

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

# 04-A1 – Gradiva za usposabljanje, primerna za delavnice

**Informacije o izbranih tehnologijah 3D tiska**



ERASMUS3D+

Za uvajanje 3D tiska v centre za poklicno izobraževanje in usposabljanje.

Številka pogodbe:

2017-1-DE02-KA202-004159

*To delo je licencirano v okviru*

Creative Commons Attribution 4.0 International License



"Podpora Evropske komisije za pripravo te publikacije ne pomeni potrditve vsebine, ki odraža samo stališča avtorja in Komisija ni odgovorna za kakršno koli uporabo informacij, ki jih vsebuje."



E3D+VET

ERASMUS+  
3D PRINTING  
VET CENTRES

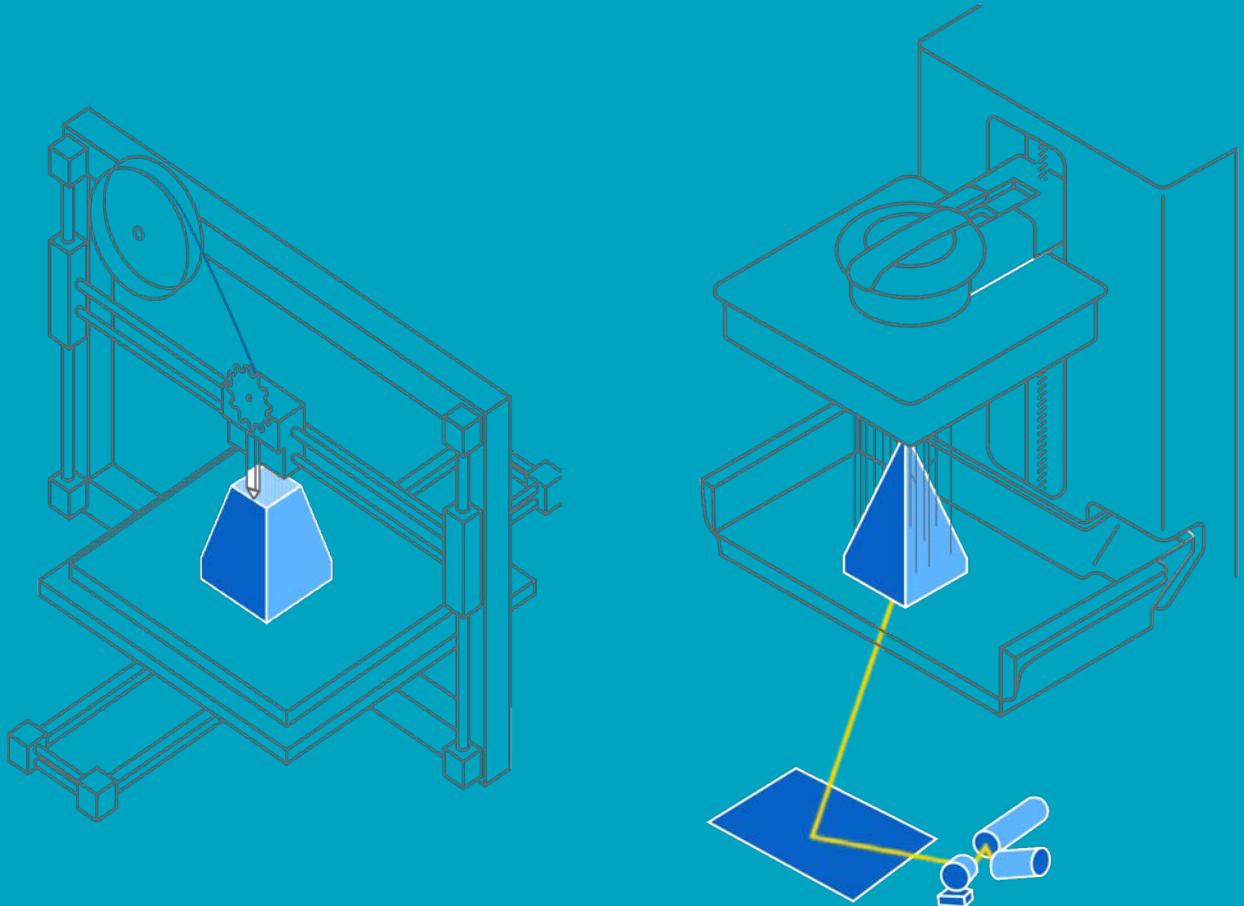


Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

## Uvod

Top 3 tehnologije:

- Fused Deposition Modeling (**FDM**),
- Selective Laser Sintering (**SLS**),
- Stereolithography (**SLA**).

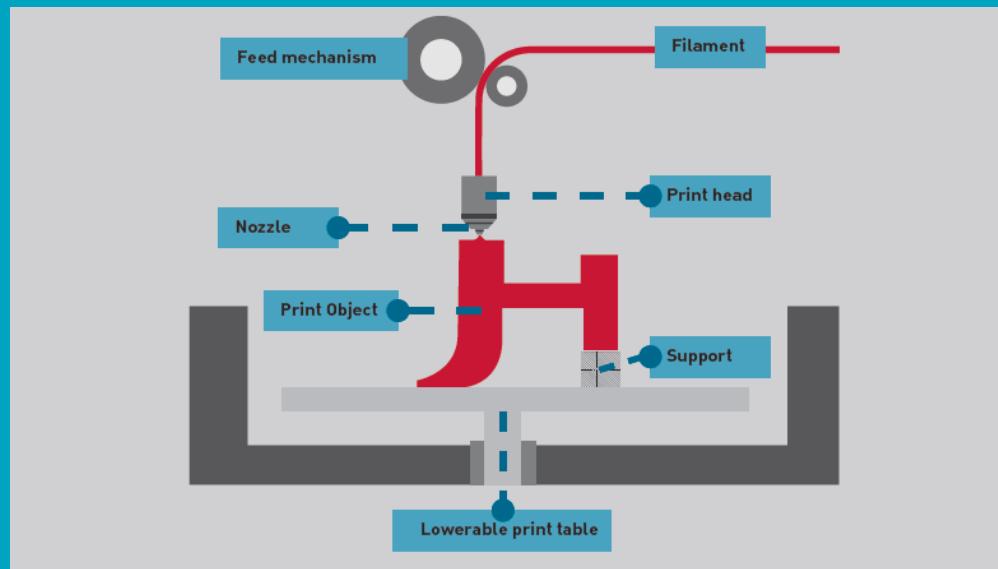


*3D tiskalniki FDM iztisnejo stopljene termoplastične mase na gradbeno površino, da se kosi izdelajo sloj po sloj.*

*3D tiskalniki SLA uporabljajo precizen laser za strjevanje smole z visoko natančnostjo.*

# Fused Deposition Modeling – FDM (Modeliranje talilnih nanosov)

FDM je najpogosteje uporabljena tehnologija 3D tiskanja na ravni potrošnikov. Deluje z ekstrudiranjem termoplastičnega polimera, ki se napaja skozi segret nastavek, ki se sloj za slojem odlaga na ploščad in ustvarja 3D tiskani predmet.



Slika 1: Tiskalni proces FDM. [1]

Tiskalnik nenehno premika nastavek v krogih, odlaga stopljeni material na točno določeno mesto, kjer se takoj ohladi in strdi. Ko je sloj končan, dvigne nastavek na naslednjega, dokler kos ni končan.

3D model mora biti "razrezan" na sloje, preden je lahko natisnjen.

# Katere materiale lahko uporabite s FDM?

- **ABS** (akrilonitril butadien stiren),
- **PLA** (polaktična kislina) in
- **PETG** (spremenjen polietilen tereftalat glikol)
- **TPU** (termoplastični poliuretan)
- **PA** ali najlon (poliamid)
- **PEEK** (keton polieter eter)
- **PEI** (polieterimid)



Slika 2: FDM niti. [2]

Tehnologija, ki stoji za temi nitkami, se pogosto imenuje "Fused Filament Fabrication" (izdelava taljenih filamentov - FFF).

Najbolj uporabljeni materiali so ABS in PLA. Razvite so bile tudi nove posebne vrste filamentov. Nekaj takšnih primerov so nitke, ki se svetijo v temi, kovinske, lesene ali prožne nitke.

# Fused Deposition Modeling (FDM)

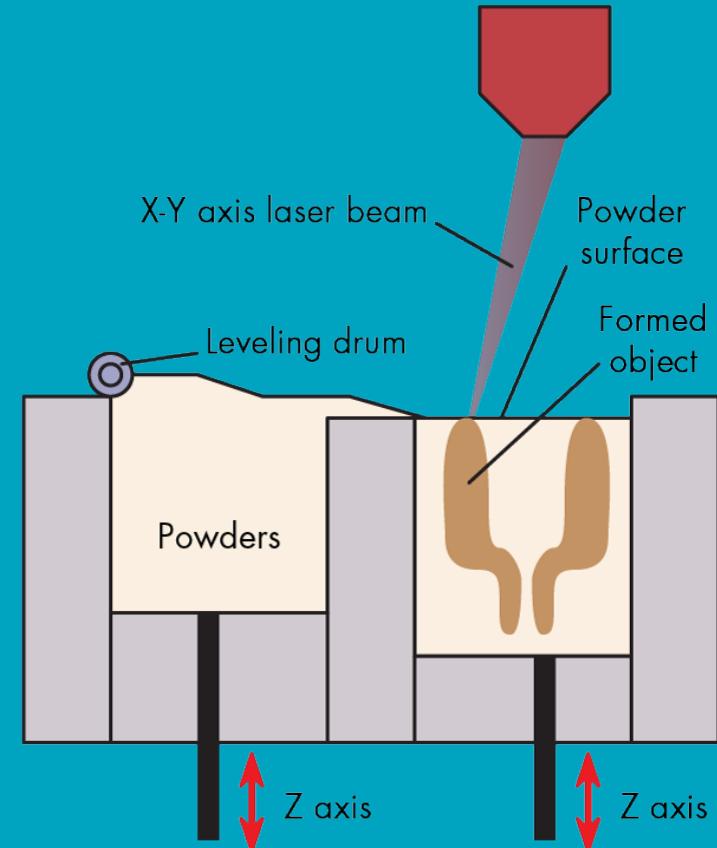
PREDNOSTI	SLABOSTI
FDM tiskalne naprave so med najbolj cenovno ugodnimi.	3D tiski ne dosegajo enake stopnje točnosti in kvalitete kot drugi izdelki, ki so proizvedeni z uporabo stereolitografije (SLA).
FDM je zelo čista tehnologija, je preprosta za uporabo in prijazna pisarnam.	V nasprotju s SLA ima FDM tudi večjo zapletenost.
FDM lahko proizvede kompleksna geometrijska telesa in <u>votline</u> .	FDM je, da je v primerjavi s stereolitografijo (SLA) in selektivnim laserskim sintranjem (SLS) na splošno počasnejši

# Selective Laser Sintering (SLS)

SLS je tehnika, ki uporablja laser kot vir energije za oblikovanje trdnih 3D predmetov. Komora je napolnjena z materialom v prahu in laser zlije vsak sloj v ustvarjeno obliko, ki jo določa 3D model.

Za razliko od SLA in FDM selektivno lasersko sintranje ne potrebuje uporabe podpornih struktur, saj prah sam služi kot podpora. Ko je tiskanje končano, se odvečni prah odstrani.

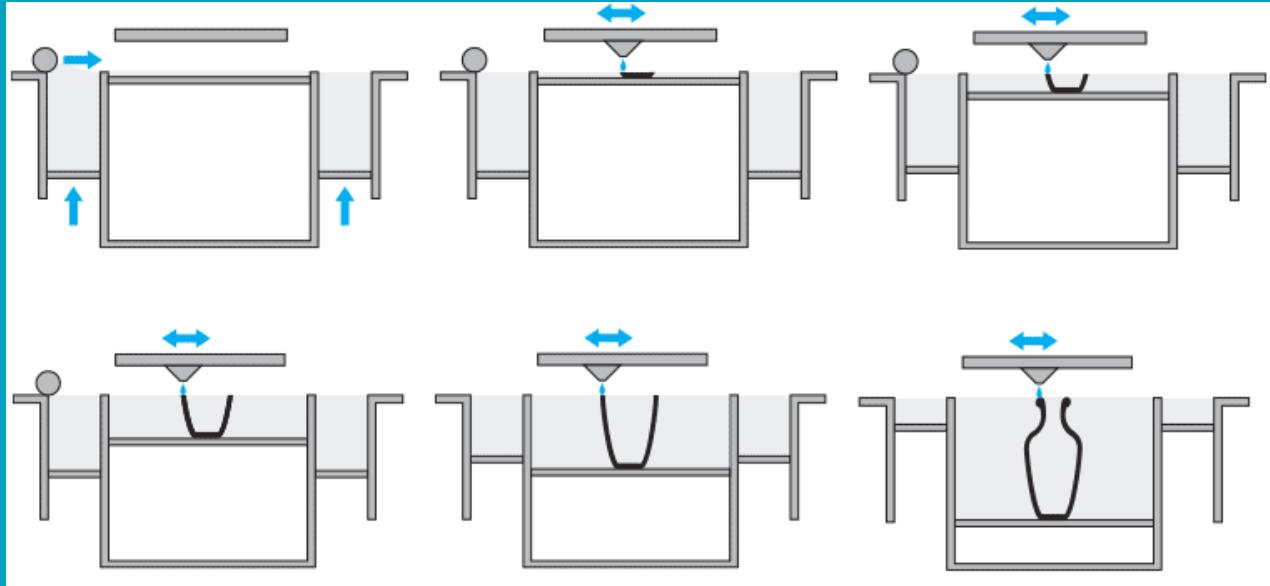
Glavna razlika s SLA je ta, da SLS na gradbeni površini uporablja material v prahu namesto tekoče smole.



Slika 3: Tehnologija SLS. [3]

# Postopek SLS

1. Notranjost tiskalnika je segreta do tališča uporabljenega prahu.
2. Tiskalnik nato razširi neverjetno tanek sloj tega prahu.
3. Laserski žarek segreva področja, ki jih je treba sintrati tik nad tališčem. Kosi, ki se jih je dotaknil laser, so zdaj spojeni, ostali pa ostajajo nevezan prah.
4. Os Z se spušča in se ponavlja od (2) do konca kosa.



Slika 4: Postopek SLS. [4]

# Katere materiale lahko uporabite s SLS?

- **plastični:** poliamidi (PA), polistireni (PS), termoplastični elastometri (TPE), ipd.
- **kovinski:** aluminij, srebro, jeklo
- **keramika**
- **steklo**



Slika 5: Silhueta čevlja, ustvarjena s SLS. [5]

Kovinski materiali se v SLS ne uporabljajo pogosto od razvoja Selective Laser Melting (SLM). Najbolj uporabljen je najlon (poliamidi).

# Selective Laser Sintering (SLS)

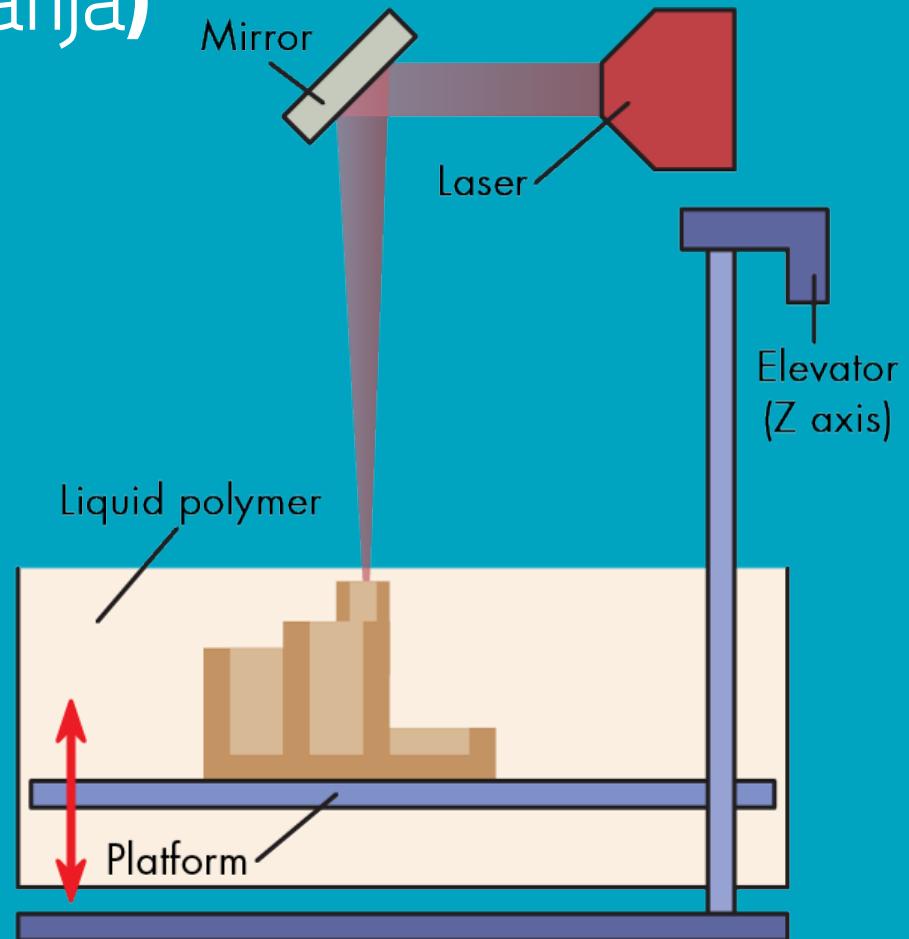
PREDNOSTI	SLABOSTI
Brez uporabe podpornih struktur.	SLS tiski imajo določeno poroznost površine, zato je potrebna naknadna obdelava.
Zmanjšane stroški materialov.	
Lahko prenese veliko kompleksnost geometrijskih teles in visoko natančnost.	
Najhitrejši postopek izdelave aditivov za tiskanje funkcionalnih, trajnih prototipov in kosov končnega uporabnika.	

# Stereolithography – SLA (stereolitografija)

Stereolitografija (SLA) je postopek fotopolimerizacije, ki gradi posamezne sloje modela s tekočim polimerom (smolo). Obstajati dve vrsti SLA tiskalnikov:

- **SLA tiskalniki od zgoraj navzdol:** laser je nameščen nad rezervoarjem za smolo.
- **Spodaj navzgor SLA tiskalniki:** laser je postavljen pod rezervoar.

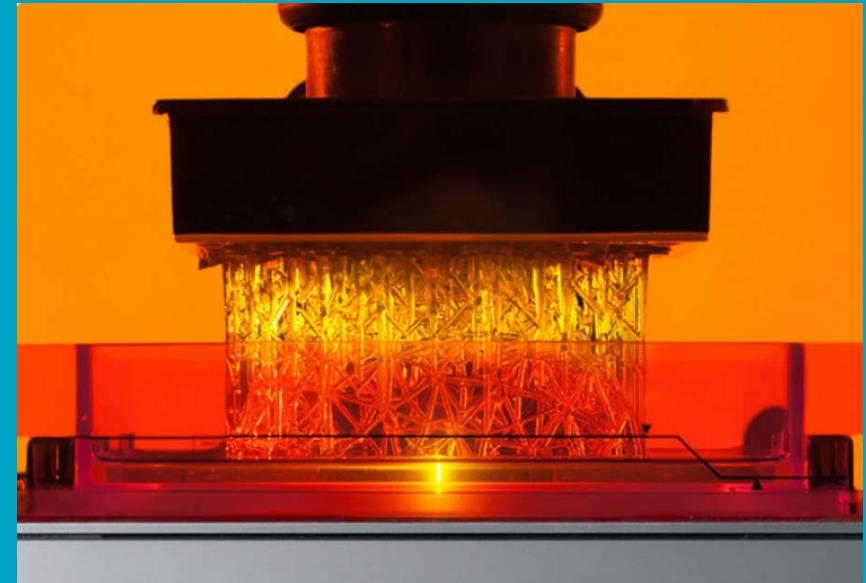
SLA proizvaja popolnoma goste izotropne dele, ki so vodo- in zrakotesni, kar je idealno za inženiring in proizvodne namene, kjer so lastnosti materiala pomembne.



Slika 6: Tehnologija SLA. [3]

# Postopek SLA

1. Gradbena površina je postavljena en sloj stran od površine smole.
2. UV laser ustvari sloj s selektivnim utrjevanjem oblike, ki jo določa 3D model.
3. Ko je sloj končan, se ploščad premakne in oblikuje se naslednji sloj.
4. Ko je tiskanje končano, je treba del izprati v izopropil alkoholu (IPA), nekateri materiali pa zahtevajo postopek naknadnega strjevanja.



Slika 7: Postopek strjevanja v SLA 3D tiskalniku. [6]

# Katere materiale lahko uporabite s SLA?

Obstajajo različni materiali SLA, ki prihaja v obliki tekočih smol:

- **standardna smola**,
  - **prozorna smola**: prosojna,
  - **ulivna smola**: uporabljena za kalupe,
  - **siva smola (prime gray)**: zelo gladek zaključek,
  - **zobna smola**: za vsadke,
  - **visokotemperurna smola** : odporna do 238 °C



*Slika 8: SLA 3D tiskalniki ponujajo različne materiale za za inženiring in proizvodne zahteve. [2]*

# Stereolithography (SLA)

PREDNOSTI	SLABOSTI
Visoka ločljivost 3D tiskov.	Fotopolimerni materiali so lahko zelo dragi.
Omogoča tiskanje predmetov z zelo zapleteno geometrijo.	Tekoče smole so na splošno dražilne in strupene.
Razumna časovna dolžina.	Za tiskanje je običajno potrebno čiščenje, pogosto je potrebna naknadna obdelava.
	Zahteva podporne strukture.

## Potek dela za 3D tiskanje SLA je sestavljen iz treh korakov:

- 1. Oblikovanje:** Za oblikovanje modela potrebuje programska oprema CAD ali 3D skeniranje, ki jih izvozi v obliki datoteke za 3D tiskanje (STL ali OBJ). 3D tiskalniki nato zahtevajo programsko opremo za določitev nastavitev tiskanja in rezanje digitalnega modela v sloji za tiskanje.
- 2. 3D tiskanje:** lahko traja od nekaj minut do dni, odvisno od velikosti modela, uporabljeni tehnologije in določenih nastavitev kakovosti.
- 3. Naknadna obdelava:** Glede na uporabljeno tehnologijo se lahko opravi nekaj naknadne obdelave, na primer odstranjevanje podpornih struktur ali barvanje delov.

# Tipični materiali različnih 3D tehnologij

Technology	AM process	Typical materials	Advantages	Disadvantages
<b>Stereolithography</b>	Vat polymerization	Liquid photopolymer, composites	Complex geometries; detailed parts; smooth finish	Post-curing required; requires support structures
<b>Digital light processing</b>	Vat polymerization	Liquid photopolymer	Allows concurrent production; complex shapes and sizes; high precision	Limited product thickness; limited range of materials
<b>Multi-jet modeling (MJM)</b>	Material jetting	Photopolymers, wax	Good accuracy and surface finish; may use multiple materials (also with color); hands-free removal of support material	Range of wax-like materials is limited; relatively slow build process
<b>Fused deposition modeling</b>	Material extrusion	Thermoplastics	Strong parts; complex geometries	Poorer surface finish and slower build times than SLA
<b>Electron beam melting</b>	Powder bed fusion	Titanium powder, cobalt chrome	Speed; less distortion of parts; less material wastage	Needs finishing; difficult to clean the machine; caution required when dealing with X-rays
<b>Selective laser sintering</b>	Powder bed fusion	Paper, plastic, metal, glass, ceramic, composites	Requires no support structures; high heat and chemical resistant; high speed	Accuracy limited to powder particle size; rough surface finish
<b>Selective heat sintering</b>	Powder bed fusion	Thermoplastic powder	Lower cost than SLS; complex geometries; no support structures required; quick turnaround	New technology with limited track record
<b>Direct metal laser sintering</b>	Powder bed fusion	Stainless steel, cobalt chrome, nickel alloy	Dense components; intricate geometries	Needs finishing; not suitable for large parts
<b>Powder bed and inkjet head printing</b>	Binder jetting	Ceramic powders, metal laminates, acrylic, sand, composites	Full-color models; inexpensive; fast to build	Limited accuracy; poor surface finish
<b>Plaster-based 3D printing</b>	Binder jetting	Bonded plaster, plaster composites	Lower price; enables color printing; high speed; excess powder can be reused	Limited choice of materials; fragile parts
<b>Laminated object manufacturing</b>	Sheet lamination	Paper, plastic, metal laminates, ceramics, composites	Relatively less expensive; no toxic materials; quick to make big parts	Less accurate; non-homogenous parts

# Tehnologije in matrika materialov

Technology	Polymers	Metals	Ceramics	Composites
Stereolithography	●			●
Digital light processing	●			
Multi-jet modeling (MJM)	●			●
Fused deposition modeling	●			
Electron beam melting		●		
Selective laser sintering	●	●	●	●
Selective heat sintering	●			
Direct metal laser sintering		●		
Powder bed and inkjet head printing <sup>13</sup>	●	●	●	●
Plaster-based 3D printing			●	●
Laminated object manufacturing <sup>14</sup>	●	●	●	●
Ultrasonic consolidation		●		
Laser metal deposition		●		●

# Primerjava tehnologij 3D tiska

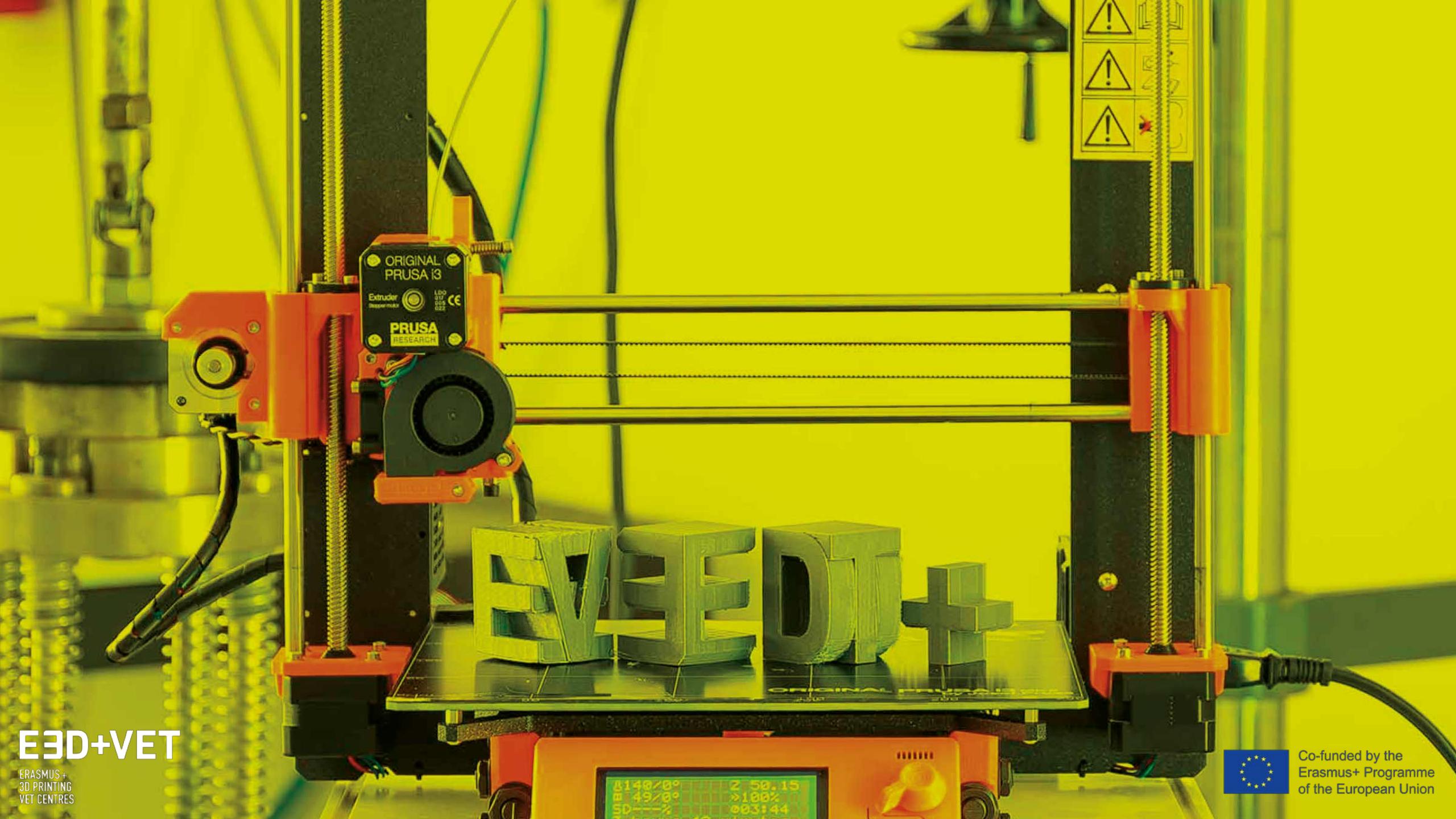
TECHNOLOGIES	Process	Materials used	Complexity	Speed	Max Part Size (cm)	Accuracy	Surface Finish	Strengths	Weaknesses	Pricing	Application Area	Application Examples
Fused Deposition Modeling (FDM)	Layers of melted plastic	ABS Filaments, Polycarbonate, Resin, Nylon	••••	Fair	30x30x50	Fair	Fair	Durable; ideal for conceptual models	Low resolution	€€	Aerospace, automotive, industrial, medical	Wind turbines, aircraft components
Selective Laser Sintering (SLS)	Plastic powder melted by laser	Paper, plastic, metal, glass, ceramic, composites	•••	Fast	34x34x60	Good	Fair	Resistant, durable, flexible	Needs post-processing	€€	Automotive, consumer products, aerospace	Small production batches and prototypes
Stereolithography (SLA)	Polymerization scanned by UV laser	Liquid photopolymer, composites	•••	Fast	30x30x50	Very good	Very good	High res; complex geometries	Only photopolymer materials	€€€	Aerospace, automotive, consumer goods	Medical models of anatomic human parts
Photopolymer Jetting (POLYJET)	Inkjet method with liquid photopolymers	Metals, plastic, wax	•••	Fast	39x31x19	Very good	Good	More materials at the same time	Only photopolymer materials; not durable	€€€	Medical devices, multimaterial prototypes	Medical stethoscopes
Selective Laser Melting (SLM)	Metal powder melted by laser	Metals: copper, aluminium, tungsten etc.	••	Fair	28x28x36	Fair	Fair	Manufactures high density parts	Price; needs post-processing	€€	Dental products, mechanical components	Lightweight components for aircraft
Electron Beam Melting (EBM)	Melted powder selected by electron beam	Metals: cobalt, chrome, nickel	•••	Fast	20x20x20	Fair	Poor	Less thermal stress	Limited set of metals	€€€	Dental, medical implants, automotive	Bone tissue medical models
Electron Binder Jetting (BJ)	Powder distributed by jetting machine	Ceramic, metals, plastic, sand, composite	•	Fast	40x20x10	Fair	Fair	No support structure; multicolour prints	Fragile with limited mechanical properties	€	Architecture, mechanical structures	Pots and general home furniture
Continuous Fibre Fabrication (CFF)	Double nozzle laying/melting method	Plastic, carbon composites, nylon	••••	Fair	32x43x16	Fair	Fair	Robust parts, no post-process needed	Limited fibre placement	€€€	Aerospace	Lightweight components
Material Jetting (MJ)	Inkjet method with wax materials	Wax	••	Slow	30x18x20	Very good	Good	High resolution	Limited wax-like materials; requires support structure	€€	Prototypes for form, fit testing; Casting patterns	Lost Wax Casting in Jewellery and Medical fields

# Viri

- [1] I. Materialise: The most important 3D Printing Technologies & Materials You Need to Know. 2017. Vir: <https://i.materialise.com/blog/3d-printing-technologies-and-materials/>
- [2] Formlabs White Paper FDM vs. SLA. 2019. Vir: <https://3d.formlabs.com/rs/060-UIG-504/images/FDM%20vs%20SLA.pdf>
- [3] What's the Difference Between Stereolithography and Selective Laser Sintering?. 2015. Vir: <http://www.machinedesign.com/3d-printing/what-s-difference-between-stereolithography-and-selective-laser-sintering>
- [4] How Does Powder-Based 3D Printing Work?. 2016. Vir: <https://imaterialise.helpjuice.com/design-printing/powder-based-3d-printing>
- [5] 3.5 Rapid prototyping – Selective laser sintering (SLS). 2015. Vir: <http://ibdesigntech.com/3-5-rapid-prototyping-selective-laser-sintering-sls-5/>
- [6] Formlabs White Paper: 3D Printing with Desktop Stereolithography. 2015.

# E3D+VET

ERASMUS+  
3D PRINTING  
VET CENTRES



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union