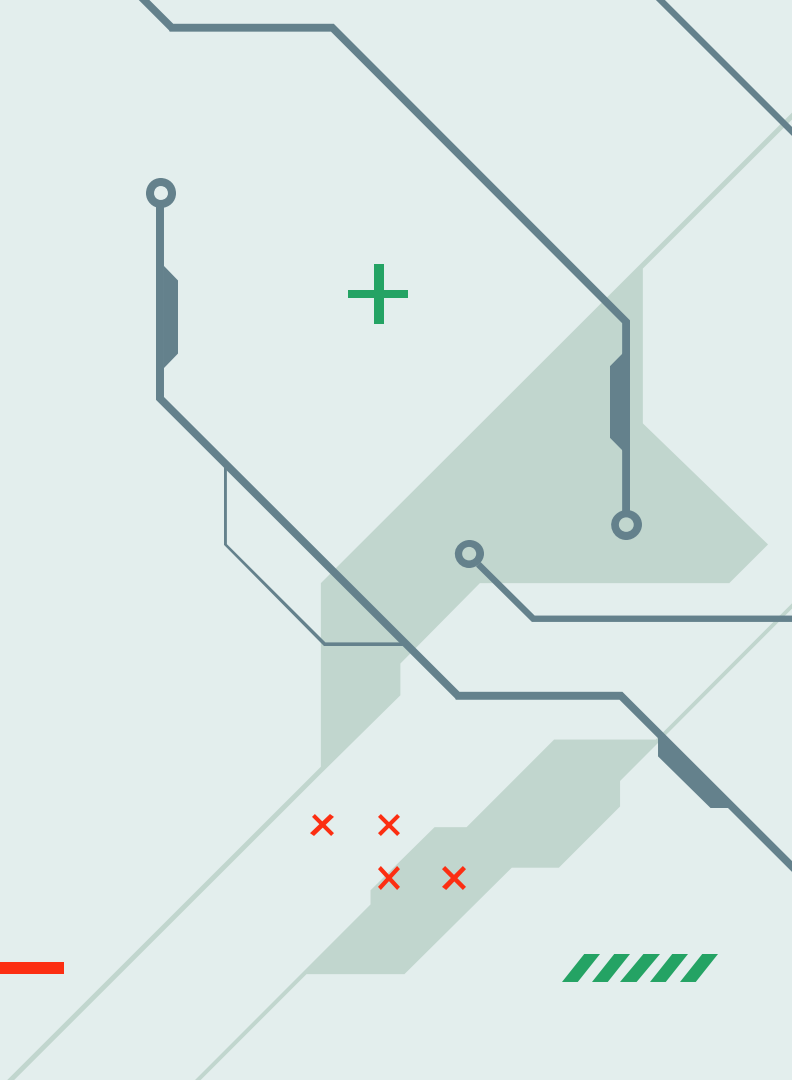


01

Povijest

Povijest

Pregled industrijskih revolucija te važnih otkrića koja su promijenila tijek proizvodnje kakav danas imamo



Povijest

- 1980-e:
 - Chuck Hull, 3D Systems - Stereolitografija (SLA), laser + polimerna smola
 - Scott Crump, Stratasys - Taložno očvršćivanje (FDM), topljenje plastike
- 1990-e:
 - Dr. Carl Deckard, Sveučilište u Texasu - Selektivno lasersko srašćivanje (SLS), laser + polimerni prah
 - 3D Systems i Stratasys izdaju prve komercijalne printere na tržište
 - Proizvodnja laminiranih objekata (LOM) i Selektivno lasersko srašćivanje metala (DMLS)
- 2000-e:
 - Stolni 3D printeri dolaze na tržište
 - Prekretnica s RepRap projektom Dr. Adriana Bowyera, printer koji može većinu svojih dijelova isprintati - Replicating Rapid Prototyper
 - Ističu patenti pionirskih tvrtki (Stratasys i 3D Systems) - jeftiniji i dostupniji 3D printeri
- 2010-e:
 - Razvoj komercijalnih printera za metal
 - Bioprintanje u medicine - proteze, stomatologija, organi
- 2020-e:
 - Ispis na velikoj skali - 3D printane kuće i naselja
 - Ispis više materijala odjednom - Multimaterial printing
- Budućnost:
 - 4D printanje



“In the future, people won’t even think about it. It’ll be the recognized way to manufacture plastic parts.”

–Chuck Hull, 3D Systems

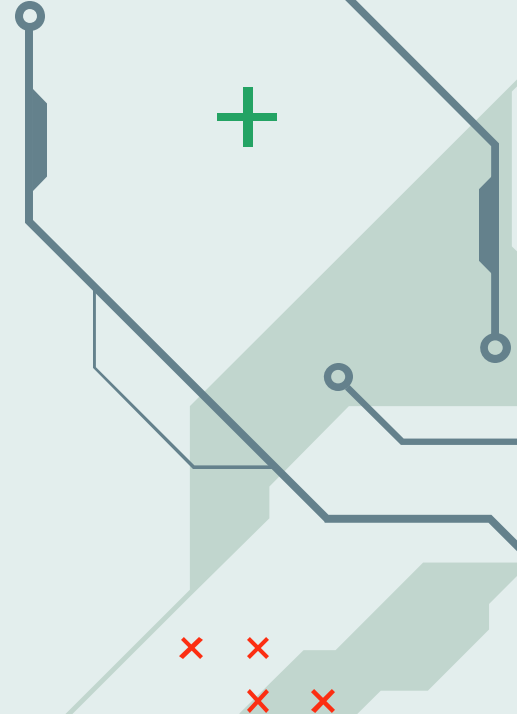


02

Principi rada

Principi rada

Pregled vrsta 3D pisača i njihovih načina printanja



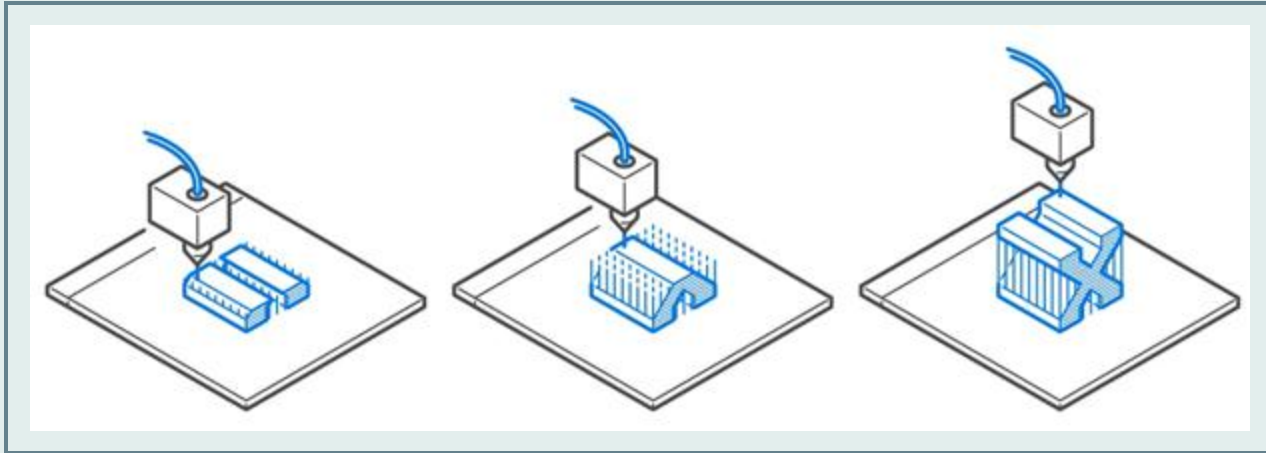
Vrste aditivne proizvodnje

- Fused Material Deposition (FDM)
 - taložno očvršćivanje
 - zagrijani materijal (obično plastična nit) se istiskuje kroz mlaznicu i nanosi sloj po sloj kako bi se stvorio objekt
 - mlaznica se kreće po dizajniranoj putanji dok se materijal hladi i stvrdnjava
- Stereolithography (SLA)
 - polimerizacija u kadici
 - posuda s tekućom smolom se stvrdnjava UV svjetlom sloj po sloj kako bi se formirao čvrsti objekt
 - svaki sloj smole se stvrdnjava dok svjetlo precizno prati oblik objekta
 - SLA - sustav UV lasera s pomičnim lećama -> točkasto zagrijavanje sloja smole, isto prati dizajniranu putanju kao FDM
 - Digital Light Processing (DLP) - podvrsta stereolitografije koja koristi homogeni izvor UV svjetlosti i monokromatski LCD ekran koji selektivno propušta svjetlost za svaki sloj - stvrdnjava cijeli sloj odjednom
- Selective Laser Sintering (SLS)
 - selektivno lasersko srašćivanje
 - ova metoda koristi laser ili elektronski snop kako bi selektivno rastalio i spojio čestice praha (plastika, metal ili keramika) u čvrste slojeve

Vrste aditivne proizvodnje

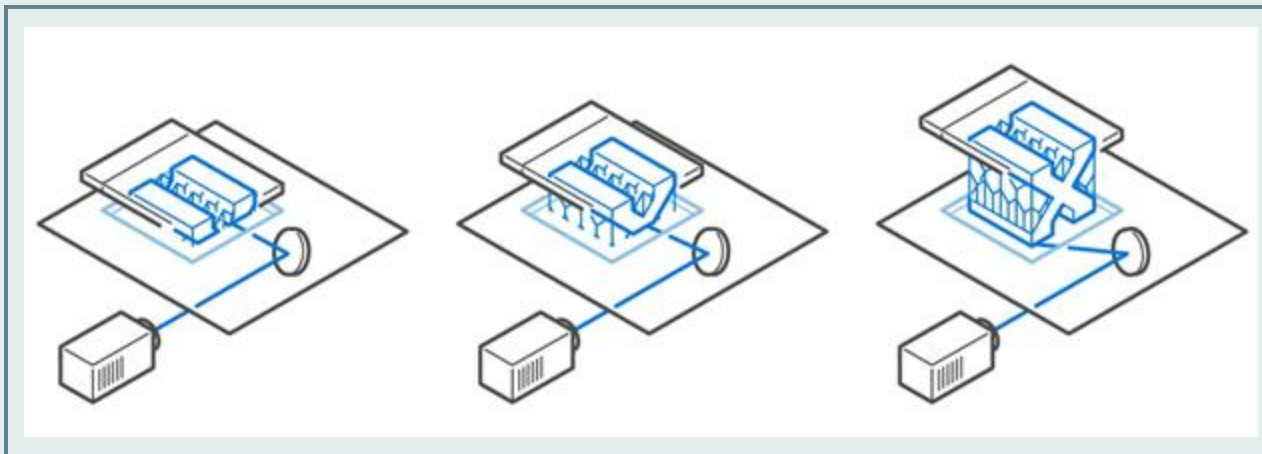
- PolyJet
 - ispisivanje mlazom fotopolimera
 - slično inkjet printerima, mlaz materijala ispušta kapljice fotopolimera ili drugih materijala na površinu, koji se zatim stvrdnjavaju UV svjetlom
 - više materijala se može koristiti istovremeno za izradu detaljnih, višematerijalnih objekata
- Binder Jetting
 - tiskanje veziva na praškasti materijal
 - tekući vezivni agens se selektivno nanosi na slojeve praškastog materijala, povezujući čestice kako bi se formirao objekt
 - nakon završetka, nevezani prah se uklanja, ostavljajući finalnu strukturu
- Directed Energy Deposition (DED)
 - nanošenje praškastih materijala pod djelovanjem usmjerenog izvora energije
 - ovaj proces koristi usmjereni izvor energije (laser, elektronski snop ili plazma luk) koji topi materijale dok se nanose, često korišten za metale
 - obično se primjenjuje za popravke ili dodavanje materijala postojećim objektima
- Laminated Object Manufacturing (LOM)
 - proizvodnja laminiranih objekata
 - tanki listovi materijala, obično papira, plastike ili metala, spajaju se sloj po sloj pomoću ljepila ili ultrazvučnog zavarivanja, a zatim se izrezuju u željeni oblik
 - ova tehnika omogućava bržu proizvodnju većih dijelova.

Fused Deposition Manufacturing



Glava se miče X i Y osima na svakom sloju te tiska otopljenu plastičnu nit (filament) koja se hladi uz pomoć ventilatora, pomaci u Z osi (visini) su uglavnom isti (npr. 0,12/0,20/0,30 mm). Niska rezolucija printanih modela te varijabilna čvrstoća.

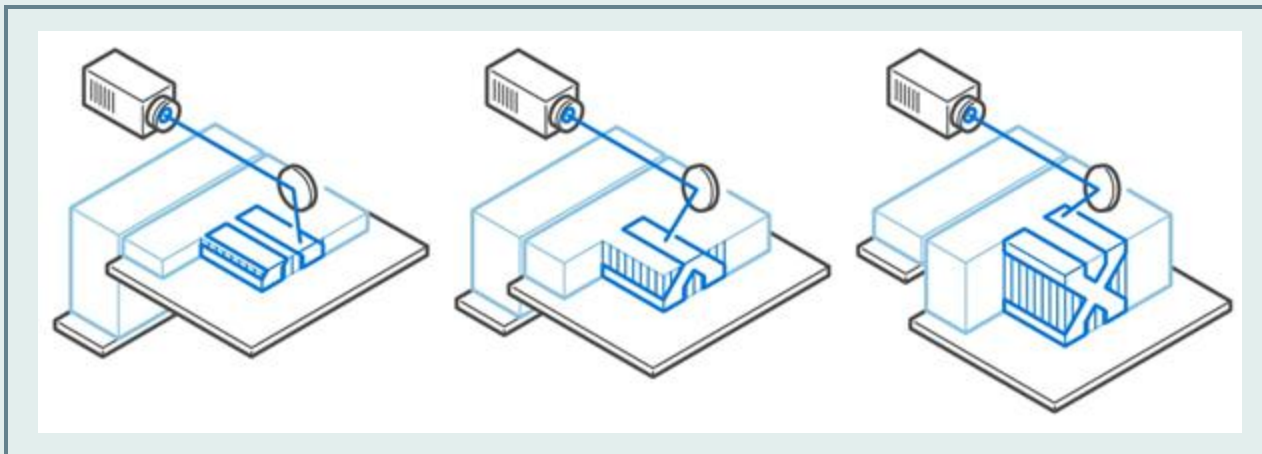
Stereolithography



Ravna ploča (eng. Bed) se pomiče u Z osi za određenu visinu svakim slojem, dok sustav leća pomiče lasersku zraku u zadane točke u XY ravnini. Pod utjecajem UV zračenja, tekući se polimer stvrdnjava.

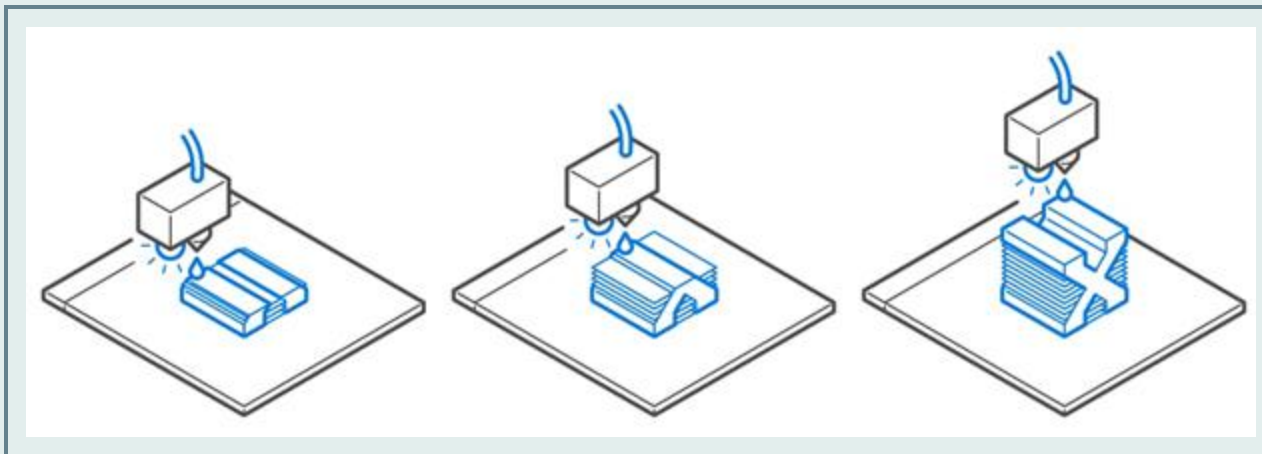
DLP - Z sustav je identičan kao kod SLA, no umjesto lasera se koristi UV svjetlost i jednobojni LCD koji selektivno propušta svjetlost i stvrdnjava tekući polimer. Visoka rezolucija printanih modela te vrlo krta proizvodi.

Selective Laser Sintering



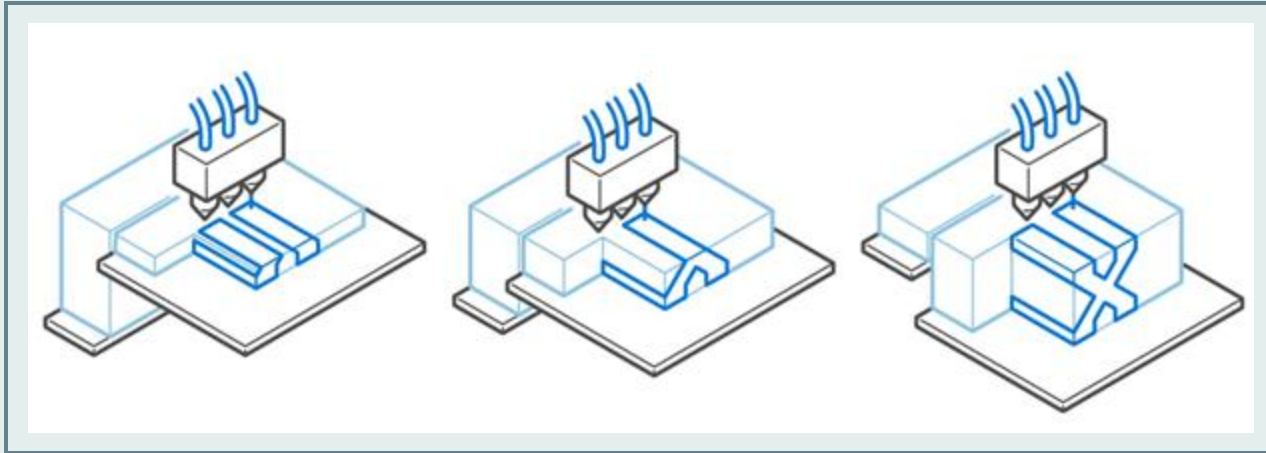
Pisač sadrži dvije posude s materijalom (polimerni ili metalni prah), jedna posuda služi kao rezerva materijala, dok se u drugu valjkom nanosi novi sloj praha iz prve posude. Laser se pomiče sustavom leća u XY ravnini te tali materijal u drugoj posudi. Visoka rezolucija printanih modela i visoka čvrstoća.

PolyJet



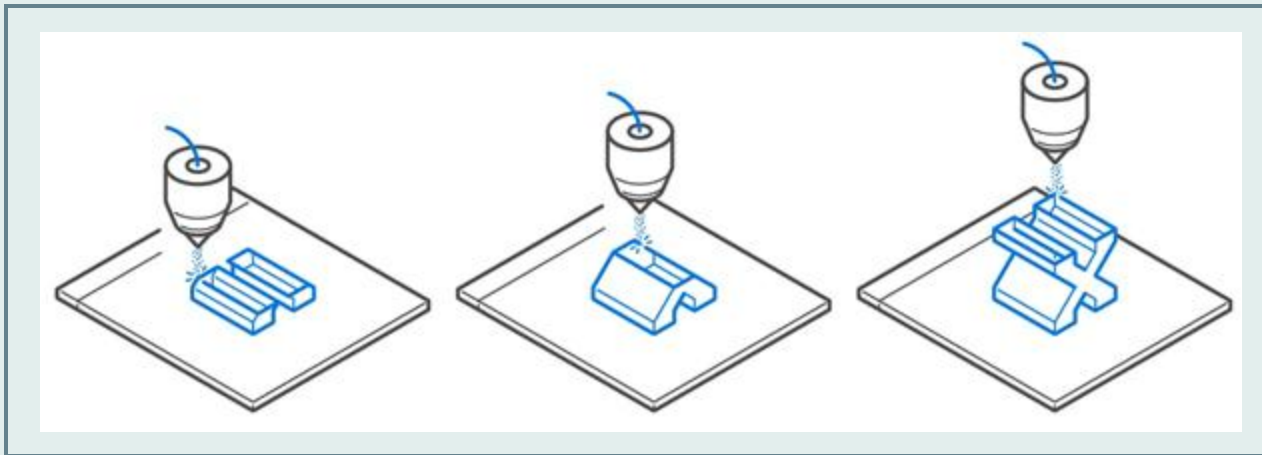
Nalik su standardnim InkJet printerima s dodatkom UV izvora svjetlosti. Glava na sebi ima sapnice koje špricaju UV osjetljiv materijal (polimerna smola kao kod SLA) kao vrlo tanak sloj koji se stvrdnjava pod utjecajem UV svjetlosti. Postoje koordinatne i polarne/radijalne konfiguracije printera. Mogućnost printanja više materijala odjednom, visoka rezolucija.

Binder Jetting



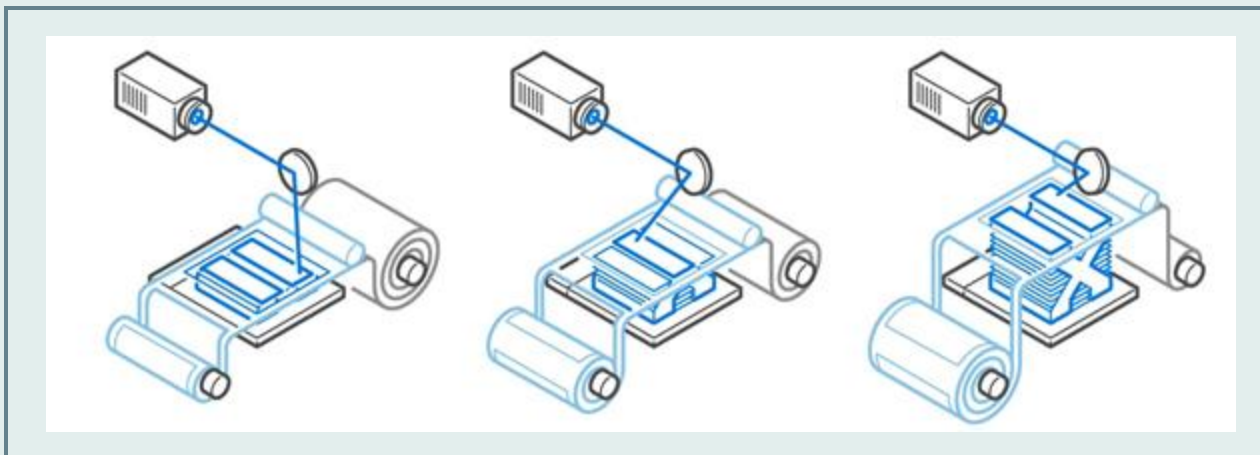
Kombinacija PolyJet i SLS tehnologije. Prah materijala (polimer, metal, keramika, drvo) se nanosi na radnu plohu, a sapnice selektivno nanose vezivni materijal (ljepilo) na prah. Nakon ispisa, višak materijala se uklanja, a sami model se dodatno obrađuje kako bi se uklonilo vezivo. Relativno visoka rezolucija, potrebna dodatna obrada.

Directed Energy Deposition



Tehnologija nalik varenju, material može biti metalna žica ili prah. Električni snop visoke energije otapa material i vari ga na površinu, čime se omogućuje i popravak postojećih proizvoda. Niska rezolucija, visoka čvrstoća te je potrebna dodatna obrada na CNC strojevima.

Laminated Object Manufacturing



Drastična razlika od svih prethodno navedenih tehnologija. Nanosi se tanak sloj materijala (npr. list papira/kartona) te se laserski izrezuje po željenim dimenzijama. Listovi materijala se spajaju pod utjecajem topline ili ultrazvuka. Vrlo brza metoda ispisa, no karakterizira ju niska rezolucija i puno otpadnog materijala.



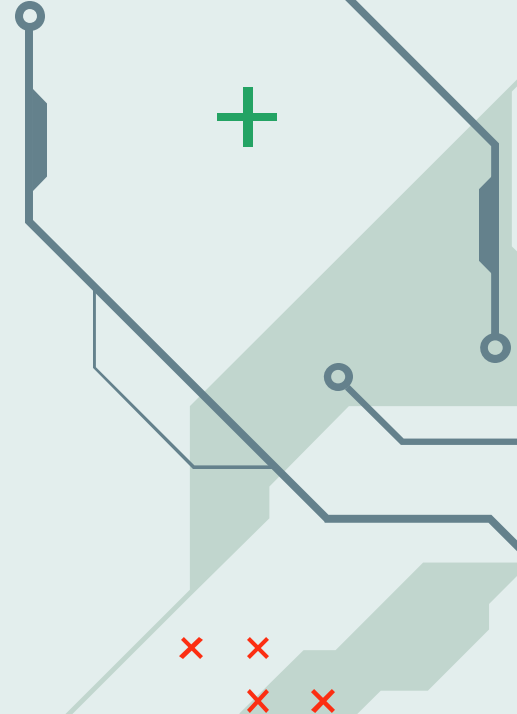
03

Vrste materijala



Vrste materijala

Pregled najkorištenijih vrsta materijala u pojedinim tehnologijama te njihovih karakteristika



Standardni FDM materijali

PLA

PETG

ABS

TPU

1

2

3

4

Jednostavan

Otporan

Tvrd

Fleksibilan

Industrijski FDM materijali

ASA

NYLON

PC

PEEK

5

6

7

8

Analog ABS-
u

Otporan

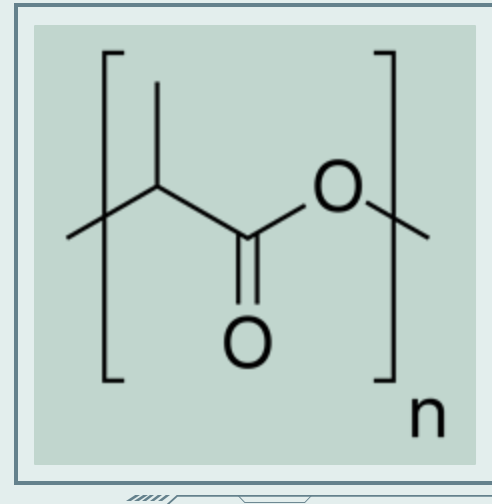
Tvrd

Temperaturn
a otpornost

PLA

- Polilaktična kiselina (eng. Polylactic acid)
 - Termoplastični poliester
 - Dobiva se iz obnovljivih izvora poput škroba (ostaci biljke kukuruza, šećerne trske, itd.)
 - Biorazgradiv - diskutabilno!
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 60^{\circ}\text{C}$
 - Niska temperaturna otpornost
 - Srednja čvrstoća
 - Brzi nefunkcionalni prototipovi
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 180 - 230^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 0 - 50^{\circ}\text{C}$
 - Visoka brzina printanja

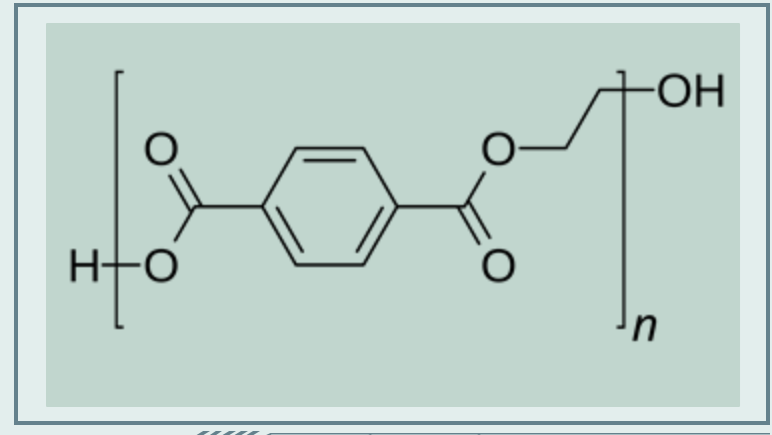
x x
x x



PETG

- Polietilen terftalat glikol
(eng. Polyethylene terephthalate glycol)
 - Najrasprostranjeniji termoplastični polimer
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 85^{\circ}\text{C}$
 - Srednja temperaturna odpornost
 - Odpornost na udarce
 - Blago fleksibilan - žilav
 - Higroskopan - navlači vlagu
 - Prehrambena plastika
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 220 - 255^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 50 - 80^{\circ}\text{C}$
 - Srednja brzina printanja

x x
x x



ABS

- Akrilonitril butadien stiren
(eng. Acrylonitrile butadiene styrene)
 - Termoplastični polimer
 - Otrovan, neugodne pare - kancerogen
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 105^{\circ}\text{C}$
 - Visoka temperaturna otpornost
 - Visoka čvrstoća
 - Higroskopan - navlači vlagu
 - Osjetljiv na UV zračenje (Sunce)
 - Topiv u acetonu
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 230 - 270^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 90 - 120^{\circ}\text{C}$
 - Visoka brzina printanja
 - Osjetljiv na propuh - potrebna komora



TPU

- Termoplastični poliuretan
(eng. Thermoplastic polyurethane)
 - Termoplastični elastomer
 - Više vrsta tvrdoća/fleksibilnosti - Shore ljestvica
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 105^{\circ}\text{C}$ - diskutabilno!
 - Srednja temperaturna otpornost
 - Visoka fleksibilnost ovisno o Shoreu
 - Visoka otpornost na habanje i udarce
 - Vrlo Higroskopian - navlači vlagu
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 200 - 240^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 0 - 60^{\circ}\text{C}$
 - Vrlo niska brzina printanja



x x
x x

ASA

- Akrlonitril stiren akrilat
(eng. Acrylonitrile styrene acrylate)
 - Termoplastični polimer
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 100^{\circ}\text{C}$
 - Visoka temperaturna otpornost
 - Visoka čvrstoća
 - Otporan na UV zračenje
 - Topiv u acetonu
 - Skuplji od ABS-a

- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 230 - 260^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 90 - 120^{\circ}\text{C}$
 - Srednja brzina printanja

x x
x x



Najlon

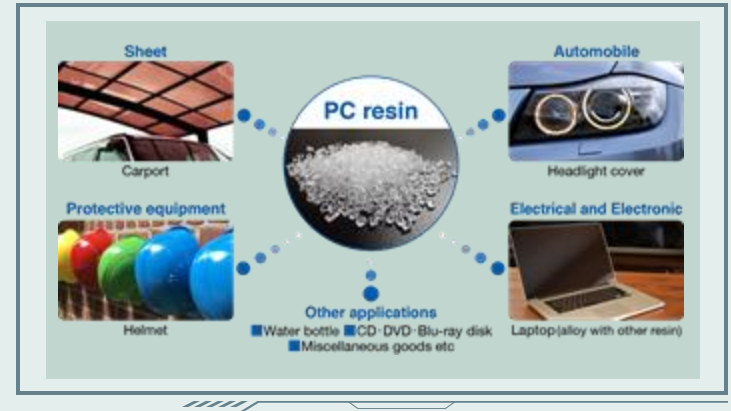
- Najlon 6,6 i najlon 12 najčešći (eng. Nylon)
 - Termoplastični poliamid
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 100\text{-}200^{\circ}\text{C}$ ovisi o vrsti
 - Samopodmaziv
 - Dobar omjer fleksibilnosti i čvrstoće
 - Otporan na UV zračenje
 - Ekstremno osjetljiv na vlagu
 - Mogućnost aniliranja u vodi
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 240 - 260^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 80 - 100^{\circ}\text{C}$
 - Niska brzina printanja



PC

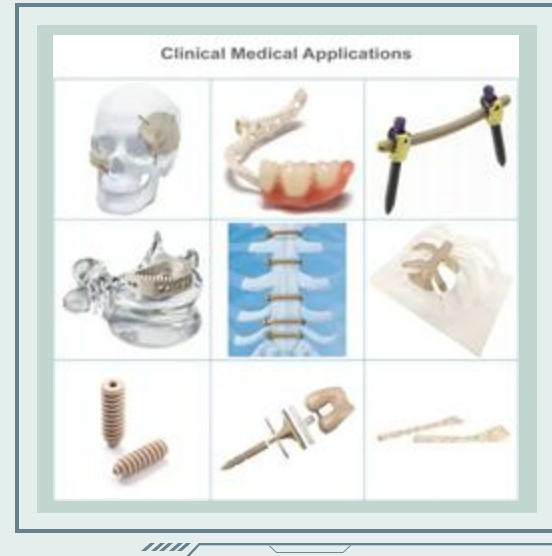
- Polikarbonat
(eng. Polycarbonate, Lexan™)
 - Termoplastični polimer
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 145^{\circ}\text{C}$
 - Temperaturna otpornost
 - Otporan na udarce i čvrst
 - Dobar omjer fleksibilnosti i čvrstoće
 - Vrhunska prozirnost
 - Ekstremno osjetljiv na vlagu
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 280 - 310^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = 110 - 120^{\circ}\text{C}$
 - Niska brzina printanja
 - Potrebna komora

× ×
× ×



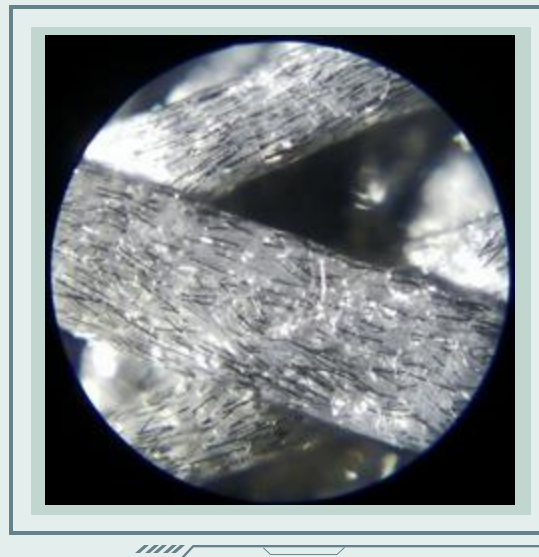
PEEK

- Polieter eter keton
(eng. Polyether ether ketone)
 - Polikristalni termoplastični polimer
 - $T_{\text{omekšavanja}} = \sim 145^{\circ}\text{C}$
 - Isključivo industrijska/medicinska primjena
 - Temperaturna otpornost
 - Otporan na udarce i čvrst
 - Otporan na kemikalije i otapala
- Postavke:
 - $T_{\text{print}} = 370 - 420^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{bed}} = >120^{\circ}\text{C}$
 - Niska brzina printanja
 - Potrebna grijana komora



Materijali s karbonskim i staklenim vlaknima

- Većina prethodno navedenih materijala se može naći u verzijama s integriranim ugljičnim ili staklenim vlaknima (PLA-CF, PLA-GF, ABS-CF, PA12-CF, PC-CF,...)
- Neznatno povećavaju temperaturnu otpornost
- Znatno povećavaju čvrstoću i dimenzionalna odstupanja
- Smanjuju masu krajnjeg predmeta
- Oprez zbog utjecaja sitnih čestica na dišni sustav
- Potrebno je koristiti sapnice/nozle od kaljenog čelika zbog abrazivnosti (jako troše mjedene nozle)
- Mogućnost začepljenja sapnice zbog čestica



Materijali s karbonskim i staklenim vlaknima



x x
x x



Polimerne smole

Smole široke
primjene

1

Brzi prototipovi
Prozirni modeli

Industrijske
smole

2

Kućišta
Konektori
Robotika
Fleksibilni modeli
Auto i
avioindustrija

Dentalne
smole

3

Dentalni modeli
Kalupi za
ljevanje

Medicinske
smole

4

Medicinski
modeli
Implantati

SLS prah

PA 12/ PA 11



Brzi prototipovi
Serijska
proizvodnja

PA-CF



Kućišta
Konektori
Robotika
Auto i
avioindustrija

TPU



Fleksibilni
modeli

Prah za
lijevanje



Kalupi za
lijevanje



04

Ponavljanje



1. Koje su ključne razlike između FDM i SLA tehnologije?
2. Koje tehnologije koriste UV svjetlost za polimerizaciju materijala?
3. Koji FDM materijal je biorazgradiv te se dobiva iz kukuruznog škroba?
4. Koja tehnologija ne zahtijeva potporne strukture prilikom printanja? Zašto?
5. Koje tehnologije imaju mogućnost printanja više materijala u isto vrijeme?



Hvala!

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