

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Metody dokončovacích povrchových úprav 3D vytištěných plastových modelů

Methods of Finishing Surface Treatment 3D Printed Plastic Models

Student:

Adam Jašek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Jašek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Metody dokončovacích povrchových úprav 3D vytištěných plastových modelů**  
**Methods of Finishing Surface Treatment 3D Printed Plastic Models**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Rozbor problematiky povrchových úprav plastových dílů.
3. Technologie povrchových úprav a moderní trendy.
4. Návrh dostupných efektivních technologií pro dokončení povrchů.
5. Zhodnocení a závěr.

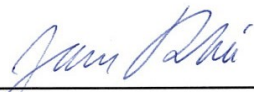
Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 1994. 76s. ISBN 80-7078-235-8.  
[2] KREBICH, V. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*. Praha, CVUT 1984.  
[3] GROYSMAN, Alec. *Corrosion for everybody*. Vyd. 1. New York: Springer, 2010, 368 s. ISBN 978-90-481-3476-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Pagáč, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016  
Datum odevzdání: 15.05.2017

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

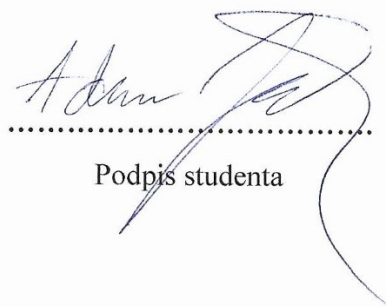
  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

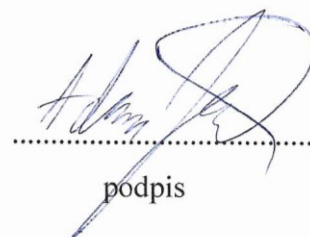
V Ostravě ..... 27.5.2017 .....

  
.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....<sup>17.5.2017</sup>



.....  
podpis

Adam Jašek

Na Lani 226, Nový Jičín, 741 01

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

J AŠEK, A. *Metody dokončovacích povrchových úprav 3D vytištěných plastových modelů: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 42 s., Vedoucí práce Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá problematikou aditivní výroby (3D tiskem) plastových modelů, moderními technologickými postupy s ohledem na povrchové (post-procesní) úpravy. V úvodu práce se nachází přehled dostupných technologií 3D tisku a technologií povrchových úprav plastových modelů ověřených v praxi. Praktická část práce je zaměřena na aplikování dokončovacích povrchových úprav na skutečném prototypu určeném pro automobilový průmysl (využití 3D tisku v oblasti Automotive).

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

J AŠEK, A. *Methods of Finishing Surface Treatment 3D Printed Plastic Models: bachelor thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2017, 42 p. Thesis head: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the issue of additive production (3D printing) of plastic models; modern technological procedures with regard to surface (post-processing) modifications. An overview of the available 3D printing technologies and the technologies of surface treatment of plastic models which were verified in practice could be found in the introduction of this thesis. The practical part of this thesis is focused on applying the finalizing surface modification on a real prototype designed for the automotive industry (the usage of 3D printing in the automotive industry).

# Obsah

Obsah .....	6
Seznam použitých značek a symbolů .....	8
Úvod.....	9
Cíle bakalářské práce jsou: .....	9
1.    Technologie 3D tisku.....	10
1.1    Princip technologie 3D tisku.....	11
1.2    Výrobní procesy dle normy ISO/ASTM 52900:2015 .....	11
1.2.1    Selective Laser Sintering - SLS .....	12
1.2.2    Fused Deposition Modeling – FDM .....	12
1.2.3    Stereolitografie – SLA .....	13
1.2.4    Electronic Beam Melting – EBM .....	14
1.2.5    PolyJet Matrix Technology.....	14
2.    Povrchové úpravy plastových modelů .....	15
2.1    Dokončovací operace pro zlepšení kvality povrchu .....	15
2.1.1    Tryskání .....	15
2.1.2    Omílání .....	16
2.2    Lepení.....	17
2.3    Dokončovací operace finální.....	19
2.3.1    Lakování .....	19
2.3.2    Pokovování .....	20
2.3.3    Chemické pokovování .....	21
2.3.4    Galvanické pokovování .....	21
2.3.5    Pokovování ve vakuu.....	22
2.3.6    Speciální způsoby pokovování .....	23
2.3.7    Dezénování .....	24
2.3.8    Leštění.....	24
3.    Praktické zkušenosti s povrchovými úpravami .....	25

3.1	Příprava 3D dat .....	25
3.2	Tisk modelu a post-procesing .....	28
3.3	Základní vrstva.....	30
3.4	Broušení .....	32
3.5	Lakování a sušení.....	33
3.6	Pokovování.....	35
3.7	Graining.....	37
	Závěr .....	39
	Seznam obrázků.....	40
	Seznam použité literatury .....	42

## Seznam použitých značek a symbolů

3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitributadienstyren
AMF	Zkratka digitálního formátu
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
FDM	Fused Deposition Modeling
MM	Milimetr
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PVC	Polyvinylchlorid
PS	Polystyren
PT	Polymerová tekutina
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Stereolitografie
STP	Zkratka digitálního formátu
UV	Ultrafialové záření



## Úvod

V současné době se stále hledají a vyvíjejí nová řešení, jak vyrábět rychleji, efektivněji a hlavně levněji. Jednou z cest, která má velký potenciál těchto mezníků dosáhnout nejen ve strojírenství, jsou aditivní technologie neboli 3D tisk. Pomocí 3D tisku lze vyrobit objekty, které se nedají vytvořit jinou dostupnou technologií (např. nerozebíratelné spoje). 3D výtisky mnohdy dosahují úrovně pouhých polotovarů a z tohoto důvodu je třeba se zaměřit na vývoj odpovídajících dokončovacích operací. Teoretická část bakalářské práce se zabývá problematikou jednotlivých metod 3D tisku, jejich výhodami a nevýhodami. Následně jsou v bakalářské práci detailně popsány dostupné dokončovací povrchové úpravy, které se běžně užívají v post-procesní etapě k dosažení požadované kvality čili jakosti povrchu prototypů v praxi.

### **Cíle bakalářské práce jsou:**

- Shrnutí aktuálních metod 3D tisku a jeho historie.
- Rozbor dokončovacích operací.
- Aplikovatelnost povrchových úprav užívaných v automobilovém průmyslu včetně praktického ověření.

Vybrané povrchové úpravy byly v rámci bakalářské práce aplikovány a prakticky odzkoušeny na prototypu nově vyvíjeného světlometu automobilu.

## 1. Technologie 3D tisku

První zmínku o tisku fyzických 3D objektů z digitálních dat zveřejnil vynálezce Charles Hull roku 1984. Autor tuto techniku pojmenoval jako „stereolitografii“, kterou si nechal patentovat v roce 1986. V následujících letech založil společnost „3D Systems“ a sestavil první zařízení pro 3D tisk. V těchto letech nebyl pojem „3D tiskárna“ znám, pojmenoval tedy svoje zařízení jako „stereolitografní aparát“, je zachycen na obr. 1. Tato technologie byla nová, a tudíž nedokonalá. Firma „3D Systems“ dodala prototypy pouze vybraným zákazníkům a na základě jejich zpětné vazby přístroj vylepšovala a zpřístupnila jej veřejnosti pod názvem „SLA-250“ až v roce 1988. Vlivem konkurence působící na trhu vznikly nové technologie 3D tisku, jako jsou modelování depozitní taveniny (FDM) využívající termoplast, selektivní laserové spékání (SLS) pracující s CO<sub>2</sub> laserem a práškovým materiálem. [1]



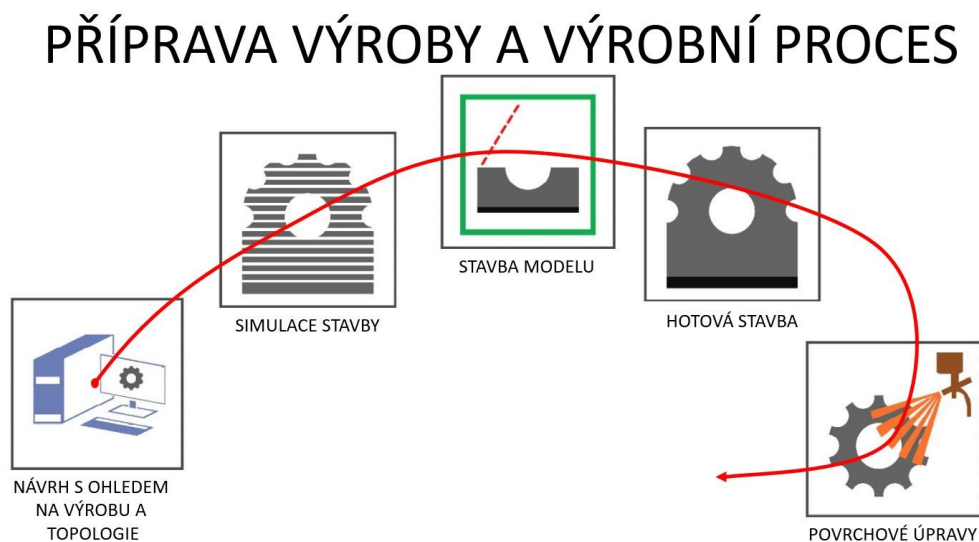
*Obrázek 1 - SLA-250 [2]*

## 1.1 Princip technologie 3D tisku

Technologie 3D tisku využívá digitální 3D data předem připravená v CAD softwarech. Nejznámější a cenově dostupné softwary jsou Autodesk Inventor, SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Fusion360, Onshape, Catia atd. Nejrozšířenějším formátem pro ukládání 3D dat pro 3D tisk jsou formáty STL a AMF (Additive Manufacturing File Format). Dalším způsobem, jak získat požadovaná data, je použít tzv. 3D skener. Výsledkem skenování je množství (mrak) bodů, kterými je proložena rovina. Tato 3D data je nutné připravit pro samotný 3D tisk. Nutností je vhodně zvolit rozměry modelu a pro jeho snadné sestavení také ideální tolerance. Následuje rozřezání modelu do vrstev, ve kterých se prototyp tiskne na 3D tiskárně. Výška jednotlivých vrstev se volí podle používané technologie 3D tisku a 3D tiskárny, která může být omezena technickými parametry (rozměry stavební komory, výkon atd.).

## 1.2 Výrobní procesy dle normy ISO/ASTM 52900:2015

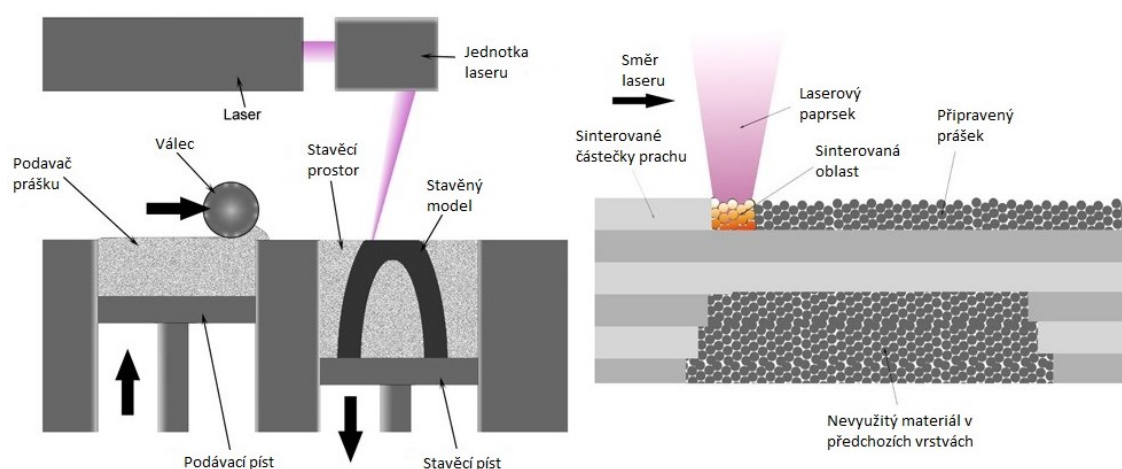
V této kapitole, která byla sepsána na základě normy ISO/ASTM 52900:2015, je uveden popis dostupných technologií. Citovaná norma zahrnuje 7 metod aditivní výroby (vytlačování materiálu, nanášení tryskáním, tryskání pojiva, laminace plátů, fotopolymerace, spékání práškové vrstvy, přímé energetické nanášení) mezi, které patří dvě metody (spékání práškové vrstvy a přímé energetické nanášení) určené pro práci s kovy. Tyto dvě metody jsem z následujícího přehledu vynechal z důvodu specializace bakalářské práce na zpracování plastů. Postup procesu výroby prototypu je zobrazen na obr. 2. [7]



Obrázek 2 - Schéma procesu výroby prototypu. [7]

### 1.2.1 *Selective Laser Sintering - SLS*

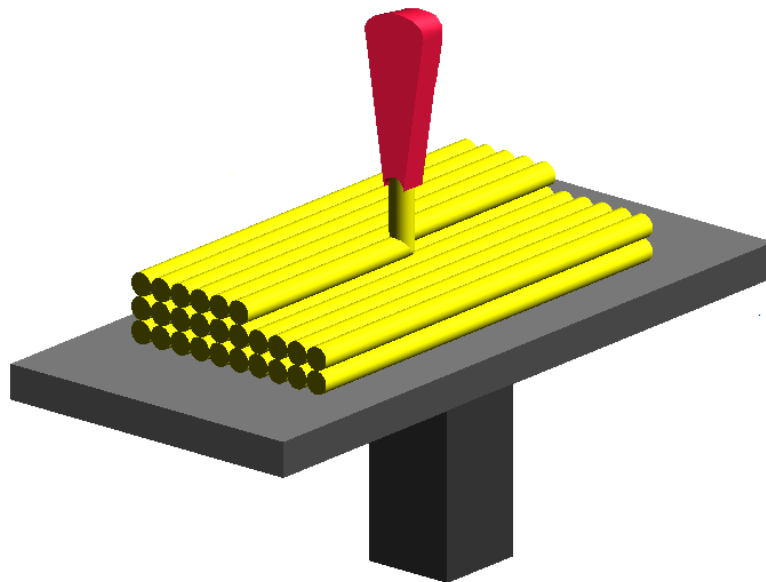
Jednou z nejstarších technologií 3D tisku prototypů je Selective Laser Sintering. K natavení a následnému spékání materiálu dochází pomocí výkonného laseru. Princip tiskárny je podobný jako u ostatních 3D tiskáren a tím je tisk ve vrstvách. K mnohým výhodám spojeným s touto technologií se řadí různorodost materiálů použitelných pro 3D tisk, mezi něž patří sklo, plasty a kov. Během stavby je tištěný objekt stále obklopen neroztaveným materiálem, není tedy nutná tvorba přidavných podpěr ani při tisku složitých objektů. Hlavními nevýhodami dané technologie jsou vysoká energetická náročnost, pořizovací cena zařízení a nemožnost tisku uzavřených dutin. Princip SLS tisku je uveden na obr. 3. [4]



Obrázek 3 - Princip SLS tisku [4]

### 1.2.2 *Fused Deposition Modeling – FDM*

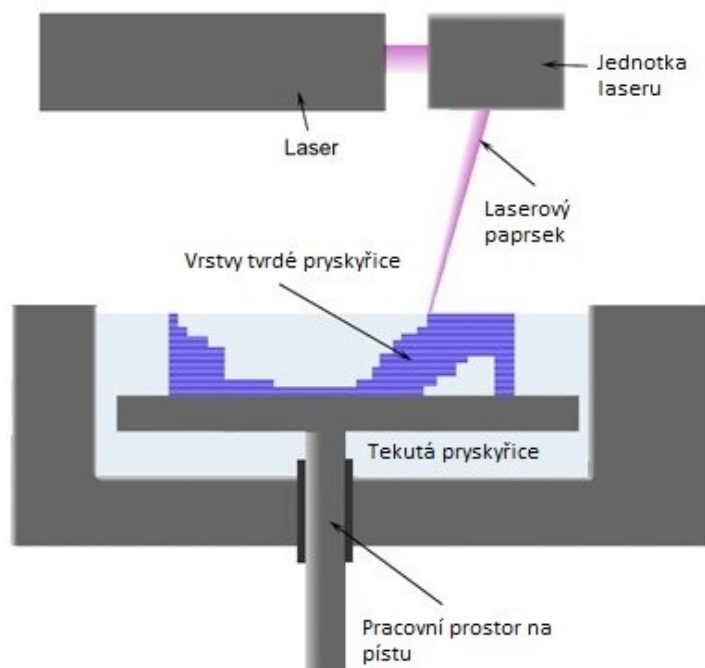
Současnou nejrozšířenější metodou 3D tisku prototypů a funkčních vzorků je technologie FDM, která je v praxi velmi často spojována se stolním 3D tiskem. Princip této technologie není na rozdíl od ostatních složitý. Materiál je do tiskové hlavy přiváděn pod tlakem. V tiskové hlavě se materiál roztaví a vychází na pracovní plochu tryskou, jejíž ústí má zpravidla průměr 0,15 mm. Celá sestava se během tisku pohybuje nad pracovním stolem a z roztaveného materiálu je po vrstvách vytvářen výsledný objekt. Schematický princip FDM tisku je na obr. 4. Největším dodavatelem tohoto typu tiskáren je firma Stratasys. [4]



Obrázek 4 - Princip FDM tisku [4]

### 1.2.3 Stereolitografie – SLA

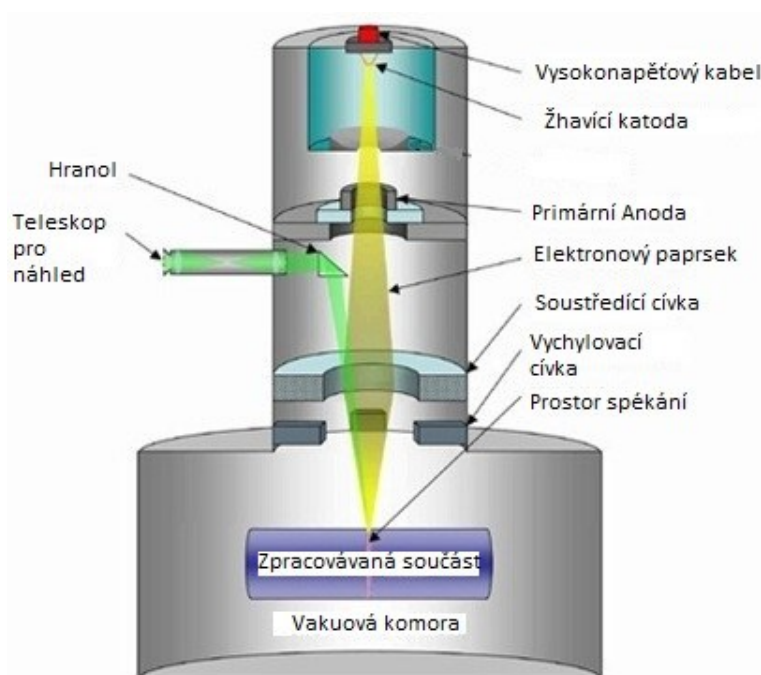
Tato technologie je obdobou metody SLS. Jednotlivé vrstvy se vytváří pomocí ultrafialového paprsku, který vrstvu pálí do polymerové tekutiny. Během procesu se PT vytvrzuje pomocí UV záření. Po dokončení jednotlivé vrstvy se tištěný objekt posune hlouběji do PT a začne tvorba další vrstvy – viz obr. 5. Tuto technologii vynalezl Charles Hull a její nevýhodou je malý sortiment použitelných materiálů. [4]



Obrázek 5 - Princip SLA tisku [4]

### 1.2.4 *Electronic Beam Melting – EBM*

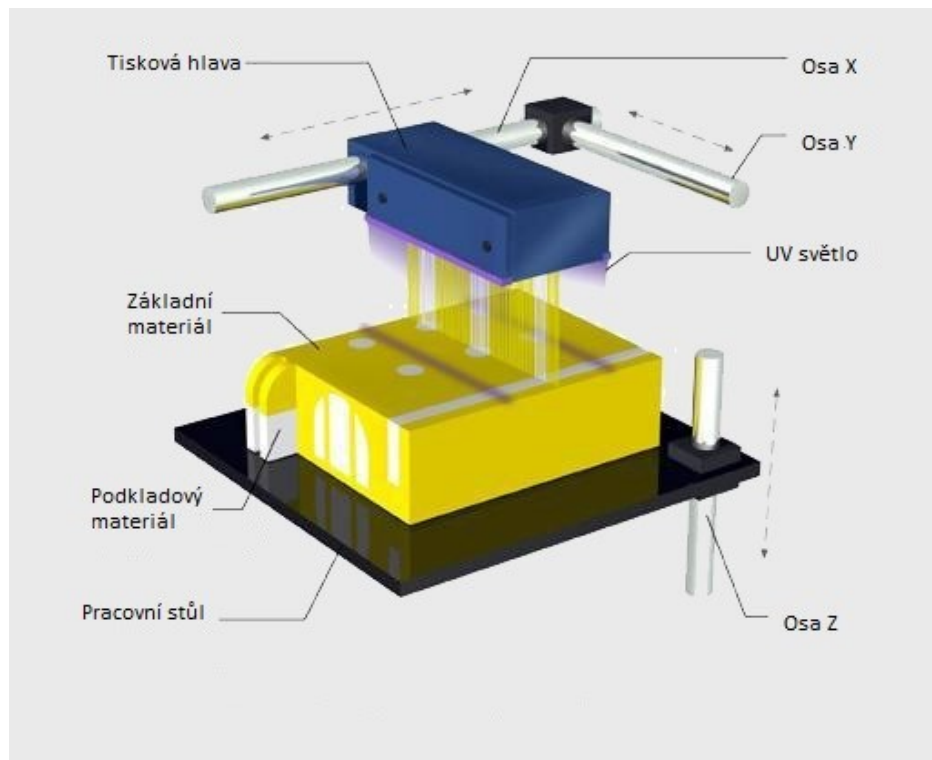
Tato metoda není příliš rozšířená z důvodu technické náročnosti. K vytvoření objektu se užívá usměrněný proud elektronů posílaný do titanového prachu. Výhodou oproti ostatním metodám jsou výjimečná přesnost a skvělé technické vlastnosti vytištěných modelů. Zázemí této technologie je však jedno z nejdražších, neboť tisknout lze pouze bez přítomnosti vzduchu. Schéma EBM Tisku je zobrazeno na obr. 6. [4]



Obrázek 6 - Princip EBM tisku [3]

### 1.2.5 *PolyJet Matrix Technology*

Technologie PolyJet Matrix se velice podobá práci inkoustových tiskáren. Místo kapek inkoustu tiskárna tryská na pracovní povrch kapky tekutého fotopolymeru. Poté se tyto kapičky vytvrdí UV zářením. Tento postup se opakuje s každou vrstvou, následně lze objekt ihned použít bez nutnosti dodatečného vytvrzování. Uvedený systém je schopen tisknout spolu s fotopolymerem také podpurný materiál na gelové bázi tvořící podpory převisů a složitých geometrií, které se mohou na modelu vyskytnout. PolyJet Matrix umožňuje tisk s více typy materiálů v jednom tisku. Takto lze vytvořit složitější objekty s odlišnými, předvídatelnými vlastnostmi materiálu. Princip PolyJet tisku je ukázán na obr. 7. [5]



Obrázek 7 - Princip PolyJet tisku [5]

## 2. Povrchové úpravy plastových modelů

### 2.1 Dokončovací operace pro zlepšení kvality povrchu

Tyto povrchové úpravy se aplikují před finální povrchovou úpravou. Mají minimální vliv na vzhled výrobku. Jejich hlavním úkolem je sestavit model dohromady a připravit jej k aplikaci povrchových úprav majících hlavní dopad na vzhled a vlastnosti povrchu.

#### 2.1.1 Tryskání

Tryskání dílů je důležitá post-procesní operace, díky níž získá povrch produktu lepší vlastnosti. Výsledkem této operace je nabytí jednolitého povrchu a snížení drsnosti. V případě nekvalitního tryskání se nehomogenita povrchu projeví například při následném barvení ve formě různých skvrn a špatných barevných odstínů.

### 2.1.2 *Omílání*

Omílání se aplikuje na díly, u kterých se požaduje hladký povrch, aniž by se využilo tmelení s následným přebroušením. Omílání dílů probíhá společně s abrazivním materiálem v bubnu a díly se při něm zbavují své hrubosti. Ideální použití je pro sériové díly, kde lze takto dosáhnout rovnoměrného povrchu stejného pro každý kus. Díly však musí být bez detailních prvků, k jejichž odstranění by během procesu došlo.

### 2.1.3 *Tmelení*

Tmelení s následnou operací lepení se využívá u dílů větších, než je samotný stavěcí prostor (obr. 8). Model se nejprve rozdělí na dílčí části a ty se po vyrobení slepí dohromady a zatmelí. Během procesu řezu se na díle tvoří zámky, které zajišťují pevnost a kompaktnost lepeného spoje. Pevnostní vlastnosti celého dílu zůstanou zachovány. Zmíněný tmel tvoří lepidlo smíchané s práškem z materiálu, jenž byl použit pro výrobu dílů.



Obrázek 8 - Stavěcí prostor



## 2.2 Lepení

Lepení plastů lze charakterizovat jako technologický proces, u kterého se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných nebo odlišných materiálů s použitím zvoleného adheziva (lepidla). Lepení plastů se jeví jako jednoduchá technologie, spojují se totiž polymery s polymery. Ve skutečnosti je však velmi obtížné kvůli rozdílným molekulovým hmotnostem materiálů a množstvím přísad (barvy, změkčovadla, stabilizátory), které lepení přímo brání. Výhodou lepení je možnost spojovat jakékoliv materiály a díly různých tloušťek. Při lepení nedochází k narušení struktury jako na příkladu nýtování, k ovlivnění nebo narušení struktury materiálů jako při svařování a zůstává zachován celkový vzhled produktu. U dynamického namáhání rozvádí lepený spoj napětí rovnoměrněji a zároveň jsou spoje těsné a nepropustné pro plyny a páry. K dalším výhodám technologie lepení patří jednoduchý postup práce, relativně velká pevnost spoje při malé hmotnosti spojovací látky, možnost slepovat i ohebné předměty a při správném provedení lepeného spoje minimální lokální koncentrace napětí. Hlavními nevýhodami této technologie jsou nutná dokonalá příprava lepených povrchů, doba potřebná k vytvrzení nebo ztuhnutí lepidla, nižší tepelná (v některých případech i chemická a mechanická) odolnost lepeného spoje vzhledem k základnímu materiálu a nízká odolnost proti odlupování adheziva. Pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je třeba zajistit správný konstrukční návrh spoje, odpovídající volbu materiálů jak lepidla, tak lepených ploch. Kvalitu lepeného spoje mohou výrazně ovlivnit povrchové úpravy spojovaných ploch a zachování předepsaného postupu při užití zvoleného lepidla. K vytvoření dokonalých mechanických a fyzikálně-chemických podmínek pro vznik pevných vazeb je třeba dodržet všechny tyto zásady. Většinu plastů je možno lepit téměř všemi druhy lepidel, a lze tedy konstatovat, že lepení je použitelné právě pro ty plasty, které mají vzhledem ke své chemické povaze a polárnímu charakteru dostatečnou adhezi k lepidlům.

Lepidla se dělí na několik skupin:

**Organická rozpouštědla (roztoková)** – vhodná pro PS, ABS, PMMA, PC

**Lepidla na bázi kaučuku (přilnavá)** – nízká pevnost spojů

**Tavná lepidla** – roztoky polymerů, užití pro PVC, PMMA

**Tvrditelná lepidla** (bezrozpouštědlová) – pevné spoje, reaktoplasty s kovy

Technologický postup lepení vždy obsahuje následující fáze:

**Příprava povrchu lepeného materiálu** – cílem této úpravy je co největší zvýšení smáčivosti a vznik adhezivních vazeb. Počet vazeb a tím i výsledná pevnost spoje narůstá s velikostí lepené plochy. Příprava povrchu u lepených plastů spočívá ve fyzikálních operacích (broušení, smirkování, pískování, polarizace oxidačním plamenem apod.) nebo v chemických operacích (odmašťování, použití nátěrů, primérů, moření apod.).

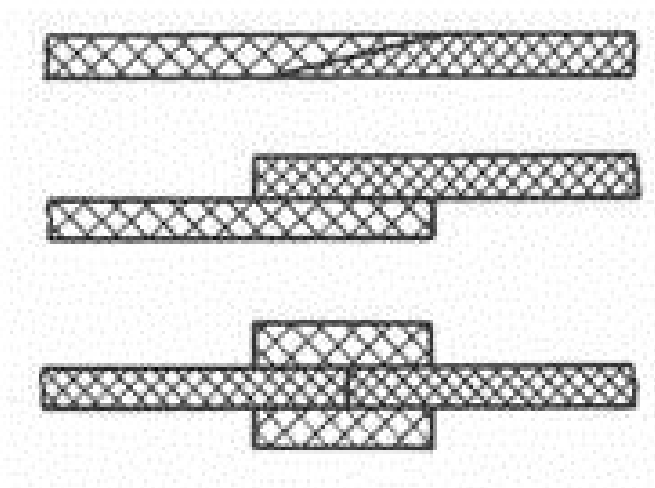
**Příprava lepidla** – minimální díky úsilí výrobců dodávat lepidla k okamžitému použití.

**Nanášení lepidla** – kvalitní lepený spoj se vytvoří nanesením souvislé a rovnoměrné vrstvy lepidla. Lepidlo lze nanášet ručně (štetec, tyčinky, štětky apod.), pomocí přípravků (vytlačovací pistole, mechanické dávkovače) a strojně (polévací zařízení, robotické rameno apod.).

**Montáž lepeného spoje** – lepidlo se projevuje svou viskozitou a přilnavostí, a proto je při lepení velmi důležitá co nejkratší tzv. montážní doba.

**Vytvoření pevného lepeného spoje** – probíhá za působení různé teploty a tlaku (15 – 25 °C - tzv. studené lepení, více jak 100 °C – lepení za horka).

Mezi základní druhy lepených spojů patří spoj zkosený, přeplátovaný a se stykovou deskou. Při namáhání lepeného spoje nejdříve dochází k deformacím lepeného materiálu a poté k deformacím samotného pojiva. Nejmenší pevnost mají lepené spoje při namáhání na odlupování – ohybem, naopak nejvíce odolávají namáhání na smyk. [6]



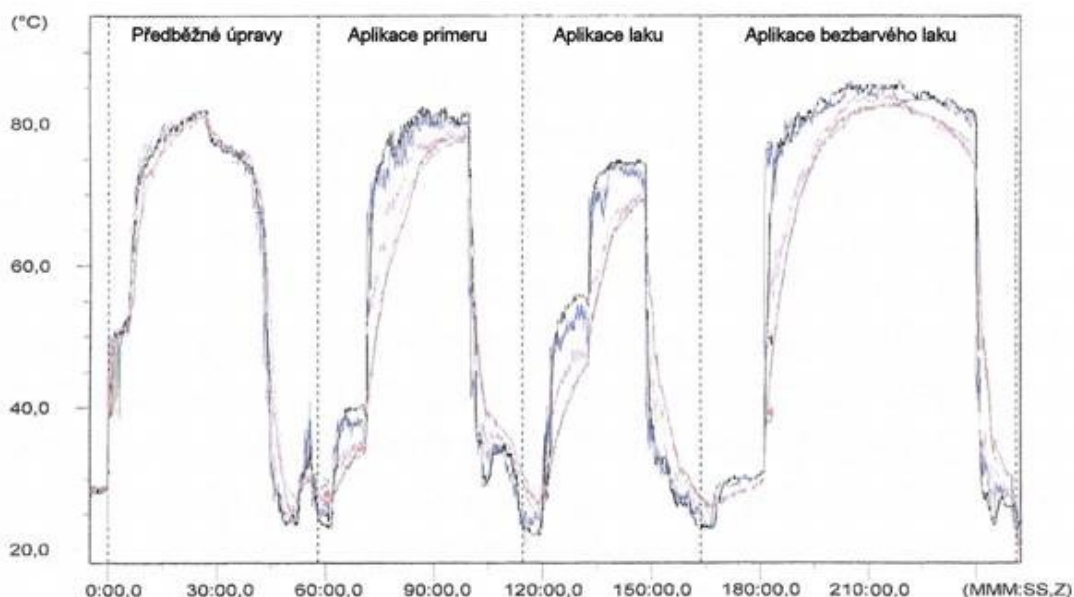
Obrázek 9 - Základní druhy lepených spojů [6]

## 2.3 Dokončovací operace finální

Povrchové úpravy této kategorie výrazně ovlivňují vzhled výrobku, sjednocují vlastnosti různých povrchů a zároveň chrání podkladový materiál proti degeneraci (např. UV zářením).

### 2.3.1 *Lakování*

Tímto postupem se po zaschnutí laku vytvoří na povrchu plastového dílce tzv. film, tenká pevná vrstva organického povlaku. Tento proces může probíhat buď fyzikální (odpařováním rozpouštědla) nebo chemickou (polymerace) cestou. V některých případech je možné užít obě metody. Výsledkem uvedeného postupu je ucelený povrch, tzv. nátěr. Ten musí plnit základní funkce, a to estetickou a ochrannou. Jedna z těchto funkcí bude vždy převládat, která to je, závisí na použití lakovaného dílu. Vlastnosti nátěru jako barva, kryvost a lesk jsou důležité z hlediska estetického a z hlediska povrchové ochrany hraje velkou roli především životnost nátěru. Tuto funkci může výrazně ovlivnit druh lakovaného materiálu, úprava povrchu a nátěrová hmota. Při lakování s cílem dosáhnout co nejvyšší životnosti povrchu je nutno dodržet následující zásady. Díl musí být důkladně odmaštěn, pak opláchnut demineralizovanou vodou a zbaven zbytkové vody. Poté následuje sušení, ochlazení, ožeh povrchu dílu, aby se docílilo zvýšení povrchového napětí a drsnosti povrchu. Na takto ošetřený povrch se nástřikem aplikuje nátěrová hmota, obvykle ve dvou vrstvách. Po vysušení činí její tloušťka přibližně 20  $\mu\text{m}$ . Po vytěkání nestálých látek následuje mezisušení (při teplotě cca 80  $^{\circ}\text{C}$ ) a nástřik bezbarvého laku ve dvou vrstvách při teplotě nižší než 35  $^{\circ}\text{C}$ . Výsledná tloušťka celého filmu pak je 30 až 40  $\mu\text{m}$ . Po opětovném vytěkání se opakuje proces sušení a ochlazení. V současné době se k lakování hojně využívají vodové laky, jejichž užití je výsledkem dlouholeté snahy o snížení množství těkavých látek. Vodové laky sestávají ze stejných složek jako laky na bázi rozpouštědel, avšak ta jsou z velké části nahrazena vodou (až 65%), k jejímuž odpaření je třeba vysokých teplot. Během postřiku se ztrácí pouze 25% obsahu vody, zatímco při postřiku rozpouštědlovými laky dochází k odpaření 50% rozpouštědla. Kvůli nutnosti dodání tepelné energie se k odpaření vody z naneseného základového laku používají ohřívání a odvětrávání místa. Před samotným lakováním se musí provést úpravy povrchu popsané výše. Poté probíhá aplikace základového laku a sušení. Na závěr se nastříká vrstva bezbarvého laku a opět následují tepelné procesy. [6]



Obrázek 10 - Průběh teplotních procesů během lakování [6]

### 2.3.2 Pokovování

Nanesením kovového povlaku na povrch výrobku se dosáhne jednak efektního kovového vzhledu a jednak změn řady vlastností: celkově se zlepší mechanické vlastnosti, zmenší se navlhavost, propustnost pro kapaliny a plyny, zvětší se odolnost vůči chemikáliím, výrobek získá optické (odrazové) vlastnosti (v automobilovém průmyslu je nejčastější pokovení parabol, zajistí se tak odraz světla ze zdroje na vozovku), zlepší se tvarová stálost proti působení zvýšené teploty a hlavně se výrazně sníží stárnutí plastu. Zásadní vliv na aplikaci této metody má způsob návrhu dílů, neboť z hlediska adheze kovového povlaku k plastu jsou rozhodující technologické podmínky zpracování (související úprava před aplikací pokovení povrchu), stejně jako konstrukční podmínky (návrh těsnících hran, úkosy, otvory) výrobku. Tenký kovový povlak na povrchu plastových výrobků se vytváří postupy, které lze podle technologických členů rozdělit na chemické, galvanické, vakuové a speciální způsoby pokovování. Stejně jako u všech povrchových úprav je třeba pokovovaný předmět předem ošetřit. Pro dosažení požadované adheze kovu na polymerní povrch se používá jemné zdrsnění s následným odmaštěním, je možno také využít leptání, povrchové zcitlivění paladiem nebo stříbrem. Jednotlivé pokovované díly nesmí obsahovat vady, nesmí být mastné, což by způsobilo nedostatečné přilnutí kovu k podkladu, a jejich povrch musí být dokonale čistý, neboť pokovením se jakékoliv smítka mnohonásobně zvýrazní. [6]

### 2.3.3 Chemické pokovování

Při chemickém pokovování (bezproudovém) je kov vylučován na povrch předmětu z roztoku soli povlakového kovu buď působením redukčního činidla trvale obsaženého v pokovovací lázni, nebo jeho dodáním až na speciálně upravený povrch předmětů. Tímto způsobem se plasty pokovují nejčastěji mědí, niklem, ale i stříbrem a zlatem. Kovová vrstva se vylučuje rovnoměrně po celém povrchu i u složitých výrobků a její dosažitelná tloušťka je kolem 10  $\mu\text{m}$ . [6]

### 2.3.4 Galvanické pokovování

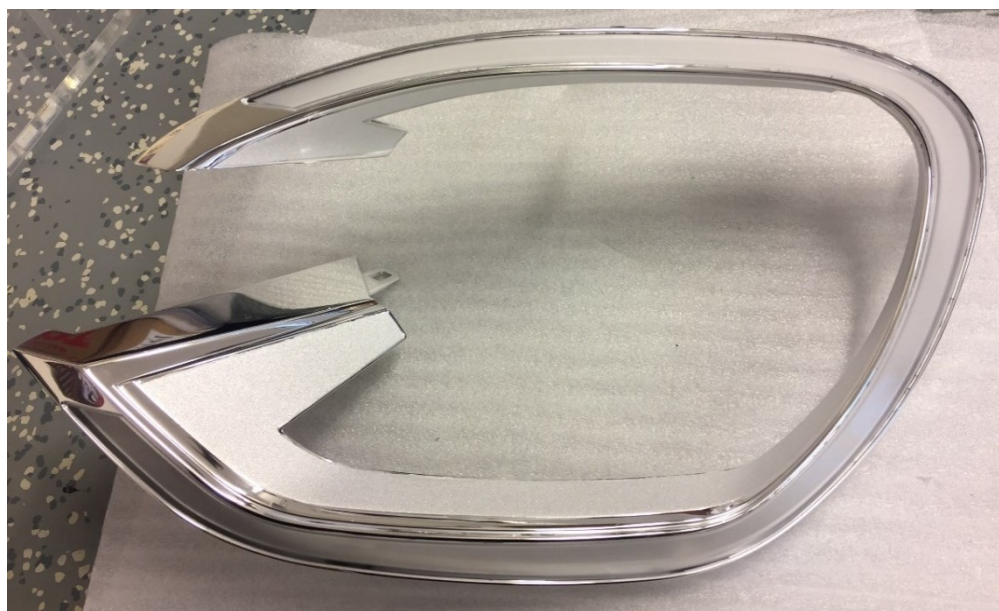
Galvanické pokovování spočívá ve vyloučení kovu z roztoku pomocí stejnosměrného elektrického proudu. Základní vodivá vrstva se na plasty vytváří chemickým pokovením. Dosažitelná tloušťka kovové vrstvy není omezena a může být složena i z více vrstev nanesených postupně. Galvanicky se pokovují téměř všechny termoplasty, ale nejlepších výsledků bylo dosaženo u ABS, který má nejlepší adhezi. [6]



Obrázek 11 - Příklad galvanického poměření

### 2.3.5 Pokovování ve vakuu

Pokovování ve vakuu je metoda napařování kovů, nejčastěji hliníku, na plast za velmi nízkých tlaků ( $1,5 \times 10^{-4}$  bar – vysoké vakuum) a to za teplot, při nichž dochází k odpařování kovu. Předměty musí být umístěny ve vzdálenosti menší, než je volná dráha molekul par kovu, v případě hliníku je to 60 cm. Tloušťka nanesené vrstvy se pohybuje v 0,1 až 1  $\mu\text{m}$ . Během celého procesu pokovení se kováčská koš (ocelová konstrukce, na které jsou umístěny díly k pokovení, výbojová tyč, wolframové meandry s hliníkem) rovnoměrně otáčí kolem své osy v kováčce stále stejným směrem. Proces pokovení je rozdělen na 3 kroky. V prvním kroku se vytvoří nízké vakuum ( $2 \times 10^{-2}$  bar) pomocí dvou druhů vývěr. Proces odsátí pomocí rotační a Rootsovy vývěry trvá několik minut. Jakmile je dosaženo požadovaného vakua, provede se čistící výboj. Ten spočívá v bombardování povrchu dílů volnými elektrony. Doba čištění se pohybuje kolem 5 minut. Druhým krokem je dosažení vysokého vakua. V tomto kroku spolupracují vývěry s difúzním lapačem. Olej v difúzním lapači se zahřeje na teplotu 200 °C, při které se začne odpařovat. Vzniklé olejové páry pohltí zbylé molekuly kyslíku a ulpí na stěnách lapače. Kdyby nebyl tento krok dokončen zdárně, hliník by se zcela a bez užitku vypařil. Tento krok trvá asi 30 minut, a jakmile je dokončen, zahájí se samotné pokovování. Do wolframových meandrů je přivedeno napětí a tím se zahřejí. Při dosažení 1400-1600 °C se hliník zcela odpaří. Páry hliníku se šíří přímočaře všemi směry jako světlo a při dopadu na jakýkoliv povrch (pokovovaný kus, závěsy) páry zkondenzují a vytvoří hliníkovou vrstvu.



Obrázek 12 - Pokovená součást s grainingem

Proces pokovení trvá přibližně 1,5 minuty. Po dokončení pokovení je nutné povrch součástí ochránit. Prostor kovičky je proto nejprve vyplněn speciálním plynem zvaným pasil (hexametyldisiloxan). Poté se na výbojovou tyč přivede napětí 1500 V a vytvoří se ionizující výboj bombardující povrch pokovených dílů a také celý prostor kovičky. Za dobu 5 minut je povrch dílů vytvrzený a chráněný tenkou vrstvou plastu. Celý proces pokovení ve vakuu od vložení kusů do kovícího koše až po jejich vyjmutí trvá kolem 60 minut. Aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost obsluhy, veškeré kroky procesu, přívody, vývody, otvory, pohyblivé části kovičky hlídají koncové spínače umístěné na ovládací konzoli. Ovládací konzole s koncovými spínači je zachycena na obr. 13 Program a doba pokovení je pro všechny díly stejná, tudíž není nutné stávající program upravovat. Kovící koš je nutné po určitém množství procesů nechat očistit. Čištění probíhá jeho namáčením v louhu.



Obrázek 13 - Ovládací panel vakuové kovičky

### 2.3.6 Speciální způsoby pokovování

Speciální postupy pokovování jsou založeny buď na žárovém stříkání kovů, které však musí mít teplotu tání nižší, než je teplota degradace plastu, nebo se kovový povlak vytváří z plynné fáze kovu za působení tepla. [6]

### 2.3.7 *Dezénování*

Dezénování slouží k výrobě prostorového vzoru na plošných materiálech. Při použití potisku lze vytvářet i barevné dezény. Principem je buď vtlačování ohřátého kovového dezénovacího válce s prostorovým reliéfem do studeného termoplastického materiálu, nebo je studený dezénovací válec vtlačován do ohřátého povrchu plastu. Druhý postup je v praxi používanější, neboť materiál se méně lepí a dezénovací válec se může intenzivně chladit pro zachování vytvořeného dezénu. Detail dezénovaného povrchu je zobrazen na obr. 14. Plastický reliéf lze vytvořit i chemickým způsobem. [6]



*Obrázek 14 - Příklad dezénovaného povrchu*

### 2.3.8 *Leštění*

Leštění je opakem dezénování a používá se pro zlepšení kvality povrchu, dosažení lesku nebo odstranění nerovností. Povrch výrobku lze leštit mechanickým způsobem (hladkými válci, lešticími kotouči), rozpouštědly nebo plamenem (nečadivým plamenem vodíku). Výsledek lešticí operace plastů je ukázán na obr. 15. Součástí leštění musí být i lešticí pasty obsahující mikroskopická zrna, která zajistí drobný úběr materiálu. [6]



*Obrázek 15 - Leštění plastů*



### 3. Praktické zkušenosti s povrchovými úpravami

Tato kapitola je zaměřena na kompletní technologický proces výroby prototypu za pomoci 3D tisku. Nejprve je nastíněn postup přípravy 3D dat, poté přiblížena problematika tisku. Zmíněné body se nazývají pre-procesing. Po jejich osvětlení je uveden sled povrchových úprav prototypu od příprav až po vznik výsledného produktu. Fáze po vyjmutí výrobku z 3D tiskárny se nazývá post-procesing.

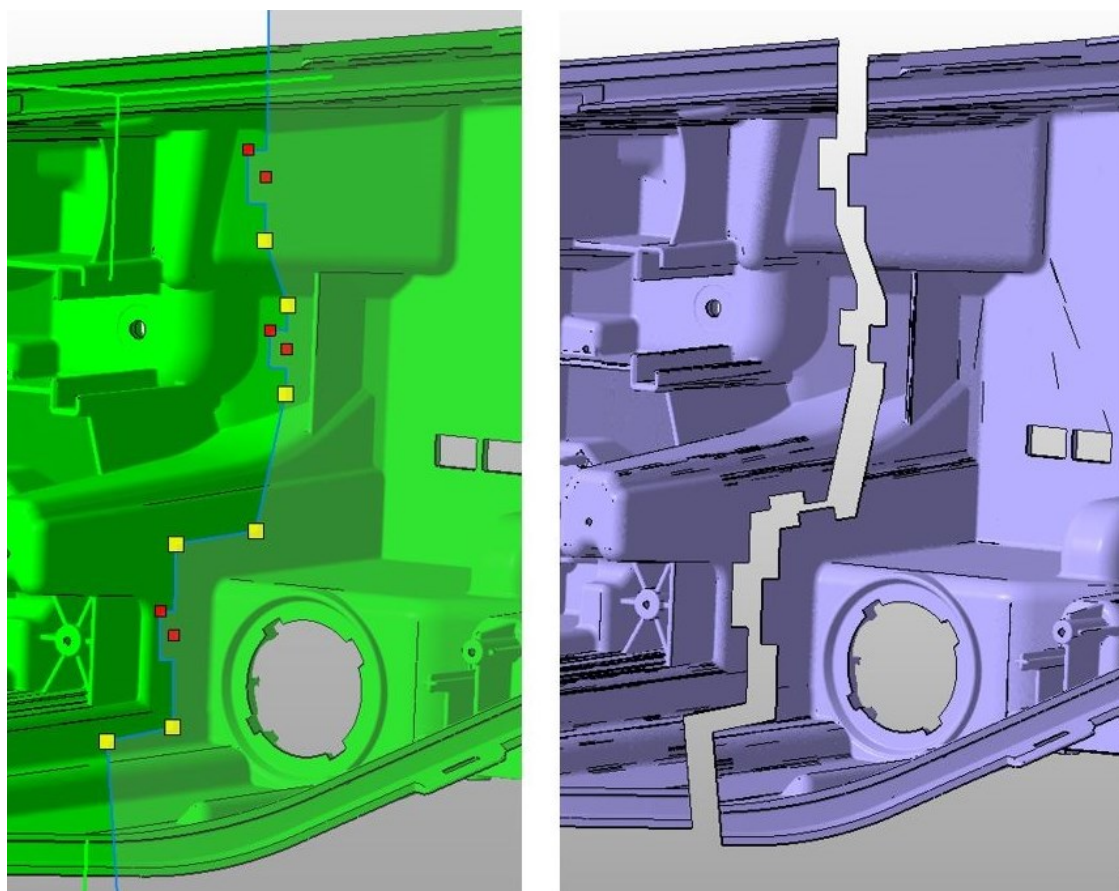
#### 3.1 Příprava 3D dat

Před vlastním spuštěním tisku bylo nutno si předem připravit daná 3D data. K jejich úpravám slouží např. program Netfabb, který podporuje rozsáhlou škálu formátů exportovaných dat. Data bývají exportována nejčastěji z programu Catia V5.

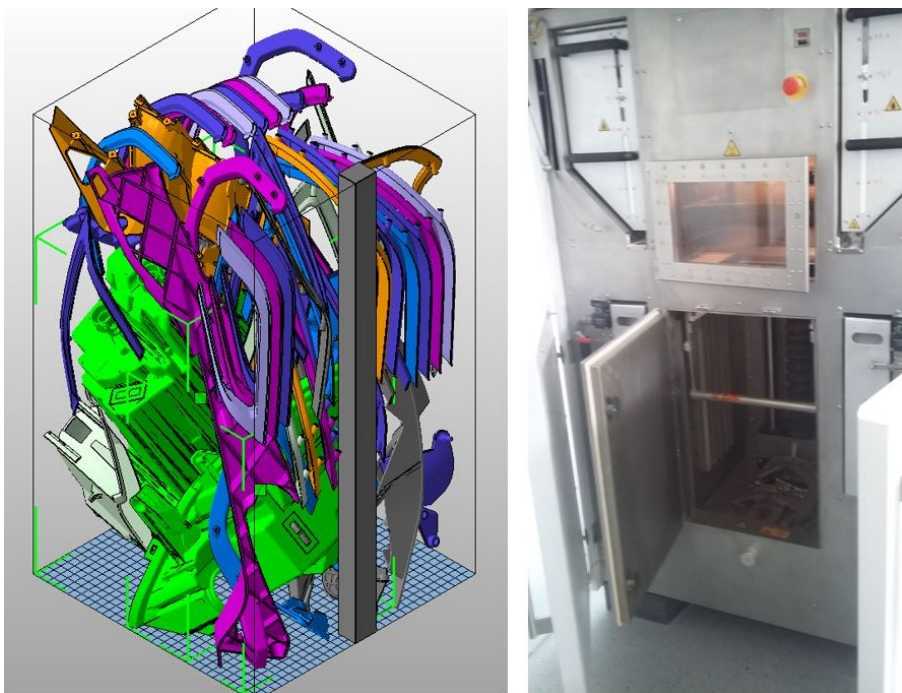
CAD FORMATS			
File Format	Description / CAD Tool	Import with netfabb	Export with netfabb
VRML	Virtual Reality Modeling Language	yes <sup>1</sup>	yes
WRL	Virtual Reality Modeling Language	yes <sup>1</sup>	yes
IGES, IGS	Initial Graphics Exchange Specification	yes <sup>1</sup>	
STEP, STP	Standard for the Exchange of Product Model Data	yes <sup>1</sup>	
IFC	Industry Foundation Classes	yes <sup>1</sup>	
JT	Jupiter File Format	yes <sup>1</sup>	
IPT	Autodesk Inventor	yes <sup>1</sup>	
IAM	Autodesk Inventor	yes <sup>1</sup>	
MODEL	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
SESSION	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
DLV	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
EXP	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
CATPART	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
CATPRODUCT	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
CATSHAPE	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
CGR	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
3DXML	CATIA V4, V5, V6	yes <sup>1</sup>	
ASM	Creo Parametric / ProE	yes <sup>1</sup>	
NEU	Creo Parametric / ProE	yes <sup>1</sup>	
PRT	Creo Parametric / ProE	yes <sup>1</sup>	
XAS	Creo Parametric / ProE	yes <sup>1</sup>	
XPR	Creo Parametric / ProE	yes <sup>1</sup>	
X_B	Parasolid	yes <sup>1</sup>	
X_T	Parasolid	yes <sup>1</sup>	
XMT	Parasolid	yes <sup>1</sup>	
XMT_TXT	Parasolid	yes <sup>1</sup>	
PRC	NX	yes <sup>1</sup>	
PRT	NX	yes <sup>1</sup>	
MF1	NX	yes <sup>1</sup>	
ARC	NX	yes <sup>1</sup>	
UNV	NX	yes <sup>1</sup>	
PKG	NX	yes <sup>1</sup>	
ASM	Solidedge	yes <sup>1</sup>	
PAR	Solidedge	yes <sup>1</sup>	
PWD	Solidedge	yes <sup>1</sup>	
PSM	Solidedge	yes <sup>1</sup>	
SLDASM	Solidworks	yes <sup>1</sup>	
SLDPRT	Solidworks	yes <sup>1</sup>	

Obrázek 16 - Podporované formáty

Důkladně přichystaná data byla vložena do stavěcího prostoru. Názorná ukázka takto přichystaných dat je na obr. 18. Úprava 3D dat byla nezbytná z důvodu omezeného stavěcího prostoru použité tiskárny. V případě této práce byl stavěcí prostor omezen na rozměry 340 x 340 x 600 mm (obr. 8). U velkých součástí přesahujících stavěcí prostor bylo nutné provést rozdělení na více částí, u nichž se později využilo lepení a tmelení. Dělení probíhalo naznačením řezných přímk a jejich vhodným umístěním do modelu. Následovalo samotné rozdělení modelu. Tento postup se opakoval, dokud nebyl stavěcí prostor efektivně vyplněn. Řezné přímk se zámky jsou zachyceny na obr. 17. Díky vytvořeným zámkům se napětí rovnoměrně přenášelo skrz celou součást. I přes toto opatření však mnohdy došlo k drobnému zborcení ploch při následných úpravách a to nejčastěji při sušení v pecích po lakování. Aby se zabránilo tomuto borcení, bylo nutno tenkostěnné modely důkladně vyžebrovat nebo zvýšit jejich členitost. Při přípravě dat bylo také třeba brát v potaz pevnost jednotlivých úchytů pro šrouby. Pokud by nebyl na hraně přechodu ploch přidán dostatečně velký rádius, bylo by velice pravděpodobné, že tzv. komínek by upadl sám při tisku, či se oddělil při vrtání závitů.



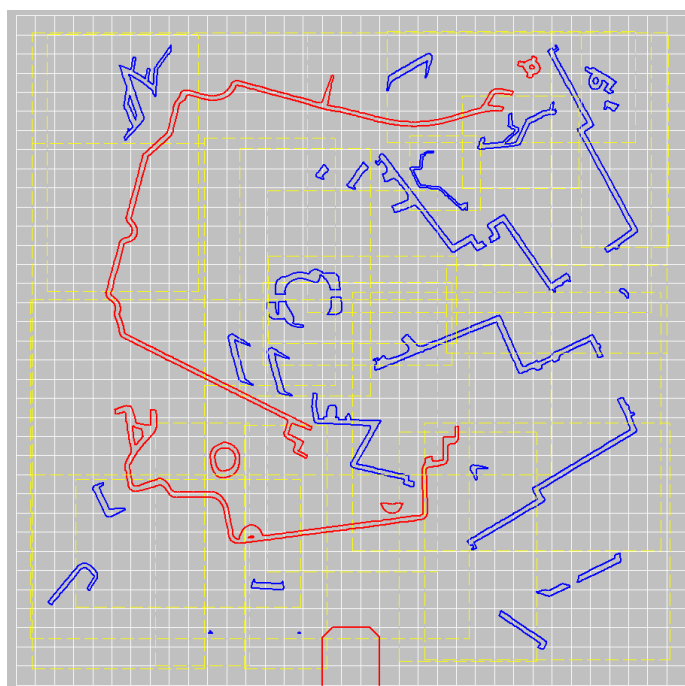
*Obrázek 17 - Řez modelu se zámky*



*Obrázek 18 - Umístění stavěcího prostoru v 3D tiskárně - Vpravo*

*Obrázek 19 - Efektivní využití stavěcího prostoru – Vlevo*

Před samotným tiskem bylo nutno nasimulovat celý proces, aby se předešlo případnému spékání jednotlivých dílů a kolizím. Při simulaci provedené v softwaru Netfabb program zkontroloval vrstvu po vrstvě. Proces simulace tisku je zobrazen na obr. 20. Po těchto úkonech byla data odeslána do tiskárny a započal tisk výrobku.



*Obrázek 20 - Simulace tisku*

### 3.2 Tisk modelu a post-processing

Tisk všech komponent probíhal v tiskovém prostoru, kde se laserem spékaly jednotlivé vrstvy všech dílů najednou. Po vytvoření každé vrstvy se stavěcí prostor posunul směrem dolů a byla nanesena nová vrstva prášku. Tisk trval 24 – 30 hodin, konkrétní doba závisí na složitosti tisknutých komponent. Po uplynutí času potřebného k tisku byl celý stavěcí prostor (viz obr. 8) vyňat z tiskárny (viz obr. 18) a nechal se vychladnout. Na to navázal post-processing.



*Obrázek 21 - Tiskový prostor*

Vychladlé díly bylo třeba separovat od spečeného prášku i od zbylého prášku, který lze opětovně použít. Separované díly jsou zobrazeny na obr. 22. Uvedená operace byla provedena v ochranném boxu s cirkulací vzduchu, který byl pod tlakem vháněn do ofukovací pistole. Po separaci bylo ještě nutné díly ofoukat od zbylých nánosů prášku. Díly byly zbaveny prášku ručně v odvětrávaném boxu. Finálně ošetřené díly jsou zachyceny na obr. 23. Spečený prášek likvidují firmy k této činnosti zaměřené.



*Obrázek 22 - Díly po separaci*

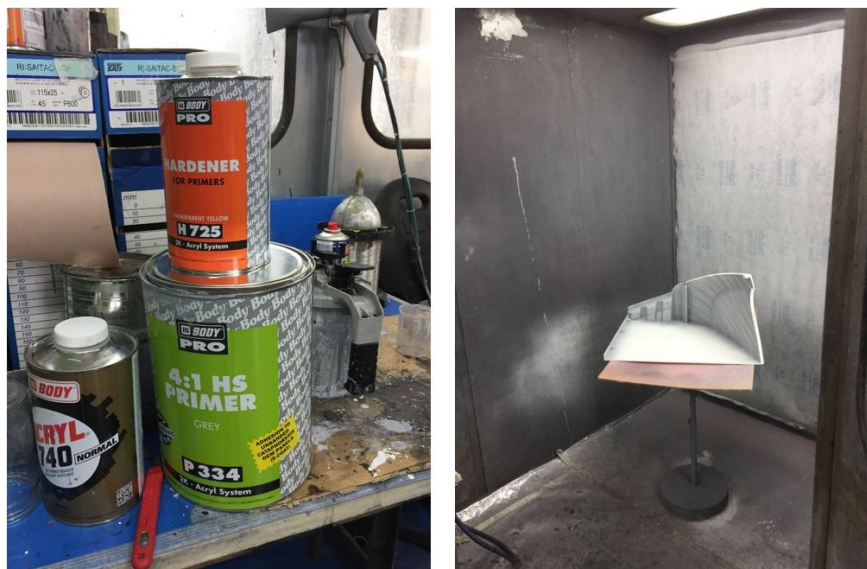


*Obrázek 23 - Díly po ofoukání*

Jednou z posledních operací před aplikací povrchových úprav bylo tryskání provedené pomocí vzduchové pistole s příměsí abraziva. Díky použití tryskacího media balotiny (tj. mikroskopických skelných částic) bylo možno dosáhnout jednoduššího odstranění ulpělého prášku ze špatně dostupných míst, jako jsou dutiny, záhyby, otvory apod. Narážením tvrdých částic balotiny na povrch součásti při rovnoměrném otryskání rovněž došlo k mírnému vyhlazení povrchu a ke snížení drsnosti a chlupatosti dílu. Jelikož všechny předchozí kroky vytvářely prašné prostředí, bylo nutné v závěru post-procesingu díly umýt ve vodě. Po oschnutí byly díly připraveny k provedení dalších povrchových úprav (aplikace základu, lakování apod.)

### 3.3 Základní vrstva

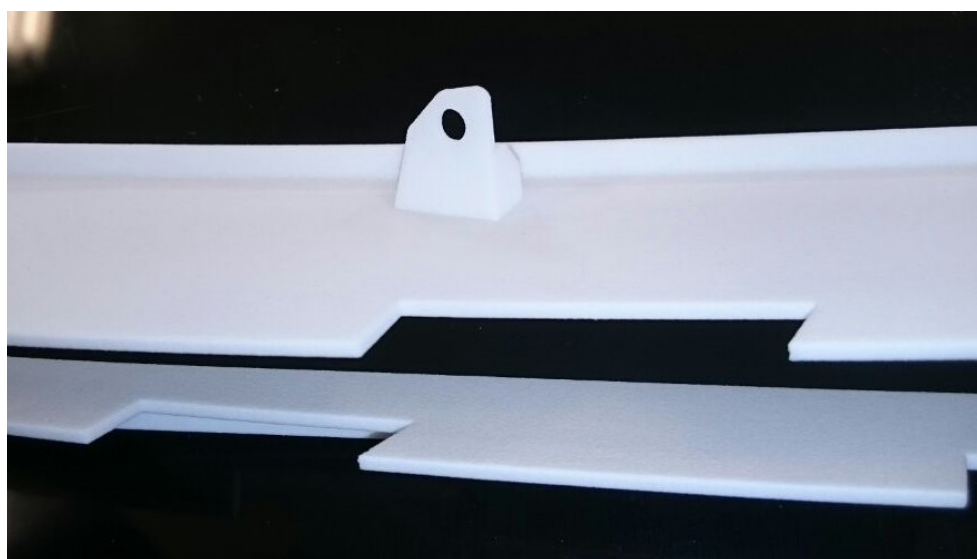
Úpravami nejčastěji prováděnými po procesu tisku je tmelení a broušení. Před těmito operacemi bylo nutno díl odmastit, a to za použití technického benzínu. K tmelení byl použit tzv. plnič naředěný ředidlem v poměru 4:1. Souprava plniče se všemi složkami je ukázána na obr. 25. Povrch před nánosem plniče je zobrazen na obr. 26.



*Obrázek 24 - Lakovací box – Vpravo*

*Obrázek 25 - Souprava plniče – Vlevo*

Pro aplikaci plniče byla užita běžná lakovací pistole a jako ochranné prostředí sloužil odvětrávaný lakovací box. Lakovací box je zachycen na obr. 24.



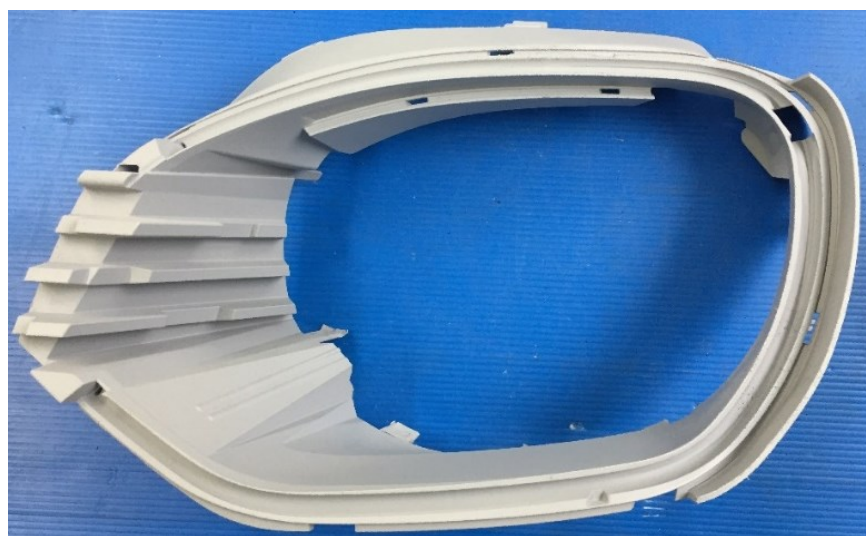
*Obrázek 26 - Povrch před aplikací plniče*

Plničem byly vyplněny nerovnosti na povrchu vzniklé při tisku jednotlivých vrstev; po jeho zaschnutí se vytvořil nový, celistvý, upravitelný povrch jako podklad pro další povrchové úpravy. Tento souvislý nános na povrchu dílu se nazývá základ. Nanesený základ je zobrazen na obr. 27.

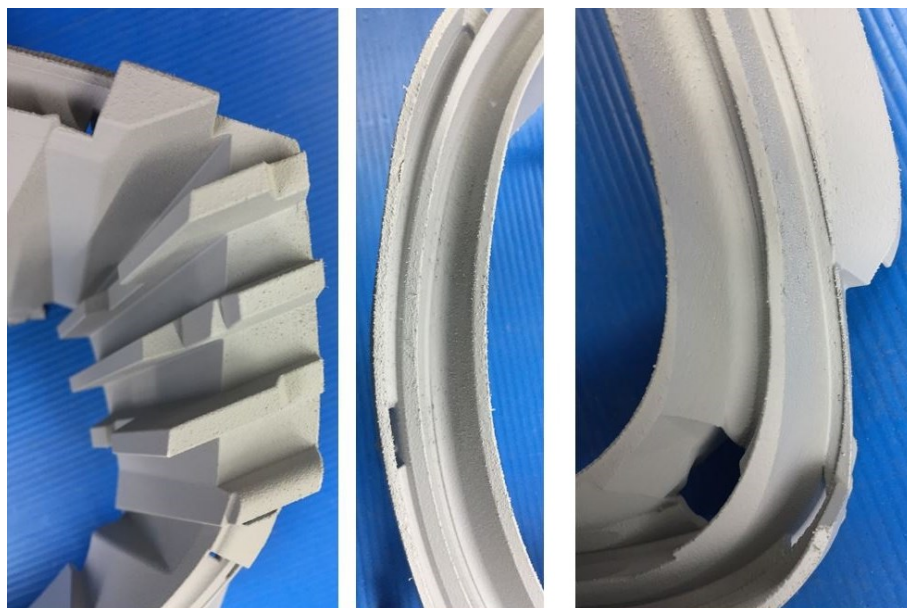


*Obrázek 27 - Struktura plniče po aplikaci*

Hlavní výhodou vytvoření základu bylo sjednocení povrchových vlastností (adheze, abraze apod.) různých materiálů. Po ošetření plničem musel díl pořádně proschnout, a to na vzduchu za pokojové teploty po dobu 24 hodin.



*Obrázek 28 - Model s aplikovaným plničem*



*Obrázek 29 - Detail povrchu po zaschnutí plniče*

### **3.4 Broušení**

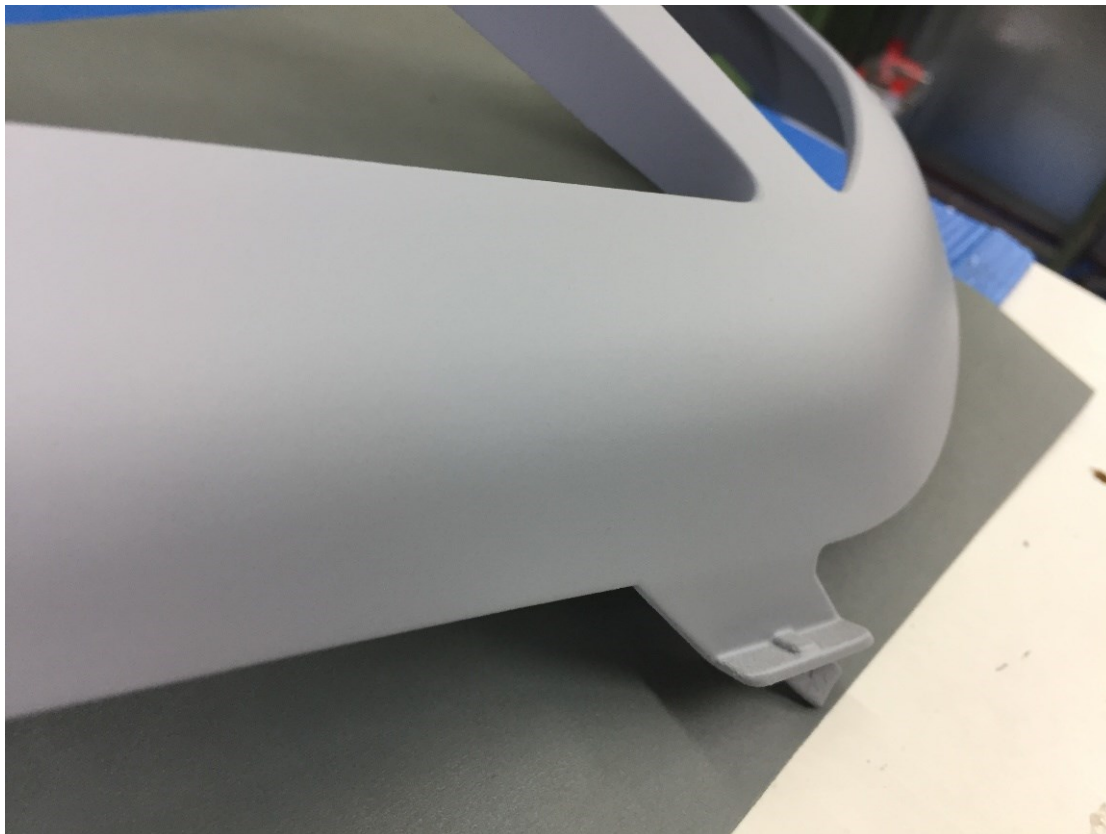
Základ vznikl nástřikem husté hmoty s drobnými částicemi, čímž byly zvýrazněny nerovnosti dané technologií tisku. Proto byl výsledný povrch plný nepravidelností, zaschlých kousků plniče a měl další optické vady. Nebylo tedy možno nechat jej neopracovaný a po zaschnutí plniče (po 24 hodinách od jeho aplikace) bylo nutno upravit povrch broušením. Tato operace byla provedena ručně za pomoci speciálních pomůcek, brusného papíru o drsnostech 150, 320, 500, 1000 a vody. Povrch před broušením je detailně znázorněn na obr. 29. Brusné pomůcky jsou zobrazeny na obr. 30.



*Obrázek 30 - Brusné pomůcky*



Při broušení dílu se postupovalo od brusných papírů s největší drsností až po ty nejjemnější. (Není však vždy třeba dodržet jejich posloupnost a drsnost 320 nebo 500 se případně přeskakuje.) Při provedení finálního brusy bylo nutné použít vodu k odplavení drobných částeczek. Výsledný, obroušený povrch je zachycen na obr. 31.



*Obrázek 31 - Detail povrchu po broušení*

### **3.5 Lakování a sušení**

Povrchová úprava standardně následující po broušení je lakování do požadovaného odstínu barev. Lakovat lze jak lesklým lakem, tak matným. Rozdíl je pouze ve volbě lakovací složky. Lakovací směs se skládá z požadovaného barevného laku, urychlovače a ochrany proti UV záření. Samotné nanášení laku bylo provedeno v odvětrávaném a uzavřeném boxu, který lze vidět na obr. 24 – vpravo. Aplikátorem lakovací směsi byla běžná lakovací pistole.



*Obrázek 32 - Srovnání povrchů prototypu (vlevo) a sériového kusu (vpravo)*

Po nanesení vrstvy lakovací směsi bylo nutné nechat ji zaschnout. Schnutí probíhalo v uzavřených pecích při 60 °C po dobu 4–5 hodin. Sušící pec lze vidět na obr. 33. Srovnání nalakovaného povrchu prototypu a kusu vyrobeného sériovou výrobou je zobrazeno na obr. 32.



*Obrázek 33 - Sušící pece*

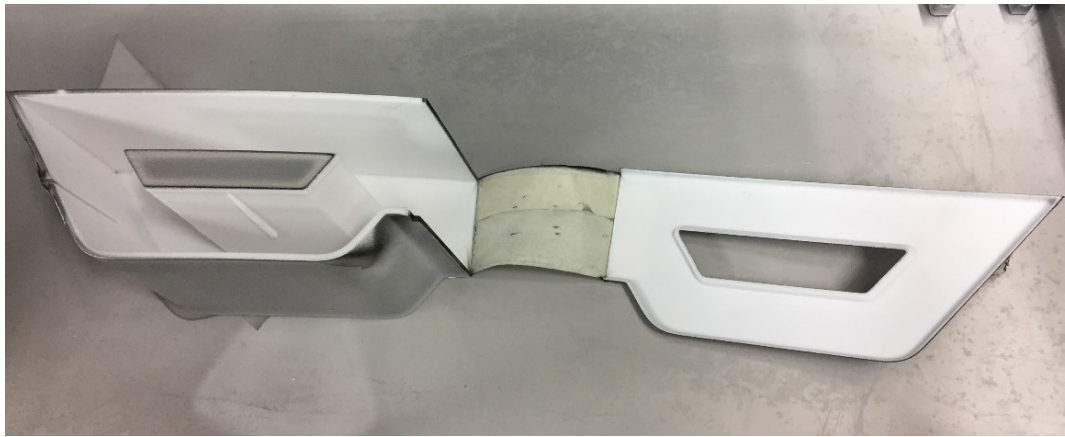
Jakmile lak řádně vyschne, nastávají dvě možnosti, jak postupovat s takto ošetřeným dílem. Jednou z nich je nechat díl pouze nalakovaný. Výsledný povrch takto upravené součásti je zobrazen na obr. 34. Mezi další možnosti a užívané povrchové úpravy patří pokovování a graining. Pro obě metody je nutné plochy součásti, které nemají být ovlivněny danou povrchovou úpravou, řádně zakrýt. Názorná ukázka správné ochrany před nechtěným grainingem je zobrazena na obr. 39. V případě ochrany u pokovení je nutné zhotovit speciální krycí pouzdra s těsnící hranou. Tato těsnící hrana musí být připravena i na samotném dílu už při konstrukci. Pouzdra se dají použít mnohokrát, což přináší jak finanční, tak časovou úsporu.



*Obrázek 34 - Výsledný povrch po lakování*

### **3.6 Pokovování**

Jednou z hlavních povrchových úprav s dopadem na vzhled je pokovování. Díky pokovení dostane plastový díl schopnost odrazu světla. Proto se tato úprava využívá nejen k zatraktivnění vzhledu součásti, ale v případě parabol také k získání požadovaných funkčních vlastností. Pokovení bylo prováděno při vysokém vakuu  $1,5 \times 10^{-4}$  bar za využití napaření hliníku. K dosažení těchto podmínek bylo nutné mít odpovídající strojní vybavení. Pokovení součásti bylo uskutečněno v menší vakuové kovičce (zobrazené na obr. 38). Plochy, na kterých bylo ulpění hliníku nežádoucí, musely být dostatečně zakryty speciálním pouzdem vyrobeným SLS metodou bez jakékoliv povrchové úpravy.



*Obrázek 35 - Pouzdro pro pokovení*

Po umístění dílů určených k pokovení na rotující plošiny bylo nutné doplnit hliníkové zásoby. Tyto hliníkové spirálky byly umístěny na speciálních meandrech z wolframu. Wolframové meandry s hliníkovými spirálkami jsou zachyceny na obr. 37. Na jedno pokovení bylo použito 17 párů spirálek o váze každé z nich 0,2 g. Plošiny pro umístění součástí a celý kováčský koš ukazuje obr. 38. Jakmile byly díly umístěny do zařízení a zásoba hliníku doplněna, kováčský koš byl vložen do kováčky a započal proces pokovování (detailně popsany v kapitole 2.3.5.)



*Obrázek 36 - Součást v pouzdře pro pokovení*

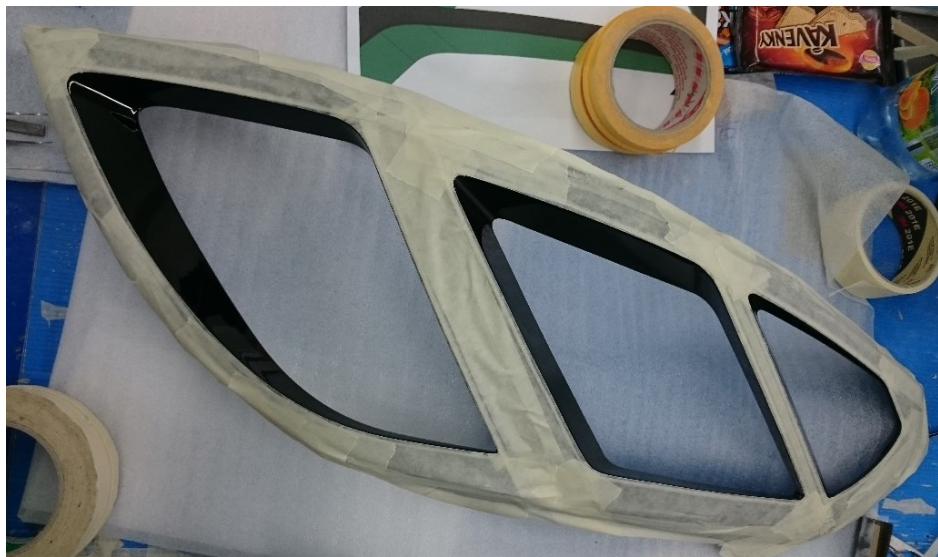


*Obrázek 37 - Hliník na wolframovém meandru*

*Obrázek 38 - Vakuová kovička*

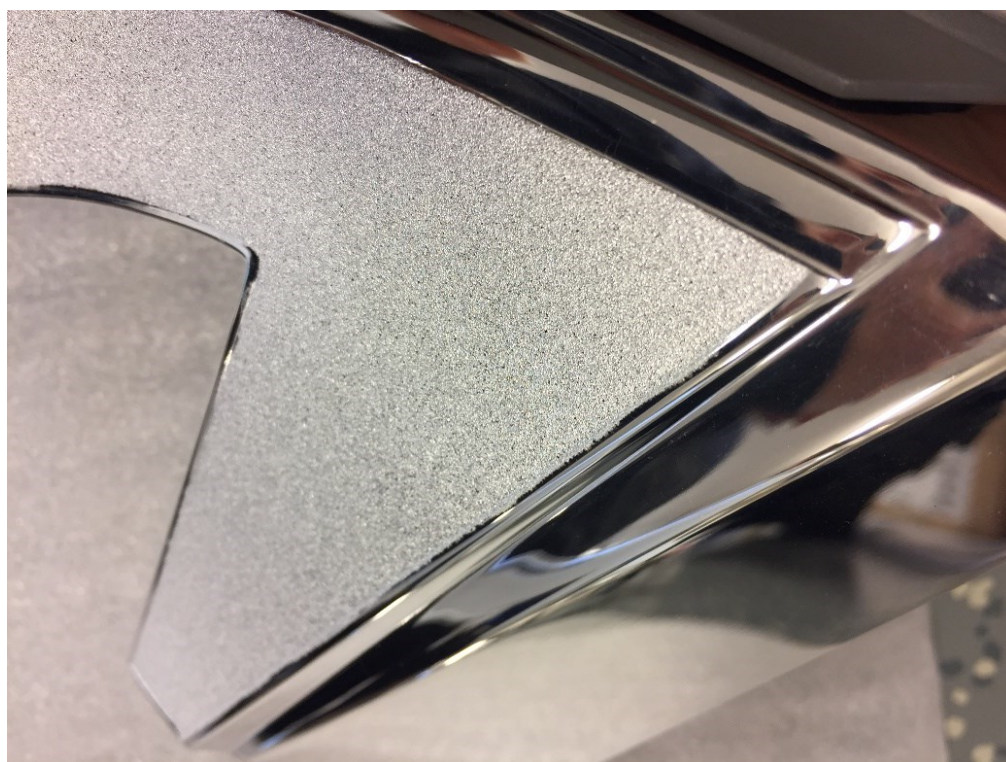
### **3.7 Graining**

Graining, neboli zrnitost na povrchu, se u prototypů provádí jinak než u sériové výroby. V případě sériové výroby se požadovaný graining vyleptá do formy a následně se do ní vstříkuje roztavený plast. U prototypů se formy, které jsou největší investicí, nevyrábějí. Je tedy nutné vyrobit graining na povrchu dílu ručně.



*Obrázek 39 - Příprava před aplikací grainingu*

K tomu se využije vhodná kombinace tlaku stlačeného vzduchu v lakovací pistoli, průměru trysky a vzdálenosti od předmětu. Platí, že čím větší tlak je v pistoli, tím jemnější graining vznikne. Proces, který je velice podobný lakování, byl proveden v uzavřeném a odvětrávaném lakovacím boxu. Povrch pro graining musel být leštěný, případně ošetřený lesklým lakem. Plochy, které neměly být grainingované, bylo nutno vhodně zakrýt kombinací plastového sáčku a malířské pásky. Součást připravenou k aplikaci grainingu lze vidět na obr. 39. Na danou součást byly nanесeny 3–4 vrstvy nástřiku. Nanesená směs byla totožná, jako v případě lakování. Schnutí probíhalo, stejně jako v případě lakování, v sušicích pecích při 60 °C po dobu 4–5 hodin. Ke zvýraznění grainingu je vhodné jej pokovit. Pokovený graining ukazuje obr. 40.



*Obrázek 40 - Graining po pokovení*

## Závěr

Cílem této práce bylo přehledně shrnout užívané povrchové úpravy dostupné pro 3D plastové modely a aplikovatelné na ně. Soupis těchto metod vycházel z praxí ověřených procesů a technologií využívaných k výrobě prototypů automobilové světelné techniky.

Teoretická část práce se zabývala detailním popisem všech metod 3D tisku plastů, jako jsou SLS, SLA, PolyJet, EBM, FDM dle normy ISO/ASTM 52900:2015, na tuto pasáž navázal podrobný rozbor jednotlivých povrchových úprav užívaných na 3D plastové prototypy v automobilovém odvětví.

V závěrečné, praktické části této práce byly výše vysvětlené povrchové úpravy aplikovány na zhotovení reálného prototypu vyrobeného firmou Varroc Lighting, s. r. o. Jeho jednotlivé komponenty byly vytvořeny na 3D tiskárně EOS P396, která zpracovává termoplasty. Při výrobě byla použita směs nového prášku PA 2200 a jeho recyklátu v poměru 50:50.

Na poznatky získané při zpracovávání své bakalářské práce bych rád navázal ve své diplomové práci, tentokrát zaměřením na zbylé dvě metody aditivní výroby, které se zabývají technologií 3D tisku kovu. Tato technologie je poměrně nová a stále se potýká s nedostatečnou škálou povrchových úprav a obtížemi jejich technologického provedení. Rád bych tak dále spolupracoval s Katedrou obrábění, montáže a strojírenské metrologie, a to v řešení problematiky povrchových úprav tištěného kovu.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - SLA-250 [2] .....	10
Obrázek 2 - Schéma procesu výroby prototypu. [7] .....	11
Obrázek 3 - Princip SLS tisku [4] .....	12
Obrázek 4 - Princip FDM tisku [4] .....	13
Obrázek 5 - Princip SLA tisku [4] .....	13
Obrázek 6 - Princip EBM tisku [3] .....	14
Obrázek 7 - Princip PolyJet tisku [5] .....	15
Obrázek 8 - Stavěcí prostor .....	16
Obrázek 9 - Základní druhy lepených spojů [6] .....	18
Obrázek 10 - Průběh teplotních procesů během lakování [6] .....	20
Obrázek 11 - Příklad galvanického poměření .....	21
Obrázek 12 - Pokovená součást s grainingem .....	22
Obrázek 13 - Ovládací panel vakuové kovičky .....	23
Obrázek 14 - Příklad dezénovaného povrchu .....	24
Obrázek 15 - Leštění plastů .....	24
Obrázek 16 - Podporované formáty .....	25
Obrázek 17 - Řez modelu se zámky .....	26
Obrázek 18 - Umístění stavěcího prostoru v 3D tiskárně - Vpravo .....	27
Obrázek 19 - Efektivní využití stavěcího prostoru – Vlevo .....	27
Obrázek 20 - Simulace tisku .....	27
Obrázek 21 - Tiskový prostor .....	28
Obrázek 22 - Díly po separaci .....	28



Obrázek 23 - Díly po ofoukání .....	29
Obrázek 24 - Lakovací box – Vpravo.....	30
Obrázek 25 - Souprava plniče – Vlevo .....	30
Obrázek 26 - Povrch před aplikací plniče.....	30
Obrázek 27 - Struktura plniče po aplikaci .....	31
Obrázek 28 - Model s aplikovaným plničem.....	31
Obrázek 29 - Detail povrchu po zaschnutí plniče.....	32
Obrázek 30 - Brusné pomůcky .....	32
Obrázek 31 - Detail povrchu po broušení .....	33
Obrázek 32 - Srovnání povrchů prototypu (vlevo) a sériového kusu (vpravo) .....	34
Obrázek 33 - Sušící pece .....	34
Obrázek 34 - Výsledný povrch po lakování .....	35
Obrázek 35 - Pouzdro pro pokovení .....	36
Obrázek 36 - Součást v pouzdře pro pokovení .....	36
Obrázek 37 - Hliník na wolframovém meandru .....	37
Obrázek 38 - Vakuová kovička .....	37
Obrázek 39 - Příprava před aplikací grainingu .....	37
Obrázek 40 - Graining po pokovení .....	38

## Seznam použité literatury

- [1] Wikipedia. *3D Tisk*. [online]. 26.10.2016 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/3D\\_tisk](https://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk)
- [2] Whowe are. *AdditiveInsight LLC*. [online]. 2013-2014 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://additiveinsight.com/who-we-are/>
- [3] ElectronBeamMelting (EBM). *Popular3DPrinters*. [online]. 2013 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.popular3dprinters.com/electron-beam-melting-ebm/>
- [4] Informace o technologiích 3D tisku. *EasyCNC*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <https://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
- [5] PolyJet Matrix Technology. *3D Systems*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.medicalmodeling.com/solutions-for-engineers/additive-manufacturing-production/polyjet>
- [6] Katedra tváření kovů a plastů. *Technická univerzita Liberec*. [online]. 2016 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm)
- [7] Začínáme s 3D tiskem kovů #2: Technologie 3D tisku kovů (SLM). *Konstruktér*. [online]. 2014 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2016/11/23/zaciname-s-3d-tiskem-kovu-2-technologie-3d-tisku-kovu-slm/>