

ADITIVNÍ A ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE

EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST

Fakulta strojní | Ústav řízení a ekonomiky podniku

Ing. Pavel Scholz

8. 12. 2022

Cíle a obsah přednášky/cvičení

- Uvědomit si, proč se hlouběji zabývat ekonomickou stránkou
- Význam ekonomického hodnocení
- Co všechno ovlivňuje ekonomickou výhodnost (efektivnost) využití

1. Nákladovost různých technologií a sériovosti



1. Nákladovost různých technologií a sériovosti

innomia

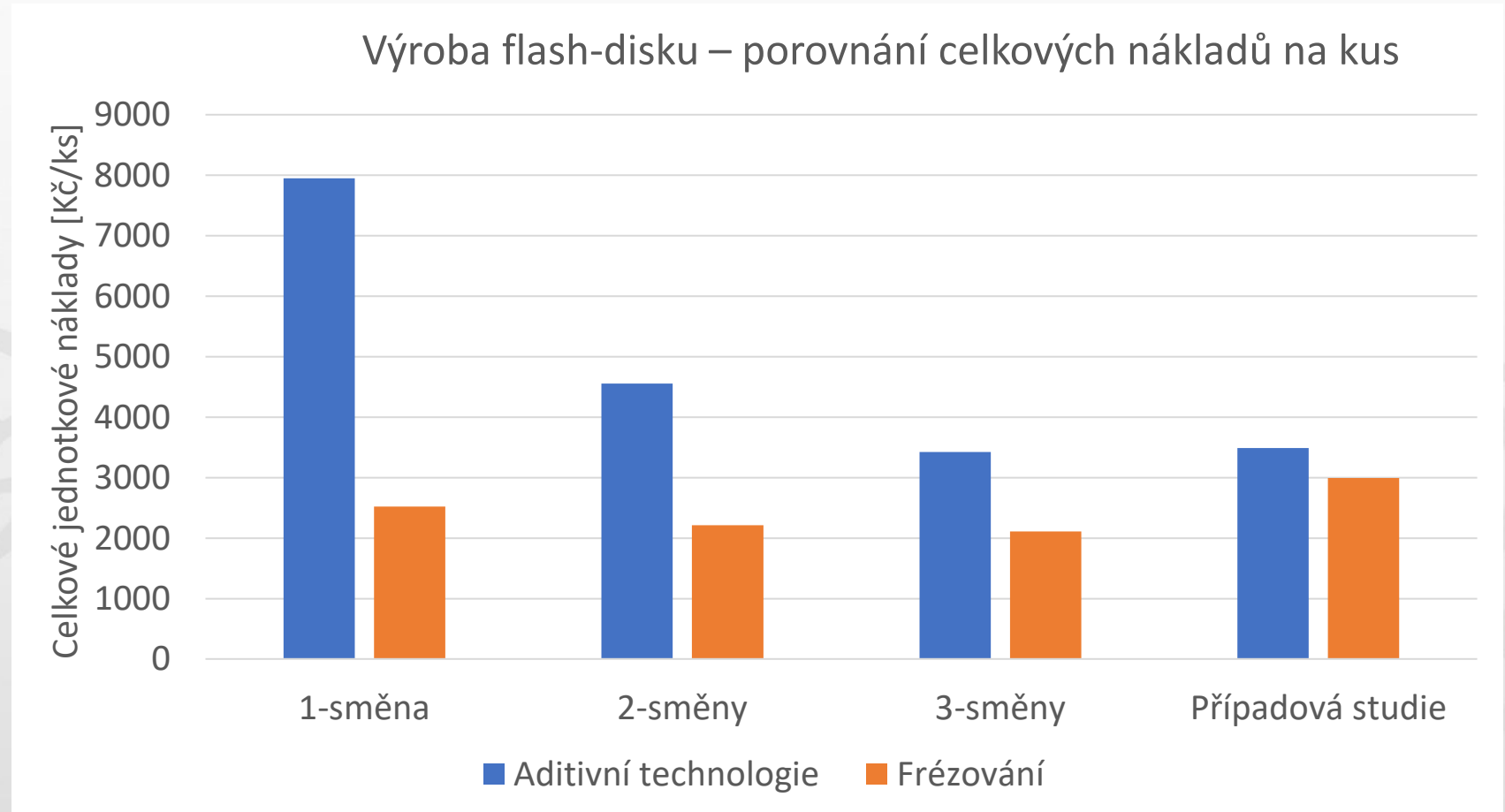
- Rozměry: 140 x 70 x 1,5 mm.
- Materiál: nástrojová ocel (MS1).



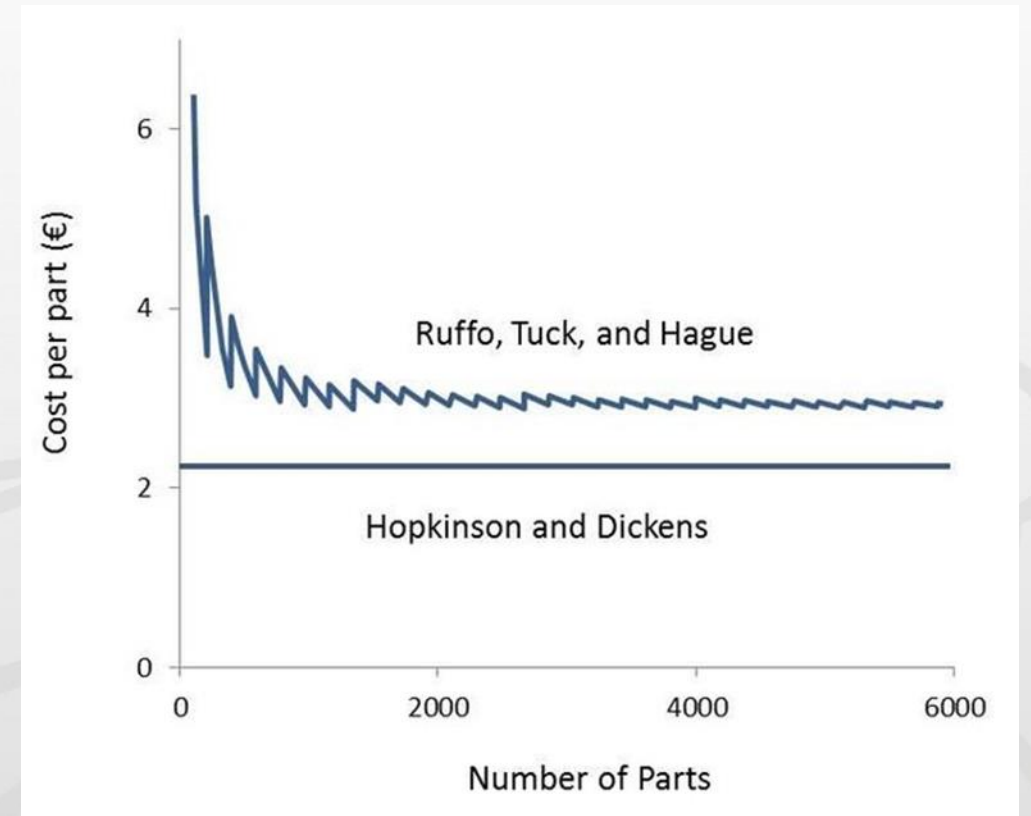
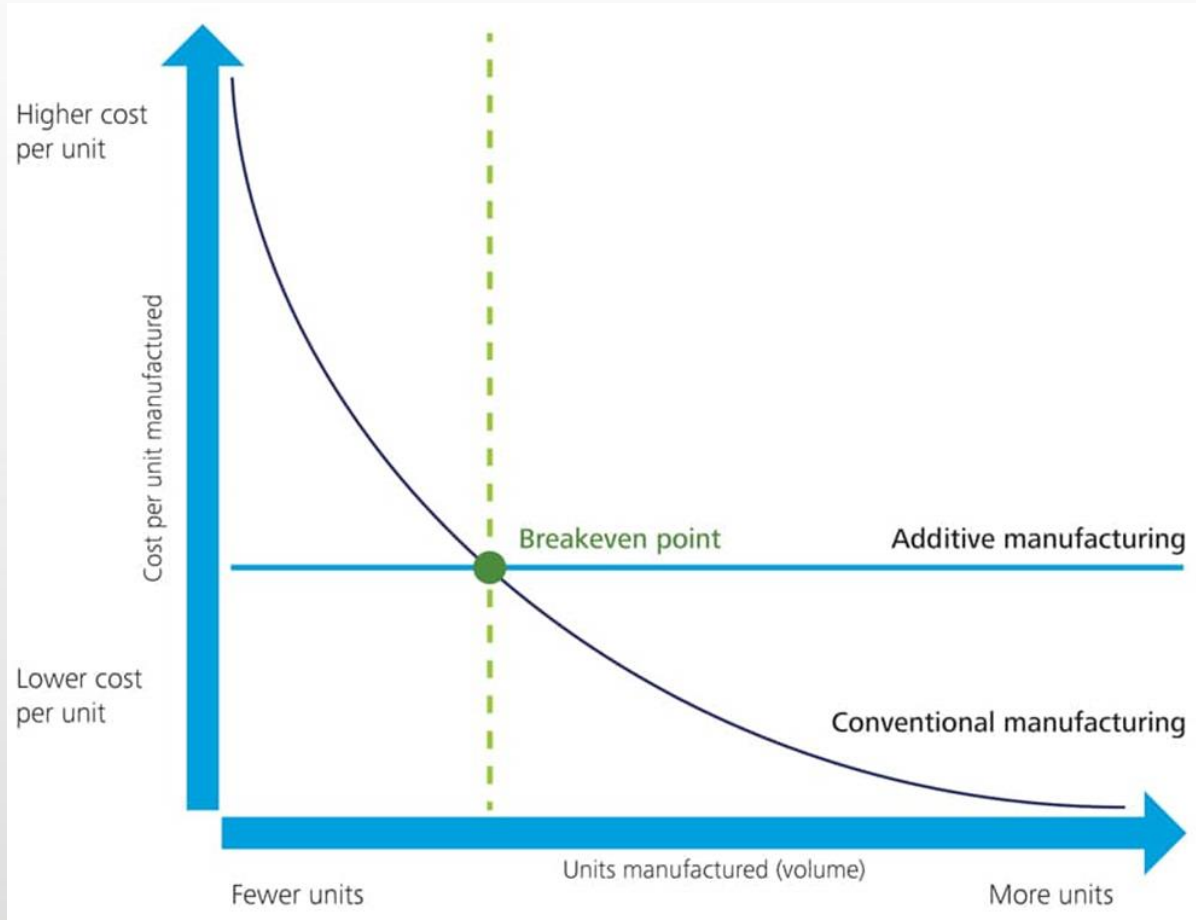
1. Nákladovost různých technologií a sériovosti



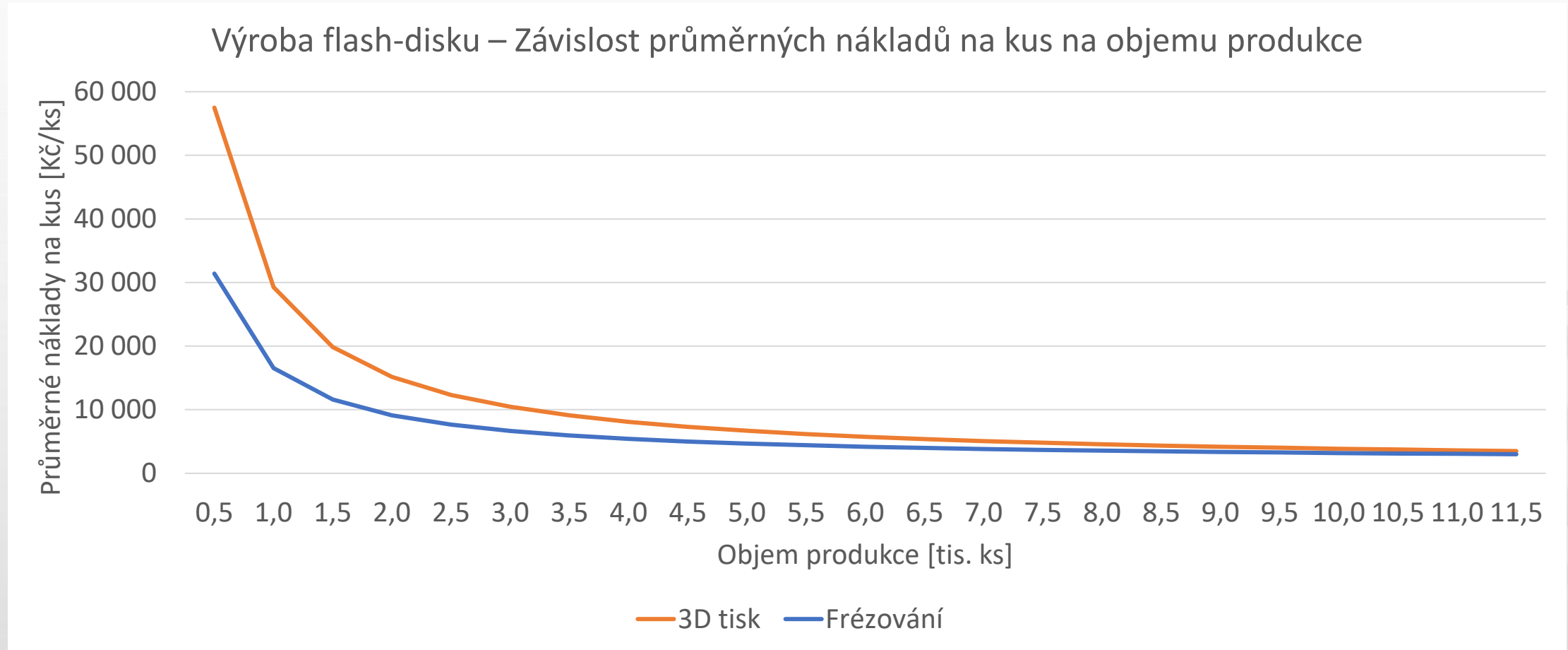
(Ilustrativní obrázek)



1. Nákladovost různých technologií a sériovosti

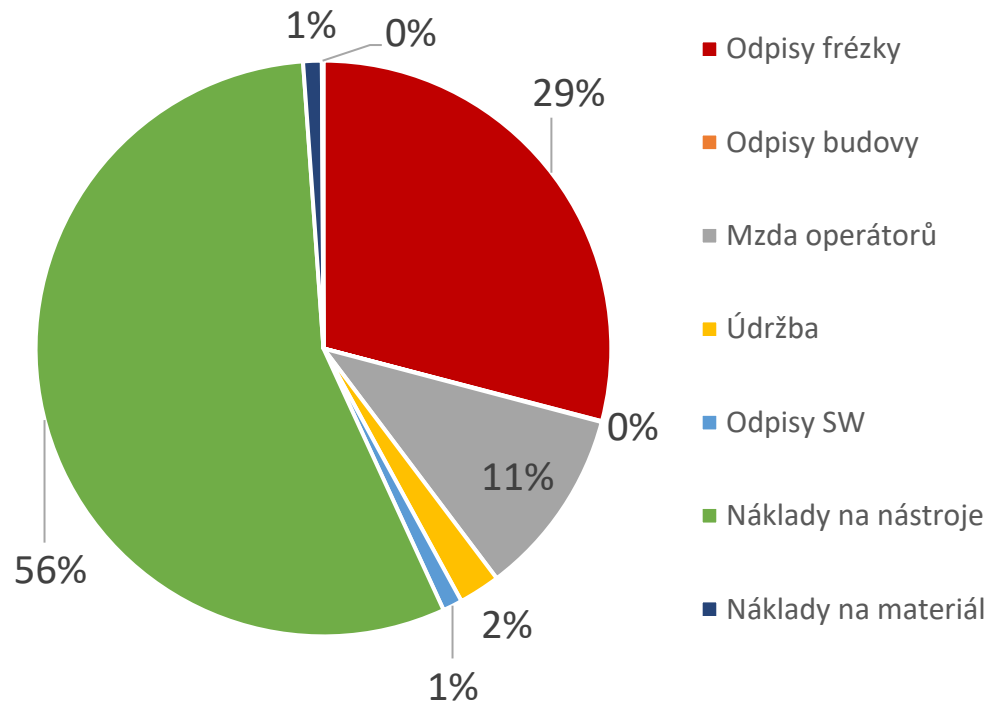


1. Nákladovost různých technologií a sériovosti

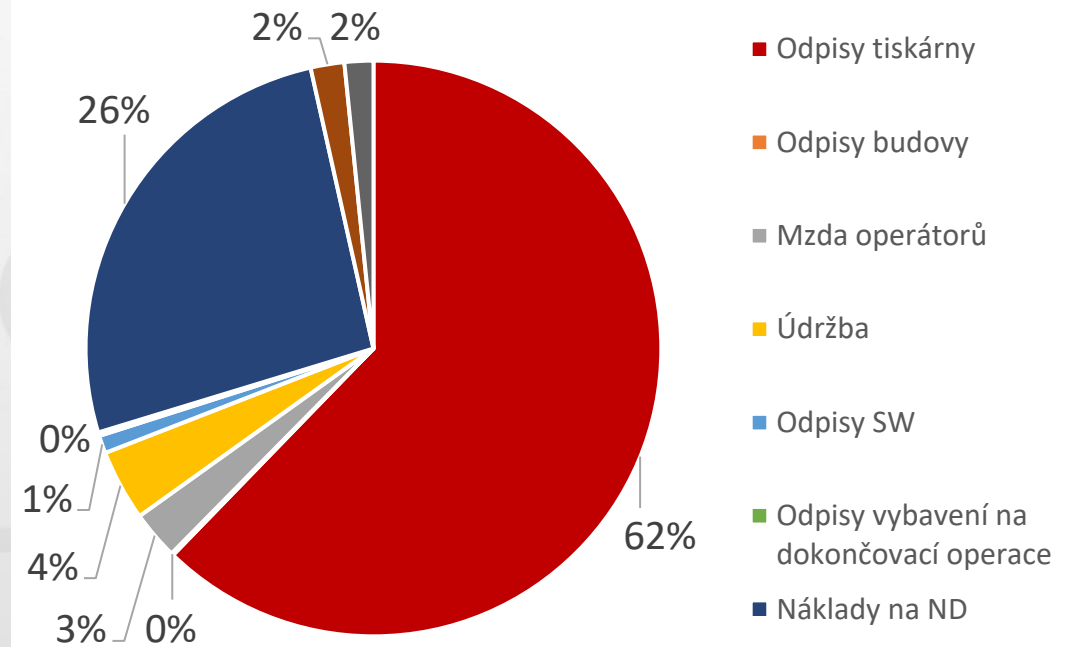


1. Nákladovost různých technologií a sériovosti

Výroba flash-disku – Frézování
Skladba nákladů [%]



Výroba flash-disku – Aditivní technologie
Skladba nákladů [%]

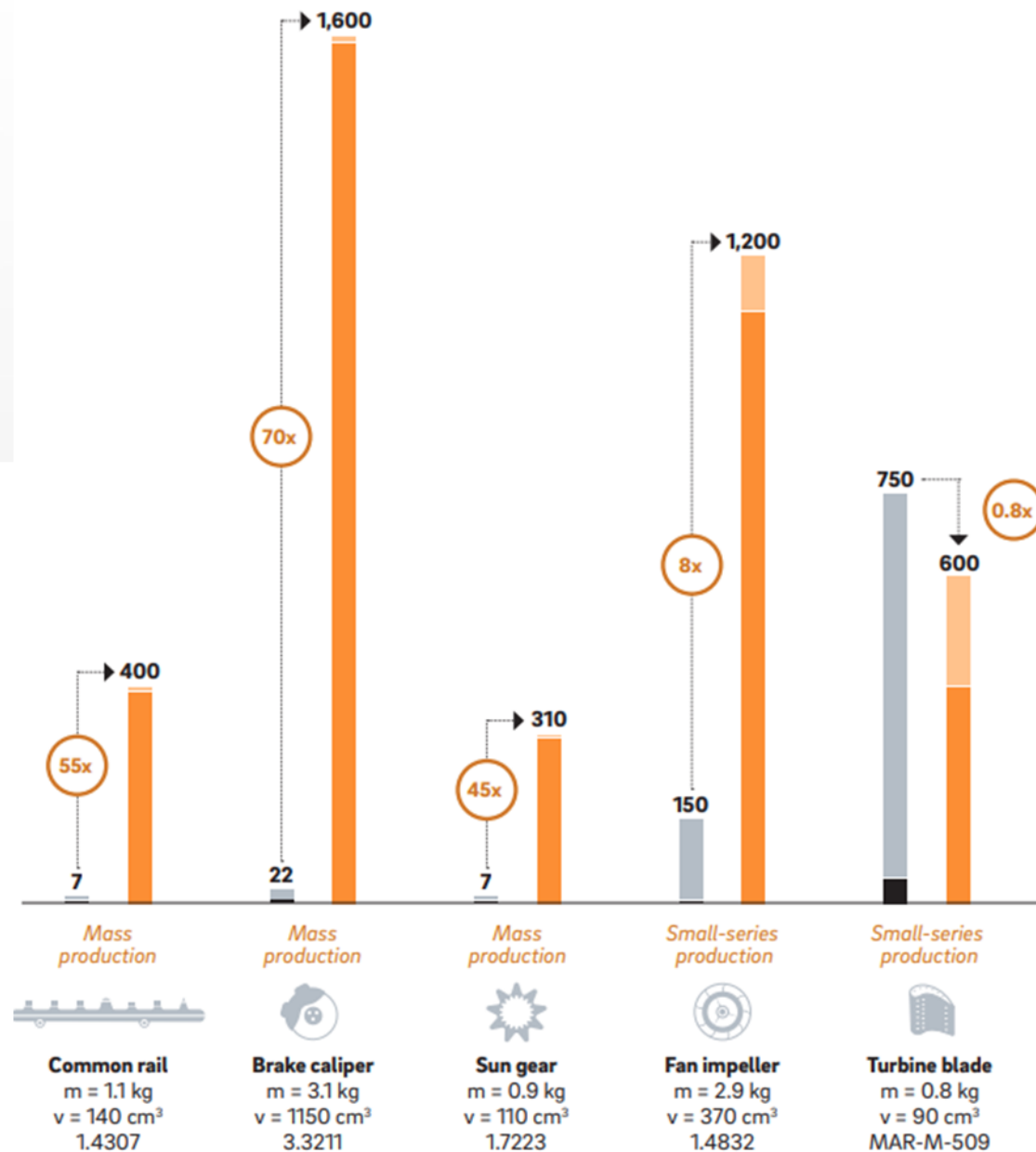


1. Nákladovost různých technologií a sériovosti

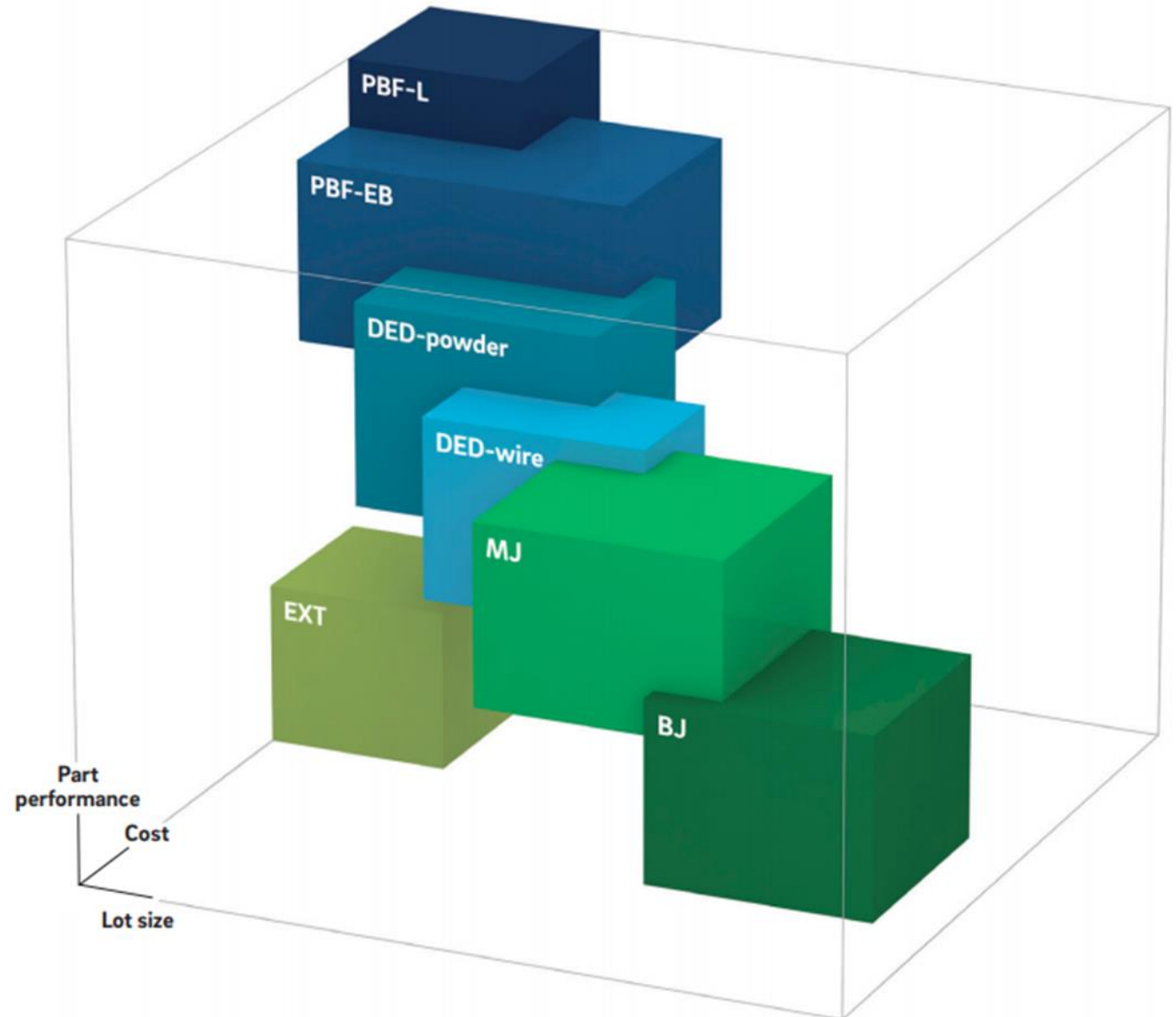
NOTE:

Suitable alternative
additive manufacturing
material chosen where
necessary

- Conventional process:
material
- Conventional process:
process
- AM: post processing
- AM: material and process



1. Nákladovost různých technologií a sériovosti



Source: Roland Berger

PBF-L:
Powder bed fusion by laser

PBF-EB:
Powder bed fusion by electron beam

DED-powder: Direct energy deposition powder by laser

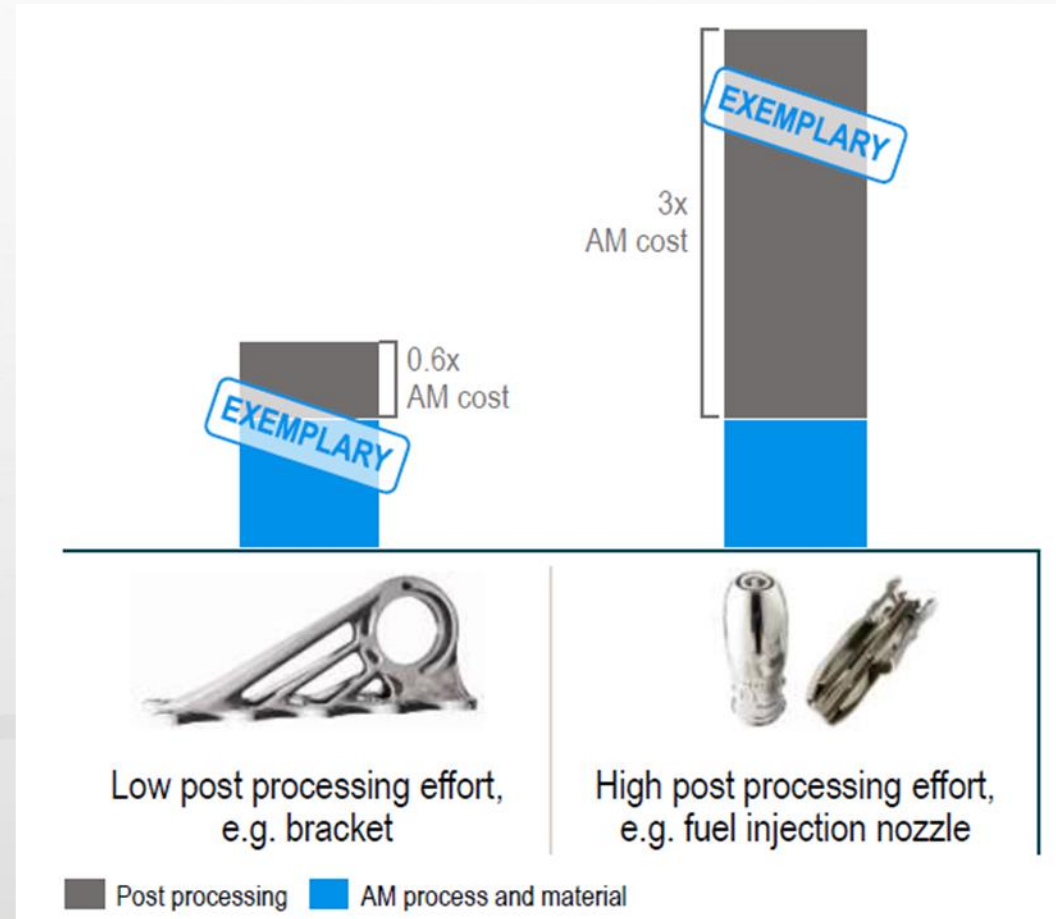
DED-wire: Direct energy deposition wire by laser

MJ: Material jetting

BJ: Binder jetting

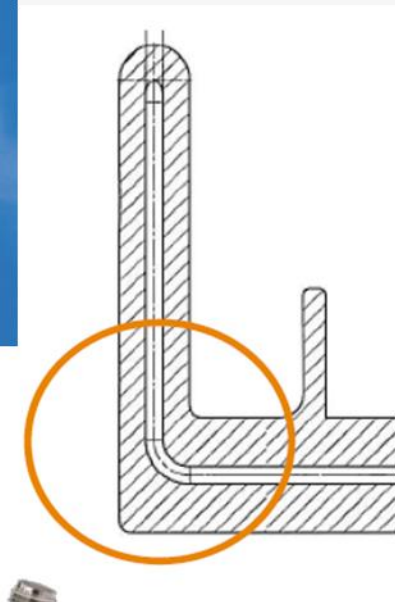
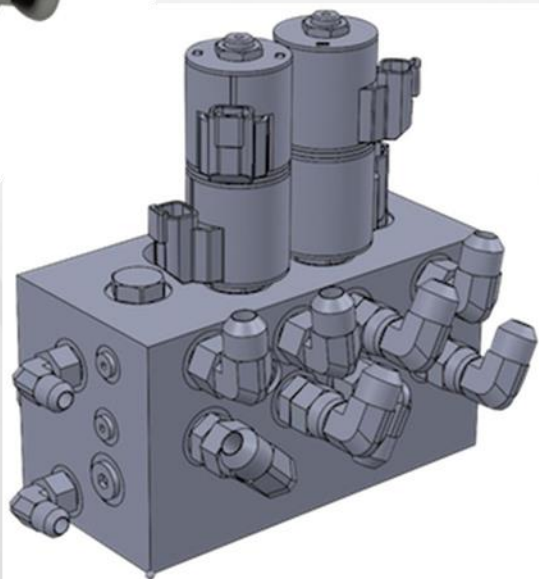
EXT: Material extrusion

1. Nákladovost různých technologií a sériovosti





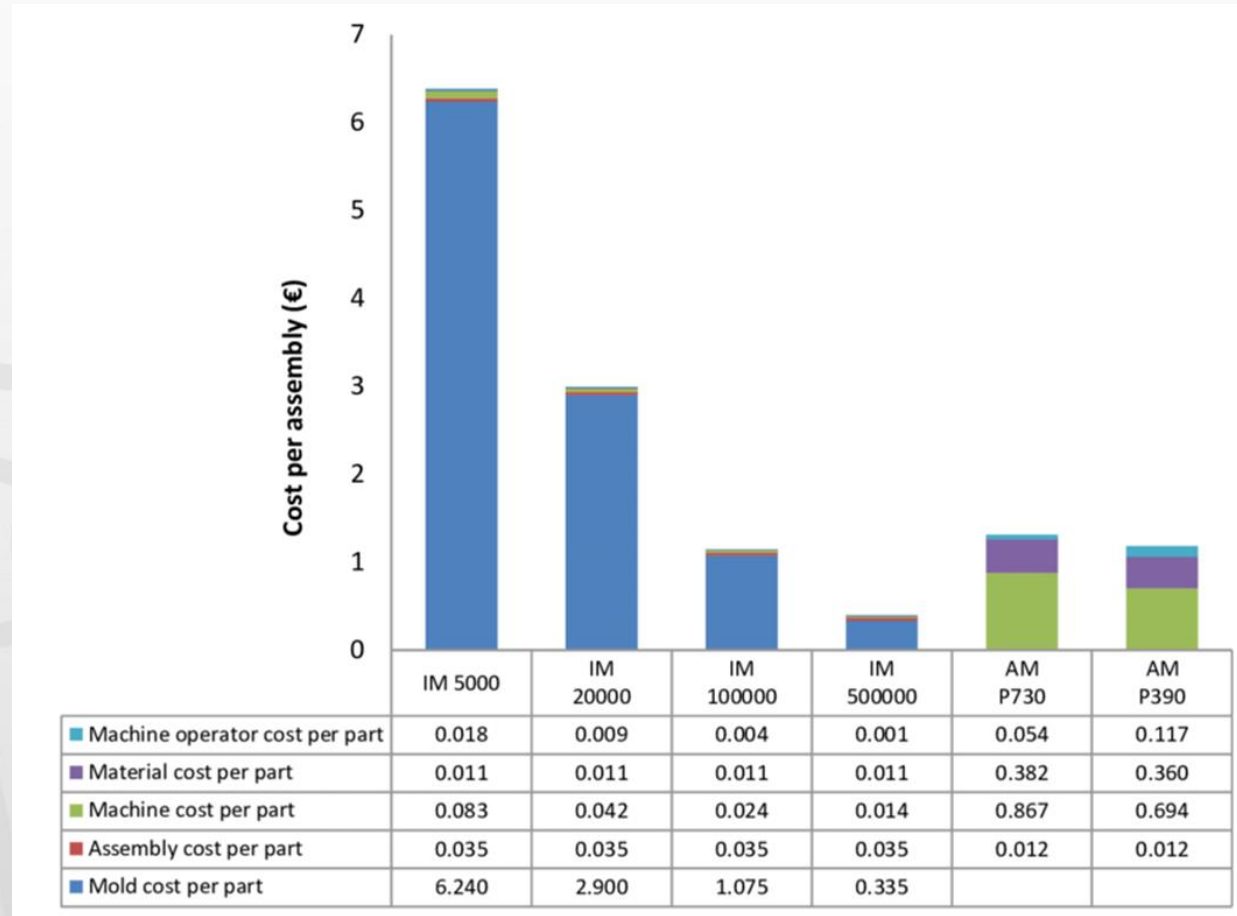
2. Nákladovost celého výrobního procesu



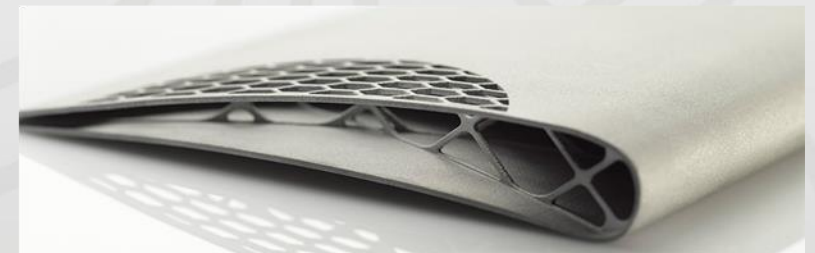
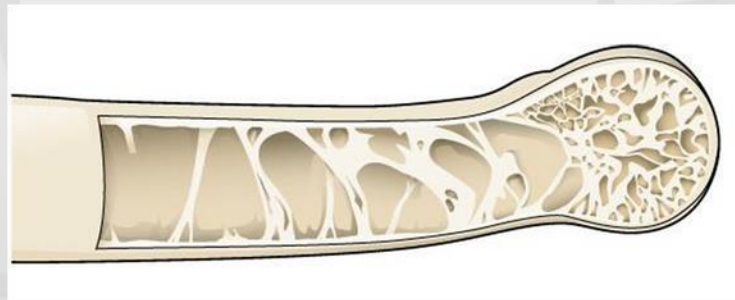
2. Nákladovost celého výrobního procesu



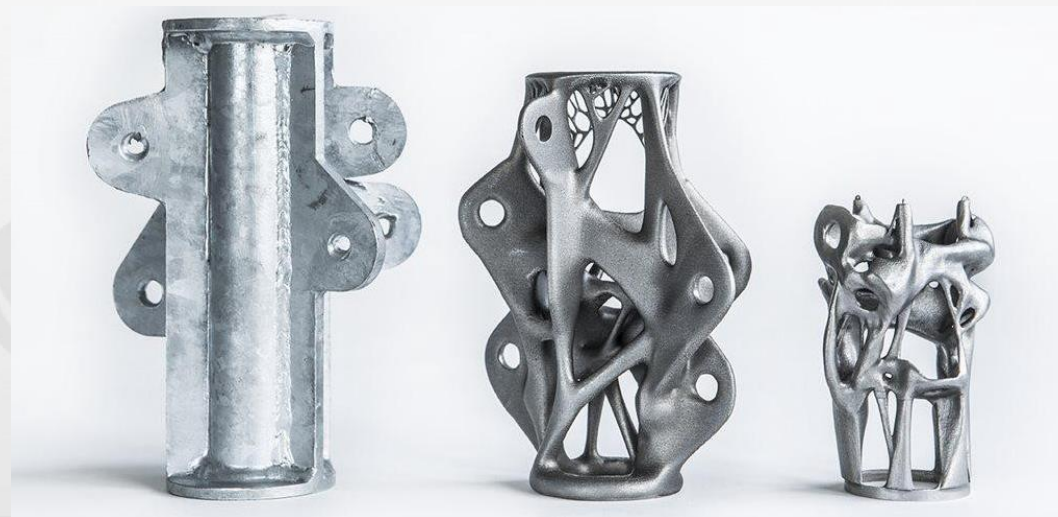
2. Nákladovost celého výrobního procesu



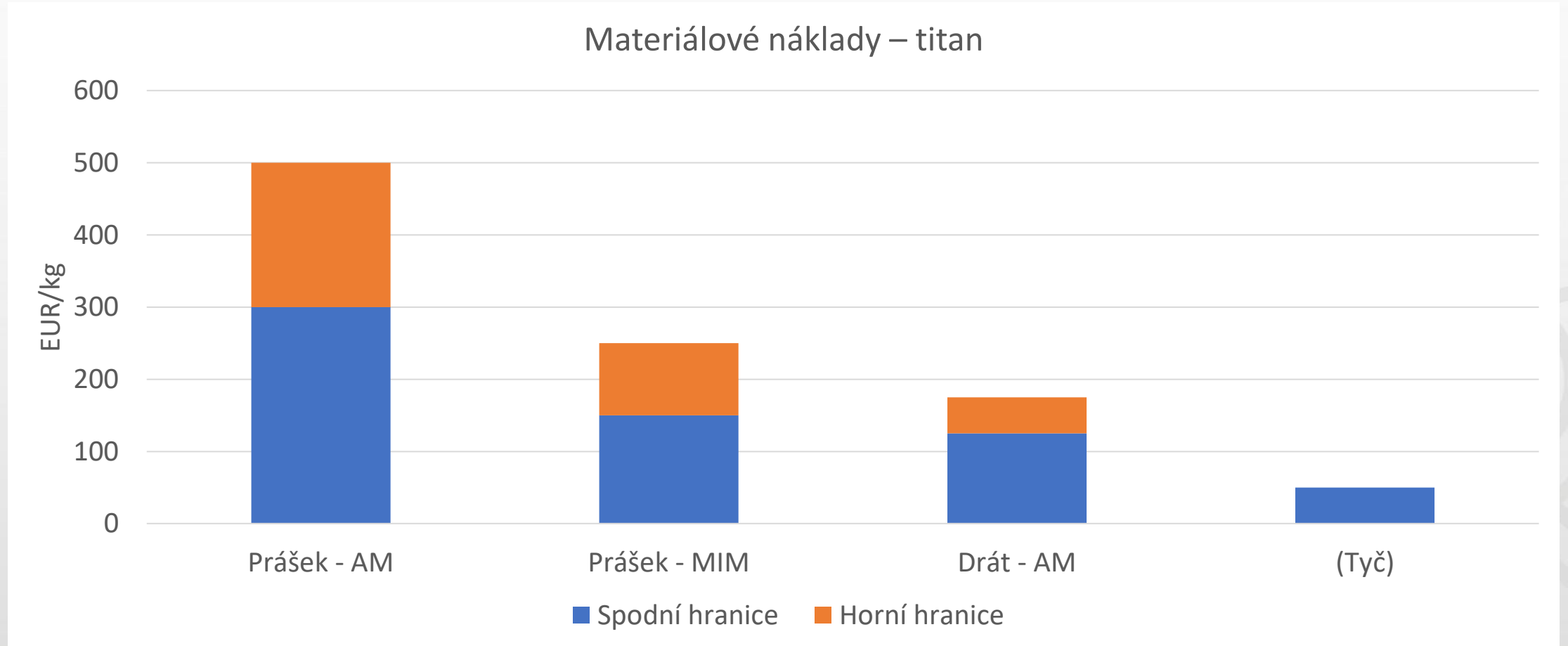
3. Nákladovost různého řešení



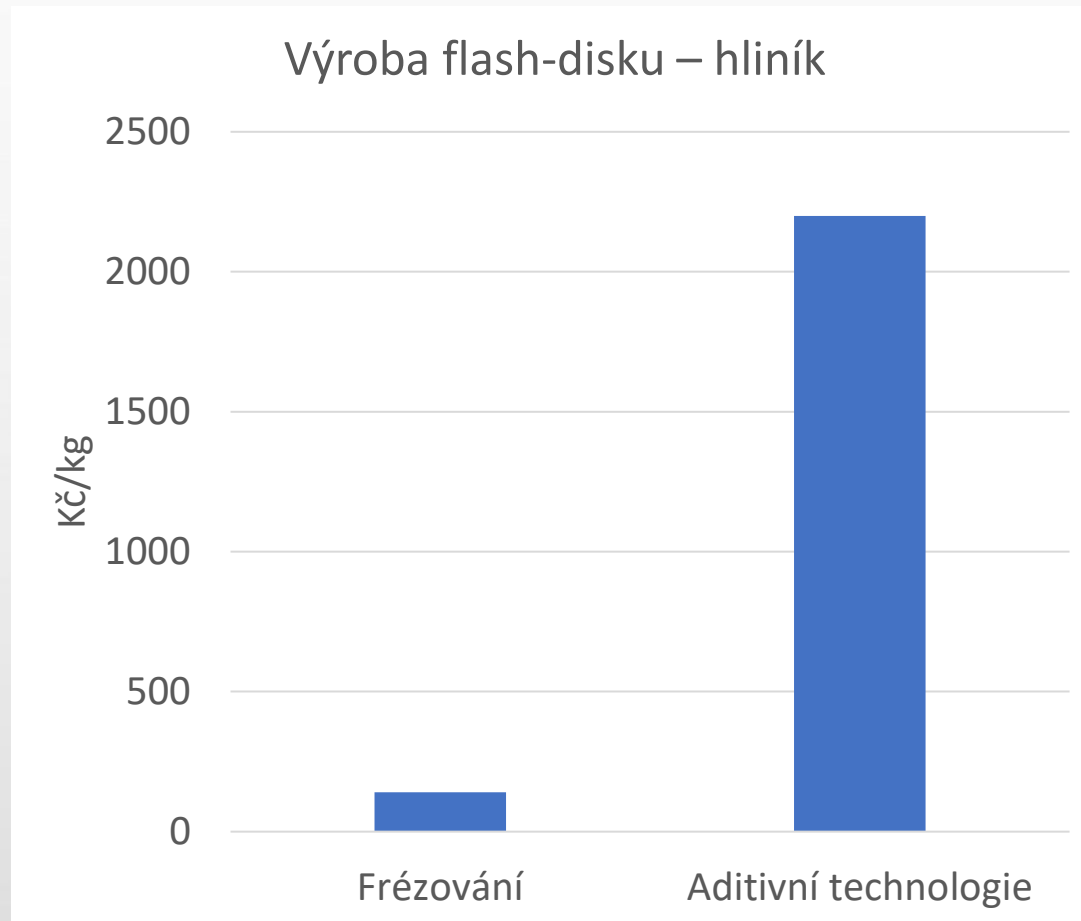
3. Nákladovost různého řešení



3. Nákladovost různého řešení



3. Nákladovost různého řešení

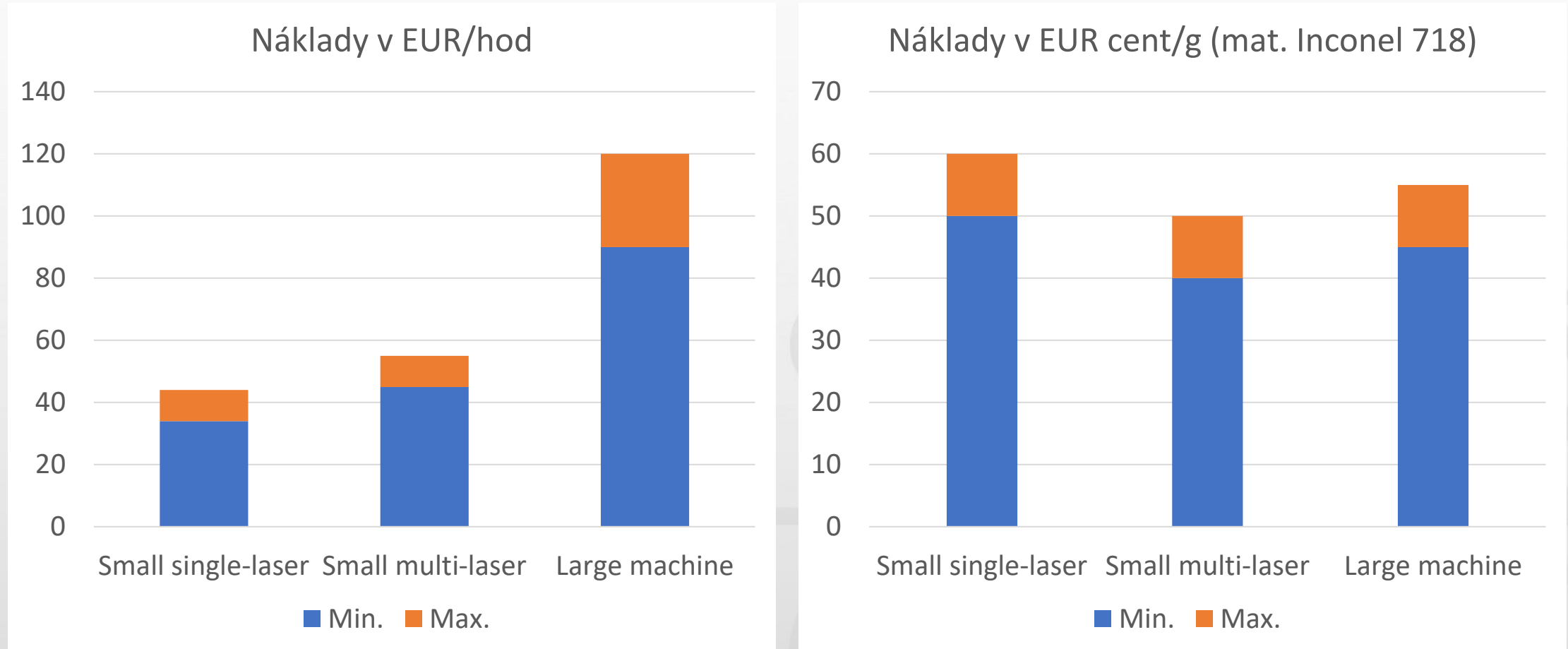


	OEMs	Independent suppliers		
	Average	Minimum	Average	Maximum
316L	160			
CoCrMo	180			
Inconel 718	170			
Hastelloy-X	180			
AlSi10Mg	80			
TiAl6V4	460			

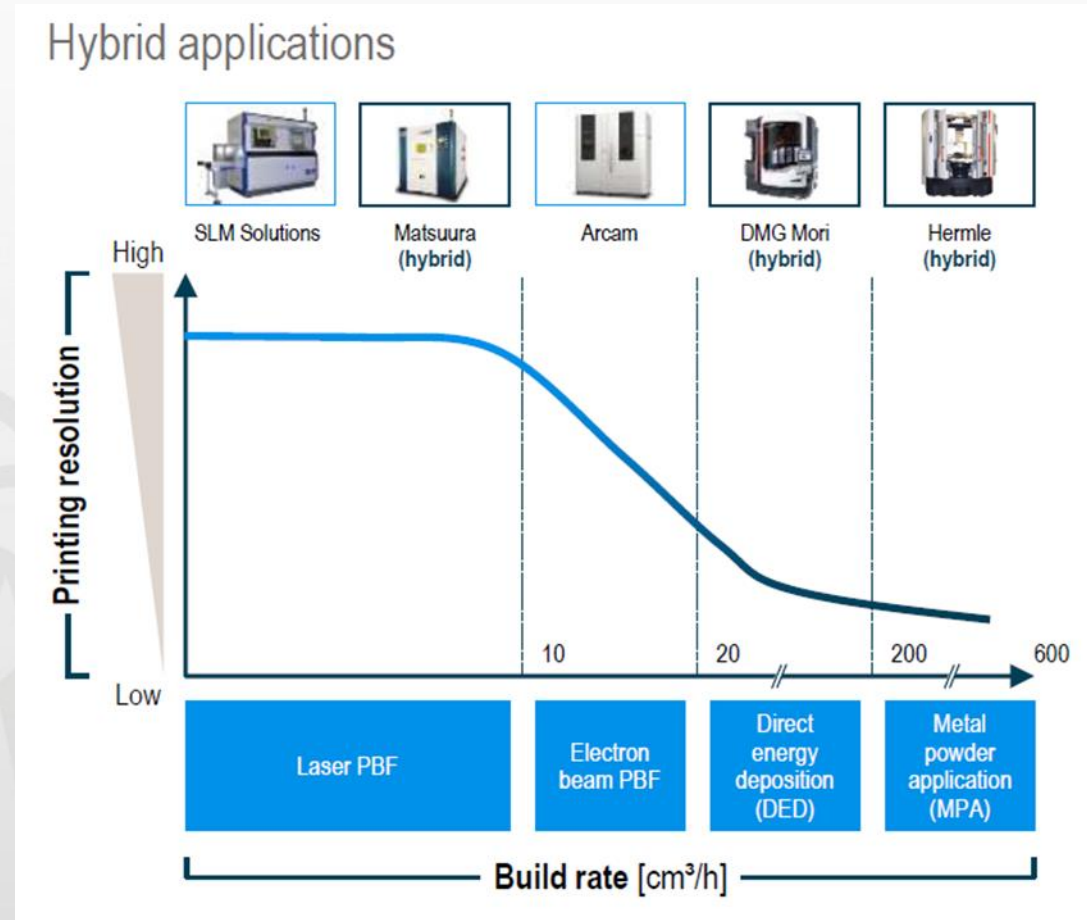
4. Dopad velikosti stroje (rychlosti výr.) na náklady

Small single-laser	Small multi-laser	Large machines
Sample machines¹⁾ CL M2 cusing EOS M 290   Renishaw AM 250 Realizer SLM 250 SLM 280^{HL} Single   	Sample machines¹⁾ CL M2 cusing Multilaser SLM 280^{HL} Twin  	Sample machines¹⁾ SLM 500^{HL} EOS M 400   CL X line 2000R 
Sample configuration Investment cost: EUR > 0.5 m²⁾ Build rate (IN718): 10-15 cm³/h Build chamber: 250x250x300 - 280x280x350 mm	Sample configuration Investment cost: EUR 0.5-1 m²⁾ Build rate (IN718): 20-25 cm³/h Build chamber: 250x250x300 - 280x280x350 mm	Sample configuration Investment cost: EUR > 1 m²⁾ Build rate (IN718): 40-45 cm³/h Build chamber: 500x280x325 - 800x400x500 mm

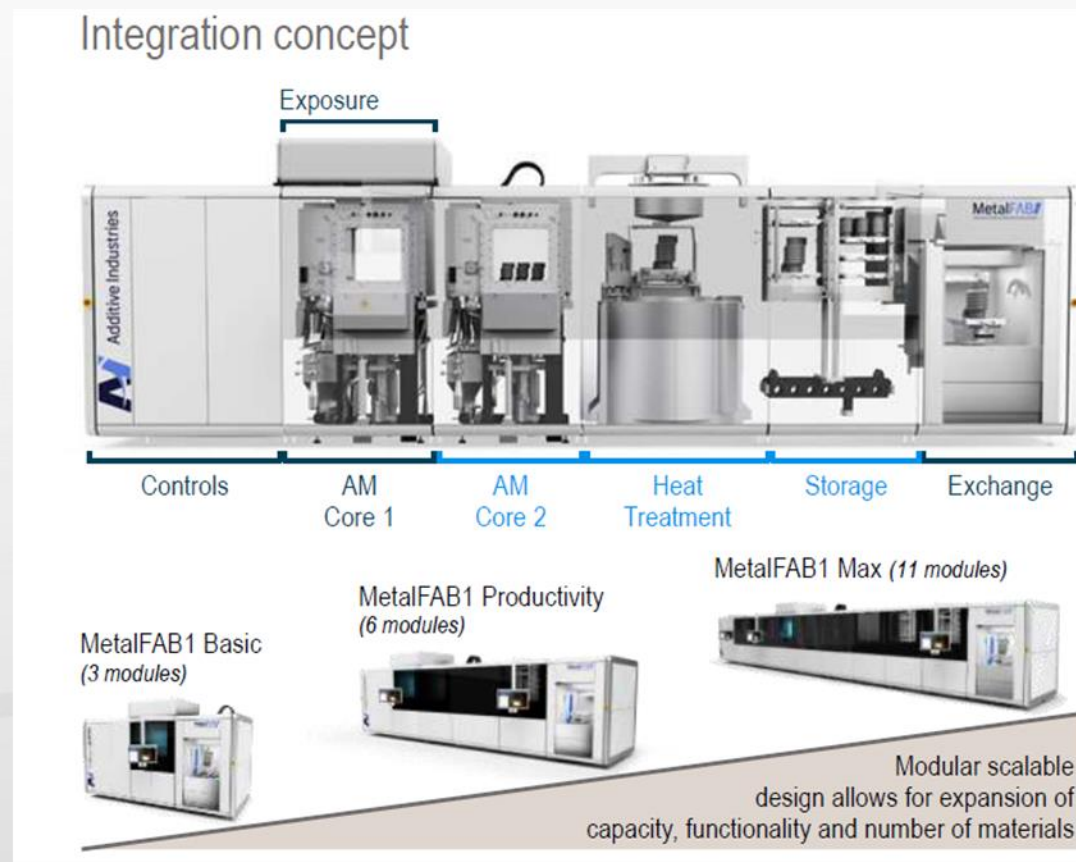
4. Dopad velikosti stroje (rychlosti výr.) na náklady



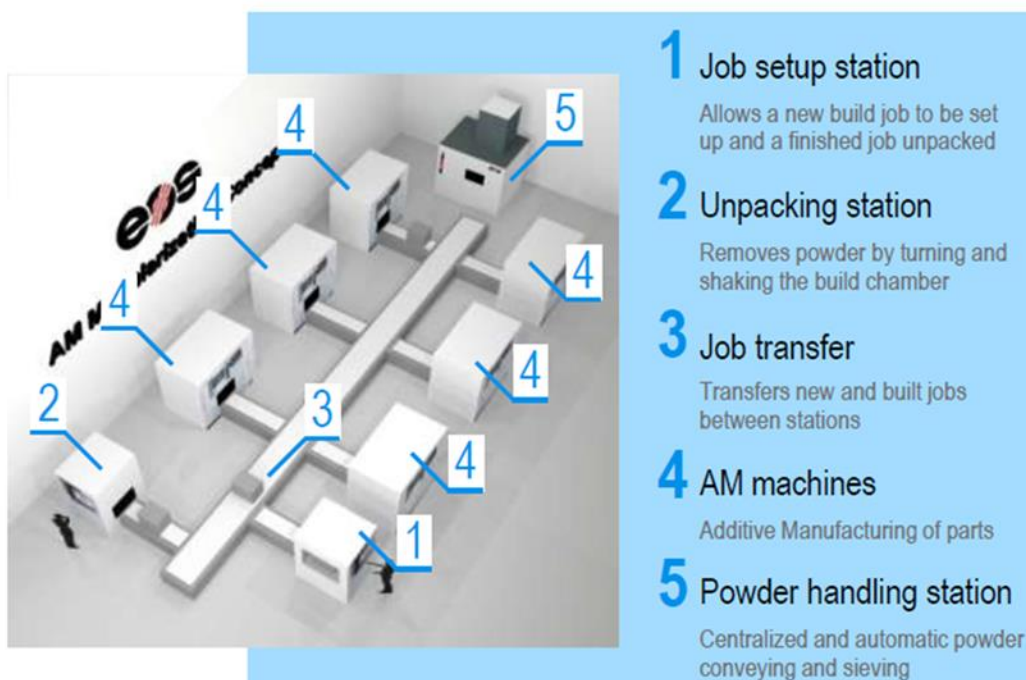
4. Dopad velikosti stroje (rychlosti výr.) na náklady



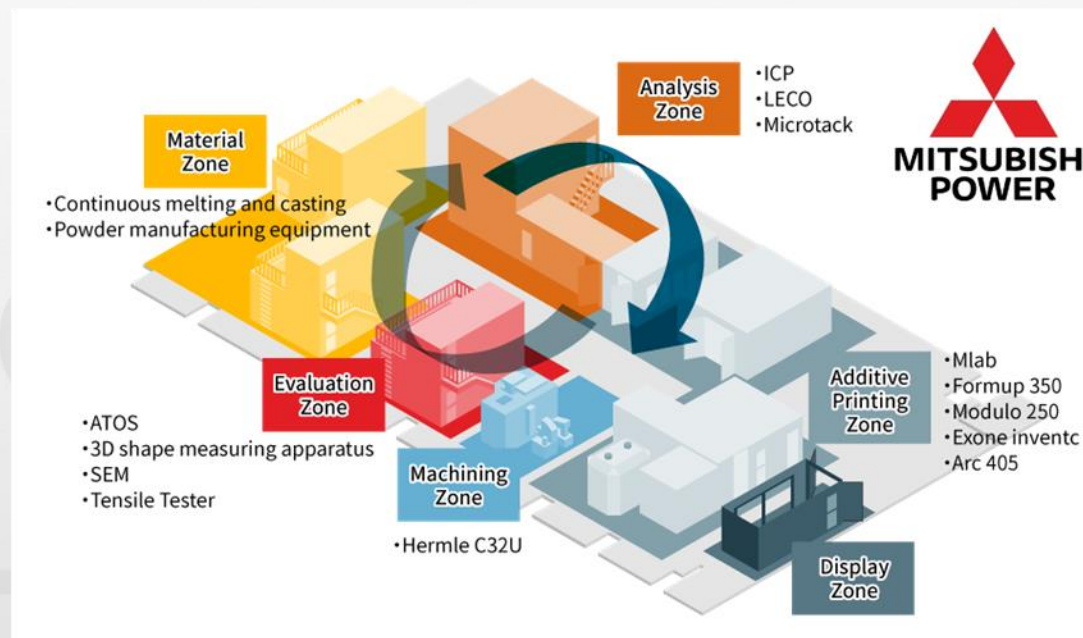
5. Dopad automatizace a integrace na náklady



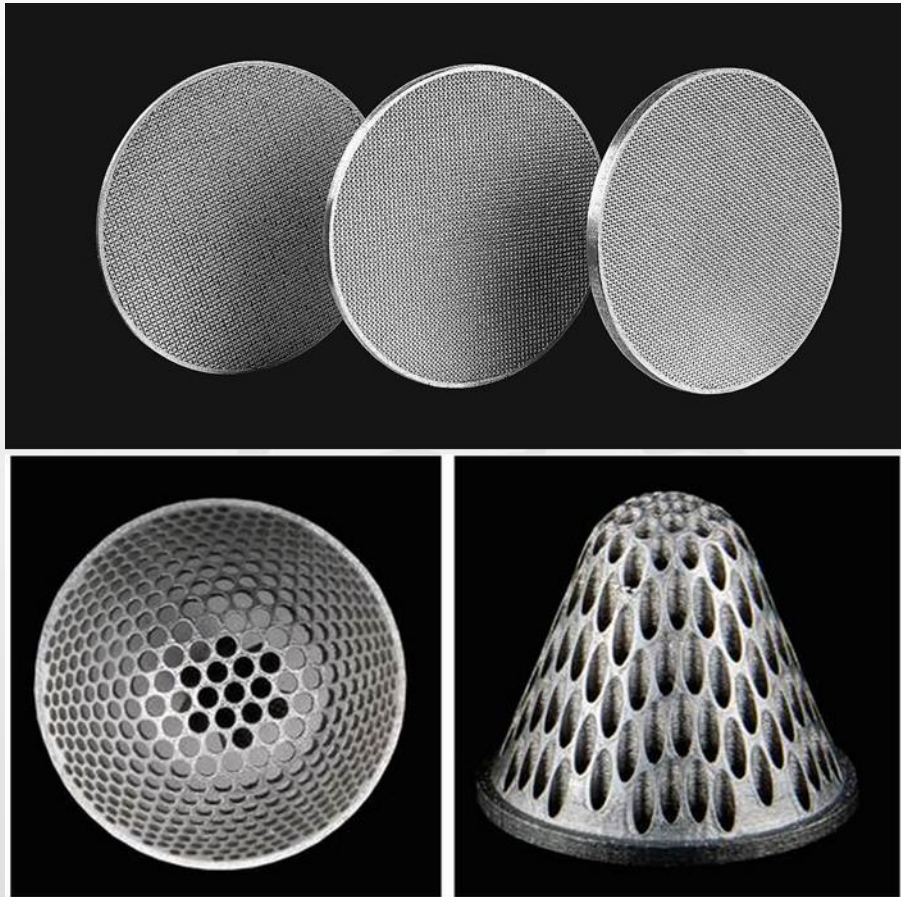
5. Dopad automatizace a integrace na náklady



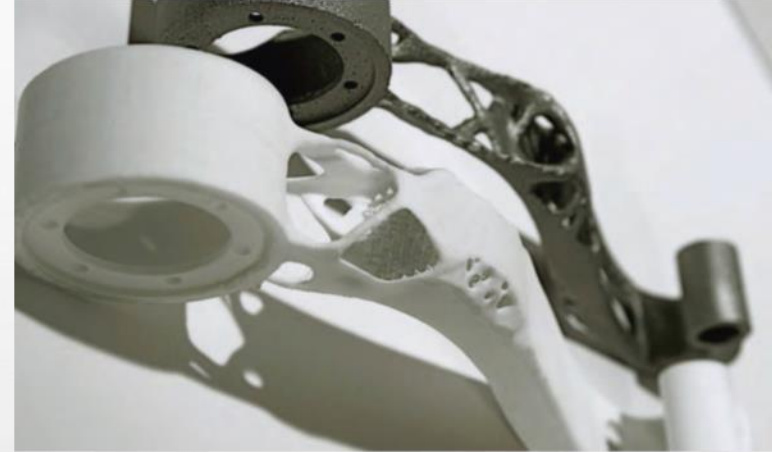
Modularization concept comprising several AM systems and peripherals (Source: EOS)



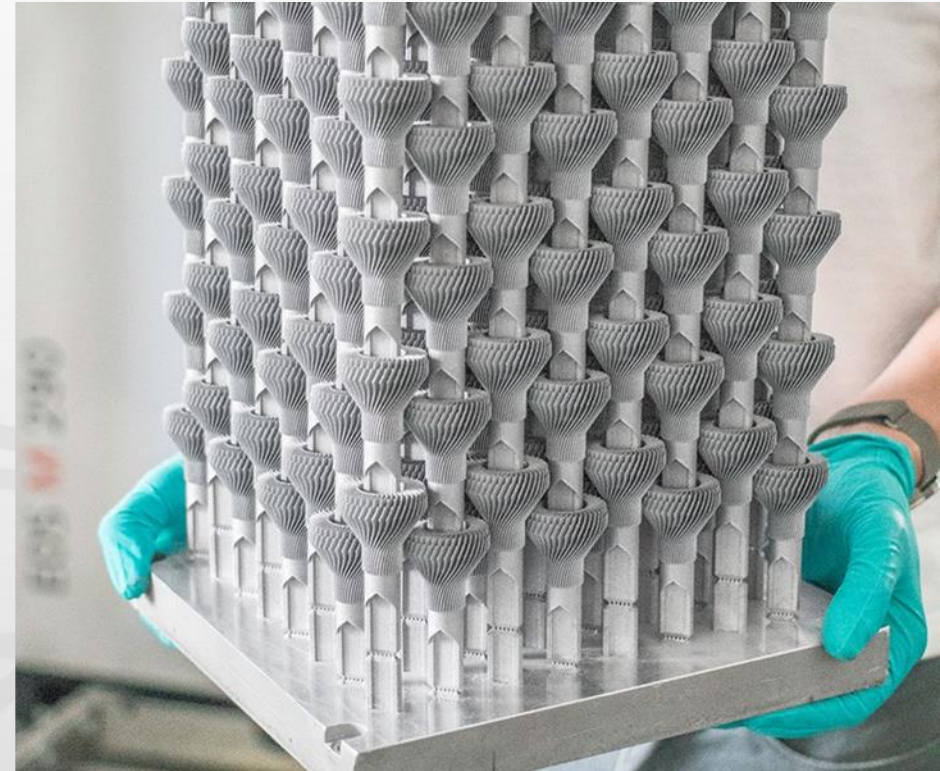
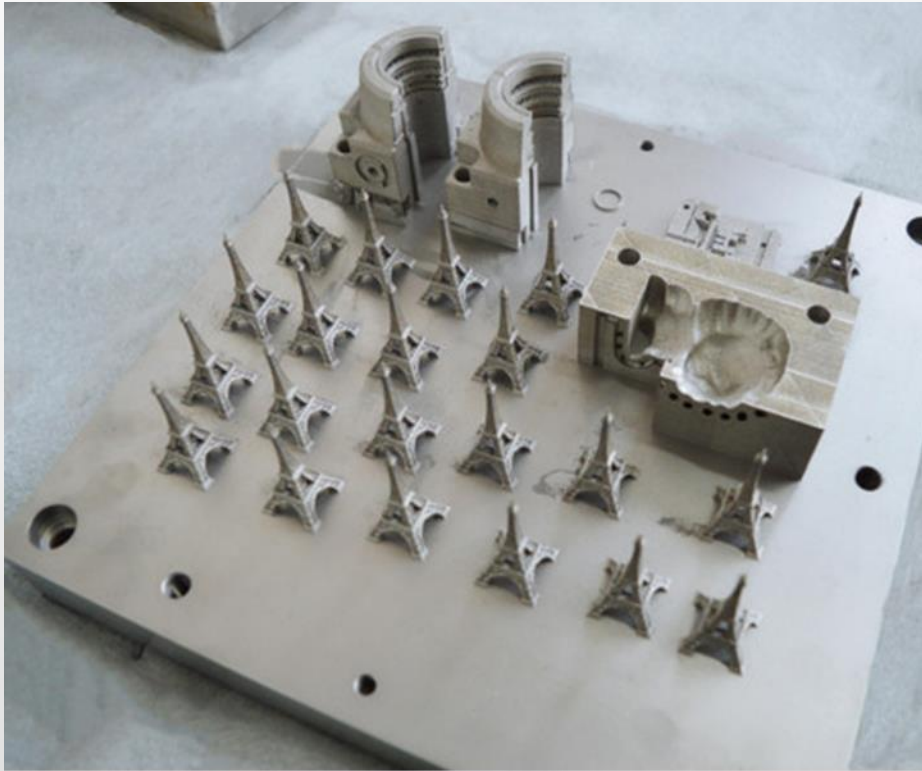
6. Udržitelnost – N. na výrobek x provoz x likvidaci



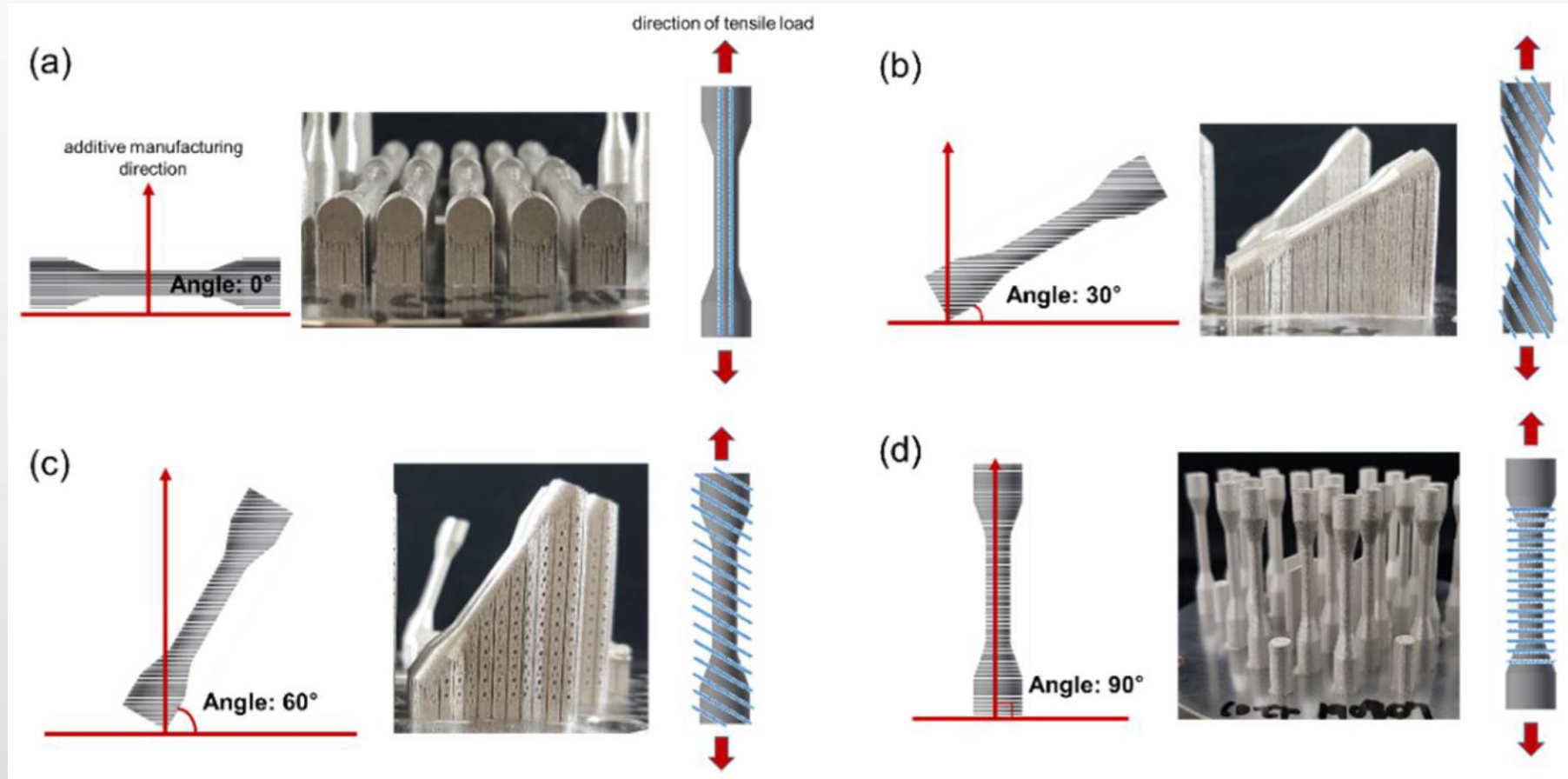
6. Udržitelnost – N. na výrobek x provoz x likvidaci



7. Vliv parametrů výroby – zaplnění



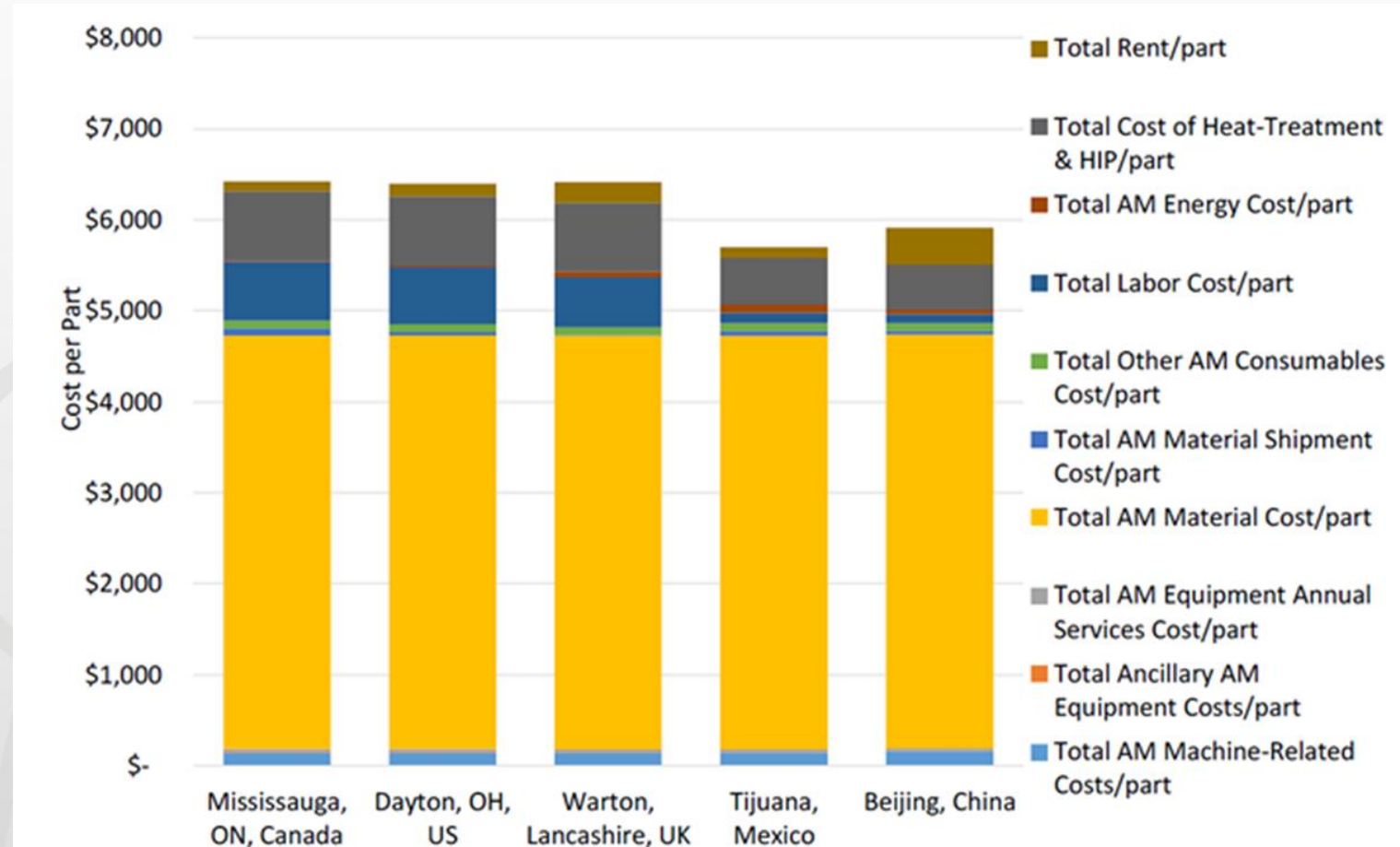
7. Vliv parametrů výroby – zapozicování (postup)



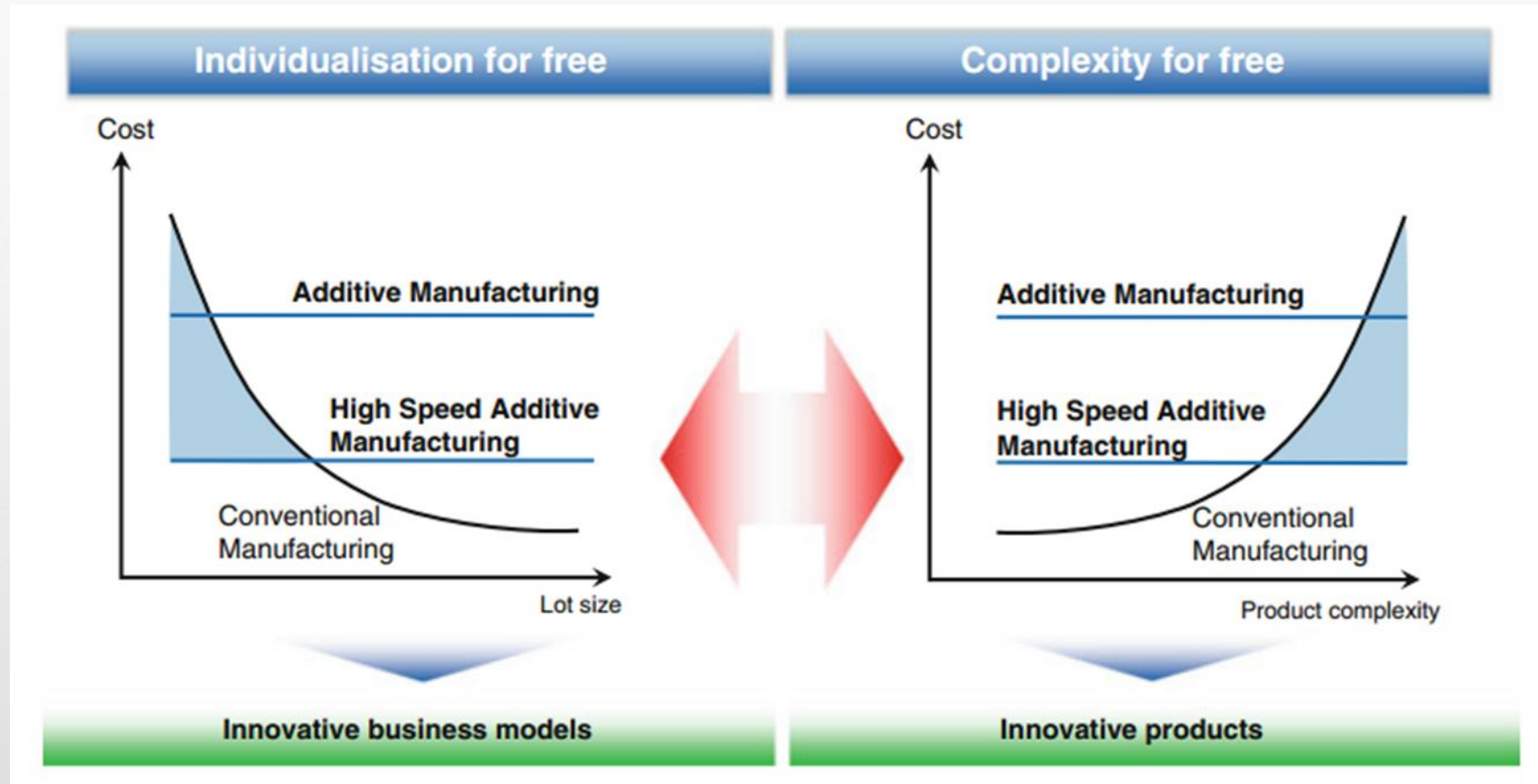
7. Vliv parametrů výroby – kvalita (rychlost)



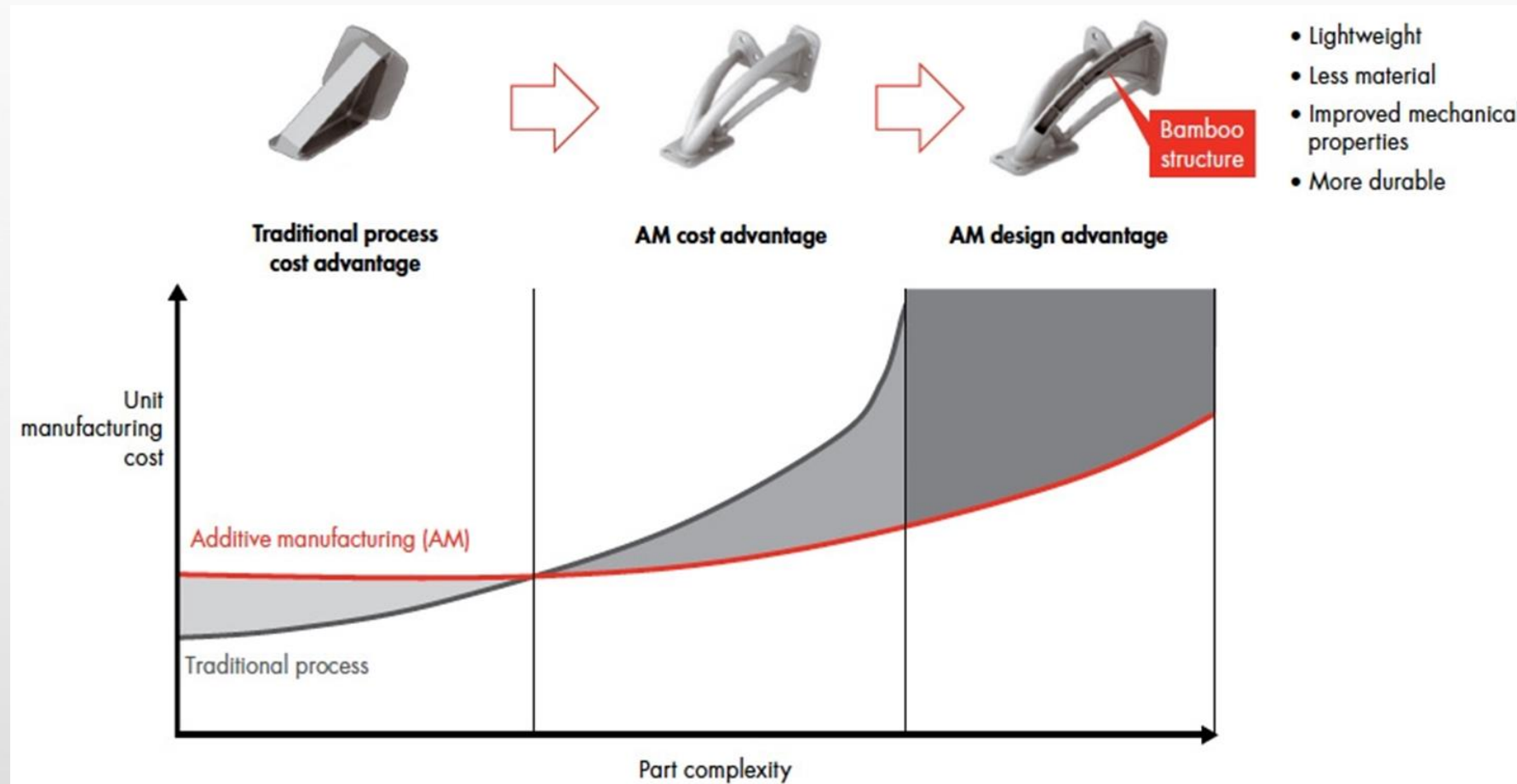
8. Náklady dle místa (dodavatelský řetězec)



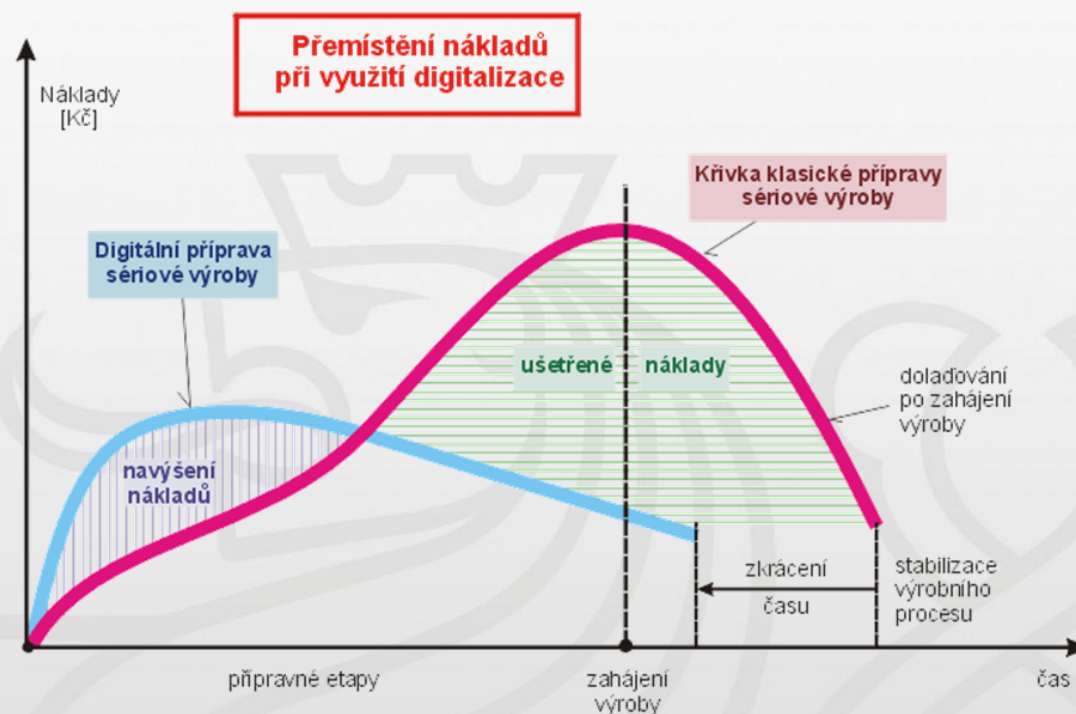
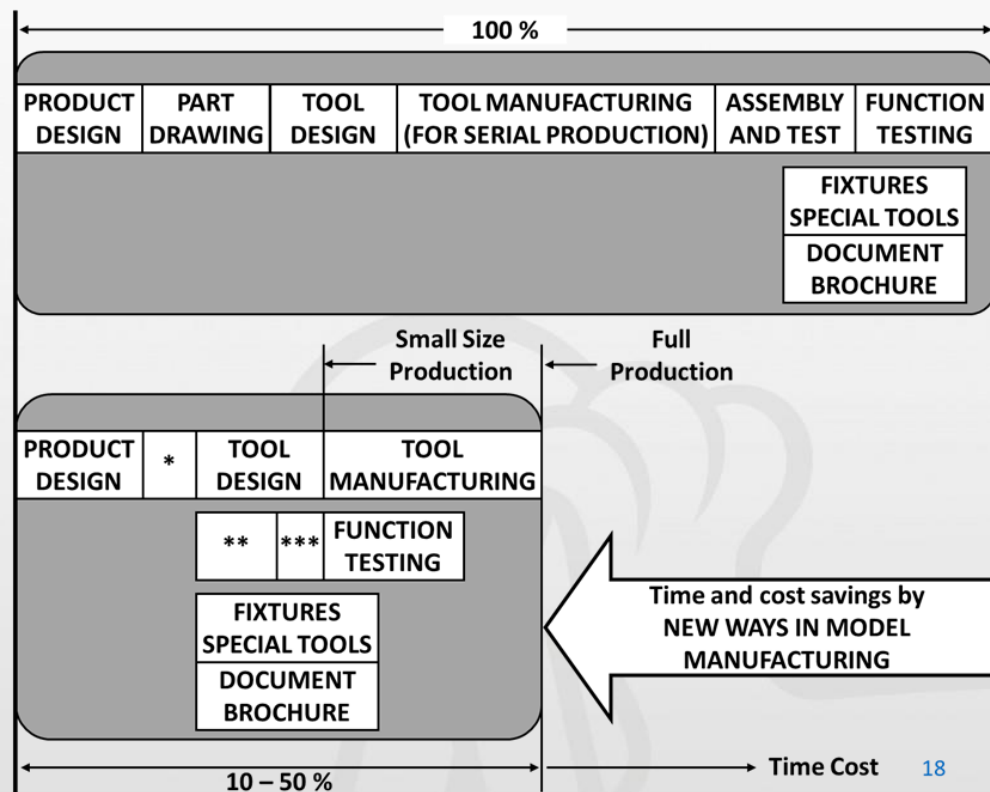
9. Vyhodnocení podnikatelského modelu



9. Vyhodnocení podnikatelského modelu

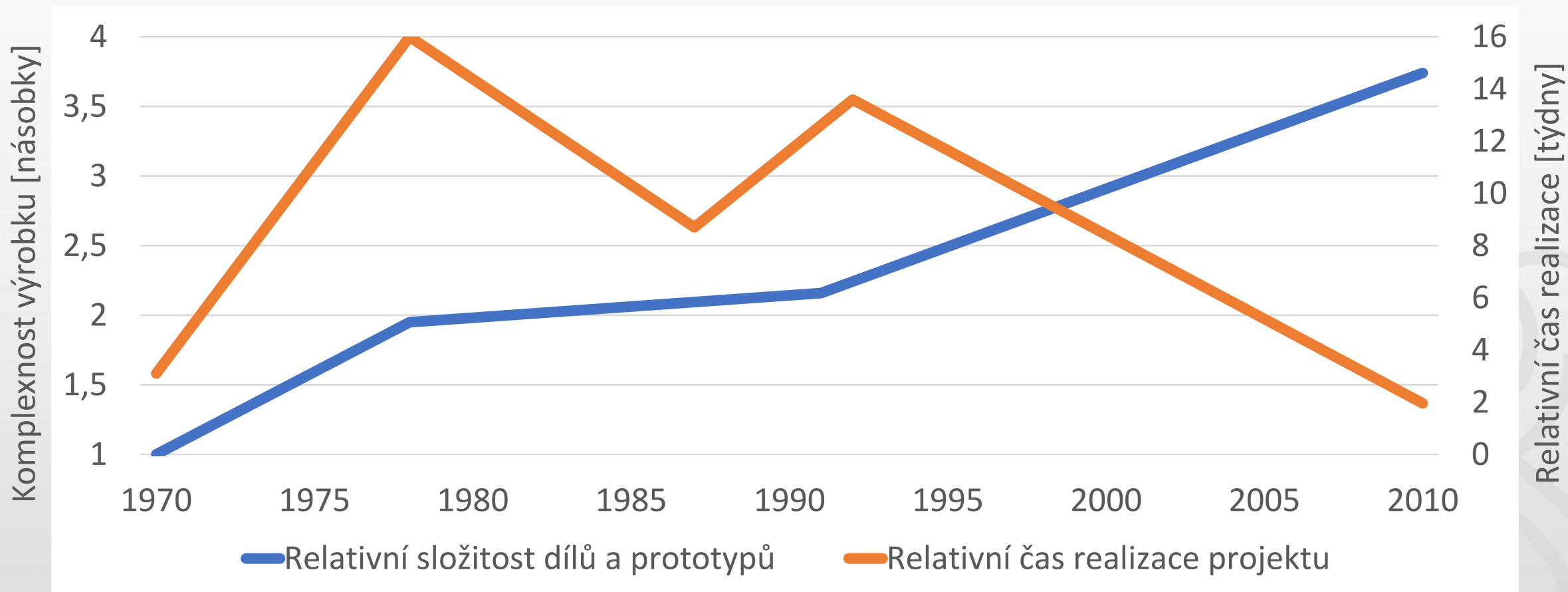


10. Dopady zrychlení vývoje



10. Dopady zrychlení vývoje

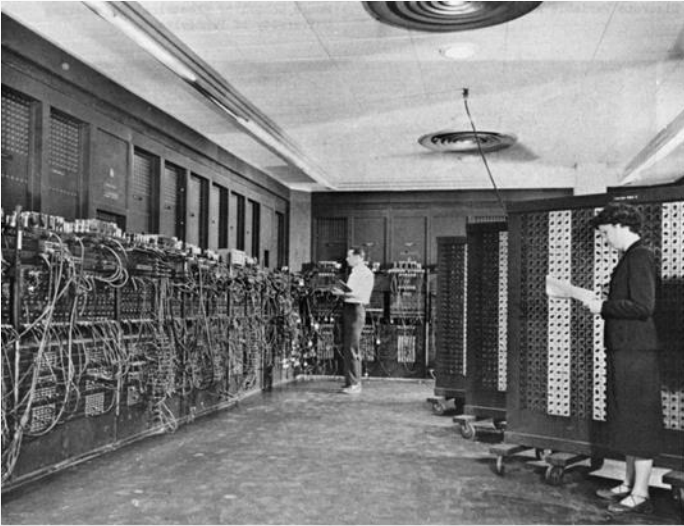
Relativní čas realizace projektu a složitosti dílů



10. Dopady zrychlení dodání (servisu)

- Oprava hořáků plynových turbín (místo 32 týdnů, 3 týdny)
- Oprava vojenské techniky přímo na bojišti
- ...

11. Vyhodnocení investičního rizika

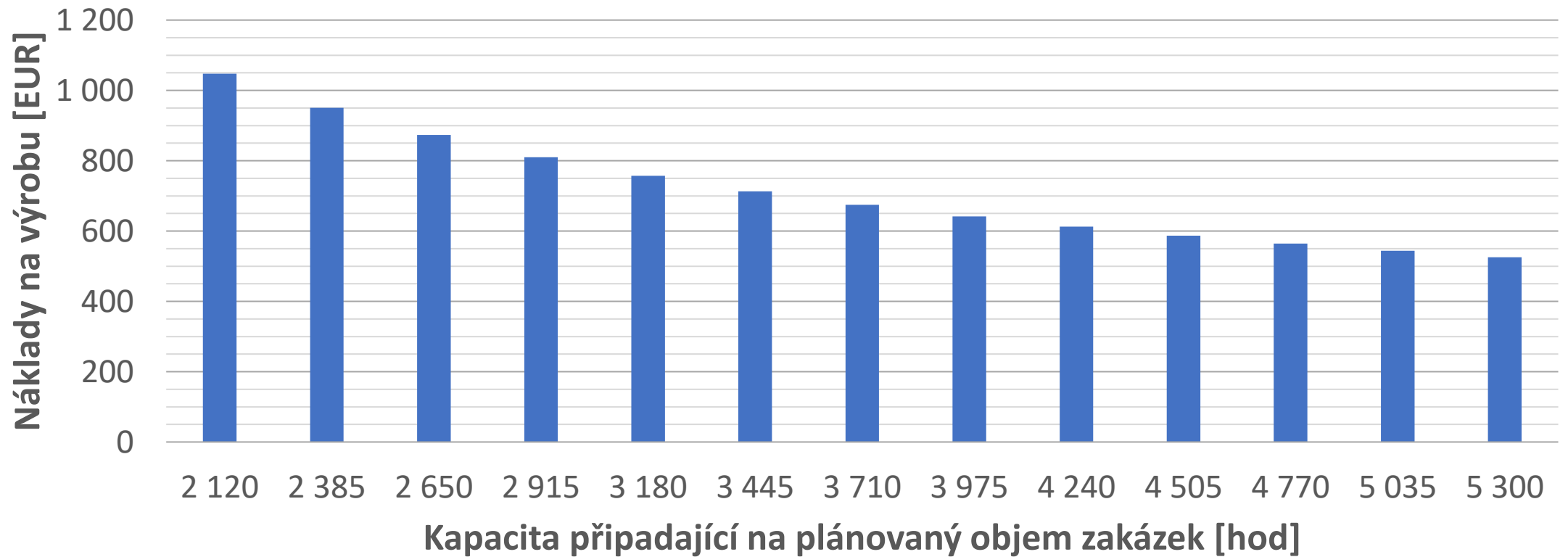


Další důvody ...

- 12. Vyhodnocení efektivnosti investice do stroje/technologie
- 13. Porovnání různých aditivních technologií, různých strojů
- 14. Kalkulace orientační ceny (při objednávce od dodavatele)
- 15. Pochopení způsobu propočtu kalkulačních softwarů pro AT
- 16. Provedení citlivostní analýzy (kapacitní vytížení, tloušťka vrstvy)
- 17. ...

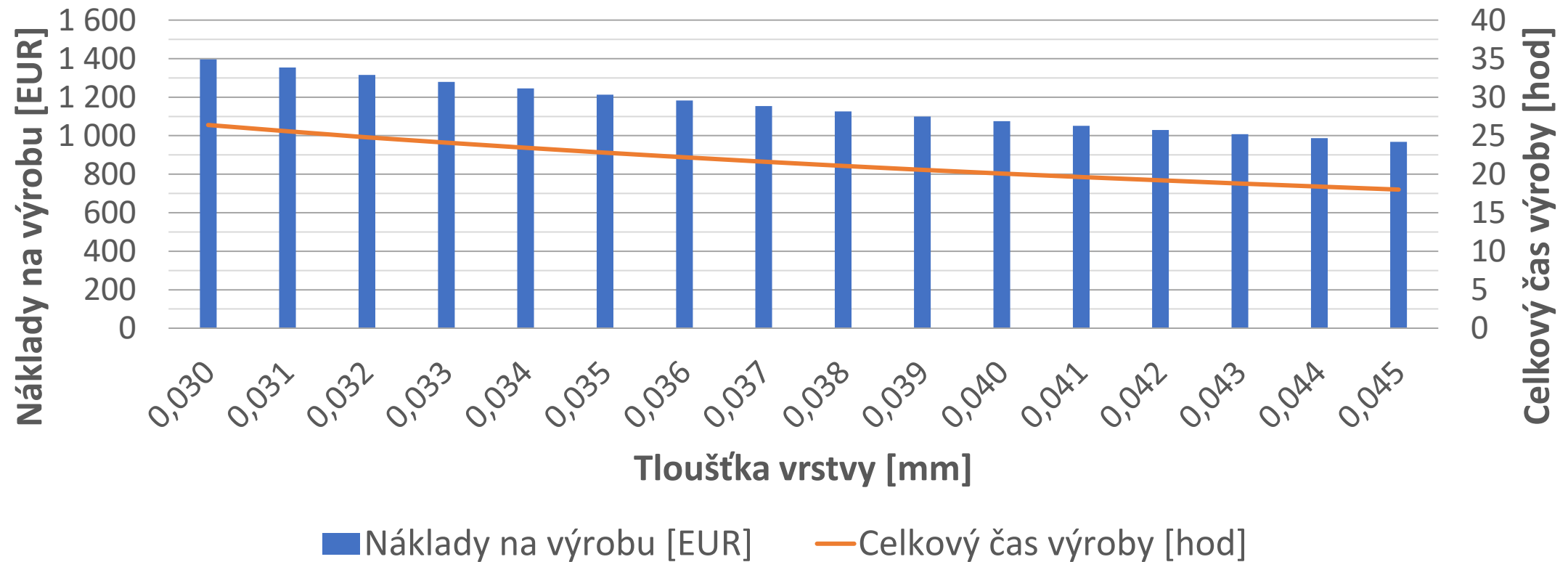
16. Citlivostní analýza – náklady/kapacita využití

Náklady na výrobu sloupku řízení v závislosti na využití kapacitě



16. Citlivostní analýza – náklady/tloušťka vrstvy

Náklady a čas výroby sloupku řízení v závislosti na tloušťce vrstvy



Důvody s nepřímým dopadem na ekonomiku

- Možnost odlišit své produkty/nabízené služby a nabízet vyšší hodnotu
- Vytváření silnějších vazeb se zákazníky (→ customizace)
- Servis (výroba náhradních dílů) jako dlouhodobá služba zákazníkům
- Zkracování doby potřebné k uvedení výrobku na trh
- Usnadnění vstupu na nové trhy
- Snížení počtu dodavatelů a vytváření silných a dlouhodobých vazeb
- Rozšíření sortimentu (rozsahu) nabízených výrobků
- Snížení nákladů, dřívější realizace zisků díky nižším fixním nákladům
- Výroba složitých tvarů, netradičních struktur

Použité zdroje

1. TACCONELLI, Alberto. *Metal 3D printed Hydraulic valve: Traditional manufacturing versus Additive manufacturing* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/metal-3d-printed-hydraulic-valve-traditional-versus-taconelli>
2. CIMDATA. *Siemens Advances Generative Design Technology* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.cimdata.com/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/9458-siemens-advances-generative-design-technology-commentary>
3. INNOMIA a.s. *Plechový výlisek: Tradiční versus Aditivní technologie (ukázková zakázka)*. 2015. 1 s.
4. ČVUT. *Kovový USB flash disk ČVUT*. Online: https://eobchod.cvut.cz/propagacni_predmety/propagacni_predmety/usb_flash_disk-150030354
5. STANEK, M., ROUHOVÁ, K. a SCHOLZ, P. *Popis hodnotícího modelu – nákladová část*. ČVUT. 2020. 21 s.
6. HAGEL III, John a kol. *The future of manufacturing: Making things in a changing world* [online]. 2015. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing/future-of-manufacturing-industry.html>
7. THOMAS, Douglas S. a Stanley W. GILBERT. *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing: A Literature Review and Discussion* [online]. 2014. Dostupné z: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1176.pdf>
8. ROLAND BERGER. *Focus: Advancements in metal 3D printing*. 2018. 13 s. Dostupné z: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/Roland_Berger_Additive_Manufacturing.pdf
9. ROLAND BERGER. *Additive Manufacturing – next generation AMnx: Study* [online]. 2016. Dostupné z: <https://docplayer.net/39208444-Additive-manufacturing-next-generation-amnx.html>

Použité zdroje

10. HITCH, John. *Five Secret Costs of 3D Post-Processing* [online]. New Equipment Digest, 2016. Dostupné z: <https://www.newequipment.com/research-and-development/article/22058954/five-secret-costs-of-3d-postprocessing>
11. MAKERBOT. How to sand your 3D prints [online]. MakerBot Industries, 2015. Dostupné z: www.makerbot.com/professional/post-processing/
12. CONCEPT LASER. *Additive manufacturing solutions*. 2015. 34 s.
13. DIEGEL, Olaf a Terry WOHLERS. *Design for Additive Manufacturing: Increasing part value through intelligent optimisation* [online]. Wohlers Associates, 2017. Dostupné z: <https://www.metal-am.com/articles/design-for-3d-printing-increasing-part-value-through-intelligent-optimisation/>
14. GOLDSBERRY, Clare. *Wohlers Associates hosts design for additive manufacturing course high in the Rockies* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.plasticstoday.com/3d-printing/wohlers-associates-hosts-design-additive-manufacturing-course-high-rockies>
15. EUROFIGHTER. *EUROFIGHTER CALENDAR 2021-04* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.eurofighter.com/multimedia/details/eurofighter-calendar-2021-04-2140>
16. 3D Print. *Digico Imaging* [online]. Dostupné z: <http://www.digicoimaging.com/gallery/3d-print/>
17. Rigid opaque photopolymer: 3D printing material. *The Printing House* [online]. Dostupné z: <http://www.tph.ca/3d-printing/materials/rigid-opaque-photopolymer>



Použité zdroje

18. SOFTPEDIA. *The Largest Leaves 2* [online]. Dostupné z: <https://news-cdn.softpedia.com/images/news2/The-Largest-Leaves-2.jpg>
19. REDDIT. *The underside of the leaf of the giant water lily* [online]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/360onHistory/comments/gzqa1j/the_underside_of_the_leaf_of_the_giant_water_lily/
20. MYWISHBOARD. *Skelet plastický* [online]. Dostupné z: <https://mywishboard.com/wish/skelet-vorona-plasticky-3606655>
21. LUMEN LEARNING. *Birds* [online]. Dostupné z: <https://courses.lumenlearning.com/suny-wmopen-biology2/chapter/birds/>
22. ADDITIVE MANUFACTURING. *Inspecting Complex Geometries for 3D-Printed Parts* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/inspecting-complex-geometries-for-3d-printed-parts>
23. SMITH, Colin. *The Fusion 360 Generative Design Team needs your feedback!* [online]. 2017. Dostupné z: <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-design-validate/the-fusion-360-generative-design-team-needs-your-feedback/td-p/6947826?profile.language=es>
24. RSC ENGINEERING GMBH. *Metal Additive Manufacturing: Component design for successful commercial production* [online]. In: . 2015. Dostupné z: <https://www.metal-am.com/articles/metal-additive-manufacturing-component-design-for-successful-commercial-production/>
25. SIEMENS. *Generative Design with CAD Software*. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/pl/ourstory/glossary/generative-design/>



Použité zdroje

26. PROTOCAM. *Optimized 3D Print Production with Generative Design* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.protocam.com/learningcenter/blog/generative-design/>
27. DIGITALALLOYS. *Economics of Metal Additive Manufacturing*. 2019. Dostupné z: <https://www.digitalalloys.com/blog/economics-metal-additive-manufacturing/>
28. THE ECONOMIST. *Adding it up: The economic impact of additive manufacturing* [online]. 2018. Dostupné z: https://impact.economist.com/perspectives/sites/default/files/Addingitup_WebVersion.pdf
29. MITSUBISHI POWER. Mitsubishi Power Concludes Licensing Agreement with Aubert & Duval, Leading Manufacturer of Additive Manufacturing Metal Powders [online]. 2020. Dostupné z: <https://power.mhi.com/news/20201127.html>
30. HIPOLITE, Whitney. *Croft Additive Manufacturing Uses 3D Printing to Create Innovative New Filters for Various Industries* [online]. In: 3Dprint.com, 2014. Dostupné z: <https://3dprint.com/33462/3d-printed-filters-cam/>
31. O'NEAL, Bridget. *Croft Additive Manufacturing Uses 3D Printing to Create Innovative New Filters for Various Industries* [online]. In: 3Dprint.com, 2014. Dostupné z: <https://3dprint.com/16754/3d-print-croft-filters/>
32. BAUMERS, Martin a kol. *Informing Additive Manufacturing technology adoption: total cost and the impact of capacity utilisation*. 2016. 24 s. Online: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1706/1706.02090.pdf>
33. ROCKSTROH, Todd. *Additive manufacturing at GE Aviation*. 2013. Online: <https://www.industrial-lasers.com/welding/article/16485564/additive-manufacturing-at-ge-aviation>

Použité zdroje

34. ROLAND BERGER. *Additive manufacturing: A game changer for the manufacturing industry?* 2013. 33 s. Online: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_additive_manufacturing_1.pdf
35. ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. *Additive manufacturing: opportunities and constraints: A summary of a roundtable forum held on 23 May 2013 hosted by the Royal Academy of Engineering* [online]. Londýn: Royal Academy of Engineering, 2013, 38 s. ISBN 978-1-909327-05-4. Dostupné z: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>
36. EPLUS3D TECH CO., LTD. *Post-processing of Metal 3D Printing: Reduces Risk or Increases Cost?* [online]. Dostupné z: <https://www.eplus3d.com/post-processing-of-metal-3d-printing-reduces-risk-or-increases-cost.html>
37. SCHULZ, Barbara. *Pushing Laser Powder Bed Fusion into New Realms of Productivity* [online]. In: Additive Manufacturing, 2020. Dostupné z: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/pushing-laser-powder-bed-fusion-into-new-realms-of-productivity>
38. YU, Ji-Min a kol. *Mechanical Properties of Dental Alloys According to Manufacturing Process*. Materials [online]. 2021, 14(12). ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma14123367
39. JIGSAW PUZZLE. *3D Sculpture Jigsaw Puzzle - Star Wars - Yoda* [online]. Dostupné z: <https://www.jigsawpuzzle.co.uk/educa-3d-sculpture-jigsaw-puzzle-star-wars-yoda-jigsaw-puzzle-160-pieces.p54422.html>
40. WANG, Annie a kol. *SENVOL: Selecting the Most Cost-Effective Location for Additive Manufacturing (AM) Production* [online]. In: Additive Manufacturing, 2015. Dostupné z: <https://additivemanufacturing.com/2015/08/12/senvol-selecting-the-most-cost-effective-location-for-additive-manufacturing-am-production/>

Použité zdroje

41. POPRAWA, Reinhart a kol. *SLM Production Systems: Recent Developments in Process Development, Machine Concepts and Component Design*. Cham: Springer International Publishing, 2015, 2015-11-19, s. 49-65. ISBN 978-3-319-12303-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-12304-2_5
42. SAXENA, Shubham. *Cost Modelling of Additive Manufacturing/ 3D-Printing Technologies* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/cost-modelling-additive-manufacturing-3d-printing-shubham-saxena>
43. CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications. Fourth edition of Rapid prototyping*. xxviii, 518 pages. ISBN 9789814571418.
44. LEEDER, E. *Digitální továrna - mocný nástroj pro průmyslovou výrobu. AUTOMA* [online]. 7/2008 [cit. 2014-08-31]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37514.pdf>
45. HASTING, Will. *Metal AM: Challenging the Paradigm* [online]. SME, 2020. Dostupné z: <https://www.sme.org/technologies/articles/2020/december/metal-am-challenging-the-paradigm/>
46. WINEGAR, James. What is “Big Data” — Understanding the History [online]. Towards Data Science, 2020. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/what-is-big-data-understanding-the-history-32078f3b53ce>
47. WATERHOUSE, Benjamin. Tech Giants: Steve Jobs and Bill Gates [online]. Bill of Rights Institute. Dostupné z: <https://billofrights.org/essays/tech-giants-steve-jobs-and-bill-gates>
48. ASUS. *ASUS Zenbook 13 OLED* [online]. Dostupné z: <https://www.asus.com/de/laptops/for-home/zenbook/zenbook-13-oled-ux325-11th-gen-intel/>
49. SCHOLZ, Pavel a František Freiberg. *Economic Evaluation of Preparation and Building Stage of Additive Manufacturing Process*. Grant Journal. 2015, 4(2), 122-127. ISSN 1805-0638. Dostupné z: <https://www.grantjournal.com/issue/0402/PDF/0402scholz.pdf>

Klíčové zdroje – osnova, myšlenky a nápady

- GEBHARDT, Andreas. *Understanding additive manufacturing: rapid prototyping - rapid tooling - rapid manufacturing*. Munich: Hanser, c2012, ix, 164 s. ISBN 978-1-56990-507-4.
- GIBSON, I., ROSEN, D. W. a STUCKER, B. *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*. New York: Springer, ©2010. xxii, 459 s. ISBN 978-1-4419-1119-3.
- GRIMM, Todd. *User's guide to rapid prototyping*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c2004, xvi, 404 p. ISBN 0872636976.
- HOPKINSON, Neil, ed., HAGUE, Richard J. M., ed. a DICKENS, P. M., ed. *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. Chichester: Wiley, 2006. xviii, 285 s. ISBN 0-470-01613-2.
- CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications*. Fourth edition of Rapid prototyping. xxviii, 518 pages. ISBN 9789814571418.
- KAMRANI, Ali K. a Emad Abouel NASR. *Rapid prototyping: theory and practice*. New York: Springer, c2006. Manufacturing systems engineering series. ISBN 978-0387232904.
- Liou, W. Frank. *Rapid Prototyping and Engineering Applications: a toolbox for prototype development*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008. ISBN 978-0-8493-3409-2.
- SCHOLZ, PAVEL. *Budoucí vývoj aditivní výroby a jeho bariéry*. ČVUT, 2015, aktual. 2016. 18 s.

Klíčové zdroje – osnova, myšlenky a nápady

- ROLAND BERGER. Additive manufacturing: A game changer for the manufacturing industry? 2013. 33 s. Online: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_additive_manufacturing_1.pdf
- ROLAND BERGER. *Additive Manufacturing – next generation AMnx: Study* [online]. 2016. Dostupné z: <https://docplayer.net/39208444-Additive-manufacturing-next-generation-amnx.html>
- ROLAND BERGER. Additive Manufacturing – next generation Amnx. 2017. 25 s. Online: <https://additiveworld.com/upload/file/170309%20Additive%20World%20ltd.pdf>
- ROLAND BERGER. Focus: Advancements in metal 3D printing. 2018. 13 s. Online: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/Roland_Berger_Additive_Manufacturing.pdf
- DELOITTE. Deloitte Review: 3D opportunity for production. 2014. 17 s. Online: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-business-case/DR15_3D_Opportunity_For_Production.pdf
- DELOITTE. Challenges of Additive Manufacturing. 2019. 32 s. Online: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte_Challenges_of_Additive_Manufacturing.pdf
- MCKINSEY. Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers. 2017. Online: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>

Klíčové zdroje – osnova, myšlenky a nápady

- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Quadrennial Technology Review 2015: Additive Manufacturing. 2015. 36 s. Online: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/QTR2015-6A-Additive%20Manufacturing.pdf>
- CONCEPT LASER. Additive manufacturing solutions. 2015. 34 s.
- CONCEPT LASER CZ. *Prezentace Concept Laser CZ* [online]. Concept Laser CZ, 2015. 62 s.
- ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. Additive manufacturing: opportunities and constraints. Londýn: Royal Academy of Engineering, 2013, 38 s. [cit. 2015-07-24]. ISBN 978-1-909327-05-4. Dostupné z: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>
- Další různé zdroje



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

NAŠÍM CÍLEM JE DOVÉST TĚ K TOMU TVÉMU!

S NÁMI AŽ NA VRCHOL!

Ústav řízení a ekonomiky podniku | Fakulta strojní ČVUT v Praze

www.rep.fs.cvut.cz



KONTAKT:

Ing. Pavel Scholz

Pavel.Scholz@fs.cvut.cz

+420 224 355 797

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav řízení a ekonomiky podniku

Karlovo náměstí 13

121 35 Praha 2

