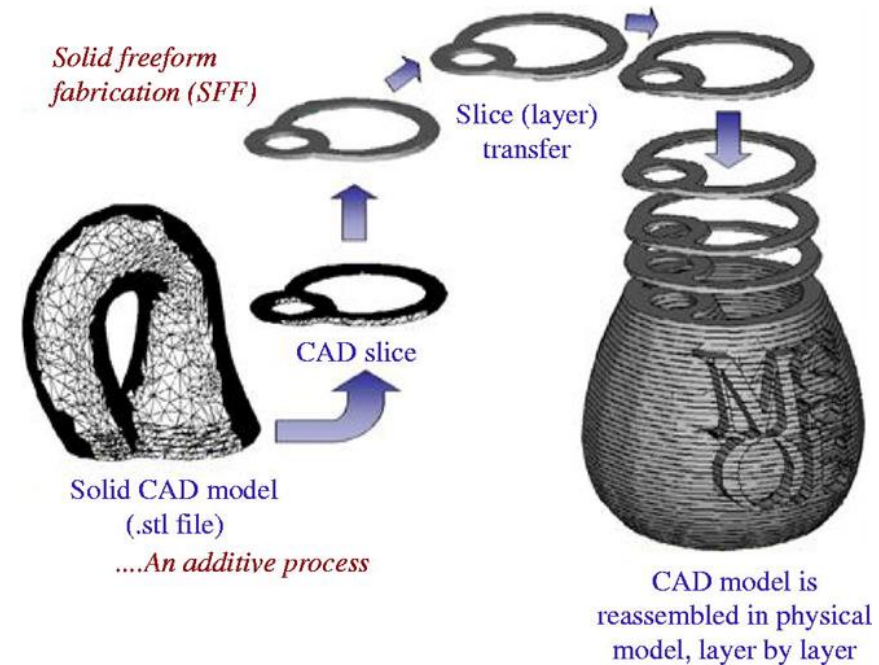
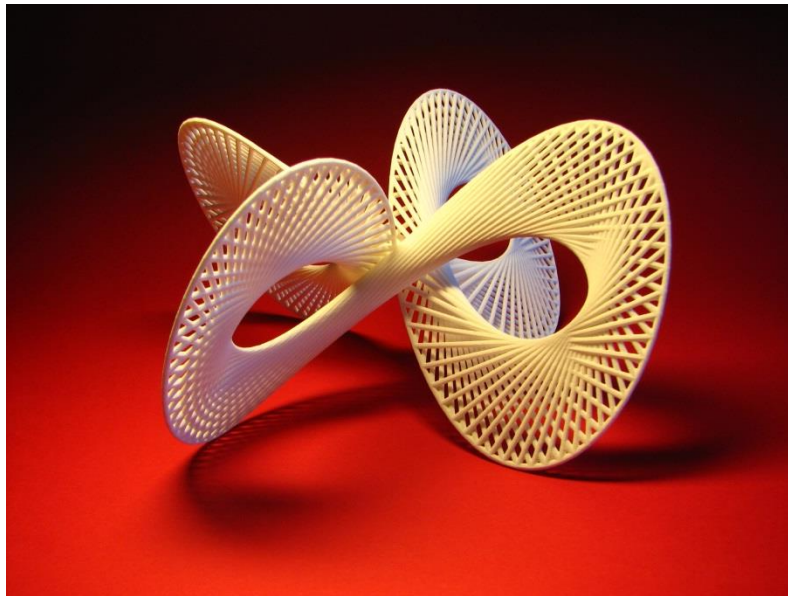


**3D tisk**

# 3D tisk – obecný úvod

Nejčastěji synonymum pro **aditivní výrobu** (*additive manufacturing*) – model vzniká postupným přidáváním materiálu po vrstvách až do dosažení požadovaného tvaru



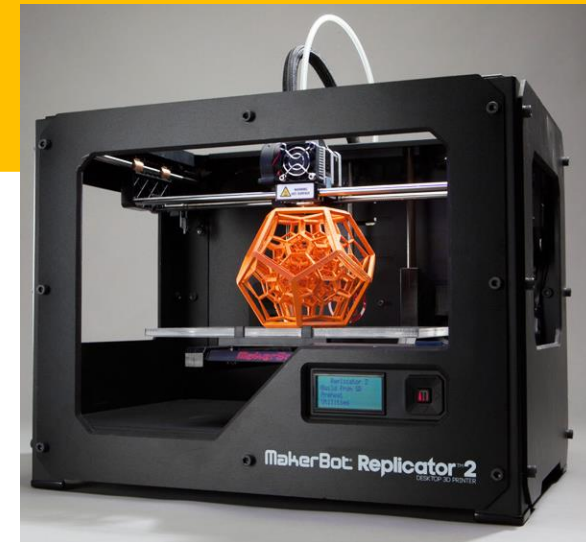
Zdrojem dat pro tiskárny je digitální trojrozměrný model převedený do tiskové úlohy specializovaným softwarem (tzv. *slicer*)

# Postupné nanášení tekutého materiálu

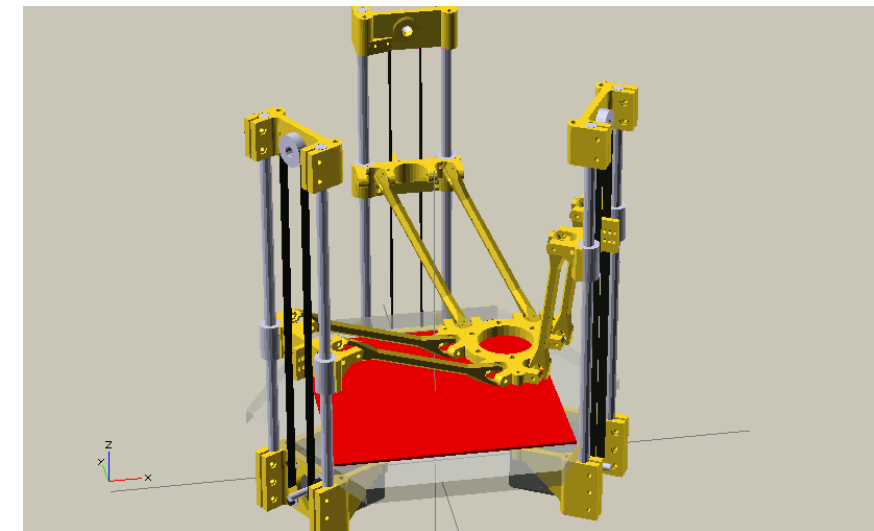
## *Fused decomposition modeling (FDM), fused filament decomposition (FFD)*

(1989 – Scott Crump)

- technika nejbližší obecné představě o 3D tisku – v rovinách průřezu modelem je nanášen natavený stavební materiál
- trvanlivý a skladný stavební materiál
- nevzniká velké množství odpadu
- od stovek dolarů
- je nutné tisknout podpěry



MakerBot 2



Deltabot – konstrukce využívá tři vertikálních ramen  
Zdroj: [www.deltabot-makers.com](http://www.deltabot-makers.com)

# Nejčastěji používané FDM materiály

## PLA (Polylaktid – polymer kyseliny mléčné)

- biologicky odbouratelný materiál vyráběný z rostlinných škrobů
- prodáván obvykle ve formě 3mm nebo 1,75mm struny
- teplota měknutí 60° - energeticky úspornější
- vyšší lesk
- zdravotně nezávadný



Různobarevné PLA struny  
(Makerbot)



# Nejčastěji používané FDM materiály

## ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)

- nejpoužívanější materiál v 3D tisku (a také pro výrobu široké škály výrobků)
- zdravotně nezávadný
- odolný vůči vysokým (pevný do 105 stupňů) i nízkým teplotám a mechanickému poškození, nasákání, kyselinám, hydroxidům i tukům
- při ochlazování může dojít k narušení povrchu (smrštění 0,3-0,7 %)





# Nejčastěji používané FDM materiály

## Dřevo

Směs pilin a látky, která po nanesení aerosolu zpevňuje. Výrobek má „dřevěný vzhled“ a opracovávat.

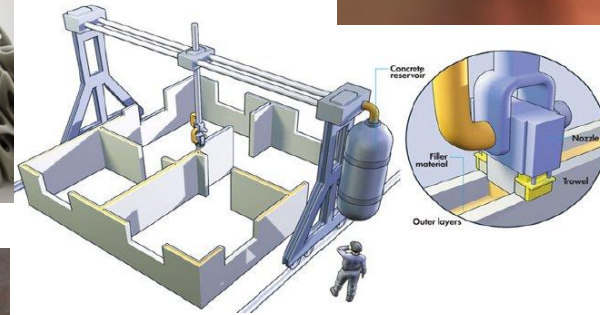


## Cement

Při obohacení polymerovými vlákny může mít vlastnosti železobetonu.



[www.emergingobjects.com](http://www.emergingobjects.com)



[www.hizook.com](http://www.hizook.com)

## Sůl



Pasty – čokoláda, těsto atd.



Choc Edge



Systems & Materials Research



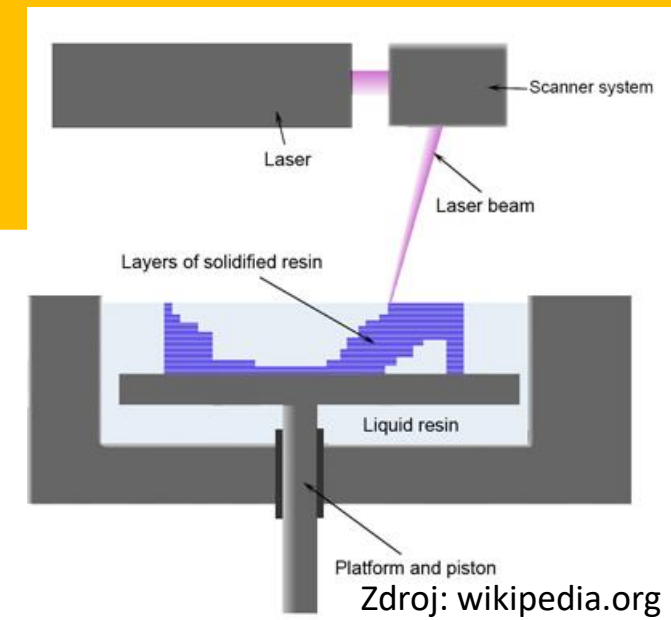
Natural Machines

# Ztužování tekutého polymeru

Stereolitografie

STL, SLA (1986 – Chuck Hull)

- vrstvy modelu vznikají ztužováním tekutého fotopolymeru UV zářením
- po omytí je model vytvrzen v UV peci.
- model s vysokým stupněm detailů, bez ostrých přechodů (při stavění se uplatňuje minimum mechanických sil),
- nutná péče o tekutý polymer a práce s ním



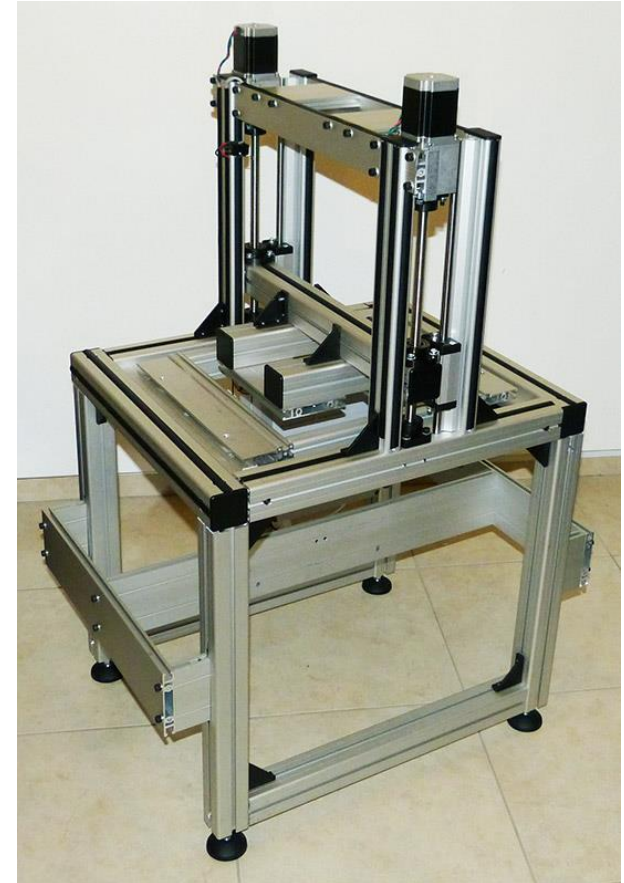
# Ztužování tekutého polymeru



Form 1+ (*Formlabs*)  
3000 \$



Titan 1 (*Kudo 3D*)  
3000 \$



Illios HD  
2909 Eur

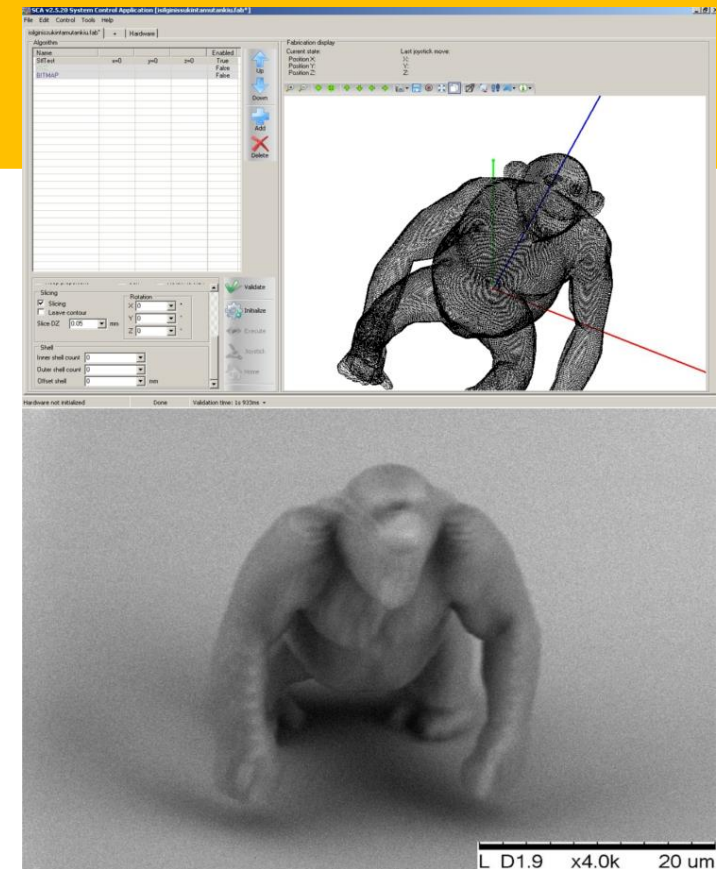


# Ztužování tekutého polymeru

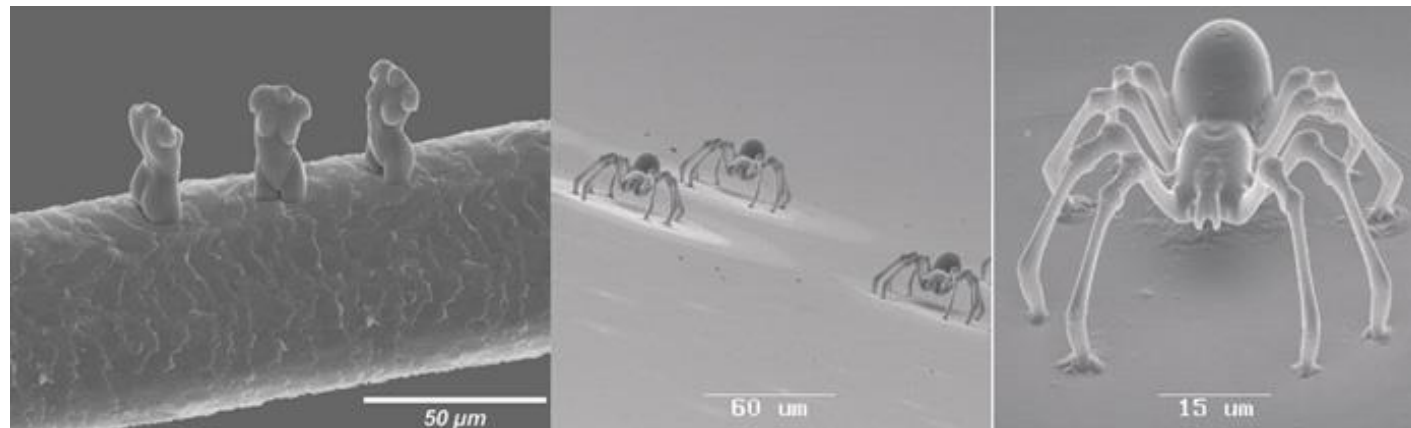
**Multifotonová polymerizace**  
(dvoufotonová polymerizace – *two-photon polymerization*)

- femtosekundový laser ztužuje gel ne po vrstvách, ale v celém objemu

Metoda je schopná vytvořit velmi detailní modely -  
100 nm -10  $\mu\text{m}$  resolution



Zdroj: <http://www.asdn.net/>



# Ztužování tekutého polymeru

## StrataSys J750

- 500 000 barev
- pevné, pružné, transparentní, neprůhledné
- vrstva 0,014 mm
- podpory odstranitelné vodní tryskou



# Ztužování tekutého polymeru

## StrataSys J750

- 500 000 barev
- pevné, pružné, transparentní, neprůhledné
- vrstva 0,014 mm
- podpory odstranitelné vodní tryskou









# Spojování granulárního materiálu

## *Inkjet 3D printing*

- *chefjet pro* – tavení sypkého cukru



# Spojování granulárního materiálu

**Selective laser sintering** – SLS (selektivní spékání laserem, sintrování)

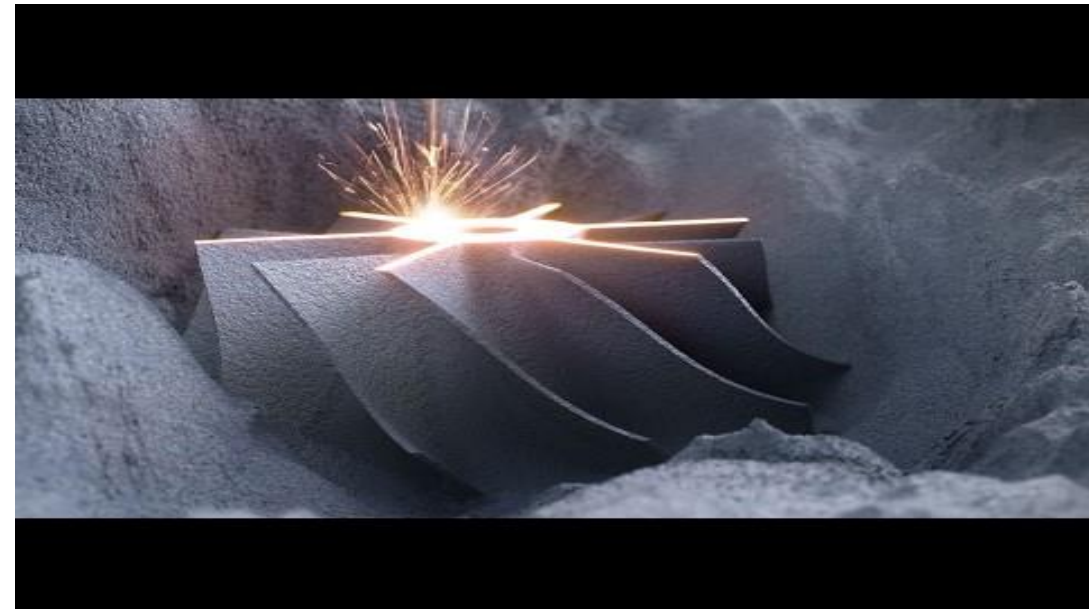
- spékání prášku

**Direct metal laser sintering** – DLMS – liší se pouze v detailech

*např. Alumid – nylon s hliníkovým prachem – vyšší teplota tání než čisté termoplasty*

**Selective laser melting**

- roztavení prášku



Selective laser melting  
Zdroj: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

# Spojování granulárního materiálu

## *Electron beam melting*

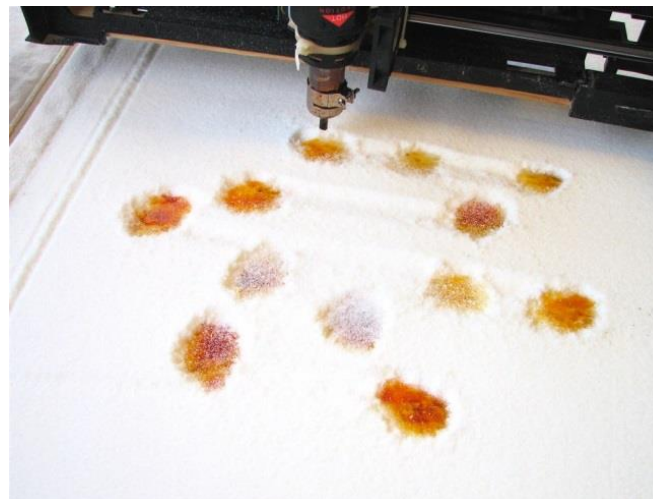
- elektronový paprsek schopný tavit titan



Zdroj: [www.micromanufacturing.com](http://www.micromanufacturing.com)



## *CandyFab* – tavení sypkého cukru



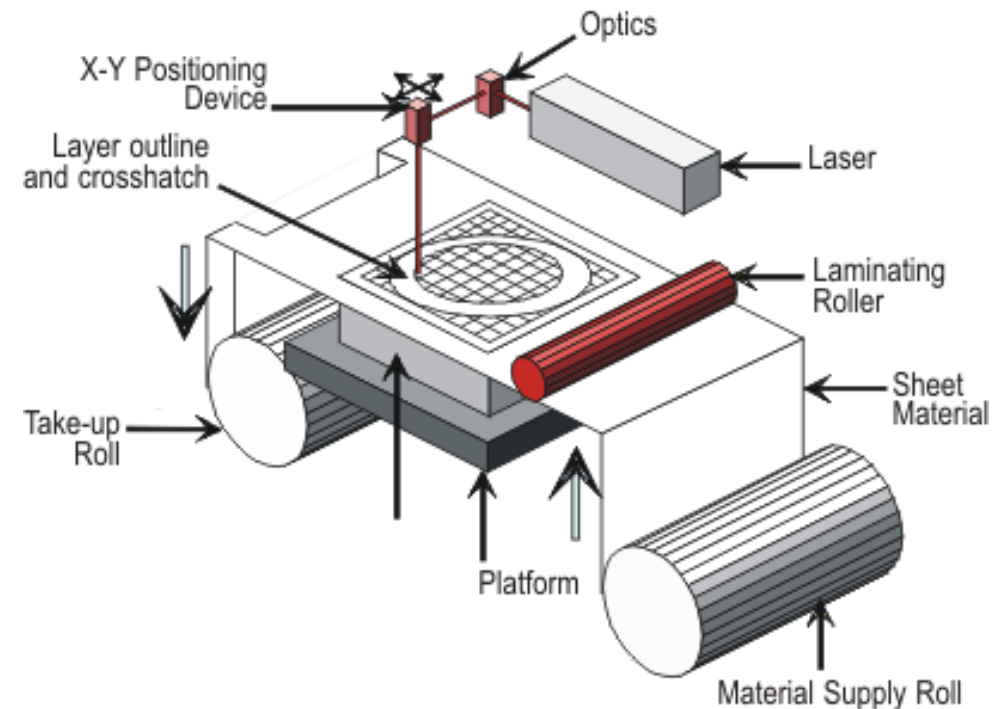
# Slepování řezů

**LOM laminated object manufacturing** (vyvinuto *Helisys Inc.*)

Lepení vrstev materiálu (např. papíru nebo fólie) vyřezaných do tvaru průřezu modelem.

K řezání se využívá nůž nebo laserový paprsek.

- nevhodné pro tvorbu dutých předmětů
- vylamování modelů
- nekvalitní povrch
- nejsou potřeba podpěry
- potenciálně vysoká rychlost – tiskárna edituje pouze obvod řezu, netiskne např. vnitřní výztuhy
- využívá levný materiál

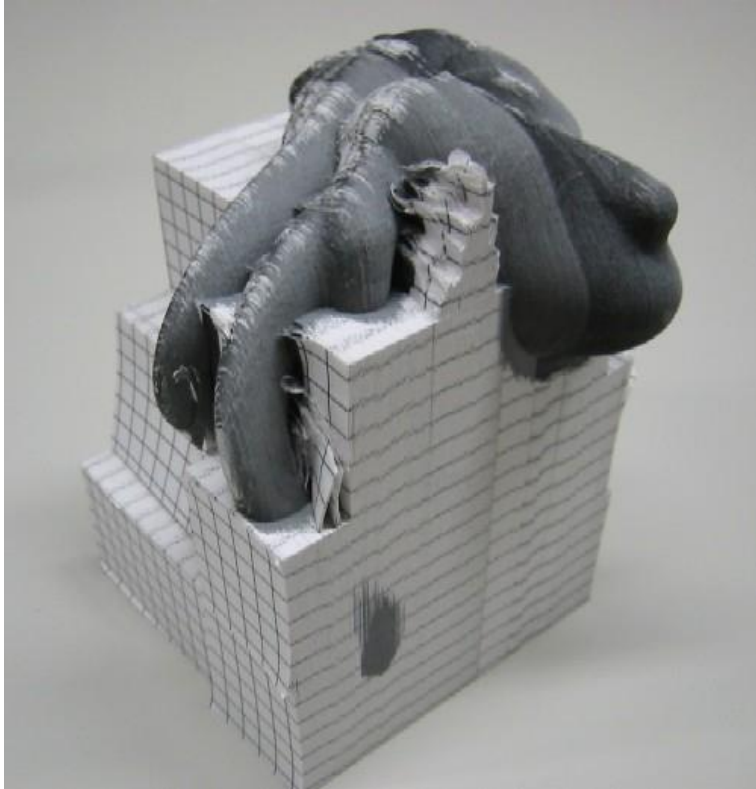


*AZOM.COM™*

Zdroj: [www.azom.com](http://www.azom.com)



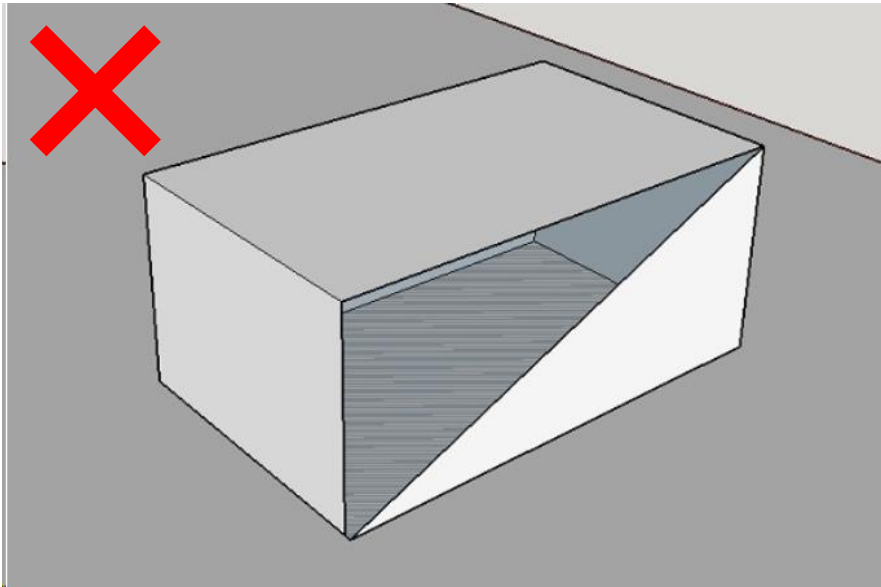
# Slepování řezů



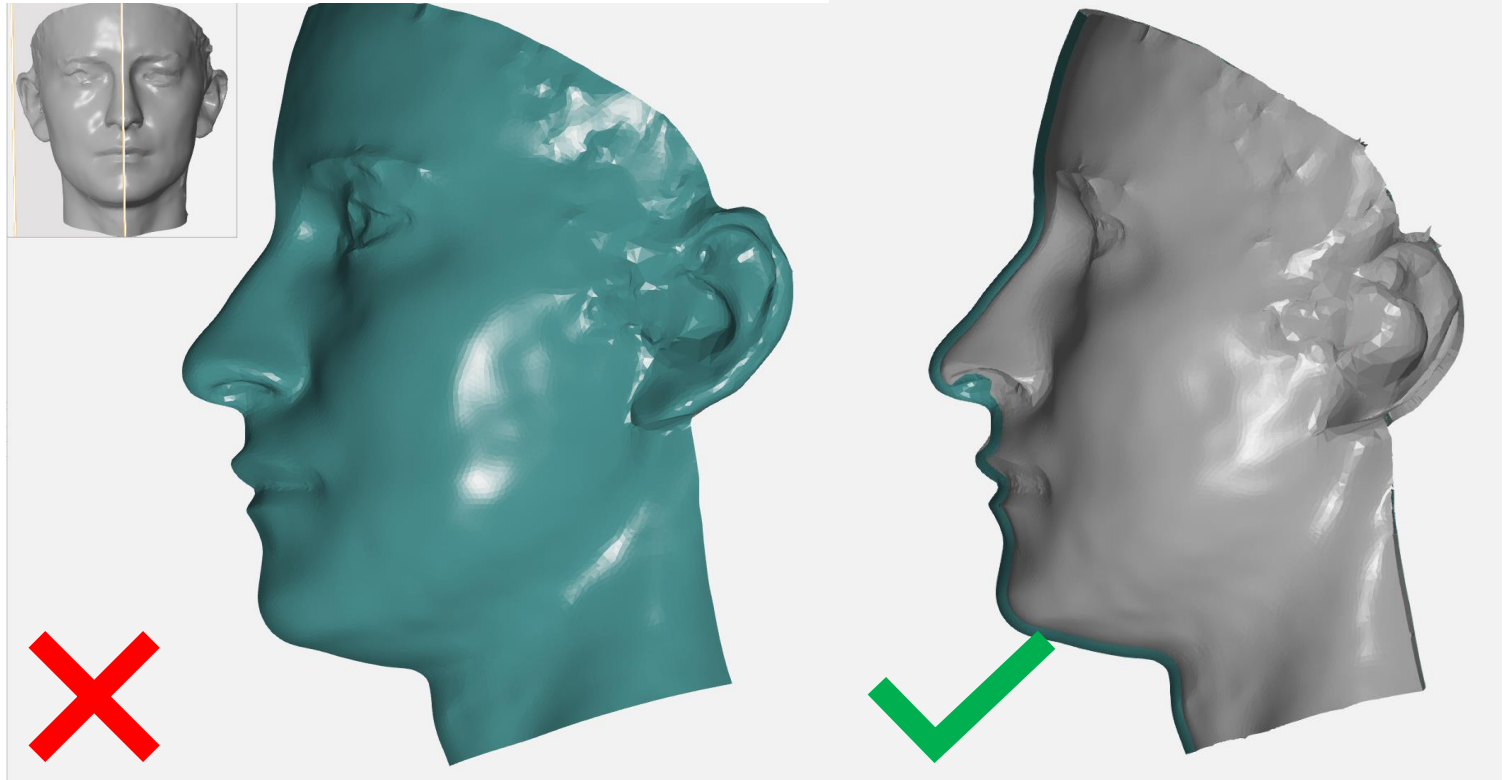
Zdroj: [www.hyperfun.org](http://www.hyperfun.org)

# Modely pro 3D tisk - zásady

- model musí být uzavřený (*watertight*)
- nejde o uzavřenost ve smyslu tvaru, ale o vlastnost polygonální sítě, která musí obsahovat pouze hrany, které tvoří vždy stranu dvou facet (nejsou okrajové)



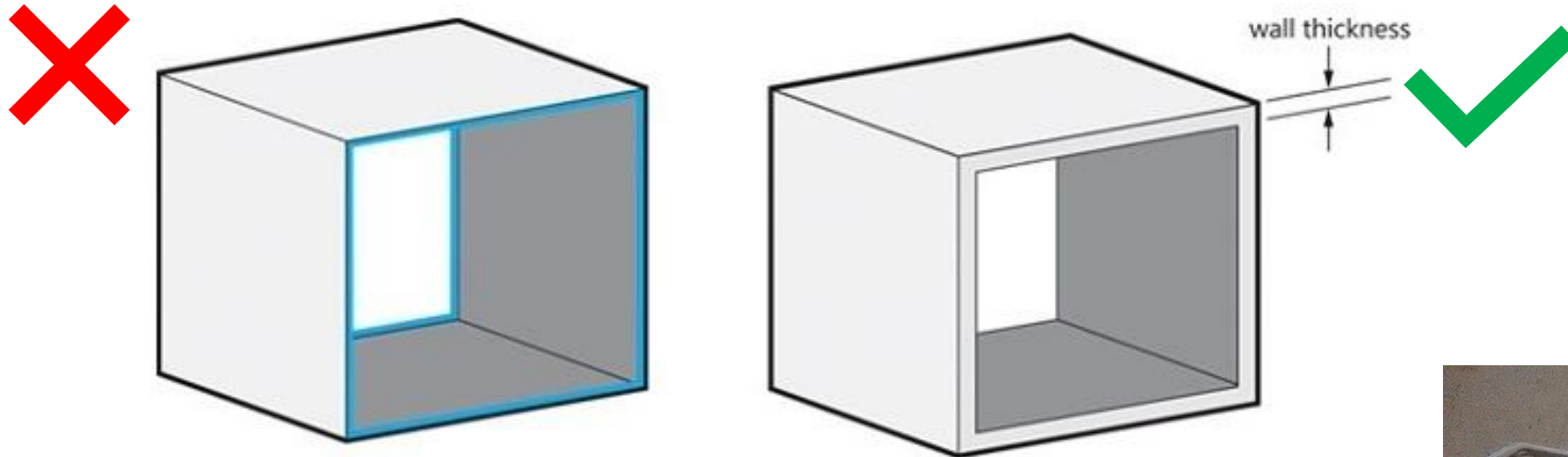
řešení – *hole filling* (GOM Inspect, Maya, NetFabb)



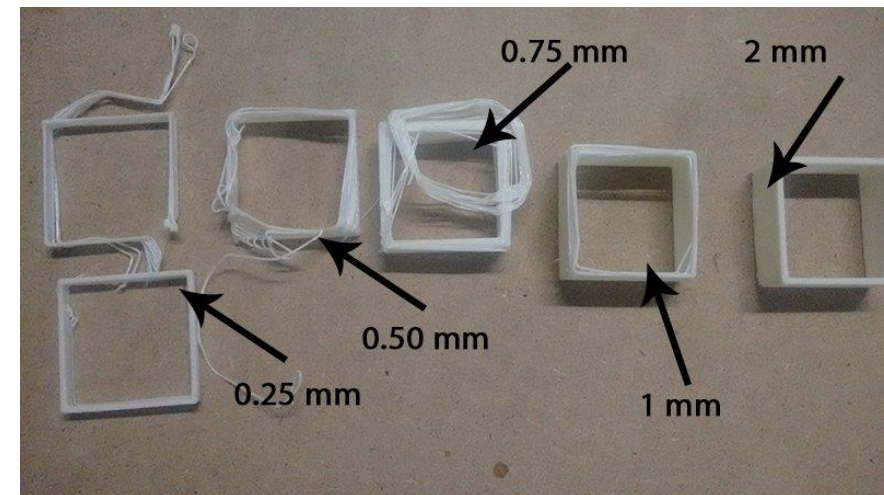
vytvoření objemu – *solidify, extrude* (Maya 2018)

# Modely pro 3D tisk - zásady

- o dostatečná tloušťka stěn



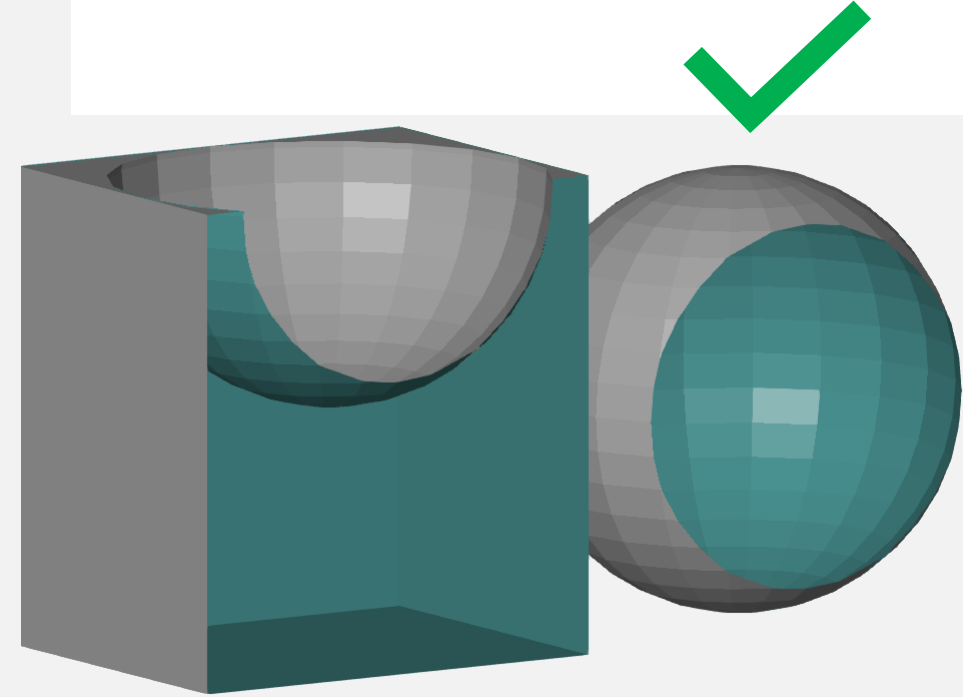
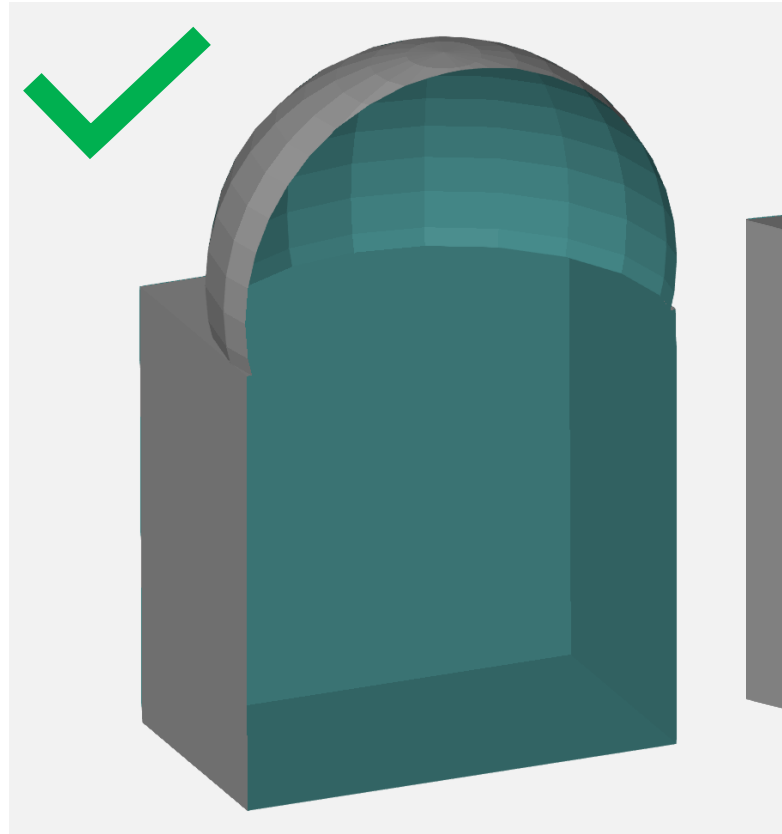
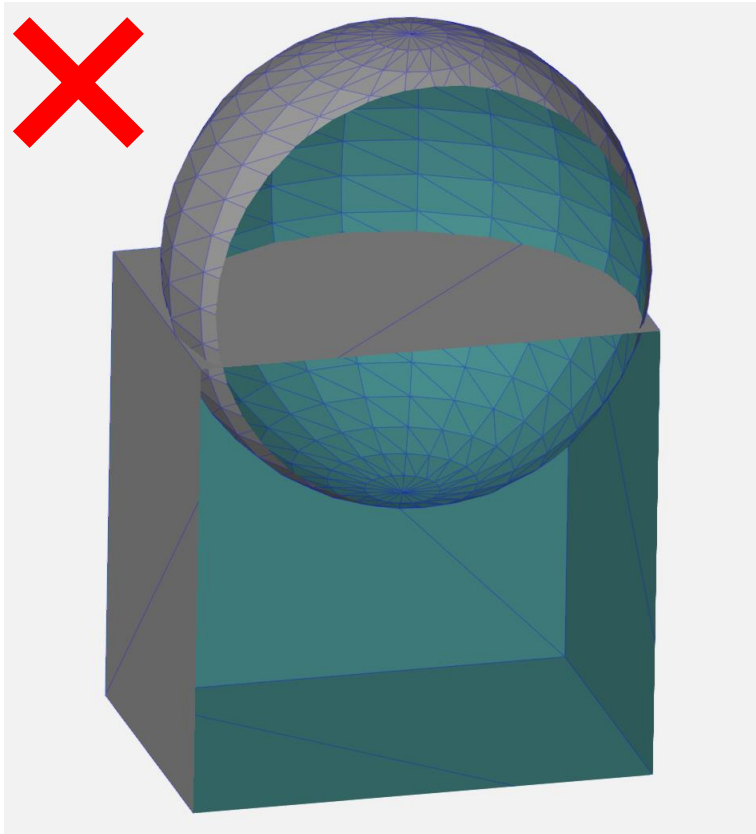
- o je potřeba hlídat při tvorbě uzavřených modelů a při zmenšování modelů
- o příliš tenké stěny -> poruchy tisku



(fabacademy.org)

# Modely pro 3D tisk - zásady

- model musí být tvořen jedinou polygonální sítí, jejíž facety se nikde neprotínají
- na úrovni celého modelu

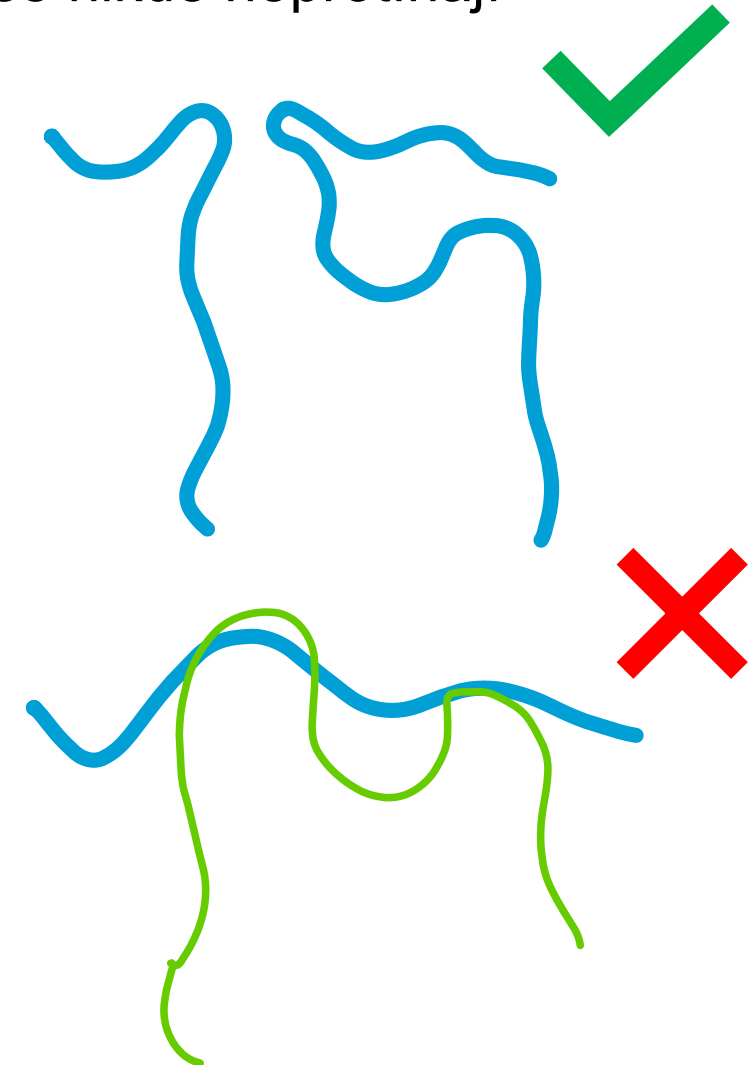
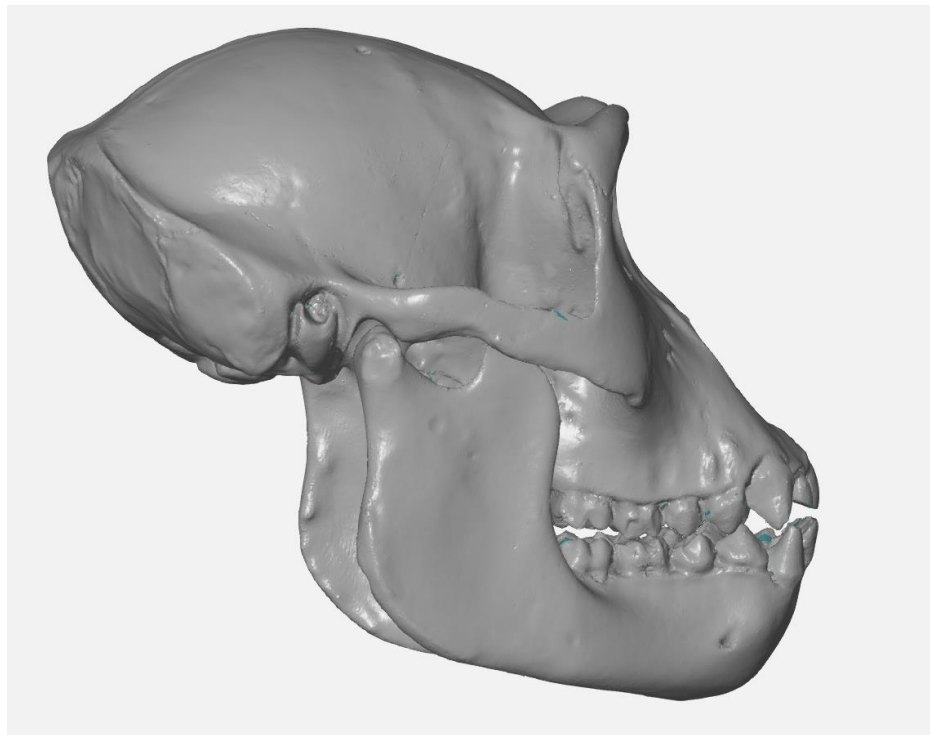
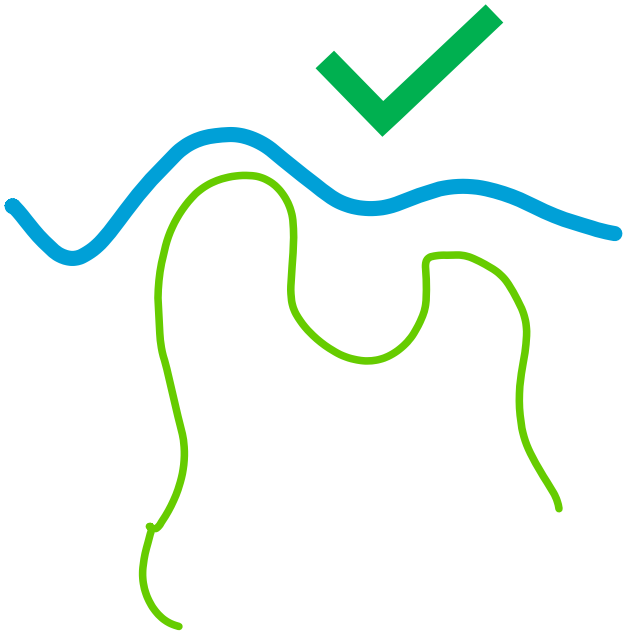


- Boolean operace (Maya 2018, NetFabb, TinkerCad)



# Modely pro 3D tisk - zásady

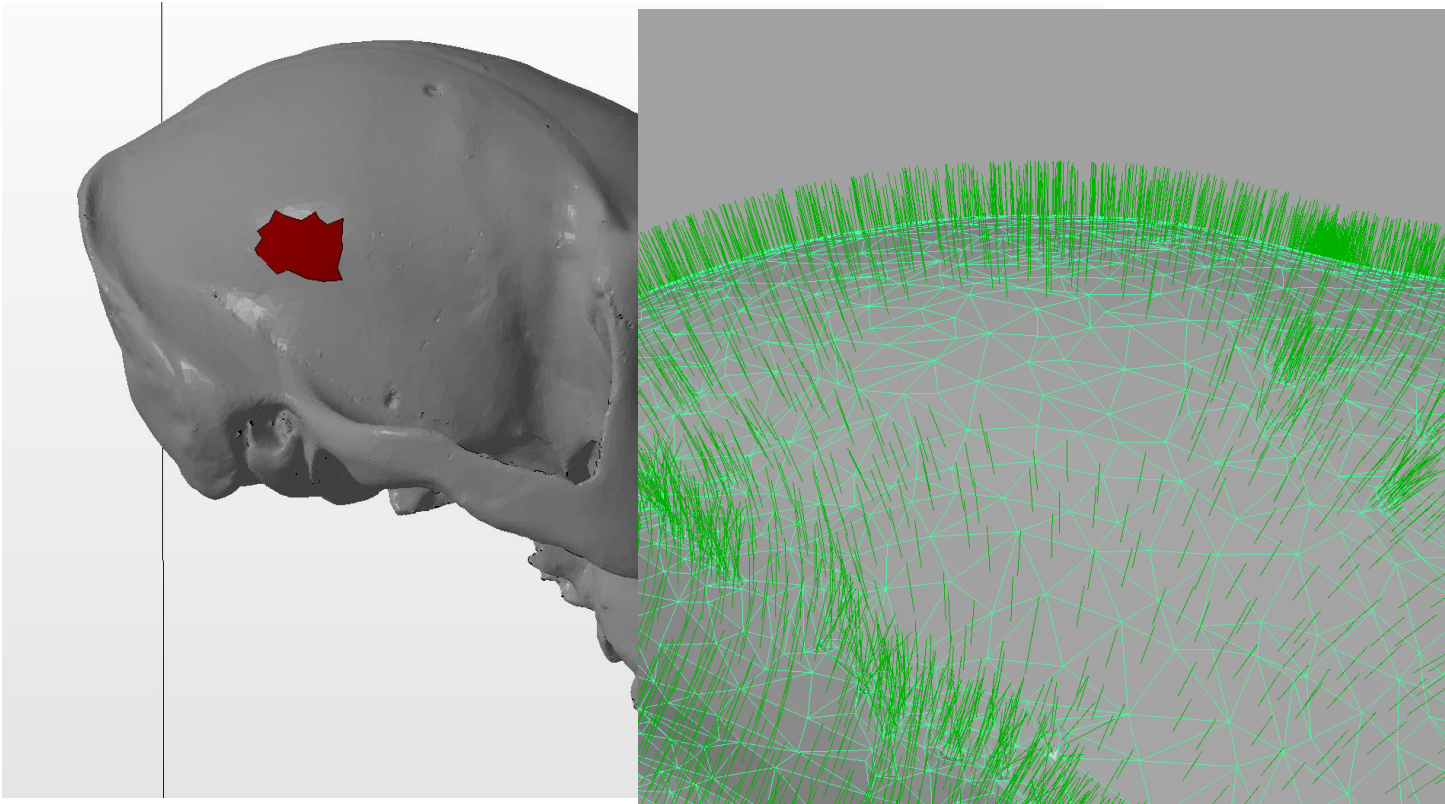
- model musí být tvořen jedinou polygonální sítí, jejíž facety se nikde neprotínají
- na úrovni celého modelu



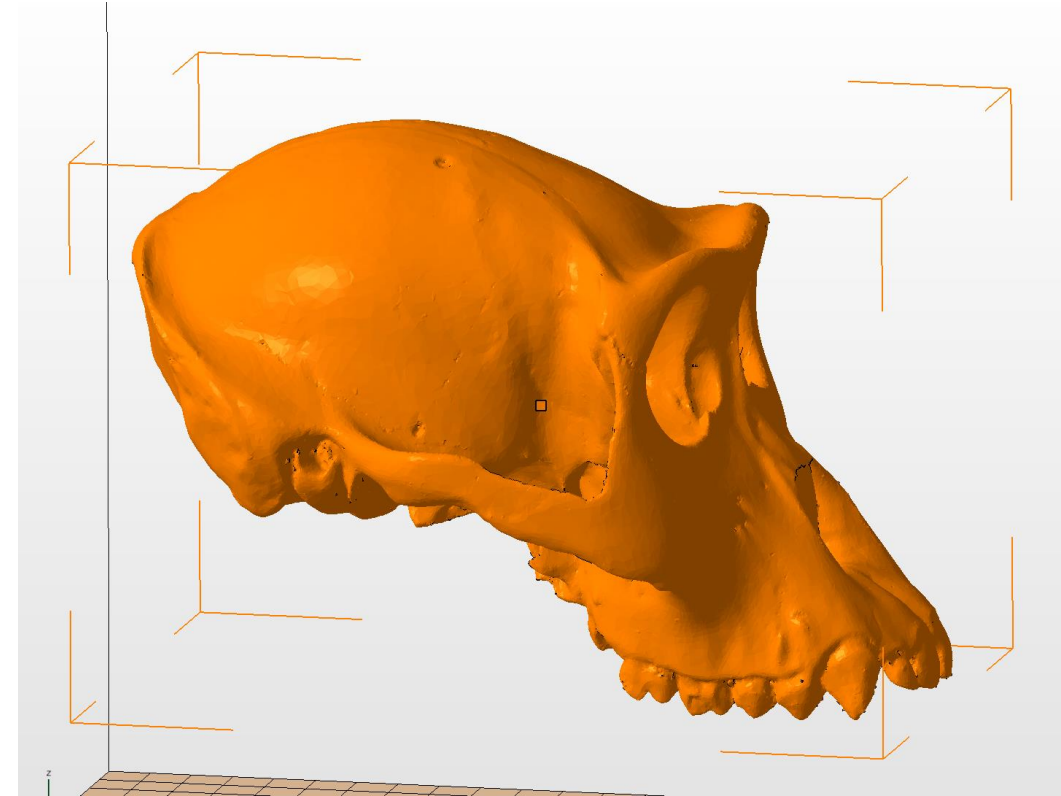
- Boolean operace (Maya 2018, NetFabb, TinkerCad)

# Modely pro 3D tisk - zásady

- chyby ve směřování normál modelu



- *invert normals* (Maya 2018, NetFabb)



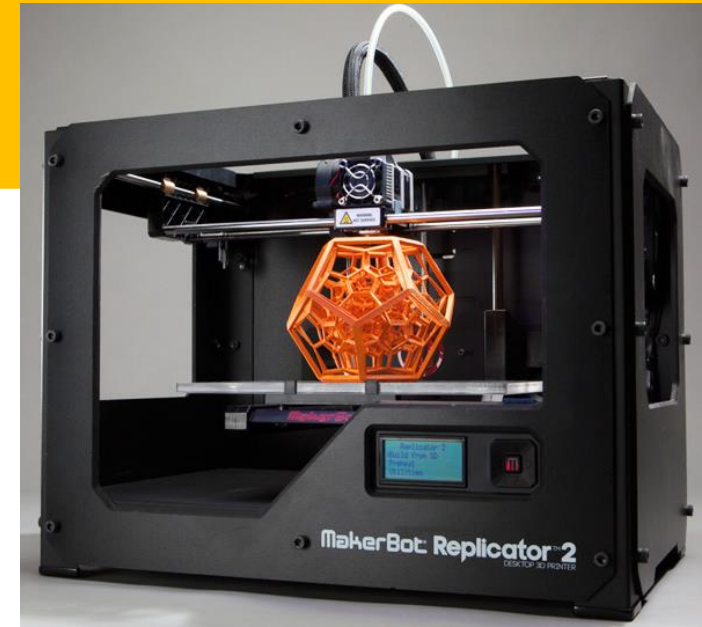
# MakerBot Replicator 2

Velikost stavěcí komory: 28,5 x 15,3 x 15,5 cm

Přesnost polohy trysky x,y – 11 $\mu$ m, z – 2,5  $\mu$ m

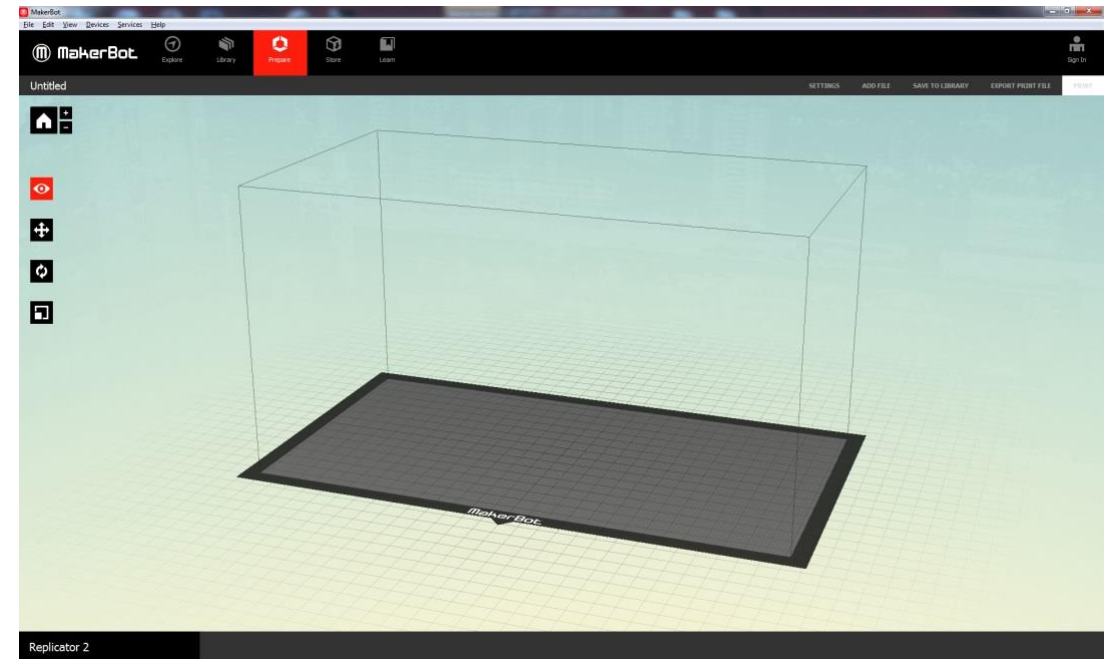
Výška vrstvy: 100  $\mu$ m - 340  $\mu$ m (v závislosti na nastavení)

Průměr otvoru trysky 0,4 mm



## Slicer – MakerBot print

- importuje modely a převádí je na tiskový algoritmus
- dovoluje nastavit polohu a orientaci modelu ve stavěcí komoře, jeho velikost a další parametry tisku
- výstupním formátem jsou tiskové projekty (.think) a vlastní soubory, sloužící pro tisk (.x3g)



# Obecné funkce slicerů

Import modelu (stl, někdy obj a další formáty)



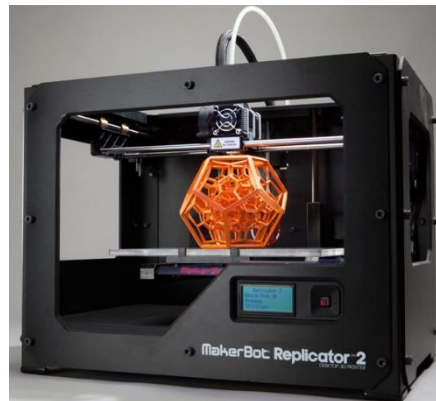
Orientace a zvětšení modelu



Nastavení vlastností tisku



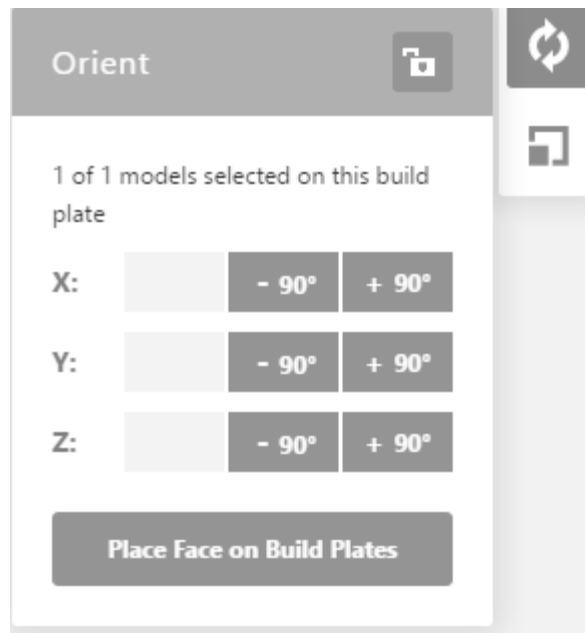
Vygenerování tiskové úlohy pro danou tiskárnu



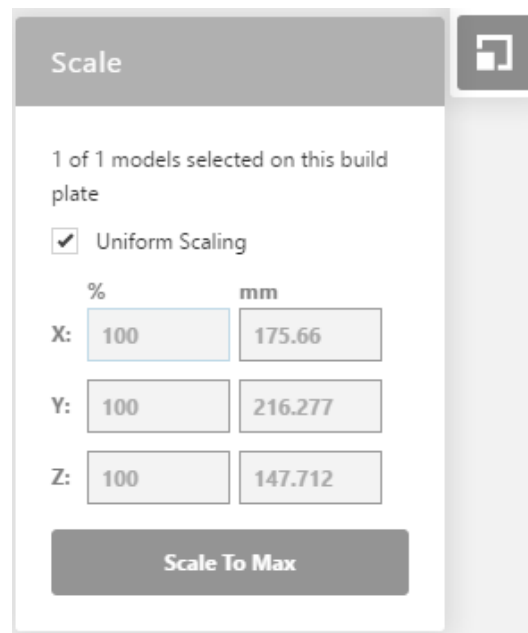


# Tiskové úlohy

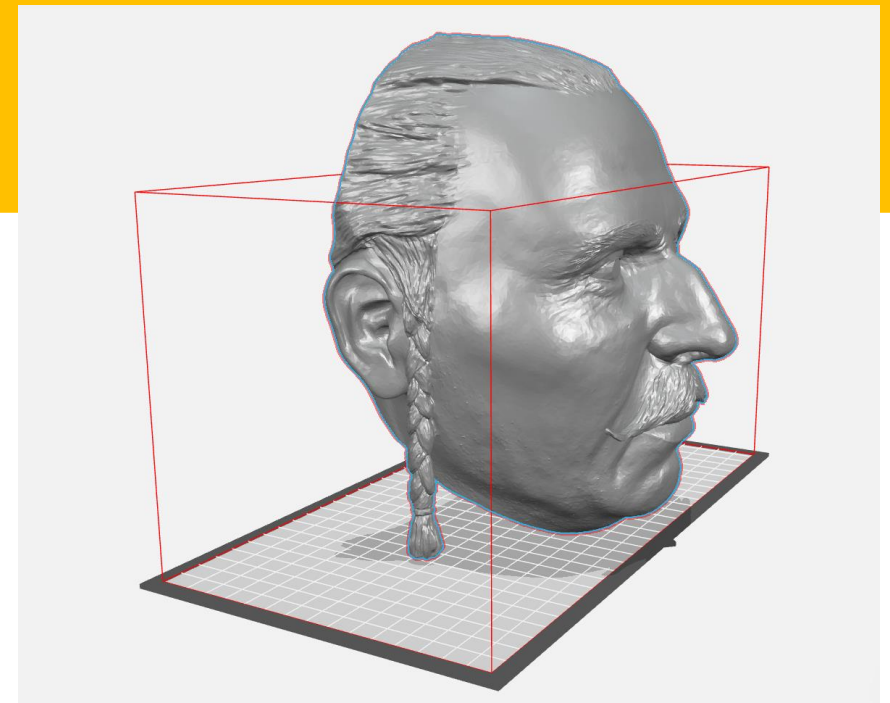
Import a úprava polohy



Rotace modelu ve vztahu k osám



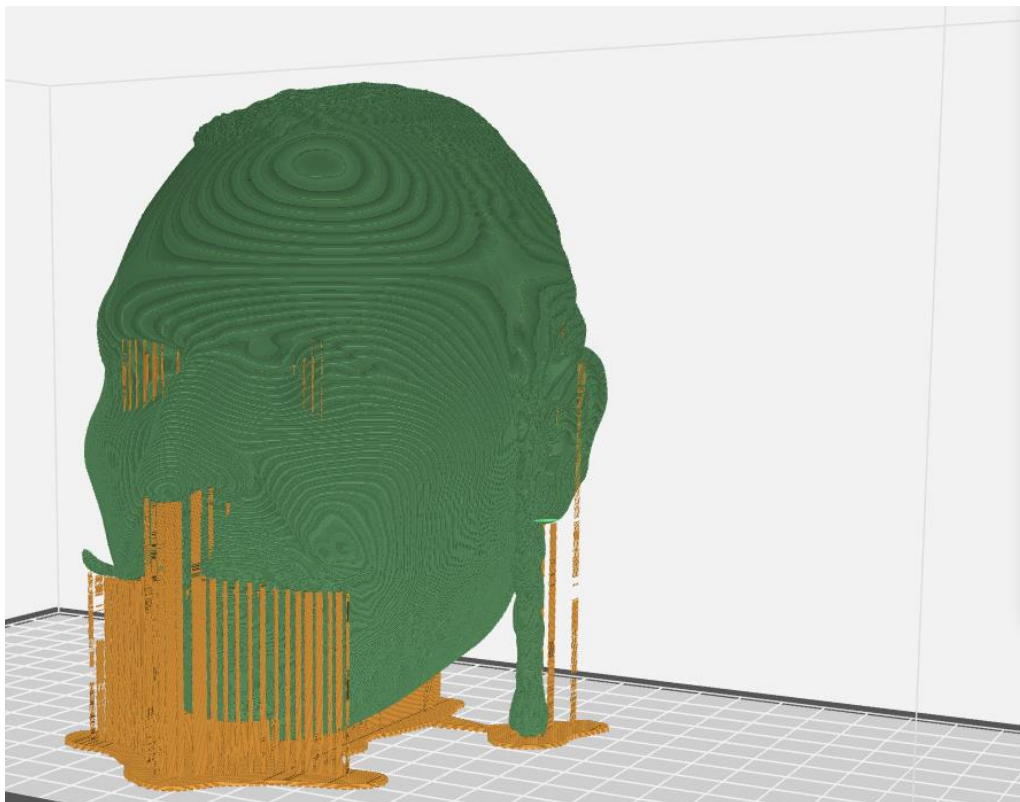
Relativní a absolutní zvětšení a zmenšení modelu



# Tiskové úlohy

Model se musí:                   vejít do stavěcího prostoru  
**tisknout s ohledem na kvalitu**  
**tisknout s ohledem na spotřebu materiálu**

Výška vrstvy – výška jedné vrstvy modelu (v MB2 0,01-0,04 mm)



0.1 mm

0.2 mm

0.3 mm

Layer Height (mm)	Material Estimate	Time Estimate
0.1	134.33g (0.3lb)	2:06 pm (17h 56m)
0.2	130.61g (0.29lb)	6:54 am (10h 39m)
0.3	133.26g (0.29lb)	3:27 am (7h 4m)

The image displays three side-by-side print preview panels for a 3D model of an elephant head. Each panel shows the model with orange support structures and a corresponding 'Print Preview' sidebar. The sidebar for 0.1 mm layer height shows a material estimate of 134.33g (0.3lb) and a time estimate of 2:06 pm (17h 56m). The sidebar for 0.2 mm layer height shows a material estimate of 130.61g (0.29lb) and a time estimate of 6:54 am (10h 39m). The sidebar for 0.3 mm layer height shows a material estimate of 133.26g (0.29lb) and a time estimate of 3:27 am (7h 4m). The 'Print Preview' sidebar includes a 'Play Animation' button, a 'Layer Range' dropdown set to 'All Layers', and 'Display' options for Model Material, Support Material, Travel Moves, and Layer Highlight. The 'Print Estimates' section includes a material estimate icon and a time estimate icon.

# Tiskové úlohy

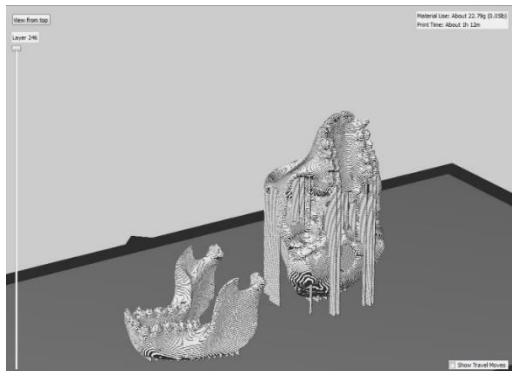
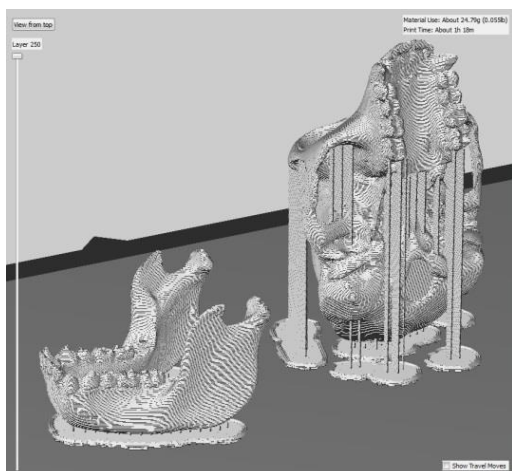
Model se musí:

vejít do stavěcího prostoru

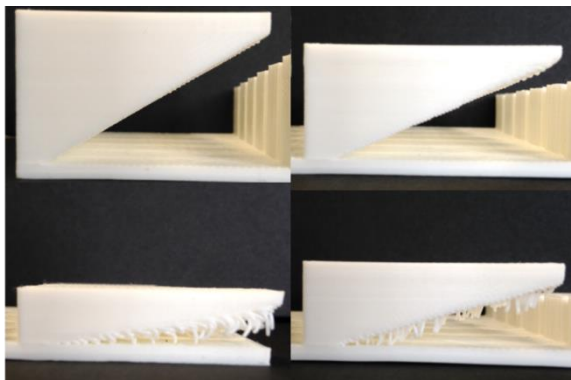
**tisknout s ohledem na kvalitu**

**tisknout s ohledem na spotřebu materiálu**

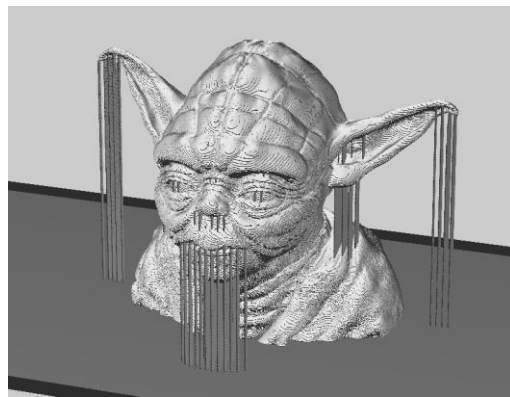
*Raft*



a *support*



Clockwise from top left  
30°, 22.5°, 15°, and 7.5° angled overhangs



- vyrovnává případné nerovnosti stavěcí desky – samotný model je tištěn na rovnou a čistou plochu raftu
- pomáhá při tisku modelů, které mají s kontaktní deskou omezený kontakt – zvyšuje přilnavost
- zvyšuje spotřebu materiálu a dobu tisku
- pokud je v místě kontaktu s podložkou plocha, raft se špatně odstraňuje

# Tiskové úlohy

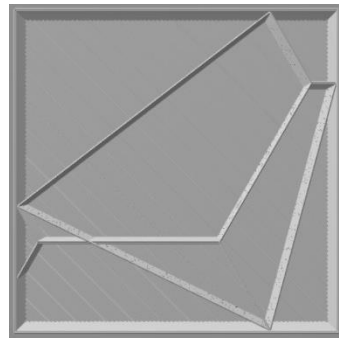
Model se musí:

vejít do stavěcího prostoru

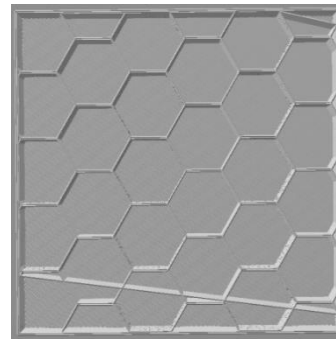
**tisknout s ohledem na kvalitu**

**tisknout s ohledem na spotřebu materiálu**

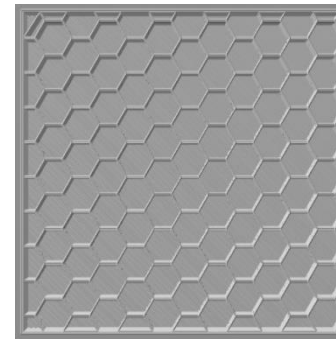
*Výplň*



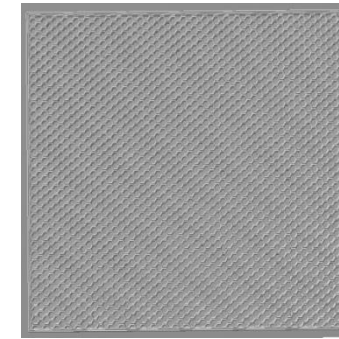
*Infill 1%*



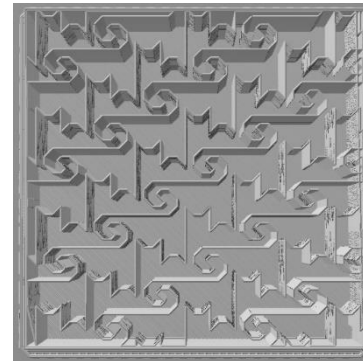
*Infill 5%*



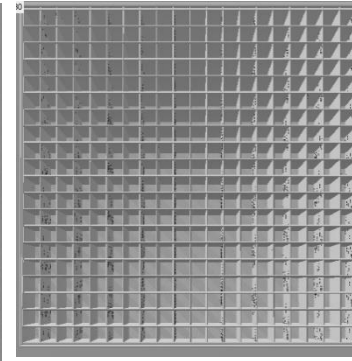
*Infill 10%*



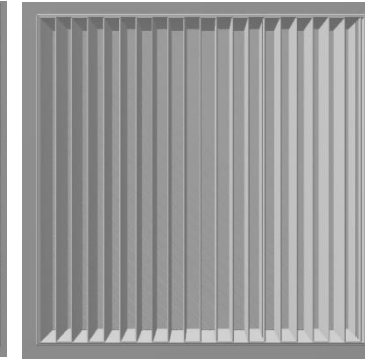
*Infill 50%*



*catfill*



*linear*





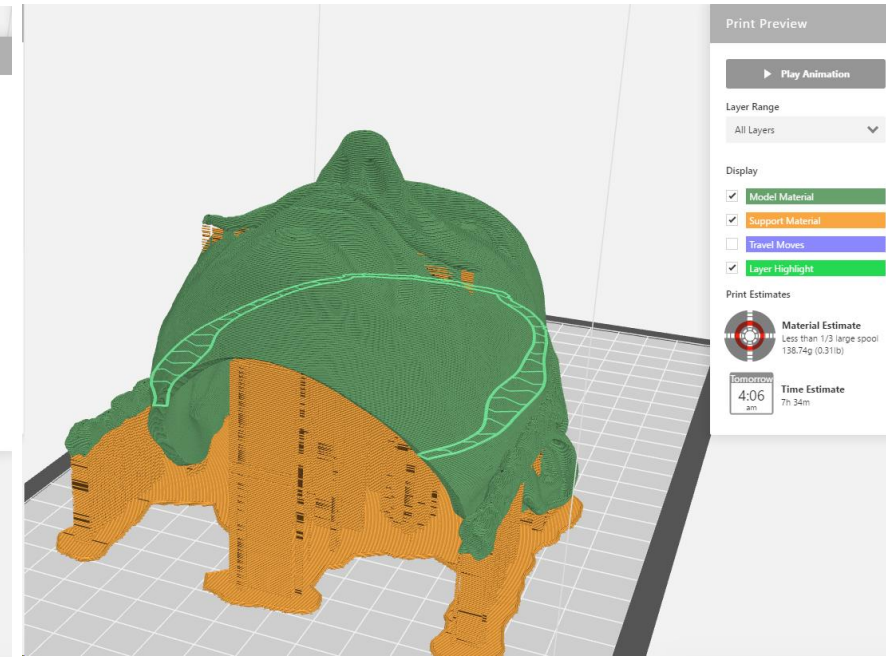
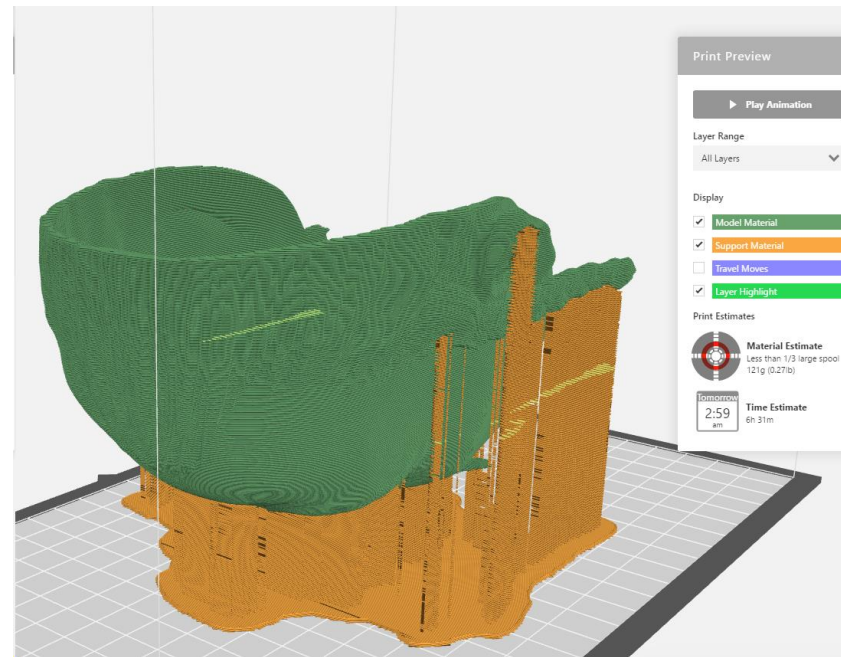
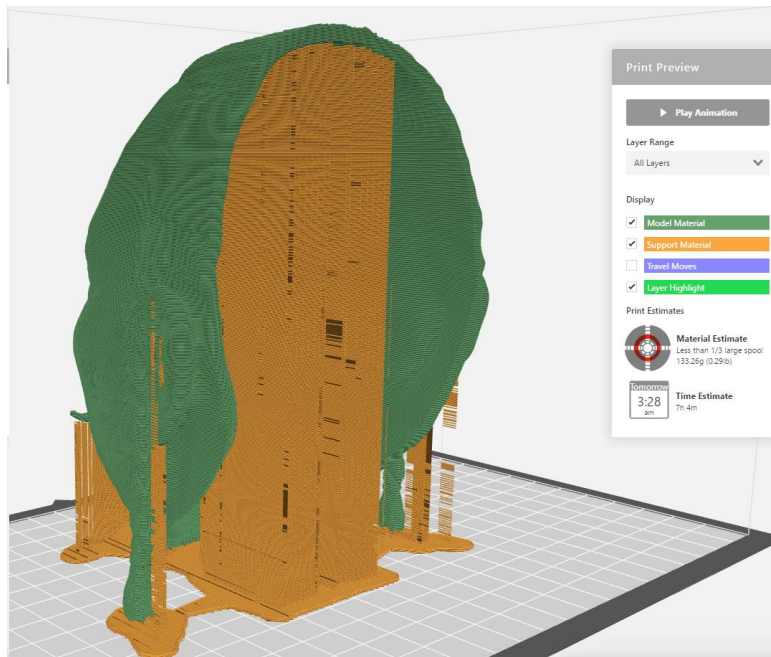
# Tiskové úlohy

Model se musí:

vejít do stavěcího prostoru

**tisknout s ohledem na kvalitu**

**tisknout s ohledem na spotřebu materiálu**



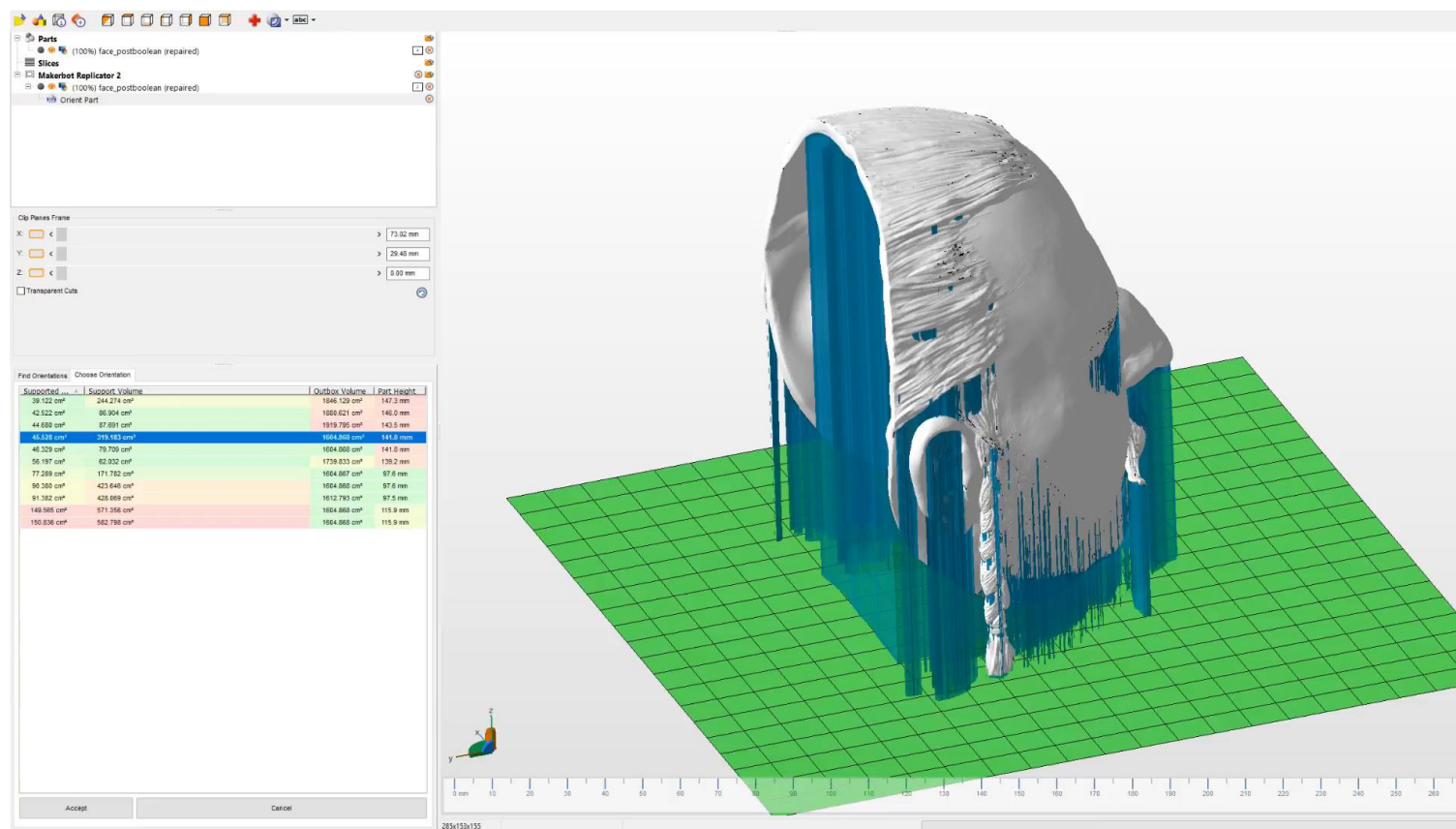
# Tiskové úlohy

Model se musí:

vejít do stavěcího prostoru

**tisknout s ohledem na kvalitu**

**tisknout s ohledem na spotřebu materiálu**



NetFabb AutoDesk – automatické vyhledání vhodných poloh



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Forensic Science International

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/forsciint](http://www.elsevier.com/locate/forsciint)



### Using drone-mounted cameras for on-site body documentation: 3D mapping and active survey



Petra Urbanová<sup>a,\*</sup>, Mikoláš Jurda<sup>a</sup>, Tomáš Vojtíšek<sup>b</sup>, Jan Krajsa<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratory of Morphology and Forensic Anthropology, Department of Anthropology, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlarska 2, 611 37 Brno, Czech Republic

<sup>b</sup>Department of Forensic Medicine, Faculty of Medicine, Masaryk University, St. Anne's Faculty Hospital, Tvrděho 2a, 662 99 Brno, Czech Republic