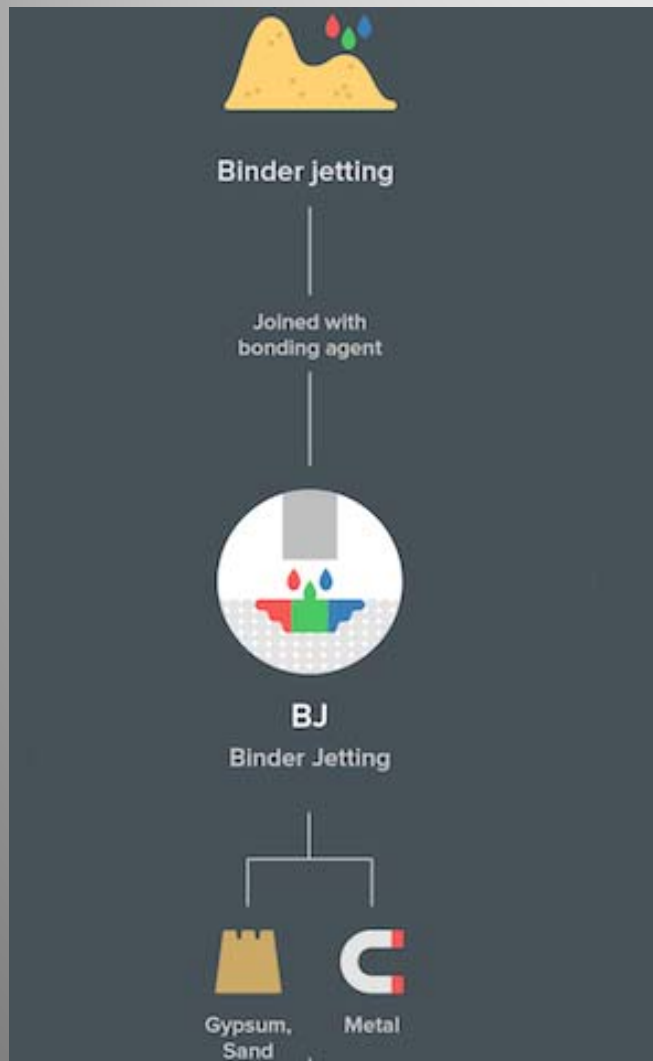


Brza izrada prototipova i modela

Nastavnik:
Prof. dr Mladomir Milutinović

Asistent:
Dejan Movrin

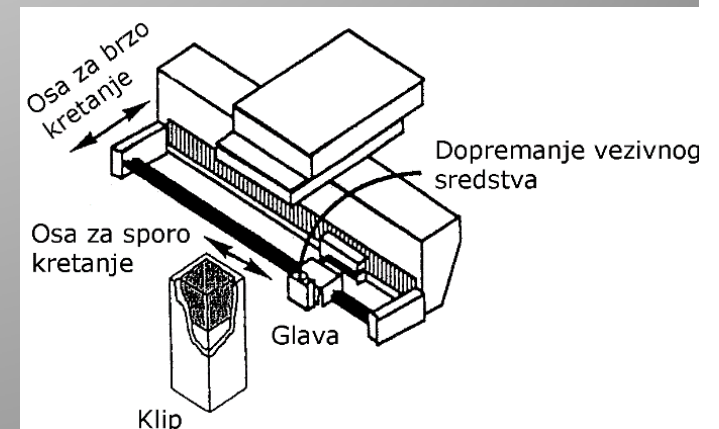
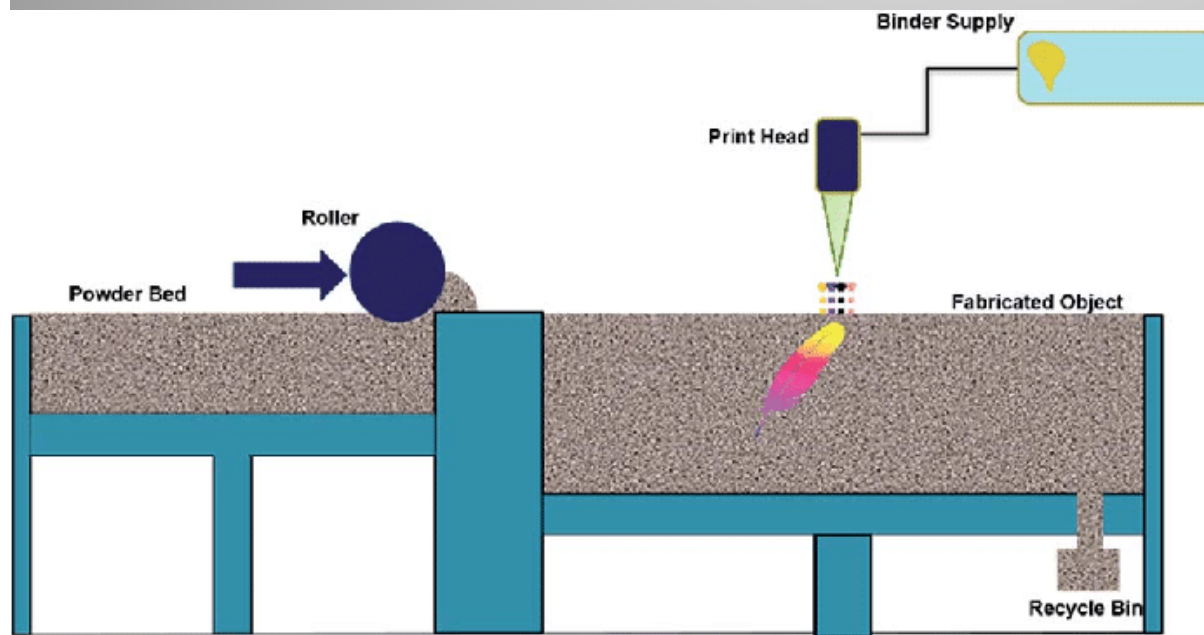
Veživna 3D štampa (Binder jetting)



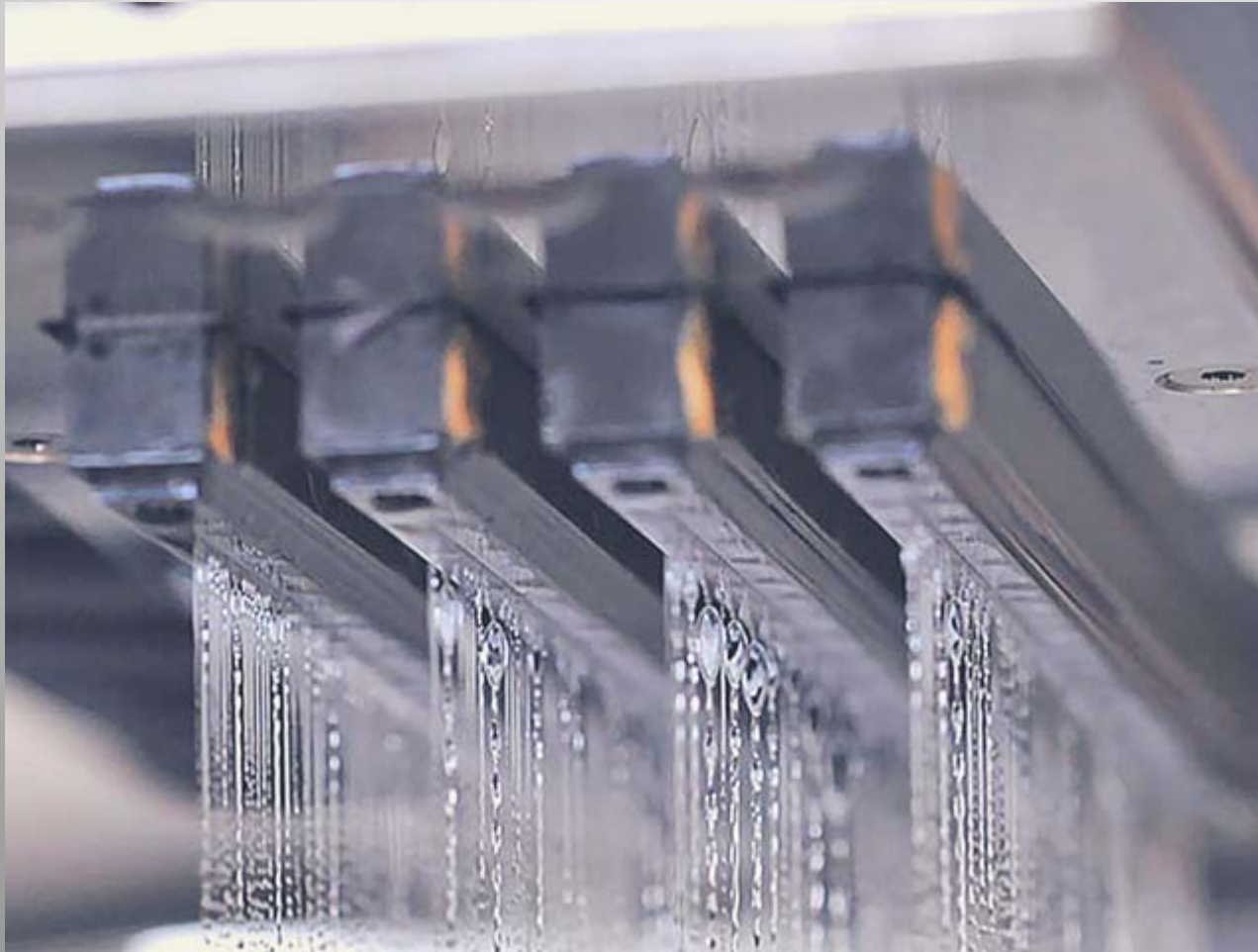
(BJ) je postupak na bazi vezivanja čestica praha. Glava štampača se kreće iznad radne komore štampača ispunjene prahom deponujući kapljice vezivnog sredstva (obično prečnika 80 mikrona) u cilju generisanja sloja. Zatim se sloj praha (platforma) spušta i nanosi se novi sloj praha. Jednom kada se stvori čvrsti deo, on se ostavlja u prahu da se stvrdne i očvrsne. Nakon završetka štampe objekat se uklaa platforme, a nevezani prah uklanja vazduhom pod pritiskom. Ponekad se infiltrant dodaje radi poboljšanja mehaničkih svojstava. Mlaznice za vezivanje veziva mogu sadržavati kapljice u boji, što omogućava štampanje u boji.

Vezivna 3D štampa (Binder jetting)

- Institut za tehnologiju, Masačusets (MIT), SAD
- ZCorporation
- Prvi komercijalni 3D štampač se pojavio 1997. godine - Z402 sistem.
- Vezivanje čestica praha adhezivima
- Materijali: prah na bazi skroba, prah na bazi gipsa, prah za izradu kalupa
- Debljina sloja 25-200 μ m



Vezivna 3D štampa (Binder jetting)



Prečnik mlaznice 46 μm
Prečnik kapljice 80 μm

Prednosti i nedostaci 3DP

- Velika brzina
- Svestranost
- Jednostavnost upotrebe
- Nema otpadnog materijala
- Pun kolor

- Ograničena funkcionalnost delova
- Ograničen izbor materijala
- Slab kvalitet površine
- Postprocesiranje

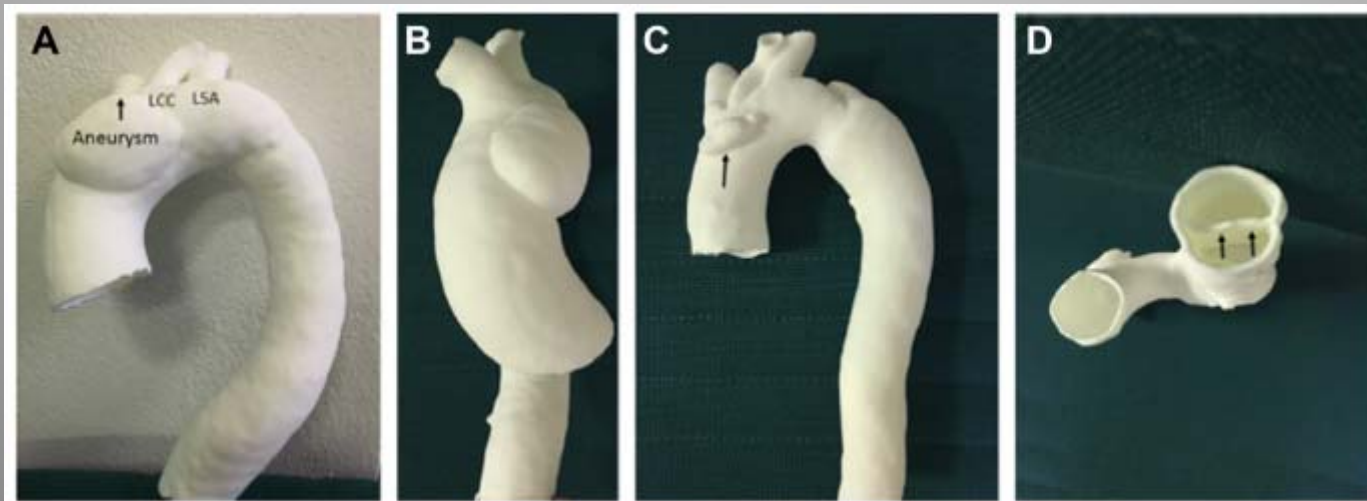
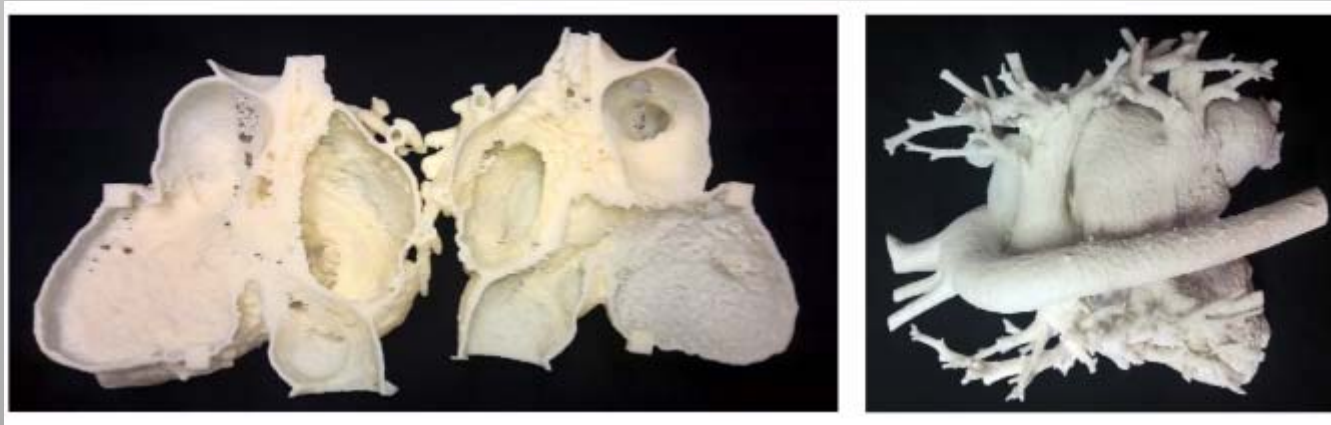
Primena 3DP

- Konceptijski modeli
- Funkcionalni modeli i prototipovi
- Šabloni za livenje
- Direktno livenje obojenih metala
- Izrada kalupa za RTV formiranje
- Medicinski modeli



Primena 3DP

Medicinski predoperativni modeli



Karakteristike 3D šampača kompanije ZCorporation

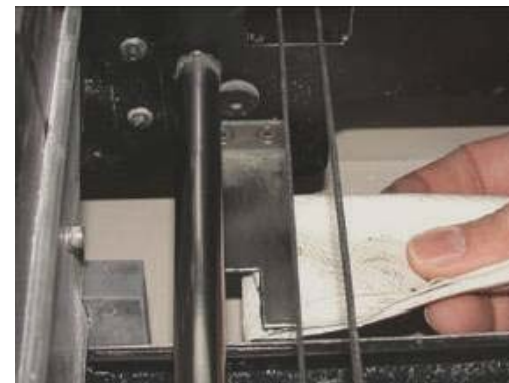
Model	ZPrinter 310 System	Spectrum Z510	Z810 System
Maksimalne dimenzije dela	203x254x203 mm	254x356x203 mm	500x600x400 mm
Brzina izrade sloja	2 sloja/min	Kolor: 2 sloja/min Jednobojni: 6 slojeva/min	Kolor: 2 sloja/min Jednobojni: 6 slojeva/min
Debljina sloja	0,089 – 0,203 mm	0,089 – 0,203 mm	0,089 – 0,203 mm
Rezolucija u horizontalnoj ravni	300x300 dpi	600x540 dpi	300x300 dpi
Boja	Ne	Da	Da
Broj glava za štampanje	1	4	4



ZPrinter 310 System

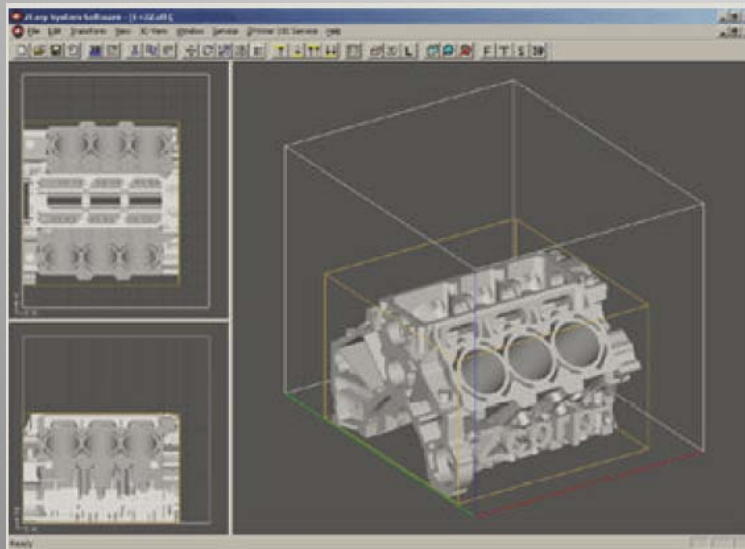
Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

➤ Priprema štampača za rad



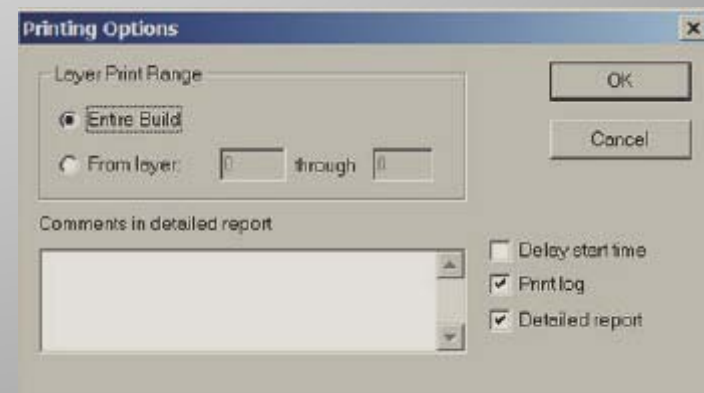
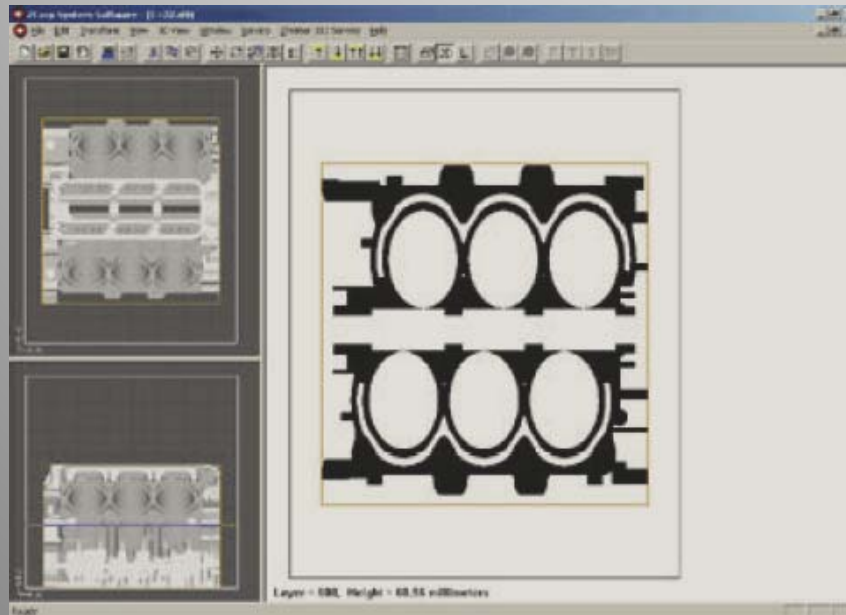
Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

- Pokretanje aplikacija *ZPrint Software*
- Provera *3D Print Setup*
- Izmena parametara štampe



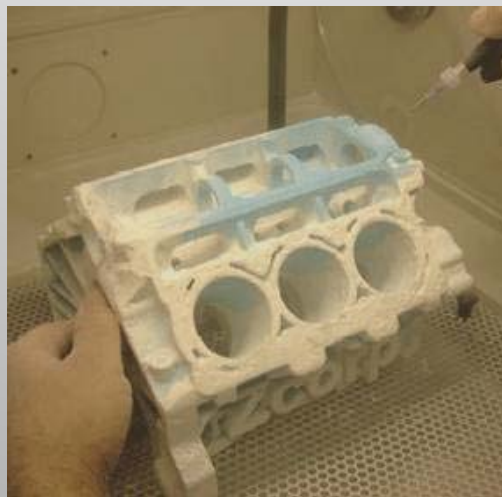
Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

- Provera poprečnih preseka objekta korišćenjem opcije *2D View*
- Pritiskom dugmeta *3D Print* započinje štampanje



Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

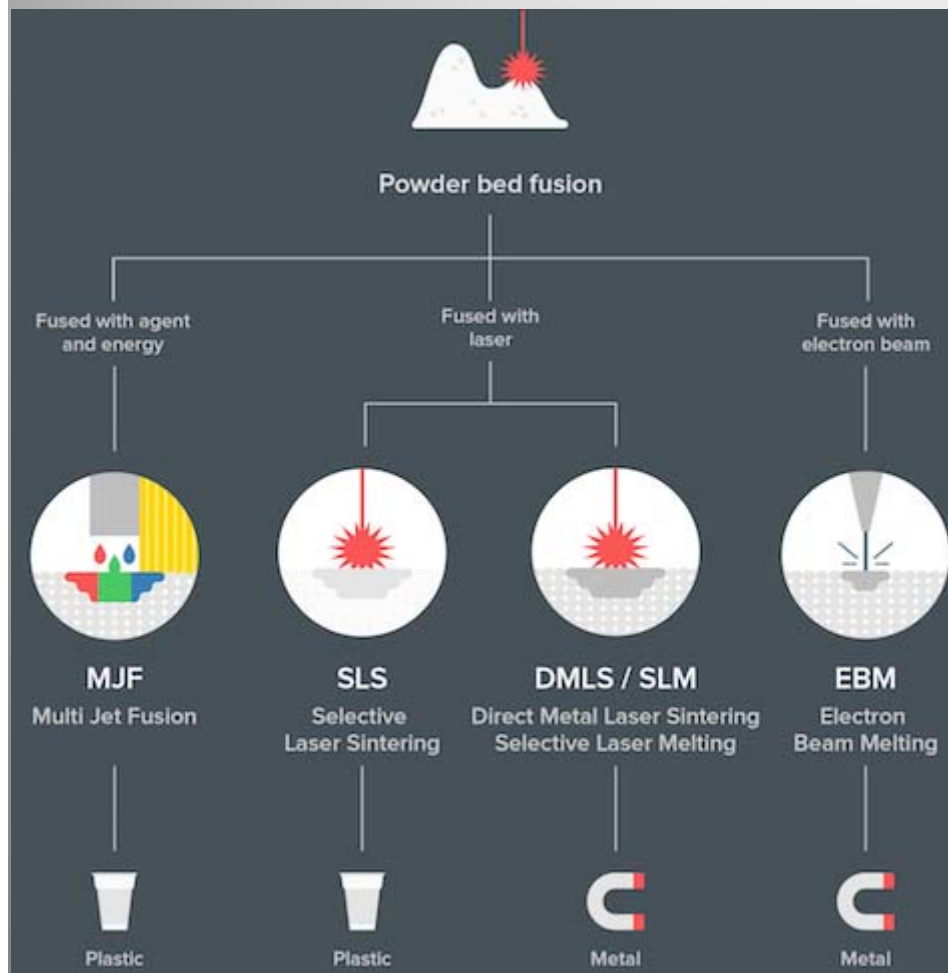
➤ Postprocesiranje



**The ZPrinter creates
an iPhone 4**

Powder Bed Fusion

(Fuzija praškastog supstrata)



SLS - Koristi se laser za sinterovanje tankih slojeva praškastog materijala da bi se stvorila čvrsta struktura. Proces započinje nanošenjem početnog sloja praha na platformu za gradnju nakon čega se laserski zrak zagreva/topi čestice praha (tačka po tačka) koje se sinteruju i formiraju poprečni presek dela. Platforma se spušta za debljinu jednog sloja naniže, nanosi se sveži sloj praha i proces se ponavlja. Finalni deo je obložen prahom koji služi kao potpora. Deo se uklanja iz praha i čisti, obično vazduhom pod pritiskom.

MJF – Za razliku od SLS postupka, osim toplote koriste se sredstva za stapanje čestica (fusion agent) praha i naglašavanje detalje (detailed agent). Sredstvo za spajanje (fuziju) praha se selektivno aplicira na mestima spajanja čestica, a zatim sledi lokalizovano nanošenje sredstva (agenta) za detalje koje se primenjuje tamo gde intenzitet fuzionisanja čestica praha treba smanjiti ili pojačati. Sredstvo za detalje smanjuje stapanje na granici delova dajući karakteristike oštih i glatkih ivica. Nakon toga, radna komora se izlaže toploti (zagreva) u cilju dodatnog učvršćivanja čestica (boljeg stapanja).

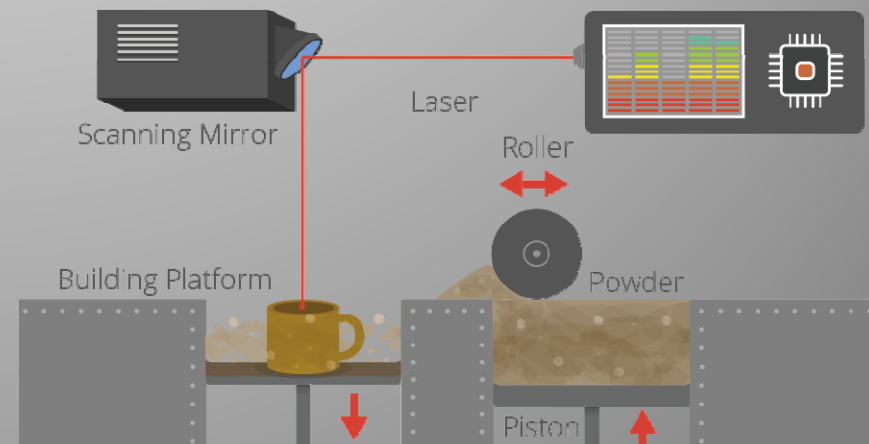
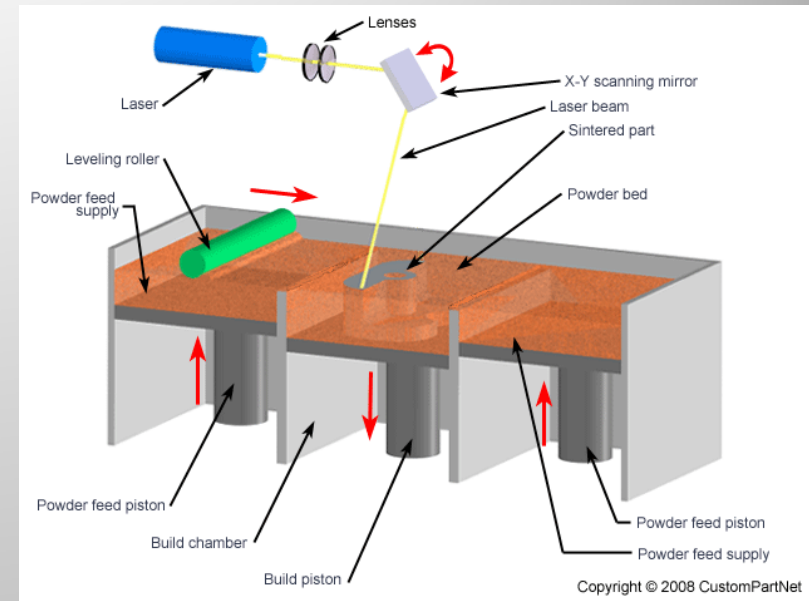
DMLS i SLM – Delovi se proizvode na isti način kao kod metodom kao i SLS-a, s tim što se DMLS i SLM koriste u proizvodnji metalnih delova. Postupak SLM-a se izvodi sa potpunim topljenjem praha dok DMLS sinterira prah. To znači da DMLS radi samo sa legurama dok SLM može koristiti jedno-komponentne metale. Za razliku od SLS, DMLS i SLM zahtevaju potpore/oslonce kako bi se eliminisala velika zaostala naprezanja nastala tokom procesa izrade.

EBM - Koristi se snop visoke energije (snop elektrona) koji skenira tanki sloj metalnog praha uzrokujući lokalizovano topljenje i očvršćavanje na određenoj površini poprečnog preseka. Sistem na bazi elektronskih zraka doprinosi redukciji zaostalih naponima u delovima, što rezultira manjim izobličenjima i manjom potrebom za potpornim konstrukcijama (osloncima). Iako EBM troši manje energije i brži je od SLS, minimalna veličina delova, veličina čestica praha, debljina sloja i naknadna obrada su obično veći. Delovi EBM se takođe proizvode u vakuumu i postupak se može koristiti samo sa provodljivim materijalima.

Selective Laser Sintering (SLS)

Selektivno Lasersko Sinterovanje

- Postupak na bazi spajanja diskretnih čestica topljenjem
- DTM Corporation 1989 Austin, 3D Systems 2001
- Čestice praha 50 μm - 100 μm
- Sinterovanje
- Komora za čestice se greje
- Temperatura sinterovanja (170 – 200°C za plastiku)
- Sinterovanje se odvija bez pritiska (manja gustina)
- Brzina sinterovana (vrsta praha, debljina sloja)
- Postprocesiranje
 - nanošenje dodatnog sloja praha
 - hlađenje (nekoliko časova)
 - čišćenje
- Materijali: poliamid, termoplastični elastomer, polikarbonat, najlon....





Selective Laser Sintering (SLS)

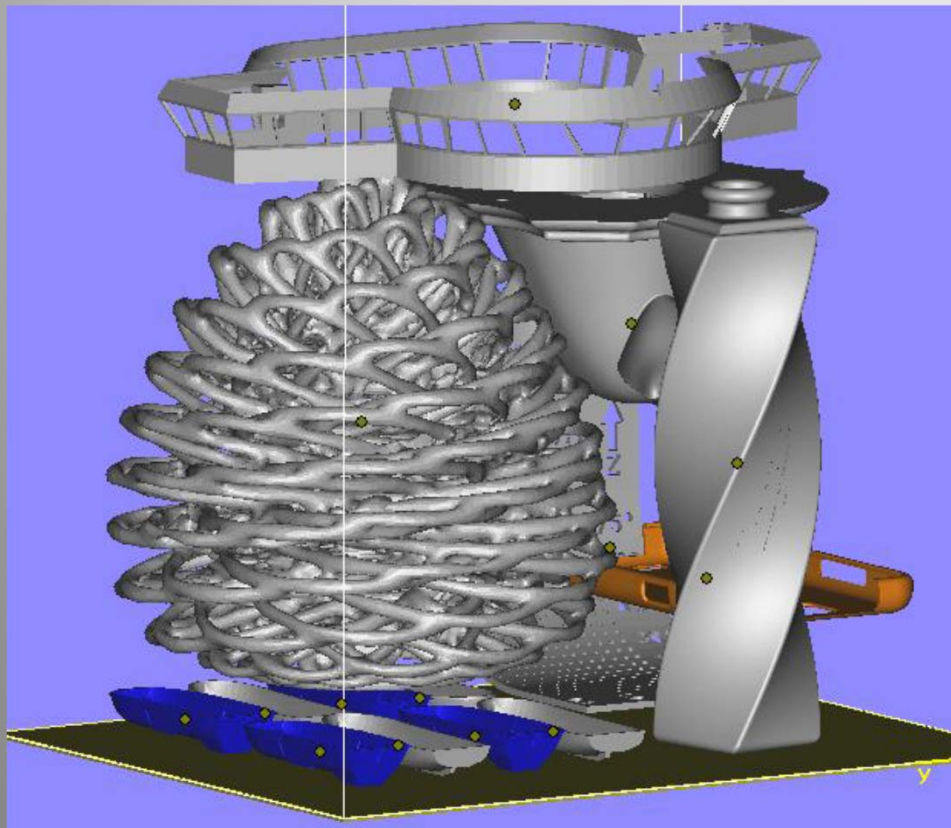
Glavne prednosti

- ✓ Veliki spektar različitih materijala
- ✓ Jednostavni postupak
- ✓ Brzo i ekonomična izrada kompleksnih delova
- ✓ Delovi su čvrsti i ne zahtevaju posebne potpore
- ✓ Dobra postojanost delova

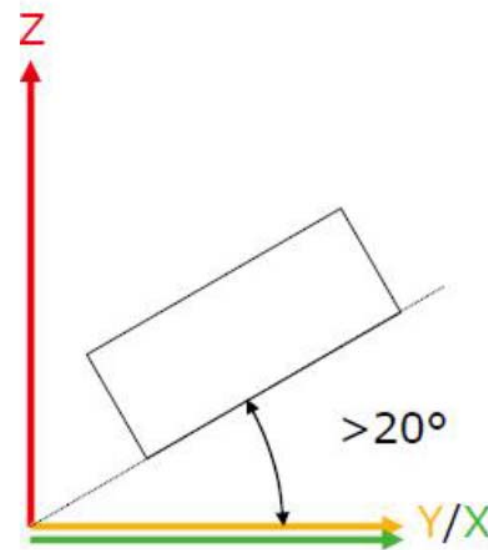
Nedostaci procesa

- *Tačnost* (za vreme očvršćavanja se može desiti da neželjeno očvrsne i deo praha koji za to nije predviđen)
- *Kvalitet* (zbog prirode procesa površina je relativno hrapava)
- *Dopunski troškovi* (Potreba za zaštitnom atmosferom u radnoj komori)
- *Razvoj štetnih gasova* (posebno pri spajanjau praha na bazi PVC)
- *Velike dimenzije sistema*
- *Visoka potrošnja energije*

Plastični prah služi kao noseća struktura za plastične delove pa je moguće graditi jedan deo iznad drugog.



Pojava stepenica na površini delova ukoliko je ugao nagiba prema x-y ravni manji od 20 stepeni



Primena SLS

- **Koncepcijski modeli.** Mogu se izrađivati fizičke predstave dizajna koje se koriste za reviziju ideja, oblika i stila dizajna.
- **Funkcionalni modeli i prototipovi.** Delovi izrađeni SLS postupkom mogu podneti ograničena funkcionalna testiranja, ili se ugraditi i eksploatisati u sklopovima.
- **Polikarbonatni šabloni za livenje.** Šabloni se proizvode od polikarbonata, zatim se postupkom preciznog livenja lije metal po želji. Izrađuju se brže od voštanih modela i idealni su za livove sa tankim zidovima i finim detaljima.



Karakteristike SLS sistema kompanije 3D Systems

Model	Sinterstation Pro 140	Sinterstation Pro 230	Sinterstation HiQ
Maksimalne dimenzije dela	550x550x460 mm	550x550x750 mm	381x330x457 mm
Radna zapremina	140 l	230 l	58 l
Minimalna debljina sloja	0,1 mm	0,1 mm	0,076 mm
Brzina skeniranja	10 m/s	10 m/s	5 m/s (sa HS sistemom: 10 m/s)
Laser	70 W CO2	70 W CO2	30 W CO2 (sa HS sistemom: 100 W)



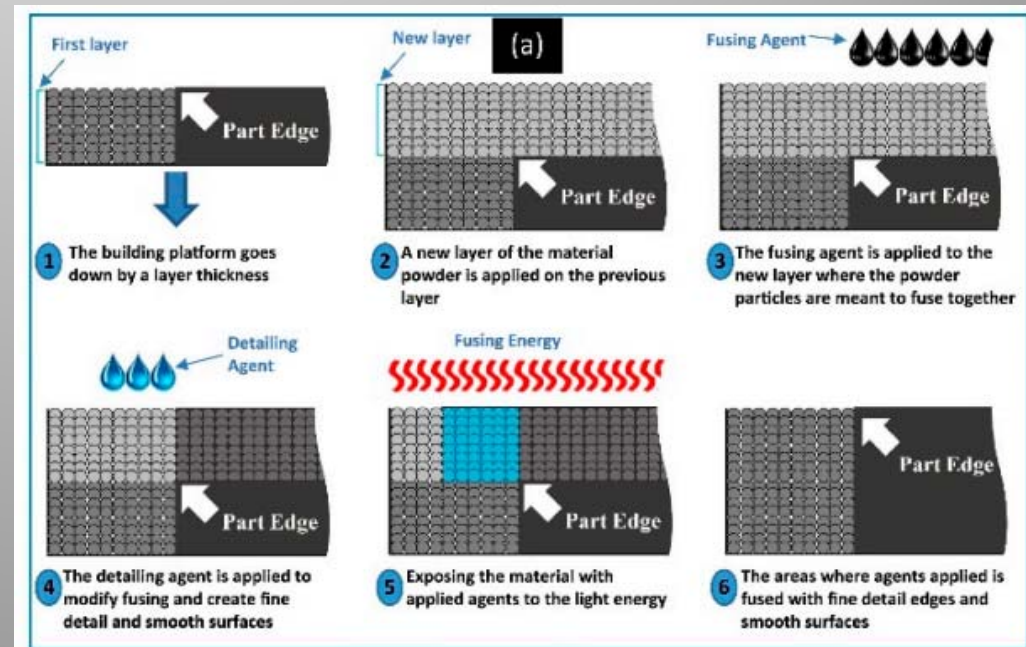
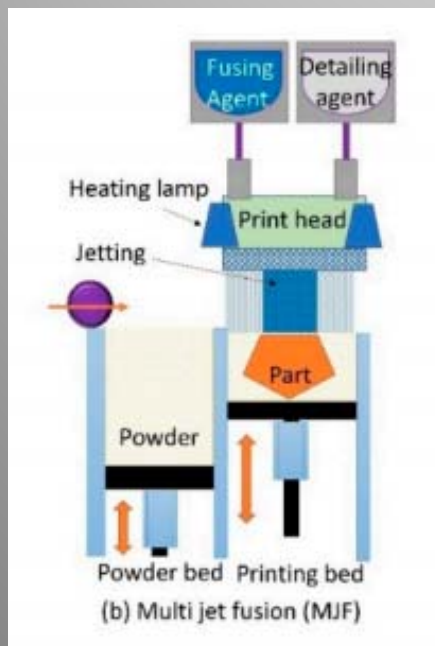
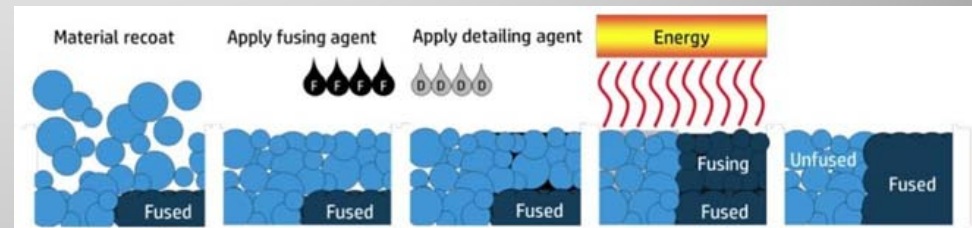
Sinterstation Pro



Sinterstation HiQ

Multi Jet Fusion (MJF)

- Inkjet sistem za koristi se za nanošenje sredstava za spajanje i finu rezoluciju štampe
- Zagrevanje (IR, UV - ne koristi se laser)
- Vezivno sredstvo (fusing agent) + sredstvo za inhibiciju (detailing agent) – sprečava nekontrolisano vezivanje čestica praha za objekat štampe (na bazi vode)
- Debljina sloja 0,08 mm (80 μm)
- Minimalna debljina zida 1 mm
- Standardna tačnost 0,3%



Multi Jet Fusion (MJF)



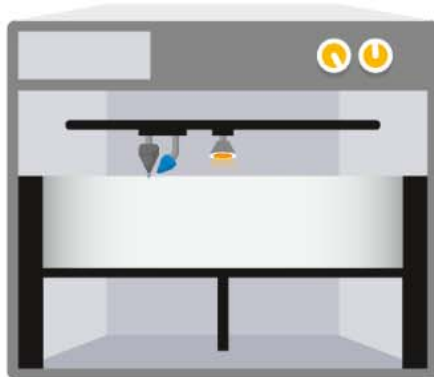
The 3D model



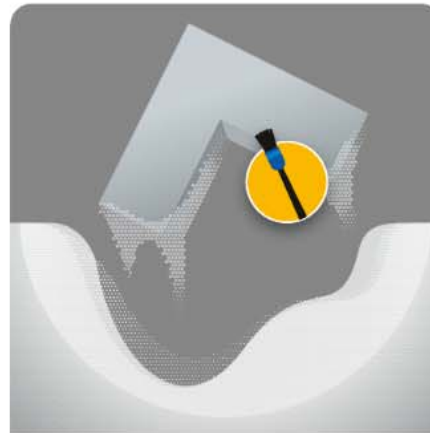
A fusing agent and a detailing agent are jetted to selectively melt powder particles and improve resolution



Lamps pass over the surface constantly, the jetted material captures and distributes the heat



The process continues building up the part layer by layer



The loose powder is removed



The part is finished

Multi Jet Fusion (MJF)

Multi Jet Fusion (MJF)

Powder Bed Fusion

Metalni materijali

Selective Laser Melting (SLM) (uglavnom čisti metali)

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) (uglavnom legure)

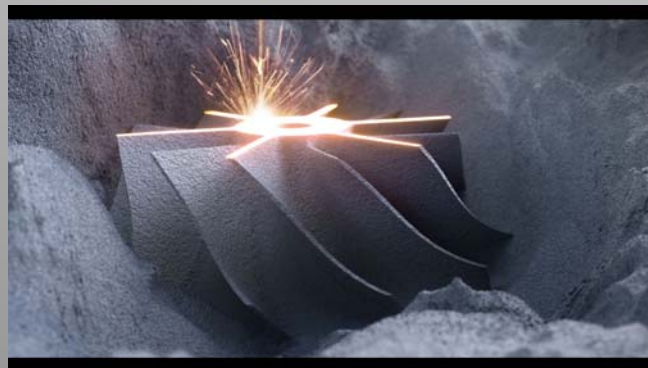
Metalni prah se nalazi u komori (rezervoaru). Laserski zrak topi/zagreva sloj po sloj praha. Izuzetno kompleksni delovi sa visokom rezolucijom, ograničeni po dimenzijama.

SLM - metalni prah se zagreva dok se potpuno ne rastopi. Spajaju se tečne faze.

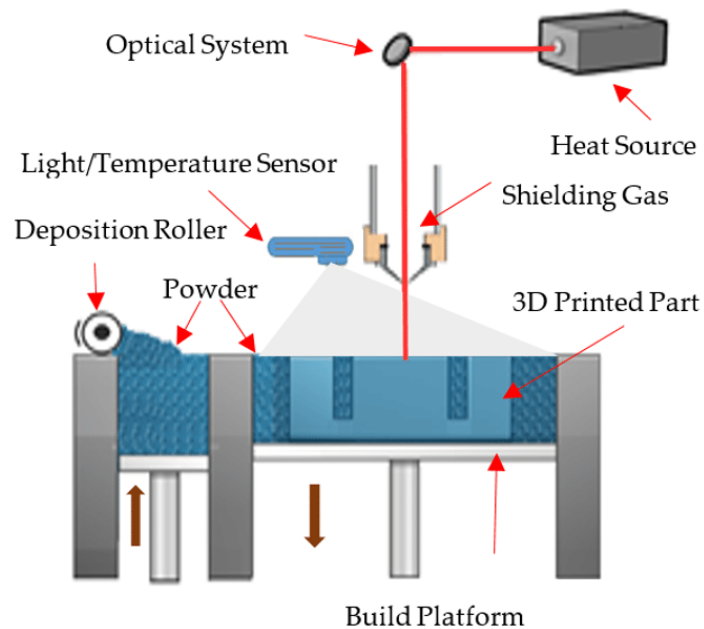
DMLS - metalni prah se zagreva ali se ne topi u potpunosti, tako da je potrebno manje energije. Toplota **sinterovanja** zagreva čestice dovoljno da se njihove površine spoje/zavare/sinteruju.

Electron Beam Melting (EBM)

Metalni prah se nalazi u komori (rezervoaru). Snop elektrona topi sloj po sloj praha. Kompleksni delovi sa visokom rezolucijom, ograničeni po dimenzijama, brz proces.



Direct metal laser sintering (DMLS)



Selektivno lasersko sinterovanje
je
Selektivno lasersko sinterovanje

DMLS -> Direct Metal Laser Sintering

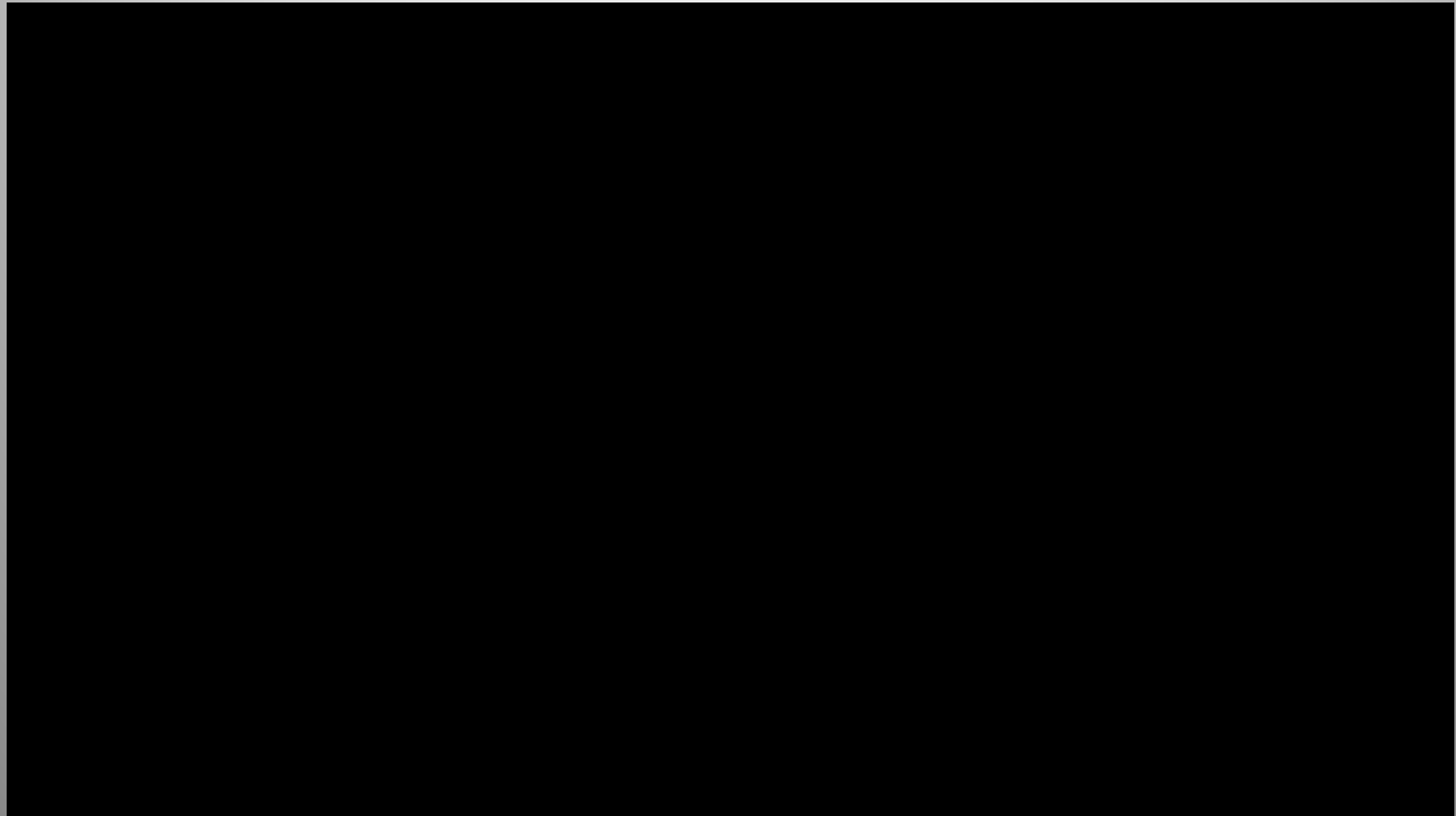
Osnovna razlika u odnosu na plastiku je rad u zaštitnoj atmosferi – bez prisustva kiseonika

- Azota
- Argona

Važno:

Direktno lasersko sinterovanje metala (DMLS) podrazumeva nanošenje veoma tankog sloja metalnog praha preko površine koja se štampa. **Laser se polako pomera po površini da bi sinterovao ovaj prah, što znači da se čestice unutar metala spajaju zajedno, iako metal nije dovoljno zagrejan da bi se potpuno rastopio.**

Direct metal laser sintering (DMLS)



Direct metal laser sintering (DMLS)

DMLS – Direct metal laser sintering

Materijali

- Alatni čelik
- Nerđajući čelik
- Aluminijum
- Titanijum
- ...

Debljina sloja

- 0,04-0,06mm

Dimenzije radne zapremine

250 x 250 x 330 mm



Izrada delova kompleksne geometrije

Posebno namenjena za jezgra alata za livenje

Delovi UVEK MORAJU BITI VEZANI ZA RADNU PLOČU!

Nakon izrade delovi se skidaju sa radne ploče –
erozimatom, testerom,

Zaostali prah je veoma zapaljiv!!!

Ukoliko postoje kanali potrebno je odstraniti prah iz isti

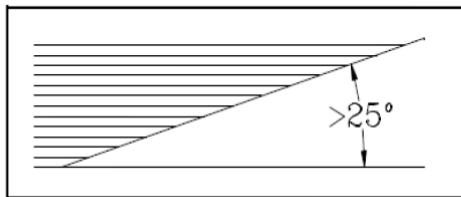


Direct metal laser sintering (DMLS)

Metalni prah ne može da služi kao noseća struktura za delove

Moraju da se izgrade noseći elementi „support” ako se grade delovi

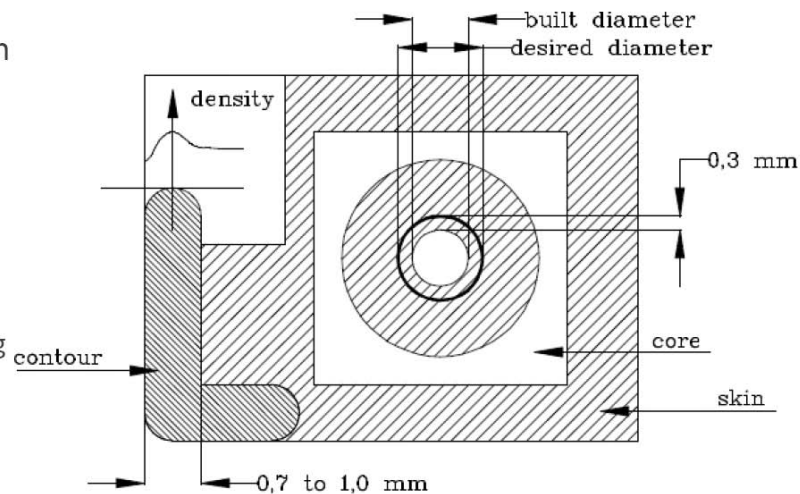
Ako se grade alati tada je moguća nadogradnja delova – nije potrebna izgradnja nosećih elemenata



Nakon izrade delova DMLS-om potrebna je dodatna obrada.

Predvideti dodatke za finu mašinsku obradu (0,3-0,5mm) radi

- Smanjenja poroznosti površine
- Postizanje odgovarajućih mehaničkih svojstava površinskog sloja



Direct metal laser sintering (DMLS)

Dodatna obrada

Peskarenje nakon izrade

- Dodatak za obradu 0,05mm
- Poboľjšanje kvaliteta površine
- Stvara dobru osnovu za dodatnu obradu

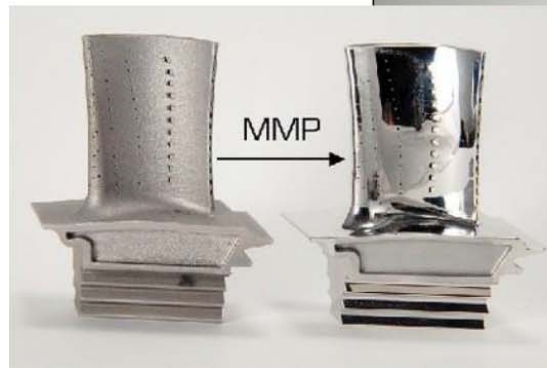


Fina mašinska obrada

- Dodatak za obradu 0,1-0,5 mm

Poliranje

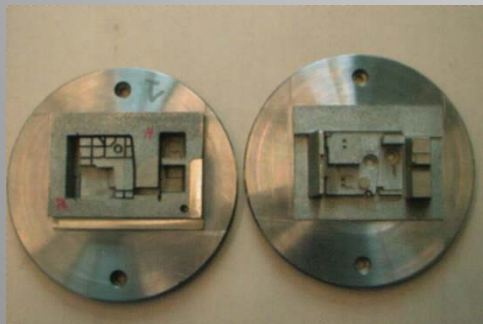
- Dodatak za obradu 0,03 mm



Selective Laser Melting (SLM)

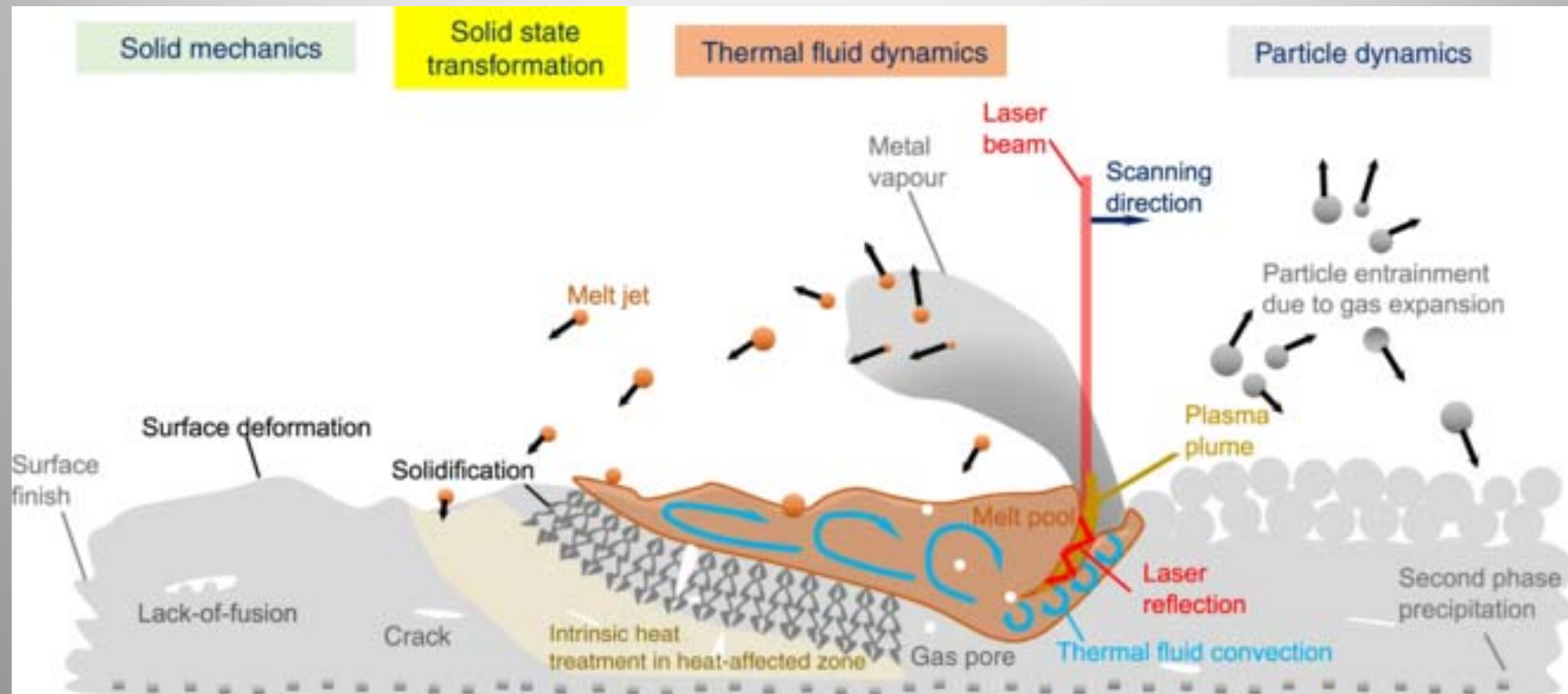
Selective Laser Melting (SLM) – selektivno lasersko topljenje Laser beam melting (LBM)

- ❑ Selektivno lasersko topljenje (SLM) – postupak u kojem laser velike snage **u potpunosti topi svaki sloj metalnog praha**, a ne samo sinteruje. SLM postupkom dobijaju se delovi velike gustine i čvrstoće.
- ❑ Veliki zaostali naponi, dislokacije.
- ❑ Izrada alata i prototipova i iz plemenitih metala, Al, Ti, Co; Cr, Inox...
- ❑ Debljina generisanog sloja je oko 0.015 mm, tako da se omogućava izrada veoma tačnih delova (čak i izrada navoja).



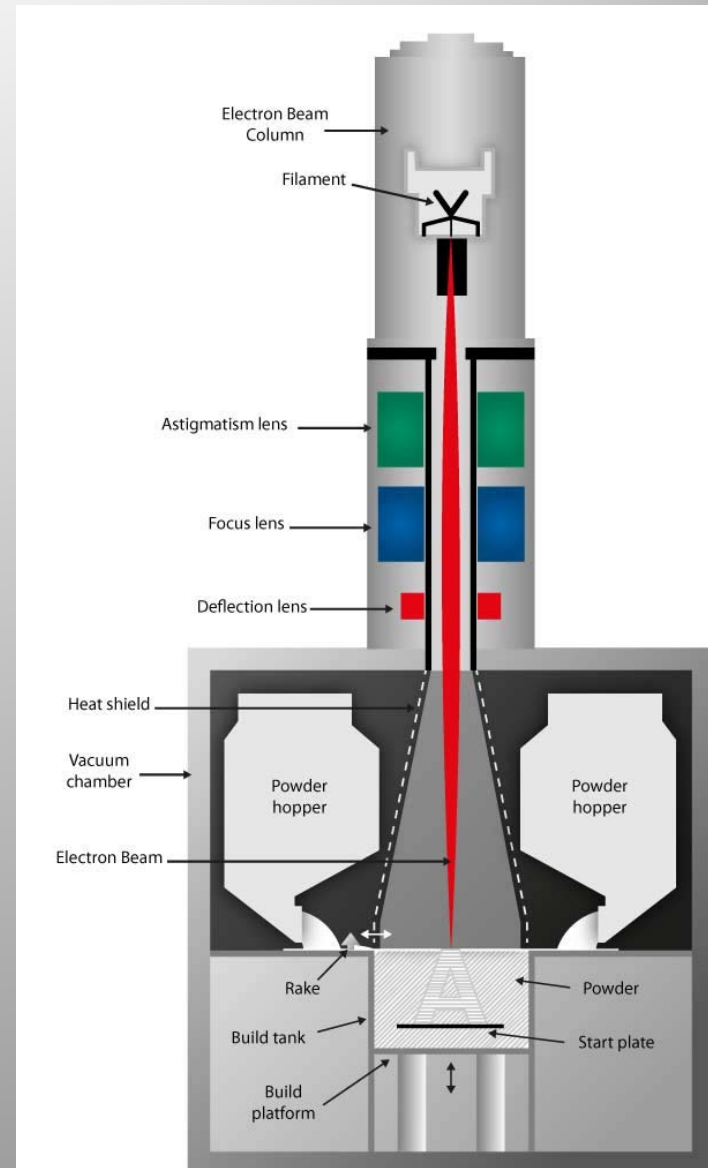
Selective Laser Melting (SLM)

Selective Laser Melting (SLM)



Electron Beam Melting (EBM)

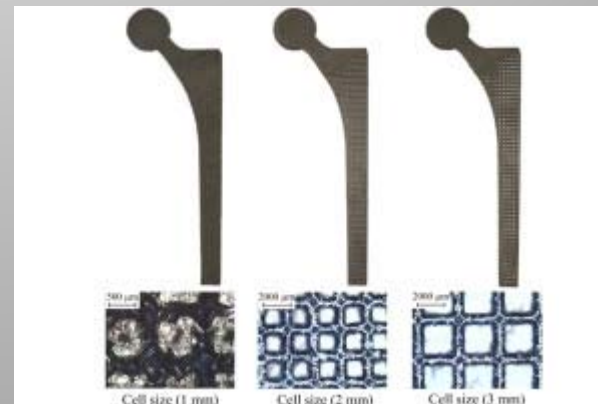
- Švedska kompanija – Arcam 1997
- Veoma sličan SLM (laser vs snop elektrona)
- Čestice praha 45-106 μm
- 700°C za titanium, 1000°C za druge materijale (nickel-based superalloys)
- EBD vs SLS
 - Manja oksidacija (vakum vs inertni gas)
 - Manja poroznost i bolje mehaničke osobine
 - Brži – 5 puta



Electron Beam Melting (EBM)



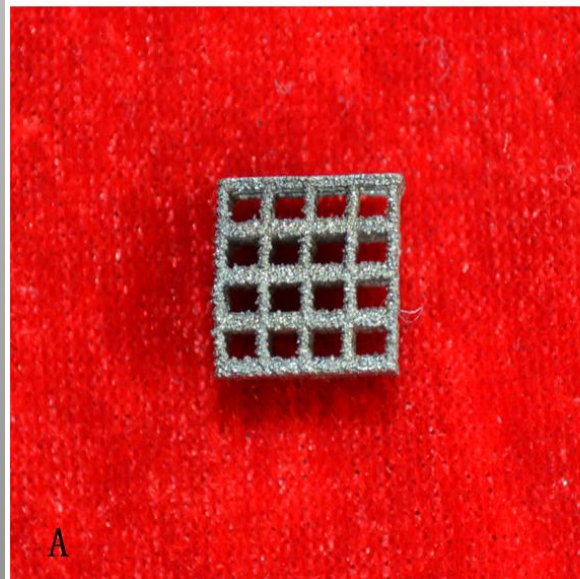
Electron Beam Melting (EBM)



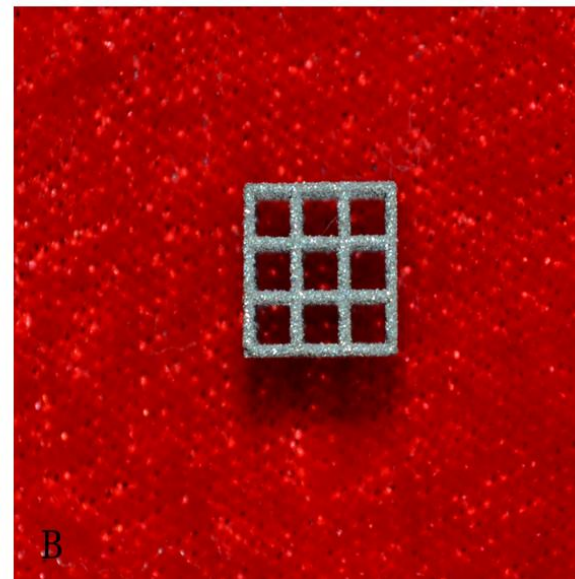
Komparacija: SLM vs EBM

Features	SLM	EBM
Heat source	Laser beam (up to 1 kW)	Electron beam (60 kW)
Scan speed	Limited by galvanometer inertia	Fast, magnetically driven
Powder size	10–45 μm	45–106 μm
Minimum beam size	50 mm	140 mm
Beam/melt pool dimension	0.5–1.5 μm	2–3 μm
Layer thickness	20–100 μm	50–200 μm
Chamber atmosphere	Argon or nitrogen	Vacuum (+helium)
Environment temperature	Build platform at 100–200 °C	Chamber at 400–1000 °C
Powder pre-heating	Using infrared or resistive heaters	Using electron beam
Surface finish	Excellent to moderate (~20 μm)	Moderate to poor (~35 μm)
Residual stresses	Yes	No

EBM



SLM



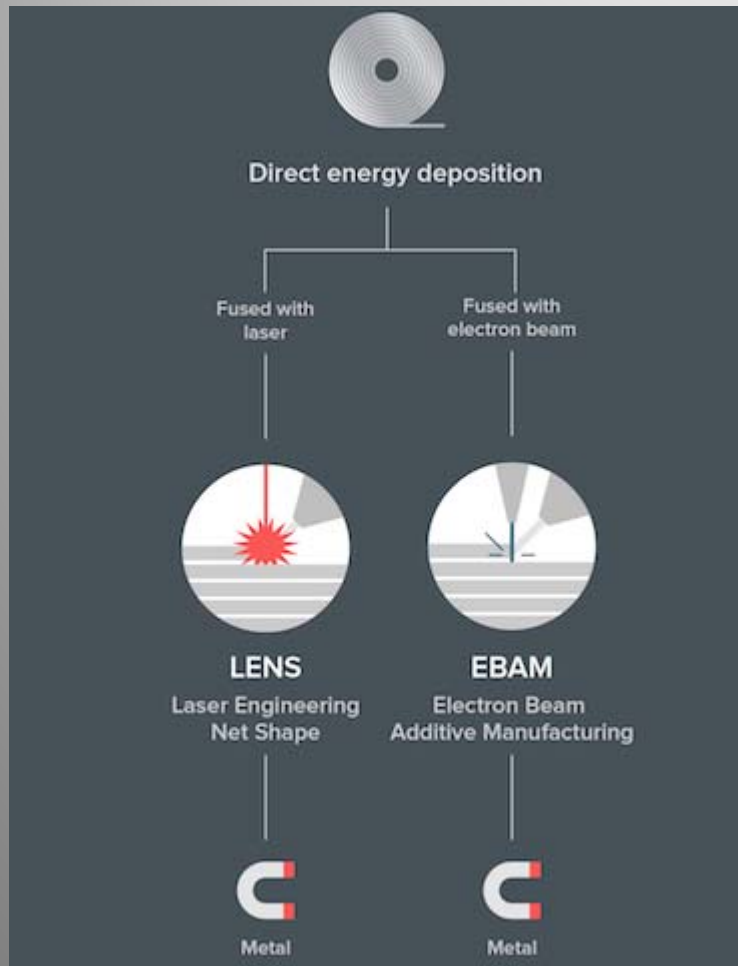
Komparacija: SLM vs EBM

A more detailed comparison: Some numbers

		SLM	EBM
Size building chamber (mm)	typical	250 x 250 x 350	Ø 210 x 350
	up to	500 x 280 x 325	Ø 350 x 380
Layer thickness (µm)		30 to 90	50 to 90
Min wall thickness (mm)		0.2	0.6
Accuracy (mm)		+/- 0.1	+/- 0.3
Build rate (cm ³ /h)		5 - 20	80
Surface roughness (µm)		5 - 15	20 - 30
Type of parts		High resolution, difficult for massive parts	More massive parts, less detailed.

Direct Energy Deposition

(Deponovanje materijala primenom usmerene energije)



LENS (Direct Metal Deposition – DMD) - Koristi se glava koja služi kao spremnik praha i u kojoj se još nalazi laserska optika, mlaznica za deponovanje praha i intalacija/cevčica za inertni gas. Podloga je obično ravna metalna ploča na kojoj se izrađuje deo ili se postavlja prethodno izrađeni deo koji se onda nadograđuje (reparira). Laser stvara zonu rastopljenog metala na mestu gradnje i prah se raspršuje u rastop, koji se zatim topi i učvršćuje.

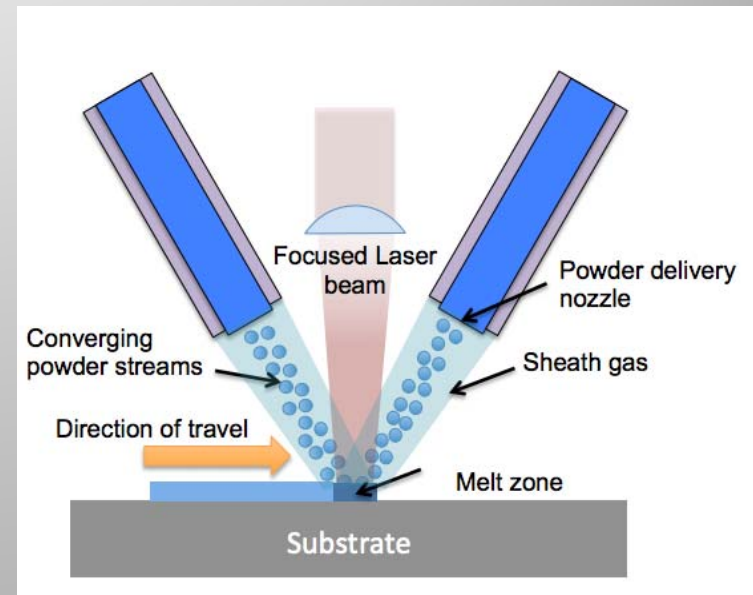
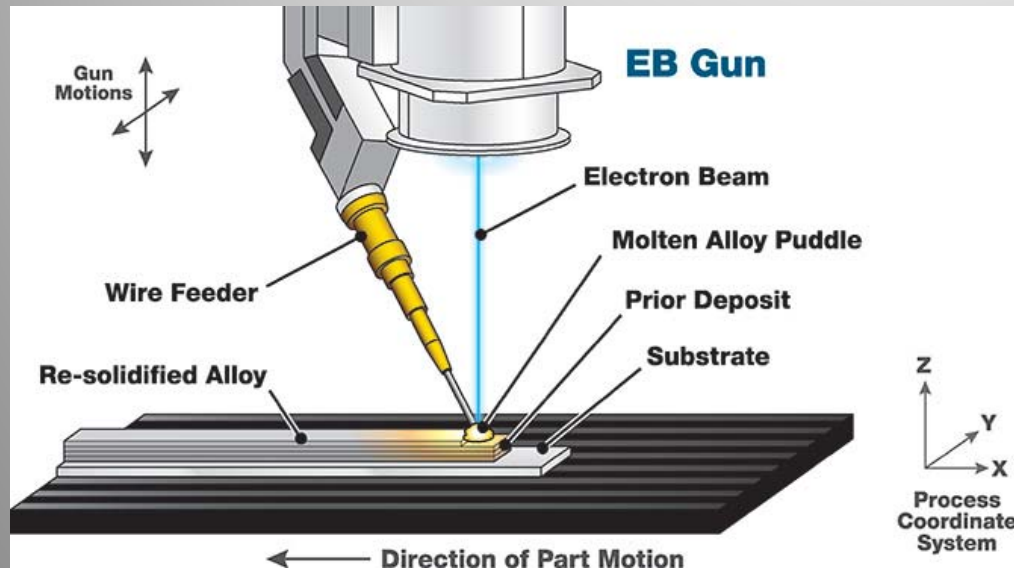
EABM – Delovi se izrađuju na sličan način kao kod DMD-a, s tim da se osim metalnog praha može koristiti i žica, koji se u ovom slučaju tope pod dejstvom elektronskog spona. Elektronski zraci su efikasniji od lasera i proces se odvija u vakumu. Tehnologija je prvobitno dizajnirana za svemirski program.

Laser metal deposition manufacturing - LMD

Directed energy deposition – DED

Direct metal deposition - DMD

Aditivni proces u kome se toplotna energija koristi za topljenje i fuzionisanje prethodno nanetog metala.

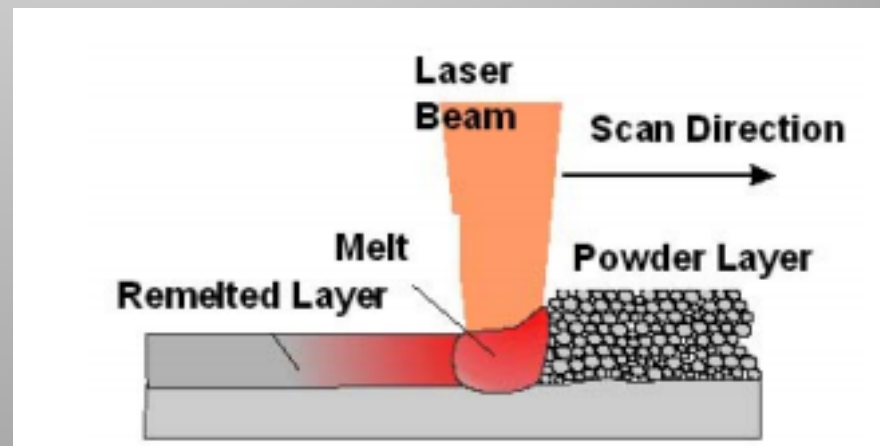
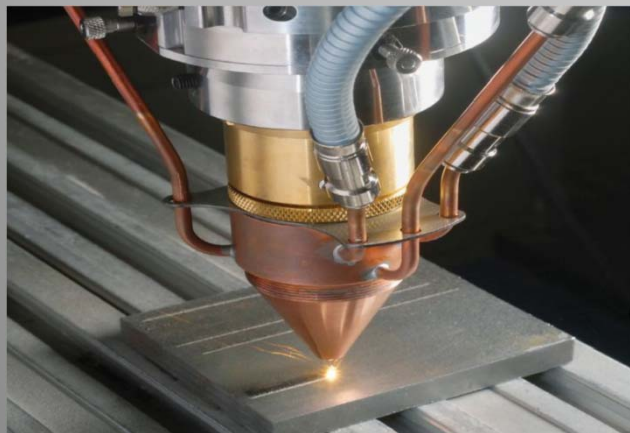


- Materijal (prah, žica) se direktno deponuje iz mlaznice na objekat.
- Materijal se se topi pomoću lasera/snopa elektrona/plazme

Direktno energetska taloženje/ Deponovanje materijala primenom usmerene energije (*Directed energy deposition*)

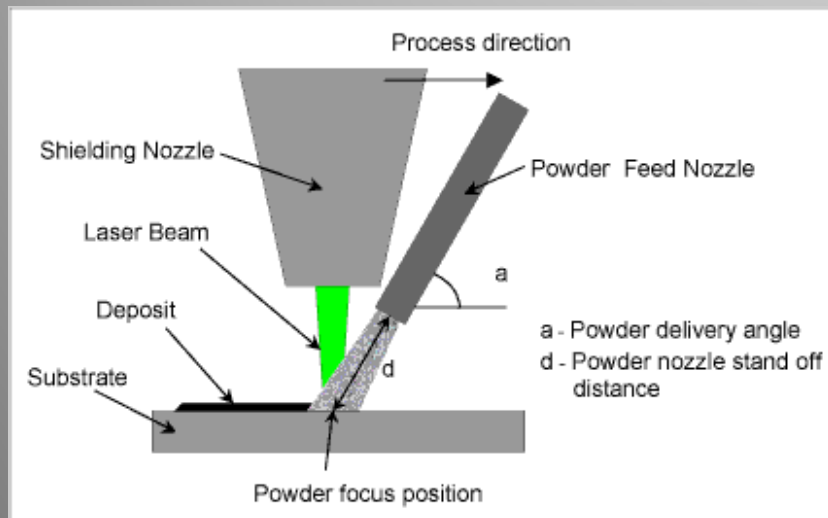
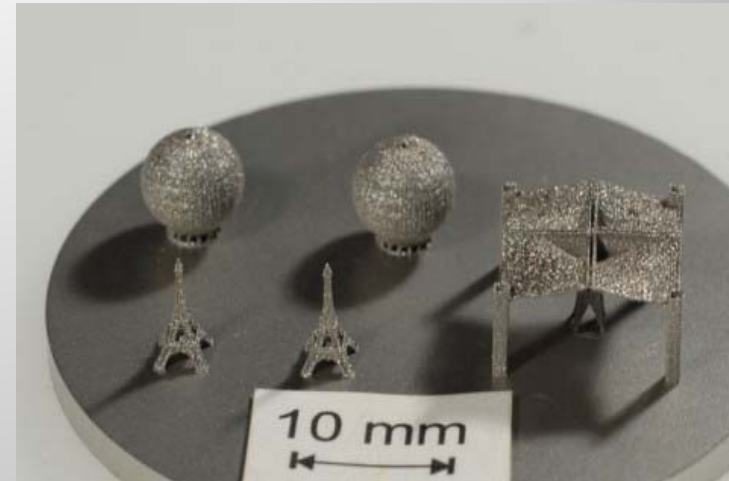
Direct metal deposition/ cladding

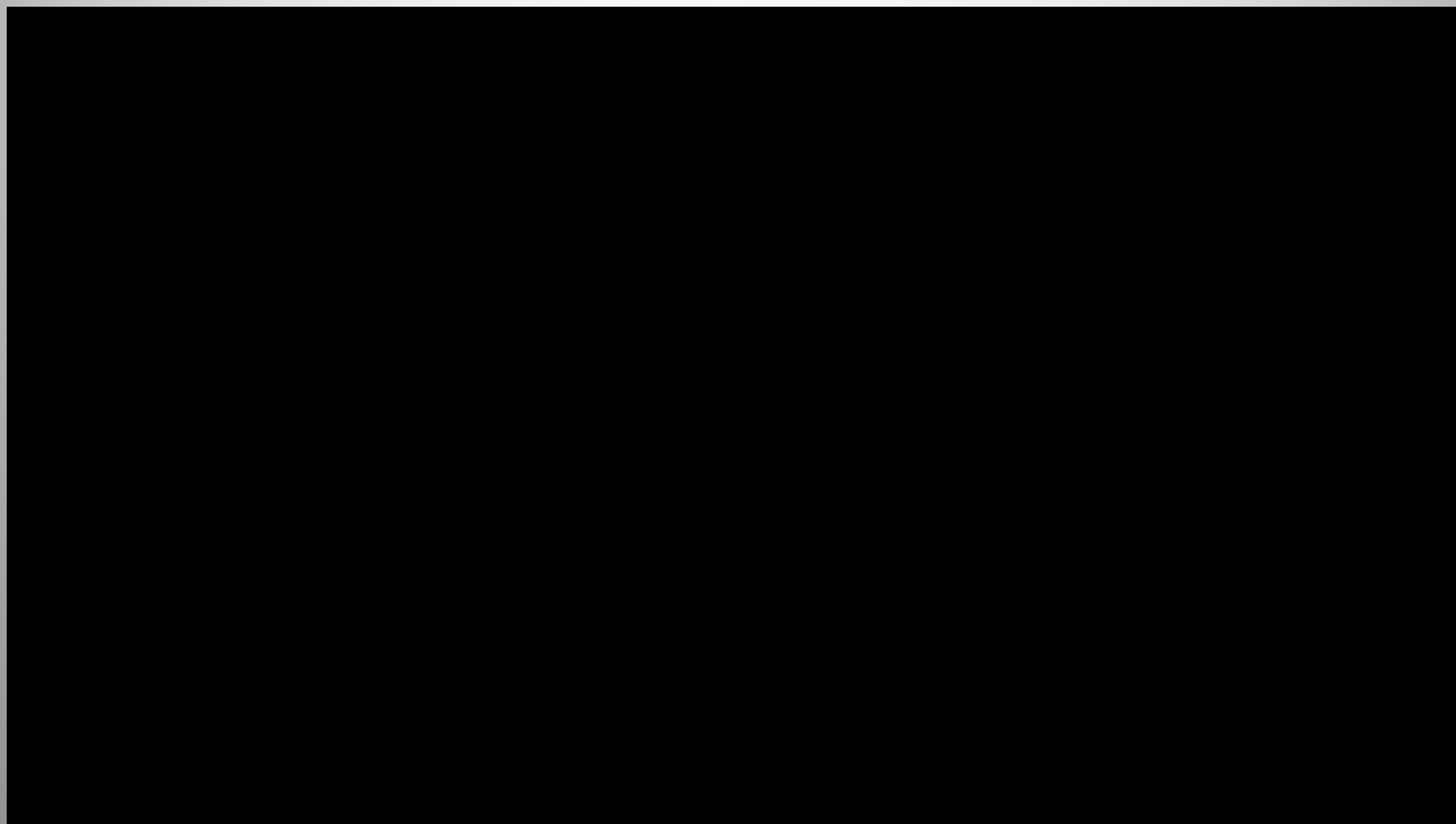
Pokretna mlaznica deponuje i topi metalni prah istovremeno. Koristi se za reparativno zavarivanje složenih konstrukcija i za proizvodnju različitih metalnih komponenti.



Direct Metal Deposition (DMD)

Laser additive manufacturing (LAM)
Selective laser micro-melting (SL μ M)
Laser micro-deposition welding (μ LMD)





TWI

