

Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3: Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Předmět: Technologie II (aditivní technologie)
**Přednáška č. 14: Možnosti AM z pohledu konstrukce,
materiálů a kvality, budoucnost**

Ing. Petr Keller, Ph.D.

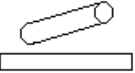
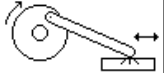



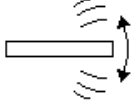

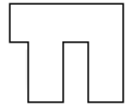

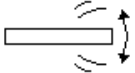
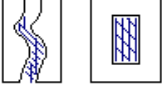

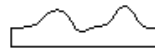
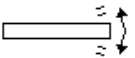
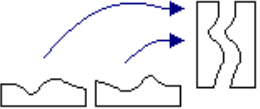


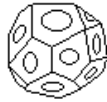

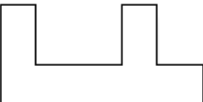
Technologičnost konstrukce

Technologičnost konstrukce je v zásadě provedení, které umožňuje výrobu s vynaložením co nejmenší pracovní, resp. nákladů na výrobu.

Na náklady na výrobu strojírenských výrobků nemá vliv pouze volba technologie. Značný vliv má pojetí konstrukce součásti a celého celku. Technologičnost konstrukce má velký význam z hlediska hospodářského. Je jí do značné míry dána produktivita výroby a konkurenceschopnost.



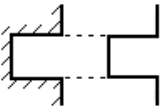



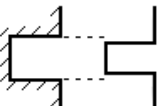





Technologičnost konstrukce pro aditivní výrobu

Pokyny: Pro každou kategorii označte jen jednu možnost pro díl, který chcete vytisknout a výsledek přičtete k následujícímu

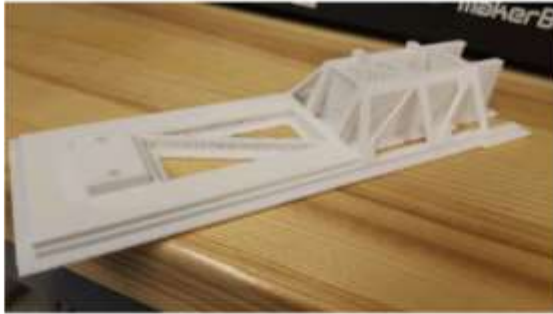
Složitost	Funkce	Odstranění podpůrného materiálu	Nutnost stavby podpor	Počet označených možností v řádcích	Celkem
Jednoduché díly jsou pro AM neefektivní	Díly z AM mají malou či střední odolnost	Podpory kazí výslednou kvalitu povrchu	Nepodepřené části poklesnou (spadnou)		
** Tvar dílu je stejný, jako běžně dostupné polotovary, nebo je kompletně plošný 	* Kontaktní plochy dílů mají být plně funkční nebo se očekává, že vydrží více než 1000 cyklů 	Díl je menší nebo stejně velký, jako potřebné podpůrné struktury 	Na díle jsou dlouhé letmé prvky 	x5 =	
* Díl je převážně plošný a může být vyroben na jedno upnutí např. frézováním, soustružením apod. 	* Kontaktní plochy se významně pohybují, jsou namáhány velkými silami nebo musí vydržet 100–1000 cyklů 	Na dílu jsou malé oblasti, pro které je nezbytné stavět podpůrné struktury 	Na díle jsou krátké prvky letmo 	x4 =	
Díl a může být vyroben např. frézováním, soustružením apod., avšak na více upnutí 	Kontaktní plochy se mohou někdy pohybovat, jsou namáhány mírně, nebo se očekává, že vydrží 10–100 cyklů 	Vnitřní dutiny, kanály nebo díry nemají otvory pro odstranění podpor 	Převísle prvky jsou konstruovány šikmo 	x3 =	
Tvar dílu je komplexní a příliš složitý pro ostatní technologie výroby 	Kontaktní plochy dílů se pohybují minimálně, s malým zatížením, nebo se očekává, že vydrží 2–10 cyklů 	Podpůrný materiál může být jednoduše odstraněn z dutin, kanálů nebo děr 	Převísle prvky jsou konstruovány šikmo pod úhlem min. 45° 	x2 =	
Na dílu jsou vnitřní struktury nebo je členitost povrchu příliš složitá 	Plochy nejsou funkční nebo nejsou zatěžovány 	Na díle nejsou žádné vnitřní dutiny, kanály nebo díry 	Díl lze orientovat tak, že zde nejsou žádné prvky letmo 	x1 =	

Technologičnost konstrukce pro aditivní výrobu

Pokyny: Pro každou kategorii označte jen jednu možnost pro díl, který chcete vytisknout a výsledek přičtete k předchozímu

Detaily a tloušťka stěn	Koncentrace napětí	Tolerance	Geometrická přesnost	Počet označených možností v řádcích	Celkem
Tenké prvky se většinou ulomí nebo prasknou	Vnitřní rohy by neměly být ostré	Kontaktní plochy by neměly být konstruovány na totožné rozměry	Velké ploché plochy mají tendenci se zdeformovat		
Některé stěny dílu mají menší tloušťku než 1,5 mm 	Vnitřní rohy nemají žádné sražení, zaoblení nebo výztužné žebro 	Rozměry kontaktních ploch (např. průměr díry a čepu) mají stejné nominální hodnoty 	Díl má velké, ploché povrchy nebo má přesný tvar, který je důležitý 	x5 =	
Stěny dílu mají tloušťku mezi 1,5 a 3 mm 	Vnitřní rohy mají sražení, zaoblení anebo výztužné žebro 	Tolerance otvorů nebo délek jsou upraveny s ohledem na změny rozměrů při 3D tisku 	Díl má středně velké, ploché povrchy nebo tvary, které by měly být téměř přesné 	x3 =	
Stěny dílu jsou silnější než 3 mm 	Vnitřní rohy mají významné sražení, zaoblení anebo výztužné žebro 	Tolerance otvorů a délek nejsou pro daný díl důležité 	Na dílu nejsou žádné nebo pouze malé ploché povrchy, které musí být „přesné“ 	x1 =	
Vysvětlivky		Celkové skóre:			
* Je vhodné zvážit jiný výrobní proces		33–40 je třeba díl překonstruovat pro AM			Celkem
** Je důrazně doporučeno zvážit jiný výrobní proces		24–32 je vhodné zvážit změnu konstrukce s ohledem na AM			
		16–23 střední pravděpodobnost úspěšného 3D tisku dílu			
		8–15 vysoká pravděpodobnost úspěšného 3D tisku dílu			

Příklady různých dílů a jejich skóre



Score = 24



Score = 22



Score = 19



Score = 16



Score = 15



Score = 11

Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

1. Část dílu má tenké detaily nebo stěny, které jsou menší než 0,8 mm pro standardní rozlišení nebo 0,4 – 0,5 mm u strojů s vysokým rozlišením.

Vzhledem k tomu, že princip AM je stavba "vrstva po vrstvě", nelze něco menšího nebo tenčího často dokonce ani postavit.

Je třeba věnovat velkou pozornost vystouplým nebo zapuštěným logům a oblastem malého textu, "ostrým" rysům, které se zužují až do nulové tloušťky a klikatým úsekům jakéhokoliv designu, kde tloušťka může kolísat.

Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Část dílu má tenké detaily nebo stěny, které jsou menší než 0,8 mm pro standardní rozlišení nebo 0,4 – 0,5 mm u strojů s vysokým rozlišením.



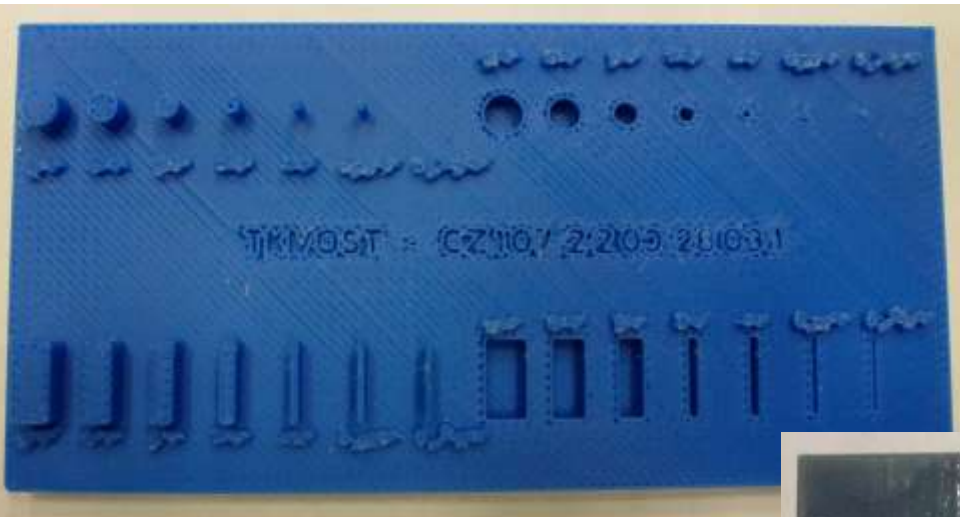
Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Část dílu má tenké detaily nebo stěny, které jsou menší než 0,8 mm pro standardní rozlišení nebo 0,4 – 0,5 mm u strojů s vysokým rozlišením.

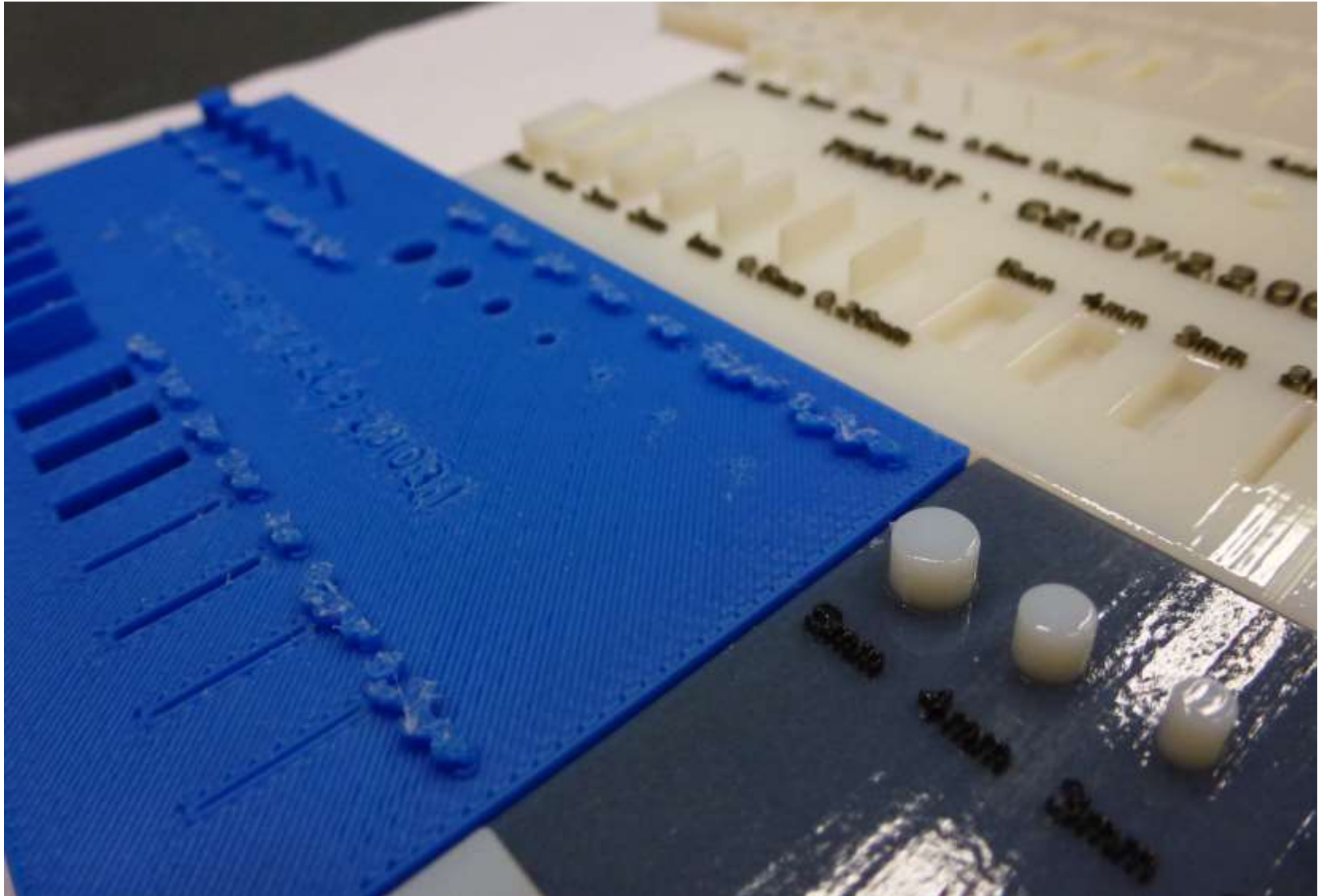


Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Porovnání detailů AM různých technologií – vlevo FDM, vpravo Polyjet na základě podobných vstupních dat.



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

2. Nativní CAD model je převeden do formátu .STL s velmi nízkým rozlišením, což má za následek hrubé, velké plošky na povrchu modelu.

Pokud je rozlišení souboru .STL příliš nízké, bude model hrubý, namísto hladkých povrchů a křivek.

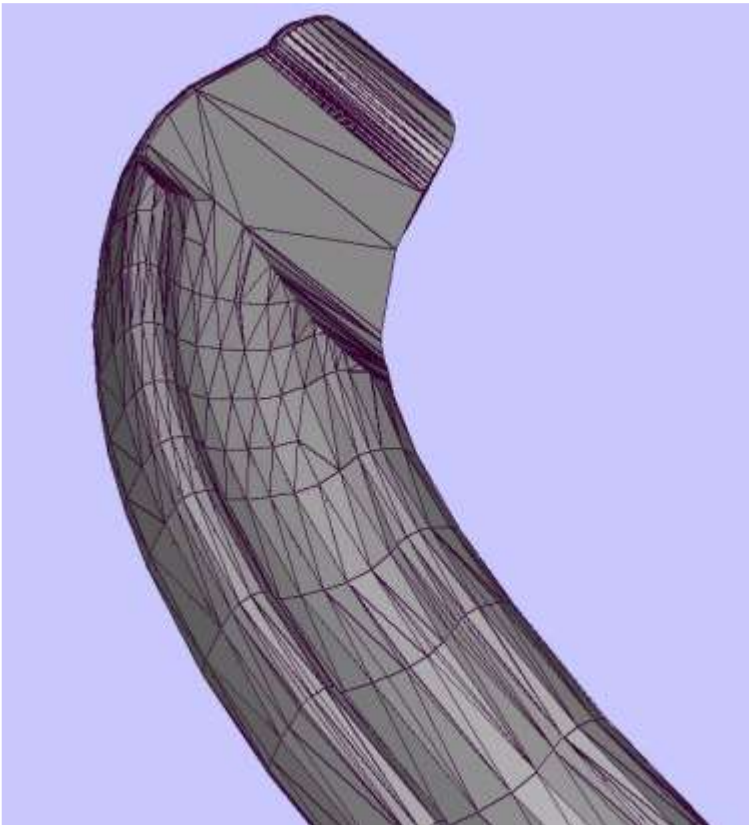
To bývá docela běžné a vyrobí se tak neatraktivní díly. Aby bylo dosaženo hladkého povrchu na modelu měla by být vzdálenost bodů sítě menší než 0,2 mm.

Zkontrolujte parametry u nativního CAD programu, který je použit pro export .STL souborů.

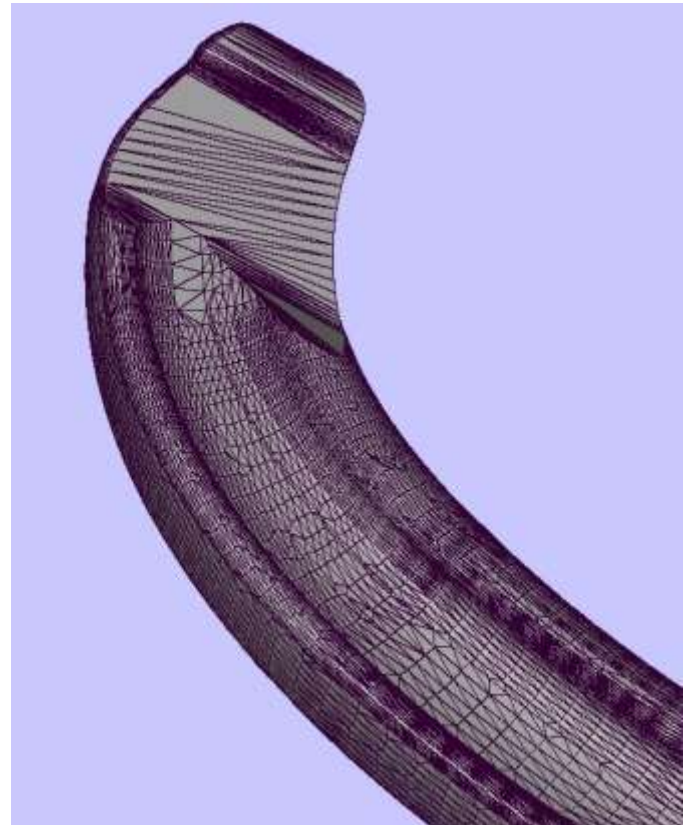
Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Nativní CAD model je převeden do formátu .STL s velmi nízkým rozlišením, což má za následek hrubé, velké plošky na povrchu modelu.

hrubá síť



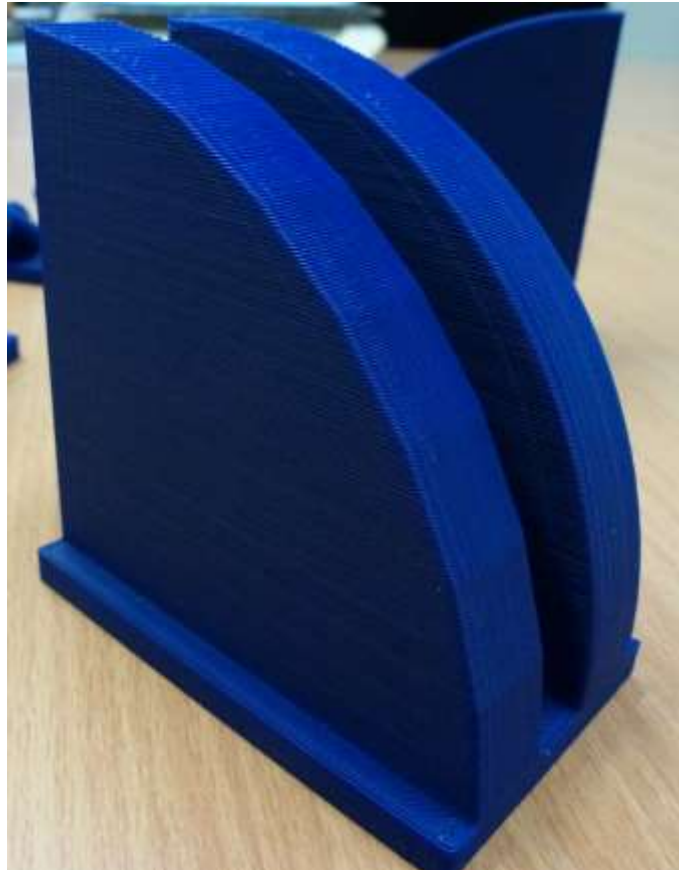
jemná síť



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Nativní CAD model je převeden do formátu .STL s velmi nízkým rozlišením, což má za následek hrubé, velké plošky na povrchu modelu.

rovnání hrubé a jemné sítě na výtisku (CAD data byla shodná)



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

3. Sestavy, závity a dosedací prvky jsou navrženy s nesprávnou vůlí.

Standardní tolerance pro většinu AM technologií začínají na +/- 0,1 mm. Je tedy obvyklé, že jednotlivé části konstruované v nominálních rozměrech do sebe "nezapadají".

Typicky by měly být do sebe zapadající díly konstruovány s vůlí (u FDM až 0,4 - 0,5 mm, dle orientace).

Toto je důležité mít na paměti pro úspěšnost projektu. Závisí na tom, jak dobře různé díly půjdou či nepůjdou sestavit.

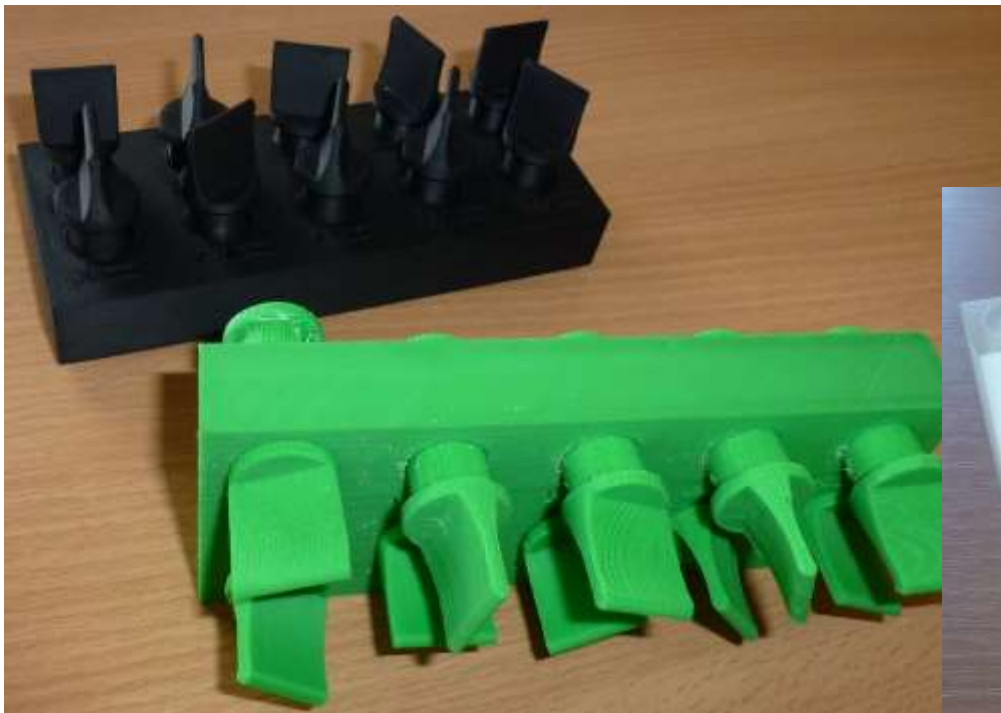
Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Sestavy a došedací prvky jsou navrženy v tomto případě se správnou vůlí – mechanismy jsou funkční.



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Sestava základny s otvory a kolíků pro ověření velikosti potřebných vůlí pro různé orientace a různé technologie (FDM a PolyJet)



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

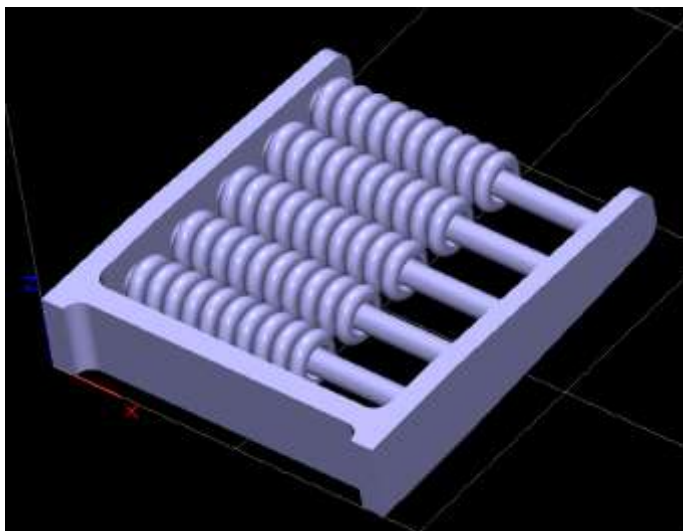
4. Respektujte plochu první vrstvy. První vrstva je klíčová pro fixaci dílu v pracovním prostoru tiskárny po celou dobu stavby.

Důležitá je opět orientace modelu při přípravě tisku

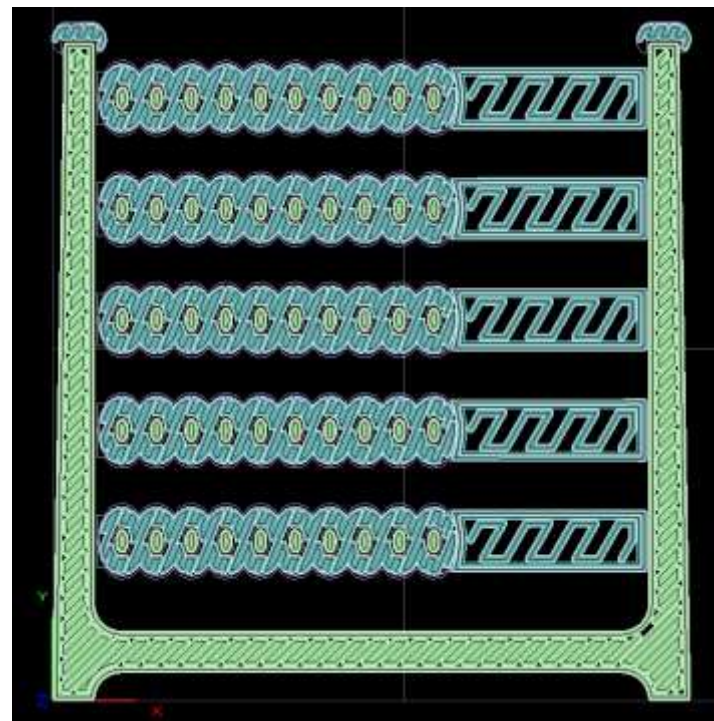
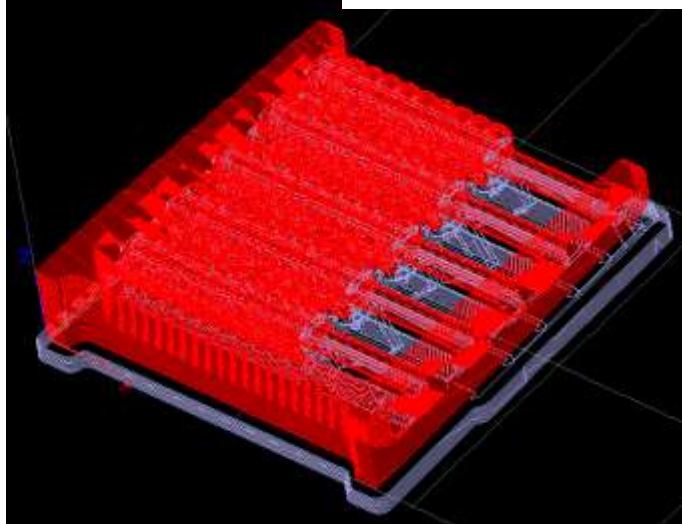
– viz příklad na dalších slidech

Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Tisk modelu kuličkového počítadla.



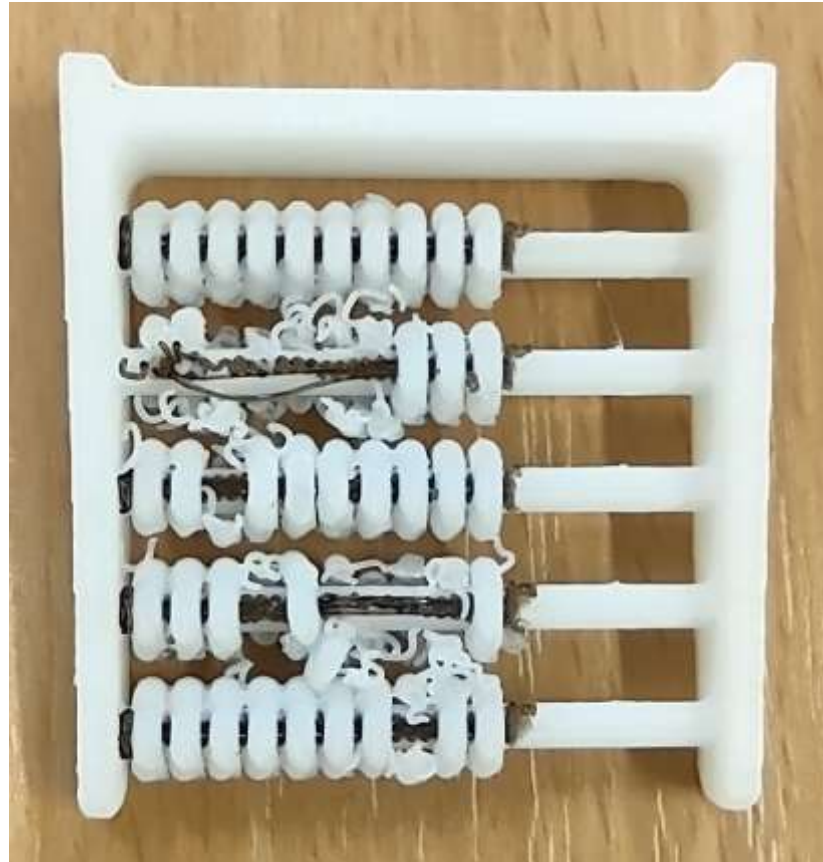
Model Material: 7,13 cm³
Support Material: 4,07 cm³
Time: 1:44



Plocha první vrstvy kuliček je příliš malá – toto není vhodná orientace!

Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

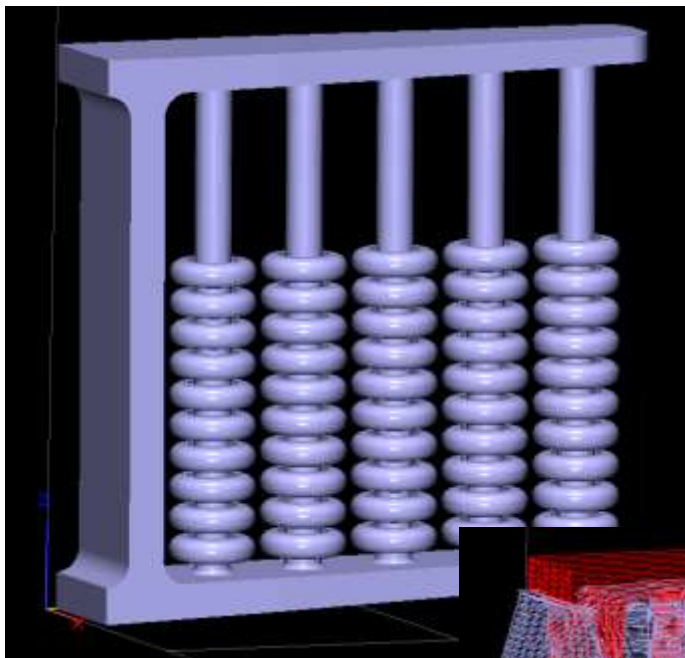
Tisk modelu kuličkového počítadla.



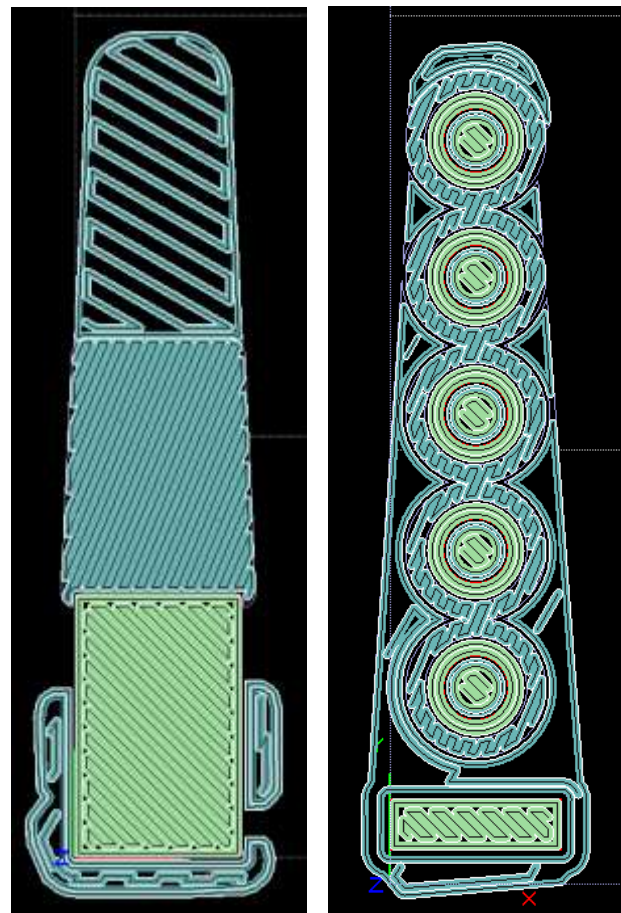
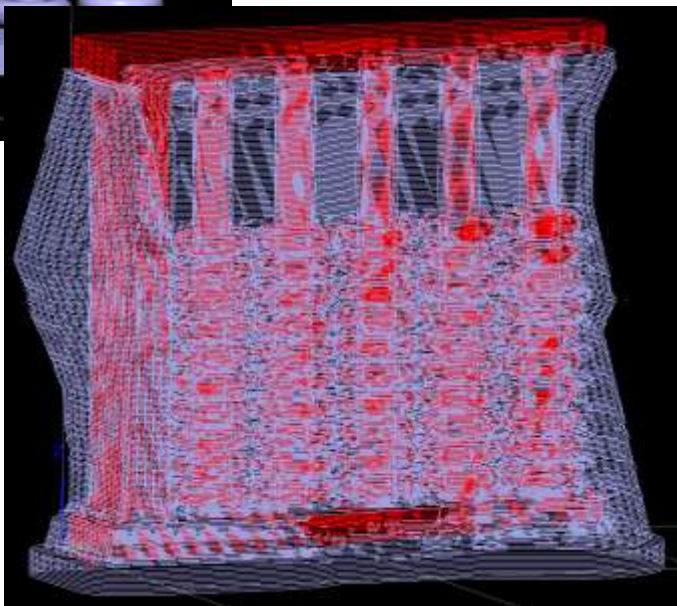
Pohled na nepovedený
výtisk ze spodu

Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

Tisk modelu kuličkového počítadla.



Model Material: 6,93 cm³
Support Material: 7,66 cm³
Time: 3:04



Plocha první vrstvy dílu i kuliček je větší – tisk pravděpodobně dopadne dobře.

Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

5. Orientace při tisku na výšku u vysokých, štíhlých dílů může být problematická. Zvažte jinou orientaci, příp. typ výplně nebo podpor.



Zásady a postupy při návrhu výroby pomocí aditivních technologií

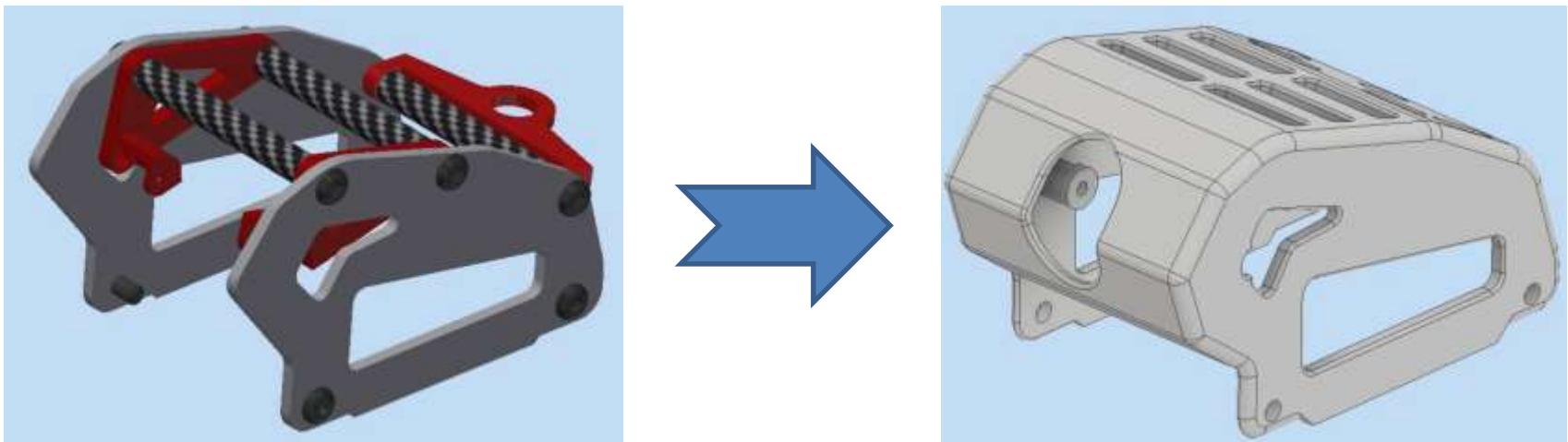
6. Využijte možnosti aditivních technologií – díly je možné konstruovat složitější, než pro ostatní výrobní technologie. Tím je možné zjednodušit následnou montáž.

Aditivní technologie vedou ke změně myšlení a přístupu ke konstruování součástí.

Je možné sloučit některé výrobní celky do jednoho dílu a tím zjednodušit montáž, následnou údržbu apod.

↔ „**design for function**“

Lze vyrobit díly, jinými technologiemi nevyrobitelné.

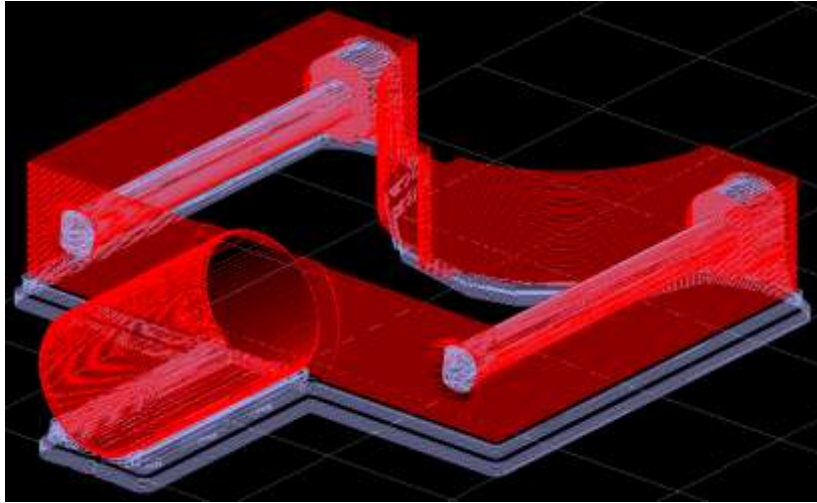


Orientace dílu v pracovním prostoru stroje

– má vliv na:

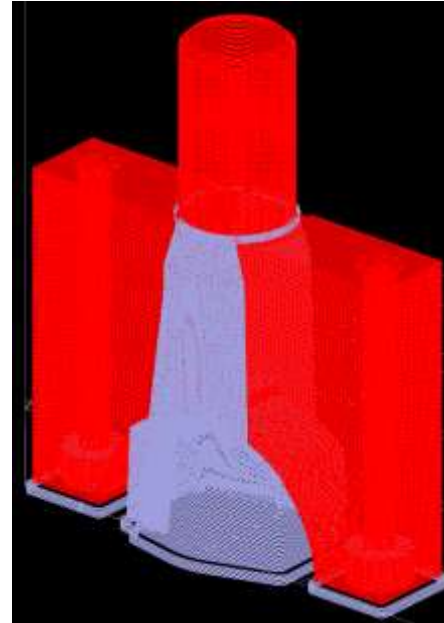
- spotřebu materiálu, především podpůrného,
- čas stavby a tím i na náklady na stavbu dílu,
- kvalitu povrchu dílu a tím i na náročnost dokončovacích operací,
- u některých technologií na přesnost výroby (vlivem vnitřního pnutí apod.)
- v neposlední řadě i na mechanické vlastnosti – u řady aditivních technologií je patrná nehomogenita dílů v různých směrech (typicky menší pevnost v rovinách napojení jednotlivých vrstev)

Příklad vlivu orientace dílu na objem použitého materiálu – zde technologie FDM



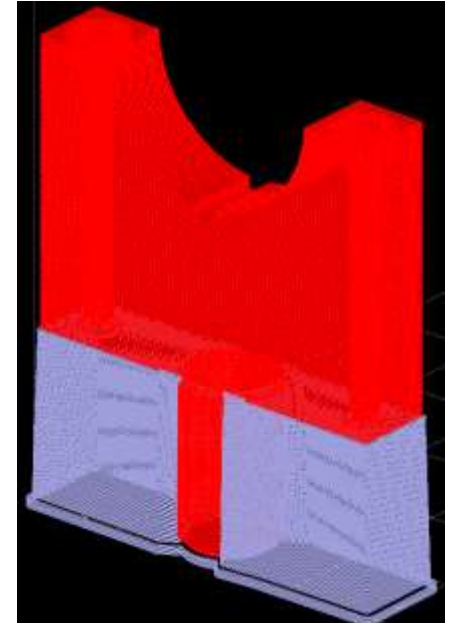
Stavební materiál:
131,8 cm³

Podpůrný materiál:
16,6 cm³



Stavební materiál:
131,3 cm³

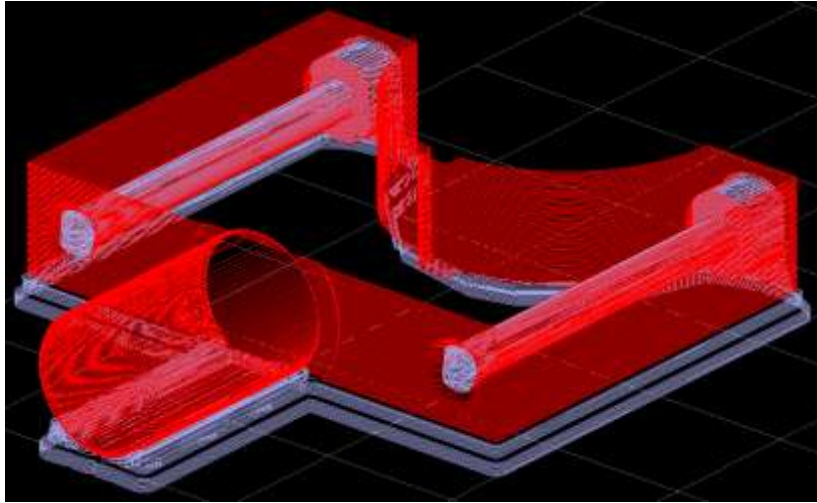
Podpůrný materiál:
12,0 cm³



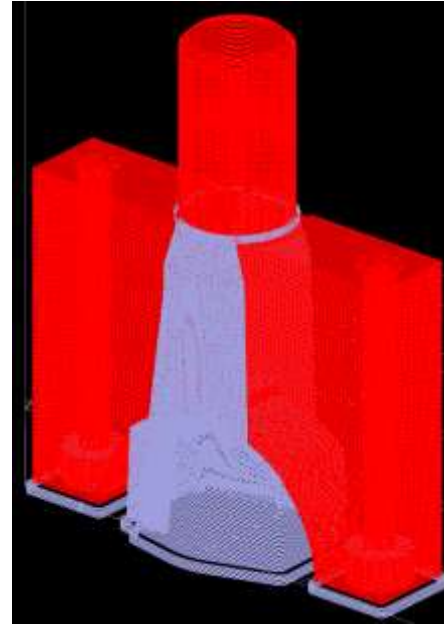
Stavební materiál:
131,2 cm³

Podpůrný materiál:
15,8 cm³

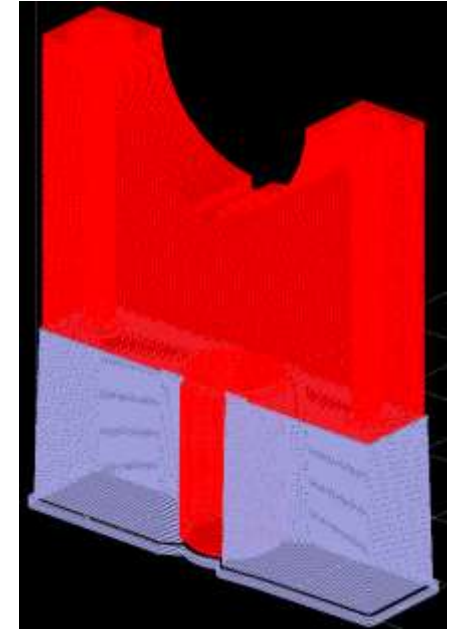
Příklad vlivu orientace dílu na jeho čas stavby – zde technologie FDM



Předpokládaný čas
stavby dílu:
6:41 hod:min



Předpokládaný
čas stavby dílu:
9:33 hod:min

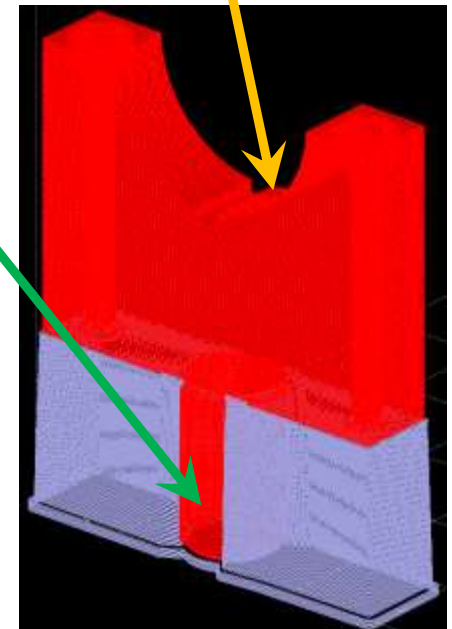
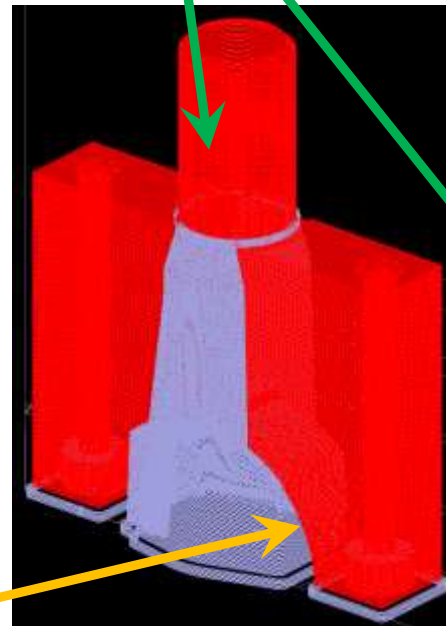
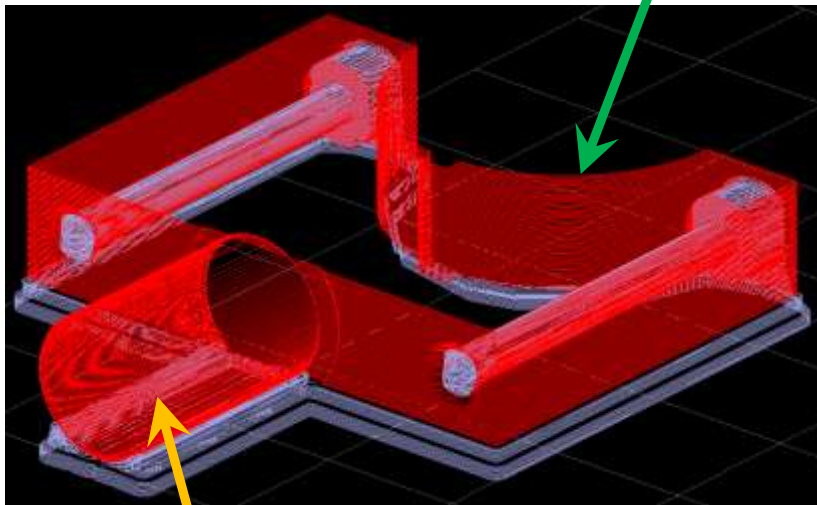


Předpokládaný
čas stavby dílu:
8:59 hod:min

Příklad vlivu orientace dílu na kvalitu jeho povrchu – zde technologie FDM

relativně hladký povrch

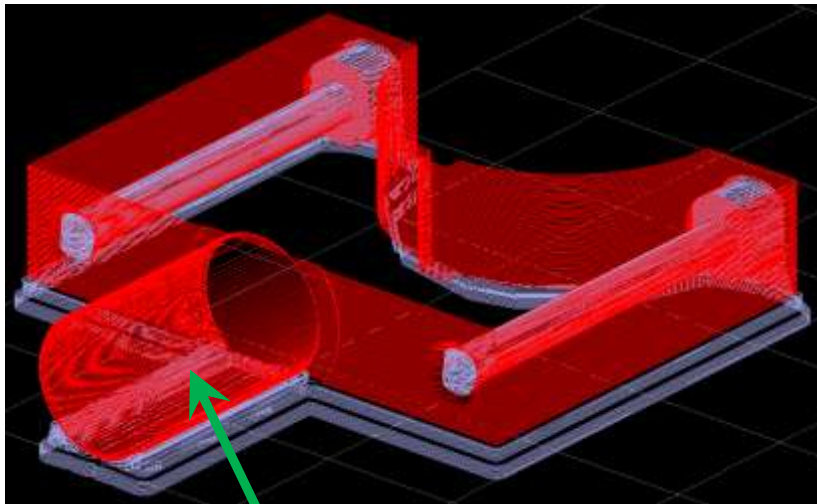
hrubý povrch



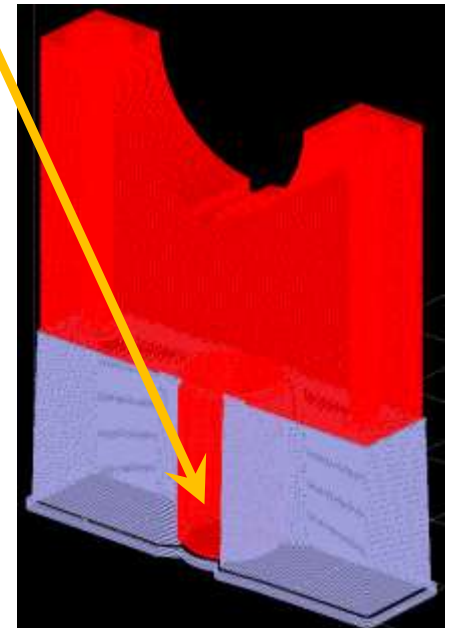
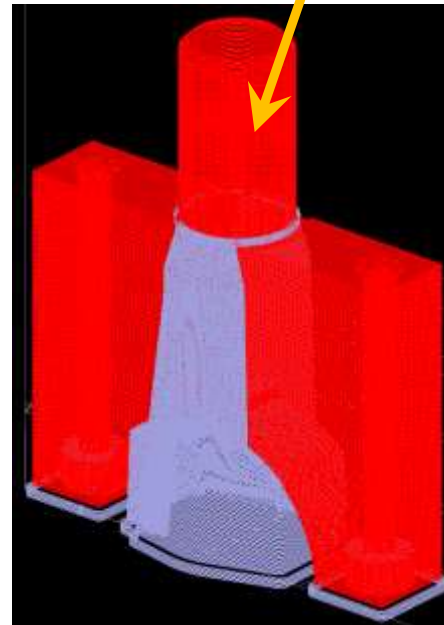
hrubý povrch

Příklad vlivu orientace dílu na jeho pevnost – zde technologie FDM

malá pevnost při axiálním zatížení čepu
(síla působí kolmo na rovinu vrstev)



dobrá pevnost čepu při jeho
zatížení v axiálním směru
(síla působí rovnoběžně
s rovinami vrstev)



Ukázky aplikací aditivních technologií



Bezpečnostní helma (prototyp)

- sestavena z cca 10
tisknutých dílů + kombinace
standardních dílů (samo-
zatmavovací svařovací sklo
apod.)

Aplikace výroby a odlévání do silikonových forem

- tisknutý díl je použit jako tzv. master model



Odlití vosku do silikonové formy a zhotovení kovových dílů

- technologie odlévání metodou ztraceného modelu



**Keramická skořepinová forma zhotovená na základě
vytištěného dílu z ABS**



Ukázka topologické optimalizace dílu

Fáze 1
m = 0,41 kg



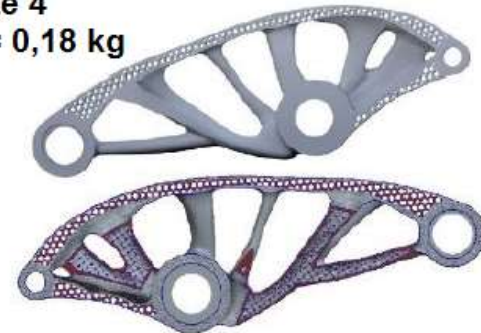
Fáze 2
m = 0,20 kg



Fáze 3
m = 0,20 kg



Fáze 4
m = 0,18 kg



Aplikace vstřikování termoplastu do 3D tištěné formy

Vstřikování plastů je nejčastěji používaným výrobním procesem pro výrobu vysoce přesných a složitých plastových dílů.

Tradičně... výroba nástrojů pro vstřikování je složitý, pomalý a nákladný proces

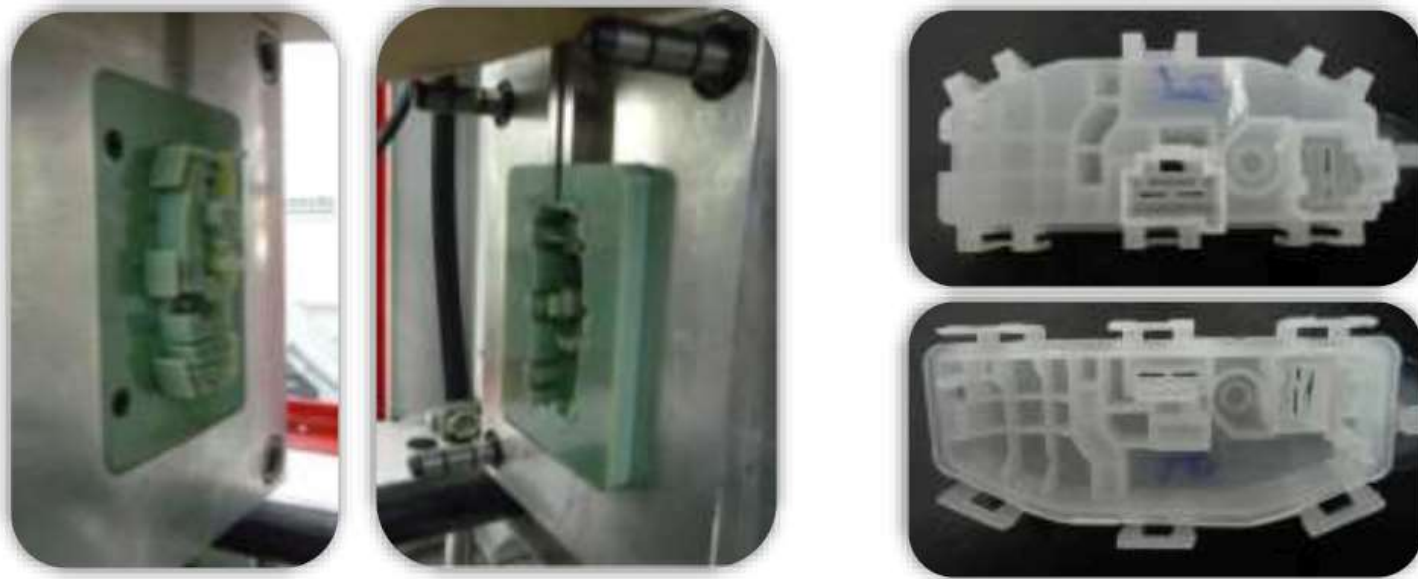
Tisk formy technologií PolyJet Printing z materiálu ABS-like umožňuje:

- Rychlou malosériovou výrobu
- Výrazně snížený čas a náklady



Aplikace vstřikování termoplastu do 3D tištěné formy

Vstřikovaný materiál: PE (Polyetylen) při 190°C

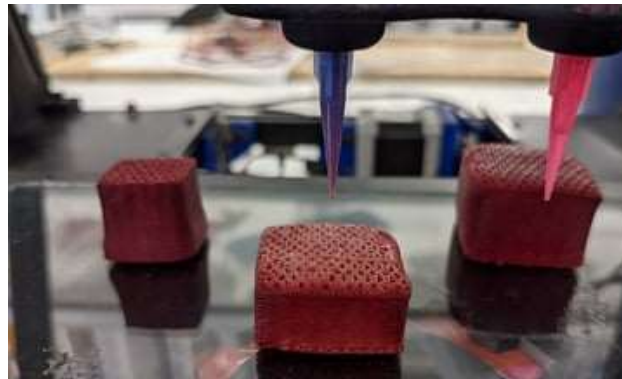


10 dílů (10 vstřikovacích cyklů),
forma stále plně funkční

Aplikace AM v potravinářství

Metody tisku a materiály:

- FDM / FFF – nejrozšířenější metoda, materiály: čokoláda, želé, sýr, pyrė, marcipán, atd., rozděluje se na studenou a teplou extruzi
- SLS – materiály: cukr, čokoládový a proteinový prášek atd., limitace materiálem (prášek) → převážně cukrovinky
- Tryskání pojiva (3DP) – podobné materiály jako u SLS, pojivo např. voda + barviva
- Inkoustový tisk – zejména potisk povrchů potravin jedlými inkousty



Zdroje: <https://penntoday.upenn.edu/news/evan-and-chocolate-factory>

<https://all3dp.com/2/3d-printed-food-3d-printing-food>

<https://www.confectionerynews.com/Article/2017/12/04/byFlow-to-focus-solely-on-3D-printing-for-food-as-it-sells-100th-printer>

Aplikace AM v potravinářství

Využití:

- V dnešní době zejména čokoláda, marcipán apod. → cukrářství
- Prozatím hlavně v luxusních restauracích
- Post-processing ve formě pečení, sušení, čištění apod.
- Velký zájem NASA pro tisk potravin ve vesmíru / pro vesmírné využití – vývoj tisku „masa“ z rostlin
- Tisk jídel na míru přímo pro potřeby člověka



Aplikace AM ve stavebnictví

Metody tisku a materiály:

- Extrudování cementových malt, geopolymérů, nepálené hlíny apod.
- Metoda WAAM – Wire and Arc Additive Manufacture – tisk a navařování kovových konstrukcí

První kovový tištěný most Amsterdam – Red Light District

- tisk dokončen – duben 2018
- délka – 12,5 m
- šířka – 6,3 m
- výška – 2,1 m
- hmotnost – 4,9 t
- materiál – nerezová ocel



Aplikace AM ve stavebnictví

BOD, Dánsko 2018



Dubai Municipal House,
Spojené arabské emiráty 2019

Prvok, první tištěný dům v ČR 2021



Aplikace AM ve stomatologii

– neviditelná rovnátka



Zdroj: www.invisalign.com

Individuální výroba muší naslouchátek

výroba do 1 dne

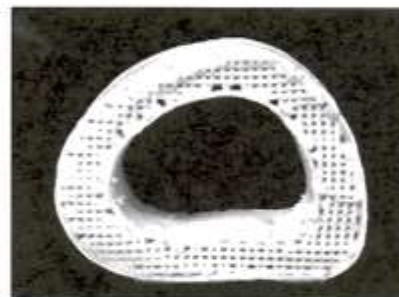


Zdroj: <https://disruptiveinnovation.se/?p=343>



S novým bionanomateriálem lze 3D tisknout lepší umělé kosti

Vědci americké Severozápadní univerzity vyvinuli speciální inkoust pro 3D tiskárny, kterým lze vytisknout syntetické kostní implantáty, podporující rychlou regeneraci a růst kostí. Jde o velice elastický materiál,



jehož tvar lze snadno přizpůsobit potřebám pacienta. Vzhledem ke své povaze je tento materiál obzvláště vhodný k léčbě defektů kostí u dětských pacientů.

Implantace kostí nebývají nikdy snadné. Nejvíce komplikované a bolestivé jsou ale obvykle pro děti. Nejde jenom o to, že dospělí lépe snášejí pobyt v nemocnici a samotné operace. V podobných případech lékaři často používají kovové kostní implantáty, a když dítě ještě roste, tak mu to přináší značné problémy. V mnoha případech čeká na takové dítě celá série operací, což je pochopitelně velmi zatěžující.

Ramille Shahová a její spolupracovníci proto chtěli vyrobit biomateriál, který by mohl dětským pacientům v tomto směru pomoci. Jejich řešením je biokompatibilní nanomateriál do 3D tiskárny, na který je pak možné tímto inkoustem tisknout rozmanité tvary implantátů. Shahová a spol. vsadili na směs hydroxyapatitu, který je klíčovou součástí kostní tkáně, a biologicky odbouratelného polymeru, běžně používaného v me-

dicínských aplikacích. Experimenty na pokusných zvířatech ukázaly, že 3D tištěné kostní implantáty z tohoto materiálu jsou velice slibné.

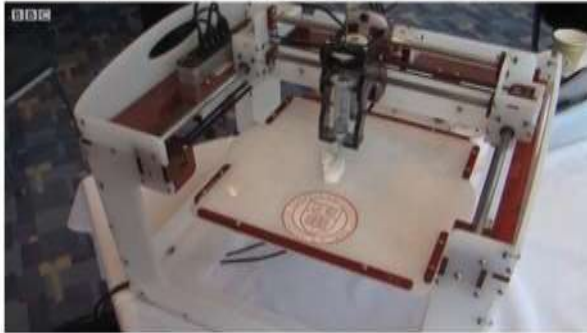
O hydroxyapatitu víme, že podporuje regeneraci kostí. Zároveň se s ním ale velmi špatně pracuje. Medicínské produkty z hydroxyapatitu bývají tvrdé a křehké. V bionanomateriálu týmu Shahové přitom na hydroxyapatit připadá celých 90 procent váhy materiálu. Zmíněný polymer tedy tvoří pouze 10 procent hmoty materiálu, ale díky své sofistikované nanostruktúře a 3D tisku si vzniklý materiál stále udržuje značnou ohebnost. Buňky v okolí takového implantátu dostávají signál, že je přítomno velké množství hydroxyapatitu, a intenzivně regenerují kostní tkáň. Výhodou je i to, že 3D

Výhodou je i to, že 3D tisk kostních implantátů probíhá za pokojové teploty, takže **do inkoustu pro 3D tiskárnu lze přimíchat antibiotika** nebo jiné biologicky aktivní látky.

tisk kostních implantátů probíhá za pokojové teploty, takže do inkoustu pro 3D tiskárnu lze přimíchat antibiotika nebo jiné biologicky aktivní látky, které pak působí v místě vložení implantátu. ↩

Blízká a vzdálená budoucnost 3D tisku

'Printing' human organs with 3D bio-printer



21 February 2011 Last updated at 05:26 GMT

US researchers at Cornell University have engineered an ear made of silicone using a 3D printer, which they hope will one day be capable of producing functional human body parts.

Hod Lipson, the director of the Computational Synthesis Laboratory at the university, has been testing the 3D printer as a means of producing synthetic heart valves.



TALKS

Anthony Atala: Printing a human kidney



845,888 Views

Surgeon Anthony Atala demonstrates an early-stage experiment that could someday solve the organ-donor problem: a 3D printer that uses living cells to build a transplantable vessel. Using similar technology, Dr. Atala, young professor Luke Lianouka received an engineering doctorate 13 years ago, we meet him tonight.

Atala: "We're asking, 'Can we grow organs instead of manufacturing them?' His lab at the Wake Forest Institute for Regenerative Medicine is doing just that—engineering new 3D tissues and whole organs. Full bio



Bio medicína



Jobs | Employees | Media | Contact | MyWakeHealth

SEARCH: GO

TEXT SIZE: - +

Patients & Visitors | Referring Physicians | Research | Academic Programs | About Us

Graduate & Postdoc Programs | Departments | Clinical Trials | Institutes & Centers | Shared Resources & Cores | Faculty | Office of Research

Institute for Regenerative Medicine

Our Story

The ABCs of Organ Engineering

It All Starts with Cells
Making a Scaffold
Bioprinting
Materials Selection
Quality Assurance
Testing Functionality

Our Research Projects

Our People

Partnerships and Outreach

Education Programs

News & Facts

Research » Institute for Regenerative Medicine The ABCs of Organ Engineering »

Using Ink-Jet Technology to Print Organs and Tissue

To see in 3D

Tweet 4

2

Living tissues are composed of many cell types that are all arranged in a very specific order in three-dimensional space. Maintaining this order is essential to ensure engineered tissues and organs maintain the same functionality that original body parts have.



Researchers at the Wake Forest Institute for Regenerative Medicine are using modified ink-jet technology to build a variety of tissue and organ prototypes. This technology allows multiple cell types and other tissue components to be arranged in pre-determined locations with high precision. In an early form of the technology, various cell types were placed in the wells of an actual ink cartridge and a printer was programmed to arrange the cells in a pre-determined order. Watch this early "bioprinting" technology in action below:

Bioprinting



Quick Reference

Institute for Regenerative Medicine

Phone 336-713-7295

Fax 336-713-7290

Location
Richard H. Dean Biomedical Building
391 Technology Way
Winston-Salem, NC 27101

- E-mail
- Contact Us
- Maps/Directions

Locate Faculty

Ways to Give

Spotlight



Research at WFIRM
Our research team is working to engineer

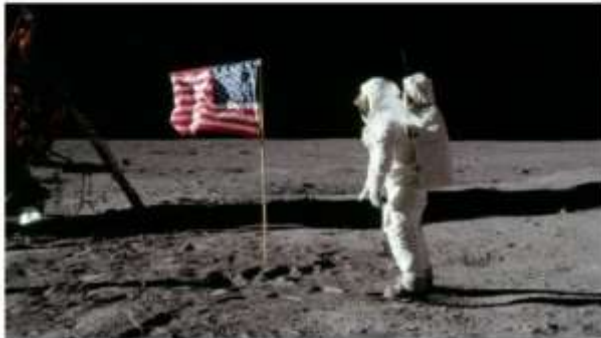
Blízká a vzdálená budoucnost 3D tisku

RESEARCH WATCH

3D printer creates objects from NASA moon material

By James Holloway
November 28, 2012

3 Comments



Buzz Aldrin went without the option of 3D printing spare parts out of lunar materials (Photo: NASA)

Ads by Google

Printer Spare Part - www.gedat-spareparts.com
authorised distributor: eshop with exploded diagrams

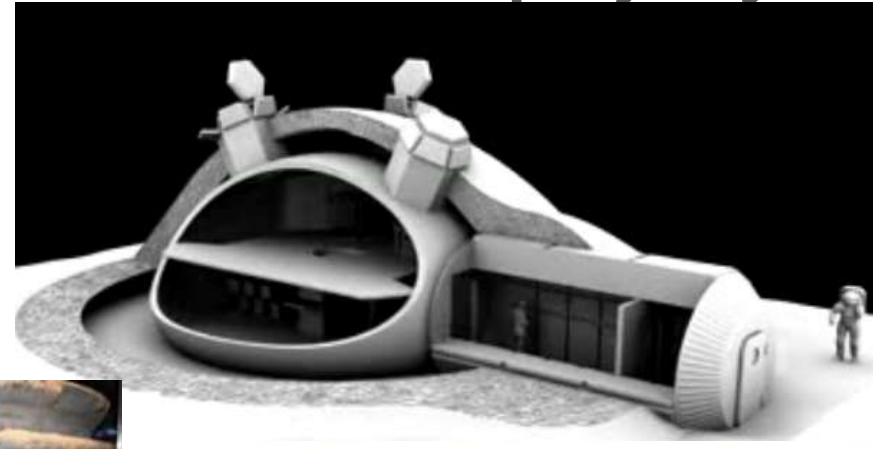
Researchers at Washington State University have successfully 3D printed basic shapes with simulated moon rock, offering the first glimpse of a future in which off world explorers or colonists may be able to fabricate parts and components composed of lunar or Martian surface matter.

The research came about as a result of an approach in 2010 from NASA to Washington State University's Amit Bandyopadhyay, posing the question of whether 3D fabrication using moon rock was possible.

NASA duly provided Bandyopadhyay and fellow researcher Susmita Bose with 10 pounds (4.5 kg) of simulated raw lunar regolith (or surface material).



Vesmírné projekty



Děkuji za pozornost!

Ing. Petr Keller, Ph.D.

TU v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů a automatizace

petr.keller@tul.cz