

Aditivna proizvodnja s polimerima

Mladen Šercer, Damir Godec,
Ana Pilipović, Miodrag Katalenić

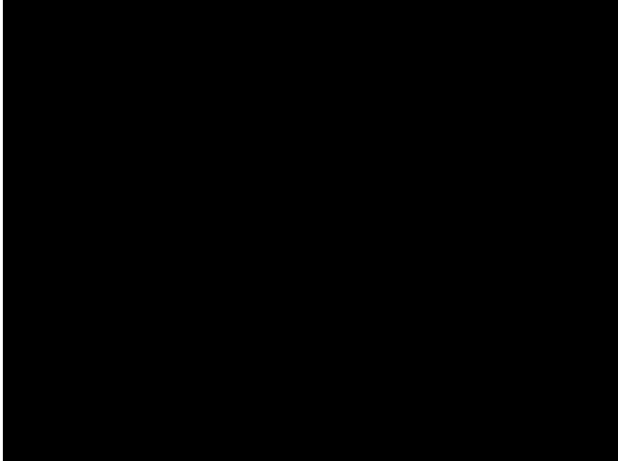
Katedra za preradu polimera – Centar za aditivne tehnologije
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

UPOZORENJE

1. Ovaj materijal predstavlja autorska predavanja namijenjena isključivo studentima koji slušaju kolegij ***Suvremena aditivna proizvodnja***.
2. Bez suglasnosti autora nije dopušteno djelomično i/ili potpuno kopiranje i umnažanje ovih materijala te njihova primjena izvan namjene materijala navedene u točki 1.

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju



<https://www.youtube.com/watch?v=OORnMYoWX9c>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Slika govori više od tisuću riječi

.... ali fizički model nam govori čitavu priču

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

... ali fizički model nam govori čitavu priču



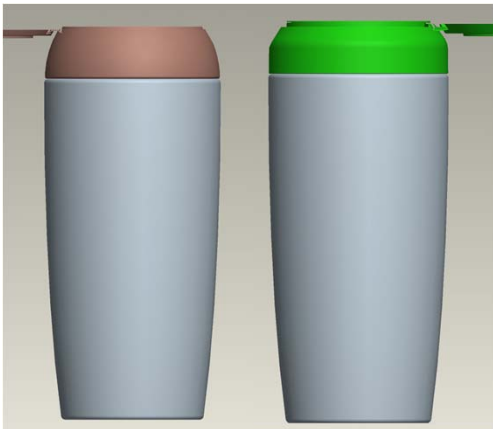
primjer – jednostavan proizvod, ali ...

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

... ali fizički model nam govori čitavu priču



primjer – jednostavan proizvod, ali ...

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

NEOLITČKA REVOLUCIJA (8,000 B.C.E.)



http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum

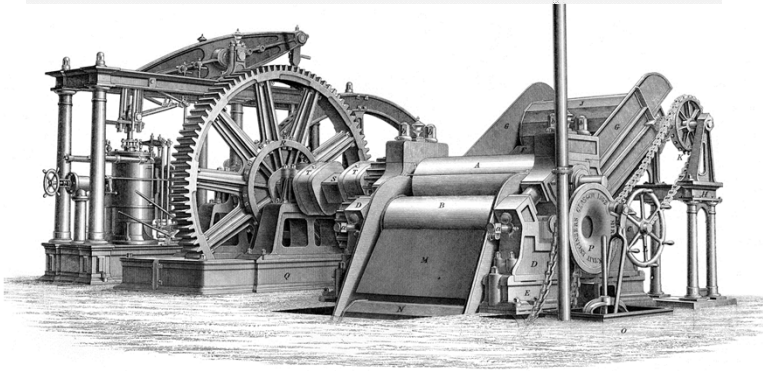
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

PRVA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA (1760)



SUGAR MILL AND STEAM ENGINE.
Exhibited by Messrs Mather & Platt Engineers, Glasgow, at the International Exhibition of 1862.

http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum

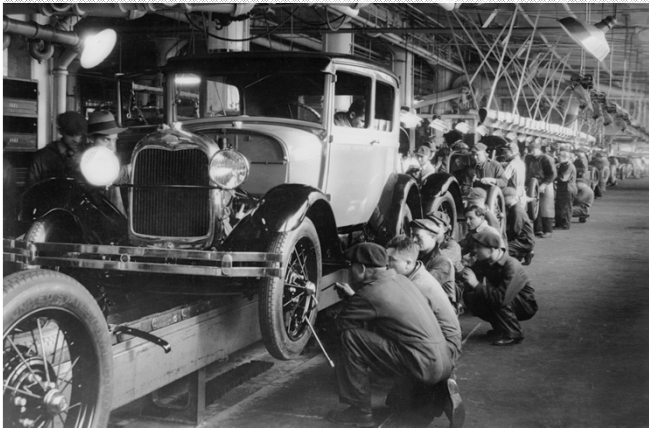
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

DRUGA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA (1840)



<http://www.stratasy.com/industries/education/educators/curriculum>

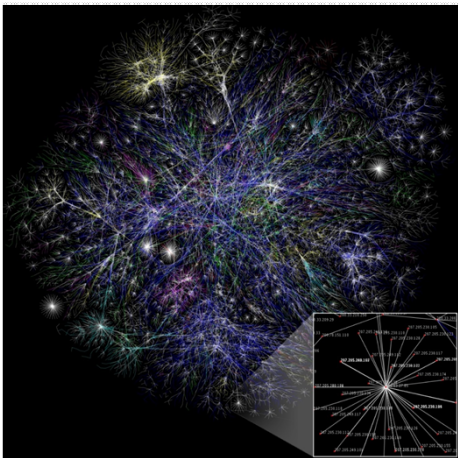
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

DIGITALNA REVOLUCIJA (1970)



<http://www.stratasy.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

TREĆA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA (1980)



Brett Ryder

<http://www.stratasy.com/industries/education/educators/curriculum>

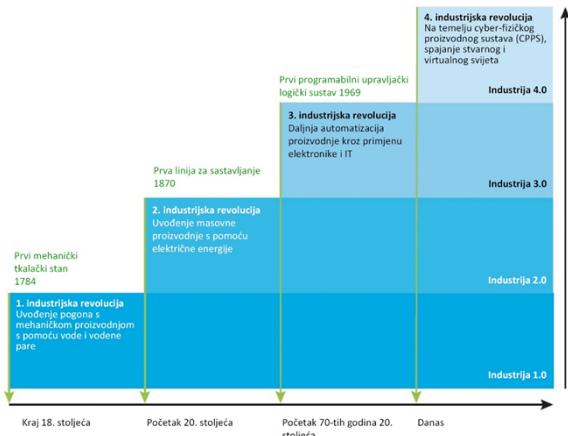
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

ČETVRTA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA (Danas)

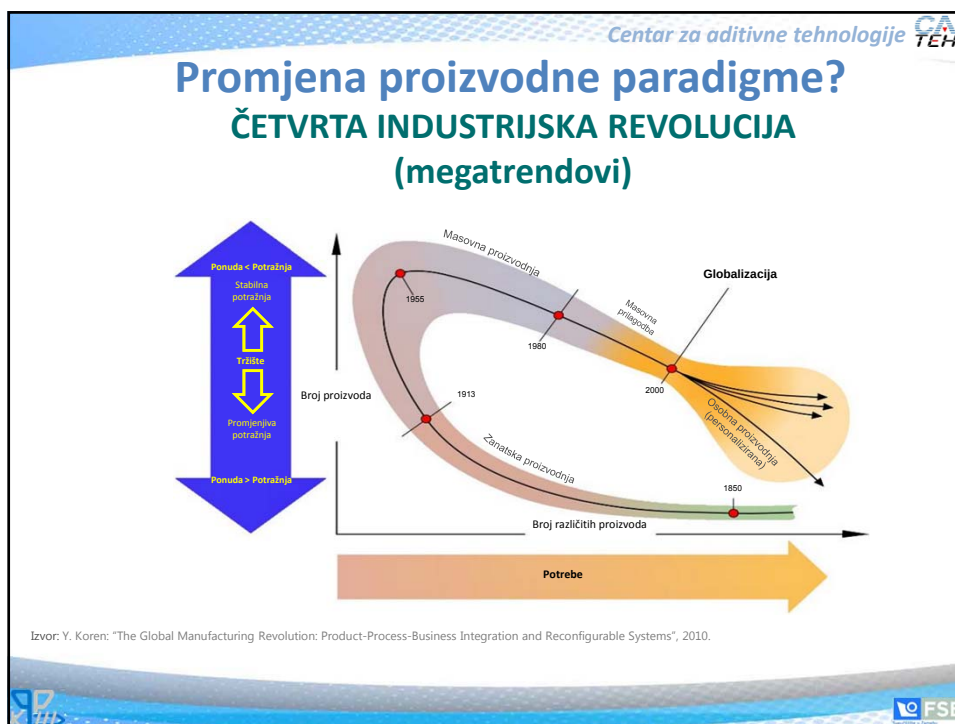


Stupanj kompleksnosti

Kraj 18. stoljeća Početak 20. stoljeća Početak 70-tih godina 20. stoljeća Danas

Industry 4.0 – Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, Deloitte, 2015.

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju Povijesni pregled RAZVOJ RAČUNALA

ABACUS (2,700 BC)

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

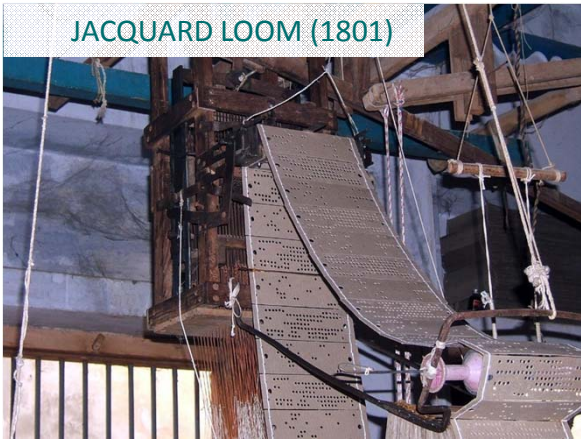
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

RAZVOJ RAČUNALA

JACQUARD LOOM (1801)



<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

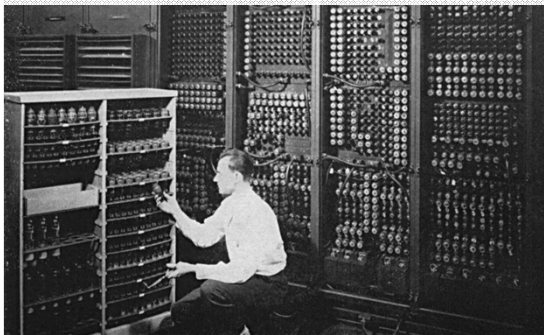
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

RAZVOJ RAČUNALA

PRVO ELEKTRONIČKO RAČUNALO (1939)



<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

RAZVOJ RAČUNALA

OSOBNOM RAČUNALOM



<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

RAZVOJ RAČUNALA

PRISTUP ALATIMA ZA KONSTRUIRANJE



<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA U KONSTRUIRANJU (CAD)

DAVINCI-jeva RUČNA SKICA



<http://www.stratasy.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

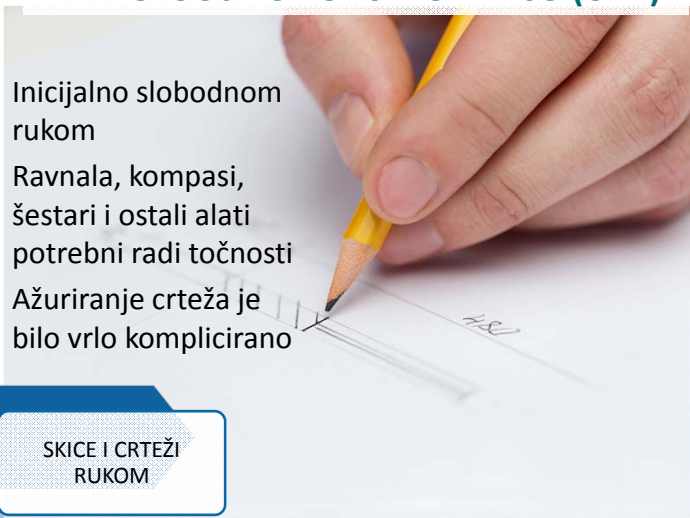
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA U KONSTRUIRANJU (CAD)

- Inicijalno slobodnom rukom
- Ravnala, kompasi, šestari i ostali alati potrebni radi točnosti
- Ažuriranje crteža je bilo vrlo komplicirano



SKICE I CRTEŽI RUKOM

<http://www.stratasy.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

KONSTRUIRANJE S POMOĆU RAČUNALA (CAD)

PRIMJENA RAČUNALNIH SUSTAVA KAO POMOĆ
PRI STVARANJU, MODIFICIRANJU, ANALIZI ILI
OPTIMIRANJU KONSTRUKCIJE

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA U KONSTRUIRANJU (CAD)

- Automatski oblici i uvećavanje
- Signifikantno brže uređivanje
- Preciznije konstrukcije



SKICE I CRTEŽI
RUKOM

2D RAČUNALNI
PROGRAM

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

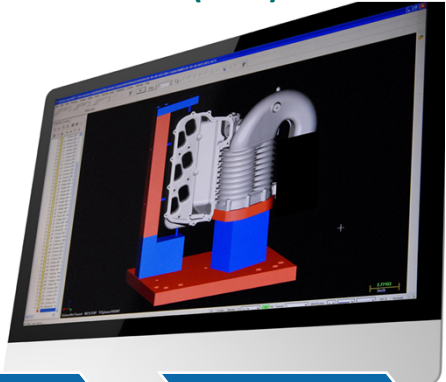
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA U KONSTRUIRANJU (CAD)

- Sve prednosti 2D CAD konstruiranja
- Upravljanje konstrukcijama u 3D
- Realistična vizualizacija



SKICE I CRTEŽI RUKOM

2D RAČUNALNI PROGRAM

3D RAČUNALNI PROGRAM

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

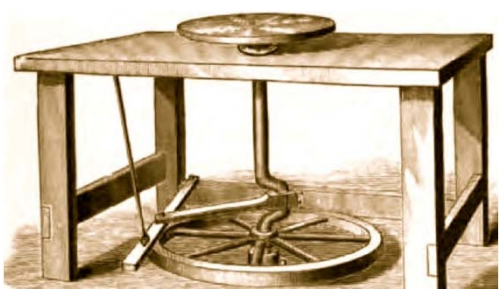
Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA PROIZVODNJE

Ručno upravljanje

Upravljanje s pomoću ruke/noge te s pomoću kotača ili poluga



RUČNO UPRAVLJANJE

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA PROIZVODNJE

Numeričko upravljanje
Upravljanje preko analogno enkodiranih naredbi na mediju za pohranu kao što su bušene kartice



<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled

EVOLUCIJA PROIZVODNJE

Računalno numeričko upravljanje
Upravljanje preko digitalno enkodiranih naredbi



<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled CAD → CAM

**KONSTRUIRANJE S POMOĆU
RAČUNALA**

Primjena računalnih sustava za pomoć pri stvaranju, modificiranju, analizi ili optimiranju konstrukcija.

**IZRADA S POMOĆU
RAČUNALA**

Primjena računalnih programa za upravljanje alatnim strojevima i pratećom opremom u procesu izrade proizvoda.

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

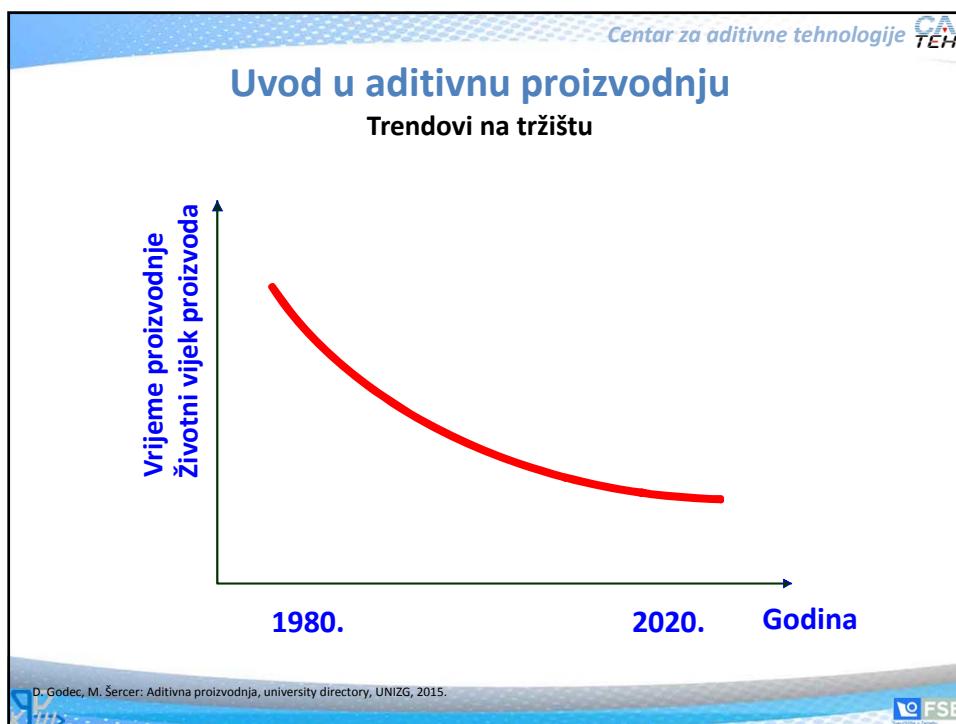
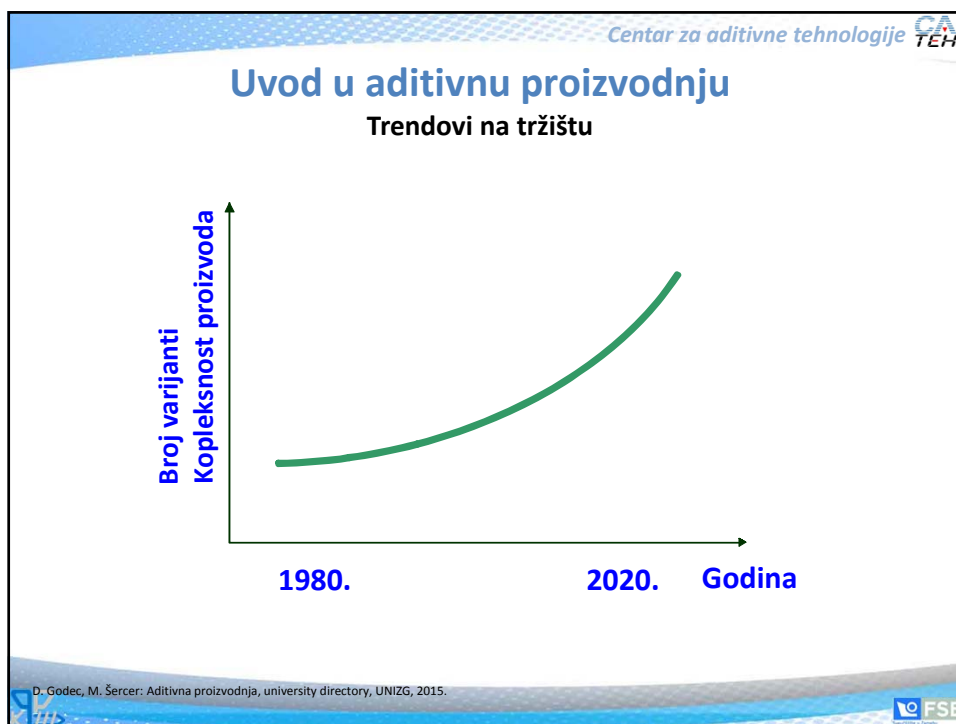
Uvod u aditivnu proizvodnju

Povijesni pregled Aditivna proizvodnja

- ❑ **1986.** – prvi industrijski patent za proces aditivne proizvodnje (stereolithography – SLA)
- ❑ **1987.** – prva industrijska primjena stereolitografije (3D Systems predstavio novi uređaj koji može očvrnuti tanki sloj polimera primjenom UV laserske zrake)
- ❑ **1988.** – širenje razvoja fotoosjetljivih smola za primjenu u aditivnoj proizvodnji
- ❑ **1991.** – razvoj FDM procesa (Stratasys) i LOM procesa (Helisys)
- ❑ **1992.** – DTM predstavili uređaj koji može srašćivati polimerni prah s pomoću laserske zrake
- ❑ **1995.** – Zcorp predstavili uređaj za 3D tiskanje temeljen na ink-jet tehnologiju tiskanja (MIT patent)
- ❑ **2007.** – početak standardizacije aditivne proizvodnje i ostalih postupaka i nomenklature povezanih s aditivnom proizvodnjom
- ❑ **2009.** uvođenje pojma **Additive Manufacturing - AM**

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB





Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Trendovi na tržištu

Vrijeme na dolazak na tržište – ključni faktor!

- ❑ plasiranje novog proizvoda na tržište prije konkurencije
- ❑ određivanje cijene proizvoda na tržištu prije konkurencije
- ❑ brži povrat investicije (manji financijski rizik)
- ❑ potencijalno dulji životni vijek proizvoda na tržištu
- ❑ potencijalno veći profit (veća količina sredstava za investiranje u razvoj novih proizvoda)

D. Godec, M. Šercer: *Aditivna proizvodnja*, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Mogućnosti proizvodnje

- ❑ Rezanje
- ❑ Suptraktivna proizvodnja (odvajanje čestica)
- ❑ Pre/oblikovanje
- ❑ Aditivna proizvodnja

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Mogućnosti proizvodnje



Rezanje



Suptraktivna
proizvodnja



Pre/oblikovanje



Aditivna
proizvodnja

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Odvajanje

DEFINICIJA	Proces izrade proizvoda od različitih materijala primjenom reznih alata kao laserskih rezača, rezača vinila, oštrica i rezanje vodenim mlazom.
PRIMJENE	• Oblikovanje 2D proizvoda • Oblikovanje relativno jednostavnih proizvoda
PREDNOSTI	• Relativno jednostavno funkcioniranje i izrada • Primjena jednostavnih 2D datoteka • Brza izrada • Moguća primjena s višestrukim materijalima • Mali otpad materijala
PRIMJERI	➔

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Suptraktivna obrada

DEFINICIJA	Proces izrade proizvoda uklanjanjem materijala sa čvrstog objekta
PRIMJENE	- Izrada 3D models i alatničarstvo - Rezanje "2D elemenata" i stronger or thicker materials which require a stronger machine
PREDNOSTI	- Tradicionalni, dobro poznati postupak - Duga povijest primjene - Relativno jednostavna obrada - Rezni alati su relativno jeftini - Primjenjiv za obradu čvrstih/debelih materijala
PRIMJERI	➔

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Oblikovanje

DEFINICIJA	Proces deformacije materijala kojim se preoblikuje pripremak bez oduzimanja ili dodavanja materijala
PRIMJENA	• Posebni materijali
PREDNOSTI	• Tradicionalni, dobro poznati postupak • Duga povijest primjene • Smanjenje skladišnog prostora
PRIMJERI	→

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Aditivna (slojevita) izrada - načela

- ❑ gradnja proizvoda temeljena na CAD modelu (bez potrebe za dodatnim alatima)
- ❑ gradnja proizvoda dodavanjem materijala *sloj-po-sloj* (za većinu postupaka Aditivne proizvodnje)
- ❑ Additive (*layer*) Manufacturing



O. Diegel: *Printing the future*, Project: Additive technologies for the SME's – closing conference, Zagreb, 11.03.2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Uvod u aditivnu proizvodnju

Aditivna (slojevita) izrada - načela



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

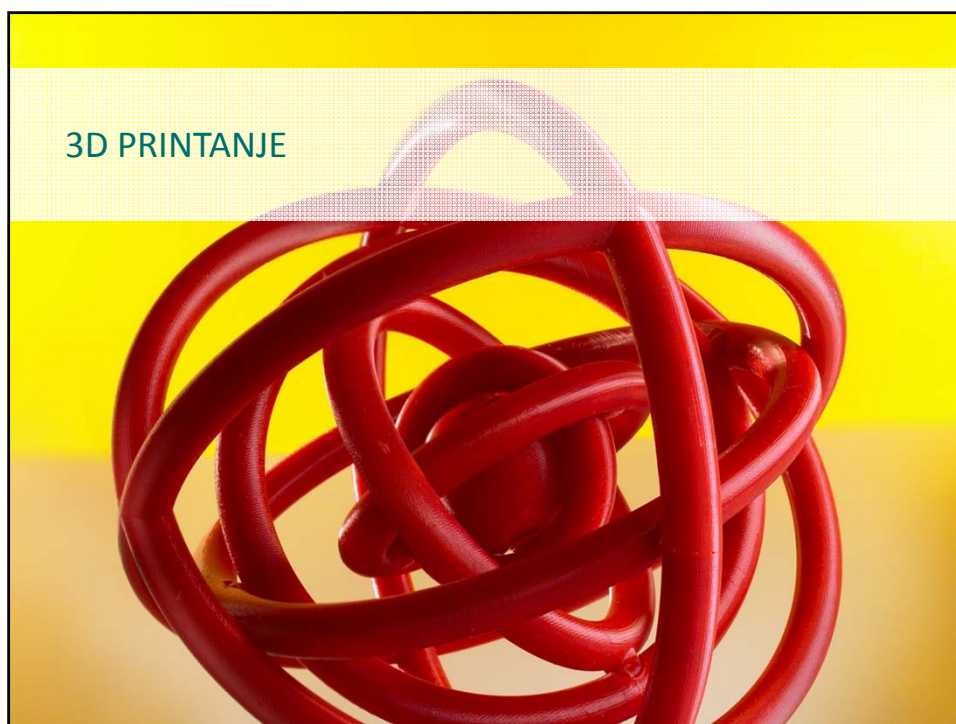
Uvod u aditivnu proizvodnju

Aditivna izrada

DEFINICIJA	Proces izrade 3D proizvoda primarno dodavanjem materijala umjesto odvajanja. Koristi se sinonim 3D printanja.
PRIMJENE	• Izrada prototipova i alata • Kompleksne konstrukcije • Modeliranje koje zahtijeva dijelove u interakciji
PREDNOSTI	• Sloboda oblikovanja • Zatvoreni sustavi • Brza proizvodnja • Less waste • Ekonomična proizvodnja • Višestruki materijali (PolyJet) • Stvarni plastomeri (FDM)
PRIMJERI	➔

<http://www.stratasys.com/industries/education/educators/curriculum>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Brza izrada prototipova (Rapid prototyping – RP)

- ❑ procesi za (relativno) brzu izradu/proizvodnju 3D-prototipova izravno na temelju CAD modela



<http://www.caddprint.hr>, 05.12.2011.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Brza izrada alata (Rapid tooling – RT)

- ❑ (relativno) brza izrada/proizvodnja alata/kalupa (čitavih ili dijelova – npr. žig i gnijezdo) primjenom AM procesa



EOS, Press Release, EuroMold 2011.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Brza/izravna digitalna izrada (Rapid/Direct digital manufacturing – RM/DDM)

- izravna proizvodnja konačnog proizvoda primjenom AM procesa

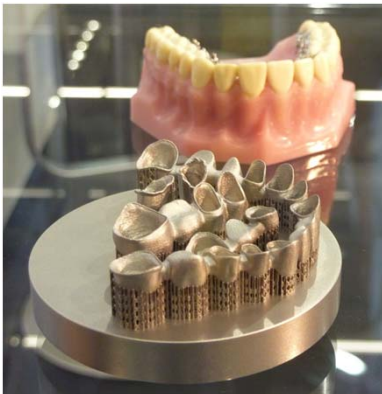
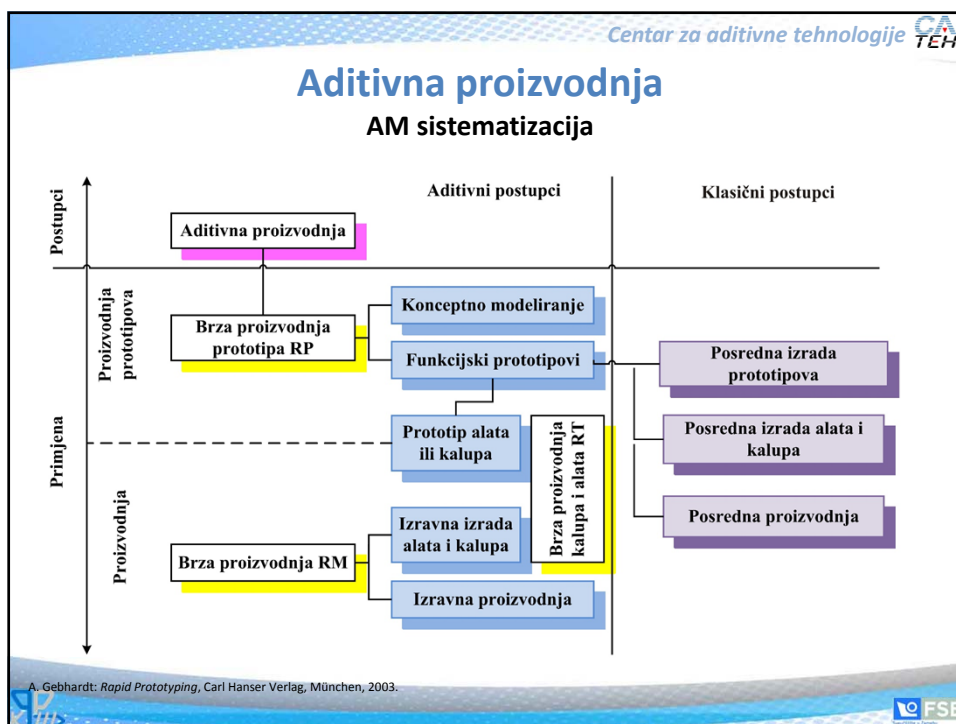
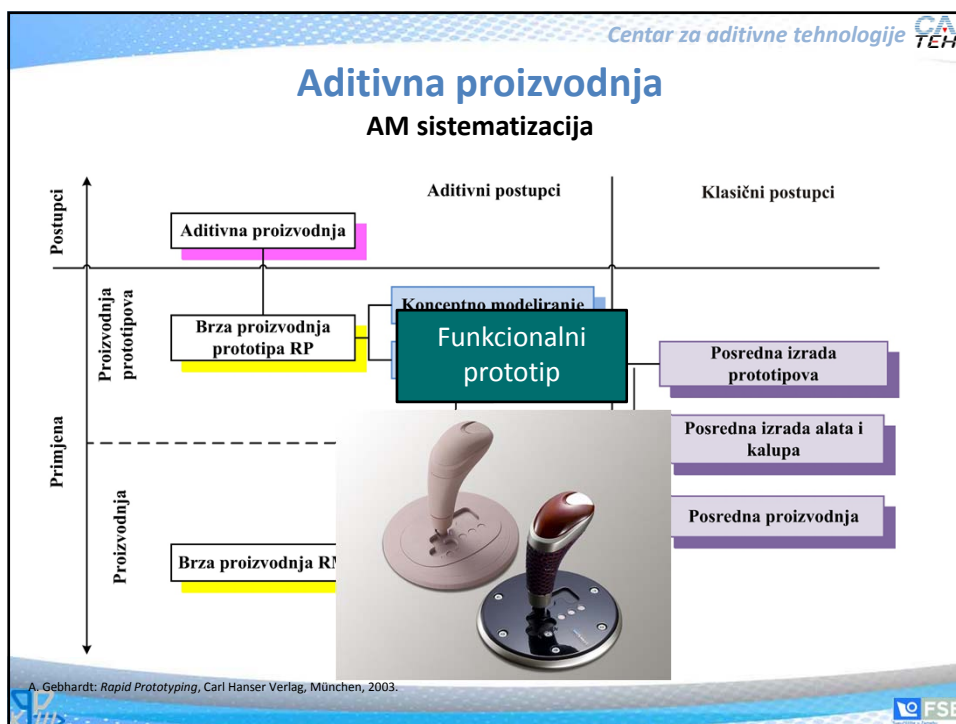
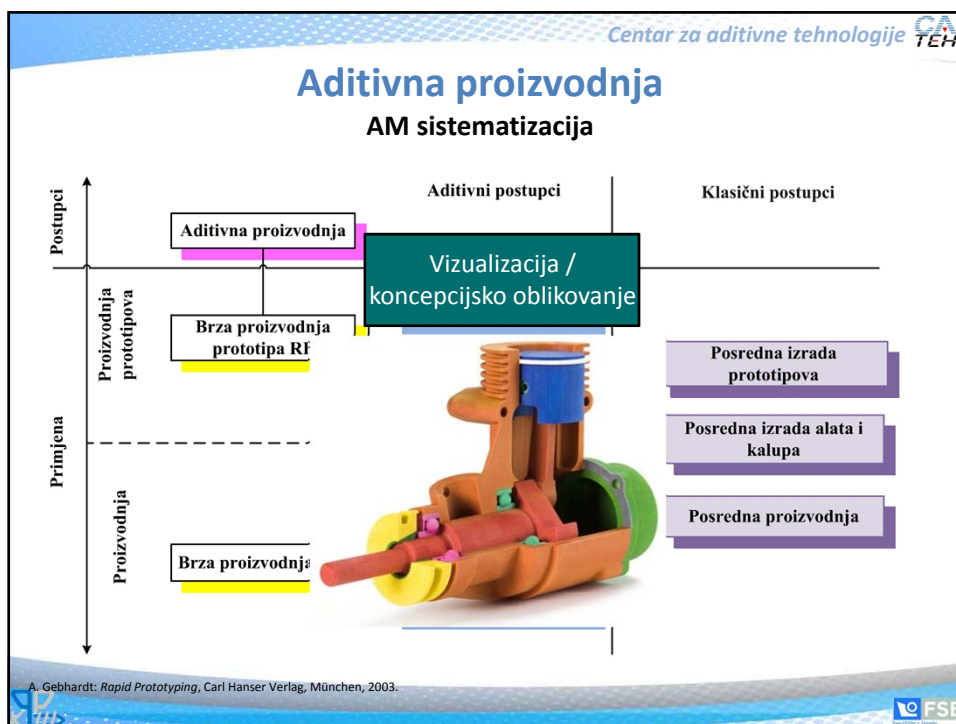
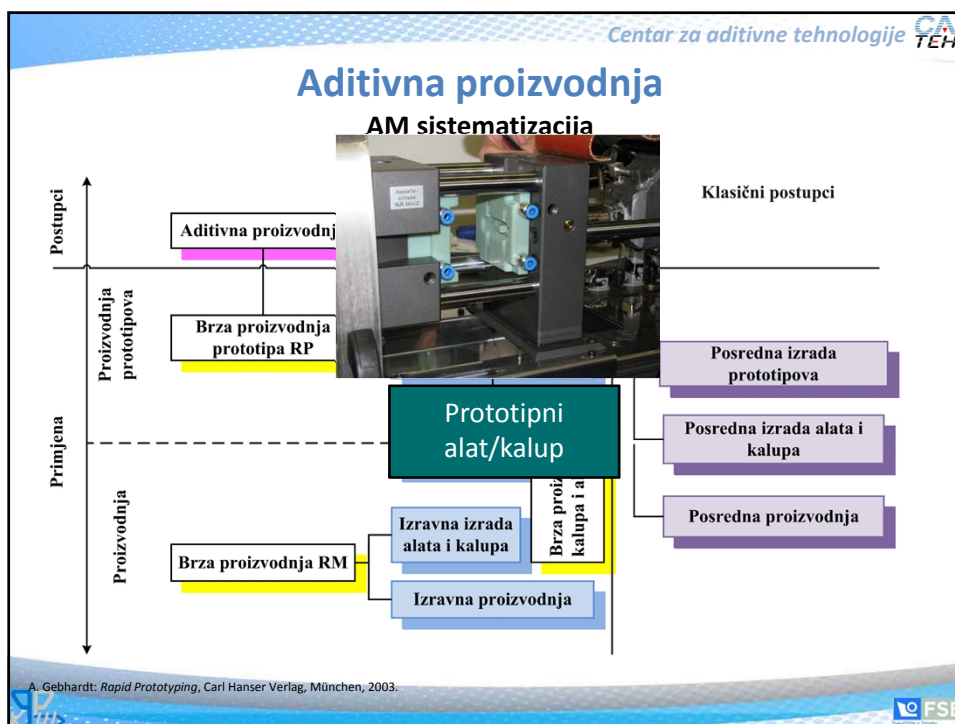
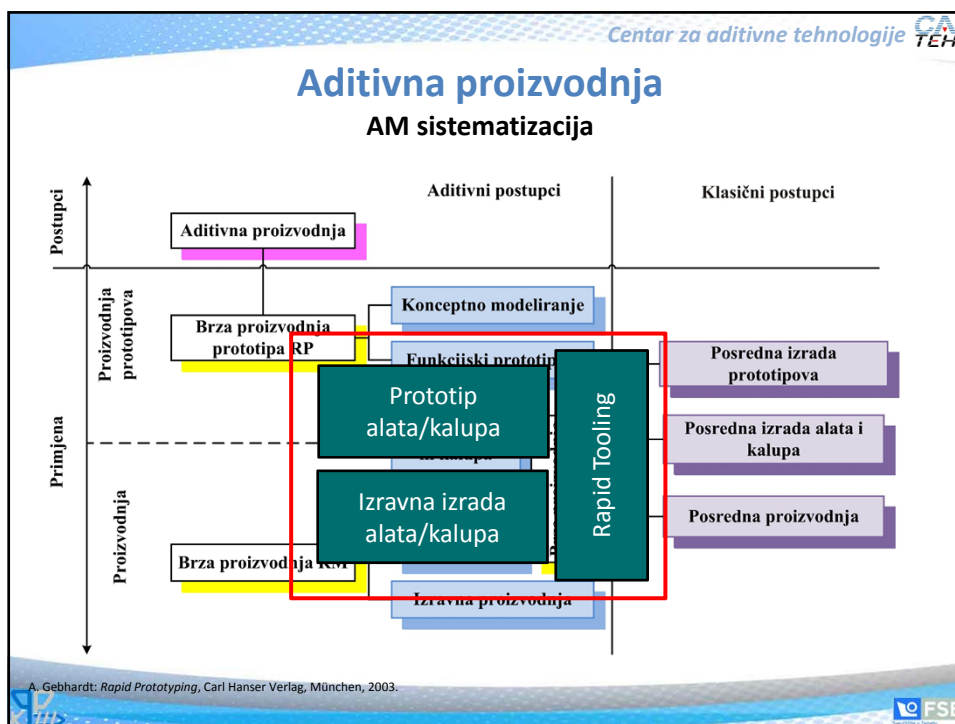


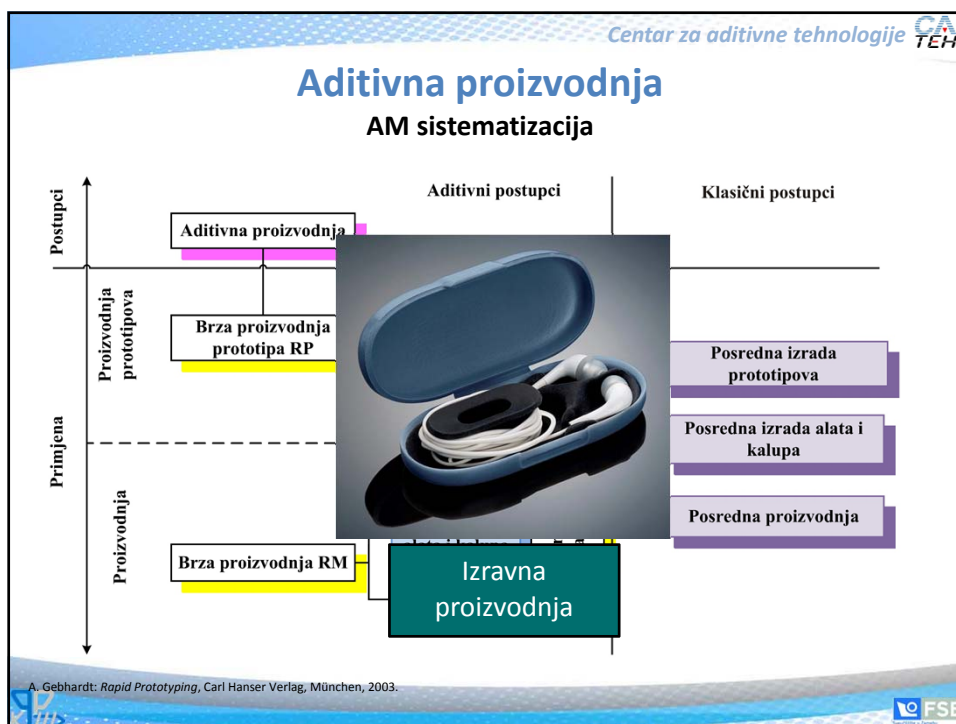
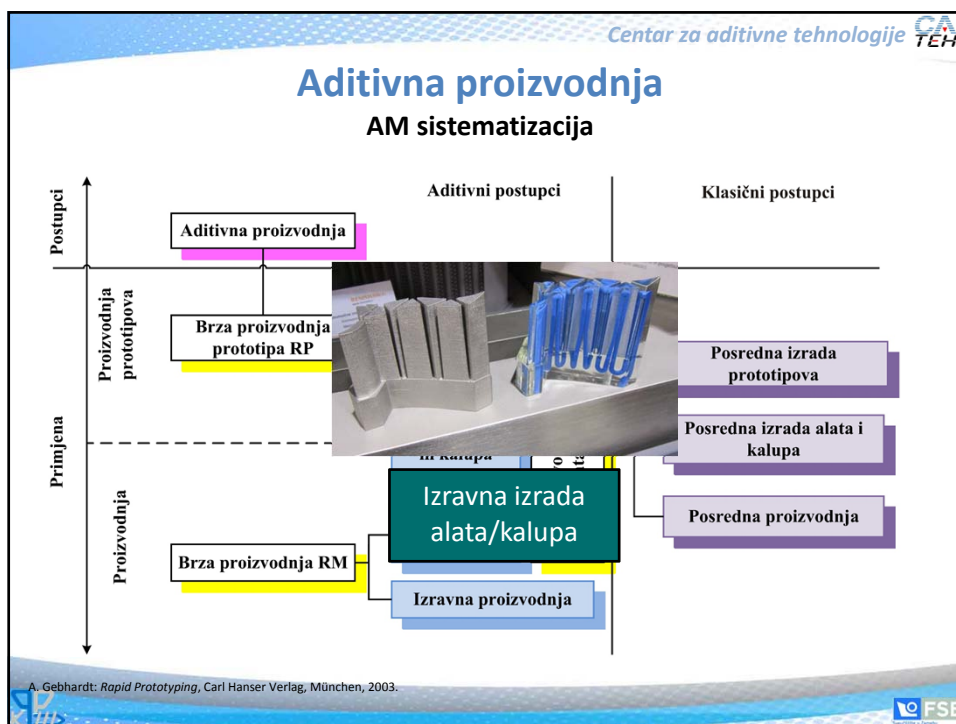
Foto: D. Godec, EuroMold 2011.

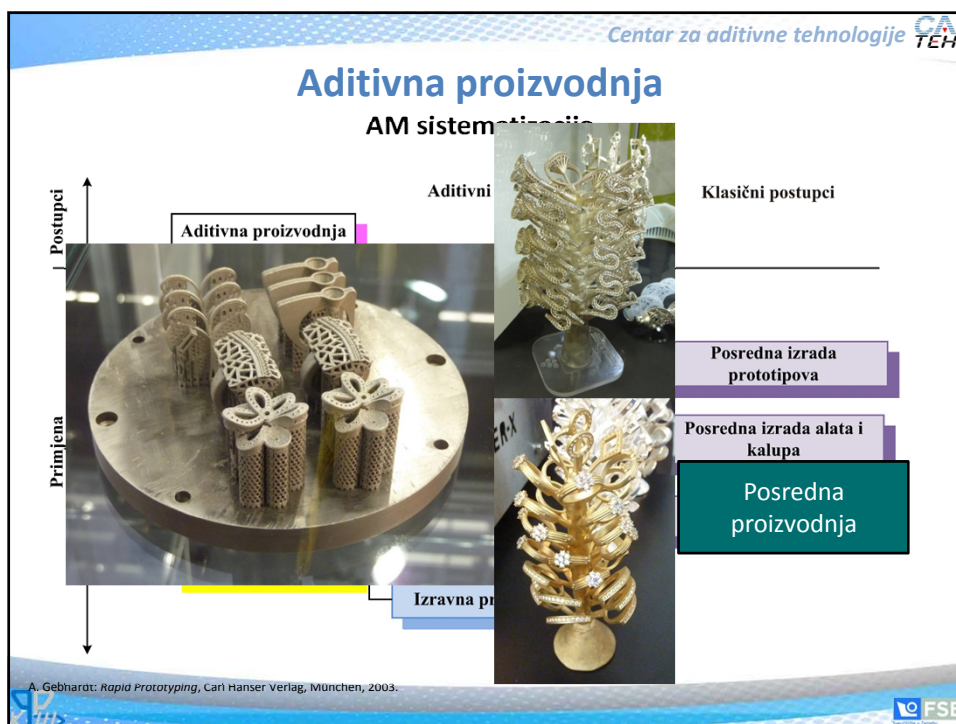
FSB

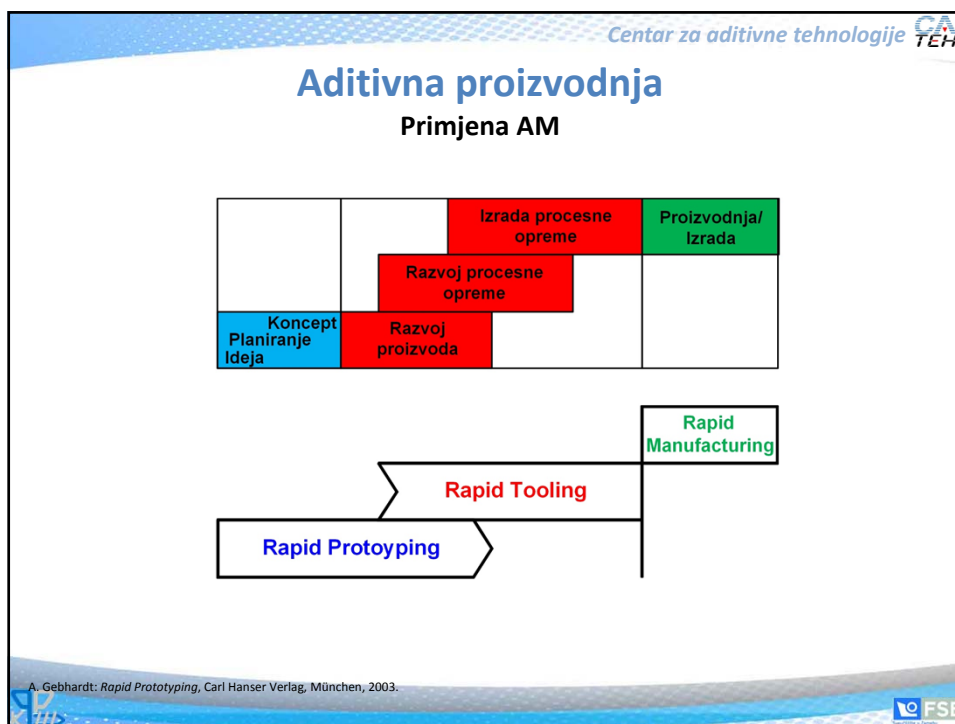












Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Prednost primjene AM

Unaprijeđen process razvoja proizvoda

- omogućeno više iteracija tijekom razvoja proizvoda
- moguće unaprijed provjeriti kritične točke i sklopove
- moguće provjeriti većinu uporabnih svojstava budućeg proizvoda (npr. čvrstoća, izdržljivost)
- skraćivanje vremena razvoja proizvoda

D. Godec, M. Šercer: *Aditivna proizvodnja*, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Prednost primjene AM

Unaprijeđena kvaliteta proizvoda

- jednostavnije planiranje proizvoda i proizvodnje
- potencijalni problem mogu biti riješeni u ranim fazama procesa razvoja proizvoda ili alata/kalupa
- jednostavnije je percipirati fizički prototip nego li crtež ili čak i CAD model
- prototipovi su snažan alat u okviru načela istodobnog inženjerstva

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Prednost primjene AM

Unaprijeđena proizvodnja

- mogućnost predviđanja i uklanjanja potencijalnih grešaka u proizvodnoj opremi i procesu
- mogućnost optimiranja proizvodne opreme (npr. kalupi)
- neki od RT kalupa/alata mogu imati unaprijeđene karakteristike (npr. unaprijeđena toplinska svojstva)
- ujednačeno (konformalno) hlađenje kalupa/alata omogućuje kraća vremena ciklusa i bolja svojstva proizvoda

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

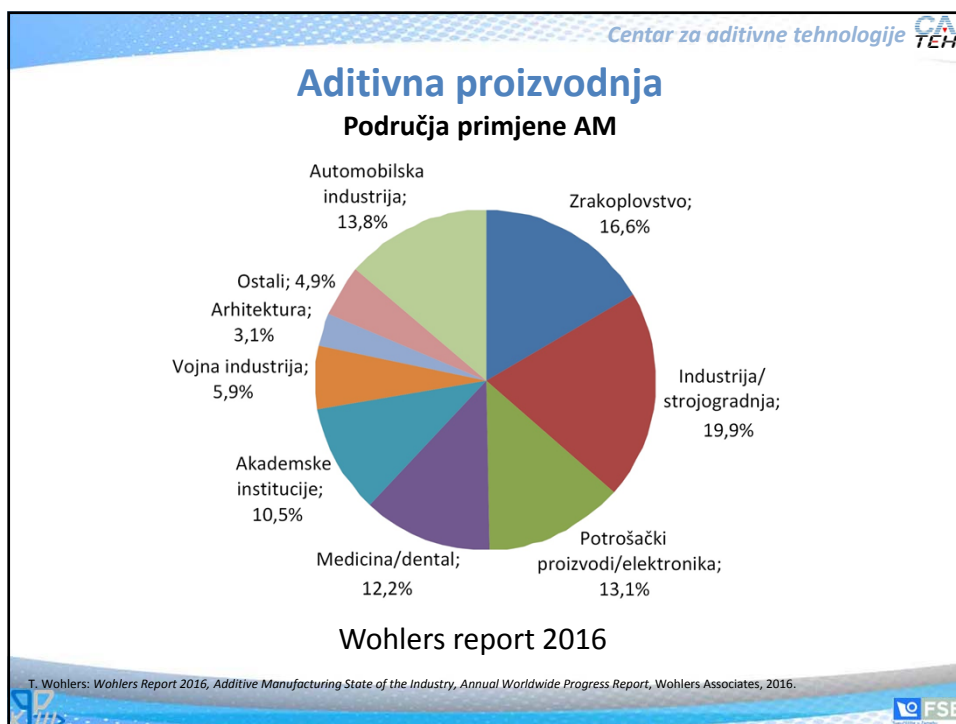
Prednost primjene AM

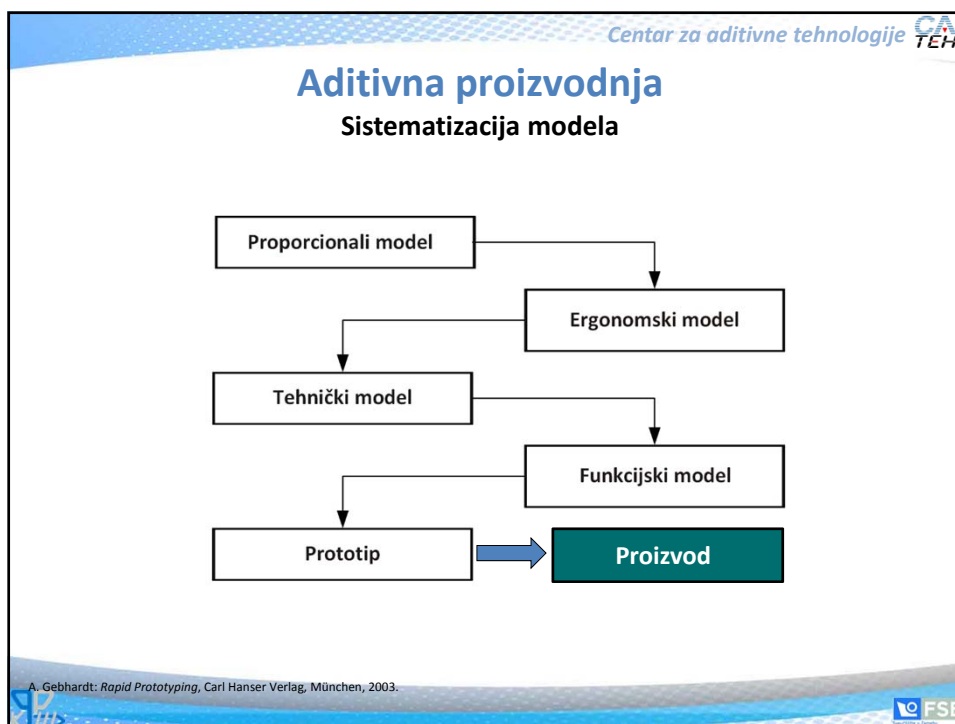
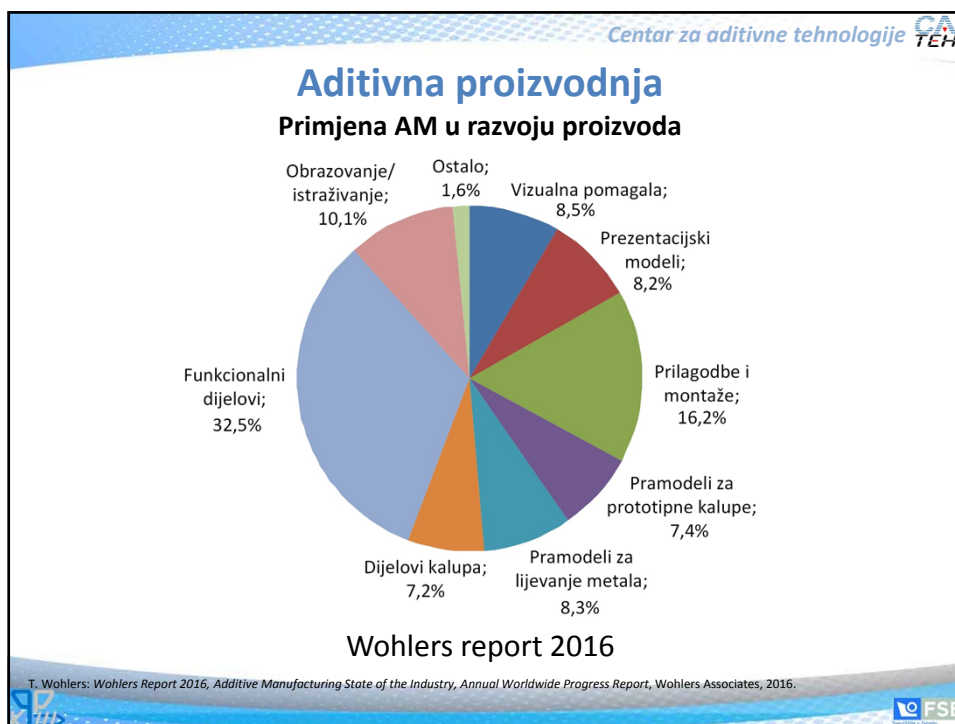
Unaprijeđen položaj tvrtke na tržištu

- vrijeme od ideje do lansiranja proizvoda na tržište je kraće
- na tržište se lansiraju pouzdaniji proizvodi
- istraživanje tržišta temeljeo na realističkim kopijama konačnog proizvoda je vjerodostojnije
- marketinški materijali za promociju proizvoda mogu se pripremiti unaprijed

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB





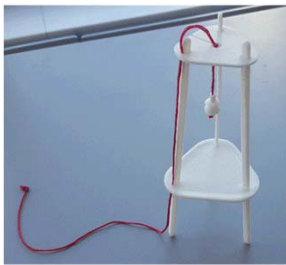
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija modela

Proporcionalni/konceptijski modeli

- ❑ vizualizacija glavnih vanjskih proporcija budućeg proizvoda
- ❑ komunikacija i inspiracija stručnjaka uključenih u razvoj proizvoda
- ❑ materijal i hrapavost površine (uglavnom) ne odgovaraju materijalu i površini konačnog proizvoda
- ❑ razina detalja na modelu je relativno niska



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.
<http://www.viroshrangalia.com/tier/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija modela

Ergonomijski modeli

- ❑ za provjeru i donošenje odluke o izvodivosti proizvoda
- ❑ vizualizacija detalja važnih za funkcioniranje proizvoda, njegovo rukovanje i primjenu
- ❑ vizualizacija osnovnih parcijalnih funkcija proizvoda
- ❑ materijal i površinska hrapavost (uglavnom) ne odgovaraju materijalu i površini konačnog proizvoda
- ❑ razina detalja na modelu je srednja



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.
<https://imgur.com/gallery/lcP4s>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija modela

Tehnički modeli

- ❑ realistična prezentacija budućeg proizvoda sa svim konstrukcijskim detaljima
- ❑ vizualizacija detalja važnih za funkcioniranje proizvoda, njegovo rukovanje i primjenu
- ❑ primjenjuju se u završnim koracima faze konceptijskog oblikovanja proizvoda
- ❑ kvaliteta površine odgovara kvalitete površine konačnog proizvoda



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.
<https://jerz.setonhill.edu/writing/technical-writing/prototypes-in-technical-writing-what-are-they/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija modela

Funkcionalni modeli

- ❑ za analizu i provjeru jedne ili više funkcija budućeg proizvoda te njihov utjevaj na oblik i dimenzije proizvoda
- ❑ osiguravaju informacije o proizvodnoj opremi (npr. kalupi)
- ❑ planiranje/provjera sklopova
- ❑ visoka razina detalja
- ❑ visoka razina funkcionalnosti



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.
<http://www.alphatech-design.co.uk/content/prototype-design-and-production>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija modela

Prototipovi

- ❑ karakteristike gotovo identične onima konačnog proizvoda (oblik, dimenzije, površina, boja, ...)
- ❑ proizvedeni od istog ili vrlo sličnog materijala kao i konačni proizvod
- ❑ za ispitivanje jednog ili više svojstava budućeg proizvoda
- ❑ visoka razina detalja
- ❑ potpuna funkcionalnost
- ❑ jedina razlika od konačnog proizvoda – fizika procesa izrade



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.
<https://www.thomasnet.com/profile/10015721/gpi-prototype-manufacturing-services.html>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Pojednostavljena sistematizacija modela

- ❑ vizualizacijski prototipovi
- ❑ geometrijski prototipovi
- ❑ funkcionali prototipovi

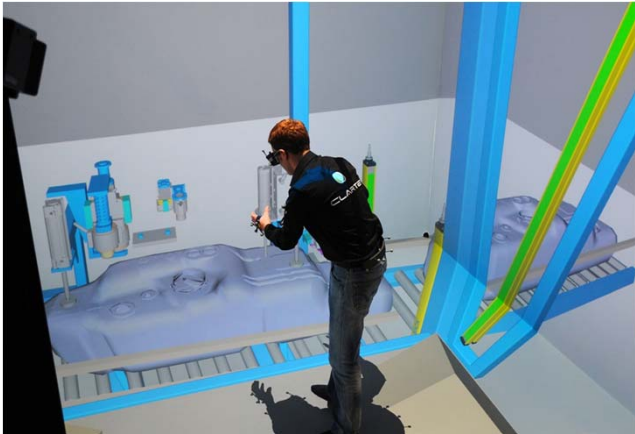
A. Gebhardt: *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Virtualni prototipovi



Vizualizacija + Interakcija = Prividna stvarnost

http://www.barco.com/en/simulation_virtualreality/reference/4133

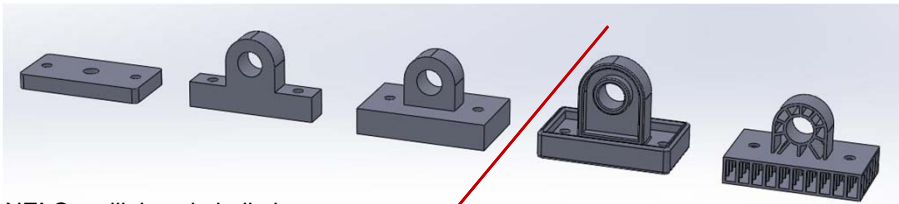
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Opravljanost primjene AM

3D tiskati ili ne?

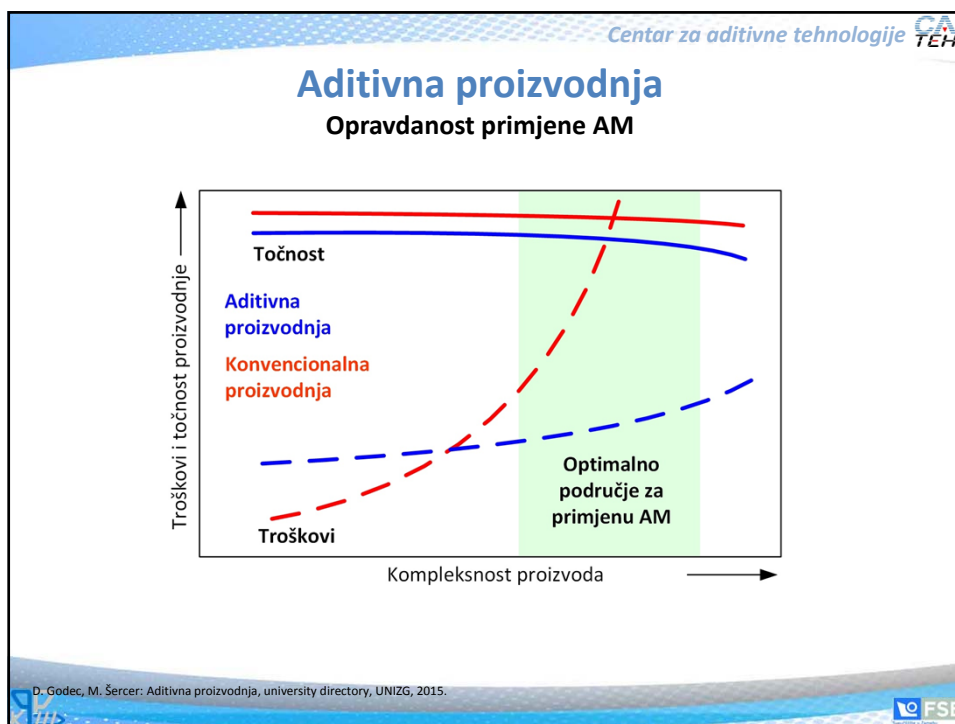


NE! Ove dijelove je bolje i ekonomičnije izraditi klasičnim metodama proizvodnje (lasersko rezanje, CNC obrada, itd.)

DA! Ove dijelove je bolje 3D tiskati zbog kompleksnosti oblika.

Izvor: Olaf Diegel, AdTec_SME Conference, Zagreb 2015.

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija mogućnosti primjene AM

AM u alatničarstvu – odgovor na zahtjeve na tržištu

- ❑ proizvodnja što je moguće prije
- ❑ proizvodnja prototipova za provjeru procesa
- ❑ proizvodnja dijelova od istih materijala kao i konačnih proizvoda
- ❑ proizvodnja dijelova istim procesom kao i konačnih proizvoda

A. Gebhardt: Rapid Prototyping, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Sistematizacija mogućnosti primjene AM

AM u alatničarstvu

- ❑ proizvodnja malih serija (do 1000 kom.)
 - ❑ za funkcionalnu provjeru prije proizvodnja alata za velikoserijsku proizvodnju
 - ❑ za marketinške svrhe
 - ❑ za kompenzaciju kašnjenja u dovršetku alata za serijsku proizvodnju
- ❑ proizvodnja srednjih serija (do 10 000 kom.)
 - ❑ za maloserijsku proizvodnju
 - ❑ za izbjegavanje troškova izrade klasičnih alata
 - ❑ za simulaciju proizvodnog procesa (npr. razvoj nove tehnologije)

A. Gebhardt: *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Načela AM

a) b) c) d)

a) računalni model, b) rezanje modela u slojeve (eng. *slicing*),
c) očvršćivanje i povezivanje fizičkih slojeva, d) gotovi proizvod

A. Gebhardt: *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

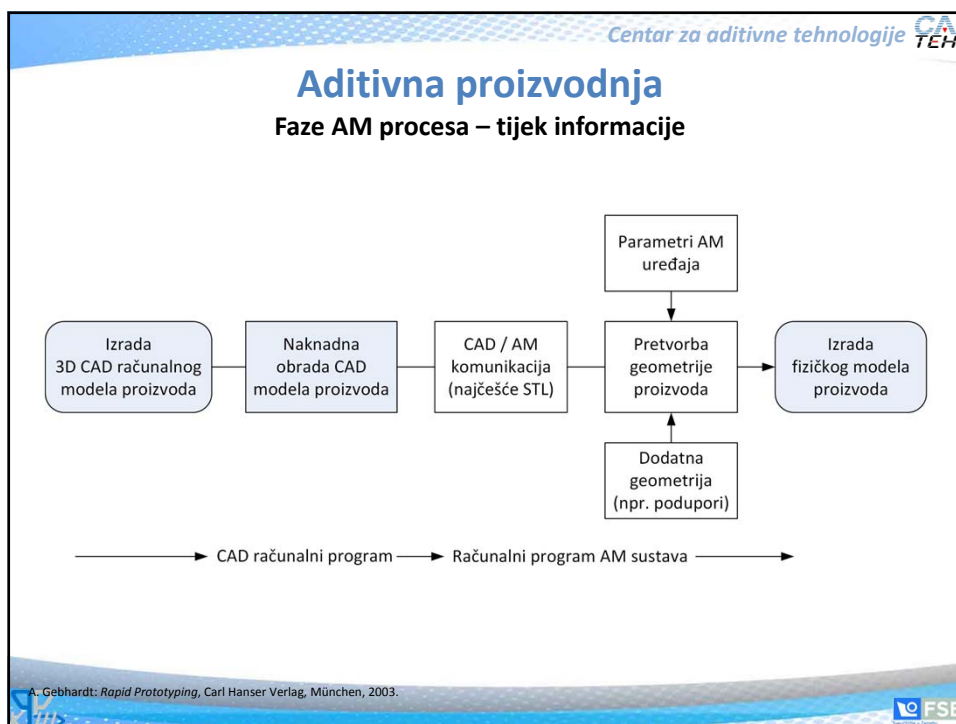
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa

- ❑ generiranje CAD model (konstruiranje, skeniranje, ...)
- ❑ konverzija CAD modela u STL datoteku i rezanje u slojeve
- ❑ transfer STL datoteke za uređaj za AM
- ❑ podešavanje parametara AM uređaja
- ❑ izrada/proizvodnja prototipa/proizvoda
- ❑ uklanjanje prototipa/proizvoda iz AM uređaja
- ❑ dodatna obrada (ako je potrebna)
- ❑ primjena prototipa/proizvoda

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

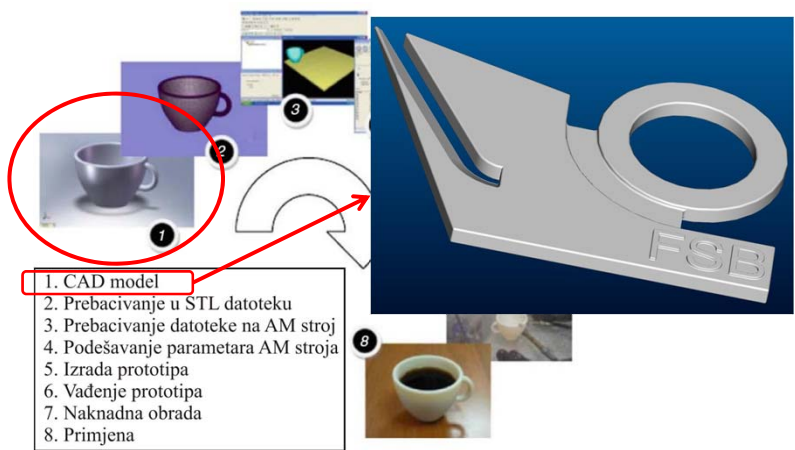
FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – CAD model (razvoj proizvoda)



The diagram illustrates the 8 phases of the Additive Manufacturing (AM) process. It starts with a 3D CAD model of a cup (1), which is converted to an STL file (2). This file is then loaded into an AM machine (3). The machine settings are adjusted (4), and a prototype is built (5). The prototype is then finished (6), and the final product is ready for use (7). The final product is shown as a 3D model of a cup with the letters 'FSB' on it (8).

1. CAD model
2. Prebacivanje u STL datoteku
3. Prebacivanje datoteke na AM stroj
4. Podešavanje parametara AM stroja
5. Izrada prototipa
6. Vađenje prototipa
7. Naknadna obrada
8. Primjena

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Osnovni kriteriji izbora polimernih materijala

- ❑ trenje i trošenje
- ❑ toplinska i električna izolacija
- ❑ kemijska postojanost
- ❑ elastičnost
- ❑ žilavost
- ❑ mogućnost bojanja
- ❑ manja masa u usporedbi s metalima
- ❑ lagano održavanje

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Osnovne funkcije proizvoda od polimernih materijala

- ❑ povezivanje s ostalim proizvodima
- ❑ vođenje i nošenje drugih proizvoda
- ❑ preuzimanje opterećenja (sile, momenti)
- ❑ izolacija od električnih opterećenja
- ❑ izolacija od toplinskih opterećenja (najčešće od hladnoće)
- ❑ brtvljenje od istjecanja (plinova i kapljevina)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

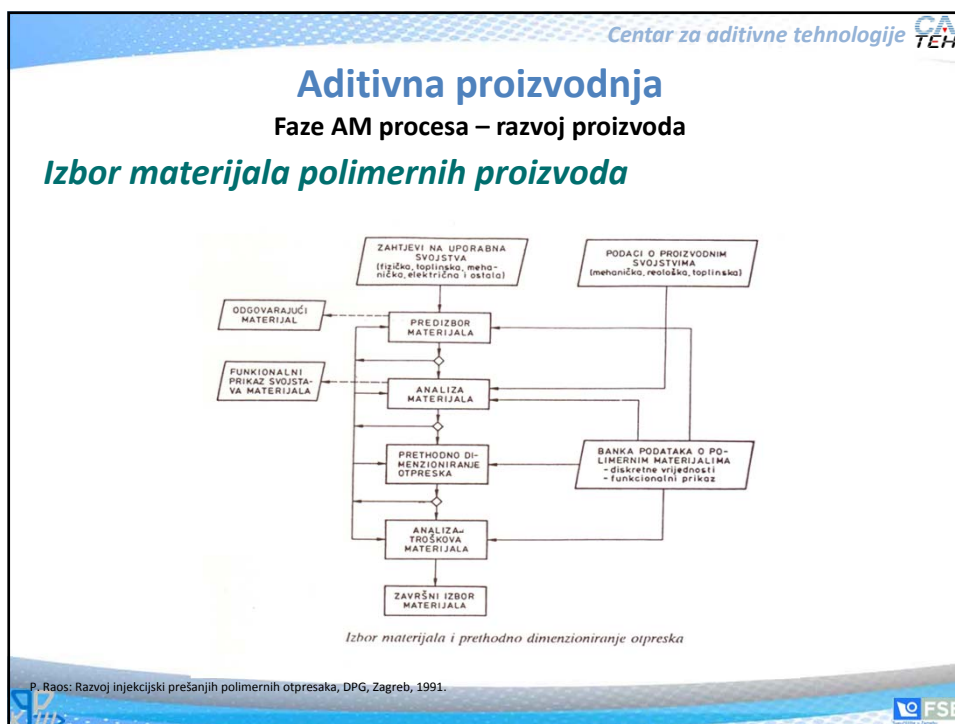
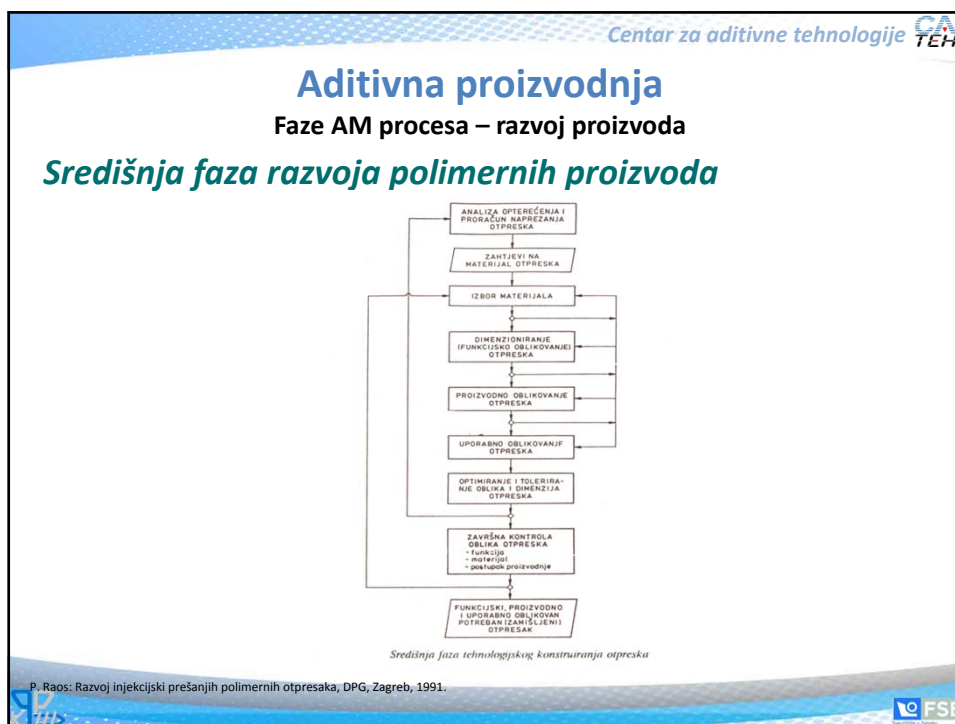
Središnja faza razvoja polimernih proizvoda

```

graph TD
    A([Oblikovanje]) --> B([Dimenzioniranje])
    B --> C([Izbor materijala])
    C --> A
  
```

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

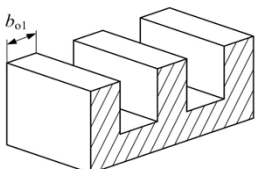


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

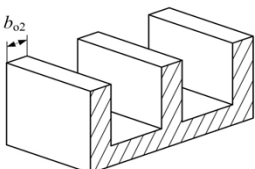
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

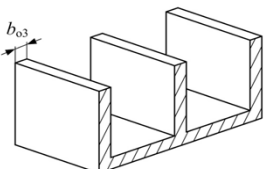
Izbor materijala polimernih proizvoda



PP



PA



PA+30 % GF

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Oblikovanje proizvoda

- ❑ pri razvoju polimernog proizvoda potrebno je voditi računa o:
 - ❑ funkciji (namjeni) proizvoda
 - ❑ materijalu proizvoda
 - ❑ postupku proizvodnje (npr. injekcijsko prešanje ili AM)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Proizvodno oblikovanje proizvoda (eng. DFM)*

- ❑ oblikovanje obzirom na postupak izrade (AM, injekcijsko prešanje) – pravila konstruiranja
- ❑ oblikovanje obzirom na postupke preoblikovanja/povezivanja
- ❑ manipulativno oblikovanje
- ❑ montažno oblikovanje

*Design for Manufacturing

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabno oblikovanje proizvoda

- ❑ estetsko oblikovanje
- ❑ ergonomijsko oblikovanje
- ❑ oblikovanje obzirom na mogućnost ispitivanja
- ❑ oblikovanje obzirom na mogućnost održavanja
- ❑ oblikovanje obzirom na sigurnost

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabno oblikovanje proizvoda

- ❑ estetsko oblikovanje
- ❑ ergonomijsko oblikovanje
- ❑ oblikovanje obzirom na mogućnost ispitivanja
- ❑ oblikovanje obzirom na mogućnost održavanja
- ❑ oblikovanje obzirom na sigurnost

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

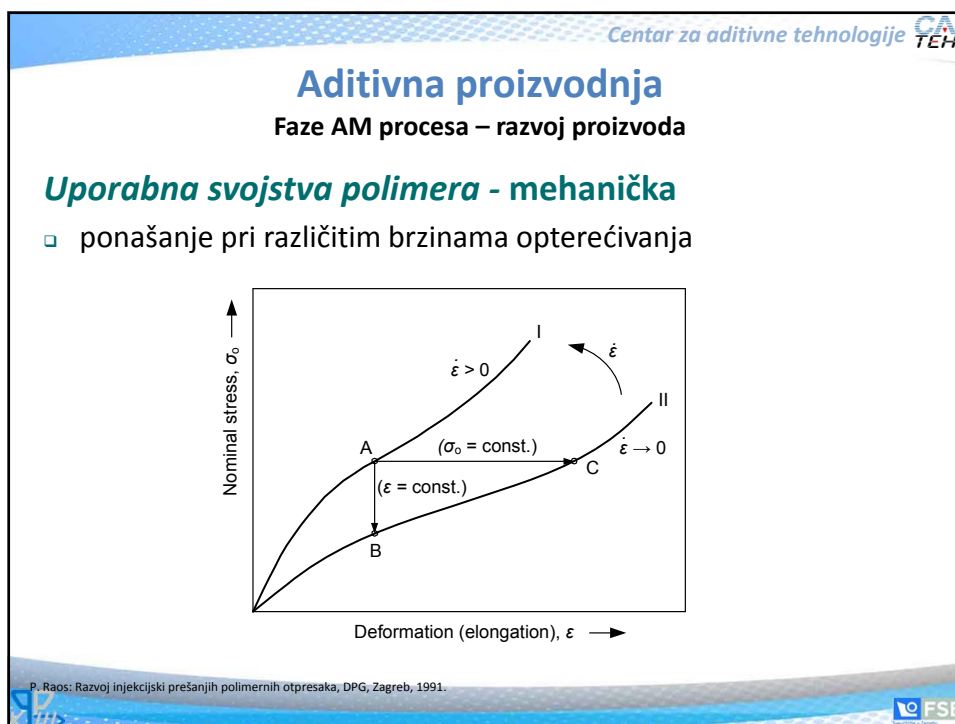
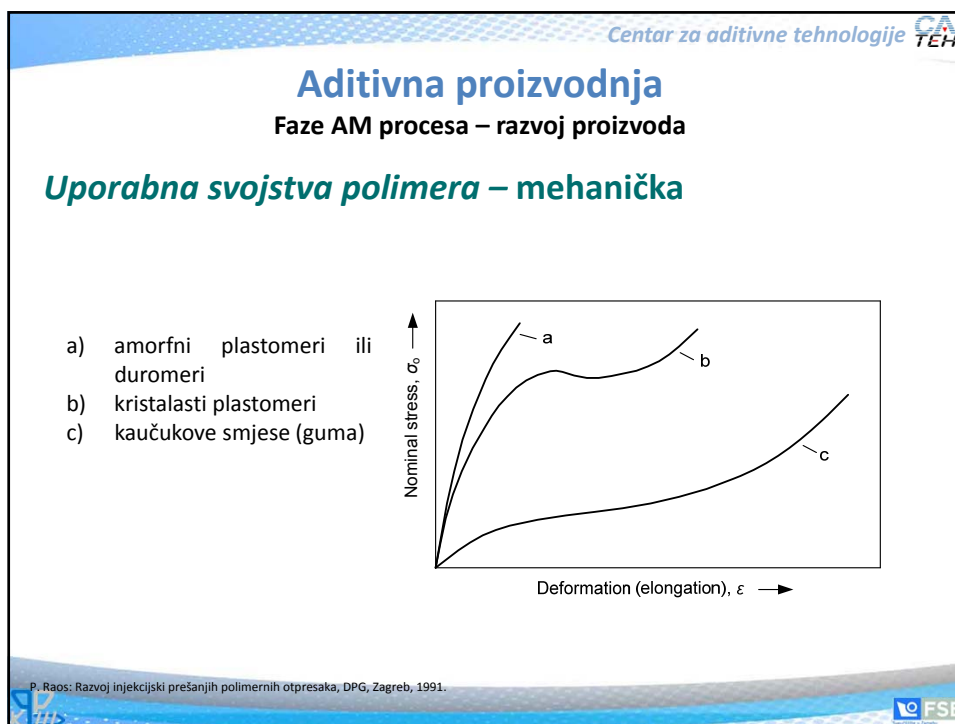
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera

- ❑ Polimerni proizvodi zahvaljujući makromolekulnoj strukturi polimernih materijala imaju specifična uporabna svojstva. Njihova svojstva uglavnom ovise o:
 - ❑ vrsti opterećenja (kratkotrajna, dugotrajna)
 - ❑ obliku opterećenja (statičko, dinamičko)
 - ❑ brzini opterećivanja
 - ❑ temperaturi
 - ❑ okolini (vlaga, agresivni mediji, UV zračenje-sunce, ...)
 - ❑ toplinskoj i reološkoj prošlosti
 - ❑ mehaničkoj prošlosti (deformacije, unutrašnja naprezanja)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.





Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera - mehanička

- ❑ deformacija polimernih proizvoda ovisi o opterećenju, temperaturi, vremenu i uvjetima primjene (uglavnom o brzini opterećivanja)
- ❑ razlikuju se 3 fizikalna stanja polimera:
 - ❑ staklasto
 - ❑ gumasto
 - ❑ kapljasto

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

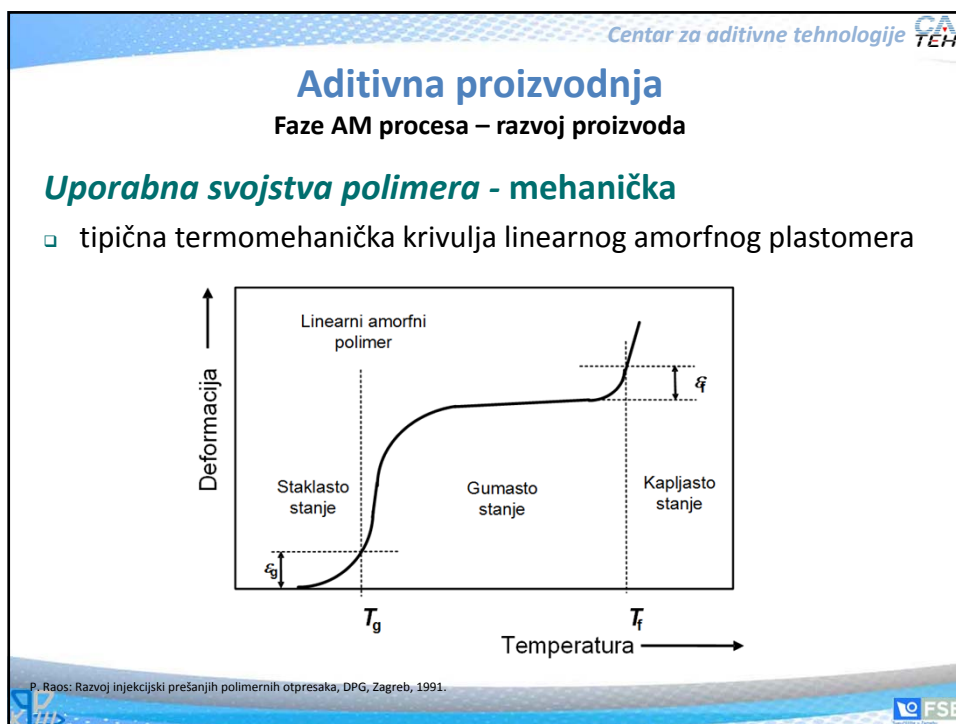
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera

- ❑ Najvažnije skupine uporabnih svojstava polimernih proizvoda su:
 - ❑ mehanička
 - ❑ toplinska
 - ❑ električna i magnetska
 - ❑ trenje i trošenje
 - ❑ optička
 - ❑ akustička
 - ❑ otpornost (na uvjete u okruženju primjene)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.





Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera - mehanička

- deformacija polimernih proizvoda

$$\varepsilon_u = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$$

ε_{el} - elastična (reverzibilna) deformacija
 ε_{pl} - plastična (ireverzibilna) deformacija

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera - mehanička

- elastična deformacija polimernih proizvoda

$$\varepsilon_{el} = \varepsilon_{en} + \varepsilon_{et}$$

ε_{en} - energijska deformacija (razina atoma)
 ε_{et} - entropijska deformacija (razina makromolekule)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

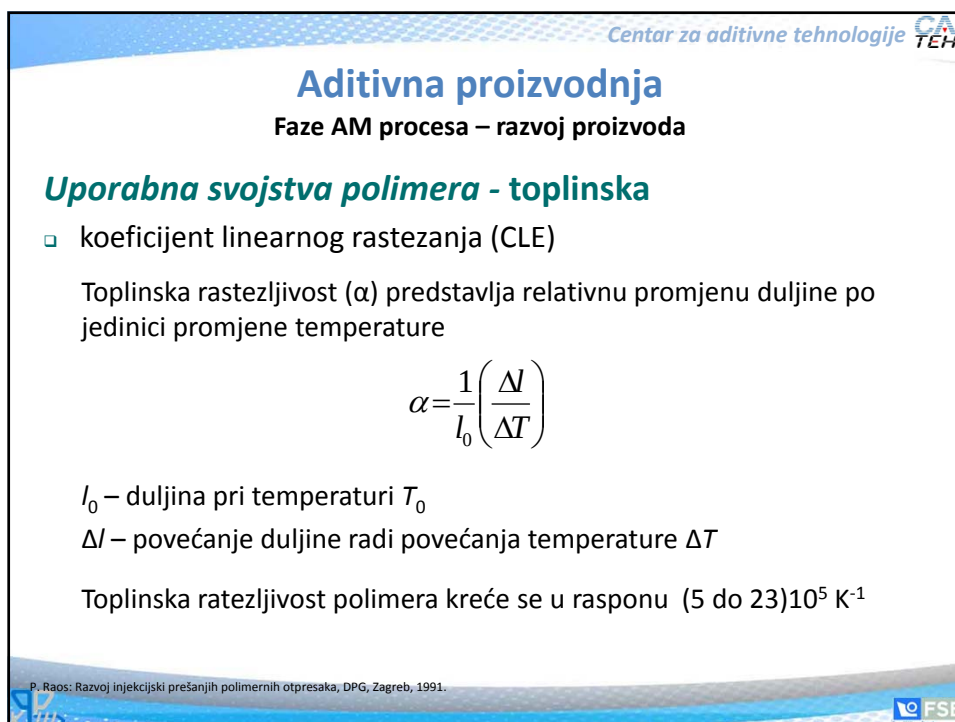
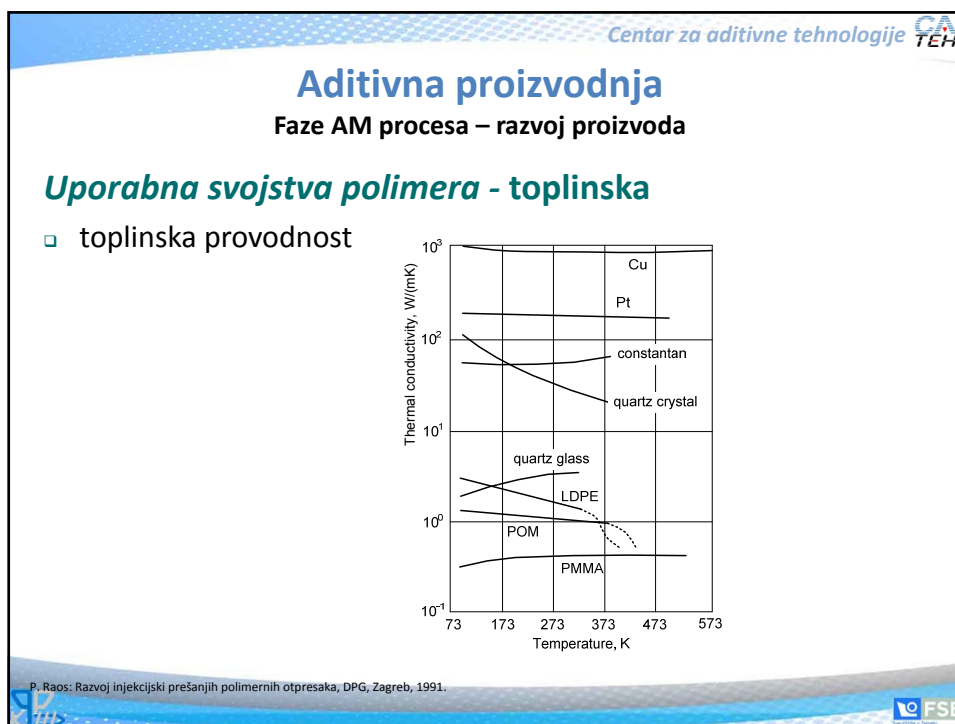
Uporabna svojstva polimera - toplinska

- specifični toplinski kapacitet

Material	Relative specific volume heat capacity (%)
water	100
steel	~90
iron	~85
brass	~78
aluminium	~60
unreinforced thermoplastics	~32 - 50
glass	~35
unreinforced thermosets and rubber	~40 - 45
wood	~20
foams (0.01...0.3)	~0 - 5

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera - toplinska

□ koeficijent linearnog rastezanja (CLE)

Coefficients of Linear Thermal Expansion (CLTE) for Common Materials		Coefficients of Linear Thermal Expansion (CLTE) for Common Materials	
Material	(mm/mm/°C x 10 ⁻⁵)	Material	(mm/mm/°C x 10 ⁻⁵)
Glass	0.9	Acrylic	6.8
Steel	1.4	Polycarbonate	7.0
Composite RIM	1.4	PC/ABS Blend	7.2
Brass	1.8	Elastomeric RIM GF*	7.2
Aluminum	2.3	Nylon	8.1
Nylon GF*	2.3	ABS	9.0
Polyester GF*	2.5	Polypropylene	9.0
PPS GF*	2.7	Acetal	10.4
Polycarbonate GF*	3.0	Polyester	10.8
ABS GF*	3.0	Polyethylene	12.6
Polypropylene GF*	3.2	Elastomeric RIM Unfilled	14.0
Acetal GF*	4.5		

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera - toplinska

□ koeficijent linearnog rastezanja (CLE)

The diagram shows a cross-section of a thermoplastic-metal interface. A dimension L represents the length of the interface, and ΔL represents the change in length due to thermal expansion. The layers are labeled 1 Thermoplastic and 2 Metal.

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera - trenje

Coefficients of Friction (Static) Ranges for Various Materials		
Material	On Self	On Steel
PTFE	0.10 – 0.25	0.10 – 0.25
PE Rigid	0.40 – 0.50	0.20 – 0.25
PP	0.35 – 0.45	0.25 – 0.35
POM	0.25 – 0.50	0.15 – 0.35
PA	0.30 – 0.50	0.30 – 0.40
PBT	0.30 – 0.40	0.30 – 0.40
PS	0.45 – 0.60	0.40 – 0.50
SAN	0.45 – 0.65	0.40 – 0.55
PC	0.40 – 0.65	0.35 – 0.55
PMMA	0.60 – 0.70	0.50 – 0.60
ABS	0.60 – 0.75	0.50 – 0.65
PE Flexible	0.65 – 0.75	0.55 – 0.60
PVC	0.55 – 0.60	0.55 – 0.60

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera – trenje (i trošenje)

□ ovisnost o temperaturi (suho trenje)

Surface temperature (K)	HDPE (µm/km)	POM PA 66 (µm/km)	PET (µm/km)
273	0.1	0.1	0.1
323	0.1	0.1	0.1
373	0.5	0.1	0.1
423	1.5	0.5	0.1
473	-	1.5	0.5

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera – trenje (i trošenje)

- ❑ trošenje polimera uzrokovano korozijom nije poznato
- ❑ značajniji problem trošenja polimernih proizvoda je umor površine (npr. PA zupčanici) koji dovodi do stvaranja napuklina i u konačnici loma proizvoda

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera – optička

- ❑ Prozirni
 - ❑ uglavnom amorfni plastomeri
 - ❑ tzv. organska stakla (PMMA, PS, PMP, PC, PVC)
 - ❑ duromeri (EP, UP)
 - ❑ kaučukove smjese (SBR, IIR, ACM, AMM)
- ❑ Mliječni do neprozirni
 - ❑ plastomeri: PA, PE, PP
 - ❑ duromeri: MF, UF

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera – postojanost

Degradation mechanism	Impact on different polymer groups
short-term UV radiation, γ radiation, electron radiation	all polymers
radiation, heat, mechanical energy	all polymers
UV radiation	polymers with ketone, amid, urethane and ester elements
light, heat	partly oxidate polymers
hydrolysis (alkali type)	polyamide, polyurethane, polyimide, polymer based on urea
hydrolysis (acid type)	polyamide, polyurethane, polyesters, polyacetal
thermal degradation	polyolefins, PVC

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

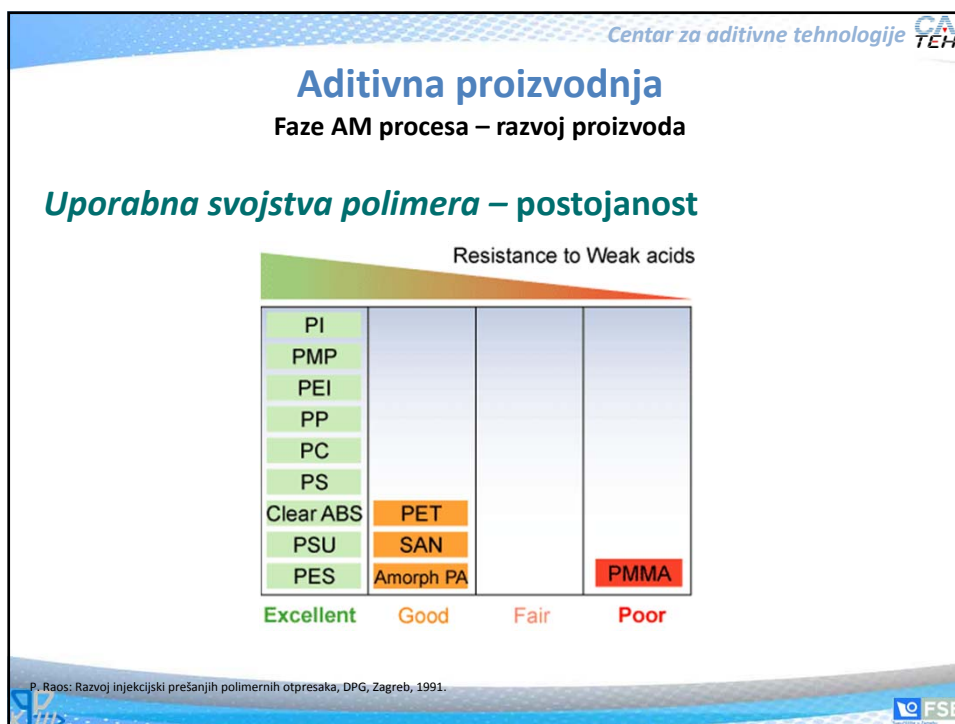
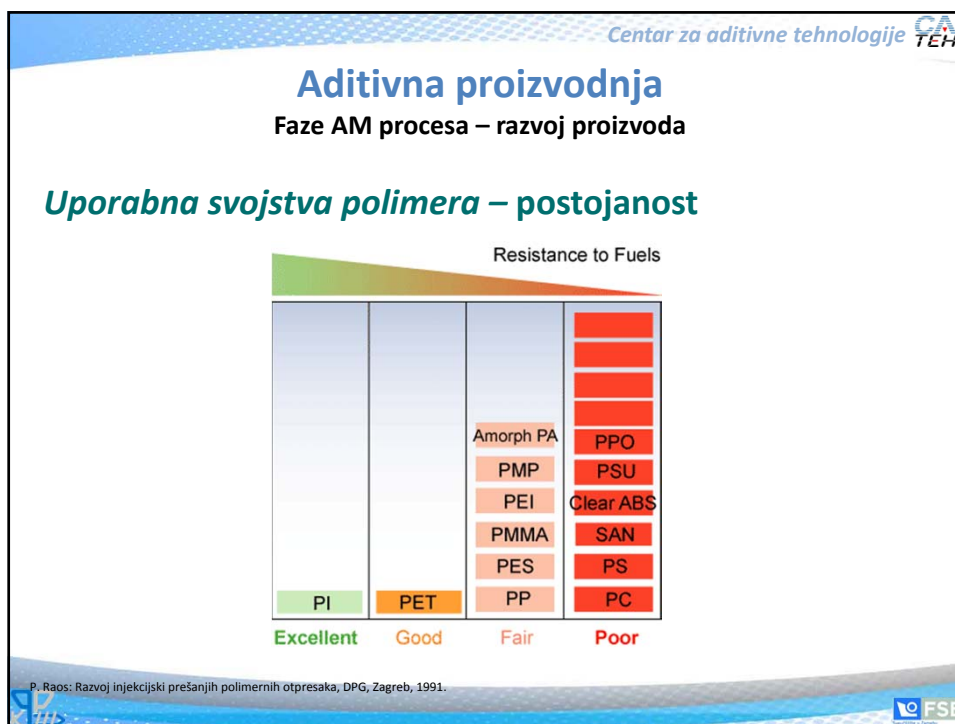
Uporabna svojstva polimera – postojanost

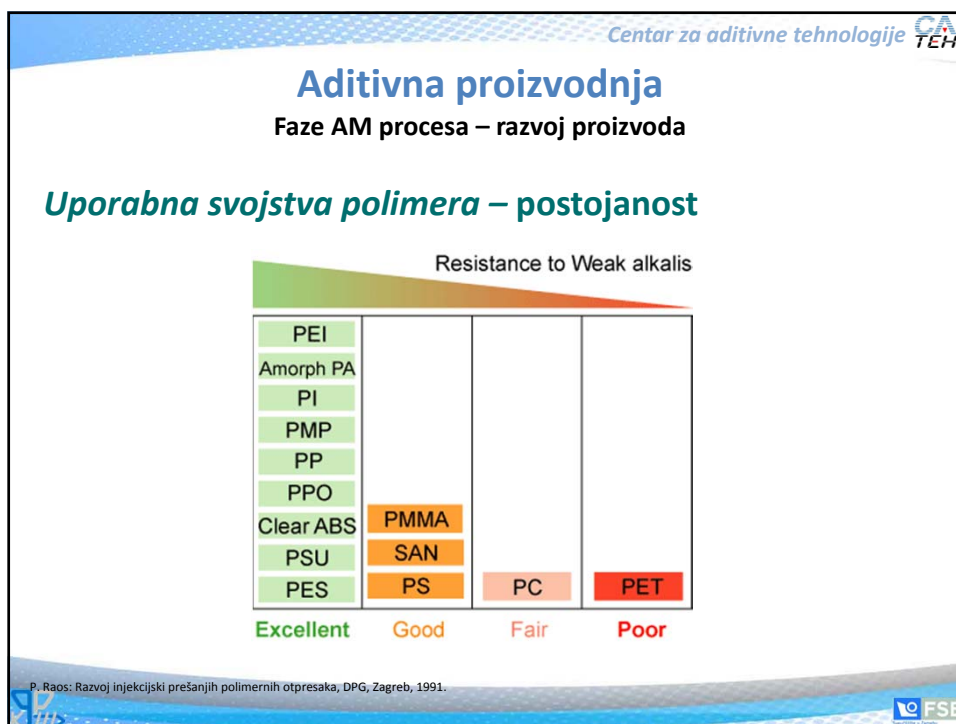
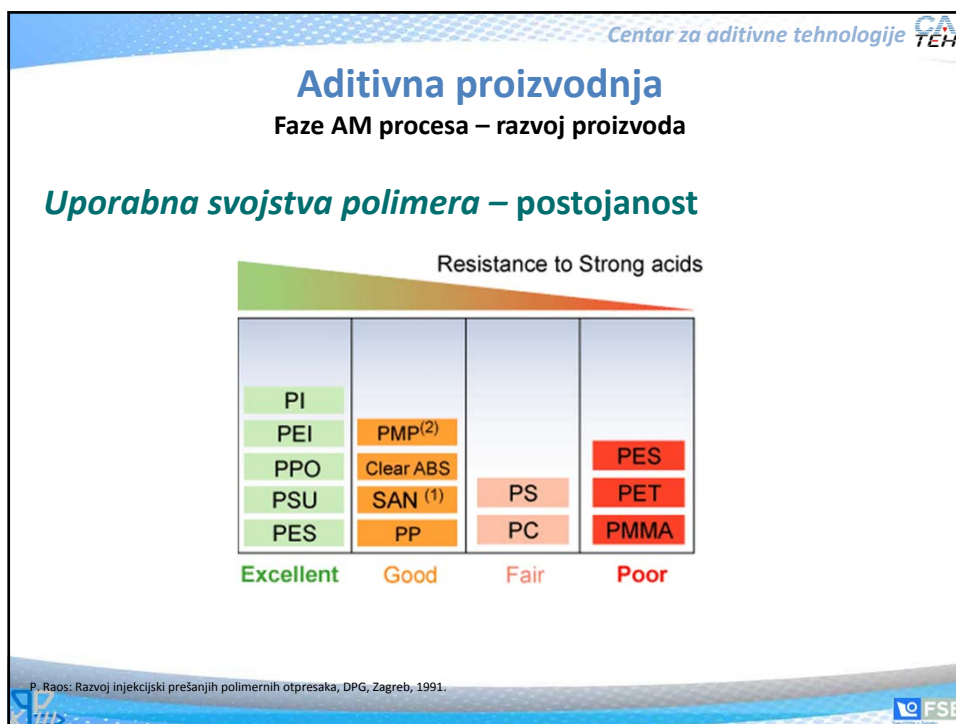
Resistance to Alcohols

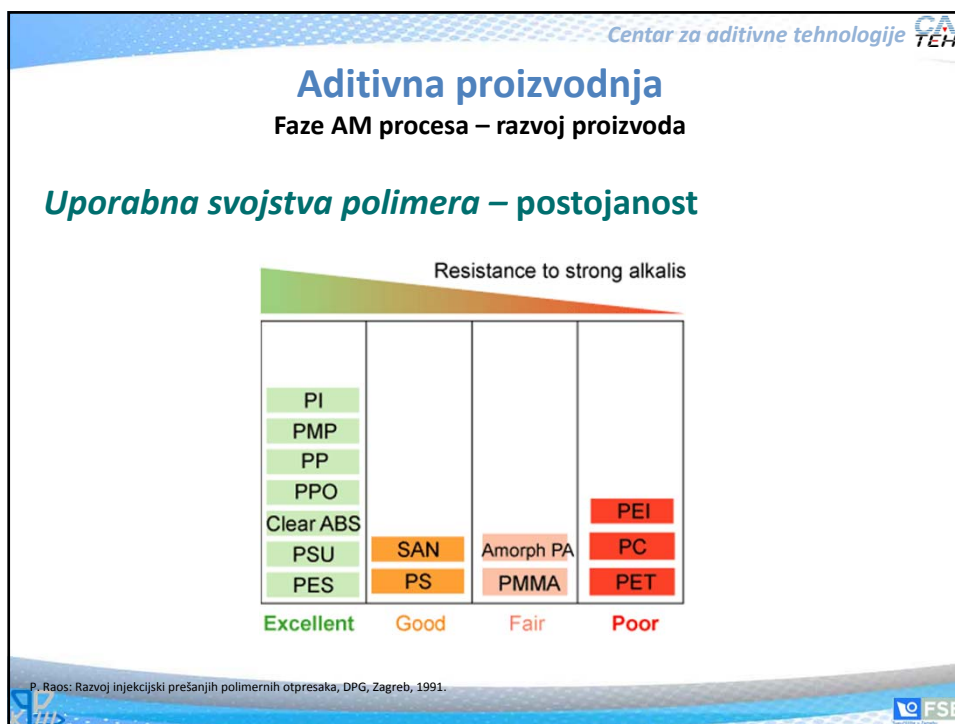
Excellent	Good	Fair	Poor
PI	PET PMP PSU PS PC PP	PES PEI	PMMA PPO Clear ABS SAN Amorph PA

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB







Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Uporabna svojstva polimera – postojanost

PTFE (teflon) generalno ima najbolju postojanost na otapala. To je jedini polimerni materijal koji nije topiv niti u jednom poznatom otapalu.

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Strukturno oblikovanje (dimenzioniranje) – meh. opter.

- ❑ iskustveno
- ❑ konvencionalno-analitičko (mehanika)
- ❑ simulacijski (FEM analiza)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Strukturno oblikovanje (dimenzioniranje) – meh. opter.

- ❑ iskustveno
- ❑ konvencionalno-analitičko (mehanika)
- ❑ simulacijski (FEM analiza)

Kriteriji za dimenzioniranje:

- ❑ maksimalno dopušteno naprezanje
- ❑ maksimalno dopuštena deformacija

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

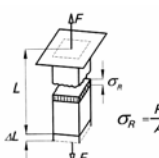


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

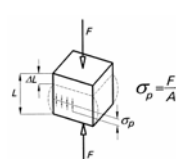
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

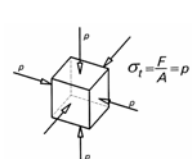
Dimenzioniranje – vrste opterećenja



Tensile load



Compression load (1D)



Compression load (3D)

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

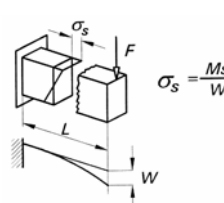
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

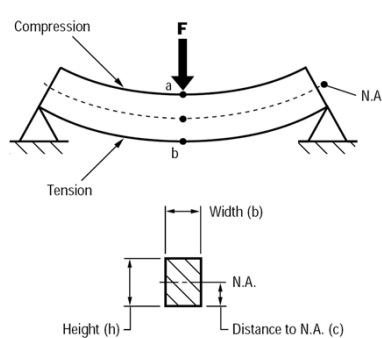
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Dimenzioniranje – vrste opterećenja



Bending (flexural) load



Savijanje

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

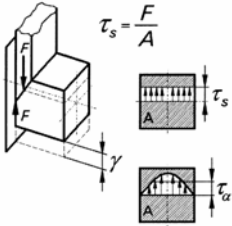
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

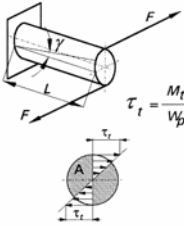
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Dimenzioniranje – vrste opterećenja



$$\tau_s = \frac{F}{A}$$

Shear load



$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$$

Torsional load

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

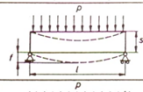
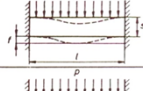
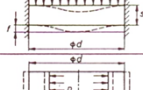
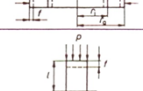
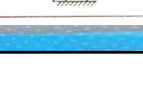
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

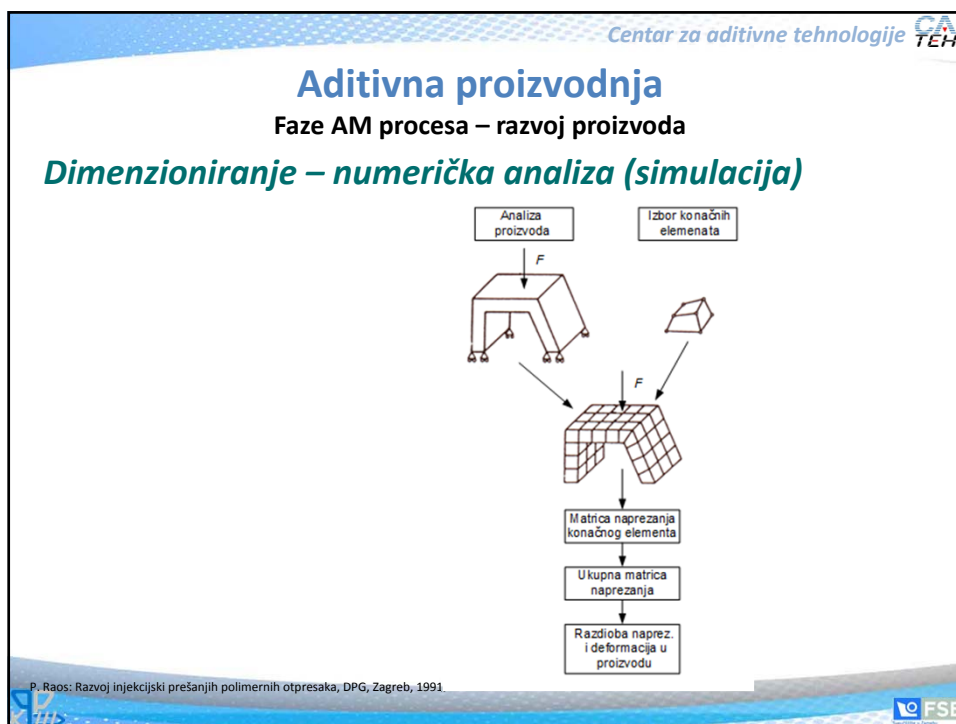
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Dimenzioniranje – vrste opterećenja

Schema opterećenja	Maksimalna deformacija
	$f = \frac{5p \cdot l^4}{32E \cdot s^3} = \frac{p \cdot l^4 \cdot 2,66 \cdot 1,2}{8E \cdot s^3}$
	$f = \frac{12p \cdot l^4}{384E \cdot s^3} = \frac{p \cdot l^4 \cdot 2,66 \cdot 1,2}{8E \cdot s^3}$
	$f = \frac{p \cdot d^4 \cdot 12}{1138E \cdot s^3} = \frac{p \cdot d^4 \cdot 2,66 \cdot 1,2}{16E \cdot s^3}$
	$f = \frac{p \cdot l^4}{E} \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{l^2}{b^2}} + \frac{1}{m} \right)$
	$f = \frac{p \cdot l^4}{E} \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{l^2}{b^2}} + \frac{1}{m} \right)$
	$f = \frac{p \cdot l^3}{E}$

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

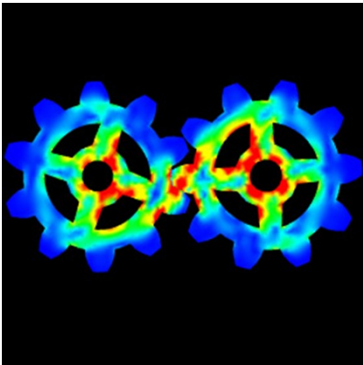


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Dimenzioniranje – numerička analiza (simulacija)



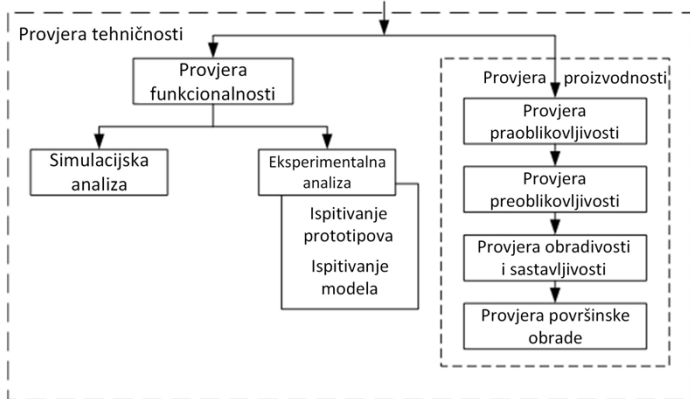
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Provjera tehničnosti proizvoda



```

graph TD
    A[Provjera tehničnosti] --> B[Provjera funkcionalnosti]
    A --> C[Provjera proizvodnosti]
    B --> D[Simulacijska analiza]
    B --> E[Eksperimentalna analiza]
    E --> F[Ispitivanje prototipova]
    E --> G[Ispitivanje modela]
    C --> H[Provjera praoblikovljivosti]
    H --> I[Provjera preoblikovljivosti]
    I --> J[Provjera obradivosti i sastavljenosti]
    J --> K[Provjera površinske obrade]
    
```

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

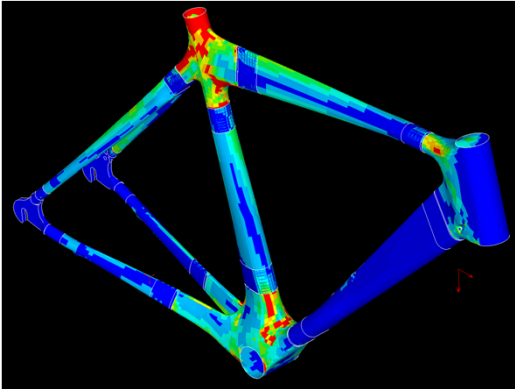
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Simulacijska analiza



FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Eksperimentalna analiza (modeli i prototipovi)

- ❑ Procesi aditivne proizvodnje
 - ❑ stereolitografija (SLA)
 - ❑ selektivno lasersko sraščivanje (SLS)
 - ❑ 3D ispis (3DP)
 - ❑ fused deposition modelling (FDM)
 - ❑ laminiranje (LOM)
 - ❑ digitalna obrada svjetla (DLP)
 - ❑ hibridni proces SLA/3DP (PolyJet)
 - ❑

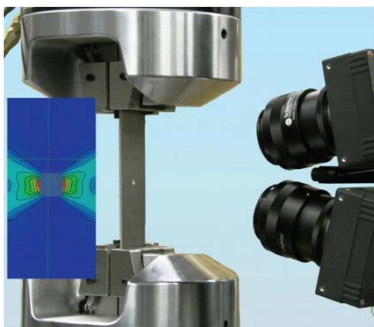
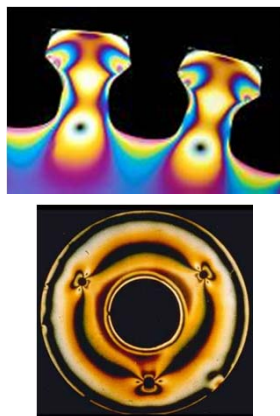
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Eksperimentalna analiza (fotoelasticimetrija)

FSB

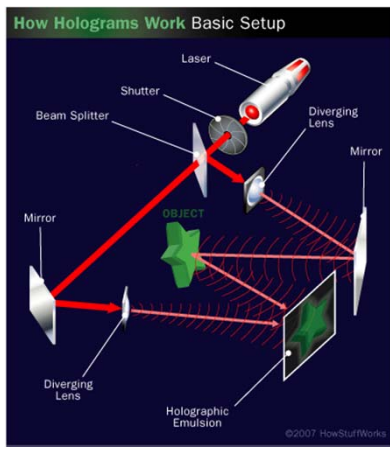
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Eksperimentalna analiza (holografija)

How Holograms Work Basic Setup



©2007 HowStuffWorks

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Eksperimentalna analiza (holografija)



FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

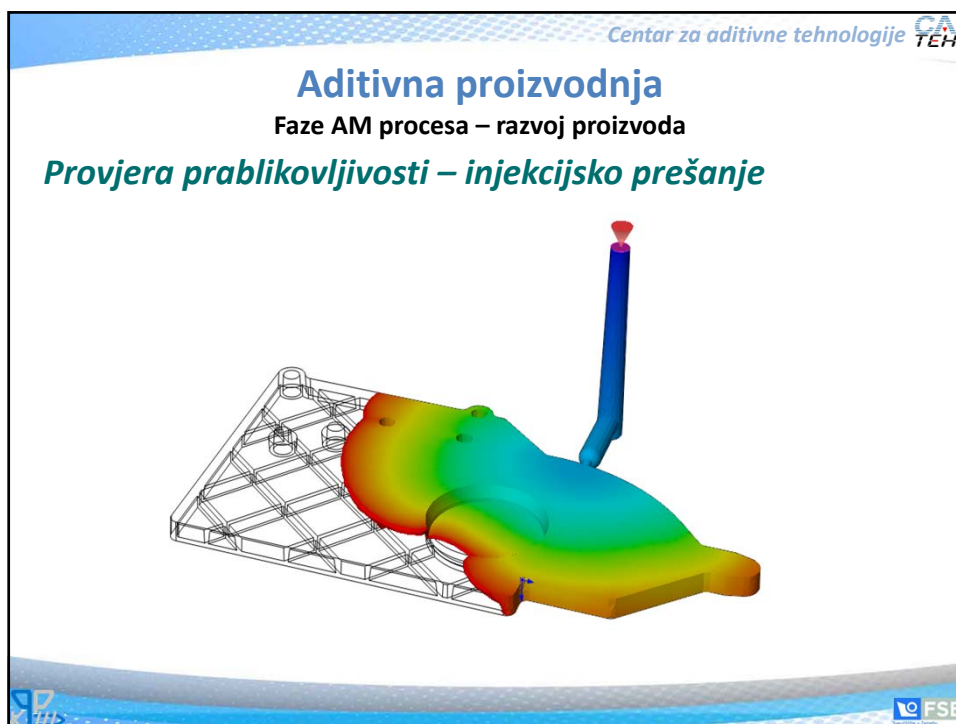
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Eksperimentalna analiza (holografija)



FSB



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Osnovna pravila i najčešće greške u konstruiranju za AM

- ❑ neka od općih pravila razvoja polimernih proizvoda
- ❑ opća pravila konstruiranja
- ❑ najčešće greške u konstruiranju za AM
 - ❑ zanemarivanje svojstava materijala
 - ❑ zanemarivanje značajki AM postupaka
 - ❑ zanemarivanje debljine stijenke proizvoda
 - ❑ zanemarivanje razlučivosti STL datoteke

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Opća pravila konstruiranja polimernih proizvoda

- ❑ ujednačena debljina stijenke (važno za procese gdje se koristi povišena temperatura)
- ❑ pravilno konstruiranje rebara radi povišenja krutosti
- ❑ izbjegavanje većih plan-paralelnih površina
- ❑ izbjegavanje oštih rubova i kutova
- ❑ izbjegavanje naglih prijelaza u debljini stijenke
- ❑ izbjegavanje koncentracije mase polimera (važno za procese gdje se koristi povišena temperatura)

D. Godec: Diploma paper, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, 2005.



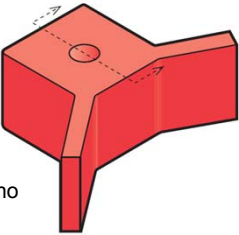
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

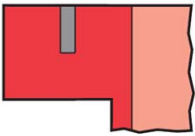
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

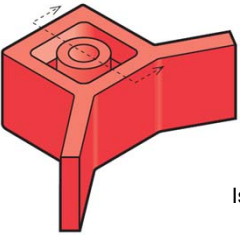
Debljina stijenke

❑ "vađenje" materijala

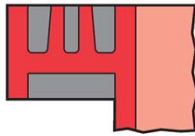


Neispravno





Ispravno



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

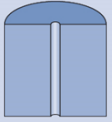
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

❑ "vađenje" materijala

Neispravno



Ispravno



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ujednačena stijenka

Neispravno

Ispravno

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- stezanje

Stezanje proizvoda

Debljina stijenke

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

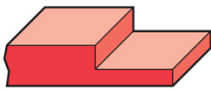
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

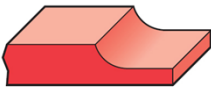
Aditivna proizvodnja

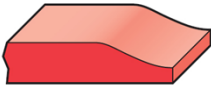
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

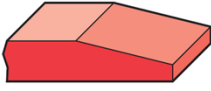
Debljina stijenke

- ❑ prijelazi

Neispravno


Ispravno


Ispravno


Ispravno


LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

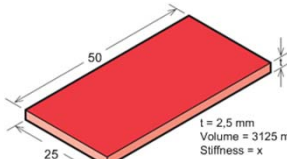
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

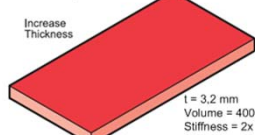
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

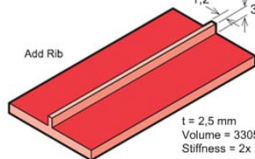
- ❑ rebrasta ukrućenja



$t = 2,5 \text{ mm}$
 $\text{Volume} = 3125 \text{ mm}^3$
 $\text{Stiffness} = x$

Increase Thickness


$t = 3,2 \text{ mm}$
 $\text{Volume} = 4000 \text{ mm}^3$
 $\text{Stiffness} = 2x$

Add Rib


$t = 2,5 \text{ mm}$
 $\text{Volume} = 3305 \text{ mm}^3$
 $\text{Stiffness} = 2x$

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

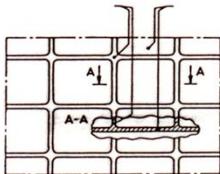
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

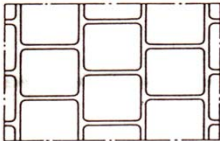
Debljina stijenke

▣ rebrasta ukrućenja



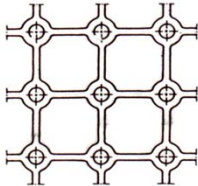
a)

Loše



b)

Bolje



c)

Najbolje

P. Raos: Razvoj injekcijski prešanih polimernih otpresaka, DPG, Zagreb, 1991.

FSB

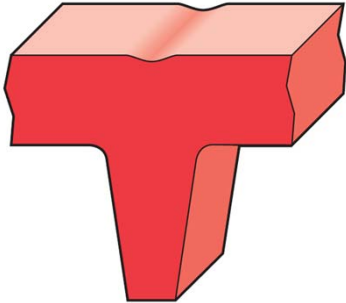
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

▣ rebrasta ukrućenja - usahline



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

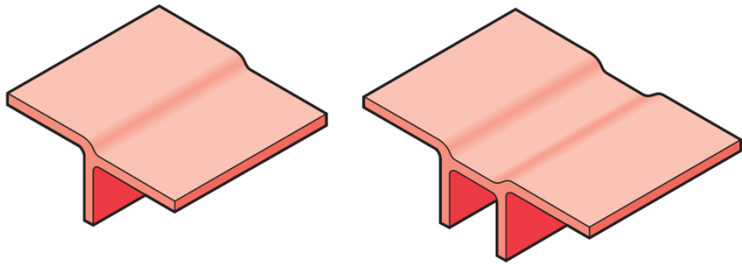
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ▣ rebrasta ukrućenja - usahline



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

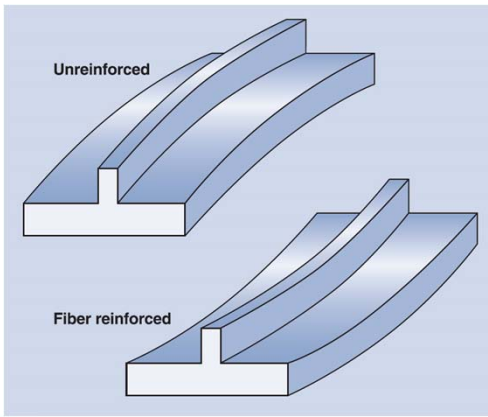
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ▣ rebrasta ukrućenja - vitoperenje



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

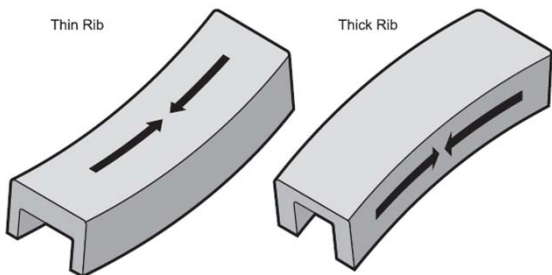
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ▣ rebrasta ukrućenja - vitoperenje



Thin Rib Thick Rib

Warpage vs. rib thickness in unfilled resins.

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

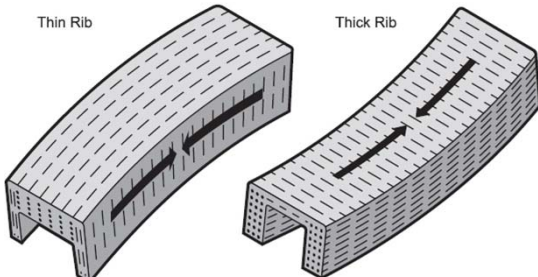
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ▣ rebrasta ukrućenja - vitoperenje



Thin Rib Thick Rib

Warpage vs. rib thickness in glass-filled resins.

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

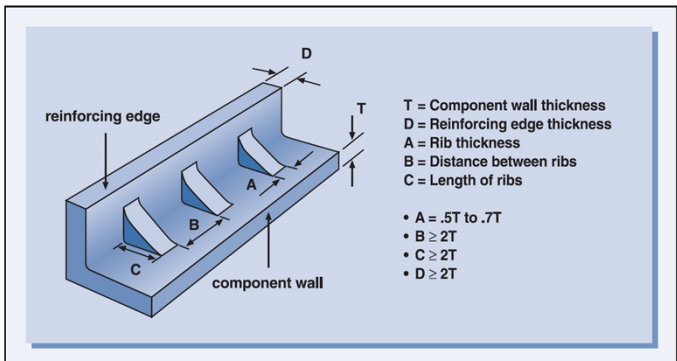
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

▣ rebrasta ukrućenja - krutost



T = Component wall thickness
 D = Reinforcing edge thickness
 A = Rib thickness
 B = Distance between ribs
 C = Length of ribs

- $A = .5T$ to $.7T$
- $B \geq 2T$
- $C \geq 2T$
- $D \geq 2T$

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

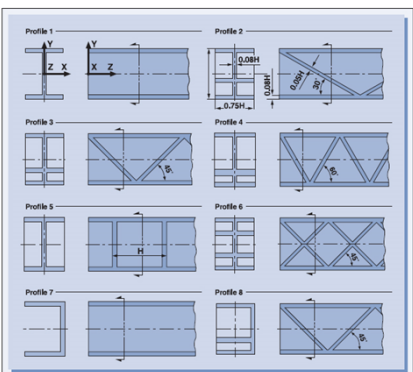
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

▣ rebrasta ukrućenja - krutost



Profile	1	2	3	4	5	6	7	8
Torsional rigidity	1	10	17	19	1	34	1	37
Horizontal bending	1	1,1	1	1	1,1	1,1	1,9	2
Vertical bending	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

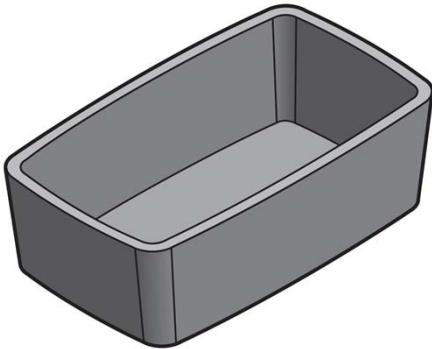
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- krutost



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

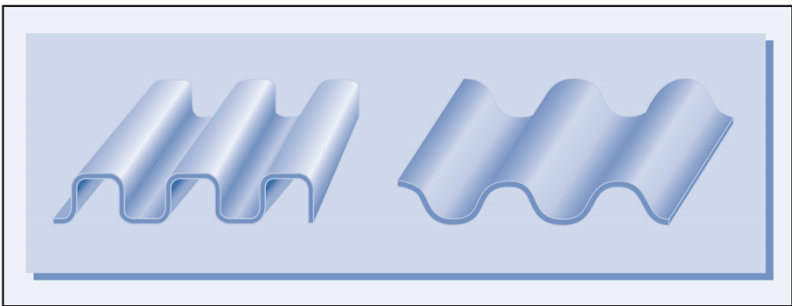
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- krutost – profilna stijenka



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

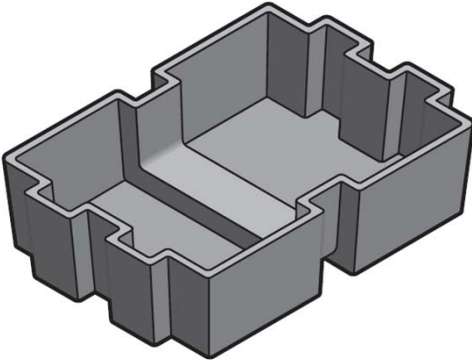
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ▣ krutost – profilna stijenka



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

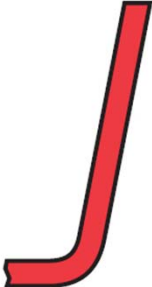
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ▣ krutost – profilna stijenka

savijljivo



čvršće



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

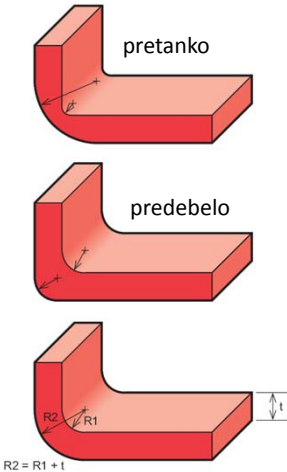
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- uglovi



$R2 = R1 + t$

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

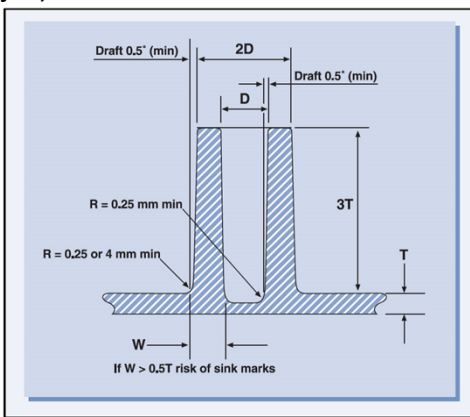
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- izdanci (npr. za vijke)



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

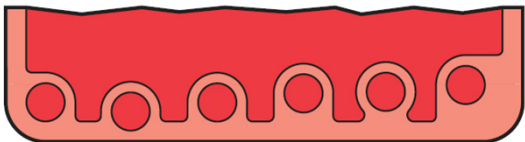
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

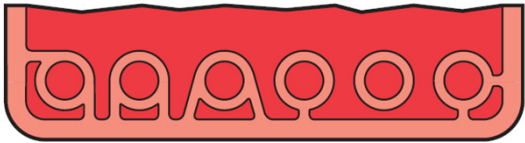
Debljina stijenke

- ❑ izdanci (npr. za vijke)

neppravilno



pravilno



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

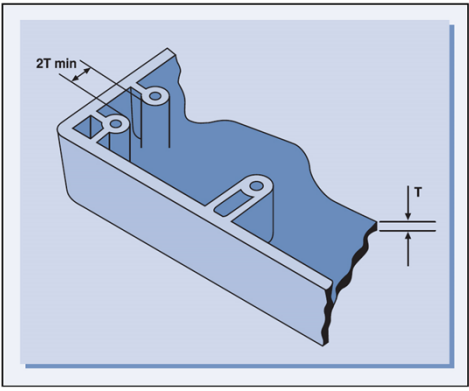
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

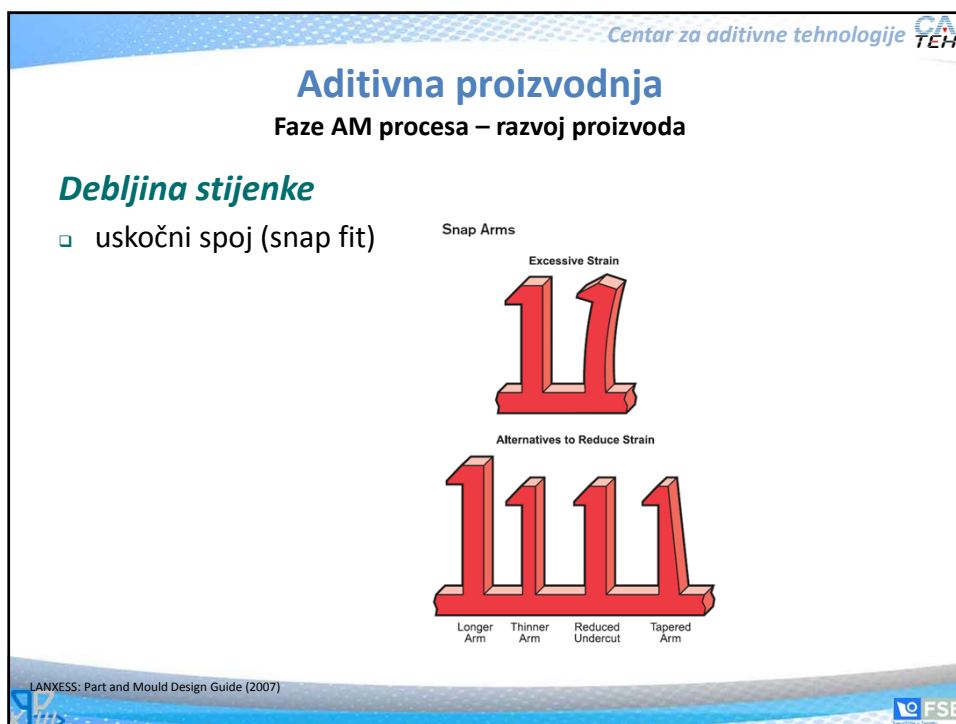
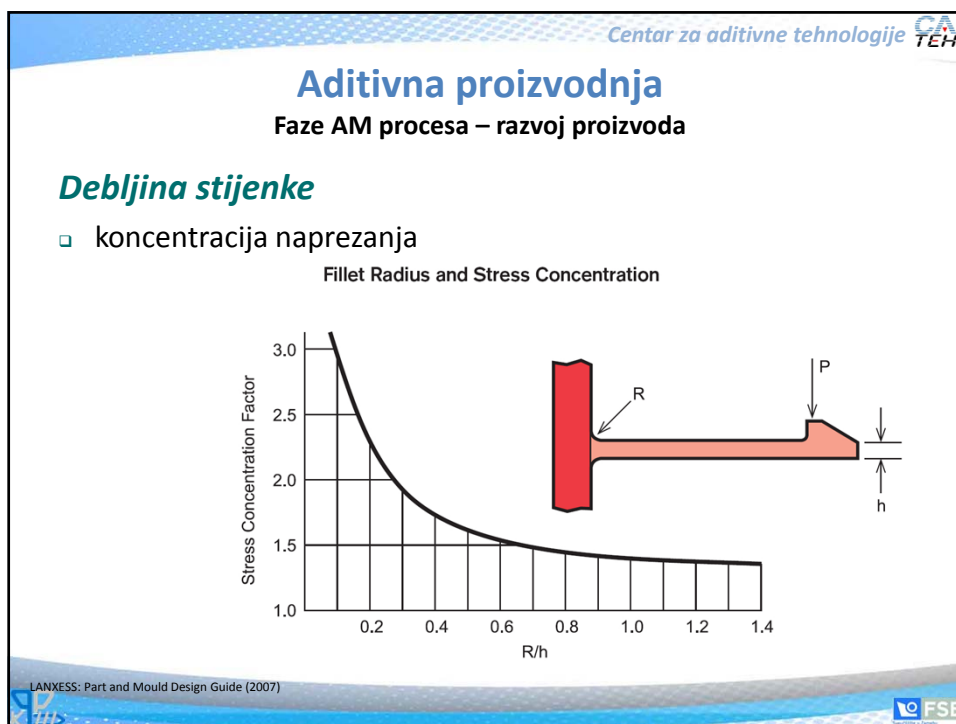
Debljina stijenke

- ❑ izdanci (npr. za vijke)



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ❑ uskočni spoj (snap fit)

Required shape

Dimensional/shape deviation

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ❑ uskočni spoj (snap fit)

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

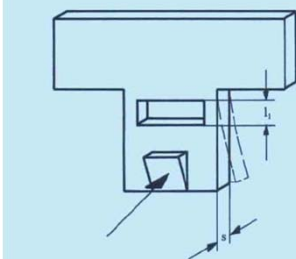
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

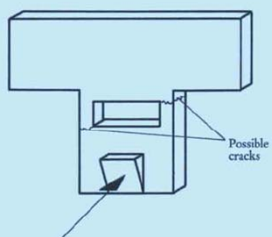
Debljina stijenke

- ❑ uskočni spoj (snap fit)

Required shape



Dimensional/shape deviation



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

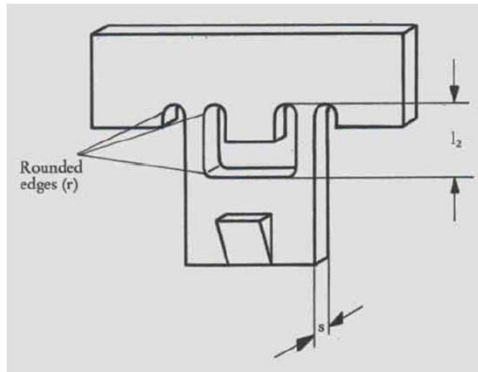
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Debljina stijenke

- ❑ uskočni spoj (snap fit)



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

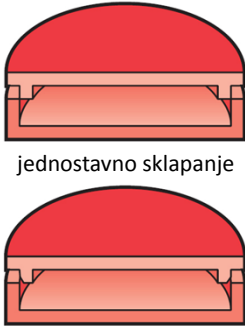
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Sklopovi

- skošenje

Skošenje (kut)

otežano sklapanje



jednostavno sklapanje

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

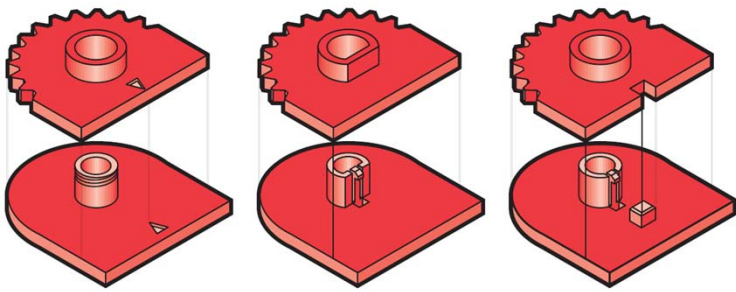
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Sklopovi

- orijentacija

detalji za orijentaciju



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Sklopovi

- orijentacija

Simetrija orijentacije

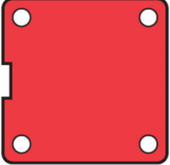
1 moguća orijentacija

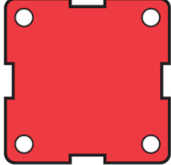


4 moguće orijentacije



→





→

→

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

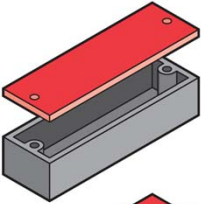
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

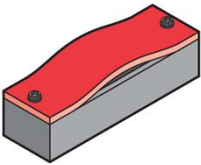
Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Sklopovi

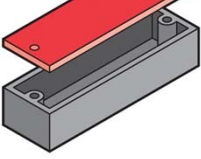
- toplinska rastezljivost



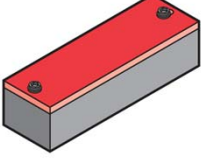
→



→



→



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

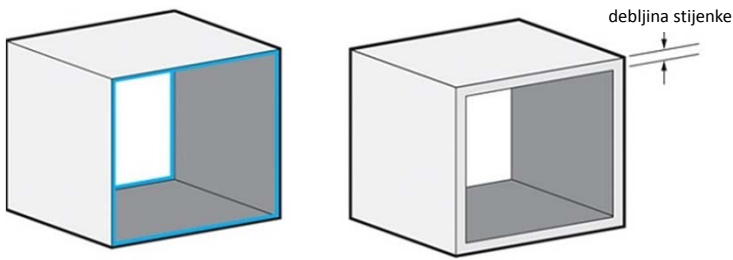
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Najčešće pogreške u konstruiranju za AM

- ❑ debljina stijenke



<https://i.materialise.com>

FSB

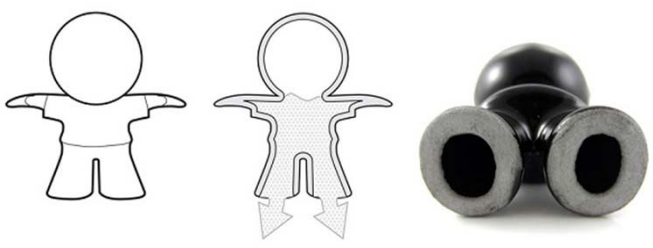
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Najčešće pogreške u konstruiranju za AM

- ❑ debljina stijenke



<https://i.materialise.com>

FSB

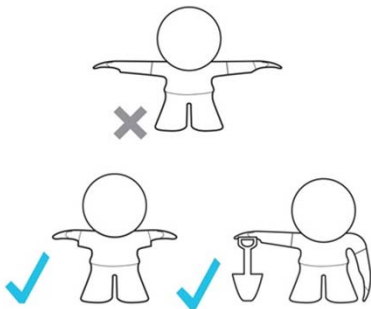
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – razvoj proizvoda

Najčešće pogreške u konstruiranju za AM

- ❑ konstrukcija (optimiranje suportne strukture)



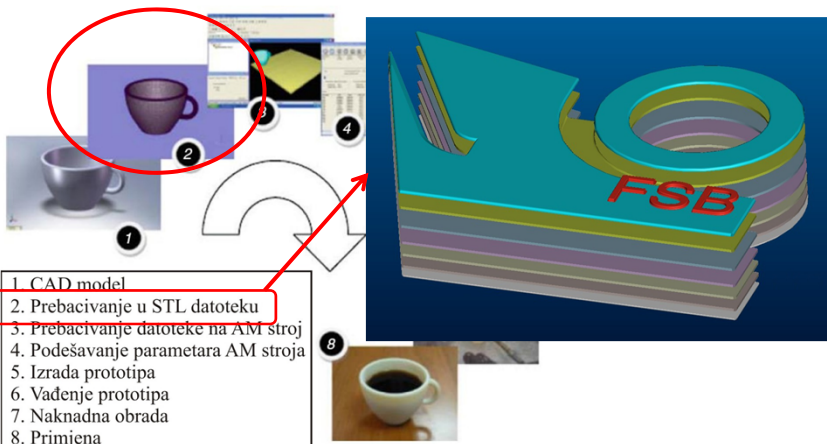
<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – pretvorba u STL



1. CAD model
2. Prebacivanje u STL datoteku
3. Prebacivanje datoteke na AM stroj
4. Podešavanje parametara AM stroja
5. Izrada prototipa
6. Vađenje prototipa
7. Naknadna obrada
8. Primjena

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – pretvorba u STL



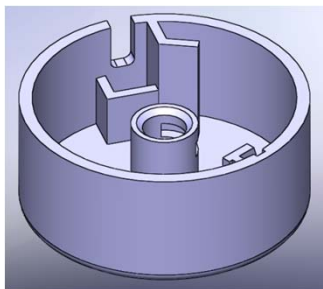
Technology Focus
Layer Manufacturing Process Animation
Voiceover
-Dr Phil Reeves, MD
Econolyst Ltd

FSB

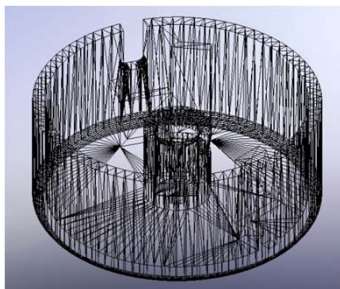
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – pretvorba CAD u STL



CAD model



STL file

STL – Standard Tessellation Language
NE ZNAČI STEREOLITOGRAFIJA FILE!!!

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

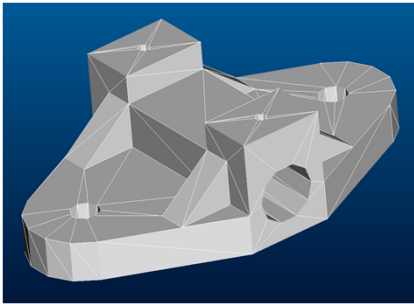
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

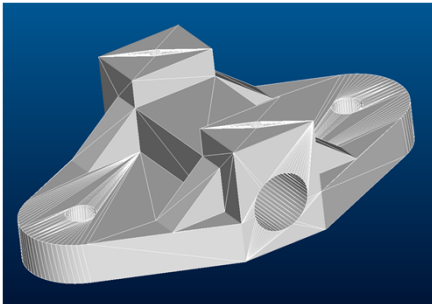
Faze AM procesa – STL datoteka

Najčešće pogreške u konstruiranju za AM

- razlučivost STL datoteke



niža razlučivost STL datoteke



viša razlučivost STL datoteke

FSB

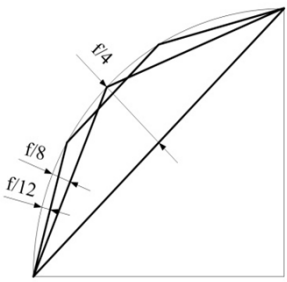
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

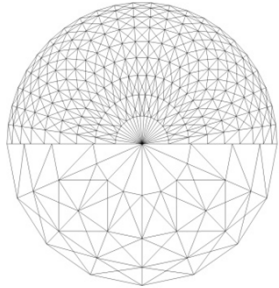
Faze AM procesa – pretvorba CAD u STL

Najčešće pogreške u konstruiranju za AM

- STL datoteka je samo aproksimacija osnovne geometrije



konvergencija prema CAD modelu



utjecaj broja trokuta na STL geometriju

A. Gebhardt: *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

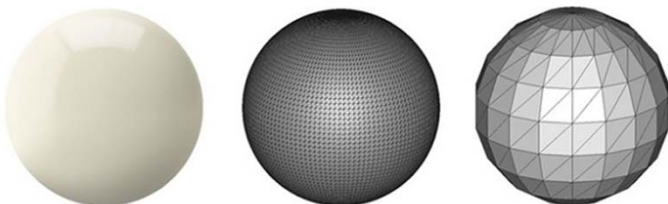
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – pretvorba CAD u STL

Najčešće pogreške u konstruiranju za AM

- ❑ razlučivost STL datoteke



<https://i.materialise.com>

FSB

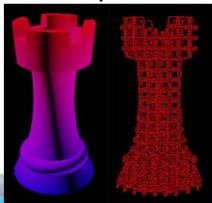
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – pretvorba CAD u STL

SLC/AMF datoteke

- ❑ SLC file – izravno rezanje (slicing) na CAD modelu (bez trokuta)
- ❑ SLC – 2 ½ D prezentiranje konture geometrije
- ❑ Od 2009. – AMF (*Additive Manufacturing File*)
- ❑ AMF – objekt: grupa volumena koji se ne sijeku opisanih mrežom trokuta
- ❑ AMF – podaci o boji/materijalu svakog volumena/trokuta



FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – pretvorba CAD u STL

Sliceri

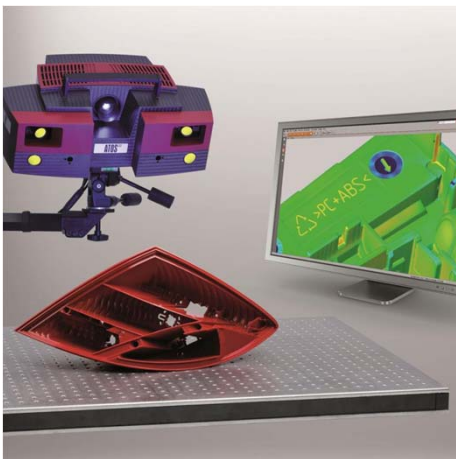
Software	Function	Level	Price	System
Cura	Slicer, 3D Printer Host	Beginners	Free	PC, Mac, Linux
CraftWare	Slicer, 3D Printer Host	Beginners	Free	PC, Mac
123D Catch	3D Design, CAD	Beginners	Free	PC, Android, iOS, Windows Phone
3D Slash	3D Design, CAD	Beginners	Free	PC, Mac, Linux, Web Browser
TinkerCAD	3D Design, CAD	Beginners	Free	Web Browser
3DTin	3D Design, CAD	Beginners	Free	Web Browser
Sculptres	3D Design, CAD	Beginners	Free	PC, Mac
ViewSTL	STL viewer	Beginners	Free	Web Browser
Netfabb Basic	Slicer, STL Checker, STL Repair	Intermediate	Free	PC, Mac, Linux
Repetier	Slicer, 3D Printer Host	Intermediate	Free	PC, Mac, Linux
FreeCAD	3D Design, CAD	Intermediate	Free	PC, Mac, Linux
SketchUp	3D Design, CAD	Intermediate	Free	PC, Mac, Linux
3D-Tool Free Viewer	STL Viewer, STL Checker	Intermediate	Free, Pro: \$695	PC
Meshfix	STL Checker, STL Repair	Intermediate	Free	Web Browser
Simplify3D	Slicer, 3D Printer Host	Professional	\$149	PC, Mac, Linux
Slic3r	Slicer	Professional	Free	PC, Mac, Linux
Blender	3D Design, CAD	Professional	Free	PC, Mac, Linux
MeshLab	STL Editor, STL Repair	Professional	Free	PC, Mac, Linux
Meshmixer	STL Checker, STL Repair, STL Editor	Professional	Free	PC, Mac
OctoPrint	3D Printer Host	Professional	Free	PC, Mac, Linux

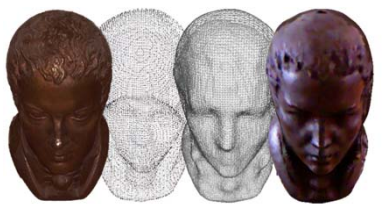
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – STL s pomoću 3D skeniranja

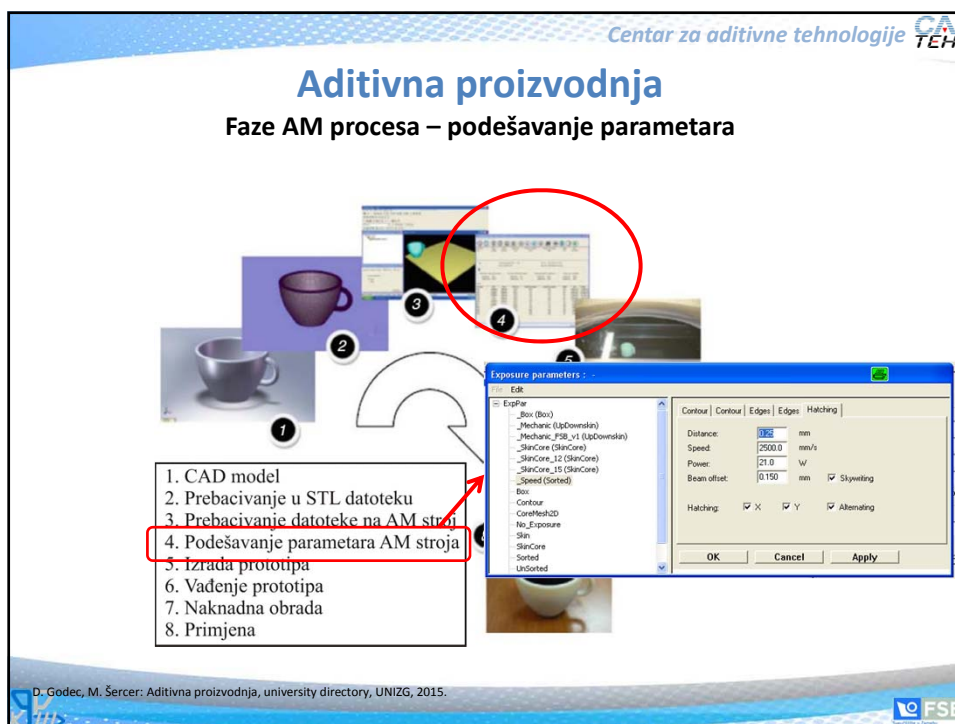




Real Points Polygon Colored

<http://www.plasticer.de>
<http://vr.tu-freiberg.de/scivi/>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – podešavanje parametara

Različite strategije pri gradnji konture prototipa (sloj)

- ❑ vektorski proces (npr. FDM, SLA, SLS)
- ❑ rasterski process (npr. 3DP, PolyJet)
- ❑ proces s maskom (npr. DLP)

A. Gebhardt: *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

1. CAD model
2. Prebacivanje u STL datoteku
3. Prebacivanje datoteke na AM stroj
4. Podešavanje parametara AM stroja
5. Izrada prototipa
6. Vadenje prototipa
7. Naknadna obrada
8. Primjena

Layer B

FSB

D. Godec, M. Šercer: *Aditivna proizvodnja*, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju - 1

- ❑ debljina stijenke
- ❑ orijentacija proizvoda
 - ❑ kvaliteta površine
 - ❑ anizotropija svojstava
- ❑ dimenzijska točnost
- ❑ baza (eng. *base*)
- ❑ suportna struktura
- ❑ zračnost između međusobno pomičnih dijelova
- ❑ sklopovi

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju -2

- ❑ izbočeni i ugravirani detalji
- ❑ vitoperenje & ojačavanje
- ❑ navoji
- ❑ oštri kutovi i bridovi
- ❑ podjela u manje dijelove
- ❑ stepeničasti efekt
- ❑ dodatna obrada
- ❑ greške u STL datoteci

<https://1.materialise.com>



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

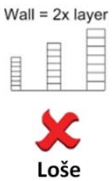
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ debljina stijenke
 - ❑ prilagodba AM procesu i primjeni proizvoda
 - ❑ npr. u FFF/FDM debljina stijenke treba biti multiplikator veličine promjera mlaznice ekstrudera (preporuka 2x ili 3x diam.) ili multiplikator debljine stijenke (najmanje 4x debljina sloja)
 - ❑ općenito – ne manje 1,0 mm

Wall = 2x layer



Loše

Wall = 4x layer



Dobro

<https://www.stratasysdirect.com/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

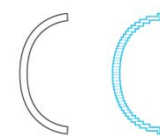
- ❑ orijentacija proizvoda – utjecaj na kvalitetu i hrapavost površine



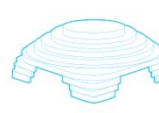
3D Model

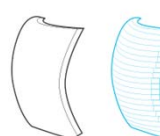


3D Print









<https://1.materialise.com>

FSB

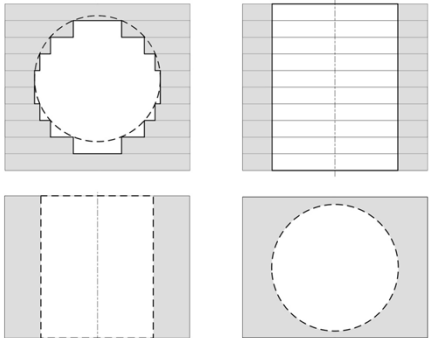
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- orijentacija proizvoda – utjecaj na kvalitetu i hrapavost površine



A. Gebhardt: *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, München, 2003.

FSB

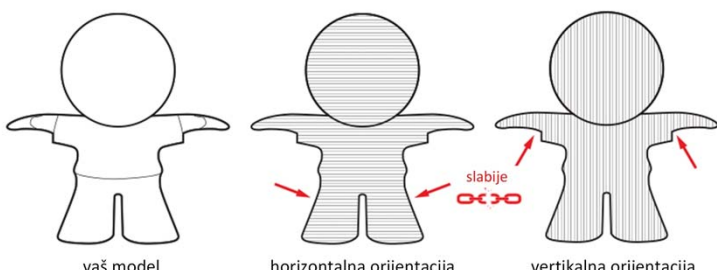
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- orijentacija proizvoda – anizotropija svojstava



vaš model horizontalna orijentacija slabije vertikalna orijentacija

<https://1.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ dimenzijska točnost
 - ❑ odstupanje od nominalnih dimenzija
 - ❑ posebice važno za izradu proizvoda koji su dijelovi sklopova
 - ❑ može biti različita u smjeru sve tri osi

<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ baza (*base/raft*)
 - ❑ većina upravljačkih jedinica omogućuje automatsko 3D tiskanje baze
 - ❑ ukoliko se generira ručno (CAD) – potrebno je predvidjeti prostor od minimalno 0,4 mm




<https://i.materialise.com>

FSB

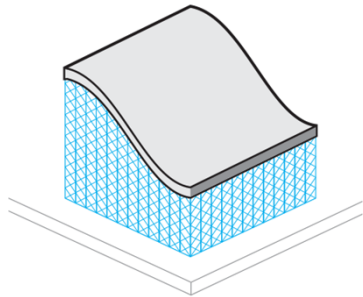
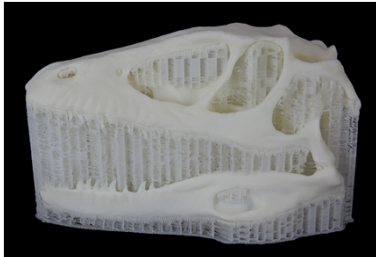
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ suportna struktura
 - ❑ model se ne može izraditi u zraku
 - ❑ model mora biti povezan s radnom podlogom

<https://1.materialise.com>

FSB

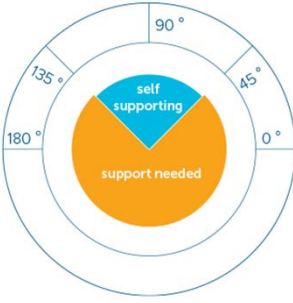
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ suportna struktura
 - ❑ neki detalji se ne mogu izvesti bez suportne strukture
 - ❑ pravilo 45° (vanjska i unutrašnja suportna struktura)



FSB

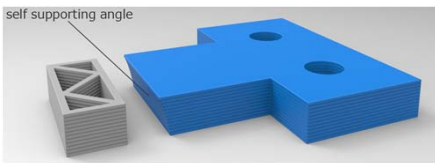
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

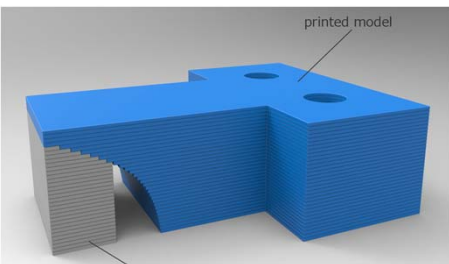
Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ suportna struktura (samonosivost)



self supporting angle



printed model

support structure

<https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printers/fdm-fused-deposition-modeling-fff-pjp-lpd/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

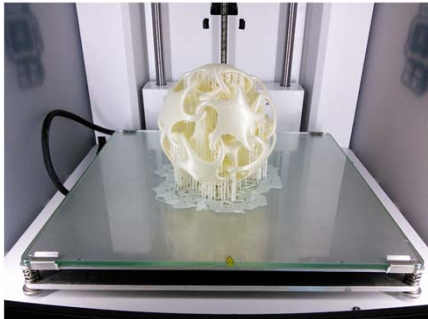
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ suportna struktura - unutrašnja





<https://i.materialise.com>

FSB

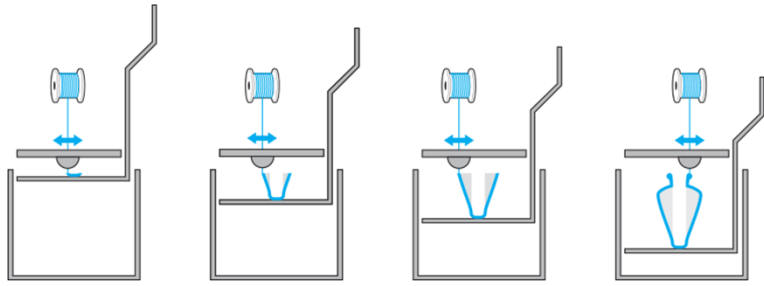
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- suportna struktura - unutrašnja



<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- suportna struktura - vanjska



<https://i.materialise.com>

FSB

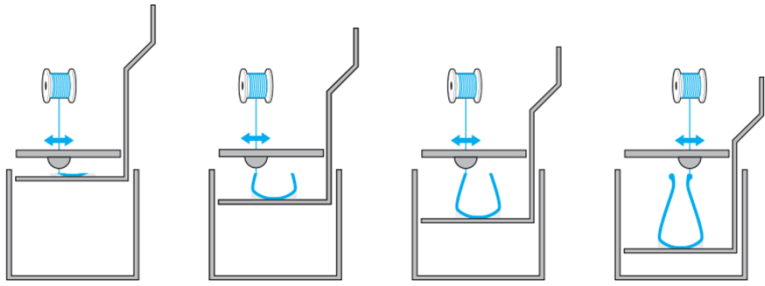
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- suportna struktura - vanjska



The diagram illustrates the four stages of the Additive Manufacturing (AM) process. In each stage, a spool of material is shown at the top, with a nozzle depositing material onto a platform. The material is deposited in a series of layers, building up a structure. The support structure is built around the main part, ensuring it remains stable during the process.

<https://i.materialise.com>

FSB

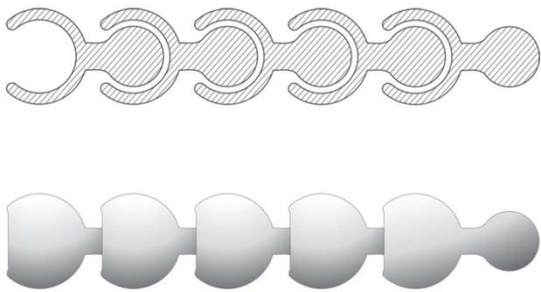
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- zračnost između međusobno pomičnih dijelova



The diagram shows two examples of parts that require air gaps. The top part is a cross-section of a chain link, showing the interlocking of the links. The bottom part is a 3D rendering of a chain of five links, showing the gaps between them. These gaps are essential for the parts to move relative to each other without friction or binding.

<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- sastavljanje (sklop)

nesastavljeno presjek sastavljeno

<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- sastavljanje

poravnanje rubova

stepenasti rub utor i pero

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – CAD model

Sklopovi

- mjesta sastavljanja (puzzle)




<https://www.3ders.org/articles/20141020-the-first-crowd-fabricated-open-source-3d-printable-chair.html>

FSB

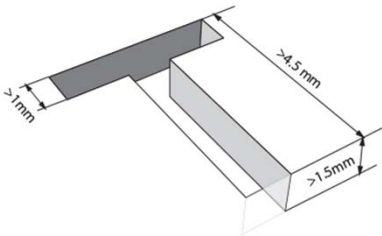
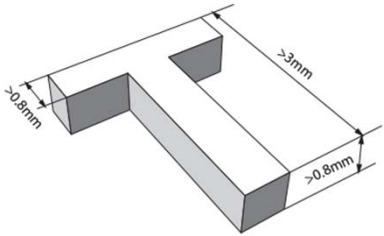
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ugravirani i izbočeni detalji (npr. natpisi)

<https://1.materialise.com>

FSB

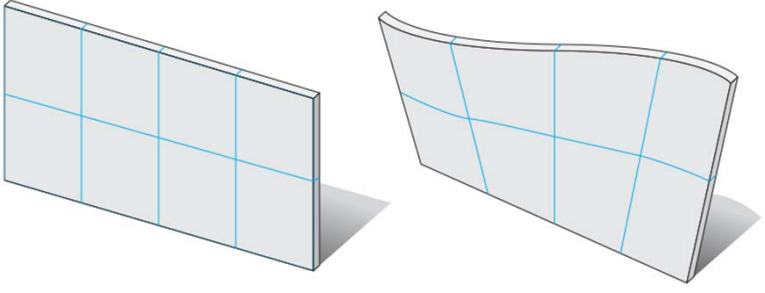
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ vitoperenje & krutost



<https://i.materialise.com>

FSB

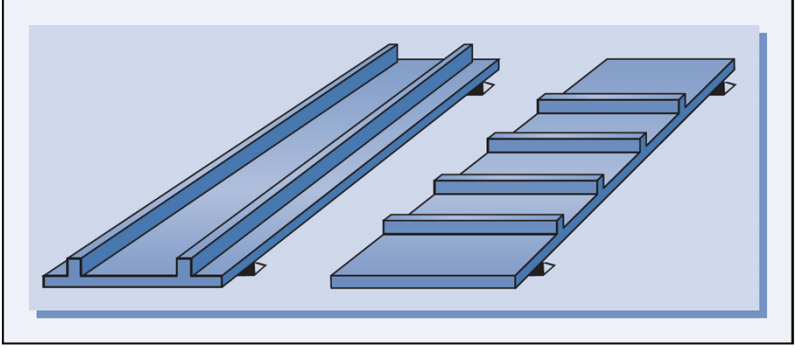
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ vitoperenje & krutost (rebra)



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

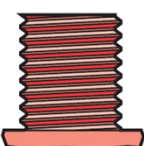
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- navoji

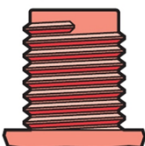
nepravilno



nepravilno



pravilno



pravilno



LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

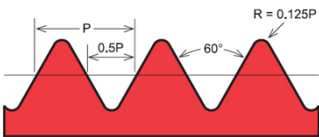
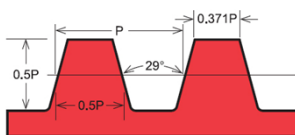
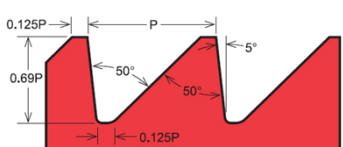
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – CAD model

Navoji

- obli
- trapezni
- pilasti

LANXESS: Part and Mould Design Guide (2007)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

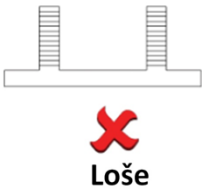
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

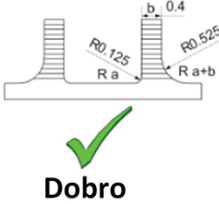
Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ oštri kutovi i rubovi

Radijusi



Loše



Dobro

<https://www.stratasysdirect.com/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ podjela velikih modela u manje dijelove
 - ❑ kada je model prevelik da bi se mogao tiskati iz jednog dijela
 - ❑ kada model zahtijeva previše suportnog materijala
 - ❑ kako bi se izbjegli nadvoji na gornjem dijelu (dijelovi takvog modela se tiskaju odvojeno)
 - ❑ kako bi se osigurali krhki dijelovi modela koji bi se mogli polomiti prilikom odvajanja suportne strukture

FSB

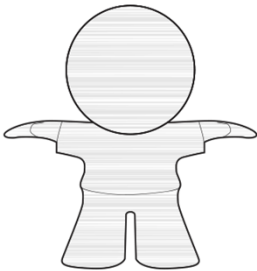
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

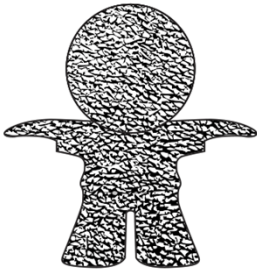
Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ stepeničasti učinak (stair-step) – tekstura može umanjiti učinak



building layer



surface texture

<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

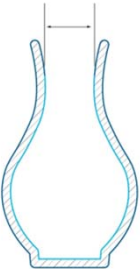
Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

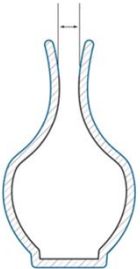
Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ dodatna obrada (npr. čišćenje)

>6.5mm



<6.5mm



— polirana zona

— polu-polirana zona

— polirana zona

— nepolirana zona

<https://i.materialise.com>

FSB

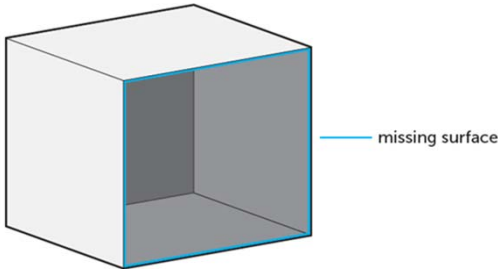
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ greška u STL datoteci – nedostaje površina (debljina nula)



<https://i.materialise.com>

FSB

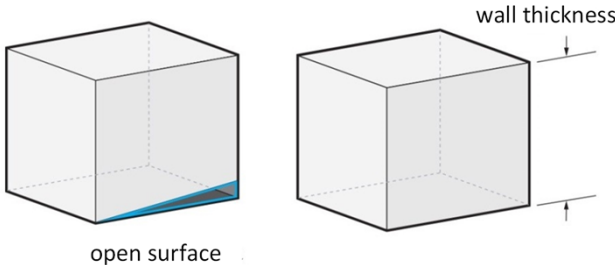
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ greška u STL datoteci – otvoreni „solid” model (nepotpuna površina)



<https://i.materialise.com>

FSB

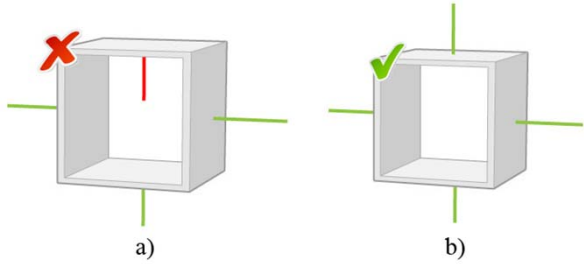
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ greška u STL datoteci – pogrešna orijentacija normala elemenata



a) b)

<https://i.materialise.com>

FSB

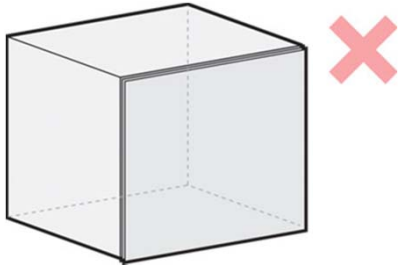
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ greška u STL datoteci – pogrešna orijentacija normala elemenata



<https://i.materialise.com>

FSB

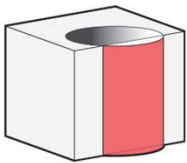
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

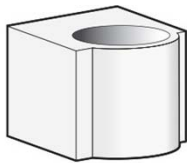
Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ greške u STL datoteci – površina presijeca sama sebe



a)



b)

<https://i.materialise.com>

FSB

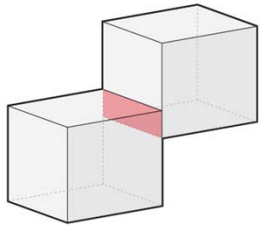
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

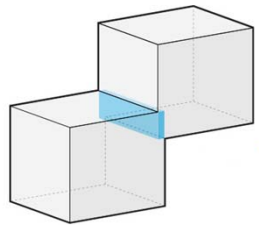
Faze AM procesa - izrada

Signifikantni aspekti za uspješnu AM proizvodnju

- ❑ greške u STL datoteci – površina presijeca sama sebe



a)



b)

<https://i.materialise.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – uklanjanje proizvoda iz radnog prostora



1. CAD model
2. Prebacivanje u STL datoteku
3. Prebacivanje datoteke na AM stroj
4. Podešavanje parametara AM stroja
5. Izrada prototipa
6. Vađenje prototipa
7. Naknadna obrada
8. Primjena

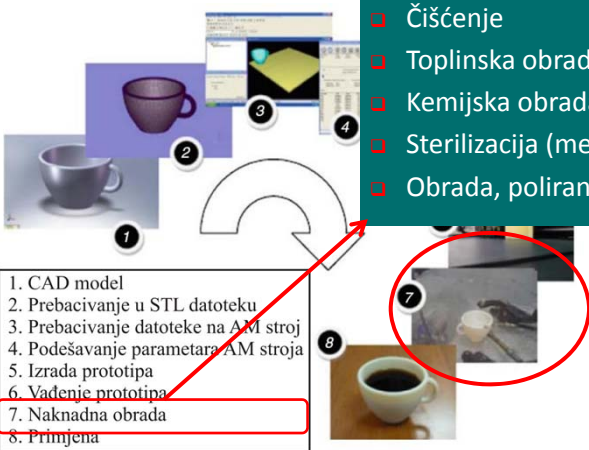
D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

Faze AM procesa – naknadna obrada

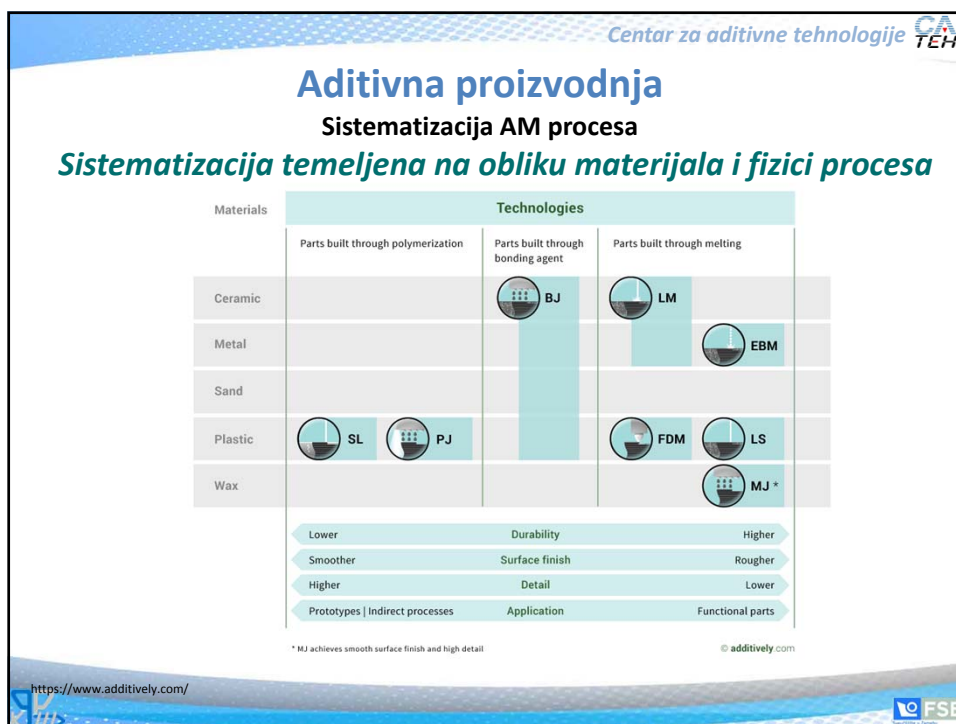


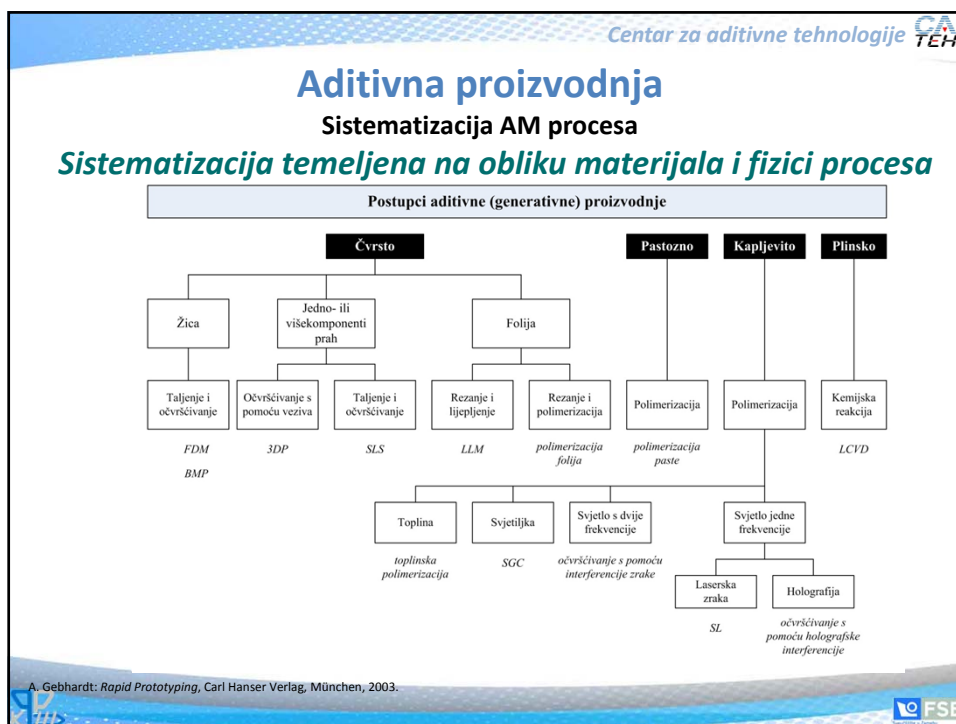
1. CAD model
2. Prebacivanje u STL datoteku
3. Prebacivanje datoteke na AM stroj
4. Podešavanje parametara AM stroja
5. Izrada prototipa
6. Vađenje prototipa
7. Naknadna obrada
8. Primjena

- ❑ Čišćenje
- ❑ Toplinska obrada
- ❑ Kemijska obrada
- ❑ Sterilizacija (medicina)
- ❑ Obrada, poliranje itd.

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB





Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera

Glavne grupe procesa

- ❑ Postupci ekstrudiranja (Fused Deposition Modelling -FDM) - čvrsto/taljevina
- ❑ Stereolitografski postupci (Stereolithography – SL) - kapljevina (pasta)
- ❑ Postupci tiskanja materijala (Material Jetting - MJ) - kapljevina
- ❑ Postupci laserskog srašćivanja (Selective Laser Sintering - SLS) - prah
- ❑ Postupci tiskanja veziva (Binder Jetting - BJ) - prah/vezivo
- ❑ Postupci laminiranja (Lamination - LOM) – čvrste ploče-folije/vezivo
- ❑ Postupci taloženja aerosol (Aerosol deposition - M³D) - aerosol



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - načela

Patent 1992.
(Stratasys Corp., SAD)

Načelo: **ekstrudiranje i taloženje rastaljenog materijala**

Materijali: **wax, polyolephines, PA, PLA, ABS, PEEK, PET, PS, PC, ceramics, metals, composites**

Točnost/debljina sloja: **minimalno 0,10 mm**

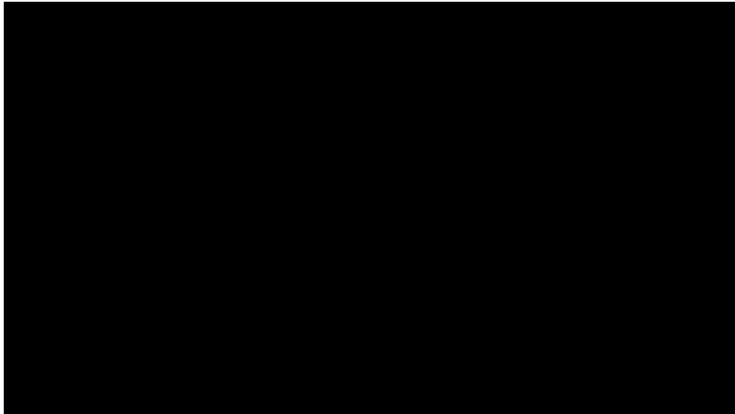


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces



<https://www.youtube.com/watch?v=WHO6G67GJbM>

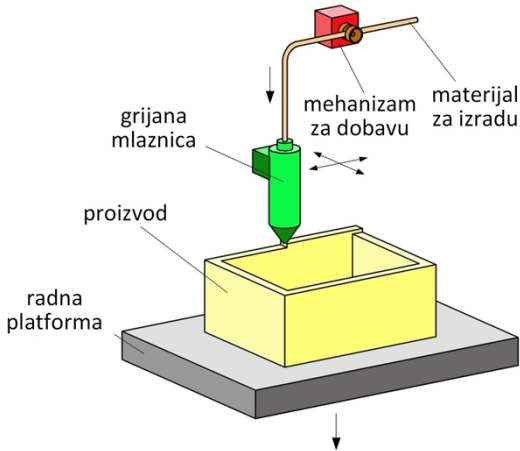
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - principles



grijana mlaznica

mehanizam za dobavu

materijal za izradu

proizvod

radna platforma

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - značajke

Prednosti

- ❑ stvarni materijali (ne ...-kao)
- ❑ veliki potencijal za smješavanje novih materijala
- ❑ jednostavni printeri i njihovo održavanje (nema lasera)
- ❑ manja potrošnja energije
- ❑ manje inicijalno investiranje
- ❑ većina „niskobudžetnih” printera su temeljeni na FDM postupku

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - značajke

Nedostaci

- ❑ printanje je moguće samo u X-Y ravnini
- ❑ potrebna je suportna struktura (ovisno o geometriji proizvoda)
- ❑ vidljiv stepeničasti efekt na bočnim stijenkama
- ❑ moguća delaminacija printanog proizvoda
- ❑ razlučivost proizvoda i kvaliteta površine su niži od procesa koji se temelje na preradi kapljevitih materijala

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

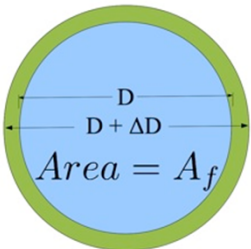
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - značajke

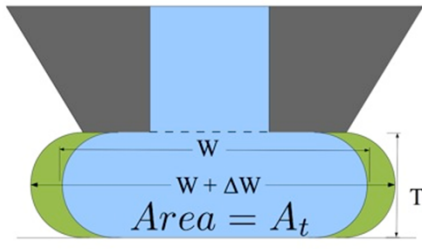
Tolerancije i kvaliteta površine – filament i nit (trace)

Filament Cross Section



D = Filament Diameter
 ΔD = Diameter Error (Tolerance)

Trace Cross Section



T = Layer Thickness
 W = Trace Width, ΔW = Trace Width Error

<http://www.protoparadigm.com/news-updates/filament-tolerances-and-print-quality/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

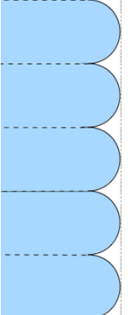
AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - značajke

Tolerancije i kvaliteta površine – učinak na okomite stijenke

Vertical Wall with and without Error

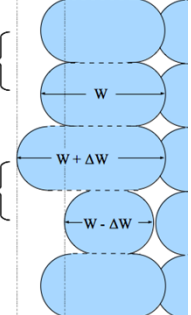
Desired Edge



No Error

Normal

Worst Case



With Error

<http://www.protoparadigm.com/news-updates/filament-tolerances-and-print-quality/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

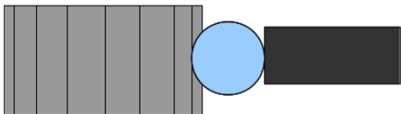
AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - značajke

Tolerancije i kvaliteta površine – kvaliteta filamenta

Proper Filament

Drive Gear Filament Plunger



Filament is:

- Consistent Diameter
- Consistently Round
- Sufficient Grip from Drive Gear
- Minimal Friction From Plunger

<http://www.protoparadigm.com/news-updates/filament-tolerances-and-print-quality/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

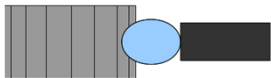
AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - značajke

Tolerancije i kvaliteta površine – kvaliteta filamenta

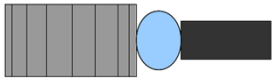
Excessive Friction from Plunger

- Motor Unable to Drive Filament
- Drive Gear Strips Filament



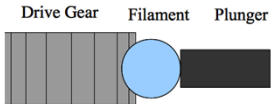
Insufficient Grip from Drive Gear

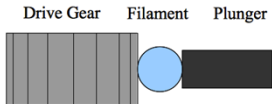
- Drive Gear Loses Traction Against Filament



Inconsistently Round

Inconsistent Diameter





<http://www.protoparadigm.com/news-updates/filament-tolerances-and-print-quality/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Sažetak utjecaja na kvalitetu printanog proizvoda

- ▣ visokokvalitetni filament rezultira čvršćim i ljepšim proizvodima
- ▣ loš filament može dovesti do loših printanih proizvoda i grešaka tijekom ekstrudiranja
- ▣ visokokvalitetni filament je pravilne kružnosti i ima nisku vrijednost $\pm$ tolerancije
- ▣ 3 % varijacije u promjeru rezultira sa 6 % varijacije u širini printane „niti“
- ▣ filament 1,75 mm s istom tolerancijom kao i filament 3 mm rezultirati će gotovo dvostruko većim greškama tijekom printanja

<http://www.protoparadigm.com/news-updates/filament-tolerances-and-print-quality/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

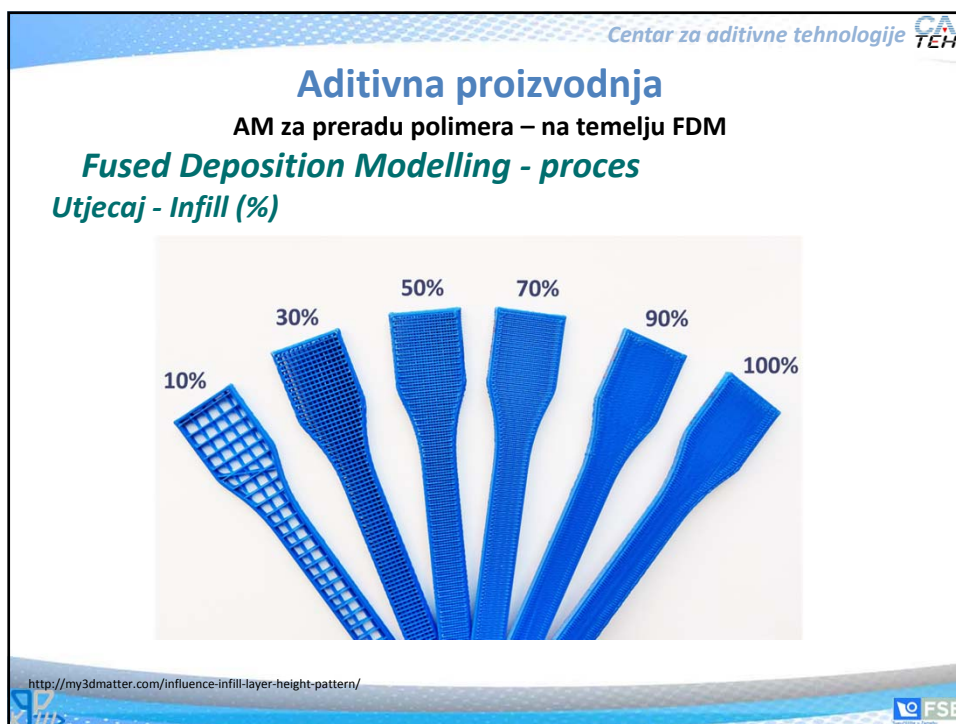
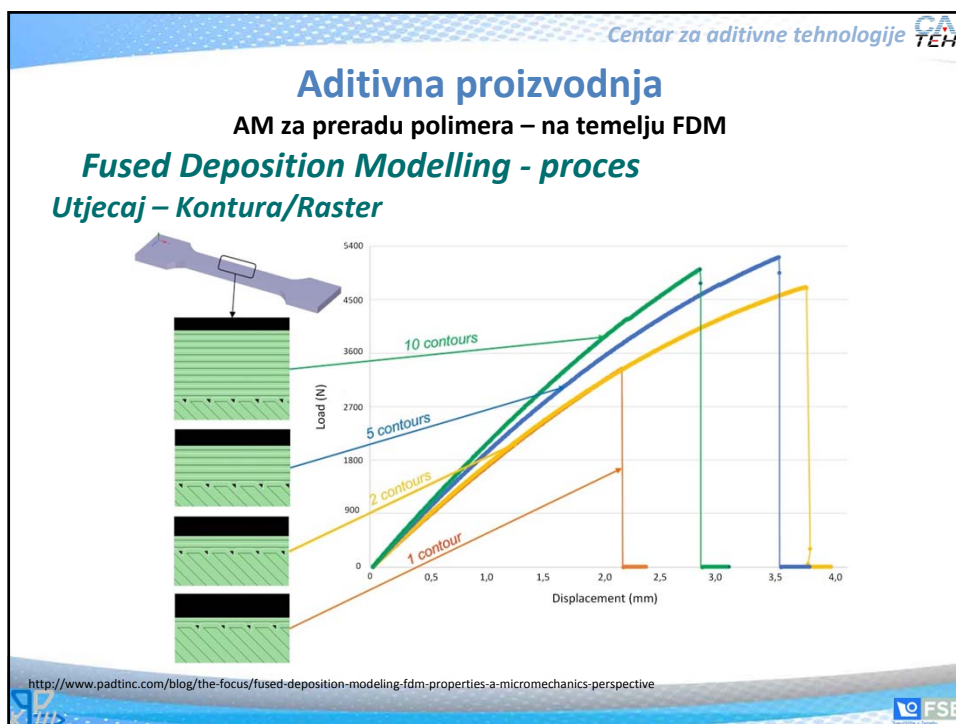
Utjecaj - Raster

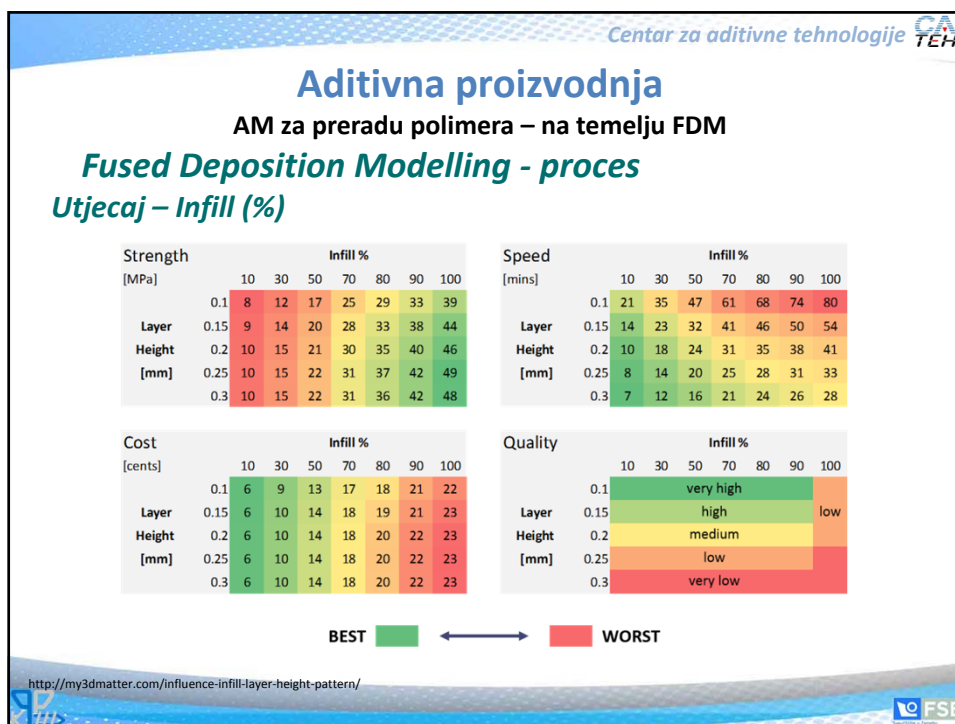
Diagram illustrating the effect of raster parameters on FDM printing. The diagram shows a 3D grid of extruded lines. Labels indicate the following parameters:

- kut rastera (raster angle)
- širina rastera (raster width)
- debljina sloja (layer thickness)
- zračnost između rastera (gap between rasters)
- širina konture (contour width)

<http://manufacturingscience.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1905938>

FSB





Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

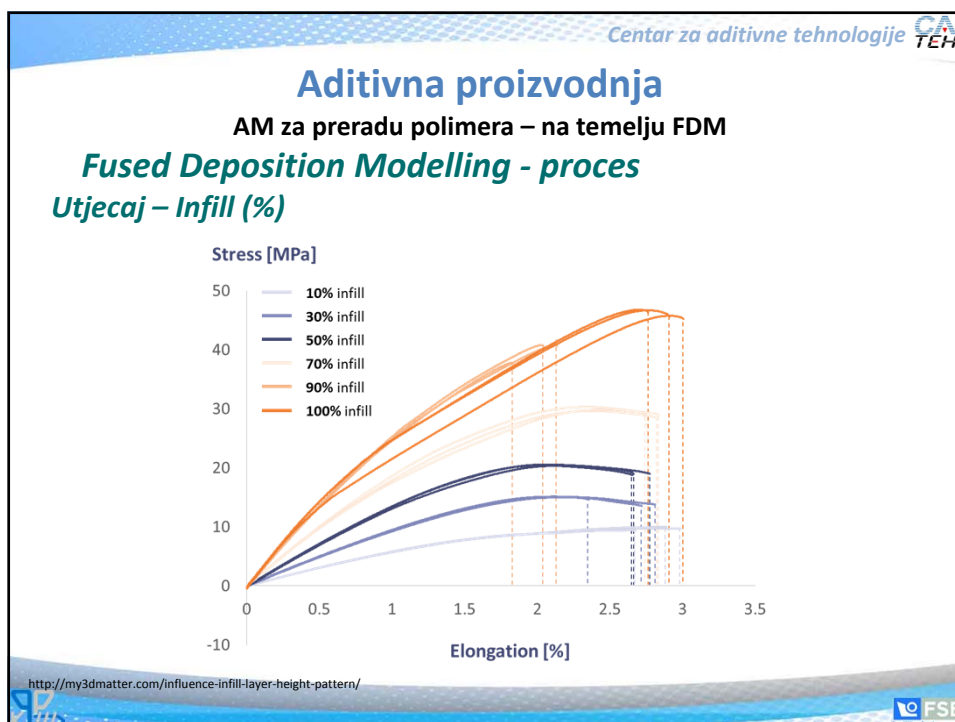
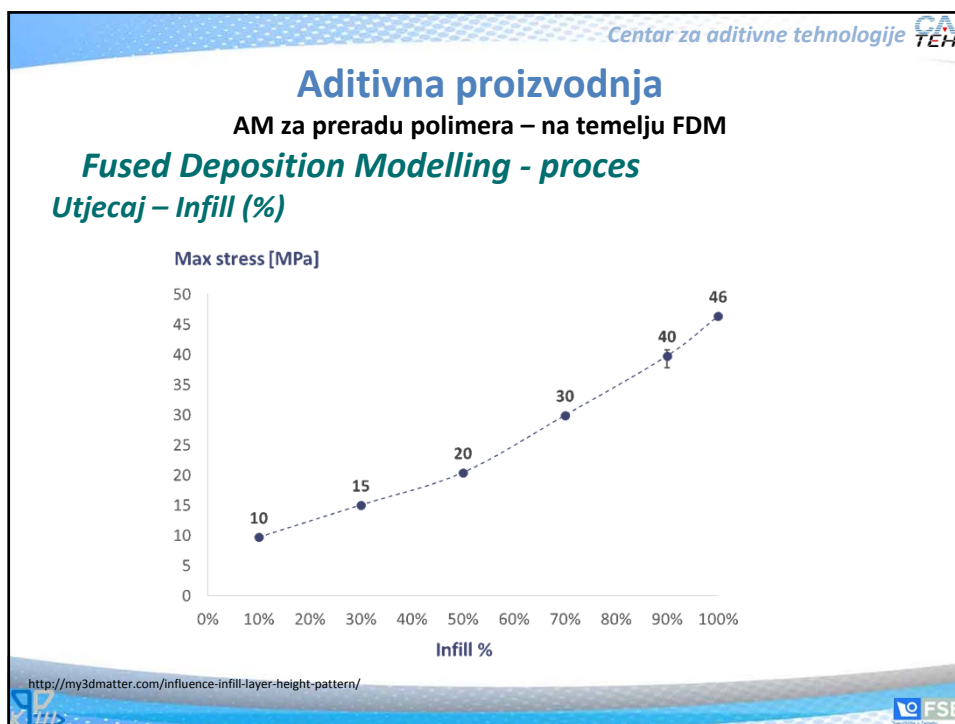
Fused Deposition Modelling - proces

Utjecaj – Infill (%) i debljina sloja

REQUIREMENTS				SETTINGS	
Strength	Quality	Low Cost	Speed	Infill %	Layer height
✖				100	0.25
	✖			10	0.1
		✖		10	0.1
			✖	10	0.3
✖	✖			90	0.15
✖		✖		70	0.2
✖			✖	90	0.3
	✖	✖		10	0.1
	✖		✖	10	0.15
		✖	✖	10	0.3
✖	✖	✖		80	0.15
✖	✖		✖	90	0.2
✖		✖	✖	70	0.3
	✖	✖	✖	10	0.15
✖	✖	✖	✖	70	0.2

<http://my3dmatter.com/influence-infill-layer-height-pattern/>

FSB



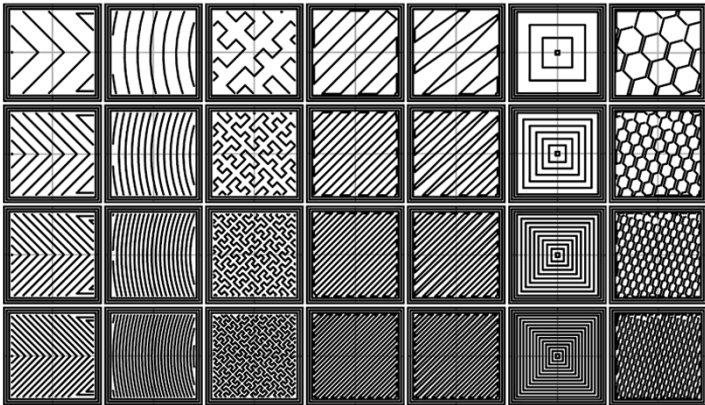
Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Utjecaj – Infill (shape)





Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Utjecaj - Infill (oblik)

Linear

Diagonal

Hexagonal

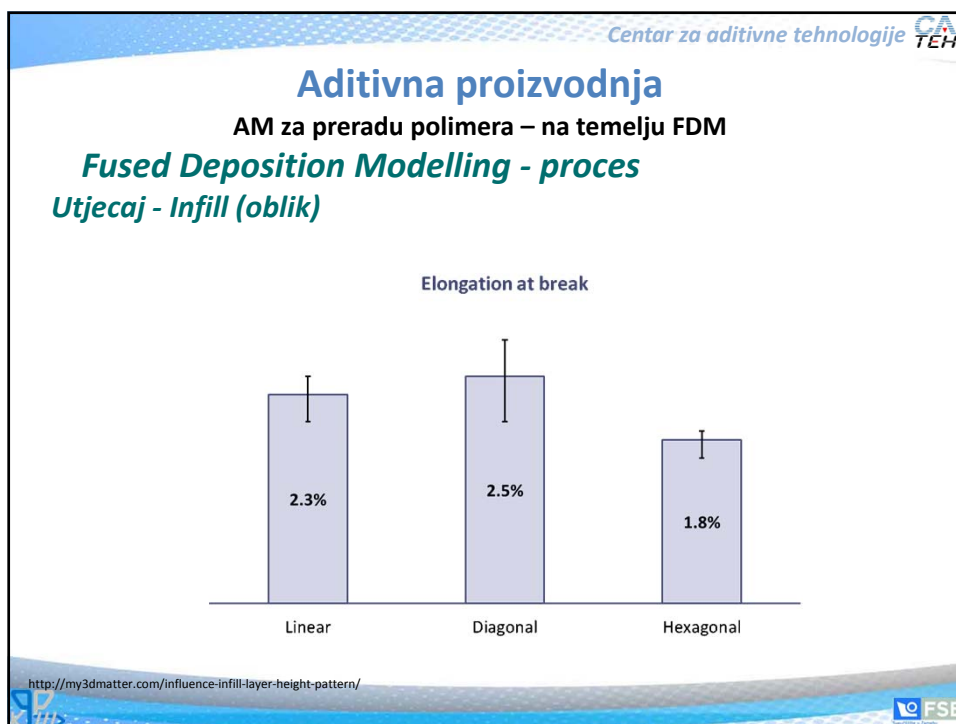
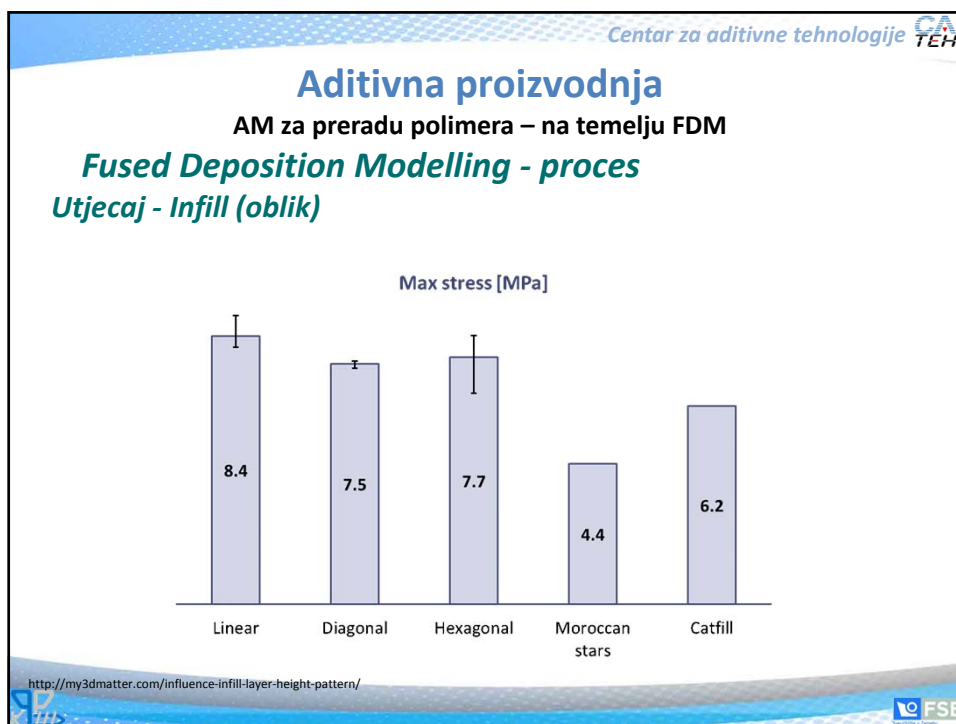
Moroccan stars

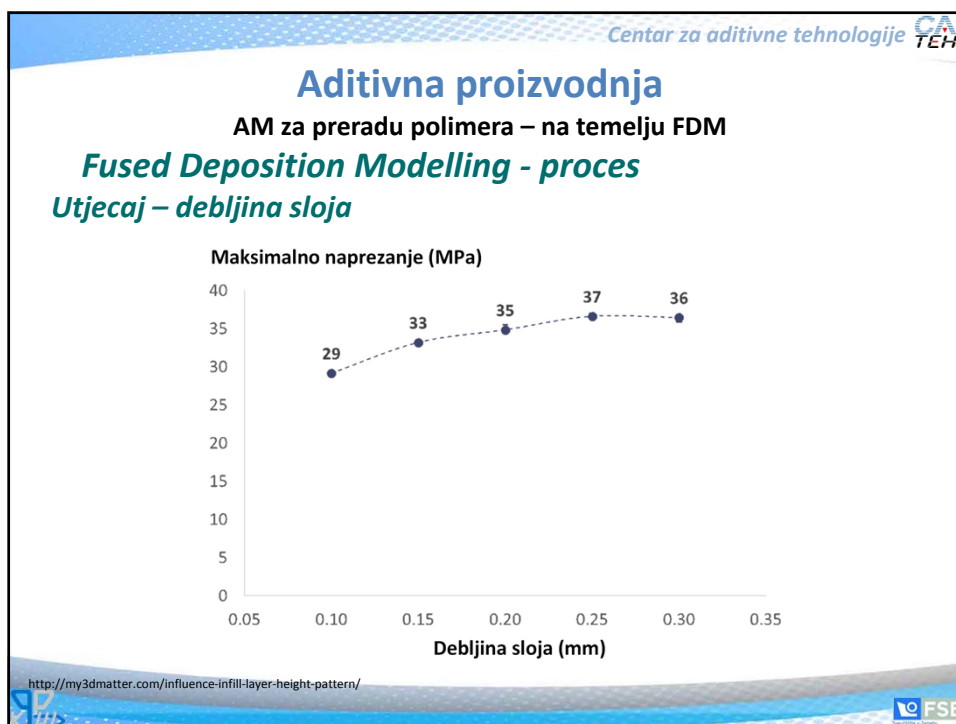
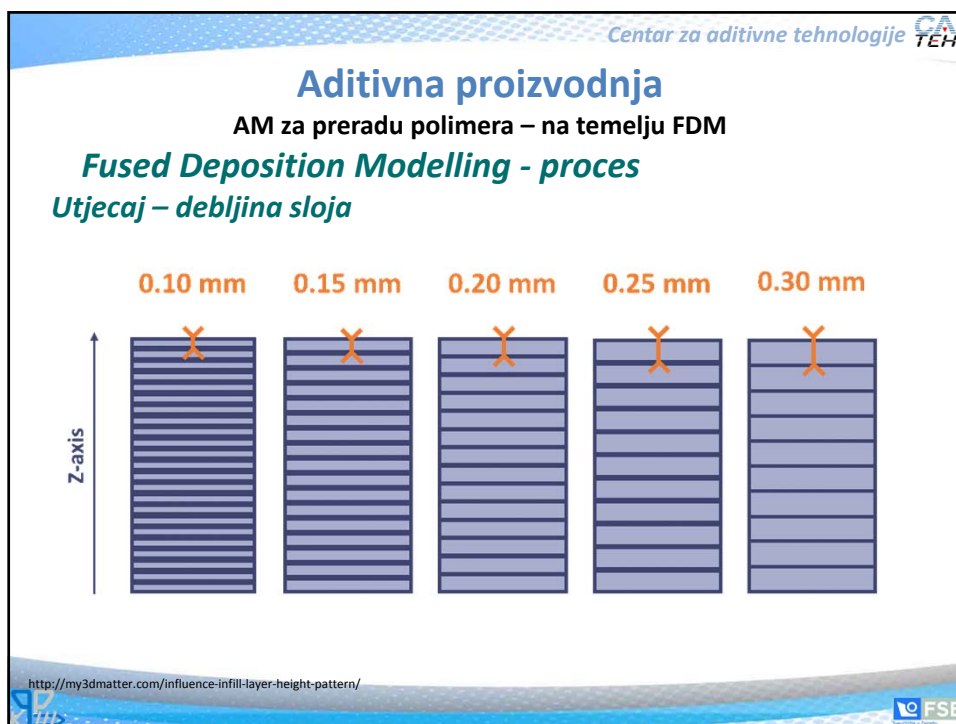
Catfill

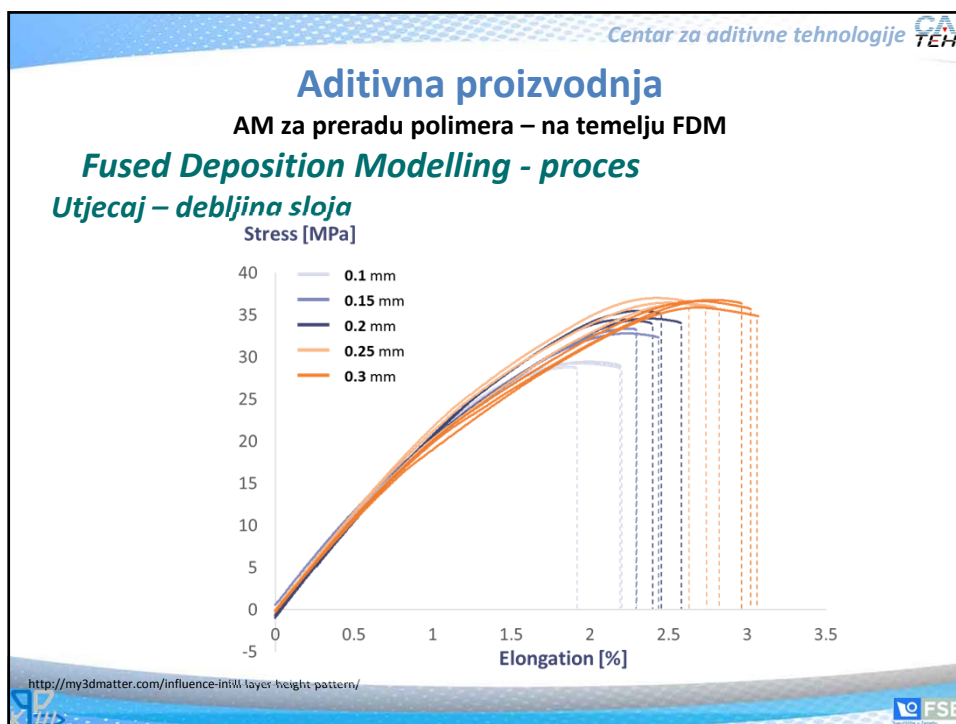


<http://my3dmatter.com/influence-infill-layer-height-pattern/>









Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Utjecaj – debljina sloja (kvaliteta površine)



0,1 mm



0,2 mm

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

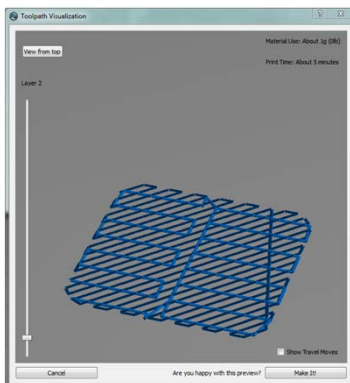
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

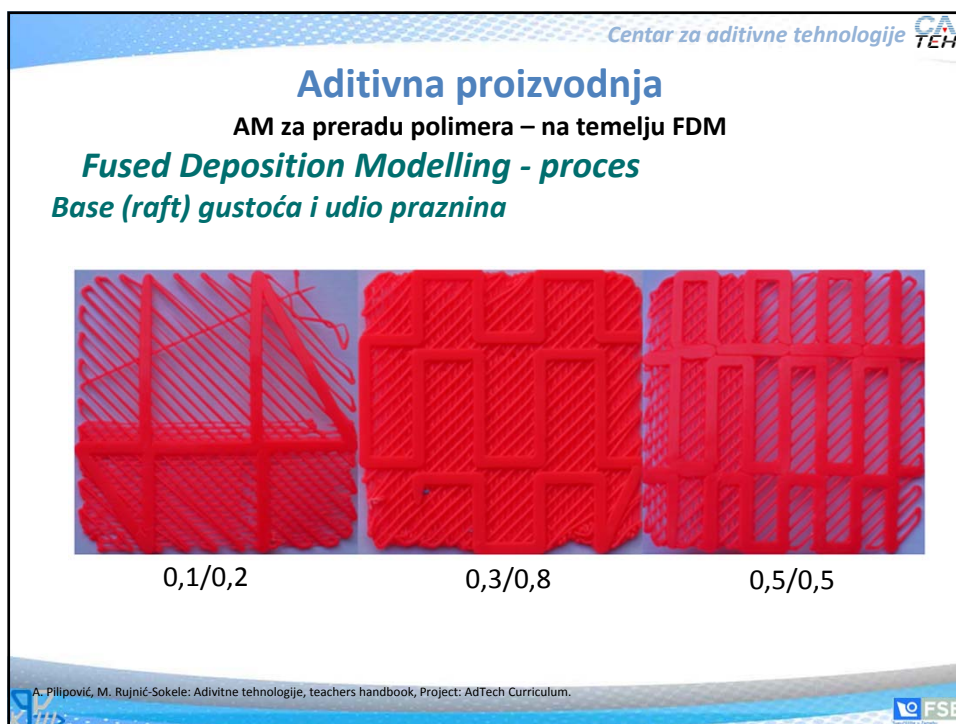
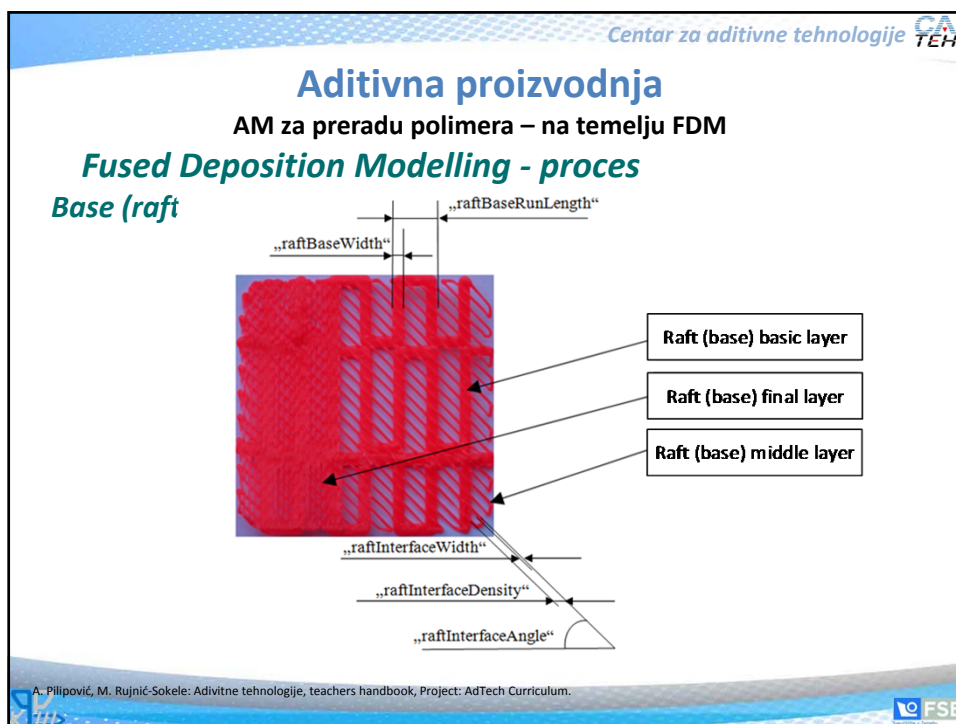
Base (raft)





A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Base (raft) gustoća i udio praznina



0,7/0,8
0,9/0,8

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

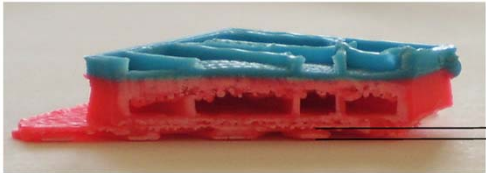
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Base (raft) debljina



0,3 mm

„raftBaseThickness“

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

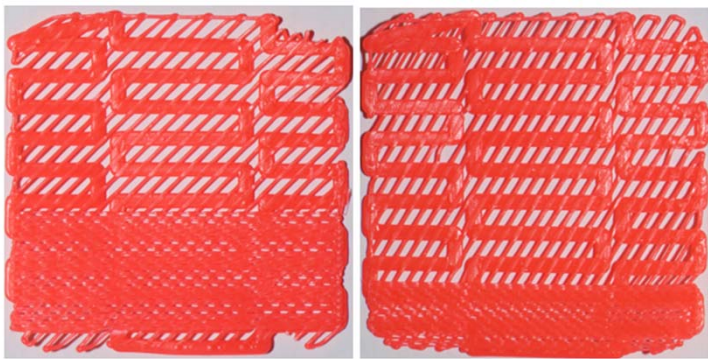
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Base (raft) kut



45° 60°

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

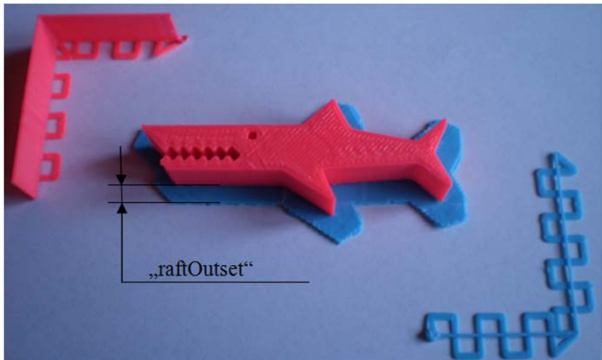
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Base (raft) outset (offset)



4 mm

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

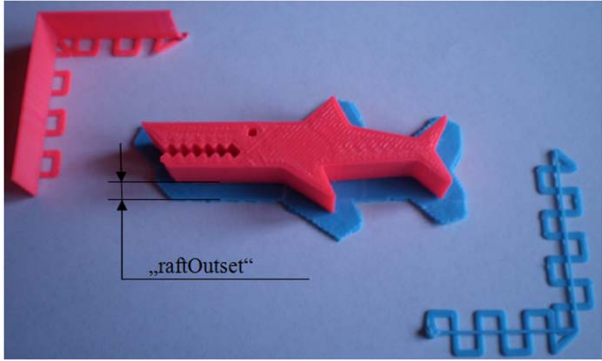
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Base (raft) outset (offset)



4 mm

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

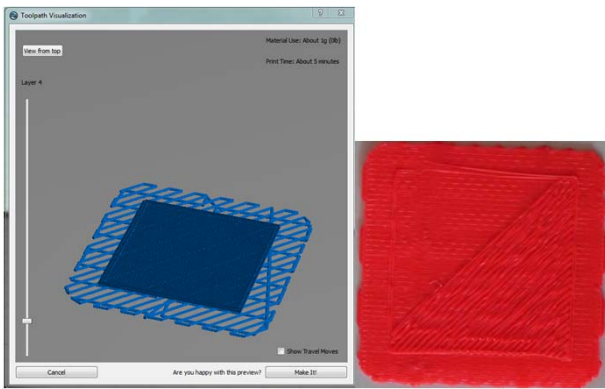
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Prvi sloj



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Prvi sloj – sa i bez base



s base
bez base

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

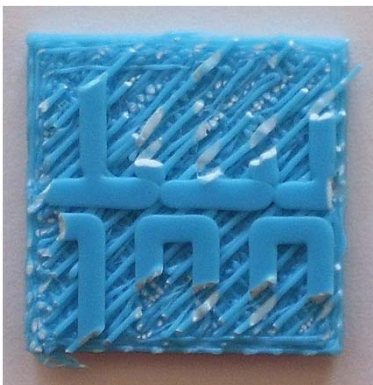
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Prvi sloj – problem odvajanja od base



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

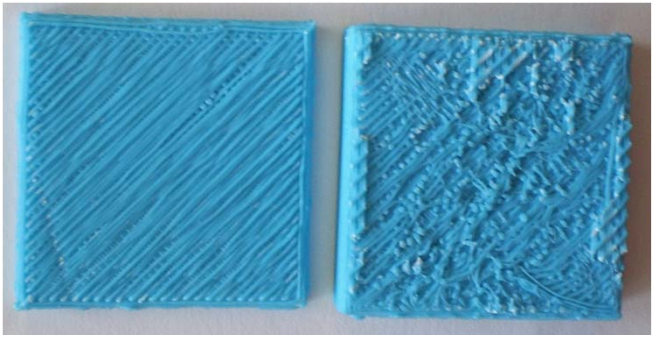
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Prvi sloj



dobar oštećen

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

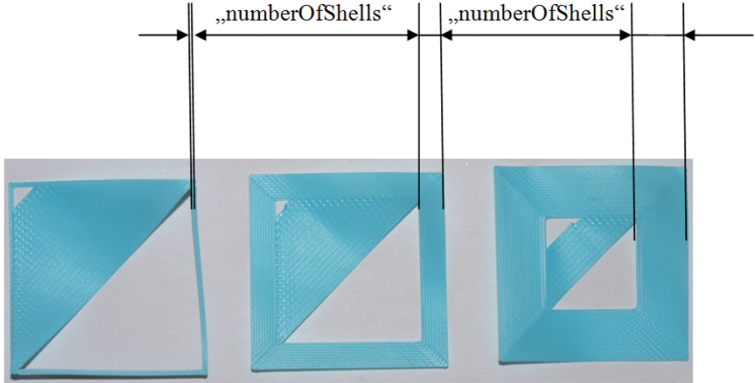
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Izrada – broj vanjskih kontura (shells)



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

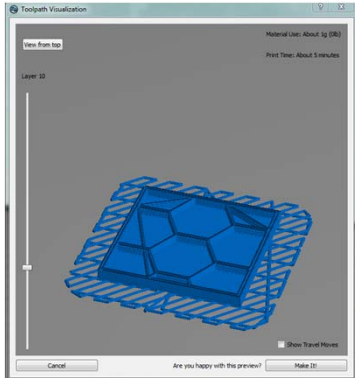
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Infill (ispuna)




A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

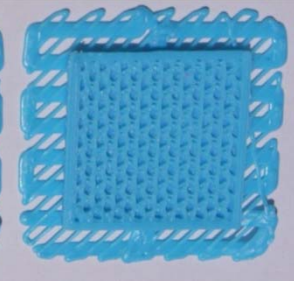
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Infill (gustoća)





0,1

0,2

0,6

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

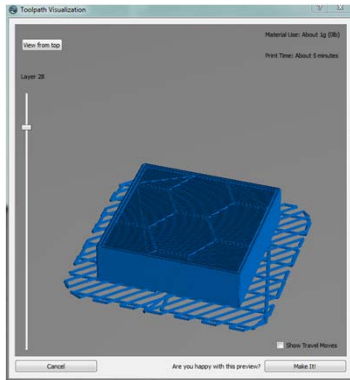
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Završetak ispune (roof)




A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

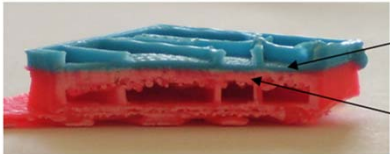
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

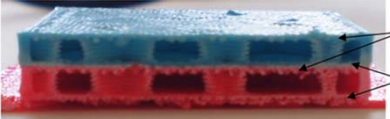
Fused Deposition Modelling - proces

Postavke roof & floor



Floor

Roof



Roofs

Floors

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

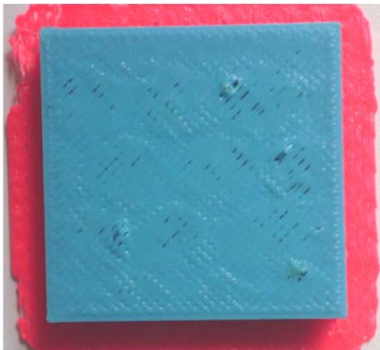
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Roof – debljina sloja

1 mm

0,6 mm

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

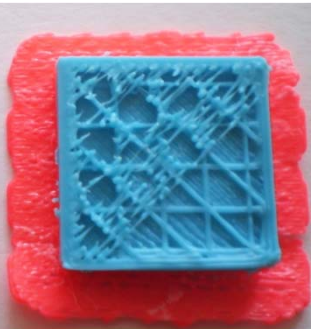
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Roof – izrada slojeva

dobro

loše

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

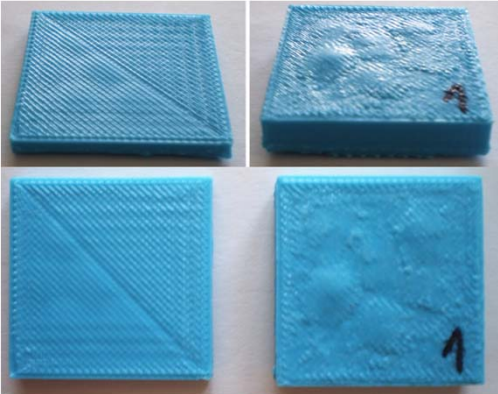
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Roof – izrada slojeva



dobro
loše

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

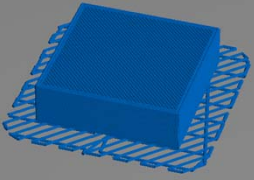
Završni sloj

Toolpath Visualization

Material: About 1g (0.0)

Print Time: About 5 minutes

Layer: 32



Are you happy with this preview?



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

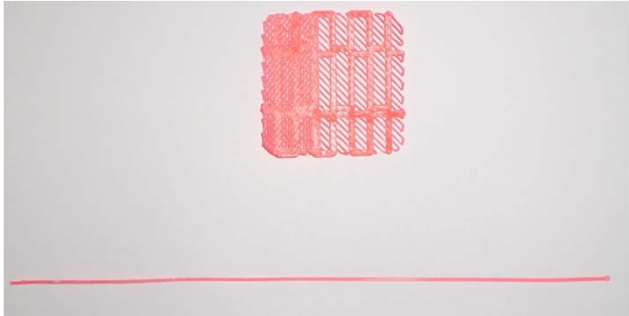
Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Probna nit



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.



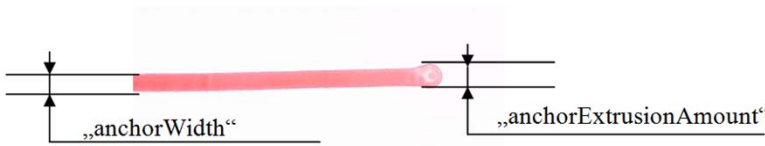
Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Probna nit



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Čišćenje glave pisača (za pisače s 2 ili više glava)

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Suportna struktura – orijentacija modela

A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

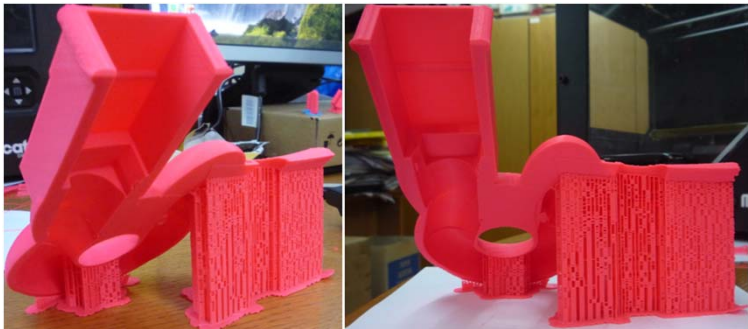
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - proces

Suportna struktura – orijentacija modela



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

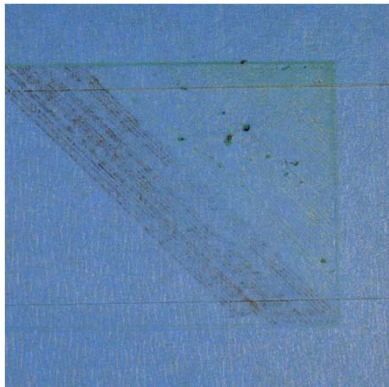
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Nema ekstrudiranja na početku ispisa

- ❑ ekstruder nije napunjen prije početka
 - ❑ izrada niti oko modela
- ❑ mlaznica preblizu radnoj platformi
 - ❑ **G-code offset**
- ❑ filament klizi preko zupčanika
 - ❑ **drobljenje filameta (slajd 288)**
- ❑ začepjen ekstruder
 - ❑ **skidanje i čišćenje ekstrudera**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Ispis se ne "lijepi" za platformu (1)

- ❑ platforma nije nivelirana/ravna
 - ❑ niveliranje platforme
- ❑ mlaznica je predaleko od platforme
 - ❑ G-kod offset (npr. 0,05 mm)
- ❑ prebrzi ispis prvog sloja
 - ❑ smanjenje brzine ispisa prvog sloja
- ❑ podešavanje temperature i hlađenja
 - ❑ smanjeno stezanje prvog sloja
 - ❑ podešavanje odgovarajuće temperature platforme
 - ❑ isključivanje ventilatora pri izradi prvih slojeva



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

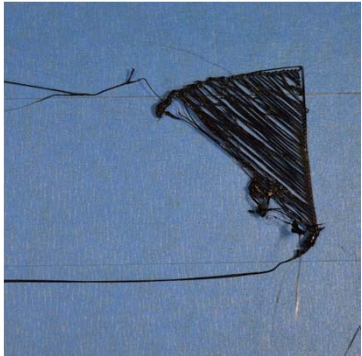
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Ispis se ne "lijepi" za platformu (2)

- ❑ različite podloge na platformi
 - ❑ čista podloga
 - ❑ capton (ABS) ili blue (PLA) tape
 - ❑ sprej za kosu, privremeno ljepilo ...
- ❑ izrada posebne površine
 - ❑ base / raft



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Greške prvog sloja

- ❑ preniska temperatura ekstrudera
- ❑ preniska temperatura platforme
- ❑ kalibracija mlaznice ekstrudera
- ❑ prvi sloj pretanak



A. Pilipović, M. Rujnić-Sokele: Aditivne tehnologije, teachers handbook, Project: AdTech Curriculum.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

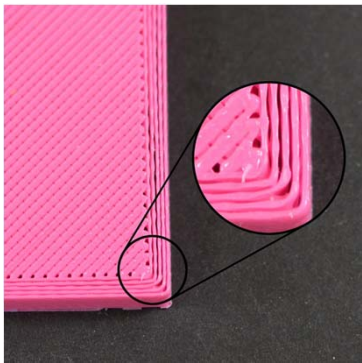
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Ekstrudiranje premalo plastike

- ❑ test – 20 mm visoka kocka (outlines)
 - ❑ **min. 3 perimetra**
 - ❑ **pojava praznine: nedovoljno ekstrudiranje**
- ❑ neispravni promjer filamenta
 - ❑ **provjera promjera filamenta**
- ❑ premali protok filamenta kroz ekstruder
 - ❑ **povećati protok za 5% i provjera**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

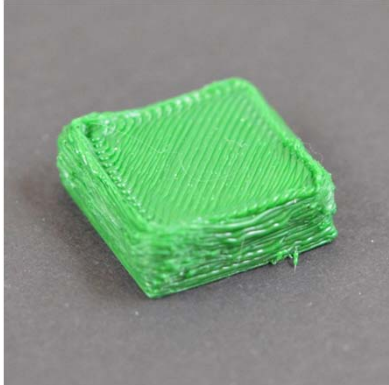
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Ekstrudiranje previše plastike

- ❑ test – 20 mm visoka kocka (outlines)
 - ❑ **min. 3 perimetra**
 - ❑ **preklapanje: prekomjerno ekstrudiranje**
- ❑ preveliki protok ekstrudera
 - ❑ **smanjiti protok 5% i provjera**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

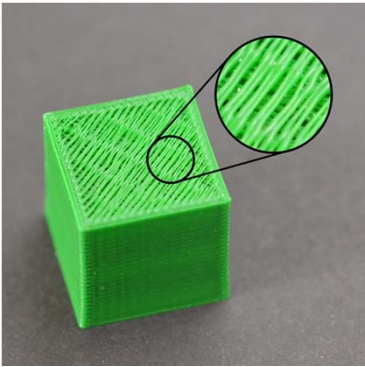
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Praznine u završnim slojevima

- ❑ nedovoljan broj završnih slojeva
 - ❑ **najmanja debljina 0,5 mm**
 - ❑ **podesiti prekomjerno ekstrudiranje**
- ❑ premali pototak ispune
 - ❑ **povećanje postotka ispune**
- ❑ nedovoljno ekstrudiranje



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

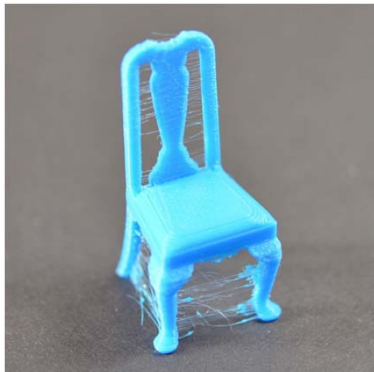
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Pojava niti (curenje)

- ❑ udaljenost retrakcije ekstrudera
 - ❑ **povećanje po 1 mm i provjera**
- ❑ previsoka temperatura
 - ❑ **smanjenje temperature ekstrudera**
- ❑ dugačke putanje po praznom prostoru
 - ❑ **smanjiti putanje ekstrudera**
 - ❑ **podešavanja u programu**
- ❑ brzina pomaka ekstrudera
 - ❑ **povećati brzinu pomaka ekstrudera**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije 

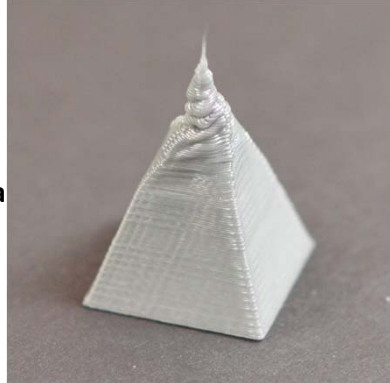
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Pregrijavanje

- ❑ nedovoljno hlađenje
 - ❑ **primjena ventilatora za hlađenje**
- ❑ ispis pri previsokim temperaturama
 - ❑ **smanjenje temperature ekstrudera**
- ❑ prebrzi ispis
 - ❑ **smanjenje brzine ekstrudera kod ispisa na manjim površinama sloja (program)**
 - ❑ **ispis više dijelova istodobno**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije 

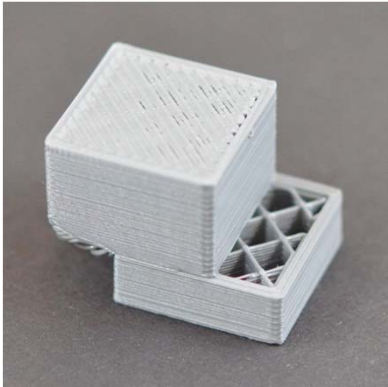
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Pomak u slojevima

- ❑ prebrzi pomaci ekstrudera
 - ❑ smanjenje brzine ekstrudera
 - ❑ smanjenje ubrzanja ekstrudera
- ❑ mehanički ili električni problem
 - ❑ remenje (odgovarajuća napetost)
 - ❑ motori ("izgubljen" položaj)



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Odvajanje slojeva

- ❑ prevelika debljina sloja
 - ❑ max. 20% manja od promjera mlaznice
- ❑ printanje pri preniskoj temperaturi
 - ❑ povisiti temperaturu ekstrudera



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije 

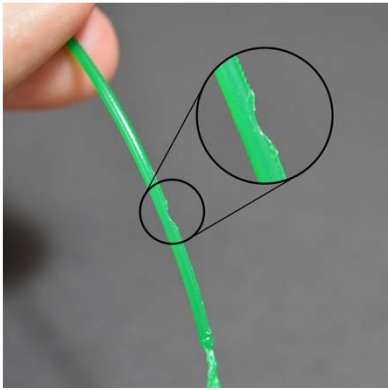
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Drobljenje filamenta

- ❑ agresivne postavke retrakcije
 - ❑ smanjenje brzine retrakcije
- ❑ ispis pri preniskoj temperaturi
 - ❑ povišenje temperature ekstrudera
- ❑ prebrzi ispis
 - ❑ smanjenje brzine ekstrudera
- ❑ začepljen ekstruder
 - ❑ čišćenje glave ekstrudera



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

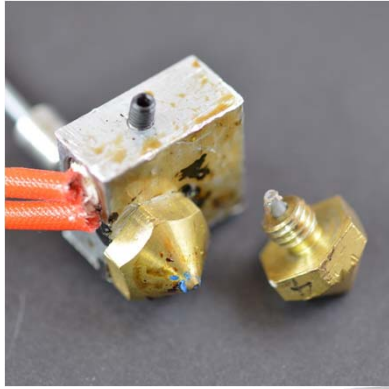
Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Začepljen ekstruder

- ❑ izvlačenje filamenta iz ekstrudera
- ❑ uklanjanje nečistoća

ili

- ❑ ručno uvlačenje filamenta u ekstruder
- ❑ dodavanje filament u glavu
- ❑ čišćenje mlaznice



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

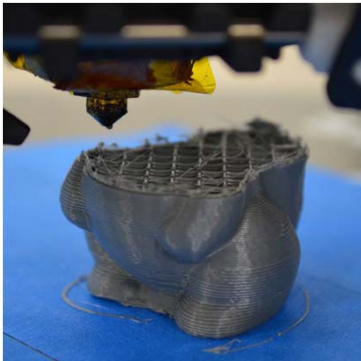
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Zaustavljanje ispisa prije završetka

- ❑ pisač je ostao bez filameta
 - ❑ **dodati novi filament**
- ❑ filament je ispao iz zupčastog pogona
 - ❑ **vidi slajd 288 - drobljenje filameta**
- ❑ začepljen ekstruder
 - ❑ **čišćenje glave ekstrudera**
- ❑ pregrijan motor ekstrudera
 - ❑ **ugasiti i ohladiti pisač**
 - ❑ **postaviti dodatne ventilatore za hlađenje**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

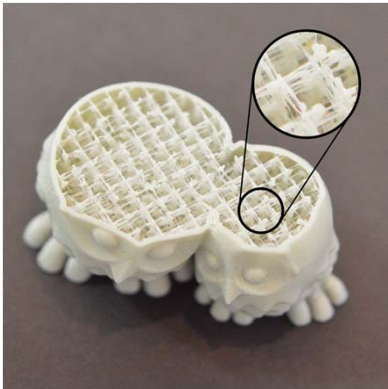
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Slaba ispuna

- ❑ **izabrati drugačiji oblik ispune**
- ❑ **smanjiti brzinu ispisa ispune**
- ❑ **povećati širinu ekstrudiranja ispune**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

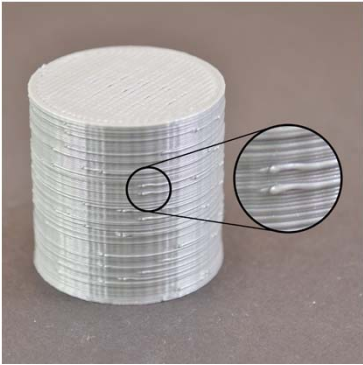
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Grumenčiči

- ❑ podešavanje retrakcije i isključivanja ekstrudera
 - ❑ smanjenje duljine retrakcije
 - ❑ povećanje udaljenosti isključivanja
- ❑ izbjegavanje retrakcije
- ❑ ne-stacionarna retrakcija
 - ❑ retrakcija dok je ekstruder u pokretu
- ❑ početna pozicija ispisa sloja
 - ❑ izbor optimalne početne pozicije



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

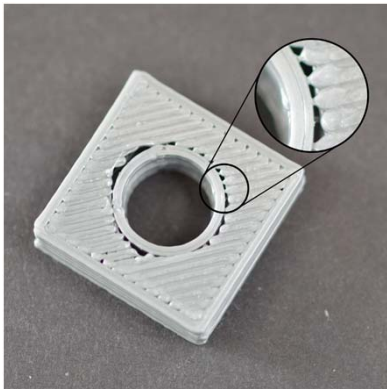
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Praznine između ispune i kontura

- ❑ premalo preklapanje kontura
 - ❑ povećati preklapanje kontura
- ❑ prebrzi ispis ispune
 - ❑ smanjenje brzine ispisa ispune



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

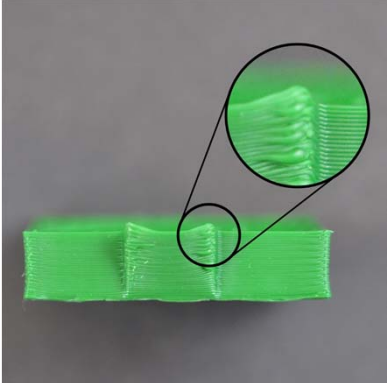
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Kovrčanje i vitoperenje

- ❑ problem s pregrijavanjem
 - ❑ **brzo hlađenje svakog sloja**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije 

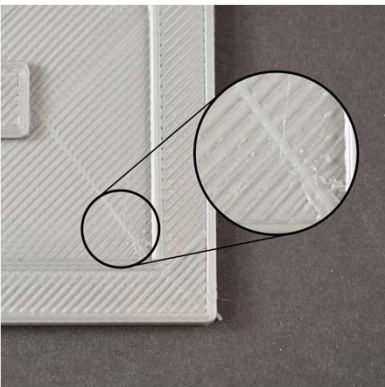
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Oštećenja na gornjoj površini

- ❑ ekstrudiranje previse materijala
 - ❑ **smanjenje količine materijala**
- ❑ mlaznica stuže po ispisanom sloju
 - ❑ **vertikalno podizanje**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Otvori u kutovima na "floor" slojevima

- ❑ nedovoljan broj prolaza
 - ❑ **dodavanje prolaza konture**
- ❑ nedovoljan broj završnih slojeva
 - ❑ **povećanje broja završnih slojeva**
- ❑ premali postotak ispune
 - ❑ **povećanje postotka ispune**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

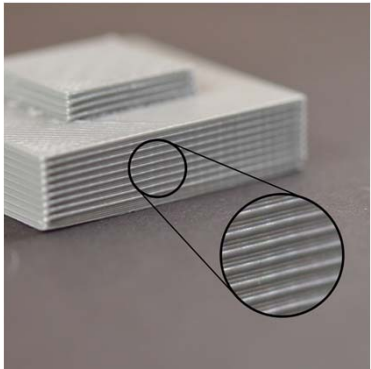
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Vidljive linije na bočnim stijenkama ispisa

- ❑ nekonzistentno ekstrudiranje
 - ❑ **kvalitetan pisač**
 - ❑ **visoka kvaliteta filamenta (promjer)**
- ❑ varijacije temperature (ekstruder)
 - ❑ **+/- 2 stupnja od podešene temp.**
- ❑ mehanički problemi
 - ❑ **platforma za ispis (npr. vibracije)**
 - ❑ **navojno vreteno za Z-os**
 - ❑ **podešavanje upravljanja mikro-pomacima motora**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

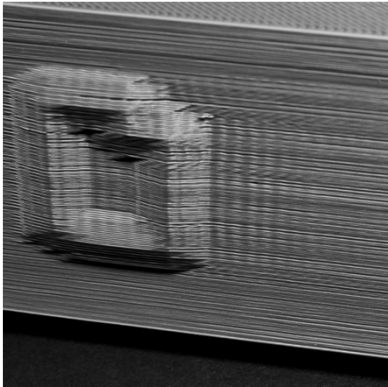
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Vibracije i trzaji

- ❑ prebrzi ispis
 - ❑ smanjenje brzine ispisa
 - ❑ upravljanje brzinom ekstrudera pri naglim promjema smjera
- ❑ podešeno ubrzanje
 - ❑ sprječavanje nagle promjene smjera kretanja
- ❑ mehanički problemi



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Praznine u tankim stijenkama

- ❑ prilagođavanje tanke stijenke
 - ❑ podešavanje programa (gap fill)
 - ❑ povećanje preklapanja konture
- ❑ promjena širine ekstrudiranja
 - ❑ promjena debljine sloja gdje se pokaže potrebnim



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

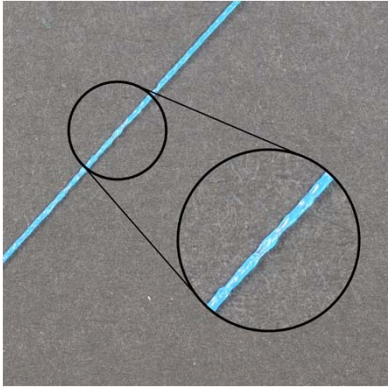
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Nekonzistentno ekstrudiranje

- ❑ zaglavljivanje/zapetljavanje filamenta
- ❑ začepljen ekstruder
- ❑ vrlo mala debljina sloja
 - ❑ **povećati debljinu sloja**
- ❑ nepravilna širina ekstrudiranja
 - ❑ **100-150 % promjera mlaznice**
- ❑ loša kvaliteta filamenta
- ❑ mehanički problemi ekstrudera
 - ❑ **dobro upravljanje položajem filamenta**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

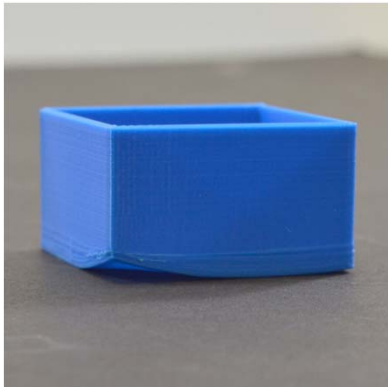
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Vitoperenje ispisa

- ❑ grijana radna platforma
- ❑ isključivanje ventilatora za hlađenje
- ❑ primjena grijanog kućišta
- ❑ primjena base/rafts



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Loša kvaliteta površine ispod suportne strukture

- ❑ debljina sloja
 - ❑ **smanjiti debljinu**
- ❑ postotak ispune suportne strukture
 - ❑ **uobičajeno 20-40 %**
- ❑ vertikalno odvajanje slojeva
 - ❑ **1-2 “prazna” sloja**
- ❑ horizontalni offset od modela
 - ❑ **0,2-0,4 mm**
- ❑ primjena drugog ekstrudera (ako postoji)
 - ❑ **support topiv vodi (PVA)**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

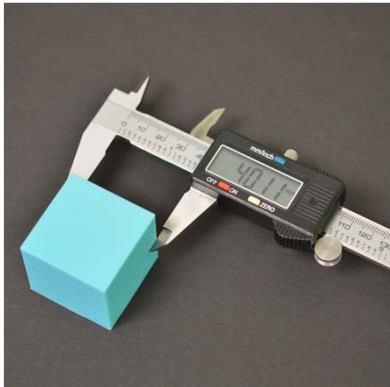
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – uklanjanje grešaka

Dimenzijska točnost

- ❑ utjecaj prvog sloja
- ❑ preveliko/premalo ekstrudiranje
- ❑ konstantna dimenzijska greška
 - ❑ **podesiti potrebni offset**
- ❑ rastuća dimenzijska greška
 - ❑ **podešavanje odgovarajućeg stezanja**



<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

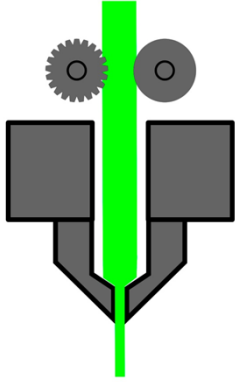
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – vrste ekstrudera

Izravni pogon

- ❑ ekstruder montiran na vrhu vrućeg dijela printera
- ❑ filament se zahvaća s pomoću zupčanika i kotačića
- ❑ zupčanik je pokretan s pomoću step motora
 - ❑ moguća rotacija naprijed/natrag



<http://www.fabbaloo.com/blog/2015/11/11/bowden-or-direct-a-primer-on-extruder-styles>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

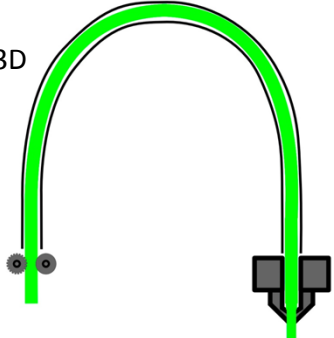
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – vrste ekstrudera

Bowden ekstruder

- ❑ vrući dio je fizički odvojen od ekstrudera
- ❑ ekstruder je montiran sa stražnje strane 3D printera ili u njegovoj unutrašnjosti
- ❑ načela rada ekstrudera su ista kao i pri izravnom pogonu




<http://www.fabbaloo.com/blog/2015/11/11/bowden-or-direct-a-primer-on-extruder-styles>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – vrste ekstrudera

Bowden vs izravni ekstruder

- ❑ Bowden – smanjena masa pokretnih dijelova na vrućem dijelu
- ❑ Bowden - veća točnost printanja (manji moment)
- ❑ Bowden - tipično u delta izvedbi 3D printera
- ❑ izravni - tipično u kartezijskoj izvedbi 3D printera
- ❑ Bowden – teže podešavanje retrakcije filamenta
- ❑ Bowden – teže kompenziranje (uklanjanje) grešaka filamenta
- ❑ Bowden – izazovno pri printanju sa savitljivim filamentima
- ❑ opća preporuka: za većinu korisnika - izravni ekstruder, za eksperte s iskustvom te s dovoljno vremena za podešavanje 3D printera - Bowden ekstruder

<http://www.fabbaloo.com/blog/2015/11/11/bowden-or-direct-a-primer-on-extruder-styles>

FSB

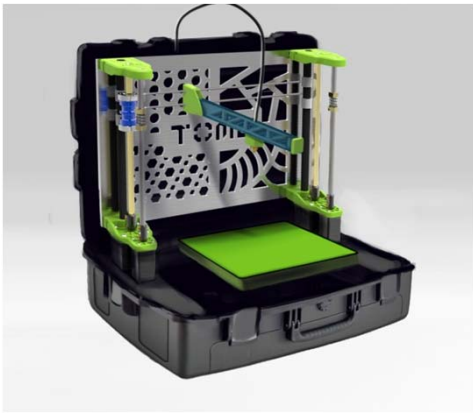
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

Od desktop (niskobudžetnih) printera ...



<http://www.3ders.org/articles/20140629-tome-portable-self-contained-fdm-3d-printer.html>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

Od desktop (niskobudžetnih) printera ...



<http://gfxspeak.com/2012/02/22/desktop-fdm-3d-printer-shatters-5000-price-barrier/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

... do velikih industrijskih printera



Fortus 900mc
Radni volumen: 914 x 610 x 914 mm

<https://all3dp.com/biggest-3d-printers-world/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

"Delta" 3D printeri



<https://all3dp.com/diy-3d-printer-kit/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

PocketMaker - "najmanji" 3D printer (cijena 99 USD - svibanj 2017)



<https://all3dp.com/pocketmaker-3d-printer-aims-to-bring-affordable-3d-printing-into-your-home/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

PocketMaker - "najmanji" 3D printer



PocketPLA White	PocketPLA Cyan	PocketMaker	PocketPLA Yellow	PocketPLA Pink	PocketNozzle
\$2.6	\$2.6		\$2.6	\$2.6	\$14.9

<https://all3dp.com/pocketmaker-3d-printer-aims-to-bring-affordable-3d-printing-into-your-home/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

... s više glava za tiskanje i „dvije” komore



Cubex Trio

Kloner 3D

FSB

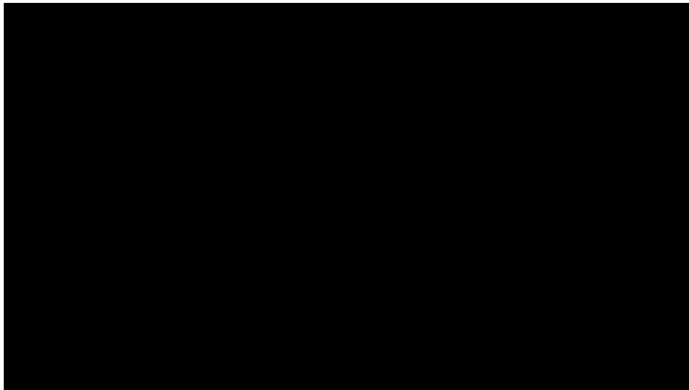
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printeri

... s više glava za tiskanje i „dvije” komore



<https://www.youtube.com/watch?v=rFSKoAjlP9E>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - printers

... s više glava za tiskanje i „dvije” komore



CubeX

The ultimate desktop 3D printer.

<https://www.youtube.com/watch?v=LZu9z6KFIec>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - materijali (filamenti)

❑ ABS	❑ PP
❑ PLA	❑ TPE (savitljivi)
❑ PA	❑ TPU
❑ PET(G)	❑ PCTPE
❑ PS	❑ PEEK
❑ PC	❑ HIPS (također i za suport - topiv)
❑ PC/ABS	❑ PVA
❑ PEI (ULTEM)	❑ ojačani polimeri (punjeni s: drvom, ugljičnim vlaknima, nehrđajućim čelikom, mjedi, broncom, plutom, bambusom, magnetičnim željezom, volframom, ligninom, bakrom ...)
❑ PPSF/PPSU	
❑ ASA	
❑ PMMA	

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling - materijali (filamenti)

- ❑ standardi za promjere filamenata su: 1,75 and 2,85 (3,0) mm
- ❑ 1,75 mm
 - ❑ popularniji i jednostavniji za nabaviti & easier to buy (širi raspon materijala)
 - ❑ bolja kvaliteta površine
 - ❑ moguće printanje manjih detalja
 - ❑ potrebno manje energije i sile za ekstrudiranje filamenta kroz mlaznicu ekstrudera (npr. promjer 0,4 mm)
 - ❑ moguće su veće brzine ekstrudiranja (filament se brže tali)
- ❑ 2,85 (3,0) mm
 - ❑ krući, jednostavnije printanje savitljivih proizvoda
 - ❑ u slučaju šire mlaznice ekstrudera – deblji sloj & brže printanje
 - ❑ do 3 puta jeftiniji od 1,75 mm filamenata

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ ABS



<https://express.stratasysdirect.com/abs-plastic-part-prototype.aspx>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ PC



<http://www.javelin-tech.com/3d-printer/materials/fdm-thermoplastic/pc/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ PETG



<https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ PA



<http://proto3000.com/news/2013/12/06/3dprinting/nylon-12-3d-printing-material-fdm-stratasys-canada>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

- ASA



<http://www.javelin-tech.com/3d-printer/materials/fdm-thermoplastic/asa/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

- savitljivi (TPE)



<https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ topivi (HIPS)



Off the Buildplate Half Dissolved Fully Dissolved

<https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ topivi (PVA)



<https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>

FSB

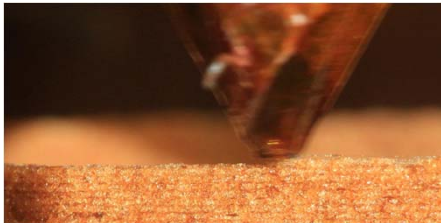
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

- punjeni (drvo)




<http://tobuya3dprinter.com/expect-3d-printing-wood/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

- filled (lignin - full biodegradable)



<https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ punjeni (bronca ili bakar)

BronzeFill & CopperFill

- 80% Metal
- Can be polished for a more metallic look



<https://www.3dhubs.com/talk/thread/material-presentation-demonstration-recapitulation>

FSB

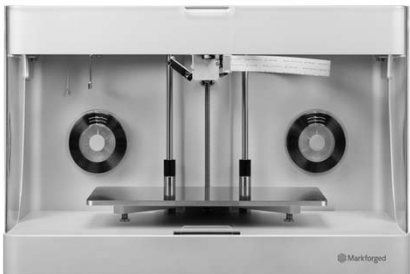
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

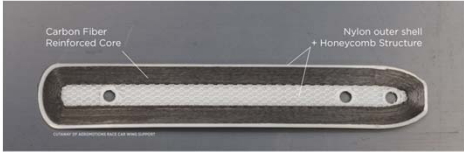
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

□ punjeni (ugljična vlakna)






<https://markforged.com/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju FDM

Fused Deposition Modelling – materijali/primjeri

- punjeni (nehrđajući čelik)



<http://www.3ders.org/articles/20160914-steel-yourself-with-colorfabbs-new-steelfill-metal-filament-for-desktop-3d-printers.html>

FSB

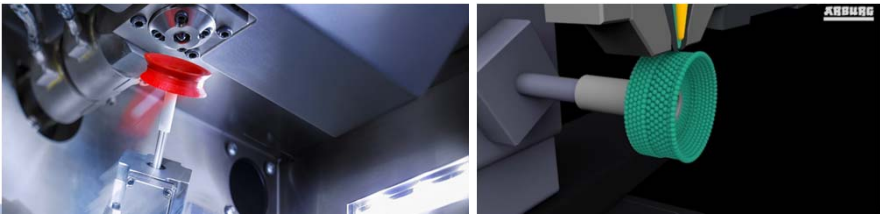
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg Plastic Freeforming - APF (Freeformer)

- prvo predstavljanje - EuroMold 2013.
- proces polaganja malih kapljica plastomerne taljevine
- ulazni materijal u obliku granulata kao za injekcijsko prešanje
- mogućnost višekomponentnog 3D printanja
- za sada u funkciji samo 3D verzija uređaja (bila je najavljena i 5D verzija – s rotirajućom radnom platformom)



<http://www.3ders.org/articles/20160914-steel-yourself-with-colorfabbs-new-steelfill-metal-filament-for-desktop-3d-printers.html>

FSB

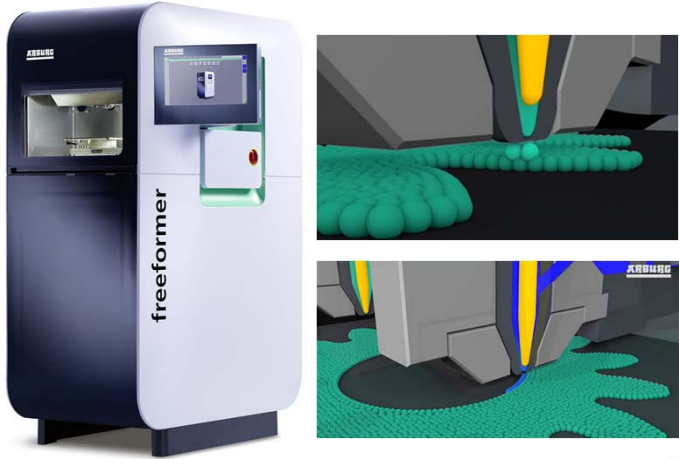
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg Plastic Freeforming - APF (Freeformer)

□ Freeformer



<https://www.arburg.com/en/products-and-services/additive-manufacturing/>

FSB

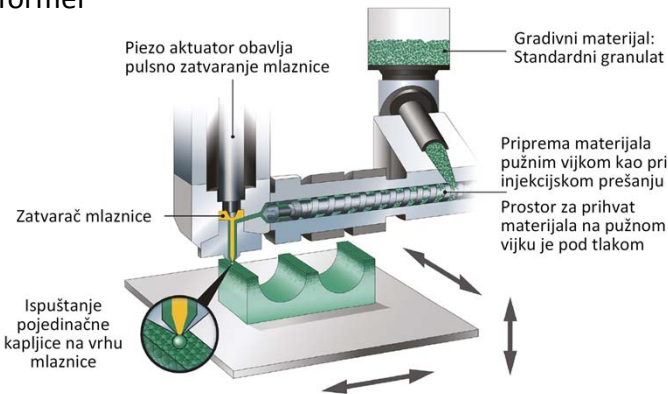
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg Plastic Freeforming - APF (Freeformer)

□ Freeformer



Piezo aktuator obavlja pulsno zatvaranje mlaznice

Gradivni materijal: Standardni granulati

Priprema materijala pužnim vijkom kao pri injekcijskom prešanju

Prostor za prihvatanje materijala na pužnom vijku je pod tlakom

Zatvarač mlaznice

Ispuštanje pojedinačne kapljice na vrhu mlaznice

<https://www.arburg.com/en/products-and-services/additive-manufacturing/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg plastic freeforming - APF (Freeformer)

- Freeformer - proces



<https://www.arburg.com/en/products-and-services/additive-manufacturing/>

FSB

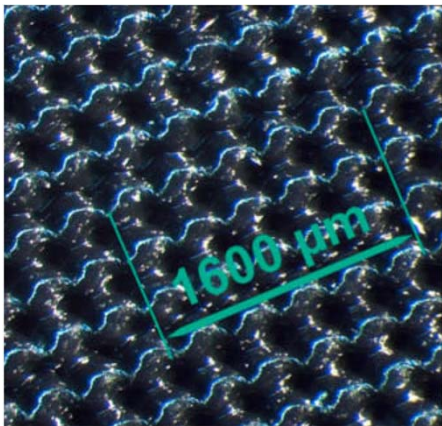
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg Plastic Freeforming - APF (Freeformer)

- veličina kapljica
- hrapavost površine $R_a = 20 \mu\text{m}$
- ABS, PC, PA12, TPU
- PP (istraživanje u tijeku)



<https://www.arburg.com/en/products-and-services/additive-manufacturing/>

FSB

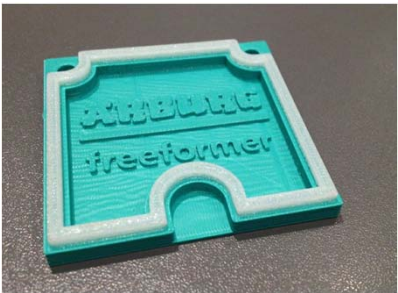
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg Plastic Freeforming - APF (Freeformer)

- primjeri proizvoda

<https://www.arburg.com/en/products-and-services/additive-manufacturing/>

FSB

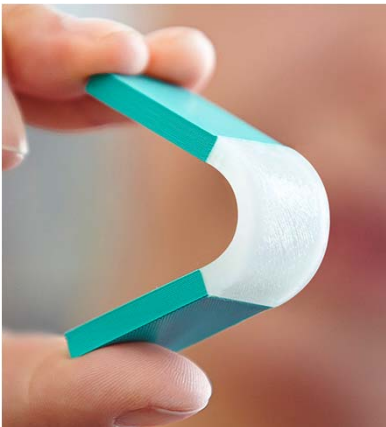
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju čvrstih materijala

Arburg Plastic Freeforming - APF (Freeformer)

- višekomponentni proizvod



<https://www.arburg.com/en/products-and-services/additive-manufacturing/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija - načela

Patent 1986.
 (DTM, danas 3D Systems, SAD)
 → Početak razvoja suvremene AM
 Načelo: **foto-polimerizacija s pomoću izvora svjetla**
 Materijali: **epoksidi, akrilati, vinili (smole - kapljevine)**
 Točnost/debljina sloja: **minimalno 0,05 mm**

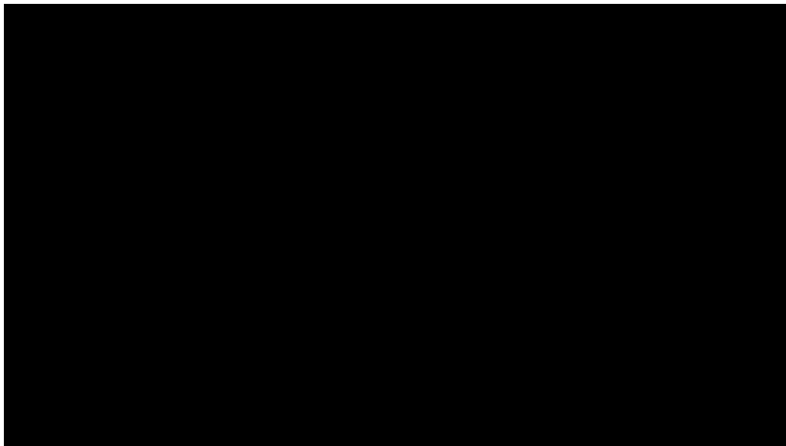
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

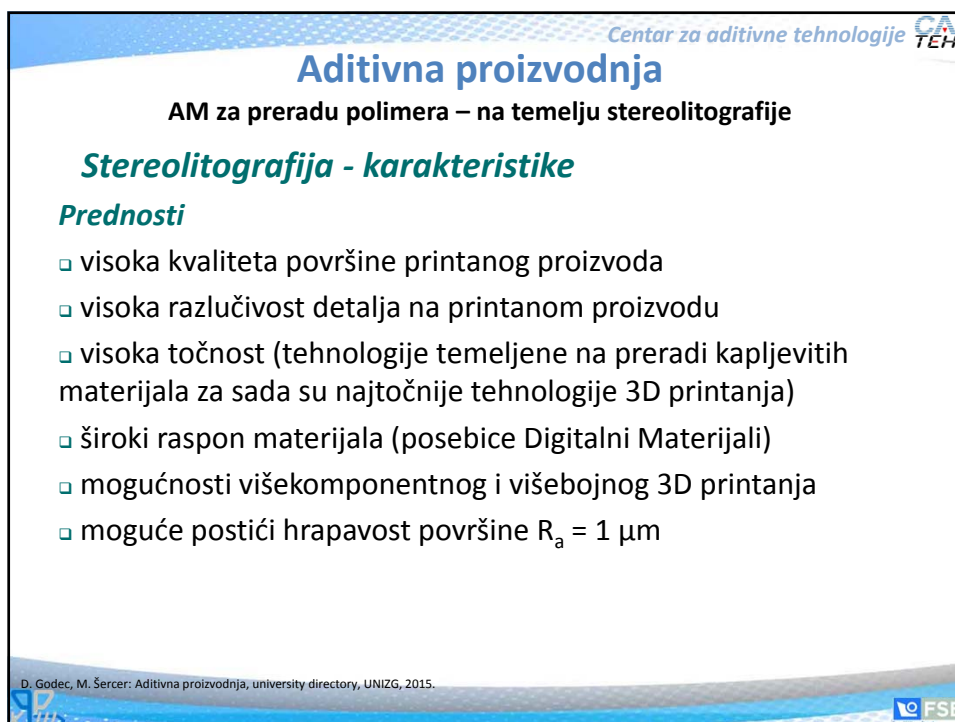
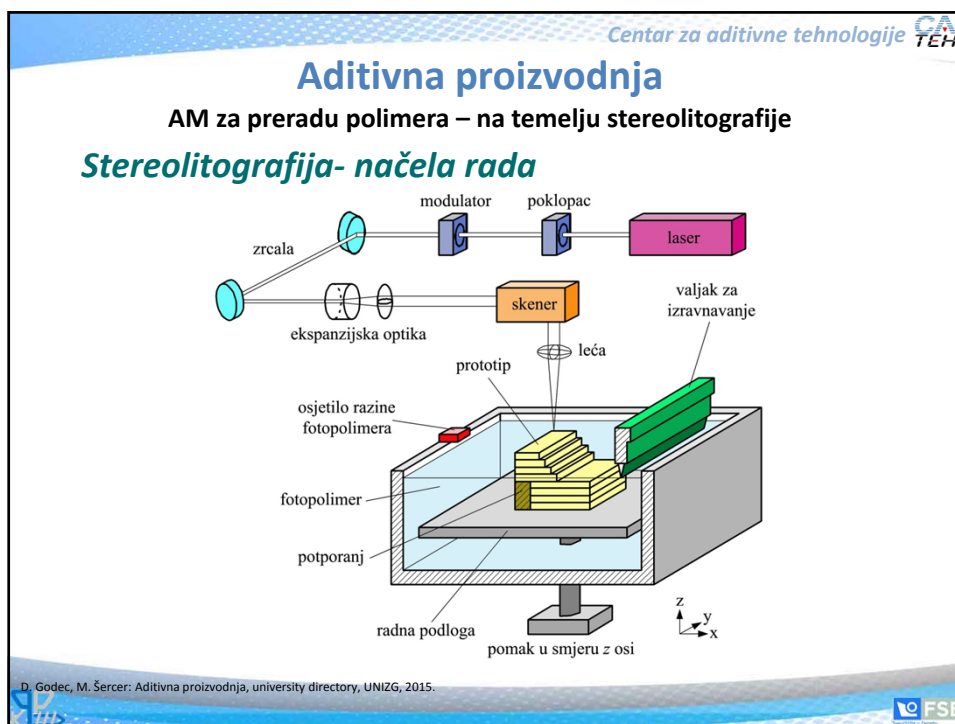
AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija - proces



<https://www.youtube.com/watch?v=NM5Sct5KwI1>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija - karakteristike

Nedostaci

- ❑ printanje moguće samo u X-Y ravnini na radnoj platformi
- ❑ zahtijeva suportni materijal i njegovo uklanjanje nakon printanja
- ❑ neki procesi zahtijevaju dodatno umreživanje (UV svjetlost)
- ❑ dodatno umreživanje može uzrokovati neželjene deformacije
- ❑ fotopolimeri u kapljevitom stanju općenito su otrovni
- ❑ procesi u kojima se koristi laserska zraka su spori (potrebno „šrafiranje” svakog sloja laserskom zrakom)
- ❑ visoki troškovi materijala i održavanja

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

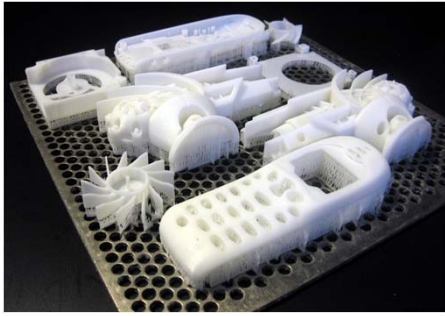
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija - načela

- ❑ ispis u X-Y ravnini (jednog ili više proizvoda istodobno)
- ❑ primjena treće osi u radnoj komori nije moguća (kapljeviti materijal)
- ❑ ispis proizvoda od mikro razine do velikih dimenzija



<http://www.industrie-techno.com/photo-tech-une-imprimante-huit-objets.23775>

FSB

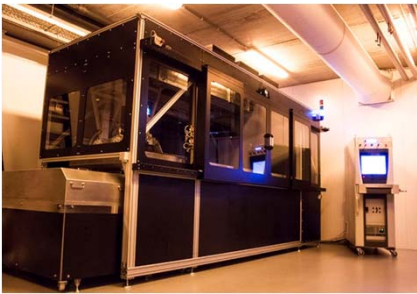
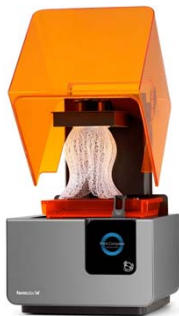
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija - uređaji

- ❑ raspon od velikih do malih uređaja
- ❑ načela gradnje odozgo prema dolje i odozdo prema gore

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija - uređaji

- ❑ gradnja odozdo prema gore (pomak platforme)

<https://www.youtube.com/watch?v=8tn5zA5bNSE>

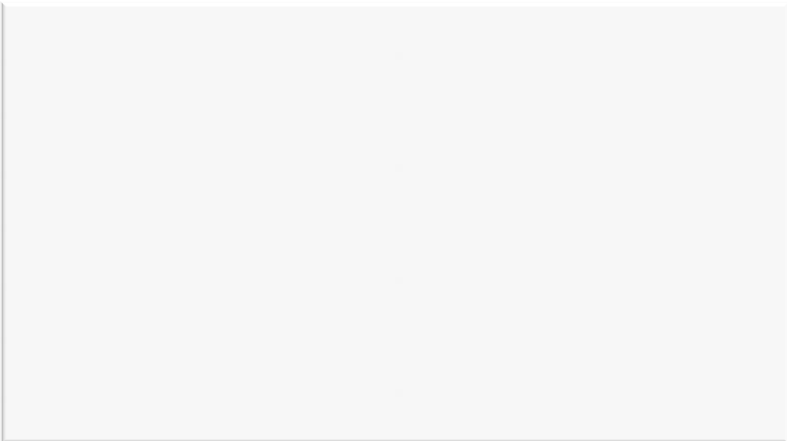
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – Mammoth SLA



<http://manufacturing.materialise.com/mammoth-stereolithography>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – Mammoth SLA (proizvod)



<http://on3dprinting.com/2013/07/10/3d-printing-sparks-innovations-in-art-mgx-by-materialise/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjer primjene

- mikro SLA



Application Video: 3D μ -Printing

<https://www.youtube.com/watch?v=wThtfAtB5U8>

FSB

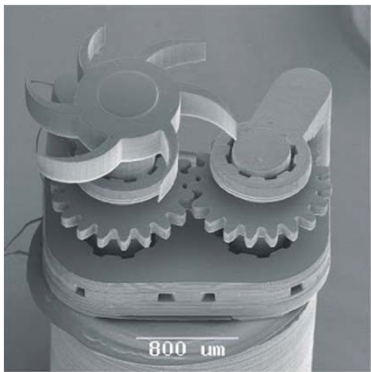
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjer primjene

- mikro SLA (za MEMS ili NEMS)



<http://dentaltechnologyreview.blogspot.co.at/2009/02/micro-stereo-lithography-models.html>

FSB

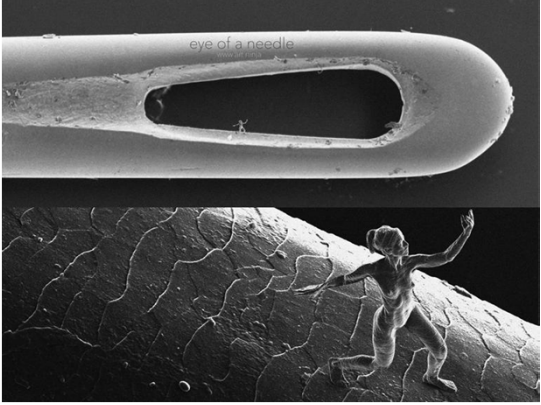
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjer primjene

- litografija – dva fotona



<https://niniithi.com/2015/07/25/a-breakthrough-technology-allows-scientists-to-make-the-worlds-smallest-human-sculptures/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Direct Light Processing (DLP)

Premijera 2001. (EuroMold)
(EnvisionTEC, Njemačka)

→ Unaprjeđenje SLA procesa (brzina)

Načelo: **foto-polimerizacija s pomoću izvora svjetla**

Materials: **akrilati (smole - kapljevine)**

Točnost/debljina sloja: **do 0,02 mm**

<https://niniithi.com/2015/07/25/a-breakthrough-technology-allows-scientists-to-make-the-worlds-smallest-human-sculptures/>

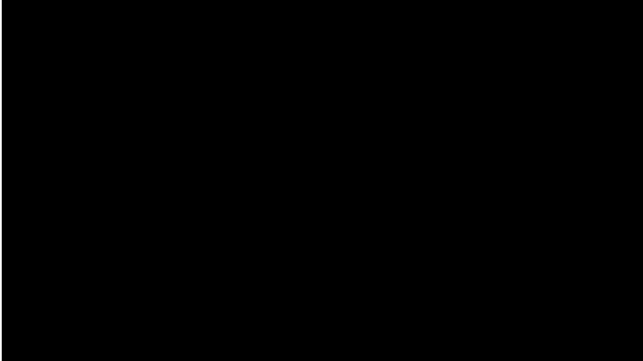
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Digital Light Processing - načela



<https://www.youtube.com/watch?v=8b59hNltw5w>

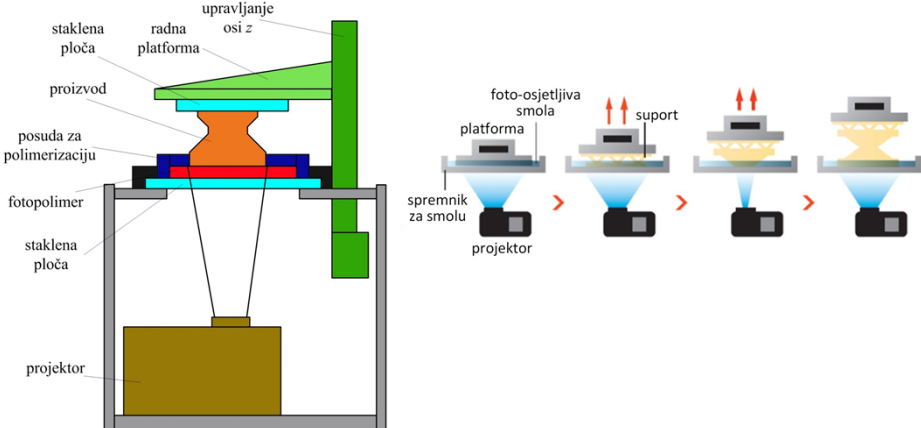
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Digital Light Processing - načela



Labels in the diagram include: upravljajanje, radna platforma, staklena ploča, proizvod, posuda za polimerizaciju, fotopolimer, staklena ploča, projektor, foto-osjetljiva smola, platforma, spremnik za smolu, and suport.

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Digital Light Processing - karakteristike

- ❑ printanje u X-Y ravnini (jedan ili više proizvoda istodobno)
- ❑ primjena treće osi nije moguća (kapljeviti materijal)
- ❑ zahtijeva minimalno suporta
- ❑ printanje „naglavačke“
- ❑ printanje velikih i mikro dijelova
- ❑ nije potreban uređaj za niveliranje



<https://gigaom.com/2014/01/14/why-2014-could-be-the-year-of-the-light-based-3d-printer/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Digital Light Processing - oprema

- ❑ DLP printer (EnvisionTec)



<https://www.envisiontec.com>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Digital Light Processing – oprema

- DLP printer (Autodesk)



<https://3dprint.com/65051/ember-design-files/>

FSB

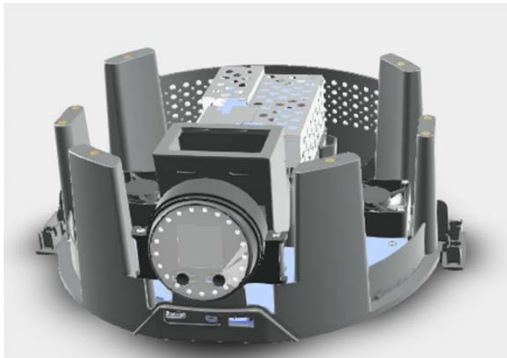
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Digital Light Processing – oprema

- DLP printer (Autodesk)



<https://3dprint.com/65051/ember-design-files/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – materijali

- ❑ epoksidne smole
- ❑ akrilne smole
- ❑ nano-kompoziti
- ❑ biokompatibilni materijali

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – 3D Systems

Extend Innovation. Extend Production. Extend Choices.

	Projet 6000 SD	Projet 6000 HD	Projet 6000 MP	Projet 7000 SD	Projet 7000 HD	Projet 7000 MP
Net Build Volume (cubi)						
Small	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)
Medium	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)
Large	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)	10 x 10 x 10 in (254 x 254 x 254 mm)
Resolution	100 - 140 microns	100 - 140 microns	100 - 140 microns	100 - 140 microns	100 - 140 microns	100 - 140 microns
ISO - 100 microns	+	+	+	+	+	+
ISO - 140 microns	+	+	+	+	+	+
Accuracy	0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension	0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension	0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension	0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension	0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension	0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension
Accuracy may vary depending on build parameters, part geometry and size, part orientation and post processing methods						
Materials						
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Vero® SL 100	+	+	+	+	+	+
Material Packaging	Material in clear no-drip 2.0 liter cartridges	Material in clear no-drip 2.0 liter cartridges	Material in clear no-drip 2.0 liter cartridges	Material in clear no-drip 2.0 liter cartridges	Material in clear no-drip 2.0 liter cartridges	Material in clear no-drip 2.0 liter cartridges
System auto fill print tray between builds						
Electrical						
Dimensions (WxDxH)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)
3D Printer Cased	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)
3D Printer Unboxed	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)	60 x 31 x 76 in (1524 x 787 x 1929 mm)
Weight						
3D Printer Cased	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)
3D Printer Unboxed	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)	600 lb (272 kg)
3D Manage Software	Easy build job set-up, submission and job queue management	Easy build job set-up, submission and job queue management	Easy build job set-up, submission and job queue management	Easy build job set-up, submission and job queue management	Easy build job set-up, submission and job queue management	Easy build job set-up, submission and job queue management
Automatic part placement and build optimization tools						
Part tracking and nesting capability						
Automatic support generation						
Automatic support generation						
MP Auto Software	Automation utility for rapid manufacturing applications	Automation utility for rapid manufacturing applications	Automation utility for rapid manufacturing applications	Automation utility for rapid manufacturing applications	Automation utility for rapid manufacturing applications	Automation utility for rapid manufacturing applications
Included only with the ProJet 6000 MP						
Network Compatibility	Network ready with 10/100 Ethernet interface 400B	Network ready with 10/100 Ethernet interface 400B	Network ready with 10/100 Ethernet interface 400B	Network ready with 10/100 Ethernet interface 400B	Network ready with 10/100 Ethernet interface 400B	Network ready with 10/100 Ethernet interface 400B
3D Manage Software Recommendations	Core 2 Duo 1.8 GHz with 4 GB RAM (OpenGL support 128 MB video RAM)	Core 2 Duo 1.8 GHz with 4 GB RAM (OpenGL support 128 MB video RAM)	Core 2 Duo 1.8 GHz with 4 GB RAM (OpenGL support 128 MB video RAM)	Core 2 Duo 1.8 GHz with 4 GB RAM (OpenGL support 128 MB video RAM)	Core 2 Duo 1.8 GHz with 4 GB RAM (OpenGL support 128 MB video RAM)	Core 2 Duo 1.8 GHz with 4 GB RAM (OpenGL support 128 MB video RAM)
3D Manage Operating System	Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7	Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7	Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7	Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7	Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7	Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7
Input/Output (I/O) Features	15 in and 5 in	15 in and 5 in	15 in and 5 in	15 in and 5 in	15 in and 5 in	15 in and 5 in
Operating Temperature Range	65-140 °F (18-28 °C)	65-140 °F (18-28 °C)	65-140 °F (18-28 °C)	65-140 °F (18-28 °C)	65-140 °F (18-28 °C)	65-140 °F (18-28 °C)
Humidity	< 65% RH estimated	< 65% RH estimated	< 65% RH estimated	< 65% RH estimated	< 65% RH estimated	< 65% RH estimated
Optional Accessories	UV Curing Unit, Part Washer and Right Angle Table, ProJet Cart Station	UV Curing Unit, Part Washer and Right Angle Table, ProJet Cart Station	UV Curing Unit, Part Washer and Right Angle Table, ProJet Cart Station	UV Curing Unit, Part Washer and Right Angle Table, ProJet Cart Station	UV Curing Unit, Part Washer and Right Angle Table, ProJet Cart Station	UV Curing Unit, Part Washer and Right Angle Table, ProJet Cart Station
Certifications	CE marked	CE marked	CE marked	CE marked	CE marked	CE marked

<https://www.3dsystems.com/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – 3D Systems

VisiJet® SL Materials for ProJet 6000 & 7000 Printers

The wide range of VisiJet® SL engineered materials offers the toughest and the highest quality parts to meet a variety of commercial and production applications.

Properties	ASTM	VisiJet® SL Flex	VisiJet® SL Tough	VisiJet® SL Clear	VisiJet® SL Black	VisiJet® SL Impact	VisiJet® SL HiTemp	VisiJet® SL e-Stone™	VisiJet® SL Jewel
Composition		UV Curable Plastic							
Color		White	Gray	Clear	Black	White	Clear Amber	Peach	Blue
Cartridge Volume		2.0 liters	2.0 liters	2.0 liters	2.0 liters	2.0 liters	2.0 liters	2.0 liters	2.0 liters
Density (liquid) @ 25°C		1.14 g/cm³	1.13 g/cm³	1.1 g/cm³	1.13 g/cm³	1.12 g/cm³	1.17 g/cm³	1.13 g/cm³	1.08 g/cm³
Density (solid) @ 25°C		1.19 g/cm³	1.19 g/cm³	1.17 g/cm³	1.15 g/cm³	1.18 g/cm³	1.23 g/cm³	1.19 g/cm³	1.18 g/cm³
Tensile Strength	D 638	38 MPa	41 MPa	52 MPa	45 MPa	48 MPa	66 MPa	38 MPa	40 MPa
Tensile Modulus	D 638	1620 MPa	1890 MPa	2560 MPa	2150 MPa	2626 MPa	3390 MPa	1630 MPa	1910 MPa
Elongation at Break	D 638	16%	18%	6%	5%	14%	6%	17%	12%
Flexural Strength	D 790	57 MPa	62 MPa	83 MPa	76 MPa	74 MPa	112 MPa	57 MPa	61 MPa
Flexural Modulus	D 790	1420 MPa	1850 MPa	2330 MPa	2350 MPa	2390 MPa	3080 MPa	1550 MPa	1824 MPa
Impact Strength (Notched Izod)	D 256	22 J/m	44 J/m	46 J/m	47 J/m	65 J/m	26 J/m	22 J/m	45 J/m
Heat Distortion Temp. (HDT) @ 0.45 MPa	D 648	61 °C	62 °C	51 °C	54 °C	47 °C	65/130 °C**	61 °C	38 °C
HDT @ 1.82 MPa	D 648	53 °C	54 °C	50 °C	51 °C	42 °C	57/110 °C**	53 °C	32 °C
Hardness, Shore D		80	86	85	86	80	86	80	72
Glass Transition (Tg)	DMA, E'	60 °C	52 °C	70 °C	62 °C	65 °C	62/132 °C**	60 °C	58 °C
USP Class VI Certified*		No	No	Yes	No	No	No	No	No
ProJet Compatibility		SD, HD, MP	SD, HD, MP	SD, HD, MP	SD, HD, MP	SD, HD, MP	SD, HD, MP	MP	HD, MP

** After thermal postcure @ 160 °C

<https://www.3dsystems.com/>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – Materialise

	<u>NextDay SL</u>	<u>Standard SL</u>	<u>Mammoth SL</u>
Layer thickness	0.15 - 0.2 mm	0.1 - 0.15 mm	0.1 mm
Accuracy	+/- 0.2% (min. +/- 0.2 mm)	+/- 0.2% (min. +/- 0.2 mm)	+/- 0.2% (min. +/- 0.2 mm)
Maximum part size	650 x 650 x 450 mm	500 x 500 x 580 mm	2100 x 680 x 800 mm
Finishing degree	Basic finishing	Smooth on A-face B-face on request	Smooth on A-face B-face on request
Lead time	24h	2-5 days	4-8 days

<http://manufacturing.materialise.com/stereolithography-technical-specifications>



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – materijali

□ epoksidne smole (Materialise)

Name	Impact strength	Stiffness	Humidity resistance	Heat resistance	Durability	Colour	Mould	Details	Description	Applications
Tusk Somos® SolidGrey3000	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Good	Grey	Good	Good	Stiff Impact resistant Water resistant Durable	Automotive body parts Machine covers Functional prototypes Durable concept models Robust scale models
TuskXC2700T Tusk2700V	Good	Good	Excellent	Sensitive	Good	Optical clear with a light blue tinge or White	Excellent	Moderate	Transparent (TuskXC2700T) Strong Water resistant Durable	Functional prototypes Wind tunnel testing Water flow analysis High-end finished models ABS-like parts
Prologen White	Good	Good	Good	Good	Good	White	Excellent	Good	Tough Good surface quality Good thermal properties Durable	Impellers Duct work and connectors Automotive housings Dashboard assemblies High-end finished models
Poly1500	Good	Moderate	Moderate	Moderate	Good	Translucent	Moderate	Good	Flexible Impact resistant Tough Durable	Automotive components Electronic housings Snap-fit assemblies PP-like parts
Xtreme	Excellent	Good	Good	Good	Good	Grey	Good	Excellent	Tough Impact resistant High elongation at break Excellent surface quality	Tough enclosures Snap-fit assemblies Replacing CNC machined parts High-end finished models
PerFORM	Sensitive	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Off white	Moderate	Excellent	Stiff High temperature resistance Superior sidewall quality	High temperature applications Automotive Aerospace

<http://manufacturing.materialise.com/stereolithography-materials-datasheets>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – materijali

□ epoksidne smole (Tusk Somos Solid Grey 3000)

Datasheet			
Tusk Somos® SolidGrey3000			
	Units	ASTM#	Range
Density	g/cm ³		1.18 – 1.2
Tensile Modulus	MPa	D638M	2970 – 3285
Tensile Strength at yield	MPa	D638M	60 – 66
Elongation at Yield	%	D638M	3.0
Elongation at Break	%	D638M	4.6 – 7.2
Flexural Modulus	MPa	D790M	1843 – 2017
Hardness	ShoreD	D2240	84
Notched Izod Impact	J/m	D256A	30 – 35
Water Absorption	%	D570-98	0.36 – 0.40
Tg	°C	E1545-05a	40 – 48
Heat Deflection Temp (0.46MPa)	°C	D648-07B	53 – 57
Heat Deflection Temp (1.82MPa)	°C	D648-07B	49 – 57
Appearance	Opaque Gray		
Actual values may vary with build conditions			

PREMIUM MATERIAL
 ✓ Stiff
 ✓ Impact resistant
 ✓ Water resistant
 ✓ Durable
 ✓ Automotive body parts
 ✓ Machine covers
 ✓ Functional prototypes
 ✓ Durable concept models
 ✓ Robust scale models

<http://manufacturing.materialise.com/stereolithography-materials-datasheets>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – materijali

□ epoksidna smola (Protogen)

Datasheet			
Protogen White			
	Units	ASTM#	Range
Density	g/cm ³		1.18 – 1.2
Tensile Modulus	MPa	D638M	2310
Tensile Strength	MPa	D638M	43.8
Elongation at Break	%	D638M	16
Flexural Modulus	MPa	D790M	2130
Flexural Strength	MPa	D790M	70.5
Notched Izod Impact	J/m	D256A	22
Hardness	Shore D	D2240	88
Water Absorption	%	D570-98	0.68%
Tg	°C	E1545-00	57 – 59
Heat Deflection Temp	°C	D648 - 98c	at 0.46 MPa: 56 at 1.82 MPa: 47
Colour	White		
Actual values may vary with build conditions			

- ✓ Flexible
- ✓ Impact resistant
- ✓ Tough
- ✓ Durable
- ✓ Automotive components
- ✓ Electronic housings
- ✓ Snap-fit assemblies
- ✓ PP-like parts

<http://manufacturing.materialise.com/stereolithography-materials-datasheets>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolithografija – materijali

□ akrilna smola (ABS Tough) **ABS Tough**

EnvisionTEC's ABS Tough is an extremely tough ABS-like 3D printing material. ABS Tough is an ideal solution for a wide variety of applications including snap-fit items and assembly applications which require some elasticity. It is a tough material, suitable for high quality prototypes of items in categories such as automotive and consumer goods as well as stable enough for production-quality end use parts. ABS Tough is ideal for any application which requires a material capable of holding high stress and force. It is also capable of very high speed builds, allowing for large models to be built in under a day without sacrificing its exceptional surface quality.



Material Properties*	
Description	
Heat Deflection Temperature	60 degree C at 1.82 MPa
Impact Izod	16.5 J/m
Description	After post curing 5 min x 2
Tensile Strength	75 MPa
Tensile Modulus	1927 MPa
Elongation at Break	5.2%
Flexural Strength	125 MPa
Flexural Modulus	3016 MPa
Viscosity	365 cP at 25°C

*All data provided is preliminary data and must be verified by the individual user.

Recommended Machines
Perfactory® 4 Standard, Perfactory® 4 Standard XL, Perfactory® 4 Mini, Perfactory® 4 Mini XL,

Applications
Aerospace, Animation and Entertainment, Architecture and Art, Automotive, Consumer and Packaged Goods, Dental, Education, Electronics, Manufacturing, Orthodontics, Sporting Goods, Toys

<http://envisiontec.com/3d-printing-materials/perfactory-materials/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – materijali

□ akrilna smola (E-Tool)

E-Tool

EnvisionTEC's E-Tool material allows manufacturers to 3D print molds for thermoplastic injection molding quickly and efficiently. It is ideal for low volume production runs or for the creation of multiple iterations of a mold during the prototyping phase. 3D printing molds using E-Tool is much faster and more cost-effective than traditional aluminum tooling. There is no minimum limit to the number of molded pieces needed to make it cost effective and unlike traditional metal tooling, 3D printed molds can be stored digitally and 3D printed as needed. E-Tool's strength and elongation at break make it ideal for minimizing the costs associated with the traditional manufacturing process in early stage prototyping and in short run production.



E-Tool	
Parameters	Values
Tensile Strength	35 MPa
Tensile Modulus	1410 MPa
Elongation at Break (post cured 5 min x 2)	17%
Flexural Strength	48 MPa
Flexural Modulus	1200MPa
Viscosity at 25 degrees C	1400 cP
HDT at 1.82 MPa	42° degrees C

*All data provided is preliminary data and must be verified by the individual user.

Recommended Machines
Perfactory® Desktop XL, Perfactory® 4 Mini, Perfactory® 4 Mini XL, Perfactory® 4 Standard, Perfactory® 4 Standard XL

Applications
Aerospace, Automotive, Consumer Goods, Manufacturing, Sporting Goods, Toys

<http://envisiontec.com/3d-printing-materials/perfactory-materials/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – materijali

□ akrilna smola s nano-punilima

RC70

EnvisionTEC's RC70 is a high temperature resistant resin for building tough and stiff parts at very high resolutions. RC70 is a nanoparticle-filled material that is used to build hard-wearing, stiff and high temperature-resistant parts that are ideal for silicone molding. They have an opaque peach color appearance. RC70 is ideal for applications requiring superior stiffness and high heat deflection temperature, such as pump housings, blades, test parts for wind tunnels, light reflectors and various automotive applications.



Properties*		
Method	Description	RC70
DIN EN ISO 527-1	Tensile Strength	39 MPa
DIN EN ISO 527-1	Elongation at Break	2.9%
DIN EN ISO 178	Flexural Strength	106 MPa
DIN EN ISO 178	Flexural Modulus	3760 MPa
ASTM D 648	Heat Deflection Temp. (at 0.46 MPa)	93°C

*All data provided is preliminary data and must be verified by the individual user.

Recommended Machines
Aureus, Apollo, Desktop XL, Perfactory® 3 Mini Multi-Lens, Perfactory® 4 Standard, Perfactory® 4 Mini, Perfactory® 4 Mini XL

Applications
Aerospace, Animation and Entertainment, Architecture and Art, Automotive, Consumer Packaged Goods, Education, Electronics, Jewelry, Manufacturing, Sporting Goods, Toys

<http://envisiontec.com/3d-printing-materials/perfactory-materials/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – materijali

- ❑ biokompatibilni (dentalna primjena)

DIGITALWAX® D Materials

Temporis® is a class IIA light curable material range for the fabrication of long-term temporary crowns and bridges. In order to meet esthetic and functional requirements, Temporis® materials are available in different shades and they can be trimmed, shaped and polished. For a perfect customization it can be layered with light curable composites and personalized with light-curing stains.

Technical characteristics of the liquid material	
Environmental values for use	22°C – 27°C – max. RH 40%-60%
Appearance/colour	liquid - 6 shades available
Viscosity	2000 – 3000 (mPa • s / 25 °C)

Technical characteristics of the material parts after UV post-curing	
Hardness (Shore D)	92
Flexural Strength (MPa)	93
Compressive Strength (MPa)	290
Flexural Modulus (MPa)	2700
Ball Hardness (MPa)	129
Water absorption (µg/mm³)	22
Water solubility (µg/mm³)	< 1.2
Application/Use	Long-term provisionals



<http://www.3dsolutions.fr/en/dws/49-digitalwax-d.html>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- ❑ vizualizacija / konceptijski modeli
- ❑ funkcionalni dijelovi (ispitivanje funkcije)
- ❑ ispitivanje sklopova
- ❑ konačni proizvodi
- ❑ privremeni kalupi (pramodeli ili izravno printani kalupi)
- ❑ ...

<http://manufacturing.materialise.com/stereolithography-materials-datasheets>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- vizualizacija – tehnička primjena



<http://wb-3d.com/physical-prototyping/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- vizualizacija - medicinska primjena



<https://3dprint.com/44173/3d-printed-anatomy-models/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- vizualizacija - umjetnost



<https://www.pinterest.com/pin/14918242494484664/>

FSB

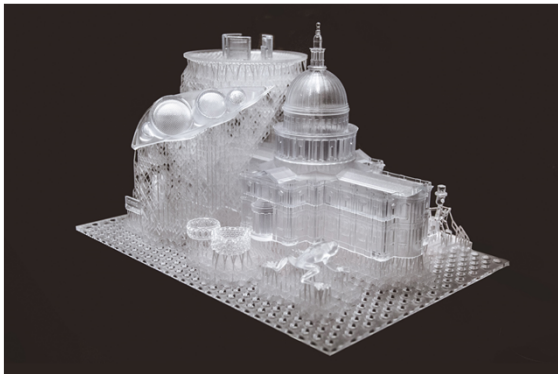
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- vizualizacija - arhitektura



<http://software.materialise.com/e-stage>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- vizualizacija - zabava



https://de.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_architectural_modeling

FSB

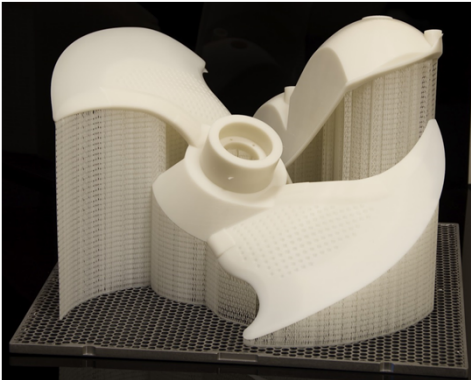
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- konceptijski model



<http://3drapidpro.blogspot.hr/2012/05/twi-3d-systems-and-new-projet-7000.html>

FSB

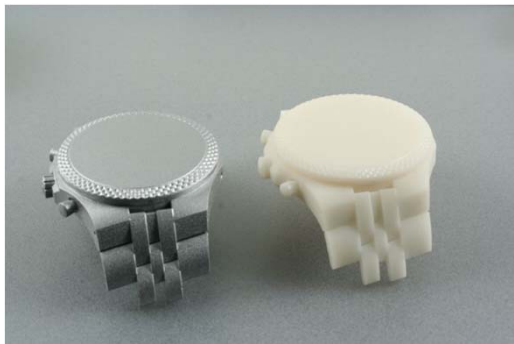
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- konceptijski model



<http://www.proform.ch/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- ispitivanje funkcije/sklopa



FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- ispitivanje funkcije/sklopa



<http://www.incodema3d.com/stereolithography-sla/sla-applications>

FSB

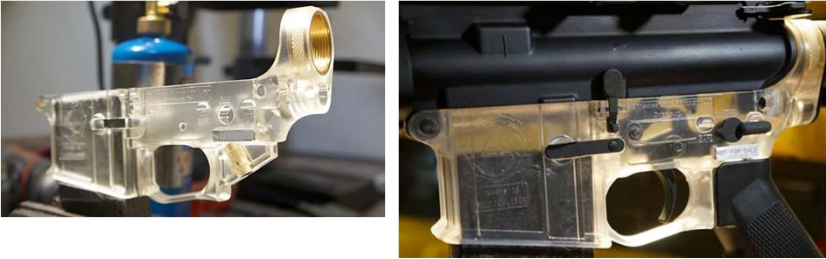
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- ispitivanje funkcije/sklopa



<http://www.maxprotactical.com/>

FSB

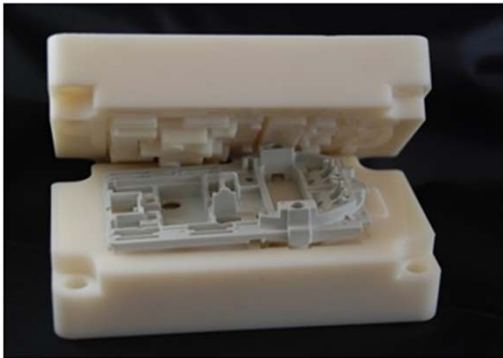
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- printani kalup



<http://omnexus.specialchem.com/news/industry-news/tools-made-of-dsm-somos-perform-via-3d-printing-offer-best-results-000182913>

FSB

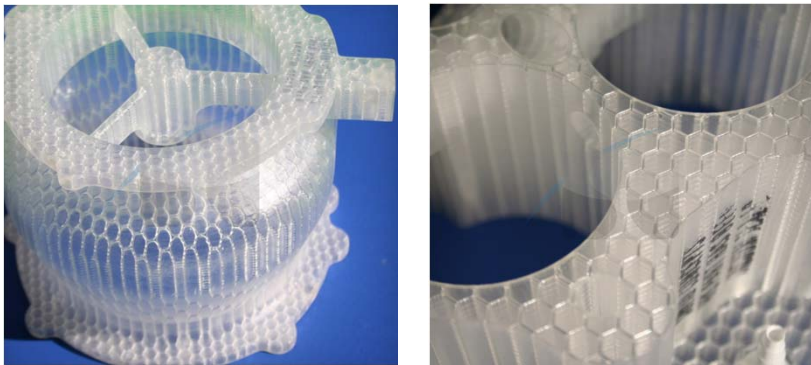
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- jezgre za ljevačke kalupe (taljive jezgre)



<http://paradigm3d.com/technologies-quickcast-2/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- jezgre za ljevačke kalupe (taljive jezgre)



<http://www.uni.edu/~rao/rt/casting.htm>

FSB

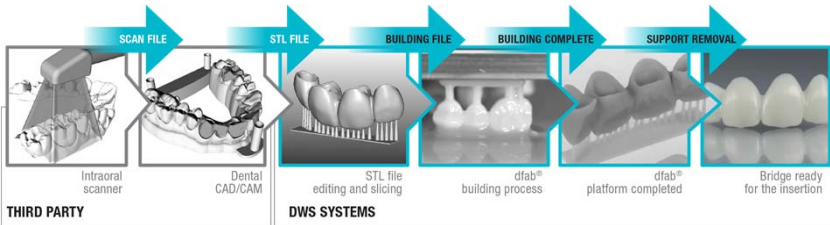
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – na temelju stereolitografije

Stereolitografija – primjeri primjene

- konačni proizvodi (dental)



THIRD PARTY **DWS SYSTEMS**

<http://www.dwsystems.com/printers/dental-lab-clinic>

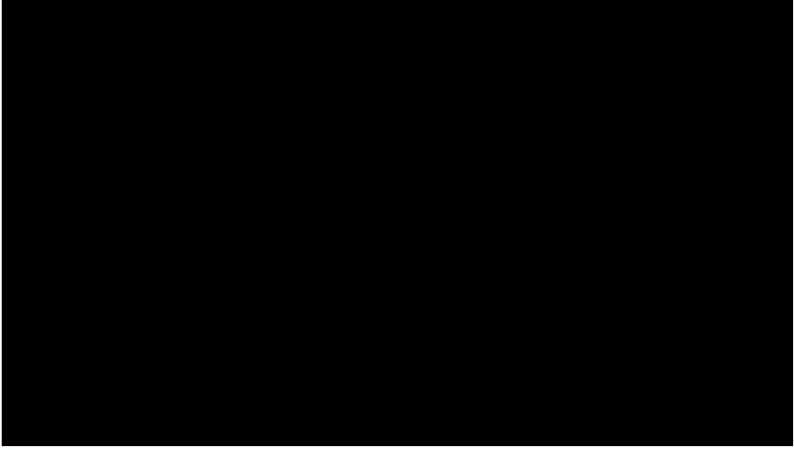
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Prerada keramike temeljena na litografiji



<https://www.youtube.com/watch?v=L95qa-MUfds>

FSB

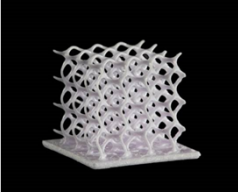
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – na temelju stereolitografije

Prerada keramike temeljena na litografiji

- ❑ fotoosjetljivi polimer - suport (vezivo za keramiku)
- ❑ fotolitografija polimernog veziva
- ❑ debljina sloja 25 do 100 μm
- ❑ naknadna obrada
 - ❑ uklanjanje veziva
 - ❑ srašćivanje (konačna gustoća)




<http://www.lithoz.com/en/technology/lcm%E2%80%9393technology>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – načela

Patent 1988.
 (Objet Geometries, Izrael)
 → Unaprjeđeni SL postupak (brzina)
 Načelo: **printanje kapljevito polimera i njegova fotopolimerizacija s pomoću izvora UV svjetla**
 Materijali: **foto-osjetljivi akrilati (smole - kapljevine)**
 Točnost/debljina sloja: **0,014 do 0,032 mm**

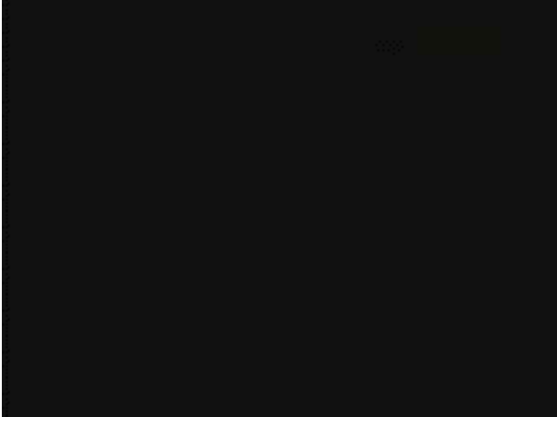
 

Centar za aditivne tehnologije 

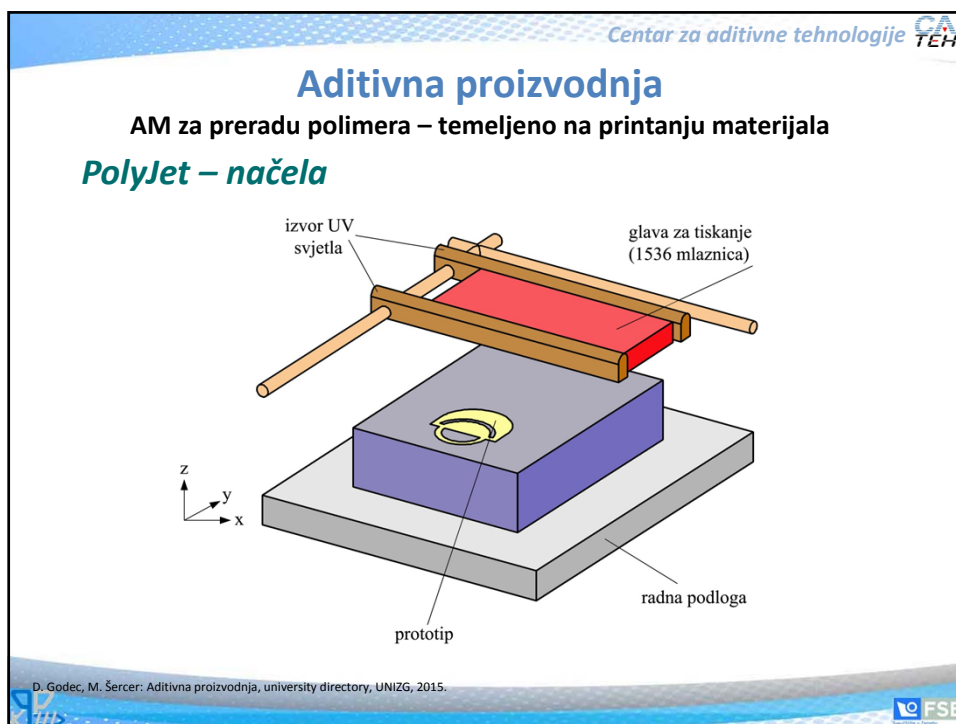
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – načela





Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – karakteristike

- ❑ printanje u X-Y ravnini (jednog ili više proizvoda istodobno)
- ❑ primjena treće osi nije moguća (kapljeviti materijal)
- ❑ potreban suport (moguća primjena topivog suporta)
- ❑ kombinacija 3D printanja i mikro glodanja
- ❑ visoki troškovi materijala
- ❑ višekomponentno/višebojno (puna CMYK skala) printanje

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – načela

i.materialise
presents

PolyJet™ Technology

by
Objet Geometries Ltd.

https://i.materialise.com/

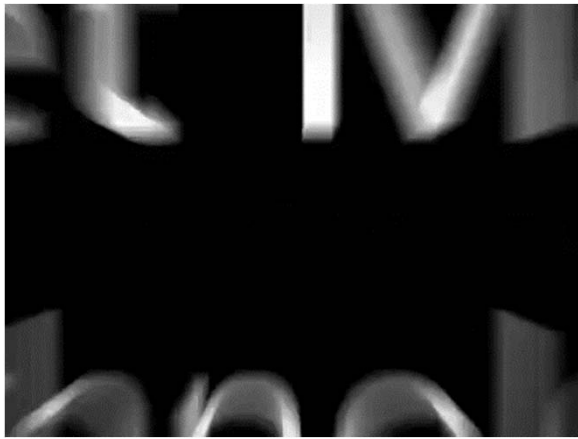


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet Matrix (od 2009.) – načela



<https://www.youtube.com/watch?v=nRM5enqD4x4>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet Matrix - 3D printing u punoj skali boja – J750



<https://www.youtube.com/watch?v=M9IVNVaV0tg>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – printeri

Podijeljeni u segmente prema primjeni

- ❑ Design serija
- ❑ Production serija
- ❑ Dental serija



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – printeri

Podijeljeni u segmente prema primjeni

- ❑ Design series

Mid-range 3D printers for single or multi-material models.



Objet Eden260VS
Build precise single-material models with great efficiency.



Objet24
3D print white models.

Advanced 3D printer for multi-material models.



Objet260 Connex3
Create in color with 1000+ materials.



Objet30
Create models in 5 colors.



Objet30 Pro
Produce specialty models.



Objet30 Prime
Build flexible or specialty models.

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – printeri

Podijeljeni u segmente prema primjeni

- Production series



Connex3

Build in color with 1000+ materials.

▶



Objet1000 Plus

3D print industrial-sized, multi-material parts.

▶



Stratasys J750

The ultimate full-color, multi-material 3D printer.

▶

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – printeri

Podijeljeni u segmente prema primjeni

- Dental series



Objet30 OrthoDesk

Affordable digital dentistry for practices and labs

▶



Objet260 and Objet500 Dental Selection

Lifelike models in an efficient system

▶



Objet30 Dental Prime

Precision and speed in a compact size

▶



Objet Eden260VS Dental Advantage

Throughput for growing labs

▶

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – materijali

Preko 200 različitih materijala (akrilne smole) - digitalni materijali

- ❑ PolyJet materijali
- ❑ PolyJet digitalni materijali
- ❑ PolyJet materijali u boji
- ❑ biokompatibilni (dentalni) materijali
- ❑ suportni materijali
- ...



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – materijali

Basic PolyJet materijali

- ❑ Digital ABS
- ❑ Visoko temperaturni materijal (RGD525)
- ❑ Prozirni (RGD720)
- ❑ VeroClear (prozirni)
- ❑ Vero materijali (kruti mliječni)
- ❑ DurusWhite /Rigur (oponašaju PP)
- ❑ TangoBlack/TangoBlack +/Tango Gray (oponašaju elastomere)
- ❑ dentalni materijali
- ❑ suportni materijali ...

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – materijali

RIGID OPAQUE MATERIALS					
VEROGRAY RGD850, VEROBLOCKPLUS RGD875, VEROWHITEPLUS RGD835, VEROYELLOW RGD836, VEROCYAN RGD841, VEROMAGENTA RGD851					
	ASTM	UNITS	METRIC	UNITS	IMPERIAL
Tensile strength	D-638-03	MPa	50-65	psi	7250-9450
Elongation at break	D-638-05	%	10-25	%	10-25
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2000-3000	psi	290,000-435,000
Flexural Strength	D-790-03	MPa	75-110	psi	11000-16000
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2200-3200	psi	320,000-465,000
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	45-50	°F	113-122
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	45-50	°F	113-122
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	20-30	ft lb/inch	0.375-0.562
Water Absorption	D-570-98 24hr	%	1.1-1.5	%	1.1-1.5
Tg	DMA, E=	°C	52-54	°F	126-129
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	83-86	Scale D	83-86
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	73-76	Scale M	73-76
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.17-1.18		
Ash content VeroGray, VeroWhitePlus	USP281	%	0.23-0.26	%	0.23-0.26
Ash content VeroBlackPlus	USP281	%	0.01-0.02	%	0.01-0.02

SIMULATED POLYPROPYLENE MATERIALS					
DURUS WHITE RGD430					
	ASTM	UNITS	METRIC	UNITS	IMPERIAL
Tensile strength	D-638-03	MPa	20-30	psi	2900-4350
Elongation at break	D-638-05	%	40-50	%	40-50
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	1000-1200	psi	145,000-175,000
Flexural Strength	D-790-03	MPa	30-40	psi	4350-5800
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	1200-1600	psi	175,000-230,000
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	37-42	°F	99-108
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	32-34	°F	90-93
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	40-50	ft lb/inch	0.749-0.937
Water Absorption	D-570-98 24hr	%	1.5-1.9	%	1.5-1.9
Tg	DMA, E=	°C	35-37	°F	95-99
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	74-78	Scale D	74-78
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	no data	Scale M	no data
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.15-1.17		
Ash content	USP281	%	0.10-0.12	%	0.1-0.12

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – materijali

DIGITAL ABS, GREEN (RGD5160-DM, RGD5161-DM) MADE OF RGD515 & RGD535 DIGITAL ABS, IVORY (RGD5130-DM, RGD5131-DM) MADE OF RGD515 & RGD531					
	ASTM	UNITS	METRIC	UNITS	IMPERIAL
Tensile strength	D-638-03	MPa	55-60	psi	8000-8700
Elongation at break	D-638-05	%	25-40	%	25-40
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2600-3000	psi	375,000-435,000
Flexural Strength	D-790-03	MPa	65-75	psi	9,500-11,000
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	1700-2200	psi	245,000-320,000
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	58-68	°F	136-154
HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure A	D-648-06	°C	82-90	°F	180-194
HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure B	D-648-06	°C	92-95	°F	198-203
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	51-55	°F	124-131
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	65-80	ft lb/inch	1.22-1.50
Tg	DMA, E=	°C	47-53	°F	117-127
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	85-87	Scale D	85-87
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	67-69	Scale M	67-69
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.17-1.18		

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet – materijali

RUBBER-LIKE MATERIALS

TANGOBLACKPLUS FLX980 AND TANGOPLUS FLX930

	ASTM	UNITS	METRIC	UNITS	IMPERIAL
Tensile strength	D-412	MPa	0.8-1.5	psi	115-220
Elongation at break	D-412	%	170-220	%	170-220
Compressive set	D-395	%	4-5	%	4-5
Shore Hardness (A)	D-2240	Scale A	26-28	Scale A	26-28
Tensile Tear resistance	D-624	Kg/cm	2-4	Lb/in	18-22
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.12-1.13		

TANGOBLACK FLX973

	ASTM	UNITS	METRIC	UNITS	IMPERIAL
Tensile strength	D-412	MPa	1.8-2.4	psi	115-350
Elongation at break	D-412	%	45-55	%	45-55
Compressive set	D-395	%	0.5-1.5	%	0.5-1.5
Shore Hardness (A)	D-2240	Scale A	60-62	Scale A	60-62
Tensile Tear resistance	D-624	Kg/cm	3-5	Lb/in	18-24
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.14-1.15		

TANGOGRAY FLX950

	ASTM	UNITS	METRIC	UNITS	IMPERIAL
Tensile strength	D-412	MPa	3-5	psi	435-725
Elongation at break	D-412	%	45-55	%	45-55
Compressive set	D-395	%	0.5-1.5	%	0.5-1.5
Shore Hardness (A)	D-2240	Scale A	73-77	Scale A	73-77
Tensile Tear resistance	D-624	Kg/cm	8-12	Lb/in	50-60
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.16-1.17		

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet Matrix – digitalni materijali

PRIMARY MATERIAL: VEROWHITEPLUS RGD835
SECONDARY MATERIAL: TANGOBLACKPLUS™ FLX980 / TANGOPLUS™ FLX930

PROPERTY	ASTM	UNITS	RGD8505-DM RGD8510-DM RGD8515-DM RGD8520-DM	RGD8525-DM RGD8425-DM (ONLY OBJET TANGOPLUS FLX930)
Tensile strength	D-638-03	MPa	40-60	35-45
Elongation at break	D-638-05	%	15-25	20-30
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	1700-2300	1400-2000
Flexural strength	D-790-03	MPa	55-75	45-60
Flexural modulus	D-790-04	MPa	1500-2500	1400-1800
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	40-45	40-43
Izod notched impact	D-256-06	J/m	22-35	22-35
Shore hardness (D)	D2240-05	Scale D	81.1-85.5	79.5-83.5

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet Matrix – materijali u boji (3. generacija)

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet Matrix – materijali u boji (4. generacija J750)

- puna CMYK i RGB skala boja

<https://proto3000.com/news/2016/04/21/3dprinting/Stratasys-J750-multi-colour-multi-material-full-color-professional-3d-printer>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- prototipovi/vizualizacija



<http://www.stratasys.com/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- prototipovi/vizualizacija



<http://www.stratasys.com/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- vizualizacija



<https://interpromodels.com/services/polyjet/1>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- alatničarstvo (injekcijsko prešanje)



http://www.smg3d.co.uk/polyjet_injection_molds

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- alatničarstvo (puhanje)



<http://www.stratasys.com/solutions/additive-manufacturing/tooling/blow-molding>

FSB

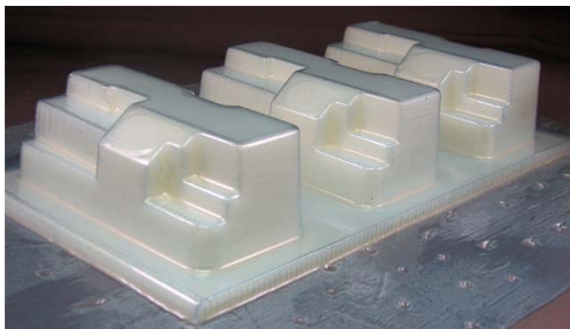
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- alatničarstvo (toplo oblikovanje)



<https://www.stratasysdirect.com/blog/fdm-thermoforming-molds/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- dental



<http://www.stratasys.com/de/materialien/polyjet/dental-material>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

- dental



<http://www.stratasys.com/de/materialien/polyjet/dental-material>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

PolyJet (Matrix) – primjena

□ umjetnost



<https://www.partsnap.com/tag/3d-printing/>

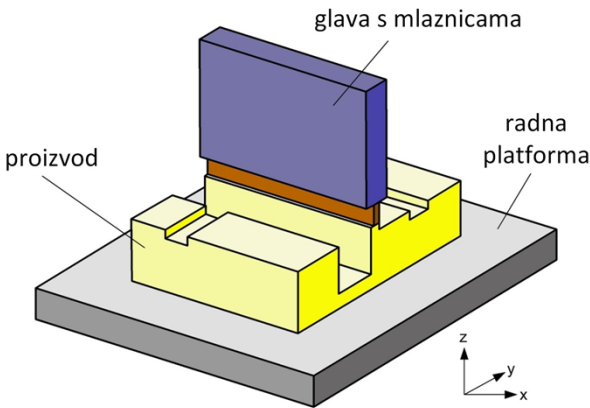
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na printanju materijala

MultiJet Modelling/Printing - MJM/MJP



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

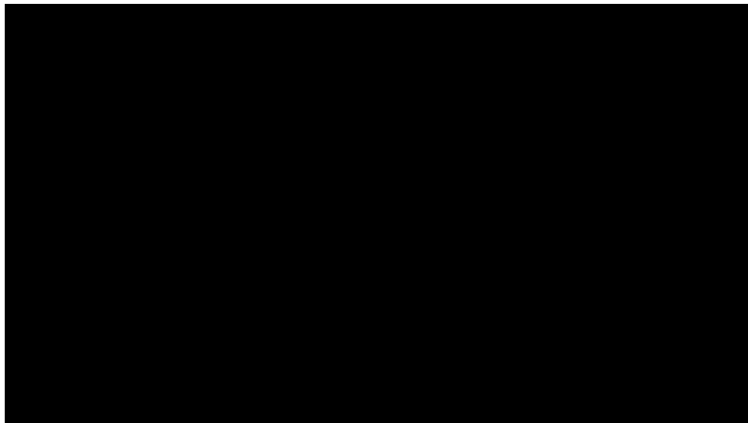
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

MultiJet – printer ProJet 5500 X



<https://www.youtube.com/watch?v=vWs3AKU5i3U>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na printanju materijala

MultiJet Modelling/Printing - MJM/MJP

- ❑ fotoosjetljivi polimer
- ❑ vosak (jezgre za ljevačke kalupe – taljive jezgre)



<https://www.shapeways.com/forum/t/new-maker-material-castable-wax.19442/>

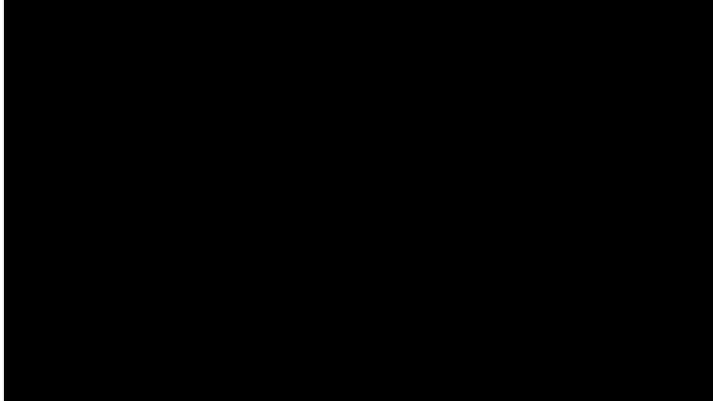
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Laser Sintering



<https://www.youtube.com/watch?v=Tsk-24UYfs0>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective laser sintering (SLS)

Patent 1986.
(Carl Deckard, DTM, today 3D Systems, USA)

Načelo: srašćivanje materijala s pomoću lasera

Materijali: plastika (PA, PC, PS, PEEK ...), metali (čelik, aluminij, titan, zlato, kobalt-krom,...), keramika i mješavine materijala (gradivni materijal i vezivo)

Točnost/debljina sloja: do 0,05 mm

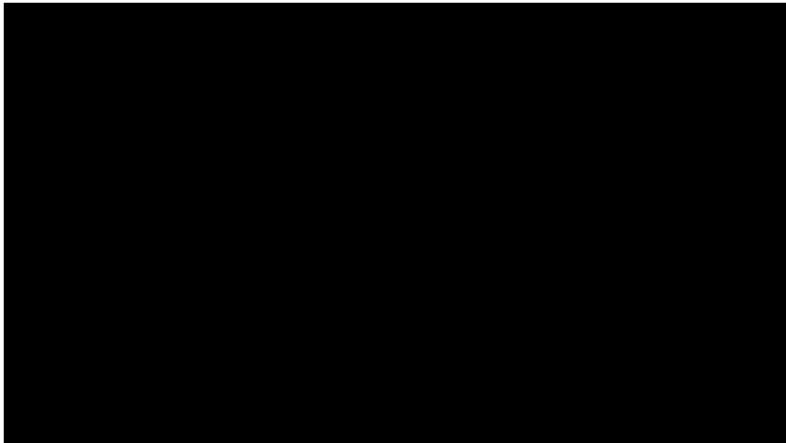
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Laser Sintering



https://www.youtube.com/watch?v=9E5Mf8AV_tA

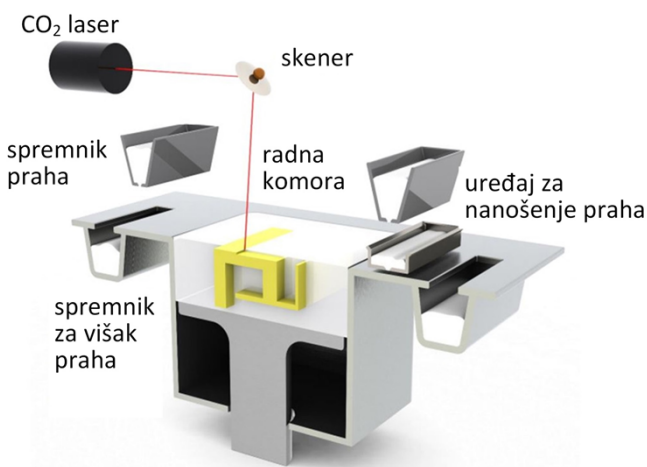
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Laser Sintering - načela



CO₂ laser

skener

spremnik praha

radna komora

uređaj za nanošenje praha

spremnik za višak praha

<http://www.3dprinting-iot.com/wp-content/uploads/2015/06/3d-printing-technologies-powder-bed-fusion.jpg>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Laser Sintering – načela (suport)

<http://www.3dprinting-iot.com/wp-content/uploads/2015/06/3d-printing-technologies-powder-bed-fusion.jpg>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Laser Sintering

Značajke

- ❑ tehnologija temeljena na preradi praškastog materijala
- ❑ mogućnost primjene čitavog radnog volumena printera (Z os)
- ❑ za većinu materijala/primjena suportna struktura nije nužna
- ❑ debljina sloja (0,05 do 0,3 mm) (najčešće 0,1 mm)

<https://www.partsnap.com/tag/3d-printing/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - karakteristike

Prednosti

- ❑ široki izbor praškastih materijala (sve što je moguće sinterirati)
- ❑ polimeri, metali, keramike
- ❑ moguća proizvodnja finalnih dijelova/prototipova u originalnom materijalu
- ❑ suportne strukture uglavnom nisu potrebne
- ❑ moguće printanje u čitavom volumenu radne komore
- ❑ većina neiskorištenog materijala može se ponovo koristiti

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - karakteristike

Nedostaci

- ❑ relativno niska kvaliteta površine (hrapavost) ($R_a \cong 8 \mu\text{m}$)
- ❑ prerada pri višim temperaturama - hlađenje/deformacija proizvoda (npr. 170 °C za PA)
- ❑ dugo vrijeme hlađenja velikih proizvoda (vrijeme hlađenja može biti isto ili dulje od vremena izrade)
- ❑ nije moguća izrada proizvoda u boji (potrebna naknadna obrada bojanja)
- ❑ proizvodi su porozni

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

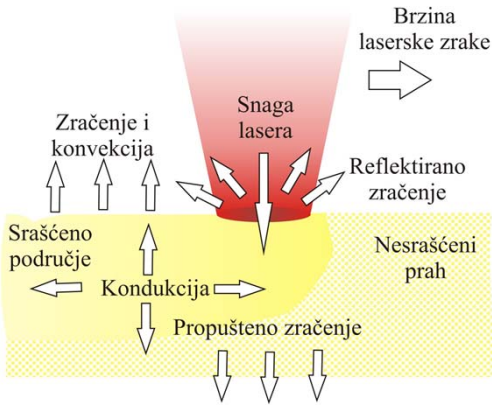
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

Postupak SLS

Utjecaj laserske zrake na materijal

- ❑ Laserska zraka osim taljenja novih čestica mora istodobno povezati taj novi sloj s već postojećim
- ❑ Zbog različitih debljina slojeva i vrsta materijala potrebno je osigurati odgovarajuću gustoću energije *ED* da bi došlo do taljenja čestica praha



A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

SLS – parametri postupka

Najvažniji parametri postupka SLS (podešavaju se posebno za konturu i unutrašnjost (jezgru) tvorevine)

- ❑ snaga lasera
- ❑ brzina laserske zrake – brzina skeniranja (e. *scanning speed*)
- ❑ promjer laserske zrake
- ❑ razmak između putanje laserske zrake (e. *hatching distance*)
- ❑ pomak laserske zrake
- ❑ kompenzacija brzine laserske zrake (e. *skywriting*)
- ❑ temperatura materijala i radne komore

A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

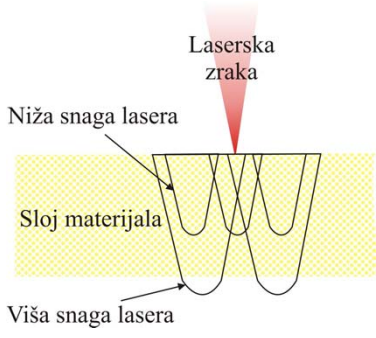
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

SLS – parametri postupka

Snaga lasera (W)

- ❑ Snaga lasera ovisi o vrsti materijala i debljini sloja
- ❑ Laserska zraka tali nešto veći sloj praha i to svaki put u svakom sloju
- ❑ Potrebno je podesiti odgovarajuću snagu za debljinu sloja da ne dođe do prevelikog sraščivanja
- ❑ Prilikom izrade konture snaga je nešto manja (za 5 W) u odnosu na snagu tijekom izrade jezgre sloja



A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

SLS – parametri postupka

Brzina laserske zrake (e. Laser beam speed) (mm/s)

- ❑ Kontura se izrađuje s nižom brzinom, a jezgra s višom brzinom
- ❑ Promjenom brzine mijenja se:
 - ❑ Unos energije u materijal
 - ❑ Vrijeme izrade
 - ❑ Kvaliteta gotove tvorevine

A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

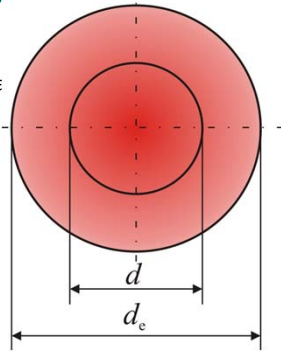
Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – postupak SLS

SLS – parametri postupka

Promjer laserske zrake (e. Laser beam diameter) (mm)

- Promjer područja u kojem se čestice sraščuju d_e veći je od fizikalnog promjera d
 - Fizikalni promjer (d)
 - Efektivni promjer sraščivanja (d_e)
- Promjer se predstavlja kao krug, no stvaran izgled ovisi o x i y zakretanju skenirajućeg zrcala
- Efektivni promjer sraščivanja konture različit je od efektivnog promjera jezgre $d_{ek} \neq d_{ej}$



A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

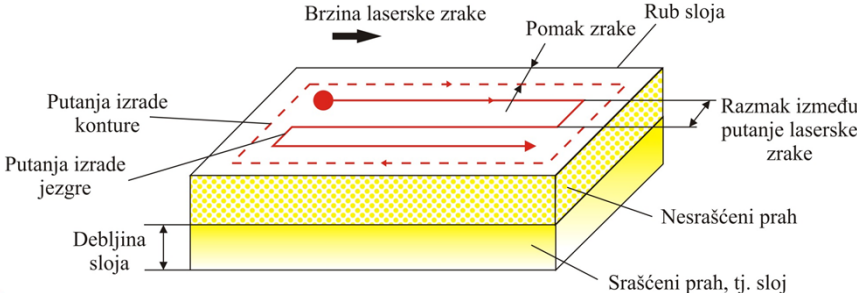
Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – postupak SLS

SLS – parametri postupka

Razmak između putanje laserske zrake (e. Laser beam hatching distance) (mm)

- Ako je razmak veći od promjera laserske zrake između prolaza lasera ostaje nesraščeni materijal



A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

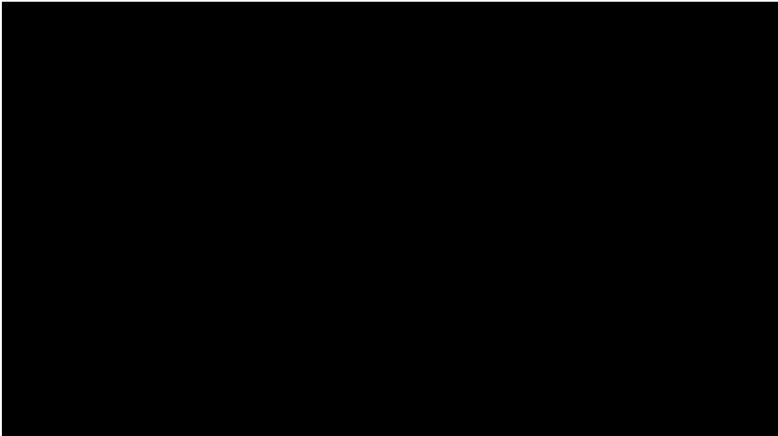
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

SLS - printanje, vađenje iz printera, čišćenje



<https://www.youtube.com/watch?v=OfjBh9-YZeE>

FSB

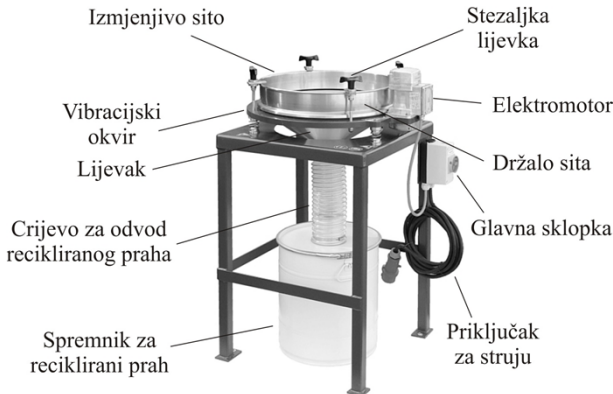
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

SLS – recikliranje materijala

Prosijavanje nesrašćenog praha



Izmjenjivo sito

Stezaljka lijevka

Vibracijski okvir

Elektromotor

Lijevak

Držalo sita

Crijevo za odvod recikliranog praha

Glavna sklopka

Spremnik za reciklirani prah

Priključak za struju

A. Pilipović: Doktorski rad, UNIZG, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – postupak SLS

SLS – recikliranje materijala
Regeneracija praha (preporuka - EOS)

$\text{novi prah (kg)} = \text{reciklirani prah (kg)} \times \text{faktor regeneracije}$

Udio regenerata, %	Faktor regeneracije
10	0,11
20	0,25
30	0,43
40	0,67
50	1,0
60	1,5
70	2,33
80	4,0

A. Pilipović: PhD Thesis, UNIZG, 2012.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

- prahovi veličine čestica: 20 do 90 μm
- PA12, PA11
- PS
- PEBA (TPE)
- PEAK
- PA 12 (Al-punjeni, Cu-punjeni)
- keramike, metali, mješavine metala



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

□ PA12

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Izod Impact notched (23°C)	4.4	kJ/m²	ISO 180/1A
Shore D hardness (15s)	75	-	ISO 868

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modeling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	1650	MPa	
Y Direction	1650	MPa	
Z Direction	1650	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	48	MPa	
Y Direction	48	MPa	
Z Direction	42	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	18	%	
Y Direction	18	%	
Z Direction	4	%	
Charpy impact strength (+23°C, X Direction)	53	kJ/m²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C, X Direction)	4.8	kJ/m²	ISO 179/1eA
Flexural Modulus (23°C, X Direction)	1500	MPa	ISO 178

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	163	°C	ISO 306
Burning behavior			UL 94
Test passed, HB	0.5	mm	
Test passed, HB	1.6	mm	
Test passed, HB	3.2	mm	

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

□ PA12-GF

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Izod Impact notched (23°C)	4.2	kJ/m²	ISO 180/1A
Izod Impact unnotched (23°C)	21	kJ/m²	ISO 180/1U
Shore D hardness (15s)	80	-	ISO 868
Ball indentation hardness	98	MPa	ISO 2039-1

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modeling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	3200	MPa	
Y Direction	3200	MPa	
Z Direction	2500	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	51	MPa	
Y Direction	51	MPa	
Z Direction	47	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	9	%	
Y Direction	9	%	
Z Direction	5.5	%	
Charpy impact strength (+23°C, X Direction)	35	kJ/m²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C, X Direction)	5.4	kJ/m²	ISO 179/1eA
Flexural Modulus (23°C, X Direction)	2900	MPa	ISO 178
Flexural Strength (X Direction)	73	MPa	ISO 178
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
1.80 MPa, X Direction	96	°C	
0.45 MPa, X Direction	157	°C	

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
1.80 MPa	96	°C	
0.45 MPa	157	°C	
Vicat softening temperature			ISO 306
50°C/h 10N	179	°C	
50°C/h 50N	166	°C	

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

□ PA12-CF

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modelling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	6100	MPa	
Y Direction	3400	MPa	
Z Direction	2200	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	72	MPa	
Y Direction	56	MPa	
Z Direction	25	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	4.1	%	
Y Direction	6.3	%	
Z Direction	1.3	%	
Charpy impact strength			ISO 179/1eU
+23°C, X Direction	20.5	kJ/m ²	
+23°C, Y Direction	27.5	kJ/m ²	
+23°C, Z Direction	5.5	kJ/m ²	
Charpy notched impact strength			ISO 179/1eA
+23°C, X Direction	5.3	kJ/m ²	
+23°C, Y Direction	4.4	kJ/m ²	
+23°C, Z Direction	2.1	kJ/m ²	
Volume resistivity			IEC 60093
X Direction	0.0463	Ohm*m	
Y Direction	0.107	Ohm*m	
Z Direction	3.08	Ohm*m	
Thermal properties			
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Other properties			
Density (laser sintered)	1040	kg/m ³	EOS Method

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

□ PrimeCast (PS)

The typical application for PrimeCast 101 is the production of lost patterns for the plaster and ceramic shell casting process. The material is optimised for minimum residue ash content after burning-out. Another application for PrimeCast 101 is the production of master patterns for vacuum casting, hereby it is advised to infiltrate the parts with e.g. epoxy resin.

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	1600	MPa	ISO 527-1/-2
Tensile Strength	5.5	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	0.4	%	ISO 527-1/-2
Thermal properties			
Glass transition temperature (10°C/min)	105	°C	ISO 11357-1/-2
Decomposition Temperature	229 - 555	°C	DIN 51006
Other properties			
Density (laser sintered)	770	kg/m ³	EOS Method

Characteristics

Processing
Laser Sintering, Rapid Prototyping

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

□ PrimePartST (PEBA)

Typical applications of the material are fully functional, flexible plastic parts of highest quality. Due to the excellent mechanical properties the material is often used as a production material for long term use. The rubber-like fatigue behaviour qualifies Prime Part® ST (PEBA 2301) as excellent prototyping and series material.

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Shore D hardness (15s)	35	-	ISO 868

SD Data	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	75	MPa	
Y Direction	75	MPa	
Z Direction	80	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	8	MPa	
Y Direction	8	MPa	
Z Direction	7	MPa	
Strain at break			ISO 527-1/-2
X Direction	200	%	
Y Direction	200	%	
Z Direction	70	%	

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	150	°C	ISO 11357-1/-3

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density (laser sintered)	950	kg/m³	EOS Method
Powder colour (ac. to safety data sheet)	White	-	-
Colour of the components	Natural Colour	-	-

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Polimeri

□ PEEK HP3 (PEAK)

Due to this exceptional combination of properties EOS PEEK HP3 is optimally suited for highest demanding applications e.g. in medicine, aerospace industry or motorsports. In medical applications the outstanding properties make this material an ideal replacement for stainless steel and titanium. And in aerospace and in motorsports where light weight and fire resistance are of largest importance, EOS PEEK HP3 has developed to an adequate metal replacement.

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	4250	MPa	ISO 527-1/-2
Tensile Strength	90	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	2.8	%	ISO 527-1/-2

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	372	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	165	°C	ISO 75-1/-2

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density (laser sintered)	1310	kg/m³	EOS Method

Characteristics				
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> Processing Laser Sintering, Rapid Prototyping </td> <td style="vertical-align: top;"> Chemical Resistance General Chemical Resistance, Hydrolytically Stable </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Special Characteristics Heat stabilized or stable to heat </td> </tr> </table>	Processing Laser Sintering, Rapid Prototyping	Chemical Resistance General Chemical Resistance, Hydrolytically Stable	Special Characteristics Heat stabilized or stable to heat	
Processing Laser Sintering, Rapid Prototyping	Chemical Resistance General Chemical Resistance, Hydrolytically Stable			
Special Characteristics Heat stabilized or stable to heat				

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali

Mješavina polimera i metala

- Alumide

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Shore D hardness (15s)	76	-	ISO 868

3D Data	Value	Unit	Test Standard
The properties of parts manufactured using additive manufacturing technology (e.g. laser sintering, stereolithography, Fused Deposition Modeling, 3D printing) are, due to their layer-by-layer production, to some extent direction dependent. This has to be considered when designing the part and defining the build orientation.			
Tensile Modulus			ISO 527-1/-2
X Direction	3800	MPa	
Y Direction	3800	MPa	
Tensile Strength			ISO 527-1/-2
X Direction	48	MPa	
Y Direction	48	MPa	
Strain at break (X Direction)	4	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength (+23°C, X Direction)	29	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C, X Direction)	4.6	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Flexural Modulus (23°C, X Direction)	3600	MPa	ISO 178
Flexural Strength (X Direction)	72	MPa	ISO 178
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
1.80 MPa, X Direction	144	°C	
0.45 MPa, X Direction	175	°C	
Volume resistivity (X Direction)	3E12	Ohm*m	IEC 60093

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
1.80 MPa	144	°C	
0.45 MPa	175	°C	
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	169	°C	ISO 306

Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity			IEC 60250
100Hz	13	-	
1MHz	10	-	
Dissipation factor (1MHz)	180	E-4	IEC 60250
Surface resistivity	5E14	Ohm	IEC 60093
Electric strength	0.1	kV/mm	IEC 60243-1

<https://www.eos.info/material-p>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

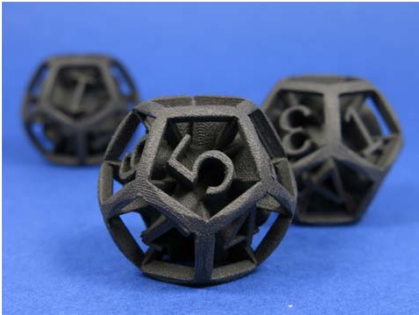
Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali & primjena

Polimeri

- PA 12 proizvod - (konceptijsko modeliranje, vizualizacija - razno)

<http://www.farbeundlack.de/Markt-Branche/Unternehmen-und-Maerkte/3D-Druck-Evonik-wird-Partner-von-HP-Inc.-s-offener-Entwicklungsplattform>

<https://www.sculpteo.com/blog/2016/06/15/solid-black-plastic-now-available/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali & primjena

Polimeri

- PA 12 proizvod - (koncept, konačni proizvod - moda)



http://www.theregister.co.uk/2011/06/07/3d_printer_prints_bikini/

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali & primjena

Polimeri

- PEAK (vizualizacija, konačni proizvod - medicina)



<https://drukarki3d.pl/materialy/sls/eos-peek-hp3/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali & primjena

Polimeri

- PA12-Al punjeni –Alumide (konačni proizvod - moda)



<http://ult3d.com/ultimate-3d-printing-blog/ultimate-3d-now-printing-alumide/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

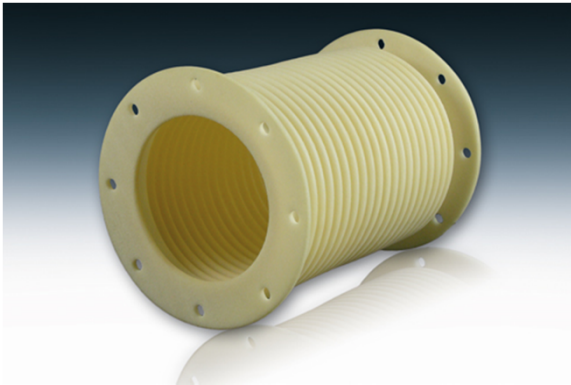
Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali & primjena

Polimeri

- PEBA (konačni proizvod - tehnika)



https://www.eos.info/news_events/newsletter/edition_04_2010

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - materijali & primjena

Polimeri

- PS (taljiva jezgra - alatničarstvo)



<https://drukarki3d.pl/materialy/sls/primecast101/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - oprema

Uređaji

- EOS



<https://www.eos.info/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS – oprema

Uređaji

- EOS
- (M400-4)



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

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - oprema

Uređaji

- 3D Systems



polimeri



metali

<https://www.3dsystems.com/3d-printers/production/overview>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

SLS - oprema

Uređaji

- ▣ Sintratec (desktop SLS printer)




<https://www.sintratec.info>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Heat Sintering (SHS) - Blueprinter 3D

Načela

<https://www.youtube.com/watch?v=nHfKAwZ5s>

FSB

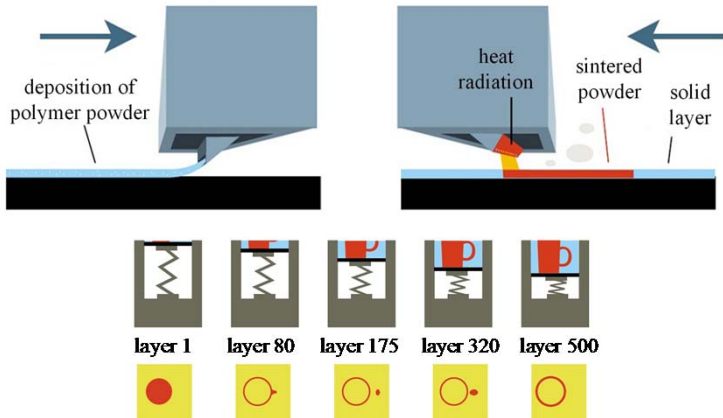
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Heat Sintering (SHS) - Blueprinter 3D

Načela



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala

Selective Heat Sintering (SHS) - Blueprinter 3D

Printer - Blueprinter 3D

- ❑ 0,10 mm debljina sloja
- ❑ 157 x 200 x 150 mm
- ❑ PA6



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

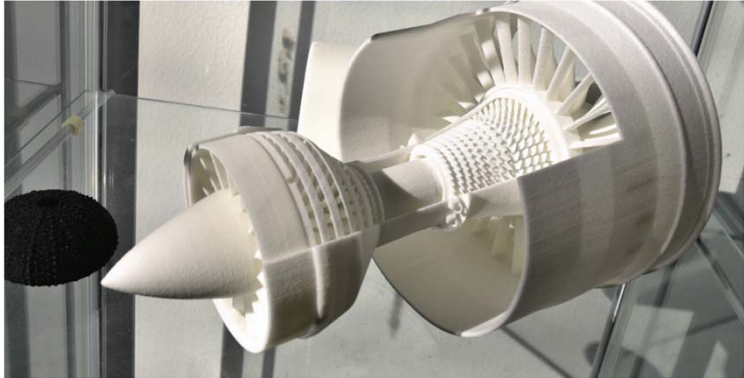
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala
Selective Heat Sintering (SHS) - Blueprinter 3D

Printani dijelovi



<http://blueprinter-powder-3dprinter.co.uk/about>

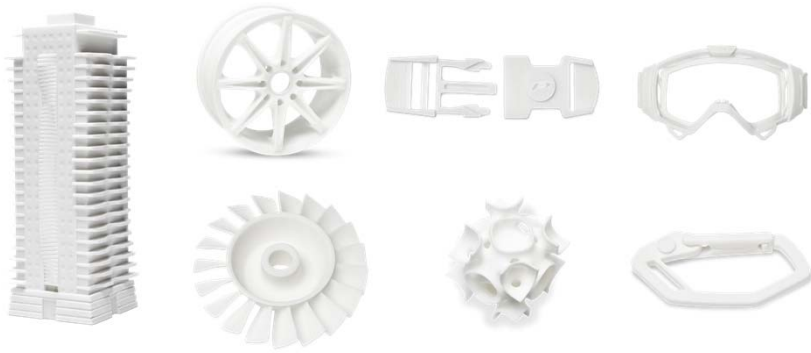
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – temeljeno na srašćivanju materijala
Selective Heat Sintering (SHS) - Blueprinter 3D

Printani dijelovi



<http://blueprinter-powder-3dprinter.co.uk/about>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3D tiskanje (3DP)

Patent 1988.
(MIT, SAD)

Načelo: tiskanje veziva na sloj praha

Materijali: polimeri, celuloza, šećer, metali, gips, pijesak, ...

Točnost/debljina sloja: do 0,1 mm

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

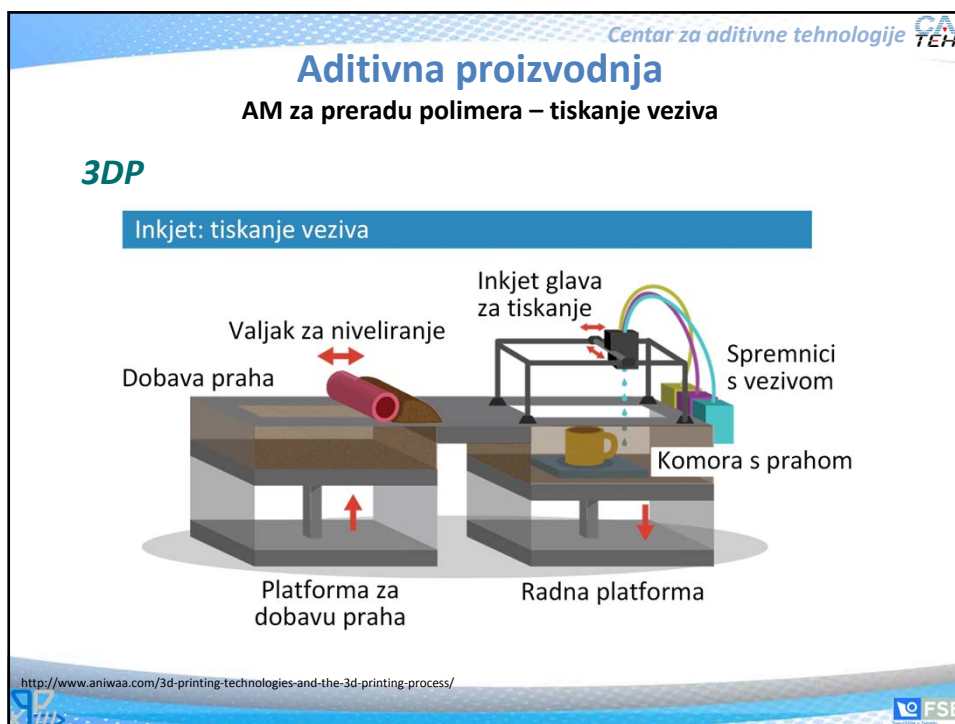
Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP

<https://www.youtube.com/watch?v=7QP73uTIApw>

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - prednosti

- ❑ mogućnost printanje dijelova u punoj RGB (red, green, blue) ili CMYK skali boje (cyan, magenta, yellow i black)
- ❑ velika brzina printanja (do ~4000 cm³/h)
- ❑ nije potrebna suportna struktura
- ❑ mala potrošnja energije
- ❑ neupotrebljeni materijal se može ponovo koristiti
- ❑ relativno niske cijene printera i materijala (u usporedbi sa SLS ili SLA procesima)
- ❑ vrlo brza izmjena materijala i veziva

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - nedostaci

- ❑ za veće dijelove dimenzijske tolerancije su lošije u usporedbi sa SLS ili SLA procesima
- ❑ nakon printanja dijelovi su vrlo krhki – potrebna naknadna obrada (npr. infiltracija ljepila)
- ❑ loša površinska hrapavost – dodatna obrada površine (npr. pjeskarenje)

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - materijali (mješavine - prah/vezivo)

- ❑ polimeri
 - ❑ PMMA
 - ❑ poliuretan (visoka čvrstoća i elastičnost)
- ❑ celuloza (za precizno lijevanje i elastične dijelove)
- ❑ gips
- ❑ šećer
- ❑ pijesak (za izravno lijevanje)
- ❑ metalni prahovi
- ❑ keramike

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - veziva

- ❑ epoksidna smola
- ❑ silika
- ❑ furan
- ❑ fenolna smola
- ❑ vinilni polimer
- ❑ voda

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - materijali

- ❑ 3D Systems - VisiJet PXL

MATERIAL	Condition	VisiJet PXL	VisiJet PXL	VisiJet PXL	VisiJet PXL
Infiltrant		ColorBond™	StrengthMax™	Salt Water Cure™	Wax
Composition		VisiJet PXL + One-part, fast acting adhesive infiltrant	VisiJet PXL + Two-part, high strength epoxy infiltrant	VisiJet PXL + Eco-friendly and safe salt and water infiltrant	VisiJet PXL + Eco-friendly and safe wax infiltrant
Tensile Strength*	ASTM D638	14.2 MPa	26.4 MPa	2.38 MPa	9.2 MPa
Elongation at Break*	ASTM D638	0.23 %	0.21 %	0.04 %	0.09 %
Flexural Strength*	ASTM D790	31.1 MPa	44.1 MPa	13.1 MPa	11.7 MPa
Flexural Modulus*	ASTM D790	7163 MPa	10680 MPa	6355 MPa	4833 MPa
Modulus of Elasticity*	ASTM D638	9450 MPa	12560 MPa	12855 MPa	22570 MPa
Description		Quick-cure infiltrant, ideal for color models to improve strength and color vibrancy. The most popular solution.	Two-part epoxy infiltrant, ideal for functional models to dramatically improve the strength.	For monochrome models only. Provides sufficient strength for safe handling and is very economical.	Ideal for fast, affordable, color models. Sufficient strength and smooth surface finish.

* Requires 24 hrs of drying time @ 100 °F (37.8 °C)

<http://www.3dprinterclassifieds.com/3d-printers/3d-systems-projet-660pro-wprobench-demo-unit-special/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- 3D Systems



<http://www.3dprinterworld.com/article/3d-systems-launches-projet-x60-line-3d-printers>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- 3D Systems - Pro JET 660Pro



<http://www.3dprinterclassifieds.com/3d-printers/3d-systems-projet-660pro-wprobench-demo-unit-special/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- VoxelJet - pijesak/PMMA
 - veliki printeri (VX200, VX500, VX1000, VX2000)
 - VX4000 – danas najveći 3D printer
 - posebna izvedba printera: VXC800 (kontinuirano printanje)
 - debljina sloja - 150-300 µm
 - naknadna obrada: hladni vosak, vrući vosak, infiltracija

<http://www.voxeljet.de/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - materijali

- VoxelJet - pijesak

MATERIAL FOR 3D PRINTERS: SAND

SAND	
Base material	Any standard raw silica sand
Binder-type	Phenolic binder
Bending strenght*	250-500 N/cm²
Loss on ignition*	Adjustable (2.5-3.3 weight %)
Especially suited for	Sandcasting
Advantages	Low emissions

*all values dependent on respective process parameters

TECHNICAL DATA SAND PARTS

Layer thickness	250-400 µm; Standard 250 µm
Resolution x, y	up to 300 dpi
Accuracy	± 0,1 % (min. ± layer thickness)

FEATURES SAND

- No sand pre-treatment needed
- No activator & mixer required
- Very easy to finish (dry process)
- Sand almost 100 % recyclable
- Castable with all current alloys
- Very good bending strength
- Adjustable binder content & infrared lamp
- Non-toxic binder

<http://www.voxeljet.de/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - materijali

□ VoxelJet - PMMA

MATERIAL FOR 3D PRINTERS: PLASTIC

PLASTIC		
Base material	PMMA particle material (55 µm)	PMMA particle material (85 µm)
Binder type	PolyPor B* (PPB)	PolyPor C (PPC)
Tensile strength	4.3 MPa	3.7 MPa
Yield point	1 %	1 %
Burn-out temperature	700 °C	600 °C
Residual ash content	< 0.3 %	< 0.02 %
Especially suited for	Investment casting	Investment casting, architectural models
Advantages	sharp edges; for highest accuracy and true-to-detail	dyeing; burns out very well

TECHNICAL DATA PLASTIC PARTS

Layer thickness	150-200 µm; Standard 150 µm
Resolution x, y	up to 600 dpi
Accuracy	± 0.4 % (min. ± layer thickness)

SUITABLE FINISHING TREATMENT

	Wax	Epoxy
Tensile strength	see Base material	up to 25 MPa
Softening temperature	73 °C	80 °C
Burn-out temperature	see Base material	-
Characteristics	smooth liquid-resistant surface	solid material, dyeable

FEATURES OF PLASTIC

- Can be used for prototypes, functional models or lost models
- Precise layering & high accuracy
- Components of any complexity
- Economical production in batch sizes of one as well as in series production
- Infinition in any color
- Perfect for Investment casting because of the base material PMMA

<http://www.voxeljet.de/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

□ VoxelJet - VX500




<http://www.voxeljet.de/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- VoxelJet - VX4000 – trenutno najveći industrijski 3D printer



<http://www.voxeljet.de/>

FSB

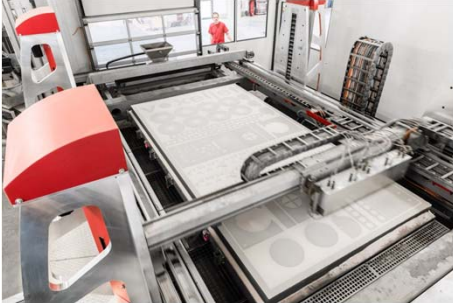
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- VoxelJet - VX4000



Technical data

DIMENSIONS AND WEIGHTS	
Dimensions LxWxH	20.000 x 7.800 x 4.000 mm
Installation space LxWxH	25.000 x 14.000 x 4.800 mm
Weight	–

PROCESS	
Build space LxWxH	4.000 x 2.000 x 1.000 mm
Print resolution x, y	600 dpi
Layer thickness	300 µm
Build speed	15,4 mm/h (=123 l/h)

<http://www.voxeljet.de/>

FSB

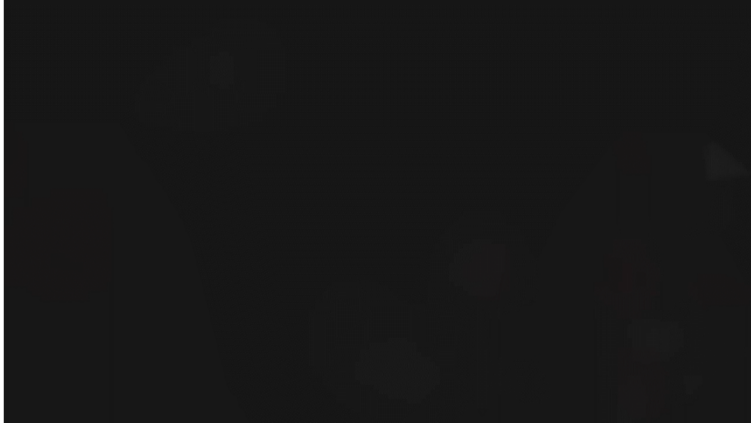
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- VoxelJet - VX4000



https://www.youtube.com/watch?v=2Kd7rmPrF_w

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- VoxelJet - VXC800



Technical data

DIMENSIONS AND WEIGHTS	
Dimensions LxWxH	4.000 x 2.800 x 2.200 mm
Installation space LxWxH	4.800 x 4.000 x 3.000 mm
Weight	2.500 kg

PROCESS	
Build space LxWxH	850 x 500 x 1.500/2.000 mm
Print resolution x, y	600 dpi
Layer thickness	300 µm
Build speed	35 mm/h (=18 l/h)

<http://www.voxeljet.de/>

FSB

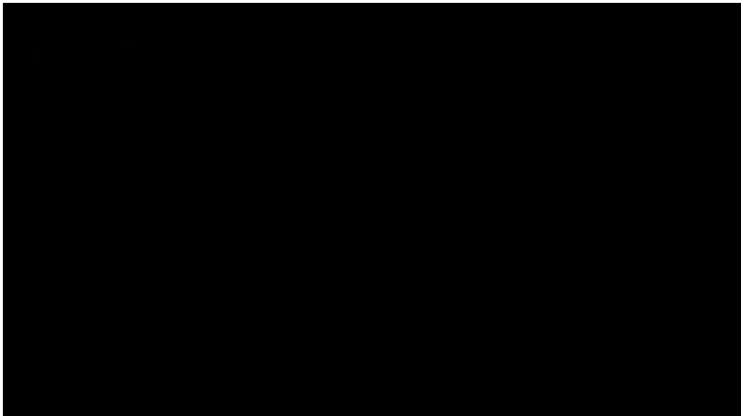
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- VoxelJet - VXC800 (kontinuirano printanje)



<https://www.youtube.com/watch?v=maO3Xx81mU>

FSB

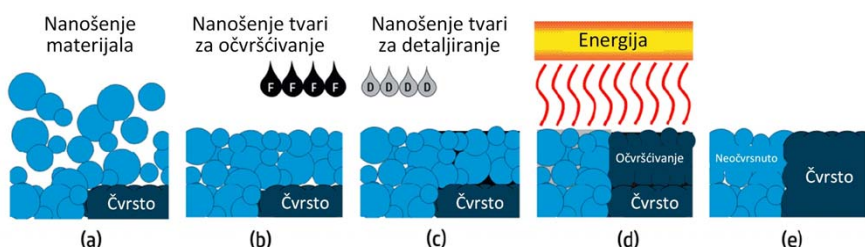
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - JetFusion

- HP - Jet Fusion (očvršćivanje nanošenjem višestrukih agensa)



The diagram illustrates the HP Jet Fusion process in five stages:

- (a) **Nanošenje materijala**: Deposition of material particles onto a solid base (**Čvrsto**).
- (b) **Nanošenje tvari za očvršćivanje**: Deposition of curing agent particles (represented by 'F' symbols) onto the material layer.
- (c) **Nanošenje tvari za detaljiranje**: Deposition of detail agent particles (represented by 'D' symbols) onto the material layer.
- (d) **Energija**: Application of energy (represented by red wavy lines) to the material layer, causing **Očvršćivanje** (curing) of the material.
- (e) **Neočvršnuto** and **Čvrsto**: The final state showing the cured material layer and the underlying solid base.

<http://www.4erevolution.com/en/hp-multi-jet-fusion/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - printeri

- HP - Jet Fusion
 - do 10-puta brži proces od SLS
 - dijelovi u punoj boji
 - dobra površinska svojstva



<https://h20435.www2.hp.com/t5/The-Shapes-of-Things-To-Come-The-Introducing-the-HP-Jet-Fusion-3D-Printing-Solution/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - printer

- HP - Jet Fusion



<https://www.youtube.com/watch?v=VXntI3ff5tc>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

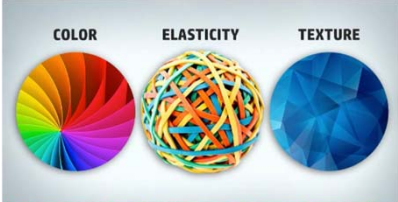
3DP - printeri

- HP - Jet Fusion

Technical specifications¹¹

HP Jet Fusion 3D 4200 Printer
HP Jet Fusion 3D 3200 Printer

Printer performance	Technology	HP Multi Jet Fusion technology
	Effective building volume	406 x 305 x 406 mm (16 x 12 x 16 in)
	Building speed	3200 Printer: 3500 cm ³ /hr (215 in ³ /hr) ¹² 4200 Printer: 4500 cm ³ /hr (275 in ³ /hr) ¹³
	Layer thickness	3200 Printer: 0.08 to 0.10 mm (0.003 to 0.004 in) 4200 Printer: 0.07 to 0.12 mm (0.0025 to 0.005 in)
	Print resolution (x, y)	1200 dpi
	Print resolution (z)	100 µm
Dimensions (w x d x h)	Printer	2178 x 1238 x 1448 mm (85.7 x 48.7 x 57 in)
	Shipping	2300 x 1325 x 1983 mm (91 x 52 x 78 in)
	Operating area	3700 x 3700 mm (146 x 146 in)
Weight	Printer	730 kg (1609 lb)
	Shipping	900 kg (1984 lb)




<https://4gnews.pt/hp-multi-jet-fusion-melhor-impressora-3d-feita-ate-agora/>
<http://www8.hp.com/us/en/pdf/printers/3d-printers/4AA6-4892ENA-P.pdf>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjeri

- HP - Jet Fusion

Future of HP Multi Jet Fusion: Color





<https://4gnews.pt/hp-multi-jet-fusion-melhor-impressora-3d-feita-ate-agora/>
<http://www8.hp.com/us/en/pdf/printers/3d-printers/4AA6-4892ENA-P.pdf>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjena

- ❑ izrada prototipova (vizualizacija)
- ❑ provjera sklopova
- ❑ konačni proizvodi
- ❑ izrada kalupa (od pijeska i gipsa)
- ❑ ...

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjena

- ❑ vizualizacija i ispitivanje sklopa (tehnička primjena)



<http://www.4dconcepts.de/3d-drucker/projet-x60-serie/zprinter-projet-360/>

FSB

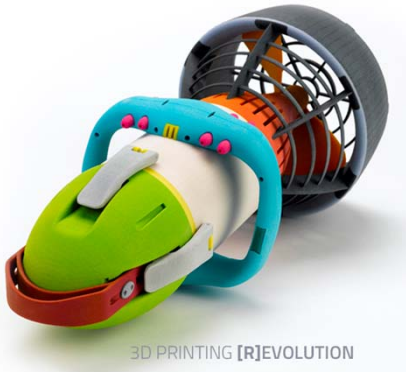
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjena

- vizualizacija i ispitivanje sklopa (tehnička primjena)



3D PRINTING [R]EVOLUTION

<http://3dproditive.com/en/material/polvo-ceramico>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjena

- vizualizacija (arhitektura)



<http://cdn2.hubspot.net/hub/63230/file-31787306-jpg/images/3d-printer-house-colors-by-creative-tools.jpg>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjena

- pješčani kalup



[http://www. http://www.voxeljet.de/](http://www.voxeljet.de/)

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – tiskanje veziva

3DP - primjena

- gipsani kalup



<http://depts.washington.edu/open3dp/2015/07/digi-fab-goes-to-pilchuck-glass-school/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

Laminiranje (LOM)

Patent 1988.
(Helsys Inc., SAD)

Načelo: **izrezivanje slojeva (CO₂ laser ili nož)**
i međusobno povezivanje

Materijali: **papir, plastika (PVC) i**
kompozitne folije, metali

Točnost/debljina sloja: **0,05 do 0,5 mm**

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

Laminiranje (LOM)

Layer-Laminated- Manufacturing

<https://www.youtube.com/watch?v=GUvnz0borAI>

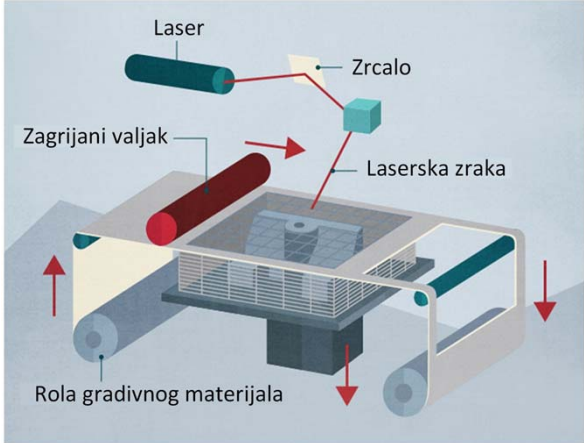


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

Laminiranje (LOM)



<http://itac.nyc/infographic-the-power-of-3d-printing-in-manufacturing-an-illustrated-guide/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - prednosti

- ❑ ekonomičniji postupak za veće proizvode (velika brzina izrade)
- ❑ relativno jeftin gradivni materijal (npr. papir)
- ❑ suportna struktura nije potrebna
- ❑ visoka točnost printanih dijelova
- ❑ primjena neotrovnih materijala

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - nedostaci

- ❑ kombinacija aditivne i suptraktivne proizvodnje
- ❑ naizmjenični slojevi *gradivni materijal/sredstvo za povezivanje* (anizotropija mehaničkih svojstava, nehomogenost proizvoda)
- ❑ do 90% neiskorištenog materijala
- ❑ neiskorišteni materijal se više ne može koristiti (~~recikliranje~~)
- ❑ uklanjanje viška materijala može biti vrlo otežano i uzrokovati oštećivanja printanog proizvoda
- ❑ suženo područje primjene – svojstva materijala (npr. papir)

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - materijali

- ❑ plastomeri (npr. PVC, poliesteri)
- ❑ papir
- ❑ metalne folije
- ❑ keramike (kompoziti)
- ❑ adhezivi
- ❑ *anti-glue* (radi uklanjanja viška materijala)



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

LOM - Helsys

- ❑ laminiranje i rezanje CO₂ laserom
- ❑ laminiranje papira/plastike/keramike (debljina sloja 0,1 mm)
- ❑ brzina izrade 2 do 12 mm/h
- ❑ aktiviranje adheziva u papiru s pomoću zagrijanog valjka
- ❑ nakon polaganja nekoliko slojeva (do 4 sloja)
 - ❑ lasersko izrezivanje konture
 - ❑ ostatak površine - rastersko izrezivanje (radi lakšeg uklanjanja)

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

LOM - Helsys




Printer: LOM 2030H

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

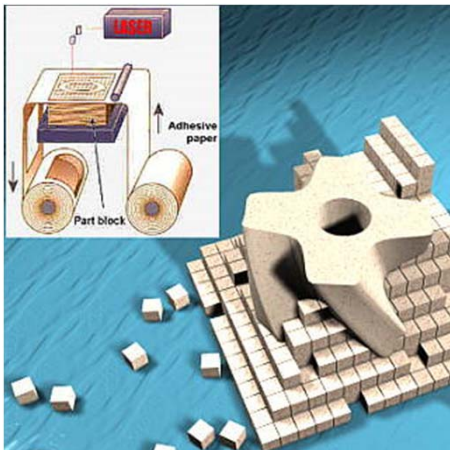
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

LOM - Helsys



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

LOM - Solido

- ❑ laminiranje polimernog filma (PVC)
- ❑ lijepljenje i rezanje oštricom (konture i rastera)
- ❑ debljina sloja (film): 0,168 mm
- ❑ nanošenje *anti-glue* sredstva (za uklanjanje viška materijala)
- ❑ ljuštenje viška materijala



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - Solido



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

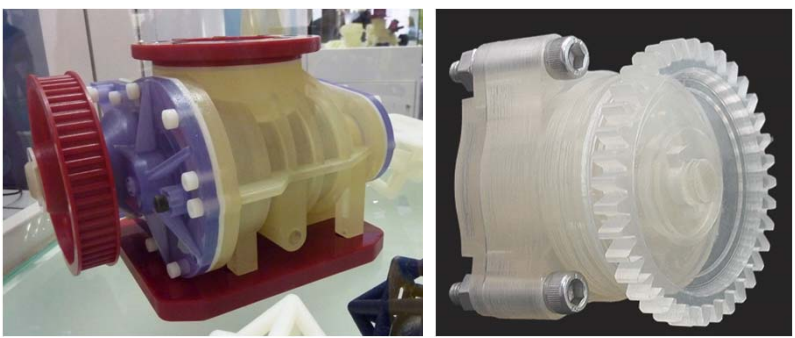
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - Solido



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, manual, Project: Application of 3D technologies in technical secondary schools, 2015-2016.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - Mcor

- ❑ laminiranje papirnatih listova
- ❑ printanje tinte, lijepljenje i rezanje oštricom (konturu i raster)
- ❑ debljina sloja: ovisna o debljini papira
- ❑ x-y rezolucija: 0,05 mm
- ❑ potrebno uklanjanje viška materijala



D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

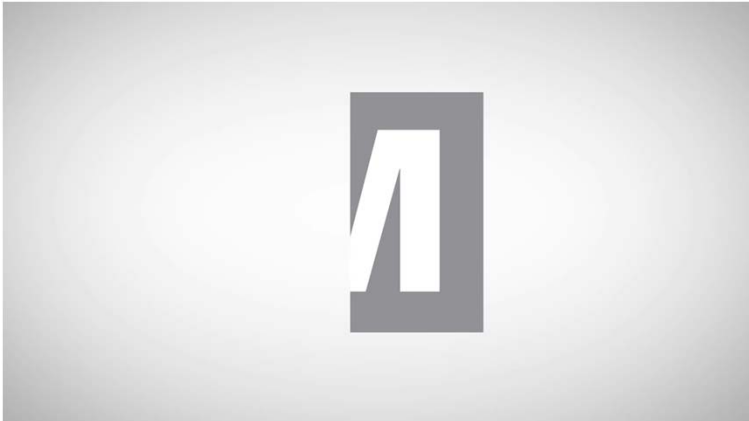
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - Mcor



<https://www.youtube.com/watch?v=TjDib7J3ly4>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

LOM - Mcor




<http://mcor technologies.com/>

FSB

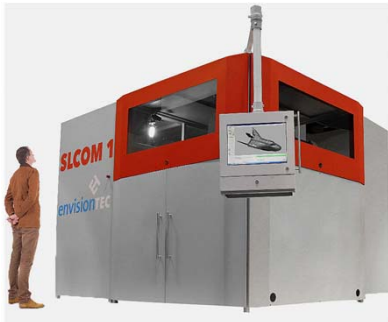
Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za preradu polimera – laminiranje

LOM - EnvisionTEC

- ❑ SLCOM - Selective Lamination Composite Object Manufacturing
- ❑ laminiranje ploča plastomernih kompozita i rezanje oštricom (ultrazvučni rezač)
- ❑ primjena anti-laminacijskog fluida
- ❑ debljina sloja: 0,1 do 1,0 mm
- ❑ radna komora: 762 x 610 x 610 mm
- ❑ točnost: +/- 0,1 mm (x-y smjer)



<https://envisiontec.com/3d-printers/sicom-1/sicom-1/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - EnvisionTEC

- ❑ polimerna matrica
 - ❑ Polietar-eter-keton (PEEK)
 - ❑ Polietar-imide (PEI)
 - ❑ Polifenilen-sulfid (PPS)
 - ❑ Polietilen (PE)
 - ❑ Polikarbonat (PC)
 - ❑ Polietar-sulfon (PES)
 - ❑ Polibutilen-tereftalat (PBT)
 - ❑ Poliamidi (PA12, PA11, PA10, PA6.10, PA6, PA4.1)
 - ❑ Polietar-keton-keton (PEKK)

<https://envisiontec.com/3d-printers/slcom-1/slcom-1/>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – laminiranje

LOM - EnvisionTEC




<http://www.tctmagazine.com/tct-events/3d-printing-at-rapid/envisiontec-reveals-slcom-1-for-3d-printing-composites-at-ra/>
<http://flickrhivemind.net/Tags/envisiontec/Interesting>

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

- ❑ ispis vrlo malih detalja (u rasponu mikrometara)
- ❑ printani materijal je u obliku aerosola
- ❑ proces u tri koraka
 - ❑ atomiziranje kapljica
 - ❑ transport kapljica do glave za printanje
 - ❑ polaganje kapljica na radnu platformu (brzina 100 m/s)
- ❑ debljina sloja: sve do 10 nm (minimalno)
- ❑ polaganje na ne-planarne površine (glava je udaljena 5 mm od platforme)
- ❑ moguća primjena: elektroničke komponente, pakovanja, stvaranje "pametne" strukture, biotehnika

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

- 1 – atomiziranje kapljica (kapljice veličine 1 do 5 μm)
- 2 – transport kapljica
- 3 – nanošenje na podlogu

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

□ ink-jet vs aerosol-jet printing

Ink Jet	Aerosol Jet
↓ Clogging Nozzle	↑ Clog Resistant Nozzle
↓ Low Density Inks	↑ High Density Micro Droplets
↓ Single Large Drop (>200x volume Aerosol Jet)	↑ Continuous Stream
↓ Random Directionality	↑ Tightly Focused

K. Kristenson, M. Rehn: Aerosol Jet Printing of A Silver Epoxy Conductive Adhesive for High Density Applications, IMAPS New England Symposium, 2012.

FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

□ M³D printer (Optomec)

D. Godec, M. Šercer: Aditivna proizvodnja, university directory, UNIZG, 2015.

FSB

Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

- ❑ materijali
 - ❑ metali
 - ❑ vodiči
 - ❑ izolatori
 - ❑ feriti
 - ❑ polimeri
 - ❑ adhezivi
 - ❑ biološki materijali

Group of authors: Printing with aerosols, European Coatings Journal, 07-08 (2006)



Centar za aditivne tehnologije 

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

- ❑ supstrati (podloge)
 - ❑ staklo
 - ❑ silikon
 - ❑ plastika
 - ❑ keramika
 - ❑ poliimidi
 - ❑ poliesteri
 - ❑ ...

Group of authors: Printing with aerosols, European Coatings Journal, 07-08 (2006)

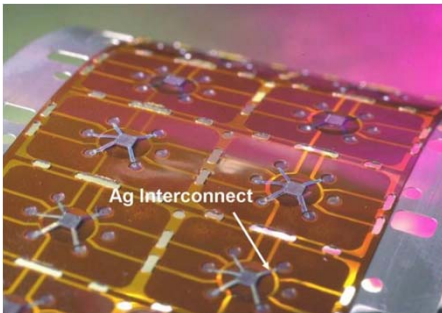
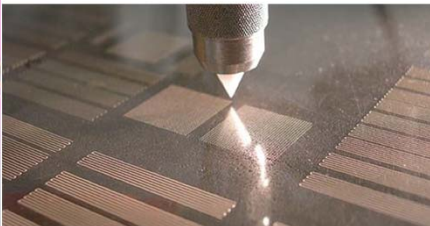


Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)

<http://electronicpackaging.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1672790>
Group of authors: Printing with aerosols, European Coatings Journal, 07-08 (2006)

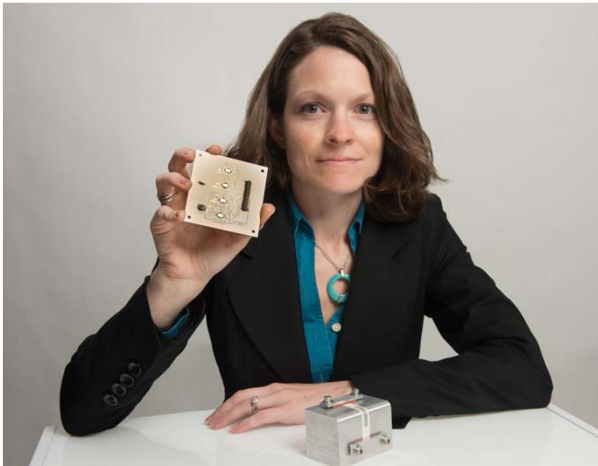
FSB

Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja

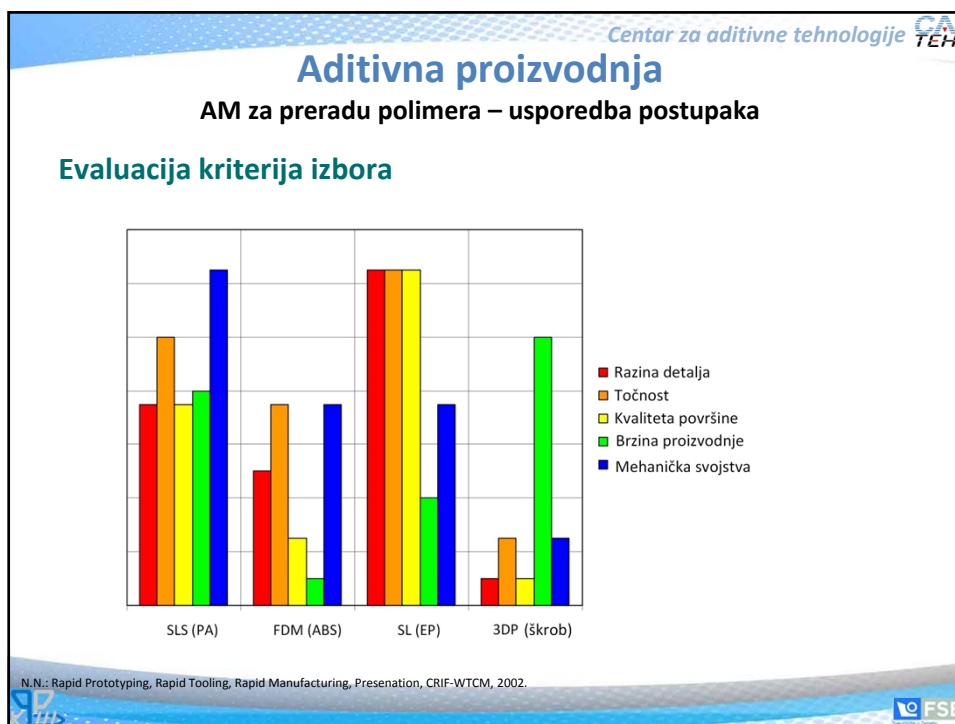
AM za prerađu polimera – nanošenje aerosola

M³D - Maskless Mesoscale Materials Deposition (Optomec)



http://www.spacedaily.com/reports/NASA_Investigates_3_D_printing_for_building_densely_populated_electronic_assemblies_999.html

FSB



Centar za aditivne tehnologije **CA TEH**

Aditivna proizvodnja je izvrsna!

Primijenite je!!!

FSB