



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



NÁRODNÍ  
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# UDRŽITELNOST ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

V RÁMCI PŘEDMĚTU:  
KONSTRUKČNÍ PROJEKT (ZIP)

Ing. Vítězslav Sobol



Projekt „Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT v Brně“,  
Registrační číslo NPO\_VUT\_MSMT-2143/2024-5



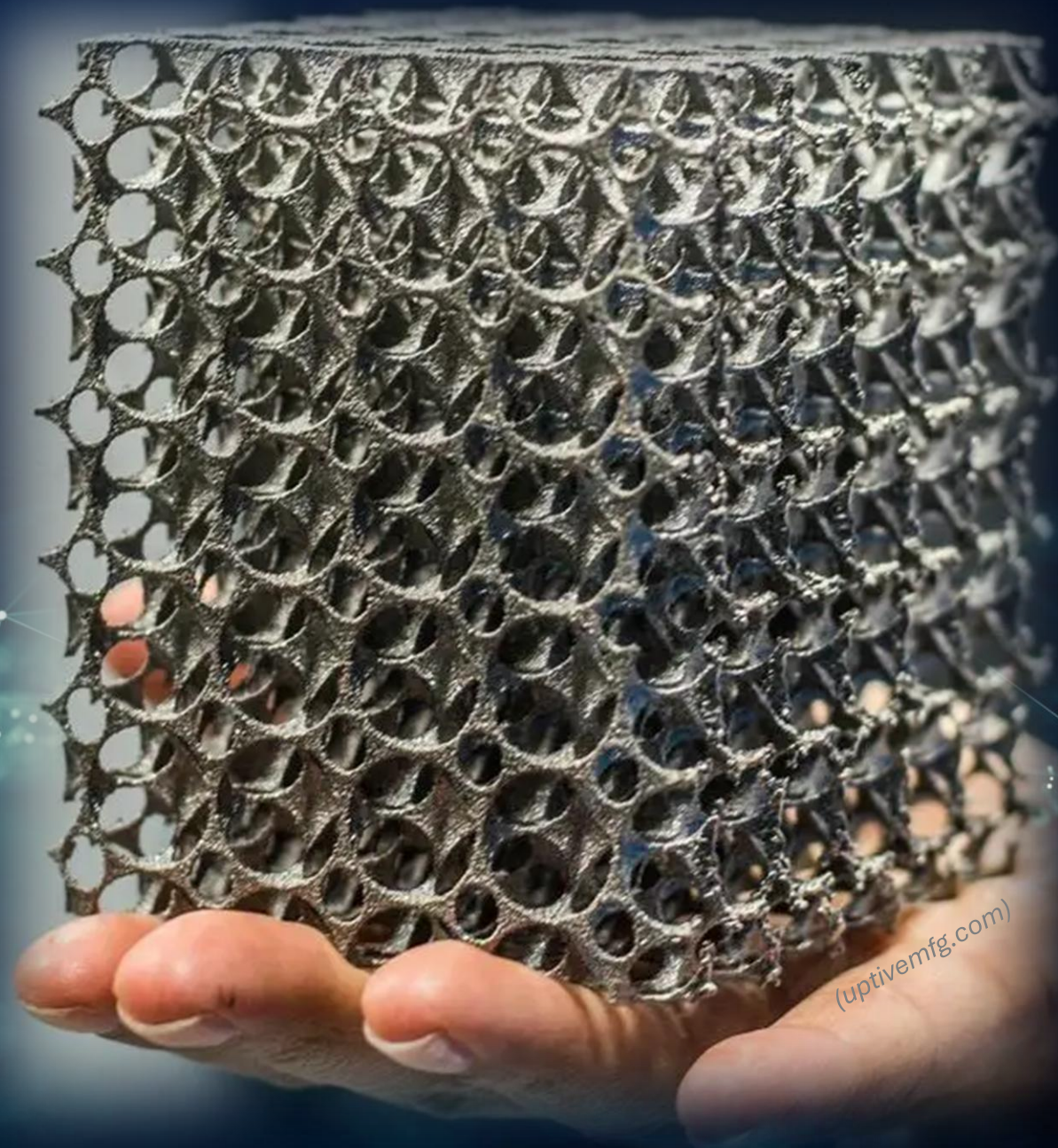
# UDRŽITELNOST ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

## Obsah prezentace

- Představení aditivních technologií (AT)
- Jak je možné využít AT ve prospěch udržitelného designu?
- Případové studie: Jaký dopad má použitý materiál a technologie?
- Seznam použitých zdrojů

---

# ADITIVNÍ TECHNOLOGIE (ÚVOD)

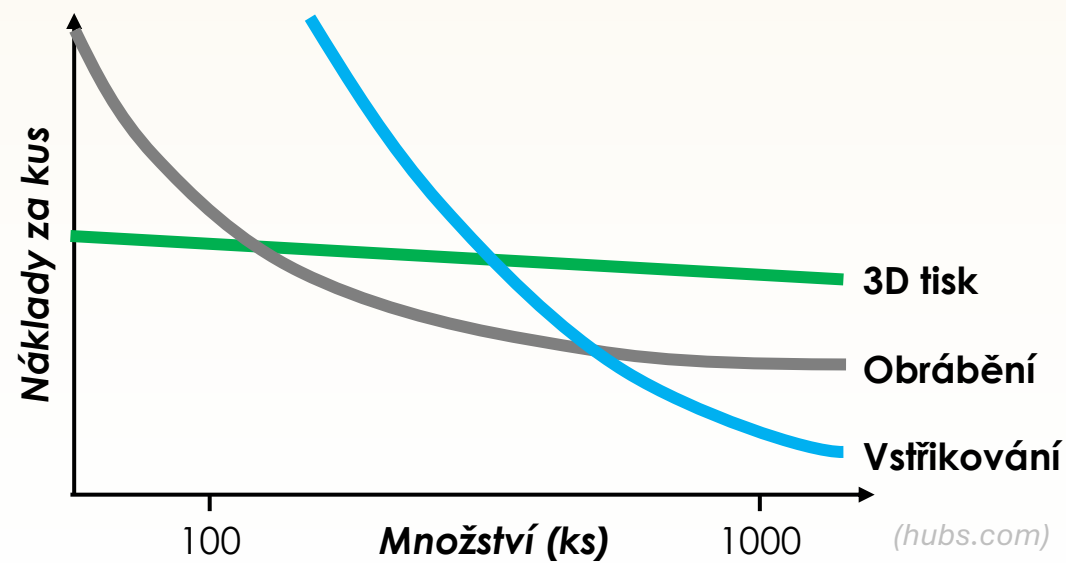
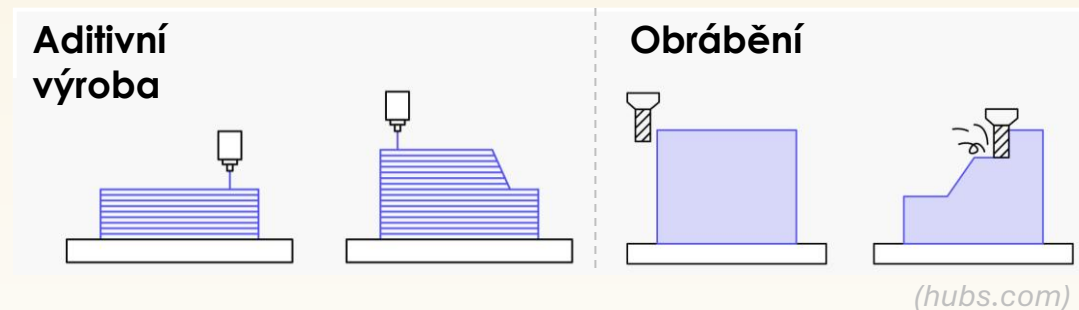


(uptivemfg.com)

# ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

## Základní informace

- Vznik v 80. letech 20. stol.
- **Výhody**
  - + komplexní geometrie (3D → 2D)
  - + bez potřeby speciálních nástrojů
  - + rychlé prototypování (24h, R&D)
  - + neobrobitelné materiály (TPU, superslitiny)
  - + jednodušší výrobní řetězec, flexibilita
- **Nevýhody**
  - pro menší výrobní série (1 ÷ 250 ks)
  - horší kvalita povrchu a přesnost
  - post-processing
  - anizotropní mech. vlastnosti



# ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

## Hlavní technologie a materiály

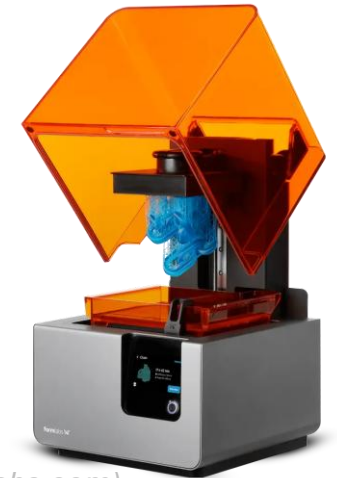
- FDM: ABS, PLA, PETG, Nylon, TPU, kompozity...
  - SLA: resiny (*standard, clear, tough, flexible...*)
  - SLS: Nylon 12 (PA12), Nylon 11 (PA11), PP, TPU...
  - SLM: nerezové oceli, AlSi10Mg, Ti6Al4V, Ni-slityny
- 
- Ostatní technologie: WAAM, MJF, BJ, LOM...
  - Ostatní materiály: keramika, Mg-slityny, vosk, papír...

FDM



(prusa3d.com)

SLA



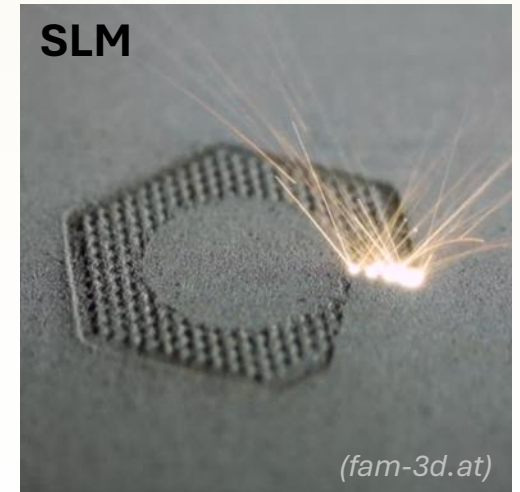
(formlabs.com)

SLS



(weirather.com)

SLM

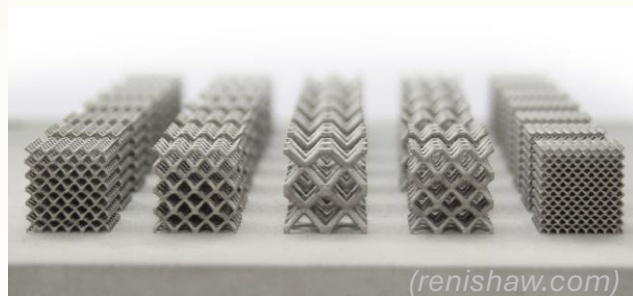


(fam-3d.at)

# ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

## Příklady využití...

- Komplexní součásti
- Chladiče
- Topologická optim. (biomimetika)
- Mřížkové struktury
- Mapování struktur (odlehčení)
- ...
- Vesmírný průmysl a letectví
- Automobilový průmysl
- Zdravotnictví (protézy, náhrady)
- Šperkařství
- ...



# ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

## Orientační cena materiálu

Materiál	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Cena (Kč/kg)	Objemová cena (Kč/cm <sup>3</sup> )
Nerezová ocel	8 000	70	0,56
<b>316L (prášek)</b>		<b>1 250</b>	<b>10</b>
Al-slityny	2 800	100	0,28
<b>AlSi10Mg (prášek)</b>		<b>900</b>	<b>2,52</b>
Ti-slityny	4 800	550	2,64
<b>Ti6Al4V (prášek)</b>		<b>3 000</b>	<b>14,4</b>
PLA	1 300	70	0,091
<b>PLA (filament)</b>		<b>600</b>	<b>0,78</b>

(met3dp.com; prusa3d.com; ASHBY M. F., 2021)



(60×31×48 mm)  
„Benchy“ lodička



(180×180×80 mm)  
Oběžné kolo dmychadla

(printables.com)

# ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

## Orientační cena tisku (1 kus)

Technologie	Díl	Materiál	Proces a obsluha		Celkem
			(práce)	(stroj)	
FDM (PLA, 15% výplň)	Benchy (9,3 cm <sup>3</sup> )	8 Kč	105 Kč (100 Kč)	(5 Kč)	<b>113 Kč</b>
	Ob. kolo (200 cm <sup>3</sup> )	160 Kč	350 Kč (300 Kč)	(50 Kč)	<b>510 Kč</b>
SLM (AlSi10Mg)	Benchy (15,6 cm <sup>3</sup> )	40 Kč	4 800 Kč (3 700 Kč)	(2 100 Kč)	<b>4 840 Kč</b>
	Ob. kolo (593,5 cm <sup>3</sup> )	1 500 Kč	36 000 Kč (4 700 Kč)	(31 300 Kč)	<b>37 500 Kč</b>

(met3dp.com; prusa3d.com; ASHBY M. F., 2021)



(60×31×48 mm)  
„Benchy“ lodička



(180×180×80 mm)  
Oběžné kolo dmychadla

(printables.com)

---

# UDRŽITELNOST ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

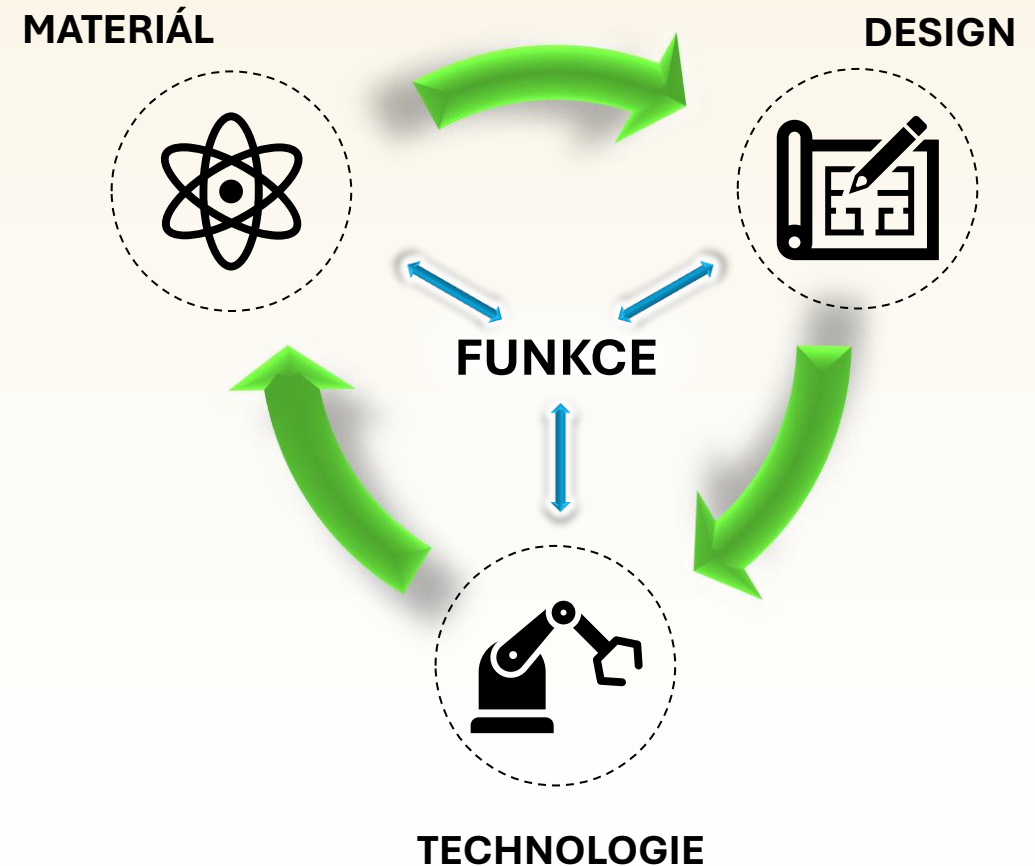


(deepai.org)

# VYUŽITÍ AT VE PROSPĚCH UDRŽITELNÉHO DESIGNU

## MOŽNOSTI ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

- Vliv designu
  - Redukce počtu součástí
  - Dopad na výrobní, provozní a likvidační náklady
- Vliv technologie
  - Náhrada konvenčních výrobních technologií
- Vliv materiálu
  - Jaký dopad má volba materiálu
  - Multimateriálový tisk
- **PŘÍPADOVÉ STUDIE**
  - Efektivita výroby
  - Materiál & technologie



# POTENCIÁL ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

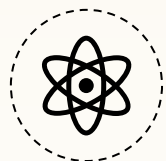


**Snížená spotřeba materiálu** díky téměř finálnímu tvaru součástí

**Zkrácení obráběcího času** kompenzuje obvykle vyšší procesní náklady AT

**Zpracování obtížně obrobitelných materiálů** (např. superslitiny)

**Lokalizace výroby** může snížit produkci CO<sub>2</sub> díky energetickému mixu země



Zdroje a surový materiál

Odpad

**Snížené náklady na uskladnění a transport** díky nižší hmotnosti a spotřebě materiálu

**Integrovaný design** snižuje počet potřebných součástí, zjednodušuje kompletaci a snižuje hmotnost



**Recyklaci až 100 %** kovového prášku umožňují nově vznikající procesy.

**Optimalizovaný design produktu** snižuje hmotnost a zvyšuje efektivitu, která vede ke značným úsporám i během používání

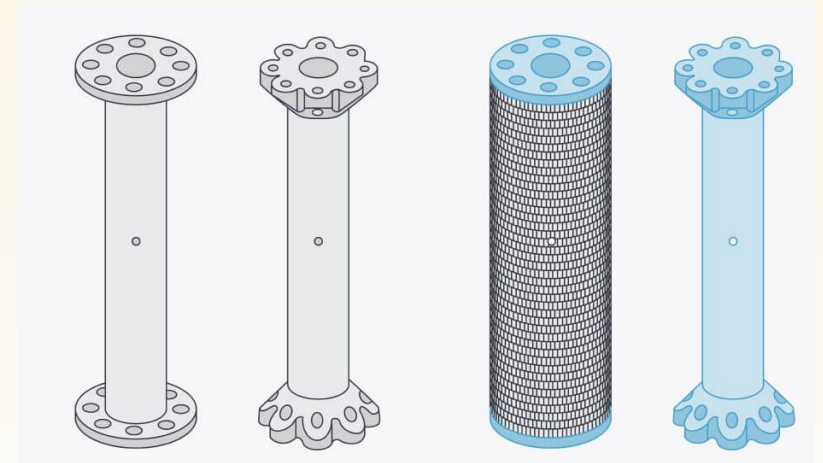
(ampower.eu)



# VLIV DESIGNU

## Při návrhu designu je třeba zohlednit

- Vliv na cenu/náročnost/efektivitu výroby (nutnost použití podpór, orientace součástí)
- Celkový objem/hmotnost materiálu (výplň → nižší hmotnost)
- Účelnost součástí (funkční nebo estetická)
- Možnost upgradu zastaralých částí (modulárnost)
- Možnost výměny součástí s krátkou životností (např. holicí strojek + žiletka)



(protolabs.com)



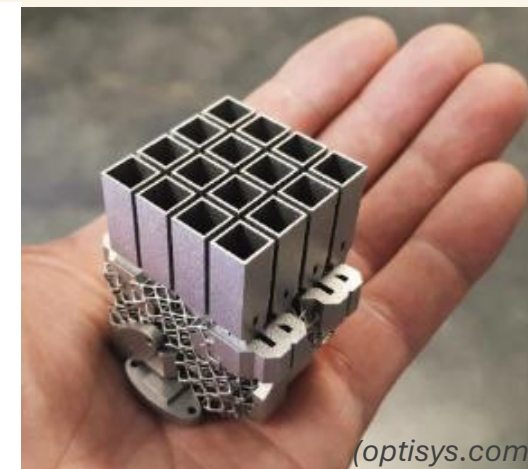
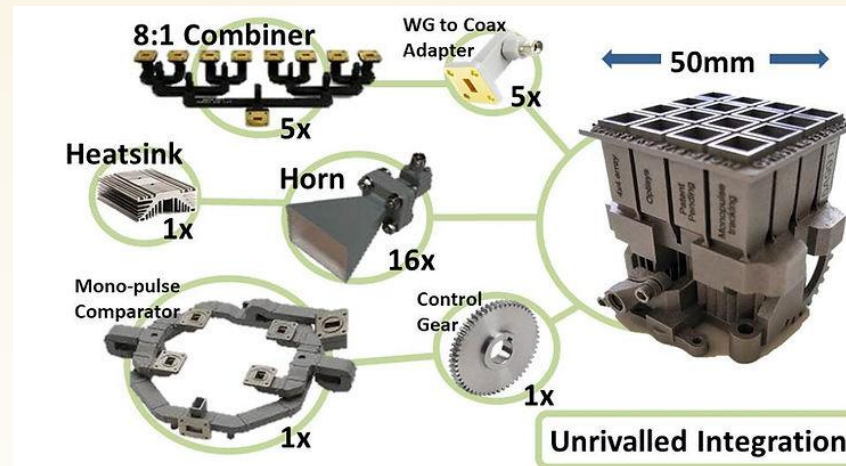
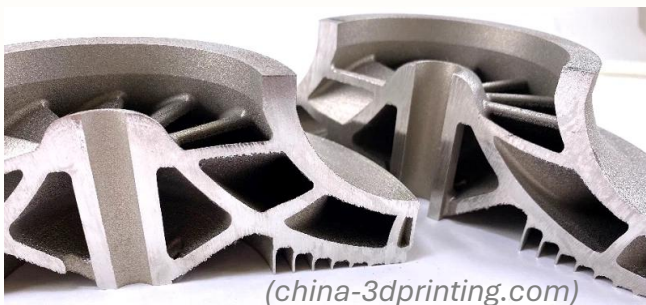
(prusa3d.com)



# VLIV DESIGNU

## Zjednodušení sestavy

- Náhrada sestavy jedním dílem
  - složité sestavy
  - flexibilní mechanismy
  - lopatkové turbíny, lodní šrouby
  - tepelné výměníky, chladiče
- Snížení výrobního času a nákladů
- Eliminace jiných výrobních procesů (např. svařování více dílů)

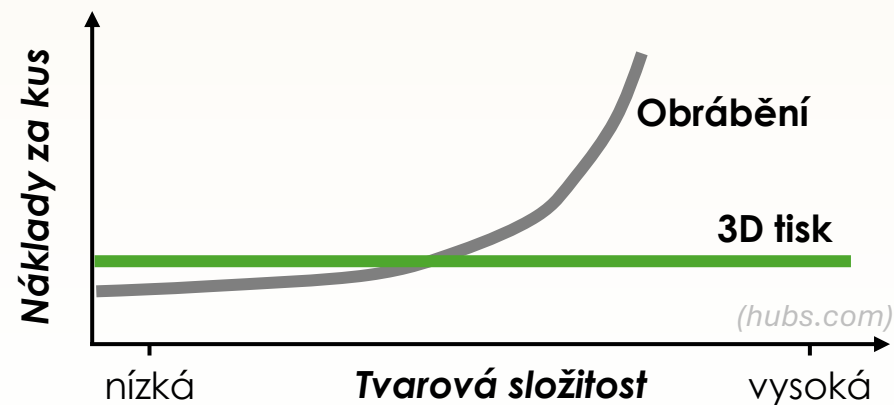
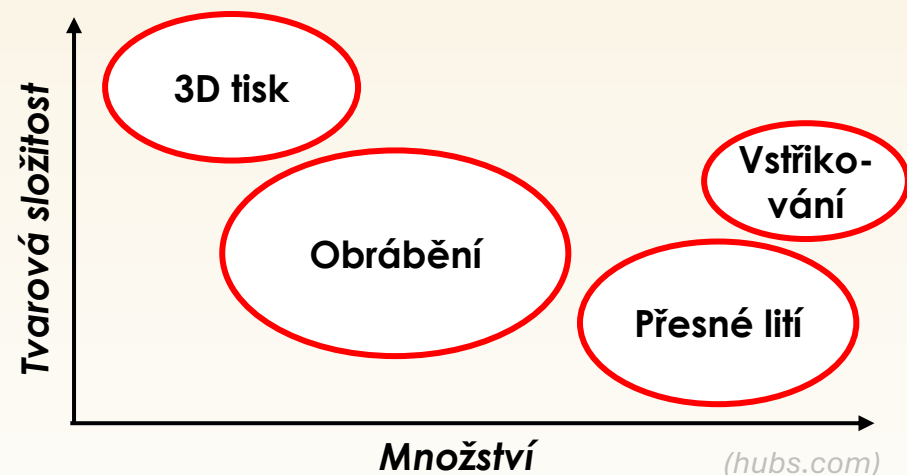




# VLIV TECHNOLOGIE

## Náhrada konvenčních technologií

- Obtížně výrobitelné komplexní geometrie
  - Potřeba rychlého dodání dílu (24 h)
  - Kusová výroba
  - Prototypování
  - Těžko obrobitelné materiály
- 
- **3D tisk:** „cena“ je úměrná hmotnosti součásti
  - **Obrábění:** „cena“ je úměrná tvarové složitosti





# VLIV TECHNOLOGIE

## Náhrada konvenčních technologií

- Obtížně výrobitelné komplexní geometrie
- Potřeba rychlého dodání dílu (24 h)
- Kusová výroba
- Prototypování
- Těžko obrobitelné materiály

Materiál	Výrobní série			
	1-10	10-100	100-1000	>1000
Plast	<b>3D tisk</b>	<b>3D tisk</b> (obrábění)	<b>Obrábění</b> (vstřikování)	<b>Vstřikování</b>
Kov	<b>3D tisk,</b> <b>obrábění*</b>	<b>Obrábění</b> (3D tisk)	<b>Obrábění</b> (odlévání)	<b>Odlévání</b>

\*silně závislé na geometrii

(hubs.com)



(hubs.com)



(VAVERKA O., 2017)



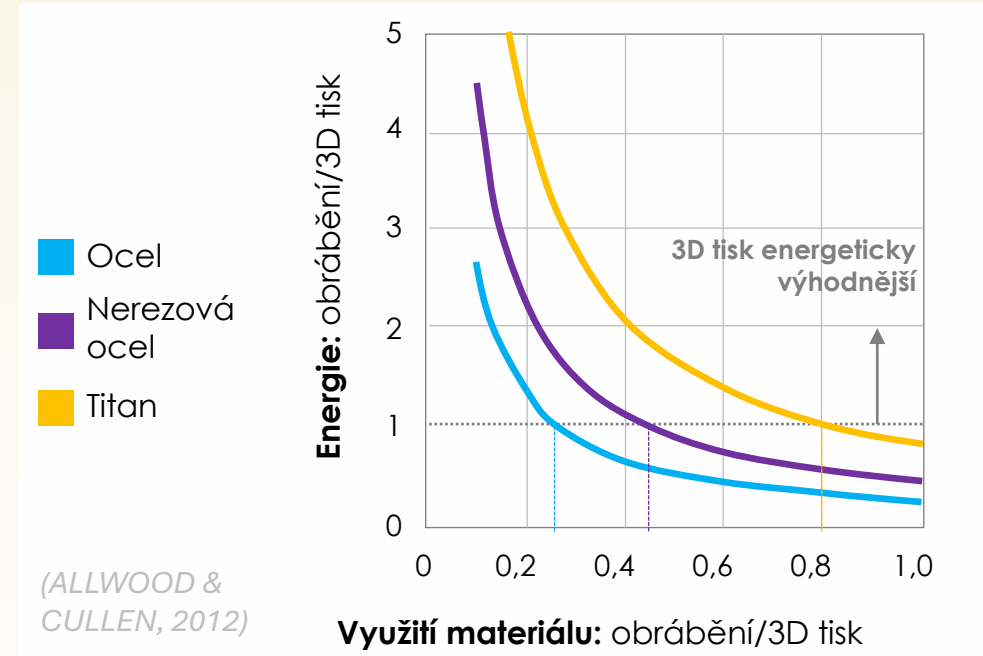
(hubs.com)



# VLIV TECHNOLOGIE

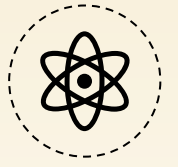
## Energetická (ne)náročnost

- Příkon SLM strojů 3÷10 kW
  - +post-processing (tepelné zpracování, odstranění podpor, úprava funkčních ploch, přesívání prášku...)
- Příkon CNC 5-osých fréz 10÷20 kW
- Silně závislá na složitosti geometrie a použitém materiálu



**3D tisk je energeticky výhodnější pokud se při konvenční výrobě odebírá více než 55 % materiálu.**

(pro nerezovou ocel; započítána energie na výrobu materiálu)

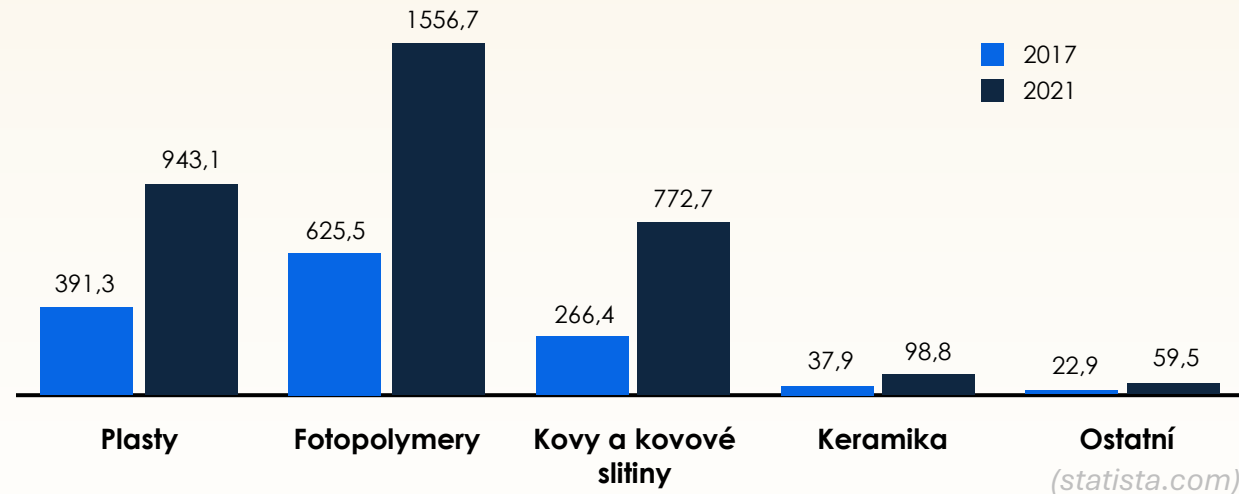


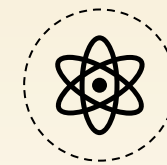
# VLIV MATERIÁLU

## Rozdělení trhu s 3D tiskem dle materiálu

- Polymery: ~60 %
  - PLA, ABS, standard resin, SLS nylon
  - Obecně menší energetická náročnost
  - **Nízká recyklovanost (přispívají ke znečištění)**
  - Limitující mohou být mechanické vlastnosti
- Kovy: ~25 %
  - Oceli, Al-slityny, Ti-slityny
  - Obecně vyšší energetická náročnost
  - **Velmi vysoká recyklovanost**
- Ostatní: ~15 %
  - keramika, vosk, papír
  - Materiály pro specifické aplikace

Podíl jednotlivých materiálů na globálním trhu s 3D tiskem  
(v mil. USD)





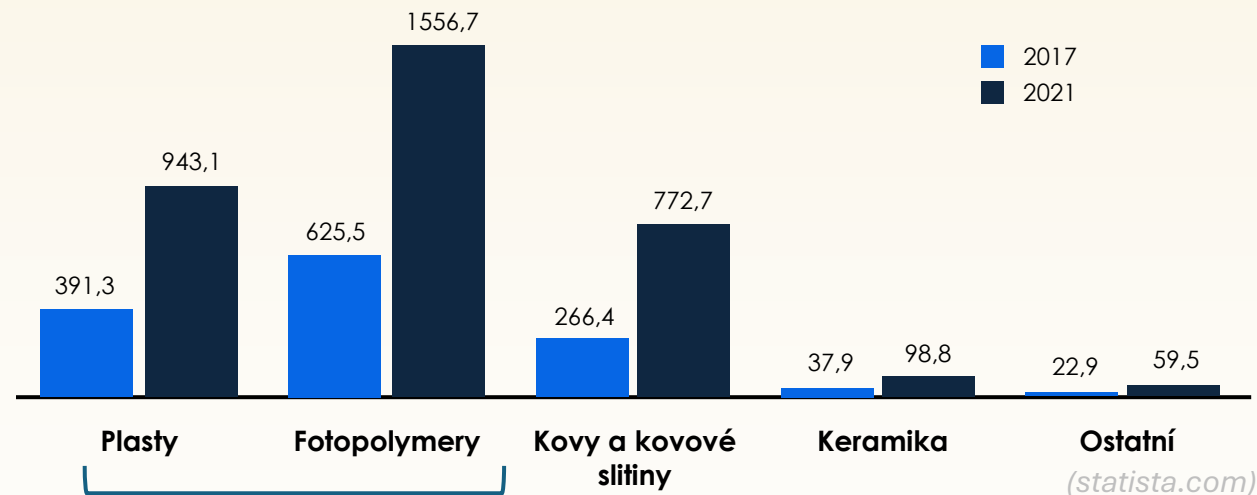
# VLIV MATERIÁLU

## Rozdělení trhu s 3D tiskem dle materiálu

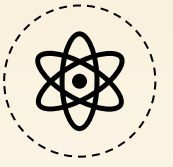
- Polymery: ~60 %
  - **Nízká recyklovanost (přispívají ke znečištění)**
- ✓ Poloviční uhlíková stopa, vyšší náročnost na vodu
- ✓ Rozložitelnost (význam při plném nahrazení nerozložitelných plastů)
- ✓ Srovnatelné mechanické vlastnosti
- ! Plasty spotřebují 5 % roční produkce ropy (transport, vytápění, výroba elektřiny: 83 %)
- ! Úzké procesní okno mezi teplotou zpracování a rozkladu

(ASHBY, M F., 2023)

Podíl jednotlivých materiálů na globálním trhu s 3D tiskem (v mil. USD)



Plasty dominují AT →  
co zmůžou BIOPLASTY?



# VLIV MATERIÁLU

## Volba vhodného materiálu

- Rozdílné aspekty

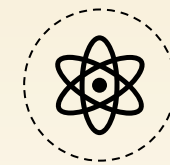
Vlastnosti

- mechanické vlastnosti
- hustota
- cena
- dostupnost

## Produkce materiálu

Materiál	Obj. Cena (Kč/dm <sup>3</sup> )	Měrná tuhost (GPa·dm <sup>3</sup> /kg)	Cena za tuhost (Kč/GPa·dm <sup>3</sup> )
Nízkouhlíková ocel	130	27	600
Nerezová ocel	546	25	3 000
Al-slitiny	265	26	4 000
Ti-slitiny	2 429	24	22 000
ABS	66	2	28 000
PE	33	1	45 000
CRFP	1 188	67	12 000
Dřevo	10	18	1 000

(ASHBY, M F., 2021)



# VLIV MATERIÁLU

## Volba vhodného materiálu

### ▪ Rozdílné aspekty

Vlastnosti

- mechanické vlastnosti
- hustota
- cena
- dostupnost

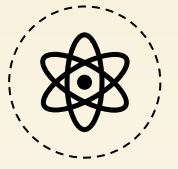
Zpracování

- zpracování danou technologií
- teplota zpracování (vyhřívaná komora)
- množství odpadu
- dopad na životní prostředí
- recyklace

## Produkce materiálu

Materiál	Emise CO <sub>2</sub> (kg <sub>CO2</sub> /kg)	Spotřeba vody (l/kg)	EKO zátěž (kg <sub>CO2</sub> ·l·Kč/cm <sup>3</sup> )
Nízkouhlíková ocel	2,3	46	15
Nerezová ocel	5,4	130	380
Al-slitiny	12	1000	3 200
Ti-slitiny	36	290	25 000 →
ABS	3,4	170	40
PE	2,2	58	5
CRFP	35	1400	58 000 →
Dřevo	0,5	700	5

(ASHBY, M.F., 2021)



# VLIV MATERIÁLU

## Multimateriálový tisk

- Kombinace materiálů → nové možnosti
  - např. nerezová ocel + měď; PLA + TPU
  - překonání limitů současných technologií (chladiče, motory, mechanismy...)
- Náročnější výroba, obtížná likvidace (recyklace)



## Multibarevný tisk

- Pouze estetická funkce
- Velké množství odpadu
  - možnost snížení pomocí vícero tiskových hlav
  - Přetavení v nový filament?




---

# PŘÍPADOVÉ STUDIE

- Efektivita výroby
- Materiál & technologie

(hlhrapid.com)

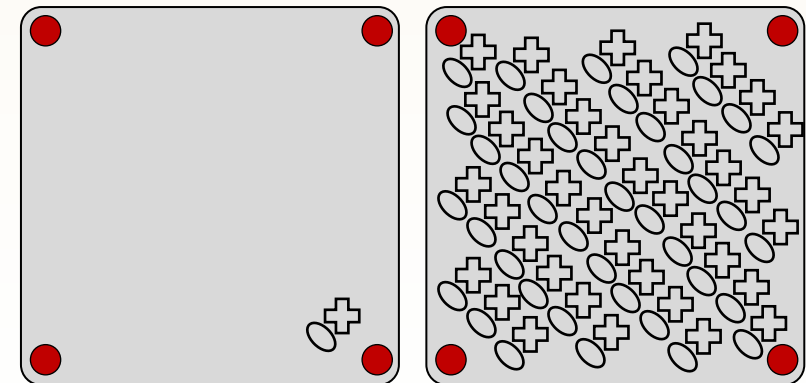
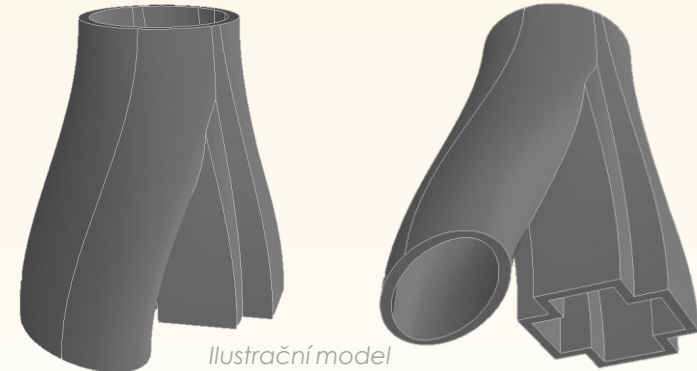


# EFEKTIVITA VÝROBY

Případová studie #1 (Piili et al., 2015)

## Čím více, tím lépe: fitinka

- Materiál nerezová ocel
- Dvě velikosti součástí
  - Velká: 40×20×39 mm, t = 1 mm
  - Malá: 20×10×19,5 mm, t = 1 mm
- Dva extrémy využitelnosti stavebního prostoru
  - Jedna stavba = jeden kus
  - Jedna stavba = plná platforma (40 ks / 170 ks)
- Zaměřeno pouze na produkci součástí (bez osobních a post-processingových nákladů)



1 kus

Plná platforma  
(velká součást)

# EFEKTIVITA VÝROBY

Případová studie #1 (Piili et al., 2015)

## Čím více, tím lépe: fitinka

- Velká součást (40 ks)
  - Časová úspora: 80,7 %
  - Úspora nákladů: 79,6 %
- Malá součást (170 ks)
  - Časová úspora: 91,6 %
  - Úspora nákladů: 91,2 %
- **Pro nejvyšší efektivitu aditivní výroby se vždy využívá maximální možný stavební prostor**



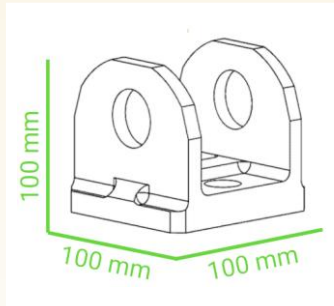
(Kč/ks)	Velká		Malá	
	1 ks	40 ks	1 ks	170 ks
Cena za využití stroje	3 950	638	1 805	160
Cena energie	49	9	22	2
Cena materiálu	61	61	8	8
<b>Celková cena</b>	<b>4 060</b>	<b>708</b>	<b>1 835</b>	<b>169</b>
<b>Výrobní čas (min/ks)</b>	<b>529</b>	<b>102</b>	<b>244</b>	<b>20,6</b>

# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

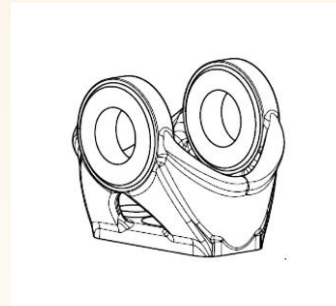
Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

## Letadlová konzola

### Design



Původní design



Design pro AT  
(úspora 50 % hmotnosti)

### Technologie

- Práškový kovový 3D tisk (L-PBF), frézování, odlévání

### Materiál

- Al-slitina, nerezová ocel, Ti-slitina

### Nastavení 3D tisku

<b>Množství</b>	<b>1 000 ks</b>
Výška vrstvy	60 $\mu\text{m}$
Výkon laseru	400 W
<b>Tepelné zpracování</b>	<b>ANO</b>
Energetický mix ( $\emptyset$ EU)	230 g CO <sub>2</sub> /kWh



555 g  $\frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}}$

Současná  
hodnota Číny



230 g  $\frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}}$

Současná  
hodnota EU



11 g  $\frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}}$

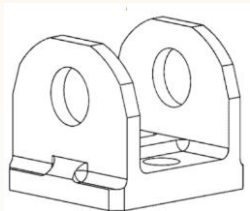
Plné využití  
obnovitelných  
zdrojů v EU

# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

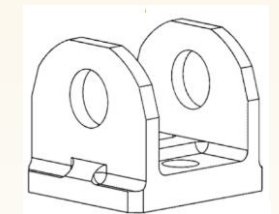
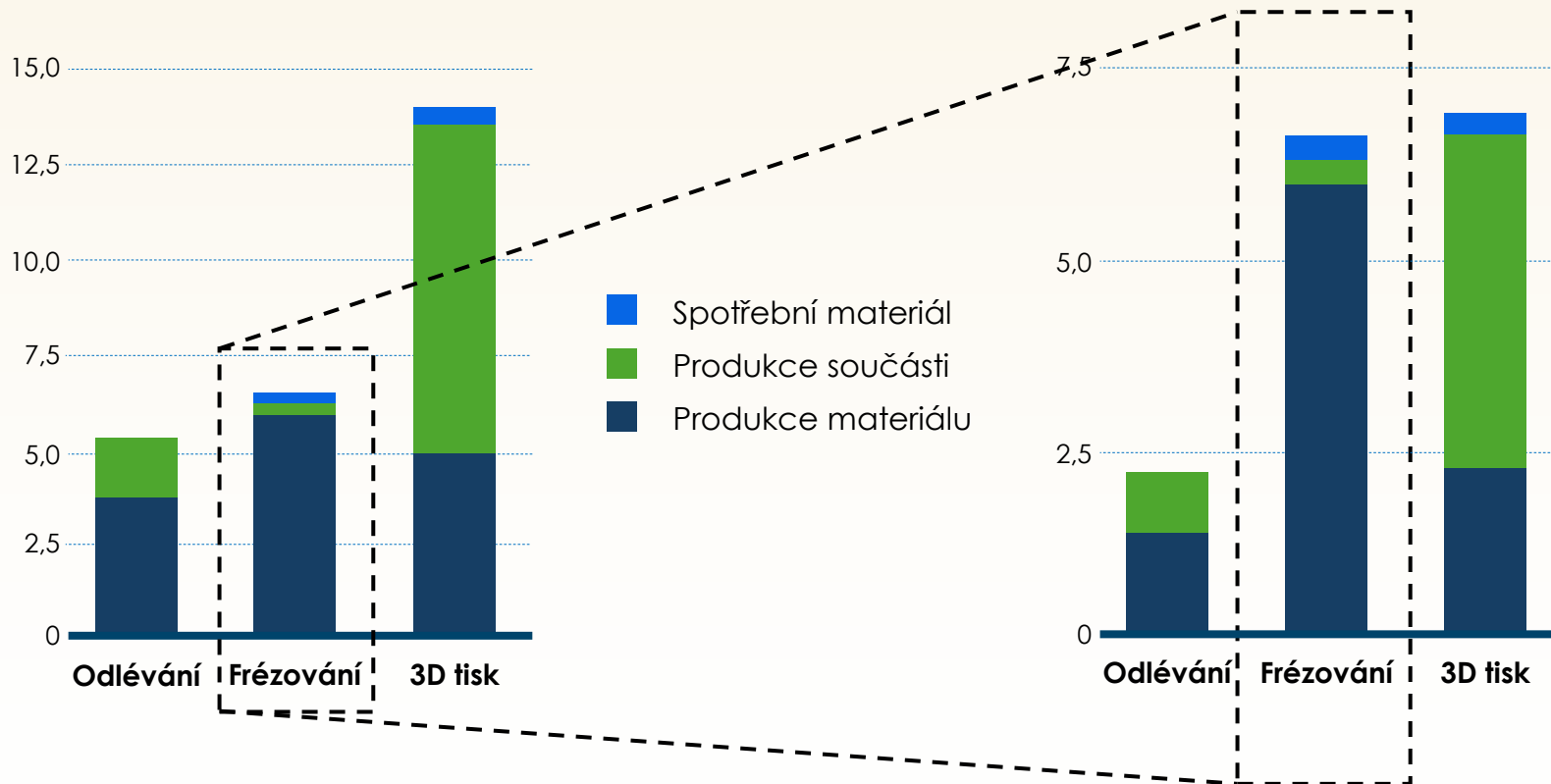
Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

## Emise CO<sub>2</sub> (kg/kus)

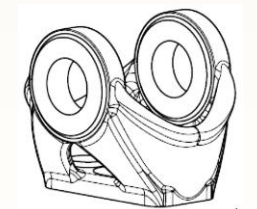
- Al-slitina



3D tisk  
frézování  
odlévání



frézování



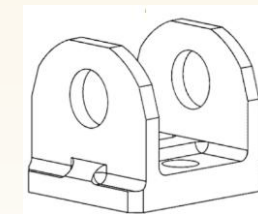
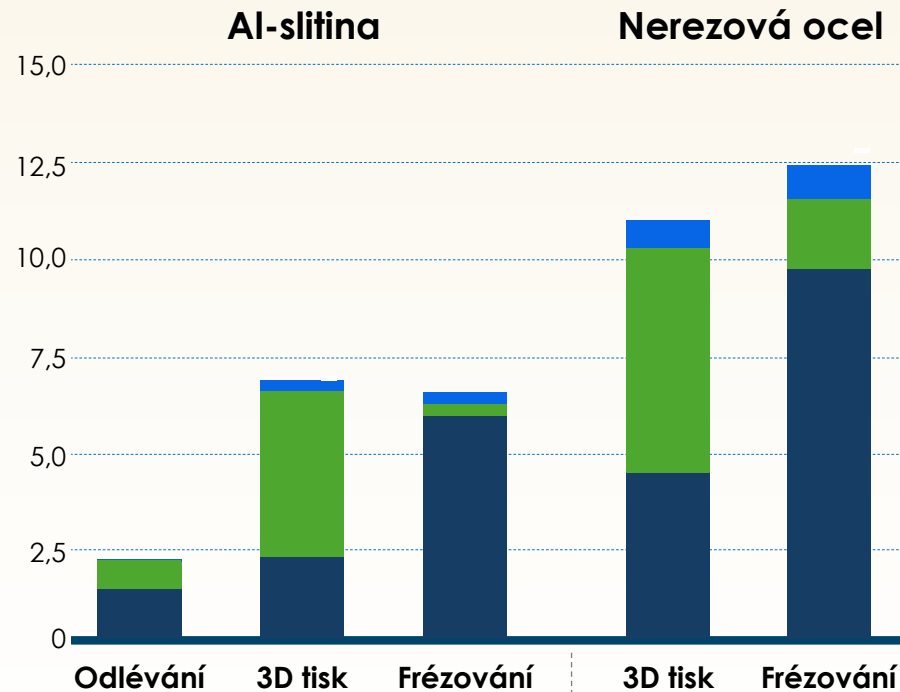
3D tisk  
odlévání

# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

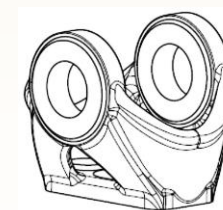
Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

Emise CO<sub>2</sub> (kg/kus)

- Spotřební materiál
- Produkce součásti
- Produkce materiálu



frézování



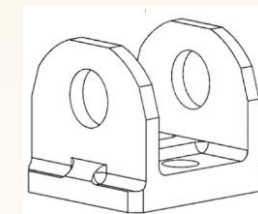
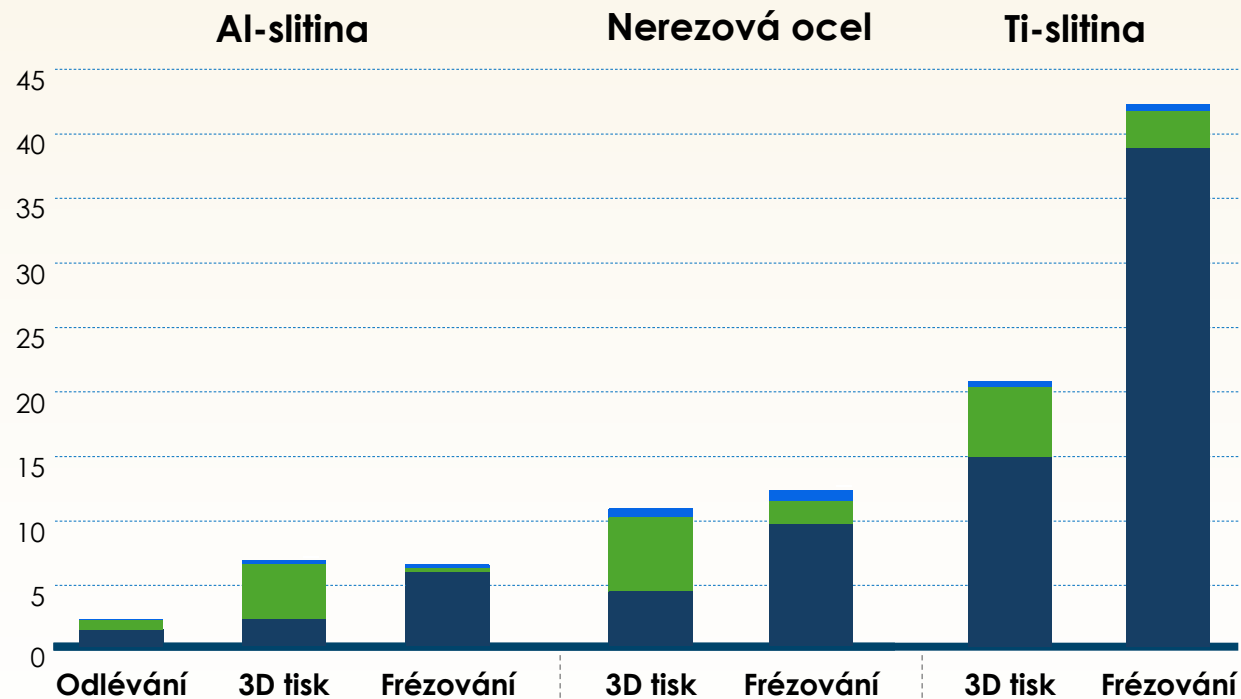
3D tisk  
odlévání

# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

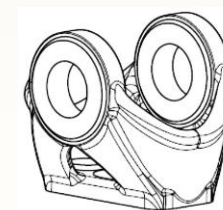
Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

Emise CO<sub>2</sub> (kg/kus)

- Spotřební materiál
- Produkce součásti
- Produkce materiálu



frézování

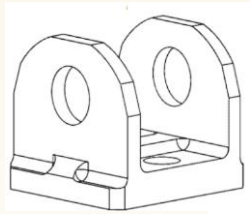


L-PBF odlévání

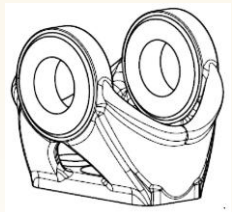
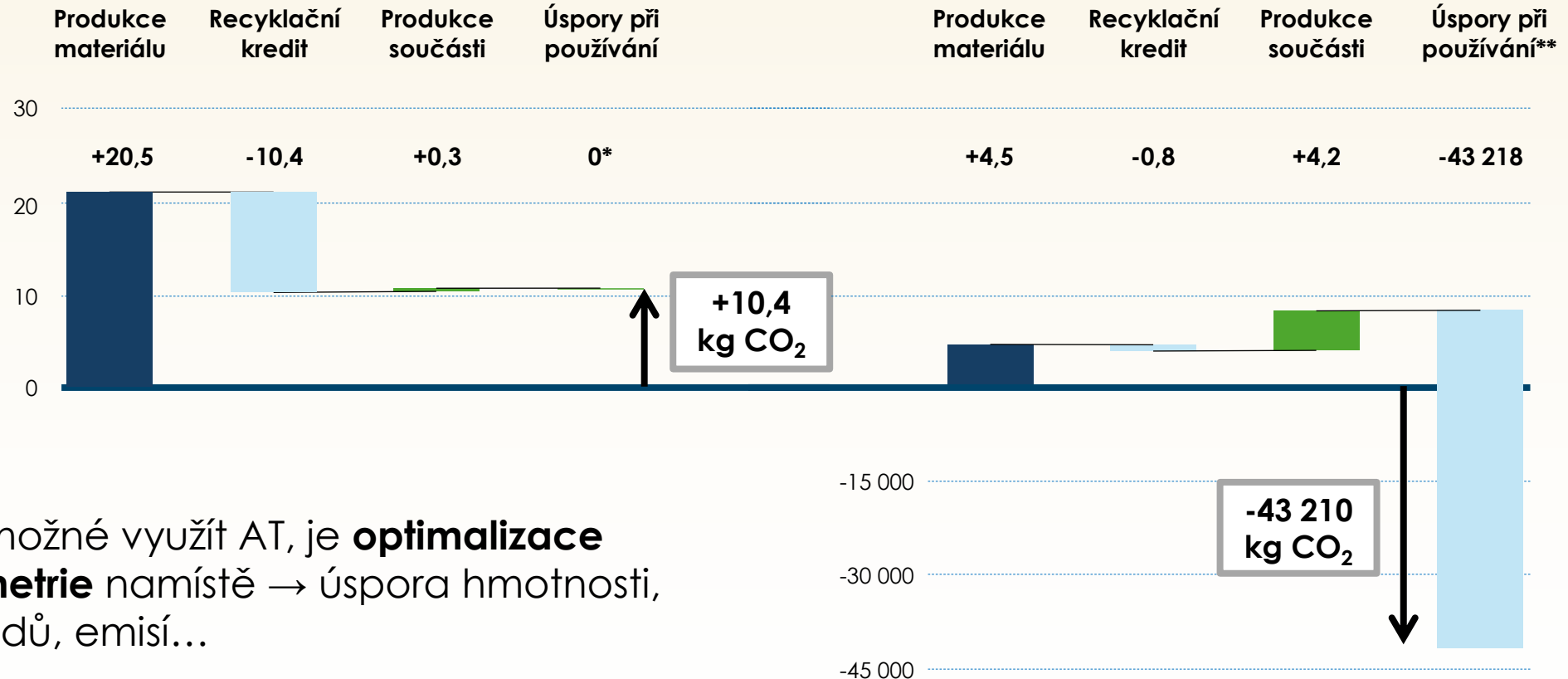
# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

## Výrobou to nekončí!



frézování



3D tisk

- Je-li možné využít AT, je **optimalizace geometrie** namísto → úspora hmotnosti, nákladů, emisí...

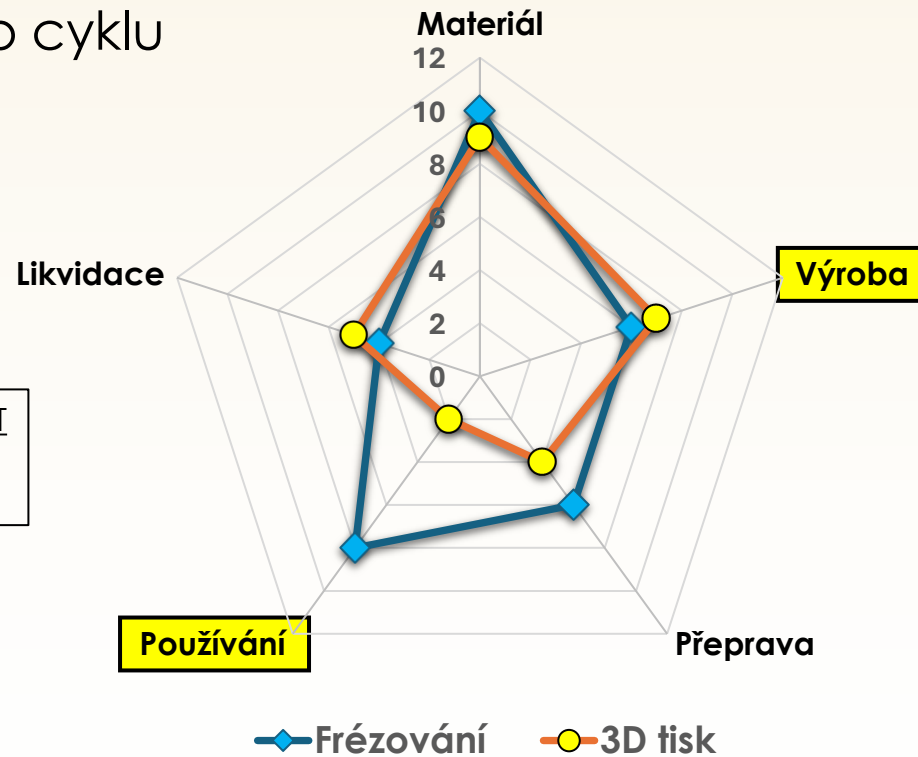
\*Referenční hodnota  
\*\*Úspora paliva 2 500 l/kg  $\approx$  6,3 tuny CO<sub>2</sub>/kg;  
20 let provozu

# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

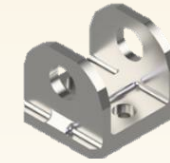
Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

## Zjednodušené srovnání

- Náročnost fází životního cyklu



NÁROČNOST  
1 – nízká  
10 – vysoká



Materiálové zdroje  
Spotřeba energie  
Emise CO<sub>2</sub>

	Materiál	Výroba	Přeprava	Používání	Likvidace
Materiálové zdroje	4	3	0	0	-2
Spotřeba energie	3	1	3	4	3
Emise CO <sub>2</sub>	3	2	3	4	3

Σ = 34



Materiálové zdroje  
Spotřeba energie  
Emise CO<sub>2</sub>

	Materiál	Výroba*	Přeprava	Používání	Likvidace
Materiálové zdroje	2	1	0	0	-1
Spotřeba energie	4	3	2	1	3
Emise CO <sub>2</sub>	3	3	2	1	3

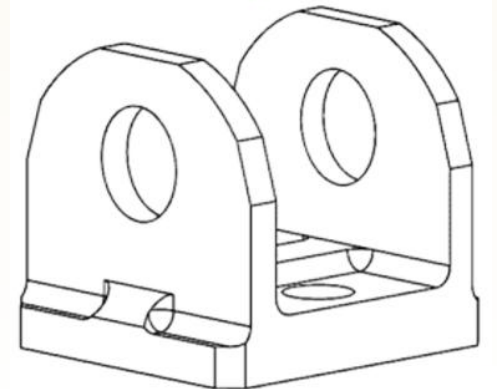
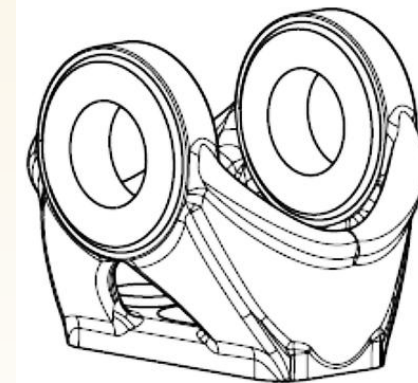
\* Včetně post-processingu Σ = 28

# MATERIÁL & TECHNOLOGIE

Případová studie #2 (AMPOWER GmbH & Co. KG, 2022)

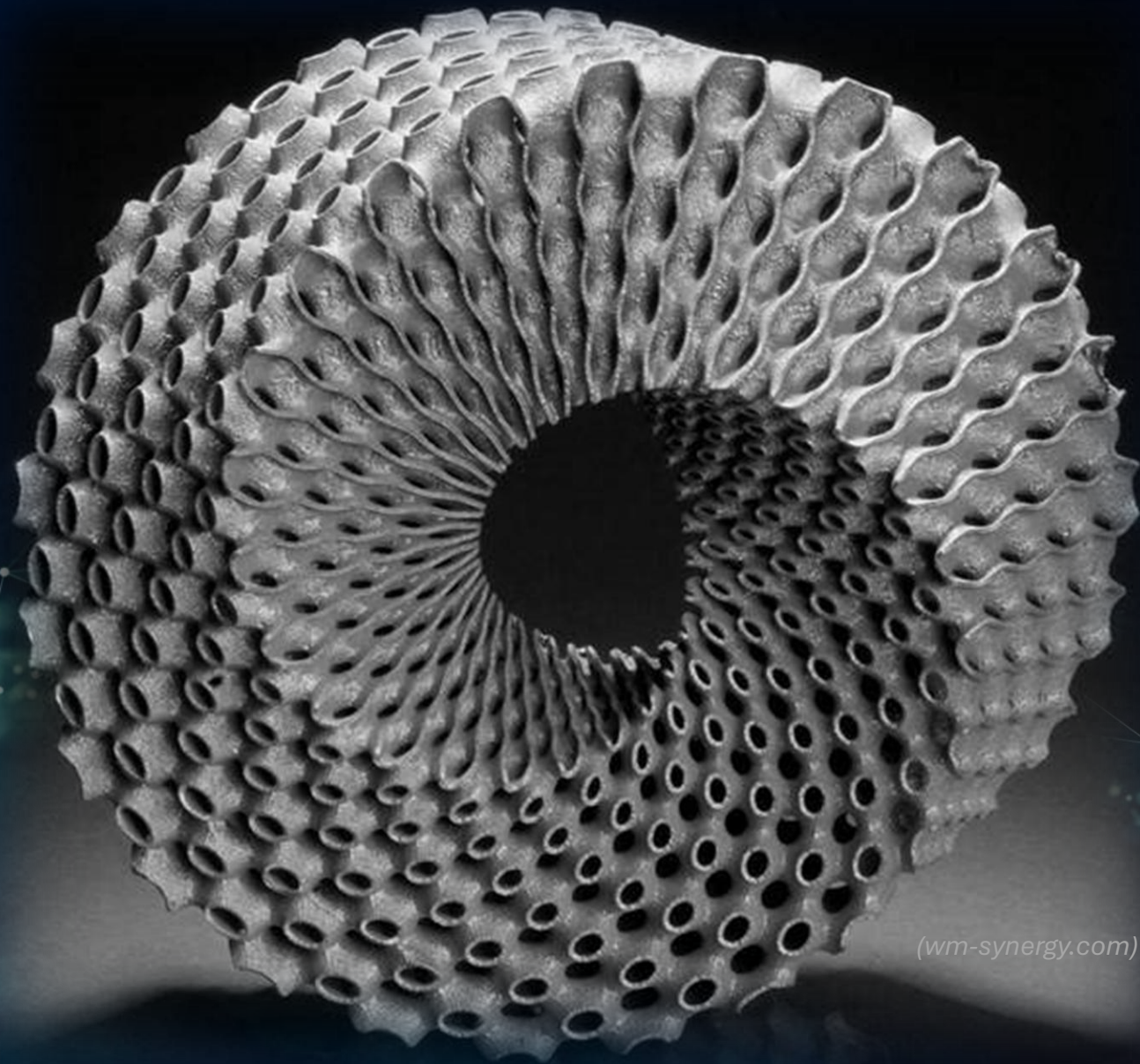
## Shrnutí

- **Materiál:** vyhovující mechanické vlastnosti → volit energeticky méně náročný materiál
- **Technologie:** AT mohou být energeticky náročnější než konvenční výroba, ale nabízí mnohem větší volnost při optimalizaci designu
- **Optimalizovaný design „aktivní“ součásti generuje řádově méně emisí**



---

# ZÁVĚR



(wm-synergy.com)

# KROKY K UDRŽITELNÉ (ADITIVNÍ) VÝROBĚ

**Optimalizovaný design** pro AT výrazně **snižuje** emise CO<sub>2</sub>, jelikož velká část připadá na **produkci surového materiálu**

Využití **obnovitelných zdrojů energie** **během produkce surového materiálu** má významný dopad na snížení uhlíkové stopy, hlavě u Ti-slitin

Aditivní technologie **nejsou vždy jednoznačně neudržitelnější** výrobní metodou

Energetické **úspory při používání optimalizované součásti** mohou být **násobně vyšší** než emise vzniklé při výrobě

**Lokální aditivní výroba napájená obnovitelnými zdroji** výrazně snižuje uhlíkovou stopu součásti, zejména pro oceli a Al-slityny

**Počet vyráběných kusů** součásti výrazně **ovlivňuje efektivitu** použité výrobní technologie

# nEKOnečný KOLOBĚH

**MATERIÁL**

**TECHNOLOGIE**

**FUNKCE**

**DESIGN**

# nEKOnečný KOLOBĚH

**Materiál:** Volte materiál s vyhovujícími mechanickými vlastnostmi, který je méně energeticky náročný nebo alespoň dobře recyklovatelný.

**Technologie:** Rozdílné technologie jsou různě energeticky náročné – zamyslete se nad nimi s ohledem na funkci součásti a vyráběného množství.

**FUNKCE**

**Design:** Optimalizovaný design součásti naplno využívá možností a potenciálu zvoleného materiálu i technologie.



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



NÁRODNÍ  
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST!

Ing. Vítězslav Sobol

# POUŽITÉ ZDROJE

## Snímek 3

- [ Lattice Structure made by 3D printing ]. In: *uptivemfg.com* [online]. Dostupné z: <https://uptivemfg.com/3d-printing-material-spotlight-17-4-ph-stainless-steel/>

## Snímek 4

- [ Průvodce 3D tiskem ]. In: *hubs.com* [online]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>

## Snímek 5

- [ FDM tiskárna ]. In: *Prusa3D.com* [online]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/de/produkt/original-prusa-mk4s-3d-drukker-5/>
- [ SLA printer ]. In: *formlabs.com* [online]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/form-2/>
- [ SLS printing ]. In: *weirather.com* [online]. Dostupné z: <https://www.weirather.com/en/products/weirather-laser-sintering-3232/>
- [ SLM printing ]. In: *fam-3d.at* [online]. Dostupné z: <https://www.fam-3d.at/en/3d-print/technology>

## Snímek 6

- [ 3D printed Bugatti brake caliper ]. In: *newsroom.bugatti.com* [online]. Dostupné z: <https://newsroom.bugatti.com/press-releases/the-bugatti-tourbillon-configuration>
- [ TPMS structure ]. In: *ntop.com* [online]. Dostupné z: <https://www.ntop.com/resources/blog/copper-additive-manufacturing-for-heat-exchanger-design/>
- [ Helmet with Lattice structure ]. In: *carbon3d.com* [online]. Dostupné z: <https://www.carbon3d.com/resources/case-study/case-study-how-oeschsler-went-from-design-to-serial-production-of-riddell-helmet-liners-in-100-days>
- [ Lattices Structures ]. In: *renishaw.com* [online]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/media/pdf/en/1faa695cab64305a3abe5a3ab0af940.pdf>
- [ 3D printed hip joint implant ]. In: *jabil.com* [online]. Dostupné z: <https://www.jabil.com/blog/3d-printing-in-healthcare.html>

## Snímek 6

- [ 3D printed jewellery ]. In: *formlabs.com* [online]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/3d-printed-jewelry/>

## Snímek 7 a 8

- [ Metal powder price ]. In: *met3dp.com* [online]. Dostupné z: <https://met3dp.com/product/>
- ASHBY, M. F. *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Kidlington: Butterworth-Heinemann, [2021]. ISBN 978-0-12-821521-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04008-1>
- [ Cena PLA filamentu ]. In: *Prusa3D.com* [online]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/product/prusament-pla-prusa-galaxy-black-2kg/>
- [ Benchy lodička ]. In: *printables.com* [online]. Dostupné z: <https://www.printables.com/model/3161-3d-benchy>
- [ Oběžné kolo dmychadla ]. In: *printables.com* [online]. Dostupné z: <https://www.printables.com/model/938602-impeller-stl-tutorial/files>
- [ Kalkulačka 3D tisku ]. In: *Prusa3D.com* [online]. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/cs/kalkulacka-nacenovani-3d-vytisku\\_38905/](https://blog.prusa3d.com/cs/kalkulacka-nacenovani-3d-vytisku_38905/)

## Snímek 9

- [3D printer that makes a corn]. Online. In: AI Image Generator. Dostupné z: DeepAI, <https://deepai.org/machine-learning-model/text2img> [cit. 2025-03-18]

## Snímek 11

- AMPPOWER GMBH & CO. KG. *Sustainability of Metal Additive Manufacturing* [online]. 2022. Dostupné z: <https://ampower.eu/insights/sustainability-of-metal-additive-manufacturing/>

## Snímek 12

- [ Support structure for 3D printing ]. In: *protolabs.com* [online]. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/en-gb/resources/design-tips/3d-printing-cost/>
- [ Typy výplně v PrusaSliceru ]. In: *Prusa3D.com* [online]. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/cs/vse-co-potrebuje-znat-o-tiskovych-vyplnich\\_43579/](https://blog.prusa3d.com/cs/vse-co-potrebuje-znat-o-tiskovych-vyplnich_43579/)

# POUŽITÉ ZDROJE

## Snímek 13

- [ Horn Arrays ]. In: *optisys.com* [online]. Dostupné z: <https://www.optisys.com/>
- [ Unsupported metal 3D printing ]. In: *china-3dprinting.com* [online]. Dostupné z: <https://www.china-3dprinting.com/info/unsupported-metal-3d-printing-technology-enabl-76744758.html>
- [ 3D printed jet engine ]. In: *ptc.com* [online]. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/blogs/corporate/first-fully-3d-printed-jet-engine-additive-manufacturing-breakthrough>
- [ Compliant space pointing mechanism ]. In: *BYU, printables.com* [online]. Dostupné z: <https://www.printables.com/model/580987-2-dof-fully-compliant-space-pointing-mechanism>

## Snímek 14 a 15

- [ 3D printing vs CNC machining ]. In: *hubs.com* [online]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/>
- VAVERKA, O. Optimalizace těhlice Formule Student pro výrobu SLM technologií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 94 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Daniel Koutný, Ph.D. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/100714>

## Snímek 16

- ALLWOOD J., CULLEN J. M., *Sustainable Materials: with Both Eyes Open* [online]. 2012, UIT Cambridge Ltd. Dostupné z: <https://www.uselessgroup.org/publications/book/chapters>

## Snímek 17 a 18

- [ Podíl materiálů na trhu s 3D tiskem ]. In: *statista.com* [online]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/828992/global-market-for-3d-printing-services-by-material-type/>
- ASHBY, M. F. *Materials and sustainable development* [online]. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, [2023]. ISBN 978-0-323-98361-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2021-0-00557-5>

## Snímek 19 a 20

- ASHBY, M. F. *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Kidlington: Butterworth-Heinemann, [2021]. ISBN 978-0-12-821521-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04008-1>

## Snímek 21

- [ Multimaterial metal 3d printing ]. In: *leap71.com* [online]. Dostupné z: <https://leap71.com/2023/04/20/multimaterial-metal-printing-the-future-of-additive-manufacturing/>
- [ Multicolour 3D printing waste ]. In: *formfutura.com* [online]. Dostupné z: <https://formfutura.com/blog/reduce-reuse-recycle/>
- [ Multimaterial TPU pliers ]. In: *printables.com* [online]. Dostupné z: <https://www.printables.com/model/954364-multi-material-tpu-pliers/comments>

## Snímek 22

- [ 3D printed plastic gears ]. In: *hlhrapid.com* [online]. Dostupné z: <https://hlhrapid.com/knowledge/what-is-fdm-3d-printing/>

## Snímek 23 a 24

- PIILI, H., A. HAPPONEN, T. VÄISTÖ, V. VENKATARAMANAN, J. PARTANEN. Cost Estimation of Laser Additive Manufacturing of Stainless Steel. *Physics Procedia* [online]. 2015, 78, 388-396. ISSN 18753892. Dostupné z: doi:10.1016/j.phpro.2015.11.053

## Snímek 25 až 31

- AMPower GMBH & CO. KG. *Sustainability of Metal Additive Manufacturing* [online]. 2022. Dostupné z: <https://ampower.eu/insights/sustainability-of-metal-additive-manufacturing>

## Snímek 32

- [ TPMS structure ]. In: *wm-synergy.com* [online]. Dostupné z: <https://wm-synergy.com/additive-manufacturing-next-industrial-revolution/>

## Snímek 33 až 35

- [ Forest ]. In: *freepik.com* [online]. Dostupné z: [https://www.freepik.com/free-photo/drone-view-greenery-forest-with-dirt-road\\_19075397.htm#fromView=search&page=1&position=20&uuid=ba7cf298-2762-457c-94a7-827f8bc35e34&query=forest](https://www.freepik.com/free-photo/drone-view-greenery-forest-with-dirt-road_19075397.htm#fromView=search&page=1&position=20&uuid=ba7cf298-2762-457c-94a7-827f8bc35e34&query=forest)