

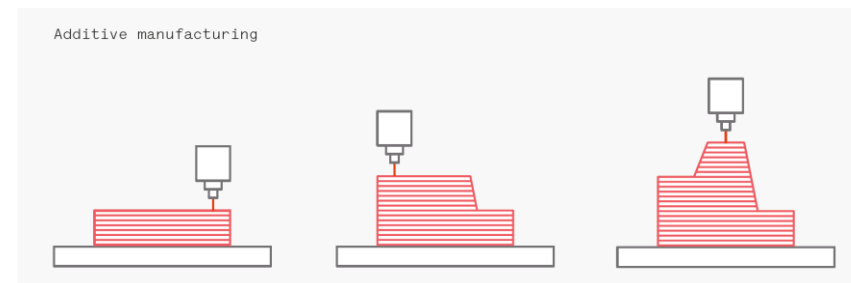
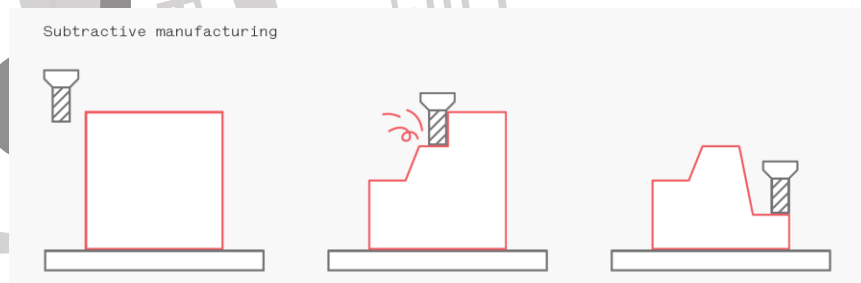


Fodor Gergely

3D tervezés és nyomtatás alapjai

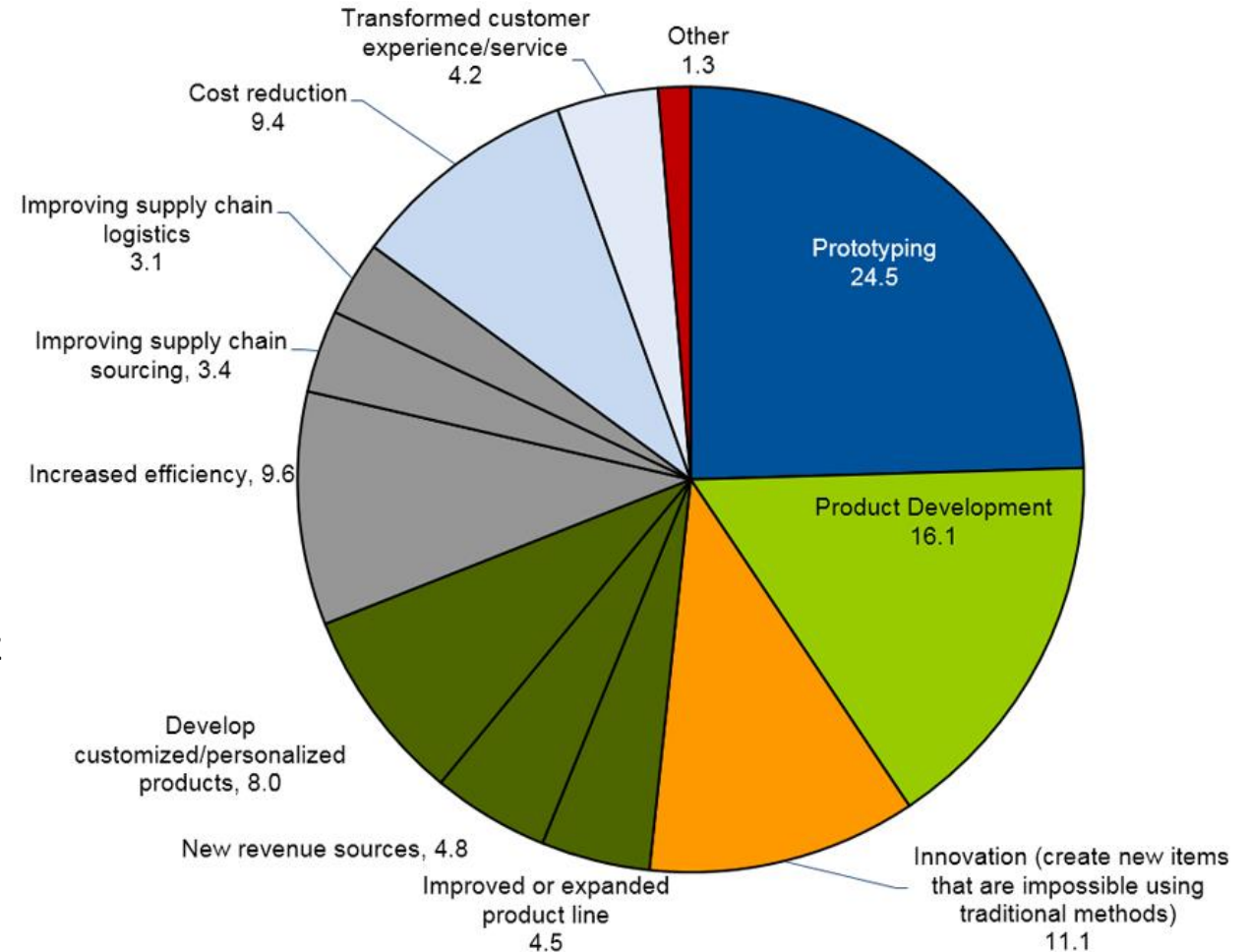
Additív gyártás / 3D nyomtatás

- 3D nyomtatás: a hagyományos, 2D nyomtatáshoz hasonló eljárás, amikor tárgyakat valamilyen anyag réteges egymásra építésével képzünk (nyomtatófej, fúvóka, extruder, stb.)
 - Gyakran az additív gyártás (*additive manufacturing*) szinonimájaként is használják
- Additív gyártás (*additive manufacturing*): a 3 dimenziós tárgyat rétegek egymásra rakásával (addíció) képzünk, szemben a szubtraktív eljárásokkal (pl. szobrászat, forgácsolás, stb.)



Mire használják az ipari szereplők a 3D nyomtatást?

- A technológia legfontosabb vonzereje a gyors prototípusgyártásban rejlik:
 - Szemben a hagyományos eljárások (pl. fröccsöntés) kis szériában magas darabonkénti árával (öntőforma elkészítése), a 3D nyomtatással a prototípusgyártás gyorsan és olcsón elvégezhető, iteratívan fejleszthető a kész termék, amit utána akár hagyományos eljárásokkal is legyárthatunk nagy szériában



Az additív gyártás lépései

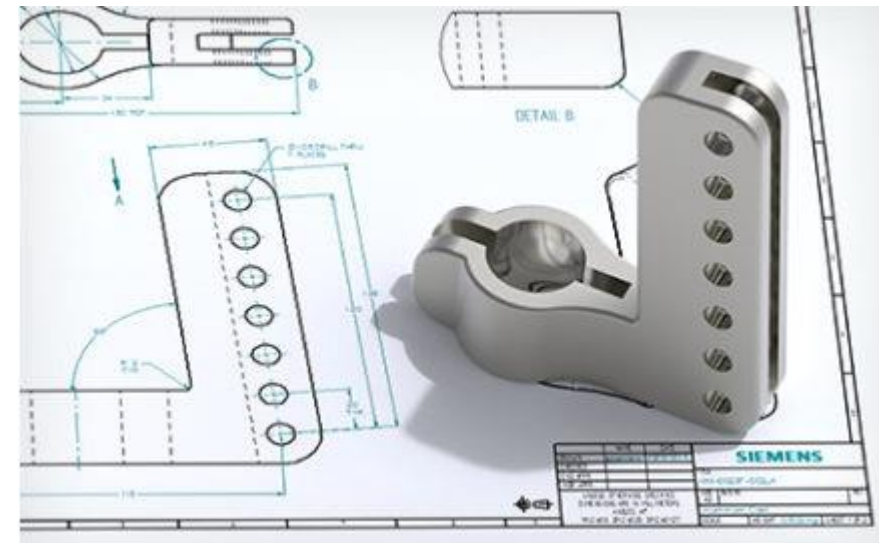


1. Tervezés (CAD)
2. Konverzió STL fájlba
3. Átalakítás gépi kóddá
4. A nyomtató felkészítése
5. Építés
6. Termék tisztítása
7. Utókezelés
8. Felhasználás



1. Ötlet, tervezés, CAD

- A termék megtervezése hasonló a hagyományos eljárásokhoz
- Legtöbbször iteratív folyamat
 - Akár az elkészült modell hibái/hiányosságai alapján is visszatérhetünk a tervezőasztalhoz
- Számítógépes környezetben végzett tervezés
 - CAD: Computer Aided Design
- Kimenet:
 - Az elkészíteni kívánt termék 3D jellemzői
 - Forrása lehet CAD tervezés, de származhat 3D szkennelésből is



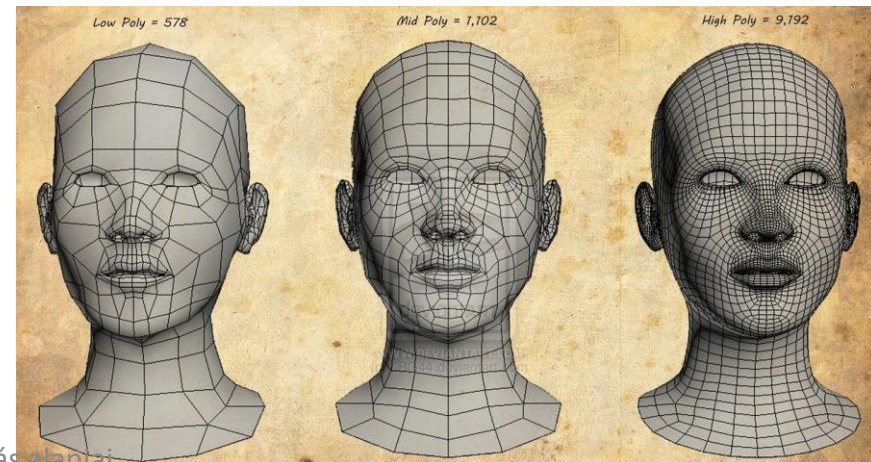
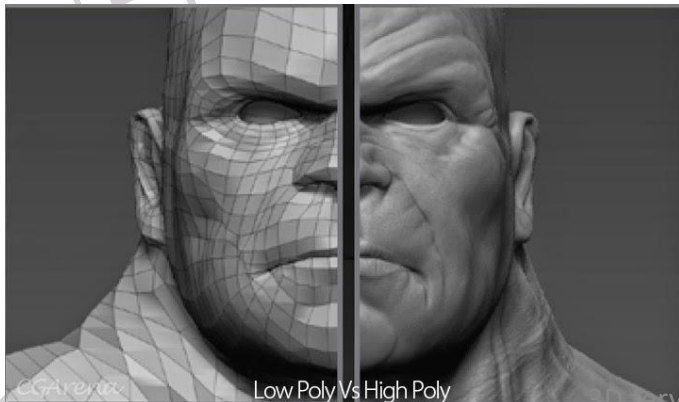
1. Ötlet, tervezés, CAD

- A legtöbb CAD rendszer tömörnek mondható modelleket készít, ugyanakkor ezek legtöbbször 2D felületek kombinálásából, azok 3D térbe húzásával történik
 - Bár a szemlélő számára tömörnek tűnnek, matematikailag nem feltétlen zárt testek -> előfordulhatnak anomáliák a nyomtatási folyamatban
- A legtöbb nyomtató ugyanakkor már nem tömör modelleket használ



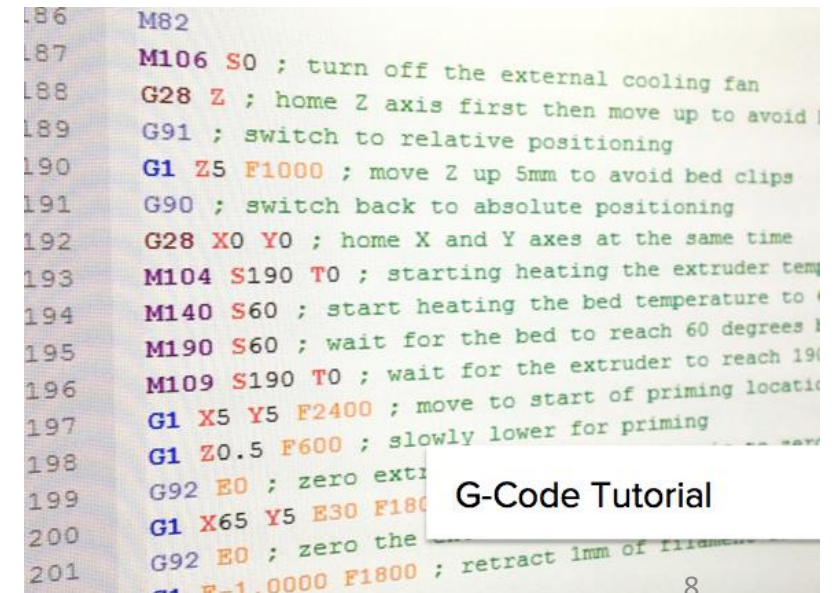
2. Átalakítás STL formátumba

- A CAD programból kinyert tömör modelleket a 3D nyomtatók által általánosan használt dróthálós formátumba kell alakítani
 - Többféle formátum, legelterjedtebb az STL (egyéb: AMF, 3MF, OBJ)
 - Tesszaláció: az eredeti, tömör modell felületét leegyszerűsítjük, háromszögekkel közelítve azt
 - A háromszögek számának növelésével lehet a felület minőségét változtatni
 - Előfordulhatnak hibák az átalakítási folyamatban, szerencsére a nyomtató szoftverek ezt már tudják kezelni



3. Átalakítás gépi kóddá

- A 3D nyomtatók már nem direktben az STL fájlok alapján nyomtatnak, hanem legtöbbször valamilyen, az esztergagépekben már elterjedt, G-code-hoz hasonló gépi kód szerint
- Az STL fájlt gépi kóddá kell alakítani (*slicing*):
 - Ellenőrizni kell az STL fájlt, nincsenek-e nyilvánvaló tesszalációs hibák
 - Átalakításokat végezhetünk az STL fájlban, pozícionálhatjuk a nyomtatandó térfogatban, akár azonosító jeleket tehetünk a tárgyra
 - Akár több tárgyat is kinyomtathatunk egyszerre
 - Átméretezés lehet szükséges
 - A túl nagy vagy túl komplex tárgyakat esetleg fel kell darabolni több, egyszerűbb/kisebb darabra
 - Támasztó (*support*) struktúrákat kell elhelyezni



```
186 M82
187 M106 S0 ; turn off the external cooling fan
188 G28 Z ; home Z axis first then move up to avoid
189 G91 ; switch to relative positioning
190 G1 Z5 F1000 ; move Z up 5mm to avoid bed clips
191 G90 ; switch back to absolute positioning
192 G28 X0 Y0 ; home X and Y axes at the same time
193 M104 S190 T0 ; starting heating the extruder temp
194 M140 S60 ; start heating the bed temperature to
195 M190 S60 ; wait for the bed to reach 60 degrees
196 M109 S190 T0 ; wait for the extruder to reach 190
197 G1 X5 Y5 F2400 ; move to start of priming locati
198 G1 Z0.5 F600 ; slowly lower for priming
199 G92 E0 ; zero extr
200 G1 X65 Y5 E30 F180
201 G92 E0 ; zero the
G1 E-1.0000 F1800 ; retract 1mm of filament
```

G-Code Tutorial

Támasztó struktúrák

- A legtöbb nyomtatási eljáráshoz szükséges támasztó struktúrák elhelyezése, de néhány technika nem igényli
 - „levegőben lógó” struktúrák alátámasztása

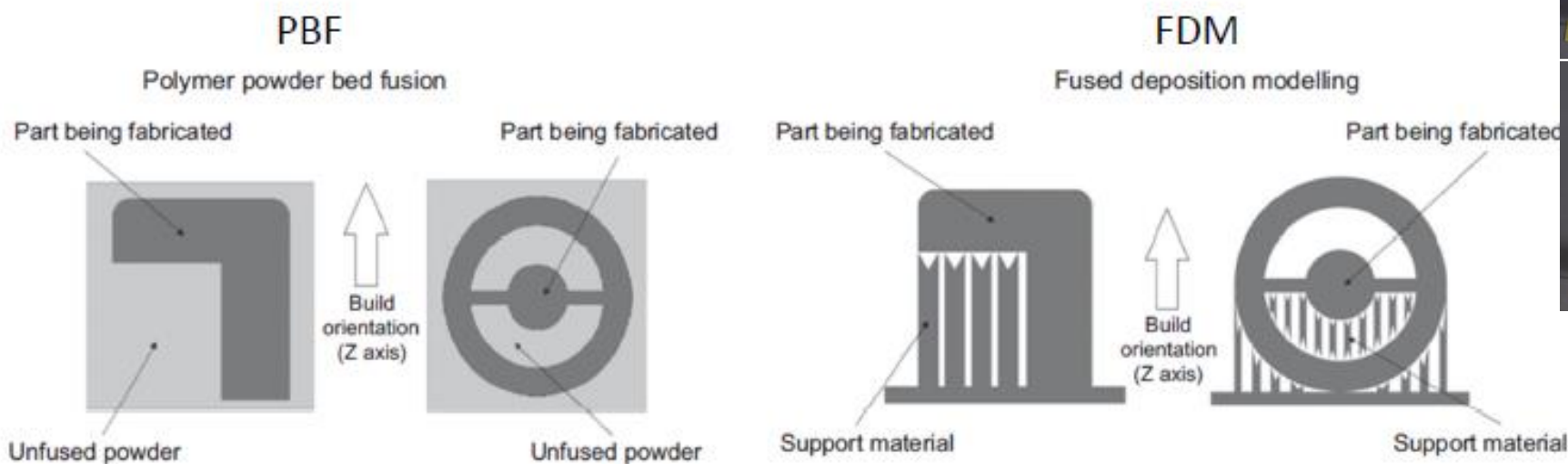
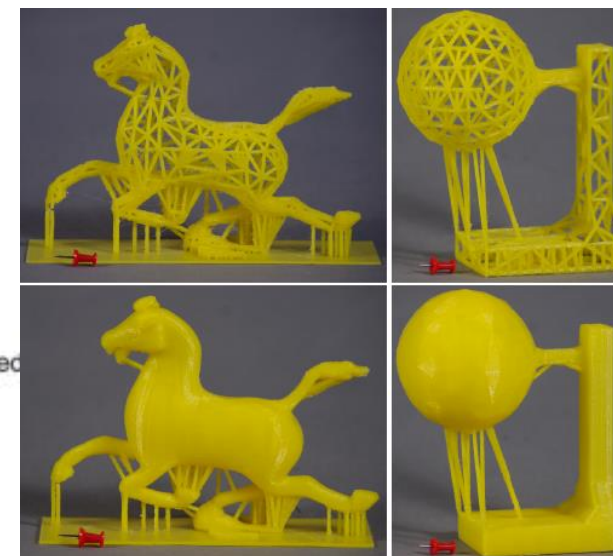
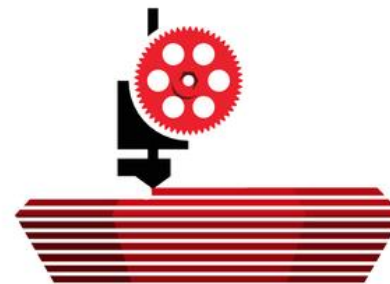
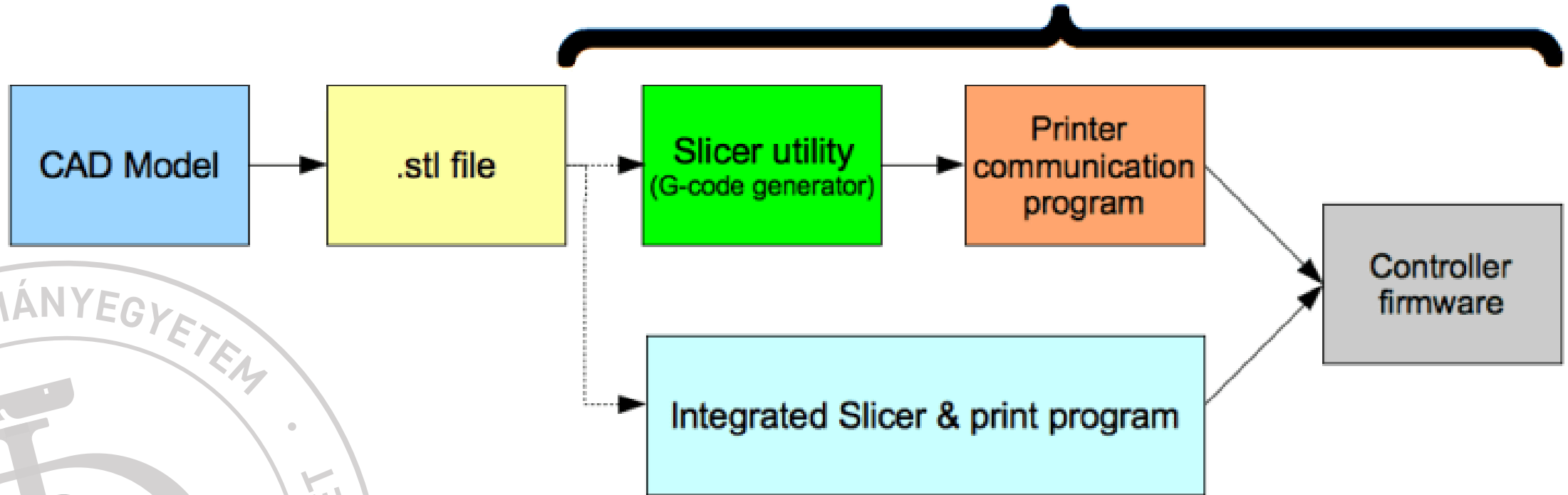


Figure 7.1 Schematic illustrating the ability of polymer powder bed fusion to produce parts with overhangs and unsupported islands without support structures (left) compared with other AM processes, for example, fused deposition modelling (right), in which these structures must be supported during the build process.



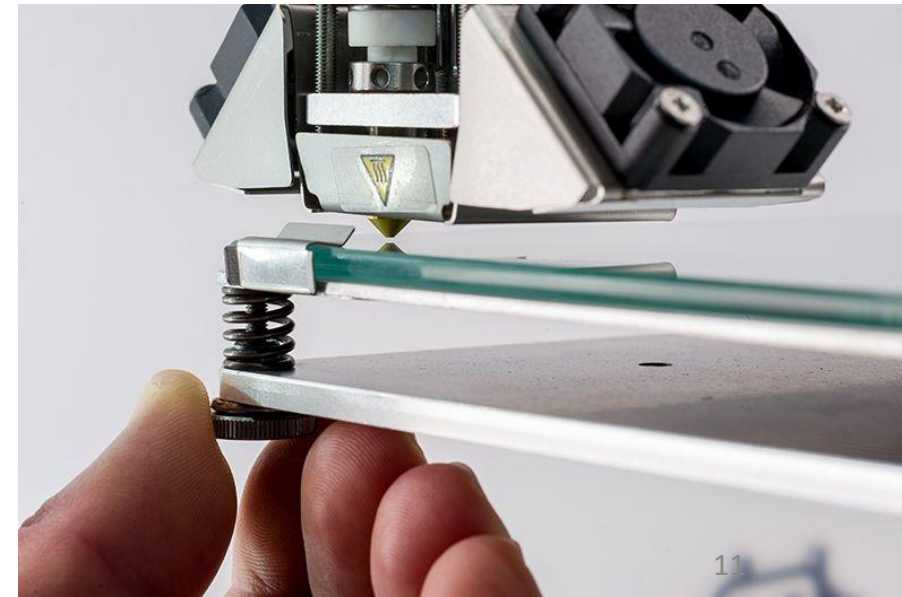
3. Átalakítás gépi kóddá

CAM (Computer Aided Manufacturing) toolchain



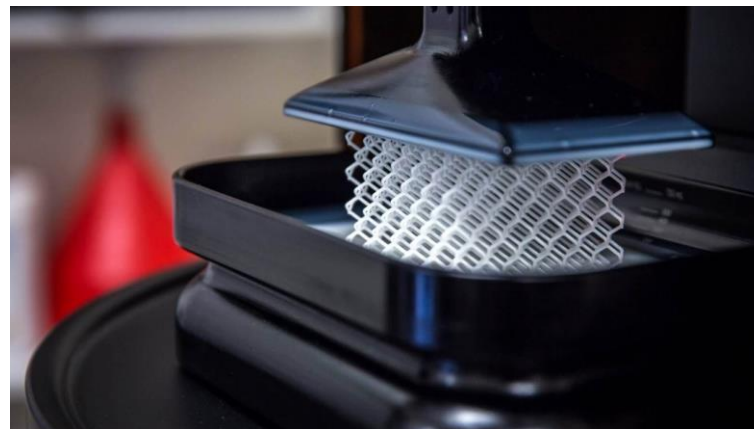
4. A nyomtató felkészítése

- Részben összekapcsolódik az előző lépéssel
 - Nyomtatáshoz használt anyag kiválasztása, nyomtatóba töltése
 - Rétegvastagsággal kapcsolatos beállítások
 - Anyaghoz kapcsolódó beállítások elvégzése (pl. fűtési beállítások, stb.)
- Néhány nyomtató külön fizikai előkészítést is igényel
 - Anyag betöltése
 - Vízszintezés, vagy egyéb beállítás lehet szükséges



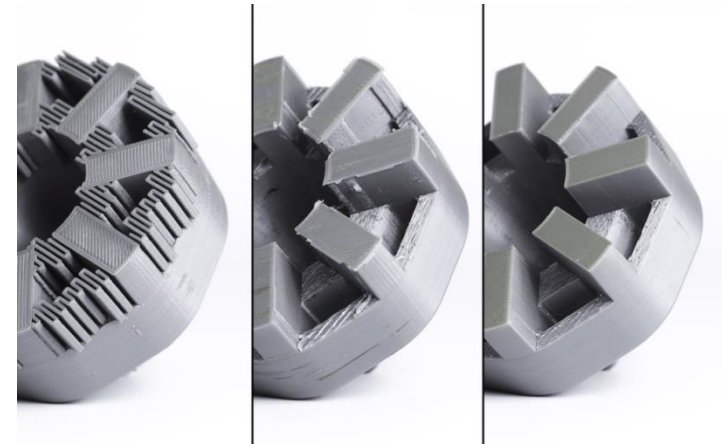
5. Építés/nyomtatás

- Ez a fázis már legtöbbször nem igényel felhasználói közreműködést, a gépi kód alapján a nyomtató végzi el (de: anyagváltás lehet szükséges)
- A nyomtatandó anyagot a technikától függően különböző módon rétegenként egymásra halmozza és egymáshoz rögzíti a rétegeket
 - Némely eljárásban ez a két lépés elválik egymástól, máshol nem
 - A tárgy elkészültéig a nyomtató automatikusan vált az újabb rétegekre



6. Tárgy tisztítása

- Ideális körülmények között minimális munkával használható az elkészült tárgy
- Gyakran szükséges viszont némi kézi utómunka:
 - A tárgy elválasztása a gép platformjától (a nyomtatás során rögzítve van az elmozdulás ellen)
 - Többitet anyag eltávolítása lehet szükséges
 - Támasztó struktúrák eltávolítása
 - Némely eljárások során egyszerűen eltávolítható, máskor komolyabb munka szükséges
- Az utómunka előkészítő lépésének tekinthető



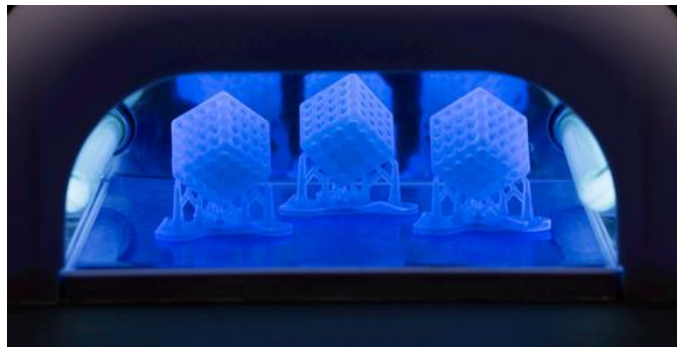
7. Utómunka

- Legtöbbször manuális eljárás, és a felhasználástól függ
- Az elkészült tárgy felületének végleges kiképzése
 - Csiszolás, lakkozás, festés
 - Esetleg gittelés, stb.
- Az elkészült tárgy anyagának edzése, más kémiai kezelése



Kémiai felületkezelés (ABS+aceton)

2019. 11. 11.



Utólagos edzés

3D tervezés és nyomtatás alapjai



Mechanikai csiszolás (homokfúvás)

14

8. Felhasználás

- A 3D nyomtatással készült tárgyak mechanikai tulajdonságai legtöbbször eltérnek a hagyományos eljárásokkal (pl. fröccsöntés, esztergálás) készült termékekétől
 - A gyártási folyamatból a tulajdonságok anizotropikusak (irányultságuk van)
 - A tárgy építési irányától függhet a mechanikai szilárdság, pl. a rétegek között hajlamosabb szétválni az anyag, mint a rétegeken belül eltörni
 - A kitöltés mennyiségétől függően az ellenállóság változhat
 - A fémes eljárásoknál a hűlésbeli különbségek miatt más mikrostruktúrák alakulhatnak ki
 - Ez alkalmazástól függően lehet előny, de hátrány is

3D nyomtatók csoportosítása

- Árszint/fejlettség/megbízhatóság szerint

1. Otthoni/hobbi



*Replicator
MakerBot Industries.*

Otthoni felhasználásra szánt, összeszerelést igényelhet, kb. 200-3.000\$

2. Belépő kereskedelmi



*uPrint
Stratasys, Inc.*

Belépő szintű kereskedelmi célú gépek, megbízható működtetés, kb. 7-10.000\$

3. Professzionális



*EOSINT M 280
EOS GmbH.*

Kifinomult, fejlettebb technikák felhasználása, speciális igények, képzett kezelőszemélyzet szükséges, kb.30-100.000\$

4. Ipari



*Voxeljet's VX4000
voxeljet GmbH.*

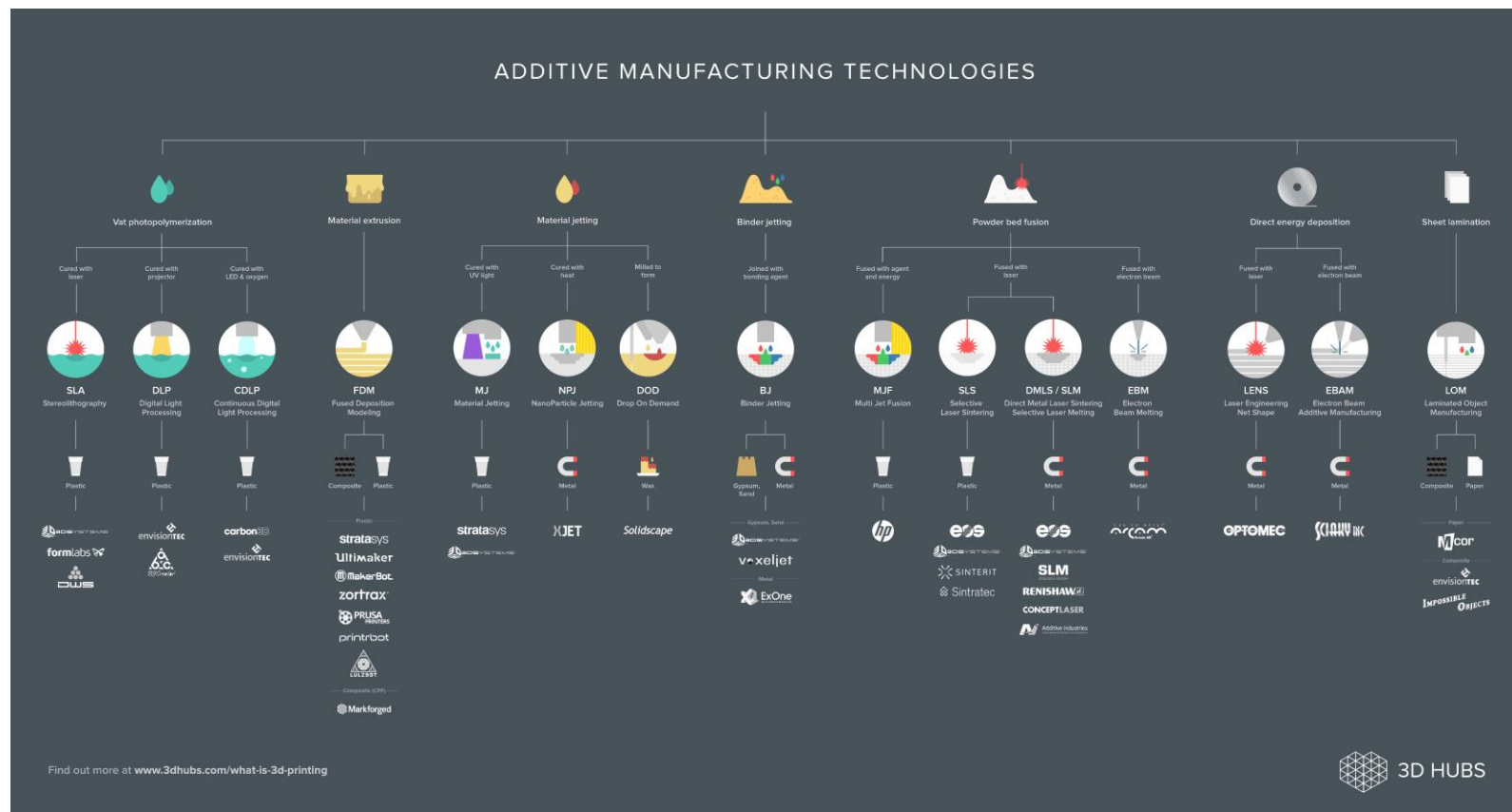
Nagy sebesség és megbízható reprodukibilitás, kár nagy kiterjedésű tárgyakhoz is, kb. 300.000+\$

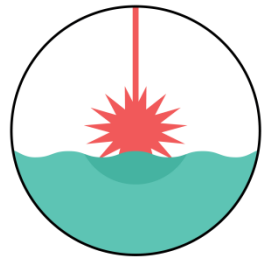


3D nyomtatók csoportosítása

- Technológia szerint:

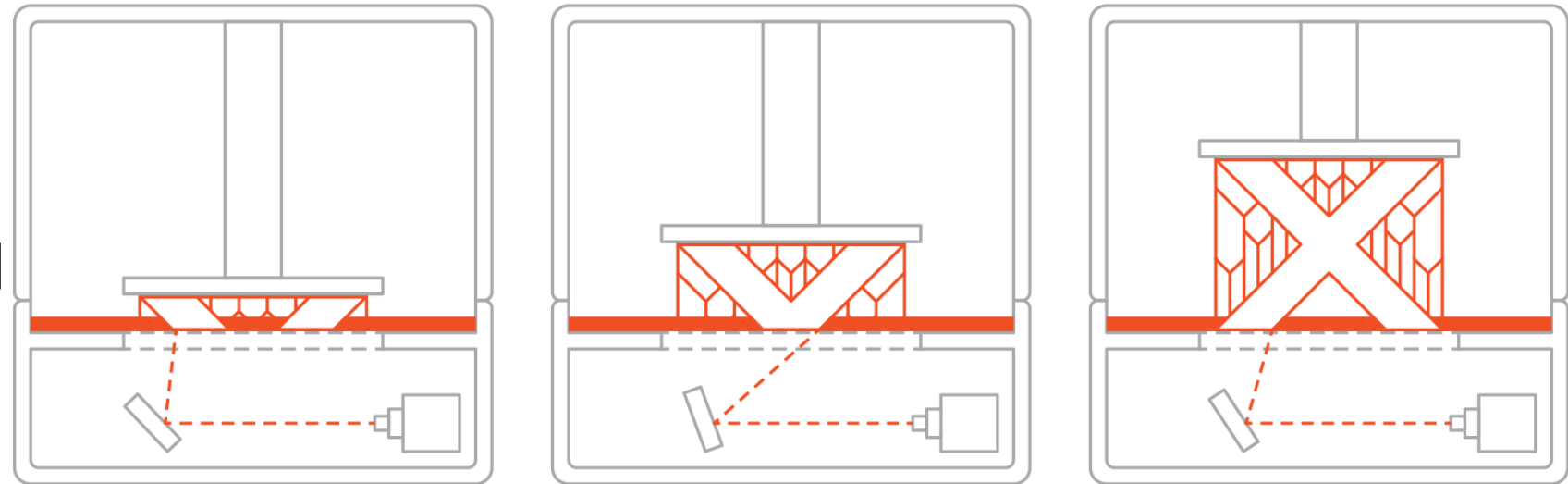
- Extrudálás (Fused Deposition Modeling)
- „Jetting” (Material Jetting, Binder Jetting)
- Olvasztás, szinterezés (Powder Bed Fusion)
- Fénykezelés (Photopolymerization)

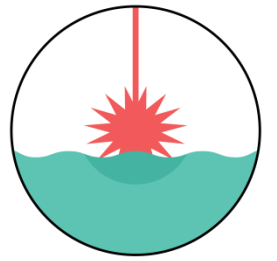




Stereolithography (SLA)

- Fotopolimerizáció: A folyamat során a folyékony halmazállapotú, fényel edzhető gyantaszerű anyagot (fotopolimer) alakítjuk kész terméké
- A fotopolimert megfelelő hullámhosszú fényel besugározva az megkeményedik (fogtöméshez hasonlóan)
 - UV, vagy más fény
- Sok nyomtató fejfel lefelé készíti el a tárgyat





Stereolithography (SLA)

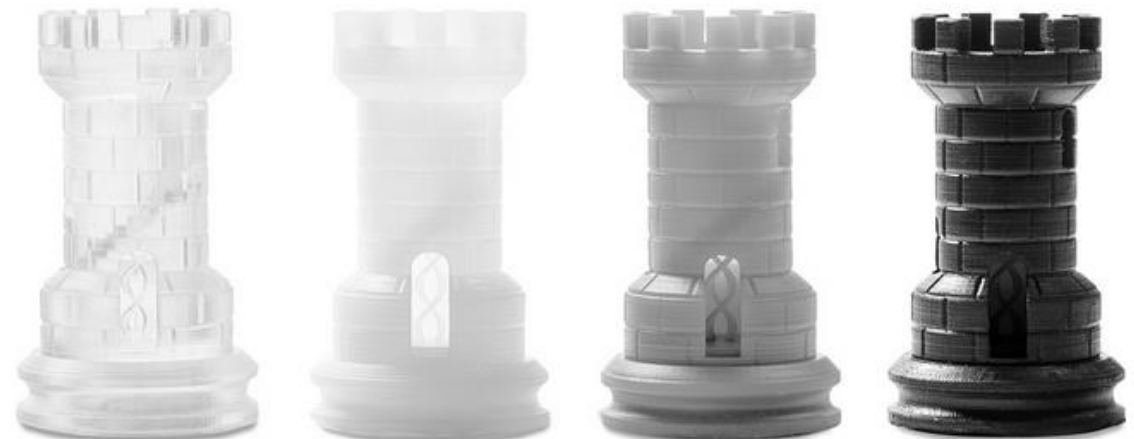
- Nyomtatható anyagok: fényre keményedő gyanták
 - Átlátszó, polikarbonátszerű
 - Kemény, ellenálló, polipropilénszerű
 - Merev, ABS-szerű
 - Hőtűrő anyagok
 - Ékszerek, fogászati termékek



2019. 11. 11.

Formlabs Materials

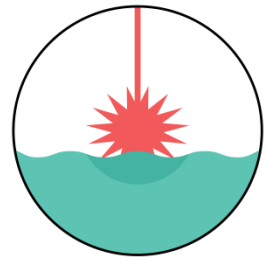
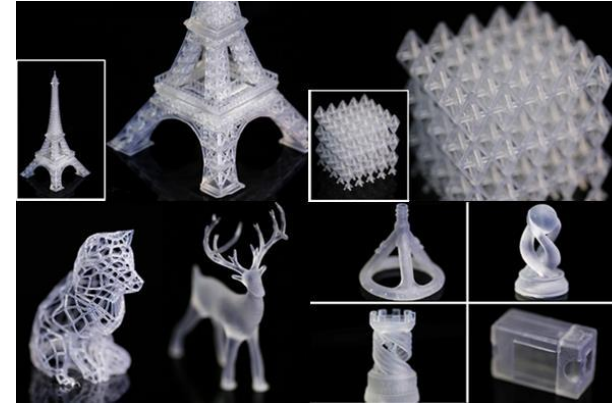
Outstanding performance. Beautiful results.



3D tervezés és nyomtatás alapjai

19

Stereolithography (SLA)

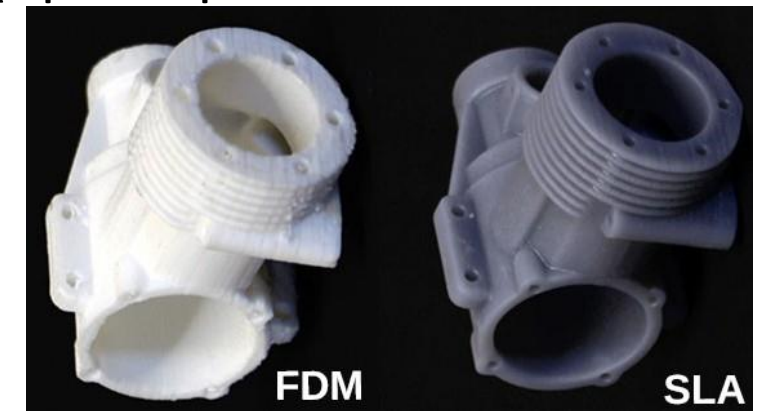


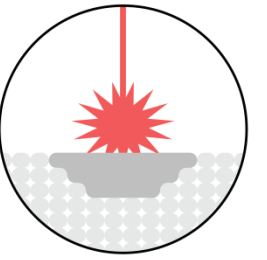
- **Előnyök:**

- Kiváló pontosság: akár $\pm 0.5\%$ (± 0.15 mm) pontosság
- Kiváló felületi minőség: akár mikronos nagyságrendű (optikai paraméterektől függ)
- Nagy mérettartományban használható

- **Hátrányok:**

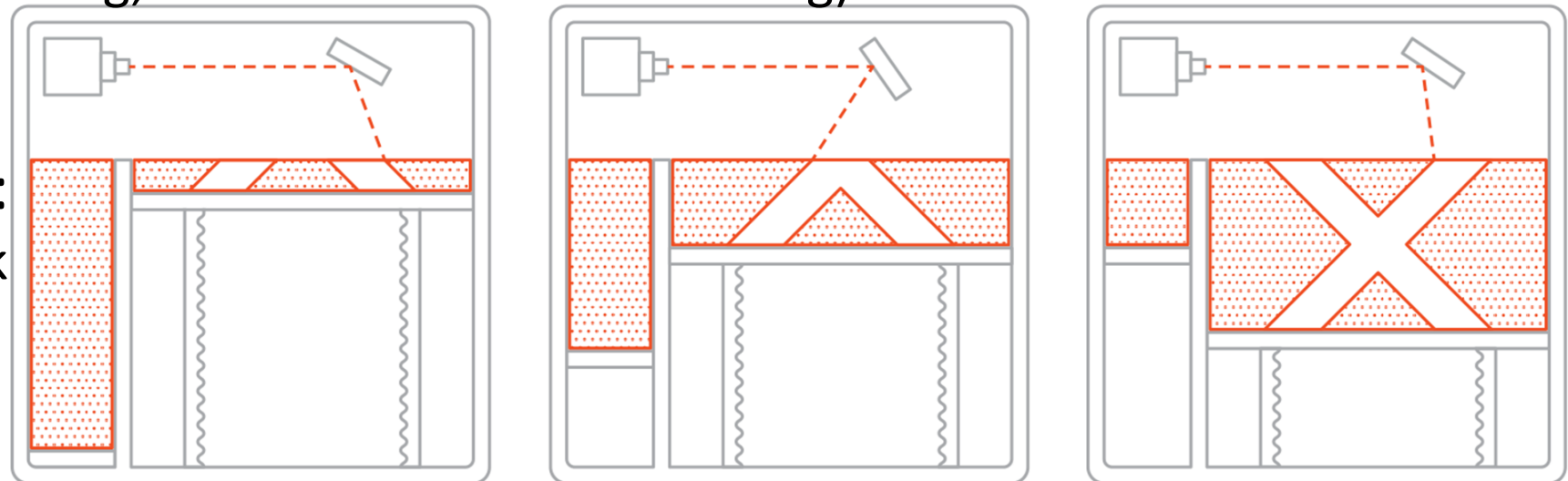
- Limitált anyagválaszték: csak fotopolimerek
- Gyengébb mechanikai tulajdonságok
- Öregedés: a legtöbb használható anyag minősége idővel romlik (főleg UV-nek kitett helyen)

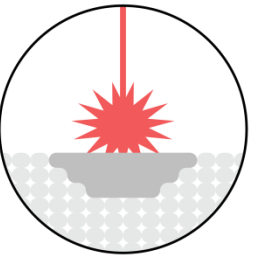




Powder Bed Fusion (PBF)

- A folyamat során a porállagú nyersanyagot alakítjuk kész terméké (fém, üveg, kerámia, stb.)
- A por hő hatására összeragad (lézer, elektronsugár vagy más precíz forrás)
 - Szinterezés (LS: laser sintering)
 - Olvasztás (LM: laser melting, EBM: electron beam melting)
 - Részben kémiai eljárások
- Nyomtatható anyagok:
 - Polimerek: műanyagok
 - Kompozitok: pl. üveg
 - Fémek, ötvözetek





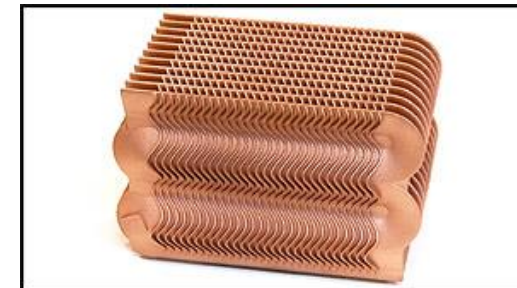
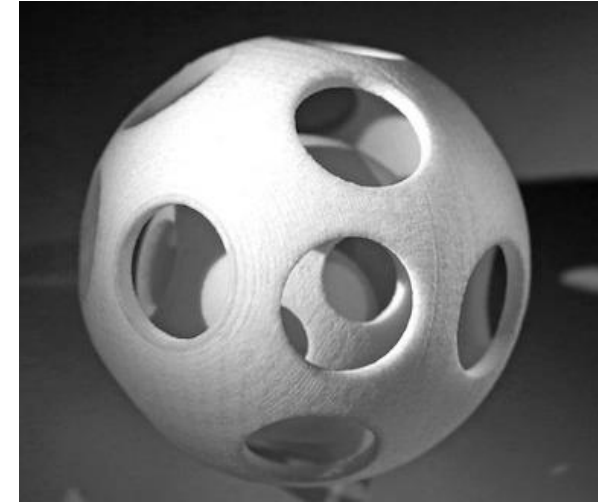
Powder Bed Fusion (PBF)

- Előnyök:

- Nagy anyagválaszték
- Nem kell támasztóstruktúra
 - A nem megszilárdult anyag tölti be ezt a szerepet
- Komplex struktúrák is nyomtathatóak
 - A támasztékok hiánya miatt egymásba ágyazott tárgyak is elkészíthetőek
- Kevesebb hulladék: a nem megszilárdult nyersanyag nagy részben újra használható
- Erős, jól használható termékek gyárthatóak (főleg fémekből)

- Hátrányok:

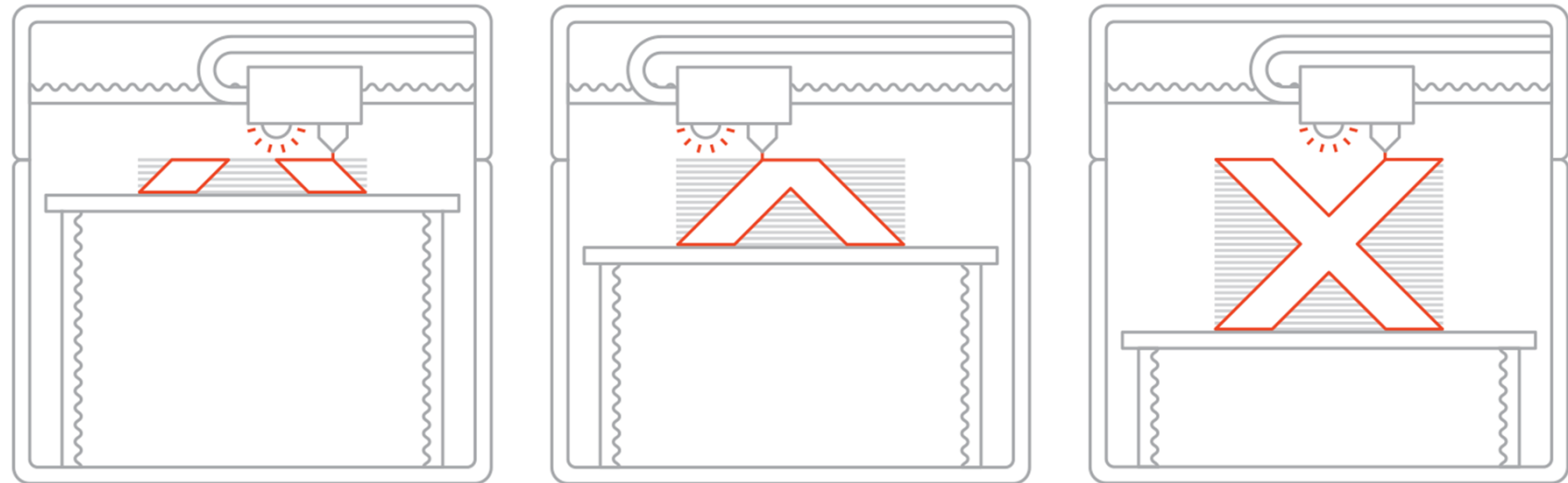
- Magas költség





Material jetting (MJ)

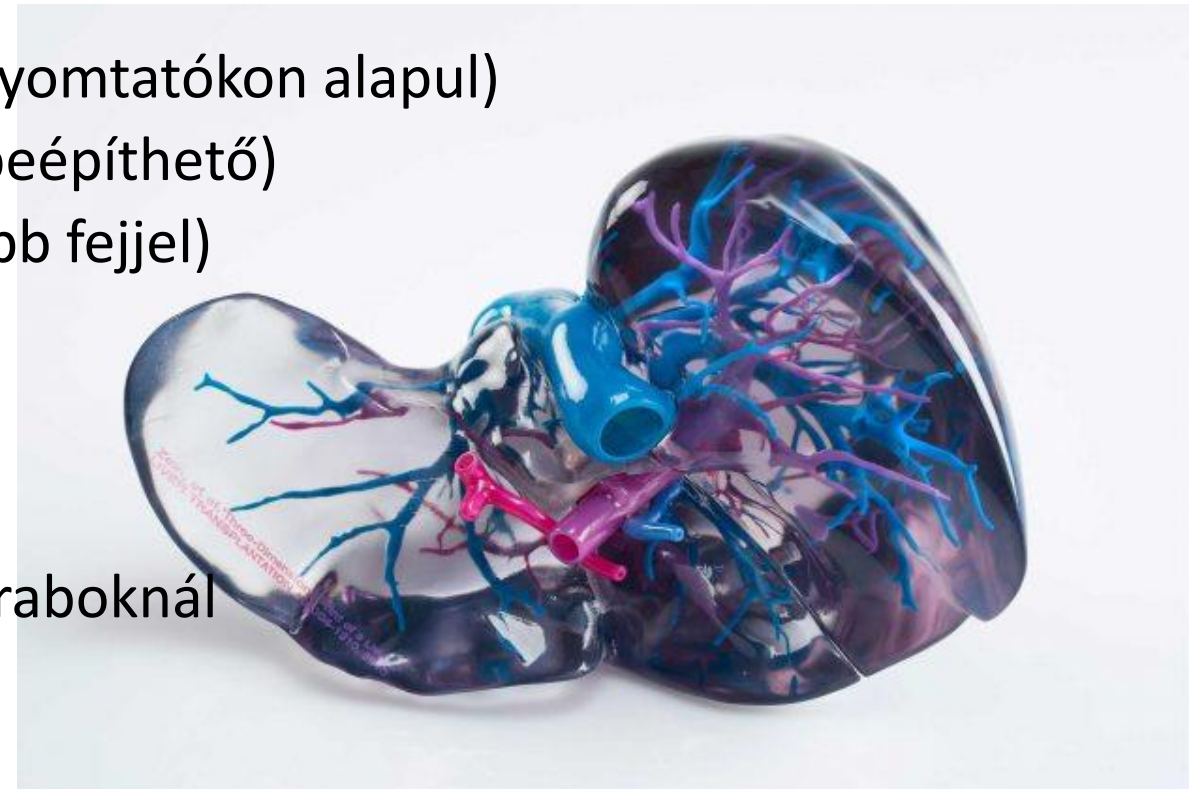
- A 2D tintasugaras nyomtatók technikáján alapuló módszer
- Folyékony nyersanyag csepegtetése
 - Continuous stream (CS) – folyamatosan csöpögő sugár
 - Drop-on-demand (DOD) – csak szükség esetén van cseppképzés
- **Anyagok:**
 - Viaszok, gyanták

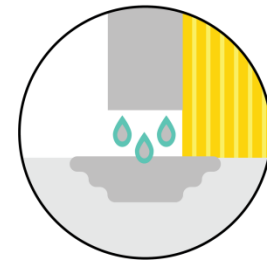




Material jetting (MJ)

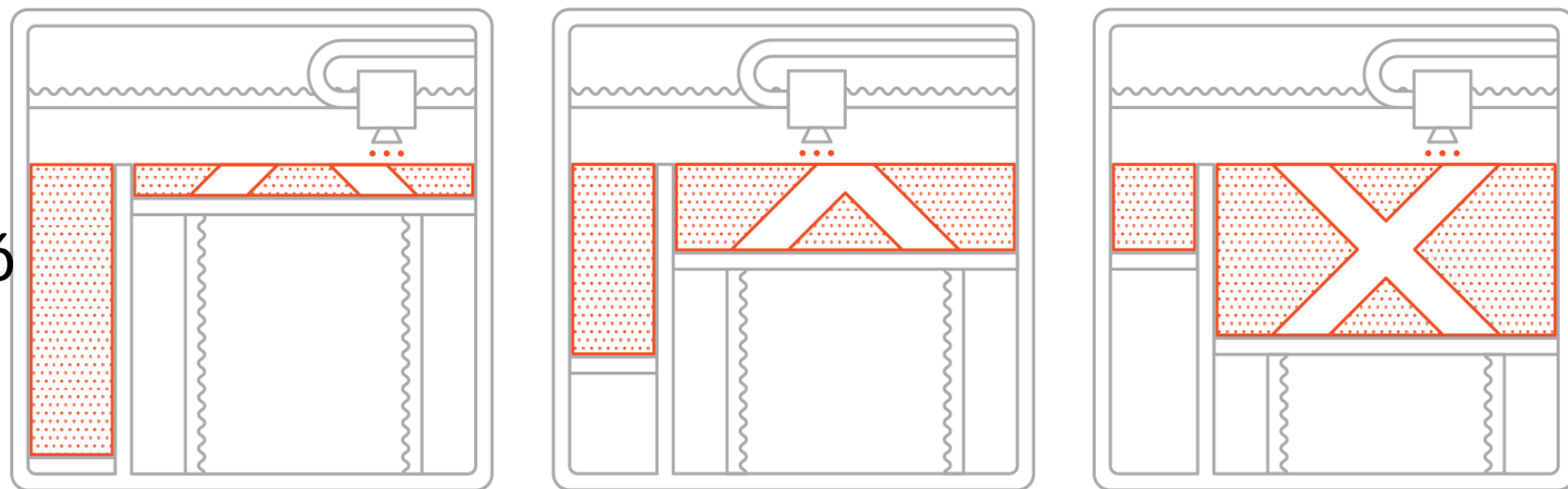
- Előnyök:
 - Olcsó, egyszerű technika (tintasugaras nyomtatókon alapul)
 - Gyors, skálázható (több nyomtatófej is beépíthető)
 - Egyszerre több anyag is használható (több fejjel)
 - Színes tárgyak nyomtathatóak
- Hátrányok:
 - Limitált anyagválaszték
 - Pontosság nem a legjobb, főleg nagy daraboknál

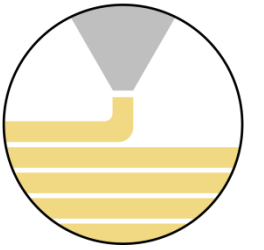




Binder jetting (BJ)

- Részben a powder bed fusion, részben a material jetting eljáráshoz hasonló
 - Porállagú anyagból megépített tárgyat a nyomtatófejből adagolt kötőanyag ragasztja össze
- Készülhetnek végleges termékek és öntőformák is
- Nem kellene támasztó struktúrák





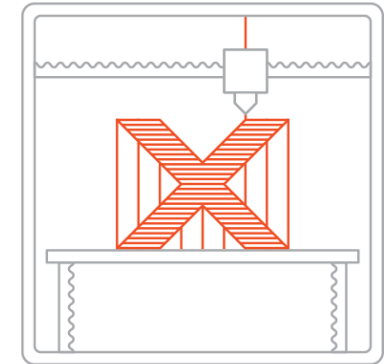
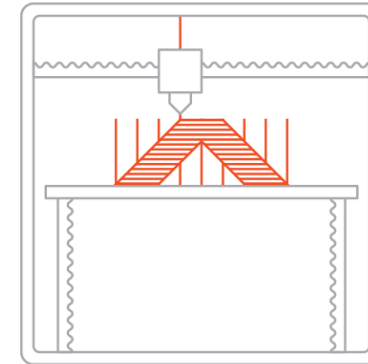
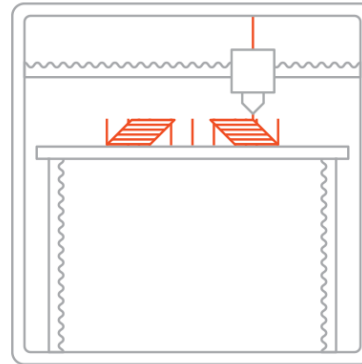
Fused Deposition Modeling (FDM)

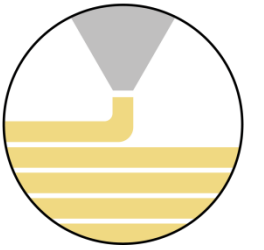
- Tekercselt műanyag szálát nyomunk keresztül egy vékony, forró (kb. 200°C) fúvókán (szálhúzásos módszer)
 - A fúvóka átmérője határozza meg a felületi minőséget
 - A műanyag levegőre érve lehűl: összeragad és megszilárdul

- **Anyagok:**

- **Hőre lágyuló műanyagok**

- PLA (polylactic acid)
 - ABS (acrylonitrile butadiene styrene)
 - PC (polycarbonate)
 - PETG (polyethylene terephthalate + glycol)
 - TPU (thermoplastic polyurethane)



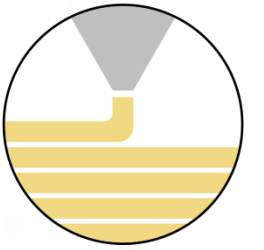


Fused Deposition Modeling (FDM)

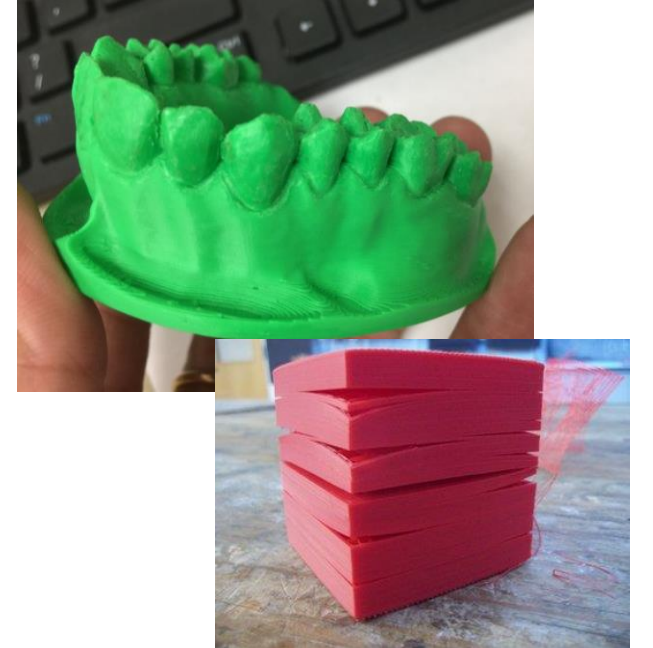
- Használható anyagok: hőre lágyuló műanyagok
- PLA: könnyen nyomtatható, rigid, de törékeny, biológiailag lebomló, nehezen ragasztható
- ABS: mechanikailag ellenállóbb, acetonnal oldható, nem UV álló
- PET: food-safe lehet, ellenálló
 - PETG: vízálló, ütésálló, de puha, könnyen kopó felület
- Nylon: nagy ellenállóképességű
- TPU: rugalmas, hajlítható
- PC: akár sterilizálható, erős, de nem UV álló
- Fával/fémmeel kombinált PLA: porral/forgácscsal kevert
- HIPS: high-impact polistyrene, támasztékanyagok kiváló, d-limonénban oldható

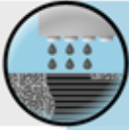
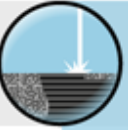
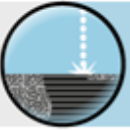






Fused Deposition Modeling



- Előnyök:
 - Olcsó, könnyen használható (hobbyi célú berendezések is, 200 USD nagyságrend)
 - Gyors eljárás
 - Sokféle anyag és szín elérhető
- Hátrányok:
 - Csak hőre lágyuló műanyagokkal használható
 - Nem a legjobb felbontás (fúvókamérettől függ)
 - Kifejezetten anizotropikus mechanikai tulajdonságok
 - A tárgy orientációjától függenek a mechanikai tulajdonságok
 - Rétegek közti szilárdság jóval kisebb a rétegen belülinél
 - Terhelési ellenállás nem a legjobb



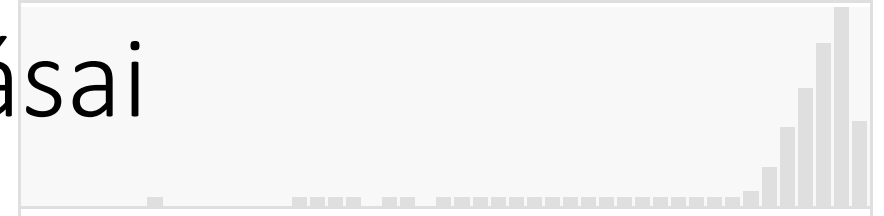
Materials	Technologies		
	Parts built through polymerization	Parts built through bonding agent	Parts built through melting
Ceramic		 BJ	 LM
Metal			 EBM
Sand			
Plastic	 SL	 PJ	 FDM
Wax			 MJ *

Lower	Durability	Higher
Smoother	Surface finish	Rougher
Higher	Detail	Lower
Prototypes Indirect processes	Application	Functional parts

- Binder Jetting (BJ)
- Electron Beam Melting (EBM)
- Fused Deposition Modeling (FDM)
- Hybrid Processes (HP)
- Laser Melting (LM)
- Laser Sintering (LS)
- Material Jetting (MJ) *
- Photopolymer Jetting (PJ)
- Stereolithography (SL)



3D nyomtatás orvosi alkalmazásai



- Személyre szabott (1 darabos szériában gyártott) implantátumok, protézisek, ortézisek



- Beavatkozási tervezés, oktatás
- Szövettenyészetek

