

# Využití 3D skenování a aditivních technologií pro výrobu nedostupného náhradního dílu

Ing. Tomáš Lejsal

---

Diplomová práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky

---

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Ing. Tomáš Lejsal  
Osobní číslo: M22997  
Studijní program: N0488P050002 Průmyslové inženýrství  
Forma studia: Kombinovaná  
Téma práce: Využití 3D skenování a aditivních technologií pro výrobu nedostupného náhradního dílu

## Zásady pro vypracování

### Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

#### I. Teoretická část

- Provedte literární rešerši a zpracujte teoretické poznatky z aditivních technologií a polymerních materiálů používaných v aditivní výrobě.

#### II. Praktická část

- Analyzujte situaci na trhu v oblasti aditivních technologií.
- Zpracujte návrh produktu a vyrobte prototyp za využití 3D skenování a aditivních technologií.
- Zhodnotte navrhované řešení.

### Závěr

Rozsah diplomové práce: **cca 70 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

GEBHARDT, Andreas a HÖTTER, Jan-Steffen. *Additive manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing*. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.  
GEBHARDT, Andreas; KESSLER, Julia a THURN, Laura. *3D printing: understanding additive manufacturing*. 2nd edition. Munich: Hanser Publications, 2019. ISBN 978-1-56990-702-3.  
GOODSHIP, Vanessa; MIDDLETON, Bethany a RUTH, Cherrington. *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality: Structural Composites, Injection Molding, and 3D Printing*. Oxford: William Andrew, 2016. ISBN 978-0-323-34061-8.  
KUMAR, Kaushnik; ZINDANI, Divya a DAVIM, J Paulo. *Additive Manufacturing Technologies from an Optimization Perspective*. Hershey: Engineering Science Reference, 2019. ISBN 978-1-5225-9168-9.  
SRIVATSAN, S Tirumalai a SUDARSHAN, S Tangali. *Additive manufacturing: innovations, advances, and applications*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 978-1-4987-1477-8.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**  
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Datum zadání diplomové práce: **5. února 2024**  
Termín odevzdání diplomové práce: **19. dubna 2024**

L.S.

---

**prof. Ing. David Tuček, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. Ing. David Tuček, Ph.D.**  
garant studijního programu

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

### Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na elektronickém nosiči v příruční knihovně Fakulty managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

1. že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
2. že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

Jméno a příjmení: .....

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá projektem výroby nedostupného náhradního dílu za využití 3D skenování a aditivních technologií Selective Laser Sintering a Multi Jet Fusion. V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny teoretické poznatky o průmyslu 4.0, oboru aditivní výroby, práškových materiálech a oblastí, kde je v současnosti aditivní výroba nejvíce využívána. V praktické části diplomové práce je provedena analýza globálního a českého trhu aditivní výroby a následně zpracován projekt výroby náhradního dílu ve dvou vzorcích se zaměřením na analýzu výrobní přesnosti a určení vhodnější technologie pro potenciální sériovou výrobu. Po ukončení projektu došlo k jeho vyhodnocení a navrhla se doporučení pro budoucí aplikace.

Klíčová slova: Aditivní Výroba, Powder Bed Fusion, Selective Laser Sintering, Multi Jet Fusion, Industry 4.0., 3D Skenování, Reverzní Inženýrství

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the project of manufacturing an unavailable spare part using 3D scanning and additive technologies Selective Laser Sintering and Multi Jet Fusion. The theoretical part of the thesis presents theoretical knowledge about Industry 4.0, the field of additive manufacturing, powder materials and the areas where additive manufacturing is currently most used. In the practical part of the thesis, an analysis of the global and Czech market of additive manufacturing is made and then the project for the production of two samples of spare parts is developed with a focus on the analysis of production accuracy and the determination of the most suitable technology for potential mass production. After the project was completed, it was evaluated and recommendations for future applications were proposed.

Keywords: Additive Manufacturing, Powder Bed Fusion, Selective Laser Sintering, Multi Jet Fusion, Industry 4.0., 3D Scanning, Reverse Engineering

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za vedení diplomové práce a odborné a praktické rady pro použití v praxi.

Současně bych rád poděkoval vedení vybrané společnosti za možnost realizace diplomové práce a také za jejich ochotu a profesionální přístup k realizovanému projektu.

V závěru bych chtěl poděkovat rodině, přátelům a kolegům, kteří mě podporovali během studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

*„Svět patří těm, co se neposerou.“*

*- Charles Bukowski*

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 PRŮMYSL 4.0.</b> .....	<b>13</b>
1.1 KONCEPCE CHYTRÉ TOVÁRNY .....	13
1.2 ZÁKLADNÍ PILÍŘE PRŮMYSLU 4.0.....	14
1.3 PRŮMYSL 4.0. V ČESKÉ REPUBLICE .....	17
1.4 POSUZOVÁNÍ PODNIKŮ VZHLEDEM K PRŮMYSLU 4.0. ....	17
<b>2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>19</b>
2.1 ZÁKLADNÍ SMĚRY ADITIVNÍ VÝROBY .....	19
2.3 VYBRANÉ ADITIVNÍ TECHNOLOGIE POWDER BED FUSION.....	21
2.3.1 Selective Laser Sintering (SLS) .....	21
2.3.2 Multi Jet Fusion (MJF).....	22
2.4 ROZDÍLY TECHNOLOGIÍ SLS A MJF .....	23
2.5 MOŽNOSTI POST-PROCESSINGU ADITIVNĚ VYROBENÝCH PLASTOVÝCH DÍLŮ .....	24
2.5.1 Abrazivní tryskání .....	24
2.5.2 Chemické vyhlazení .....	24
2.5.3 Technologie obrábění.....	24
2.5.4 Barvení máčením .....	25
2.5.5 Mokrý lakování .....	25
2.5.6 Vakuové pokovení .....	25
<b>3 VYBRANÉ OBLASTI VYUŽITÍ ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ</b> .....	<b>26</b>
3.1 AUTOMOTIVE .....	26
3.2 AEROSPACE/SPACE .....	26
3.3 ZDRAVOTNICTVÍ.....	27
3.4 SPORTOVNÍ VYBAVENÍ .....	27
<b>4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ ADITIVNÍMI TECHNOLOGIEMI SELECTIVE LASER SINTERING A MULTI JET FUSION</b> .....	<b>28</b>
4.1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIÍ SELECTIVE LASER SINTERING.....	29
4.2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIÍ MULTI JET FUSION.....	30
<b>5 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ POUŽÍVANÝCH V ADITIVNÍ VÝROBĚ</b> .....	<b>31</b>
5.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	31
5.1.1 Pevnost v tahu .....	31
5.1.2 Modul pružnosti .....	31
5.1.3 Prodloužení při přetržení.....	32
5.1.4 Tvrdost Shore .....	32

5.2	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ .....	32
<b>6</b>	<b>3D SKENOVÁNÍ A REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ .....</b>	<b>34</b>
6.1	METODY 3D SKENOVÁNÍ.....	34
6.1.1	Laserové 3D skenování .....	34
6.1.3	Skenování pomocí strukturovaného světla.....	35
6.2	REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ.....	35
<b>7</b>	<b>METODY PROJEKTOVÉHO MANAGEMENTU .....</b>	<b>37</b>
7.1	METODA DMAIC .....	37
7.2	METODA SMART .....	38
7.3	METODA RIPRAN .....	38
<b>8</b>	<b>SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>40</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b>GLOBÁLNÍ TRH ADITIVNÍ VÝROBY.....</b>	<b>42</b>
9.1	VYBRANÉ SPOLEČNOSTI PŮSOBÍCÍ NA GLOBÁLNÍM TRHU ADITIVNÍ VÝROBY .....	43
<b>10</b>	<b>SITUACE NA ČESKÉM TRHU.....</b>	<b>47</b>
10.1	POŽADAVKY A TRENDY NA TRHU AM .....	50
10.2	VYBRANÉ SPOLEČNOSTI PŮSOBÍCÍ NA ČESKÉM TRHU ADITIVNÍ VÝROBY .....	51
<b>11</b>	<b>PŘEHLED 3D VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ VÝROBCŮ EOS A HP .....</b>	<b>55</b>
11.1	3D TISKÁRNY SPOLEČNOSTI EOS GMBH .....	55
11.2	3D TISKÁRNY SPOLEČNOSTI HP DEVELOPMENT COMPANY, L.P.....	56
<b>12</b>	<b>PŘEDSTAVENÍ VYBRANÉ SPOLEČNOSTI .....</b>	<b>58</b>
12.1	VÝROBNÍ PORTFOLIO.....	59
<b>13</b>	<b>SHRnutí ANALÝZ.....</b>	<b>60</b>
<b>14</b>	<b>PROJEKT VÝROBY NÁHRADNÍHO DÍLU S VYUŽITÍM 3D SKENOVÁNÍ A ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ.....</b>	<b>61</b>
14.1	ZADÁNÍ PROJEKTU.....	61
14.2	PŘEDSTAVENÍ VYRÁBĚNÉHO DÍLU A POUŽITÉHO MATERIÁLU.....	62
14.3	PLÁN PROJEKTU POMOCÍ METOD PROJEKTOVÉHO MANAGEMENTU .....	63
<b>15</b>	<b>3D SKENOVÁNÍ A ÚPRAVA DAT.....</b>	<b>67</b>
15.1	PŘÍPRAVA PRO 3D SKENOVÁNÍ.....	67
15.2	SKENOVÁNÍ ORIGINÁLNÍHO DÍLU.....	67
15.3	ÚPRAVA DAT .....	69
<b>16</b>	<b>3D TISK NÁHRADNÍHO DÍLU .....</b>	<b>70</b>
16.1	VÝROBA DÍLŮ.....	70
16.2	POST-PROCESSING DÍLŮ.....	71
16.3	SHRnutí VÝROBY NÁHRADNÍCH DÍLŮ .....	74



<b>17</b>	<b>TECHNOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU</b> .....	<b>76</b>
17.1	POROVNÁNÍ PŘESNOSTI VÝROBY .....	76
17.2	SROVNÁNÍ RYCHLOSTI VÝROBY .....	80
17.3	POROVNÁNÍ POTENCIÁLNÍ VÝROBNÍ KAPACITY .....	82
<b>18</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU</b> .....	<b>84</b>
18.1	VÝVOJ PRODEJNÍCH CEN NÁHRADNÍCH DÍLŮ PODLE VYROBENÉHO MNOŽSTVÍ .....	84
<b>20</b>	<b>NAVRHOVANÉ DOPORUČENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>87</b>
20.1	DOPORUČENÍ PRO VYBRANOU SPOLEČNOST .....	87
20.2	DOPORUČENÍ PRO ZÁKAZNÍKY .....	87
<b>21</b>	<b>SHRNUTÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>88</b>
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>90</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH INTERNETOVÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>95</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>101</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>103</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>104</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>105</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>106</b>

## ÚVOD

Technologie 3D tisku neboli aditivní výroby jsou v současnosti stále více oblíbenými mezi výrobními podniky i širokou veřejností. Společnosti z různých průmyslových odvětví využívají nekonvenční způsoby výroby pro rychlou výrobu prototypů i funkčních finálních dílů. Díky tomu jsou schopny efektivně alokovat finanční prostředky ve svých provozech.

Aditivní výroba představuje moderní přístup, který nabízí výhody jako je například schopnost vytvářet složité tvary dílů i celých součástí s nízkou úrovní odpadu materiálu, které by konvenčními způsoby výroby byly buďto velmi obtížné vyrobit, nebo by jejich výroba byla konvenčními způsoby nereálná.

Zavedením aditivních technologií mohou společnosti udržet svoji konkurenceschopnost a zároveň snížit svůj dopad na životní prostředí, protože během výroby se dosahuje výrazně menší odpadovosti než u konvenčních technologií. Firmy také mohou snížit své provozní náklady a zvýšit tak efektivitu díky tomu, že tyto technologie šetří čas potřebný k výrobě produktů.

Pomocí průmyslových tiskáren je dnes možné relativně snadno vyrábět z polymerních i kovových materiálů a takto vyrobené produkty nachází uplatnění v širokém spektru průmyslových odvětví, mezi které patří automobilní průmysl, obranný průmysl, letectví a kosmonautika ale také zdravotnictví.

Hlavním cílem diplomové práce je výroba náhradního dílu, který v současnosti nelze zakoupit. Pro úspěšnou realizaci projektu a splnění tohoto cíle, bude nutné naskenovat originální díl. Ten má však v sobě prasklinu, tudíž se budou muset 3D data opravit a celkově připravit do formátu STL či STEP, aby se náhradní díl mohl vyrobit. Náhradní díl bude vyroben ve dvou vzorcích, jeden pomocí technologie Selective Laser Sintering a druhý pomocí technologie Multi Jet Fusion. Tyto metody budou v diplomové práci podrobněji představeny a následně porovnány z hlediska použitelnosti v sériové výrobě. Výrobky vytažené rovnou z průmyslové 3D tiskárny mají zrnitý povrch. Pro dosažení potřebných výsledků a hladkého povrchu se budou muset využít technologie post-processingu. Vzorky náhradního dílu budou dále uvedeny jako náhradní díly.

Struktura diplomové práce bude představena v další kapitole.

## CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Diplomová práce je zaměřena na využití nedestruktivních metod 3D optické digitalizace, reverzního inženýrství a aditivních technologií pro produkci náhradního dílu do starého automobilu, ke kterému zákazník nemá k dispozici technickou dokumentaci a ani 3D model. Společně s výrobou náhradních dílů bude pomocí 3D optické digitalizace vysoce přesným průmyslovým skenerem Zeiss GOM Atos 5 ověřena výrobní přesnost odpovídající normě ISO 2768c.

Hlavním cílem projektu bude:

- Vyrobit náhradní díl, který v současnosti není na trhu dostupný, pomocí aditivních technologií SLS a MJF.

Vedlejší cíle projektu byly stanoveny následovně:

- Vytvořit 3D model náhradního dílu pomocí 3D skenování a reverzního inženýrství.
- Určit, která aditivní technologie je pro sériovou výrobu dílů s podobnou geometrií vhodnější.

V rámci teoretické části diplomové práce budou pro vytvoření literární rešerše získány poznatky z odborných publikací a webových stránek společností působících ve strojírenském nebo aditivním průmyslu.

Data v analytické části budou sbírána prostřednictvím zkoumání zveřejněných statistik Českého statistického úřadu a výzkumů trhu zahraničními subjekty. Informace o aktuálně nabízených 3D výrobních zařízeních a aditivních materiálech budou získány z poznatků a elektronických dokumentů dostupných na webových stránkách výrobců.

Na základě zjištěných dat z výrobního procesu realizovaného projektu budou v závěru diplomové práce provedeny propočty časové náročnosti více kusů náhradních dílů a bude tak definována vhodnější technologie pro sériovou výrobu vyráběných náhradních dílů nebo dílů s podobnou geometrií.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PRŮMYSL 4.0.

Kaminský (2016) uvádí, že koncept Průmyslu 4.0 vychází z dokumentu, který byl představen na veletrhu v Hannoveru v roce 2013. Na základě něj měly vzniknout „chytré továrny“, které budou využívat kyberneticko-fyzikální systémy. Cílem je převzít jednoduché a repetitivní činnosti, které do té doby vykonávali lidé.

Hospodářské noviny ve svém článku z roku 2015 také zmiňují, že se u Průmyslu 4.0 počítá s metodami prostorového vnímání, autokonfigurace a autodiagnostiky, a s počítačovým spojením strojů a dílů. (Korbel, 2015)

Podle Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky (2016, s.25) je obecná charakteristika konceptu taková, že Průmysl 4.0 transformuje výrobu ze samostatných automatizovaných jednotek na plně integrovaná automatizovaná a průběžně optimalizovaná výrobní prostředí. Vznikají nové globální sítě založené na propojení výrobních zařízení do kyber-fyzikálních systémů (Cyber-Physical Systems – CPS).

### 1.1 Koncepce chytré továrny

Technický pokrok mění způsob, jakým lidé vyrábějí věci. Krok k výrobní technologii, která je zcela odlišná od té minulé, se nazývá průmyslová revoluce. Nové výrobní technologie zásadně změnily pracovní podmínky a životní styl lidí. (Desoutter, 2023)

V celém spektru průmyslových podniků usilujeme o chytrá tovární řešení a aplikace pro pracoviště, které mají za úkol nahradit rutinní lidské činnosti prostřednictvím inteligentních strojů. (Chromjaková et al., 2021, s.23)

Chytré továrny otevírají prostor pro nové kreativní cesty tvorby přidané hodnoty a vzniku obchodních modelů. Dochází k principiální redefinici vazeb mezi zákazníky, výrobcí a dodavateli, stejně tak i ke změně způsobu komunikace mezi člověkem a strojem. (MPO, 2016a, s.26).

Pro plné rozvinutí konceptu chytré továrny je potřeba se zabývat základními prvky Průmyslu 4.0, Michl a kolektiv (2018) je nazývají jako „9 pilířů pokroku“, ostatní autoři jich často uvádějí i více.

## 1.2 Základní pilíře průmyslu 4.0.

Pro plné rozvinutí konceptu chytré továrny je potřeba se zabývat základními prvky Průmyslu 4.0, Michl a kolektiv (2018) je nazývají jako „9 pilířů pokroku“, ostatní autoři jich často uvádějí i více.

### 1.1.1 Umělá inteligence

„Umělá inteligence je věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který – kdyby ho dělal člověk – bychom považovali za projev jeho inteligence.“ (Lažanský et al., 2000)

Kvasnička a kolektiv (2009) uvádí, že výzkum a vývoj umělé inteligence se zaměřuje na to, aby stroje byly schopny myslet jako lidé. Soustředěn je tak na několik aspektů inteligence, kterými jsou: učení, usuzování, schopnost řešit problémy a použití přirozeného jazyka. Učení se ve velké míře dotýká paměť, bez které by bylo zcela neefektivní.

### 1.1.2 Simulace

Simulace se v současné době používá k návrhu vyráběných komponent.

V Průmyslu 4.0 se používá k simulaci virtuálního prostředí samotné továrny s daty v reálném čase a k analýze produktivity před provedením změny v továrně. To pomáhá inženýrům mnohem lépe vizualizovat návrh, což jim následně usnadňuje identifikaci problémů a překážek v rané fázi. (Roche, 2019)

### 1.1.3 Horizontální a vertikální systémová integrace

Gold-Bernstein & Ruh (2005) definují vertikální integraci jako proces, který spojuje jednotlivé podsystémy dle jejich funkcí. Velká výhoda této metody tkví v rychlosti realizace a také v zahrnutí pouze nezbytných dodavatelů. S tím se pojí i výrazná finanční nenáročnost v krátkém časovém horizontu. Pokud danou metodu porovnáme s druhým přístupem, vyskytuje se zde nevýhoda vyšších nákladů v případě potřeby úprav systému.

Horizontální integrace je oproti tomu v případě nutnosti změn více flexibilní, a tím pádem i méně nákladná. Zakládá se na přítomnosti odděleného subsystému, který zajišťuje vzájemnou komunikaci mezi zbylými subsystémy. Díky tomu je možné omezit počet spojení, protože je vždy jen jedno – mezi běžným subsystémem a odděleným subsystémem vyhrazeným na komunikaci. Z tohoto důvodu je značně jednoduché provedení výměny stávajícího subsystému jiným, a navíc je tento proces výrazně méně nákladný. (Gold-Bernstein et al., 2005)

#### 1.1.4 Internet věcí (IoT)

Jedná se o dynamickou globální síťovou infrastrukturu, která je schopna se sama konfigurovat. Internet věcí je založen na standardních a interoperabilních komunikačních protokolech, kde fyzické a virtuální věci mají identity, fyzické atributy a virtuální rozhraní, a jsou součástí informační sítě. (Vermesan et al., 2014)

#### 1.1.5 Kybernetická bezpečnost

Kybernetická bezpečnost (digitální zabezpečení) se zabývá způsobem, jakým lze chránit naše digitální informace, zařízení a aktiva. Zahrnuje osobní údaje, účty, soubory, fotky i peníze. (Microsoft, 2023)

Česká republika a Evropská unie se snaží přicházet s novými a efektivními řešeními a díky koordinaci a spolupráci na mezinárodní úrovni dokáží reflektovat novou realitu v podobě dobře fungujících politik. Jelikož jde o velice rychle se vyvíjející obor, můžeme očekávat příchod zcela nových a přelomových technologií, jako například kvantové počítače nebo umělá inteligence, jež podstatně ovlivní používanou kryptografii i další oblasti. (Vláda ČR, 2021)

#### 1.1.6 Cloudová úložiště

Cloud je vzdálený systém, ke kterému lze přistupovat odkudkoli prostřednictvím internetu. V současné době je k dispozici mnoho cloudových služeb, z nichž významné jsou IaaS, PaaS a SaaS. Komunikace mezi samotnými stroji a mezi stroji a lidmi je obrovsky podporována cloudovými službami. (Roche, 2019)

Na různých místech výroby mohou být umístěny senzory, které jsou následně propojené s cloudovou službou dostupnou komukoli s přihlašovacími údaji. Zaměstnanci k nim mohou přistupovat a podle potřeby provádět požadované akce. To by mohlo vést i ke zvýšení spokojenosti zákazníků, kteří by si mohli prohlédnout údaje o svém vyráběném produktu v reálném čase, pokud nedojde ke zpoždění kvůli technickým závadám. (Roche, 2019)

#### 1.1.7 Aditivní výroba (Additive Manufacturing)

ASTM International Committee definuje aditivní výrobu jako proces spojování materiálu dle 3D digitálních dat, nejčastěji vrstvu po vrstvě. (ASTM International, c2024)

Systém práce se vstupními daty umožňuje multioborové využití na úrovni jak prototypové výroby, tak uživatelsky přizpůsobených (customizovaných) dílů a finálních produktů. Technologie umožňuje vyrábět tvarově složité výrobky, často nevyrobitelné konvečními

metodami výroby, které mohou kombinovat více funkcí nebo nahrazovat celé sestavy jediným dílem. Z hlediska obsluhy nevyžadují AM technologie vysokou časovou dotaci na přípravu výroby, příprava dat je poloautomatická a samotná výroba je v podstatě autonomní. Současné AM výrobní systémy jsou již napojeny na internet a začínají vytvářet tzv. Internet of Things. (ASTM International, c2024)

### 1.1.8 Big Data

Big Data - „velký datový objem“ – jsou tak velké objemy dat, jež není možno přijmout, uložit, zabezpečit a zpracovat, či vizualizovat běžnými hardwarovými a softwarovými prostředky. Ve většině případů se jedná o data různorodá neboli numerická, textová, grafická, obrazová, data o geografické poloze, data z různých 21 webů atd. (Veber, 2016)

Analýza dat, kdysi aplikace IT, nyní proniká do výroby a dodavatelského řetězce. Sílu datové analýzy a rozpoznávání vzorů lze využít ve výrobním průmyslu ke snížení prostojů a ztrát. (Veber, 2016)

Data lze shromažďovat na různých úrovních výrobního procesu. Pokud se zjistí, že určitá šarže sériové výroby je vadná, je možné získat výrobní data, komplexně je vyhodnotit a dospět k určitému vzoru. Proces zahrnující tyto vzory lze přepracovat a přehodnotit, aby se snížilo plýtvání a zvýšila produktivita. Na základě shromážděných údajů lze provádět prediktivní údržbu. To je nákladově efektivnější a bezpečnější než konvenční metoda rutinní údržby. (Roche, 2019)

### 1.1.9 Rozšířená realita

Rozšířená realita (AR) je variantou virtuálního prostředí (VE) nebo virtuální reality (VR), jak se jí říká častěji. Technologie virtuální reality zcela ponoří uživatele do syntetického prostředí a uživatel během ponoření nevidí reálný svět kolem sebe. Naproti tomu rozšířená realita (Augmented Reality) přebírá digitální nebo počítačem generované informace, ať už jde o obrázky, zvuk, video a dotykové nebo haptické vjemy, a překrývá je v reálném čase. Technicky lze rozšířenou realitu použít k posílení všech pěti smyslů, ale její nejčastější současné využití je vizuální. Na rozdíl od virtuální reality umožňuje rozšířená realita uživateli vidět reálný svět, přičemž virtuální objekty jsou na reálný svět překryty nebo s ním složeny. Rozšířenou realitu si lze představit jako směs neboli "střední cestu" mezi zcela syntetickým a zcela reálným světem. (Kipper, a další, 2013)

Jedním z nejjednodušších příkladů je náhlavní displej neboli HUD, který používají piloti stíhacích letounů. Je pravděpodobné, že jsme všichni viděli příklady HUD ve filmech nebo



televizních dokumentech. HUD poskytuje pilotovi digitální překryv, který při pohledu z okna kokpitu zobrazuje umělý horizont, digitální výšku, digitální rychlost a další informace. Dalším příkladem, který se objevil v posledních několika letech, je umělá čára při fotbale, která pomáhá fotbalovým divákům sledujícím zápas v televizi zjistit, zda se hráč nacházel v offside nebo ne. (Kipper et al., 2013)

### **1.3 Průmysl 4.0. v České republice**

Dne 24. srpna 2016 schválila vláda České republiky Iniciativu Průmysl 4.0, kterou zpracovalo Ministerstvo průmyslu a obchodu. Dlouhodobým cílem Iniciativy je udržení a posílení konkurenceschopnosti ČR při nástupu čtvrté průmyslové revoluce. (MPO, 2016b)

Digitalizace ekonomiky probíhá v různých odvětvích. Za zmínku stojí oblasti jako je elektronika, elektrotechnika, konstrukce a výroba strojů a zařízení, automobilový průmysl, energetika, chemie a farmacie, hutnictví a ocelářství, informační technologie, telekomunikace, radiokomunikace, průmyslová automatizace, finanční služby, marketing a reklamní činnosti, bankovníctví, obchodní činnosti, životní prostředí, zdravotnictví atd. (MPO, 2016b)

Iniciativa Průmysl 4.0 ukazuje směry vývoje a opatření, která by měla podpořit a připravit celou společnost na absorbování změn v rámci čtvrté průmyslové revoluce. Jsou rovněž definována opatření na podporu investic, aplikovaného výzkumu a standardizace, kybernetické bezpečnosti, logistiky a legislativy. (MPO, 2016b)

### **1.4 Posuzování podniků vzhledem k Průmyslu 4.0.**

Podle Ministerstva průmyslu a obchodu (2016a, s.34) vychází české chápání a přístup k Průmyslu 4.0 z předpokladu digitalizace ekonomiky a průmyslu. Ministerstvo definuje 5 úrovní digitální zralosti firem. Každá z těchto 5 úrovní digitální zralosti firem bude níže představena.

#### **1.4.1 Pasivní internetová přítomnost firmy**

Firma nemá definovanou digitální strategii, začíná teprve uvažovat o digitalizaci procesů, výroby atd. Základní ekonomický software jí umožňuje komunikovat s některými státními institucemi. (MPO, 2016a, s.34)

#### **1.4.2 Interaktivní webová přítomnost firmy**

Firma je softwarově řízená, začíná chápat význam dat. Zapojuje se do informačních toků dodavatelsko-odběratelských řetězců. Začínají vznikat první projekty integrace a dílčí automatizace. (MPO, 2016a, s.34)

#### **1.4.3 Vícekanálová přítomnost firmy**

Firma již má definovanou digitální strategii. Využívají se webové služby, sociální sítě, chytrá zařízení (mobilní telefony a tablety) apod. Firma má integrovanou automatizaci řízenou v reálném čase (MES). (MPO, 2016a, s.34)

#### **1.4.4 Integrovaná multikanálová přítomnost firmy**

Firma disponuje distribuovanou a personalizovanou digitální strategií. Využívají se digitální diagnostiky pro predikování poruch a neshod v systémech řízení výroby či měřících systémech. (MPO, 2016a, s.34)

#### **1.4.5 Firma jako digitalizační platforma**

Ve firmě jsou plně integrovány digitální strategie a digitalizace procesů. Digitalizační služby jsou poskytovány partnerům a subdodavatelům – firma globálně řídí produkční doménový prostor. Prostřednictvím nejnovějších efektivních přístupů (plná automatizace, aditivní výroba) se vyvíjí kyber-fyzický systém, který je schopen individualizované realizace případné fyzické části produktu. (MPO, 2016a, s.34)

## 2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

Aditivní výroba (AM) je charakterizována jako automatizovaný proces výroby trojrozměrných fyzických objektů v odpovídajícím měřítku přímo z 3D CAD dat (počítačem řízený design). Tento proces je založen na principu výroby po jednotlivých vrstvách a nevyžaduje žádné nástroje závislé na dílu, např. frézovací nebo vrtací zařízení. (Gebhardt et al., 2019, s.2)

Na rozdíl od konvenčních výrobních technik, jako je obrábění a lisování, které mají tendenci vyrábět výrobky odebráním materiálu ze základního tvaru či plechu, technikou aditivní výroby vznikají finální tvary přidáváním materiálu. AM umožňuje efektivní využití dostupné suroviny a produkuje minimální odpad. Současně nabízí uspokojivou přesnost geometrie hotových dílů. (Srivatsan a Sudarshan, 2016, s. 2)

Srivatsan a Sudarshan (2016, s.4) definují tři základní kroky AM technologie:

1. Počítačový trojrozměrný (3D) model tělesa je vytvořen a převeden do standardního formátu souboru AM, jako je Standard Tessellation Language (standardní teselovací jazyk – STL) nebo další.
2. Soubor se poté odešle do zařízení pro aditivní výrobu, kde se s ním dále manipuluje, přičemž se změní poloha i orientace dílů nebo se změní měřítko dílu.
3. Po úpravách je díl na aditivním stroji vyroben vrstvu po vrstvě.

### 2.1 Základní směry aditivní výroby

Gebhardt a Hötter (2016, s.7-11) uvádí dva základní směry aditivní výroby – Rapid Prototyping a Rapid Manufacturing.

#### 2.1.1 Rapid Prototyping

Rapid Prototyping = rychlá výroba prototypů je aplikace technologie AM sloužící k výrobě prototypů, modelů a maket, které jsou fyzickými součástmi, ale ne výrobky. Napodobují pouze izolované vlastnosti pro testování vybraných schopností výrobku, a tím zlepšují urychlování procesu vývoje výrobku. Cílem je předem naplánovat díl tak, aby byl co nejjednodušší a bylo možné jej získat rychle a levně. Proto se díly pro rychlé prototypování zpravidla nemohou používat jako finální výrobky. (Gebhardt a Hötter, 2016, s.7)

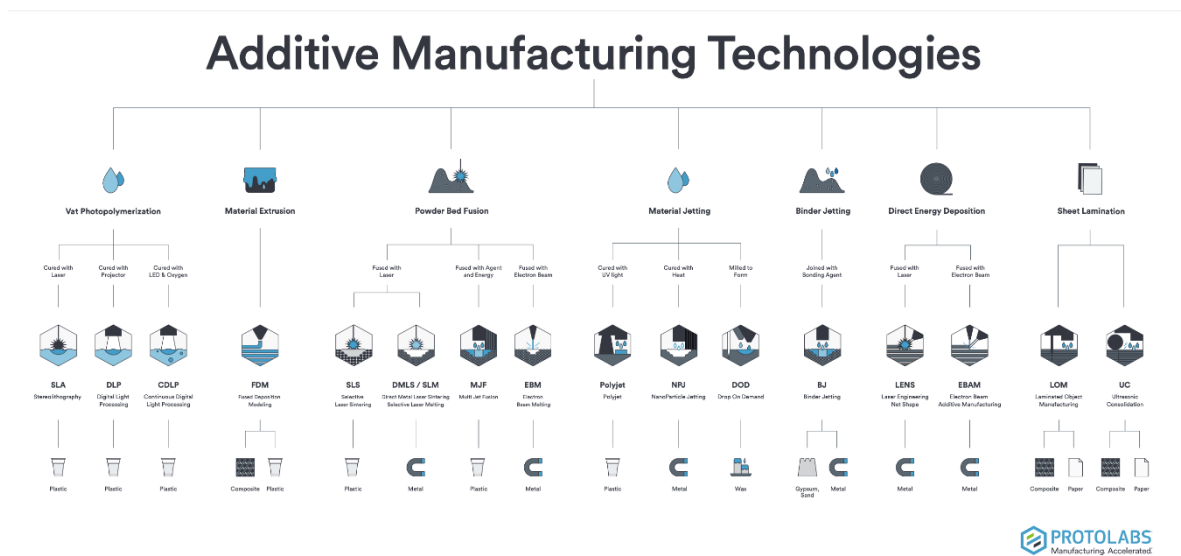
### 2.1.2 Rapid Manufacturing

Rapid Manufacturing označuje použití technologie AM pro výrobu finálních dílů nebo výrobků, často nazývaných sériové výrobky, a to i v případě, že se jedná o jednorázové kusy. Tyto díly mohou být kladné, jako jsou konektory, tak i záporné – dutiny. Výroba pozitivů nebo dílů se nazývá Direct Manufacturing a aditivní výroba negativů nebo dutin, jako jsou nástroje a nástrojové vložky, se nazývá Direct Tooling. (Gebhardt a Hötter, 2016, s.9)

## 2.2 Přehled aditivních technologií

Protolabs Network (2024) uvádí, že International Organization for Standardization (česky Mezinárodní organizace pro standardizaci) vytvořila normu ISO/ASTM 52900:2015 (v době psaní diplomové práce již aktualizovaná verze ISO/ASTM 52900:2021), ve které jsou definovány obecné zásady a terminologie aditivní výroby. Normu je možné zakoupit na portálu iso.org.

Na základě poznatků z normy Protolabs Network vytvořili grafický přehled aditivních technologií.



Obrázek 1 - Přehled aditivních technologií (Protolabs Network, 2024)

Protolabs Network (2024) vysvětluje jednotlivé typy 3D tisku následovně:

1. Vat Polymerization: kapalným fotopolymer je vytvrzován světlem.
2. Material Extrusion: roztavený termoplast je nanášen přes vyhřívanou trysku.
3. Powder Bed Fusion: práškové částice jsou roztaveny vysokoenergetickým zdrojem.
4. Material Jetting: kapky kapalného fotosenzitivního tavidla jsou nanášeny na práškové lože a vytvrzeny světlem.
5. Binder Jetting: kapky kapalného pojiva jsou ukládány na lože z granulovaných materiálů, které jsou později spečeny dohromady.
6. Direct Energy Deposition: roztavený kov se současně nanášen a taven.
7. Sheet Lamination: jednotlivé archy materiálu jsou řezány do tvaru a laminovány dohromady.

### 2.3 Vybrané aditivní technologie Powder Bed Fusion

U procesu Powder Bed Fusion laserový paprsek kontrolovanou rychlostí skenuje vybraná místa v práškovém loži a spojí prášek s pevným materiálem pod ním buď úplným nebo částečným tavením. Lože prášku se sníží o definovanou tloušťku vrstvy a po ukončení laserového záření v jedné vrstvě se spustí a vyrovná nová vrstva prášku. Proces se opakuje, dokud není díl zcela zhotoven. Dráha laserového skenování v každé vrstvě je definována geometrií dílu v příslušném místě za zvolenou strategií skenování. Proces probíhá v inertní atmosféře (dusík, argon), aby se zabránilo oxidaci. (Brandt, 2016, s. 54-56)

Na základě popisu procesu je důležité dosáhnout homogenní tloušťky prášku v každé vrstvě, aby bylo možné kontrolovat kvalitu dílu sestaveného pomocí laserového svazku v práškovém loži. (Brandt, 2016, s. 54-56)

#### 2.3.1 Selective Laser Sintering (SLS)

Technologie Selective Laser Sintering (zkr. SLS) byla komercializována Carlem Deckardem v 80. letech 20. století. (Killi, 2017, s. 55)

Podle Srivatsana a Sudarshana (2016, s. 14) technologie SLS využívá vysoce výkonný laser ke spojení malých částic stavebního materiálu.

Při přípravě výrobního procesu se velké množství materiálu naplní do dvou oddělených vstupních komor, jedné na každé straně výrobního lože. Sestavovací komora SLS se poté

naplní vzduchem bohatým na dusík a zahřeje se na teplotu přibližně 170 °C (v závislosti na materiálu), zatímco základ materiálu, obvykle polyamidu, je rozprostřen podávacím mechanismem (zatímco společnost 3D Systems používá váleček, společnost EOS kvůli patentovým sporům používá stěrač (angl. Recoater), který přivádí materiál z podávacích komor při každém obtoku. Výrobní lože se udržuje těsně pod teplotou tání materiálu, než zvýšení teploty o 12 °C způsobené procházejícím laserem spéká prášek materiálu dohromady. Nové vrstvy materiálu jsou přiváděny přes sebe a opakovaně spojovány. Proces sestavování v závislosti na zatížení vyrobí přibližně 15 mm materiálu za hodinu. (Killi, 2017, s. 55-56)

Po skončení procesu výroby se celá sestava zchladí na teplotu pod 70 °C, načež se výrobní dávka vynese do čisticí stanice. Vyrobené díly se poté otryskají abrazivem, aby se vyčistily od zbývajících prášku. (Killi, 2017, s. 56)

Po výrobě lze nespečený prášek vyčistit a recyklovat. Tento proces selektivního laserového sintrování nabízí svobodu vytvářet složité díly, které jsou často odolnější a poskytují lepší funkčnost ve srovnání s jinými existujícími a přednostně používanými aditivními výrobními procesy. Dále v tomto procesu není vyžadováno žádné následné vytvrzování (jako je běžné u technologie Stereolitografie – SLA) a doba výstavby je rychlá. (Srivatsan a Sudarshan, 2016, s. 14)

### 2.3.2 Multi Jet Fusion (MJF)

Technologie Multi Jet Fusion (zkr. MJF) byla na trhu představena společností HP Development Company v roce 2016 (Kauppila, 2023). Oproti technologii SLS je tak MJF velmi mladou technologií.

MJF využívá sadu tavicích prostředků, detailingových prostředků a energie (infračervené záření) k přesnému tavení tenkých vrstev prášku pro vytvoření komplikovaných dílů. (Kumar et al., 2019, s. 11)

HP Development Company (2018 s. 3) ve svém technickém listu uvádí jako klíčovou inovaci technologie vysokorychlostní synchronní architekturu, která vytváří díly vrstvu po vrstvě. Dva pojezdy (volně přeloženo z angl. Carriages) skenují pracovní plochu v kolmých směrech: jeden pojezd znovu pokrývá pracovní plochu čerstvým materiálem a druhý tiskne „funkční látky HP“ (angl. Fusing Agents) a spojuje vytištěné oblasti. Tím jsou odděleny procesy přelakování a tisku/spalování, takže každý proces lze samostatně optimalizovat z hlediska výkonu, spolehlivosti a produktivity.

V 3D tiskárně HP Jet Fusion se díl nebo sada dílů vytváří vrstvu po vrstvě na pracovní ploše uvnitř 3D stavební jednotky HP Jet Fusion. Po dokončení úlohy se sestavovací jednotka přemístí do stanice HP Jet Fusion Processing Station, kde dojde k ochlazení, vybalení dílů a recyklaci stavebního materiálu. Zatímco se tyto procesy dokončují, sestavovací jednotka může být vrácena zpět do tiskárny pro nepřetržitou výrobu. (HP Development Company, 2018, s. 3)

Chudík (2018), s odkazem na Daniela Adama, jednatele 3Dees Industries s.r.o., ve svém článku pro Hospodářské noviny uvádí, že MJF umožňuje tisknout ve stovkách kusů nebo rychle prototypovat. Jedná se o takzvanou digitální výrobu, kdy je potřeba vyrobit během krátké doby stovky nebo tisíce kusů. Při klasické metodě se plastové díly vyrábí za použití kovových forem. Ty jsou nákladné a firmy limitují i časově. Naproti tomu touto technologií lze rychle a efektivně zajistit předvýrobu nebo rychlejší inovace výrobků. Výhodou také je, že umožňuje okamžité změny.

## 2.4 Rozdíly technologií SLS a MJF

Weerg (2021) a Schwaar (2024) definují základní rozdíly mezi technologiemi Selective Laser Sintering a Multi Jet Fusion:

1. Zdroj tepla – zatímco SLS používá laser, MJF spojuje vrstvy dílů pomocí UV lampy a speciální chemické sloučeniny „Fusing Agent“. (Weerg, 2021)
2. Možnost recyklace výrobního prášku – Weerg (2021) uvádí, že prášek technologie SLS může být recyklován z 50 %. U technologie MJF je maximální poměr recyklace 80 %.
3. Rozlišení při tisku – podle Weerg (2021) je rozlišení při tisku SLS 0,762 mm, u MJF poté 0,508 mm.
4. Objem tisku – SLS dokáže vytisknout více do sebe vnořených dílů v jedné sérii s větší stavební plochou. Velké díly se mohou často deformovat, je to však větší problém pro technologii MJF než SLS. Při tisku technologií SLS je vhodné využít co největší objem sestaveného materiálu, protože lze recyklovat méně prášku. (Xometry, 2022)
5. Rychlost tisku – každý výrobce uvádí rozdílné rychlosti tisku. Rychlost také závisí na nastavení, zda zákazník požaduje prototyp nebo finální díl. (Schwaar, 2024)

6. Dostupné materiály – Schwaar (2024) uvádí základní materiály pro obě technologie Nylon PA12, Nylon PA11, TPU, PP a TPA. K jednotlivým materiálům následně existují různé varianty a kompozity.
7. Srovnání nákladů – náklady na tisk jsou dle pozorování Xometry (2022) při větším rozsahu podobné. MJF je však ve srovnání s technologií SLS levnější. MJF je konkurenceschopnější díky rychlejšímu procesu tisku vyšší recyklovatelnosti materiálu. Srovnání nákladů od Xometry je uvedeno v tabulce č. 1.

Tabulka 1 – Srovnání nákladů SLS a MJF (Xometry, 2022)

Vyrobené množství	Selective Laser Sintering	Multi Jet Fusion
1 ks	101,64 \$	45,13 \$
100 ks	40,93 \$	37,12 \$

## 2.5 Možnosti post-processingu aditivně vyrobených plastových dílů

V následující kapitole budou definovány vybrané metody post-processingu pro vyrobené díly pomocí aditivních technologií.

### 2.5.1 Abrazivní tryskání

Jedná se o základní povrchovou úpravu. Přebytný prášek z výroby se odebírá pomocí abrazivních částic z balotiny nebo keramickými kuličkami. Proces sjednotí povrch daného dílu a připraví na další opracování. (ONE3D s.r.o., 2022A)

### 2.5.2 Chemické vyhlazení

Chemické vyhlazení je dokončovací proces, při kterém je drsný povrch vytištěného dílu vystaven působení par rozpouštědel za kontrolovaných podmínek. Páry na povrchu dílu kondenzují, čímž se odstraní výstupky a prohlubně a zvýší se pevnost, estetika a voděodolnost. Výsledkem je hladký a profesionální vzhled. (AMT PostPro, 2024)

### 2.5.3 Technologie obrábění

Obrábění je technologický proces, kterým se vytváří povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebráním částic materiálu účinky mechanickými, elektrickými,



chemickými, případně jejich kombinací. Mezi obrábění patří soustružení, frézování, vrtání. (Humár, 2003, s. 5)

#### **2.5.4 Barvení máčením**

Barvení máčením, také označováno jako barvení ponorem, lakování ponorem, je ekonomická a ekologická metoda barvení dílů. Pomocí této technologie je možné probarvit výrobky v těžko dostupných strukturách a plochách. Barva, do které je produkt po důkladném očištění ponořen, pronikne během máčení do povrchu materiálu až do hloubky několika desetin milimetru. Následně jsou díly zbaveny zbytků barvy a vysušeny. (ONE3D s.r.o., 2022B)

#### **2.5.5 Mokrý lakování**

Mokrý lakování, nebo také lakování stříkáním je technika, při níž je nátěrový materiál protlačován tryskou za vzniku jemného aerosolu. Tento proces lze kombinovat s nosným plynem a elektrostatickým nabíjením, aby se zlepšil směr a kvalita nanášení aerosolového spreje. Může však být obtížné vytvořit hladký film, protože kapičky aerosolu se při dosažení povrchu dílu ne vždy vyrovnají. (Goodship et al., 2016, s.42)

#### **2.5.6 Vakuové pokovení**

Vakuové pokovení je zušlechťovací proces, během kterého je na povrch vstupního produktu nanášen kov. Mezi nejčastěji volené kovy patří hliník a využít lze i ostatní ryzí kovy, jako je chrom, titan, stříbro, zlato a další. Pro docílení vysoké adheze je povlakování realizováno opakovaně, a to v několika tenkých vrstvách. Zvýší se tak celková odolnost finálního produktu, změní se jeho funkční vlastnosti a získá atraktivní vzhled. (Pavličková, 2021)

### 3 VYBRANÉ OBLASTI VYUŽITÍ ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

Technologie průmyslového 3D tisku se vyvíjejí rychlým tempem, což vede k vývoji nových aditivních aplikací. Tyto nové procesy spolu s rostoucím počtem materiálů pro výrobu, jako je titan, ocel a řada plastů, umožňují širokou škálu průmyslových aplikací. Díky tomu je řada průmyslových odvětví schopna snížit náklady na vývoj a výrobu a současně zvýšit výrobu, inovace a zrychlit dobu uvedení na trh. Je také možné vyrábět nové struktury a tvary při současném snížení množství odpadu. Hnací silou tohoto rychlého růstu je schopnost aditivních technologií přejít od výroby prototypů k efektivní hromadné výrobě dílů, součástí a příslušenství. S pokrokem v technologiích AM ve spojení s rostoucím zaváděním aditivní výroby v různých průmyslových odvětvích je pravděpodobné, že se trh bude neustále rozšiřovat. (Profozich, 2021)

#### 3.1 Automotive

Využití AM v automobilové výrobě začalo používáním měkkých montážních nástrojů vyráběných metodou Fused Deposition Modeling (FDM) nebo Selective Laser Sintering (SLS). Tyto nástroje lze vyrábět na místě podle požadavků na montáž vozidla (tolerance, umístění nebo rozestupy mezi panely karoserie) a potřeb obsluhy/montážního procesu (ergonomie a zkrácení doby montáže). Procesy AM se objevily také v dodavatelském řetězci automobilového průmyslu a poskytují významné výhody při výrobě specializovaných nástrojů pro výrobu součástí vozidel. (Pou et al., 2021, s. 505)

Možnost volného tvarování, kterou AM nabízí, umožňuje navrhovat a vyrábět optimalizované automobilové komponenty, zaměřené na výkon vozidla. Automobilové soutěže, jako je Formule 1, WTC nebo např. NASCAR, začaly být její hlavní oblastí použití díky vyšším nárokům na aditivní výrobu. (Pou et al., 2021, s. 505)

#### 3.2 Aerospace/Space

Technologie AM se v leteckém a kosmickém průmyslu využívají již desítky let. Dvě největší společnosti v tomto odvětví: Boeing a Airbus využily techniky AM pro výrobu a opravy několika dílů. Například společnost Boeing vyrobila pomocí technologií AM až 20 000 dílů. Nedávné využití dílů vyrobených technologií AM ze slitiny titanu ušetřilo společnosti Boeing zhruba 2-3 miliony dolarů na jedno letadlo. Svůj podíl na AM vyrobených součástech, zejména kovových držácích a odvzdušňovacích trubkách, má i Airbus. Kromě toho kosmické agentury, jako jsou NASA a SpaceX, v současné době zkoumají

možnosti využití AM zapalovačů, vstřikovačů a spalovacích komor u svých raketových motorů. Materiály pro kosmický průmysl by měly být lehké s vysokou pevností, aby se snížily emise, ušetřilo palivo a dodržely bezpečnostní požadavky. Konstrukce součástí pro letectví a kosmonautiku tedy zahrnuje minimalizaci použitého materiálu, což vede ke zvýšení složitosti struktury, funkce a vlastností součástí. (Alami et al., 2023, s. 11)

### 3.3 Zdravotnictví

Aditivní výroba umožňuje 3D tisk zubních pomůcek a zařízení na míru každému jednotlivci, jako jsou zubní protézy a korunky. V současnosti má trh s 3D tiskem pro digitální stomatologii hodnotu 2,5 miliardy dolarů. Navíc se očekává, že bude jen růst. Aditivní výroba navíc umožňuje vyrábět zařízení, jako jsou naslouchadla, která lze sériově vyrábět tak, aby lépe padla a zajistila uživateli co největší pohodlí. (Profozich, 2021)

Například firma Invent Medical Group s.r.o. sídlící v Ostravě, využívá aditivní technologie k výrobě ortoptických a protetických pomůcek jako jsou kraniální helmy, ochranné masky na obličej nebo také vložky do bot. (Invent Medical Group, 2024)

### 3.4 Sportovní vybavení

3D tisk ve sportu se neomezuje pouze na několik málo izolovaných sportů. Naopak, od běžecké obuvi přes lyžařské boty, helmy až po sportovní automobily si najde něco téměř každý fanoušek i profesionál, který hledá lépe přizpůsobitelné vybavení. Například výrobce Wilson ve spolupráci se společnostmi EOS GmbH a DyeMansion vytvořil první použitelný prototyp 3D tištěného basketbalového míče. Nejvýraznějším rysem míče, vyrobeného pomocí technologie Selective Laser Sintering a následného vyhlazování, je bezpochyby šestihránná mřížková struktura, díky níž je skrz něj vidět. Přestože se uvnitř míče nedrží žádný vzduch, byl navržen tak, aby fungoval a působil co nejbližně skutečnému. Společnost Wilson uvedla, že chce pomocí technologie 3D tisku, jako je tato, posunout hranice možností a "změnit vnímání" výroby. Tento míč bez vzduchu má potenciál přinést do basketbalu i mimo něj větší dostupnost a možnosti. A co víc, byl dokonce podroben reálnému testu, protože se objevil na hřišti a použily ho hvězdy NBA během soutěže AT&T Slam Dunk Contest 2023. (Jamie D., 2023)

## 4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ ADITIVNÍMI TECHNOLOGIEMI SELECTIVE LASER SINTERING A MULTI JET FUSION

Výrobci materiálů, jako jsou EOS GmbH, HP Development Company, Stratasys a Materialise uvádí svá portfolia materiálů pro aditivní technologie. Nabízené materiály nabízí široké možnosti využití. Firmám umožňují vytvářet komplexní, funkční díly pro různé aplikace v průmyslových odvětvích, medicíně anebo také v umění. Volba materiálu je závislá na konkrétních požadavcích aplikace, mezi které patří mechanické vlastnosti, odolnost vůči vlivům prostředí, teplotní stabilita či estetické vlastnosti. (EOS GmbH, 2023; Stratasys, 2024; Materialise, 2024 a HP Development Company, 2024)

Vojtěch (2010, s. 73-74) rozděluje polymerní materiály do tří hlavních skupin:

1. Termoplasty – polymerní materiály, které za zvýšených teplot měknou a přecházejí do plastického stavu a za těchto podmínek je lze tvářet. Do skupiny termoplastů patří například polyamidy, polyethylen, polypropylen, polystyren.
2. Reaktoplasty (termosety, pryskyřice) – chovají se odlišně. Při zahřátí materiálu dojde k jeho vytvrzení, což je nevratná změna struktury (zesíťování). Výsledkem je tuhý a tvrdý materiál, který při opětovném zahřátí neměkne a ani se netaví. Patří sem například epoxidové pryskyřice.
3. Elastomery (kaučuky) – jsou materiály schopné velké deformace při mechanickém zatížení. Tato deformace je elastická (pružná), takže se po odlehčení materiál vrací do původního tvaru. Zástupcem skupiny elastomerů je například isoprenový kaučuk.

Jednou z hlavních skupin polymerů používaných v aditivní výrobě jsou polyamidy (EOS GmbH, 2023 a HP Development Company, 2024). Vojtěch (2010, s. 80) je definuje jako pevné a tvrdé materiály, s dobrou odolností proti otěru i proti rázu. Polyamidy odolávají účinkům organických látek (olejů, pohonných hmot či rozpouštědel).

Další rozšířenou skupinou jsou kompozity. Dle Vojtěcha (2010, s. 87-88) se jedná o heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Pro kompozity je charakteristický synergismus – vlastnosti kompozitu jsou lepší, než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek. Synergismus je velmi významný, vede k získávání materiálů s novými vlastnostmi.

#### 4.1 Materiály používané technologií Selective Laser Sintering

EOS GmbH (2023) nabízí velké množství materiálů pro výrobu technologií Selective Laser Sintering. V tabulce č. 2 jsou uvedeny hlavní nabízené materiály společnosti EOS GmbH:

Tabulka 2 – Vybrané polymerní materiály společnosti EOS GmbH (EOS GmbH, 2023)

Název materiálu	Typ	Vlastnosti
PA1101	Polyamid 11	Vyráběn z obnovitelných zdrojů, vysoká tažnost a odolnost proti nárazu.
PA2200	Polyamid 12	Jeden z nejvyužívanějších materiálů, vyvážený profil vlastností.
PA2201	Polyamid 12	Víceúčelový materiál, vlastnosti stejné jako PA2200, k užití v severní Americe.
PA2210FR	Polyamid 12	Samozhášivý, bezhalogenový materiál.
PA3200GF	Kompozit	Materiál s vysokou tuhostí a odolností proti opotřebení, vylepšené teplotní vlastnosti, s příměsí skelných částic.
Alumide	Kompozit	Vysoká tuhost, vysoká teplotní výkonnost, dobrá obrobitelnost, materiál s příměsí hliníkových částic, metalický vzhled.
EOS TPU 1301	Termoplastický elastomer	Vysoká pružnost po deformaci, dobrá odolnost proti hydrolyze, vysoká UV stabilita.

EOS rovněž uvádí rozdílnou kompatibilitu materiálů s 3D výrobními zařízeními. Například materiál PA2210FR není kompatibilní s výrobními zařízeními EOS Formiga P110 a EOS P500. (EOS GmbH, 2024)

## 4.2 Materiály používané technologií Multi Jet Fusion

HP Development Company (2024) v současnosti nabízí několik variací polyamidů 11, polyamidů 12 a termoplastů. Jednotlivé materiály mají podobné vlastnosti, jsou však optimalizované pro dosažení specifických vlastností.

Vybrané typy polymerních materiálů pro technologii Multi Jet Fusion jsou uvedeny v tabulce č.3.

Tabulka 3 – Polymerní materiály pro technologii Multi Jet Fusion

(Stratasys, 2024; Materialise, 2024 a HP Development Company, 2024)

Název materiálu	Typ	Vlastnosti
HP PA11	Polyamid 11	Velmi dobrá chemická odolnost, odolný vůči nárazům.
HP PA12	Polyamid 12	Vyvážený profil vlastností, dobrá chemická odolnost.
HP PA12S	Polyamid 12	Materiál podobný HP PA12, optimalizovaný pro estetické aplikace.
HP PA12GB	Kompozit	Materiál s příměsí skelných částic.
HP PP	Polypropylen, termoplastický polymer	Nízká absorpce vlhkosti, velmi dobrá chemická odolnost.
BASF TPU01	Termoplastický polyuretan	Vysoká flexibilita a odolnost, ideální pro sériovou výrobu. Dobrá snášenlivost s pokožkou.
ESTANE TPU M95A	Termoplastický polyuretan	Vysoká absorpce nárazů, dobrá odolnost proti oděru. Vysoká elasticita. Dobrá snášenlivost s pokožkou.

## 5 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ POUŽÍVANÝCH V ADITIVNÍ VÝROBĚ

Mechanické vlastnosti materiálů jsou čtyři – pevnost, pružnost, plasticita a houževnatost. Mechanických charakteristik, poskytujících důležité informace pro použití materiálů, je více. Mechanické charakteristiky nejsou absolutní konstantou, ale veličiny, které do jisté míry závisí na přípravě i tvaru zkušebních těles, podmínkách zkoušky apod. Mechanické charakteristiky, které jsou uváděny v materiálových listech, jsou stanoveny experimentálně na normalizovaných zkušebních tělesech. (Běhálek, 2015)

### 5.1 Mechanické vlastnosti

V této kapitole budou představeny některé vlastnosti aditivních materiálů a dále budou popsány zkoušky mechanických vlastností.

#### 5.1.1 Pevnost v tahu

Pevnost v tahu  $R_m$  je maximální mechanické tahové napětí, které vykazuje zkušební těleso při zatížení. Pokud je pevnost v tahu překročena, dochází k selhání materiálu: odolnost proti působící síle se snižuje, až nakonec dojde k porušení vzorku. Před dosažením skutečné hodnoty pevnosti v tahu dochází v materiálu ke zbytkové plastické deformaci. (ZwickRoell, 2024)

Pevnost v tahu se obvykle udává v MPa (mega Pascal) nebo v N/mm<sup>2</sup> (Newton na milimetr čtvereční). Udává, jak velká síla na jednotku plochy je zapotřebí k deformaci nebo porušení materiálu. (ZwickRoell, 2024)

#### 5.1.2 Modul pružnosti

Youngův modul pružnosti je pojmenován po anglickém lékaři a fyzikovi, Thomasovi Youngovi. Tato charakteristika vypovídá o pevnosti a možnosti deformace materiálu. Čím je hodnota modulu vyšší, tím vyšší napětí je potřeba k dosažení stejné deformace. Youngův modul pružnosti se označuje písmenem  $E$  a nabývá vždy kladné hodnoty. (Univerzita Karlova, 2022)

Youngův modul pružnosti závisí na druhu materiálu a na teplotě. Na teplotě závisí tak, že s rostoucí teplotou hodnota  $E$  klesá. Proto je potřeba udávat také hodnotu teploty, při které byla hodnota materiálové konstanty naměřena. Obvyklou jednotkou je N/mm<sup>2</sup> (MPa) nebo kN/cm<sup>2</sup>, Pa je příliš malou jednotkou. (Univerzita Karlova, 2022)

### 5.1.3 Prodloužení při přetržení

Prodloužení při přetržení, známé také jako lomové napětí, je poměr mezi změnou délkou a počáteční délkou po přetržení zkušební vzorku. Vyjadřuje schopnost odolávat změnám tvaru bez vzniku trhlin. Prodloužení při přetržení lze stanovit zkouškou tahem podle normy EN ISO 527. Obecně platí, že syntetická vlákna vykazují lepší mechanické a fyzikální vlastnosti ve srovnání s přírodními vlákny, zatímco modul pružnosti a prodloužení při přetržení jsou lepší u přírodních vláken než u syntetických, což je považováno za důležitý faktor v polymerních inženýrských kompozitech. (Fan, Fu, 2017, s. 75)

### 5.1.4 Tvrdość Shore

Metoda Shore patří k nejrozšířenějším metodám měření tvrdosti polymerů v průmyslové praxi. Princip metody spočívá ve vlačování hrotu tvaru komolého kužele – metoda Shore A nebo kužele s kulatým vrchlíkem – metoda Shore D do povrchu měřeného polymeru silou vyvozenou tlakem ocelové pružiny. (Běhálek, 2015)

Metoda Shore A se používá pro měkké polymery (velikost přitlačné síly je 10 N) a metoda Shore D se používá pro tvrdší polymery (velikost přitlačné síly je 50 N). Hloubka vlačení slouží jako míra tvrdosti, přičemž tvrdost Shore je definována na stupnici 0 až 100. Pokud tvrdoměr Shore A ukáže hodnotu vyšší než 90, použije se tvrdoměr Shore D a naopak, pokud tvrdoměr Shore D ukáže hodnotu nižší než 20, použije se tvrdoměr vhodný pro měkké polymery typu Shore A. (Běhálek, 2015)

Při metodě Shore se hodnota tvrdosti odečítá do 1 s po dotyku vlačovaného tělesa se zkušebním vzorkem (tzv. okamžitá tvrdost) nebo po 15 s. (Běhálek, 2015)

## 5.2 Zkoušky mechanických vlastností

Michna a Nová (2008, s. 28) z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělují mechanické zkoušky na:

- Statické zkoušky
- Dynamické zkoušky rázové a cyklické
- Zvláštní technické zkoušky

V následující podkapitole se práce zabývá nejčastějšími statickými a dynamickými zkouškami.



### 5.2.1 Mechanické zkoušky statické

#### Zkouška tahem

Jedná se o jednu ze základních statických zkoušek. Je nutná téměř u všech materiálů. Pomocí zkoušky tahem lze získat některé základní hodnoty pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se dělají na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. (Michna a Nová, 2008, str. 28 a Driml, 2013, str. 4)

Pro provedení těchto zkoušek v tahu se zkušební vzorky ve tvaru oboustranných lopatek umístí do čelistí upínačů univerzálního zkušebního stroje („trhačky“), kde jsou vystaveny řízenému nárůstu napětí až do jejich přetržení. Zkušební rychlosti se liší podle typu vzorku a jsou určené příslušnou normou ISO 527. Např. pro měření modulu pružnosti se zkušební rychlost má blížit rychlosti 1 % měřené délky za minutu. (JD Dvořák, s.r.o., 2018)

#### Zkouška krutem

Zkouška se provádí většinou na válcových zkušebních tyčích, které se ve zkušebním stroji zatěžují až do porušení. Měří se kroutící moment a zkroucení tyče na určité měřené délce. Zkouškou krutem se např. testuje jakost drátů za studena nebo také kujnost oceli. (Michna & Nová, 2008, str. 29)

### 5.2.2 Mechanické zkoušky dynamické

#### Zkouška rázem

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na zkušební tyče se použije najednou dostatečné množství energie. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu i krutu. (Driml, 2013, str. 8)

## 6 3D SKENOVÁNÍ A REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

3D skenování je proces analýzy předmětu z reálného světa, při kterém se shromažďují veškerá data, aby bylo možné obnovit jeho tvar a vzhled v digitální podobě. Díky tomuto procesu se z objektu může stát 3D model, který může pomoci jako základ pro 3D projekt, který se chystáte vytvořit, ale může být také užitečný pro rekonstrukci, analýzu nebo simulaci nápadů. (Sculpteo, 2024)

Mongeon (2016, s. 58) definuje 3D skenování jako alternativní způsob, jak přenést 3D model do počítače. 3D skenování bylo vytvořeno pro průmysl, ale stejně jako u jiných forem 3D technologií si tuto technologii osvojili i ostatní a používají ji v mnoha různých oborech.

### 6.1 Metody 3D skenování

Existují různé metody 3D skenování. Za hlavní lze považovat laserové 3D skenování, fotogrammetrii a skenování pomocí strukturovaného světla.

#### 6.1.1 Laserové 3D skenování

Laserové skenování je proces snímání přesných trojrozměrných informací z reálného objektu, skupiny objektů nebo prostředí pomocí laseru jako zdroje světla. Promítáním laserového světla na objekt skener vytváří mračna bodů – miliony přesně změřených bodů v osách XYZ, které definují polohu objektu v prostoru. Některé laserové skenery umožňují stáhnout model jako mračna bodů, zatímco jiné jej automaticky převedou na triangulovanou síť, kterou lze následně transformovat do modelu CAD nebo plnobarevného 3D modelu, pokud je podporován záznam textury. (Golubeva, 2022)

Laserové 3D skenery jsou 100% bezkontaktní a nedestruktivní aktivní zařízení, která mohou snímat objekty z pevných a křehkých materiálů. Mohou pracovat v interiéru, zatímco některé mohou pracovat i ve venkovním prostředí. Lze je používat za denního světla i v noci a mohou být stacionární i přenosné. Lze je použít ke snímání v širokém rozsahu a pro širokou škálu objektů a míst – od velmi malých až po velmi velké. (Golubeva, 2022)

### 6.1.2 Metoda 3D fotogrammetrie

Metoda 3D fotogrammetrie (označována také SFM – Structure From Motion) je proces, který vypočítává umístění bodu v trojrozměrném prostoru použitím fotografií objektu zachyceného z více úhlů pomocí fotoaparátu či videokamery. Základem fotogrammetrie je pořízení sady fotografií konkrétního objektu ze všech možných úhlů, které jsou následně nahrány do specializovaného programu. Program vyhledá společné prvky na všech fotografiích, a snaží se s pomocí nich vypočítat, z jakého úhlu byl na dané fotografii předmět vyfotografován. Podle zjištěných informací o pozici a úhlu kamery následně vytvoří bod ve 3D prostoru, který odpovídá prvku na 2D fotografii. V ideálním případě by měl být výsledkem bezchybný trojrozměrný model, nicméně pro dosažení nejlepších výsledků je nutné ruční doladění. (Zuza, 2018)

V případě, kdy uživatel potřebuje nasnímat lesklé nebo průhledné povrchy (sklo), je podle Zuzy (2018) potřeba tyto povrchy nejdříve „zmatnit“ pomocí skenovacího spreje, malířské lepící pásky atd.

### 6.1.3 Skenování pomocí strukturovaného světla

Samadi (2013, s. 1) popisuje 3D skener se strukturovaným světlem je zařízení pro měření trojrozměrného tvaru objektu pomocí promítaných světelných obrazců a kamerového systému. Principem je promítnutí úzkého pásu světla na trojrozměrně tvarovaný povrch a vzniká tak linie osvětlení, která se jeví zkreslená z jiných úhlů pohledu, než je úhel pohledu projektoru, a lze ji použít k přesné geometrické rekonstrukci tvaru povrchu (světelný řez).

Rychlejší a univerzálnější metodou je promítání vzorků sestávajících z mnoha pruhů najednou nebo z libovolných třásní, protože to umožňuje získat množství vzorků současně. Při pohledu z různých úhlů pohledu se vzorek jeví jako geometricky zkreslený v důsledku tvaru povrchu objektu. Ačkoli je možné použít mnoho dalších variant projekce strukturovaného světla, široce se používají vzory paralelních pruhů. (Samadi, 2013, s. 1)

## 6.2 Reverzní inženýrství

Reverzní inženýrství je proces získávání znalostí nebo konstrukčních plánů z čehokoli, co vytvořil člověk. Tento koncept je znám již dlouho před počítači nebo moderními technologiemi, a pravděpodobně pochází z dob průmyslové revoluce. Je velmi podobný vědeckému výzkumu, při kterém se výzkumník snaží zjistit "plán" atomu nebo lidské mysli. Rozdíl mezi reverzním inženýrstvím a běžným vědeckým výzkumem je, že při reverzním

inženýrství je zkoumaný artefakt vytvořen člověkem, na rozdíl od vědeckého výzkumu, kde se jedná o přírodní jev. (Eilam, 2005, s. 33)

Reverzní inženýrství se obvykle provádí za účelem získání chybějících znalostí, myšlenek a filozofie návrhu, pokud takové informace nejsou k dispozici. V některých případech založení je vlastníkem informací někdo, kdo není ochoten se o ně podělit. V jiných situacích byly informace ztraceny nebo zničeny. (Eilam, 2005, s.33)

Reverzní inženýrství se zaměřuje na posouzení a analýzu s cílem znovu vymyslet původní součásti a doplnit reálná omezení o alternativní inženýrská řešení. Stalo se standardní praxí pro inženýry, kteří potřebují replikovat nebo opravit opotřebovanou součást, pokud nejsou k dispozici původní údaje nebo specifikace. Tato technologie je použitelná i pro nové návrhy starých dílů. Reverzní inženýrství je procesem vynalézání shora dolů, zatímco konstrukce stroje je procesem tvorby zdola nahoru. (Wang, 2010, s. 11)

Na začátku reverzního inženýrství je měření a získávání údajů o existujícím dílu. Tyto shromážděné informace se následně analyzují a interpretují. Během získávání dat by měl inženýr získat co nejvíce relevantních informací, včetně dostupné dokumentace, existujících technických údajů a nechráněných výkresů. Důležité je také co nejdříve zjistit případné chybějící technické údaje. Úspěšná praxe reverzního inženýrství vyžaduje dostatečnou obeznámenost a odpovídající znalost reverzně konstruovaného dílu. (Wang, 2010, s. 11)

Ačkoli hlavním účelem reverzního inženýrství je napodobit originální díl a zhotovit jeho kopii, obvykle není reprodukováný díl totožný s originálním dílem. Může být srovnatelný, ale je nepravděpodobné, že by kopíroval identické rozměrové tolerance a výrobní postupy. (Wang, 2010, s. 11)

## 7 METODY PROJEKTOVÉHO MANAGEMENTU

V této kapitole budou definovány tři základní systematické přístupy a postupy projektového managementu sloužící k plánování, organizování, sledování a řízení projektů a analýze projektových rizik. Konkrétně se jedná o metody DMAIC, SMART a RIPRAN.

### 7.1 Metoda DMAIC

Metoda DMAIC (zkr. Define, Measure, Analyze, Improve, Control) je integrální součástí metody Six Sigma zaměřující se na zlepšování procesů. Cílem je omezit vady, které jsou definovány zákazníkem procesu a zabránit jejich opakovanému výskytu. (Kerzner, 2017, s. 722 a Managementmania.com, 2016) Prostřednictvím procházení problému fázemi DMAIC v rámci spolupráce týmu pracovníků, přináší výsledné řešení kořenovou příčinu. (Shankar, 2009, s. XVII)

Metoda vznikla v souvislosti s rozvojem neustálého zlepšování, zvyšování úrovně kvality, bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Je to zdokonalený PDCA cyklus. Kvalita je obor, kde cyklus zaznamenal hlavní rozvoj a použití v praxi. Nestačil již novým nárokům a došlo tak ke vzniku metody DMAIC. (Svetproduktivity.cz, 2012)

#### Fáze DMAIC:

1. **Define (definovat):** Definice projektu. Identifikace požadavků zákazníka a jejich propojení s obchodními potřebami. (T.Carroll, 2013, s. XLII)
2. **Measure (měřit):** Výběr jedné nebo více charakteristik produktu, zmapování příslušného procesu, zajištění platnosti systému měření, provedení potřebných měření a zaznamenání výsledků. (T.Carroll, 2013, s. XLII)
3. **Analyze (analyzovat):** Odhad krátkodobé a dlouhodobé způsobilosti procesu a porovnání klíčových ukazatelů výkonnosti výrobku. Analýza mezer s cílem identifikovat společné faktory úspěšné výkonnosti – jaké faktory vysvětlují nejlepší výkonnost ve své třídě. (T.Carroll, 2013, s. XLII)
4. **Improve (zlepšovat):** Výběr charakteristik produktu, které je třeba zlepšit, aby bylo dosaženo cíle. Následně se provede diagnostika těchto charakteristik pro odhalení hlavních zdrojů variability. Zlepšení se testují pro potvrzení jejich funkčnosti. Následně jsou zlepšení zdokumentována. (T.Carroll, 2013, s. XLII)
5. **Control (řídit):** zajištění funkčnosti nového procesu i po uzavření projektu. Ověřují se systémy měření a určují se metody statistické kontroly procesu.

Jsou vypracována opatření pro udržení zlepšení a proces se předává zpět vlastníkovému procesu. (T.Carroll, 2013, s. XLII)

## 7.2 Metoda SMART

Metoda SMART (vyvinutá Edwardsem je mnemotechnická pomůcka, která vám pomůže sestavit cíl. (T.Carroll, 2013, s. 38)

SMART, jakožto akronym slov, odkazuje na následující vlastnosti:

- S – Specific – specifický, jasný a zaměřený na výkonnostní cíle nebo obchodní účel.
- M – Measurable – měřitelný cíl, lze jej vyjádřit kvantitativně.
- A – Attainable – dosažitelný, cíle jsou přiměřené a dosažitelné.
- R – Realistic/Relevant – cíl by měl být realistický a relevantní.
- T – Time Specific/Trackable – cíl časově orientovaný. (Kerzner, 2017, s. 558)

Pro dosažení splnitelnosti cílů pomocí metody SMART, je nezbytné, aby splňovaly všechny výše uvedené vlastnosti. Pokud se cíle nedaří splnit, jsou buď špatně definovány nebo se jedná o široký strategický cíl. Následně je potřeba vytvořit nové specifické cíle, které budou SMART vlastnosti splňovat. (Managementmania.com, 2016)

## 7.3 Metoda RIPRAN

Metoda pro analýzu projektových rizik RIPRAN (Risk Project Analysis) představuje původní, empirickou metodu pro analýzu rizika projektů založenou na systémovém přístupu k analýze rizik. (Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2021, s. 15 a Ripran.cz, 2024)

RIPRAN chápe analýzu rizik jako posloupnost procesů, z nichž každý proces má definovány vstupy, výstupy a definované činnosti procesu, transformující vstupy na výstupy s určitým cílem. Metoda akceptuje filozofii jakosti (TQM) a proto obsahuje aktivity, které zajišťují kvalitu činností analýzy rizik, jak to vyžaduje norma ČSN ISO 10 006 Management jakosti – Směrnice jakosti v managementu projektu. (Ripran.cz, 2024)

Ministerstvo práce a sociálních věcí (2021, s. 15) uvádí fáze metody RIPRAN:

1. Příprava analýzy rizik projektu,
2. Identifikace rizik projektu,
3. Kvantifikace rizik projektu,
4. Návrh opatření snižujících nebo eliminujících vliv rizik na projekt,
5. Celkové zhodnocení rizikovosti projektu.

Prvním krokem metody RIPRAN je zajištění a příprava potřebných informací pro provedení analýzy rizik. Následně se identifikují potenciální hrozby s negativním vlivem na projekt a popíší se rizikové scénáře. Po identifikaci rizik rizika kvantifikuje projektový manažer s přihlédnutím na charakteristiku konkrétního projektu. (Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2021, s. 15)

Tabulka č. 4 představuje klíč ke kvantifikaci rizik:

Tabulka 4 – Třídy pravděpodobnosti výskytu rizika  
(Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2021, s. 15)

Vysoká pravděpodobnost (VP)	Nad 75 %
Střední pravděpodobnost (SP)	35 až 74 %
Nízká pravděpodobnost (NP)	Pod 35 %

## 8 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce se zabývala teoretickými poznatky z oblastí průmyslu 4.0. a aditivních technologií. Autoři uvádí, že koncept Průmyslu 4.0 vychází z dokumentu představeném na Hannoverském veletrhu v roce 2013. Měly by tak vzniknout „chytré továrny“, které budou využívat kyberneticko-fyzikální systémy s cílem převzít jednoduché a repetitivní činnosti, které do té doby vykonávali lidé. Dále bylo představeno 9 základních pilířů průmyslu 4.0., mezi které patří také aditivní výroba.

Ta je autory charakterizována jako automatizovaný proces výroby přímo z 3D CAD modelu (počítačem řízený design). Proces aditivních technologií je založen na principu výroby nanášení a spojování materiálů vrstvu po vrstvě, kdy nevyžaduje žádné nástroje závislé na dílu jako jsou např. frézovací nebo vrtací zařízení. Aditivní výroba výrobcům umožňuje efektivně využívat dostupné suroviny při produkci minimálního odpadu spolu s uspokojivou přesností geometrie hotových dílů.

Dále byly definovány polymerní materiály, které se v průmyslovém 3D tisku již běžně používají. První hlavní skupinou jsou polyamidy, pevné a tvrdé materiály, odolné proti otěru i proti rázu. Také odolávají účinkům organických látek jako jsou oleje, pohonné hmoty či rozpouštědla. Druhou rozšířenou skupinou jsou kompozity, materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. U kompozitů je významný synergismus jednotlivých složek, protože vede k získávání materiálů s novými vlastnostmi.

V teoretické části byla také představena metoda 3D skenování, při které se shromažďují veškerá data, aby bylo možné obnovit tvar a vzhled původního výrobku v digitální podobě. Díky tomuto procesu se z objektu může stát 3D model, který může být užitečný pro výrobu, rekonstrukci, analýzu nebo simulaci nápadů.

V závěru teoretické části byly uvedeny teoretické poznatky metod projektového managementu. Konkrétně se jedná o metody DMAIC, SMART a rizikovou analýzu RIPRAN. Metody SMART a RIPRAN budou dále využity při realizaci projektové části. Pomocí analýzy RIPRAN budou definována potenciální rizika, která mohou během výroby nedostupných náhradních dílů nastat a spolu s nimi také případná protipatření.



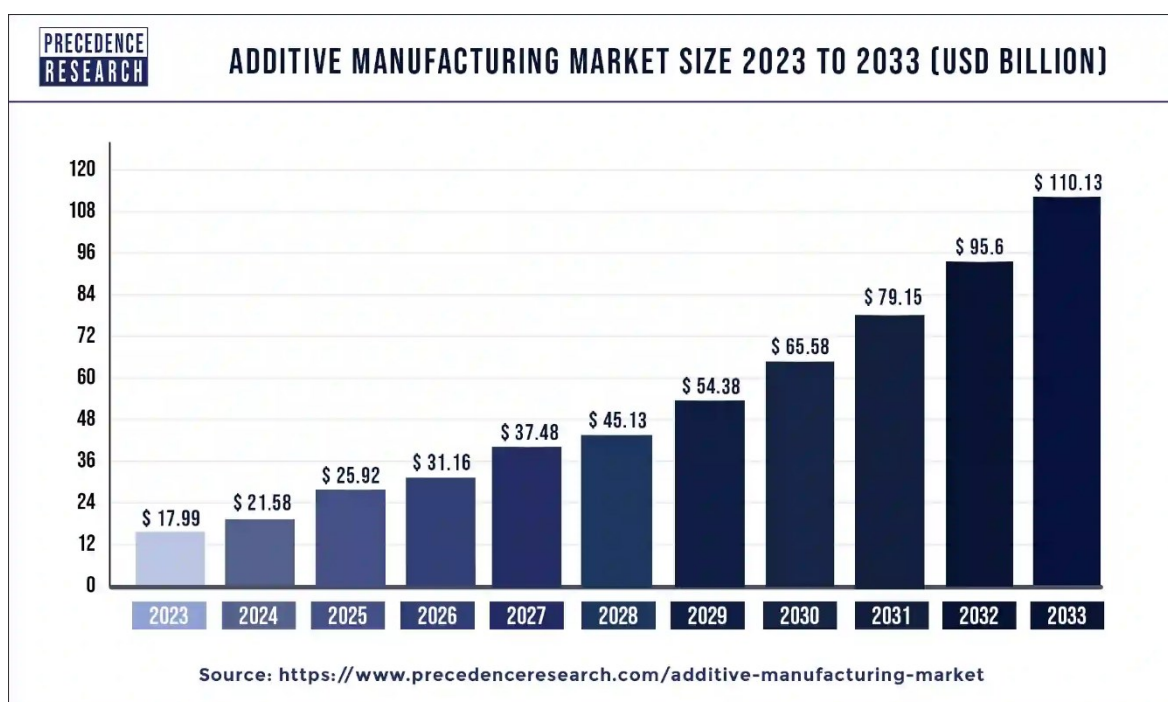
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 9 GLOBÁLNÍ TRH ADITIVNÍ VÝROBY

Velikost globálního trhu aditivní výroby byla v roce 2023 odhadnuta na 17,99 miliardy dolarů a lze očekávat, že do roku 2033 dosáhne přibližně 110,13 miliardy dolarů, přičemž během prognózovaného období 2024 až 2033 poroste tempem 19,85 %. (Precedence Research, c2024)

Je nutné podotknout, že tyto odhady se každý rok razantně mění. Například společnost RationalStat v říjnu roku 2023 predikovala nárůst hodnoty globálního trhu aditivní výroby do roku 2030 na 47,7 miliardy dolarů, což je o 22 miliard méně, než činí odhad Precedence Research z března roku 2024. (Rationalstat, c2024 a Precedence Research, c2024)

Předpokládaný růst trhu od Precedence Research (c2024) je uveden na obrázku č. 2.



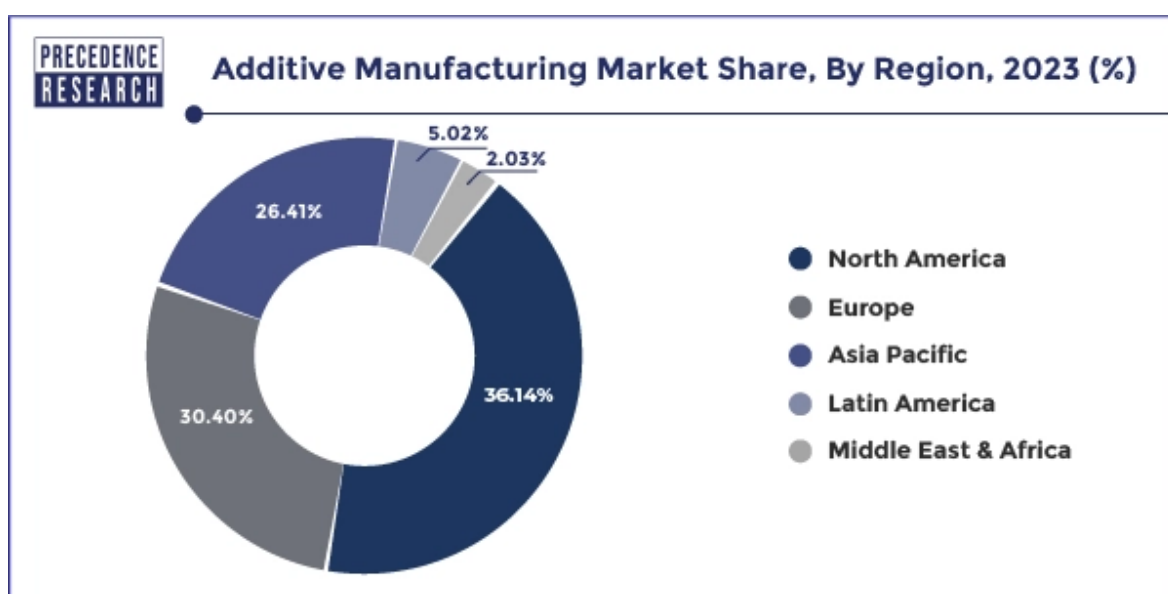
Obrázek 2 – Předpokládaný růst aditivního průmyslu v letech 2023-2033

(Precedence Research, c2024)

V roce 2023 měla na trhu nejvyšší podíl Severní Amerika, která zaujímala více než 36,14 %. Očekává se, že Asie a Tichomoří budou v průběhu prognózovaného období svědky nejvyššího tempa růstu. Podle jednotlivých komponentů zaujal v roce 2023 největší podíl na trhu segment hardwaru, a to 61 %. Prognóza uvádí, že nejvyšší tempo růstu zasáhne segment softwaru. Podle typu tiskárny zaznamenal segment průmyslových 3D tiskáren více

než 65% podíl na tržbách. Při srovnání typu technologie vedl segment Stereolitografie (SLA – 3D tisk využívající tekutý fotopolymer). Z hlediska softwaru největší tržní podíl 32 % získal segment návrhového softwaru. Při srovnání aplikací vedl segment prototypování s největším tržním podílem 57 %. Z hlediska odvětví měl největší podíl na trhu segment automobilového průmyslu, a to 22 %. Podle materiálu dominoval trhu segment kovů a očekává se, že si toto postavení udrží po celé prognózované období. (Precedence Research, c2024)

Jednotlivé podíly na globálním trhu aditivní výroby za rok 2023 jsou vyjádřeny v obrázku č. 3.



Obrázek 3 – Podíl na globálním trhu aditivní výroby dle regionů  
(Precedence Research, c2024)

## 9.1 Vybrané společnosti působící na globálním trhu aditivní výroby

V rámci analýzy globálního trhu aditivní výroby bylo zjištěno, že v tomto odvětví působí několik firem, které nabízí služby průmyslového 3D tisku, vyrábí vlastní výrobní zařízení a rovněž produkují vlastní aditivní materiály. Některé z nich představím níže.

### 9.1.1 EOS GmbH

Společnost EOS GmbH byla založena Dr. Hansem J. Langerem roku 1989 v Gräfelfingu, malé obci jižně od Mnichova. Společnost se nejdříve specializovala na rapid prototyping. Mezi její první zákazníky se řadí i výrobce automobilů BMW. V současnosti EOS GmbH

vyrábí průmyslové 3D tiskárny pracující na technologiích Selective Laser Sintering (polymery) a Direct Metal Laser Sintering (kovy). Společně s nimi také vyvíjí a vyrábí aditivní materiály. Vybrané polymerní materiály jsou uvedeny v kapitole 4.1. Mezi nabízené kovové materiály společnosti patří slitiny hliníku, niklu, měď, slitina kobalt-chrom, nerezové oceli, nástrojové oceli a titan. (EOS GmbH, 2023)

Ve své výroční zprávě za období 2022/2023 EOS GmbH uvádí hrubý provozní zisk (EBITDA) ve výši 445,9 milionu EUR. V období 2021/2022 společnost vykázala hrubý provozní zisk 282,5 milionu EUR. EOS GmbH má 6 261 zaměstnanců a působí ve 24 státech světa. (Ramcke, 2024)

### **9.1.2 HP Development Company, L.P.**

Společnost HP Development Company, L.P. je jednou z mnoha dceřiných společností HP Inc. HP založili William Redington Hewlett (známý spíše jako Bill Hewlett) a David Packard v roce 1939. Nyní sídlí v Palo Alto v Kalifornii. Ve společnosti pracovali například i Steve Jobs a Steve Wozniak, zakladatelé společnosti Apple Inc. (HP Development Company, L.P., 2019)

Společnost HP se v roce 2015 rozdělila na dvě samostatné společnosti HP Enterprise a HP Inc. (Mukherjee, Chan, 2014) První 3D tiskárnu (technologie Multi Jet Fusion, polymerní materiály) představila HP v roce 2016. V roce 2018 poté představila svou první 3D tiskárnu na kov.

Dle informací dostupných na serveru Statista.com (2024) společnost HP Inc. zaměstnává přibližně 58 000 zaměstnanců na celém světě. Za fiskální rok 2023 společnost HP Inc. a její dceřiné společnosti vykázaly čisté tržby ve výši 53,7 miliardy dolarů. Jedná se o 15% pokles oproti předchozímu roku. (HP Inc., 2023)

### **9.1.3 Nikon SLM Solutions AG**

SLM Solutions Group AG je výrobce 3D výrobních zařízení pro aditivní výrobu z kovů. Společnost vznikla v roce 2006 se sídlem v německém Lübecku. V roce 2023 společnost převzala firma Nikon Corporation a došlo tak ke změně názvu na Nikon SLM Solutions AG. (Nikon Corporation, 2023 a SLM Solutions, 2023A) V polovině roku 2023 firma vykázala příjmy ve výši 51 milionů EUR díky vysoké poptávce po kovovém 3D tisku. (SLM Solutions, 2023B)

Společnost má v období vzniku diplomové práce pobočky v Kanadě, Číně, Francii, Indii, Itálii, Japonsku, Singapuru, Jižní Koreji a USA. (SLM Solutions, 2023B)

Nikon SLM Solutions AG se na svých webových stránkách představuje jako globální poskytovatel integrovaných řešení pro aditivní výrobu kovů. Jako vynálezce procesu selektivního laserového tavení (SLM) se společnost zaměřuje na vývoj a distribuci nejnovějších systémů aditivní výroby kovů zaměřených na výrobu. Cílem společnosti je být lídrem v oblasti výkonnosti a inovace výrobků a aby z tohoto přístupu měli prospěch i její zákazníci. Společnost poskytuje zákazníkům konzultace, instalaci, údržbu, školení a další možnosti vzdělávání, aby mohli využít možností a uplatnit osvědčené postupy při selektivním laserovém tavení. (SLM Solutions, c2024)

#### **9.1.4 Stratasys Ltd.**

Stratasys Ltd. je americko-izraelský výrobce 3D tiskáren, softwaru a polymerních aditivních materiálů. Společnost rovněž vyrábí díly na zakázku. (Stratasys Ltd., c2024)

Společnost založili manželé Crumpovi v roce 1989 v Minnesotě. Stratasys vstoupila v roce 1994 na akciový trh a vydělala přibližně 5,7 milionu dolarů. (Newswire Association LLC, 1994)

Stratasys spolupracuje s výrobcí v klíčových průmyslových odvětvích světa a zavádí aditivní výrobu v celém výrobním cyklu. Její průmyslová řešení zvyšují rychlost, efektivitu a pružnost, které zákazníci potřebují, aby mohli prosperovat v měnícím se světě. (Stratasys Ltd., c2024)

Společnost vyrábí prototypy a finální produkty pro aplikace v oborech automotive, aerospace, zdravotnictví a stomatologie. Dále vyrábí koncové produkty pro zákazníky a umělecké a módní produkty. (Stratasys Ltd., c2024)

Za fiskální rok 2023 společnost vykázala celkové příjmy ve výši 156,3 milionu dolarů. (Stratasys Ltd., c2024)

#### **9.1.5 Materialise NV**

Materialise NV založil v roce 1990 Fried Vancraen, který v současnosti ve společnosti působí na pozici generálního ředitele (CEO). Společnost sídlí v Leuvenu v Belgii. Materialise má pobočky ve 20 státech světa včetně České republiky. (Materialise, c2024)

Hlavními produkty společnosti jsou aditivní materiály pro výrobu z plastů a kovů a také software Materialise Magics. Jedná se o jeden z nejlepších programů pro přípravu tiskových dat. (Materialise, c2024)

Ve skupině Materialise (c2024) jsou v době psaní diplomové práce začleněny čtyři dceřiné společnosti:

- RapidFit
- ACTech
- Engimplan
- Identify3D

V roce 2023 činily příjmy společnosti 256 milionů EUR, což je nárůst o 10,4 % oproti roku 2022. (Materialise, c2024)

#### **9.1.6 GE Additive**

Společnost GE Additive vznikla v roce 2016. Sídlí v Bostonu v USA. Na svých webových stránkách se prezentuje jako světový lídr v oblasti výroby strojů, softwaru, poradenství a práškových materiálů pro aditivní výrobu kovů, procesu, který má sílu a potenciál transformovat podniky. Prostřednictvím integrované nabídky odborníků na aditivní výrobu, pokročilých strojů a kvalitních materiálů umožňuje zákazníkům vytvářet nové inovativní výrobky. Výrobky, které řeší výrobní výzvy, zlepšují obchodní výsledky a pomáhají měnit svět k lepšímu. (General Electric, c2023)

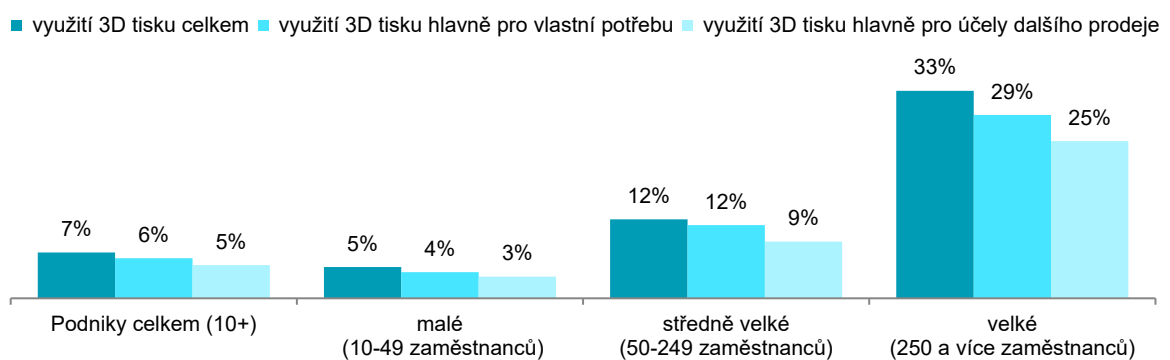
GE Additive vyrábí produkty pro aplikace v oborech space a aerospace, military & defense, zdravotnictví a automotive. (General Electric, c2023)

Portál Growjo (c2023) odhaduje příjmy GE Additive za rok 2023 ve výši 297 milionů dolarů.

## 10 SITUACE NA ČESKÉM TRHU

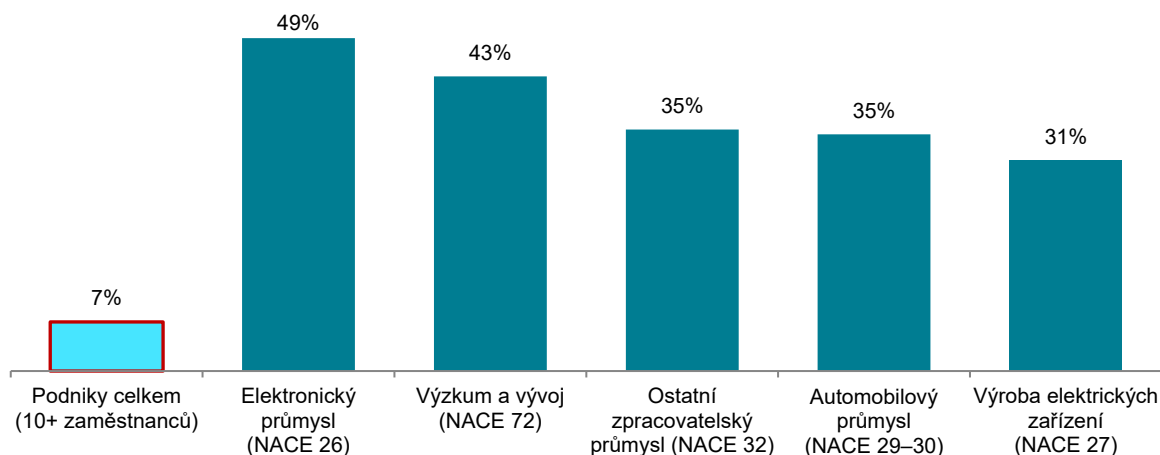
Podle posledního šetření Českého statistického úřadu zahrnující využívání 3D tisku z roku 2022 využívalo 3D tisk v průběhu roku 2021 v ČR 7 % podniků s 10 a více zaměstnanci. Data o využívání technologie aditivní výroby Český statistický úřad zveřejňuje v rozmezí 2 let. Dominantní využití aditivní výroby je především u velkých firem s více než 250 zaměstnanci. V roce 2021 využívala 3D tisk třetina velkých podniků, 12 % středně velkých a 5 % malých firem. (ČSÚ, 2023, s. 1-2)

Data jsou přehledně uvedena v grafu č.1. Zdrojová tabulka je uvedena v přílohách diplomové práce jako Příloha č. 1.



Graf 1 – Podniky s 10 a více zaměstnanci v ČR využívající 3D tisk (ČSÚ, 2023, s. 4)

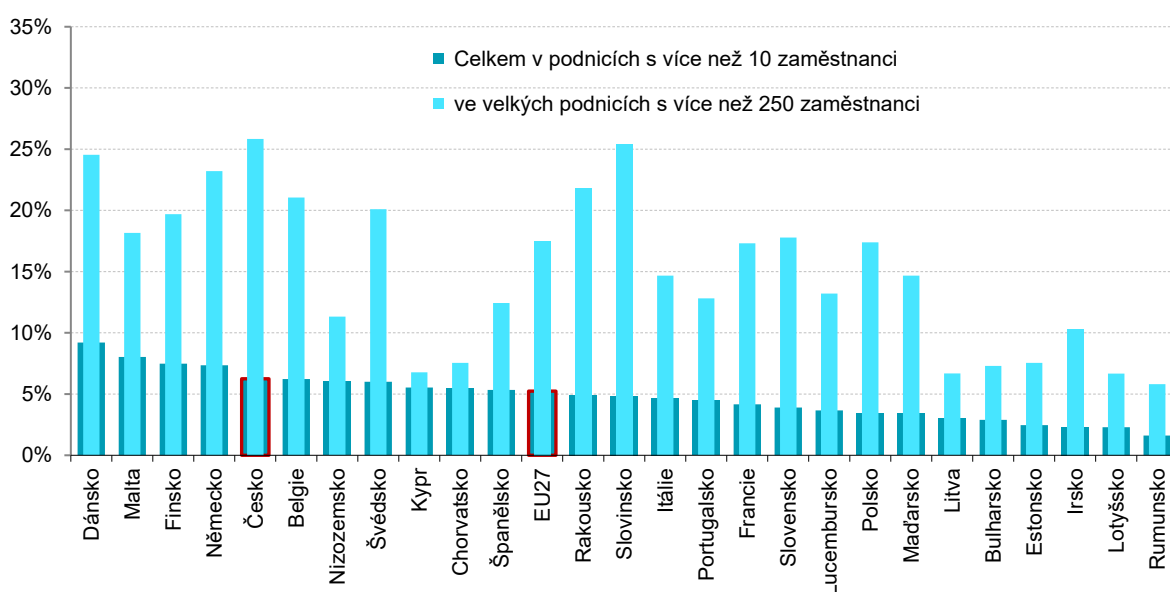
Nejčastější využití aditivní výroby bylo ve zpracovatelském průmyslu, konkrétně v odvětví výroby počítačů, elektronických a optických přístrojů a zařízení (49 % podniků), dále v automobilovém průmyslu (35 %), ostatním zpracovatelském průmyslu (35 %), kam spadá např. výroba hudebních nástrojů nebo sportovních potřeb, v elektrotechnickém průmyslu (31 %) nebo ve strojírenském průmyslu (27 %). Mimo odvětví zpracovatelského průmyslu je 3D tisk často využíván ve výzkumu a vývoji (43 % podniků). (ČSÚ, 2023, s. 1-2) Grafické srovnání je uvedeno v grafu č. 2.



Graf 2 – Nejčastější odvětví využívající 3D tisk (ČSÚ, 2023, s. 4)

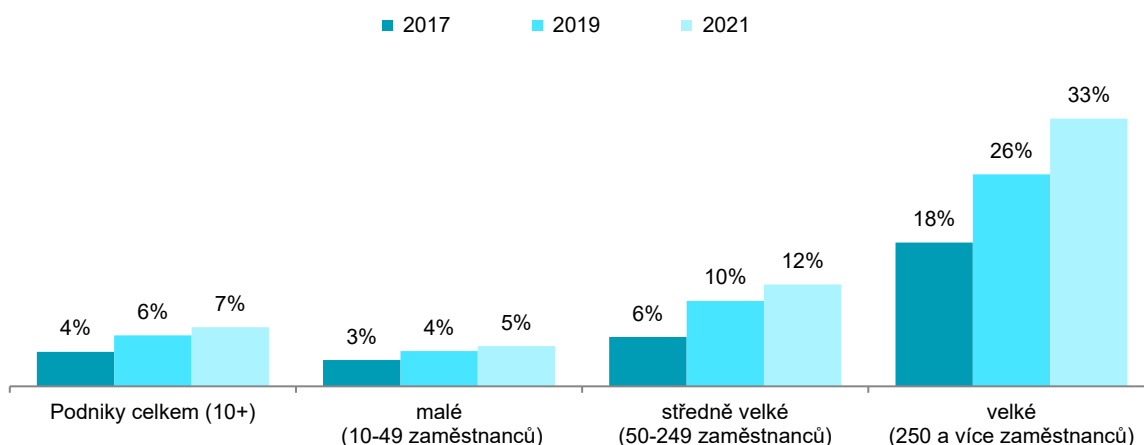
Český statistický úřad (2023, s. 1-2) dále uvádí, že české firmy byly v mezinárodním srovnání za rok 2019 ve využívání 3D tisku nad průměrem EU. ČR se umístila na celkovém 5. místě za Dánskem, Maltou, Finskem a Německem. Aditivní výrobu používalo v tomto roce 6 % podniků v Česku, průměr za členské státy Unie byl v roce 2019 5,2 % podniků. V případě, že by se žebříček sestavoval pouze z velkých podniků s více než 250 zaměstnanci, umístily by se velké české podniky dokonce na prvním místě evropského žebříčku (26 %). V žebříčku velkých firem využívajících 3D tisk české podniky následují Slovinsko či Dánsko (25 % podniků v obou zemích).

Porovnání zemí EU je vyobrazeno v grafu č. 3.



Graf 3 – Podniky s více než 10 zaměstnanci v EU využívající 3D tisk; data z roku 2019 (ČSÚ, 2023, s. 6)





Graf 4 – Meziroční nárůst počtu podniků využívajících 3D tisk (ČSÚ, 2023, s. 4)

Z grafu č. 4 je vidět narůstající oblíbenost aditivní výroby v českých firmách. Největší nárůst je vidět v kategorii Velké podniky, tedy firmy s 250 a více zaměstnanci. Zatímco v roce 2017 využívalo 18 velkých firem 3D tisk, v roce 2021 tento počet dosáhnul 33 %. Segment Středně velké firmy je poté druhým nejvíce rostoucím segmentem z hlediska počtu podniků využívajících 3D tisk. V roce 2021 využívalo 12 % podniků technologii aditivní výroby. Jedná se o 6% nárůst oproti roku 2017.

Firmy využívající v roce 2021 3D tisk, jej v Česku použily častěji k výrobě prototypů nebo modelů (6,3 % podniků celkem, tedy 88 % z těch, které využily 3D tisk). Nejčastěji prototypy nebo modely tisknou na 3D tiskárnách firmy z elektronického průmyslu (45 % podniků) a také organizace zabývající se výzkumem a vývojem (42 % podniků). (ČSÚ, 2023, s. 1-2)

Aditivní výroba se využívá také při výrobě polotovarů, součástek, nářadí a dalších výrobků. Více než 5 % podniků (72 % z těch, které využily 3D tisk) je produkovalo v roce 2021. Vyrábí je nejčastěji subjekty z elektronického průmyslu, ostatního zpracovatelského průmyslu nebo firmy zabývající se výzkumem a vývojem. (ČSÚ, 2023, s. 1-2)

## 10.1 Požadavky a trendy na trhu AM

V rámci rozhovoru se zástupci vybrané firmy, která bude představena v kapitole 12, byly zjištěny 4 hlavní požadavky a trendy na trhu aditivní výroby.

### 10.1.1 Zákaznická podpora a servis

V současnosti klíčovým bodem prodeje na trhu AM se stává kvalitní a rychlá zákaznická podpora doplněná o odborný a rychlý servis výrobních zařízení. Rostoucí používání aditivních technologií vede ke zvyšujícímu se očekávání zákazníků. Společnosti potřebují být schopné rychle reagovat na potřeby zákazníků v oblasti technické podpory a také poskytnout odborné poradenství a další doplňkové služby, kam můžeme zařadit např. workshopy.

K tomu se zároveň váže úroveň a rychlost servisu výrobních zařízení. Řada firem bohužel nedokáže opravit rozbitý stroj dříve než za týden. Jedná se o velký problém, který narušuje a významně komplikuje sériovou výrobu.

### 10.1.2 Speciální materiály

Druhým aktuálním požadavkem je vývoj speciálních aditivních materiálů umožňujících vyrábět vysoce funkční díly pro aplikace v leteckém a vesmírném odvětví, automobilním odvětví a také v odvětví medicíny či obrany. S rostoucím používáním aditivní výroby z kovů je možné uvést 2 hlavní materiály, které poskytovatelé 3D tisku a zákazníci vyžadují.

Jako první materiál lze uvést hliníkovou slitinu Scalmalloy, která obsahuje scandium (Sc), hliník (Al) a hořčík (Mg). Slitina se využívá převážně v závodech motorsportu a je schválena organizací FIA (Federation Internationale de l'Automobile – Mezinárodní automobilová federace).

Dalším aditivním materiálem je Inconel. Jedná se o slitinu na bázi niklu (Ni) a chromu (Cr) která je vhodná pro aplikace v prostředí s vysokou namáhavostí. Slitina se často používá v automobilním, leteckém a vesmírném odvětví. Tento materiál se konvenčními metodami již běžně používá, nicméně do odvětví aditivních technologií postupně proniká až v posledních letech.

### 10.1.3 Produkce dílů velkých rozměrů

Aditivní technologie využívající práškové materiály jsou omezené velikostí tiskové komory, a tedy objemem tisknutelného materiálu. S pokrokem a rozvojem oblasti AM se společnosti věnují tomuto požadavku a zaměřují se na vývoj systémů, které dovedou vyrábět díly velkých rozměrů.

Jednou z takových společností je Nikon SLM Solutions AG.

Produkce velkých dílů napomáhá sloučit celé sestavy do jednoho či dvou dílů, které vedou ke snížení celkové hmotnosti a rovněž možnosti vyšší flexibility designu.

### 10.1.4 Příliv dodavatelů z Asie

Posledním trendem na trhu aditivní výroby je příliv dodavatelů z Asie. V minulosti přitom převládaly v této oblasti hlavně evropské a severoamerické společnosti. Tento trend je důsledkem rostoucího rozvoje průmyslu 4.0 v asijských zemích.

Příliv dodavatelů z Asie má na trh AM několik vlivů. Konkurence mezi dodavateli se zvyšuje, což vede k tlaku na snižování cen. Kvalita výrobků z Asie je stejná, jako od západních firem. Východní společnosti často investují do nových materiálů a technologií. Příliv firem z východu může také mít vliv na globalizaci trhu a vytváření nových obchodních partnerství a spoluprací napříč kontinenty a také pomoci zvýšit rychlost technologického pokroku.

## 10.2 Vybrané společnosti působící na českém trhu aditivní výroby

V době vzniku této diplomové práce (1. čtvrtletí 2024) působí na českém trhu několik společností zabývajících se aditivní výrobou z plastů a kovů. Tyto firmy nabízejí stejné či podobné služby jako vybraná společnost, kterou se, jak již bylo uvedeno, budu podrobněji zabývat v kapitole 12. Do analýzy jsem zahrnul zavedené a dlouho fungující subjekty, u kterých je vysoká pravděpodobnost bohatých zkušeností a stabilní zákaznické základny, ale také firmy založené v předchozích několika letech, které mohou přinést inovativní přístupy a služby.

### 10.2.1 3Dwiser s. r. o.

Firma 3Dwiser na svých webových stránkách uvádí vznik v roce 2014 „s cílem nabídnout profesionální a specializované služby náročným zákazníkům a firmám na dynamicky se rozvíjejícím trhu 3D technologií. Mezi klienty patří široké spektrum společností,

od designérů a návrhářů přes architektonické ateliéry a konstrukční týmy až po univerzity, automobilky a výrobní závody napříč průmyslem.“ (3Dwiser, c2014-2023)

Společnost dále uvádí, že patří k nejrychleji rostoucím společnostem v segmentu. V roce 2021 3Dwiser poprvé pokořil 100milionový obrat (bez DPH). Od července 2020 je součástí mezinárodní sítě ADMASYS International. Díky síti sesterských společností nabízí služby i výrobky nejen po celém Česku, ale také v zahraničí – v Maďarsku, na Slovensku a nejnověji v Rumunsku. (3Dwiser, c2014-2023)

Do nabízeného portfolia produktů a služeb patří např. přeprodej 3D tiskáren, aditivních materiálů, 3D skenerů a software od výrobců Nikon SLM Solutions, Markforged, BASF, Formlabs a dalších. (3Dwiser, c2014-2023)

Dle informací zveřejněných ve výkazu zisků a ztrát utřžila společnost 3Dwiser tržby ve výši 114 milionů Kč. (3Dwiser, 2023)

### 10.2.2 MCAE Systems s. r. o.

Společnost MCAE Systems byla založena roku 1995 v Kuřimi. Jak firma na svých webových stránkách uvádí, „pomocí digitálních technologií – 3D tisku, 3D měření a CAD/CAM – posouvá hranici inteligentní výroby v mnoha průmyslových odvětvích. Ať už se jedná o prototypování, sériovou výrobu funkčních dílů, kontrolu kvality nebo automatizaci výrobních procesů, zákazníci najdou ideální řešení pro jejich aplikace. MCAE Systems téměř 30 let pomáhá zákazníkům realizovat jejich vize a redefinovat návrh a vývoj produktů i výrobní procesy. Díky nejmodernějším 3D technologiím a odborným zkušenostem umožňuje zákazníkům dělat věci jinak, efektivně, úsporně a inovativně.“ (MCAE Systems, c2024)

Společnost je přeprodejcem průmyslových 3D tiskáren, aditivních materiálů a software. Nabízí také 3D tisk z plastů, pryskyřic a kovů, 3D skenování a reverzní inženýrství, pětiosé CNC obrábění, vakuové lití a post-processing. (MCAE Systems, c2024)

Podle výroční zprávy, zveřejněné společností, utřžila firma v roce 2022 čistý obrat v hodnotě 177 milionů Kč. (MCAE Systems, 2023)

### 10.2.3 cotu s. r. o.

Společnost cotu s. r. o. byla založena v roce 2015. Působí ve více průmyslových odvětvích, jedním z nich je stomatologie. Dle svých slov se cotu „specializuje na kompletní realizace 3D tiskového řešení u zákazníků počínaje konzultací až po finální integraci celého výrobního

procesu, dlouhodobou technickou podporu a sdílení novinek v oboru. Výroba je založena na 3D tisku a společnost si uvědomuje, jak důležitá je spolehlivost celého systému a jeho bezproblémový chod, snadné zaškolení zaměstnanců na jeho používání i technická podpora a servis v případě obtíží. Cotu se rozhodla používat a distribuovat hlavně 3D tiskárny ASIGA, které byly vyvinuté pro stomatologii. Spolupracuje na vývoji a testech nových materiálů a postupů s výrobcí světových značek a vyvíjí i vlastní ekologické materiály.“ (Cotu, c2024)

Firma v roce 2023 dosáhla čistého obratu ve výši necelých 14 milionů Kč. (Cotu, 2023)

#### **10.2.4 Innomia a. s.**

Firma Innomia a.s. vznikla v roce 2006. Firma uvádí svůj cíl poskytovat zákazníkům kompletní podporu při návrhu, vývoji produktů a zároveň výrobu kovových či plastových prototypů s využitím nejmodernějších postupů a technologií z oblasti rychlé výroby prototypů – Rapid Prototyping. Nabízí výrobu kovových prototypů technologií DMLS (3D tisk kovu). Výrobu plastových prototypů provádí na 3D tiskárně, případně může nabídnout konstrukci a výrobu prototypových forem, včetně následné dodávky plastových výlisků. Z dalších služeb v oblasti návrhu a vývoje prototypů nabízí 3D optické skenování, reverzní inženýrství nebo vývoj dílů na zakázku dle požadavků zákazníka. (Innomia, c2012)

Za rok 2022 společnost hlásí čistý obrat ve výši 22,4 milionu Kč. (Innomia, 2023)

#### **10.2.5 ARBURG spol. s. r. o.**

Společnost ARBURG byla založena v letech 1923-1926 manžely Arthurem a Marií Hehlovými v německém Loßburgu. Arthur Hehl začal nejdříve s výrobou chirurgických nástrojů v suterénu svého domu. Název společnosti vymyslel až o 17 let později během války v Normandii. Během svého působení na trhu se společnost stala jedním z předních světových výrobců vstřikovacích lisů pro plastové díly. V současnosti firma ARBURG vyrábí vstřikovací stroje, robotické systémy, automatizované výrobní buňky a průmyslové 3D tiskárny pracující na technologiích Fused Filament Fabrication, která využívá k výrobě materiál v podobě struny namotané na cívce a Liquid Additive Manufacturing, s jejíž pomocí mohou výrobci vyrábět produkty z tekutého silikonu. Společnost také vyvíjí vlastní software. (ARBURG GmbH + Co KG, c2024)

Aktuálně firma zaměstnává přibližně 3700 zaměstnanců po celém světě, má zastoupení v 36 pobočkách a spolupracuje s obchodními partnery ve více než 100 zemích světa. Společnost uvádí dosažený obrat za rok 2023 ve výši 780 milionů EUR. (ARBURG GmbH + Co KG, c2024)

### 10.2.6 Prusa Research

V rámci analýzy společností z oboru aditivní výroby, které působí na českém trhu, nelze zapomenout na firmu Prusa Research a.s. Společnost založil Josef Průša v roce 2012 a má velké zásluhy v popularizaci 3D tisku mezi širokou veřejností v České republice. Prusa Research staví na open-source projektu RepRap, prvního projektu open-source 3D tiskárny. Projekt odstartoval na univerzitě v Bath v Anglii Dr. Adrian Bowyer. Na projektu se podílí komunita čítající stovky vývojářů a desítky tisíc uživatelů. (Průša, c2024)

Vyráběné 3D tiskárny společnosti Prusa Research sbírají ocenění po celém světě a jsou velmi oblíbené komunitou domácích kutilů. Tiskárny pracují na technologii FDM (Fused Deposition Modeling – výroba pomocí filamentu – „struny“) a SLA (Stereolitografie – výroba pomocí tekuté „pryskyřice“). Vzhledem k tomu, že společnost stále staví na úspěchu open-source projektu, nabízí všechny tisknutelné části tiskáren na svých webových stránkách, [printables.com](https://www.printables.com), zdarma ke stažení. Společnost dodává své výrobky zákazníkům po celém světě. (Prusa Research, c2024)

Kromě výroby vlastních 3D tiskáren se společnost zaměřuje na vývoj a výrobu vlastních materiálů, software a firmware. Podporuje vzdělávání a pravidelně pořádá školení ve svém sídle v Praze-Holešovicích. (Prusa Research, c2024)

Společnost Prusa Research a.s. na konci roku 2022 dosáhla čistého obratu za účetní období ve výši 2,6 miliardy Kč. (Prusa Research, 2023)

## 11 PŘEHLED 3D VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ VÝROBCŮ EOS A HP

Společnosti EOS GmbH a HP Development Company, L.P. v době vzniku diplomové práce nabízí několik typů výrobních zařízení sloužících k aditivní výrobě plastových dílů z práškových materiálů. V následující kapitole představím výrobní zařízení technologie SLS a MJF od těchto firem.

### 11.1 3D tiskárny společnosti EOS GmbH

V tabulce č. 5 jsou představeny dostupné 3D tiskárny v roce 2024 a jejich základní údaje z technického listu zveřejněného na webových stránkách výrobce EOS GmbH.

Tabulka 5 – Přehled nabízených SLS tiskáren společnosti EOS GmbH  
(vlastní zpracování dle EOS GmbH, c2024)

	FORMIGA P 110 Velocis	EOS P 396	INTEGRA P 450	EOS P 500	EOS P 770
Typ laseru	1 x 30 W; CO <sub>2</sub>	1 x 70 W; CO <sub>2</sub>	1 x 120 W; CO <sub>2</sub>	2 x 70 W; CO <sub>2</sub>	2 x 70 W; CO <sub>2</sub>
Rychlost snímání	Až 5,0 m/s	Až 6,0 m/s	Až 12,7 m/s	Až 10,0 m/s	Až 10,0 m/s
Rozměry výrobní komory <sup>1</sup>	200 x 250 x 330 mm	340 x 340 x 600 mm	420 x 420 x 500 mm	500 x 330 x 400 mm	700 x 380 x 580 mm
Spotřeba energie	až 5 kW	až 10 kW	až 12,5 kW	až 5 kW	až 12 kW
Rozměry stroje	1320 x 1067 x 2204 mm	1840 x 1175 x 2204 mm	2080 x 1320 x 2460 mm	3400 x 2100 x 2100 mm	2250 x 1550 x 2100 mm
Doporučený prostor pro instalaci (minimální)	3200 x 3500 x 3000 mm	4300 x 3900 x 3000 mm	4600 x 4100 x 3300 mm	7200 x 5200 x 4200 mm	4800 x 4800 x 3000 mm
Kompatibilní materiály od výrobce	17	22	1	11	19

<sup>1</sup> Jedná se o celkový rozměr výrobní komory. Efektivní rozměry výrobních komor se liší.

Z hlediska kompatibility s výrobními materiály a od toho se odvíjející množství aplikací, se nejuniverzálněji jeví tiskárna EOS P 396. Dle informací z webových stránek výrobce je také možné zařízení plně integrovat do prostředí IIoT (Industrial Internet of Things), kdy výsledkem je zcela digitální procesní řetězec od CAD modelu přes propojení se systémy ERP a MES až po hotový díl. Zařízení je možné digitálně sledovat odkudkoli a kdykoli. Také lze průběžně řídit a upravovat celý výrobní proces díky vyhodnocení a dokumentaci všech konstrukčních cyklů. (EOS GmbH, 2024)

## 11.2 3D tiskárny společnosti HP Development Company, L.P.

Podle dostupných informací na webových stránkách HP je zřejmé, že společnost k výrobním zařízením přistupuje odlišně od EOS GmbH. Společnost HP také ke svým tiskárnám veřejně uvádí více informací.

Na obrázku č. 4 jsou vyobrazeny výrobní zařízení EOS P 396 a HP Jet Fusion 5200. V tabulce č. 6 jsou poté představeny 3D výrobní zařízení od výrobce HP, aktuálně dostupné z webových stránek společnosti, které si mohou zákazníci v současnosti zakoupit.



Obrázek 4 – Výrobní zařízení EOS P 396 a HP Jet Fusion 5200

(EOS GmbH, 2024 a HP, c2024)



Tabulka 6 - Přehled nabízených MJF tiskáren společnosti HP Development Company, L.P.  
(vlastní zpracování dle HP, c2024)

	<b>HP Jet Fusion 4200</b>	<b>HP Jet Fusion 5000</b>	<b>HP Jet Fusion 5200</b>	<b>HP Jet Fusion 5420W</b>	<b>HP Jet Fusion 5600</b>
Procesor a paměť RAM	Intel Core i7 4770TE; 16 GB DDR3	Intel Core i7 7770; 32 GB DDR4	Intel Core i7 7770; 32 GB DDR4	Intel Core i7 7770; 32 GB DDR4	Intel Core i7 7770; 64 GB DDR4
Rozměry výrobní komory	380 x 284 x 380 mm	380 x 284 x 250 mm	380 x 284 x 380 mm	380 x 284 x 380 mm	380 x 284 x 380 mm
Spotřeba energie	9-11 kW	12 kW	12 kW	12 kW	12 kW
Výrobní vrstva	0,08 mm	0,08 mm	0,08 mm	0,09 mm	0,09 mm
Rozlišení zpracování úloh	600 dpi	1200 dpi	1200 dpi	1200 dpi	1200 dpi
Rozlišení tisku	1200 dpi	1200 dpi	1200 dpi	1200 dpi	1200 dpi
Rychlost tisku	Až 4115 cm <sup>3</sup> /h	Až 4010 cm <sup>3</sup> /h	Až 5058 cm <sup>3</sup> /h	Až 3380,84 cm <sup>3</sup> /h	Až 3466 cm <sup>3</sup> /h
Kompatibilní materiály od výrobce	5	1	7	1	1
Barva vytištěného dílu	Šedá	Šedá	Šedá	Bílá	Šedá

V rámci co nejširších průmyslových aplikací se ideální volbou jeví 3D tiskárna HP Jet Fusion 5200, která má v současné době nejvyšší kompatibilitu s aditivními materiály pro technologii Multi Jet Fusion. Zařízení rovněž mezi srovnanými dosahuje nejvyšší rychlosti tisku znamenající vyšší výrobní kapacitu.

## 12 PŘEDSTAVENÍ VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

Společnost, ve které bude realizován projekt výroby náhradního dílu, si s ohledem k současným aktivitám a strategickým záměrům nepřeje být jmenována. Z těchto důvodů nebude společnost v rámci diplomové práce jmenována a nebudou uvedeny podrobnější informace, na základě kterých by bylo možné společnost identifikovat.

Předmětem podnikání firmy je výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona. Obory činnosti společnosti jsou:

- Výroba plastových a pryžových výrobků
- Výroba a hutní zpracování železa, drahých a neželezných kovů a jejich slitin
- Výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků
- Povrchové úpravy a svařování kovů a dalších materiálů
- Výroba strojů a zařízení
- Výroba, opravy a údržba sportovních potřeb, her, hraček a dětských kočárků
- Výroba dalších výrobků zpracovatelského průmyslu
- Zprostředkování obchodu a služeb
- Velkoobchod a maloobchod
- Poskytování software, poradenství v oblasti informačních technologií, zpracování dat, hostingové a související činnosti a webové portály
- Poradenská a konzultační činnost, zpracování odborných studií a posudků
- Příprava a vypracování technických návrhů, grafické a kresličské práce
- Testování, měření, analýzy a kontroly
- Mimoškolní výchova a vzdělávání, pořádání kurzů, školení, včetně lektorské činnosti
- Výroba, obchod a služby jinde nezařazené  
(Ministerstvo spravedlnosti České republiky, c2024)

Společnost se na svých internetových stránkách prezentuje jako český lídr v aditivní výrobě a post-processingu dílů z plastu i kovu. Inovuje výrobu v odvětvích automotive, strojírenství, defense a space v regionu střední a východní Evropy. Kromě českého trhu působí také v zahraničí.

## 12.1 Výrobní portfolio

Společnost má ve svém výrobním portfoliu celkem 4 aditivní technologie a 8 technologií post-processingu. Vyrábí celkem z 11 materiálů, 8 plastových a 3 kovových.

Nabízené aditivní technologie a materiály jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka 7 – Nabízené aditivní technologie a materiály vybrané společnosti  
(vlastní zpracování dle zdrojů organizace, 2024)

Technologie	Typ materiálu	Nabízené materiály
Selective Laser Sintering	Polymer, kompozit	PA1101, PA2200, PA2210FR, PA3200GF, Alumide
Multi Jet Fusion	Polymer	HP PA12, TPU Ultrasint
Stereolitography	Polymer	Somos WaterClear Ultra 10122
Direct Metal Laser Sintering	Kov	Slitina AlSi10Mg, nerezová ocel 1.4404, nástrojová ocel 1.2709

Zákazníci mohou vybírat z široké nabídky post-processingu dílů jako je abrazivní tryskání, chemické vyhlazení, mokré lakování, barvení máčením, vakuové pokovení, vibrační omílání, CNC obrábění (frézování) a tepelné zpracování.

Pro udržení a posílení své pozice na trhu vybraná firma aktivně sleduje a reaguje na změny a trendy v oboru aditivní výroby. Konkrétními činnostmi je např. založení oddělení výzkumu a vývoje, kdy společnost pracuje na projektech se smluvními partnery a vyvíjí vlastní produkty.

### 13 SHRNU TÍ ANALÝZ

Analytická část diplomové práce se zabývala analýzami globálního a tuzemského trhu aditivní výroby, kdy byly podrobněji představeny vybrané firmy, které na trzích působí. Společně s tím rovněž byla provedena analýza aktuálně dostupných 3D výrobních zařízení z webových stránek výrobců HP a EOS.

Analýza globálního trhu ukázala současný odhad růstu globálního trhu AM během následujících 10 let. Z hodnoty 17,99 miliard dolarů v roce 2023 bude podle nynějších odhadů trh růst na hodnotu 110,13 miliard dolarů v roce 2033. V roce 2023 měla na trhu nejvyšší podíl Severní Amerika, 36,14 %. Nicméně během následujícího desetiletí se očekává, že nejvyšší tempo růstu zaznamená Asie a Tichomoří.

Nejnovější výzkumy dokazují, že na českém trhu firmy stále více využívají technologii aditivní výroby. Podle získaných informací z Českého statistického úřadu byla Česká republika v roce 2019 ve využívání 3D tisku nad průměrem EU. Umístila se na celkovém 5. místě za Dánskem, Maltou, Finskem a Německem.

Dále byly představeny firmy působící na globálním a tuzemském trhu v oblasti aditivní výroby. Závěr analytické části je zaměřen na 3D výrobní zařízení od výrobců EOS a HP, která využívají práškové plastové materiály. Představení těchto průmyslových tiskáren poskytlo ucelený pohled na část aktuální nabídky na trhu a umožnilo porovnání tiskáren stejné technologie podle funkcí a vlastností.

## 14 PROJEKT VÝROBY NÁHRADNÍHO DÍLU S VYUŽITÍM 3D SKENOVÁNÍ A ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

Na základě požadavku od zákazníka, který potřeboval vyrobit náhradní díl do starého automobilu, byl zadán projekt na jeho výrobu. Vzhledem k tomu, že technologiemi Selective Laser Sintering a Multi Jet Fusion je možné dosáhnout velmi podobných výsledků, nabízí se otázka, kterou technologii z technického a ekonomického hlediska pro díly s podobnou geometrií využít.

### 14.1 Zadání projektu

V projektu bylo stanoveno následující:

#### 14.1.1 Hlavní cíl projektu

- Vyrobit náhradní díl, který v současnosti není na trhu dostupný, pomocí aditivních technologií SLS a MJF.

#### 14.1.2 Vedlejší cíl projektu

- Vytvořit 3D model náhradního dílu pomocí 3D skenování a reverzního inženýrství.
- Určit, která aditivní technologie je pro sériovou výrobu dílů s podobnou geometrií vhodnější.

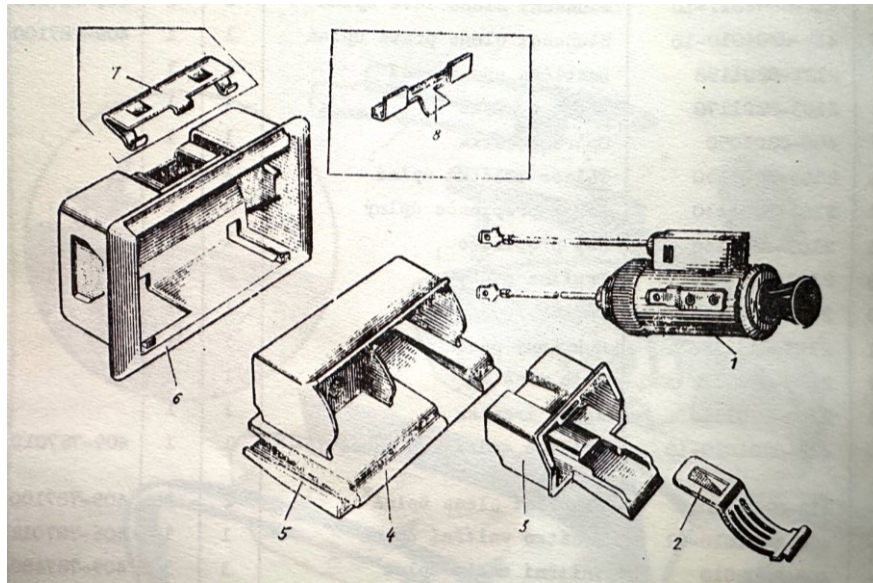
#### 14.1.3 Časový horizont

Projekt byl naplánován na období 1.-15. března 2024. V rámci období byly naplánovány následující činnosti:

- Skenování originálního dílu k získání dat pro reverzní inženýrství.
- Vytvoření trojrozměrného CAD modelu pro tisk.
- Pomocí aditivních technologií SLS a MJF vyrobit 2 kusy náhradního dílu.
- Po dokončení výroby aplikovat povrchové úpravy barvení máčením a chemické vyhlazení.

## 14.2 Představení vyráběného dílu a použitého materiálu

Zákazník potřeboval vyrobit náhradní díl vložky popelníku do automobilu Moskvič 1500. V katalogu náhradních dílů je vložka označená výrobním číslem 412-8203012. (Brouček, 1984, s. 329)



Obrázek 5 – Schéma umístění dílu (č. 3) v automobilu (Brouček, 1984, s. 328)

Vložka je součástí sestavy předního popelníku. Schéma sestavy je uvedeno na obrázku č. 5. Originální díl obsahuje prasklinu (viz obr. č. 6). Zákazník neměl k dispozici 3D model ani technický výkres. Pro vytvoření potřebného 3D modelu bude potřeba vložku naskenovat a následně data upravit, aby se zacelila prasklina a opravily se případné odchylky skenování.



Obrázek 6 – Prasklina v originálním dílu (vlastní zpracování)

### 14.2.1 Vybraný materiál pro výrobu náhradních dílů

Pro co nejpřesnější srovnání technologií Selective Laser Sintering a Multi Jet Fusion byl pro výrobu náhradních dílů zvolen materiál PA12. Jedná se o polyamid, řadící se do skupiny termoplastů. Jak bylo uvedeno v kapitole 4, termoplasty jsou polymerní materiály, které za zvýšených teplot měknou a přechází do plastického stavu, kdy je za těchto podmínek možné tvářet. Polyamidy jsou pevné a tvrdé materiály, které jsou odolné proti otěru i proti rázu. Polyamidy také odolávají účinkům organických látek, jako jsou oleje, pohonné hmoty nebo rozpouštědla.

## 14.3 Plán projektu pomocí metod projektového managementu

K provedení plánu projektu byla zvolena kombinace metody SMART, Ganttova diagramu a analýzy RIPRAN. Metody následně umožnily efektivní řízení a monitorování průběhu projektu.

### 14.3.1 Definice projektu metodou SMART

#### S – Specifický

Hlavním cílem projektu je vyrobit nedostupný díl bez technické dokumentace. K tomu budou použity technologie 3D skenování skenerem Zeiss GOM ATOS 5 a následně výroba náhradních dílů aditivními technologiemi Selective Laser Sintering a Multi Jet Fusion. Projekt se také zaměří na určení výrobní technologie, která bude pro výrobu dílů s podobnou geometrií vhodnější.

#### M – Měřitelný

Pro realizaci projektu je potřeba zajistit školení pracovníka k obsluze 3D skeneru a také zajistit volnou výrobní kapacitu výrobních zařízení.

#### A – Akceptovatelný

S navrhnutým projektem vedení vybrané společnosti souhlasilo. Vedení rovněž souhlasilo se školením autora diplomové práce k obsluze 3D skeneru a přiřadilo mu zaměstnance k poskytnutí technické podpory.

#### R – Reálný

Projektový cíl je splnitelný. Společnost disponuje dostatkem výrobních kapacit a lidských zdrojů k realizaci projektu. Výsledek projektu pomůže společnosti zefektivnit proces rozhodování jakou výrobní technologií pro podobné díly využít.

## T – Časově definovaný

Projekt bude realizovaný v období 1.–15. března 2024. V následující podkapitole bude časový rámec specifikován podrobněji.

### 14.3.2 Časový rámec projektu

Jak již bylo uvedeno dříve, projekt byl naplánován na období 1.–15. března 2024. Běžně je takový projekt možné provést během týdne, nicméně vzhledem k časové vytíženosti zaměstnanců a množství zpracovávaných zakázek bylo nutné období realizace projektu prodloužit.

Pomocí Ganntova diagramu byl k dispozici jednoduchý přehled jednotlivých fází projektu a bylo tak možné sledovat průběh projektu v čase.

V tabulce č. 8 je uveden časový rámec projektu a na sebe navazující činnosti.

Tabulka 8 – Časový rámec projektu (vlastní zpracování)

Činnosti	Březen 2024 - pracovní dny (datum)											
	1	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	
3D skenování originálního dílu	■											
Oprava dat a reverzní inženýrství		■	■	■								
Vytvoření CAD modelu pro tisk				■	■	■						
Tisk náhradních dílů					■	■	■	■				
Kontrola rozměrů vyrobených dílů								■	■			
Barvení máčením									■	■		
Chemické vyhlazení										■	■	
Expedice zákazníkovi											■	■

### 14.3.3 Analýza projektových rizik RIPRAN

Při plánování projektu byla zvolena metoda RIPRAN, díky které bylo možné zjistit nebezpečné skutečnosti, na které je potřeba se nejvíce zaměřit. Analýza umožnila identifikovat nejrizikovější faktory a čím jsou způsobeny a následně stanovit případná protiopatření k eliminaci rizika.



Analýza RIPRAN je uvedena v tabulce č. 9.

Tabulka 9 – Riziková analýza projektu (vlastní zpracování)

Riziko	Pravdě- podo- bnost (P)	Dopad (D)	Priorita (P*D)	Spouštěč rizika	Protiopatření k eliminaci rizika
Porucha skeneru	2	5	10	Mechanické poškození, softwarová chyba	Pravidelná kontrola a údržba zařízení, záložní skener
Porucha tiskárny před tiskem	2	5	10	Porucha elektroniky nebo vnitřních částí	Pravidelná kontrola a údržba zařízení, záložní stroj
Technické potíže během tisku	3	4	12	Výpadek proudu, nestabilita tisku	Průběžné sledování tisku, údržba a čištění stroje, školení personálu
Nedostatečné otryskání od prášku	1	3	3	Nedostatek času na otryskání	Kontrola otryskaných dílů, zlepšení plánování zakázek
Nevhodný postup barvení máčením	1	5	5	Aplikace nevhodné barvy, nedodržení potřebného času	Školení personálu, nastavení procesu barvení máčením
Porucha vyhlazovacího zařízení	2	5	10	Porucha elektroniky nebo vnitřních částí	Pravidelná kontrola a údržba zařízení, záložní stroj
Komplikace s dodáním dílu zákazníkovi	2	5	10	Problémy s logistikou	Kontrola správnosti plánu expedice, vlastní firemní kurýr

Hodnoty pravděpodobnosti a dopadu byly stanoveny jako interval <1,5>. Hodnota 1 značí nejnižší pravděpodobnost a dopad, hodnota 5 poté vyjadřuje nejvyšší pravděpodobnost a dopad na projekt.

Výsledné skóre priority je následně vyjádřeno součinem hodnot pravděpodobnosti a dopadu. Nejvyšší skóre rizikovosti (oranžová) dosáhlo riziko technických potíží během tisku. V případě, že vypadne proud, dojde k narušení procesu výroby, proces tisku nebude stabilní a výsledné díly mohou obsahovat defekty jako je např. chyba spečení výrobní vrstvy.

Druhou nejvíce rizikovou skupinou (žlutá) jsou rizika poruchy jednotlivých zařízení jako je skener, 3D tiskárna, případně vyhlazovací zařízení. Do této skupiny se rovněž řadí riziko nedodání produktu zákazníkovi. Tato rizika je možné potlačit či úplně eliminovat pravidelnou kontrolou a údržbou zařízení, případně pořízením záložního zařízení. V případě logistiky je nutné kontrolovat správnost plánu expedice, případně najmout vlastního kurýra.

Nejmenší riziko (zelená), a tedy i prioritou k jeho potlačení/eliminaci v rámci metody RIPRAN vyšlo u rizik nedostatečného otryskání od prášku a aplikací nevhodného postupu barvení máčením. To však neznamená, že tato rizika nemohou nastat. Proto je potřeba nastavit výrobní procesy a personál řádně zaškolit.

Získaná data dosažená metodou RIPRAN byla předána zástupcům vybrané společnosti pro hlubší analýzu a zajištění případných krizových scénářů a průběžného vyvíjení procesních předpisů.

## 15 3D SKENOVÁNÍ A ÚPRAVA DAT

Pro výrobu náhradního dílu bylo nejdříve potřebné provést kompletní digitalizaci originálního dílu pomocí 3D skenování.

### 15.1 Příprava pro 3D skenování

K zajištění kvalitního skenu se povrch originálního dílu musel připravit pro proces 3D skenování. V případě, že je povrch lesklý, bílý nebo nízko kontrastní, mohou při skenování nastat odrazy a zkreslení. Takový povrch je potřebné ošetřit antireflexním sprejem. Je potřeba dbát zvýšené pečlivosti v rozích dílu, aby nedocházelo k odrazivosti a zkreslení výsledného skenu. Pomocí tohoto postupu bylo možné zmatnit povrch a minimalizovat odrazy světla. Byly zajištěny ideální podmínky k dosažení přesného skenu a zachování detailů. Na obrázku č. 7. je zobrazen proces přípravy povrchu dílu pro skenování.

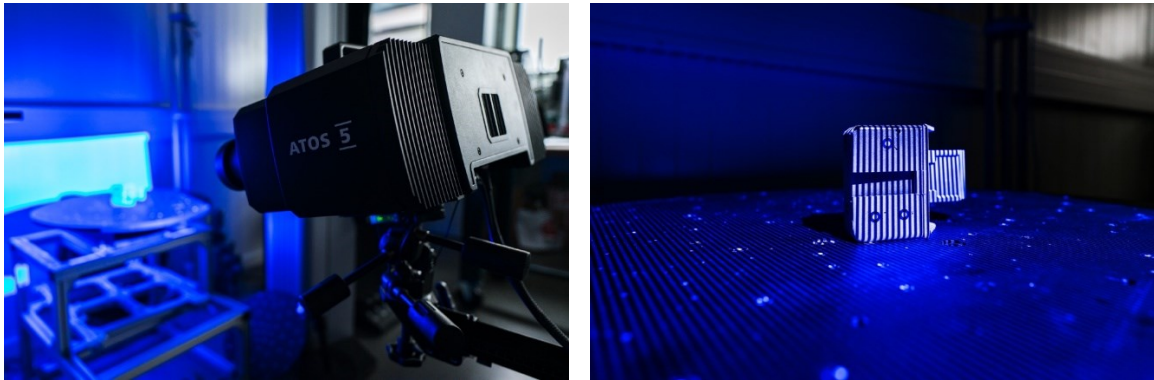


Obrázek 7 – Úprava povrchu originálního dílu pro skenování (vlastní zpracování)

### 15.2 Skenování originálního dílu

Originální díl byl skenován pomocí vysokorychlostního průmyslového 3D skeneru Zeiss GOM ATOS 5, který splňuje vysoké metrologické požadavky průmyslových uživatelů. Pomocí skeneru lze získat přesné údaje od nástrojů a forem až po plastové a kovové díly.

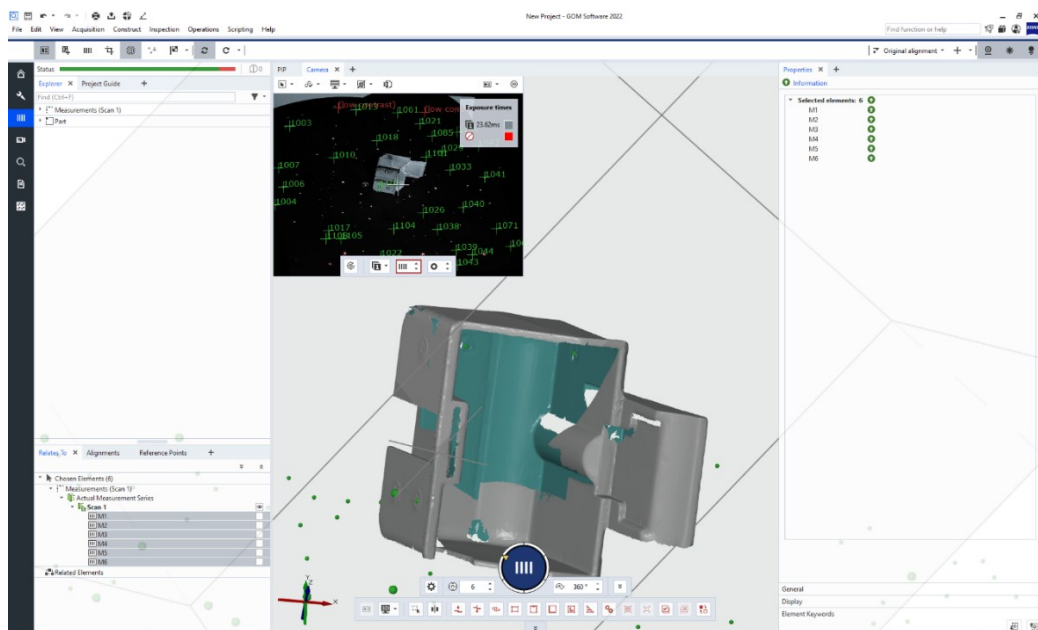
K určení 3D souřadnic byly na vložku popelníku po aplikaci antireflexního spreje nalepeny referenční body. Body nejsou citlivé na prach a nečistoty, riziko ovlivnění skenování je minimální. Na obrázku č. 8. je zdokumentován proces skenování pomocí skeneru Zeiss GOM ATOS 5.



Obrázek 8 – Skenování originálního dílu (vlastní zpracování)

Během skenování je doporučeno, aby skener z každého úhlu snímal alespoň 3-4 referenční body. Díky tomu lze dosáhnout vysoké přesnosti skenování. Díky referenčním bodům je dále možné skenovat díl z obou stran, kdy pomocí skenovacího softwaru je možné spojit několik skenů dohromady. Se skenerem je možné pohybovat a měnit tak úhel skenování. Operátor je schopný skenovat kapsy, dutiny, či jiná hůře dostupná místa.

Průběh skenování v prostředí programu GOM Software 2022 je vyjádřen na obrázku č. 9.



Obrázek 9 – Průběh skenování v programu GOM Software 2022 (vlastní zpracování)

### 15.3 Úprava dat

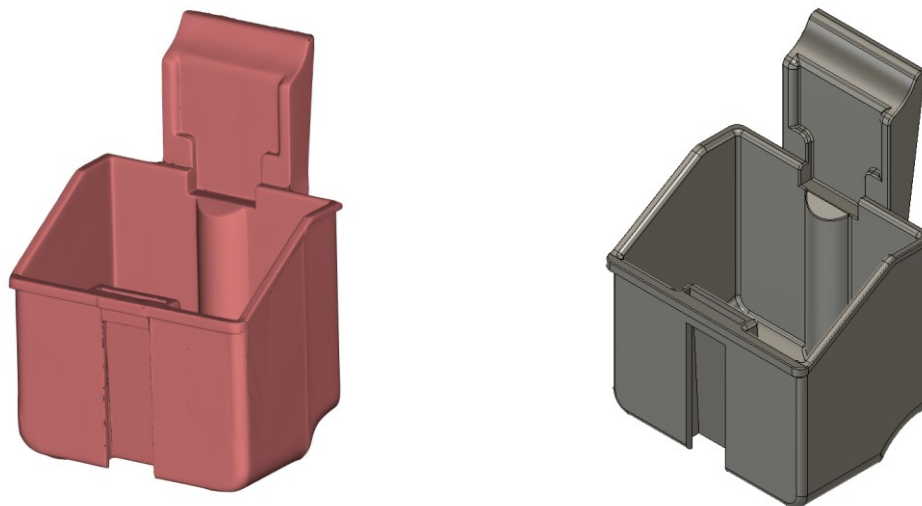
Výsledný sken ze skenování obsahoval několik chyb či nedokonalostí, které bylo potřeba opravit. Pro vytvoření konečného 3D modelu bylo možné zvolit 2 přístupy k úpravám dat.

Prvním přístupem bylo možné v krátkém čase „zalepit“ díry v modelu, prasklinu a další nedokonalosti. Byl vytvořen model s nižší přesností, který je pro tento model dostatečný k vytištění a aplikaci povrchové úpravy mokré lakování s plničem. Během tohoto post-processingu se pomocí lakovací pistole nejdříve aplikuje plnič, který slouží jako podkladová vrstva a jistá „výplň“ nedokonalostí na povrchu díru, jako jsou rýhy a další. Po zaschnutí plniče je možné dále aplikovat lak s finálním odstínem dle vzorníku RAL.

Druhým přístupem byl na základě původního skenu vytvořen „obkreslený“ CAD model, který zahrnoval všechny detaily, plochy a další charakteristiky originálního dílu. Na rozdíl od prvního přístupu bylo nutné podrobně modelovat každou část dílu. Výsledkem byl model s nejvyšší možnou přesností a detailností.

V praxi se oba přístupy kombinují. Každý přístup má totiž své výhody a nevýhody a volba mezi nimi závisí na konkrétních požadavcích projektu, čase a také rozpočtu. První přístup trval přibližně 1,5 hodiny. Druhou metodou byly stráveny 4 hodiny.

Rozdíl mezi oběma přístupy je možné shlédnout na obrázku 10.



Obrázek 10 – Rozdíly mezi jednotlivými přístupy k reverznímu inženýrství, vlevo přístup „zalepení děr“, vpravo přístup „obkresleného“ modelu (vlastní zpracování)

## 16 3D TISK NÁHRADNÍHO DÍLU

Jakmile byl trojrozměrný CAD model vytvořený, bylo možné ve vybrané společnosti zadat náhradní díl do výroby.

### 16.1 Výroba dílů

Výroba náhradních dílů probíhala pomocí:

- Technologie SLS – výrobní zařízení EOS P 396, materiál PA2200 (obchodní značení pro PA12)
- MJF – výrobní zařízení HP Jet Fusion 5200, materiál HP 3D HR PA12

Základní charakteristiky materiálů jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka 10 – Základní materiálové charakteristiky materiálů PA12  
(zdroj: interní dokumenty vybrané společnosti)

	PA2200; SLS	HP 3D HR PA12; MJF
Pevnost v tahu (XY)	48 MPa	48 MPa
Modul pružnosti (XY)	1650 MPa	1700 MPa
Prodloužení při přetržení (XY)	18 %	20 %
Teplota tavení prášku	176 °C	187 °C

Z tabulky č. 10 je patrné, že oba materiály si jsou velmi podobné. To byl také jeden z důvodů, proč byly vybrány pro srovnání aditivních technologií Selective Laser Sintering a Multi Jet Fusion.

Výroba náhradních dílů probíhala v běžném režimu vybrané společnosti – tj. díly byly přidány do staveb s ostatními produkty, které vybraná společnost vyráběla pro své zákazníky. Díly byly na výrobní platformě umístěny pod úhlem 45 stupňů. Pro porovnání byly vybrány stavby se stejným poměrem zaplnění výrobní komory. Během výroby nedošlo k žádným anomáliím. Pracovníci vybrané společnosti výrobní zařízení po celou dobu kontrolovali. Po skončení výrobního procesu a následném zchladnutí výrobní platformy



se díly mohly vytáhnout a očistit od prášku. Proces vytažení vyrobených náhradních dílů z výrobní platformy a hrubé očištění od prášku je vyobrazen na obrázku č. 11.



Obrázek 11 – Vytažení dílu z platformy (vlastní zpracování)

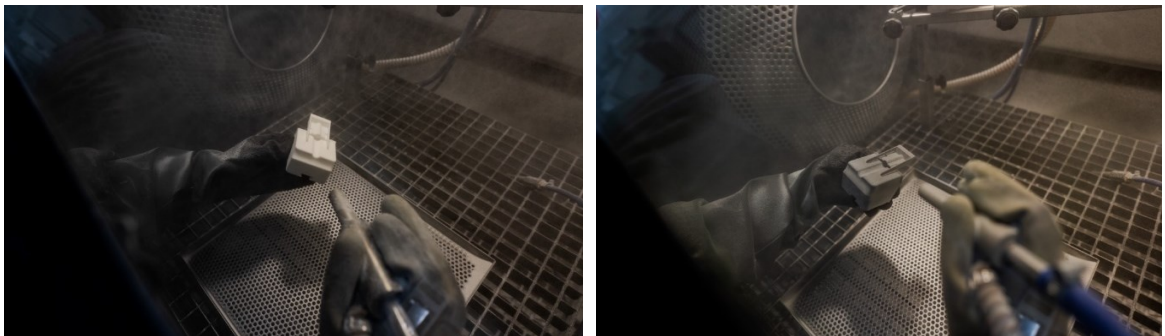
## 16.2 Post-processing dílů

Surové vytištěné díly bylo potřeba očistit od prášku a následně se mohl povrch upravit podle požadavků projektu.

### 16.2.1 Abrazivní tryskání

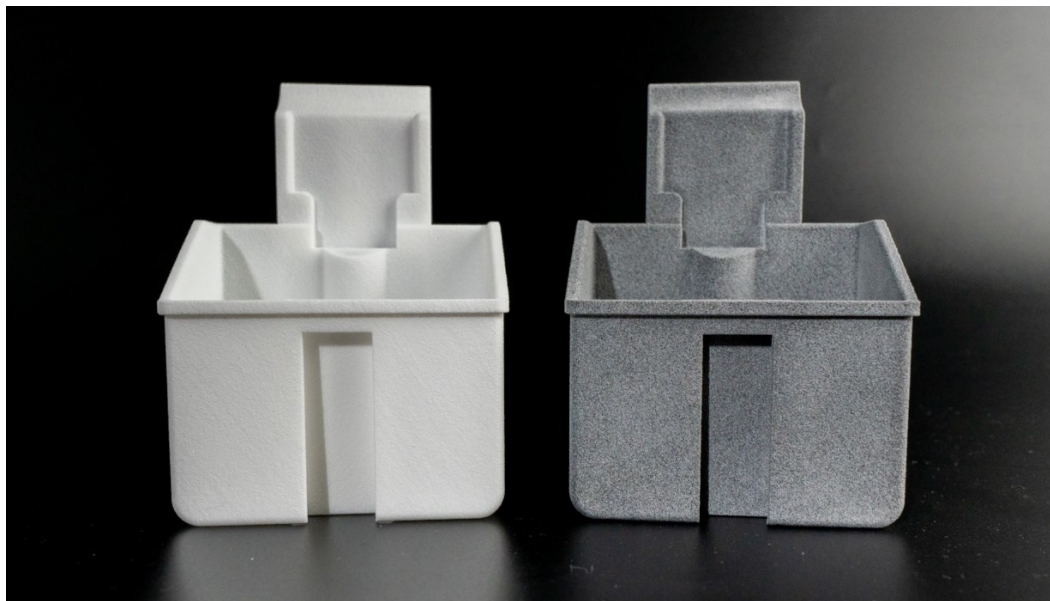
Pomocí technologie abrazivního tryskání se díly pomocí tryskání drobných abrazivních částic balotiny a keramiky pod vysokým tlakem očistily od přebytečného prášku. Výsledkem procesu bylo sjednocení povrchu dílů a příprava na další zpracování.

Proces abrazivního tryskání je zobrazen na obrázku č. 12.



Obrázek 12 – Abrazivní tryskání vyrobených dílů (vlastní zpracování)

Povrch surových dílů byl drsný, což je běžným jevem abrazivního tryskání. Kromě drobných nepřesností výroby (bude představeno v kapitole 17), je největším rozdílem dílů jejich barva po vyčištění. Zatímco díly z technologie Selective Laser Sintering jsou bílé a díky tomu snadněji barvitelné do mnoha odstínů pomocí barvení máčením, díly z technologie Multi Jet Fusion jsou standardně šedé a barvení máčením tak lze barvit pouze do šedých a černých odstínů. Vyrobené díly otryskané od prášku, ve stavu po výrobě a připravené k dalšímu zpracování jsou vyobrazeny na obrázku č. 13.



Obrázek 13 – Surové díly po otryskání od prášku; vlevo technologie SLS a PA2200, vpravo technologie MJF a HP 3D HR PA12 (vlastní zpracování)

### 16.2.2 Úprava povrchu barvení máčením

S ohledem na požadavek odolnosti obarveného povrchu vůči otěru, byla zvolena metoda barvení máčením do černé barvy. Díky této technologii je možné probarvit i takové díly, které mají složitou nebo členitou geometrii. Barva, do které se výrobek ponořuje, pronikne během máčení do povrchu dílu do hloubky několika desetin milimetru.

Před barvením bylo potřeba SLS a MJF díly důkladně opláchnout pod tekoucí vodou a odstranit tak případné nečistoty, které by mohly kontaminovat barvicí lázeň. Pro barvení dílů vybraná společnost používá cirkulační varnu s regulovatelnou teplotou a cirkulací barvicí lázně. Barvicí lázeň musí mít pro každý materiál různou teplotu, díly z polyamidu 12 se namáčí do lázně o teplotě stanovené výrobcem 75°C.



Díly byly do barvy ponořeny po dobu 5–10 minut, poté je bylo nutné opět opláchnout pod tekoucí vodou a ofoukat ionizační pistolí, aby se zamezilo vzniku skvrn a map. K eliminaci zbytkové vlhkosti se díly následně vysušily v peci.

Hlavní výhody barvení máčením:

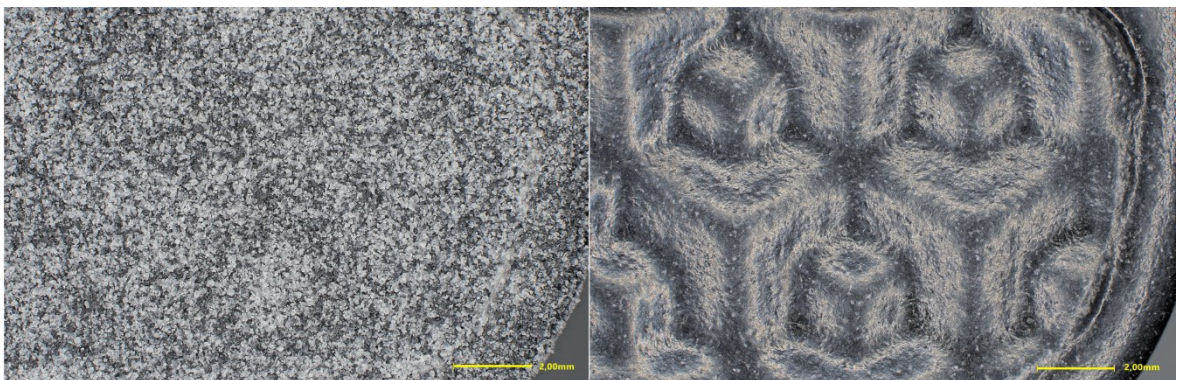
- Je možné probarvit struktury a místa dílů, které nelze lakovat pomocí lakovacích pistolí.
- Barva je velmi odolná proti otěru, proces je tak vhodný pro funkční díly.
- Oproti lakování pomocí lakovacích pistolí (mokrý lakování) je barvení máčením časově nenáročná metoda barvení dílů.

### 16.2.3 Úprava povrchu metodou chemického vyhlazení

Poslední částí post-processingu bylo chemické vyhlazení povrchu dílů. Technologie byla použita proto, že chemickým vyhlazením lze povrch výrobků upravit tak, aby byl odolný vůči vodě a nečistotám. Vložka popelníku tak bude moci být bez problémů použitelná v automobilu. K chemickému vyhlazení zařízení používá speciální chemickou sloučeninu, která se v první fázi procesu odpaří a zaplní pracovní komoru mlhou. Mlha poté kondenzuje na povrchu výrobků, čímž naleptá jejich strukturu. Ostré nerovnosti se zahladí a povrch se celkově sjednotí. V poslední fázi se mlha z pracovní komory a povrchu výrobků odvětrá.

Chemickým vyhlazením se zacelí povrchové póry a zvýší se tak odolnost povrchu vůči pronikání kapaliny do povrchu a výrobek je snadněji udržovatelný. Touto metodou je možné zvýšit schopnost deformace dílu. Vzhledem k tomu, že se na povrchu vyhlazeného dílu nenachází tolik koncentrátorů napětí, dochází k iniciaci trhliny a porušení dílu později.

Na obrázku č. 14 je možné pozorovat stav povrchu vzorků před a po chemickém vyhlazení.



Obrázek 14 – Stav povrchu před (vlevo) a po (vpravo) chemickém vyhlazení povrchu reklamních vzorků vybrané společnosti (vlastní zpracování)

Hlavní výhody chemického vyhlazení:

- Povrch výrobku je odolný vůči vodě a nečistotám.
- Tímto procesem je možné snížit drsnost povrchu dílu na hodnoty Ra 2–3  $\mu\text{m}$ .
- Dochází ke zvýraznění odstínu aplikované barvy. Vhodné pro estetické díly.
- Zlepšují se mechanické vlastnosti materiálu, např. zvýšení odolnosti vůči prasklinám u flexibilních materiálů (TPU).

Chemické vyhlazení povrchu dílů probíhalo na zařízení AMT PostPro3D, které je vyfoceno na obrázku č. 15.



Obrázek 15 – Zařízení pro chemické vyhlazení povrchu dílů AMT PostPro3D  
(vlastní zpracování)

Po aplikaci všech naplánovaných technologií post-processingu byly díly připravené k expedici zákazníkovi. Pracovník z oddělení expedice výrobky pečlivě zabalil a odeslal přepravní službou zákazníkovi.

### 16.3 Shrnutí výroby náhradních dílů

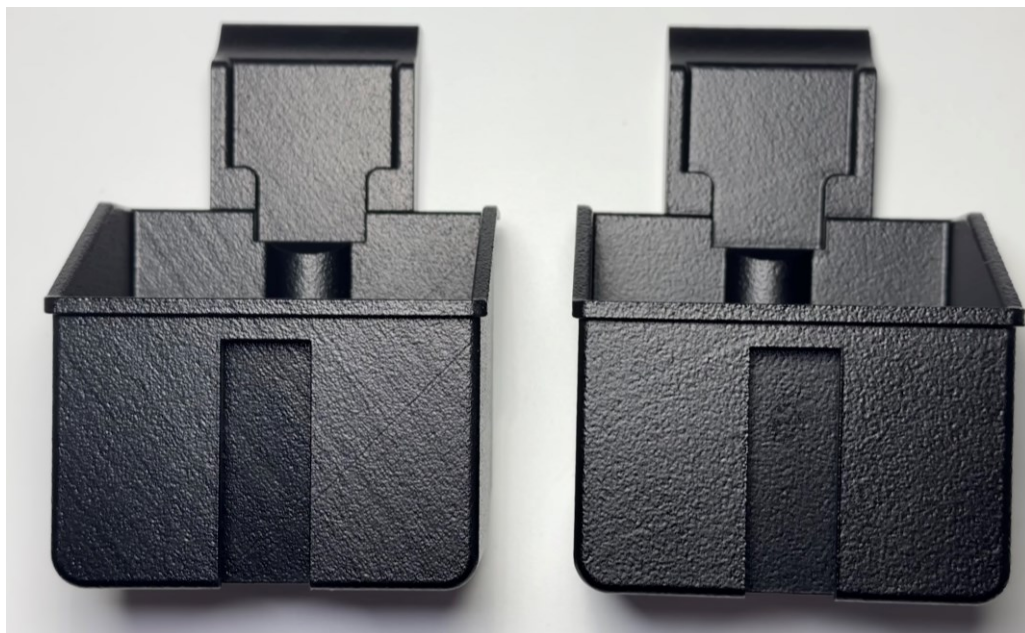
Realizací projektu výroby náhradních dílů byl získán ucelený přehled o tom, jak probíhá 3D digitalizace výrobků, které se už buďto nevyrábí, nebo zákazník nemá k dispozici jejich technickou dokumentaci. Díky projektu a radami pracovníků vybrané společnosti bylo také

možné si vyzkoušet pracovat v software Materialise Magics, Autodesk Fusion a GOM Software 2022. Výroba náhradních dílů probíhala na průmyslových 3D tiskárnách EOS P 396 (technologie Selective Laser Sintering) a HP Jet Fusion 5200 (technologie Multi Jet Fusion) z materiálu polyamid PA12.

Vyrobené díly se pocitově jevily lehčí. Tento fakt byl následně ověřen. Originální plastová část vložky popelníku vážila 53 gramů, přičemž obsahovala prasklinu na boční stěně. Náhradní díl zpracovaný technologií SLS vážil 34 gramů a díl vyrobený pomocí aditivní technologie MJF měl hmotnost 38 gramů. Rozdíl v hmotnosti může být způsoben rozdílnou hustotou výrobních materiálů.

Po skončení výrobního procesu byly díly očištěny od přebytečného prášku pomocí metody abrazivního tryskání balotinovými a keramickými částicemi. Podle informací získaných z interních dokumentů společnosti dosahují vytištěné výrobky z aditivních technologií SLS a MJF drsnosti povrchu Ra bez dalších úprav hodnot 8–35  $\mu\text{m}$  v případě technologie SLS a Ra 6–25  $\mu\text{m}$  u technologie MJF. Výsledné hodnoty závisí na sklonu plochy. Přesné hodnoty nebyly měřeny. Poté byly výrobky nabarveny do černa technologií barvení máčením. Díky tomuto post-processingu pronikne barva do hloubky 40–120  $\mu\text{m}$  v závislosti na geometrii dílu. Nakonec byla použita technologie chemického vyhlazení k zajištění odolnosti povrchů dílů proti vodě a nečistotám.

Výsledný stav náhradních dílů expedovaných zákazníkovi je vyobrazen na obrázku č. 16.



Obrázek 16 – Konečný stav vyrobených náhradních dílů; vlevo SLS, vpravo MJF  
(vlastní zpracování)

## 17 TECHNOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU

V následující kapitole bude představeno technologické zhodnocení projektu. Kapitola je nejdříve zaměřena na porovnání výrobní přesnosti, které bylo docíleno pomocí opětovného skenování vyrobených náhradních dílů. Následně bude vyjádřena doba výroby náhradních dílů pomocí jednotlivých aditivních technologií SLS a MJF a také budou uvedeny propočty výrobní kapacity vedoucí k určení, která technologie je vhodnější pro využití v sériové výrobě dílů s podobnou geometrií jako vyráběné náhradní díly.

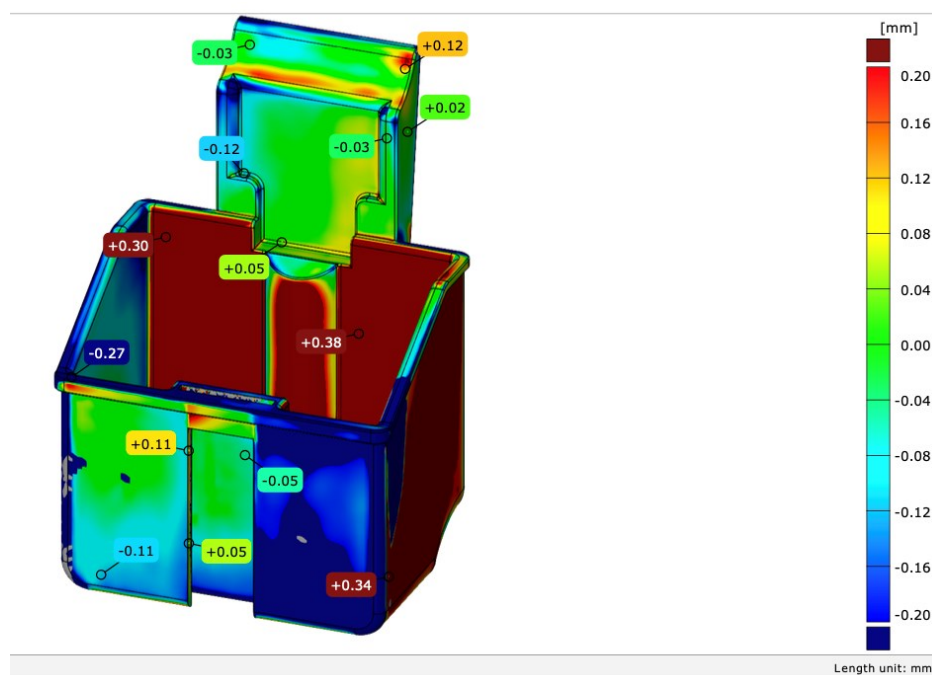
### 17.1 Porovnání přesnosti výroby

První část kapitoly je zaměřena na možné odchylky, které mohou vzniknout během tvorby CAD modelu a výroby. Budou představeny záznamy z protokolů, kde budou odchylky vyjádřeny. Tyto informace dále poslouží pracovníkům společnosti pro nastavení procesních parametrů tisku tak, aby byly odchylky co nejmenší.

#### 17.1.1 Porovnání původního dílu s CAD modelem

V rámci srovnání originálního dílu (tedy jeho skenu) s vytvořeným CAD modelem byly v programu GOM Software 2022 měřeny odchylky, které vznikly při rekonstrukci dat.

Odchylky jsou uvedeny na obrázku č. 17. Celý protokol je k dispozici k nahlédnutí jako Příloha č. 2.



Obrázek 17 – Odchylky originálního dílu s CAD modelem (vlastní zpracování)



Vysvětlivky jednotlivých barev:

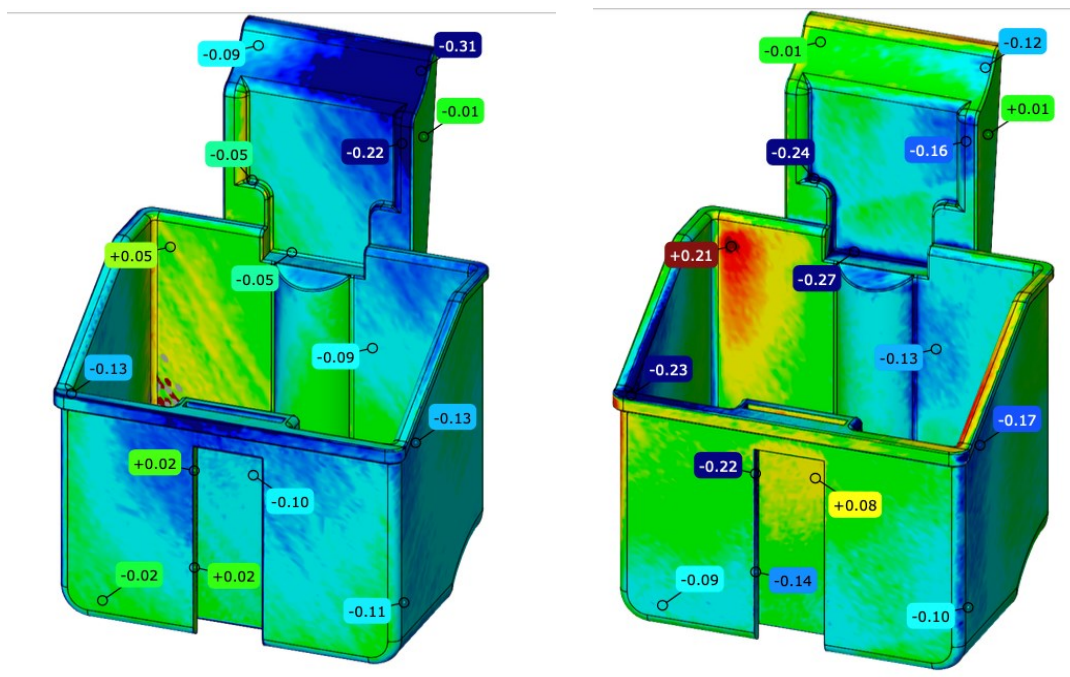
- Zelená – odchylky minimální, původní sken je totožný s vytvořeným CAD modelem
- Červená – původní sken má větší rozměry než vytvořený CAD model
- Modrá – původní sken má menší rozměry než vytvořený CAD model

Všechny odchylky jsou vyjádřeny v setinách milimetru. Nejvyšší odchylky byly zaznamenány uvnitř dutiny vložky popelníku a na pravé hraně zadní strany. V rámci aplikace zkoumaného dílu se však jedná o velmi malé odchylky, které nemají vliv na funkčnost a použitelnost dílu po výrobě.

### 17.1.2 Porovnání náhradních dílů s CAD modelem

V rámci zkoumání výrobní přesnosti bylo provedeno porovnání vytištěných a pouze otryskaných dílů z obou aditivních technologií s CAD modelem. Pro porovnání byly vytištěné díly opět naskenovány.

Porovnání výrobní přesnosti vyrobených náhradních dílů s CAD modelem je uvedeno na obrázku č. 18.



Obrázek 18 – Porovnání náhradních dílů s CAD modelem; vlevo SLS, vpravo MJF  
(vlastní zpracování)

Stupnice barev je stejná jako u prvního porovnání původního dílu a CAD modelu, tedy:

- Zelená – odchylky minimální, náhradní díl je totožný s CAD modelem
- Červená – náhradní díl má větší rozměry než CAD model
- Modrá – náhradní díl má menší rozměry než vytvořený CAD model

Skeny náhradních dílů odhalily výrobní odchylky u obou technologií. U dílu vyrobeného pomocí technologie Selective Laser Sintering byly na přední straně (viz obrázek č. 18) zaznamenány výraznější odchylky v horní části „patky“. U vnější stěny vaničky a v dutině byly odchylky minimální do 0,13 mm. Zadní strana dílu obsahovala výrobní odchylky v rozmezí +0,04 až -0,38 mm. Náhradní díl tedy měl menší rozměry než originální díl.

Náhradní díl vyrobený pomocí technologie Multi Jet Fusion obsahoval výraznější odchylky výroby z předního pohledu na bocích dílu a také v místech pro uložení třmene popelníku (viz obrázek č. 4 – třmen označen číslem 2). Ze zadní strany dílu jsou poté nejvýraznější odchylky na zadní stěně, hranách a boční stěně patky.

Celé protokoly ze skenování jsou uvedeny v přílohách jako Příloha č. 3 – náhradní díl PA2200 a Příloha č. 4 – náhradní díl PA12.

### 17.1.3 Porovnání náhradních dílů s původním dílem

Na závěr byly náhradní díly z obou technologií porovnány s původním dílem.

Pomocí srovnání náhradních dílů s CAD modelem a původním dílem byla ověřena přesnost výroby odpovídající normě ČSN ISO 2768c. Tato norma stanovuje nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů, viz obrázek č. 19.

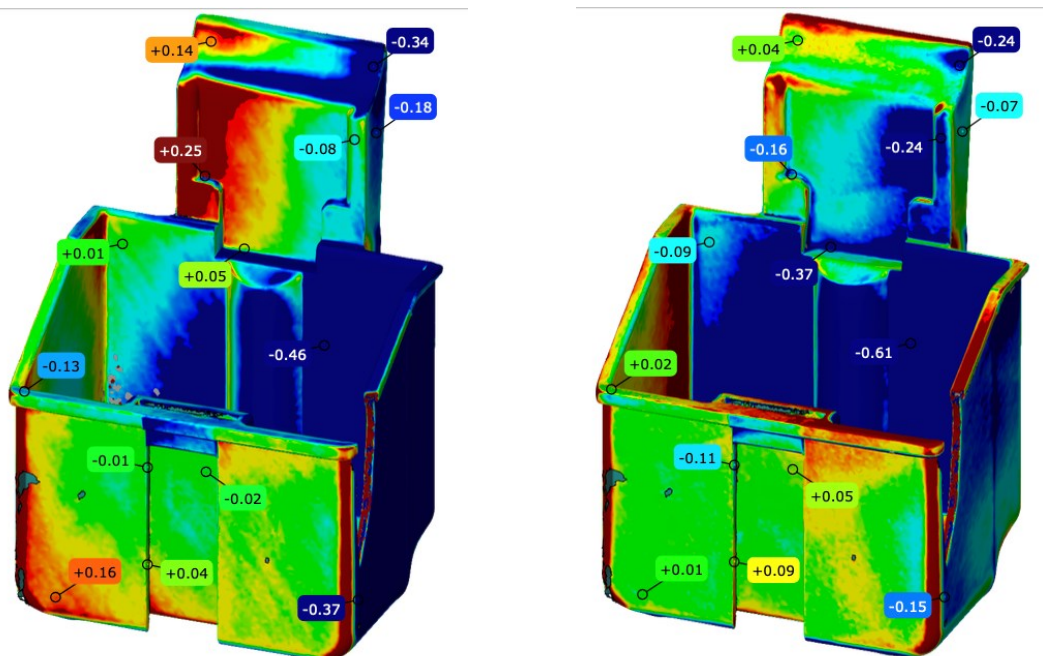
Třída přesnosti	od 0,5 do 3	od 3 do 6	od 6 do 30	od 30 do 120	od 120 do 400	od 400 do 1000	od 1000 do 2000	od 2000 do 4000
f	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

Obrázek 19 – Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů v milimetrech podle normy ČSN ISO 2768 (E-konstruktor.cz, c2013-2017)

V rámci zpřehlednění dat uvádím vysvětlivky barev pro porovnání výrobních odchylek:

- Zelená – odchylky minimální, původní díl je totožný s náhradním dílem
- Červená – originální díl má větší rozměry náhradní díl
- Modrá – originální díl má menší rozměry než vyrobený náhradní díl

Na obrázku č. 20 jsou zobrazeny odchylky rozměrů originálního dílu s náhradními díly. Na levé straně se nachází náhradní díl vyrobený technologií Selective Laser Sintering. Náhradní díl, který se vyráběl pomocí technologie Multi Jet Fusion je uveden na pravé straně.



Obrázek 20 – Porovnání náhradních dílů s originálním dílem; vlevo SLS, vpravo MJF  
(vlastní zpracování)

Protokoly porovnání náhradních dílů s originálním dílem jsou uvedeny v přílohách diplomové práce jako Příloha 5 – Původní díl a náhradní díl technologie SLS a Příloha 6 – Původní díl a náhradní díl technologie MJF.

## 17.2 Srovnání rychlosti výroby

V rámci technologického zhodnocení projektu se následně projekt zaměřil na porovnání časové náročnosti výroby náhradních dílů. Nejdříve bylo vyjádřeno porovnání výroby pouze jednoho kusu v celé výrobní komoře.

Získaná data o časové náročnosti výroby 1 kusu náhradního dílu oběma zkoumanými aditivními technologiemi jsou uvedena v tabulce č. 11.

Tabulka 11 – Srovnání času výroby 1 kusu náhradního dílu  
(vlastní zpracování; interní zdroje vybrané společnosti)

Činnost	Selective Laser Sintering, zařízení EOS P 396	Multi Jet Fusion, zařízení HP Jet Fusion 5200
3D skenování	1 hod.	
RE – „zalepení děr“	1,5 hod.	
RE – „obkreslení dílu“	4 hod.	
Příprava na tisk	2 hod.	
Tisk	4 hod.	3 hod.
Chladnutí stavby	Přibližně 8 hod.	Přibližně 6 hod.
Vytažení z platformy	0,33 hod.	
Otryskání od prášku	0,16 hod.	
Barvení máčením	0,66 hod.	
Chemické vyhlazení	2 hod.	
<b>Celkem</b>	<b>18,65–21,15 hod.</b>	<b>15,62–18,12 hod.</b>

Vyjádřené časy jednotlivých činností zahrnují všechny přiřazené podprocesy, tedy v případě činnosti vytažení z platformy jsou připočteny aktivity přesun z výrobního stroje do procesní stanice sloužící k základnímu očištění vyrobených dílů od prášku a další.

Celkové časy výroby jsou uvedeny záměrně jako časové rozmezí. Je to dáno rozdílným přístupem k rekonstrukci dat pomocí reverzního inženýrství.



Na základě srovnání času výroby je zřejmé, že technologie Multi Jet Fusion je v případě výroby zkoumaných dílů rychlejší o 3 hodiny. Dokonce při případném použití složitějšího přístupu k reverznímu inženýrství (tedy na základě skenu se vymodeluje nový model) by byla výroba Multi Jet Fusion rychlejší než Selective Laser Sintering při využití jednodušší opravy skenovaných dat.

Nicméně výroba pouze jednoho dílu na výrobní platformě, tedy nevyužití celého objemu výrobní komory, je velmi neekonomickou záležitostí. Náklady na spuštění výrobního procesu stoupají do několika desítek tisíců korun.

Vyhodnocení se tak zaměřilo na porovnání výrobních časů v případě zaplněné celé výrobní komory 3D tiskárny. Data jsou uvedena v tabulce č. 12.

Tabulka 12 – Srovnání času výroby plné výrobní komory  
(vlastní zpracování; interní zdroje vybrané společnosti)

Činnost	Selective Laser Sintering, zařízení EOS P 396	Multi Jet Fusion, zařízení HP Jet Fusion 5200
3D skenování	1 hod.	
RE – „zalepení děr“	1,5 hod.	
RE – „obkreslení dílu“	4 hod.	
Příprava na tisk	2 hod.	
Počet ks na platformě	93 ks	62 ks
Tisk	23 hod.	12 hod.
Chladnutí stavby	48 hod.	30 hod.
Vytažení z platformy	0,66 hod.	
Otryskání od prášku	1 hod.	
Barvení máčením	1,5 hod.	1,33 hod.
Chemické vyhlazení	7 hod.	5,5 hod.
<b>Celkem</b>	<b>82,38–84,88 hod.</b>	<b>51,97–54,47 hod.</b>
<b>Celkem na kus</b>	<b>0,89–0,91 hod. na kus</b>	<b>0,84–0,89 hod. na kus</b>

Vzhledem k tomu, že jednotlivé aditivní technologie nabízí jiné rozměry výrobní komory, je pro porovnání čas výroby vyjádřen na jeden kus. Není však možné, aby v daném čase na kus bylo možné vytáhnout vyrobený díl z výrobního zařízení. Výroba probíhá v dávkách.

### 17.3 Porovnání potenciální výrobní kapacity

V závěru technologického zhodnocení projektu byla zkoumána potenciální výrobní kapacita pro případnou sériovou výrobu vložek. Data potenciálních výrobních kapacit jsou představena v tabulce č. 13.

Tabulka 13 – Porovnání roční kapacity výrobních zařízení  
(vlastní zpracování dle interních dokumentů společnosti)

	<b>SLS (EOS P 396)</b>	<b>MJF (HP Jet Fusion 5200)</b>
Velikost výrobní komory	340 x 340 x 600 mm	380 x 284 x 380 mm
Maximální počet dílů	93 ks	62 ks
Doba tisku	23 hod.	12 hod.
Doba chladnutí ve stroji	3 hod. (podle teploty)	1,5 hod.
Doba chladnutí mimo stroj	45 hod.	28 hod.
Svátky, celozávodní dovolená, víkendy, jiné volno (celofiremní WS)	116 dní = 2 784 hod.	
Plánované prostoje (údržba) pro každou stavbu	3 hod.	
Potenciální roční výrobní kapacita (hodinová)	6000 hod.	
Potenciální roční výrobní kapacita (počet staveb)	206 staveb	413 staveb
Potenciální roční výrobní kapacita (počet kusů)	19 158 ks	25 606 ks

Výpočet nominálního časového fondu za celý rok (6000 hodin) vychází z celkového počtu pracovních dnů roku 2024. Rok 2024 je přechodný, obsahuje tedy 366 dní. Z hlediska realizovaného projektu se jedná pouze o hypotetickou analýzu roční kapacity výrobních zařízení. Tato data nelze bez přepočítání aplikovat na ostatní výrobní zakázky. Reálné počty roční výrobní kapacity se liší v závislosti na geometrii vyráběných dílů.

Za předpokladu, že by probíhala sériová výroba vložek popelníku, vychází potenciální výrobní kapacita jednoznačně ve prospěch technologie Multi Jet Fusion. Tato technologie je obecně považovaná za vhodnější pro malosériovou a středně sériovou výrobu. Přestože je velikost výrobní dávky téměř o třetinu nižší, hlavní silnou stránkou technologie je celkově kratší čas výrobního procesu, což se ve výsledku pozitivně projeví na výrobní kapacitě. Jistou výhodou aditivních technologií je, že pracovníci nemusí být celou dobu výroby u stroje fyzicky přítomni. Z toho důvodu je u výrobní kapacity počítáno s 24 hodinovou pracovní dobou. Technologie Multi Jet Fusion je tak za stanovených podmínek vybrané společnosti schopna vyrobit o 6 448 kusů výrobků více. Multi Jet Fusion má také výhodu ve výši výrobních nákladů. Ty jsou nižší přibližně o 30 % než u technologie Selective Laser Sintering.

Pro dosažení takového objemu roční produkce je ale potřeba vzít v potaz dodatečné vybavení stroje. Je potřeba mít další 2 výrobní platformy (celkem 3), k vytvoření jistého výrobního bufferu. Tedy aby tiskárna mohla vyrábět dále a nečekalo se na uvolnění použité výrobní platformy.

Vzhledem k tomu, že by pomocí technologie MJF došlo k dvojnásobnému počtu výrobních cyklů, musí vybraná společnost vzít v potaz případné vyšší opotřebení stroje, na které navazuje servis nebo jiné typy seřízení a údržby.

Vzhledem k potenciálním počtům vyrobených kusů za rok se rovněž naskýtá otázka využití konvenčních technologií výroby, jako je např. vstřikování plastů. Zde je nutné spočítat cenu výrobního stroje, formy k výrobě výrobků a také bodu zvratu, kdy se objem produkce začne pohybovat v černých číslech.

## 18 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU

V následující kapitole bude uvedeno ekonomické zhodnocení projektu. Zhodnocení vychází z údajů, které se vybraná společnost rozhodla zveřejnit. Vedení vybrané společnosti si nepřeje zveřejňovat podrobnější informace, které by mohly mít negativní efekt na konkurenceschopnost podniku.

### 18.1 Vývoj prodejních cen náhradních dílů podle vyrobeného množství

V předchozí kapitole byla nastíněna ekonomika aditivně vyrobených náhradních dílů. V rámci analýzy vývoje prodejních cen podle vyrobeného množství vybraná společnost vystavila cenové nabídky na výrobu různých počtů vyrobených dílů od 1 do 100 kusů.

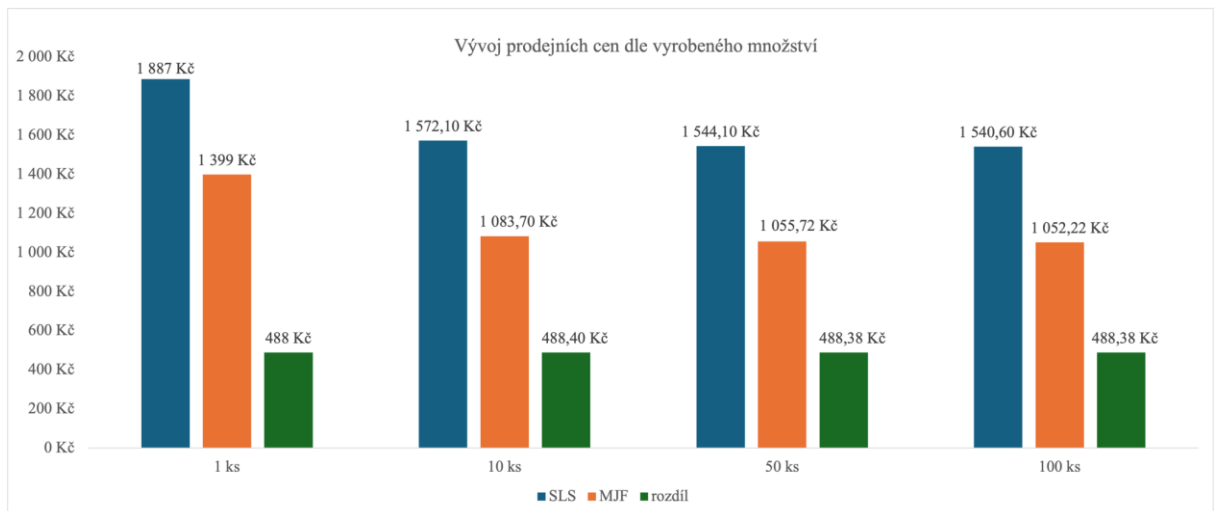
Vývoj prodejních cen a případných úspor z rozsahu je zaznamenán v tabulce č. 14.

Tabulka 14 - Vývoj prodejních cen náhradních dílů vybrané společnosti podle vyrobeného množství (zdroj: cenové nabídky vybrané společnosti)

	<b>SLS</b>	<b>MJF</b>	<b>Rozdíl</b>
1 ks	1 887 Kč	1 399 Kč	488 Kč
Cena 1 ks	1 887 Kč	1 399 Kč	488 Kč
10 ks	15 721 Kč	10 837 Kč	4884 Kč
Cena 1 ks	1 572,1 Kč	1 083,7 Kč	488,4 Kč
50 ks	77 205 Kč	52 786 Kč	24 419 Kč
Cena 1 ks	1 544,1 Kč	1 055,72 Kč	488,38 Kč
100 ks	154 060 Kč	105 222 Kč	48 838 Kč
Cena 1 ks	1 540,6 Kč	1 052,22 Kč	488,38 Kč

Z tabulky č. 14 jsou zřejmé klesající prodejní ceny za 1 kus vyrobeného náhradního dílu při různých objemech produkce. Nejvyšší rozdíly jsou mezi 1 a 10 kusy. Zbývající výrobní množství dosahuje pozvolného poklesu jednotkové prodejní ceny u obou technologií.

Pro lepší přehlednost je vývoj jednotkových cen a jejich rozdílů uveden v grafu č. 5.



Graf 5 – Vývoj prodejních cen náhradních dílů vybrané společnosti podle vyrobeného množství (zdroj: cenové nabídky vybrané společnosti)

Za předpokladu výroby vyšších počtů kusů společnost nabízí množstevní slevy a další možnosti cenové optimalizace jako je např. určité % slevy pro stávající zákazníky, zákazníky s určitou výší obratu prodeje. Stanovení cenových podmínek prodeje vybraná společnost do jisté míry deleguje na své obchodní zástupce, kteří následně o prodejních cenách a dalších podmínkách, kam se řadí termín dodání, volba výrobní technologie, výrobních materiálů a post-processingu dílů, vyjednávají se zákazníky a hledají cesty pro uspokojení jejich potřeb.

Celkový proces cenění zakázek vybraná společnost neustále upravuje a vylepšuje. Zohledňuje aktuální ekonomickou situaci na trhu, ceny aditivních materiálů a dalších služeb od svých dodavatelů a spoustu dalších faktorů, které si nepřeje zveřejňovat.

## 19 NÁKLADY NA REALIZACI PROJEKTU

Projekt výroby náhradních dílů s využitím 3D skenování a aditivních technologií byl následně podroben nákladové analýze, která měla za cíl učinit efektivní rozdělení alokovaných finančních prostředků.

Nákladovou analýzou projektu se zabývá tabulka č. 15.

Tabulka 15 – Náklady na realizaci projektu (vlastní zpracování)

Činnost	Popis	Náklady
Zahájení plánování	Zahájení plánování projektu	Bez nákladů
3D skenování a RE	Skenování a vytvoření 3D modelu výrobku, protokoly přesnosti	Bez nákladů
Licence software	Roční licence potřebných software	593 000 Kč včetně DPH
Mzdy pracovníků	Část mzdy pracovníků náležící během zapojení do projektu	25 000 Kč (hrubá mzda)
Výroba náhradních dílů	Výroba 2 ks náhradních dílů z SLS a MJF + Post-processing	3 286 Kč bez DPH (prodejní cena)
Zhodnocení projektu	Zhodnocení projektu autorem DP	Bez nákladů
Návrh a doporučení	Návrh a doporučení autora DP	Bez nákladů

Pro úspěšnou realizaci projektu bylo zapotřebí využít specializovaný software a s jeho pomocí provést činnosti 3D skenování, reverzního inženýrství a následné aditivní výroby náhradních dílů. Licence software sahá do vysokých částek. Uvedené náklady navíc odpovídají licenčnímu poplatku pouze pro jednoho uživatele. Druhou výraznou položkou jsou hrubé mzdy zaměstnanců vybrané společnosti, kteří byli do jednotlivých činností projektu zainteresováni. V rámci realizace tohoto projektu nebyl proces 3D skenování a reverzního inženýrství zpoplatněn. Ostatní činnosti byly vykonávány ve volném čase autora diplomové práce, finanční náklady jsou tak v těchto případech nulové.

## 20 NAVRHOVANÉ DOPORUČENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Na základě technologického a ekonomického zhodnocení lze doporučení rozdělit na doporučení pro vybranou společnost a doporučení pro zákazníky. Získaná data z projektové části diplomové práce vybraná společnost zohlední pro budoucí rozhodování výroby dílů podobné geometrie jako vyráběné náhradní díly vložky popelníku.

### 20.1 Doporučení pro vybranou společnost

Doporučení pro vybranou společnost vychází převážně z RIPRAN analýzy a porovnání časové náročnosti spolu s potenciální výrobní kapacitou jednotlivých aditivních technologií.

Doporučení pro vybranou společnost:

- Zajistit záložní zdroj pro napájení výrobních zařízení.
- Kontrola nastavených procesů a pravidelná školení pracovníků pro údržbu zařízení.
- Zajistit vlastního kurýra pro expedici dílů pro významné zákazníky.
- V případě sériové výroby podobných dílů volit technologii MJF pro svou potenciální výrobní kapacitu.

### 20.2 Doporučení pro zákazníky

Aditivní výroba v sobě skrývá potenciál využití v zakázkové, malosériové a středně sériové výrobě. Poskytuje kvalitní technologickou platformu pro výrobu dílů pouze na základě digitálních 3D dat, které dnes může vytvářet kdokoliv.

Aplikace pro 3D modelování jsou k dispozici i zdarma, kromě počítačů také na chytré telefony nebo tablety.

Hlavní doporučení volby mezi technologiemi SLS a MJF:

- SLS je vhodnější pro masivní a tenkostěnné díly.
- V případě potřeby izotropních mechanických vlastností dílů zvolit technologii MJF, díly mají téměř stejnou tuhost ve všech směrech XYZ.
- Pokud je hlavní požadavek rychlé dodání dílů, zvolte technologii MJF.
- Za předpokladu potřeby výroby dílů větších rozměrů bez následného lepení, je vhodnější použití technologie SLS.

## 21 SHRnutí PRAKTICKÉ ČÁSTI

Praktická část diplomové práce se zabývala analýzami globálního a tuzemského trhu aditivní výroby a představením vybraných firem, které na trzích působí. Společně s tím byla provedena analýza aktuálně dostupných 3D výrobních zařízení z webových stránek výrobců HP a EOS.

Jak již bylo uvedeno, na základě analýzy globálního trhu byl zjištěn současný odhad růstu globálního trhu AM během následujících 10 let. Podle současných odhadů bude trh aditivní výroby v roce 2033 čítat hodnotu 110,13 miliard dolarů. V roce 2023 měla na trhu nejvyšší podíl Severní Amerika, 36,14 %. Během následujícího desetiletí se však očekává, že nejvyšší tempo růstu zaznamená Asie a Tichomoří. Jisté náznaky lze na trhu sledovat již dnes.

Z nejnovejších výzkumů vyplývá, že české firmy stále více využívají technologie aditivní výroby. V roce 2019 se Česká republika řadila k předním zemím v EU ve využívání 3D tisku. Umístila se na celkovém 5. místě za Dánskem, Maltou, Finskem a Německem, nad průměrem EU.

Závěr analytické části byl zaměřen na zkoumání aktuálně nabízených 3D výrobních zařízení od výrobců EOS a HP, které využívají práškové plastové materiály. Výsledky analýzy poskytují ucelený pohled na část aktuální nabídky na trhu spolu s porovnáním tiskáren stejné technologie podle funkcí a vlastností. Informace mohou posloužit k rozhodování o případné investici do výrobního zařízení, které odpovídá požadavkům konkrétního uživatele.

V druhé polovině praktické části diplomové práce je podrobně popsána realizace projektu výroby 2 vzorků nedostupného náhradního dílu za využití pokročilých technologií 3D skenování, reverzního inženýrství a aditivních technologií. K naplánování projektu byly využity metody projektového managementu, konkrétně metoda SMART, Ganntův diagram a analýza RIPRAN. Metody poskytly ucelené informace o tom, zda byly projektové cíle vhodně stanoveny a časově na sebe navazovaly. Také byla představena potenciální rizika, která mohou během projektu vzniknout a byla stanovena a přijata protiopatření k částečné či úplné eliminaci rizik.

Následně byl projekt realizován. Byly vyrobeny 2 vzorky náhradního dílu, 1 kus pomocí technologie Selective Laser Sintering a 1 kus pomocí technologie Multi Jet Fusion. Pro dosažení požadovaných vlastností povrchu byly na náhradní díly aplikovány metody povrchových úprav barvení máčením a chemické vyhlazení. Výroba probíhala v běžném režimu vybrané společnosti. Náhradní díly tak byly vyráběny zároveň s ostatními díly,



které vybraná společnost vyráběla pro své zákazníky na základě jejich objednávek. Během výroby nedošlo k problémům.

Pomocí 3D skenování náhradních dílů a jejich porovnání s vytvořeným CAD modelem a také originálním dílem byla ověřena přesnost výroby odpovídající normě ISO 2768c, na kterou se vybraná společnost odkazuje. Na základě získaných výsledků z propočtů výrobní kapacity ke stanovení vhodnější aditivní technologie pro sériovou výrobu dílů s podobnou geometrií bylo doporučena volba technologie Multi Jet Fusion. Je však vhodné se zamyslet i nad případným využitím konvenčních technologií, které nebyly v projektu zkoumány.

Spolu s vyrobenými náhradními díly byly rovněž podány návrhy doporučení pro vybranou společnost a zákazníky.

## ZÁVĚR

V diplomové práci byl představen zrealizovaný projekt výroby nedostupného náhradního dílu pomocí 3D skenování a aditivních technologií ve vybrané společnosti. Záměrem autora bylo použít metody 3D optické digitalizace pomocí vysoce přesného průmyslového skeneru Zeiss GOM ATOS 5 pro naskenování dílu, ke kterému zákazník neměl k dispozici technický výkres nebo 3D CAD model.

Pomocí nedestruktivních digitalizačních metod a specializovaných softwarů došlo k vytvoření 3D modelu náhradního dílu. Na základě tohoto 3D modelu byly následně vyrobeny 2 vzorky náhradního dílu na průmyslových 3D výrobních zařízeních EOS P 396 a HP Jet Fusion 5200. Po skončení výrobního procesu byl upraven povrch náhradních dílů pomocí post-processingu abrazivního tryskání, barvení máčením a chemickým vyhlazením, kdy došlo k sjednocení povrchu dílů a nabarvení do požadované černé barvy spolu se zvýšením odolnosti povrchu vůči nečistotám.

Projektem byla ověřena výrobní přesnost odpovídající normě ISO 2768c a následně navrhuta aditivní technologie Multi Jet Fusion jako vhodná varianta k případné sériové produkci geometricky podobných dílů. Současně došlo k analýze vývoje prodejních cen vybrané společnosti podle výrobního množství a možných úspor z rozsahu. Získané informace společnost využije pro své aktivity v rámci udržení a posilování své konkurenceschopnosti jak na technické, tak na ekonomické a komunikační (marketingové) úrovni.

V závěru diplomové práce autor navrhnul doporučení pro budoucí postup. Doporučení vychází z informací, které autor zjistil během realizace projektu. Cíle projektu byly splněny.

Diplomová práce poskytla ucelený teoretický přehled o oblasti aditivních technologií využívající práškové aditivní materiály spolu s důležitými informacemi o vývoji globálního a tuzemského trhu. Autorovi diplomové práce bylo vybranou společností umožněno nahlédnout do zákulisí aditivních procesů a získat bližší informace a vzhled do problematiky průmyslového 3D tisku.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] 3DWISER, 2023. *Výroční zpráva 2022*. Elektronický zdroj. Dostupné také z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=78527880&subjektId=865135&spis=303241>.
- [2] ALAMI, Abdul Hai; GHANI OLABI, Abdul; ALASHKAR, Adnan; ALASAD, Shamma; ALJAGHOUB, Haya et al., 2023. Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals. Online. *Ain Shams Engineering Journal*. Roč. 14, č. 11. ISSN 20904479. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102516>. [cit. 2024-03-19].
- [3] BĚHÁLEK, Luboš, 2015. *Polymery*. Online. 15. Code Creator, s.r.o. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>. [cit. 2024-03-17].
- [4] BRANDT, Milan (ed.), 2016. *Laser Additive Manufacturing. Materials, Design, Technologies, and Applications*. Elsevier. ISBN 978-0-08-100433-3.
- [5] BROUČEK, Václav, 1984. *Katalog náhradních dílů osobního automobilu Moskvič 1500 typ 2140 a 2137*. Bratislava: Alfa, Vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry. ISBN 63-053-84.
- [6] COTU, 2023. *Výkaz zisku a ztráty pro podnikatele - druhové členění, v plném rozsahu ke dni 31.12.2023*. Elektronický zdroj. Dostupné také z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=80135321&subjektId=911237&spis=1000259>.
- [7] ČSÚ, 2023. *Využívání informačních a komunikačních technologií v podnikatelském sektoru - 2022*. Elektronický zdroj. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vyuzivani-informacnich-a-komunikacnich-technologii-v-podnikatelskem-sektoru-2022>. [cit. 2024-04-01].
- [8] EILAM, Eldad, 2005. *Reversing: Secrets of Reverse Engineering*. Indianapolis: Wiley Publishing. ISBN 0-7645-7481-7.
- [9] EOS GMBH, 2023. *COMPATIBILITY OF POLYMER MATERIALS AND SYSTEMS*. Elektronický zdroj. Dostupné z: [https://www.eos.info/03\\_system-related-assets/material-related-contents/material\\_pdf/eos\\_plastic\\_materials\\_overview\\_en.pdf](https://www.eos.info/03_system-related-assets/material-related-contents/material_pdf/eos_plastic_materials_overview_en.pdf). [cit. 2024-03-18].
- [10] FAN, Mizi a FU, Feng, 2017. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*. 2nd. Duxford: Elsevier. ISBN 978-0-08-100411-1.

- [11] GEBHARDT, Andreas; HÖTTER, Jan-Steffen a , 2016. *Additive manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing*. Munich: Hanser Publications. ISBN 9781569905821.
- [12] GEBHARDT, Andreas; KESSLER, Julia a THURN, Laura, 2019. *3D printing: understanding additive manufacturing*. 2nd edition. Munich: Hanser Publications. ISBN 9781569907023.
- [13] GOODSHIP, Vannessa; MIDDLETON, Bethany a RUTH, Cherrington, 2016. *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality: Structural Composites, Injection Molding, and 3D Printing*. Oxford, UK: William Andrew. ISBN 978-0-323-34061-8.
- [14] HP DEVELOPMENT COMPANY, 2018. *HP Multi Jet Fusion technology: Technical White paper: A disruptive 3D printing technology for a new era of manufacturing*. Elektronický zdroj. Dostupné také z: <https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers/products/multi-jet-technology.html>.
- [15] HP DEVELOPMENT COMPANY, 2024. *HP 3D Printing materials*. Elektronický zdroj. Dostupné z: <https://h20195.www2.hp.com/v2/getpdf.aspx/4AA7-1533ENA.pdf>. [cit. 2024-03-18].
- [16] HUMÁR, Anton, 2003. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia*. Elektronický zdroj. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [17] INNOMIA, 2023. *Rozvaha pro podnikatele, ve zkráceném rozsahu pro malou účetní jednotku, která nemá povinnost mít účetní závěrku ověřenou auditorem ke dni 31.12.2022*. Elektronický zdroj. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=76764404&subjektId=175295&spis=608343>. [cit. 2024-04-01].
- [18] KERZNER, Harold, 2017. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. 12th. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. ISBN 9781119165361.
- [19] KILLI, Steinar (ed.), 2017. *Additive Manufacturing: Design, Methods, and Processes*. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. ISBN 978-981-4774-16-1.

- [20] KUMAR, Kaushnik; ZINDANI, Divya a DAVIM, J Paulo (ed.), 2019. *Additive Manufacturing Technologies From an Optimization Perspective*. Hershey, USA: Engineering Science Reference. ISBN 978-1-5225-9168-9.
- [21] MCAE SYSTEMS, 2023. *Výroční zpráva 2022*. Elektronický zdroj. Dostupné také z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=78906437&subjektId=581508&spis=705764>.
- [22] MINISTERSTVO PRÁCE A SOCIÁLNÍCH VĚCÍ, 2021. *Koncepce managementu rizik*. Elektronický zdroj. 2.0. Dostupné z: [https://www.mpsv.cz/documents/20142/372813/Koncepce\\_managementu\\_rizik\\_v2%20\(1\).pdf/d0b28029-ee4c-2ccc-9c00-79197dff5c88](https://www.mpsv.cz/documents/20142/372813/Koncepce_managementu_rizik_v2%20(1).pdf/d0b28029-ee4c-2ccc-9c00-79197dff5c88). [cit. 2024-03-11].
- [23] MONGEON, Bridgette, 2016. *3D TECHNOLOGY IN FINE ART AND CRAFT: Exploring 3D Printing, Scanning, Sculpting, and Milling*. Burlington: Focal Press. ISBN 9781138844339.
- [24] NEWSWIRE ASSOCIATION LLC, 1994. *STRATASYS, INC. ANNOUNCES INITIAL PUBLIC OFFERING OF 1.2 MILLION SHARES OF COMMON STOCK*. Online. Dostupné také z: <https://web.archive.org/web/20160316192442/http://www.thefreelibrary.com/STRATASYS%2c+INC.+ANNOUNCES+INITIAL+PUBLIC+OFFERING+OF+1.2+MILLION...-a015825555>.
- [25] NIKON CORPORATION, 2023. *Nikon Successfully Completes the Squeeze-out of Nikon SLM Solutions AG*. Online. Dostupné také z: [https://www.nikon.com/company/news/2022/slm/pdf/20230904\\_e01.pdf](https://www.nikon.com/company/news/2022/slm/pdf/20230904_e01.pdf).
- [26] POU, Juan; RIVEIRO, Antonio a DAVIM, J. Paulo (ed.), 2021. *Additive Manufacturing*. Amsterdam: Elsevier. ISBN 9780128184127.
- [27] PRUSA RESEARCH, 2023. *Prusa research\_zprava nezavisleho auditora za rok 2022.pdf*. Elektronický zdroj. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=78657144&subjektId=996294&spis=1102707>. [cit. 2024-04-10].
- [28] RAMCKE, Marwin, 2024. *Overview: Our Financial Year 2022/23*. Online. Dostupné také z: [https://eos-solutions.com/en/dam/jcr:2c37ca87-b8a6-41cf-b280-854a4fba05dd/EOS\\_Annual%20Report%202023\\_EN.pdf](https://eos-solutions.com/en/dam/jcr:2c37ca87-b8a6-41cf-b280-854a4fba05dd/EOS_Annual%20Report%202023_EN.pdf).

- [29] SAMADI, Ali, 2013. Structured-light 3D scanner. Online. *Academia Edu.* S. 9. Dostupné z: [https://www.academia.edu/1107159/Structured-light\\_3D\\_scanner\\_-\\_Samadi](https://www.academia.edu/1107159/Structured-light_3D_scanner_-_Samadi). [cit. 2024-03-17].
- [30] SHANKAR, Rama, 2009. *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. Online. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press. ISBN 978-0-87389-752-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPIUSSAD1/process-improvement-using/process-improvement-using>. [cit. 2024-03-10].
- [31] SRIVATSAN, T. S. a SUDARSHAN, T. S., 2016. *Additive manufacturing : innovations, advances, and applications*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9781498714778.
- [32] T. CARROLL, Charles, 2013. *SIX SIGMA for Powerful Improvement: A Green Belt DMAIC Training System with Software Tools and a 25-Lesson Course*. Online. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4665-6470-1. Dostupné z: <https://www.pdfdrive.com/six-sigma-for-powerful-improvement-a-green-belt-dmaic-training-system-with-software-tools-and-a-25-lesson-course-e168983263.html>. [cit. 2024-03-11].
- [33] VOJTĚCH, Dalibor, 2010. *Materiály a jejich mezní stavy*. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [34] WANG, Wego, 2010. *Reverse Engineering: Technology of Reinvention*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9781439806302.

**SEZNAM POUŽITÝCH INTERNETOVÝCH ZDROJŮ**

- [1] 3DWISER, c2014-2023. *Jsme specialisté na 3D tisk a 3D skenování*. Online. Dostupné z: <https://3dwiser.com/o-nas/>. [cit. 2024-04-01].
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY, 2024. *THE DEFINE MEASURE ANALYZE IMPROVE CONTROL (DMAIC) PROCESS*. Online. AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. Learn about quality. Dostupné z: <https://asq.org/quality-resources/dmaic>. [cit. 2024-03-10].
- [3] AMT POSTPRO, 2024. *Vapor Smoothing*. Online. AMT POSTPRO. 3D PRINTING POST-PROCESSING. 2024. Dostupné z: <https://amtechnologies.com/products/vapor-smoothing/>. [cit. 2024-03-18].
- [4] ARBURG GMBH + CO KG, c2024. *Wir sind da*. Online. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spolecnost/data-a-fakta/>. [cit. 2024-04-01].
- [5] ASTM INTERNATIONAL, c2024. *What is Additive Manufacturing?* Online. Wohlers Associates: Powered by ASTM International. Dostupné z: <https://wohlersassociates.com/terminology-and-definitions/additive-manufacturing/>. [cit. 2024-03-15].
- [6] COTU, c2024. *O nás*. Online. Dostupné z: <https://dental.cotu.cz/>. [cit. 2024-04-01].
- [7] E-KONSTRUKTÉR.CZ, c2013-2017. *Tolerance netolerovaných rozměrů*. Online. E-KONSTRUKTÉR.CZ. Portál pro strojní konstruktéry. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/tolerance-netolerovanych-rozmeru>. [cit. 2024-04-08].
- [8] EOS GMBH, 2024. *EOS P 396*. Online. EOS GMBH. Engineered For Your Success. Dostupné z: <https://www.eos.info/en-us/polymer-solutions/polymer-printers/eos-p-396>. [cit. 2024-04-05].
- [9] EOS, c2024. *EOS Polymer 3D Printers: Fast, Reliable and Highly Efficient*. Online. EOS. Engineered For Your Success. Dostupné z: <https://www.eos.info/en-us/polymer-solutions/polymer-printers>. [cit. 2024-04-02].
- [10] GOLUBEVA, Svetlana, 2022. *What is laser 3D scanning?* Online. ARTEC 3D. Professional 3D scanners. Dostupné z: <https://www.artec3d.com/learning-center/laser-3d-scanning>. [cit. 2024-03-17].

- [11] GENERAL ELECTRIC, c2023. *Powered by partnership: Your faster path to additive production isn't just our powders and machines. It's our people.* Online. Dostupné z: <https://www.ge.com/additive/>. [cit. 2024-03-30].
- [12] GROWJO, c2023. *Indexing and predicting the fastest growing companies in 2024.* Online. C2023. Dostupné z: [https://growjo.com/company/GE\\_Additive](https://growjo.com/company/GE_Additive). [cit. 2024-03-30].
- [13] HP DEVELOPMENT COMPANY, L.P., 2019. *The History of HP.* Online. HP DEVELOPMENT COMPANY, L.P. C2024. Dostupné z: <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/history-of-hp>. [cit. 2024-03-30].
- [14] HP, c2024. *Industrial, professional, and commercial 3D printers for manufacturing.* Online. HP. Hey there!: What can we help you find today? C2024. Dostupné z: <https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers/products.html>. [cit. 2024-04-05].
- [15] HP INC., 2023. *HP Inc. Reports Fiscal 2023 Full Year and Fourth Quarter Results.* Online. Dostupné z: <https://investor.hp.com/news/press-release-details/2023/HP-Inc.-Reports-Fiscal-2023-Full-Year-and-Fourth-Quarter-Results/>. [cit. 2024-03-30].
- [16] CHUDÍK, Radim, 2018. *Revoluce v 3D tisku: Přístroj HP Multijet Fusion umožňuje tisk stovek kusů i okamžité změny ve výrobě.* Online. HOSPODÁŘSKÉ NOVINY. Hospodářské noviny. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66269080-revoluce-v-3d-tisku>. [cit. 2024-03-16].
- [17] INNOMIA, c2012. *Vývoj a výroba plastových a kovových prototypů technologií Rapid Prototyping.* Online. Dostupné z: <http://www.old.innomia.cz/>. [cit. 2024-04-01].
- [18] INVENT MEDICAL GROUP, 2024. *HELPING THROUGH INNOVATION: The new generation of 3D printed O&P products for professionals.* Online. Dostupné z: <https://www.inventmedical.com/>. [cit. 2024-03-19].
- [19] JAMIE D., 2023. *The Top 3D Printing Applications in Sports.* Online. 3DNATIVES. Your source for 3D printing. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/top-10-3d-printing-sport-131120174/#!>. [cit. 2024-03-19].
- [20] JD DVOŘÁK, S.R.O., 2018. *Zkoušky plastů dle ISO 527-2.* Online. JD DVOŘÁK, S.R.O. Profesionální řešení v oblasti zkušební techniky. Dostupné z: <https://www.testsysteme.cz/iso-527-2-stanoveni-tahovych-vlastnosti-tvarenych-plastu>. [cit. 2024-03-17].



- [21] KAUPPILA, Ille, 2023. *Multi Jet Fusion (MJF 3D Printing) – The Ultimate Guide*. Online. ALL3DP. All About 3D Printing & Additive Manufacturing. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/multi-jet-fusion-mjf-3d-printing-simply-explained/>. [cit. 2024-03-16].
- [22] MANAGEMENTMANIA.COM, 2016. *SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time Specific)*. Online. Managementmania.com. 28.04.2019. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/smart>. [cit. 2024-03-11].
- [23] MATERIALISE, c2024. *Make a Difference: We empower your sustainable 3D printing applications*. Online. Dostupné z: <https://www.materialise.com/en>. [cit. 2024-03-30].
- [24] MCAE SYSTEMS, c2024. *JSME JEDNIČKA NA TRHU 3D TECHNOLOGIÍ*. Online. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/o-firme/>. [cit. 2024-04-01].
- [25] MINISTERSTVO SPRAVEDLNOSTI ČESKÉ REPUBLIKY, c2024. *Justice.cz: Veřejný rejstřík a sbírka listin*. Online. Dostupné z: <https://justice.cz/>. [cit. 2024-03-30].
- [26] MUKHERJEE, Supantha a CHAN, Edwin, 2014. *Hewlett-Packard to split into two public companies, lay off 5,000*. Online. REUTERS. C2024. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-hp-restructuring-idUSKCN0HV0U720141006/>. [cit. 2024-03-30].
- [27] ONE3D S.R.O., 2022. *Abrazivní tryskání*. Online. ONE3D. Od prvního zrnka nápadu až po sériovou výrobu. 2023. Dostupné z: <https://www.one3d.cz/post-processing/abrazivni-tryskani/>. [cit. 2024-03-18].
- [28] ONE3D S.R.O., 2022. *Barvení máčením*. Online. ONE3D S.R.O. Od prvního zrnka nápadu až po sériovou výrobu. 2023. Dostupné z: <https://www.one3d.cz/post-processing/barveni-maceni/>. [cit. 2024-03-19].
- [29] PAVLÍČKOVÁ, Martina, 2021. *Vakuové pokovení plastů*. Online. PAVLÍČKOVÁ, Martina. PRECIOSA. Zušlechťení skla a plastů Preciosa. 2021. Dostupné z: <https://www.pokoveni-lakovani.cz/cs/vakuove-pokoveni-plastu/>. [cit. 2024-03-19].
- [30] PROFOZICH, Gregg, 2021. *Top 8 Industries Benefiting from Additive Manufacturing*. Online. PROFOZICH, Gregg. CALIFORNIA MANUFACTURING TECHNOLOGY CONSULTING® (CMTC). The "Go-To" Organization Providing Services & Support for California Manufacturers: Improving California Manufacturing and the Public Good. 2024. Dostupné z: <https://www.cmtc.com/blog/six-industries-benefiting-from-additive-manufacturing>. [cit. 2024-03-19].

- [31] PRŮŠA, Josef, c2024. *Co je RepRap?* Online. PRŮŠA, Josef. JosefPrusa.cz. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/co-je-reprap/>. [cit. 2024-04-10].
- [32] PRECEDENCE RESEARCH, c2024. *Additive Manufacturing Market*. Online. PRECEDENCE RESEARCH. Discover how Precedence Research Transforms Your Business. Dostupné z: <https://www.precedenceresearch.com/additive-manufacturing-market>. [cit. 2024-03-29].
- [33] PROTO LABS NETWORK, 2024. *Additive Manufacturing Technologies*. PDF online. In: What is 3D printing? Dostupné z: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>. [cit. 2024-03-12].
- [34] PRUSA RESEARCH, c2024. *3D tiskárny Original Prusa přímo od Josefa Průši*. Online. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/>. [cit. 2024-04-10].
- [35] RATIONALSTAT, c2024. *Additive Manufacturing Market Revenue to Reach US\$ 47.7 Billion by 2030, Says RationalStat*. Online. YAHOO! FINANCE. Yahoo! Finance. Dostupné z: [https://finance.yahoo.com/news/additive-manufacturing-market-revenue-reach-081500917.html?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2x1LmNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAANv1fBNJ4KNNB8y\\_3sMezBmkYPV3reqrxGQRWY7HsPxopgyMUWqJMKsBJoAesSLJ7-592Z6ZENrkLgCHmufPPcCEqms5DUyEZNHIyZg8truCghGAN97EULboXxIsyr2vFKT105jYEJTH2DZcJ3i8FikXBbGXcMd0eTv5qwjrbaz5](https://finance.yahoo.com/news/additive-manufacturing-market-revenue-reach-081500917.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2x1LmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAANv1fBNJ4KNNB8y_3sMezBmkYPV3reqrxGQRWY7HsPxopgyMUWqJMKsBJoAesSLJ7-592Z6ZENrkLgCHmufPPcCEqms5DUyEZNHIyZg8truCghGAN97EULboXxIsyr2vFKT105jYEJTH2DZcJ3i8FikXBbGXcMd0eTv5qwjrbaz5). [cit. 2024-03-29].
- [36] *Ripran.cz*, 2024. Online. LACKO, B. Ripran.cz. Dostupné z: <https://ripran.cz/>. [cit. 2024-03-11].
- [37] SCULPTEO, 2024. *How does 3D scanning work?* Online. SCULPTEO. Online 3D Printing Service. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/what-is-3d-scanning/>. [cit. 2024-03-17].
- [38] SCHWAAR, Carolyn, 2024. *MJF vs SLS: Which is Stronger, Faster, Better for 3D Printed Parts?* Online. ALL3DP. All About 3D Printing & Additive Manufacturing. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/mjf-vs-sls-3d-printed-parts/>. [cit. 2024-03-16].
- =&hsa\_grp=&hsa\_tgt=&hsa\_ver=3&hsa\_acc=5333437716&gad\_source=1&gclid=Cj0KCQjwhtWvBhD9ARIsAOP0GoiWwapEagZwr3Znt1iI-aWdksPY6Rsew-pMmz6dykjZ0-2I5B3G\_PoaAshYEALw\_wcB. [cit. 2024-03-16].

- [39] SLM SOLUTIONS, 2023. *Squeeze out registered with the Company register. Name changed to Nikon SLM Solutions AG*. Online. SLM SOLUTIONS. OUR MISSION TO EMPOWER YOURS: Discover the limitless potential of our selective laser melting technology. Dostupné z: <https://www.slm-solutions.com/ir/corporate-news/detail/squeeze-out-registered-with-the-company-register-name-changed-to-nikon-slm-solutions-ag/>. [cit. 2024-03-30].
- [40] SLM SOLUTIONS, 2023. *Record revenue of EUR 51.9 m for H1 2023 driven by robust demand for metal AM solutions*. Online. SLM SOLUTIONS. OUR MISSION TO EMPOWER YOURS: Discover the limitless potential of our selective laser melting technology. Dostupné z: <https://www.slm-solutions.com/ir/corporate-news/detail/record-revenue-of-eur-519-m-for-h1-2023-driven-by-robust-demand-for-metal-am-solutions/>. [cit. 2024-03-30].
- [41] SLM SOLUTIONS, c2024. *About Us*. Online. SLM SOLUTIONS. OUR MISSION TO EMPOWER YOURS: Discover the limitless potential of our selective laser melting technology. Dostupné z: <https://www.slm-solutions.com/company/about-us/>. [cit. 2024-03-30].
- [42] STATISTA, 2024. *Number of employees at HP Inc. (Hewlett Packard) worldwide from 2001 to 2023*. Online. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/264922/number-of-employees-at-hewlett-packard-since-2001/>. [cit. 2024-03-30].
- [43] STRATASYS LTD., c2024. *Make additive work for you*. Online. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/>. [cit. 2024-03-30].
- [44] SVETPRODUKTIVITY.CZ, 2012. *DMAIC - Model řízení Six Sigma projektu*. Online. CPI WEB SERVIS S.R.O. Svetproduktivity.cz. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/DMAIC-Model-řízení-Six-Sigma-projektu.htm>. [cit. 2024-03-11].
- [45] UNIVERZITA KARLOVA, 2022. *Youngův modul pružnosti*. Online. UNIVERZITA KARLOVA. WikiSkripta. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Young%C5%AFv\\_modul\\_pru%C5%BEnosti](https://www.wikiskripta.eu/w/Young%C5%AFv_modul_pru%C5%BEnosti). [cit. 2024-03-17].
- [46] WEERG, 2021. *WHAT IS MULTI JET FUSION (MJF) 3D PRINTING?* Online. WEERG. High quality 3D printing & CNC machining services. Dostupné z: <https://www.weerg.com/guides/what-is-multi-jet-fusion-mjf-3d->

printing?utm\_campaign=SPM+TOP-

ENG+INT+ALLT+ALLC+CPAmax&utm\_medium=ppc&utm\_source=adwords&utm\_term=&hsa\_mt=&hsa\_net=adwords&hsa\_ad=&hsa\_src=x&hsa\_cam=21085422861&hsa\_kw

[47] XOMETRY, 2022. *SLS vs. MJF: Differences and Comparison*. Online. XOMETRY. Where big ideas are built. 2024. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/sls-vs-mjf-3d-printing/>. [cit. 2024-03-16].

[48] ZUZA, Mikolas, 2018. *Fotogrammetrie – 3D skenování s použitím fotoaparátu či mobilu*. Online. PRUSA RESEARCH. Blog. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/cs/fotogrammetrie-3d-skenovani-s-pouzitim-fotoaparatu-ci-mobilu\\_7811/](https://blog.prusa3d.com/cs/fotogrammetrie-3d-skenovani-s-pouzitim-fotoaparatu-ci-mobilu_7811/). [cit. 2024-03-17].

[49] ZWICKROELL, 2024. *Zkoušení materiálů*. Online. ZWICKROELL S.R.O. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/cs/oblasti-pouziti/zkouseni-materialu/>. [cit. 2024-03-17].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CPS	Cyber-Physical Systems
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
IoT	Internet of Things (Internet věcí)
IaaS	Infrastructure as a Service
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
ASTM	American Society for Testing and Materials
3D	Trojrozměrný
AM	Additive manufacturing
IT	Informační technologie
AR	Rozšířená realita
VE	Virtuální prostředí
VR	Virtuální realita
HUD	Head-Up Display
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
STL	Standardní teselovací jazyk
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization
SLS	Selective Laser Sintering
MJF	Multi Jet Fusion
SLA	Stereolitography
FDM	Fused Deposition Modeling
HP	Hewlett Packard
PA	Polyamid

---

WTC	World Touring Car
MPa	Mega Pascal
SFM	Structure From Motion
2D	Dvojměrný
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
SMART	Specific, Measurable, Attainable, Realistic, Specific
RIPRAN	Risk Project Analysis
CEO	Generální ředitel
GE	General Electric
ČSÚ	Český statistický úřad
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
FIA	Federation Internationale de l'Automobile
Sc	Scandium
Al	Hliník
Mg	Hořčík
DPH	Daň z přidané hodnoty
DMLS	Direct metal laser sintering
FDM	Fused deposition modeling
RAL	ReichsAusschuss für Lieferbedingungen; Říšský výbor pro dodací podmínky
Ra	Značka drsnosti povrchu
µm	Mikrometr
hod.	hodina
ks	kus
Kč	česká koruna

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 - Přehled aditivních technologií (Protolabs Network, 2024).....	20
Obrázek 2 – Předpokládaný růst aditivního průmyslu v letech 2023-2033 (Precedence Research, c2024) .....	42
Obrázek 3 – Podíl na globálním trhu aditivní výroby dle regionů (Precedence Research, c2024) .....	43
Obrázek 4 – Výrobní zařízení EOS P 396 a HP Jet Fusion 5200 (EOS GmbH, 2024 a HP, c2024).....	56
Obrázek 5 – Schéma umístění dílu (č.3) v automobilu (Brouček, 1984, s.328).....	62
Obrázek 6 – Prasklina v originálním dílu (vlastní zpracování) .....	62
Obrázek 7 – Úprava povrchu originálního dílu pro skenování (vlastní zpracování).....	67
Obrázek 8 – Skenování originálního dílu (vlastní zpracování) .....	68
Obrázek 9 – Průběh skenování v programu GOM Software 2022 (vlastní zpracování) ....	68
Obrázek 10 – Rozdíly mezi jednotlivými přístupy k reverznímu inženýrství, vlevo přístup „zalepení děr“, vpravo přístup „obkresleného“ modelu (vlastní zpracování) .....	69
Obrázek 11 – Vytažení dílu z platformy (vlastní zpracování).....	71
Obrázek 12 – Abrazivní tryskání vyrobených dílů (vlastní zpracování) .....	71
Obrázek 13 – Surové díly po otryskání od prášku; vlevo technologie SLS a PA2200, vpravo technologie MJF a HP 3D HR PA12 (vlastní zpracování).....	72
Obrázek 14 – Stav povrchu před (vlevo) a po (vpravo) chemickém vyhlazením povrchu reklamních vzorků vybrané společnosti (vlastní zpracování).....	73
Obrázek 15 – Zařízení pro chemické vyhlazení povrchu dílů AMT PostPro3D (vlastní zpracování).....	74
Obrázek 16 – Konečný stav vyrobených náhradních dílů; vlevo SLS, vpravo MJF (vlastní zpracování).....	75
Obrázek 17 – Odchyky originálního dílu s CAD modelem (vlastní zpracování).....	76
Obrázek 18 – Porovnání náhradních dílů s CAD modelem; vlevo SLS, vpravo MJF (vlastní zpracování).....	77
Obrázek 19 – Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů v milimetrech podle normy ČSN ISO 2768 (E-konstruktor.cz, c2013-2017) .....	78
Obrázek 20 – Porovnání náhradních dílů s originálním dílem; vlevo SLS, vpravo MJF (vlastní zpracování).....	79

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 – Podniky s 10 a více zaměstnanci v ČR využívající 3D tisk (ČSÚ, 2023, s. 4) .....	47
Graf 2 – Nejčastější odvětví využívající 3D tisk (ČSÚ, 2023, s. 4) .....	48
Graf 3 – Podniky s více než 10 zaměstnanci v EU využívající 3D tisk; data z roku 2019 (ČSÚ, 2023, s. 6).....	48
Graf 4 – Meziroční nárůst počtu podniků využívajících 3D tisk (ČSÚ, 2023, s. 4).....	49
Graf 5 – Vývoj prodejních cen náhradních dílů vybrané společnosti podle vyrobeného množství (zdroj: cenové nabídky vybrané společnosti).....	85



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Srovnání nákladů SLS a MJF (Xometry, 2022) .....	24
Tabulka 2 – Vybrané polymerní materiály společnosti EOS GmbH (EOS GmbH, 2023) .....	29
Tabulka 3 – Polymerní materiály pro technologii Multi Jet Fusion (Stratasys, 2024; Materialise, 2024 a HP Development Company, 2024) .....	30
Tabulka 4 – Třídy pravděpodobnosti výskytu rizika (Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2021, s. 15).....	39
Tabulka 5 – Přehled nabízených SLS tiskáren společnosti EOS GmbH (vlastní zpracování dle EOS GmbH, c2024) .....	55
Tabulka 6 - Přehled nabízených MJF tiskáren společnosti HP Development Company, L.P. (vlastní zpracování dle HP, c2024).....	57
Tabulka 7 – Nabízené aditivní technologie a materiály vybrané společnosti (vlastní zpracování dle zdrojů organizace, 2024) .....	59
Tabulka 8 – Časový rámec projektu (vlastní zpracování) .....	64
Tabulka 9 – Riziková analýza projektu (vlastní zpracování) .....	65
Tabulka 10 – Základní materiálové charakteristiky materiálů PA12 (zdroj: interní dokumenty vybrané společnosti) .....	70
Tabulka 11 – Srovnání času výroby 1 kusu náhradního dílu (vlastní zpracování; interní zdroje vybrané společnosti) .....	80
Tabulka 12 – Srovnání času výroby plné výrobní komory (vlastní zpracování; interní zdroje vybrané společnosti) .....	81
Tabulka 13 – Porovnání roční kapacity výrobních zařízení (vlastní zpracování dle interních dokumentů společnosti) .....	82
Tabulka 14 - Vývoj prodejních cen náhradních dílů vybrané společnosti podle vyrobeného množství (zdroj: cenové nabídky vybrané společnosti).....	84
Tabulka 15 – Náklady na realizaci projektu (vlastní zpracování) .....	86

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Podniky s 10 a více zaměstnanci v ČR využívající 3D tisk (ČSÚ, 2022, s. 3)

Příloha P II: Protokol porovnání původního dílu s CAD modelem

Příloha P III: Protokol – Náhradní díl SLS PA2200 a CAD model

Příloha P IV: Protokol – Náhradní díl MJF PA12 a CAD model

Příloha P V: Protokol – Původní díl a náhradní díl SLS PA2200

Příloha P VI: Protokol – Původní díl a náhradní díl MJF pa12

# PŘÍLOHA P I: PODNIKY S 10 A VÍCE ZAMĚSTNANCI V ČR VYUŽÍVAJÍCÍ 3D TISK (ČSÚ, 2022, S. 3)

**Tab. 10.1: Podniky s 10 a více zaměstnanci v ČR využívající 3D tisk; 2021**

	podniky využívající 3D tisk celkem	z toho		účel využití 3D tisku	
		na vlastní či pronajaté tiskárně	3D tisk nakoupily jako službu	k výrobě prototypů nebo modelů	k výrobě polotovarů, součástek, náradí a dalších výrobků (kromě prototypů či modelů)
<b>Podniky celkem (10+)</b>	<b>7,2</b>	<b>6,2</b>	<b>2,4</b>	<b>6,3</b>	<b>5,2</b>
<b>Velikost podniku</b>					
10–49 zaměstnanců	4,9	4,0	1,8	4,1	3,4
50–249 zaměstnanců	12,4	10,7	3,8	11,5	8,9
250 a více zaměstnanců	32,6	30,6	7,7	28,8	24,7
<b>Odvětví (ekonomická činnost)</b>					
Zpracovatelský průmysl	15,0	12,8	4,6	13,7	11,4
Výroba a rozvod energie, plynu, tepla	5,2	4,6	.	3,5	4,1
Stavebnictví	1,2	1,2	0,4	0,9	0,8
Obchod a opravy motorových vozidel	2,7	0,4	2,5	2,7	0,4
Velkoobchod	3,9	3,4	2,1	3,1	3,5
Maloobchod	2,8	2,6	1,4	1,4	2,2
Doprava a skladování	0,8	0,8	.	0,7	0,3
Ubytování	1,7	1,2	1,1	1,2	1,1
Stravování a pohostinství	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3
Činnosti cestovních agentur a kanceláří	.	.	.	.	.
Audiovizuální činnosti; vydavatelství	7,5	7,1	.	6,6	5,4
Telekomunikační činnosti	14,7	14,7	4,3	14,1	9,7
Činnosti v oblasti IT	16,5	14,8	3,8	14,6	10,2
Činnosti v oblasti nemovitostí	2,3	1,3	1,6	1,0	0,9
Profesní, vědecké a technické činnosti	10,4	8,5	3,2	9,2	6,1
Ostatní administrativní a podpůrné činnosti	5,1	4,7	2,0	4,5	3,4

*Pozn. tečky v tabulce značí nespolehlivé údaje (velmi malý počet firem v daných velikostních a odvětvových skupinách)*

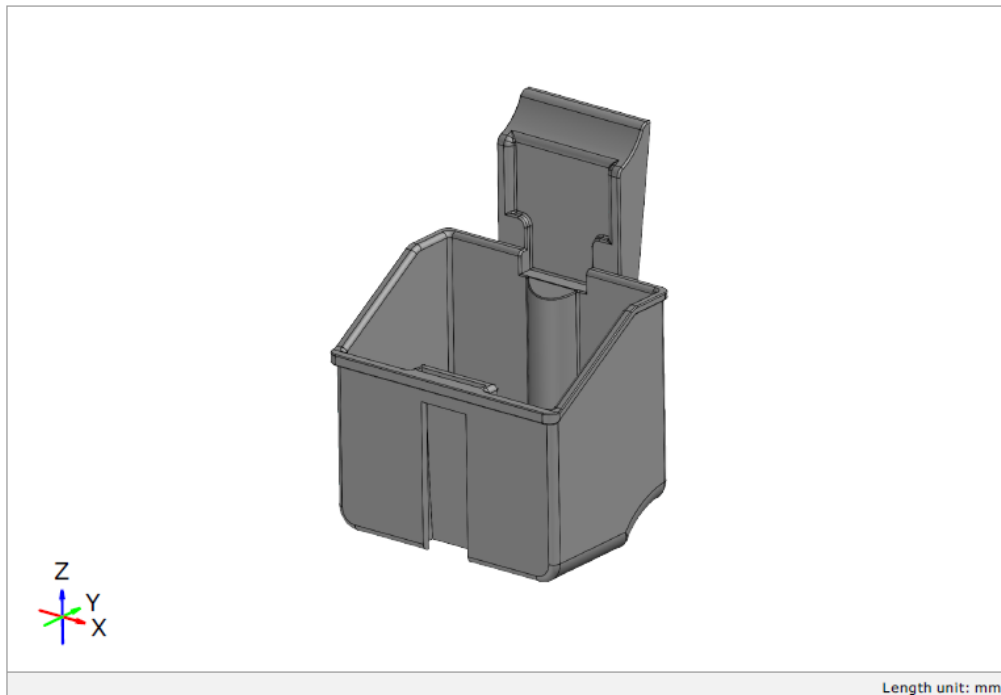
*podíl na celkovém počtu podniků s 10 a více zaměstnanci v dané velikostní a odvětvové skupině (v %)*

# PŘÍLOHA P II: PROTOKOL POROVNÁNÍ PŮVODNÍHO DÍLU S CAD MODELEM



Generated with GOM Software 2022

Původní díl



**Inspector:**

**Company:**

**Department:**

**Norm:** According to ISO 14405, ISO 1101, ISO 5459

**Date:** 12.03.2024

**Project:**

**Part:**

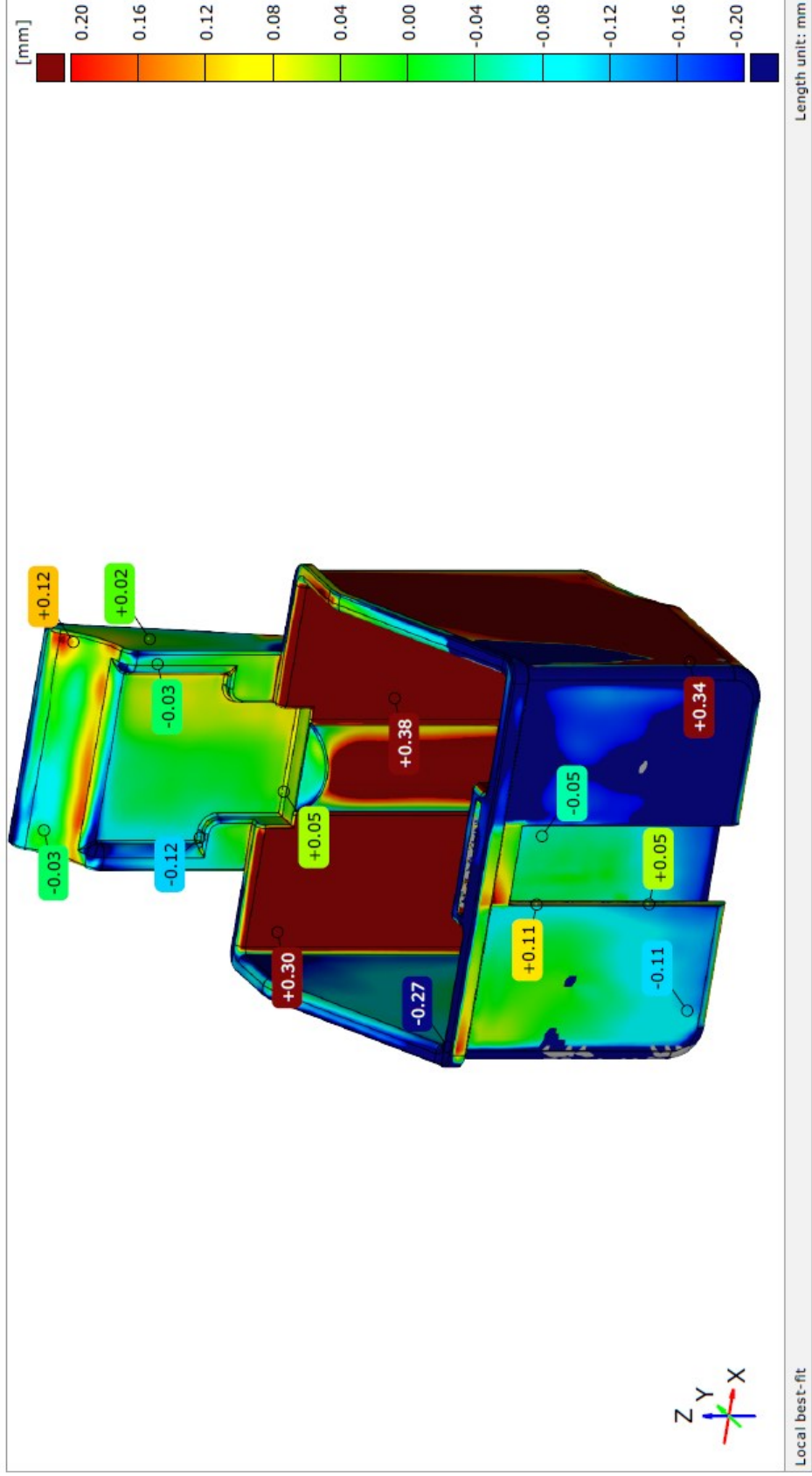
**Part no.:** Původní díl

**Version:**

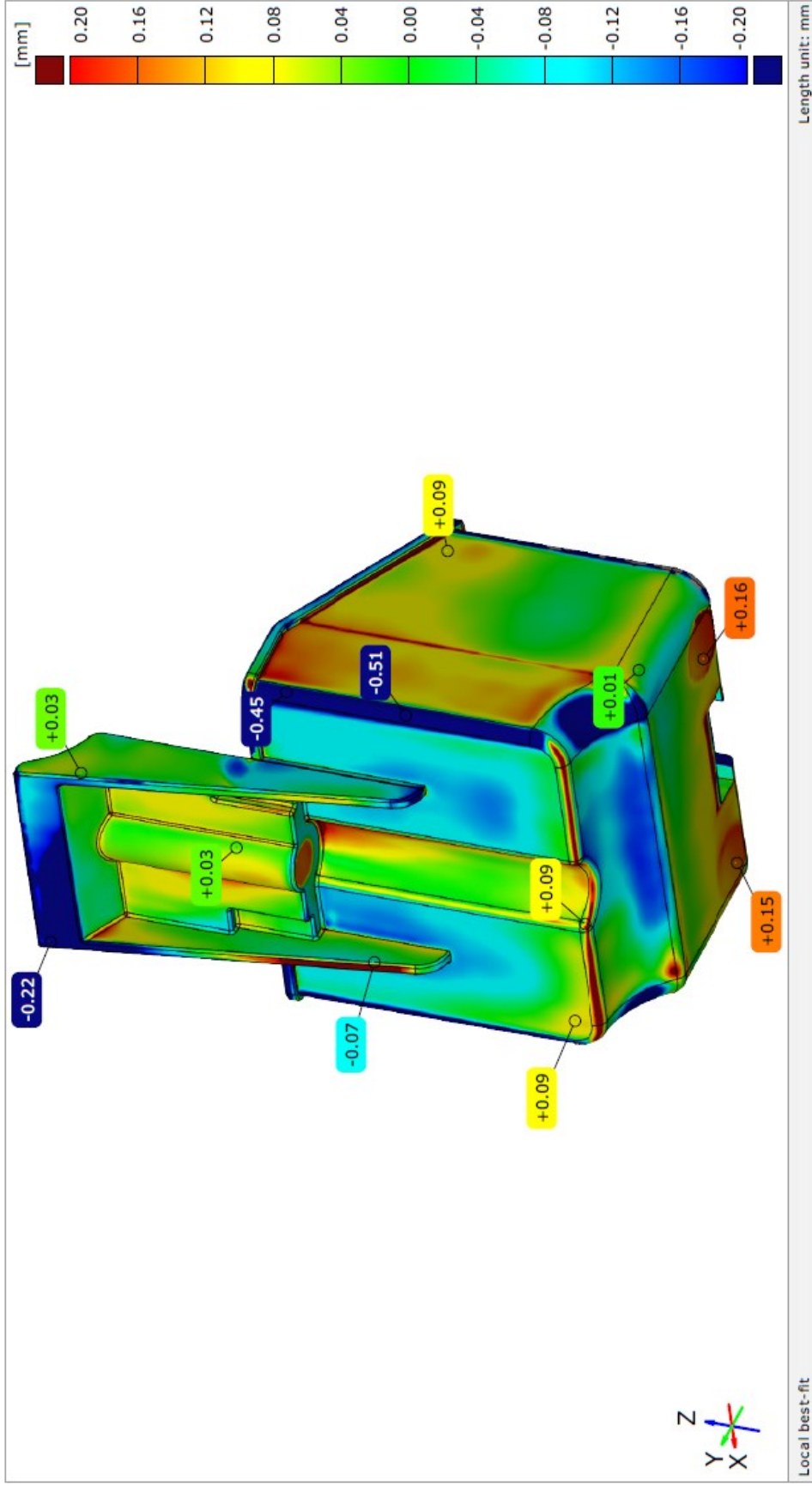
**Charge no.:**

**System:** ATOS5 Profesional 2022

### Pohled z vrchu



### Pohled ze spodu

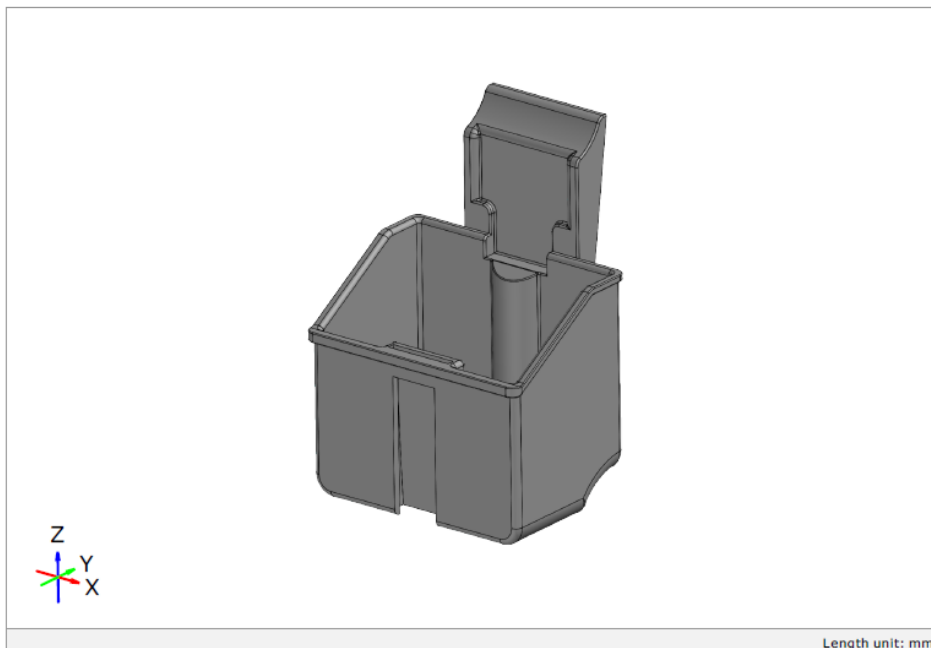


# PŘÍLOHA P III: PROTOKOL - NÁHRADNÍ DÍL SLS PA2200 A CAD MODEL



Generated with GOM Software 2022

EOS-PA-12



**Inspector:**

**Company:**

**Department:**

**Norm:** According to ISO 14405, ISO 1101, ISO 5459

**Date:** 12.03.2024

**Project:**

**Part:**

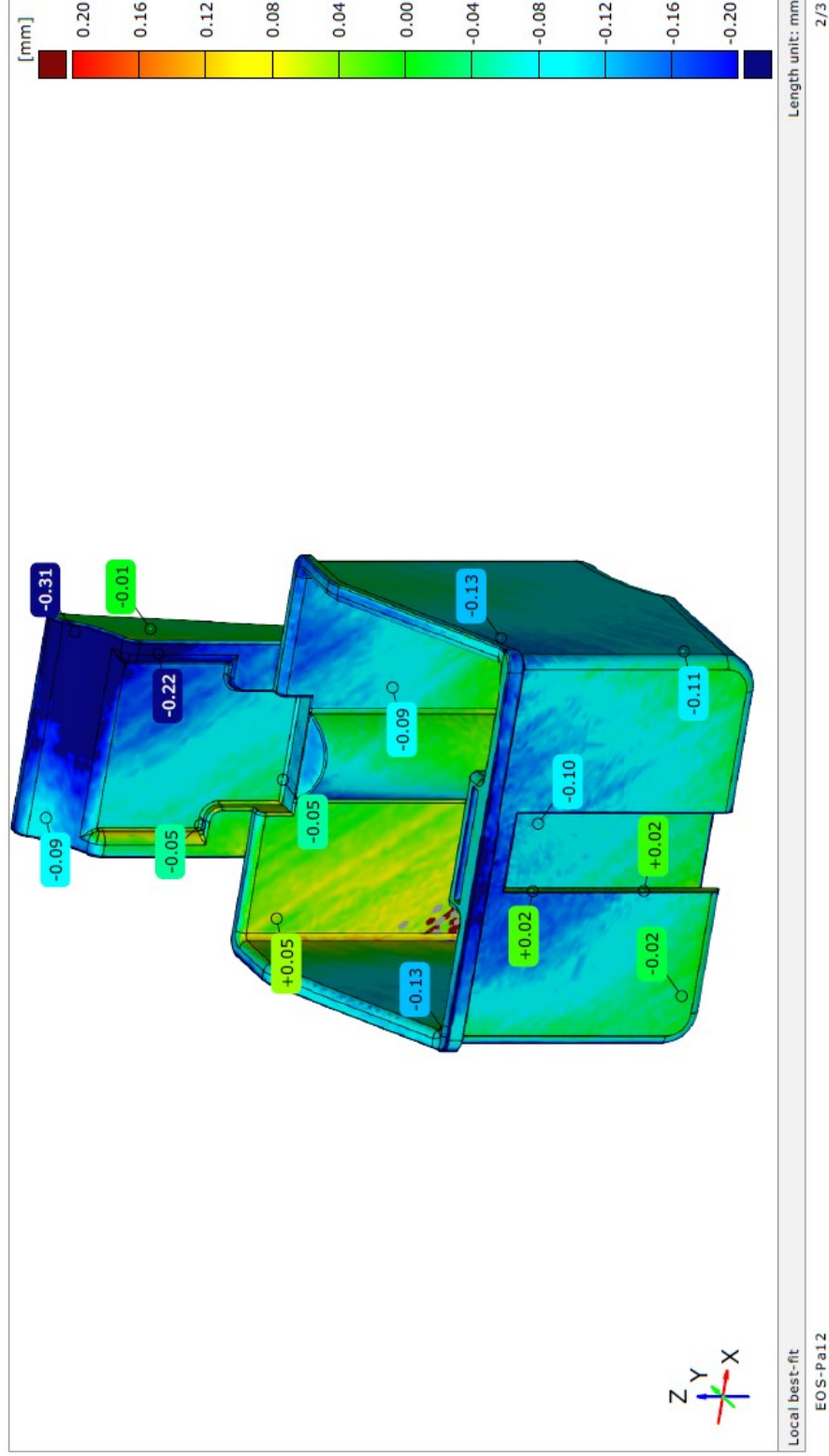
**Part no.:** EOS-Pa12

**Version:**

**Charge no.:**

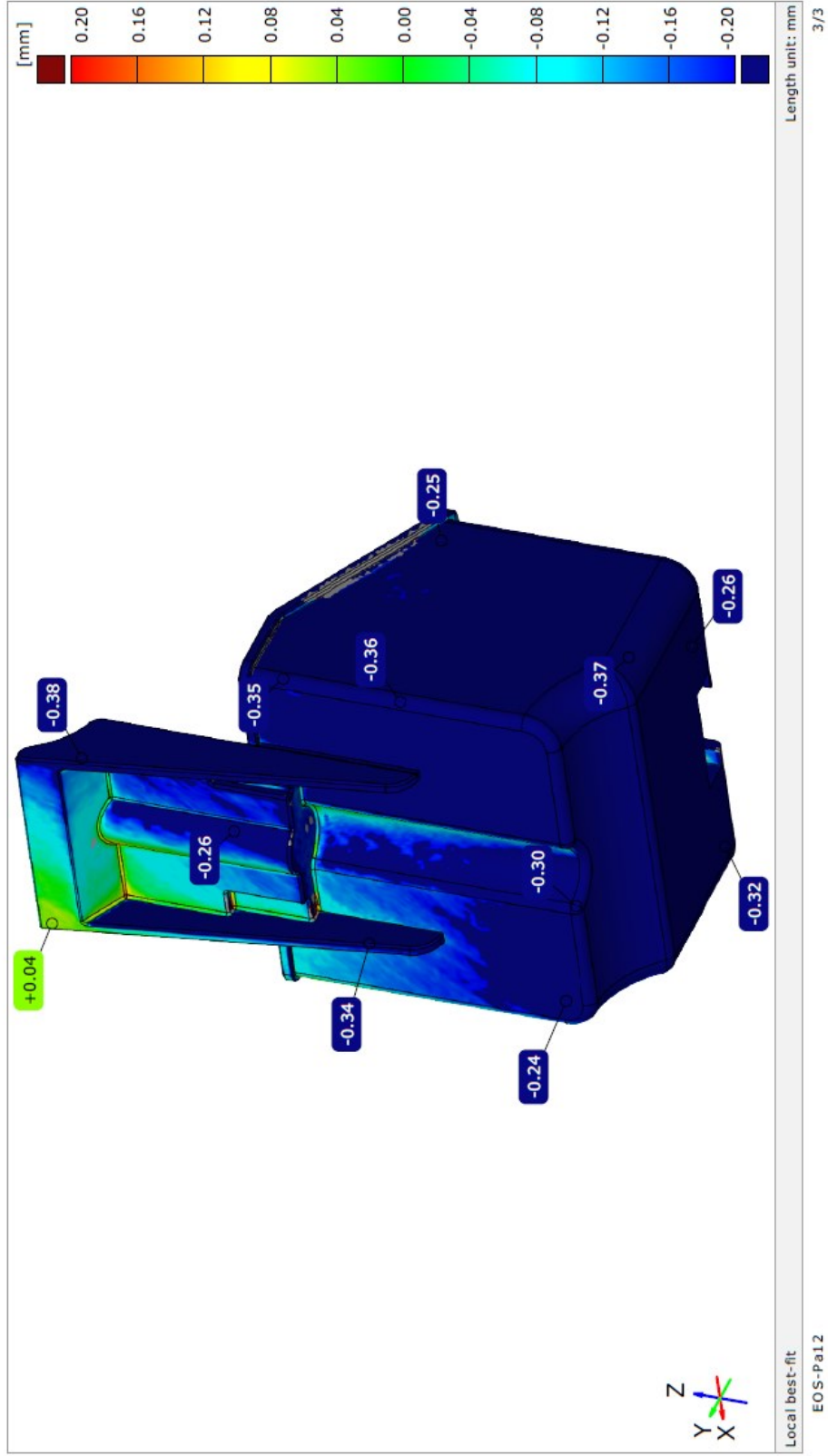
**System:** ATOS5 Profesional 2022

### Pohled z vrchu





### Pohled ze spodu

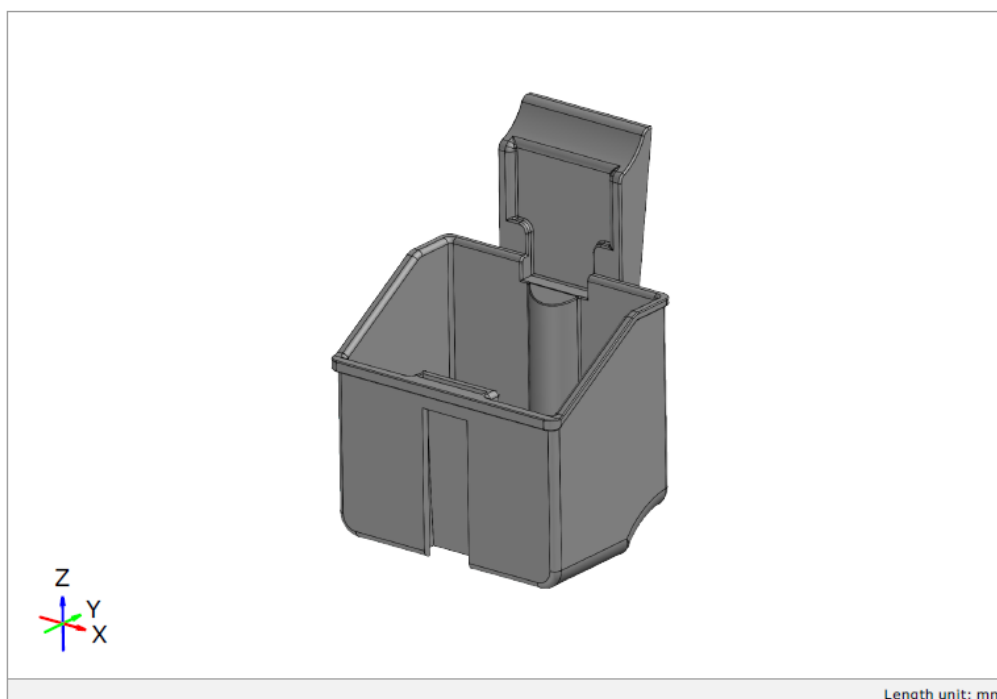


# PŘÍLOHA P IV: PROTOKOL - NÁHRADNÍ DÍL MJF PA12 A CAD MODEL



Generated with GOM Software 2022

HP-PA-12



**Inspector:**

**Company:**

**Department:**

**Norm:** According to ISO 14405, ISO 1101, ISO 5459

**Date:** 12.03.2024

**Project:**

**Part:**

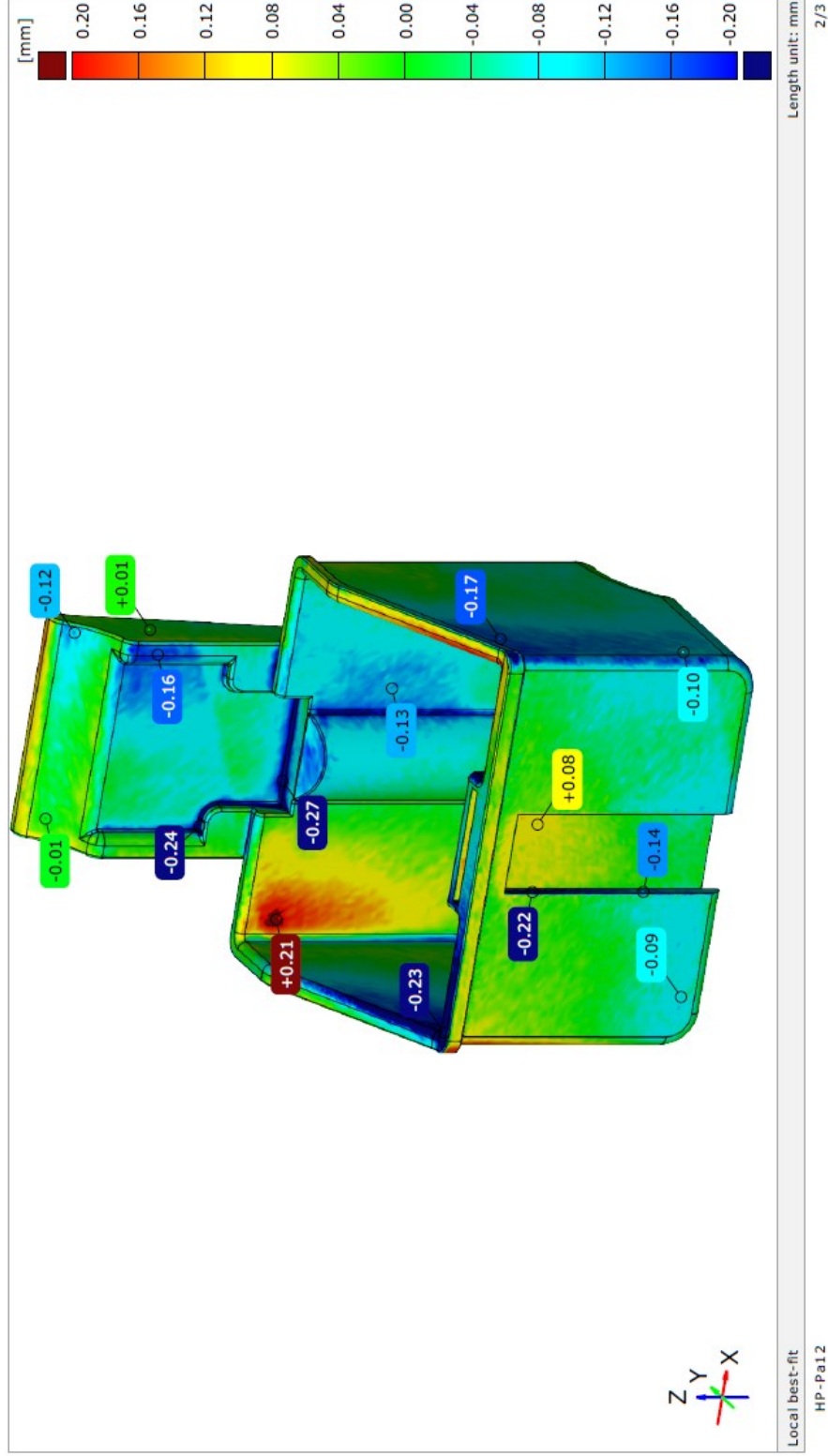
**Part no.:** HP-Pa12

**Version:**

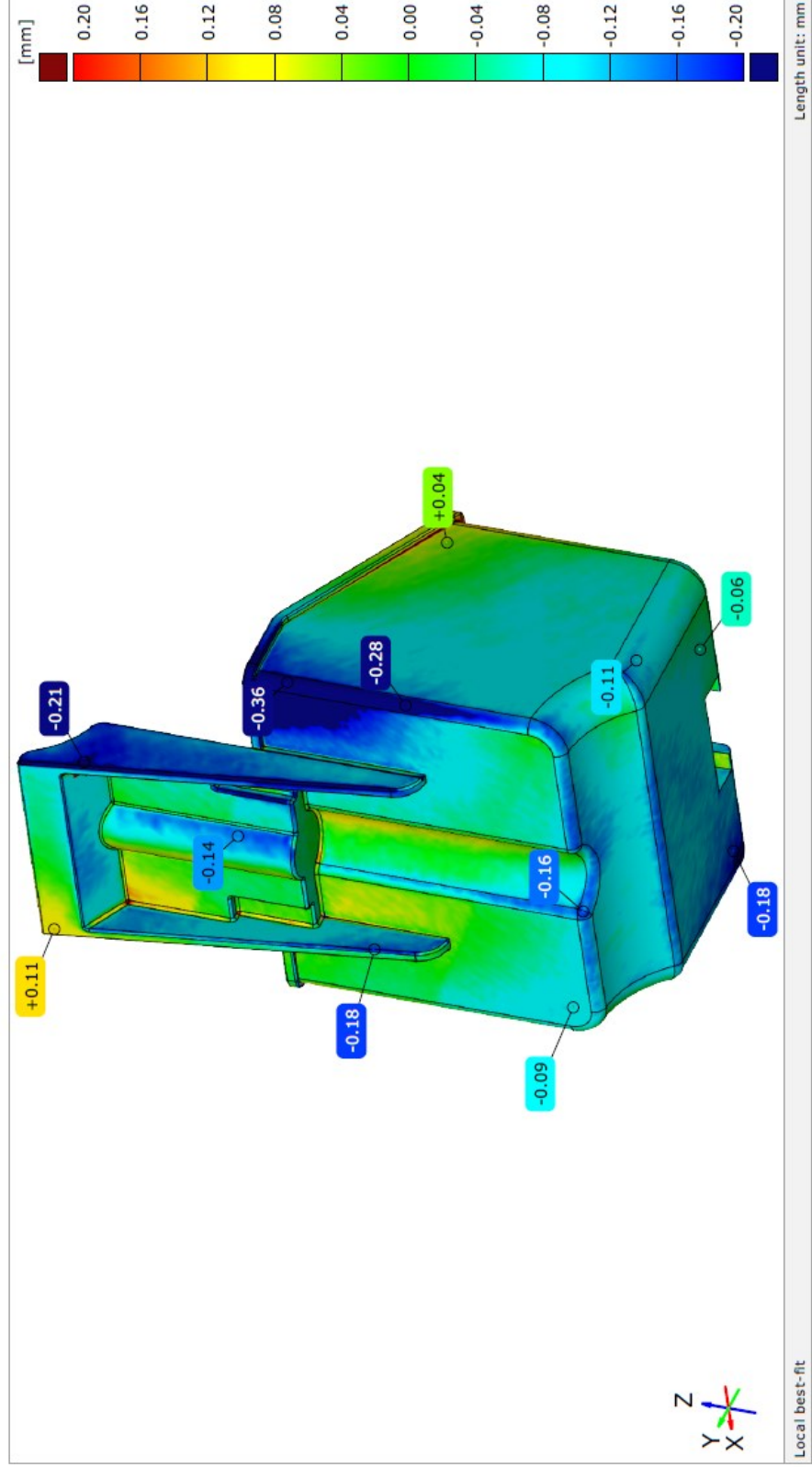
**Charge no.:**

**System:** ATOS5 Profesional 2022

### Pohled z vrchu



### Pohled ze spodu

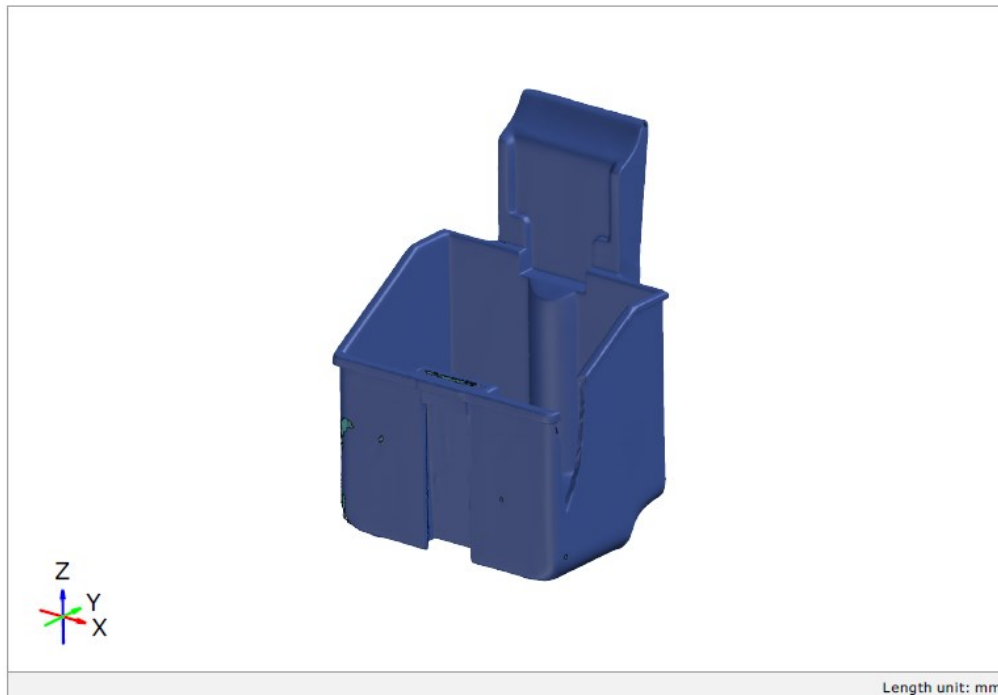


# PŘÍLOHA P V: PROTOKOL - PŮVODNÍ DÍL A NÁHRADNÍ DÍL SLS PA2200



Generated with GOM Software 2022

EOS-PA-12 - porovnání s Původním dílem



**Inspector:**

**Company:**

**Department:**

**Norm:** According to ISO 14405, ISO 1101, ISO 5459

**Date:** 12.03.2024

**Project:**

**Part:**

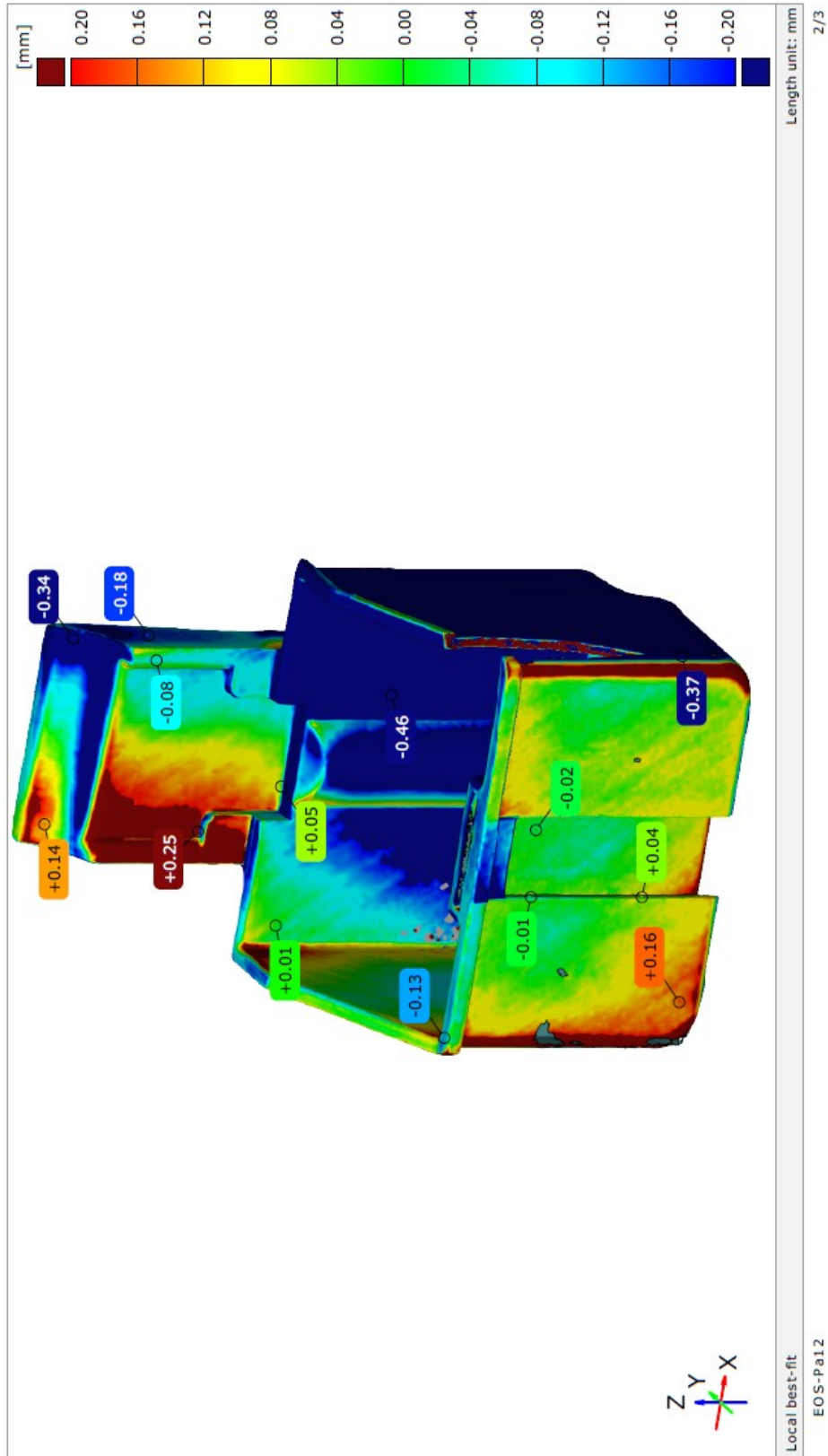
**Part no.:** EOS-Pa12

**Version:**

**Charge no.:**

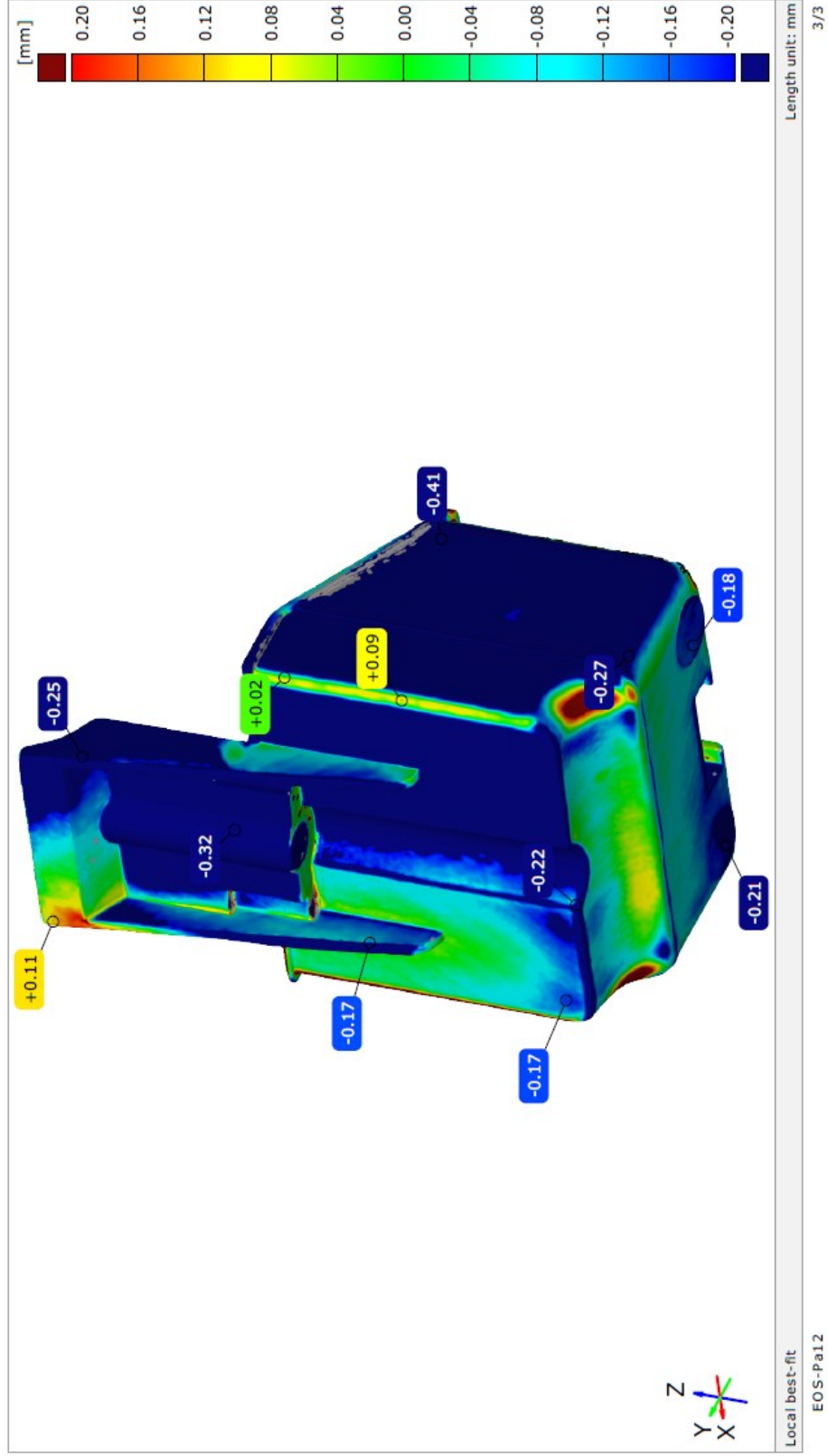
**System:** ATOS5 Profesional 2022

### Pohled z vrchu





### Pohled ze spodu



# PŘÍLOHA P VI: PROTOKOL - PŮVODNÍ DÍL A NÁHRADNÍ DÍL MJF PA12



Generated with GOM Software 2022

HP-PA-12 - porovnání s Původním dílem



**Inspector:**

**Company:**

**Department:**

**Norm:** According to ISO 14405, ISO 1101, ISO 5459

**Date:** 12.03.2024

**Project:**

**Part:**

**Part no.:** HP-Pa12

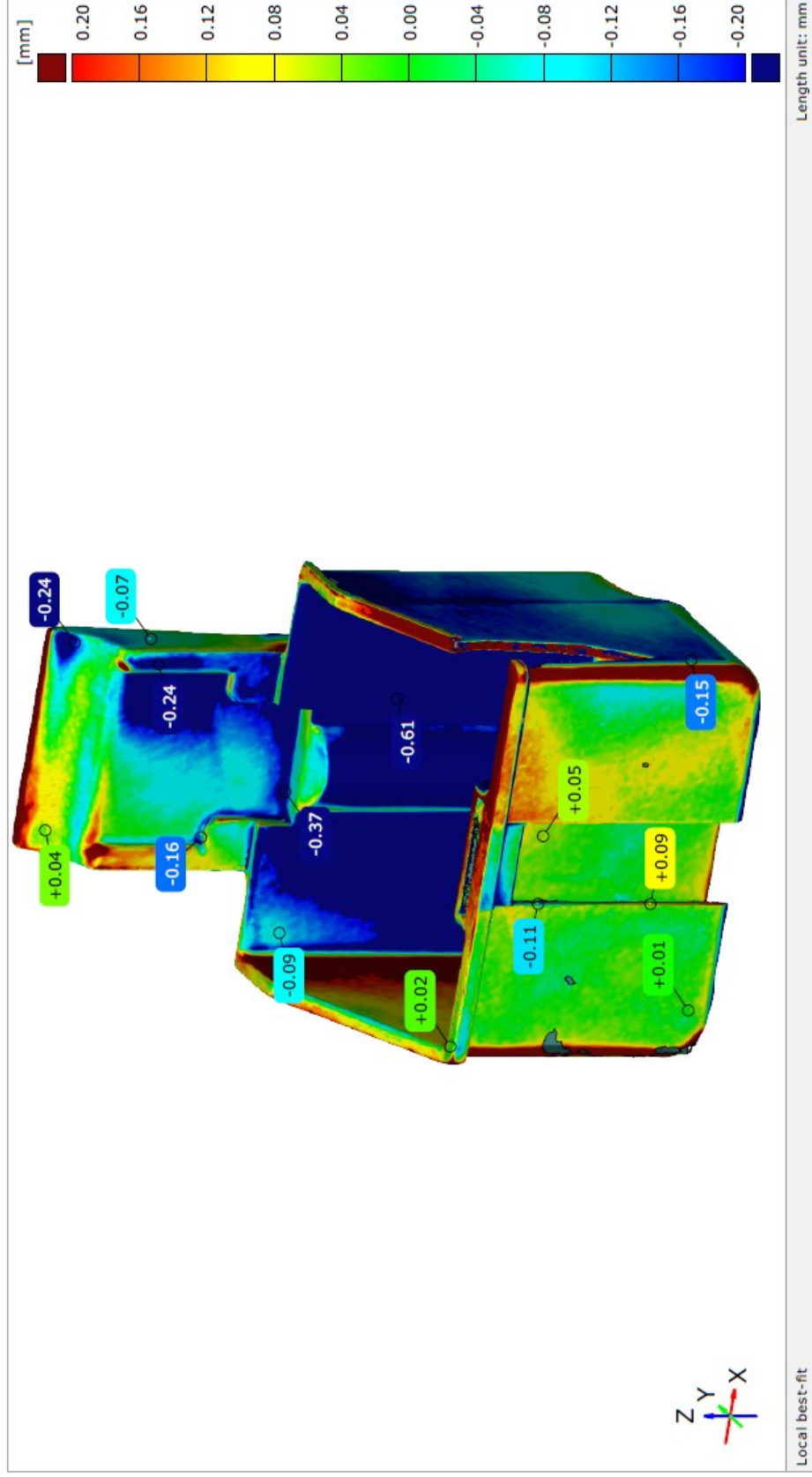
**Version:**

**Charge no.:**

**System:** ATOS5 Profesional 2022



### Pohled z vrchu



### Pohled ze spodu

