

# 3D nyomtatás a fogorvosi gyakorlatban

Kiss Balázs

kissb3@gmail.com



Nanobiotechnológia és Egyedi Molekula Kutatócsoport és  
Vékony Filamentum Mechanobiofizika Laboratórium,  
Semmelweis Egyetem,  
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet.

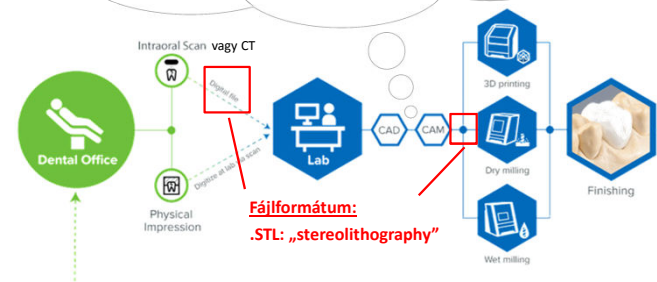
2020. Október 15.

## 3D munkafolyamat

CAD: computer-aided design, CAM: computer-aided manufacturing

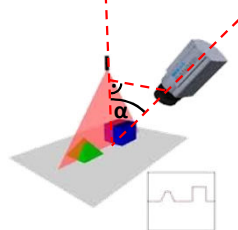
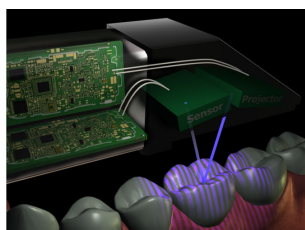
Alkalmazott szoftverek:

- Autodesk Fusion 360 ([www.autodesk.com/products/fusion-360/overview](http://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview))
- 3D-Slicer ([www.slicer.org/](http://www.slicer.org/))
- InVesalius ([invesalius.github.io/download.html](http://invesalius.github.io/download.html))
- Ultimaker Cura ([ultimaker.com/software/ultimaker-cura](http://ultimaker.com/software/ultimaker-cura))



2

## 3D szájüregi szkennerek /1



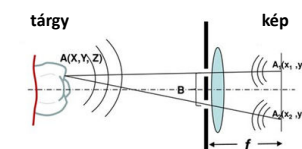
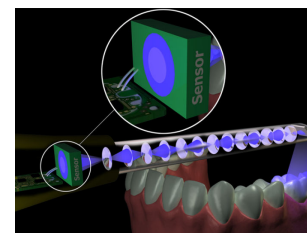
Első generációs eszközök: titán oxid por használata szükséges a fényvisszaverődés csökkentésére.

Pl.: Cerec

- A „projektor” a leképezendő tárgyra vonalmintában fényt vetít,
- a szenzorra visszaverődő fénysugár segítségével a vetített és visszaverődő fénysugár távolsága meghatározható.
- Háromszögelés:** a projektor és a szenzor által bezárt szög ( $\alpha$ ) ismeretében a tárgy távolsága (és a tárgy méretei) meghatározható(k).

3

## 3D szájüregi szkennerek /2



$$Z = \frac{fB}{x_1 - x_2}$$

Első generációs eszközök: titán oxid por használata szükséges a fényvisszaverődés csökkentésére.

Pl.: Lava COS

- Aktív hullámfront-analízis:**
- A fogak felszínéről visszavert fénysugár egy lencsés leképező rendszeren halad keresztül, végül egy szenzorra vetül.
- A leképező rendszer része 2 rés (egymástól ismert B távolságra), melyek mindegyike különböző irányokból képezi le a tárgyat, 2 képet hozva létre.
- A detektoron keletkező képek távolságának ismeretében a tárgy szkennertől mért távolsága (Z) meghatározható.

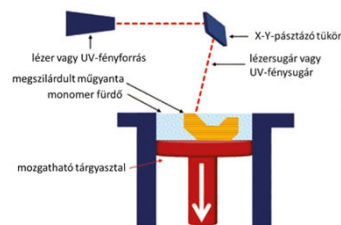
4

## Kádas fotopolimerizáció /1

„ismertebb” néven sztereolitográfia (SLA) vagy Digital Light Processing (DLP)

### A rendszer felépítése:

- **nagy intenzitású fényforrás:** leggyakrabban ultraibolya: UV-A vagy UV-B;
- **kád vagy tálcá:** epoxi- vagy akrilát-alapú, fény hatására megkötő folyékony műgyantával töltve (monomerek és oligomerek keveréke);
- **vezérlő rendszer:** tükrökkel a műgyantára vetíti a kisméretű fényfoltot.



### Legjobb felbontás:

- X-Y-tengely: 5  $\mu\text{m}$
- Z-tengely: 10  $\mu\text{m}$

5

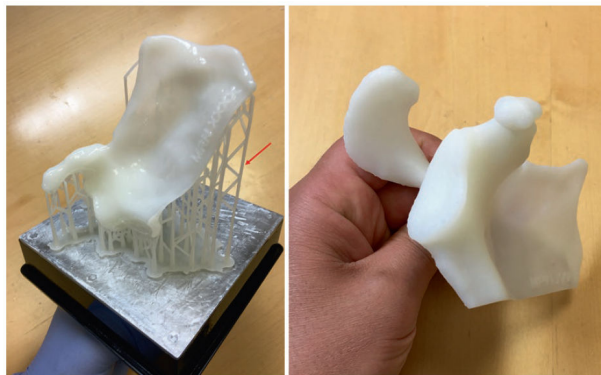
## Kádas fotopolimerizáció /2

- A műgyantát rétegről rétegre haladva szilárdítjuk meg úgy, hogy egy előre definiált formát/felületet (region of interest, ROI) világítunk meg a nyomtató Z-tengelyére merőleges síkban.
- A fény kémiai reakciót indít a műgyantában, melynek eredményeképpen a gyanta anyagának monomerjei és oligomerjei szilárd polimerré alakulnak át.
- Ha egy réteg elkészült és szerkezetileg stabil, a készülő munkadarabot egy rétegvastagságnyi távolsággal süllyesztjük (vagy emeljük - alulról felfelé építő rendszer esetén).
- A nyomtatás befejezése után a folyékony műgyanta feleslege begyűjtésre kerül, a munkadarab szerves oldószeres vagy alkoholos lemosással tisztítható.
- A munkadarabot stabilizáló szerkezeti elemeket (p. stabilizáló rácsszerkezet vagy támaszték) manuálisan szükséges eltávolítani.
- Egy UV-kamrában történő végső megvilágítási lépés a teljes polimerizációt eredményezi, a modell elnyeri végső szilárdságát.

6

## Kádas fotopolimerizáció /3

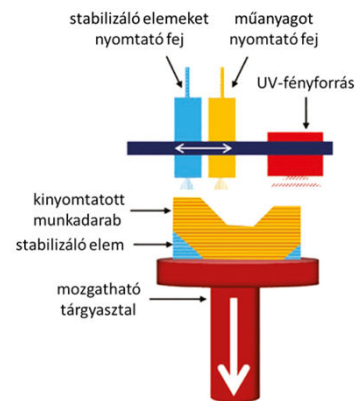
3D nyomtatással készült scapula (alulról felfelé építve)



7

## Polyjet vagy Multijet Nyomtatás (PJP or MJP)

másik néven „Photopolymer Jetting (PPJ)”



### Működési elv:

- fotopolimer cseppecskéket porlasztunk egy felületre, melyek UV-fény hatására megszilárdulnak;
- a munkadarab kinyomtatása rétegenként történik;
- lehetőség van különböző színű és anyagú fotopolimerek alkalmazására egy munkadarabon belül is;
- stabilizáló elemként gyanta vagy zselé is használható (könnyebben eltávolítható);
- **Példa:** harapásemelő sín kemény és lágy részekkel, különböző színnel nyomtatva.

### Legjobb felbontás:

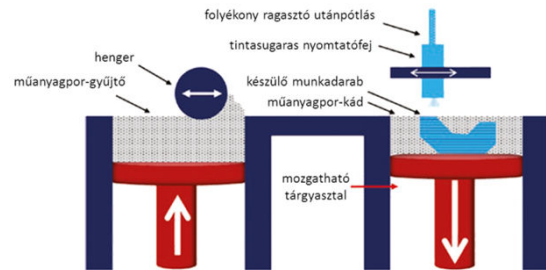
- X-Y-Z-tengely: 15  $\mu\text{m}$

8

## Tintasugaras nyomtatás /1

### Működési elv:

- apró ragasztóanyag-cseppeket adagolunk tintasugaras nyomtatófej segítségével egy poralakú anyaggal telt kád felszínére (a poralakú anyag lehet műanyag, kerámia vagy műgyanta);
- első lépésként vékony rétegben hordjuk fel a poralakú anyagot egy hordozóasztalra;
- folyékony ragasztót juttatunk a porréteg felszínére, mely összeragasztja a szomszédos porszemcséket az expozíció helyén



9

## Tintasugaras nyomtatás /2

### Működési elv (folyt.):

- hőkezelést alkalmazunk, majd a nem kötődött port eltávolítjuk a mintatartó hordozóasztalról;
- különböző színű ragasztók alkalmazásával lehetséges eltérő színű tárgyrészeket is nyomtathatni egy munkadarabon belül;
- egy kísérleti fázisban lévő eljárással kerámia szuszpenzió is alkalmazható cirkónium-dioxid-alapú műfogak előállítására.

### Legjobb felbontás:

- X-Y-Z-tengely: 50 µm

### Példa:

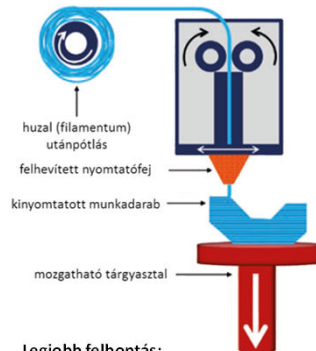
- fogmodellek,
- fogszabályozási modellek a pontosabb diagnózishoz,
- kísérleti: csontgraft-anyagok.



10

## Fused Deposition Modeling (FDM)

más néven „Fused Filament Fabrication (FFF)”



### Legjobb felbontás:

- X-Y-Z-tengely: 60 µm

### Működési elv:

- a tárgyat egy megolvasztott, termoplasztikus anyagból állítja elő, melyet a tárgyasztal felületére adagol;
- a munkadarabot rétegenként, alulról felfelé építi;
- a nyomtatófej (fúvóka) mind függőlegesen, mind vízszintesen mozgatható;
- a termoplasztikus műanyag részben olvad csak meg a fúvókában, majd a tárgyasztalra adagoláskor azonnal, 0,1 s-on belül teljesen megszilárdul;
- az egyes rétegek a hőmérséklet szabályozásával vagy kémiai módszerekkel kapcsolhatók egymáshoz.

11

## Fused Deposition Modeling (FDM)



Creality Ender-3

**Előny:** nem szükséges a munkadarab utókezelése.

**Hátrányok:** alacsony felbontás, lassú nyomtatás, gyenge minőségű felület.

**Csak termoplasztikus műanyagok használhatóak:**

- PLA (poli-tejsav),
- ABS (akrilonitril-butadién-sztirol),
- PVA (polivinil-acetát),
- HIPS (ütésálló polisztirol).



A PLA jobban alkalmazható a fogászatban, mert biokompatibilisebb, mint az ABS.

12

## Powder Bed Fusion (PBF)

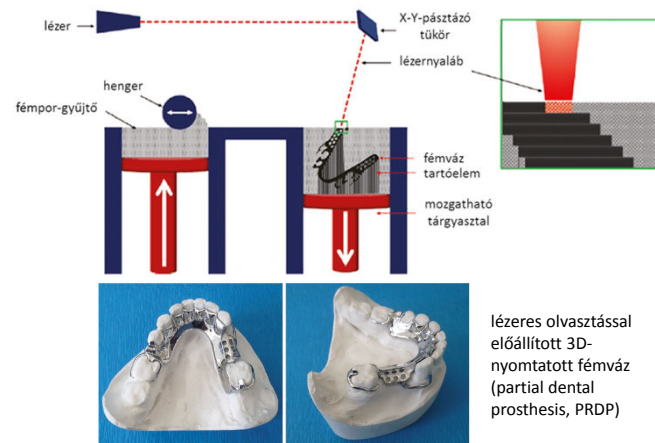
- **Lézerrel történő szinterezés/olvasztás:** rétegről rétegre;
- nagy teljesítményű lézer olvasztja össze egy tömörített por szomszédos rétegeit egy adott felület (ROI) mentén;
- a réteg elkészültével a tárgyasztalt süllyesztjük, majd egy új porréteget rétegzünk az előző tetejére, majd újból lézersugarat alkalmazunk az új réteg elkészítéséhez.

## Selective Electron Beam Melting (SEBM)

- hasonló a lézeres szinterezéshez és olvasztáshoz, de a folyamat **vákuumban, elektronnyaláb felhasználásával zajlik**;
- lehetséges egy FDM-hez hasonló módszer alkalmazása is, melyben nem termoplasztikus műanyag, hanem fém huzal olvasztását végzi a nagy energiájú elektronnyaláb.
- **Alkalmazás:**
  - Különböző ötvözetek felhasználásával porózus tárgyak állíthatók elő, pl. kobalt-króm- és titán-ötvözetek,
  - egyedileg gyártott maxillofaciális sebészeti implantátumok.

13

## Powder Bed Fusion (PBF)



lézeres olvasztással előállított 3D-nyomtatott fémváz (partial dental prosthesis, PRDP)

14

## Példa: ZrO<sub>2</sub> fogászati implantátum

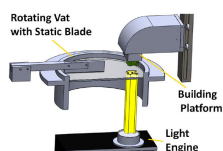
### 3D Printing of Zirconia—What is the Future?

J Schweiger<sup>1</sup> · D Bomze<sup>2</sup> · M Schwentenwein<sup>2</sup>

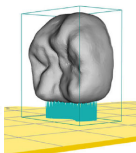
Current Oral Health Reports (2019) 6:339–343  
https://doi.org/10.1007/s40496-019-00243-4

#### Hajlítómerevség

- zománc: 200 Mpa
- porcelán: 120-190 Mpa
- cirkónium-dioxid: 1200 MPa



**CeraFab 7500**  
fogászati 3D nyomtató



**STL (stereo-lithography) fájl**  
alul: kék műanyag tartóelem



**„green body”** keresztmetszett szerves ragasztóanyag és cirkónium-dioxid szemcsék  
**„white body”** tisztítás, hőkezelés (1000 °C)  
**elkészült fogkorona** festés, égetés (770 °C)

15

## 3D nyomtatás módszertana - összefoglaló

Módszer	Halmazállapot	Anyag	Előnyök	Hátrányok	Fogorvosi alkalmazások
SLA	folyadék	polimerek, PLA, PEG-DMA, PPF, PTMC, PMMA, kerámia, PLGA/TCP)	nagy pontosság, sima felszín, nagy sűrűség, alacsony alapanyag-költség	nagy technológiai költség, korlátozott stabilitás, utókezelés szükséges	fogászati modellek, sebészeti célzóeszközök, harapásemelő sín, ideiglenes korona vagy híd
Polyjet/Multijet	folyadék	gyanták, szilikon	nagy pontosság, sokféle alapanyag és szín	drága alapanyagok	fogászati modellek, harapásemelő sín, stb.
Inkjet	por	kerámia szuszpenzió, gipsz	alacsony alapanyag-költség, sokféle alapanyag és szín	korlátozott stabilitás, gyenge pontosság, durva felszín	fogászati modellek, kerámia fogpótlás, csontgraft
FDM	huzal	polimerek: PLA, ABS, PC, PCL, PPSU	alacsony alapanyag-költség, stabil szerkezet, sokféle alapanyag és szín	korlátozott stabilitás, durva felszín, csak termoplasztikus anyagok használhatók	sebészeti célzóeszközök, harapásemelő sín, protézis

16

**Köszönöm  
a  
figyelmet!**

