

Teoretické základy aditívnej výroby

Prednáška

 [instagram.com/mtf](https://www.instagram.com/mtf)
[instagram.com/uvtemtfstu](https://www.instagram.com/uvtemtfstu)

 [facebook.com/uvtemtfstu](https://www.facebook.com/uvtemtfstu)
[facebook.com/MTF.STU](https://www.facebook.com/MTF.STU)

 [stumtf](https://www.youtube.com/stumtf)

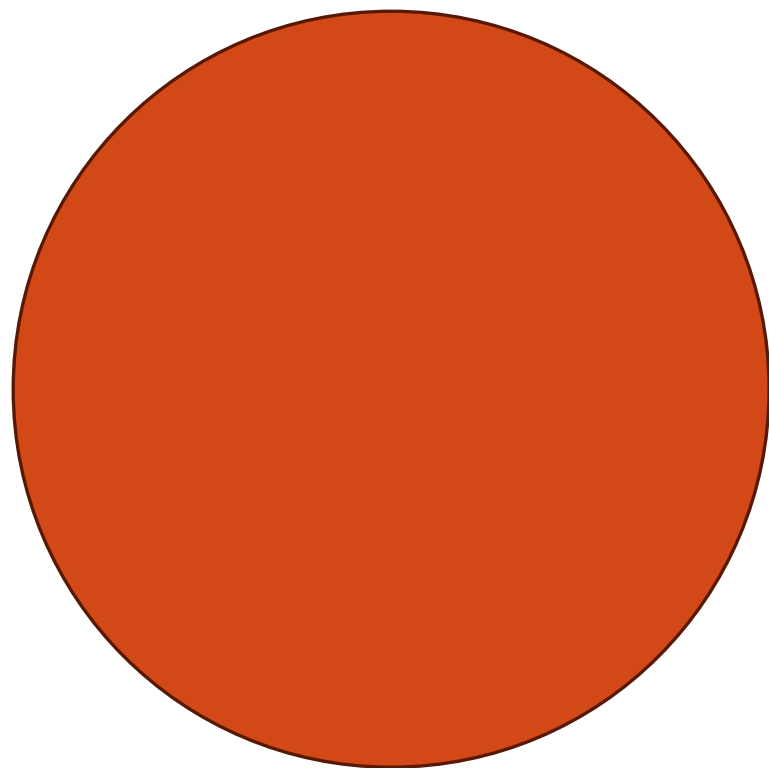
DOC. ING. IVAN BURANSKÝ, PhD.

Obsah

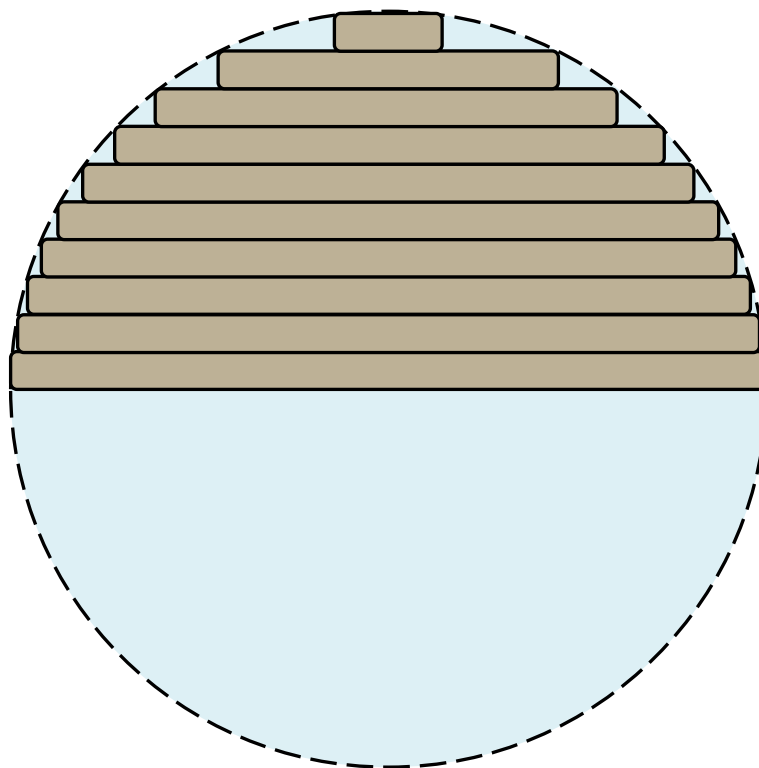
- ❑ Hrúbka vrstvy
- ❑ Infill – diely s premenlivou hustotou vnútornej výplne
- ❑ Infill – hustota vnútornej výplne
- ❑ Infill – vzor vnútornej výplne
- ❑ 3MF formát pre aditívnu výrobu
- ❑ Generatívny dizajn
- ❑ Dátový tok pre aditívnu výrobu
- ❑ Mechanické vlastnosti
- ❑ Simulácia a počítačová tomografia

HRÚBKA VRSTVY

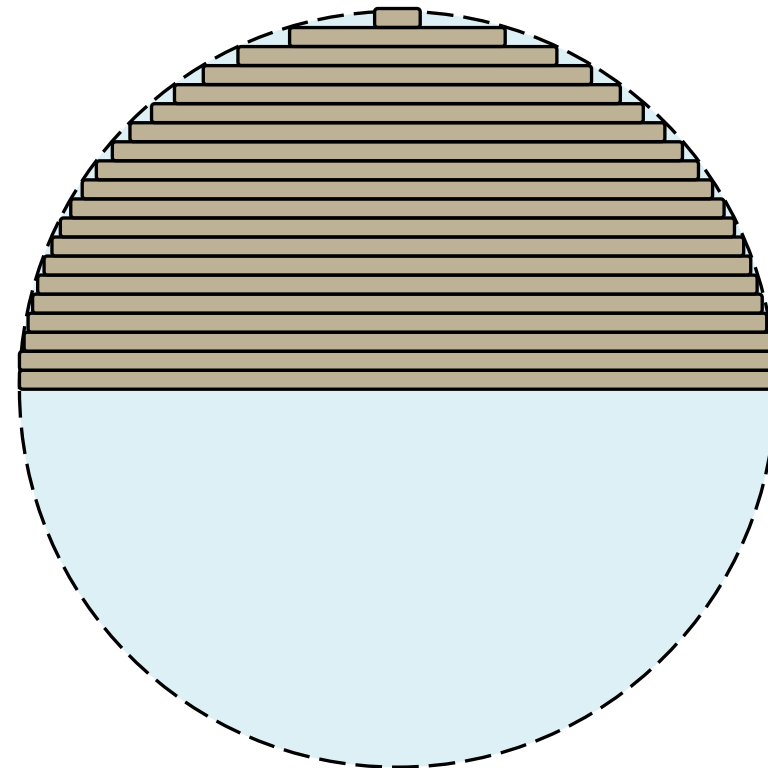
GUĽOVÁ PLOCHA



3D CAD MODEL



**HRÚBKA VRSTVY 0,2
mm**



**HRÚBKA VRSTVY 0,1
mm**

Príklad

Hrúbka vrstvy 0,13 mm



Print Time
7h 1m
F123 ABS (cm³)
126.291
F123 QSR support (cm³)
4.468



Layer: 328

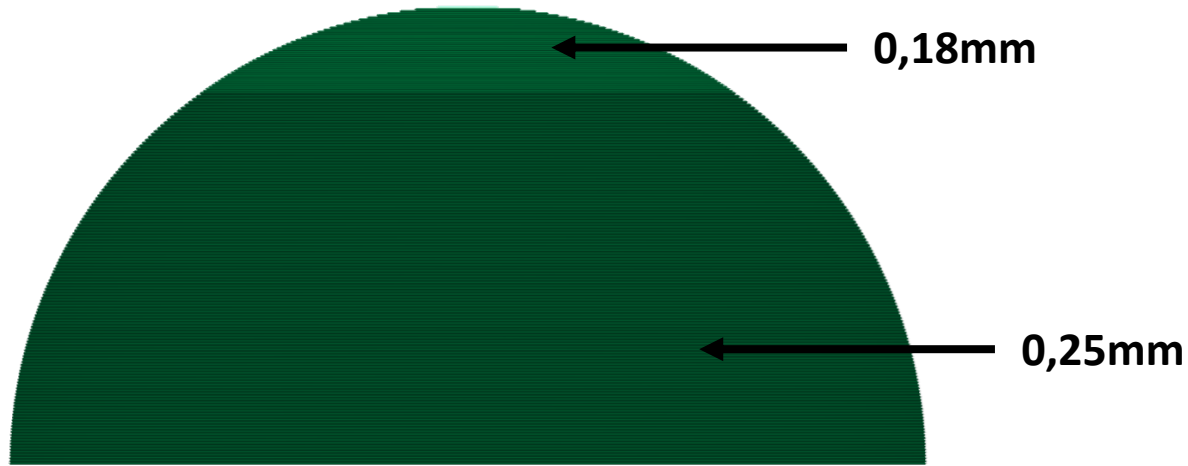
Hrúbka vrstvy 0,33 mm



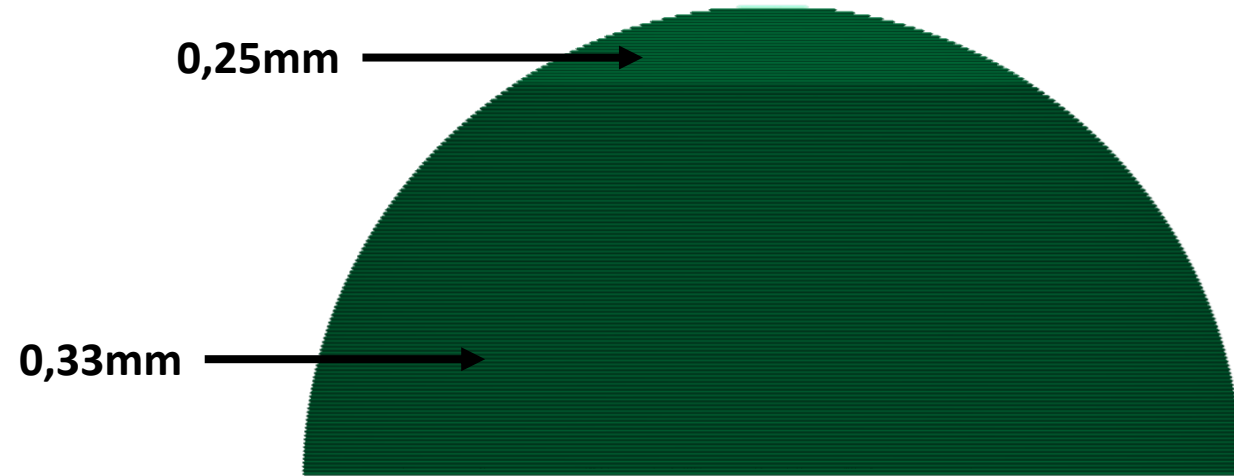
Print Time
2h 16m
F123 ABS (cm³)
91.372
F123 QSR support (cm³)
6.815



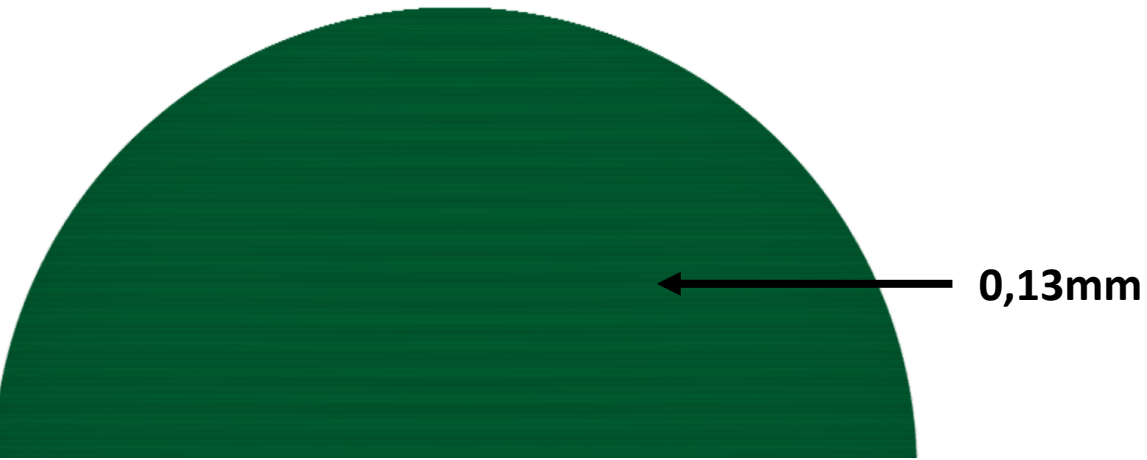
Layer: 129



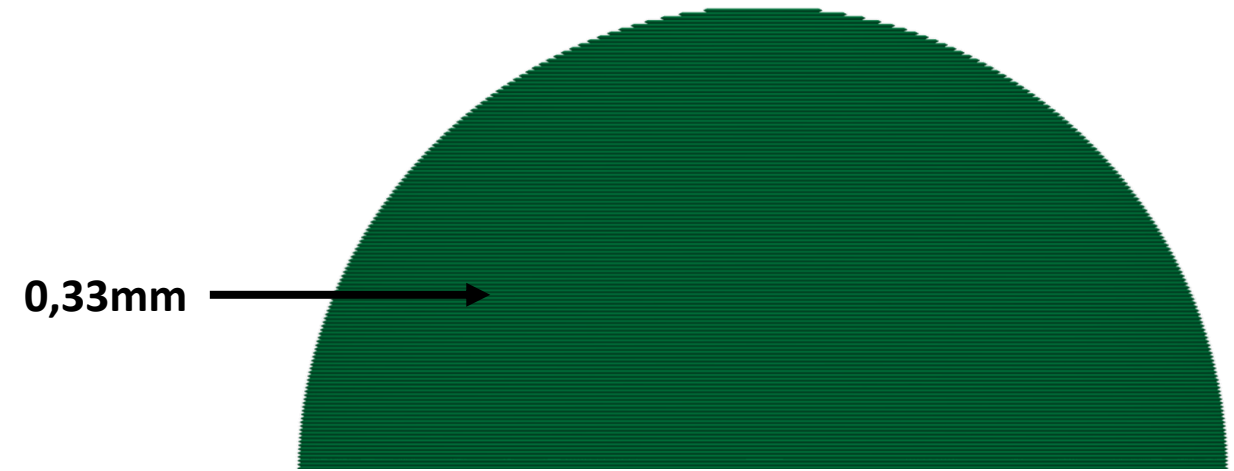
Print Time	4h 1m
F123 ABS (cm ³)	107.768
F123 QSR support (cm ³)	6.755



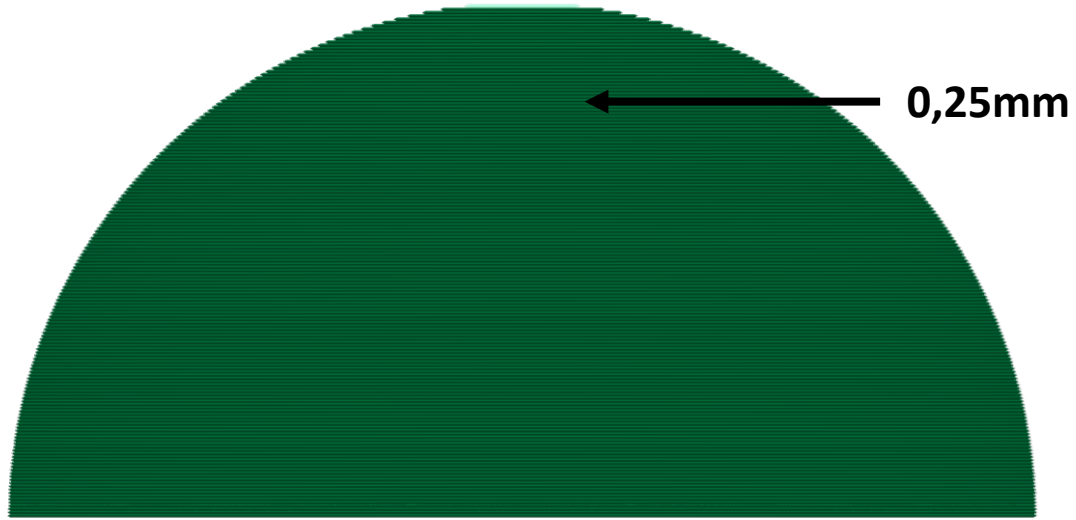
Print Time	2h 14m
F123 ABS (cm ³)	111.792
F123 QSR support (cm ³)	6.586



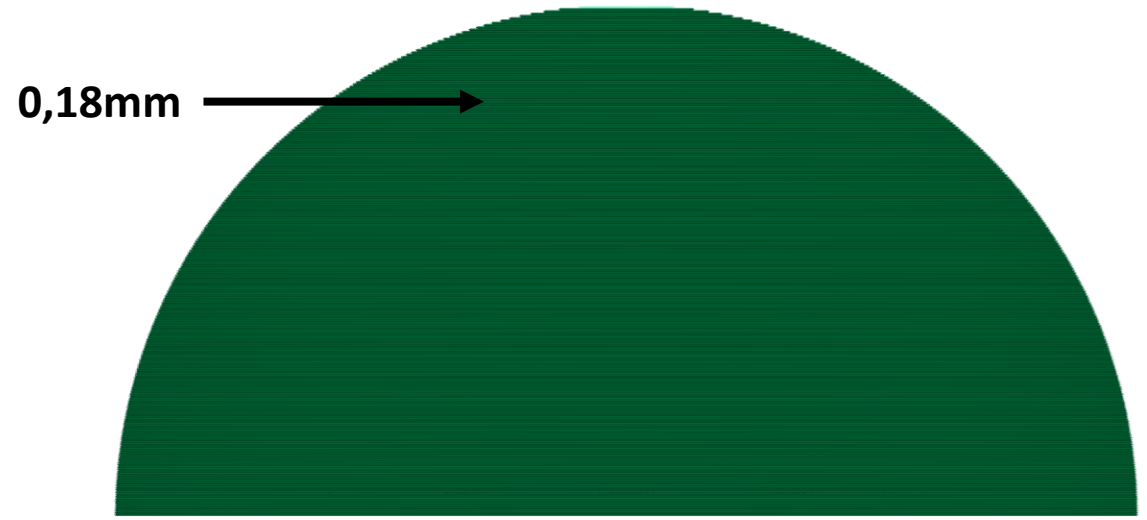
Print Time	7h 1m
F123 ABS (cm ³)	126.291
F123 QSR support (cm ³)	4.468



Print Time	2h
16m	
F123 ABS (cm ³)	91.372



Print Time	2h 21m
F123 ABS (cm ³)	111.954
F123 QSR support (cm ³)	6.586



Print Time	5h 20m
F123 ABS (cm ³)	107.139
F123 QSR support (cm ³)	6.755

INFILL – DIELY S PREMENLIVOU HUSTOTOU

SOFTVÉR GRABCAD

DIELY S PREMENLIVOU HUSTOTOU VÝPLNE

OPTIMALIZOVANÝ DIZAJN

TUHŠIE DIELY

LAHŠIE DIELY

GRABCAD

OTVORY PRE VLOŽKY (INSERT THREAD)

SOFTVÉR GRABCAD

VSTUPNÝ FORMÁT STEP, STP

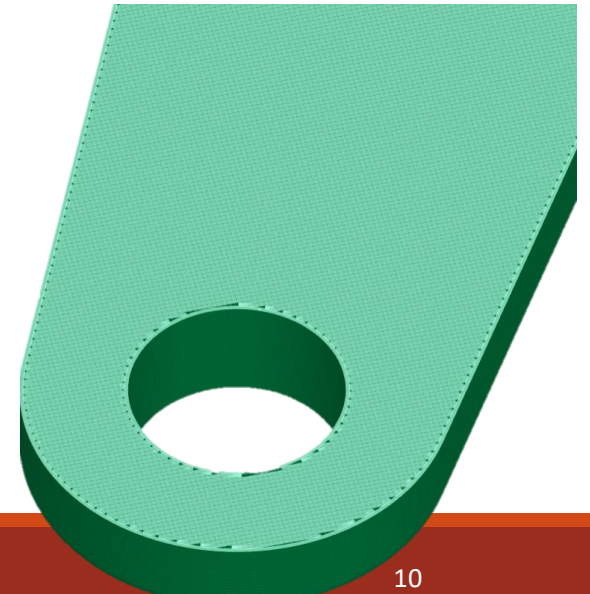
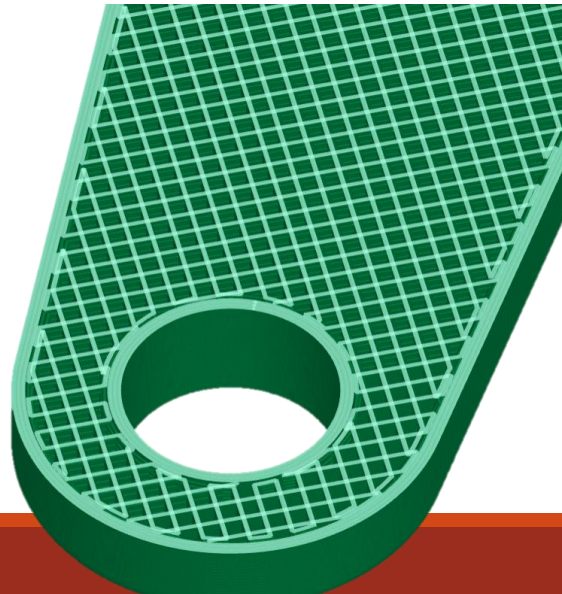
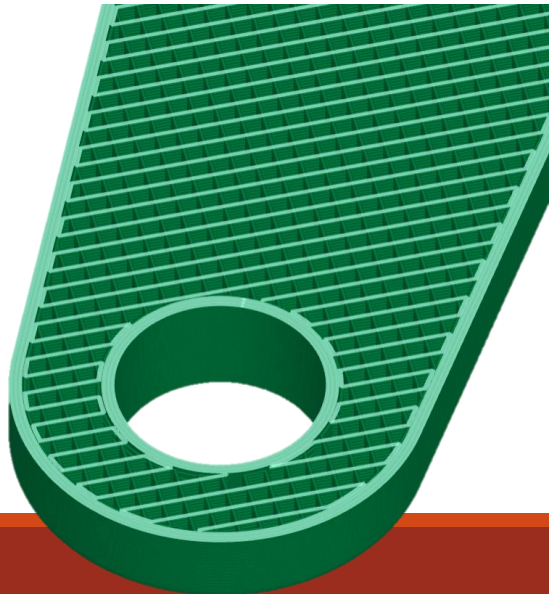
SPARSE

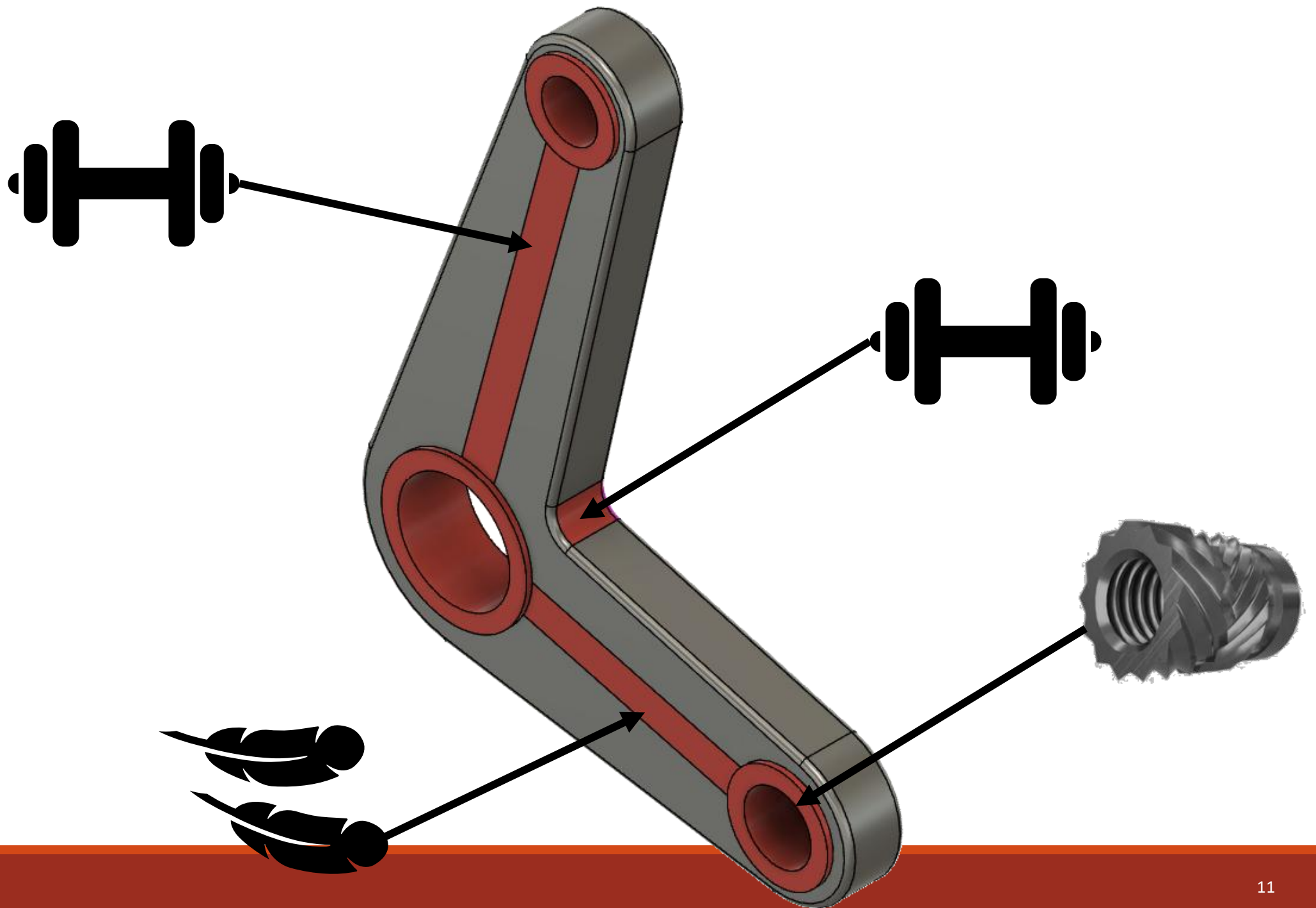


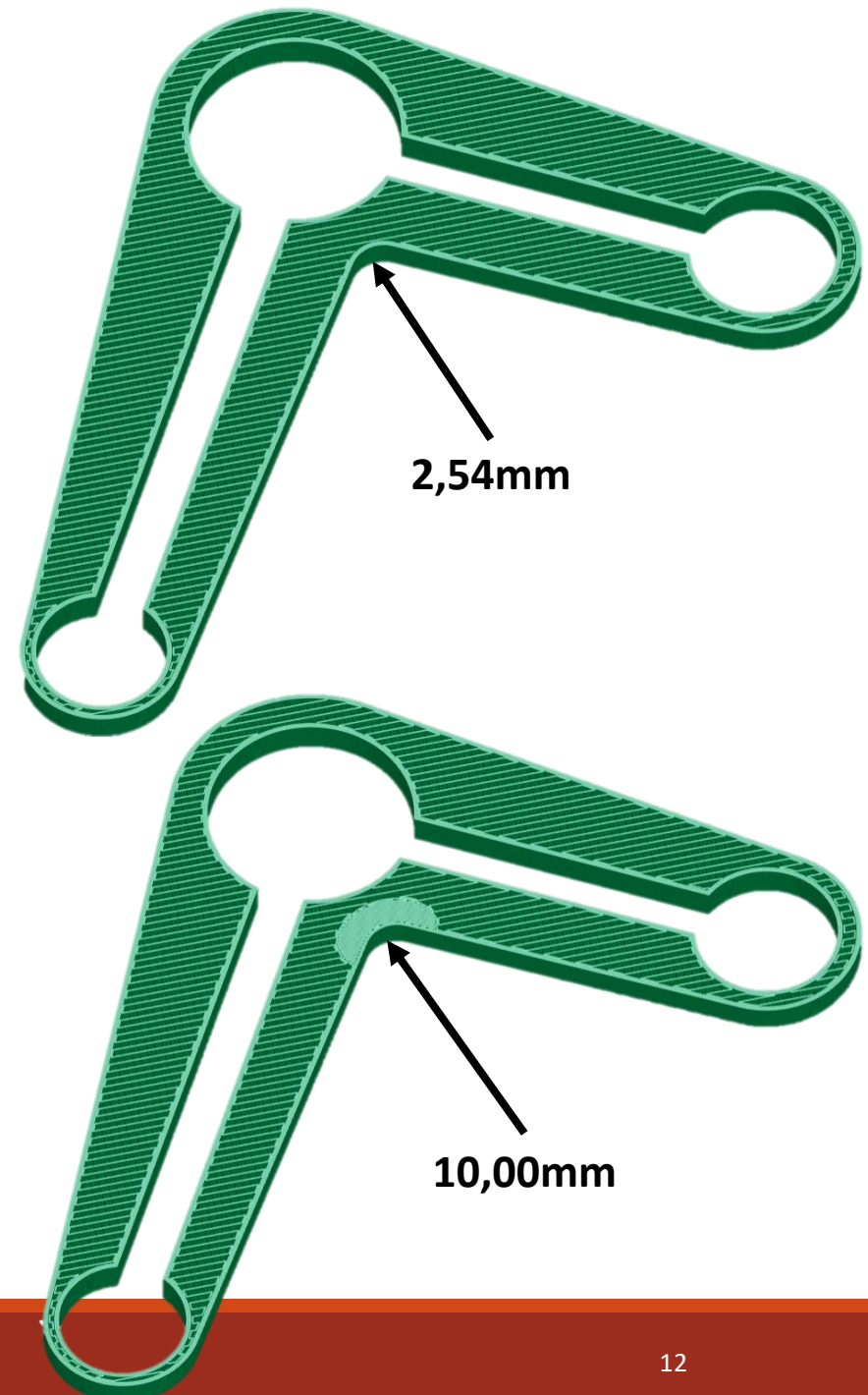
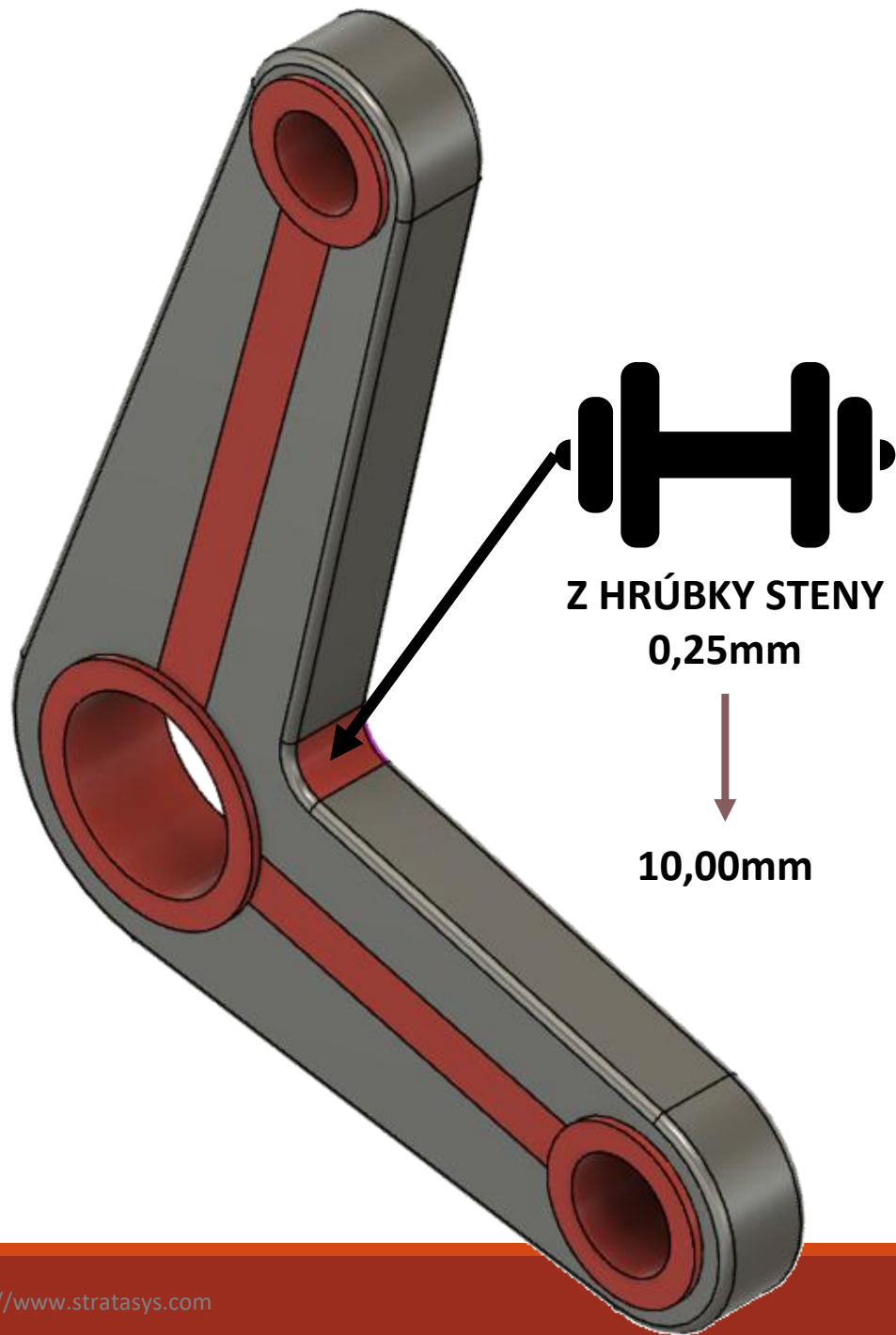
SPARSE – DOUBLE DENSE

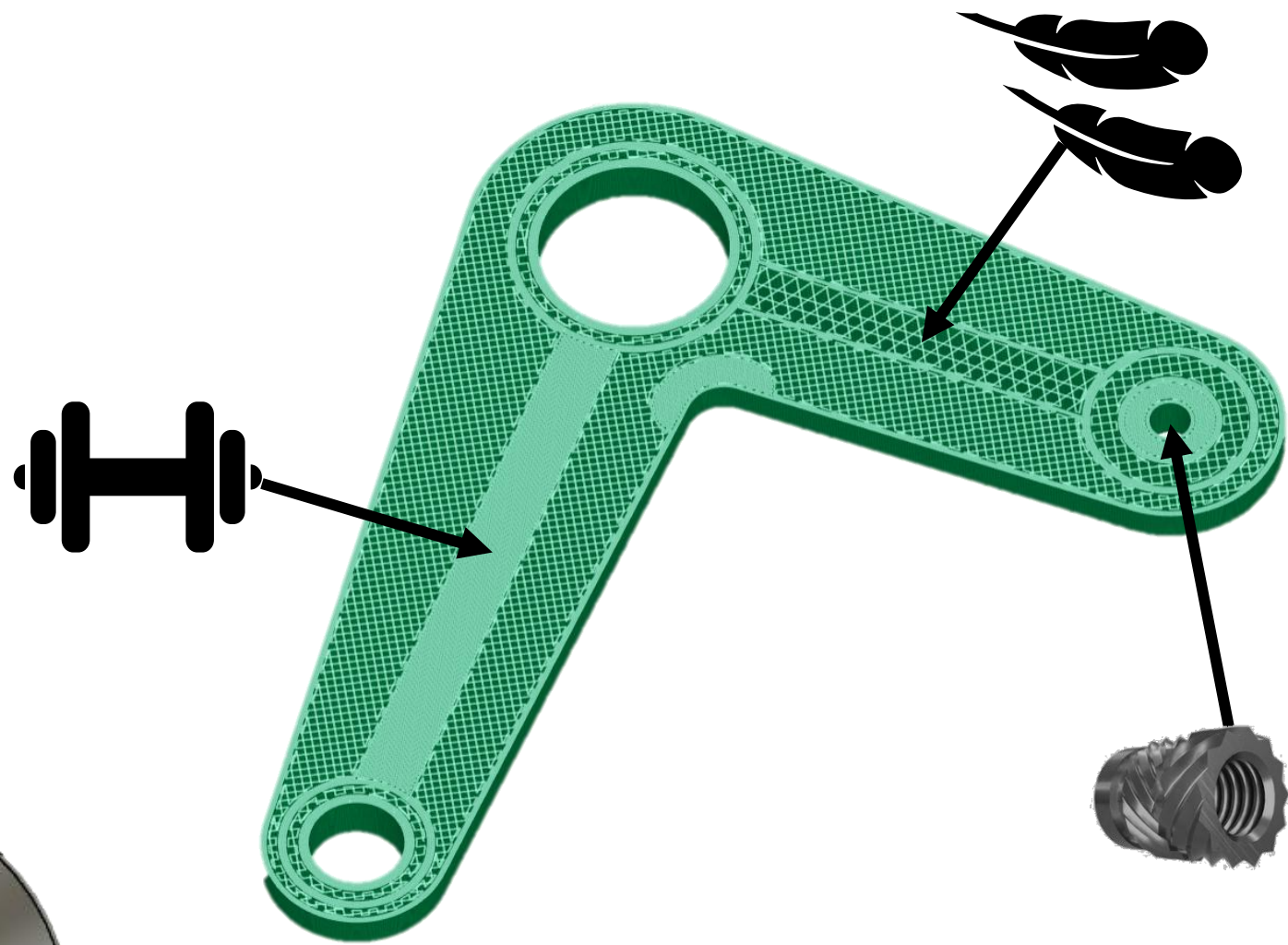
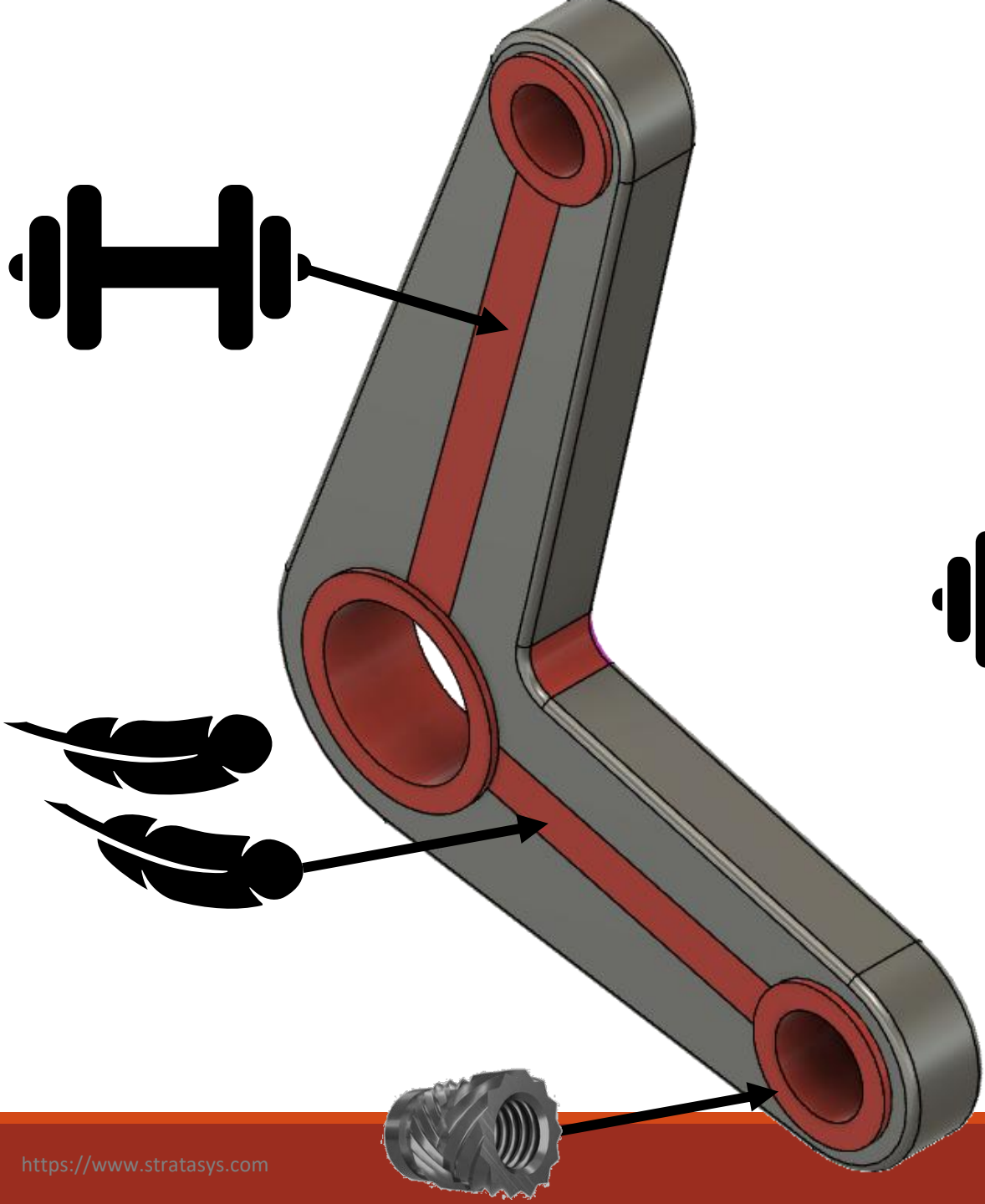


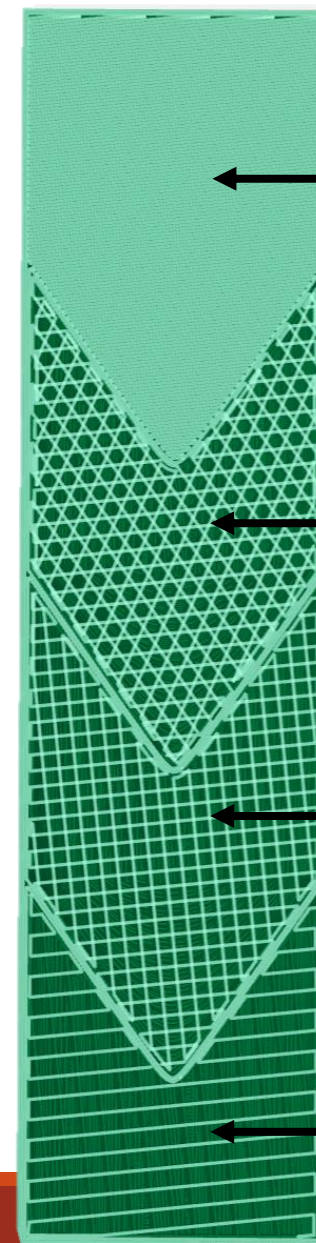
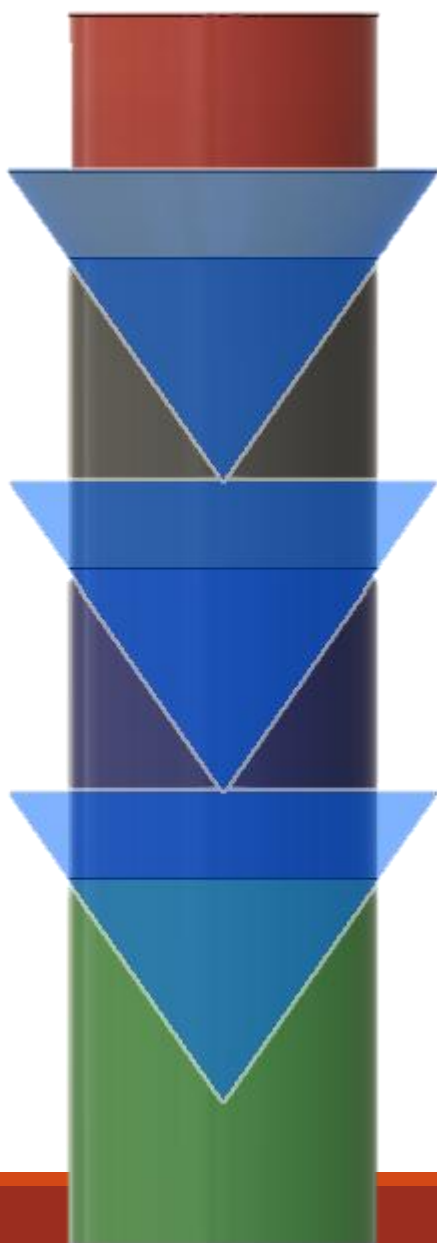
SOLID











SOLID

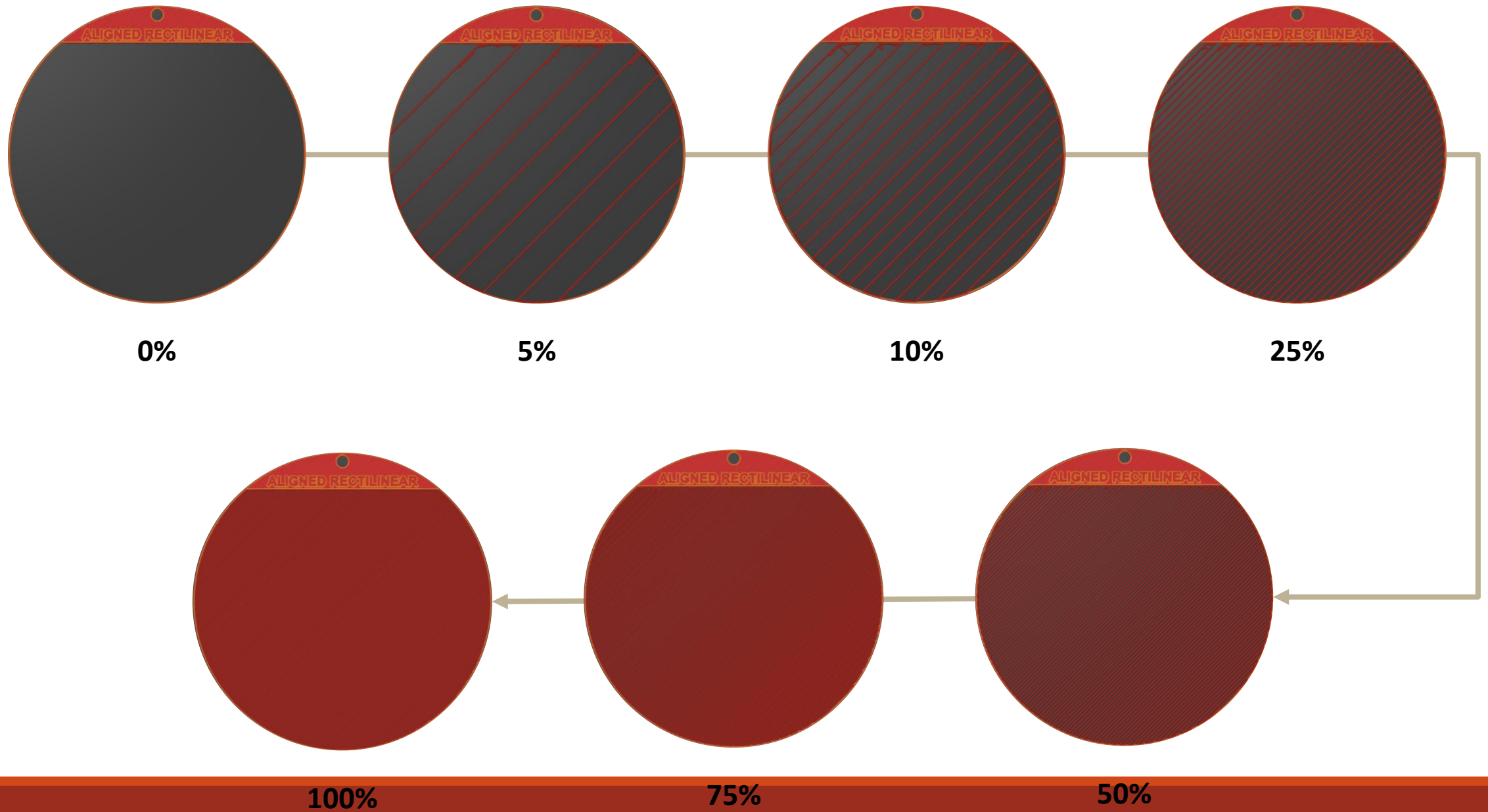
DIAMOND

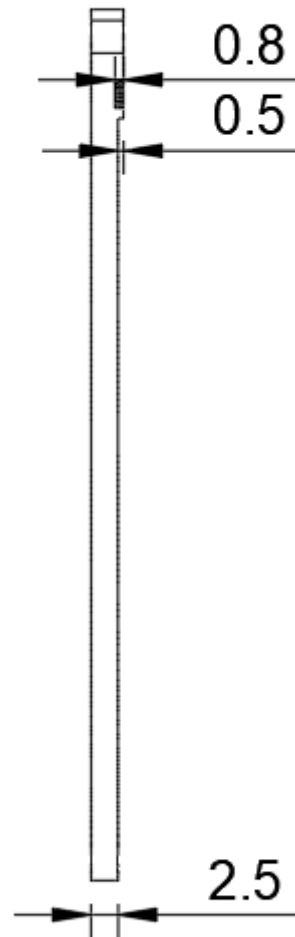
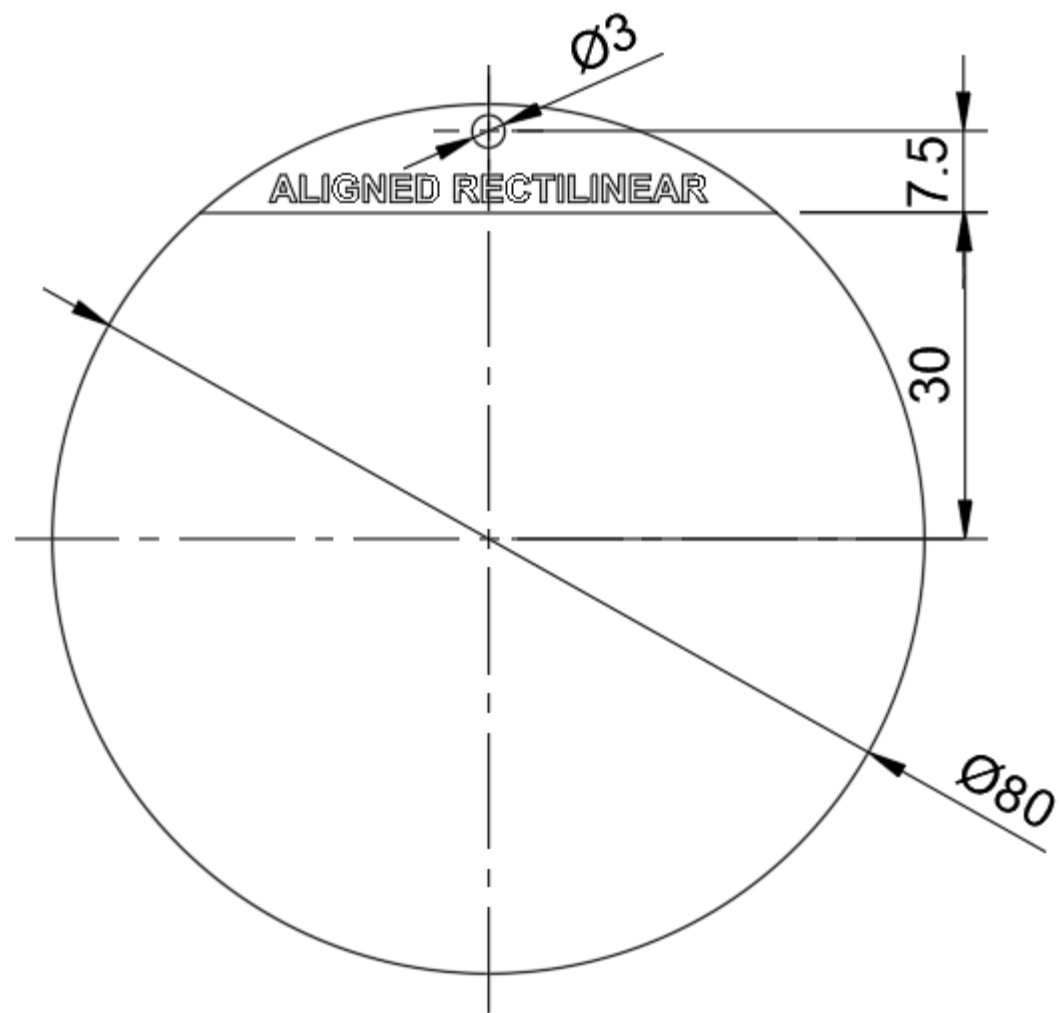
DOUBLE
DENSE

SPARSE

INFILL – HUSTOTA VNÚTORNEJ VÝPLNE

ALIGNED RECTILINEAR – HUSTOTA VÝPLNE





ČAS VÝROBY – VZOR VÝPLNE

CONCENTRIC

Perimeter: 2

Hustota výplne: 25%

Čas výroby: 29 min

- LINE
- Perimeter: 2
- Hustota výplne: 25%
- Čas výroby: 29 min

- GRID
- Perimeter: 2
- Hustota výplne: 25%
- Čas výroby: 30 min

- HONEYCOMB
- Perimeter: 2
- Hustota výplne: 25%
- Čas výroby: 53 min

- TRIANGLES
- Perimeter: 2
- Hustota výplne: 25%
- Čas výroby: 30 min

- GYROID
- Perimeter: 2
- Hustota výplne: 25%
- Čas výroby: 39 min

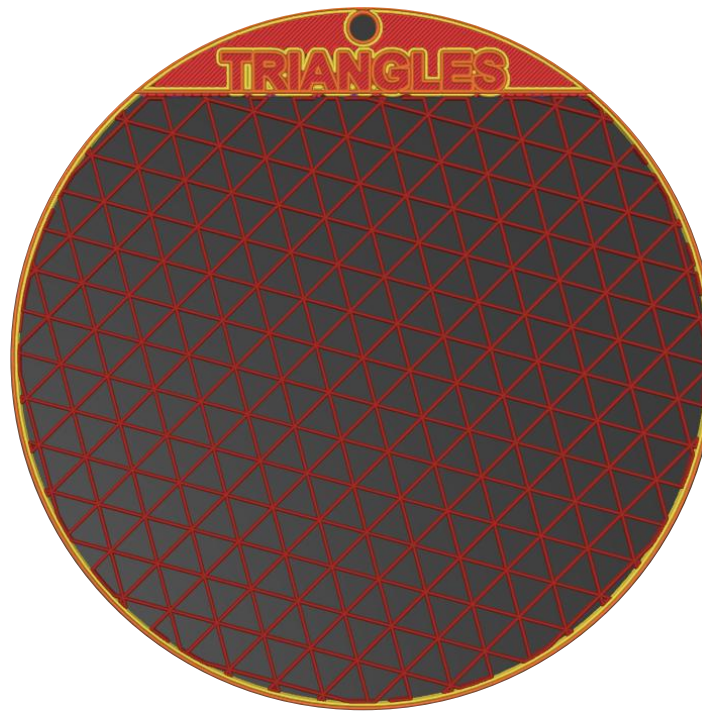
INFILL – VZOR VNÚTORNEJ VÝPLNE

LIGHTNING



Vzor výplne LIGHTNING vytvára zubatý vzor, ktorý podporuje iba horný vrch dielu. Buduje sa a rozvetvuje sa ako blesk. To šetrí veľa materiálu, ale nepridáva žiadnu pevnosť a vo väčších objemoch môže byť nestabilné. Flexibilné materiály.

TRIANGLES



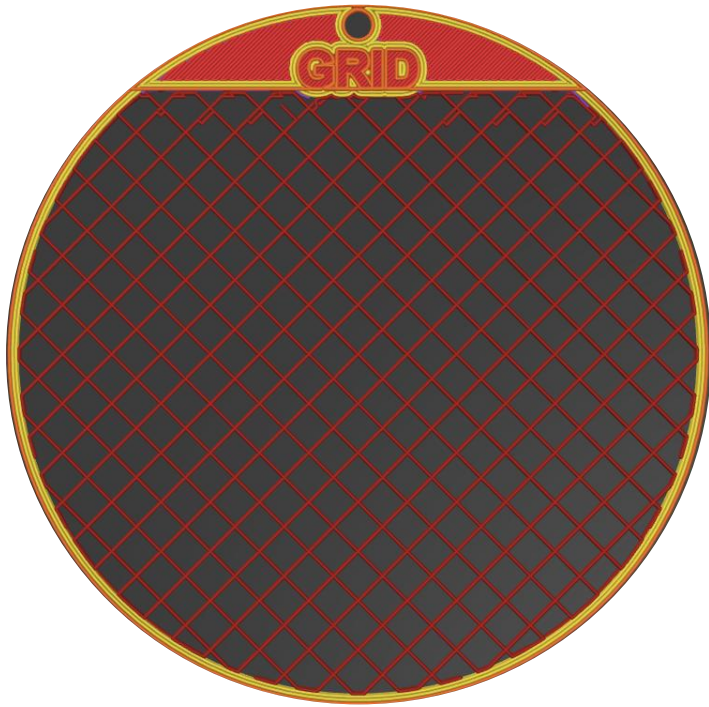
Výplň TRIANGLES sa skladá z troch línií v rôznych smeroch, ktoré vytvárajú trojuholníkové kapsy. To ponúka rovnakú horizontálnu pevnosť v každom smere, ale na dosiahnutie rovnomerného povrchu je potrebných viac vrchných vrstiev. Vzor výplne nie je vhodný pre vyššie hustoty výplne.

GYROID



Vzor GYROID je typ výplne, ktorá vytvára vlnitý vzor, ktorý strieda smery. Je rovnako pevný vo všetkých smeroch, no nie veľmi tuhý. Vďaka tomu je užitočná pre flexibilné materiály.

GRID



Vzor výplne GRID vytvára dve kolmé sady čiar. Spolu tvoria štvorcový vzor. Ide o veľmi silnú výplň vo vertikálnom smere a ponúka skvelú podporu horného krycieho povrchu. Všeobecné použitie

LINES

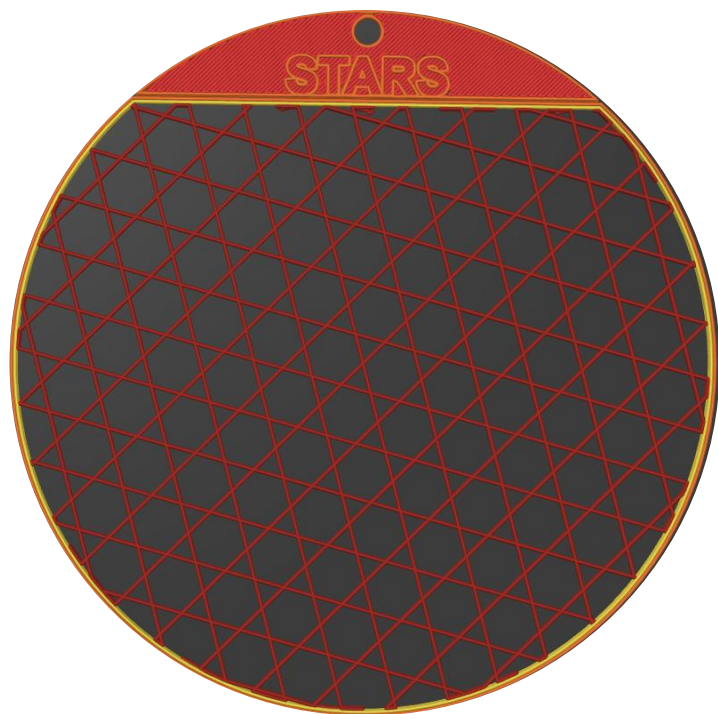


Vzor LINES je jednou z výplní, ktorá vo vrstve nevytvára žiadne kríženia. Jej dráhy sú podobné ako pri priamočiarej výplni, ale v tomto prípade nie sú navzájom rovnobežné. Namiesto toho sú vytlačené pod ostrým uhlom. Nie je prekvapujúce, že táto výplň je z hľadiska času tlače a spotreby materiálu podobná priamočiarej výplni

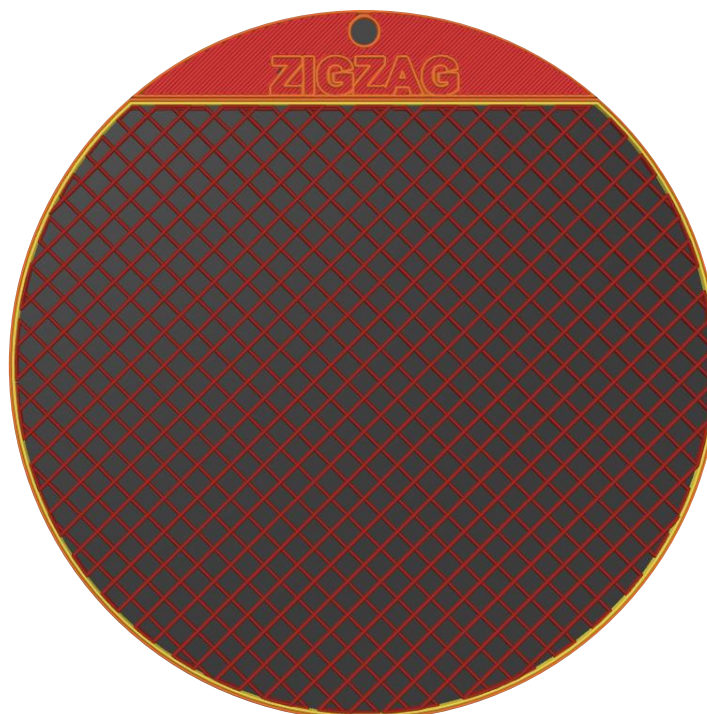
HONEYCOMB



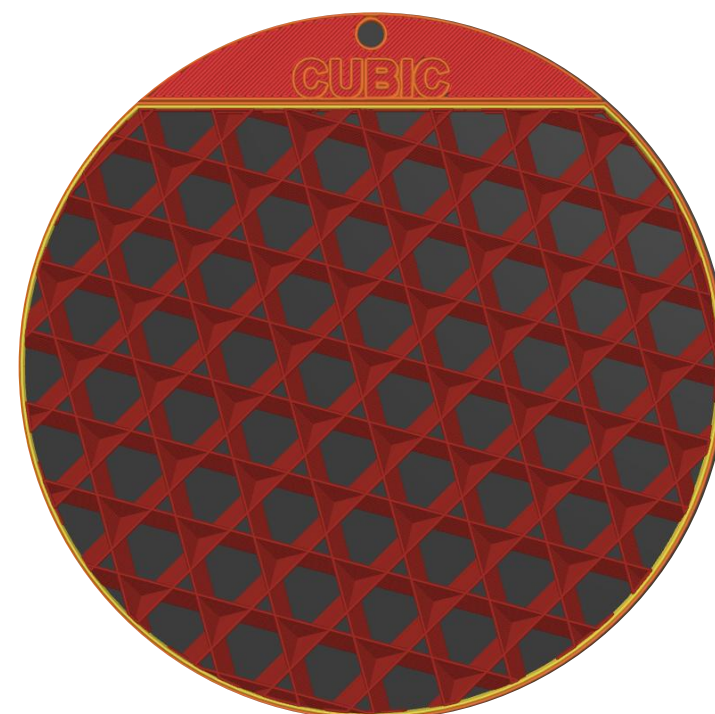
STAR



ZIGZAG



CUBIC



Tento vzor sa skladá z troch línií v rôznych smeroch, ktoré vytvárajú trojuholníkové kapsy. To ponúka rovnakú horizontálnu pevnosť v každom smere, ale na dosiahnutie rovnomerného povrchu je potrebných viac vrchných vrstiev. Vzor nie je vhodný pre vyššie hustoty výplne.

Vzor výplne CUBIC vytvára 3-rozmerné kocky stojace na rohu. To ponúka dobrú pevnosť, rovnakú vo všetkých smeroch. Výhodou je znížený vankúšový efekt, pretože to nevytvára dlhé vzduchové kapsy. Použitie na vizuálne a inžinierske aplikácie

CONCENTRIC 15%



Typ výplne CONCENTRIC vytvára vzory rovnobežné so stenami objektu. Podpiera vrchné steny, ale neponúka žiadnu pevnosť v horizontálnom smere. Je veľmi vhodný na pružné materiály a predmety, ktoré by sa mali ohýbať. Pri tlači so 100% výplňou je tento vzor v skutočnosti najsilnejší.

CONCENTRIC 100%



ALIGNED RECTILINEAR



Typ výplne ALIGNED RECTILINEAR pozostáva z paralelných línií v modeli, ktoré pripomínajú vonkajšie podporné štruktúry. Výplň šetrí čas, má priemernú spotrebu materiálu a v miestach kríženia sa nehromadí materiál. Použitie výplne môže spôsobiť ťažkosti, ak je smer čiar vo výplni rovnaký ako vo výplni prvej vrchnej pevnej vrstvy.

Formát 3MF

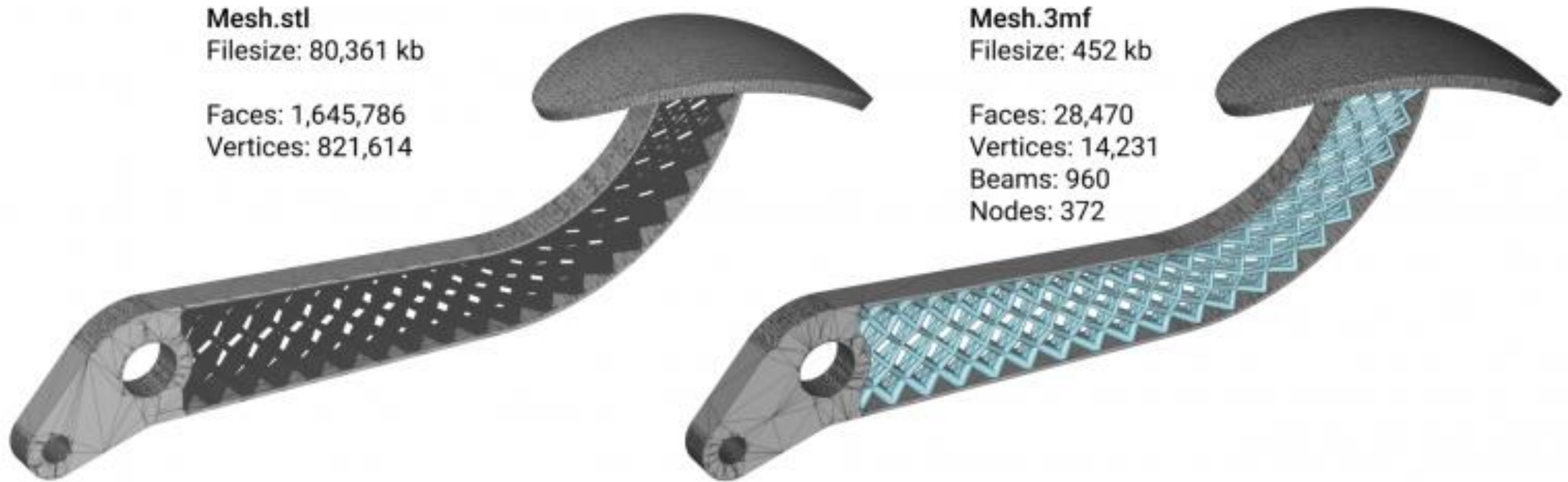
Formát 3MF

3MF alebo **3D Manufacturing Format** je open source projekt vyvinutý konzorciom 3MF, ktoré pôvodne založila spoločnosť Microsoft. V súčasnosti do nej patria spoločnosti 3DSystems, Autodesk, Dassault Systemes, Ultimaker a ďalšie (viac na 3mf.io). Cieľom konzorcia 3MF je vytvoriť platformu založenú na kódovaní XML. To dokáže prenášať 3D model s celým radom informácií, ktoré obyčajný STL nedokáže obsiahnuť.

Formát 3MF používa rovnakú kompresiu ako archív ZIP - ak príponu premenujete na ".zip", môžete ho rozbaľiť a pracovať s jeho obsahom rovnakým spôsobom. Okrem samotného 3D modelu, ktorý vďaka kompresii archívu zaberá podstatne menej miesta ako tradičný STL, môžete do súborov .3MF uložiť: - viacero objektov v scéne - kompletné nastavenia PrusaSlicer vrátane: ° profilu tlačiarne ° ručne vytvorených podpier ° variabilných nastavení výšky vrstvy ° modifikátorov - jednotky scény (STL je bezrozmerný model) - informácie o farbách a textúrach - náhľad (možno ho napríklad ručne nahradiť fotorealistickým renderom).

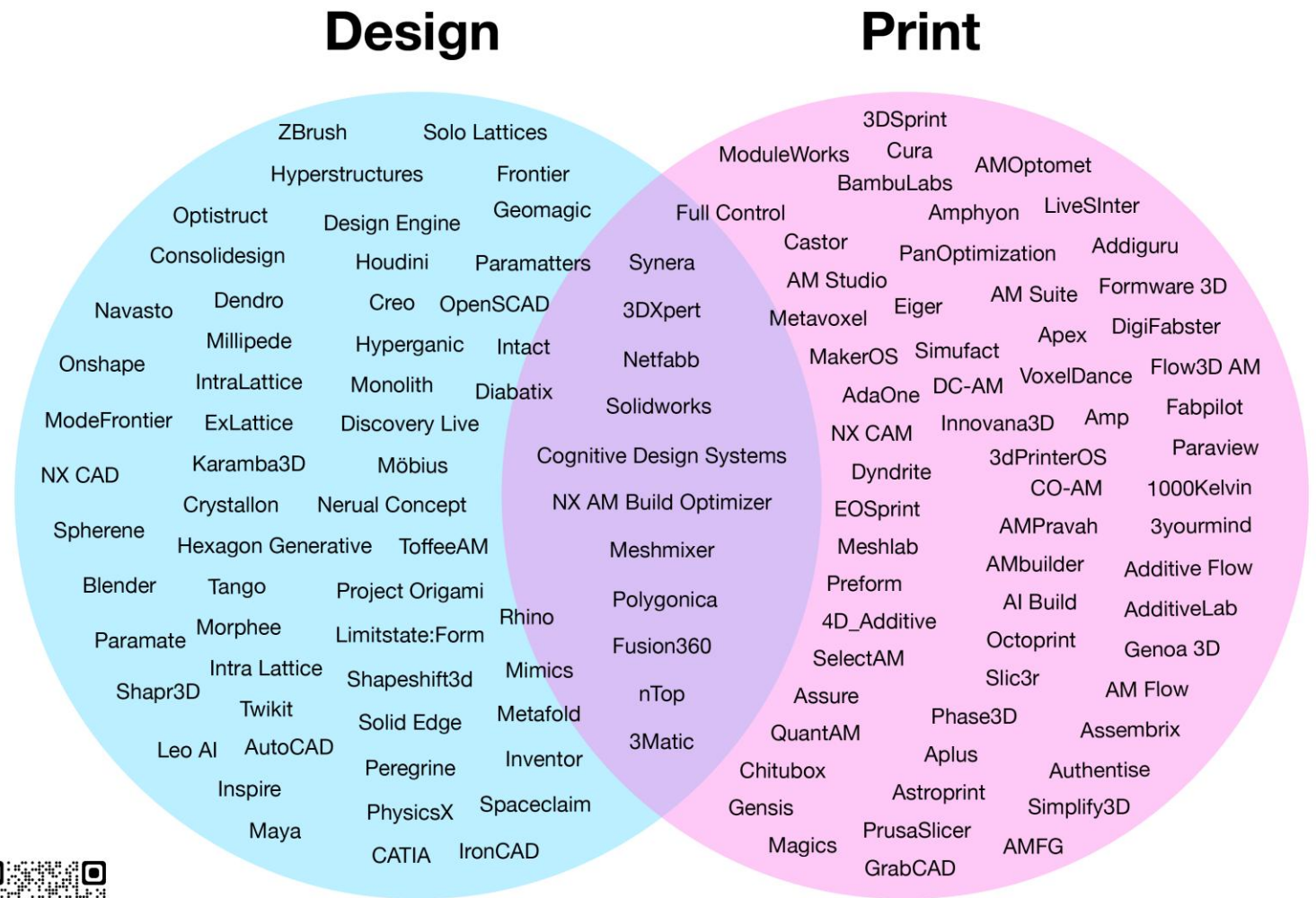
Čo je .3mf? je formát súboru navrhnutý tak, aby umožnil návrhovým aplikáciám posilať 3D modely s plnou vernosťou pre aditívnu výrobu iným aplikáciám, platformám, službám a hardvéru pre aditívnu výrobu. Hlavným cieľom vytvorenia formátu súborov 3MF je vytvoriť nový štandard pre aditívnu výrobu, ktorý rieši nedostatky a zložitosť existujúcich formátov súborov, čím sa dosiahne spoľahlivosť, opakovateľnosť a škálovateľnosť rôznych procesov od prototypovania až po výrobu.

Formát 3MF



Súbor 3MF môže byť rádovo menší ako súbor STL alebo iný 3D formát. 3MF bol navrhnutý tak, aby bol proces 3D tlače efektívnejší ako iné formáty súborov ako .OBJ, .STL .VRML atď., ktoré neboli navrhnuté tak, aby zvládli rozlíšenie a zložitosť 3D geometrie, ktorá je možná pri pokročilej výrobe.

Formát 3MF



AM SOFTWARE LANDSCAPE
bits-to-atoms.com/am-software-landscape
Copyright Bits to Atoms 231012

Formát 3MF

Konzorcium 3MF vzniklo s cieľom dodať priemyslu aditívnej výroby formát súborov, ktorý je:

- **Kompletný:** Obsahuje všetky potrebné informácie o modeli, materiáli a majetku v jednom archíve
- **Ľudsky čitateľný:** Používanie bežných štruktúr, ako sú OPC, ZIP a XML na uľahčenie vývoja
- **Jednoduchý:** Krátka a jasná špecifikácia, vďaka ktorej je vývoj jednoduchý a overenie rýchle
- **Rozšíriteľný:** Využitie názvov XML umožňuje verejné aj súkromné rozšírenia pri zachovaní kompatibility
- **Jednoznačný:** Jasné testy jazyka a zhody zabezpečujú, že súbor je vždy konzistentný od digitálneho po fyzický
- **Zadarmo:** Prístup a implementácia špecifikácie 3MF je a vždy bude bez poplatkov, patentov a licencií.

Formát 3MF

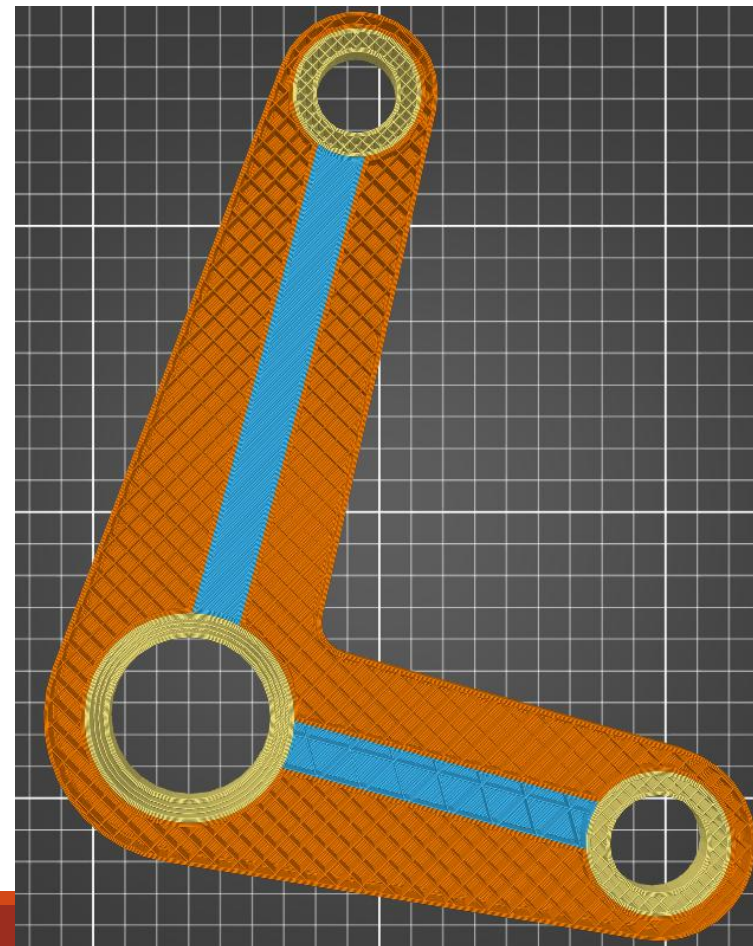
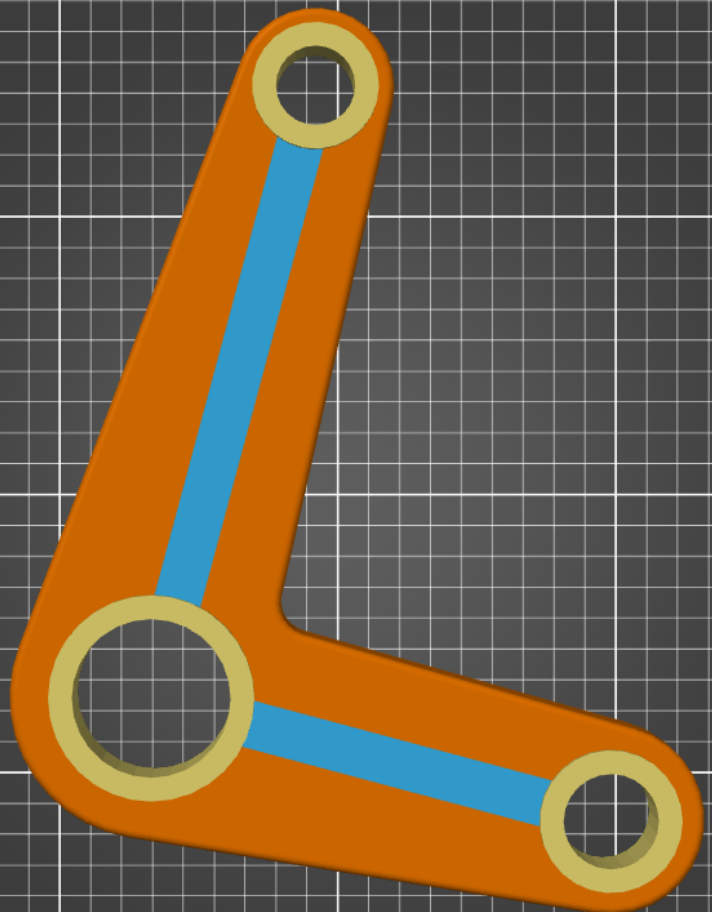
Čo možno uložiť do súborov .3mf:

- Viac objektov v scéne
- Kompletné nastavenia PrusaSlicer vrátane:
 - profilu tlačiarne
 - ručne vytvorených podpíer
 - variabilných nastavení výšky vrstvy
 - modifikátorov
- jednotky scény (STL je bezrozmerný model)
- informácií o farbách a textúrach
- náhľadu (možno ručne zmeniť napr. na fotorealistické vykreslenie)

Formát 3MF

✓ BellCrank Multiple Pieces v2

- > + Body1
- > + Body2
- > + Body4
- > + Body6
- > + Body3
- > + Body5



Generatívne navrhovanie

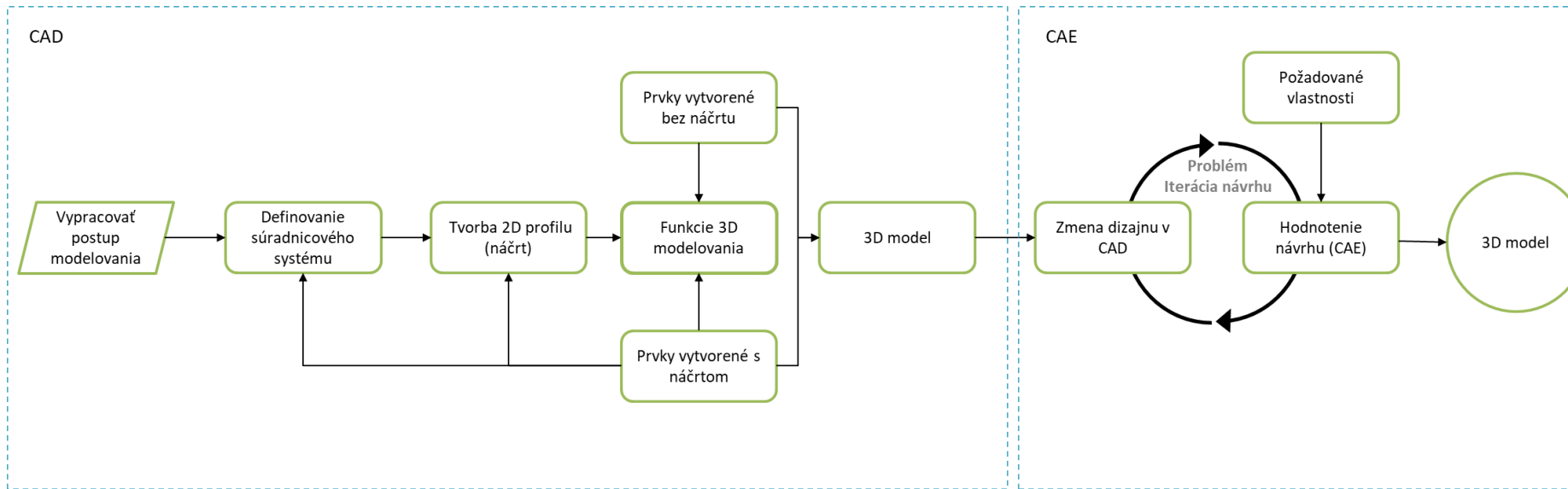
Generatívne navrhovanie

Rozdelenie softvérov pre generatívne navrhovanie

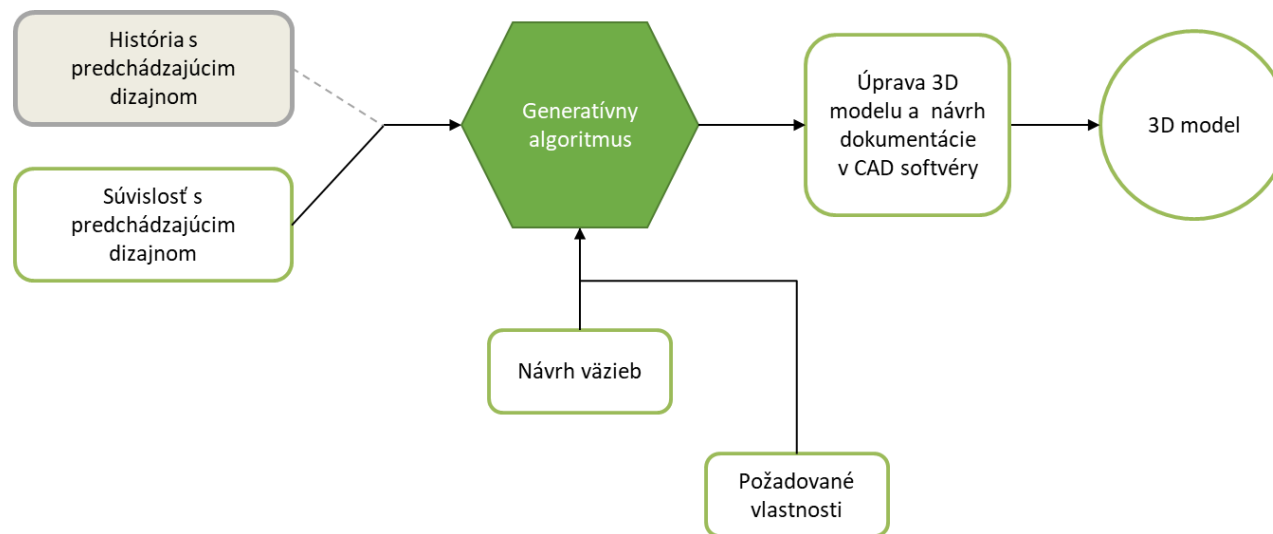
- Online (Cloudová služba)
- Real-time generatívne navrhovanie

Technológia

- Aditívna výroba
- Frézovanie 2,5D, 3D, 5D a 2+3D
- Zlievarenstva



KLASICKÝ SPÔSOB
MODELOVANIA
SÚČIASTOK V CAD
SOFTVÉRI.
(1 NÁVRH)



MODELOVANIE
SÚČIASTOK POMOCOU
GENERATÍVNEHO
NAVRHOVANIA.
(VIACEJ NÁVRHOV)

Generatívne navrhovanie vs. optimalizácia topológie

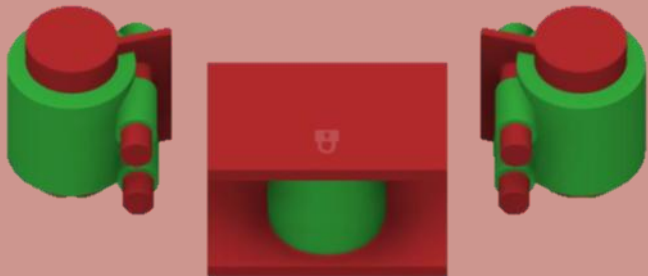
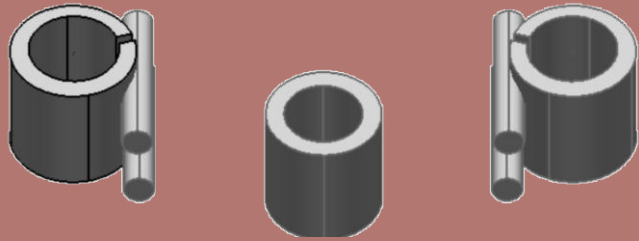
	Optimalizácia topológie	Generatívne navrhovanie
Počiatočná geometria	Objemový model	Hraničná oblasť, štartovací model
Spôsob výroby	Nie je možné	2-osové obrábanie, 3-osové obrábanie, 5- osové obrábanie, aditívna výroba, odlievanie
Výsledok výpočtu	Jeden optimalizovaný návrh	Niekoľko optimálnych návrhov
Počet materiálov pre jeden výpočet	1	1 a viac
Rýchlosť výpočtu návrhu	Niekoľko minút	Niekoľko hodín
Algoritmus	Heuristické algoritmy	Genetické algoritmy

Generatívne navrhovanie

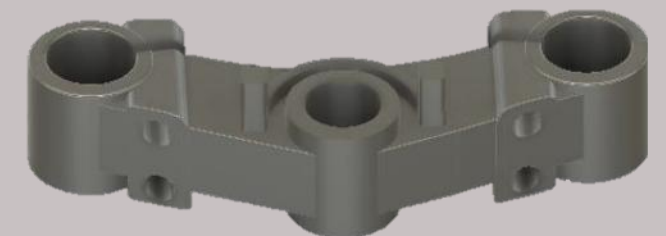
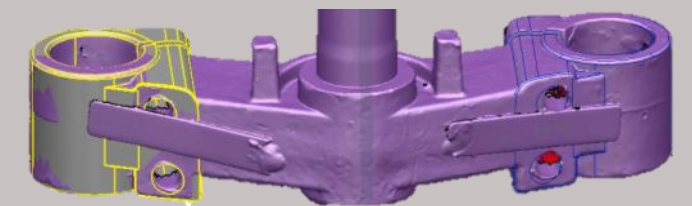
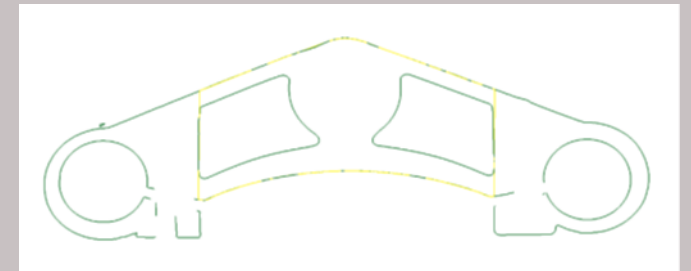


(9)

POLYGONÁLNY 3D MODEL
ZÍSKANÝ 3D OPTICKÝM
SKENOVANÍM



REVERZNÉ GEOMETRICKÉ MODELOVANIE
GENERATÍVNE NAVRHOVANIE



Dátový tok pre aditívnu výrobu

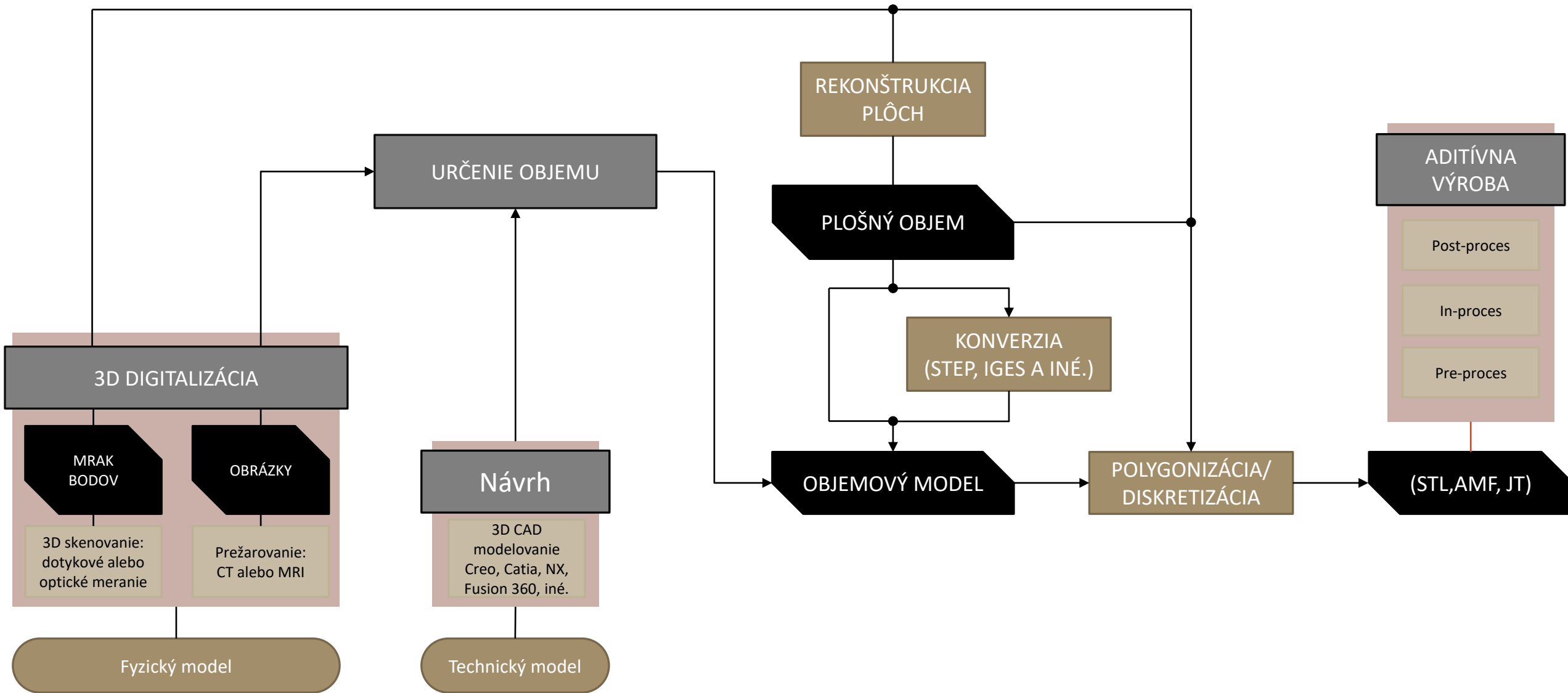
ZÍSKAVANIE ÚDAJOV / TVORBA MODELOV

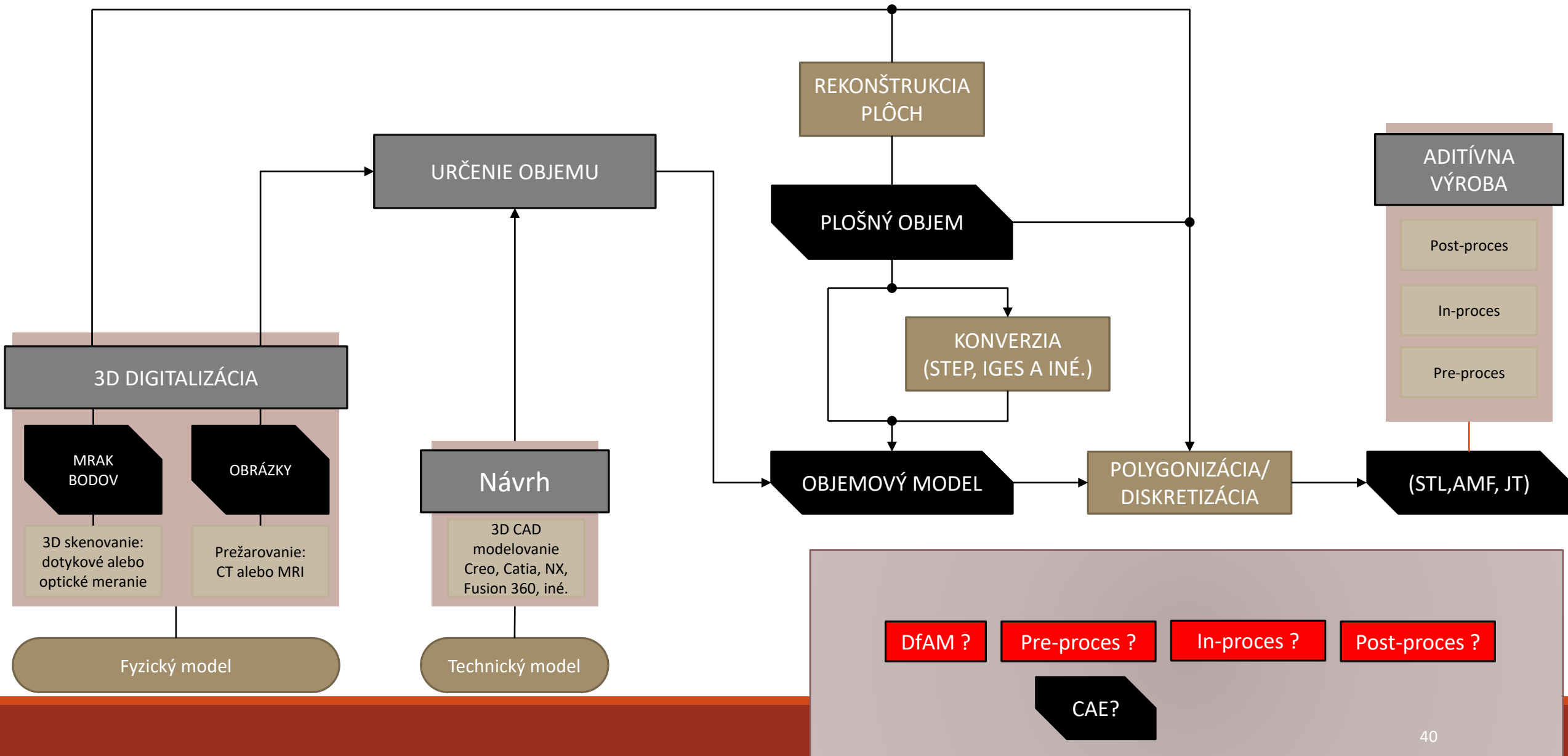


PRÍPRAVA DÁT PRE ADITÍVNU VÝROBU

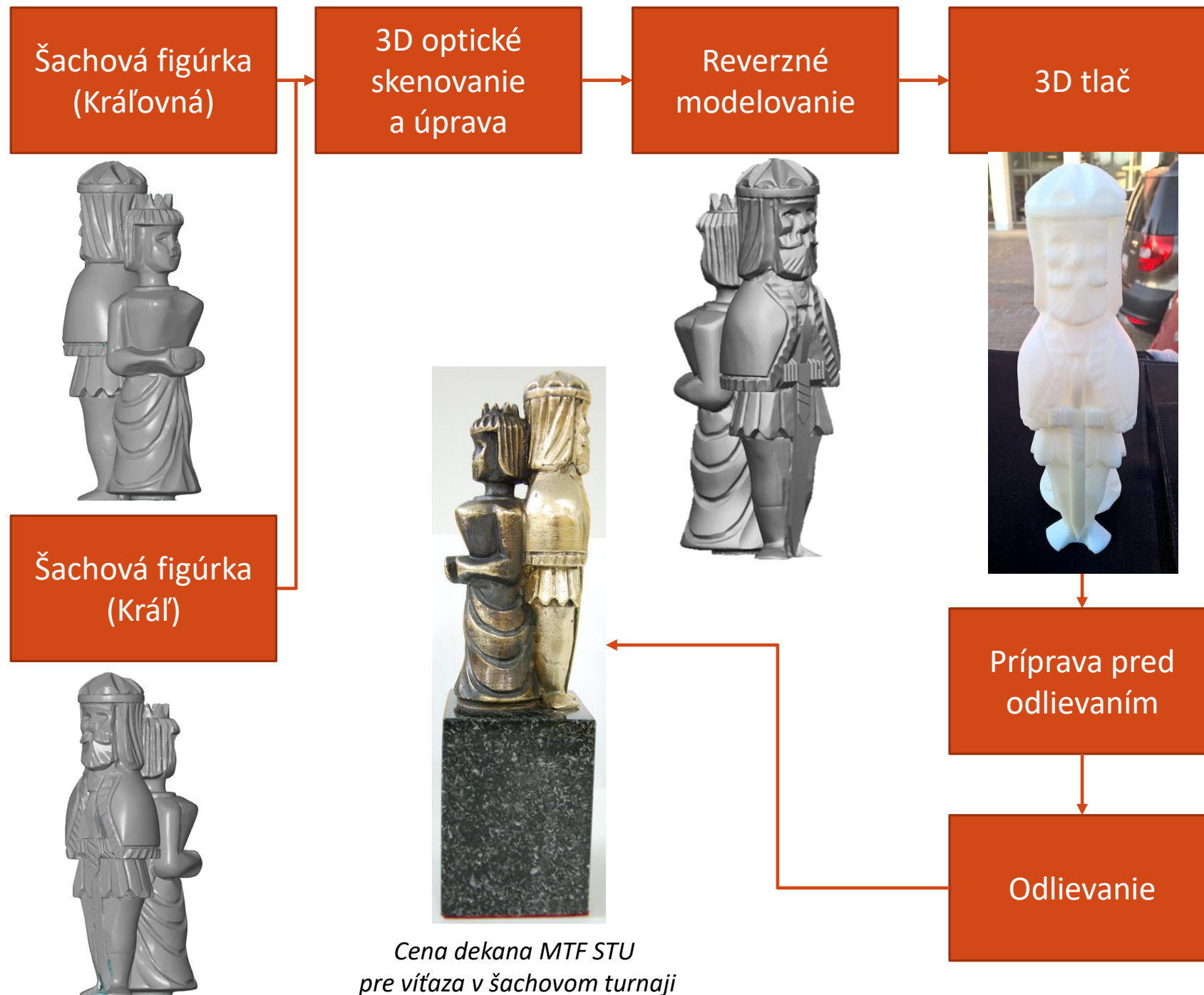


POUŽÍVANIE DÁT





Príklad

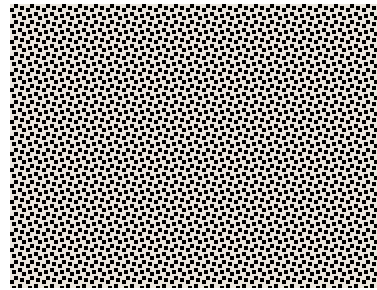


Mechanické vlastnosti

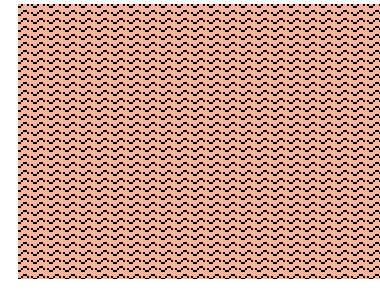
Rozdelenie materiálu pre AM



Pevný
Filament
Tyčka
Papier



Prášok
Kov
Sadra
Plast



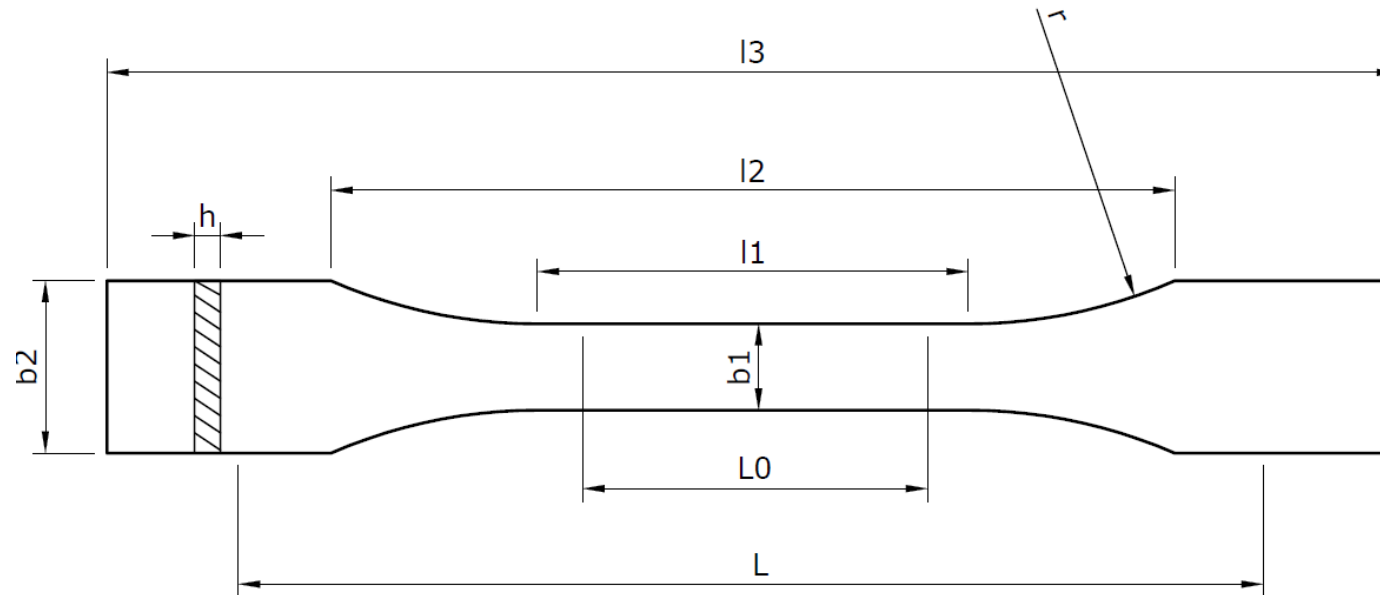
Kvapalina
Vosk
Živica
Fotopolymér

Norma STN EN ISO 527-2:2012

Mechanické vlastnosti

Norma **EN ISO 527-2:2012** prevzatá do STN

Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics



Norma STN EN ISO 527-2:2012

Tab. 1 Rozmery skúšobných telies typu 1A a 1B

	Typ telesa	1A	1B
l_3	Celková dĺžka ^{a)}	170	≥ 150
l_1	Dĺžka úzkej paralelnej časti	80 ± 2	$60 \pm 0,5$
r	Polomer	24 ± 1	$60 \pm 0,5$
l_2	Vzdialenosť medzi širokými paralelnými časťami	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
b_2	Šírka na koncoch	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	Šírka úzkej časti	$10,0 \pm 0,2$	
h	Preferovaná hrúbka	$4,0 \pm 0,2$	
L_0	Meraná dĺžka (preferovaná)	$75,0 \pm 0,5$ $50,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,5$
L	Začiatočná vzdialenosť medzi čeľusťami	115 ± 1	115 ± 1

a) Odporúčaná celková dĺžka 170 mm telesa typu 1A je v súlade s ISO 294-1 a ISO 10724-1. Aby sa predišlo pri niektorých materiáloch porušeniu telesa, alebo jeho prekízaníu v čeľustiach, dĺžka skúšobných telies uvedená v tabuľke sa môže zväčšiť (napr. $l_3 = 200\text{mm}$)

Vybrané parametre pre testovanie materiálov

Zariadenie pre aditívnu výrobu

Poloha skúšobného telieska

- *na stavebnej platforme*

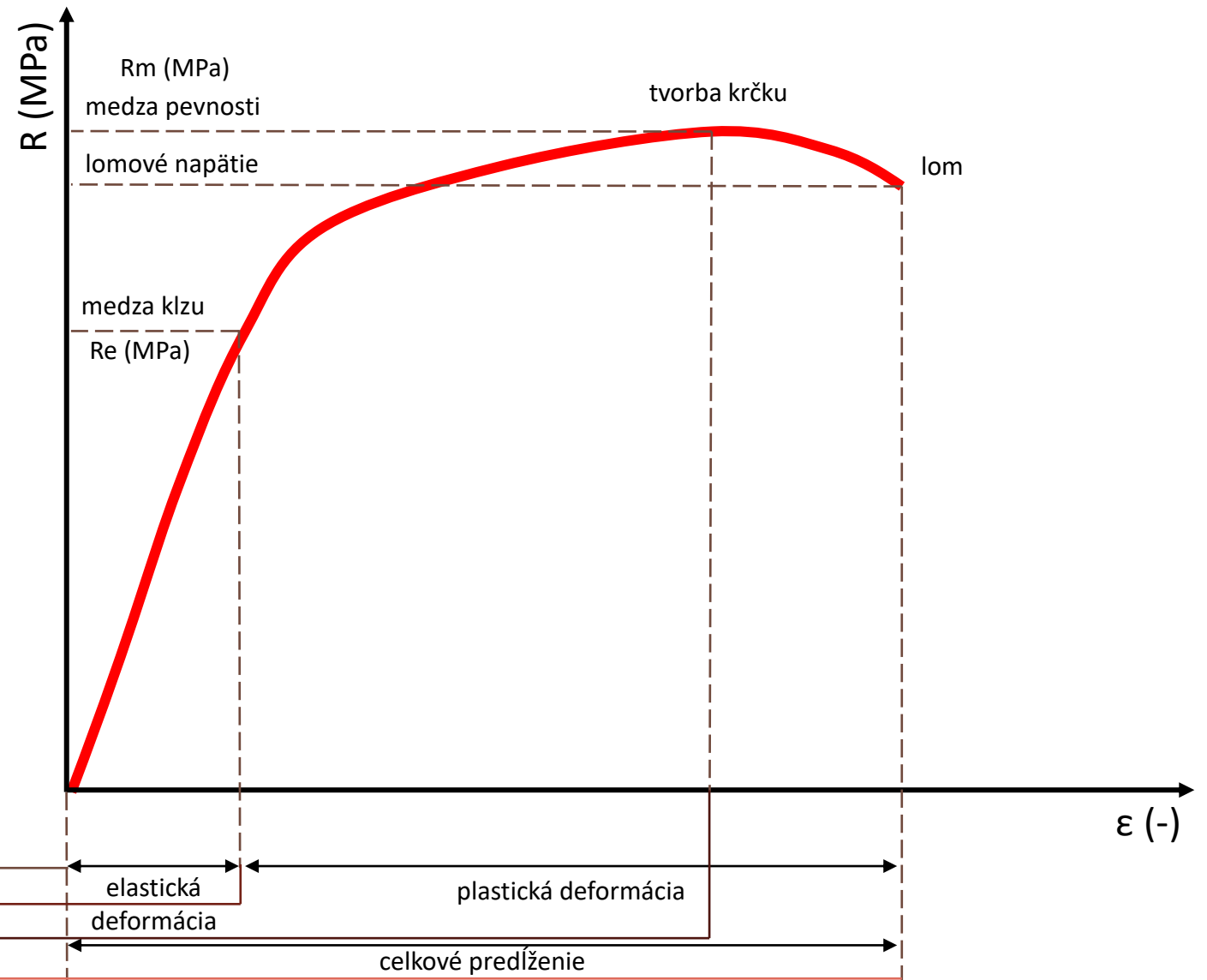
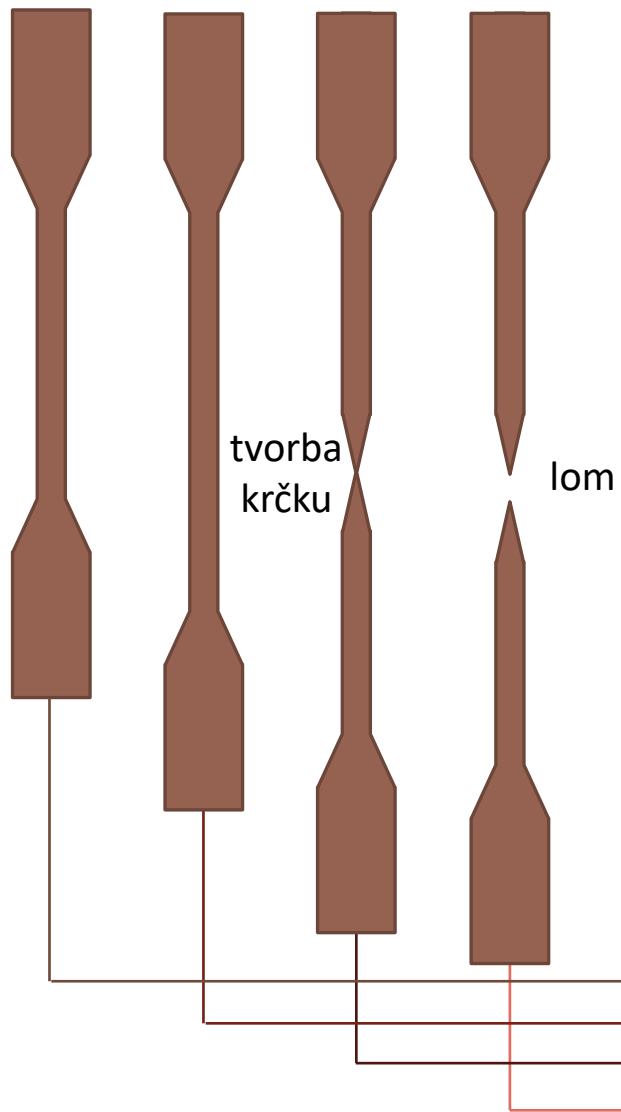
Materiál skúšobného telieska

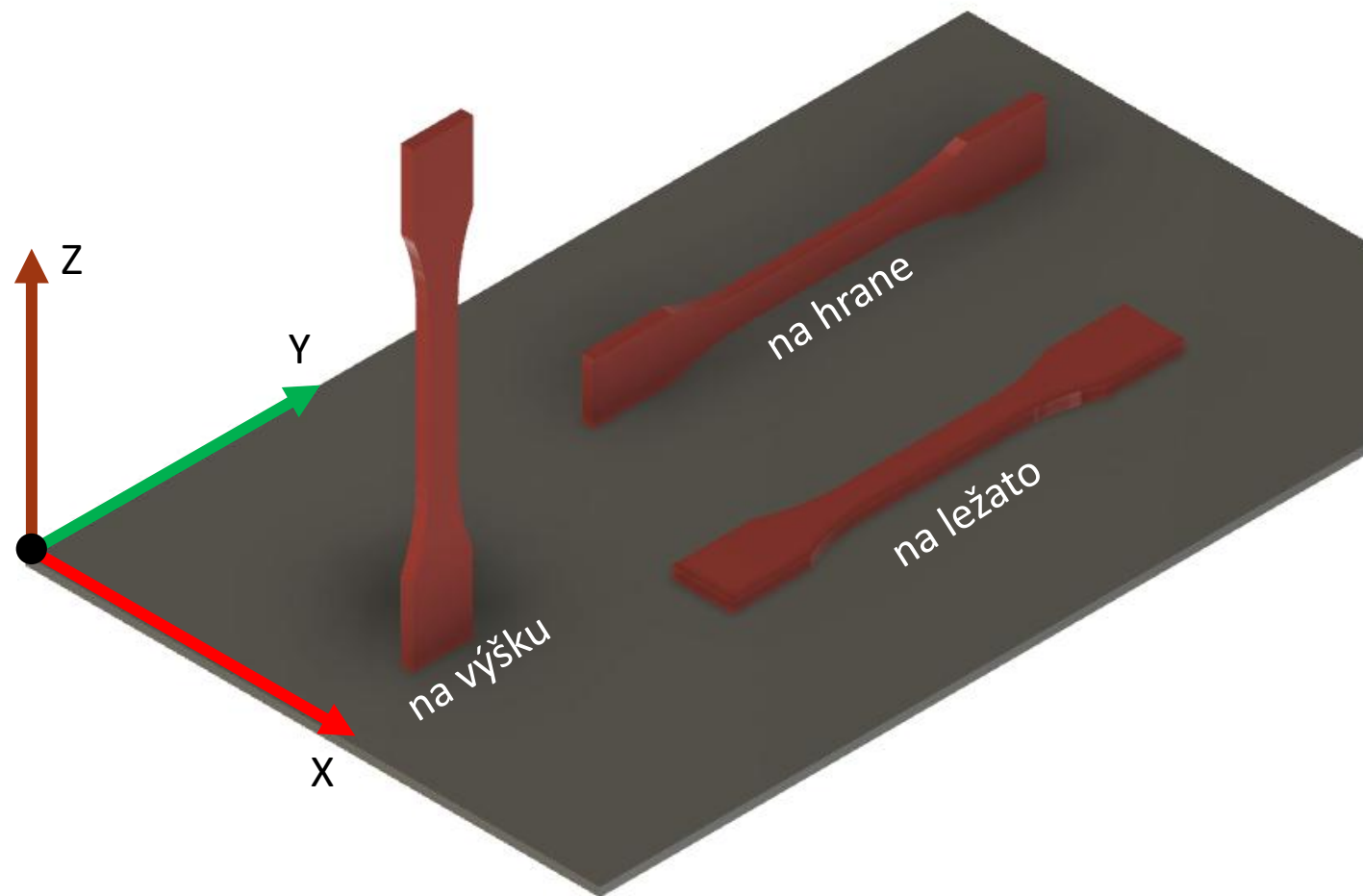
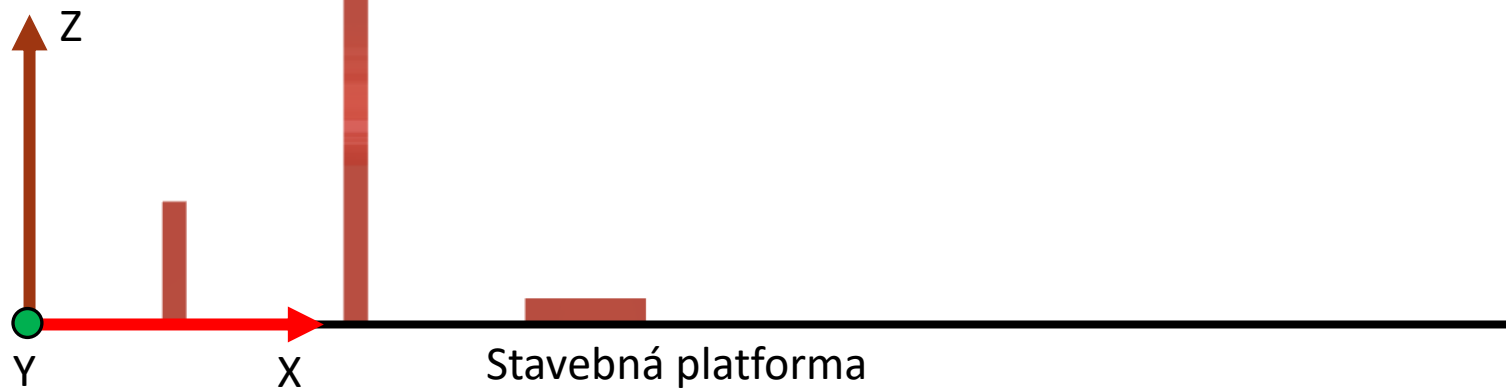
- *Cievka (Filament (PLA, ABS, ABS-CF, TPU a iné.)),*
- *Fotopolymér (Photopolymer),*
- *Živica (Resin),*
- *.... a iné.*

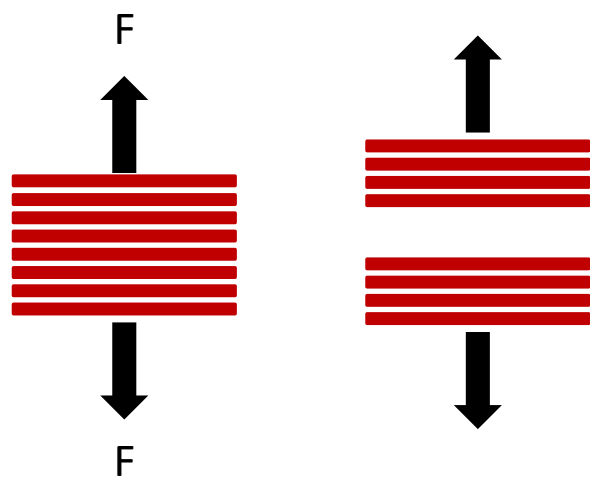
Parametre výroby

- *Teplota dýzy (Nozzle temperature),*
- *Rýchlosť tlače (Printing speed),*
- *Výplň (Infill),*
- *Teplota platformy (Platform temperature),*
- *Hrúbka vrstvy (Layer thickness),*
- *Smer tlače (Printing axis),*
- *Uhol tlače (Printing angle),*
- *Uhol rastra (Raster Angle).*
- **Postprocesing**
 - *Vytvrdzovanie (UV Curing),*
 - *... a iné.*

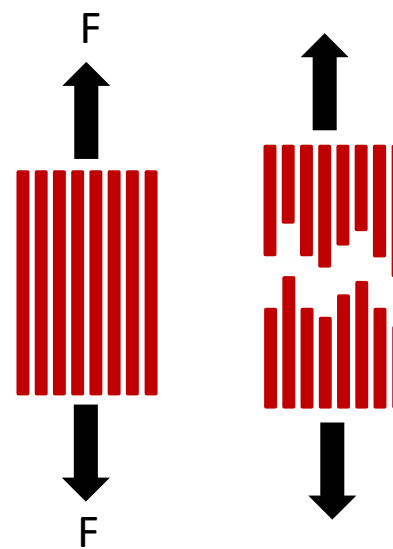
Ťahový diagram







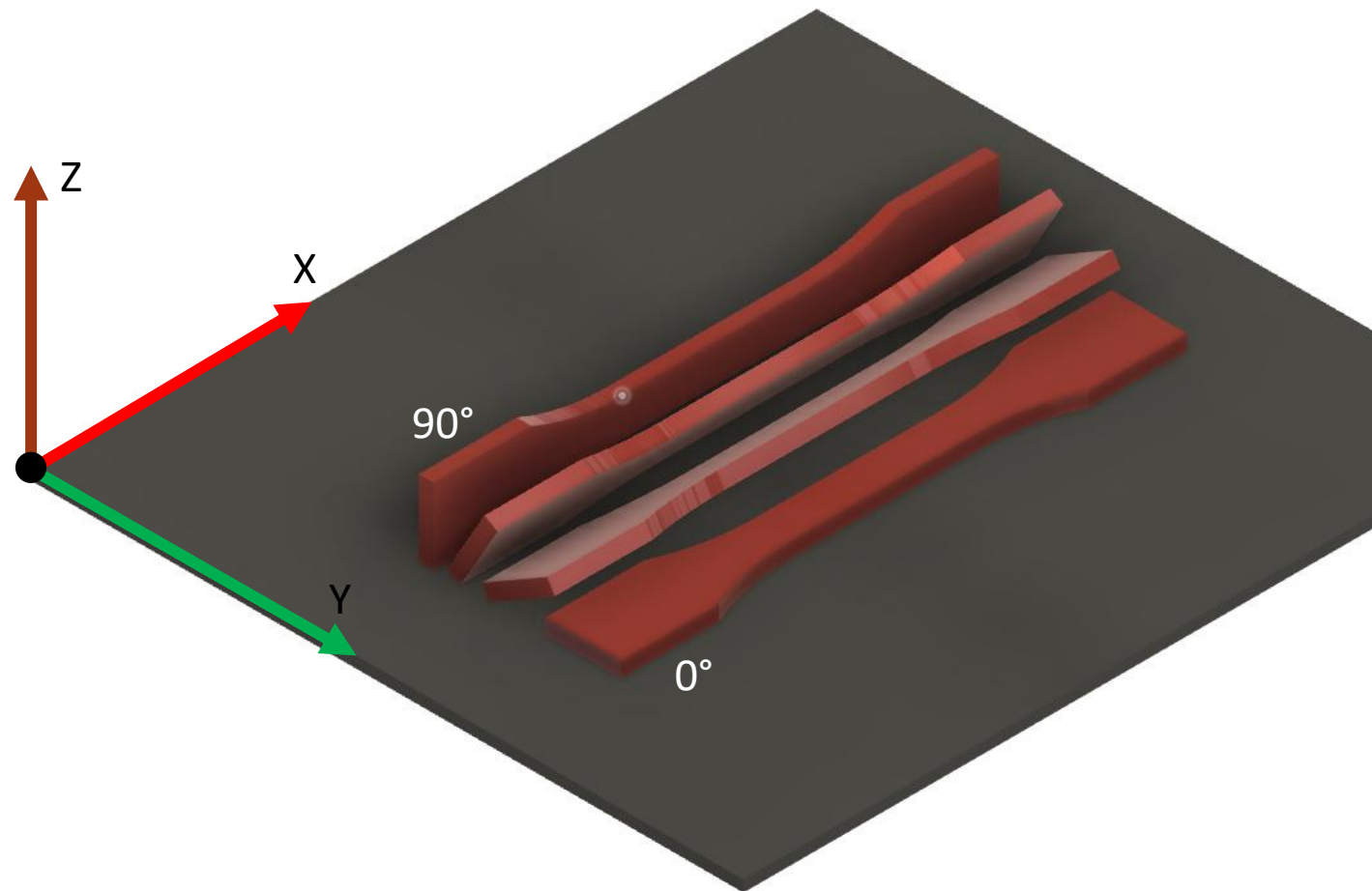
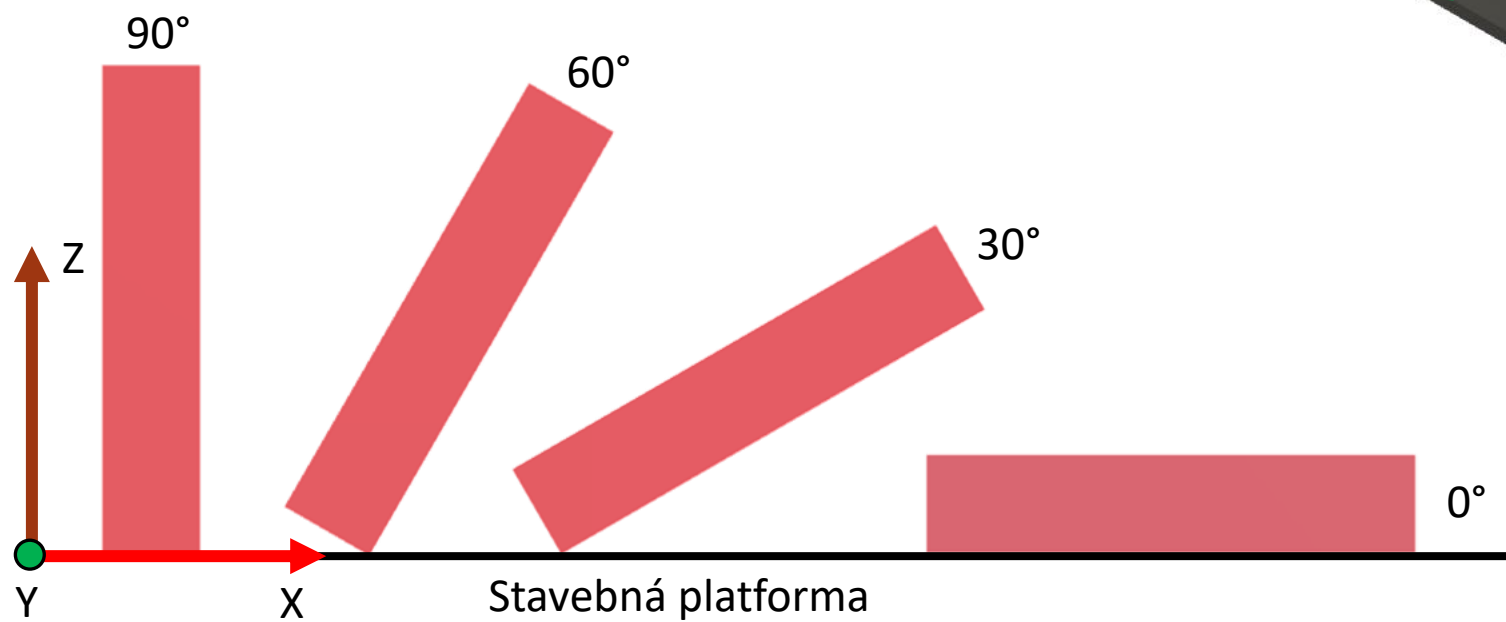
na výšku
(smer Z)

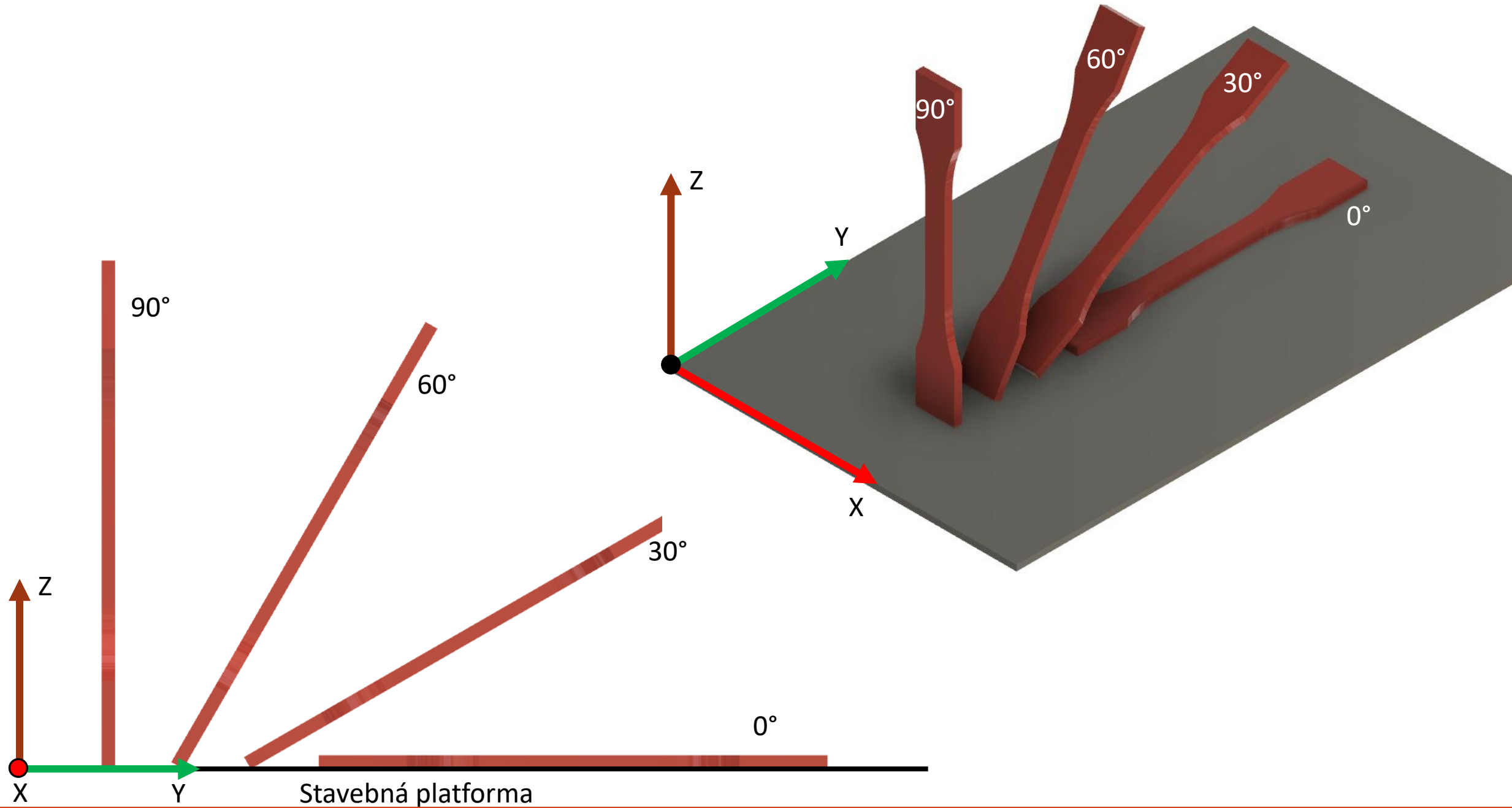


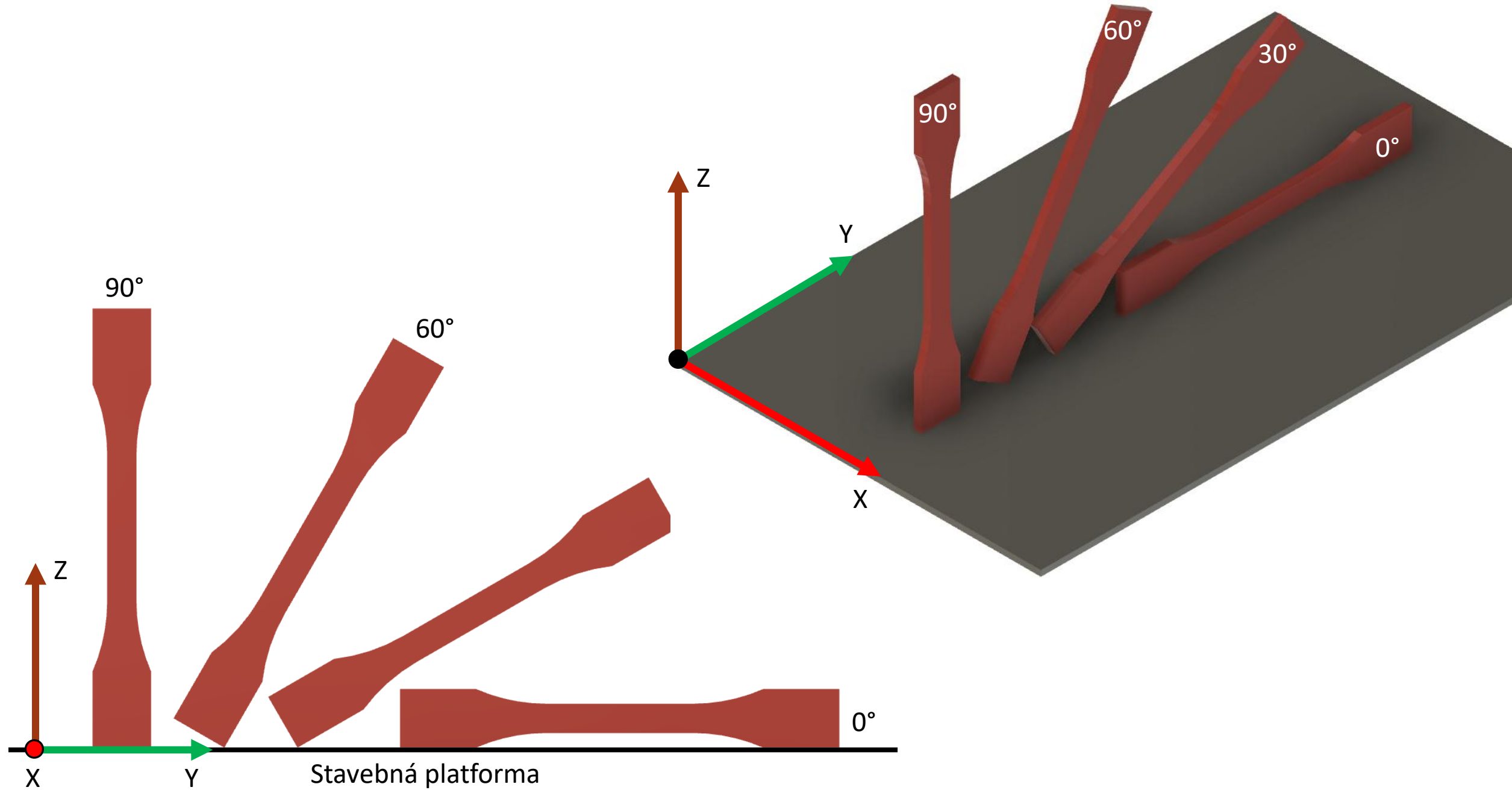
na hrane a na ležato
(smer X, Y)

Príklad

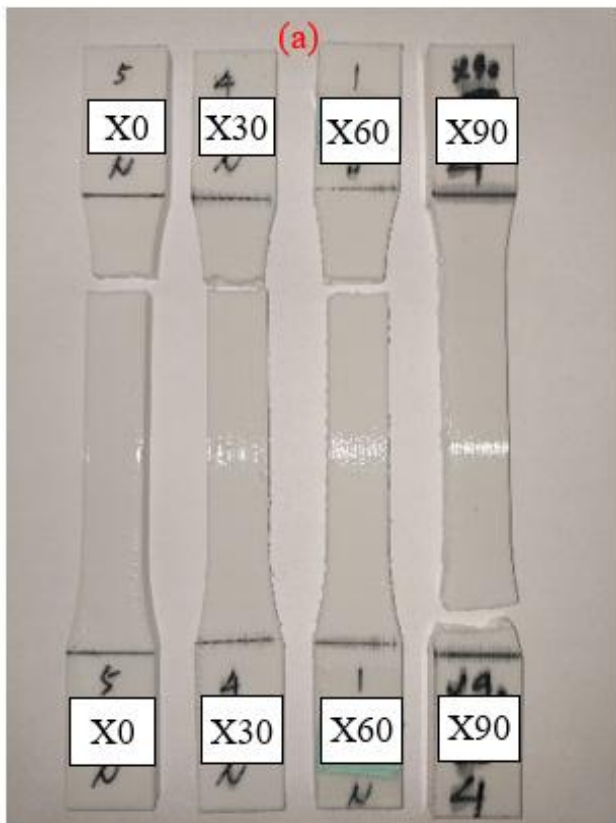
- ❑ Mechanické vlastnosti materiálov pre aditívnu výrobu
- ❑ Poloha skúšobnej vzorky
- ❑ Materiál PLA
- ❑ Vplyv UV žiarenia na mechanické vlastnosti







Materiál: PLA Snow-white
3D tlačiareň: X1E 3D printer



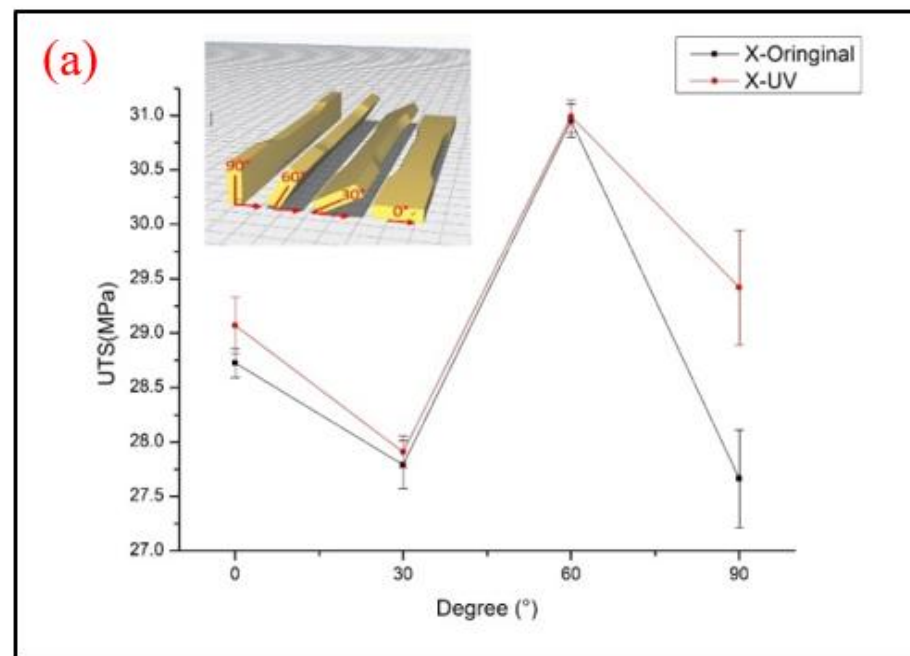
originál



vplyv UV žiarenia

Parametre 3D tlače:

Parameter	Value
Nozzle temperature	205 °C
Nozzle diameters	0.4mm
Printing speed	35 mm/s
Infill density	10%
Platform temperature	60 °C
Layer thickness	0.2mm
Filament diameters	1.75mm
Printing axis	X, Y, Z
Printing angle	0°, 30°, 60°, 90°
Raster angle	0°, 30°, 45°, 60°, 90°



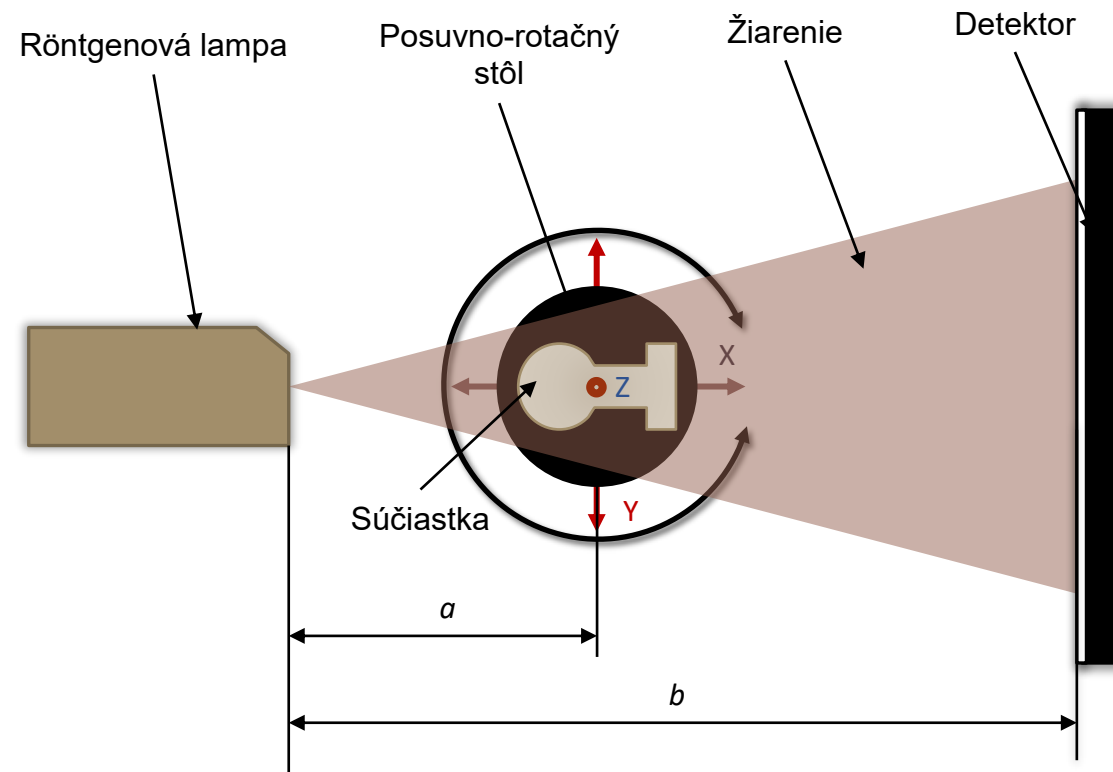
Pevnosť v ťahu (MPa)

Priemyselná počítačová tomografia a aditívna výroba

Priemyselná počítačová tomografia

- ❑ Získavanie 3D modelov (súčiastky z plastu a ľahkých kovov),
- ❑ Rozmerová analýza 3D modelu (dĺžka a uhly),
- ❑ Inklúzie,
- ❑ Pórovitosť,

Priemyselná počítačová tomografia a aditívna výroba



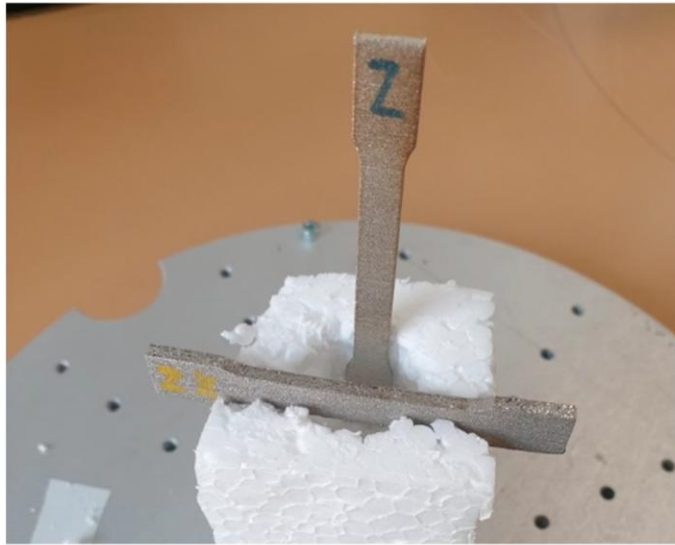
Princíp priemyselnej počítačovej tomografie



(a)



(b)



(c)

