

# **Škoda Auto Vysoká škola o.p.s.**

Studijní program: N0413A050001 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

## **Koncept separace a sběru odpadu z 3D tisku**

### **Diplomová práce**

**Bc. Tereza Rychetníková**

Vedoucí práce: prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Tereza Rychetníková**

Studijní program: Ekonomika a management

Specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Název tématu: **Koncept separace a sběru odpadu z 3D tisku**

Cíl: Cílem práce je navrhnout koncept separace a sběru odpadu z vybrané 3D tiskové farmy a výtisků po době životnosti z provozů, ve kterých se používají. Koncept bude zaměřen na odpad a výtisky vzniklé technologií FFF (Fused Filament Fabrication).

Rámcový obsah:

1. Shrňte nejnovější poznatky z oblasti průmyslového 3D tisku s důrazem na technologii FFF a materiály, které využívá.
2. Zmapujte současný stav separace a sběru odpadu z vybrané farmy a výtisků po době životnosti z provozů, ve kterých se používají.
3. Navrhněte a vyhodnoťte koncept separace a sběru odpadu a výtisků po době životnosti pro danou farmu a provozy.
4. Práci řešte na farmě a provozech Centrální pilotní haly ve společnosti Škoda Auto a.s.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. HOME, Richard; HAUSMAN, Kalani Kirk. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 411 s.
2. PRŮŠA, Josef; BACH, Martin; STRÍTESKÝ, Ondřej. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Praha: Prusa Research, 2019.
3. ŠVECOVÁ, Lenka; VEBER, Jaromír. *Produkční a provozní management*. 1. vyd. Grada Publishing, 2021. 343 s. Expert. ISBN 978-80-271-1385-9.

Datum zadání diplomové práce: únor 2023

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2024

L. S.

Elektronicky schváleno dne 14. 2. 2023

**Bc. Tereza Rychetníková**  
Autorka práce

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2023

**prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.**  
Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 20. 3. 2023

**doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.**  
Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2023

**doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.**  
Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracovala samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídila vnitřním předpisem Škoda Auto Vysoké školy o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědoma, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 5.1.2024

Děkuji prof. Ing. Radimu Lenortovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Dále děkuji celé pilotní hale ve Škoda Auto a.s., která mi umožnila psaní závěrečné práce u nich na oddělení. V neposlední řadě děkuji celé své rodině, která mi byla oporou a motivací.

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Úvod .....  | 8  |
| 1 3D tisk .....   | 9  |
| 1.1 Historie 3D tisku .....                                 | 10 |
| 1.2 Technologie 3D tisku .....                              | 12 |
| 1.3 Materiály využívané ve 3D tisku .....                   | 19 |
| 1.4 Materiály využívané ve 3D tisku u technologie FFF ..... | 22 |
| 1.5 Odpadové hospodářství a recyklace plastů .....          | 25 |
| 1.6 Recyklace odpadu z 3D tisku u technologie FFF .....     | 27 |
| 2 Zmapování současného stavu ve Škoda Auto a.s. ....        | 29 |
| 2.1 Společnost Škoda Auto a. s. ....                        | 29 |
| 2.2 Centrum předseriové výroby .....                        | 30 |
| 2.3 Současný stav 3D tisku na útvaru PAP/a .....            | 33 |
| 3 Návrh konceptu separace a sběru odpadu z 3D tisku .....   | 48 |
| 3.1 Návrh sběru odpadu z 3D tisku .....                     | 48 |
| 3.2 Ekonomické vyhodnocení .....                            | 56 |
| Závěr.....  | 60 |
| Seznam literatury.....                                      | 62 |
| Seznam obrázků a tabulek .....                              | 65 |

## **Seznam použitých zkratk**

|      |  |
|------|--|
| ABS  | Acrylonitrie Butadiene Styrene                     |
| ASA  | Acrylonitrile Styrene Acrylate                     |
| CFF  | Continuous Filament Fabrication                    |
| CPE  | Kopolyester  |
| CPH  | Centrální pilotní hala                             |
| DLP  | Digital Light Processing                           |
| DMLS | Direct Metal Laser Sintering                       |
| FDM  | Fused Deposition Modeling                          |
| FFF  | Fused Filament Fabrication                         |
| HIPS | High Impact Polystyrene                            |
| MSLA | Mask Stereolithography                             |
| NO   | Nebezpečný odpad                                   |
| OO   | Ostatní odpad                                      |
| OS   | Ověřovací série                                    |
| PC   | Polycarbonate                                      |
| PET  | Polyethylentereftalát                              |
| PETG | Polyethylene Terephthalate Glycol                  |
| PH   | Pilotní hala                                       |
| PLA  | Polyactic Acid                                     |
| PVA  | Polyvinyl Alcohol                                  |
| PVS  | Produktions Versuch Serie (Zkušební výrobní série) |
| SDL  | Selective Deposition Lamination                    |
| SLA  | Stereolitografie                                   |
| SLM  | Selective Laser Melting                            |
| SLS  | Selective Laser Sintering                          |

ŠA Škoda Auto a.s.  
TPU Thermoplastic Polyurethan  
VFF Vorserien Freigabe Fahrzeug (uvolnění předsériových vozů)  
VW Volkswagen



## Úvod

Diplomová práce se zabývá tématem konceptu separace a sběru odpadu z 3D tisku. 3D tisk je inovativní technologie, která umožňuje vytvářet složité a přesné objekty z různých materiálů pomocí aditivního procesu. Tato moderní metoda tisku nese s sebou mnoho výhod, včetně rychlosti, flexibility a snížení nákladů a odpadu. Nicméně s těmito výhodami přicházejí i výzvy, mezi které patří potřeba efektivní recyklace a zpracování odpadu. Tento odpad vzniká buď při samostatném tisku nebo po skončení životnosti výtisků.

Hlavním cílem práce je navrhnout koncept separace a sběru odpadu z vybrané 3D tiskové farmy a výtisků po době životnosti z provozů, ve kterých se používají. Koncept bude zaměřen na odpad a výtisky vzniklé technologií FFF (Fused Filament Fabrication), která je nejrozšířenější metodou 3D tisku pro plastové materiály. Práce je psaná ve spolupráci se společností Škoda Auto, která využívá 3D tisk pro různé účely, jako je prototypování, náhradní díly, nástroje nebo design.

Práce je rozdělena do tří kapitol. V první kapitole diplomové práce bude uveden teoretický rámec práce, který obsahuje definici a historii 3D tisku, popis technologie 3D tisku, přehled materiálů používaných pro 3D tisk, materiály využívané u technologie FFF, dělení odpadu a recyklace plastů a v neposlední řadě bude nastíněna problematika recyklace odpadu z 3D tisku u technologie FFF. V druhé kapitole bude popsána společnost Škoda Auto a.s a její využití 3D tisku, včetně popisu vybrané 3D tiskové farmy a provozů, kde se používají 3D výtisky. V poslední kapitole je navržen koncept separace a sběru odpadu z 3D tisku, který bude sloužit pro následující recyklaci a ekonomické vyhodnocení jaké úspory budou ušetřeny při zavedení tohoto konceptu. V závěru bude shrnut hlavní přínos práce pro teorii i praxi.

## 1 3D tisk

„3D tisk je automatizovaný proces, při kterém se z digitální předlohy (3D modelu) vytváří fyzický model.“ (Stříteský, Bach a Průša, 2019, str. 5)

Nejrozšířenější technologií je FFF, která je jednou z mnoha a funguje velmi jednoduše. Výtisk vzniká postupně, vrstvením materiálu tryskou na plát tiskárny, této výrobě se říká aditivní (Stříteský, Bach a Průša, 2019).

Proč se aditivní výroba nazývá aditivní? Aditivní výroba funguje tak, že se návrh objektu – tvar výrobku se přenese do počítačového modelu a pak se tento model rozdělí do samostatných vrstev, které se skládají do finálního objektu. Tento proces přetváří 3D model jako serii vrstev, které tvoří hotový výtisk (Home a Hausman, 2017).

Aditivní výroba představuje efektivní metodu pro výrobu malých a složitých součástí na zakázku. Je ideální zejména pro komplikované díly, které se vyrábějí ve specifických sériích. Výhodou této technologie je rychlost výroby a možnost vytvářet součástky externě, například prostřednictvím 3D tisku. Ovšem, limitujícím faktorem je velikost pracovního prostoru tiskárny, což omezuje možnosti současné realizace několika velmi malých dílů. Dalším důležitým aspektem je ekonomika výroby, která závisí na použitém materiálu. Aditivní výroba není univerzální technologií, zejména pro výrobu jednoduchých dílů ve velkých sériích, kde by použití 3D tisku nebylo rentabilní. Naopak, aditivní technologie nabízejí několik výhod, jako je schopnost vytvářet drsnější povrch, což je užitečné při výrobě lékařských implantátů. Dále mohou být využity pro opravy bez nutnosti demontáže dílů, a to zejména při použití nánosu kovového prášku nebo drátu pomocí laseru nebo elektronového paprsku. V neposlední řadě mohou aditivní technologie sloužit jako nadstavba vstříkolisů v oblasti plastikářské výroby (Švecová a Veber, 2021).

Software inicializuje virtuální 3D model a automaticky vytváří řezy, podpory modelu a dráhy tiskové hlavy. Následně je návrh přenesen do 3D tiskárny, kde může začít bezprostřední proces vytváření fyzického objektu. Tiskárna postupně dělá vrstvy tím, že nanáší roztavený materiál pomocí tryskové hlavy na podložku. Moderní technologie umožňují automatický průběh tisku bez potřeby operátorského dohledu. Výtisky nevyžadující podpory jsou připraveny k použití ihned po dokončení tisku. Pro modely s podpurným systémem slouží čisticí zařízení, které celý proces rovněž

zajišťuje automaticky. Po odstranění podpor a osušení je model připraven pro použití (Kolodzejová, 2015).

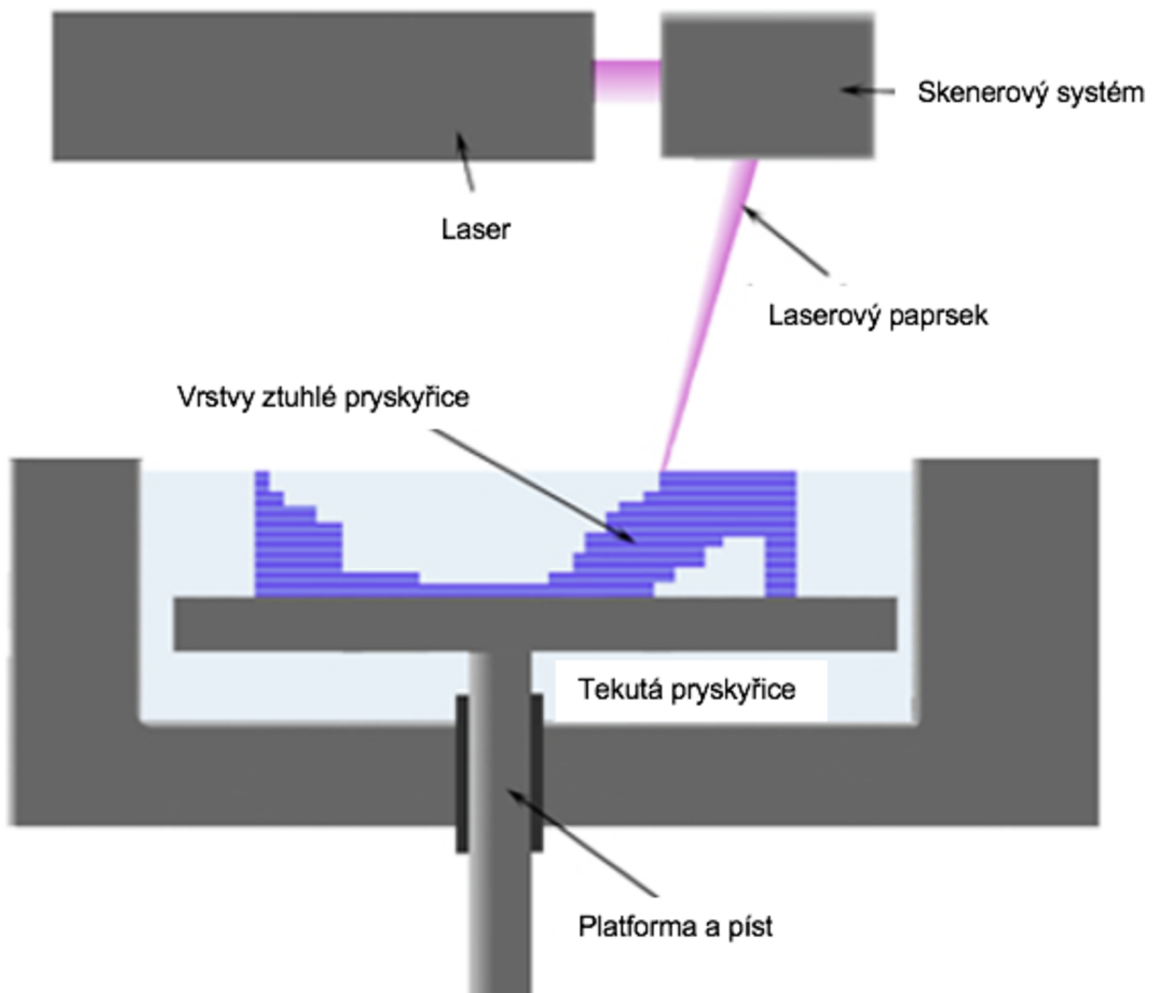
3D tisk má široké uplatnění v průmyslu, výzkumu a také pro tvorbu prototypů a vlastních projektů. Díky různým metodám a materiálům nabízí flexibilitu a inovační možnosti ve výrobě čehokoliv. Toto široké spektrum využití nachází uplatnění v mnoha různých odvětvích. Některé z hlavních oblastí využití jsou (Premo, 2022):

1. **Průmyslový design a vývoj produktů:** 3D tisk umožňuje rychlé prototypování a testování designů, což zkracuje vývojový cyklus produktu.
2. **Zdravotnictví:** V medicíně se 3D tisk využívá k vytváření chirurgických modelů, ortopedických implantátů nebo dokonce tisku biologických tkání.
3. **Automobilový průmysl:** 3D tisk umožňuje vytváření lehkých a složitých součástek, což vede ke snížení hmotnosti vozidel a zlepšení jejich výkonu.
4. **Letecký průmysl:** Vytváření lehkých, odolných a komplexních komponentů pro letecký a kosmický průmysl, což přispívá k efektivitě a snížení hmotnosti.
5. **Edukace:** Ve vzdělávacích institucích se 3D tisk využívá pro vytváření vizuálních pomůcek a umožňuje studentům praktické učení.
6. **Umělecká tvorba:** Umělci využívají 3D tisk k vytváření jedinečných a složitých uměleckých děl.
7. **Výroba náhradních dílů:** 3D tisk umožňuje vytváření náhradních dílů na zakázku, což může být efektivní pro opravy a údržbu.
8. **Personalizované produkty:** Výroba personalizovaných šperků, obuvi, brýlí a dalších předmětů na míru dle individuálních požadavků zákazníků.

## 1.1 Historie 3D tisku

Historie 3D tisku není zas tak stará, první zmínky sahají k počátku 80. let 20. století v Japonsku. Hideo Kodam v roce 1981 se snažil najít systém, který by vyráběl rychlé prototypy. 3D tisk jako takový vznikl až v roce 1984 s prvotním označením Rapid Prototyping (rychlá výroba prototypů). Charles W. Hull si nechal v témže roce patentovat technologii nazývanou se stereolitografie (SLA), patent mu byl vydán v roce 1986. Tato technologie je nejstarší a nejpřesnější z metod 3D tisku. Hlavním principem je pohyb tiskové hlavy přes tiskovou plochu, kde je aplikována

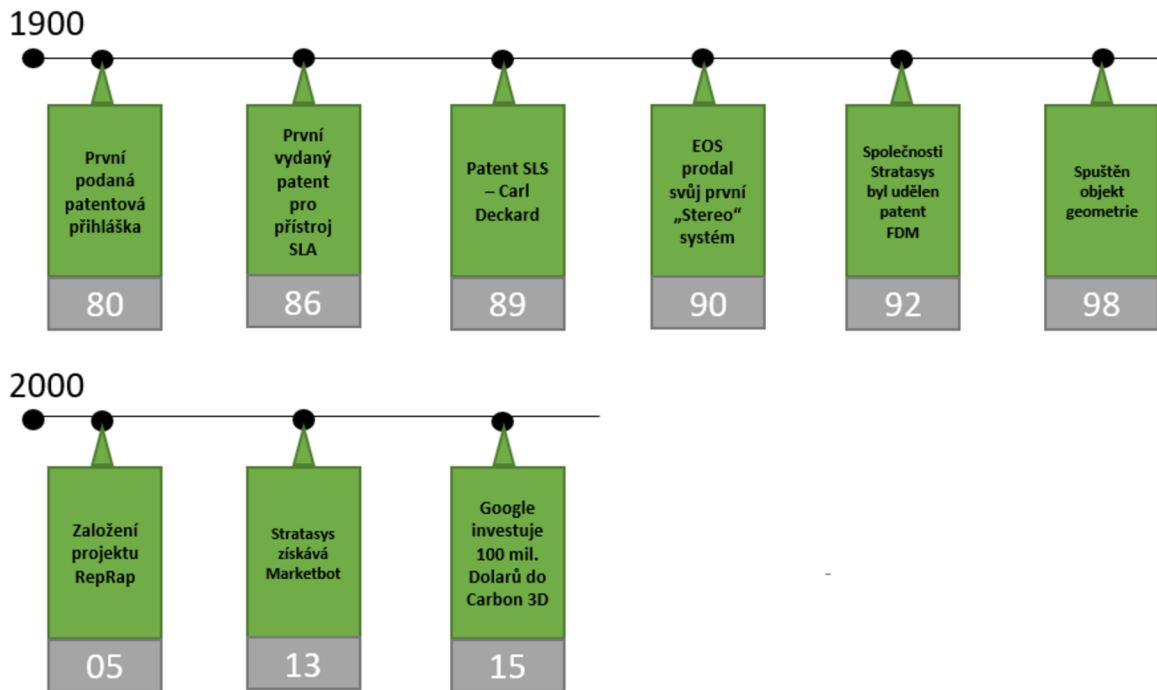
fotopolymerová pryskyřice a následně ozařována na specifických místech (Milewski, 2017). Po dokončení každé vrstvy se základní platforma posune o tloušťku jedné vrstvy dolů/nahoru a postup se opakuje pro vytvrzení další vrstvy (viz obr. 1).



Zdroj: (Fakulta strojní ČVUT, 2023)

**Obr. 1 Princip technologie SLA**

Obrázek 2 znázorňuje jednotlivá stádia historického vývoje 3D tisku. Významné roky pro 3D tisk jsou popsány v kapitole 1.1.



**Obr. 2 Historická časová osa**

V roce 1990 Scott Cump založil společnost Stratasys a vyvinul technologii fúzního despozičního modelování FDM. Tato metoda tisku vrství plastový filament, který se následně taví a formuje. (Lipson a Kurman, 2013)

Rok 1992 byl pro firmu 3D Systems zlomový, firma začala prodávat první tiskárny na technologii SLA. Obecně pro 3D tisk je zlomový až rok 2005, kdy byl založen projekt RepRap Adrianem Bowyerem. Hlavní myšlenkou projektu bylo navrhnout 3D tiskárnu která bude disponovat takovými funkcemi, že zvládne vytisknout co nejvíce součástí. V současné době projekt stále běží a je možnost si tiskárnu zakoupit buď jako hotový výrobek nebo lze takovou 3D tiskárnu doma sestavit jako stavebnici (Stříteský, Bach a Průša, 2019).

## 1.2 Technologie 3D tisku

Neexistuje metoda, která by uměla vše a také neexistuje ani jedna univerzální tiskárna, ale všechny technologie pracují na stejném principu – postupné vrstvení materiálu na sebe (3D Printing Industry, 2022).

V dnešní éře průmyslového a technologického pokroku hraje 3D tisk klíčovou roli ve změně způsobu, jakým se přistupuje k výrobě a designu. Tato inovativní technologie, známá také jako aditivní výroba, umožňuje vytvářet trojrozměrné

objekty, vrstvu po vrstvě na základě digitálních modelů. Ve srovnání s tradičními metodami výroby nabízí 3D tisk flexibilitu, přesnost a možnost vytvářet složité geometrické objekty s minimálním omezením.

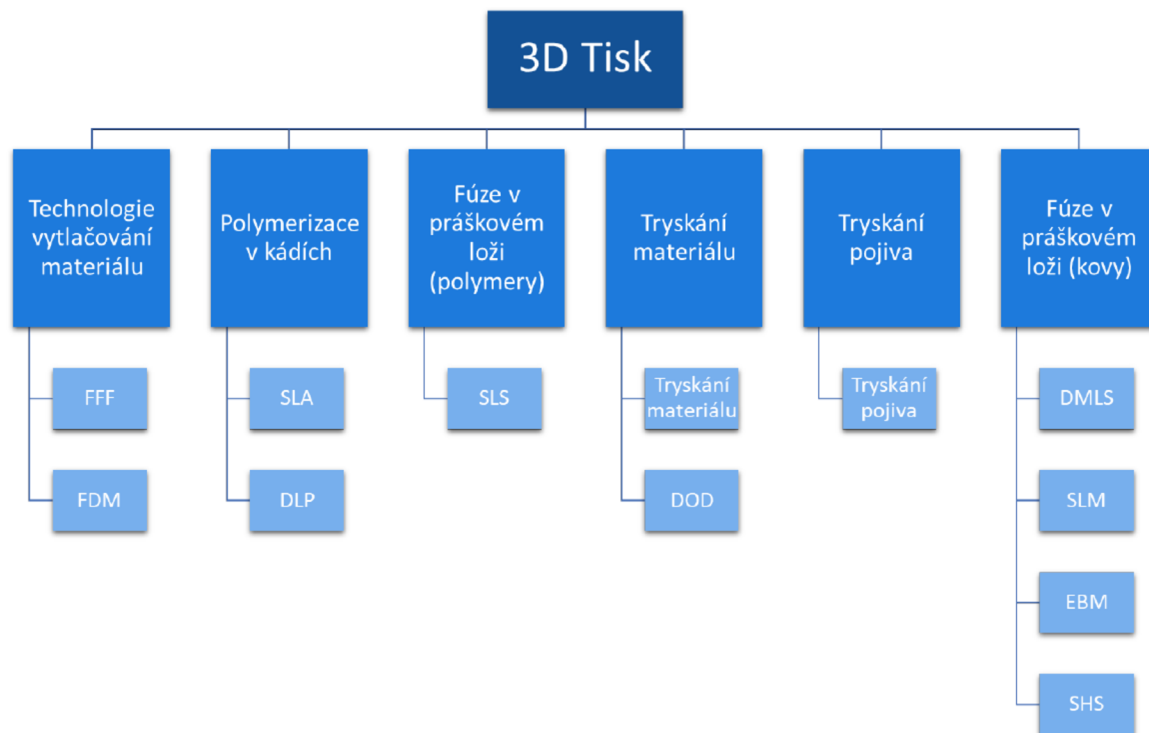
Střítecký, Bach a Průša (2019, str.11) podle materiálu a způsobu zpracování rozdělují technologie do tří skupin:

**1. „Materiál v podobě tiskové struny je extrudovaný** (vytlačovaný) tiskovou hlavou skrz rozehrátou trysku. Příkladem je technologie FDM (Fused Deposition Modeling) / FFF (Fused Filament Fabrication). Oba tyto názvy lze považovat za synonyma. FDM je registrovaná známka firmy Stratasys.

**2. Tekutý materiál** je vytvrzován v rámci vrstvy na definovaných oblastech. Příkladem je technologie SLA (stereolitografie). Materiál je vytvrzován světelným paprskem (UV laser či DLP projektor).

**3. Materiál v podobě jemného prášku** je sinterován (spékán, nikoliv roztavován) laserem. Představitelem tohoto principu je technologie SLS (selective laser sintering)“.

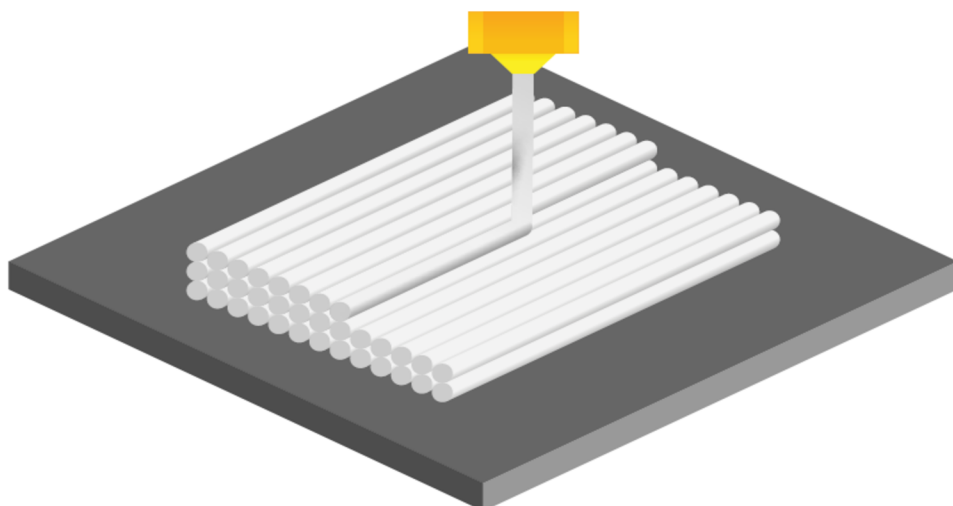
Na obr.3 lze vidět všechny technologie využívané ve 3D tisku a některé z nich budou dále podrobněji popsány.



Zdroj: (Redwood, Schöffer a Garret, 2017, str. 26)

**Obr. 3 Technologie aditivní výroby**

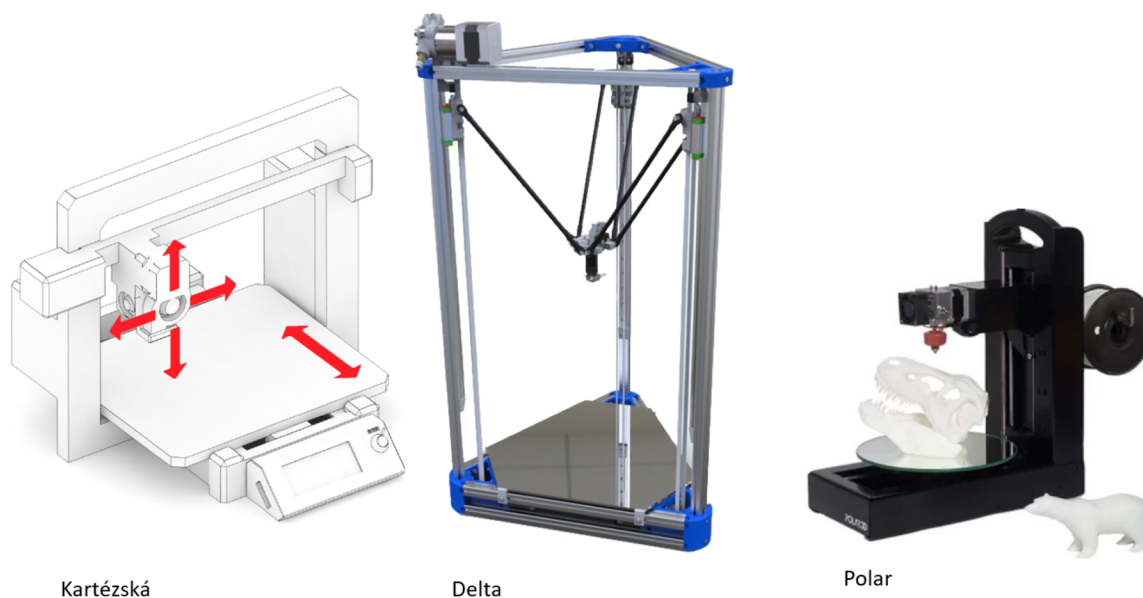
Nejrozšířenější a nejdostupnější je metoda **FFF/FDM**, takzvaný tisk z roztavených termoplastů. Pro tuto metodu je charakteristická struna namotaná na cívce (filament). Tisk pomocí této metody probíhá postupným vrstvením rozeřátého materiálu na sebe (viz obr.4). Tato metoda je hodně rozšířená jak u hobby tiskařů, tak i u tisků v různých průmyslech. Využívá se od vývoje výrobku, přes prototypy až pro finální funkční výrobek. Využívané materiály u této technologie jsou například PLA, PETG, Nylon nebo ABS. Tyto materiály jsou jednoduché a bezpečné oproti pryskyřici či jemnému prášku (Stříteský, Bach a Průša, 2019).



Zdroj: (Stříteský, Bach a Průša, 2019, str. 11)

**Obr. 4 Princip vrstvení u technologie FFF/FDM**

Tiskáren u této metody je několik například **kartézská**, která je založena na principu pohybu po třech osách. Tiskárna využívající závěsný systém se nazývá **Delta**. **Polar** je méně využívaný systém, který se zakládá na polárním pohybu po dvou liniích. Všechny tyto tři tiskárny lze vidět na obr. 5 (Stříteský, Bach a Průša, 2019).



Kartézská

Delta

Polar

Zdroj: (Stříteský, Bach a Průša, 2019, str. 12-13)

**Obr. 5 Tiskárny metody FFF/FDM**

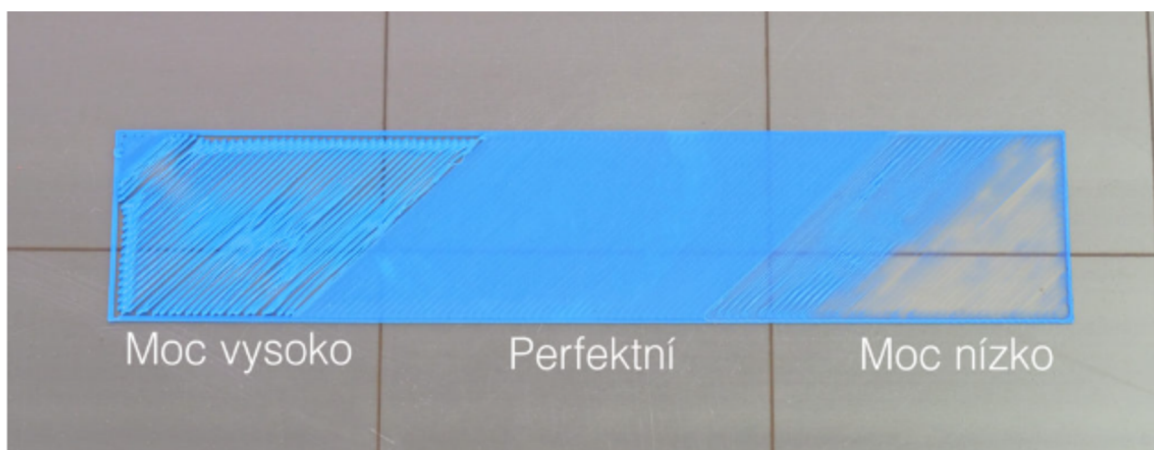


## Nejčastější příčiny nekvalitního výtisku u metody FFF/FDM

I přes rostoucí dostupnost a jednoduchost 3D tisku mohou začínající uživatelé narazit na různé komplikace, často způsobené špatnou konfigurací nebo náhodnými incidenty. Níže jsou popsány nejčastější příčiny vad při tisku (Bach, 2018)

### První vrstva se odlepuje

Nejčastějším problémem při 3D tisku je nedostatečná kvalita první vrstvy, která má klíčový vliv na celý tisk. Nesprávné přichycení může způsobit selhání tisku, kdy se plast odlepí a nabalí na trysku (Ize vidět na obr. 6). Tato situace může nastat okamžitě nebo až po několika minutách, což následně vede k dalším možným komplikacím.



Zdroj: (Josef Průša, 2018)

### **Obr. 6 Přilnavost 1. vrstvy**

Odstranění této nevyžádané chyby a zajištění dobré přilnavosti při 3D tisku:

1. Kalibruje se první vrstva v menu tiskárny a upravuje se výška tisku během prvních tří vrstev podle potřeby.
2. Připravuje se čistá tisková plocha odmaštěním isopropyl alkoholem nebo se ošetřuje acetonem, u tisku s materiálem PETG je důležité se těmito látkami vyhnout.
3. Je zapotřebí se ujistit, že nastavené teploty trysky a vyhřívané podložky jsou správné, při problémech s přilnavostí se zvýší teplota podložky.

4. Sníží se rychlost tisku na 75 % pro první tři vrstvy, případně se musí experimentovat s rychlostí během tisku pro optimální přilnavost.

### **Posunutí vrtvy**

Během tisku může nastat horizontální posun tištěné vrstvy způsobený nesprávným pohybem osy, což může trysku vychýlit a vést k nepřesnostem. Tiskárna často tento problém neregistruje, pokračuje v tisku, a výsledkem je "zub" na výrobku. Posun může probíhat v různých směrech, a je klíčové identifikovat osu, která je problematická. Pro odstranění tohoto problému platí univerzální postup pro obě osy.

### **Stringování**

Stringování při 3D tisku způsobuje vytváření tenkých plastových vláken za sebou, což vede k "chlupatým" tiskům. Tento jev často nastává při tisku komplexních objektů nebo při nesprávném nastavení parametrů tisku. Uvědomte si, že materiály jako PETG nebo pružné filamenty mohou stringovat i při správném nastavení.

### **Špagetová příšera**

I když název této tiskové chyby může působit vtipně, není vůbec legrační. Tato chyba obvykle vzniká, když je většina tisku již dokončena. Jak bylo zmíněno dříve, nekvalitní první vrstva zvyšuje riziko selhání tisku, a špagetová příšera je dobrým příkladem. Tento problém často vzniká odlepením objektu od podložky, přičemž zbývající vrstvy se tisknou mimo objekt. Dalším častým zdrojem této chyby je nevhodné vyslicování STL modelu.

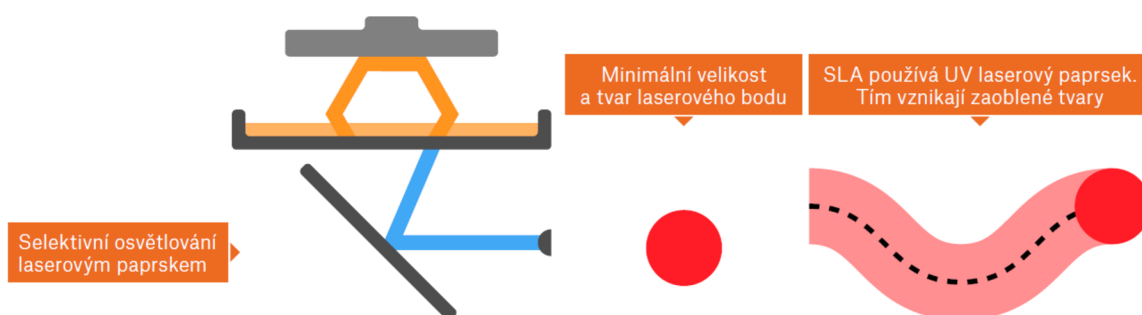
### **Blob na extruderu**

Blob na extruderu patří k nejproblematictějším výzvám při 3D tisku. Na rozdíl od špagetové příšery se tento problém objevuje v raných fázích tisku, obvykle do prvních pěti minut. První vrstva se oddělí od podložky, přilepí se na trysku a blob neustále roste. Nicméně prevence vytváření blobu je poměrně jednoduchá. Pokud se však tento problém již objeví, odstranění blobu může být riskantní.

Další metoda je **SLA**. Jak již bylo zmíněno, je nejstarší metodou 3D tisku a tou je tisk založen na principu vytvrzování pryskyřice. Tato metoda je oproti metodě FFF detailnější, ale o to je časová náročnost delší. Existují tři procesy SLA technologie, **SLA – laser**, **SLA – DLP** (Digital Light Processing) a **MSLA** (Mask

Stereolithography) (Střítecký, Bach a Průša, 2019). Tyto metody se liší způsobem osvětlení při tisku a vytvrzování fotopolyméru.

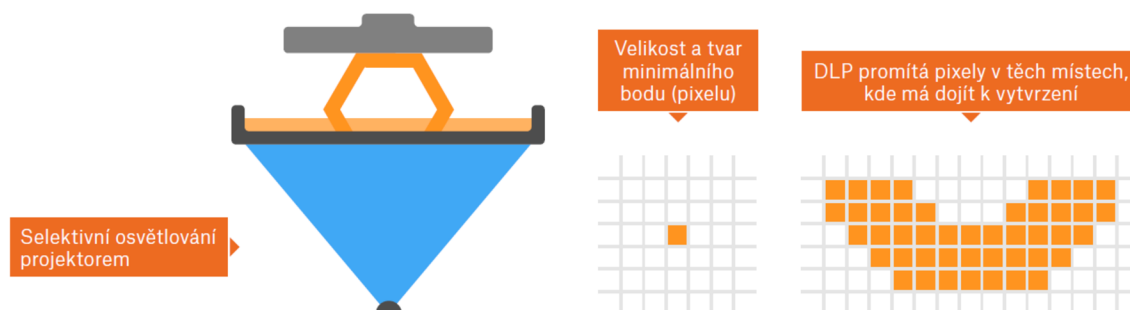
**SLA – laser:** UV laserový paprsek, směřovaný dvěma zrcadly, je využíván k osvětlení a postupnému vykreslování tiskové vrstvy. Doba tisku jedné vrstvy závisí na ploše, která se v této vrstvě vytvrzuje. Jinak řečeno, čím větší plocha se má vytvrdit, tím delší je doba tisku, což zahrnuje i situace s více tištěnými objekty. Průběh této metody lze vidět na obr. 7.



Zdroj: (Střítecký, Bach a Průša, 2019, str. 17)

**Obr. 7 SLA metoda**

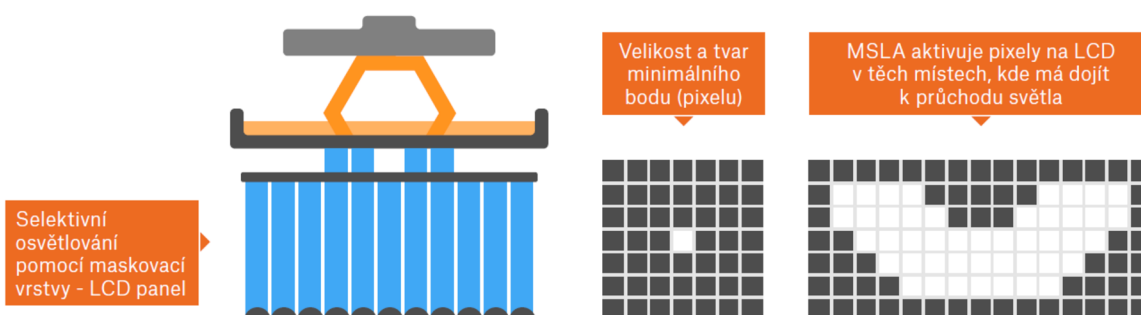
**DPL:** Celá tisková vrstva je osvětlována současně digitálním projektorovým zařízením, což způsobuje vytvrzení v místech osvětlení. Tato technologie má výhodu v tom, že doba tisku jedné vrstvy zůstává konstantní bez ohledu na počet nebo velikost tištěných objektů v této vrstvě. Bez ohledu na to, zda se tiskne jeden model nebo dva, tiskový čas jedné vrstvy zůstává neměnný. Tato metoda je znázorněna na obr. 8.



Zdroj: (Střítecký, Bach a Průša, 2019, str. 17)

**Obr. 8 DLP metoda**

**MSLA:** Při osvětlení pomocí UV LED a maskování celé tiskové vrstvy LCD displejem je použita technologie MSLA (Masked Stereolithography). UV světlo prochází jen skrze aktivované pixely na displeji, což způsobuje vytvrzení pryskyřice pouze v těchto oblastech. Díky vytvrzování celé vrstvy najednou je tato metoda nezávislá na počtu tištěných objektů, a tak zůstává tiskový čas jedné vrstvy konstantní. MSLA metoda na obr. 9.



Zdroj: (Střítecký, Bach a Průša, 2019, str. 17)

**Obr. 9 MSLA metoda**

**SLS/SLM/DMLS** je tisk práškových materiálů pomocí laseru (Střítecký, Bach a Průša, 2019). Je to nejdražší metoda, která je využívána například v automobilovém průmyslu nebo v letectví. SLS se využívá s materiálem polymeru. Kovový materiál se využívá u technologie SLM/DMLS.

K tisku kovů ze strun, které jsou na cívkách se využívá metoda **ADAM**, která je dostupnější metodou pro tisk kovů z prášků.

Metoda **POLYJET** – tato metoda využívá postupné vrstvení a vytvrzování polymerních materiálů pomocí inkoustu. Tiskárny využívající tuto metodu vytváří i velmi přesné modely, tím že stříkají tenkou vrstvou kapalného fotopolymerního materiálu, který se následně vytvrzuje pomocí UV záření. Při této metodě lze kombinovat více materiálů v jednom tisku, proto je možné zajistit u výtisku mechanické nebo elastické vlastnosti (Střítecký, Bach, Průša, 2019).

### 1.3 Materiály využívané ve 3D tisku

Jeden z nejstarších materiálů pro 3D tisk je ABS (Akrylonitrilbutadienstyren), který se uplatňuje například při výrobě kostek LEGO. Nevýhodou ABS je, že při tisku v otevřené komoře generuje škodlivé plyny a má tendenci se zkoutit a praskat

(vyžaduje vyšší teplotu jak trysky, tak podkladu). Naopak ABS má výhodu v možnosti snadného spojení s dalšími částmi z ABS pomocí syntetického kaučuku (rozpuštěného v acetonu). Tento materiál je také velmi odolný a dobře vede teplo, což jej činí vhodným materiálem pro vnitřní i vnější použití (Trilab, 2013).

Materiály pro 3D tisk prošly dlouhou evolucí od počátků této technologie. V současné době se nabízí široký sortiment různých typů, jako jsou prášky, struny, pelety, granule a pryskyřice. Specifické materiály jsou vyvíjeny pro platformy se specializovanými aplikacemi, například v dentálním sektoru, s vlastnostmi přesně přizpůsobenými dané aplikaci. Přestože existuje mnoho proprietárních materiálů od různých dodavatelů 3D tiskáren, lze je obecně zařadit do několika základních kategorií podle jejich chemického složení, fyzikálních vlastností a způsobu zpracování.

Podle (3D Printing Industry, 2017) jsou materiály ve 3D tisku rozděleny do následujících kategorií:

### **Plasty**

Nylon nebo polyamid se často využívá ve formě prášku pro proces slinování nebo ve formě struny pro proces FFF/FDM při 3D tisku. Tento pevný, pružný a odolný plast má přirozeně bílou barvu, ale lze ho obarvit před nebo po tisku. Nylon lze též kombinovat s práškovým hliníkem a vytvořit materiál Alumide pro 3D tisk slinováním. ABS je další běžný plast pro FFF/FDM 3D tiskárny, nabízející vysokou pevnost a širokou škálu barev. PLA, biologicky odbouratelný plast, je oblíbený pro svou udržitelnost a dostupnost v různých barvách. LayWood, kompozit dřeva a polymeru, je speciálně navržen pro základní vytlačovací 3D tiskárny.

### **Kovy**

V průmyslovém 3D tisku je stále rozšířenější používání různých kovů a kovových kompozitů. Mezi nejběžnější patří hliníkové a kobaltové deriváty. Nerezová ocel je jedním z nejpevnějších kovů pro 3D tisk, často využívaná ve formě prášku pro procesy slinování, tavby nebo EBM. Je přirozeně stříbrná, lze ji povrchově upravovat pro zlatý nebo bronzový efekt. Zlato a stříbro byly nedávno přidány mezi tisknutelné kovy, nacházející využití ve šperkařském průmyslu. Oba tyto materiály jsou velmi pevné a zpracovávají se ve formě prášku. Titan, jako jeden

z nejpevnějších kovových materiálů, se dlouhodobě využívá v průmyslových aplikacích 3D tisku.

### **Keramika**

Keramika představuje relativně novou skupinu materiálů, kterou lze s různým úspěchem využít při 3D tisku. Je důležité si být vědom, že po tisku je třeba keramické díly podrobit stejným procesům jako ty vyrobené tradičními metodami, především vypalováním a glazováním.

### **Papír**

Pro 3D tisk se využívá standardní papír do formátu A4 pomocí patentovaného procesu SDL, dodávaného společností Mcor Technologies. Tato firma představuje odlišný obchodní model s důrazem na snadno dostupné, nákladově efektivní dodávky materiálu, které lze zakoupit lokálně, přičemž kapitálové výdaje na stroj jsou střední třídy. 3D tištěné modely z papíru jsou bezpečné, ekologicky šetrné, snadno recyklovatelné a nevyžadují žádné následné zpracování.

### **Bio materiály**

Právě probíhá rozsáhlý výzkum potenciálu biomateriálů pro 3D tisk v široké škále lékařských a jiných aplikací. Přední instituce zkoumají živou tkáň s cílem vyvinout aplikace, včetně tisku lidských orgánů pro transplantace a vnějších tkání pro náhradní části těla. Další výzkum v této oblasti směřuje k vývoji potravin, přičemž maso představuje významný příklad.

### **Jídlo**

V posledních letech došlo k dramatickému vzestupu experimentů s extrudéry pro 3D tisk potravinářských látek. Čokoláda představuje nejběžnější a žádaný materiál, ale existují také tiskárny pracující s cukrem a probíhají experimenty s těstovinami a masem. Do budoucna se výzkum zaměřuje na využití technologie 3D tisku k výrobě jemně vyvážených kompletních jídel.

### **Další**

Společnost Stratasys nabízí unikátní (vlastní) sortiment materiálů pro platformu 3D tisku Objet Connex. Tato nabídka umožňuje kombinaci standardních materiálů pro 3D tisk Objet během tiskového procesu v různých a specifikovaných koncentracích,

čímž vznikají nové materiály s požadovanými vlastnostmi. Tím, že kombinuje existující primární materiály, lze dosáhnout až 140 různých digitálních materiálů.

#### 1.4 Materiály využívané ve 3D tisku u technologie FFF

Ve 3D tisku s technologií FFF (Fused Filament Fabrication), také známou jako FDM (Fused Deposition Modeling), jsou využívány různé materiály pro tisk. PLA a PETG jsou nejrozšířenější.

Některé další běžně používané materiály u této metody (Home, Hausman, 2017):

- **ABS** (Acrylonitrile Butadiene Styrene): Odolný proti nárazům a teplotním výkyvům, často používaný pro vytváření mechanicky odolných součástek.
- **TPU** (Thermoplastic Polyurethane): Pružný materiál, vhodný pro tisk elastických a flexibilních objektů, jako je například těsnění.
- **Nylon**: Nabízí vysokou odolnost a pevnost, je vhodný pro výrobu funkčních a mechanicky náročných součástek.
- **Polycarbonate (PC)**: Materiál s vysokou teplotní odolností, často používaný pro výrobu součástek vyžadujících odolnost proti teple.
- **Woodfill** (dřevěné filamenty): Obsahuje dřevěné částice a poskytuje tisknutým objektům vzhled a texturu dřeva.
- **MetalFill** (kovové filamenty): Obsahuje malé částice kovů, což umožňuje vytvářet objekty se vzhledem kovu.
- **ASA** (Acrylonitrile Styrene Acrylate): Podobný ABS, ale s vylepšenou odolností proti UV záření, vhodný pro venkovní aplikace.
- **PVA** (Polyvinyl Alcohol): Materiál pro podpory, který se rozpouští ve vodě, umožňující tisk komplexních struktur.
- **HIPS** (High Impact Polystyrene) jedná se o materiál využívaný v potravinářství. Tento materiál je rozpustný v limonádovém roztoku.
- **CPE** (Kopolyester): jedná se o zdokonalený PLA filament, který vyniká při technickém využití, zejména pro funkční prototypy a mechanicky náročné součástky. Je charakterizován svou odolností, tvrdostí, stabilitou a schopností odolávat teplotám až do 70 °C, stejně jako chemikáliím.

**PLA** (Polyactic Acid) je materiál pro 3D tisk s teplotou tání okolo 175 °C. Oproti termosetům může být opakovaně nahříván, aniž by ztratil na kvalitě. Přestože je PLA pevný, má sklony ke křehkosti a při prasknutí se drobí na malé kousky. Ideální je pro tisk konceptů, prototypů a jednoduchých hraček. S nízkou teplotní odolností není vhodný pro exteriérové použití, a to zejména kvůli citlivosti na teploty nad 60 °C a nízké odolnosti proti UV záření. PLA je rozpustný v chemikáliích, jako jsou chloroform nebo horký benzen, a pro spojování částí se doporučuje lepidlo. I když je PLA hygienicky bezpečný, není vhodný pro tisk nádob pro jídlo a pití kvůli mikroskopickým trhlinám na povrchu, které mohou uchovávat bakterie. Navzdory těmto omezením je PLA biologicky odbouratelný a ekologicky šetrný, vyráběný z obnovitelných zdrojů jako kukuřičný škrob a cukrová třtina. Snadná tisknutelnost, nízký zápach a nižší nároky na nastavení tiskárny z něj činí ideální materiál pro začátečníky ve 3D tisku. Díky rychlému chladnutí a nižšímu smrštění během tisku je PLA skvělý pro přesné detaily a tisk větších objektů. Jeho rozsáhlé využití zahrnuje domácí tisky, prototypování, dekorativní aplikace a vzdělávací účely pro širokou skupinu uživatelů (Prusament, 2023).

**PETG** (Polyethylene Terephthalate Glycol) je termoplastický materiál, který kombinuje výhody PLA a ABS, poskytující větší pevnost a odolnost. Tato vlastnost činí PETG ideálním pro výrobu součástek, zejména těch, které vyžadují pevnost a odolnost, a to včetně transparentních nebo technicky náročných prvků.

Vlastnosti materiálu: PETG vyniká vysokou pevností a odolností. Jeho lehká průhlednost poskytuje možnost vytvářet transparentní nebo polotransparentní objekty. Ohebnost PETG umožňuje tisk elastických prvků, odolnost vůči chemikáliím a snadná tisknutelnost přidávají na jeho všestrannosti. Navíc je PETG odolný vůči UV záření a je recyklovatelný, což podporuje ekologické postupy v oblasti 3D tisku.

Aplikace materiálu PETG: Materiál je široce využíván v průmyslovém prostředí pro výrobu dílů, obalů a opticky průhledných součástek, kde jsou kladeny specifické požadavky na pevnost, odolnost a další materiálové vlastnosti. Jeho schopnost kombinovat vlastnosti PLA a ABS poskytuje široké možnosti použití v oblasti 3D tisku. Výběr materiálu závisí na konkrétních požadavcích a aplikacích tisku. Každý materiál má své vlastní výhody a omezení, což umožňuje přizpůsobit volbu podle potřeb konkrétního projektu (Sharplayers, 2023).



**ABS** představuje termoplastický materiál s vysokou odolností vůči nárazům a teplotním výkyvům, což z něj činí významný prvek v oblasti 3D tisku. Jeho schopnost odolávat nárazům umožňuje tisk mechanicky náročných a odolných součástí, přičemž zároveň poskytuje určitou ohebnost pro tisk pružných a elastických objektů. Stabilita při širším rozmezí teplot a odolnost vůči chemikáliím přidávají na jeho všestrannosti, což ABS činí ideálním pro aplikace vyžadující teplotní rezistenci a odolnost v prostředí s expozicí chemickým látkám. Výborná adheze vrstev, kterou ABS předvádí, umožňuje tisk objektů bez výrazných vrstvených struktur, což je klíčové pro dosažení kvalitních výsledků. Možnost povrchové úpravy dodává ABS flexibilitu v designu, protože tento materiál lze snadno brousit, barvit a povrchově upravit, což otevírá široké možnosti pro finální vzhled tisknutých objektů. ABS je často využíván v průmyslovém designu, výrobě hraček, elektronice a dalších odvětvích, kde jeho vyvážené vlastnosti poskytují rozsáhlé možnosti aplikací v oblasti 3D tisku (Home, Hausman, 2017).

**Nylon 12** je materiál známý pro svou vysokou pevnost a odolnost vůči opotřebení, což ho činí ideálním pro tisk funkčních a mechanicky náročných součástí. Jeho ohebnost, která mu umožňuje ohýbat se a následně se vrátit do původního tvaru, rozšiřuje možnosti vytváření elastických a flexibilních objektů. Vysoká chemická odolnost a odolnost vůči teplotním výkyvům pozvedávají Nylon 12 do role ideálního materiálu pro prostředí, kde jsou součástky vystaveny agresivním chemikáliím nebo extrémním teplotám. Je často využíván v automobilovém průmyslu, kde se uplatňuje při výrobě součástí vyžadujících vysokou odolnost a schopnost odolat opotřebení, poskytuje široké spektrum aplikací pro náročné podmínky (MCAE, 2023).

**Nylon 12-CF** je materiál, který vyniká díky obsahu uhlíkových vláken, což významně zvyšuje jeho tuhost a pevnost oproti běžnému nylonu 12. Tato posilující charakteristika uhlíkových vláken poskytuje Nylonu 12-CF vynikající mechanickou pevnost a odolnost, což ho činí ideálním pro tisky, které vyžadují maximální odolnost v náročných podmínkách. Navzdory své pevnosti je tento materiál relativně lehký, čímž je vhodný pro aplikace, které kladou důraz na odolnost při zachování nízké hmotnosti. Nylon 12-CF se často využívá v průmyslovém inženýrství pro tisk nástrojů, prototypů a součástí s vysokými nároky na pevnost a tuhost (MCAE, 2023).

**Ultem 1010** je jedním z nejpevnějších FFF/FDM termoplastů spadající do skupiny polyetherimide (PEI). Tento materiál vyniká svými vynikajícími termickými, mechanickými a izolačními vlastnostmi. Je extrémně tepelně odolný, Ultem 1010 si udržuje pevnost a odolnost i při vysokých teplotách, což ho činí ideálním pro aplikace, kde jsou vyžadovány vysoké teplotní odolnosti. Materiál je známý svou vysokou mechanickou pevností a tvrdostí, což jej předurčuje pro výrobu robustných a odolných součástí. Jeho vynikající izolační vlastnosti jsou využívány v oblastech, které vyžadují elektrickou izolaci. Odborníci ocení jeho schopnost odolávat chemikáliím, což jej činí ideálním pro prostředí s výskytem agresivních látek. Své uplatnění nachází v různých odvětvích, včetně výrobního průmyslu, zdravotnictví a leteckého průmyslu, kde kombinuje vysoké výkony s odolností. Tyto charakteristiky Ultem 1010 činí atraktivním pro pokročilé technologické a průmyslové aplikace, kde je klíčovým faktorem kvalitní termoplastická surovina (MCAE, 2023; Svět 3D tisku, 2023).

## **1.5 Odpadové hospodářství a recyklace plastů**

Třídění odpadů, známé také jako separace odpadů nebo oddělený sběr, představuje proces, při němž je tok odpadů rozdělen podle druhu a povahy konkrétního odpadu. Hlavním cílem je usnadnit specifické zpracování, zejména s ohledem na recyklaci. Odpad je označován jako movitá věc, které se člověk chce nebo je povinen zbavit. Jeho rozdělení může být podle různých aspektů, například podle skupenství (pevné, kapalné) nebo původu (těžba, průmysl, zemědělství, komunální). Odpadové hospodářství stojí na zásadách hierarchie, kde je primárním cílem předejít vzniku odpadu. Pokud není možné tomu zabránit, uplatňuje se příprava k opětovnému použití, recyklace nebo odstranění odpadu. V praxi je termín "odpadové dělení" často spojován s odděleným sběrem využitelných složek, které mohou být dále recyklovány nebo jinak využívány. Významným aspektem jsou také odpady z výroby, zejména strojírenské, jako například kovové třísky či zbytky materiálu. Tyto materiály jsou skutečně cennou a často neznečištěnou surovinou. Celkově jsou legislativně odpady definovány v tzv. Katalogu odpadů, kde existují různé skupiny odpadu, včetně nebezpečného odpadu (NO), ostatního odpadu (OO) a odpadů, které sice nejsou explicitně v seznamu nebezpečných, ale byla jim přiřazena kategorie nebezpečného (O/N), jako například materiály znečištěné po havárii (MZP, 2023).

Níže uvedené zákony poskytují pevný rámec pro odpadové hospodářství v České republice (Zákony pro lidi, 2023):

**Zákon o odpadech** (č. 541/2020 Sb.). Definuje zásady a postupy pro správné nakládání s odpady, zahrnující jejich třídění, recyklaci a skládkování. Podle tohoto zákona by odpad měl být tříděn s ohledem na možnost jeho dalšího využití, jako je například recyklace.

**Zákon o výrobcích s ukončenou životností** (č. 542/2020 Sb.). Zaměřuje se na odpadový management v oblasti výrobků, které již nejsou využívány. Zavazuje výrobce k zajištění sběru a recyklace svých výrobků po skončení jejich životnosti.

**Změnový zákon** (č. 543/2020 Sb.). Přináší úpravy v oblasti odpadového hospodářství a zdůrazňuje důležitost třídění odpadu pro jeho další využití, včetně recyklace.

**Novela zákona o obalech** (č. 545/2020 Sb.). Tato novela se soustředí na nakládání s obaly a obalovými odpady. Stanovuje, že obaly by měly být tříděny s ohledem na jejich možné další využití, jako je například recyklace.

Společně tvoří tyto právní předpisy rámec pro systematické třídění odpadu v České republice. Jejich hlavním cílem je podporovat třídění a recyklaci odpadu, s důrazem na minimalizaci negativního dopadu na životní prostředí a maximalizaci jeho udržitelného využití.

Existuje řada faktorů, jež mohou ovlivnit proveditelnost recyklace, ale klíčovým kritériem je otázka: "Existuje trh pro recyklaci?" a "Je tento trh ekonomicky udržitelný?" Bez těchto stimulů je téměř nevyhnutelné, že recyklační plán selže a daný materiál bude považován za nevhodný k recyklaci. Technické aspekty, jakými jsou sběr, separace a zpracování recyklátu, lze překonat, ale absenci poptávky na trhu zastaví jakýkoliv další pokrok (Goodship, 2010).

Recyklace plastů je komplexní proces, kde dochází k obnově zbývajících nebo odpadních plastů a jejich transformaci do užitečných produktů, často odlišných od původní podoby, například roztavení PET lahví.

Zde jsou popsány kroky, které se obvykle používají při recyklaci plastů (Zewa.net, 2023):

**Sběr:** Recyklovatelný materiál se shromažďuje, přičemž sběrná vozidla pravidelně vyprazdňují obsah kontejnerů určených pro plast.

**Třídění:** Tato fáze hraje klíčovou roli, protože umožňuje odstranit nežádoucí nečistoty, a tím zlepšit kvalitu materiálu.

**Recyklace:** Plasty, již rozdělené a slisované podle typů, putují k zpracovatelům, kde probíhá samotný recyklační proces. V České republice je každoročně 69 % plastových obalů odevzdáno k recyklaci a dalšímu využití. Recyklace plastů vyžaduje vysokou kvalitu vstupních surovin, ale není technologicky náročná. Typickým produktem recyklace plastů jsou malé peletky regenerulátu, které slouží jako vstupní surovina pro výrobu nových plastů.

## 1.6 Recyklace odpadu z 3D tisku u technologie FFF

Recyklace odpadu z 3D tisku, zejména u technologie FFF, je aktuálním tématem. ABS plast patří mezi nejpoužívanější materiály pro 3D tisk. Pokud se 3D výtisk nezdaří, projde odpadkovým košem, je tříděn a po dalším zpracování se vrací tiskařům v podobě struny na cívce. Některé firmy, například Eko MB a RE-pet3d, se specializují na recyklaci plastů do tiskových filamentů, přičemž Eko MB recykluje PLA a PET do 100 % recyklovaných filamentů (3Dplay, 2023).

Skupina studentů z University of British Columbia vyvinula zařízení nazvané ProtoCycler, kombinující drtičku, tavičku a spřádačku v jednom. Toto zařízení umožňuje recyklovat odpad z ABS plastu přímo na místě, snižuje náklady na materiál až o 90 %. Cívku s jedním kilogramem struny dokáže vyrobit zhruba za dvě hodiny, což představuje inovativní přístup k 3D tisku a recyklaci plastů (Schwarzmann, 2015).

Postup, který předchází samotné recyklaci odpadu z 3D tisku u technologie FFF je podobný jako při postupu u recyklace plastů. Nejprve musí nastat sběr odpadu – tento odpad může obsahovat nepovedené výtisky, zbytky filamentů nebo podpurné struny. Ve druhém kroku dochází k drcení odpadu na malé kousky, tak aby bylo možné odpad snadněji zpracovat. Následuje tavení a extruze – rozdrčený plast je následně zahřán a extrudován pomocí trysky do tvaru filamentu, takto snadno lze recyklovat materiál ABS, u PLA je za potřebí specifických podmínek pro rozklad (3Dplay, 2023).

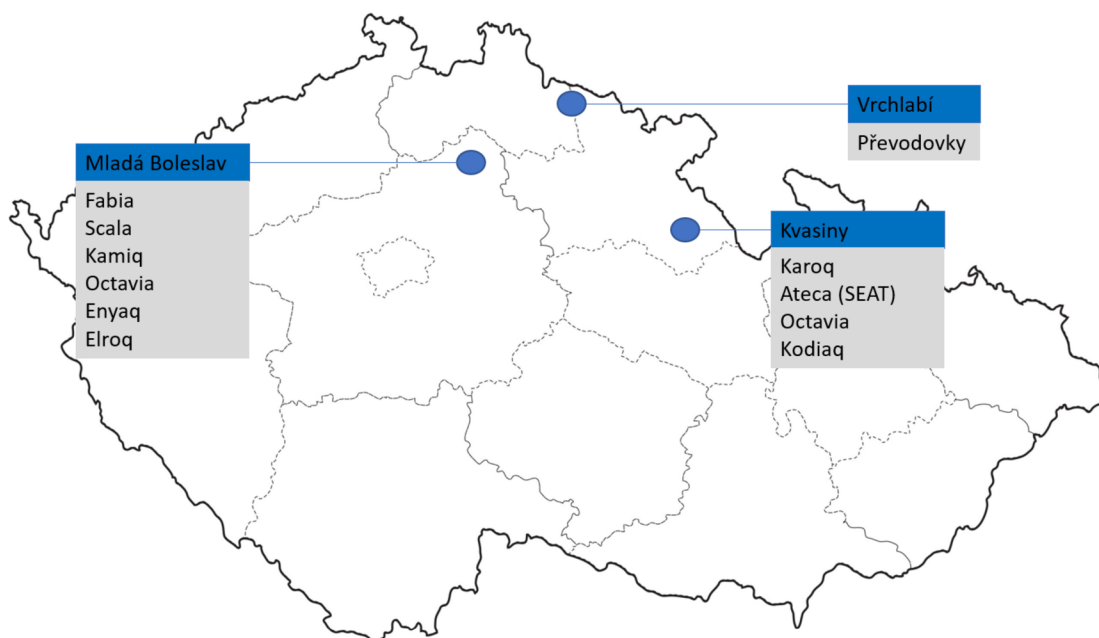
Společnost Prusa založila tzv. Prusa World Map. Prusa World Map představuje interaktivní mapu, která detailně zobrazuje lokální projekty v oblasti recyklace plastů. Mapa zahrnuje iniciativy z 3D tiskové komunity i komunity Precious Plastic. Některé z těchto projektů dokonce vyrábějí vlastní filamenty z odpadu plastů. Tato mapa vznikla jako klíčový prvek udržitelné strategie společnosti Prusa, reagující na zpětnou vazbu uživatelů, kteří považovali recyklaci neúspěšných tisků a zbytků filamentu za důležitou. Zahrnuje širokou škálu malých recyklačních projektů z celého světa, jako například Recycling Fabrik v Německu nebo Printeriodesigns ve Spojených státech, které aktivně vytvářejí filamenty z plastového odpadu. Díky filtru mapy lze snadno najít nejbližší místo pro recyklaci plastů. Z mapy lze získat informace o daném recyklačním projektu, potřebných materiálech a kontaktních údajích (Víšek, 2023).

## 2 Zmapování současného stavu ve Škoda Auto a.s.

Tato kapitola se zabývá představením společnosti Škoda Auto a.s. (dále jen ŠA), útvaru Centrální pilotní hala předsériové výroby a zmapováním současného stavu. Na základě zpracování diplomové práce byla navázána spolupráce s odborným útvarem PAP/a – Měrové středisko a výroba přípravků pilotní haly (PH). Byla zmapovaná výroba 3D výtisků, dále bylo důkladně prozkoumáno, kde nepotřebný materiál končí. Byla vyhledána současná sběrná místa na vyřazené výrobky z 3D tisku.

### 2.1 Společnost Škoda Auto a. s.

Škoda Auto a.s. (dále jen ŠA) je společnost s globální působností s hlavním sídlem v Mladé Boleslavi. V České republice má celkem tři závody, a to v Mladé Boleslavi, Kvasinách a ve Vrchlabí. V hlavním závodě v Mladé Boleslavi se vyrábí Fabia, Scala, Kamiq, Octavia, Enyaq a Elroq. Modely Karoq, Ateca (SEAT), Kodiaq a Octavia mají výrobní závod v Kvasinách. Vrchlabský závod disponuje výrobou převodovek viz obr. 10. V ŠA je zaměstnáno 36 032 kmenových zaměstnanců.



Obr. 10 Výrobní závody v ČR

Historie značky ŠKODA sahá až do roku 1895, kdy byla založena společnost na jízdní kola Václavem Klementem a Václavem Laurinem. Už deset let od založení firmy se začali tvořit vozy, které předbíhaly svou dobu. V Roce 1991 se ŠA stala

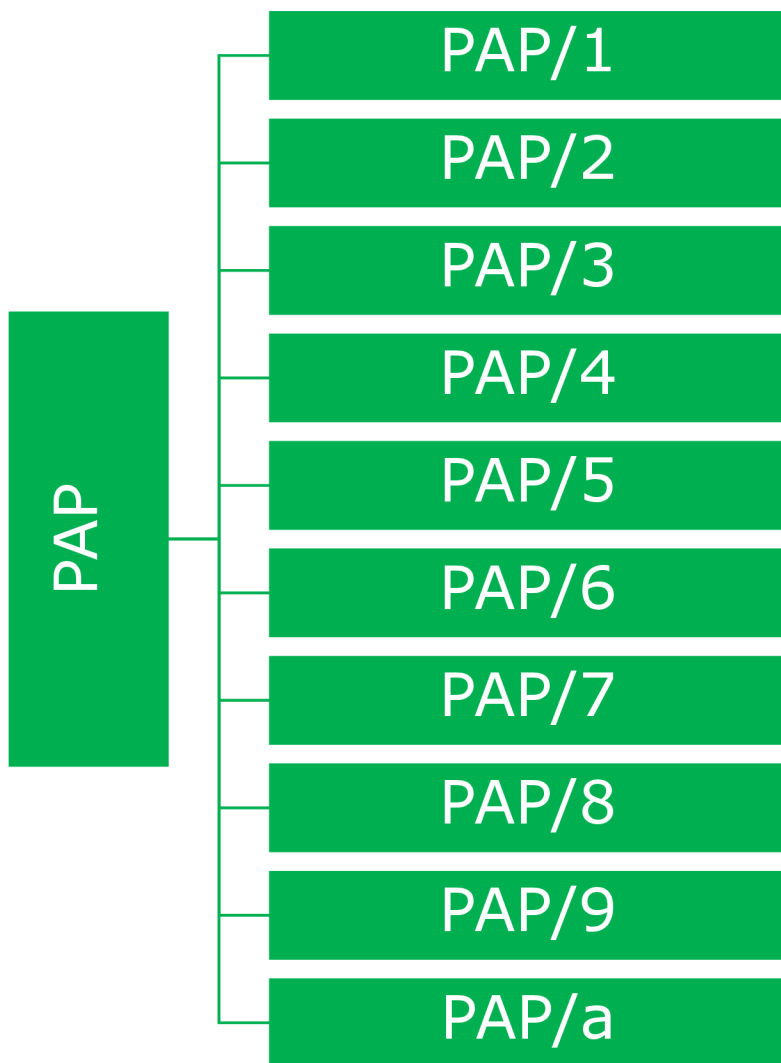
součástí koncernu VW. Od roku 2016 se začal vyrábět nový segment SUV. V dnešní době flotilu SUV tvoří modely: Kodiaq, Karoq, Kamiq, Enyaq, Elroq.

## **2.2 Centrum předsériové výroby**

Útvar Centrum předsériové výroby (PAP) zodpovídá za analýzu a optimalizace produktu i procesu ve výrobě, ve fázi předsérie. Plní roli prostředníka mezi technickým vývojem a výrobou. Podílí se na integraci a optimalizaci nových modelů, na optimalizaci zařízení určených pro sériovou výrobu, od raných fází projektu virtuálními analýzami, až po finální přípravu výroby formou stavby předsériových vozů. Dále také podporuje náběh projektů v zahraničí. PAP se dělí a zabývá různými oblastmi:

- virtuální analýzy v rané fázi projektu,
- výroba měřících šablon a přípravků,
- optimalizace rozměrových nastavení svařovacích linek,
- doprovod a stavba předsériových karoserií a vozů, ve fázi VFF a PVS,
- zprovoznění elektriky/elektroniky v předsériových vozech, ve fázi VFF, PVS, analýzy a odpracování závad,
- tvorba a správa problémových listů ze stavby předsériových vozů, ve fázi VFF a PVS,
- 3D tisk,
- zástavbové zkoušky.

Pro velké společnosti, ke kterým se řadí i ŠA je typické, že se odborný útvar dělí na několik oddělení, která jsou úzce specializovaná. PAP má oddělení PAP/1 až PAP/9 a PAP/a na kterém bylo autorce umožněno psát diplomovou práci (viz obr. 11).



*Obr. 11 Schéma oddělení PAP*

**PAP/1 – Projektové řízení PH řada SMALL,**

**PAP/2 - Projektové řízení PH řada Compact,**

**PAP/3 – Projektové řízení PH řada Midsize**

Tato tři oddělení se zaměřují na stejné aktivity, jen jsou odlišné v tom, do jaké řady spadají. Koordinují náběh nových produktů v oblasti svařené a okované karoserie, panelových dílů, montážních a dodavatelských dílů. Podporují integraci nových projektů do sériových linek, analyzují rozměrové přesnosti jednotlivých dílů nebo podporují dodavatele dílů a komponentů v rámci předsérie i série. Specializují se na frontloading, analýzy, vypracování návrhů opatření a sledování jejich realizace v rámci stavby vozidel během VFF a PVS. Seřizují a optimalizují zařízení – vyrobiteľnosť, jednoznačnosť a opakovateľnosť.



#### **PAP/4 – Plánování a vedení projektů CPH**

Zde se koordinují aktivity CPH od plánování po náběh projektu do výroby, dále také koordinují organizační a procesní změny CPH. Toto oddělení plánuje, řídí a schvaluje investice PH, organizuje setkání managementu PH značky, koncernu a VIP návštěv. V neposlední řadě se PAP/4 zabývá komunikací a řízením aktivit se zahraničními závody i koncernem a zajišťuje expertní podpory pro náběh výroby.

#### **PAP/5 – Svařovna PH**

Koordinace stavby předsériových karoserií a podkompletů, podpora stavby prototypových karoserií v rámci přenosu know-how. Dále dlouhodobě analyzují, testují a ověřují nové technologie.

#### **PAP/6 – Montáž PH**

V rámci PAP toto oddělení koordinuje a řídí stavbu předsériových vozů pro nový projekt (VFF, PVS) a předsériových vozů modelové péče (PVS). Provádí zástavbové zkoušky a podporuje audit a analýzy konkurenčních vozů.

#### **PAP/7 – Optimalizace v PH**

Hlavní úkolem PAP/7 je účast/předávání zkušeností z předsériové konstrukce prototypu podle odborných skupin. Analýza problémů a chyb na vozidlech – prototypy, předsériová produkce. Návrh řešení problémů ve stavbě vozidel a vývoj přípravků pro optimální montáž dílů.

#### **PAP/8 – Elektornika vozu**

Toto oddělení uvádí předsériové vozy do provozu v rámci stavby na PAP. Eviduje chyby a tvoří problémové listy do konce PVS a testuje kabelové svazky.

#### **PAP/9 – Aplikace virtuální techniky**

Tento útvar se zaměřuje na přípravu dat pro 3D tisk, programování aplikací pro virtuální realitu. Tvorba a odzkoušení přípravků pro potřeby svařovny, lakovny a montáže.

#### **PAP/a – Měrové středisko a výroba přípravků PH**

PAP/a dělá taktilní a optické měření domácích výlisků a svařenců předsérie/série. Specializuje se na 3D tisk pomocí tiskáren Fortus 450/900. Měří a analyzuje interiér

i exteriér vozu ve fázích VFF, PVS, OS. Tvoří katalogy přípravků a šablon pro jednotlivé modely.

### **2.3 Současný stav 3D tisku na útvaru PAP/a**

Tato kapitola je zaměřena na současný stav 3D tisku na oddělení centrální pilotní haly (CPH) ve společnosti Škoda Auto, která je jedním z předních výrobců automobilů v České republice. Oddělení PAP/a disponuje vlastním malým automobilovým závodem, který zahrnuje robotické stanice, oddělení montáže a závěrečné kontroly. 3D tisk zde má již tradici a slouží k rychlému prototypování, testování a optimalizaci výrobních procesů. 3D tisk se také využívá k tisku náhradních dílů, šablon, maket, nebo speciálních nástrojů, které zvyšují efektivitu a kvalitu produkce. Na PAP/a se používají 3D tiskárny renomovaných světových značek Stratasys. 3D tiskárny jsou umístěny na 3D tiskových farmách, které jsou schopny dodat výtisky v požadovaném množství během několika hodin, dle vytíženosti 3D tiskáren. Proces 3D tisku je řízen interní databází dílů, která obsahuje data potřebná k tisku, jako jsou rozměry, materiály, barvy, nebo nastavení tiskárny. Každý nový díl, který je navržen pro 3D tisk má své takzvané kolečko (proces objednání výtisku), které bude popsáno níže. 3D tisk na CPH je tedy velmi pokročilý a přináší mnoho výhod pro společnost Škoda Auto. 3D tisk umožňuje snižovat náklady, zkracovat čas vývoje, zlepšovat design, zvyšovat flexibilitu, nebo snižovat odpad. 3D tisk je také zdrojem inovací a kreativity, které jsou klíčové pro udržení konkurenceschopnosti na trhu. V budoucnu se očekává, že 3D tisk bude ještě více rozšířen a integrován do výrobních procesů, a to nejen na oddělení PAP/a, ale i v dalších provozech Škoda Auto.

V současné době je předsériová výroba pomocí 3D tisku na oddělení PAP/a ve fázi, která je popsána formou polostrukturovaného rozhovoru s pracovníky oddělení PAP/a (viz tabulka 1). Pilotní hala disponuje schopností vytisknout téměř jakýkoli díl, který je potřeba, a konstruktér je schopen vytvořit potřebný návrh. Mezi nejčastěji tisknuté výrobky patří makety světel, různé šablony a výtisky s magnety, ale také návržné výtisky, které usnadňují rychlejší a přesnější výrobu. Pokud je nějaký díl opožděný a nestíhá dorazit, je možné jej rychle vyrobit, aby nebyl nepostrádán při stavbě prototypů. Poté je původní díl nahrazen novým originálním dílem. Firma Recovera se stará o likvidaci odpadu a výtisků po jejich životnosti.

**Tab. 1 Polostrukturovaný dotazník k současnému stavu 3D tisku**

|   |
|---|
| <b>Co vše se na PH tiskne?</b>  |
| <i>Montážní přípravky, kontrolní přípravky, makety, šablony, pozice měřících přípravků, pozice GEO stanic...</i>  |
| <b>Z Jakých materiálů tisknete, jaký to má důvod, proč nepoužíváte třeba jiný materiál?</b>   |
| <i>Tiskneme podle charakteru a požadovaných vlastností výtisku<br/>ABS/ASA – Rozměrově a povrchově přesné díly<br/>Nylon 12 - Pružné díly<br/>Nylon 12-CF – Pevné díly<br/>Ultem 1010 – Teplotně odolné díly</i>                                |
| <b>Jaké vlastnosti u vašich materiálů postrádáte?</b>   |
| <i>Postrádáme více barevných variant (aktuálně jsme limitováni 12 barvami), ještě větší pevnost (vždy je prostor ke zlepšení vlastností materiálů).</i>   |
| <b>Přivítali byste nové materiály?</b>  |
| <i>Ano rádi zkusíme nové možnosti.</i>  |
| <b>Jak pracujete s odpadovým materiálem?</b>  |
| <i>Odpad necháváme odvézt specializovanou firmou k likvidaci.</i>   |
| <b>Je nějak podchycena recyklace výtisků po době jejich životnosti a odpadového materiálu?</b>  |
| <i>Pokud se staré nepotřebné výtisky likvidují u nás, tak se rozeberou na znovu použitelné části a znovu použijí do nových dílů (madla, magnety...) a samotné výtisky opět likvidujeme spolu s odpadovým materiálem specializovanou firmou.</i> |
| <b>Kolik a jaký typ tiskáren máte?</b>  |
| <i>Máme dvě tiskárny na technologii FFF/FDM značky Stratasys.</i>   |

|   |
|---|
| <b>Jakou mají výtisky životnost?</b>  |
| <i>Životnost výtisků záleží na použití (k tomu se volí i patřičný tiskový materiál). Mohou být jen speciální na jedno použití, ale i na celou délku životního cyklu vozu.</i> |
| <b>Co se od výtisku očekává?</b>  |
| <i>Přesnost, nízká váha, pevnost...</i>   |
| <b>Existuje nějaká databáze/seznam ve kterých jsou k dispozici informace o výtiscích a jejich počtu?</b>  |
| <i>Ano pod rozdělovníkem PAP/a zveřejňujeme katalogy jednotlivých naběhnutých vozů a použitých montážních přípravků a šablon.</i>   |

Tabulka 1 obsahuje základní otázky týkající se současného stavu 3D tisku na oddělení PAP/a. Jak již bylo zmíněno, pilotní hala je schopna vytisknout prakticky cokoli, včetně maket a šablon. PAP/a využívá čtyři různé materiály pro tisk, a to Nylon 12, Nylon 12-CF, ABS/ASA a Ultem 10, které byly popsány v kapitole 1.4. Materiál ABS/ASA se používá pro tisk rozměrných dílů a dílů vyžadujících vysokou přesnost. Nylon 12 se využívá pro výrobu pružných dílů. Nylon 12-CF je preferován pro výrobu dílů s vysokou pevností. Čtvrtý typ materiálu se používá pro díly s teplotní odolností. Ve všech těchto materiálech pilotní hala postrádá vyšší pevnost a rozmanitější barevnou paletu. I když barevná paleta postupně roste, není vždy možné získat nové barvy od dodavatele materiálu, a některé díly mohou být nahrazeny jinou dostupnou barvou. V případě vývoje nového materiálu, který bude kompatibilní pro tiskárnu od značky Stratasys s vyšší pevností a širší škálou barev, je pilotní hala ochotna takový materiál testovat a případně zařadit do výroby. Částečná recyklace probíhá na pilotní hale, zejména pokud se jedná o díly obsahující magnety nebo znovu použitelné části. Pilotní hala vytváří katalog výtisků, kde eviduje a archivuje veškeré informace o přípravku pro každý model a každou modelovou péči. Tento katalog je po dokončení a uvedení do sériové výroby nového naběhnutého modelu zveřejněn na interním webu. Mezi tisknuté výrobky patří například makety světel, šablony a oddělovače pro kontrolu správného lícování dílů.

## **Postup objednávání dílů/přípravků z 3D tiskárny na farmě PAP/a**

Tento postup není nijak standardizovaný a neexistuje žádný „objednávací formulář“. Jedná se primárně o hladký náběh nových modelů jak pro výrobní závod v Mladé Boleslavi, tak v Kvasinách. Pokud se jedná o úplně nový přípravek, tak objednavatel elektornicky/telefonicky/osobně popíše konstruktérovi co potřebuje, veškeré parametry, vlastnosti a využití. Následně konstruktér vytvoří návrh, který zašle objednavateli k odsouhlasení. Objednavatel na oddělení návrh zkonzultuje a buď požádá o úpravy nebo jde návrh do tisku. Standartně jde do tisku v sadě tří kusů. Tento proces tvorby návrhu trvá cca 1-2 týdny. Následný tisk je plánován podle složitosti, priority a vytíženosti tiskáren. Pokud se jedná o výtisk, který se opakuje, lze ho dohledat podle fotky, čísla nebo popsání výrobku kde se užívá. Není problém návrh již vytisknutého přípravku dohledat, protože na PAP/a jsou pouze dva konstruktéři, kteří vědí, co tiskli a mají svoji evidenci návrhů, aby mohli případně na návrhu provádět drobné úpravy.

## **Kategorie výtisků na farmě PAP/a**

Výtisky neboli přípravky tisknuté na CPH lze rozdělit do následujících pěti kategorií:

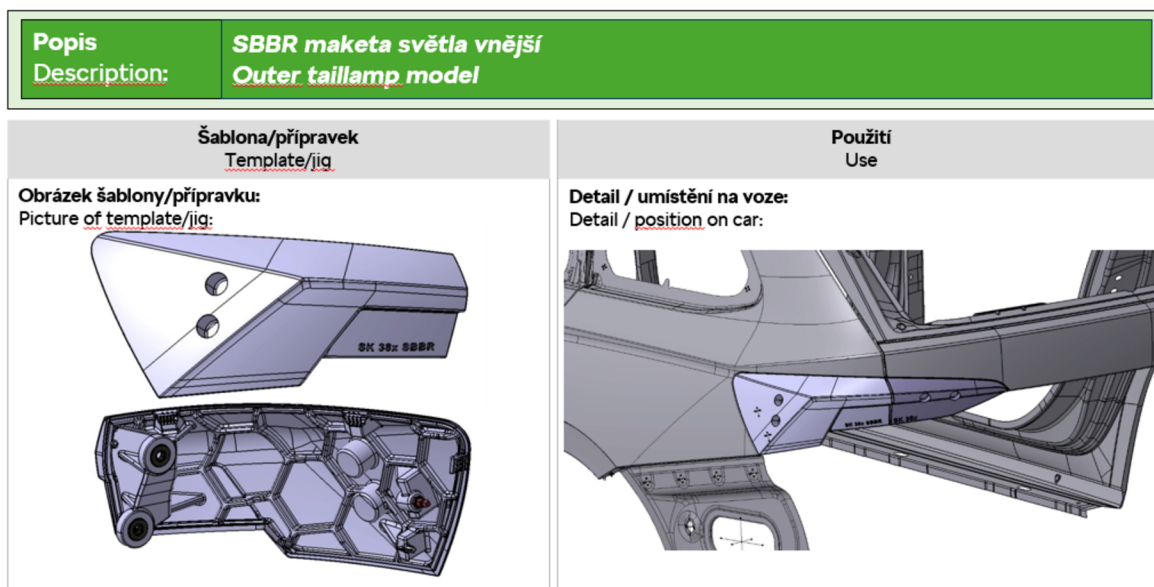
- makety,
- přípravky s magnety,
- šablony,
- vrtací přípravky/šablony,
- oddělovače pro kontrolu správného lícování.

Každý přípravek má své evidenční číslo podle modelu, například Octavia má začátek evidenčního čísla SK382-CPH-, následují další specifické číslice a písmena. Níže jsou popsány reprezentanti uvedených kategorií.

### **Makety**

Výroba SBBR makety světla pro závod Mladá Boleslav. Tato maketa byla zhotovena s hlavním cílem kontrolovat plošnou návaznost a správnou pozici montážních otvorů. Celková doba potřebná k výrobě této makety činila 8 hodin. Při výrobě byl využit materiál ABS, jehož hmotnost činila přibližně 1 500 g. Pro zajištění stability a podpory struktury makety byly použity podpěry, které byly vyrobeny ze

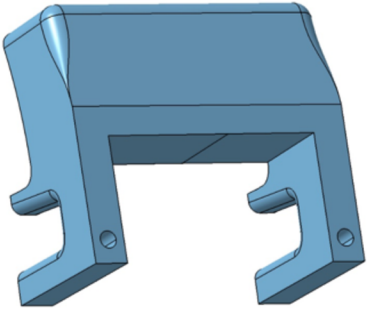
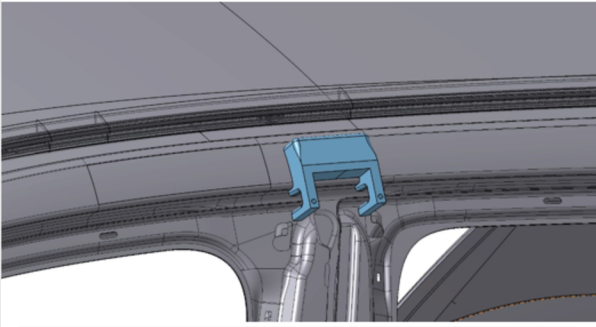
stejného materiálu a hmotnost podpěr činí 2 190 g. Maketa světla byla specificky navržena pro použití na konkrétní model vozu, který se staví na místě označeném jako hala M12. Během procesu kontroly je pracovník schopen připojit tuto maketu světla a pečlivě prověřit plošné lícování a správnou pozici montážních otvorů. Tato maketa představuje důležitý nástroj pro zajištění kvality a efektivního montážního procesu ve výrobním závodě. Ukázkou makety světla lze vidět na obrázku 12.



**Obr. 12 Maketa světla**

### **Přípravky s magnety**

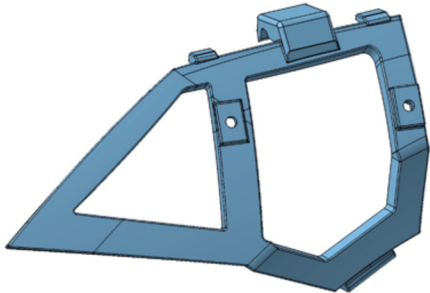
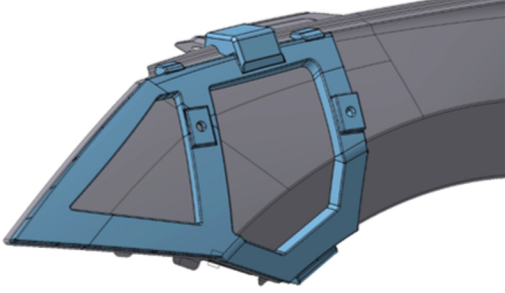
Přípravek s magnety – šablonu pro doměření rámečku předních a zadních dveří pro závod v Mladé Boleslavi lze vidět na obrázku 13. Tato šablona byla navržena s cílem provést plošnou kontrolu a zjistit případné odklonění rámečku dveří. Celková doba výroby této šablony byla 3 hodiny. Při výrobě byl využit materiál ABS. Šablona je určena pro použití na konkrétní hale označené jako M12. Během procesu kontroly pracovník připevní šablonu na postranici a pomocí posuvného měřítka detailně doměří odklonění rámečku předních i zadních dveří. Pro usnadnění manipulace je v této šabloně umístěn magnet, který je pevně integrován po samotném tisku. Samotná šablona bez magnetu váží 86 g, zatímco podpěry použité pro zajištění stability šablony přidávají dalších 20 g. Tato šablona představuje důležitý nástroj pro kontrolu a zajištění správného rozměru a umístění rámečků dveří ve výrobním procesu.

| <b>Popis</b><br><b>Description:</b>  |  |
|--|--|
| <b>Šablona pro doměření rámečku předních a zadních dveří</b><br><b>Front and rear window frames measurement template</b> |  |
| <b>Šablona/přípravek</b><br><b>Template/jig</b>  | <b>Použití</b><br><b>Use</b>   |
| <b>Obrázek šablony/přípravku:</b><br><b>Picture of template/jig:</b>   | <b>Detail / umístění na voze:</b><br><b>Detail / position on car:</b>              |
|   |  |

**Obr. 13 Přípravek s magnety**

## Šablony

Šablona pro blatník, celková doba výroby této šablony činila 24 hodin. Šablona je specificky určena pro výrobní halu M12 v Mladé Boleslavi. Jejím účelem je provádět plošnou kontrolu a zajišťovat správnou přesnost. Během procesu kontroly pracovník připevní šablonu na blatník a pečlivě zkontroluje jeho plošnou přesnost. Šablona je vyrobena z materiálu ABS a váží 280 g. Pro správné zahnutí blatníku byly použity podpěry, které přidávají dalších 160 g materiálu. Tato šablona hraje klíčovou roli při provádění kontroly kvality a zajišťování přesných rozměrů během výrobního procesu a lze ji vidět na obrázku 14.

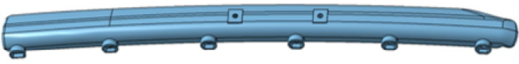
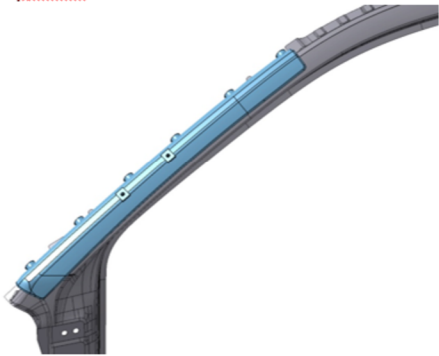
| <b>Popis</b><br><b>Description:</b>   |   |
|---|---|
| <b>Šablona pro blatník</b><br><b>Fender template</b>  |   |
| <b>Šablona/přípravek</b><br><b>Template/jig</b>   | <b>Použití</b><br><b>Use</b>  |
| <b>Obrázek šablony/přípravku:</b><br>Picture of <u>template/jig</u> :  | <b>Detail / umístění na voze:</b><br>Detail / <u>position on car</u> :  |

**Obr. 14 Šablona**

## Vrtací přípravky

Obrázek 15 zobrazuje vrtací přípravek na postranici, na který bylo potřeba 48 hodin celkové doby výroby. Při výrobě byl použit materiál ABS, který se ukázal jako vhodný pro tento účel. Celková hmotnost modelu přípravku činí 2 883 g, zatímco na podpěry postranice bylo použito 258 g materiálu. Tento vrtací přípravek byl specificky navržen pro výrobní halu M12 v Mladé Boleslavi. Jeho hlavním účelem je umožnit pracovníkovi provést vrtání otvorů na postranici. Během procesu pracovník připevní přípravek na postranici a vrtacími pouzdry následně vyvrtá otvory podle požadovaných specifikací. Tento přípravek je důležitým nástrojem, který umožňuje přesné a efektivní vrtání otvorů na postranicích.


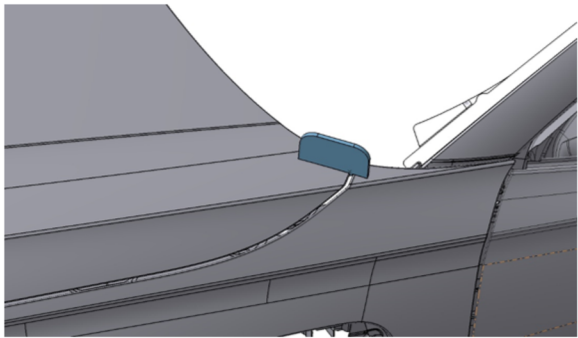


| <b>Popis</b><br><b>Description:</b>  |  |
|--|--|
| <b>Vrtací přípravek postranice</b><br><b>Sidepanel drilling jig</b>  |  |
| Šablona/přípravek<br>Template/jig  | Použití<br>Use   |
| <b>Obrázek šablony/přípravku:</b><br>Picture of <u>template/jig</u> :<br><br> | <b>Detail / umístění na voze:</b><br>Detail / <u>position on car</u> :<br><br> |

**Obr. 15 Vrtací přípravek**

### **Oddělovače pro kontrolu lícování**

V kategorii oddělovače pro kontrolu správného lícování byla výroba zaměřena na výrobu šablony pro blatník a kapotu. Proces tisku této šablony trvá pouze 10 minut a pro výrobu byl použit materiál ABS v množství 60 g. Tato šablona byla specificky navržena pro výrobní závod v Kvasinách, přesněji pro místo označené jako KV - B. Důvod tisku výrobků pro výrobní závod Kvasiny je takový, že nemají tiskárny typu Stratasys. Hlavním využitím tohoto přípravku je kontrola plošné návaznosti mezi blatníkem a kapotou. Během procesu kontroly pracovník připevní šablonu na blatník a pečlivě zkontroluje plošnou návaznost mezi blatníkem a kapotou. Pokud dojde k nesprávnému odskoku, pracovník upraví polohu kapoty tak, aby zajistil správnou plošnou návaznost. Tato šablona slouží jako důležitý nástroj pro zajištění kvality a správného usazení kapoty v montážním procesu mezi blatníkem a kapotou. Její výroba a použití výrazně přispívá k efektivitě a kvalitě výrobního procesu v tomto konkrétním závodě. Tuto šablonu lze vidět na obrázku 16.

| Popis<br>Description:   |  | Šablona blatník × kapota<br>Bonnet × fender positioning template                   |  |
|---|--|--|--|
| Šablona/přípravek<br>Template/jig   |  | Použití<br>Use   |  |
| Obrázek šablony/přípravku:<br>Picture of template/jig:                            |  | Detail / umístění na voze:<br>Detail / position on car:                            |  |
|  |  |  |  |

**Obr. 16 Oddělovač pro kontrolu lícování**

Příkladem výrobku, který je vyroben z Nylonu 12-CF je čep, jehož hmotnost činí 60 g a na podpěry bylo využito dalších 30 g materiálu. Příkladem výtisku z materiálu Nylon 12 je podpěra víka, která je vyrobena z 380 g materiálu a na podpěry tohoto výtisku bylo využito dalších 120 g.

### Odběratelé farmy PAP/a a používaný materiál

Přehled oddělení (včetně počtu výtisků a množství spotřebovaného materiálu), pro které tiskne PAP/a nejčastěji uvádí tabulka 2:

**Tab. 2 Počet výtisků za rok v ks a kg na oddělení**

| ODDĚLENÍ      | POČET VÝTISKŮ (v ks) | MNOŽSTVÍ SPOTŘEBOVANÉHO MATERIÁLU (v kg) |
|---------------|----------------------|--|
| PAP           | 195                  | 114                                      |
| EGV           | 21                   | 29                                       |
| PPD, PSW, PPF | 16                   | 10                                       |
| PF            | 15                   | 9  |
| PAC           | 11                   | 3  |
| GQ            | 4                    | 5  |

Na základě tabulky 3 lze zjistit, že během tisku bylo celkem za rok spotřebováno 175 kg materiálu. Dále je detailně zobrazeno rozdělení spotřeby materiálů během tisku za daný rok

**Tab. 3 Rozdělení celkové množství na materiály**

| MATERIÁL      | MNOŽSTVÍ MATERIÁLU<br>ZA ROK (v kg) |
|---------------|-------------------------------------|
| ABS           | 113                                 |
| ASA           | 20                                  |
| NYLON 12      | 5                                   |
| NYLON 12 - CF | 37                                  |
| <b>CELKEM</b> | <b>175</b>                          |

Nejvíce používaným materiálem byl ABS, který tvoří 113 kg, což představuje značnou část celkové spotřeby. Dále je zde ASA s množstvím 20 kg, Nylon 12 s 5 kg a Nylon 12 - CF s 37 kg. Tato rozdělení nám umožňují získat přehled o tom, jaké materiály byly nejvíce využívány při tisku během daného roku. Na podpěry se celkem spotřebovalo 88 kg materiálu, tento materiál se vyhazuje nebo odmyvá v lihu. Přípravky samotné nejsou kontaminovány a po dokončení tisku jsou ponořeny do lihu a následně omývány pod čistou vodou. V tabulce 2 je zobrazeno rozdělení spotřebovaného materiálu v kg pro jednotlivá oddělení. Je důležité mít na paměti, že pro budoucí zpracování těchto údajů může být výsledek lehce zavádějící. Například výtisky určené v tabulce pro oddělení PAP nezůstávají vždy výhradně na tomto oddělení, což může ovlivnit celkové statistiky.

### **Nakládání s odpadem na farmě PAP/a a v kontextu ŠA**

Sběrné místo na odpad na farmě je umístěno u pověřeného pracovníka z oddělení PAP/a. Tento pracovník má za úkol shromažďovat veškerý odpad a vyřazené výtisky, které se vyskytují na CPH, a ukládat je do odpadkové popelnice označení podobně jako na obrázku 17. Po shromáždění odpadu pracovník zodpovědný za odpad z 3D tisku objednává specializovanou firmu, která se zabývá likvidací odpadu. Tato firma je pověřena odpadem z PH a zajišťuje jeho bezpečnou

a ekologicky šetrnou likvidaci. Důležitým aspektem je, že odpad je správně tříděn a recyklován, aby byl minimalizován negativní dopad na životní prostředí. Firma, která se stará o likvidaci odpadu, poskytuje také servis a výměnu kapalin v tiskárnách. To znamená, že nejenom likviduje odpad, ale také se stará o údržbu a správný chod tiskáren. Tím je zajištěno, že tiskárny jsou v optimálním stavu a připraveny k provozu. Celý proces od shromažďování odpadu po jeho likvidaci a servis tiskáren je pečlivě organizován a sledován, aby byl splněn veškerý potřebný právní a environmentální standard.

## OSTATNÍ ODPAD

07 02 13

### PLASTOVÝ ODPAD

(Odpad z 3D tisku)

---

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| <b>Původce odpadu:</b>           | <b>Středisko XXXX</b> |
| <b>Odpovědná osoba původce:</b>  | <b>XY</b>             |
| <b>S odpady původce nakládá:</b> |                       |

*Obr. 17 Štítek odpadu z 3D tisku*

Dosavadní popelnice/kontejnery jsou označeny štítkem z obrázku 17. Je to na základě směrnice pro správnou likvidaci odpadu z plastových materiálů a je rozšířen také o čistý odpad z 3D tisku. To znamená, že veškerý odpad z plastových materiálů, včetně odpadu z 3D tisku, je shromažďován a zpracováván jako obyčejný plastový odpad. Zpracování tohoto odpadu je prováděno v souladu s odpadovými předpisy a předpisy pro ochranu životního prostředí. V současné době není možné provádět recyklaci tohoto odpadu z 3D tisku a využití pro výrobu recyklovaných filamentů. Odpad je tedy zpracováván a likvidován ve standardním procesu likvidace plastového odpadu. Je však důležité si uvědomit, že 3D tiskárenský odpad může obsahovat různé druhy plastů a případně i jiné materiály, které by mohly být

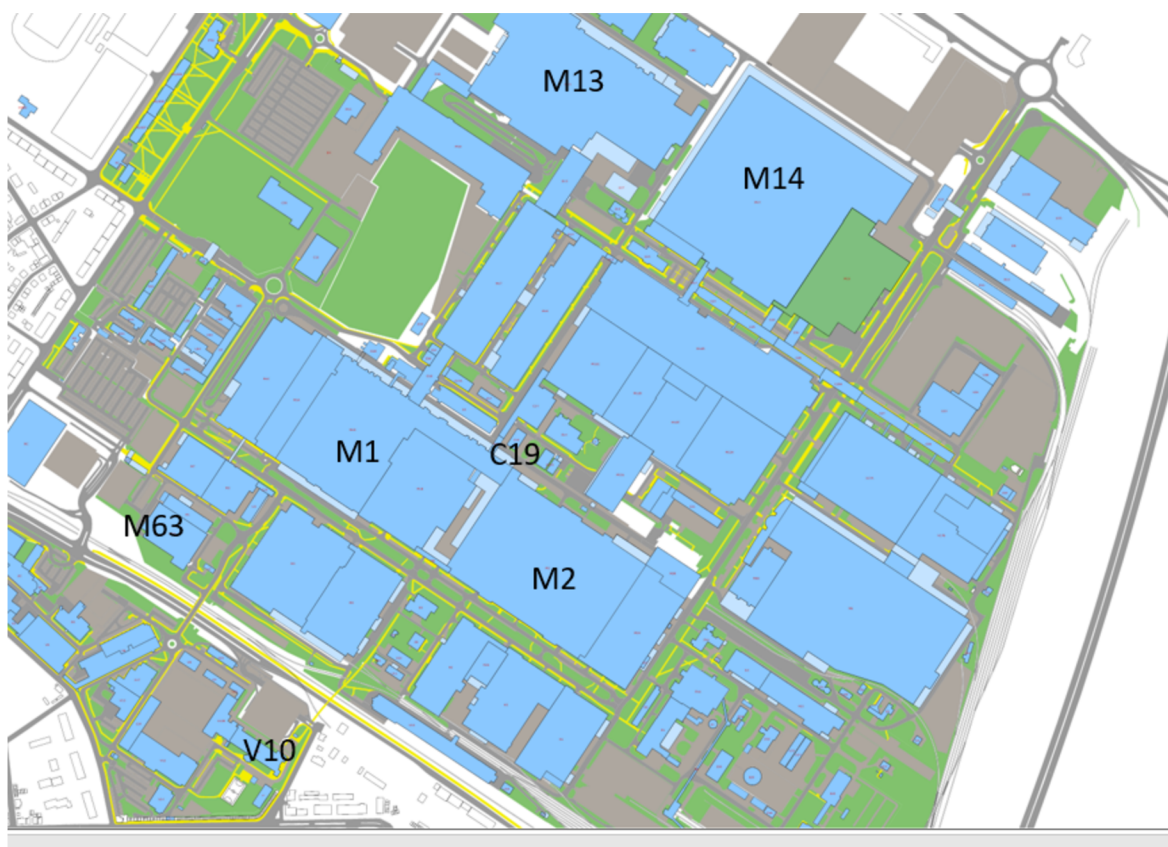
recyklovatelné. V budoucnosti by se mohly vyvinout technologie a postupy, které umožní recyklaci tohoto odpadu a jeho využití pro výrobu recyklovaných filamentů. To by přispělo k udržitelnosti a snížení negativního dopadu na životní prostředí. V současné době je však důležité dodržovat směrnice pro správnou likvidaci odpadu z 3D tisku a zajistit, aby byl odpad zpracován v souladu s platnými předpisy a environmentálními standardy.

Každá farma, která využívá 3D tiskárny, nakládá s odpadem a výtisky po době životnosti individuálně. Většina farem má svá vlastní sběrná místa, kde se odpad shromažďuje. V některých případech je odpad vyhazován do směsného odpadu, zatímco v jiných případech je tříděn a vyhazován do plastového odpadu. Je tedy důležité, aby každá farma měla jasně definované postupy pro nakládání s odpadem z 3D tisku. V současné době neexistuje žádné centrální místo, kde by se odpad z 3D tisku shromažďoval. Každá farma si musí samostatně objednat firmu, která se specializuje na odvoz a likvidaci odpadu. V současné době je upraven popis legislativy pro odpad 07 02 13, který je rozšířen o odpad z 3D tisku, ale nejedná se o čistý odpad z tiskáren. Tímto způsobem se zajišťuje, že odpad z farmy je zpracován v souladu s předpisy a environmentálními standardy pro plastový odpad. Na halách, kde se výtisky využívají, často nejsou speciální popelnice/kontejnery určené pro výtisky po době životnosti z 3D tiskárny. Většina farem používá existující plastové nádoby nebo kontejnery příslušné k materiálům, ze kterých jsou výtisky vyrobeny. Například plastové výtisky se vyhazují do plastových nádob, zatímco kovové výtisky se vyhazují do kontejnerů s kovovým odpadem. Je důležité si uvědomit, že tato situace může být do značné míry individuální a závisí na specifických postupech a předpisech každé farmy. Nicméně, s ohledem na neustále se rozvíjející technologie a zájem o udržitelnost, je možné, že v budoucnu se mohou vyvinout centrální sběrná místa a specifické popelnice/kontejnery pro odpad z 3D tisku, aby se zlepšila a standardizovala správa odpadu v tomto odvětví.

Dle průzkumu, který se týkal otázky „Kde skladujete odpad z 3D tisku a kolik kg odpadu ročně shromaždíte?“ bylo zjištěno, že každá farma odpad skladuje jinak. Některé farmy mají nádoby označená štítkem na obrázku 17, jiné odpad z 3D tisku vyhazují do směsného odpadu, protože žluté popelnice na jejich oddělení jsou určeny pouze pro PET lahve. Například na hale M14 skladují odpad přímo u tiskárny v nádobě o objemu 40 l a následně přesypávají do sudu na skladě, který má objem

200 l, ročně vyprodukují cca 60 kg odpadu. Po uvážení kompetentní osoby zodpovídající za odpad z 3D tisku objednává oddělení firmu na likvidaci. Další oddělení tiskne velmi málo a veškerý výtisk je odnášen na haly – odpadu vyprodukují zanedbatelné množství a vyhazují ho opět do směsného odpadu.

Některé z dotazovaných farem jsou znázorněny na obrázku 18. Takovýchto větších farem je mnohem více, ale autorka chtěla nastínit, že 3D tisk probíhá takřka po celém závodě v Mladé Boleslavi.



**Obr. 18** Mapa – rozložení farem

V současné době ŠA disponuje celkem 119 tiskárnami, které jsou rozděleny na různá oddělení, jak lze vidět v tabulce 4.

**Tab. 4 Počet tiskáren na oddělení**

| Oddělení | Počet tiskáren | Technologie           |
|----------|----------------|-----------------------|
| EG       | 9              | FFF/FDM, MJF, POLYJET |
| PP       | 3              | FFF/FDM               |
| GQ       | 2              | FFF/FDM               |
| SE       | 18             | FFF/FDM, SLA          |
| PS       | 16             | FFF/FDM, SLS, MSLA    |
| PL       | 1              | FFF/FDM               |
| PK       | 11             | FFF/FDM, SLA          |
| PF       | 56             | FFF/FDM, SLA          |
| PAP      | 3              | FFF/FDM               |

Z tabulky 4 je také možné vyčíst, že v ŠA je využíváno celkem 6 technologií pro 3D tisk:

- FFF/FDM,
- POLYJET,
- MJF,
- SLA,
- SLS.

Výše zmíněné technologie byly detailněji popsány v kapitole 1.2.

Kromě technologií zmiňovaných v tabulce 4, je také důležité zmínit, jaké oddělení využívá jednotlivé technologie a jak se tyto technologie liší v použití. Tyto technologie jsou využívány na různých odděleních ŠA v závislosti na svých specifických potřebách a jsou klíčové pro realizaci 3D tiskových operací. Například oddělení, která se zaměřují na prototypování a vývoj nových produktů, mohou preferovat technologie, které umožňují vytvářet rychlé prototypy s vysokou přesností, jako je SLA nebo MJF. Na druhou stranu, oddělení, která se zabývají

výrobou konečných součástí nebo funkčních prototypů, mohou upřednostňovat technologie, které umožňují vytvářet pevné a odolné výtisky, jako je SLS nebo FFF/FDM. Je také důležité zohlednit materiály, které jsou používány v každé technologii. Různé technologie mohou vyžadovat specifické materiály, které mají různé vlastnosti a vhodnost pro konkrétní aplikace. Například FFF/FDM technologie často využívá plastové filamenty, zatímco SLA a MJF technologie používají tekuté pryskyřice a SLS technologie pracují s práškovými materiály. Důkladné zhodnocení a porovnání jednotlivých technologií a jejich využití v jednotlivých odděleních v rámci organizace může poskytnout cenné poznatky pro optimalizaci tiskových procesů, zlepšení výkonnosti a dosažení požadovaných výsledků.



### **3 Návrh konceptu separace a sběru odpadu z 3D tisku**

Tato kapitola diplomové práce je zaměřena na návrh konceptu separace a sběru odpadu z 3D tisku. Odpad z 3D tiskového procesu představuje významnou výzvu v oblasti udržitelnosti a ochrany životního prostředí. Cílem této kapitoly je navrhnout efektivní systém sběru odpadu, který bude zajišťovat správnou separaci a recyklaci odpadových materiálů z 3D tisku.

První podkapitola se zabývá samotným návrhem sběru odpadu z 3D tisku. V kapitole 2 byl analyzován současný stav, separace a sběru odpadu z 3D tisku. Po této analýze jsou navrženy vhodné popelnice/kontejnery a systém označování odpadových materiálů, který usnadní jejich správnou separaci a následnou recyklaci. Podkapitola se také zaměřuje na možnosti automatizace sběru odpadu a využití moderních technologií pro optimalizaci celého procesu.

Ve druhé podkapitole je provedeno ekonomické vyhodnocení úspor navrženého systému sběru odpadu z 3D tisku pro farmu PAP/a. Byl analyzován současný stav a na základě této analýzy byly vyčísleny náklady spojené s likvidací externí firmou a možné úspory v případě vlastní likvidace. Byly zohledněny také potenciální investice do dalších technologií. Cílem bylo identifikovat ekonomicky efektivní a udržitelný systém sběru odpadu, který bude přinášet dlouhodobé výhody jak pro podnik, tak pro životní prostředí.

Tato kapitola představuje klíčový krok směrem k optimalizaci a zlepšení správy odpadu z 3D tisku. Navrhovaný koncept a ekonomické vyhodnocení budou sloužit jako základ pro další implementaci a provozování systému sběru odpadu, který bude přinášet významné přínosy v oblasti udržitelnosti a ochrany životního prostředí.

#### **3.1 Návrh sběru odpadu z 3D tisku**

Správné nakládání s odpadem z 3D tisku je důležitým aspektem v oblasti udržitelnosti a ochrany životního prostředí. S rostoucím využitím 3D tisku v průmyslových a komerčních odvětvích se zvyšuje i množství odpadu generovaného tímto procesem. Je proto nezbytné zajistit, aby tento odpad byl správně separován, sbírán, zpracováván a likvidován.

Existuje několik důvodů, proč je důležité věnovat pozornost správnému nakládání s odpadem z 3D tisku. Prvním z nich je ochrana životního prostředí. Mnoho materiálů používaných v 3D tisku, jako jsou plastové filamenty nebo pryskyřice, může být škodlivé pro životní prostředí, pokud není správně zpracováno. Nesprávná likvidace těchto materiálů může vést k jejich uvolnění do půdy, vody nebo vzduchu a způsobovat negativní dopady na ekosystémy. Dalším důvodem je ekonomický potenciál recyklace. Odpad z 3D tisku může obsahovat cenné materiály, které lze recyklovat a znovu využít. Správný sběr a zpracování odpadu umožňuje těmto materiálům být recyklovány a používány znovu, což může přinést ekonomický užitek organizacím. Navíc, recyklace odpadu z 3D tisku může snížit náklady na nákup nových materiálů a přispět k udržitelnosti z hlediska zdrojů. Posledním důvodem je zodpovědnost a etický přístup k udržitelnosti. Organizace, které využívají 3D tisk, mají odpovědnost za správné nakládání s odpadem, který vytvářejí. Přijímáním odpovědnosti za tento odpad, organizace prokazují svůj závazek k ochraně životního prostředí a udržitelným postupům. Správné nakládání s odpadem z 3D tisku je také důležité pro budování dobrého renomé organizace a celé společnosti Škoda Auto a.s. Vzhledem k těmto důvodům je klíčové, aby organizace, které využívají 3D tisk, měly v místě správný systém sběru odpadu z 3D tisku. To zahrnuje vhodné popelnice nebo kontejnery na odděleních, kde výtisky zůstávají nebo se vrací, nebo dokonce zavedení celtrálního sběrného místa pro menší farmy. Správné nakládání s odpadem z 3D tisku je nejen etické, ale také ekonomicky a ekologicky výhodné. Organizace, které využívají 3D tisk, by měly přijmout odpovědnost za správnou likvidaci tohoto odpadu a přijmout opatření ke zlepšení systému sběru a zpracování odpadu. Tím přispějí k udržitelnosti a ochraně životního prostředí, a zároveň mohou získat ekonomické výhody z recyklace a odkupu odpadu.

### **Zavedení nezbytných kroků k následné separaci a sběru odpadu z 3D tisku**

Z analýzy současného stavu vyplynulo, že k separaci a sběru odpadu z 3D tisku dochází pouze na farmě. Zpravidla jde o odpad, který vzniká přímo při tisku. Výtisky po době životnosti se na farmu vracejí výjimečně. Z hlediska možné recyklace však tento odpad představuje pouze malý zdroj. Zde může být vhodným řešením centralizace sběru odpadu z velkých farem, v ideálním případě ze všech farem ŠA. Z pohledu farmy PAP/a tak mohou být zásadním zdrojem pro recyklaci pouze

výtisky po době životnosti, které se likvidují u odběratelů farmy jako klasický směsný plastový odpad. Proto budou další návrhy směřovány právě k separaci a sběru výtisků po době životnosti.

V současné době existuje pouze evidenční tabulka o výtiscích, která obsahuje nezbytné informace pro konstrukterá. Příklad sledovaných informací lze vidět v tabulce 5.

**Tab. 5 Příklad sledovaných informací o 3D tisku**

| Datum  | Oddělení | Model | Název                     | Materiál | Model (g) | Podpěry (g) | Čas (min) |
|--------|----------|-------|---------------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| 20. 1. | PAP      | SK270 | Šablona<br>blatník        | ABS      | 280       | 160         | 1440      |
| 15. 7. | PAP      | SK326 | SBBR<br>maketa            | ABS      | 1 500     | 2 190       | 480       |
| 1. 4.  | GQ       | SK336 | lícování                  | ABS      | 60        | 0           | 10        |
| 18. 2. | PAP      | SK382 | Vrtací<br>přípravek       | ABS      | 2 883     | 258         | 2 880     |
| 30. 3. | PF       | SK316 | Přípravek<br>s<br>magnety | ABS      | 86        | 20          | 180       |

Jak je patrné, tabulka poskytuje pouze základní informace o vytisknutých přípravcích. Informace, které jsou k dispozici, se omezují na oddělení, které si daný výtisk objednalo. Bohužel, není zaznamenáno, kde bude výtisk využit, tedy kde by mělo být pro tento výtisk určeno sběrné místo. Tato informace je však klíčová pro implementaci efektivního systému sběru odpadu. Další důležitou informací je množství použitého materiálu pro každý výtisk. Tato informace pomůže určit, kolik materiálu může být recyklováno. Lze také vyčíst i z jakého materiálu je výtisk vyroben, proto bude snadnější rozdělit přípravky po době životnosti do sběrných nádob. Spoustu informací ale chybí k tomu, aby bylo snadné zavést popelnice na určitá místa, kde to má smysl. Proto je důležité provést následující kroky:

Prvním krokem je aktualizace tabulky o informace, které byly již zmíněny. Je nezbytné získat podrobnější informace o jednotlivých výtiscích, které jsou objednávány a používány v provozech. Kromě základních informací, jako je množství materiálu nebo oddělení, které si výtisk objednalo, je důležité zaznamenat také umístění výtisků, tedy místo, kde budou využity. Tato aktualizace tabulky o tuto informaci umožní lepší plánování a zavádění popelnic na konkrétní místa, kde bude sběr odpadu efektivní.

Dalším krokem je zmapování toku výtisků. Je nezbytné sledovat, jaká oddělení nebo provozy odebírají největší množství výtisků. To lze provést analýzou počtu objednávek a frekvence tisku v jednotlivých odděleních, ale z dosavadní tabulky tato analýza nelze provést, protože není uvedeno kam přesně přípravek putuje. Tímto způsobem lze identifikovat největší producenty odpadu z 3D tisku a zaměřit se na tyto oblasti při zavádění popelnic.

Důležitým krokem je také zmapování toku výtisků po době životnosti. Je třeba zjistit, co se děje s výtisky poté, co již nejsou použitelné. Zaznamenávání tohoto toku odpadu umožní přesně určit, kde a jakým způsobem je vhodné umístit popelnice pro sběr těchto výtisků. Zároveň je třeba prověřit toky z pohledu frekvence vytisknutí jednotlivých materiálů a frekvence požadavků jednotlivých oddělení na výtisky. To umožní přesněji plánovat a dimenzovat sběrné popelnice.

Po zmapování toku výtisků je potřeba vytipovat největší toky/odběratele a pro ně navrhnout vhodné popelnice. Na základě analýzy toku a frekvence výtisků lze identifikovat největší producenty odpadu a připravit adekvátní sběrné nádoby pro tyto odběratele. Je také důležité zjistit, jak již existující systém sběru odpadu funguje na vydejních místech, aby bylo možné ho případně optimalizovat a přizpůsobit potřebám sběru odpadu z 3D tisku.

Kromě těchto hlavních kroků je možné doplnit další opatření. Například je možné vypracovat komunikační plán, který bude informovat zaměstnance o novém systému sběru odpadu a vysvětlí jim, jak správně třídit odpad z 3D tisku. Dále je vhodné provést školení zaměstnanců, aby byli seznámeni s novým systémem a motivováni k jeho správnému využívání. Je také možné zavést systém odměn pro zaměstnance, kteří se aktivně podílejí na správném třídění odpadu.

Tyto kroky jsou klíčové pro lepší přehled, zavedení systému sběru odpadu z 3D tisku a zajištění efektivního umístění popelnic na konkrétní místa. Důkladná analýza toku výtisků, aktualizace a rozšíření tabulky, vytypování největších producentů odpadu a optimalizace systému sběru odpadu umožní snadné zavádění popelnic na nejvýznamnější místa, kde bude sběr odpadu mít smysl. S přesnými informacemi o umístění sběrných míst, množství použitého materiálu a složení výtisků by bylo možné zavést a plánovat odpovídající sběrné nádoby na strategická místa, což by vedlo ke snížení negativního dopadu na životní prostředí a nastavení efektivity recyklačního procesu.

Inspirací pro systém, který by mohl být zaveden na oddělení PAP/a může být i praxe z jiných farem. Například na oddělení PF2-I zavedli testovací systém sběru odpadu z provozu. Pokud bude tento projekt úspěšný mohla by se farma PAP/a inspirovat a zavést podobný systém sběru použitých výtisků. Tento zavedený systém koncem listopadu roku 2023 pro oddělení PF2-I jednoduše řečeno funguje následovně. Mistři byli proškoleni, jak identifikovat odpad z 3D tisku nebo přípravek po době životnosti. Dostali na halu příslušnou nádobu, do které odpad separují. Po naplnění nádoby odevzdají odpad z 3D tisku zpět na útvar PF2-I, kde je určená osoba/zmocněnec, který řídí odpad z 3D tisku a je zodpovědný za likvidaci a odvoz odpadu.

### **Zavedení popelnic/kontejnerů pro separaci a sběru odpadu k recyklaci**

Návrh zavedení popelnic nebo kontejnerů pro separaci a sběr odpadu z 3D tisku za účelem jeho následné recyklace představuje praktické a efektivní řešení pro správné nakládání s odpadem z 3D tisku přímo na místě, kde odpad a výtisky zůstávají nebo se vrací. Tento návrh umožňuje snadný a bezpečný sběr odpadu a minimalizuje riziko znečištění prostředí.

Popelnice nebo kontejnery by měly být umístěny buď přímo na odděleních, kde se provádí 3D tisk nebo v místě určení použití výtisku. Je důležité navrhnout různé velikosti popelnic/kontejnerů, aby bylo možné je přizpůsobit specifickým potřebám a prostorovým omezením každého oddělení. Tyto nádoby by měly mít dostatečný objem pro shromažďování odpadu a použitých výtisků a měly by být vyrobeny z odolného materiálu, který je snadno čistitelný a odolný vůči chemikáliím či jiným faktorům, které by mohly danou nádobu znehodnotit.

V navrhovaném systému popelnic nebo kontejnerů je klíčové, aby byla zajištěna snadná identifikace a odlišení od ostatních nádob určených pro komunální, plastový či jiný odpad. Toto označení a barevné odlišení usnadní zaměstnancům a uživatelům správné oddělení odpadu z 3D tisku, přičemž zajišťují efektivní třídění a recyklaci. Je tedy nezbytné vypracovat novou legislativu, která se bude věnovat výhradně odpadu z 3D tisku. V tomto ohledu je tedy nezbytné, aby označení popelnic obsahovalo jasné informace o specifickém typu odpadu, který do nich patří, a bylo doplněno instrukcemi pro jeho vhodné nakládání. Zavedení popelnic či kontejnerů představuje nezbytný začátek pro účinnou recyklaci odpadu z 3D tisku. Nicméně, kromě samotného zavedení popelnic/kontejnerů je také nezbytné zajistit, aby všichni zaměstnanci byli srozumitelně informováni a proškoleni o správném nakládání s odpadem, o důležitosti třídění odpadu z 3D tisku a o případných bezpečnostních pokynech. Implementace tohoto návrhu by měla být prováděna ve spolupráci s oddělením odpadového hospodářství nebo odpadovým týmem organizace. Společná komunikace a spolupráce jsou klíčové pro úspěšné zavedení systému sběru odpadu z 3D tisku.

Vytvoření efektivního systému sběru odpadu z 3D tisku prostřednictvím zavedení popelnic nebo kontejnerů přináší mnoho výhod. Kromě snazšího a bezpečnějšího sběru odpadu přímo na místě vzniku se také minimalizuje riziko kontaminace a šíření odpadu. Tím se přispívá k udržitelnému přístupu v oblasti 3D tisku a ochraně životního prostředí.

### **Automatizace procesu separace a sběru odpadu z 3D**

Automatizace separace a sběru odpadu by mohla být v budoucnu použita za předpokladu plošného zavedení návrhu popelnice a kontejnerů, umožnilo by to centralizovaný sběr a separaci odpadu. Automatizace umožňuje snížit lidskou interakci a zvýšit přesnost a rychlost procesu. Moderní technologie, jako jsou senzory a chytrá zařízení, mohou být integrovány do popelnic nebo kontejnerů pro sběr odpadu z 3D tisku. Tyto senzory by monitorovaly naplnění nádob a informovaly o potřebě výměny nebo vyprázdnění. Tím by se zajistilo, že nádoby nejsou přeplněné a s odpadem není nesprávně nakládáno. Automatizace sběru odpadu také umožňuje snadnější sledování a správu odpadu, což je důležité pro vyhodnocení účinnosti systému a plánování budoucích opatření. Dalším aspektem je využití moderních technologií pro optimalizaci celého procesu sběru odpadu z 3D

tisku. Například, využití softwarových aplikací pro sledování a správu odpadu umožňuje efektivní plánování a organizaci sběru. Tyto aplikace mohou poskytovat přesné informace o množství a typu odpadu, umožňovat sledování toku odpadu a generování statistik. Tím se získávají cenná data pro analýzu a optimalizaci celého systému sběru odpadu z 3D tisku. Další moderní technologie, které mohou být využity, jsou například robotické systémy pro automatické třídění odpadu nebo technologie umělé inteligence pro efektivní plánování a optimalizaci sběru. Robotické systémy s využitím obrazového rozpoznávání a strojového učení mohou rozpoznávat a třídít různé druhy odpadu z 3D tisku, což snižuje lidskou interakci a zrychluje proces. Technologie umělé inteligence mohou analyzovat data o toku odpadu, předpovídat jeho množství a navrhnout optimální plán sběru a recyklace. Zaměření na automatizaci sběru odpadu a využití moderních technologií pro optimalizaci celého procesu je klíčové pro zajištění efektivního a udržitelného systému sběru odpadu z 3D tisku. Tyto technologie umožňují snazší sledování, správu a plánování odpadu, což přináší výhody pro všechny zúčastněné strany. Je tedy důležité zkoumat možnosti a aplikovat moderní technologie pro zlepšení celého systému sběru odpadu z 3D tisku, aby se dosáhlo maximální efektivity a minimalizoval negativní dopad na životní prostředí.

### **Další možný návrh separace odpadu vedoucí k recyklaci**

Pro začátek je nezbytné vyčíslit očekávané úspory, které by vznikly formou snížení nákladů za likvidaci odpadu, které se dnes platí externí firmě. Tyto úspory jsou podrobně popsány a vypočítány v kapitole 3.2 práce. Spolupráce se specializovanou firmou na recyklaci odpadu z 3D tisku by umožnila snížit množství odpadu, které by bylo nutné likvidovat, a tím i související náklady. Tím by se dosáhlo efektivnějšího využití zdrojů a snížení environmentálního dopadu. Specializovaná firma by z druhé strany získala kvalitní suroviny pro výrobu nových filamentů nebo jiných produktů z recyklovaného plastu. Odpad z 3D tisku obsahuje různé druhy plastů, jako je ABS, PLA, PETG atd. Pro tuto firmu by bylo důležité mít potřebné nástroje, zařízení a know-how pro zpracování a recyklaci těchto různých typů plastů. Bylo by možné se zapojit do projektu Prusa World Map, o kterém je zmínka v kapitole 1.6, to by mohlo přinést další možnosti a výhody. Tím by se vytvořil uzavřený systém, ve kterém by odpad z 3D tisku byl přeměněn na kvalitní suroviny a znovu využitý ve výrobním procesu. Spolupráce se specializovanou firmou na

recyklaci odpadu z 3D tisku by mohla přinést dlouhodobé výhody v oblasti udržitelnosti a ochrany životního prostředí. Získání kvalitních recyklovaných surovin by umožnilo snížit závislost na nových plastových materiálech a přispělo by k cirkulární ekonomice. Zároveň by se minimalizovalo množství odpadu, které by bylo nutné likvidovat, a snížila by se zátěž na životní prostředí. Spolupráce se specializovanou firmou na recyklaci odpadu z 3D tisku by tak představovala důležitý krok směrem k udržitelnosti a efektivnímu využití zdrojů. Tato spolupráce by mohla být vzájemně prospěšná pro obě strany, a to jak z ekonomického, tak z environmentálního hlediska. Je důležité připravit podrobný plán spolupráce, který by zahrnoval všechny relevantní aspekty, a zajistit, aby byla spolupráce prováděna v souladu s nejlepšími postupy a normami v oblasti recyklace odpadu z 3D tisku.

#### **Návrh možného řešení pro farmy využívající tiskárny Prusa Research a.s.**

Další z možných konceptů separace a sběru odpadu z 3D tisku je využití speciálního zařízení, které dokáže recyklovat tříděný odpad z 3D tisku technologie FFF/FDM. Toto zařízení by mohlo být umístěno na každé větší farmě, která využívá tiskárny od značky Prusa, nebo na centrálním místě společnosti ŠA pro zpracování odpadu z více farem. Odpad z 3D tisku by se sbíral do nádob, které byly navrženy výše a následně by byl vložen do zařízení, které by ho rozdrtilo, roztavilo a spřádalo do nové struny, která by byla znovu použitelná pro 3D tisk. Tím by se snížila spotřeba nového materiálu, zvýšila se recyklace a snížil se objem odpadu.

Existuje již zařízení, které tuto funkcionalitu umožňuje. Jedním z takových zařízení je ProtoCycler. Jedná se o malou bedýnku, která dokáže vyrobit cívku s jedním kilogramem vlákna zhruba za dvě hodiny. ProtoCycler také umožňuje namíchat vlastní barvy vlákna podle potřeby (Víšek, 2023).

Implementace tohoto konceptu by přinesla řadu výhod. Kromě snížení spotřeby nového materiálu a zvýšení recyklace by společnost ŠA dosáhla i úspor ve výrobních nákladech. Použití ProtoCycleru nebo podobného zařízení by také posílilo udržitelný profil organizace a přispělo k ekonomické efektivitě. Při implementaci tohoto konceptu je však třeba zvážit počáteční investici do zařízení a provozní náklady, jako je energie a údržba. Je také důležité mít dostatečnou kapacitu a dostupnost zařízení vzhledem k množství odpadu z 3D tisku generovaného farmami v ŠA.



Celkově lze konstatovat, že využití speciálního zařízení pro zpracování odpadu z 3D tisku, jako je například ProtoCycler, představuje perspektivní možnost pro společnost ŠA. Tímto způsobem by se snížila spotřeba nového materiálu, zvýšila se recyklace a dosáhlo se úspor ve výrobních nákladech. Je však třeba pečlivě zvážit všechny aspekty, včetně investičních a provozních nákladů, před implementací tohoto konceptu na větší farmy nebo centrální místo ŠA.

### 3.2 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomické vyhodnocení je realizováno pro odpad z 3D tisku související s farmou PAP/a. Pro útvar PAP/a byly navrženy speciální popelnice na odběrových odděleních, které by umožnily efektivní sběr odpadu z 3D tisku. Pro ekonomické vyhodnocení je důležité zohlednit náklady na likvidaci odpadu firmou, které byly zprůměrovány na 2,5 Kč/kg. Tato sazba byla stanovena na základě veřejně dostupných ceníků. V tabulce 3, která je uvedena v kapitole 2.3, je uvedeno, kolik a jakého materiálu farma PAP/a spotřebuje za rok.

Přehled předpokládané návratnosti výtisků v několika variantách, včetně vyčíslených úspor nákladů na likvidaci je uvedeno v tabulce 6.

**Tab. 6 Návratnost odpadu a úspora nákladů**

| NÁVRATNOST<br>VÝTISKŮ | NÁVRATNOST (v kg/rok) | ÚSPORA (v Kč/rok) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 100 %                 | 175                   | 437,5             |
| 90 %                  | 157,5                 | 393,75            |
| 80 %                  | 140                   | 350               |
| 70 %                  | 122,5                 | 306,25            |
| 60 %                  | 105                   | 262,5             |
| 50 %                  | 87,5                  | 218,75            |

Za předpokladu, že by byla návratnost 100 % výtisků by se shromáždilo celých 175 kg materiálu za rok, ze kterých výtisky vyrábějí. V těchto výpočtech není zahrnut materiál, který byl použit na podpěry, protože takový materiál zůstává jako odpad

u dané tiskárny. Pokud by se tedy sebralo 100 % výtisků farma by ušetřila 437,5 Kč/rok za likvidaci odpadu externí firmou.

Při návratnosti 90 % materiálu by PAP/a sebralo 157,5 kg/rok a uspořilo 393,75 Kč/rok.

Předpokládejme, že návratnost odpadu z 3D tisku je alespoň 80 % ze spotřeby materiálu, což znamená, že ze 175 kg materiálu by mohlo být recyklováno 140 kg/rok. Pokud by se tato recyklace realizovala, farma PAP/a by tak ušetřila náklady na likvidaci odpadu externí firmou, které činí 350 Kč/rok. To představuje potenciální úsporu nákladů.

U 70 % návratnosti by se sebralo 122,5 kg materiálů za rok a úspory jsou tak vyčísleny na 306,25 Kč/rok.

Materiál sebraný v množství 105 kg/rok což představuje 60 % celkového odpadu, by farmě přineslou úspory v hodnotě 262,5 Kč/rok.

Pokud budeme předpokládat návratnost pouhých 50 % z celku, tak shromáždí farma PAP/a celkem 87,5 kg materiálu za rok z celkových 175 kg. Náklady na likvidaci odpadu externí firmou tak budou činit 218,75 Kč/rok.

Tyto výpočty jasně ukazují, že zavedení systému sběru odpadu a jeho recyklace může farmě PAP/a přinést úspory. Čím vyšší je návratnost odpadu z 3D tisku, tím větší jsou potenciální úspory. Vzhledem k malému množství potenciálně recyklovaného materiálu nejsou úspory zásadní. Ekonomicky výhodný by se navržený systém stal v případě plošného a centralizovaného nasezení napříč všemi farmami a odděleními odebírajícími výtisky v rámci ŠA. Větší úspory lze rovněž předpokládat v budoucnosti, protože množství vyráběných výtisků každoročně roste.

Implementace tohoto konceptu by měla ekonomického efektu přispět k udržitelnosti a snížení environmentálního dopadu. Prusa porovnal emise CO<sub>2</sub> u nového Prusamentu PETG Recycled a klasického Prusamentu PETG. Podle měření vyplyne, že 1 kg klasického Prusamentu PETG způsobí uvolnění 5,85 kg CO<sub>2</sub> do ovzduší. Naopak u 1 kg Prusamentu PETG Recycled jsou emise pouze 2,55 kg CO<sub>2</sub>, díky vynechání dopravy a výrobě nového granulátu. Výroba Prusamentu PETG Recycled tak sníží emise CO<sub>2</sub> o 3,3 kg, což představuje zhruba 56 % úsporu oproti klasickému Prusamentu PETG. Pokud jde o Prusament PLA Recycled,

úspěšně jsme redukovali emise CO<sub>2</sub> o téměř 57 %, sníživ je z 5,76 kg na 2,47 kg. (Kočí, 2022)

Výpočty byly provedeny variantně, protože nelze počítat se 100% návratnostní výtisků. Existuje hned několik důvodů, proč tomu tak je:

- Poškození výtisků – výtisky z 3D tisku mohou být poškozeny nebo zničeny různými faktory, jako jsou mechanické namáhání, tepelné změny, biologické rozklady, atd. V některých případech mohou být výtisky tak poškozeny, že se stanou neidentifikovatelnými nebo nesběratelnými.
- Ztráta – přípravky mohou být také ztraceny různými způsoby, jako jsou záměrné nebo nezáměrné vyhození do jiného odpadu, krádež atd.
- Nedostatečná identifikace – výtisky po době životnosti mohou být také obtížně sbíratelné, pokud nejsou dostatečně identifikovány, zdokumentovány nebo pracovník není dostatečně proškolen o výtiscích a odpadu z 3D tisku.
- Kontaminace – pokud jsou výtisky z 3D tisku kontaminovány jinými materiály, jako například lepidly nebo barvami, může to znemožnit jejich úplnou recyklaci.
- Technická omezení – některé 3D tiskové technologie mohou produkovat výtisky s vnitřními strukturami, které jdou obtížné recyklovat nebo vyžadují složitější procesy recyklace.

Je důležité si uvědomit, že i když nemusí být možné dosáhnout 100% recyklovatelnosti výtisků z 3D tisku, stále je důležité hledat způsoby, jak minimalizovat odpad a optimalizovat procesy recyklace.

Zároveň je důležité podotknout, že přestože počáteční investice do popelnice/kontejneru mohou být vyšší, například cca 600 Kč za 120 l popelnici nebo cca 400 Kč za 60 l popelnici, dlouhodobě by se tyto náklady amortizovaly díky efektivnější likvidaci odpadu. Při plošné implementaci navržených opatření uvedených v kapitole 3.1 by vedly ke značným úsporám. Tím by nejen farma PAP/a získala ekonomickou výhodu, ale i pro společnost jako celek by přineslo snížení nákladů na odpadové hospodářství benefity. Celková úspora nákladů by tak byla pro ŠA přínosná a dlouhodobě udržitelná.

### **Další ekonomické vyhodnocení jiných variant návrhů**

Dalším navrženým opatřením v kapitole 3.1 je možnost spolupráce se specializovanou firmou na zpracování odpadu a možnost odkupu odpadu od ŠA. Výhodou by bylo, že by se ušetřily náklady na nákup nových materiálů, protože recyklovaný odpad by mohl být znovu dodán specializovanou firmou s tímto zaměřením. Tato spolupráce s firmou, která recykluje odpad z 3D tisku do znovupoužitelných filamentů by měla dva možné ekonomické přínosy. Jeden z nich by byl pouze odkup odpadu z 3D tisku od ŠA. Naopak druhý ekonomický přínos by mohl být po poskytnutí odpadu specializované firmě, nákup zrecyklovaného filamentu se slevou.

Toto ekonomické vyhodnocení naznačuje, že implementace navržených opatření pro sběr a zpracování odpadu z 3D tisku na farmách by mohla přinést úsporu nákladů. Při plošném zavedení těchto opatření na většinu/všechny farmy ŠA by byla úspora ještě větší. Je důležité zvážit dlouhodobé výhody a potenciál pro udržitelnost a ekonomickou efektivitu společnosti ŠA.

## Závěr

V rámci této diplomové práce byl stanoven cíl navrhnout koncept separace a sběru odpadu z 3D tiskové farmy a výtisků po době životnosti z provozů, ve kterých se používá technologie FFF (Fused Filament Fabrication). Pro dosažení tohoto cíle bylo nejdříve provedeno zmapování současného stavu 3D tisku ve společnosti Škoda Auto a.s. na oddělení PAP/a.

Na úvod diplomové práce byla shrnuta teoretická část, která se zabývala 3D tiskem a jeho technologiemi. Dále byly popsány materiály využívané ve 3D tisku u technologie FFF. V dalších dvou podkapitol bylo popsáno odpadové hospodářství a recyklace plastů. V závěru teorie byla popsána recyklace odpadu z 3D tisku.

Z výsledků provedeného výzkumu vyplývá, že 3D tisk je inovativní technologie, která nabízí mnoho výhod v oblasti výroby a prototypování. Avšak s tím souvisí i zvýšená produkce odpadu, zejména ve formě již nevyužitých přípravků a odpadu který vznikl při tisku. A právě proto je důležité zaměřit se na separaci a sběr tohoto odpadu, aby bylo možné ho efektivně recyklovat a minimalizovat tak negativní dopad na životní prostředí.

Analyzován byl současný stav 3D tisku ve společnosti Škoda Auto a.s., se zaměřením zejména na útvar PAP/a. Bylo zjištěno, že společnost využívá 3D tisk především pro výrobu prototypů, náhradních dílů a dočasných nástrojů. Nicméně, nedostatečná pozornost byla věnována správě a recyklaci odpadu z této technologie. Aby bylo možné efektivně určit, kde umístit popelnice/kontejnery pro třídění a sběr odpadu z 3D tisku, byla navržena řada opatření. Tento návrh by pak mohl být uplatněn v ŠA.

Navržený koncept zahrnuje kroky, které jsou nezbytné pro to, aby návrh vedl k efektivnímu sběru odpadu z 3D tisku, a to jak výtisků po době životnosti, tak i odpadu, který vzniká při tisku. Byly navrženy kroky, které jsou nezbytné k separaci a odpadu 3D tisku na oddělení PAP/a. Byla navržena automatizace sběru odpadu z 3D tisku po plošném zavedení popelnic v celém závodě ŠA. Dále byla navržena spolupráce se specializovanou firmou. Tento separovaný odpad by poté mohl být specializovanou firmou recyklován v podobě nových filamentů a využit pro výrobu nových výtisků nebo by recyklace byla využita pro jiné produkty. Posledním návrhem bylo řešení pro farmy, které využívají tiskárny od značky Prusa.

Ekonomické vyhodnocení navrženého konceptu ukázalo, že i přes počáteční investice do infrastruktury a případných technologií pro separaci a sběr odpadu, by se dlouhodobě mohlo dosáhnout úspor v nákladech za likvidaci odpadu a snížení environmentálního dopadu. Navíc by takový koncept přispěl k posílení udržitelnosti a ekologického postavení společnosti Škoda Auto a.s.

Celkově lze konstatovat, že navržený koncept separace a sběru odpadu z 3D tisku představuje inovativní a efektivní řešení pro zpracování odpadu generovaného touto technologií. Implementace tohoto konceptu by přinesla mnoho výhod, včetně snížení negativního dopadu na životní prostředí a využití recyklovaného materiálu pro další výrobu. Budoucí výzkum by mohl směřovat k optimalizaci separačních procesů a využití nových technologií pro recyklaci odpadu z 3D tisku. Tím by se posílila udržitelnost a ekonomická efektivnost této technologie v průmyslových provozech.

## Seznam literatury

3D Printing Industry [online]. The Free Beginner's guide, 2017 [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>.

3Dpaly. 3D tisk a recyklované plasty – EKO udržitelnost na obzoru? [online]. 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://3dplay.cz/3d-tisk-recyklovane-eko-plasty/>

BACH, Martin. *Jak vyřešit nejčastější problémy při 3D tisku* [online]. 2018 [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/jak-vyresit-nejcastejsi-problemy-pri-3d-tisku/>

ČVUT [online]. Praha: Fakulta strojní ČVUT v Praze, [cit. 2023-08-31]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/historie-3d-tisk/>

ČVUT [online]. Praha: Fakulta strojní ČVUT v Praze, [cit. 2023-08-31]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologie-3dtisk/sla-3dtisk/>

Goodship, Vannessa. *Management, Recycling and Reuse of waste Composites*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010.

HOME, Richard; HAUSMAN, Kalani Kirk. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 411 s.

Interní zdroje Škoda Auto a. s.

KOČÍ, Jakub. *Vydáváme PETG Recycled se spočítaným dopadem na životní prostředí!* [online]. 2022 [cit. 2023-12-31]. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/cs/vydavame-petg-recycled-se-spocitanym-dopadem-na-zivotni-prostredi\\_65806/](https://blog.prusa3d.com/cs/vydavame-petg-recycled-se-spocitanym-dopadem-na-zivotni-prostredi_65806/)

KOLODŽEJOVÁ, Bc. Lucie. *Problematika 3D tisku a jeho využití ve výuce na středních odborných školách*. Brno, 2015. Diplomová práce. Masarykova Univerzita.

LIPSON, Hod a KURMAN, Melba. *Fabricated: the new world of 3D printing ; [the promise and peril of a machine that can make (almost) anything]*. Indianapolis: Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-35063-8.

MCAE [online]. Nylon 12 Carbon Fiber [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/produkty/nylon-12-carbon-fiber/>

MILEWSKI, John O. *Additive Manufacturing of Metals*. Springer International  
Ministerstvo životního prostředí. *Odpadové hospodářství* [online]. 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/odpadove\\_hospodarstvi](https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi)

*Premo* [online]. Využití 3D tisku, 2022 [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.premocz.eu/vyuziti-3d-tisku>

*Prusament* [online]. Prusament PLA [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://prusament.com/cs/materials/prusament-pla/>

PRŮŠA, Josef; BACH, Martin; STRÍTESKÝ, Ondřej. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Praha: Prusa Research, 2019.  
Publishing, 2017. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-58205-4.

REDWOOD, Ben, Filemon SCHÖFFER a Brian GARRET. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. Amsterdam: 3D Hubs, [2017]. ISBN 978-90-827485-0-5.

*Sharplayers* [online]. Přehled materiálů 3D tisk [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://sharplayers.cz/support/prehled-materialu-pro-3d-tisk/>

SCHWARZMANN, Marek. *Odpad z 3D tisku přibývá. Lze ho však recyklovat*. [online]. 2015 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/odpadu-z-3d-tisku-pribyva-lze-ho-vsak-recyklovat-1173838>

Svět 3D tisku [online]. Filament ULTEM [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://eshop.svet-3d-tisku.cz/tiskove-struny-vysokoteplotni/ultem-1010-natural-3d-printing-filament-1-75-mm-500-g/>

ŠVECOVÁ, Lenka; VEBER, Jaromír. *Produkční a provozní management*. 1. vyd. Grada Publishing, 2021. 343 s. Expert. ISBN 978-80-271-1385-9.

Trilab [online]. Materiály pro 3D tisk [cit. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://trilab3d.com/cs/magazin/materialy-pro-3D-tisk/>

VÍŠEK, Vladimír. *Prozkoumejte nové možnosti recyklace 3D tisku na Prusa World Map! Experti z Precious Plastic nám pomáhají recyklovat 3D tiskový odpad*. [online]. 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/prusa-recycling-world-map\\_83216/](https://blog.prusa3d.com/prusa-recycling-world-map_83216/)



Wikipedia. *Recyklace plastů* [online]. 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Recyklace\\_plastů](https://cs.wikipedia.org/wiki/Recyklace_plastů)

Zákony pro lidi. *Sbírka zákonů* [online]. 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz>

Zewa.net. *Jak můžeme recyklovat plasty* [online]. 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.zewa.net/cz/rodinny-zivot/napady-do-bytu/jak-muzeme-recyklovat-plasty-a-co-se-z-nich-vyrabi/>

## Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Princip technologie SLA.....                 | 11 |
| Obr. 2 Historická časová osa.....                   | 12 |
| Obr. 3 Technologie aditivní výroby .....            | 14 |
| Obr. 4 Princip vrstvení u technologie FFF/FDM ..... | 15 |
| Obr. 5 Tiskárny metody FFF/FDM.....                 | 15 |
| Obr. 6 Přilnavost 1. vrstvy.....                    | 16 |
| Obr. 7 SLA metoda .....                             | 18 |
| Obr. 8 DLP metoda.....                              | 18 |
| Obr. 9 MSLA metoda .....                            | 19 |
| Obr. 10 Výrobní závody v ČR.....                    | 29 |
| Obr. 11 Schéma oddělení PAP.....                    | 31 |
| Obr. 12 Maketa světla.....                          | 37 |
| Obr. 13 Přípravek s magnety.....                    | 38 |
| Obr. 14 Šablona.....                                | 39 |
| Obr. 15 Vrtací přípravek .....                      | 40 |
| Obr. 16 Oddělovač pro kontrolu lícování .....       | 41 |
| Obr. 17 Štítek odpadu z 3D tisku.....               | 43 |
| Obr. 18 Mapa – rozložení farem .....                | 45 |

### Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Polostrukturovaný dotazník k současnému stavu 3D tisku ..... | 34 |
| Tab. 2 Počet výtisků za rok v ks a kg na oddělení.....              | 41 |
| Tab. 3 Rozdělené celkové množství na materiály .....                | 42 |
| Tab. 4 Počet tiskáren na oddělení .....                             | 46 |

|  |    |
|--|----|
| Tab. 5 Příklad sledovaných informací o 3D tisku..... | 50 |
| Tab. 6 Návratnost odpadu a úspora nákladů.....       | 56 |

## ANOTAČNÍ ZÁZNAM

|   |  |                      |      |
|---|--|----------------------|------|
| <b>AUTOR</b>                              | Bc. Tereza Rychetníková  |                      |      |
| <b>STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE</b> | Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců a nákupu   |                      |      |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>                        | Koncept separace a sběru odpadu z 3D tisku   |                      |      |
| <b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>                      | prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.   |                      |      |
| <b>KATEDRA</b>                            | KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality   | <b>ROK ODEVZDÁNÍ</b> | 2024 |
| <b>POČET STRAN</b>                        | 68   |                      |      |
| <b>POČET OBRÁZKŮ</b>                      | 18   |                      |      |
| <b>POČET TABULEK</b>                      | 6  |                      |      |
| <b>POČET PŘÍLOH</b>                       | 0  |                      |      |
| <b>STRUČNÝ POPIS</b>                      | <p>Téma diplomové práce je koncept separace a sběru odpadu z 3D tisku.</p> <p>Cílem této práce je navrhnout koncept separace a sběru odpadu z vybrané 3D tiskové farmy a výtisků po době životnosti z provozů, ve kterých se používají. Koncept bude zaměřen na odpad a výtisky vzniklé technologií FFF (Fused Filament Fabrication).</p> <p>Celkový výsledek diplomové práce po ekonomickém vyhodnocení poukazuje na to, že navrhovaný postup při zavedení daných kroků povede k úspoře nákladů pro oddělení.</p> |                      |      |
| <b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>                      | 3D tisk, separace odpadu, sběr odpadu, recyklace, technologie 3D tisku, materiály 3D tisku   |                      |      |

## ANNOTATION

|                             |  |             |      |
|-----------------------------|--|-------------|------|
| <b>AUTHOR</b>               | Bc. Tereza Rychetníková  |             |      |
| <b>FIELD</b>                | International Supply Chain Management and Procurement  |             |      |
| <b>THESIS TITLE</b>         | The concept of separation and waste collection from 3D printing  |             |      |
| <b>SUPERVISOR</b>           | prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.   |             |      |
| <b>DEPARTMENT</b>           | KRVLK -<br>Department of<br>Production,<br>Logistics and<br>Quality<br>Management  | <b>YEAR</b> | 2024 |
|                             |  |             |      |
| <b>NUMBER OF PAGES</b>      | 68   |             |      |
| <b>NUMBER OF PICTURES</b>   | 18   |             |      |
| <b>NUMBER OF TABLES</b>     | 6  |             |      |
| <b>NUMBER OF APPENDICES</b> | 0  |             |      |
|                             |  |             |      |
| <b>SUMMARY</b>              | <p>The topic of the thesis is Concept of waste separation and collection from 3D printing.</p> <p>The aim of this work is to propose a concept for the separation and collection of waste from a selected 3D printing farm and post-life prints from facilities where they are used. The concept will be focused on waste and prints generated by Fused Filament Fabrication (FFF) technology.</p> <p>The overall result of the diploma thesis after economic evaluation shows that the proposed procedure for the implementation of the given steps will lead to cost savings for the department.</p> |             |      |
| <b>KEY WORDS</b>            | 3D printing, waste separation, waste collection, recycling, 3D printing technology, 3D printing materials  |             |      |