

DEJAVNIKI KAKOVOSTI V TISKU

3D-TISK

DODAJALNE TEHNOLOGIJE

Deja Muck

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

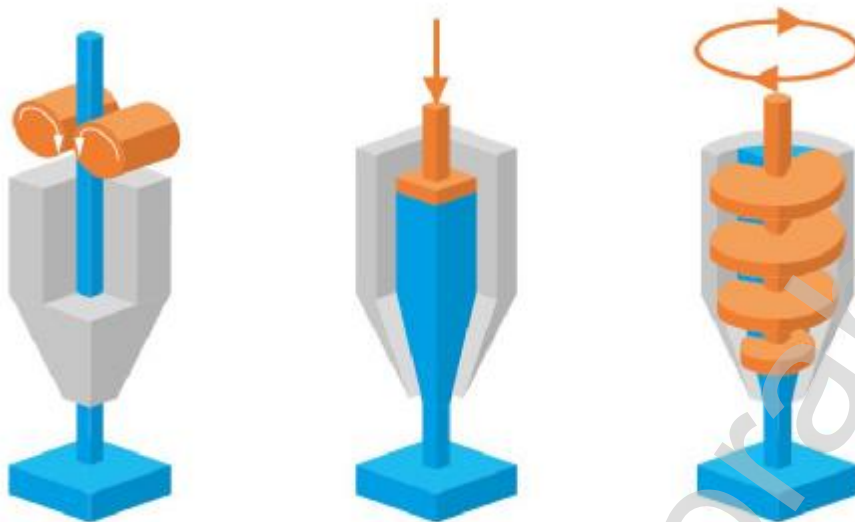
EKSTRUDIRANJE MATERIALOV

3

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

4

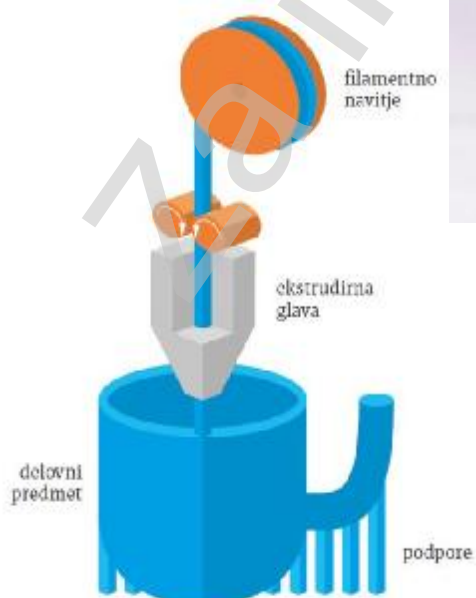
EKSTRUDIRANJE MATERIALOV



- 1 ekstrudiranje termoplastov ...
- 2 ekstrudiranje živil in biokemijskih substanc ...
- 3 ekstrudiranje termoplastov z granulatno ali praškasto obliko osnovnega materiala, ekstrudiranje betona ...

5

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV



q št. ekstrudirnih glav

Izdelava:

- q konceptualni prototipi
- q funkcionalni prototipi
- q izdelava kalupov
- q končni izdelki (DDM)

6

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV

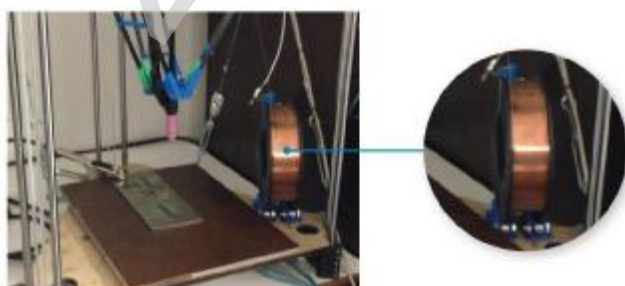


7

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / KOMPOZITNIH TERMOPLASTOV, ZLITIN



Filament z dodanimi vlakni lesa (levo), delci keramike (desno).



Ekstrudiranje titanove zlitine – WAAM (FDMm).

8

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / KOVIN, KERAMIKE, GLINE

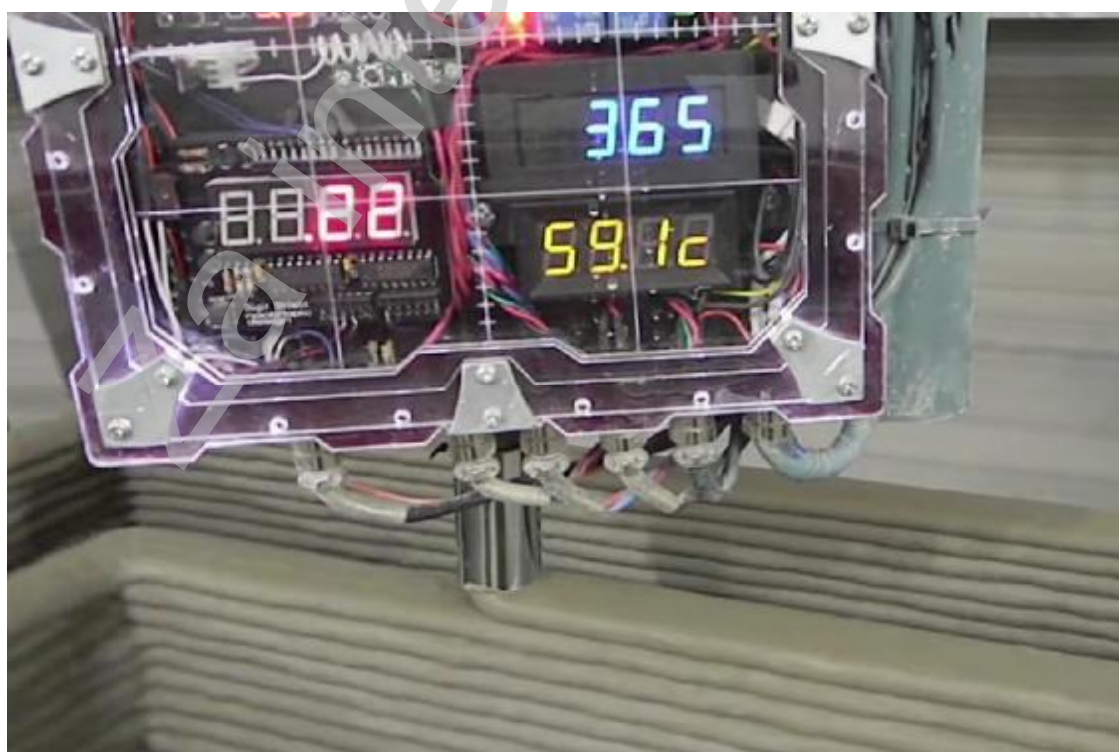
q večstopenjski proces (praškast material + vezivo (PP, vosek)) > 60:40); ekstrudiranje, T obdelava. FDC, FDM



q ekstrudiranje gline

9

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / BETONA



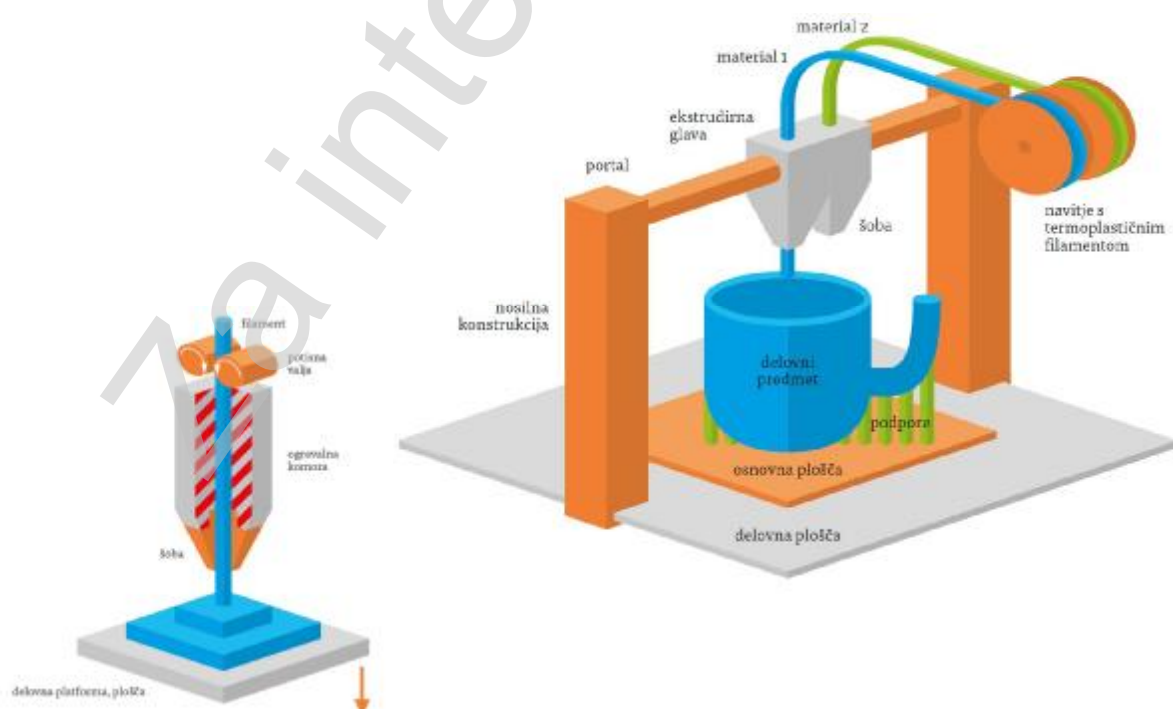
10

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / ŽIVIL



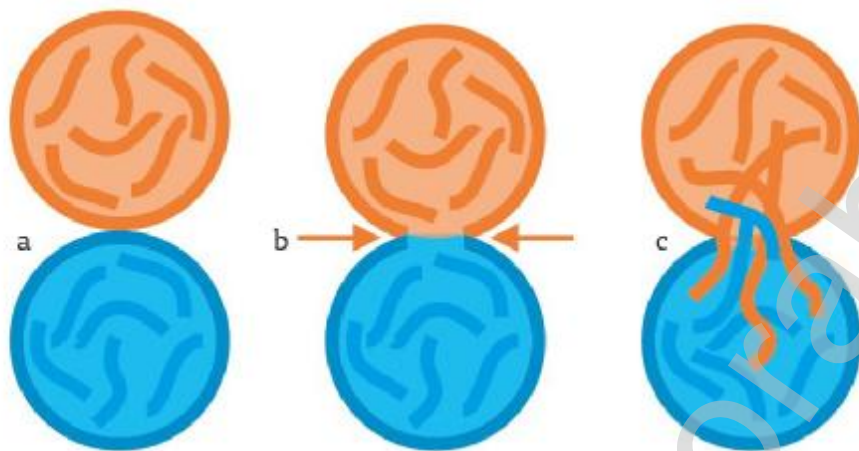
11

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV



12

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV



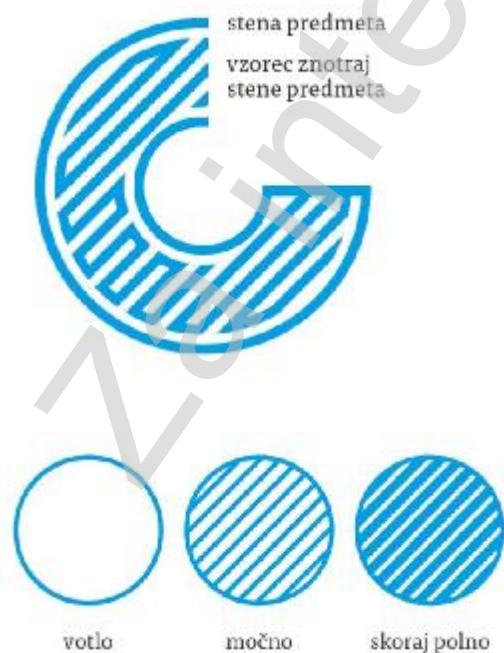
Stopenjski proces povezovanja deponiranih filamentov:

- q a - vzpostavitev površinskega kontakta
- q b - vrtni prehod
- q c - randomizacija



13

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV



- q gostota zapolnitve (print strength), levo
- q vzorec zapolnitve (print pattern), desno



14

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV

Podporne strukture

- q fizično lomljenje, ročno ali s kleščami > odstranjevanje podpor iz trdnejših termoplastov (npr. ABS). BASS (break away support system);
- q topljenje podpor v vodni raztopini NaOH v UZ kopeli > odstranjevanje »topljivih« termoplastov (npr. PLA). WWSS (waterwork (soluble) support system).



15

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV

Naknadna obdelava

- q **Peskanje** s polimernim medijem (bead blasting) > visoka gladkost. Uporaba recikliranega materiala > plastic blast media (PBM) z različno stopnjo abrazivnosti.
- q **Lepljenje** (bonding and gluing) uporabimo, kadar izdelujemo velike predmete, (epoksi ali cianoakrilatna lepila) ali topila, ki kemično topijo spojne površine. Uporaba tudi > varjenja z vročim zrakom ali UZ.
- q **Galvanizacija** (electroplating) > nanos kovinskega sloja (npr. Cr, Ni, Cu, Ag, Au) > poveča trdnost in odpornost proti obrabi in izboljšanje mehanskih lastnosti.
- q **Barvanje** (painting) > čiščenje površine (razmastitev), (nanos primerjev > zaznava artefaktov), barvanje / lakiranje.

16

EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV

Prednosti

- q izdelava konceptualnih, funkcionalnih prototipov in končnih izdelkov
- q različna gostota zapolnitve predmeta
- q širok nabor materialov
- q preprosto odstranjevanje podpornega materiala
- q preprosta naknadna obdelava
- q preprosto vzdrževanje naprave

Slabosti

- q natančnost izdelave
- q opazni (stopničasti) prehodi
- q krožni presek filameta > problem kotnih struktur
- q omejena hitrost
- q parcialno krčenje > hitro segrevanje, ohlajanje



EKSTRUDIRANJE MATERIALOV / TERMOPLASTOV

Materiali

Lastnosti	ABS	ABSi	ABSplus	ABS/PC
natezna trdnost (MPa)	22	37	36	34,8
natezni modul (MPa)	1,627	1,915	2,265	1,827
raztezek (%)	6	3,1	4	4,3
upogibna trdnost (MPa)	41	61	52	50
upogibni modul (MPa)	1,834	1,820	2,198	1,863
IZOD udarna žilavost (J/m ²)	106,78	101,4	96	123
toplotna deformacija pri 66 psi (°C)	90	87	96	110
toplotna deformacija pri 264 psi (°C)	76	73	82	96
specifična teža	1,05	1,08	1,04	1,20



...

PROCES FOTOPOLIMERIZACIJE

19

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizatov <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

20

PROCES FOTOPOLIMERIZACIJE

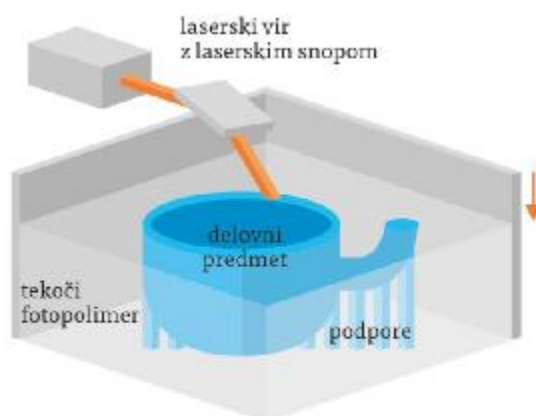
Tehnologije, ki temeljijo na procesu fotopolimerizacije

- fotopolimerizacija v kadi (Vat Photopolymerization)
 - § stereolitografija (SLA)
 - § projekcijska tehnologija (DLP)
 - § dvofotonska fotopolimerizacija (2PP)
- kapljično nanašanje ali brizganje materiala (Material Jetting)

21

PROCES FOTOPOLIMERIZACIJE

Stereolitografija (SLA)



22

PROCES FOTOPOLIMERIZACIJE

Projekcijska tehnologija (DLP)

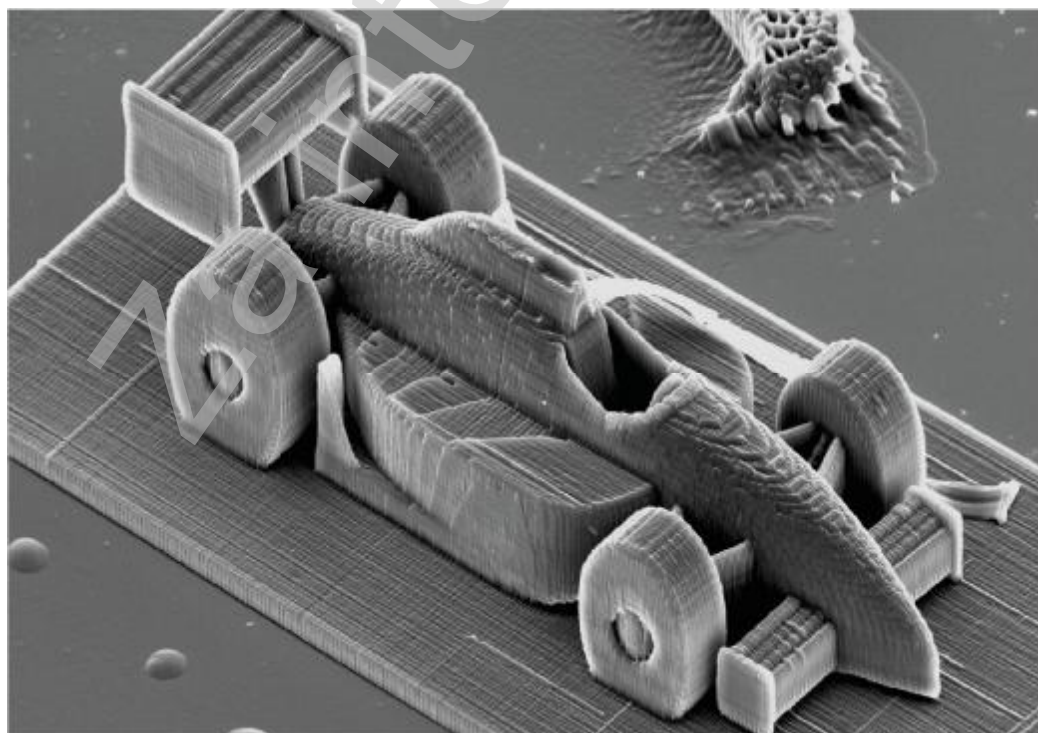


3Way > tehnologija DLP uporablja za tiskanje predmetov z visoko natančnostjo in s hitrostjo tiska 30 min/cm

23

PROCES FOTOPOLIMERIZACIJE

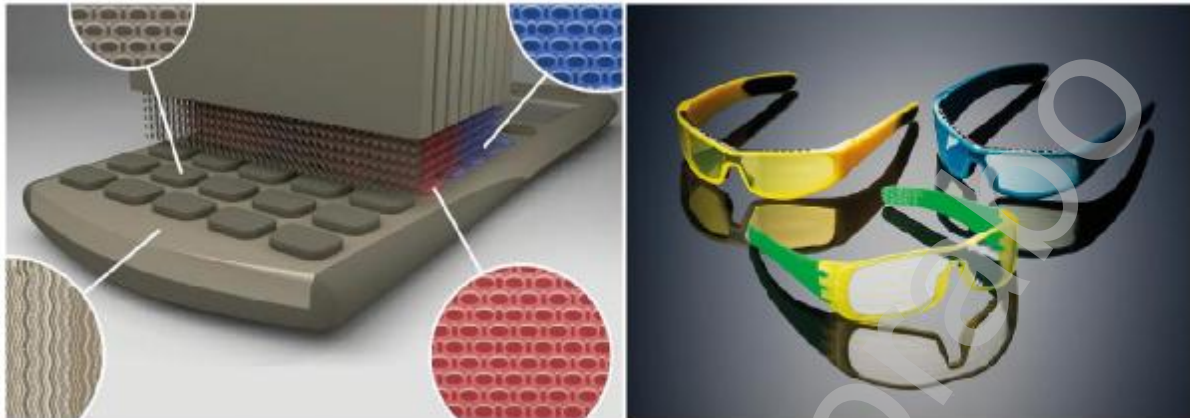
Dvofotonska fotopolimerizacija (2PP)



24

PROCES FOTOPOLIMERIZACIJE

Kapljično nanašanje ali brizganje materiala (Material Jetting)



- q delovanje tehnologije PolyJet
- q očala natisnjena s tiskalnikom Objet 260 Connex3

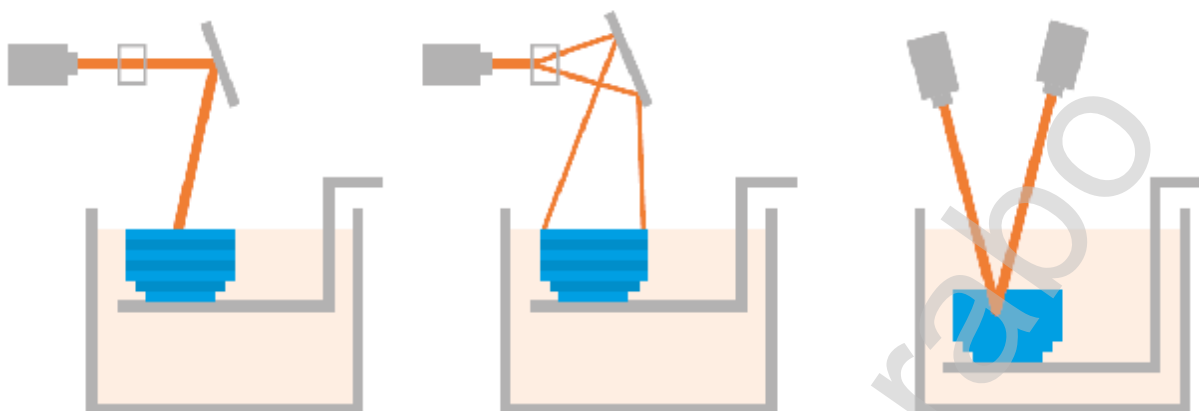


25

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

26

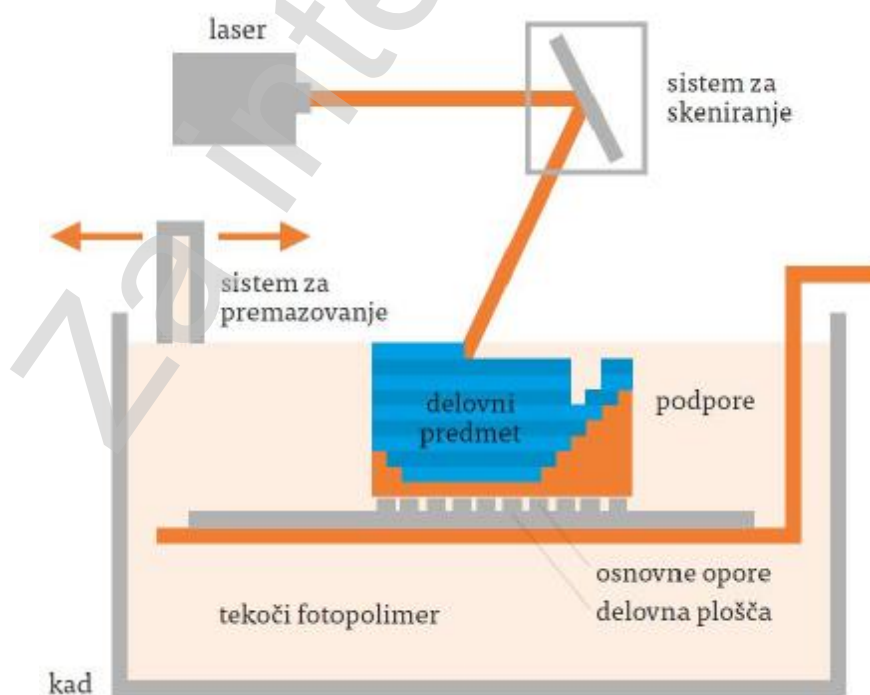
FOTOPOLIMERIZACIJA V KADI



- q vektorsko skeniranje (levo)
- q projekcija z uporabo maske (sredina)
- q dvofotonski način (desno)

27

FOTOPOLIMERIZACIJA V KADI STEREOLITOGRAFIJA - SLA



28

FOTOPOLIMERIZACIJA V KADI STEREOLITOGRAFIJA - SLA

Oporne in podporne strukture



- q perforirana delovna plošča oziroma platforma
- q oporne in podporne strukture
- q priporočila za uporabo notranjih in zunanjih podpor

29

FOTOPOLIMERIZACIJA V KADI STEREOLITOGRAFIJA - SLA

Naknadna obdelava

- q ena najzahtevnejših tehnologij v fazi postprocesiranja natisnjeni; 3D-predmet odstraniti z osnovne plošče (rokavice), čiščenje s kemičnimi sredstvi; tripropilen glikol monometil eter (TPM) ali propilen karbonat, izpiranje v izopropil alkoholu (IPA).
- q Predmet po tisku še nima končne trdnosti, zato ga je treba dodatno obsevati. PCA (post curing apparatus). T odvisna od vrste polimera ter mase in volumna 3D-predmeta.
- q Čas za površinsko utrjevanje ni odvisen od mase predmeta, za »globinsko« utrjevanje > večja masa > daljši čas.

30

FOTOPOLIMERIZACIJA V KADI STEREOLITOGRAFIJA - SLA

Prednosti

- q dokaj visoka hitrost tiska (še posebej pri DLP)
- q natančnost in kakovost površine predmetov
- q velik nabor materialov
- q nezahtevna naknadna obdelava površine, npr. barvanje ...

Slabosti

- q manjša trajnost izdelkov kot FDM ali SLS
- q uporaba opor, podpor
- q zahtevna dodelava
- q naknadno utrjevanje v UV pečeh
- q ekološki vidik (toksičnost monomerov, oligomerov, sredstev za čiščenje)



31

FOTOPOLIMERIZACIJA V KADI STEREOLITOGRAFIJA - SLA



Accura® 55

Material omogoča izdelavo togih predmetov z videzom termoplasta ABS. Uporablja se za izdelavo avtomobilskih delov, elektronskih komponent ipd.



Accura® ClearVue Free (SL 7870)

Nizkoviskozna fotopolimerna smola omogoča natančen tisk transparentnih predmetov, ki jih odlikujeta visoka stopnja žilavosti in trajnost.



Accura® Amethyst

Material je namenjen izdelavi kalupov visoke natančnosti, ki se uporabljajo pri izdelovanju nakita.



Accura® Xtreme™ White 200

Izjemno žilav in trajen fotopolimer opake bele barve je namenjen tisku predmetov iz termoplastov polipropilena (PP) in ABS, ki se običajno izdelujejo s tehnologijo CNC.



Accura® CeraMAX™ Composite

Kompozitni polimerni material z delci keramike ima dobro termično obstojnost, odpornost proti vlagi in odpornost proti abraziji. Uporablja se za tisk predmetov, izpostavljenih višjim temperaturam, in za izdelavo predmetov z videzom keramike.



Accura® e-Stone

Trajen material s končnim videzom tradicionalnih modelov za uporabo v zobozdravstvu se uporablja za izdelavo modelov zobovja, predvsem za analizo primerov pred težjimi posegi (vstavljanje mostičkov, kron itd.) in za ortodontske namene.



Accura® Xtreme

Žilav in temperaturno obstojen polimer z videzom termoplastov polipropilena PP ali ABS se lahko uporablja za izdelavo obširj potrošniških in elektronskih izdelkov ter podobnih končnih izdelkov.

32

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...



KAPLJIČNO NANAŠANJE ALI BRIZGANJE MATERIALA

Materiali: tekoči voski ali fotopolimeri

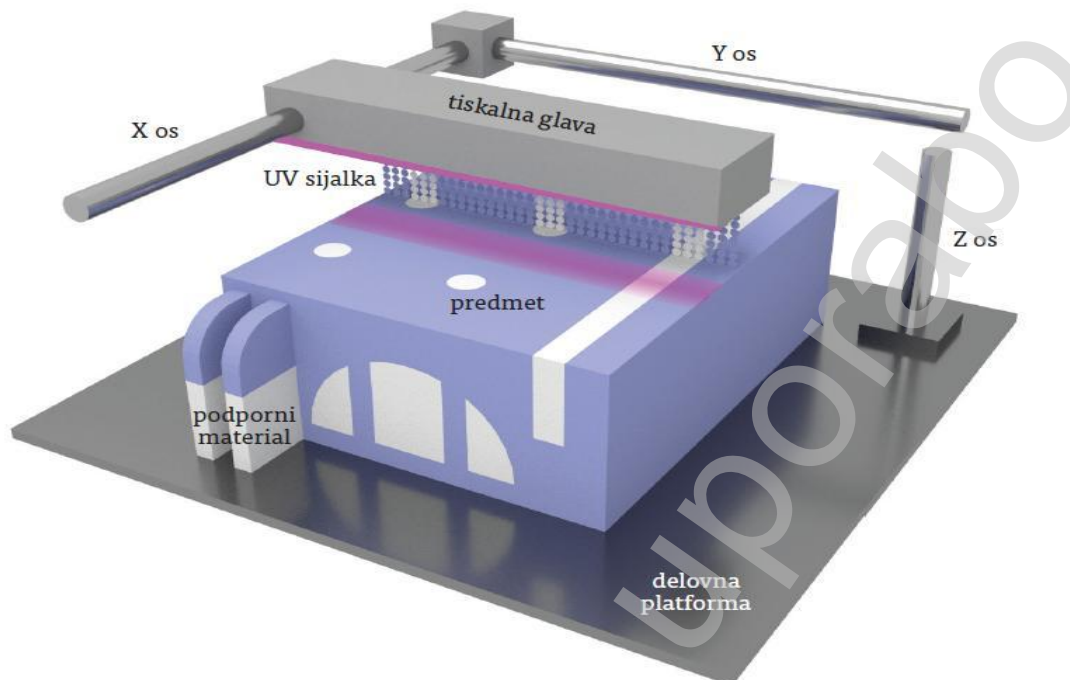
Tehnologiji

- kapljično nanašanje voska (SolidScape)
- kapljično nanašanje fotopolimera (PolyJet)



KAPLJIČNO NANAŠANJE ALI BRIZGANJE MATERIALA - POLYJET

q tisk sočasno z različnimi fotopolimernimi materiali.



35

KAPLJIČNO NANAŠANJE ALI BRIZGANJE MATERIALA

POLYJET

Prednosti

- q tiskanje gladkih površin in finih detajlov z visoko natančnostjo
- q hiter proces tiska
- q brez naknadne obdelave površine
- q preprosta uporaba
- q sočasen tisk z materiali z različnimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (PolyJet Matrix)

Slabosti

- q slaba temperaturna obstojnost materialov
- q visoka cena izdelave večjih izdelkov
- q uporaba podpornega materiala

36

KAPLJIČNO NANAŠANJE ALI BRIZGANJE MATERIALA - POLYJET

Materiali

fotopolimerni materiali, osnovani na akrilatih

Inženirski materiali

- q digitalni ABS
- q termično stabilni materiali

Standardni polimerni materiali

- q transparentni materiali
- q togi opačni materiali
- q materiali za simulacija polipropilena

Materiali za uporabo v medicini in zobozdravstvu

- q biokompatibilni materiali
- q specialni dentalni materiali

37

KAPLJIČNO NANAŠANJE ALI BRIZGANJE MATERIALA - POLYJET



38

LEPLJENJE, SINTRANJE ALI TALJENJE PRAŠKASTEGA MATERIALA

39

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

40

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA

Materiali

- q mavec (gips), polimeri, kovine, keramika, steklo ...

Načini spajanja

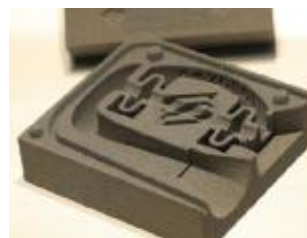
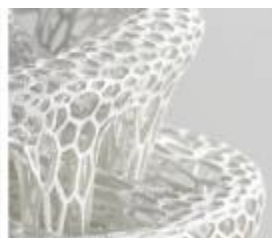
- q s kapljičnim nanašanjem ali brizganjem veziva > »lepimo« v slojih delce praškastega materiala
- q z laserskimi ali drugimi toplotnimi viri različnih moči spajamo (sintramo ali/in talimo) zaporedne sloje praškastega materiala

41

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA

Kapljično nanašanje ali brizganje veziva (Binder Jetting)

- q Tisk predmetov na osnovi mavca (3DP)
- q Tisk kovinskih predmetov (BJMP)
- q Tisk keramičnih predmetov (BJCP)
- q Tisk steklenih predmetov (BJGP)
- q Tisk hrane (food printing)
- q Tisk peščenih kalupov (sand casting)



42

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA

Spajanje slojev praškastega materiala (Powder Bed Fusion)

- q Selektivno lasersko sintranje (SLS, SLM, LaserCISING)
- q Taljenje z elektronskim snopom (EBM)
- q Selektivno sintranje podjetja Blueprinter (SHS)

Lasersko navarjanje (Direct Energy Deposition)



Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kaplično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kaplično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

Kaplično nanašanje ali brizganje veziva – 3DP

□ pravi 3D-tisk, na praškast material brizgajo vezivo

□ materiali; mavec, polimerni kompoziti, kovine in keramični materiali

Z Corp, 3D Systems, tiskalniki ProJet, CJP

ProJet 160 (236 × 185 × 127 mm) > monokromni tisk > horizontalna ločljivost 300×450 dpi > najmanjši detajl 0,4 mm. Hitrost 20 mm/uro.

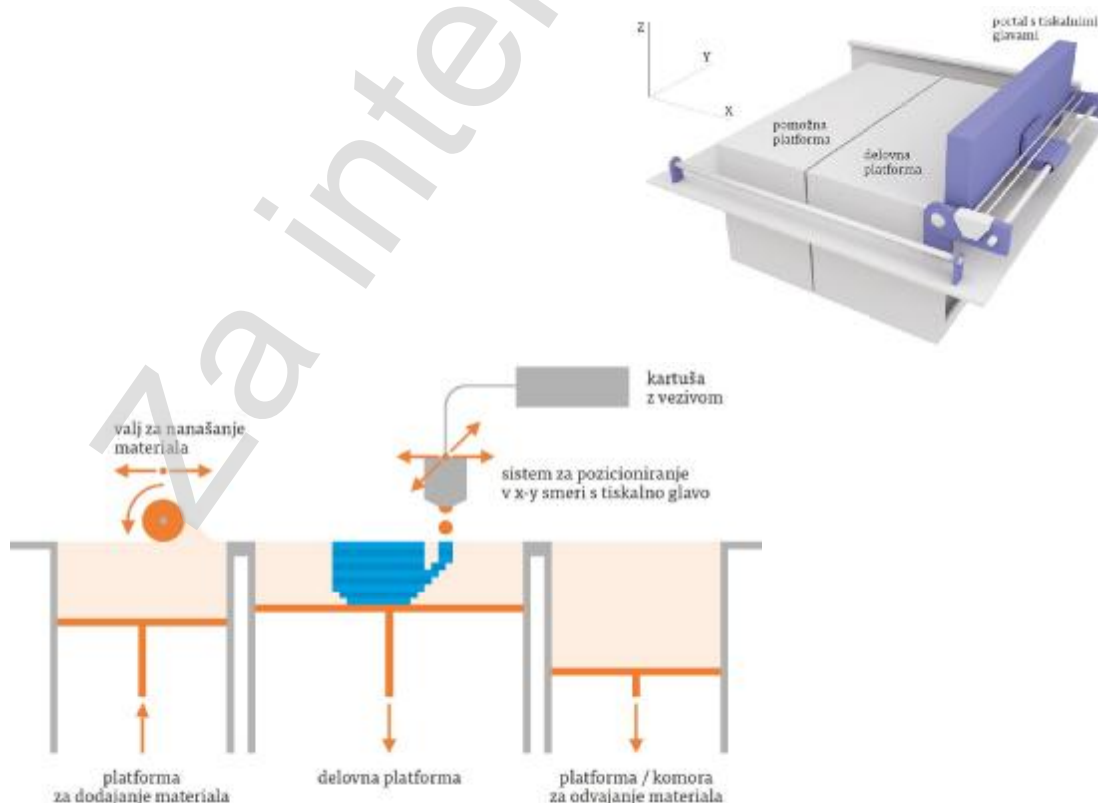
ProJet 860Pro (508 × 381 × 229 mm) > CMYK tiskalnik s 5 glavami, reproducira več kot 100.000 barv, hitrost od 5 do 15 mm/uro. Ločljivost 600 × 540 dpi, najmanjši detajl 0,1 mm.

Debelina sloja vedno 0,1 mm.
Barvni obseg – 90 % SWOP



45

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP



46

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

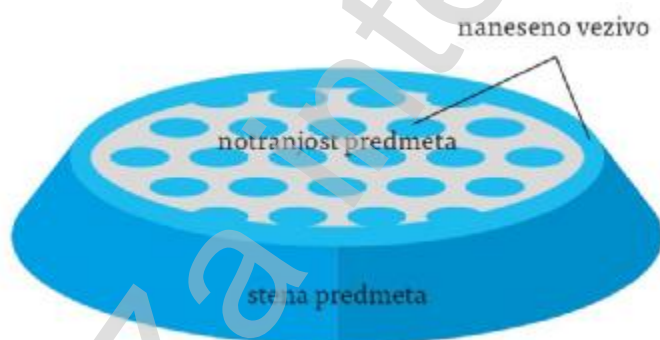


<https://www.youtube.com/watch?v=Favha1-8RXY>



47

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP



Zeleni (krhek) predmet (green object) > utrditev z impregnanti.

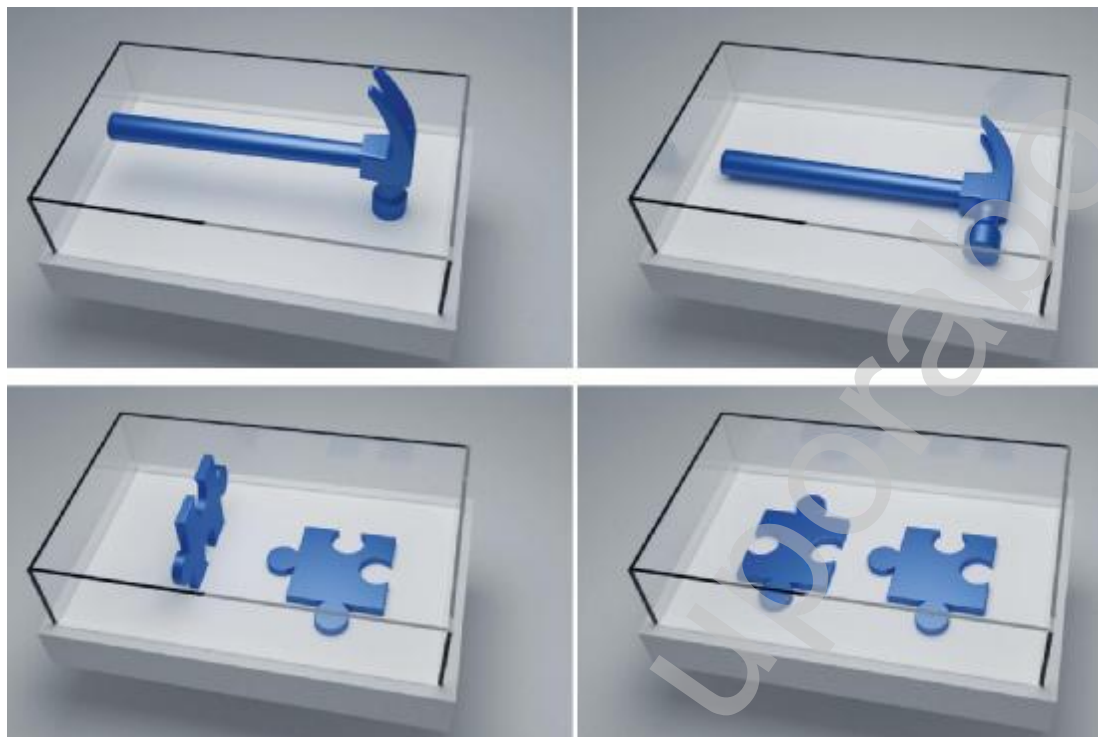
Tiskalne glave nanesejo le povprečno 20 % materiala (veziva) glede na skupni volumen končnega predmeta,
Več veziva > zatekanje čez linije, nastali preveliki pribitki dimenzij > bolj groba površina.



48

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

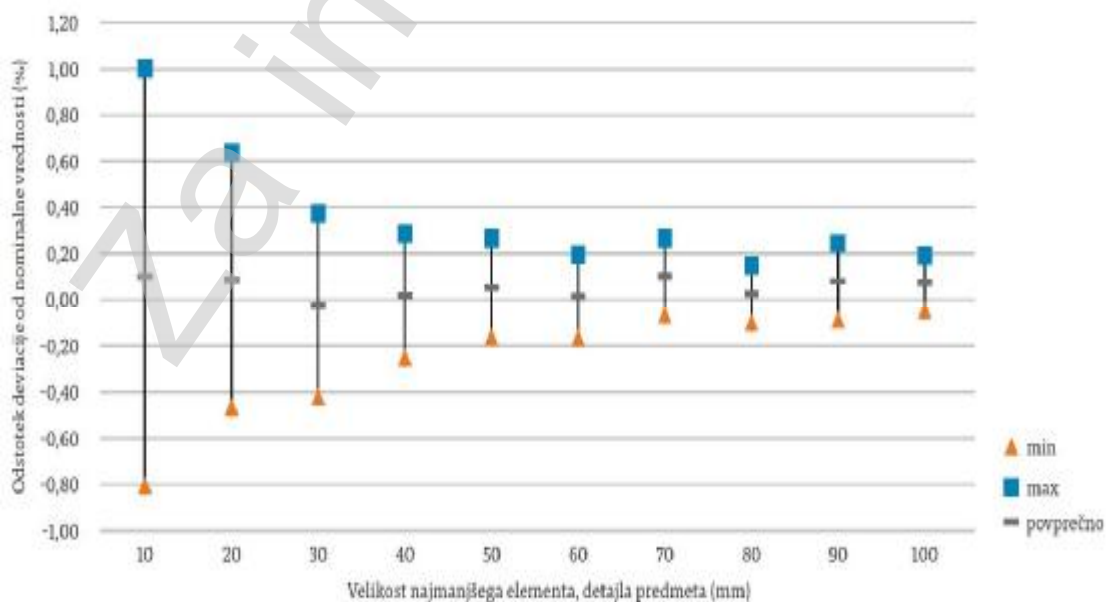
Vpliv orientacije (posedanje, hitrost tiska)



49

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

Velja splošno > deviacija natančnosti tiska v odvisnosti od velikosti najmanjšega elementa.



50

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

Naknadna obdelava

q green object (hlajenje!)

q infiltranti (konceptualni ali funkcionalni prototipi), osušiti!
(na osnovi voska, cianoakrilata, epoksida, elastomernega uretana ...)



51

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

Prednosti

- q okolju prijazna tehnologija
- q nizka cena materiala
- q brez odpadnega osnovnega materiala, recikliranje
- q velika hitrost tiska še posebej pri sočasnem, paketnem tisku več predmetov
- q možnost tiska v barvah (24-bitna paleta)
- q brez podpornega materiala

Slabosti

- q omejena funkcionalnost predmetov
- q manjša natančnost
- q slaba kakovost površine
- q obvezna naknadna obdelava, infiltracija

52

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – 3DP

Materiali

- q visoko zmogljivi kompozitni materiali (mavec z dodatki, visoka belina)
- q materiali snap-fit (zmes > za infiltracijo z epoksi smolo – videz plastike)
- q elastomerni materiali (mešanica celuloze in special. vlaken > infiltracija z elastomerom)
- q materiali za natančno litje (mešanica celuloze, vlaken > tisk pramodlov > infiltracija z voskom > kalup > žganje > ulivanje kovine)
- q materiali za kalupe – neposredno litje (livarski pesek)



53

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kaplično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kaplično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

54

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – SLS

Materiali; polimerni (PA - najlon, polistiren itd.), kovinski (zmesi jekla, titana itd.), keramika.

Osnovna tehnologija SLS > polimerni materiali, pri njenih modifikacijah tudi drugi materiali > različna poimenovanja.

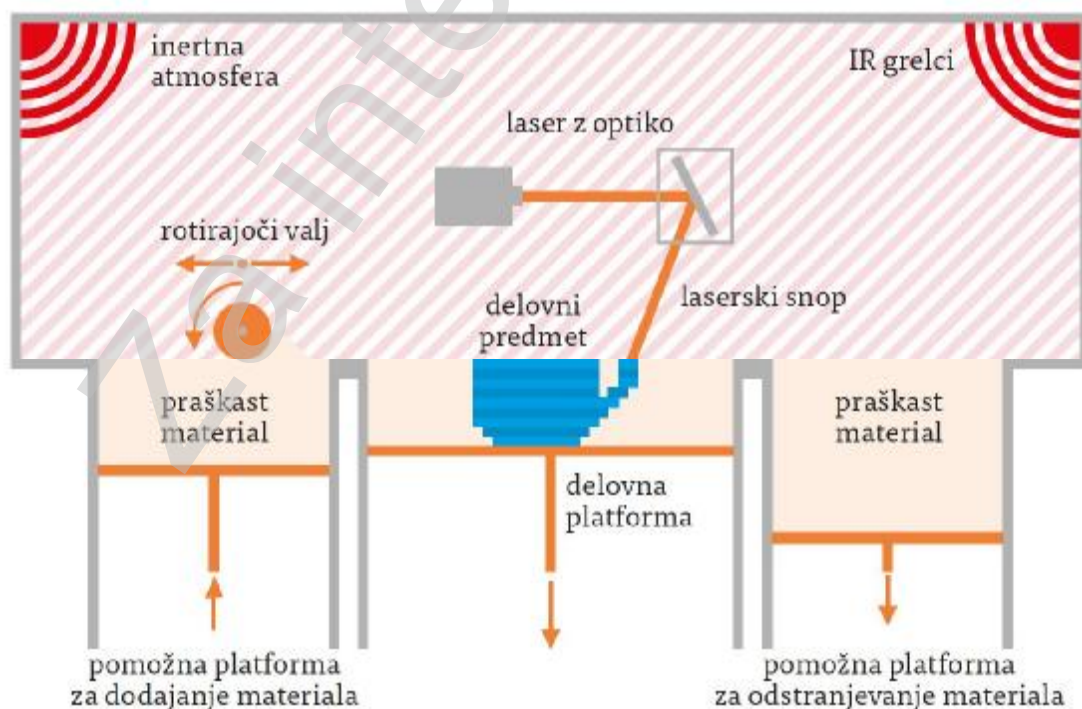
Vsem tehnologijam je skupno > ni potrebe po dodatnem podpornem materialu > naknadna obdelava ni potrebna (lahko pa infiltracija, brušenje ...).

Delci praškastega materiala (50 do 100 μm), pri specialnih postopkih tudi manj kot 10 μm .



55

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – SLS



56

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – SLS

Prednosti

- q razmeroma hiter postopek
- q velika natančnost
- q velik izbor materialov
- q brez podpornega materiala
- q trajnost končnega predmeta
- q možna izdelava prototipov, funkcionalnih delov in končnih izdelkov

Slabosti

- q potrebna inertna atmosfera > stroji večjih dimenzij
- q velika poraba energije za sintranje
- q za izdelavo končnih izdelkov potrebna infiltracija

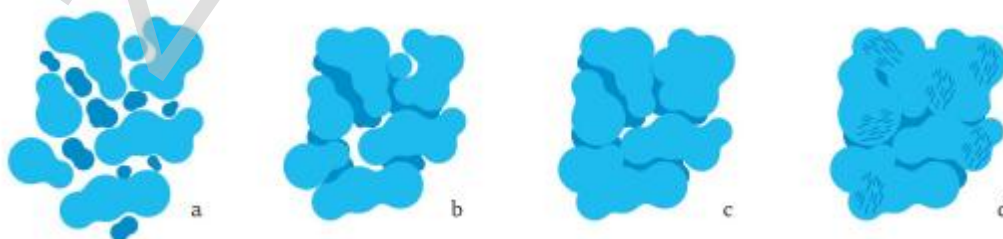


57

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – SLS

Sintranje v prisotnosti tekoče faze (LPS) in delno taljenje (PM)

- q do spajanja delcev prihaja v trenutku, ko je del materiala v staljenem stanju, preostanek pa v trdnem. Staljeni del materiala > lepilo, ki povezuje delce v trdnem stanju.
- q mogoče povezati v čvrsto celoto tudi delce materiala z visoko temperaturo taljenja

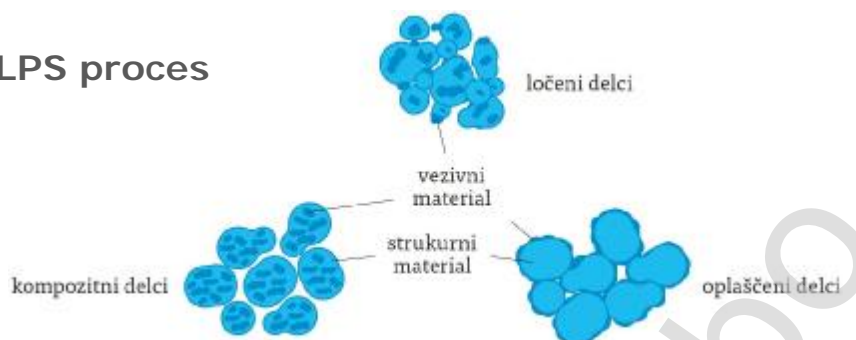


a) iniciacija, b) taljenje, c) raztapljanje in reprecipitacija, d) denzifikacija

58

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – SLS

Materiali za LPS proces



Ločeni delci (strukturni - jeklo, vezni - polimer) > poroznost.

Kompozitni delci (mešanica polimernega veziva in strukturnega materiala (polimer z višjo Ttaljenja, kovine ali keramike) > npr. Duraform GF (glass filled nylon).

Oplaščeni delci (npr. Laser Form > jekleni prah s polimerno oblogo) > hitrost.



59

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – SLS



https://www.youtube.com/watch?v=9E5MfBAV_tA

60

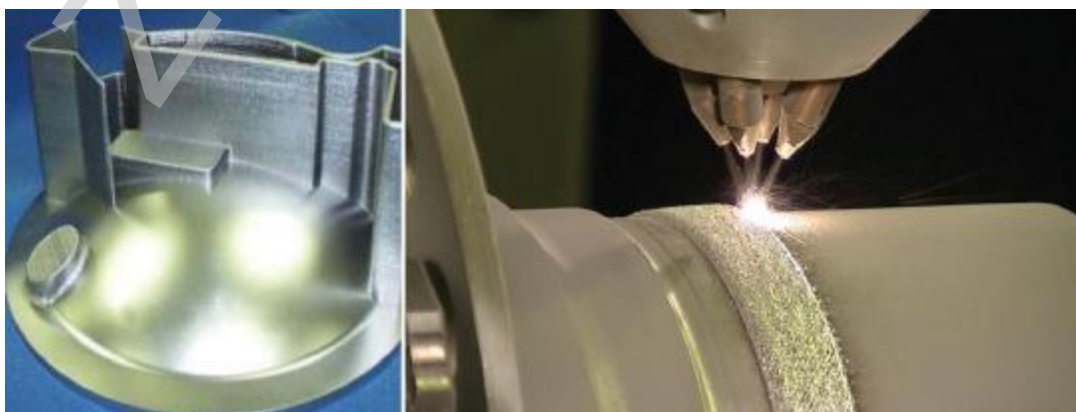
Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFF, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...

61

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – DED

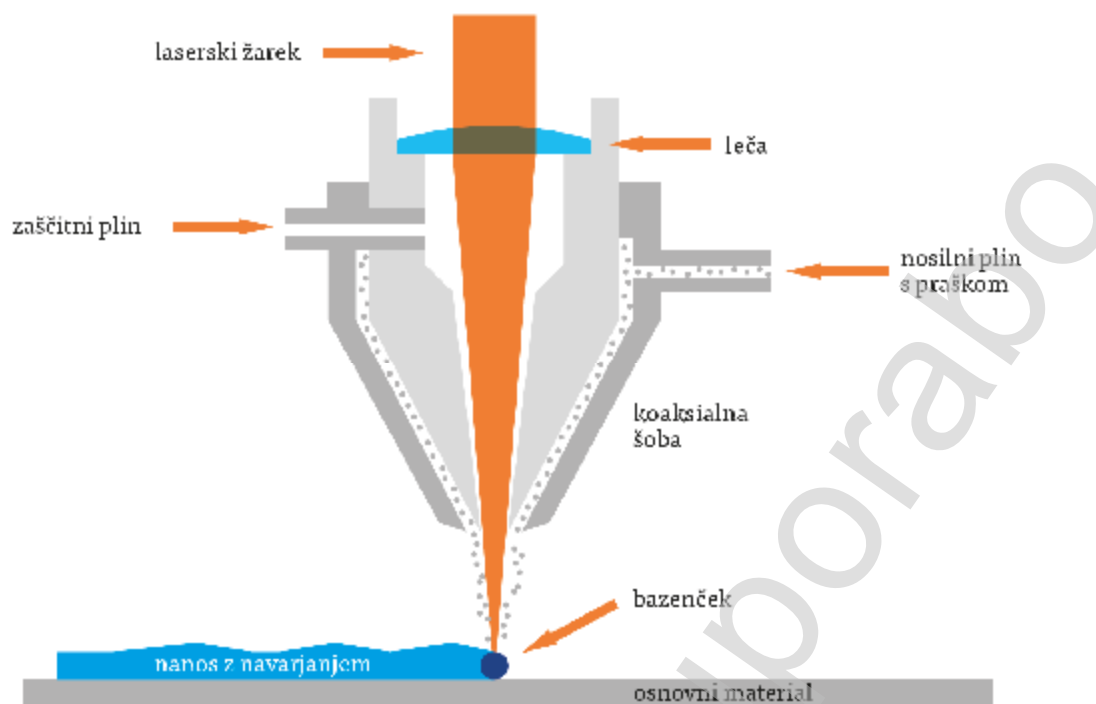
Lasersko navarjanje (Direct Energy Deposition) – DED

- q za tisk in popraviljanje izdelkov
- q hibridna izdelava izdelkov
- q Vojaška, letalska, vesoljska, orodjarska industrija
- q Materiali: kovinski praškast material visoke kakovosti, kroglaste oblike 40 do 150 µm



62

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – DED



63

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – DED

Material	Strižna trdnost (MPa)	Porušna natezna trdnost (MPa)	Raztezek (%)
LENS Ti-6Al-4V	848	955	15
»Klasični« Ti-6Al-4V	883	952	14
LENS SS316	276	661	67
»Klasični« SS316	289	578	50
LENS Ni 625 (Inconel 625)	579	930	38
»Klasični« Ni 625 (Inconel 625)	400	834	30

Zlitine na osnovi jekla, Al, Cu, čisti W, Ta, Ti ...

64

TEHNOLOGIJE Z UPORABO PRAŠKASTEGA MATERIALA – DED



<https://www.youtube.com/watch?v=xT3W5j8V7FA>

65

NALAGANJE, LEPLJENJE ALI LAMINIRANJE MATERIALA

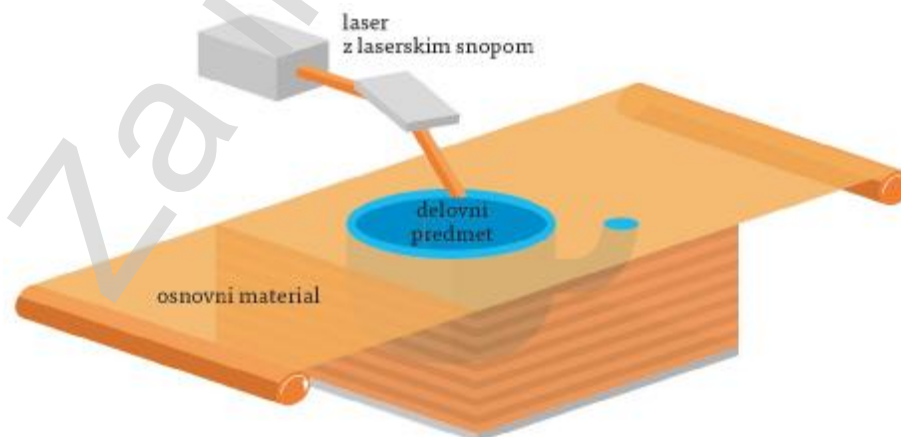
66

Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFF, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...



TEHNOLOGIJE OSNOVANE NA LAMINACIJI MATERIALA

- q hibridna tehnologija: odzematna, dodajalna
- q materiali: papir, polimerna, kovinska folija
- q debelina sloja = cca. debelini materiala



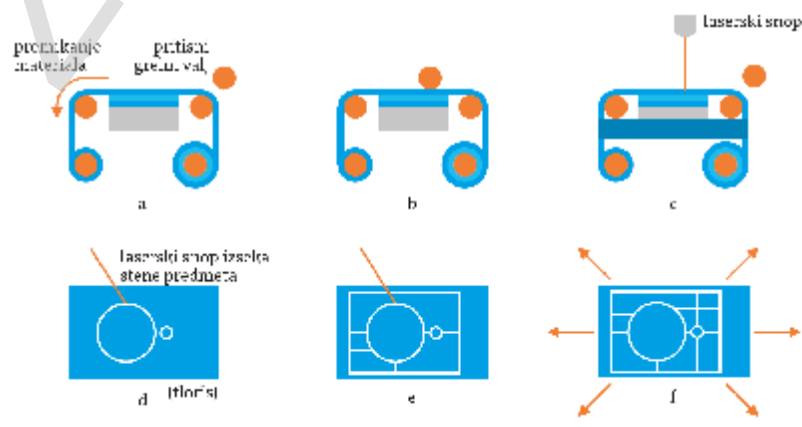
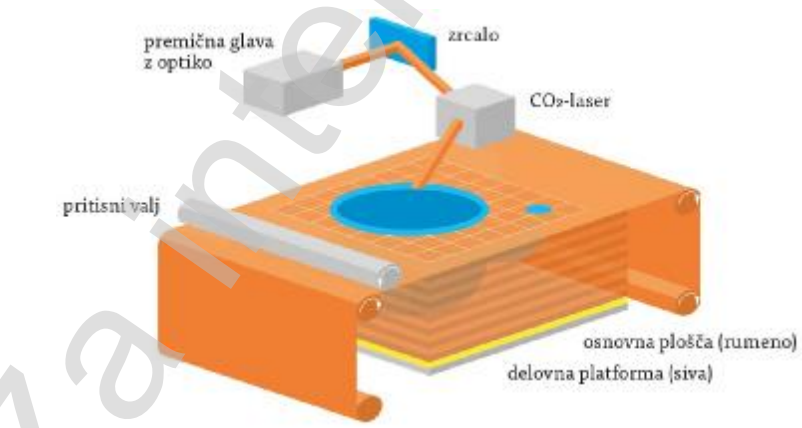
- q sodobne tehnologije: Mcor, Solido 3D



Osnovni proces gradnje predmeta	Generična skupina po standardu ASTM F2792-10	Okrajšave tehnologij
ekstrudiranje materialov	material extrusion <i>ekstrudiranje materiala</i>	FDM, PJP, FFF, FFM, CFE, MEM, MUS, FDMm, FDC ...
proces fotopolimerizacije	vat photopolymerizaton <i>fotopolimerizacija v kadi</i>	SLA, DLP Projection, Moving DLP, LCM, 3SP, LAMP, ZPP ...
	material jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje materiala</i>	PolyJet, MJM, MJP, LMJP WDM, DOD ...
lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala	binder jetting <i>kapljično nanašanje ali brizganje veziva</i>	3DP, CJP, BJMP ...
	powder bed fusion <i>spajanje praškastega materiala</i>	SLS, LS, MLS, SLM, SHS, DMLS, DMP, EBM, EBF3, LBM, LaserCUSING ...
	direct energy deposition <i>lasersko navarjanje</i>	LENS, LDT, LPF ... DED
nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala	sheet lamination <i>laminacija pol</i>	LOM, PLT, SDL, UAM ...



LAMINACIJA POL



LAMINACIJA POL



71

LAMINACIJA POL

Prednosti

- q dokaj hitra izdelava tudi predmetov velikih dimenzij
- q brez opornega materiala
- q okolju prijazna tehnologija (Mcor)
- q tiskanje v barvah (fotorealistična kakovost tiska, Mcor)
- q možnost recikliranja materiala (Mcor > lepila in barve na vodni osnovi)
- q izdelava konceptualnih prototipov ali izdelkov (večinoma le »umetniški« eksponati)

Slabosti

- q natančna kontrola moči laserskega žarka
- q nemogoče izdelati zelo tanke stene predmetov
- q oteženo odstranjevanje odpadnega materiala
- q predmet zaradi lepljenja plasti težko doseže visoko trdnost in obstojnost

72

LAMINACIJA POL



<https://www.youtube.com/watch?v=Xff4eIYXDvI>



73

Za interno uporabo