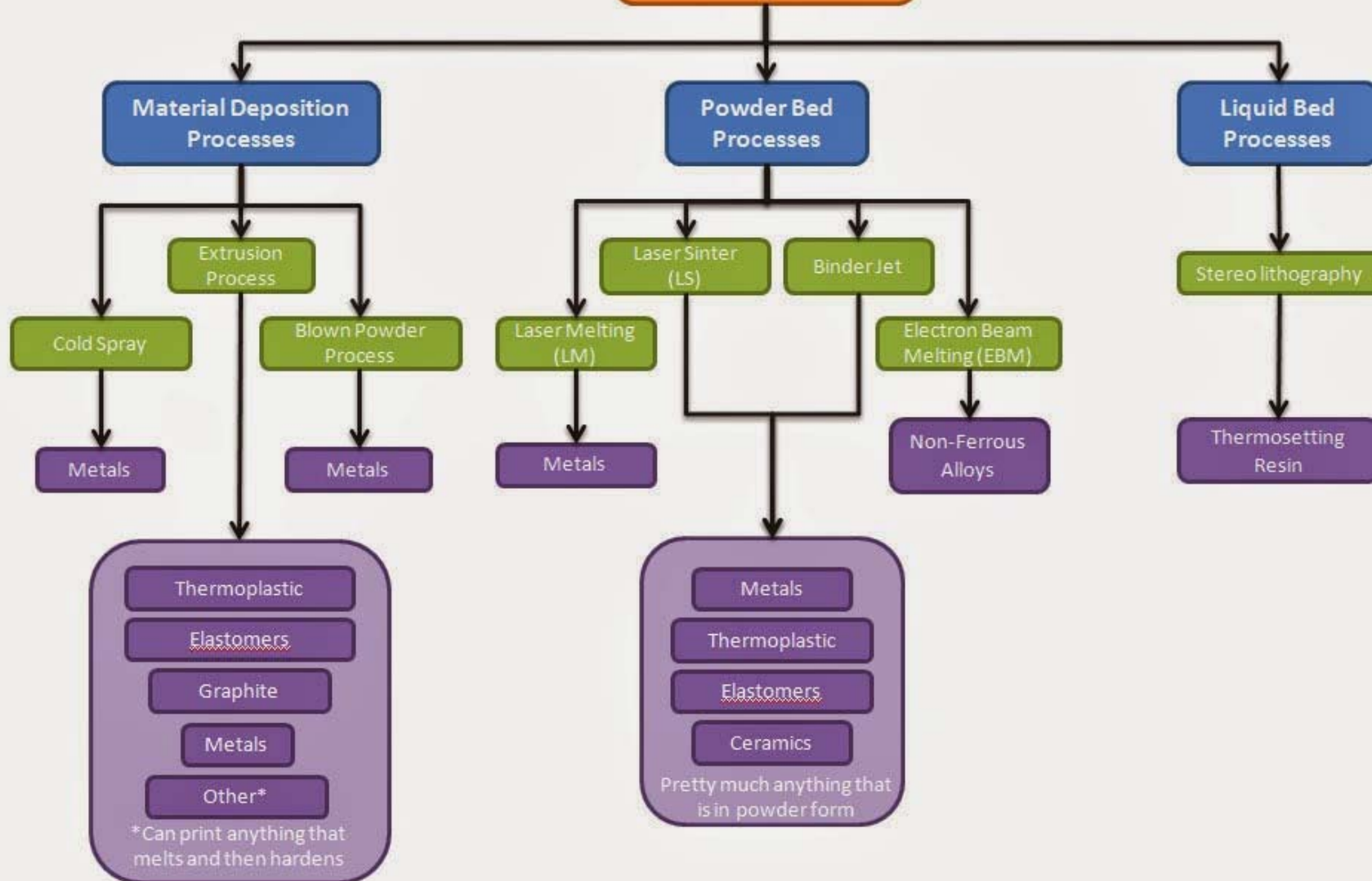


# **Brza izrada prototipova i modela**

Nastavnik:  
Prof. dr Mladomir Milutinović

Asistent:  
Dejan Movrin

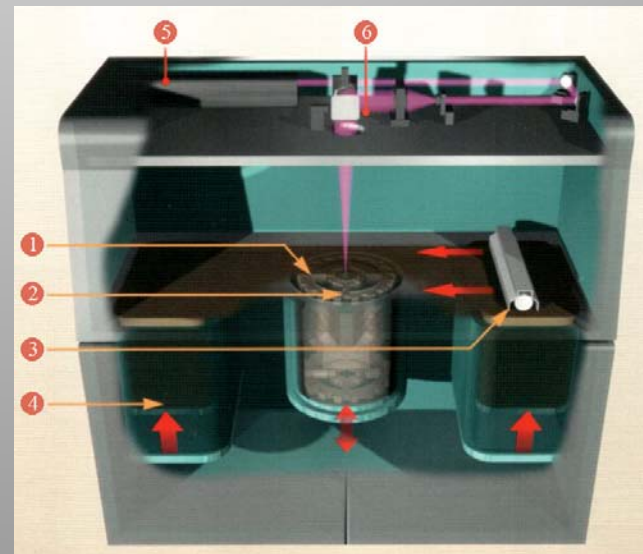
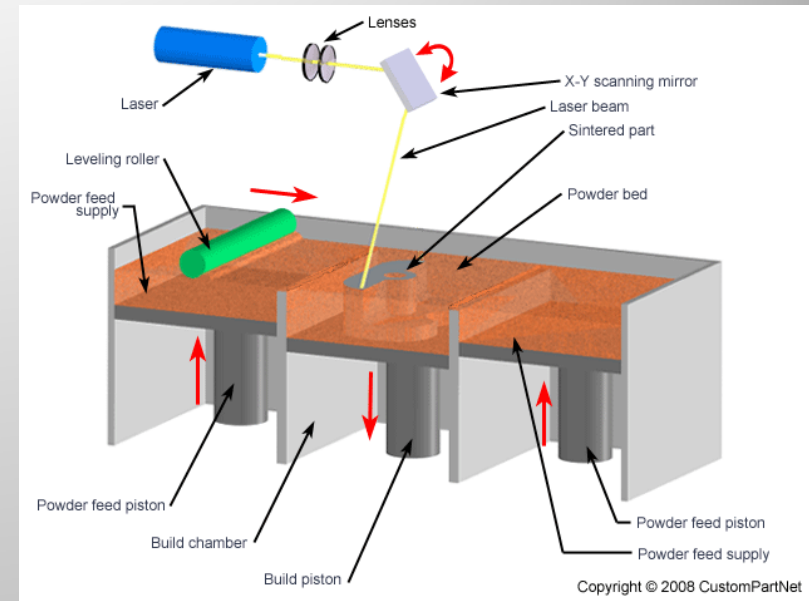
# Additive Manufacturing



# Selective Laser Sintering (SLS)

## Selektivno Lasersko Sinterovanje

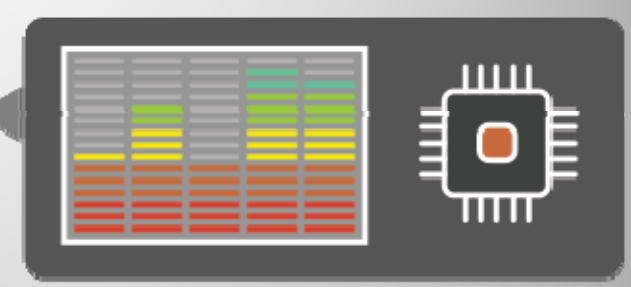
- Postupak na bazi spajanja diskretnih čestica topljenjem
- DTM Corporation 1989 Austin, 3D Systems 2001
- Čestice praha 50  $\mu\text{m}$  - 100  $\mu\text{m}$
- Sinterovanje
- Komora za čestice se greje
- Temperatura sinterovanja (170 – 200°C za plastiku)
- Sinterovanje se odvija bez pritiska (manja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



1. deo koji se izrađuje
2. radna zapremina
3. valjak
4. rezervoar prašina
5. CO<sub>2</sub> laser
6. optički sistem za skeniranje



Laser



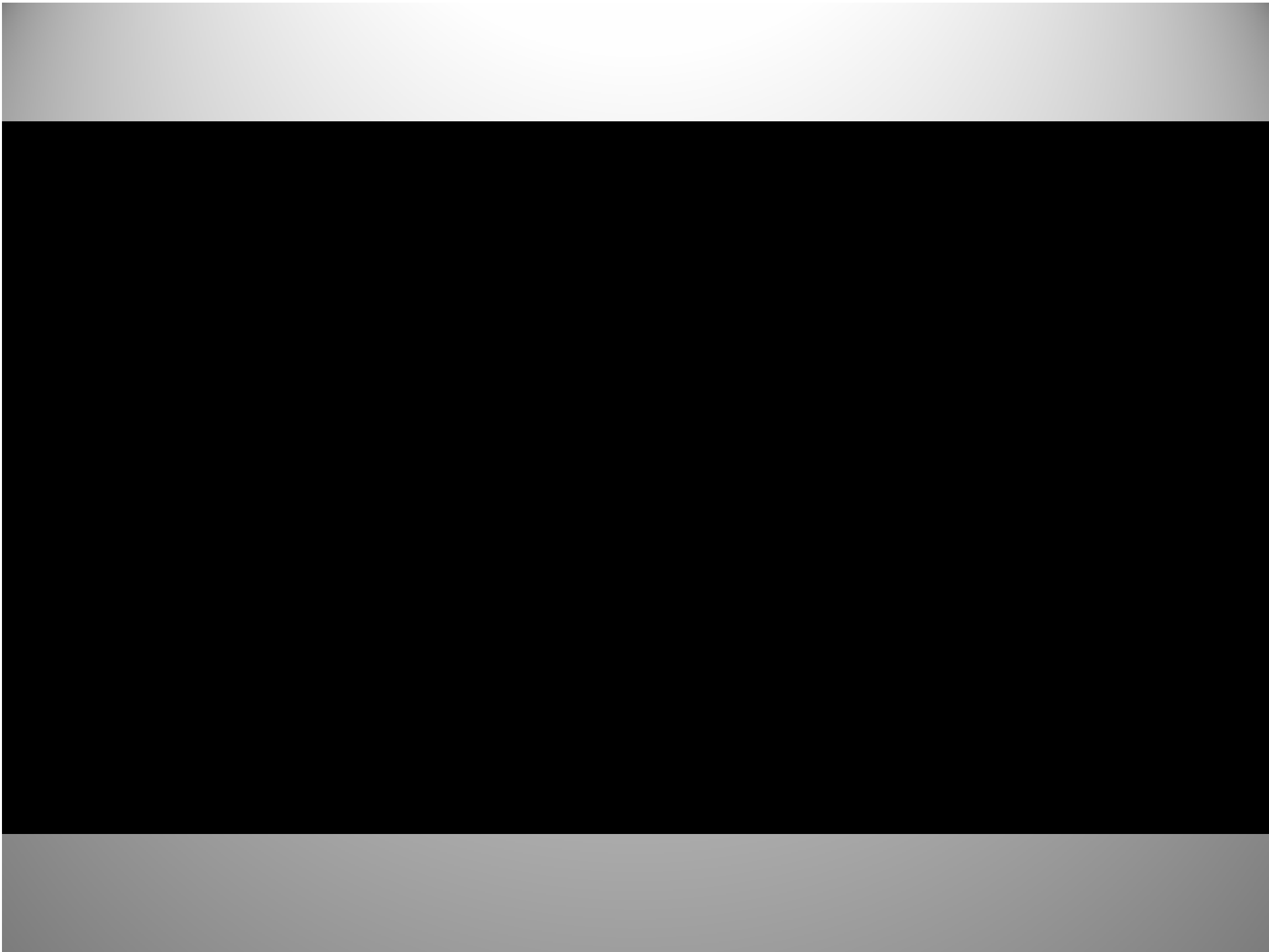
Building Platform



Powder



Piston



# Selective Laser Sintering (SLS)

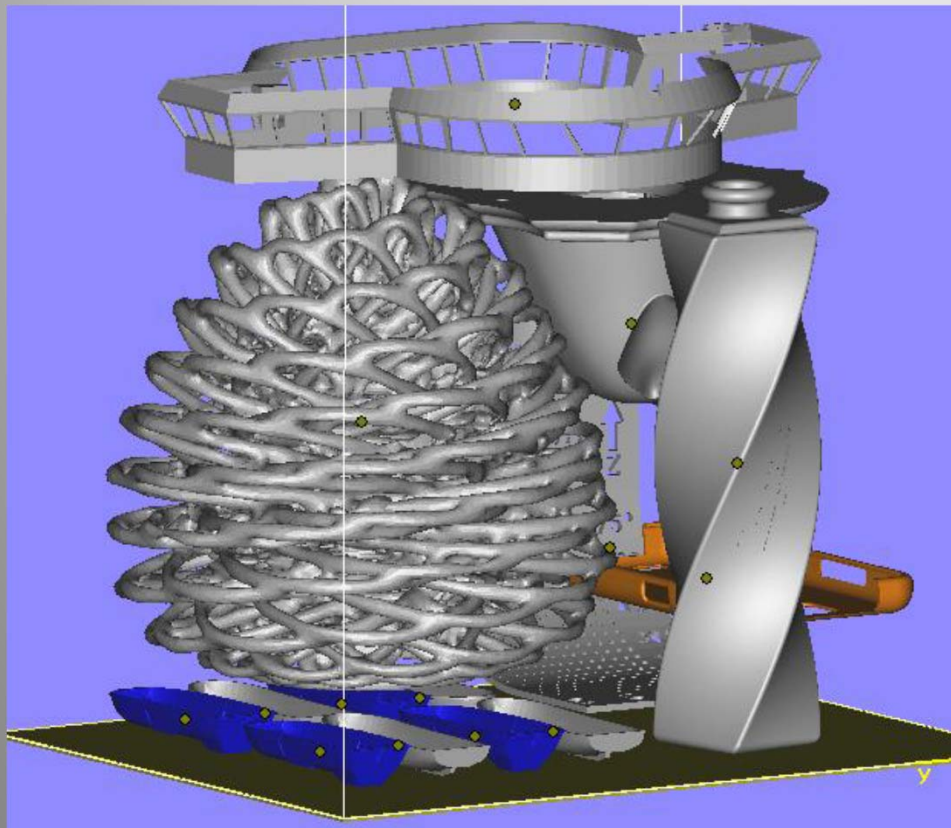
## Glavne prednosti

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

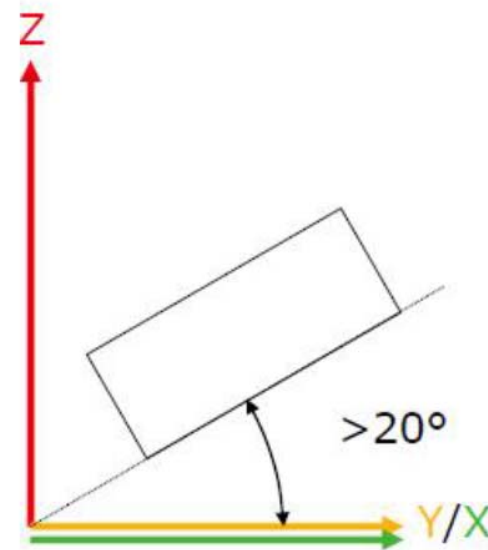
## Nedostaci procesa

- *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





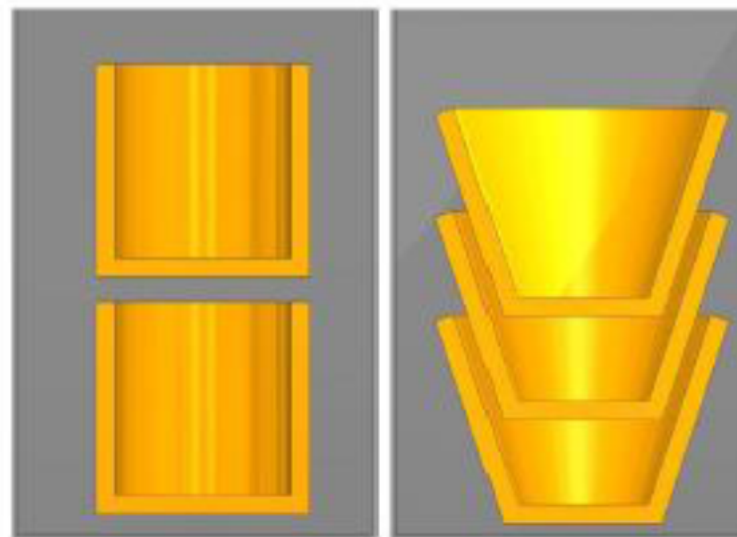
## Cena izrade u najvećoj meri zavisi od visine gradnje (z - osa) i od utrošene količine praha

Redukovati visinu gradnje delova ->

- Projektovati delove što je moguće manje visine
- Projektovati delove tako da se poveća ispunjivost radne zapremine

Redukovati zapreminu delova

- Integrisano projektovanje
- Projektovanje „lakih“-tankozidnih delova
- Optimizacija



## Debljine zidova

Zavisi prvenstveno od orijentacije dela prilikom izgradnje!

**x/y**

- Minimalna debljina zida 0,45 mm
- Minimalna debljina zida koja garantuje mehaničke osobine i dimenzije 1,5mm

**Z**

- Minimalna debljina zida –teoretski debljina sloja – 0,1 mm

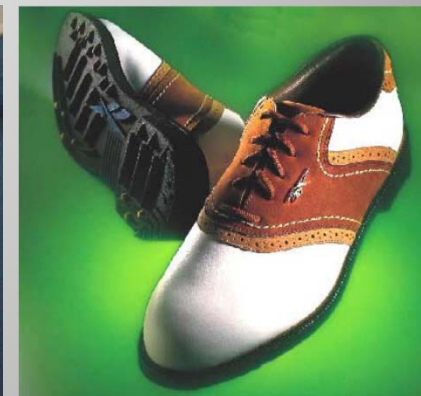
**Čivije – stubovi**

- Minimalna debljina zida 0,8 mm
- Minimalna debljina zida koja garantuje mehaničke osobine i dimenzije 1,8mm



# 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**

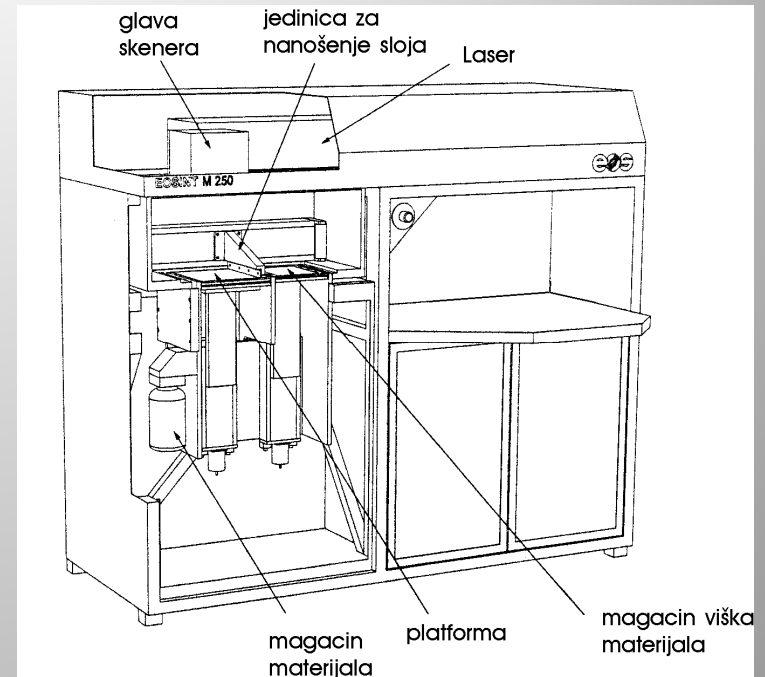


**Sinterstation HiQ**

# Selective Laser Sintering (SLS)

## EOS - Nemačka

Model	EOSINT P 360	EOSINT M250 Xtended	EOSINT S	EOSINT P 700
Laser type	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Laser power (W)	50	Min. 200	2 × 50	50
XY sweep speed (m/s)	5	3	5 each	5
XY position accuracy (mm)	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05
Work volume, XYZ (mm × mm × mm)	340 × 340 × 620	250 × 250 × 185	700 × 380 × 380	700 × 380 × 580
Layer thickness (mm)	0.1–0.2	0.05–0.1	0.2	0.15
Size of unit, XYZ (m × m × m)	2.15 × 1.3 × 1.25	1.95 × 1.85 × 1.1	2.1 × 1.4 × 1.4	2.1 × 1.41 × 2.27
Data control unit	PC Pentium Win 95, Win NT	PC Pentium Win 95, Win NT	PC Pentium Win 95, Win NT	PC Pentium Win 95, Win NT
Power supply	400 V <sub>AC</sub> , 32 A	400 V <sub>AC</sub> , 32 A	400 V <sub>AC</sub> , 32 A	400 V <sub>AC</sub> , 32 A



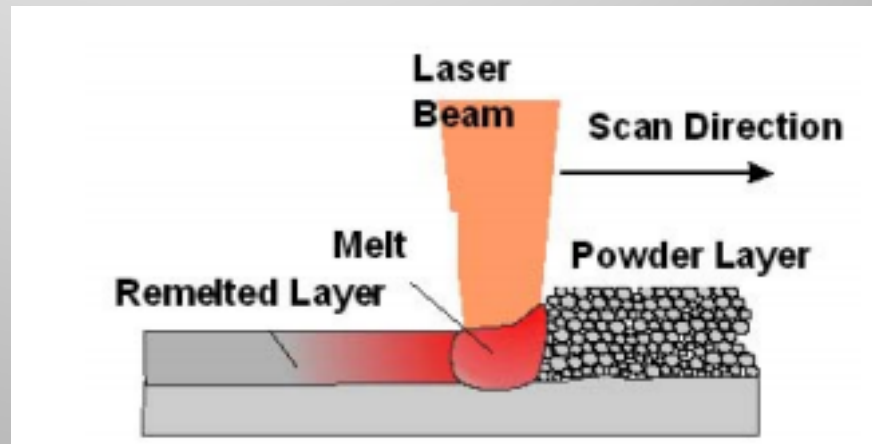
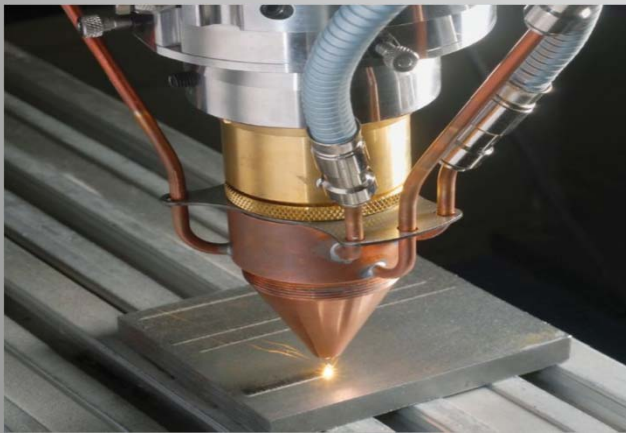
# Metalni materijali

## 1- Metal Binder Jetting

*Mogućnost brze izrade delova velikih dimenzija. Povezivanje metalnog plaha pomoću vezivnog sredstva. Dobija se tzv. zeleni deo koji se kasnije mora sinterovati.*

## 2- 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.*



## 3- Selective Laser Melting/ Direct Metal Laser Sintering

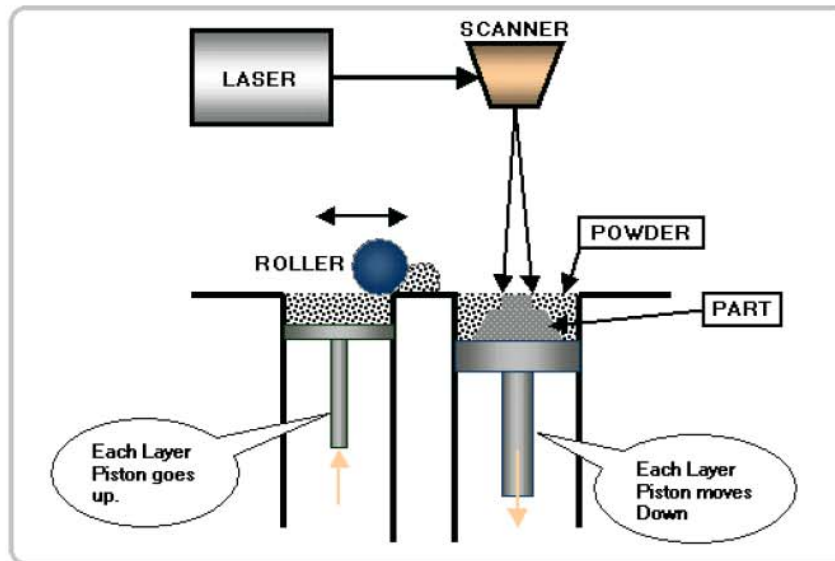
*Metalni prah se nalazi u komori (rezervoaru). Laserski zrak topi sloj po sloj praha. Izuzetno kompleksni delovi sa visokom rezolucijom, ograničeni po dimenzijama.*

## 4- Electron Beam Melting

*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)

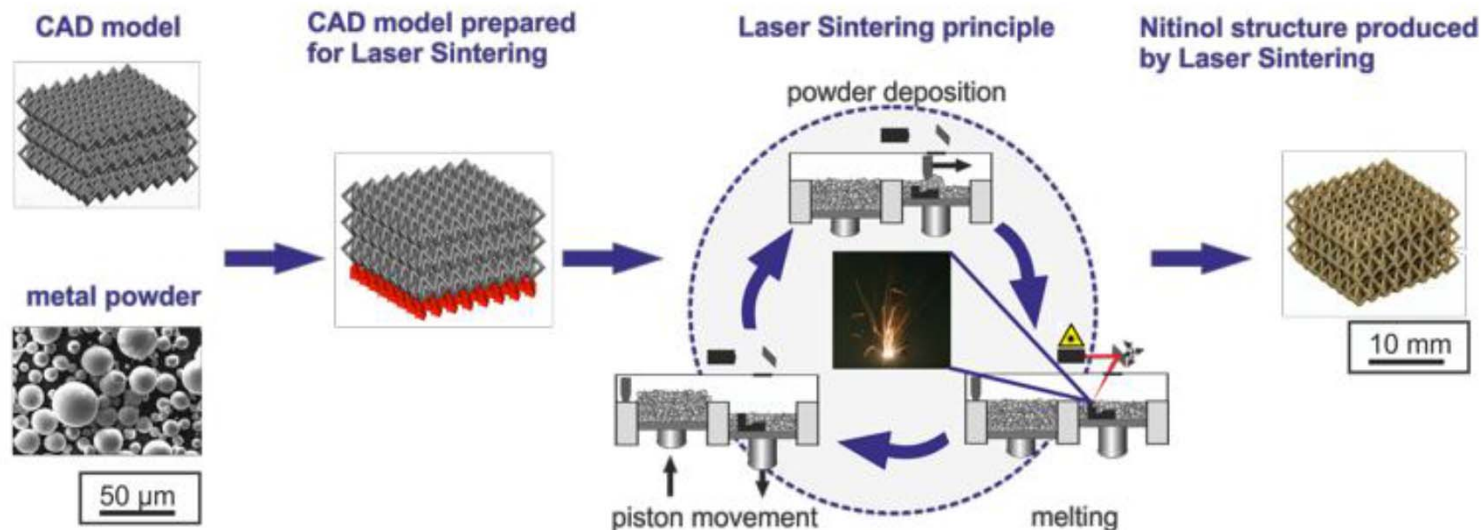


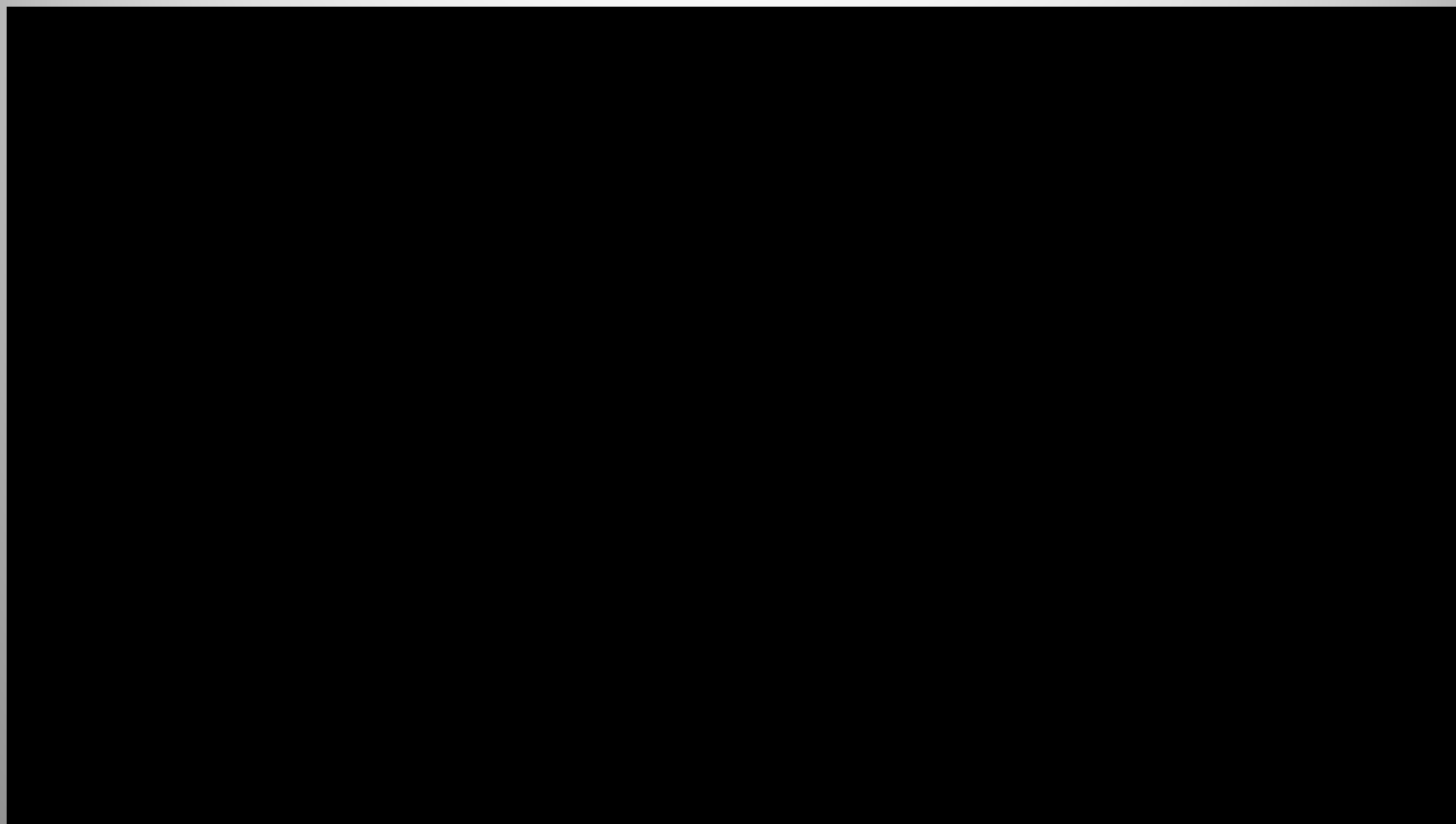
Selektivno lasersko sinterovanje  
je  
Selektivno lasersko sinterovanje

DMLS -> Direct Metal Laser Sintering

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

- Azota
- Argona





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

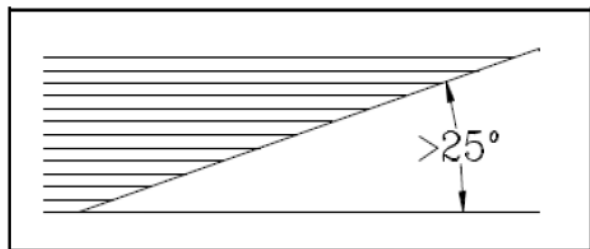




Metalni prah ne može da služi kao noseća struktura za delove

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

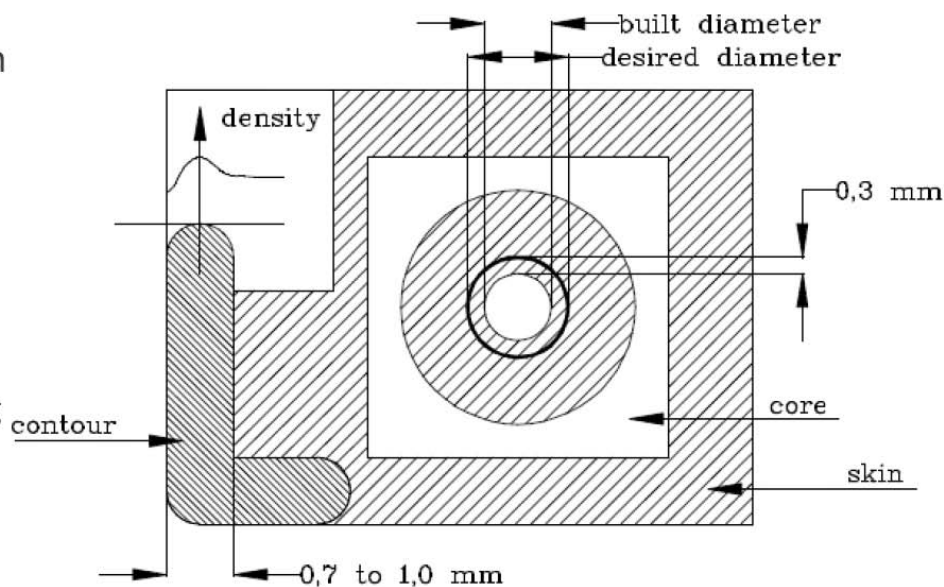
Ako se grade alati tada je moguća nadogradnja delova – nije potrebna izgradnja nosećih elemenata



Nakon izrade delova DLMS-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



# Dodatna obrada

## Peskarenje nakon izrade

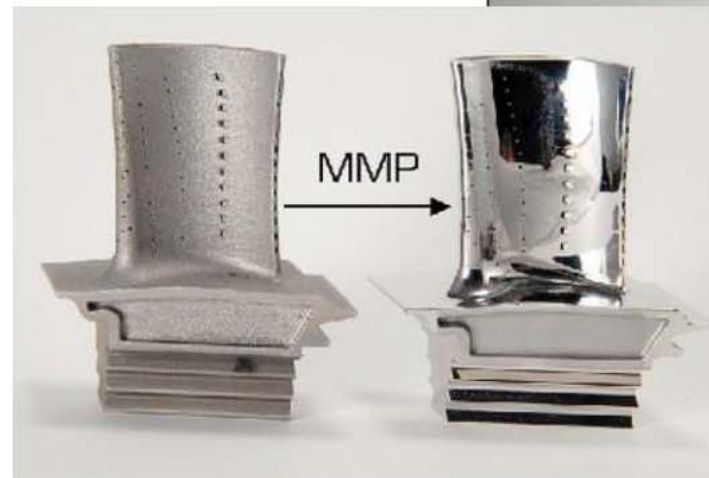
- Dodatak za obradu 0,05mm
- Poboljšanje kvaliteta površine
- Stvara dobru osnovu za dodatnu obradu

## Fina mašinska obrada

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

## Poliranje

- Dodatak za obradu 0,03 mm

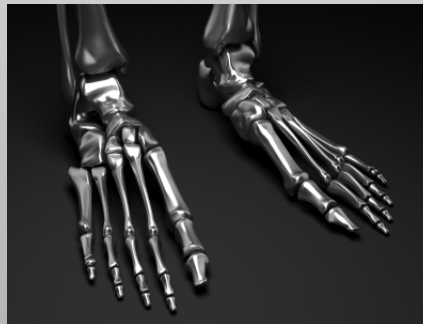
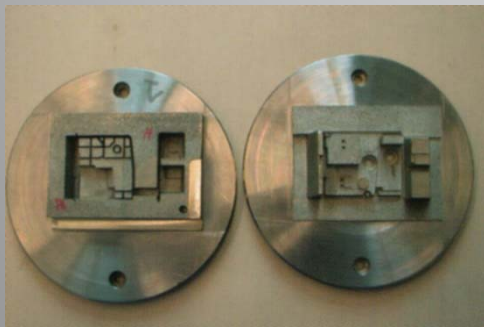


# Selective Laser Melting (SLM)

**FOCKELE & SCHWARZE (F&S)**

**Postupak: Selektive Laser Melting (SLM) – selektivno lasersko topljenje**

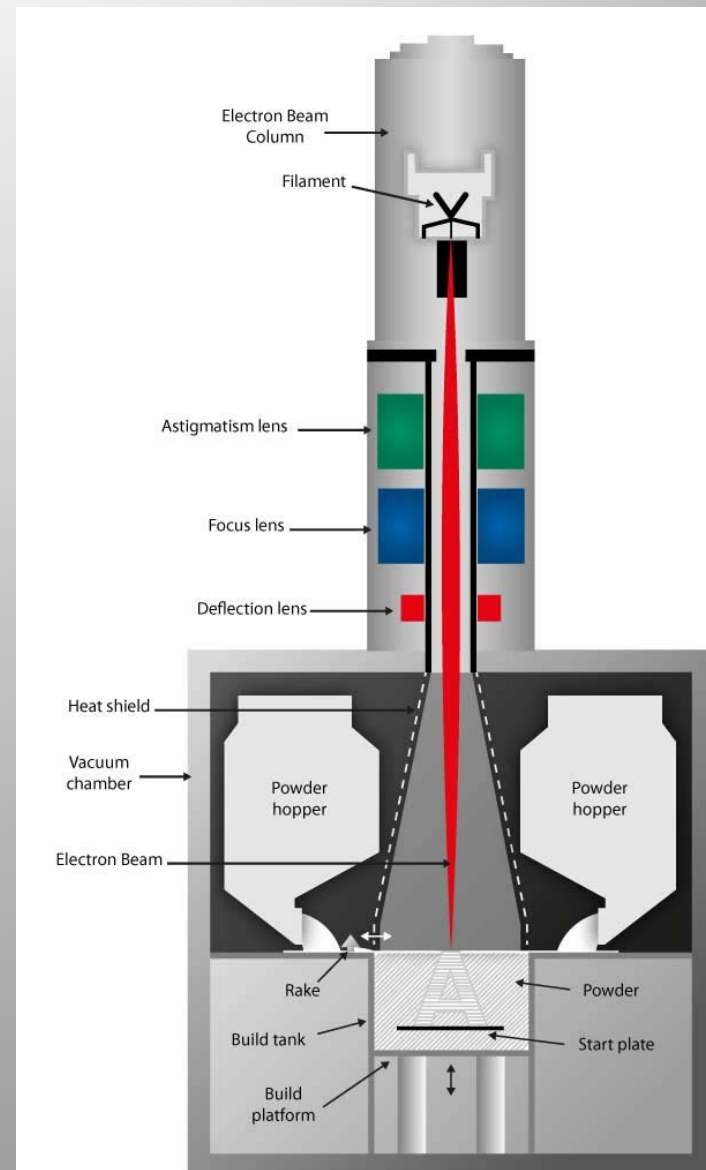
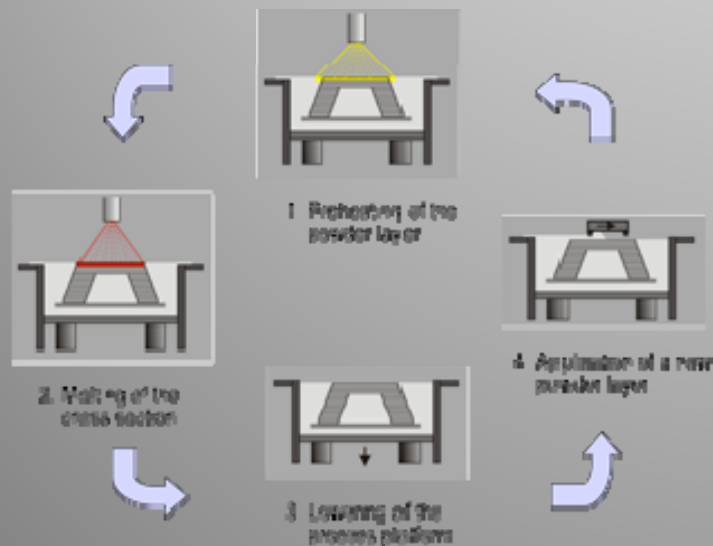
- ❑ Specifičnost F&S sistema je u računarskom definisanju pojedinih slojeva modela, posebno u vrsti kreiranja slojeva spuštanjem platforme.
- ❑ Izrada alata i prototipova i iz plemenitih metala, aluminijuma i ostalih metala.
- ❑ Debljina generisanog sloja je oko 0.015 mm, tako da se omogućava izrada veoma tačnih delova (čak i izrada navoja).



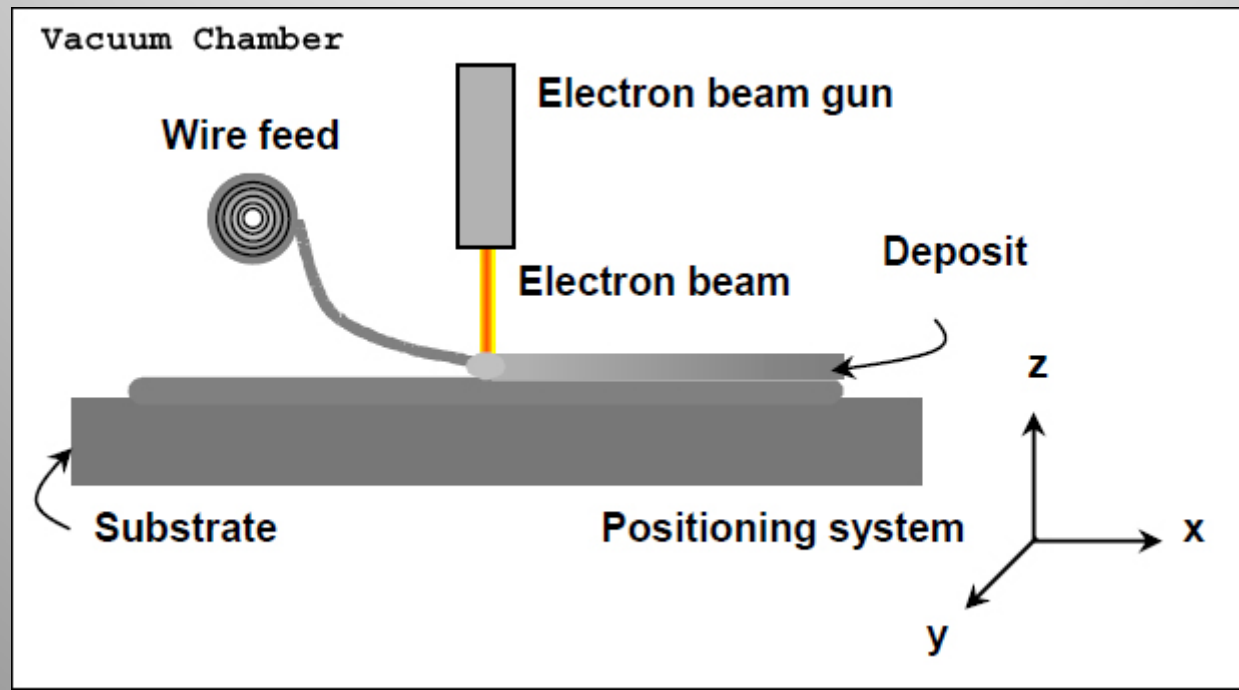


# Electron Beam Melting (EBM)

- Švedska kompanija – Arcam 1997
- Čestice praha 45-106  $\mu\text{m}$
- 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

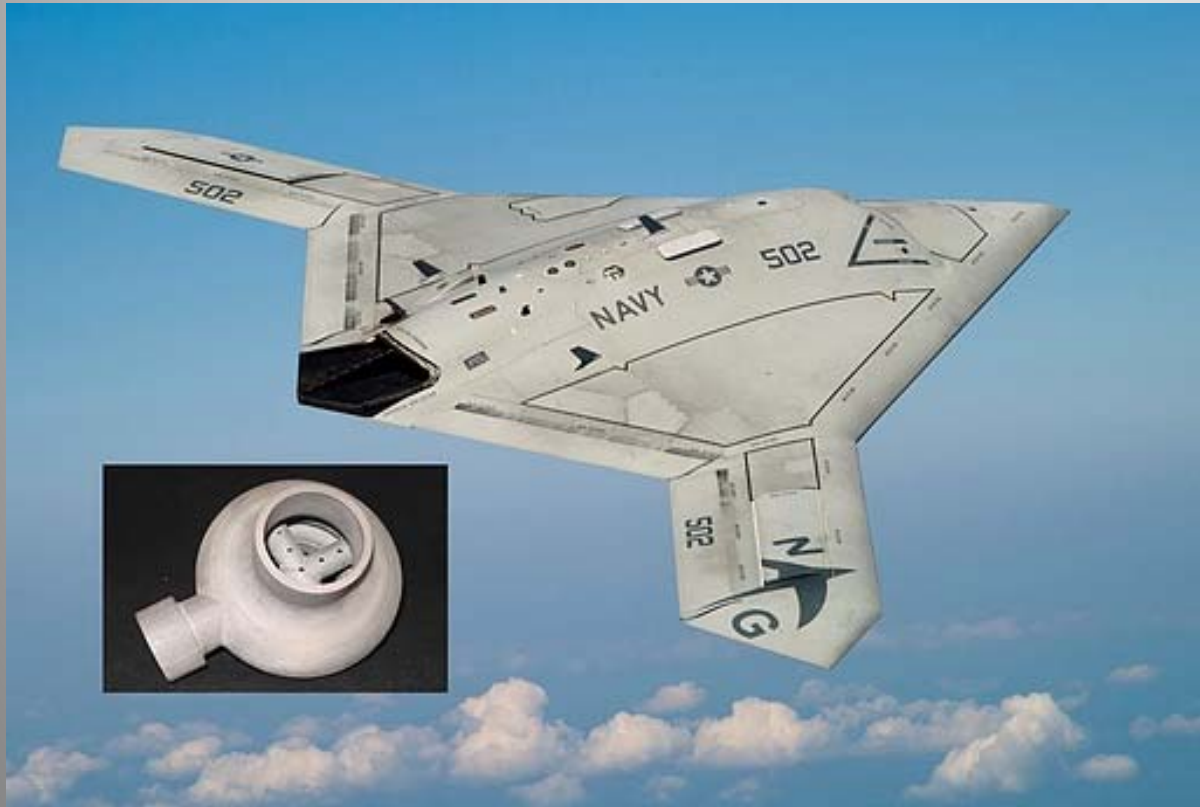


# Electron Beam Melting (EBM)



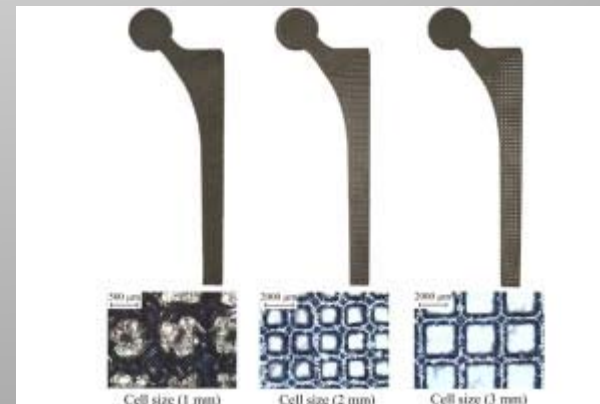


# Electron Beam Melting (EBM)





# Electron Beam Melting (EBM)



## **EBM** (*ARCAM A2 available at Sirris*)

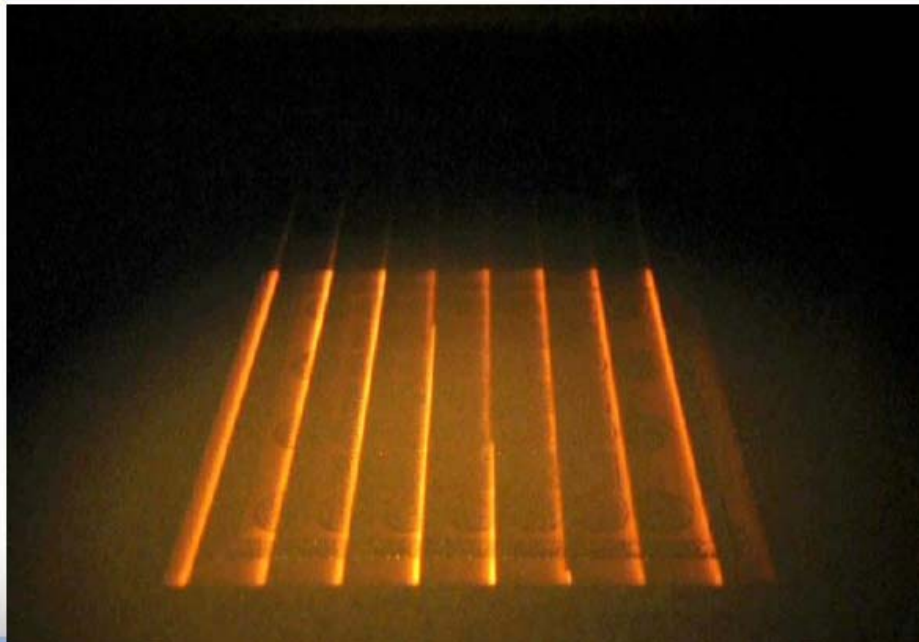
### **Electron beam source**

High preheating Temperature  
(~700C)

Need less supports

Less as-built thermal stresses

Difficult for building internal channels



## **SLM** (*SLM 250HL available at Sirris*)

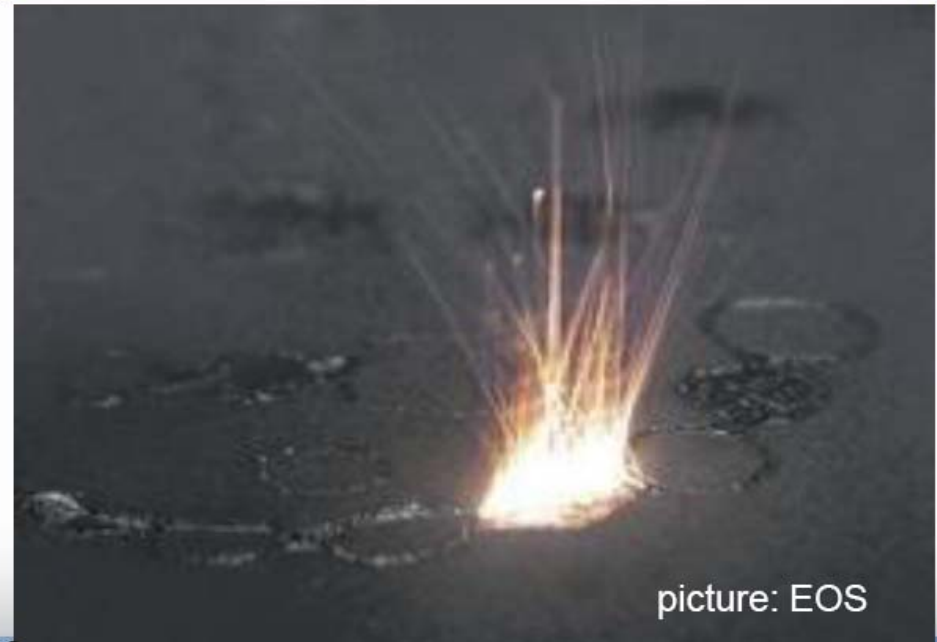
### **Laser beam source**

Low preheating Temperature (<200 C)

More need of supports

Finer resolution

Wider material pallet (Al,Ti,Inox,tool steel...)



picture: EOS

## A more detailed comparison: Some numbers

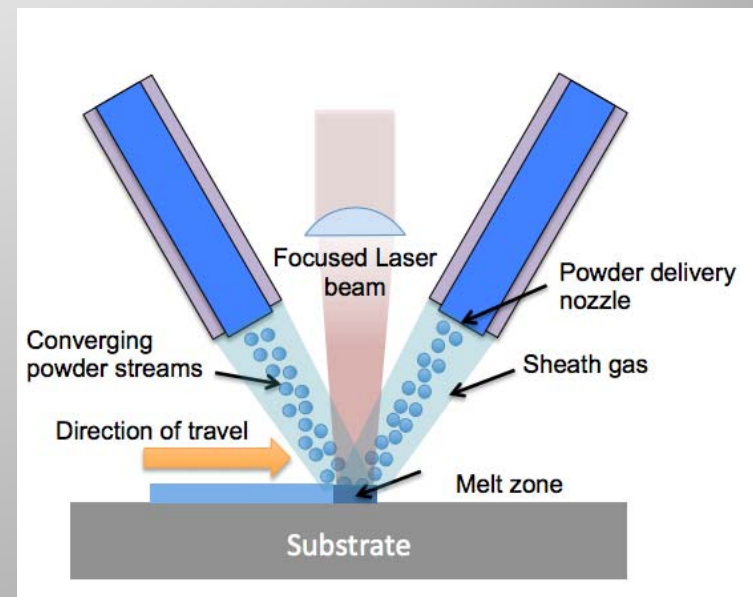
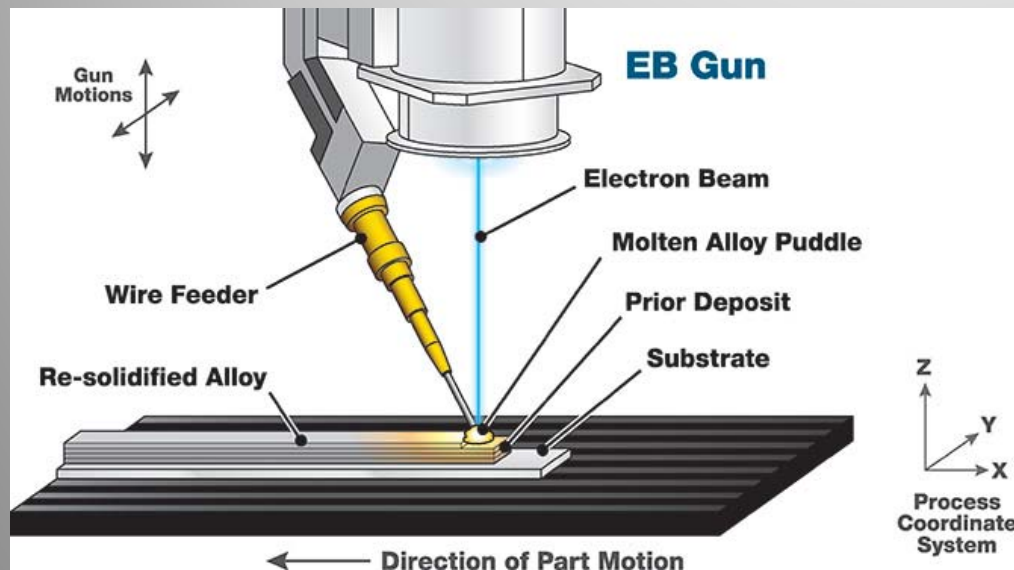
		SLM	EBM
Size building chamber (mm)	typical	250 x 250 x 350	Ø 210 x 350
	up to	500 x 280 x 325	Ø 350 x 380
Layer thickness (µm)		30 to 90	50 to 90
Min wall thickness (mm)		0.2	0.6
Accuracy (mm)		+/- 0.1	+/- 0.3
Build rate (cm <sup>3</sup> /h)		5 - 20	80
Surface roughness (µm)		5 - 15	20 - 30
Type of parts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

# Laser metal deposition manufacturing - LMD

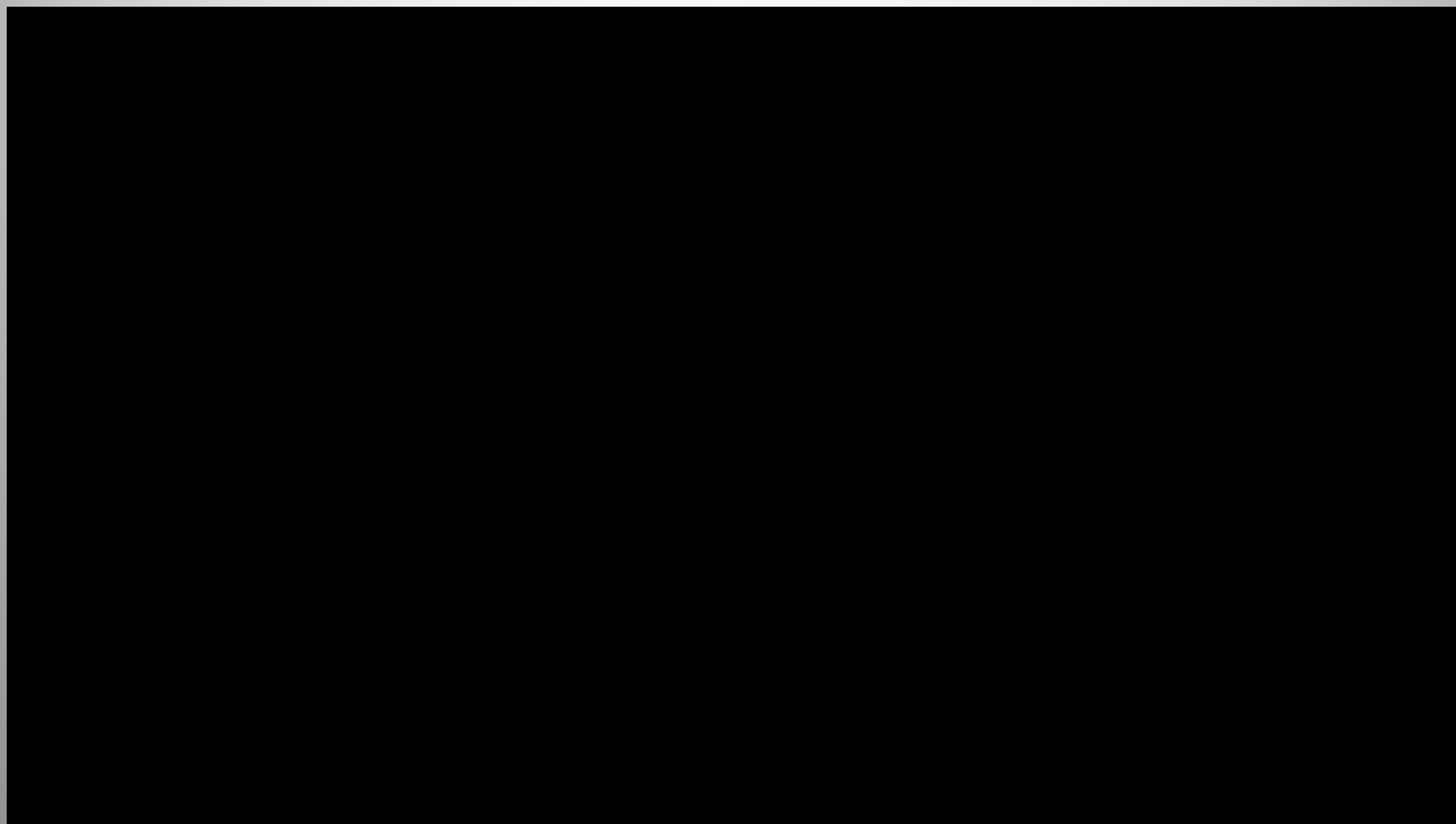
## Directed energy deposition – DED

### Direct metal deposition - DMD

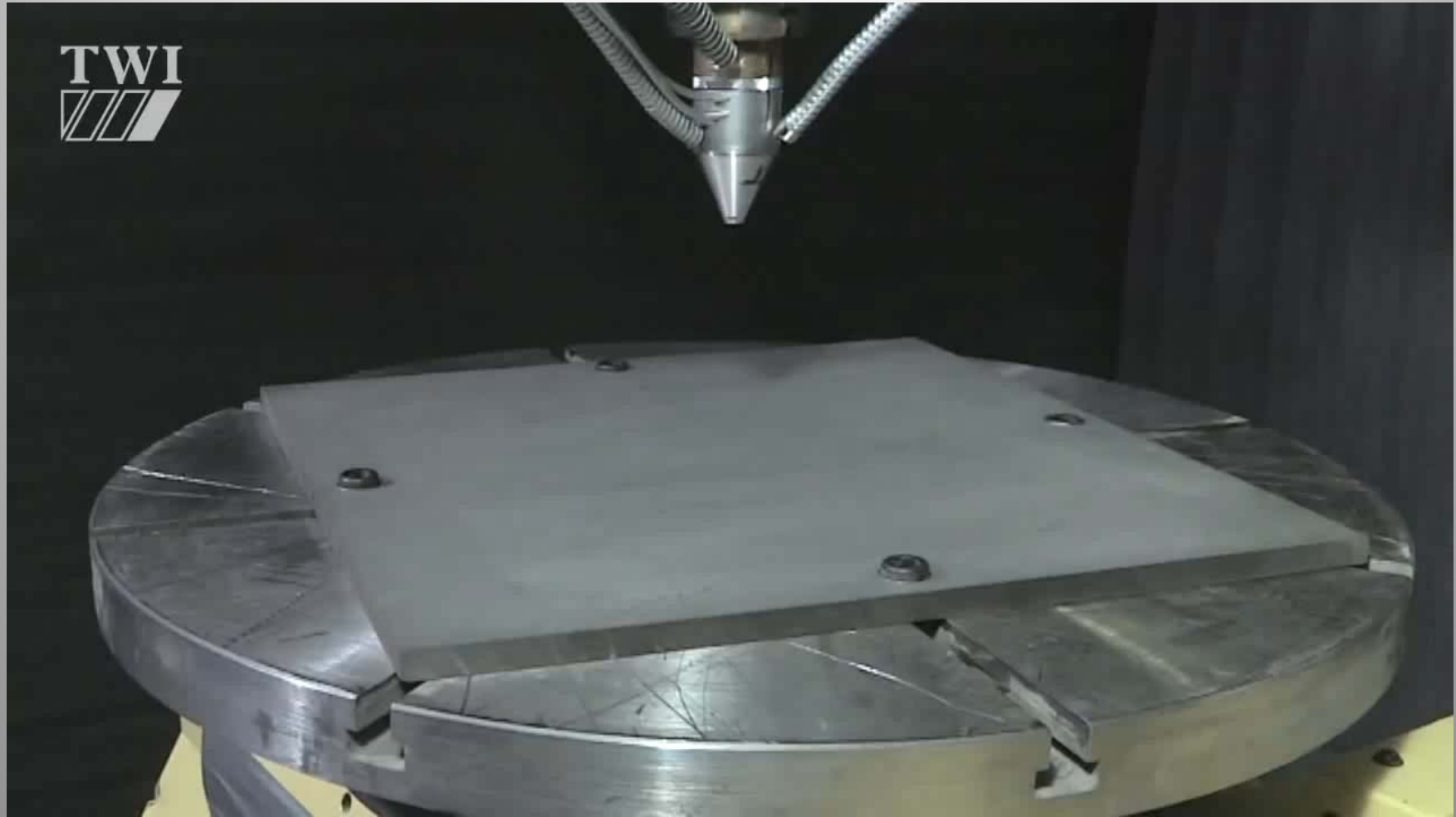
Aditivni proces u kome se toplotna energija koristi za topljenje i fuzionisanje prethodno nanetog metala.



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



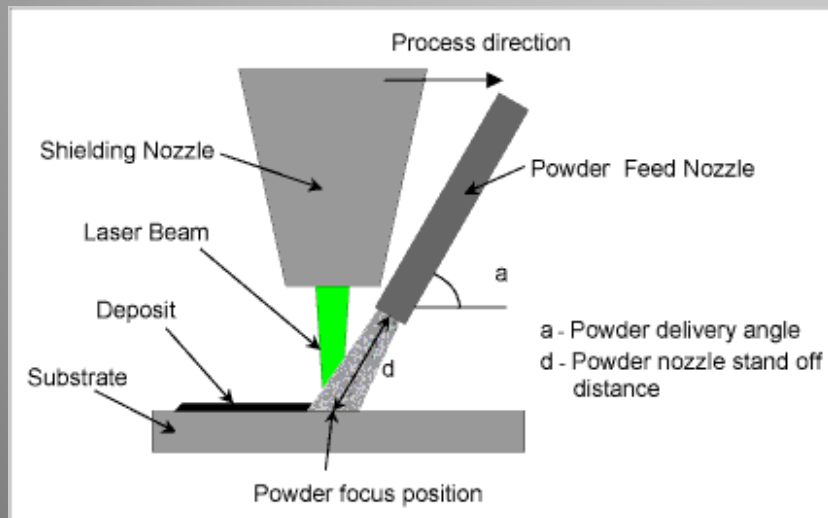
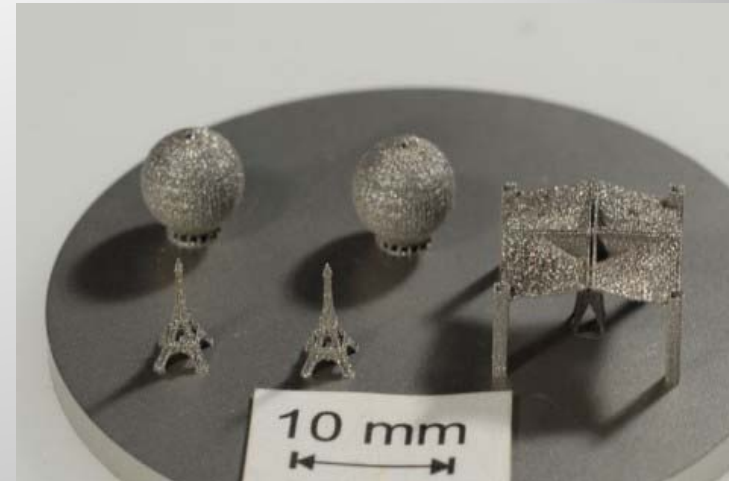
TWI





# Direct Metal Deposition (DMD)

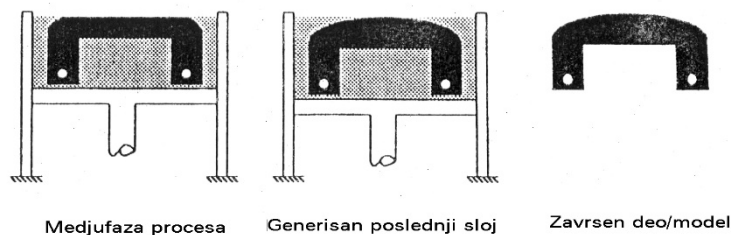
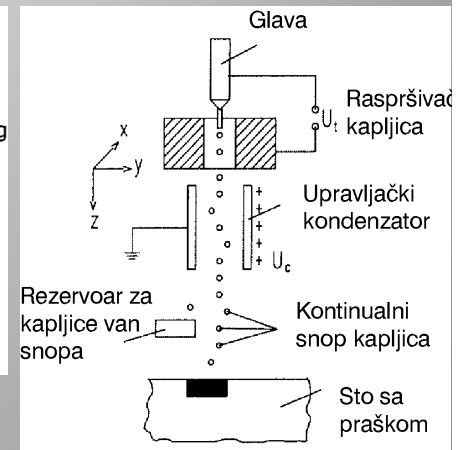
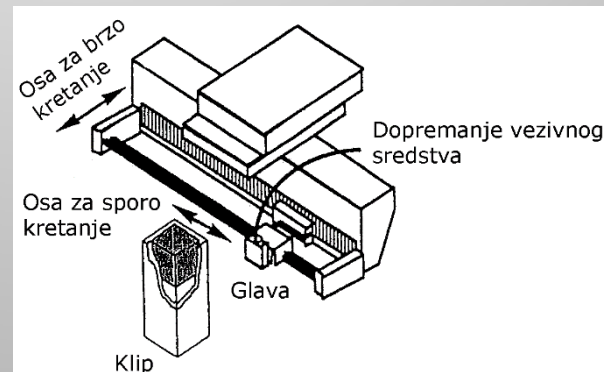
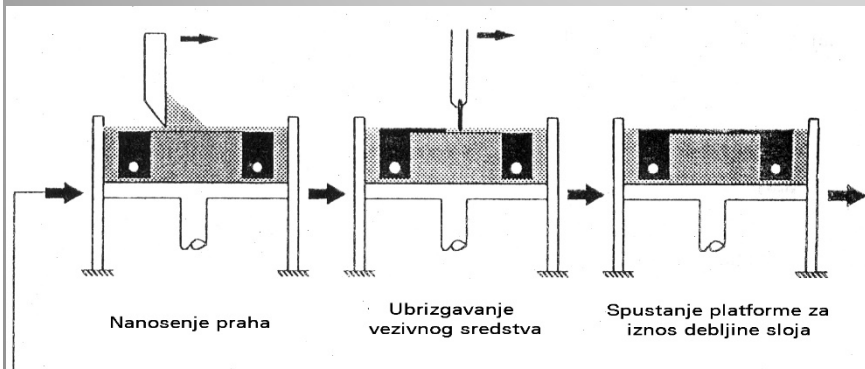
Laser additive manufacturing (LAM)  
Selective laser micro-melting (SL $\mu$ M)  
Laser micro-deposition welding ( $\mu$ LMD)





# 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



Prečnik mlaznice  $46 \mu\text{m}$   
Prečnik kapljice  $80 \mu\text{m}$

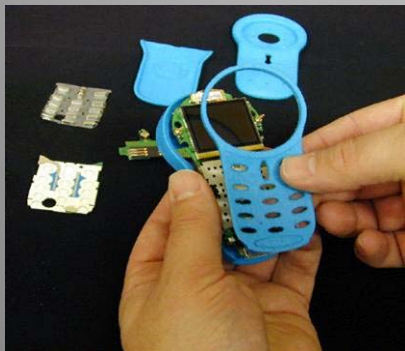
# Prednosti i nedostaci 3DP

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

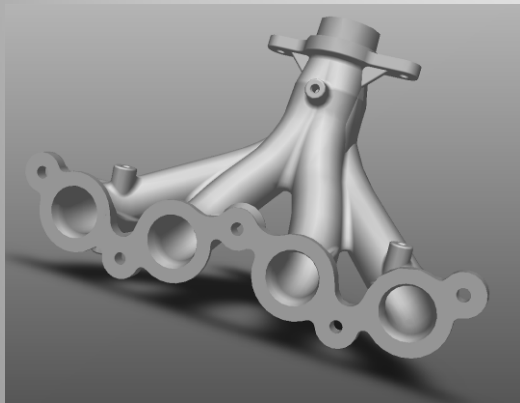
- Ograničena funkcionalnost delova
- Ograničen izbor materijala
- Slab kvalitet površine
- Postprocesiranje

# Primena 3DP

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



# Primena 3DP



# 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

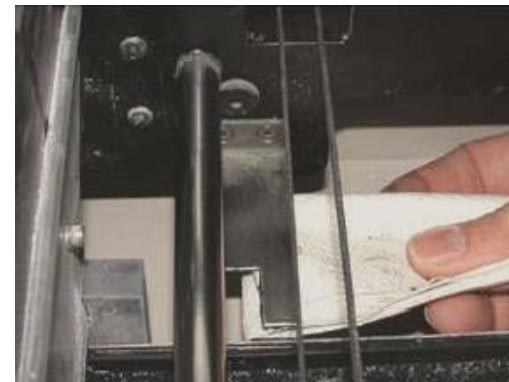


**ZPrinter 310 System**



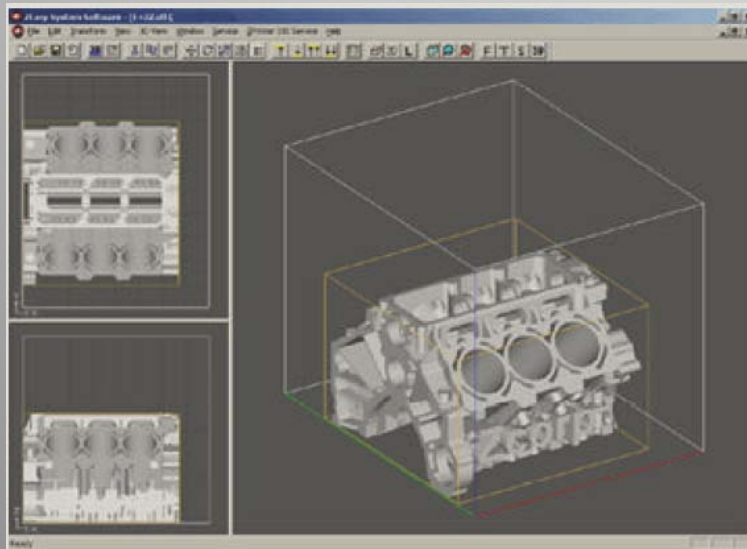
# Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

## ➤ Priprema štampača za rad



# Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

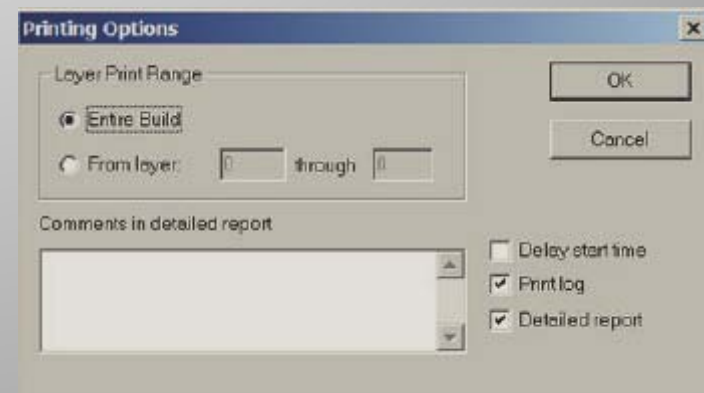
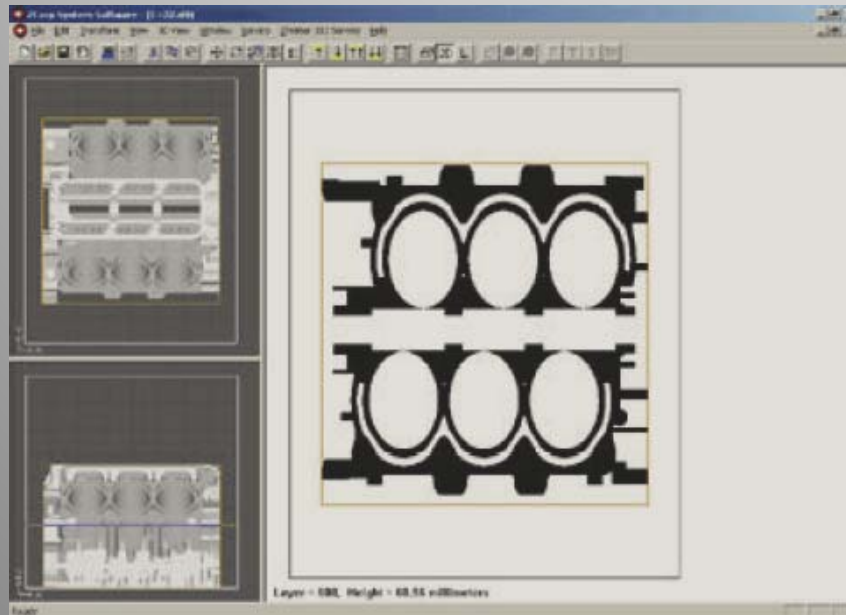
- Pokretanje aplikacija *ZPrint Software*
- Provera *3D Print Setup*
- Izmena parametara štampe





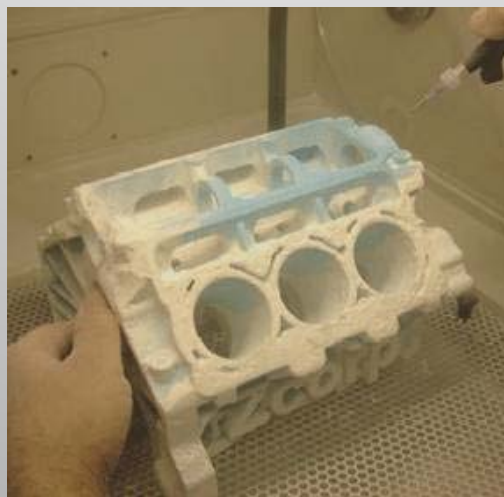
# Primer 3D štampe na ZPrinter 310 System

- 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**