

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh a výroba přípravku pro dokončování kola difusoru
Design and manufacturing of clamping fixture for difuser

AUTOR: Bc. Marek Cejpek

STUDIJNÍ PROGRAM: Výrobní a materiálové inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Zdeněk Pitrmuc

PRAHA 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Cejpek** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **457279**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh a výroba přípravku pro dokončování kola difusoru

Název diplomové práce anglicky:

Design and manufacturing of clamping fixture for difuser

Pokyny pro vypracování:

- 1) Literární rešerše a identifikace vhodných výrobních technologií pro výrobu prototypových přípravků.
- 2) Technologie SPM leštění a identifikace klíčových parametrů procesu.
- 3) Rozbor geometrie dílu.
- 4) CAD návrh přípravku.
- 5) Prototypová výroba přípravku.

Seznam doporučené literatury:

- 1) RONG, Yiming a Yaoxiang ZHU. Computer-aided fixture design. New York: Marcel Dekker, 1999. ISBN 9780824799618.
- 2) ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- 3) OVERBY, Alan. CNC machining handbook: building, programming, and implementation. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
- 4) Výrobní dokumentace stroje SPM LPG1/LPG EVO

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____



Ing. Zdeněk Pitrmuc
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



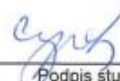
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

23.6.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Marek Cejpek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Zdeňku Pitrmucovi za pomoc, vedení a cenné rady při zpracování této práce.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vhodným návrhem a výrobou přípravku pro dokončování kola difuzoru. Jsou v ní popsány vybrané technologie 3D tisku, rešerše dostupných materiálů pro 3D tisk od firmem Průša 3D a Stratasys a popsána technologie SPM leštění pomocí měděných třísek. Hlavní součástí práce je návrh, výroba upínacího přípravku a realizace přípravku v SPM leštícím stroji.

Klíčová slova

Prototypová výroba, 3D tisk, tisk plastů, FDM technologie, materiály pro 3D tisk, podpurné materiály pro 3D tisk, leštění, SPM leštění

Annotation

This master thesis deals with correct design and manufacturing of clamping fixture for diffuser. There are described selected 3D technology of printing, recherche of available materials for 3D printing from Průša 3D company and Stratasys company and there is described technology of SPM polishing by copper splitters. Main part of master thesis is design, manufacturing of clamping fixture and realization in the SPM polishing machine.

Key words

Prototype manufacturing, 3D printing, plastic printing, FDM technology, materials for 3D printing, support materials for 3D printing, polishing, SPM polishing

Obsah

Obsah.....	6
1 Úvod.....	9
2 Literární rešerše a identifikace vhodných výrobních technologií pro výrobu prototypových přípravků	10
2.1 3D tisk.....	10
2.1.1 SLS – Selective Laser Sintering.....	10
2.1.2 FDM – Fused Deposition Modeling.....	12
2.1.3 DLP – Digital Light Processing.....	13
2.1.4 LOM – Laminated Object Manufacturing.....	14
2.1.5 MJP – Multijetprinting.....	16
2.1.6 BJ – Binder Jetting	17
2.1.7 DMLS – Direct Metal Laser Sintering	19
3 Materiály pro FDM tiskárny	21
3.1 Průša 3D.....	21
3.1.1 ABS	21
3.1.2 ASA	22
3.1.3 PLA.....	22
3.1.4 PETG	23
3.1.5 FLEX	24
3.2 Stratasys	25
3.2.1 ABSi.....	25
3.2.2 ABS-M30	25
3.2.3 ABS-M30i	26
3.2.4 PC.....	26
3.2.5 ABS-ESD7	27

3.2.6	PC-ABS	27
3.2.7	PC-ISO	27
3.2.8	Ultem 9085	28
3.3	Podpůrné materiály.....	28
3.3.1	Stratasys	28
3.3.2	Průša 3D.....	29
4	Technologie SPM leštění a identifikace klíčových parametrů procesu	30
5	Rozbor geometrie dílu	34
5.1	Umístění.....	34
5.2	Možnosti uchycení	34
5.3	Krycí segmenty děr.....	35
6	CAD návrh přípravku.....	37
6.1	Základní deska.....	37
6.2	Závitové tyče.....	37
6.3	Distanční trubky	38
6.4	Nosná kostka.....	38
6.5	Vnitřní a vnější plech na uchycení kola difuzoru	38
6.6	Vnitřní a vnější segmenty	39
6.7	Sestavení přípravků	41
7	Prototypová výroba přípravku	42
7.1	Výroba – základní deska	44
7.2	Výroba – Nosná kostka	45
7.3	Výroba – upínací části kola	49
7.4	Výroba – závitové tyče a distanční trubky.....	51
7.5	Výroba – krycí segmenty	52
7.6	Kompletace přípravku	56

7.7	Realizace na stroji.....	58
8	Závěr	62
9	Seznam použité literatury	63
10	Seznam obrázků	66
11	Seznam tabulek	68
12	Seznam použitých zkratk.....	69
13	Seznam příloh.....	71

1 Úvod

Kolo difuzoru je součástí plynové turbíny, ve které skrz něj proudí plyny a mechanickou prací roztáčí hřídel skrze lopatky. Při proudění plynu skrz kolo difuzoru je velmi důležitá kvalita otvorů, jimiž plyn prochází. Drsnosti povrchu průchozích otvorů mají poměrně velký vliv na množství průchozího plynu, a tudíž má každá setina mikrometru vliv na usměrnění a také zpomalení vzduchu, který proudí z kompresoru do spalovací komory.

Jelikož otvory, jimiž proudí plyn v difuzoru plynové turbíny, jsou většinou buď hodně malé nebo mají atypický tvar lopatek, je poměrně těžké u těchto ploch dosáhnout kvalitního povrchu klasickými metodami broušení.

Z tohoto hlediska je víc než výhodné využít pro povrchové úpravy takto složitých tvarů a ploch speciální technologie úpravy povrchu jako je SPM leštění. Použití takto speciální metody spolu nese i výrobu specifických přípravků a použití dalších nekonvenčních výrobních metod jako je 3D tisk. Při této dokončovací operaci je nutné mít přehled o kvalitě vyleštěných ploch, jelikož nemusí být ve všech místech stejná. Proto se využívá aditivní technologie 3D tisku, která umožní výrobu složitých tvarových dílů, které kopírují díry složitých tvarů či případně lopatky. To poté umožňuje najít optimální místo, pomocí zakrývání a odkrývání určitých částí leštěného dílu, kde je povrchová úprava nejlepší.

Cílem práce je najít optimální technologii pro výrobu přípravku pro uchycení kola difuzoru v SPM leštícím stroji. Navrhnout součásti, které poslouží jako krycí díly pro díry, které je nutné vyleštit a ozkoušet funkčnost celého přípravku včetně krycích segmentů děr v SPM leštícím stroji.

2 Literární rešerše a identifikace vhodných výrobních technologií pro výrobu prototypových přípravků

2.1 3D tisk

Technologie 3D tisku je již delší dobu známá metoda výroby. První 3D tiskárny však byly vyrobeny již před více než 20 lety. Aditivní výroba pomocí tisku materiálu je zcela odlišná od klasických konvenčních výrobních metod. Výrobek při 3D tisku vzniká postupně po jednotlivých vrstvách materiálu.

Ne každý výrobek je možné však vyrobit na jakékoliv tiskárně. Existuje více technologií, kterými lze modely tisknout. Vždy je potřeba brát v úvahu následné využití daného modelu a jaké výsledné vlastnosti musí mít.

Mezi základní technologie 3D tisku patří:

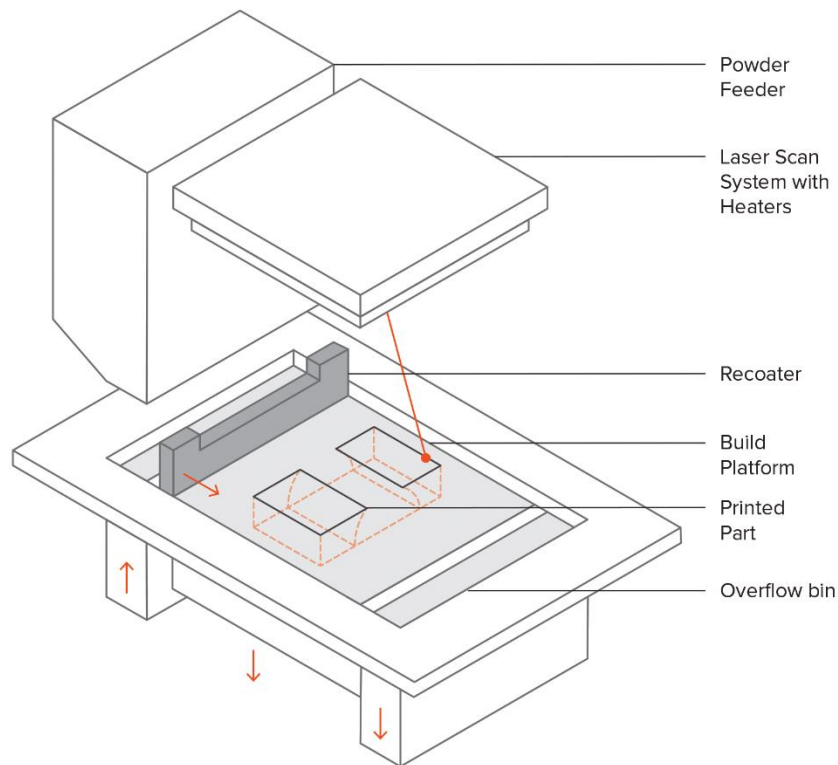
- SLS – Selective Laser Sintering
- FDM – Fused Deposition Modeling
- BJ – Binder Jetting
- MJP – Multijetprinting
- DLP – Digital Light Processing
- LOM – Laminated Object Manufacturing
- DMLS – Direct Metal Laser Sintering [1] [2]

2.1.1 SLS – Selective Laser Sintering

Selective Laser Sintering je metoda, která byla patentována již v roce 1987. K aditivní výrobě součásti využívá materiál ve formě prášku. Metoda využívá laserový paprsek, který vytvoří dostatečné množství tepelné energie, díky které je materiál zapékán.

Jako vstupní materiály se používají kovové, keramické nebo plastové (PET, Nylon, a další) prášky. Při SLS tisku je velkou výhodou, že není potřeba žádných podpurných materiálů. Jako podpurný materiál je zde používán zbytkový nespečený materiál. Díky tomu je možné touto metodou vytvářet geometrie volných tvarů, které jinými metodami nelze vyrobit. [2]

Výtisky jsou náchylné na deformace a smršťování. Při ochlazování nové vrstvy se její rozměr smršťuje a zvyšuje se v něm vnitřní napětí. Typické smrštění je 3 – 3,5 %. Nedeformují se pravděpodobně jen velké ploché povrchy. Problém s deformacemi může být příznivě ovlivněn orientací součásti ve svislé poloze. Deformace se také dají zmenšit minimalizováním tloušťky plochých ploch a zavedením výřezů při návrhu tisku. Tím se použije menší množství materiálu, což sníží celkové náklady na výrobu.



Obrázek 1 Princip SLS tisku [4]

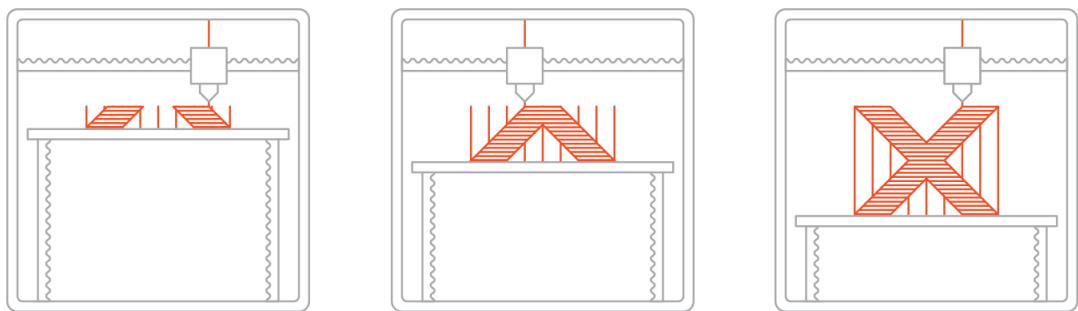
Při tisku dutých součástí je nutné v součástech vytvářet únikové otvory, jimiž může odcházet nezměkčený prášek, který slouží jako podpora. Jestliže je vyžadována vysoká tuhost součásti, vytváří se duté součásti bez únikových otvorů. Prášek uvnitř součásti zvýší hmotnost celého dílu a vznikne další podpora vůči mechanickému zatížení, bez vlivu na dobu tisku.

Díky velkému množství přebytečného materiálu je nevýhodou této technologie čištění stroje a následných výtisků. [2] [3] [4]

2.1.2 FDM – Fused Deposition Modeling

Jedná se o nejrozšířenější technologie 3D tisku. Označení FDM je registrováno u firmy Stratasys, proto se tato metoda označuje také jako FFF, tedy Fused Filament Fabrication. Velké procento 3D tiskáren na plast používá právě tuto technologii. Jedná se totiž o jednu z nejlevnějších technologií pro 3D tisk. Proto se jedná o tak rozšířenou technologii.

FDM technologie využívá technologii natavování materiálu na pracovní plochu, který je dodáván pomocí plastové struny. Plastová struna je ve stroji ve formě filamentu. Filament je v zásobníku 3D tiskárny umístěn na cívce a je postupně odmotáván. Tisková hlava nanáší materiál vrstvu po vrstvě až do vytvoření fyzického modelu.



Obrázek 2 Postup FDM tisku [6]

Pro FDM tisk je nezbytné uvažovat i s tiskem podpor pod převislé části, jelikož roztavený plast nejde tisknout bez podpor, aniž by se nezdeformoval. Při tisku se musí navrhovat umístění součástí na pracovní desce tak, aby se minimalizovalo využití podpor. Materiál tisknutý na podpory má obecně nižší kvalitu než zbytek součásti.

Podpory jsou tištěny z jiného materiálu než výsledný díl. Je možné využívat podpůrné materiály, které jsou rozpustné v kapalných lázních (hydroxid sodný a podobně). Tisk rozpustných podpor zlepšuje kvalitu výtisku, ale je nutné mít však již kvalitnější 3D tiskárny. Také celkově zvyšují náklady na tisk, jelikož cena těchto podpůrných materiálů je poměrně vysoká.

FDM technologie umožňuje tisk různě vyplněné skořepiny materiálu. Většinou se netisknou úplně vyplněné díly, hlavně vzhledem k době tisku a spotřebě materiálu. Ovšem tloušťka skořepiny a výplně ovlivňuje výrazně pevnost výtisku.

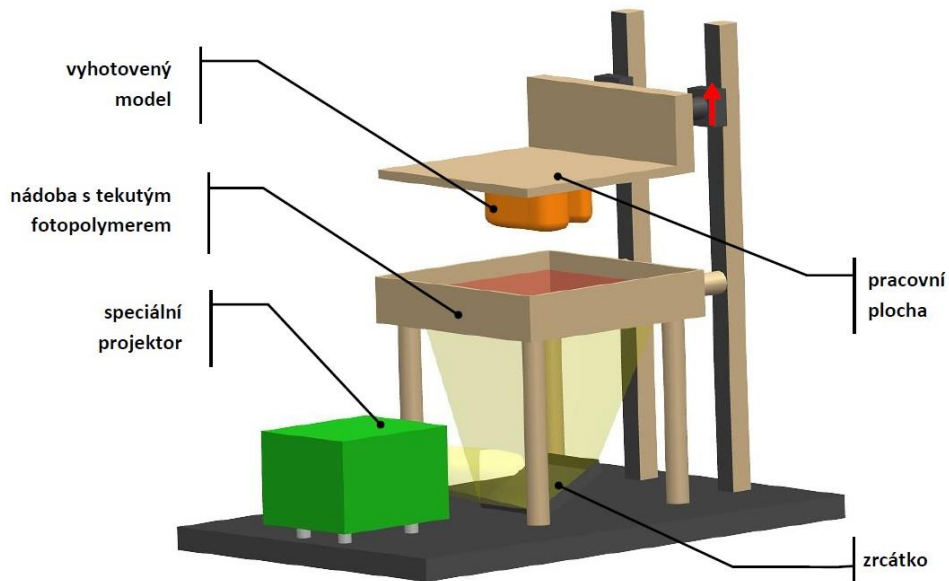
Nevýhody jinak velmi využívané technologie jsou poměrně dlouhá doba tisku, kvalita výsledného tisku, která je velmi ovlivněna modelem 3D tiskárny a použitého vstupního materiálu. [5][6]

Další nevýhodou je konstrukční omezení tisku. Pro složité modely je nutné brát v úvahu i materiál na podpěry a tisk podpěr. [7]

Jako vstupní materiál se dá použít celá řada plastů (PLA, ABS, PC, PET, FDM Nylom12 a další). Kromě klasických plastů se dají využít i plasty s příměsí bronzu, uhlíkového vlákna a jiných pro zlepšení výsledných vlastností hotového výrobku. [5][6]

2.1.3 DLP – Digital Light Processing

Tato metoda byla patentována teprve v roce 2012 a může se pro tisk využít dvou principů. Vrstvy tekutého materiálu jsou ztvrdzovány pomocí energie UV záření. K tvrzení materiálu je použit speciální projektor, který ozáří celý pracovní stůl a tím vytvrdí celou vrstvu. Jedná se o nejpřesnější metodu díky projektorům s vysokým rozlišením promítající data na velmi malou plochu. [2]



Obrázek 3 Schéma DLP tiskárny [2]

Jelikož světelný projektor DLP 3D tiskárny bliká na celý obraz vrstvy na jednou, jsou vrstvy velmi rychle vytvořeny. Stejný projektor poté vrstvu rychle vytvrdí. Výtisky z DLP tiskáren disponují vysokou přesností.

Omezením DLP metody je tisk velkých rozměrů. Pryskyřice je vytvrzena do vrstev s digitálním obrazem a velikost obrazu ovlivňuje rozlišení. Jak se velikost obrázku vrstvy zvětšuje, rozlišení se zmenšuje.

Výtisky z DLP tiskáren nejsou tradičně používány jako funkční části, ale spíše díly pro estetiku, rozměrovou přesnost a vizuální prototypy.

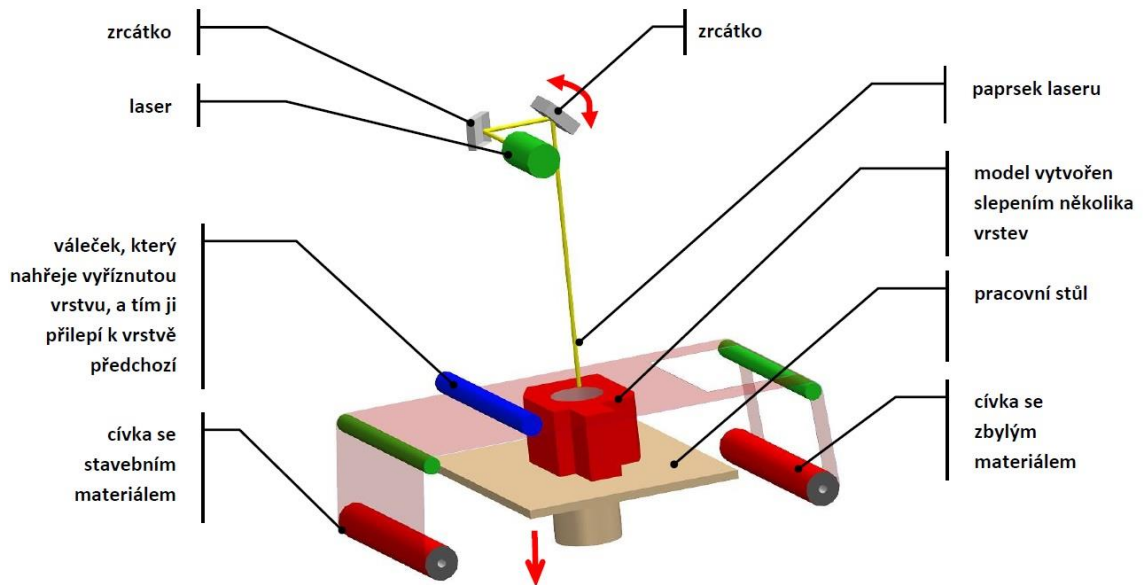
Výrobní materiály jsou používány fotopolymery, nejznámější fotopolymerická pryskyřice. [3] [8]

2.1.4 LOM – Laminated Object Manufacturing

Metoda patentována v roce 1996 využívá plast nebo papír. Jednotlivé vrstvy jsou vyříznuty a poté přilepeny na předešlé vrstvy. Materiál se podává ve formě fólií, které se převíjí z jedné cívky na druhou. Toto převíjení probíhá nad pracovním stolem, kde se

vždy zastaví a vyřízne se vrstva. Řezání probíhá laserem nebo nožem. Tento proces se opakuje až do vzniku výsledného dílu. [2]

Součásti vytištěné pomocí papíru získávají vlastnosti podobné dřevu a mohou být povrchově upravovány pískem. Díly vytištěné z plastových fólií musí být obvykle utěsněny lakem nebo barvou, aby se zabránilo znehodnocení výrobku vlhkostí.



Obrázek 4 Princip LOM technologie [2]

Přestože LOM technologií nelze vytvořit tak kvalitní součásti jako například SLS technologií, i přesto má své výhody. Proces nezahrnuje žádné chemické reakce a oproti většině technologií není nutná uzavřená komora, což dává možnost tisku velkých dílů. Materiály pro tisk jsou také levnější a snadno dostupné.

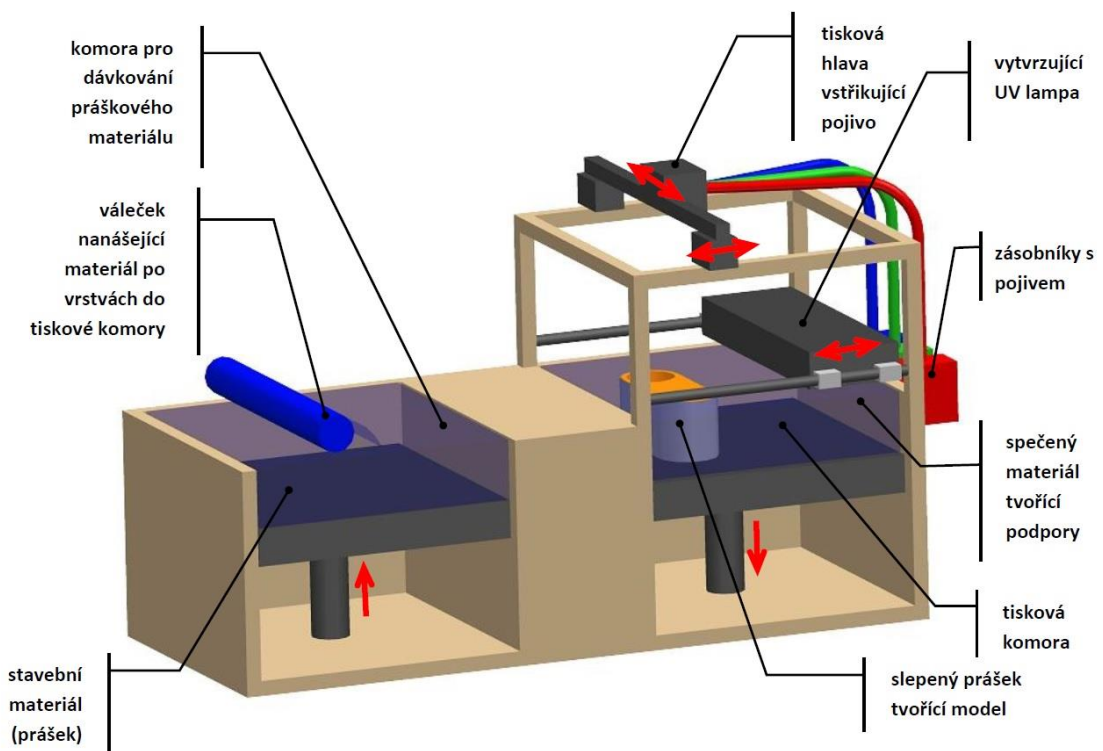
Touto technologií tedy bohužel nelze vytvářet výtisky složitých geometrických tvarů. Nelze také tisknout vysoce přesné součásti, tudíž nejsou vhodné pro tisk funkčních prototypů. Jsou vhodné pro tisk zmenšených modelů, koncepčních prototypů pro formy nebo design.

Jedná se o poměrně jednoduchý proces. Přesnost tisku závisí na tloušťce vrstvy/materiálu. Přestože jde o cenově velmi dobře dostupnou, efektivní a poměrně rychlou technologii, není tak známá jako většina ostatních technologií. [9] [10]

2.1.5 MJP – Multijetprinting

Jedna z mála technologií, která dokáže tisknout modely více barev, ale i modely o jiných vlastnostech. Patent vlastní firma 3D Systems.

Na pracovní stůl je nanesen práškový materiál, do kterého je přiváděno pojivo. Prášek s pojivem je následně vytvrzován UV světlem. Další vrstva se nanáší stejným způsobem a proces se pořád opakuje. Jako u FDM je zde nutné využití podpůrného materiálu při tisku dílu s převisy. Jako podpůrný materiál je používán vosk. Díky využití vosku je jednodušší jeho odstranění z vytištěného modelu. [2]



Obrázek 5 Schéma MJP tiskárny [2]

MJP technologie vyniká rozměrovou přesností a rychlostí tisku. Je možno vyrábět více dílů současně, aniž by byla ovlivněna rychlost tisku. To může být přínosem při sdílené nebo drobné výrobě.

Součásti vytisknuté pomocí MJP disponují velmi hladkým povrchem, jsou tedy ideální pro tisk estetických prototypů, ale i koncových dílů. Elegantním prvkem, který zvyšuje kvalitu prototypů, je plně barevný a mnohvrstvený tisk.

Velmi hladký povrch a vysoce výkonný tisk má nevýhodu v podobě vysoké ceny. Jedná se o nejdražší technologii 3D tisku z hlediska nákladů jak na stroj, tak na materiál. MJP tisk nevyniká silou tištěných součástí. Jinými slovy díly jsou konstrukčně slabé. Tudiž nejsou ideální pro použití v prostředích, kde by musely zvládat mechanické zatížení.

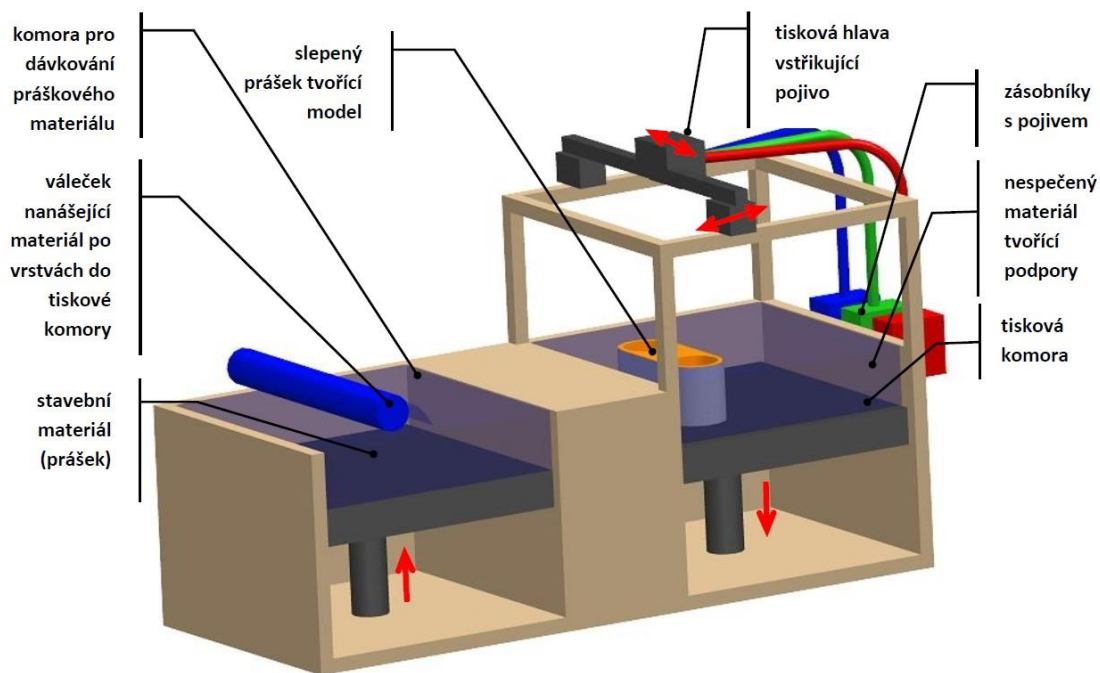
Výchozí materiál je použit pouze materiál přímo od výrobce tiskáren Visijet M3 a Visijet M5. [11]

2.1.6 BJ – Binder Jetting

Stejně jak MJP je tato technologie patentována u firmy 3D Systems. Vytvrzování materiálu nastává stejně jako u předešlé metody chemicky za pomoci pojiva. Na pracovní desku je nanesená vrstva materiálu ve formě prášku. Do prášku je vstřikováváno pojivo z tiskové hlavy. Díky pojivu je výrobek slepován z jednotlivých částic prášku.

Oproti MJP metody se jako materiál může použít keramika, hliník, nerezová ocel a další, včetně materiálů přímo od výrobce Visijet PXL. [2]

BJ technologie je podobná metodě SLS akorát pro vytvrzování prášku nepoužívá laser, tudíž v celém procesu nejsou vysoké teploty. Což je jedna z hlavních výhod. Většina technologií 3D tisku pracuje za vysokých teplot a musí řešit teplem vzniklé problémy jako jsou například deformace. Jelikož v procesu BJ tisku není potřeba žádné teplo, problémy tím způsobené tu odpadají.



Obrázek 6 Schéma BJ tiskárny [2]

Materiály pro BJ technologie jsou relativně levné. Je možná nákladově efektivní výroba i tvarově složitých dílů bez nutnosti podpurných materiálů. Jako podpurný materiál působí samotný prášek, ve kterém jsou díly zpracovány. Jelikož se jedná o prášek zpracovaný bez jakéhokoliv tepla, je prášek 100% recyklovatelný. To snižuje množství zbytkového odpadového materiálu, a tak i výrobní náklady.

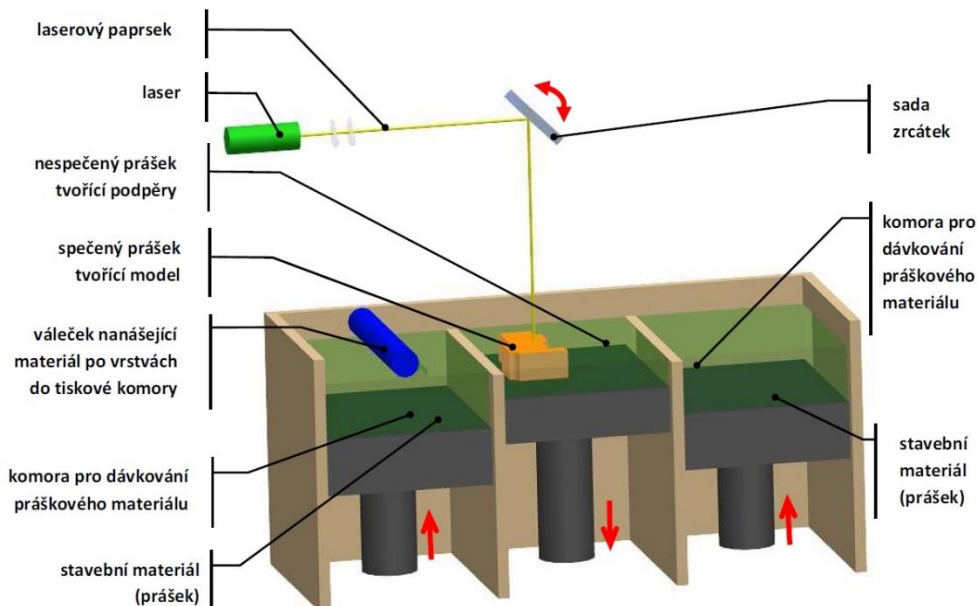
I když jsou materiály poměrně levné, je relativně úzký sortiment možných materiálů. Ostatní technologie 3D tisku nabízí ve srovnání s BJ technologií širší škálu materiálů.

Největším omezením BJ technologie jsou špatné mechanické vlastnosti výsledných výrobků. Ovšem pokud se vyrábí celobarevné modely, u kterých není strukturální pevnost tak důležitá, využívají se převážně jako vizuální prototypy. Pro výrobu funkčních dílů musí po tisku nastat další zpracování, které zvýší mechanické vlastnosti součástí. [12]

2.1.7 DMLS – Direct Metal Laser Sintering

DMLS technologie 3D tisku je určena pro tisk kovových modelů, které slouží k dalšímu obrábění a úpravám. Metoda se používá stejnou technologií jak SLS 3D tisk. Kovový prášek je vytvrzován laserem s ochranné atmosféře Argonu, přičemž se musí vynaložit daleko větší teplota než u technologie SLS, která slouží jen pro tisk plastových a keramických modelů. Hlavním rozdílem mezi metodami SLS a DMLS je tedy výkon laseru.

Při tisku je přinášející prášek ohříván na teplotu blízkou slinovací rozsahu slitiny. Sestavení dílu začíná nanesením tenké vrstvy na základní desku. Laser pak začne svoji práci při slinování prášku do pevné látky. Tyto sekvence pokračují až do dokončení dílu. Po následném ochlazení se ze součásti odstraní podpory a zbytkový sypký prášek. [2]



Obrázek 7 Schéma DMLS tiskárny [2]

Výtisky metodou DMLS lze po tisku zpracovávat jako kovové díly vyrobeny klasickým konvenčním způsobem zpracování kovů. Další zpracování jako například obrábění, tepelné zpracování a povrchové úpravy.

Hlavními výhodami DMLS technologie je přímý tisk kovových dílů. Lze použít kovové slitiny nebo čisté kovy, bez ovlivnění vlastnosti materiálu. Další výhodou je velká škála

práškových kovů a slitin kovů včetně klasických ocelí, nerezových ocelí, hliníku, titanu, slitin niklu, kobaltu a dalších.

Výsledné vlastnosti hotových součástí jsou srovnatelné se součástmi vyrobené odléváním. Lze vyrábět silné a funkční kovové díly s dobrými mechanickými vlastnostmi ve všech směrech. Kovový prášek, který není slinutý nebo roztavený, je možné recyklovat a znova použít.

Velkou nevýhodou této technologie jsou vysoké náklady tisku, jelikož proces tisku je velmi pomalý. Ceny 3D tiskáren a materiálů na tisk patří mezi nejdražší. Další nevýhodou je porézní vzhled tištěné součásti. Samotná pórovitost může být regulována, ne však eliminována v procesu tisku ani během následného zpracování.

Vstupním materiálem je nerezová ocel, titan, bronz, inconel a další. [13]

3 Materiály pro FDM tiskárny

3.1 Průša 3D

3.1.1 ABS

ABS se řadí mezi velmi využívaný konstrukční termoplast s vysokou odolností. Vysoká odolnost umožňuje tisk velmi jemných detailů. Vytištěný ABS dosahuje pevnosti až 80 % vstřikovaného ABS, tudíž se dá využít pro funkční aplikace. Jedná se o velmi silný materiál s velkým tepelným odporem, tudíž je vhodný pro vnitřní i venkovní použití.

ABS je termoplastický polymer. Může být roztaven a zase krystalizován, aniž by se výrazně rozkládal. Má vyšší teplotu tání, než například PLA dává ABS velký tepelný odpor – výtisky nevykazují známky deformace až do 98°C.

Teplota je věc, která i tak komplikuje tisk ABS. Při tisku velkých dílů může nastat zvedání dílů ze základní desky a tím vzniklá deformace již při 100 °C. Při tisku materiál uvolňuje výpary a látky, které mohou být zdraví škodlivé, tudíž je nutné tisk provádět v dobře větrané místnosti nebo v uzavřené 3D tiskárně.

Jedná se o neprůhledný materiál, který je možno pořídit v několika barevných variacích. Používá se pro různé druhy komponentů, upínáky, pro zkoušky funkčnosti, tvaru, pro koncepční modely a další.

Výhody:

- Vysoká odolnost proti rázům a teple
- Síla a univerzálnost
- Rozpustnost a možnost vyhlazení v acetonu/ acetonových parách

Nevýhody:

- Zápach
- Nutnost vytápěné místnosti nebo uzavřené 3D tiskárny
- Horší rozlišení

Teplota trysek: 255 °C

Teplota podložky: 80 °C, v závislosti velikosti výtisku 80–110 °C

Tepelná podložka: Hladký PEI list [14]

3.1.2 ASA

ASA je nástupcem ABS plastů, jsou totiž UV stabilní. Výrobky z ASA plastu netrpí příliš velkým smršťováním, jsou trvanlivé, houževnaté, a tudíž vhodné pro celou řadu aplikací. Vzhledem k vyšší teplotě tuhnutí oproti PLA a PETG technologiím mají výsledné výtisky vynikající tepelnou odolnost (deformace výrobku nastávají až od 93 °C). Výrobky z ASA plastu nachází využití pro dlouhodobé venkovní aplikace.

I když netrpí příliš velkým smršťováním, jedná se o jeden z hlavních problémů při tisku. Hlavně modely větších rozměrů podléhají smrštění a deformaci, a to i přesto, kdy je podložka zahřátá na 110°C. Smršťování a deformace poté způsobí oddělení výtisky z tiskové podložky. Tento problém se dá odstranit tiskem v uzavřeném prostoru nebo přidáním vysokého obrysu.

Výhody:

- UV stabilní – výhodné pro venkovní použití
- Odolnost proti vysokým teplotám
- Vysoká odolnost proti rázům a opotřebení
- Recyklovatelný
- Snadné následné úpravy
- Rozpustnost a možnost vyhlazení v acetonu/ acetonových parách

Nevýhody:

- Zápach (slabší oproti ABS)
- Obsah styrenů
- Hygroskopický [15]

3.1.3 PLA

PLA je jedním z nejpoužívanějších materiálů. Jde velmi snadno tisknout, a přitom dosahuje dostatečné síly. Díky nízké tepelné roztažnosti a nízké teplotě tání je vhodný jak pro tisk velkých součástí, tak pro tisk drobných prvků. Teplota tání je zhruba 175 °C. Oproti jiným materiálům může být PLA zahřívána i za bod tání bez následné degradace. Jedná se o velmi tvrdý materiál, což s sebou přináší i křehkost. Při samotném tisku má oproti ostatním materiálům menší soudržnost spodní vrstvy.

Kvůli nízké teplotě tání má malou tepelnou odolnost. Součásti vytisknuté z materiálu PLA ztrácejí mechanickou pevnost už při 60 °C. Případné následující úpravy musí být tedy prováděny za mokra.

Vzhledem k nízké teplotě tání a malé odolnosti proti UV záření nejsou výrobky z PLA vhodné pro venkovní použití.

Výhody:

- Snadný tisk
- Tisk malých i velkých součástí
- Tvrdý a tuhý
- Ekologický

Nevýhody:

- Křehký
- Nízká teplotní odolnost
- Složitě následné zpracování
- Nevhodný pro venkovní použití [16]

3.1.4 PETG

Polyethylen tereftalát glykol je velmi pevný materiál s dobrou teplotní odolností. PETG disponuje nízkou teplotní roztažností, díky čemuž se můžou tisknout velké díly bez nutnosti uzavřeného prostoru. Prakticky se nekroučí. Výtisky mají oproti materiálu PLA menší tažnost a křehkost. Disponují větší flexibilitou, která může zabránit prasknutí při namáhání.

PETG je sice vhodný pro univerzální použití, avšak optimální využití nachází pro mechanické části pro vnitřní i vnější použití. Oproti PLA nebo ABS má tendenci trochu vytékat a zanechávat na výtisky struny z plastu. Tento problém se dá vyřešit zvýšením teploty při tisku.

PETG patří mezi materiály, které se považují za vhodné/bezpečné pro potraviny. V případě tisku pro potravinářské aplikace by měla být také použita tryska z nerezové

oceli. Pořád se ale jedná o tisk vrstev, ve kterých se mohou nacházet bakterie, které mohou časem růst. Proti vzniku bakterií se na výtisky nanáší epoxidový nátěr.

Materiál velmi dobře drží na PEI desce. Tato vlastnost může být někdy na obtíž, jelikož může docházet k vytrhnutí kusu PEI povlaku. Z tohoto důvodu jsou první vrstvy nanášeny s nižší teplotou než ostatní.

Výhody:

- Snadný tisk
- Dobrá přilnavost
- Velmi tuhý a odolný
- Nízké zkroucení
- Vysoká teplotní odolnost
- Odolný vůči vodě a vlhkosti

Nevýhody:

- Nerozpustný v acetonu
- Silně přilne k PEI desce
- Možnost provázkování [17]

3.1.5 FLEX

Existuje mnoho aplikací, při kterých je zcela nemožné použít tvrdý plast. Tvrdý materiál zkrátka není ideální. V takovém případě se nabízí materiál FLEX. Ten je velmi silný a přesto flexibilní. FLEX disponuje velmi dobrou odolností proti otěru, je odolný vůči většině rozpouštědům a flexibilitu si drží i v chladném prostředí. Svými vlastnostmi je ideální na výrobu různých krytů, jak už telefonů, tak fotoaparátů apod.

Flexibilita je definována podle Shoreho stupnice tvrdosti písmenem A nebo D. ShoreA je měkčí než ShoreD. Čím vyšší je číslo u písmen A a D tím je materiál těžší.

Výhody:

- Flexibilita a pružnost
- Dobrá přilnavost
- Malé smršťování

- Odolnost proti otěru
- Odolný většině rozpouštědel

Nevýhody:

- Pomalý a mnohdy obtížný tisk
- Požaduje více kroků pro proces [18]

3.2 Stratasys

3.2.1 ABSi

Biokompatibilní akrylonitrilbutadienstyren je termoplast na bázi ABS ovšem s vyšší rázovou pevností. Oproti ABS je pevnější a odolnější. ABSi má průsvitný vzhled, a proto se využívá na výrobky pro přenos světla a sledování průtoků, jak už v lékařském průmyslu, tak i v automobilovém. Jak už napovídá název, tak díky své biokompatibilitě je využitelný pro farmaceutický a biotechnologický průmysl. [19]

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti ABSi [19]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
37 MPa	1 920 MPa	86 °C	93,4 J/m

3.2.2 ABS-M30

Materiál ABS-M30 se oproti klasickému ABS o 25-75% silnější, disponuje vyšší odolností, proto se využívá pro realistické testy funkčnosti. Vyrobené díly jsou hladší s možností jemnějších detailů. Jako ABS je neprůhledný ve více barevných možnostech. Využívá se stejně jako standardní ABS pro různé druhy komponentů, upínáky, pro zkoušky funkčnosti, tvaru, pro koncepční modely a další. [20]

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti ABS M30 [20]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
31 MPa (osy XZ) 26 MPa (osy ZX)	2 180 MPa	96 °C	128 J/m

3.2.3 ABS-M30i

ABS-M30i je co se týče mechanických vlastností stejný jako materiál ABS-M30, splňuje však normu ISO 10993, což mu umožňuje biokompatibilní využití. Díky této normě je tento materiál vhodný pro použití v potravinářském a farmaceutickém průmyslu a pro použití v lékařských přístrojích. [21]

Tabulka 3 Mechanické vlastnosti ABS M30i [21]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
31 MPa (osy XZ) 26 MPa (osy ZX)	2 180 MPa	96 °C	128 J/m

3.2.4 PC

Polykarbonát je nejpoužívanějším průmyslovým termoplastem. Především pro svou teplotní odolnost a vysokou pevnost v rázu. Díky těmto vlastnostem je jeho využití vhodné hlavně pro technicky náročné prostředí a prvky, které vyžadují vysokou pevnost v tahu a v ohybu. [22]

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti PC [22]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Pevnost v ohybu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
40 MPa (osy XZ) 30 MPa (osy ZX)	89 MPa (osy XZ) 68 MPa (osy ZX)	138 °C	73 J/m (osy XZ) 28 J/m (osy ZX)

3.2.5 ABS-ESD7

Další typ ABS materiálu ABS-ESD7 se ovšem oproti jiným ABS materiálům nevyznačuje rozdílnými mechanickými vlastnostmi. Tento materiál se vyznačuje tím, že rozptyluje statickou elektřinu. Jedná se tedy o materiál vhodný pro výrobky, u kterých může mít statický náboj negativní vliv na funkci celého dílu, jako jsou například desky s plošnými spoji. [23]

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti PC [23]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
35 MPa (osy XZ) 27 MPa (osy ZX)	2 700 MPa (osy XZ) 2 300 MPa (osy ZX)	105 °C	-

3.2.6 PC-ABS

Směs polykarbonátu a ABS dává výslednému výrobku sílu a teplotní odolnost polykarbonátu s pružností ABS. Díky vysoké pevnosti v rázu a teplotní odolnosti je vhodný pro využití v technicky náročném prostředí. [24]

Tabulka 6 Mechanické vlastnosti PC-ABS [24]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Pevnost v ohybu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
41 MPa	68 MPa	110 °C	196 J/m

3.2.7 PC-ISO

Materiál PC-ISO má vysokou pevnost v rázu, teplotní odolnost a pevnost. Tento materiál vyniká nejen díky své vysoké pevnosti, ale plní také zdravotní normy 10993-1. Může být tedy využit na výrobu farmaceutických obalů a lékařských přístrojů. [25]

Tabulka 7 Mechanické vlastnosti PC-ISO [25]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
57 MPa	2 000 MPa	133 °C	86 J/m

3.2.8 Ultem 9085

Materiál Ultem 9085 je inovativní termoplast, který vyniká svou silou, lehkostí a splňuje normu UL94-V0, tudíž je nehořlavý. Vzhledem k vynikajícím mechanickým vlastnostem a skvělé pevnosti v poměru s hmotností nachází uplatnění hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu. Dá se také využít pro výrobu vysoce funkčních prototypů a výrobních nástrojů. [26]

Tabulka 8 Mechanické vlastnosti Ultem 9085 [26]

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu, mez kluzu	Pevnost v ohybu	Teplotní deformace (HDT)	Rázová houževnatost
69 MPa	2 510 MPa (osy XZ) 2 410 MPa (osy ZX)	153 °C	-

3.3 Podpůrné materiály

3.3.1 Stratasys

Stratasys používá dva druhy podpůrných materiálů. Materiál SR, který je rozpustný v ohřáté vodě smíchaný s rozpouštědlem a materiál nerozpustný BASS, který musí být odstraněn ručně.

Pro každý materiál se používají jiné podpůrné materiály. Například pro ABSi se používá podpůrný materiál SR-20 a pro ABS_ESD7 se používá podpůrný materiál SR-30 apod. S tím souvisí i vlastnosti podpůrných materiálů. SR-30 je méně náchylný na rozbití a jeho rozpustnost je o 69 % rychlejší než u SH-20. SH-30 má menší rozpínavost než SH-20, díky čemuž nehrozí rozbití křehkých částí při rozpínání podpor. Pro odstranění podpůrného

materiálu SR se používají cirkulační nebo ultrazvukové nádrže. Při volbě chemikálie je nutné dbát na fyzikální vlastnosti materiálu daného dílu. Neměly by se používat chemikálie, u kterých nebylo ověřeno zachování mechanických vlastností výtisku v průběhu času.

Jak už bylo řečeno, podpurný materiál BASS je odstraňován z výtisků ručně. Je ideální pro tisk součástí, které potřebují jen jednoduché podpurné struktury. V závislosti na poloze tisku může být obtížné odstranění všech podpurných struktur a odstraňování se může stát časově náročné. Z tohoto hlediska se běžně pro urychlení času používají ruční nástroje jako jsou různé druhy kleští, dlát apod. Je nutné ale dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k poškrábání výtisku. [27]

3.3.2 Průša 3D

Firma Průša 3D používá tři druhy podpurných materiálů – PVA, BVOH a HIPS. PVA a BVOH se například používá jako podpurný materiál při tisku PLA a HIPS pro tisk ABS materiálu.

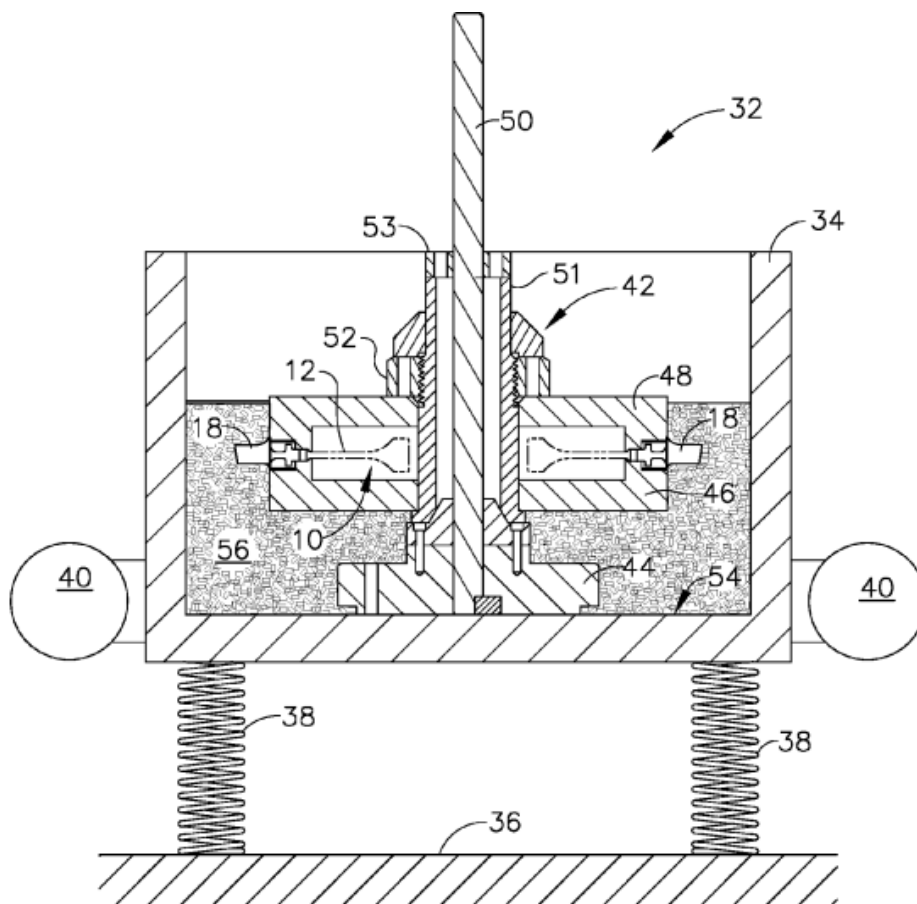
PVA je měkký polymer vysoce citlivý na vlhkost. Skutečně se rozpouští ve vodě, není nutná přítomnost dalších chemikálií, což z něj dělá ideální podpurný materiál pro 3D tisk. Je ideální pro tisk složitých geometrických tvarů, kde by byl problém s odstraněním standardních podpor. Nevýhodou tohoto materiálu je jeho cena, nutnost skladování ve vzduchotěsných kontejnerech a větší možnost ucpání trysky, jestliže zůstane horká.

BVOH je kvalitní materiál, který slouží pro rychlý tisk složitých součástí s převisy. Jedná se o materiál také rozpustný ve vodě, oproti PVA je jeho rozpustnost ve vodě rychlejší. Díky tomu lze vytvářet finální modely daleko rychleji. Rychlost tisku může být až 30 mm/s. Ve srovnání s PVA je více odolný proti vzdušné vlhkosti a tím je i spolehlivější. I přesto se musí skladovat v suchém prostředí.

HIPS je houževnatý polystyren se zvýšenou odolností proti rázům. Kromě toho že se využívá jako podpurný materiál nachází uplatnění i pro výrobu kelímků, například pro jogurty. Co se týče mechanických vlastností, nejvíce se blíží materiálu ABS, i proto je tisk složitější. Podpurné konstrukce již nejsou rozpustné jen ve vodě, ale je možné je rozpustit v Limonenu. [28] [29] [30]

4 Technologie SPM leštění a identifikace klíčových parametrů procesu

Technologie SPM leštění vychází z patentu Terrence Alana Branda publikovaného na konci roku 2017. Princip procesu leštění je znázorněn na obrázku č.8. Na obrázku je znázorněn pracovní prostor rotoru stroje s turbodmychadlem, v kterém je uchycen blisk, jehož lopatky je potřeba vyleštit. Leštící stroj se skládá z násypky s magnetickou základnou, ta je elasticky připevněna pomocí pružin. Násypka je poháněna oscilačním pohybem (zde na obrázku na stranách znázorněny elektrické motory - 40). Motory způsobují kmitání a vibrace násypky díky čemuž se mohou leštit díly jak ve vertikální, tak v horizontální poloze. Výkon motorů může zásadně ovlivnit konečnou kvalitu výsledného vyleštěného povrchu.

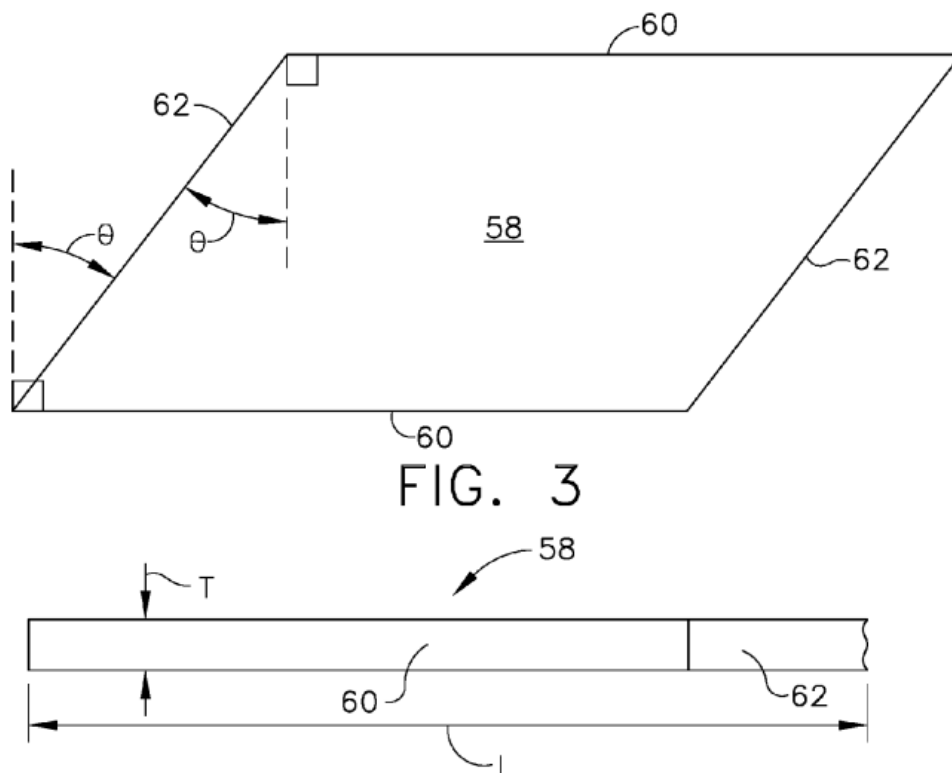


Obrázek 8 Schématický průřez leštícím strojem

Tento blistr je pouze příkladem možnosti leštění. Stejným způsobem mohou být leštěny různé typy rotorů kompresorové, turbínová kola, kola difuzorů a další. SPM technologie se používá pro leštění různých kovových slitin, klasické železné, titanové, slitiny na bázi niklu a další.

Proces SPM leštění se skládá z několika na sebe navazujících operací. Správné upevnění lešticího dílu do pracovního prostoru stroje, následné zaplnění násypky lešticím médiem. Lešticím médiem jsou abrazivní měděné třísky se správným smáčedlem. Abraziva ve formě měděných třísek se podle velikosti mohou rozdělit jako hrubé abrazivo a jemné abrazivo.

Díky tomu může leštění probíhat nejprve za pomoci hrubých třísek a následně dokončovány jemnějšími a jemnějšími třískami. Alternativa k použití různých velikostí třísek je použití skupiny třísek spojené pojivem. Jak se tyto skupiny rozpadají na menší shluky, skupiny třísek se stávají jemnější. Takto lze efektivně přecházet z hrubých třísek na jemnější bez použití jiných typů abraziv.



Obrázek 9 Příklad tvaru kovových třísek

Na obrázku č.9 je znázorněn příklad měděné třísky, která je ve tvaru kosodélníku. Právě takový tvar kosodélníku umožňuje plynulý tok kovových třísek při procesu leštění a zabraňuje vzájemnému vzpříčení v leštěných otvorech, které by následně zabránilo plynulému toku.

Třísky jsou navrženy vzhledem k leštěnému dílu. Pro velké leštěné díly se používají větší třísky a menší třísky jsou použity pro malé díly. Pro představu optimální velikost použita v obrázku č.9 je dlouhá 7 mm tloušťky 1 mm.

Vhodné smáčedlo je použito pro oddělování a mazání měděných třísek. Jako vhodné smáčedlo může být použita jen voda, která pomáhá kovovým třískám proudit. K ještě lepšímu proudění a toku třísek se kromě vody používá aktivní činidlo, které snižuje povrchové napětí, a kapalina na bázi lubrikantu, která umožní třískám ještě efektivnější leštící účinek.

Leštící médium má složení zhruba 98 % kovových třísek, méně jak 2 % kapaliny a méně než 0,05 % abraziv. Jsou to jen orientační hodnoty, které se mohou lišit podle konkrétního typu leštěné součásti.

Při naplnění násypky nastane spuštění motorů, nastavené na optimální rychlost, aby se dosáhlo požadované frekvence kmitavého pohybu. Leštění poté pokračuje až do dosažení požadované kvality leštěného povrchu. Doba samotného leštění se může lišit vzhledem k dostupnosti a velikosti leštěných ploch. Kmitavý pohyb je nastaven tak, aby po určité časové době, většinou stylem pokus omyl, periodicky obracel směr motorů a tím i proudění leštícího média. Vhodný příklad časového intervalu pro obrácení směru je 15–20 minut.

Tímto typem leštění je možno dosáhnout průměrné drsnosti $0,2\mu\text{m Ra}$, u dílů ze slitin titanu, přibližně za jednu hodinu v procesu. U slitin niklu je možno dosáhnout průměrné drsnosti povrchu $0,15\mu\text{m Ra}$ při přibližně 2,5 hodin v běhu.

Po dokončení procesu je násypka vyprázdněna, všechny třísky vysáty a vyčištěn pracovní prostor. Díl je vyjmut a následně očištěn od přebytečného média, opláchnut a osušen, aby nedošlo k následné korozi dílu.

Tento způsob dokončování povrchu má oproti stávajícím možnostem leštění hned několik výhod. Lze dosahovat leštěný povrch i v těžko dosažitelných místech, ve velmi malých dírách a atypických tvarech jako jsou například lopatky rotorů. Hlavní výhodou je dosažení požadované drsnosti povrchu při minimalizaci ztrát materiálu. [31]

5 Rozbor geometrie dílu

Při návrhu přípravku pro toto kolo difuzoru se musí brát v potaz vcelku unikátní geometrie děr, u kterých požadujeme výsledné leštění. Vzhledem k samotné velikosti celého dílu je možné uvažovat o více možnostech samotného uchycení a umístění v pracovním prostoru stroje.

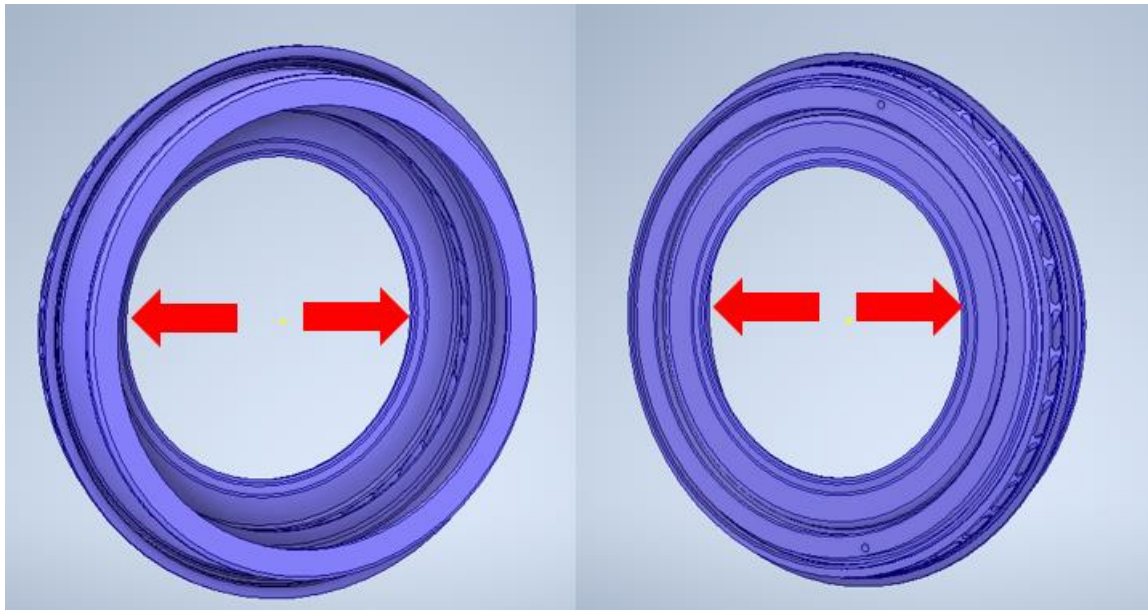
5.1 Umístění

Pracovní prostor stroje disponuje rozměry 500 x 500 x 600 mm. Kolo difuzoru má největší průměr 321 mm a je vysoký 60 mm. Může být v pracovním prostoru umístěn jak na výšku, tak na šířku. Při umístění dílu na šířku nejsme příliš limitováni z hlediska prostoru okolo dílu a pod dílem ve stroji.

Při umístění v horizontální poloze je nutné brát v potaz výšku dílu od dna pracovního prostoru a následnou celkovou výšku. Hlavně z hlediska správného proudění leštícího materiálu a celkové pokrytí leštícím materiálem celý díl.

5.2 Možnosti uchycení

Jelikož se díry, které požadujeme leštit, nacházejí na vnějším průměru difuzoru, nebylo by možné efektivní uchycení, následně možnosti na odkrývání a zakrývání částí děr a plynulý tok leštícího média. Tudíž se jako jediná reálná možnost jeví upnutí za vnitřní průměr 188 mm. Zde nebude problém s odkrýváním a zakrýváním hloubených děr. Při správném tvaru a návrhu upínacího mechanismu nebude problém ani s tokem leštícího média.



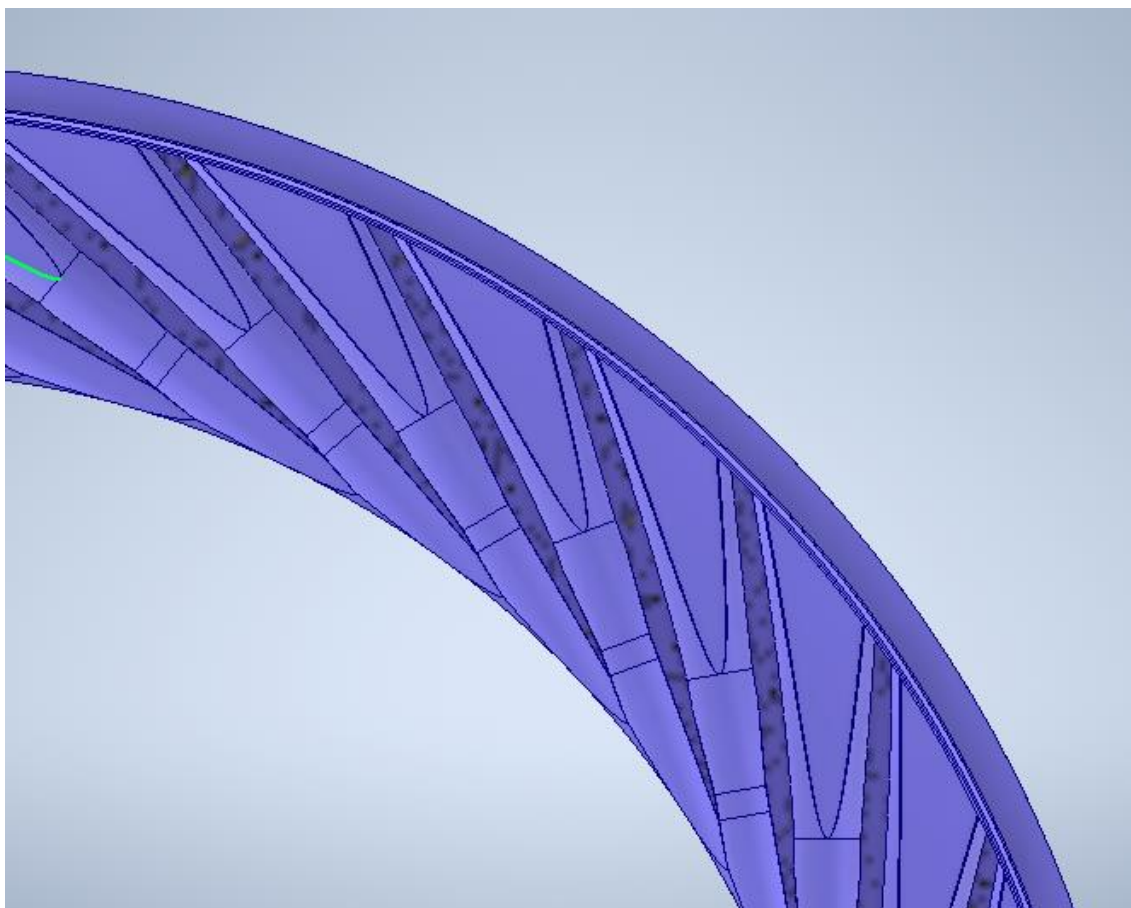
Obrázek 10 Možnost uchycení

5.3 Krycí segmenty děr

Krycí segmenty musí být umístěny jedině po vnějším a vnitřním obvodu. Co se týče samotné geometrie těchto segmentů, jsou dvě možnosti, jak díry zakrýt.

Segmenty mohou kopírovat vnější, potažmo vnitřní, obrys dílu a následně být spojeny šrouby z vrchní části. Takto by byly segmenty zapuštěny do děr pomocí vysunutých částí, které by kopírovaly tvar děr.

Jako druhá varianta se jeví čistě segmenty, které kopírují části děr z vnitřní strany a z vnější strany a následně jsou spojeny šrouby nebo závitovou tyčí skrz na skrz. Samotné kopírování hloubených děr je složité, vzhledem k jejich asymetričnosti. Jedná se však o jedinou efektivní možnost zakrytí.



Obrázek 11 Atypický tvar leštěných děr

Vzhledem k možnostem uchycení celého dílu se jako lepší možnost krytí uvažuje druhá varianta. První varianta je sice jednodušší z hlediska následného spojení segmentů dohromady, nebere ale v potaz právě uchycení celého kola difuzoru. Části kopírující obrys dílu by překážely efektivnímu způsobu upnutí za vnitřní průměr 188 mm. Dalším problémem by bylo systematické odebírání krycích částí vůči upnutí pro sledování stavu leštění. A v poslední řadě by takové segmenty byly příliš velké a bránily by správnému toku leštícího média.

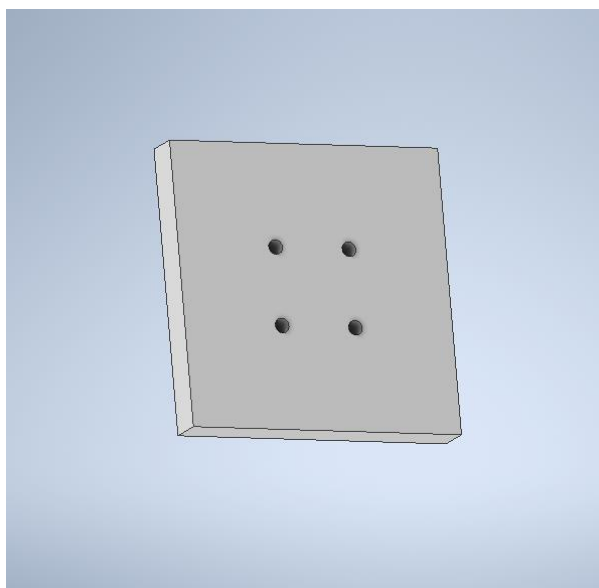
6 CAD návrh přípravku

Při návrhu přípravku pro uchycení kola difuzoru jsem uvažoval se dvěma polohami kola. Horizontální polohu, která by umožňovala lepší proudění leštícího média. Vertikální polohu, kde se sice uvažuje s horším prouděním leštícího média skrz vyhloubené otvory, na druhou stranu se zase všechny otvory nachází ve stejné výšce, tudíž by měl být vyleštěn povrch všude stejně.

Přípravek se skládá ze základní desky, čtyř závitových tyčí dvou různých velikostí, silnostěnných trubek, železného kvádru, vnitřní a vnější plechy pro uchycení kola difuzoru, šroubů, matek a vnitřních a venkovních segmentů vyplňující vyhloubené díry.

6.1 Základní deska

Jedná se o výpalek z plechu o rozměrech 200x200x40. V základní desce jsou vyvrtány čtyři díry se závity pro následné závitové tyče. Viz příloha A.



Obrázek 12 CAD návrh základní desky

6.2 Závitové tyče

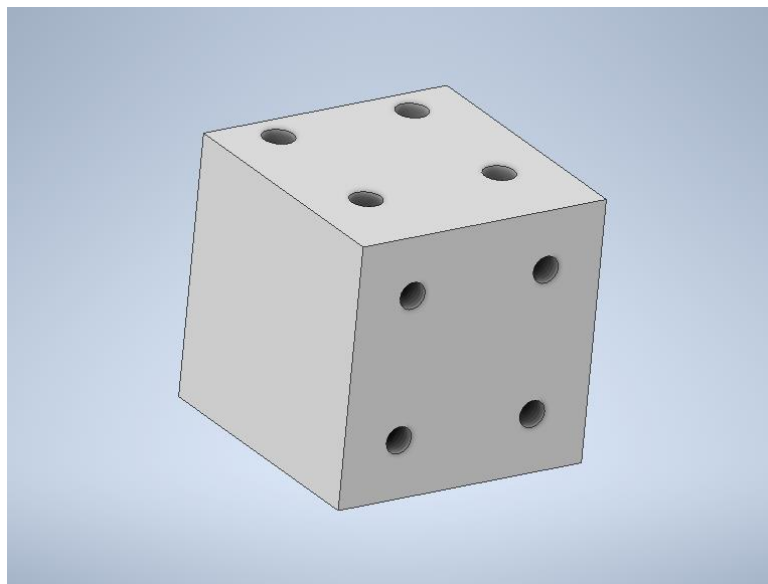
Závitové tyče jsou o průměru 12 mm. Dlouhé 300 mm pro vertikální možnost uchycení kola difuzoru a 150 mm dlouhé pro horizontální uchycení kola. Dále závitové tyče o průměru 2,5 mm, které slouží k uchycení segmentů, vyplňující leštěné otvory, k sobě.

6.3 Distanční trubky

Distanční trubky o průměru 16 mm. Navrhnuty dvě délky, každá k jedné variantě uchycení. K vertikálnímu uchycení trubky dlouhé 130 mm a k horizontálnímu uchycení trubky délky 50 mm.

6.4 Nosná kostka

Kvádr patří k horizontálnímu přípravku, kde drží kolo difuzoru. Navržen o rozměrech 100x100x100 mm. Obsahuje čtyři průchozí díry na závitové tyče M12, kterými se připevní k základové desce. Dále čtyřmi díry se závity M8, ke kterým bude přichyceno kolo difuzoru. Viz příloha B.

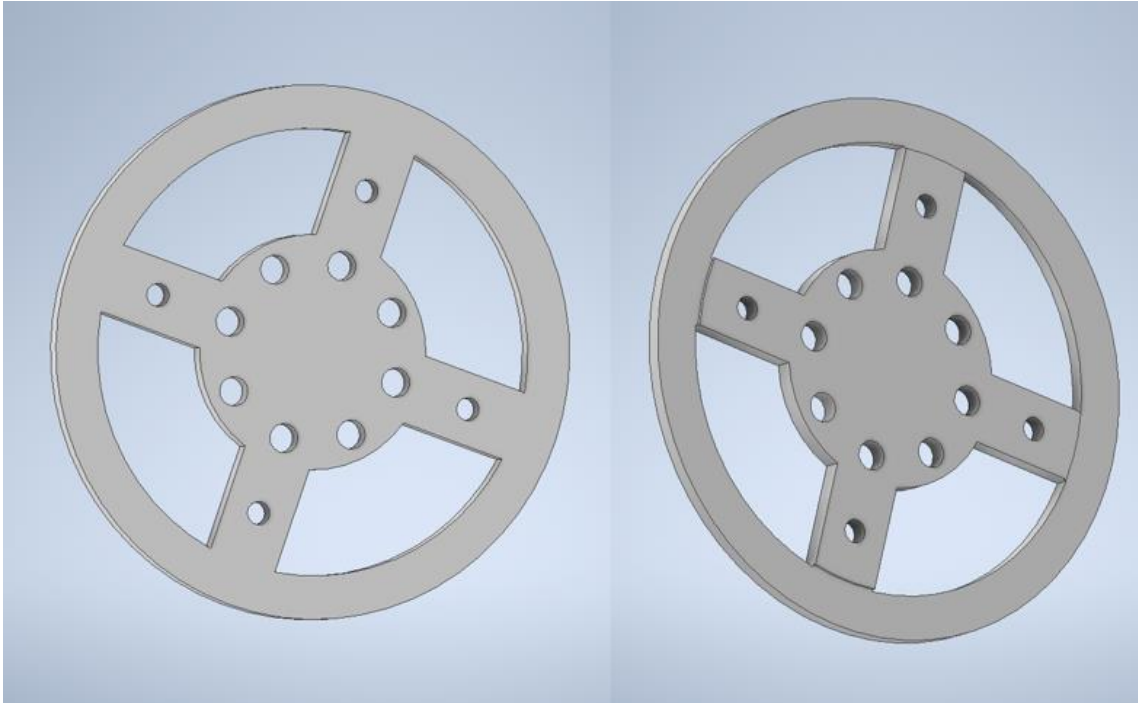


Obrázek 13 CAD návrh nosné kostky

6.5 Vnitřní a vnější plech na uchycení kola difuzoru

Vnitřní a vnější uchycení kola jsou kruhové výpalky z plechu S235JR s otvory pro plynulý tok leštícího média. Jedná se o výpalky o průměru 227 mm a tloušťce 8 mm. V obou plechách jsou vyřezané 4 závity M10, které slouží pro šrouby k uchycení k sobě, a tudíž k uchycení celého kola a celkem 12 průchozích děr, které slouží pro uchycení těchto plechů s kolem difuzoru do železného kvádru v případě horizontální orientace přípravku, nebo pro uchycení na závitové tyče v případě vertikální orientace přípravku. Těchto

dvanáct děr je v uchycení kola pro možnost polohování děr v procesu leštění a tím k zajištění nejlepší pozice pro leštění. Viz příloha C a D.



Obrázek 14 CAD návrh vnější a vnitřní části uchycení kola difuzoru

6.6 Vnitřní a vnější segmenty

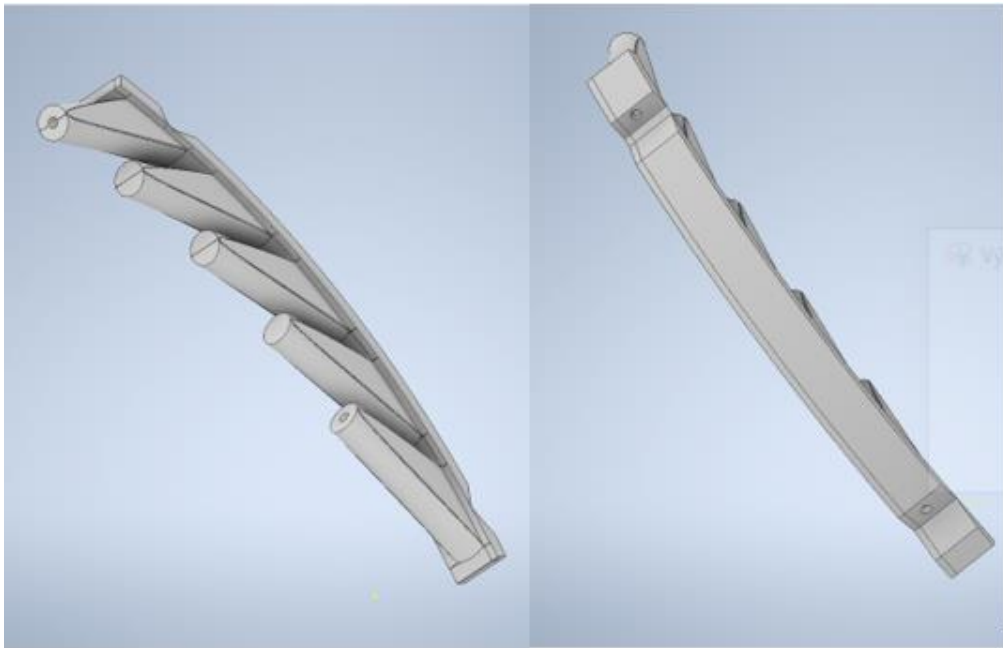
Hlavní součásti celého přípravku. Segmenty, které kryjí díry, které potřebujeme mít vyleštěné. Slouží pro zakrytí děr pro určení optimální polohy kola pro leštění v pracovním prostoru stroje. Celkem se jedná o sedm vnějších segmentů a sedm vnitřních segmentů. Vzhledem ke složitosti hloubených děr, jsou tyto segmenty rozdílné.

Vnější segmenty obsahuje pět vysunutých částí, které opisují první část hloubené díry, která se zužuje do trojúhelníkového tvaru. Těchto pět částí je umístěno na sedmině kruhu, který opisuje vnější průměr hloubených děr. Tato část je navržena tak, aby se další segmenty vedle sebe bez potíží vešly. Vnější část kruhu je navržena na zakrytí všech pěti děr tak, aby se do těchto děr nedostaly žádné měděné třísky.

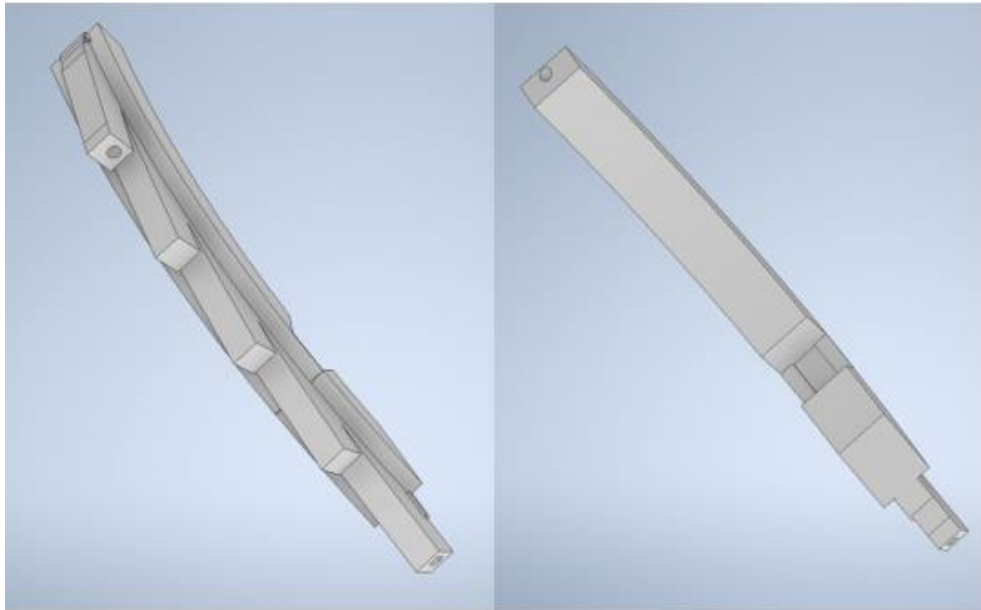
Vnitřní segmenty obsahují také 5 vysunutých částí, které jsou orientovány přesně naproti částím z vnějšího segmentu. Těchto pět částí je umístěno na části popisující část

vnitřního průměru kola. Jelikož díry nejsou nijak souměrné nýbrž asymetrické, vnitřní segmenty jsou menší a složitější navrzení.

Oba segmenty v sobě mají dvě díry o průměru 3 mm. Tyto díry ve vnějším i vnitřním segmentu jsou vůči sobě souosé. Prochází jimi závitová tyč o průměru 2,5, díky níž jsou segmenty drženy maticemi k sobě a zabraňují vypadnutí segmentu při procesu leštění. Viz příloha E a F.



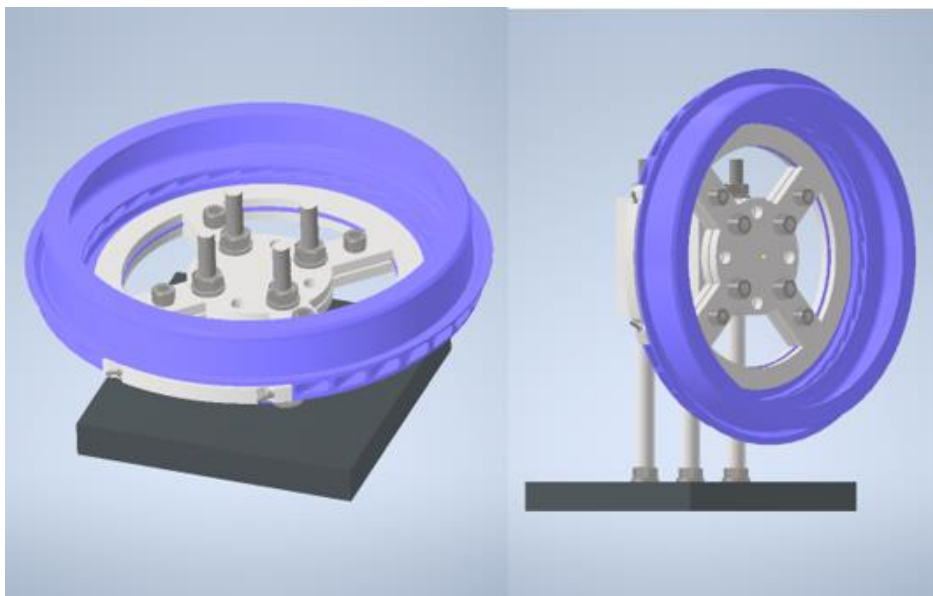
Obrázek 15 CAD návrh vnějšího krycího segmentu děr



Obrázek 16 CAD návrh vnitřního krycího segmentu děr

6.7 Sestavení přípravků

Sestavené obě varianty přípravků. Horizontální varianta posazená na silnostěnných trubkách dlouhých 50 mm a vertikální poloha s železnou kostkou posazenou na silnostěnných trubkách délky 130 mm. V kole difuzoru je umístěn jeden vnitřní a jeden vnější segment (jen pro představu, jak by byly umístěny i ostatní segmenty). Viz příloha G a H.



Obrázek 17 Horizontální a vertikální umístění přípravku

7 Prototypová výroba přípravku

Prototypová výroba probíhala ve výrobních halách fakulty strojní. Výroba se musela podřídit technologickému vybavení dílen. Samotná výroba probíhala na konvenčním soustruhu SV-18, radiální vrtačce VR4, CNC frézce VMC 500, frézce FNGJ 40 a plastové segmenty byly vytištěny na FDM tiskárně STRATASYS F370.

1) Soustruh SV-18

Tabulka 9 Technické parametry soustruhu SV-18 [32]

Technické parametry	
Max. otáčky	2800 ot/min
Výkon elektromotoru	7,5 kW
Max. hmotnost obrobku	300 kg
Max. délka soustružení	750 mm
Max. \varnothing soustružení	380 mm



Obrázek 18 Soustruh SV-18 [32]

2) Radiální vrtačka VR 4

Tabulka 10 Technické parametry radiální vrtačky [33]

Technické parametry	
Výkon elektromotoru	3 kW
Max. vodorovný pohyb	945 mm
Max. svislý pohyb	710 mm
Max. \varnothing vrtání	50 mm
Max. otáčky	2000 ot/min



Obrázek 19 Radiální vrtačka VR 4 [33]

3) Frézka FNGJ 40

Tabulka 11 Technické parametry frézky FNGJ 40 [34]

Technické parametry	
Max. otáčky	4000 ot/min
Výkon elektromotoru	4 kW
Max. hmotnost obrobku	350 kg
Max. výška frézování	558 mm
Max. délka frézování	650 mm



Obrázek 20 Frézka FNGJ 40 [34]

4) CNC frézka VMC 500

Tabulka 12 Technické parametry CNC frézky VMC 500 [35]

Technické parametry	
Max. otáčky	6000 ot/min
Výkon elektromotoru	3,7 kW
Max. hmotnost obrobku	350 kg
Nástrojových míst	21



Obrázek 21 CNC frézka VMC 500 [35]

5) STRATASYS F370

Tabulka 13 Technické parametry STRATASYS F370 [36]

Technické parametry	
Velikost a hmotnost	1 626 x 864 x 711 mm, 227 kg
Hlučnost	46 dB
Přesnost	+/- 0,2 mm nebo 0,002 mm/mm
Technologie tisku	FDM
Software	GrabCAD Print, Insight
Max. rozměr výtisku	355 x 254 x 355 mm
Tisknuté materiály	ABS, ASA, FDM TPU 92 A, PC-ABS
Podpůrný materiál	PLA, QRS
Tloušťka vrstvy	0,330;0,254;0,178;0,127 mm



Obrázek 22 Stratasys F370 [36]

7.1 Výroba – základní deska

Polotovár základní desky přišel jako výpalek z materiálu S235JR. Jelikož se jednalo o pálení laserem, zůstaly po hranách otřepty, které se musely frézovat (obrázek č. 24). Frézování kontury probíhalo na frézce FNGJ 40. Nejprve se nastavil výchozí bod, a poté se přešla každá strana desky. Vzhledem k nepřiliš dobře vypadajícímu povrchu se soustružila přední a zadní strana. Jelikož na základní desku následně dosedají trubky, musel být povrch aspoň trochu přesný. Deska se vložila do sklíčidla soustruhu SV.18. Nejprve se vyvrtala malá díra v prostředku desky, kvůli lepšímu postupu soustružení zevnitř ven, poté se soustružila celá plocha.



Obrázek 23 Soustružení čela desky



Obrázek 24 Frézování kontury základní desky

Po těchto prvních dvou úpravách se deska upnula do svěráku CNC frézky VMC 500. Po upnutí se pomocí sondy nastavil nulový bod na desce. Poté se sonda vyměnila za vrták $\varnothing 12$ mm a strojně nastavil vrtací cyklus s nájezdy, přejezdy a hloubkou vrtání.

7.2 Výroba – Nosná kostka

Pro výrobu železného kvádrů se použil polotovár, který se nacházel v dílnách. Jednalo se o železnou krychli s rozměry přibližně 100 x 100 x 100 mm. Vzhledem k požadavku na celkovou tuhost přípravku byla nejprve na CNC frézky VMC 500 frézována dosedací plocha na tyče, aby bylo umožněno co nejpřesnější napojení na trubky. Opět se nejprve sondou určila nulová poloha. Poté se strojně nastavil cyklus pro frézování, upnula se hlava s frézou a ručně se nastavily řezné podmínky jako řezná rychlost a posuv, nájezdy, přejezdy a úběr materiálu.



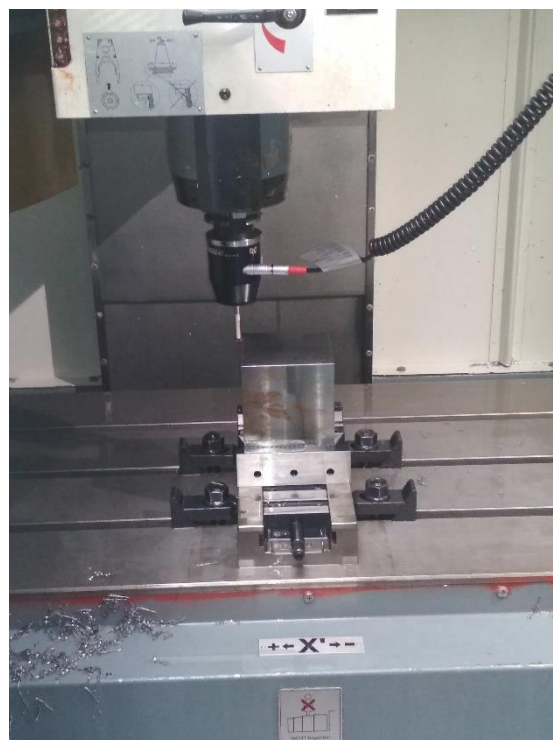
Obrázek 25 Frézování dosedací plochy železné kostky

Po frézování plochy se kvádr ve svěráku musel podložit, jelikož se pokračovalo ve vrtání čtyřech průchozích děr na závitové tyče. Opět se nejprve pomocí sondy určil nulový bod a poté se do vřeteníku upnul vrták $\varnothing 12$ mm. Po připravení nástroje se nastavily řezné podmínky pro vrtací cyklus, nájezdy, přejezdy a nastavily se souřadnice průchozích děr a jejich hloubka.

Po vrtání průchozích děr se kostka ve svěráku otočila o 90° pro vrtání děr pro závity M12 pro držení upínacích přípravků kola difuzoru. Proces se v podstatě opakoval, akorát se vyměnil vrták $\varnothing 12$ mm za vrták o průměru 10,5 mm.



Obrázek 26 Vrtání průchozích děr železné kostky



Obrázek 27 Měření nulového bodu železné kostky

Po frézovacích operacích se nosná kostka vzala k radiální vrtačce VR 4. Kostka se upnula do svěráku pro vrtání závitů. Před tvorbou závitů se vždy musela osa vrtací hlavy nejprve pomocí středícího kolíku napolohovat přesně nad vyvrtanou díru (obrázek č.28). Následně se do hlavy vřeteníku vložil povlakovaný závitník M12 následovala výroba závitů.

Při řezání závitů se nepodařilo v kostce závity vyrobit strojně. Při kontaktu s kostkou se po prvním záběru závitník zasekl. I přes úpravy řezných podmínek a snahou o co největší utažení závitníku ve vřeteníku se nepodařilo závity strojně vyrobit. Proto se 4 závity M12 musely vyřezat ručně pomocí vratidla (obrázek č.29). Samotné řezání závitu bylo tedy poměrně zdlouhavé. Závitník se namazal olejem a po strojním záběru závitníku v kostce se uvolnil vřeteník a radiálně se strojem odjelo. Poté se na závitník nasadilo vratidlo a celý závit se řezal ručně.



Obrázek 28 Polohování vřeteníku nad díru



Obrázek 29 Řezání závitů železné kostky

7.3 Výroba – upínací části kola

Upnutí kola difuzoru je vyrobeno z polotovaru výpalku materiálu S235JR. Výpalek má parametry přesně takové, jak jsou popsány v kapitole 6.5. Při vypalování bohužel byly vypáleny krajní díry o $\varnothing 8$ mm namísto děr o průměru 6,3 mm. Tudíž je ještě potřeba převrtat díry a udělat větší závit, než se původně plánovalo.

Jeden z dílů se upne do soustruhu SV-18 a soustruží se drážka, která pomůže efektivněji držet kolo difuzoru a zabráni spadnutí kola při vibracích v procesu leštění. Z celého průměru se ubere drážka hluboká 1,5 mm do průměru 188 mm. Při soustružení se musí soustružená plocha chladit chladicí kapalinou.



Obrázek 30 Soustružení drážky pro upínací část

Poté se postupně spodní i vrchní část upínání vloží do sklíčidla v radiální vrtačce VR4. Ručně se do vřeteníku vloží nejprve středící kolík, s kterým se ručně vrtací hlava

napoložuje přesně nad díru (obrázek č. 32). Do vrtací hlavy se poté vloží nejprve vrták o průměru 8,5 mm a ručně se vrtá díra na závit. Po vyvrtání díry se ve vrtací hlavě vymění vrták za závitník M10 a ručně se najede na první záběr závitníku, závit se poté vyrobí pohybem stroje směrem dolů (obrázek č.33).



Obrázek 31 Vrtání děr pro závit



Obrázek 32 Polohování vřeteníku nad díru



Obrázek 33 Řezání závitů

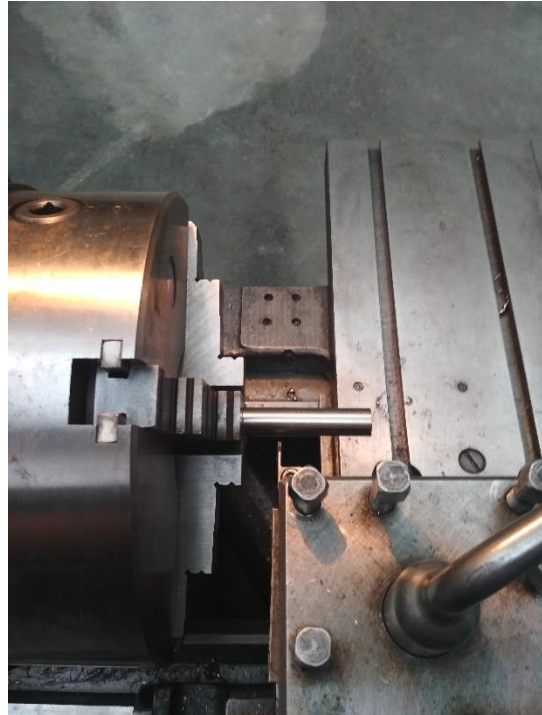
7.4 Výroba – závitové tyče a distanční trubky

Závitové tyče i distanční trubky se dělily z polotovaru z nerezové oceli. Jelikož na závitové tyče nebyl tak velký nárok na přesnost, výroba se prováděla ručním dělením. Metrový polotovar se upnul do svěráku, odměřila se vzdálenost 300 mm a 150 mm u závitové tyče $\varnothing 12$ mm a vzdálenost 10 mm u závitové tyče $\varnothing 2,5$ mm. Poté se jednotlivé kusy nařezaly pomocí ruční pilky na železo.

U silnostěnných trubek je kladen větší důraz na přesnost/rovinnost dosedacích ploch na základní desku, jak na železnou kostku u horizontální polohy přípravku, tak na upínací část kola difuzoru při vertikální poloze přípravku. Proto se dělení trubek provádí na soustruhu SV-18. Trubka se upne do sklíčidla a pomocí upínacího nože se oddělí požadovaný rozměr trubky. Pro vertikální polohu trubka délky 130 mm a pro horizontální polohu trubka délky 50 mm. Upínací nůž se při dělení nerezové oceli příliš rychle ohřívá, tudíž se musí během dělení trubka chladit chladicí kapalinou. Jelikož po dělení upínacím nožem zůstane v ústí trubky otřep, musí se pomocí středícího kolíku, umístěného na koníku, otřep odstranit.



Obrázek 34 Odstranění ořep

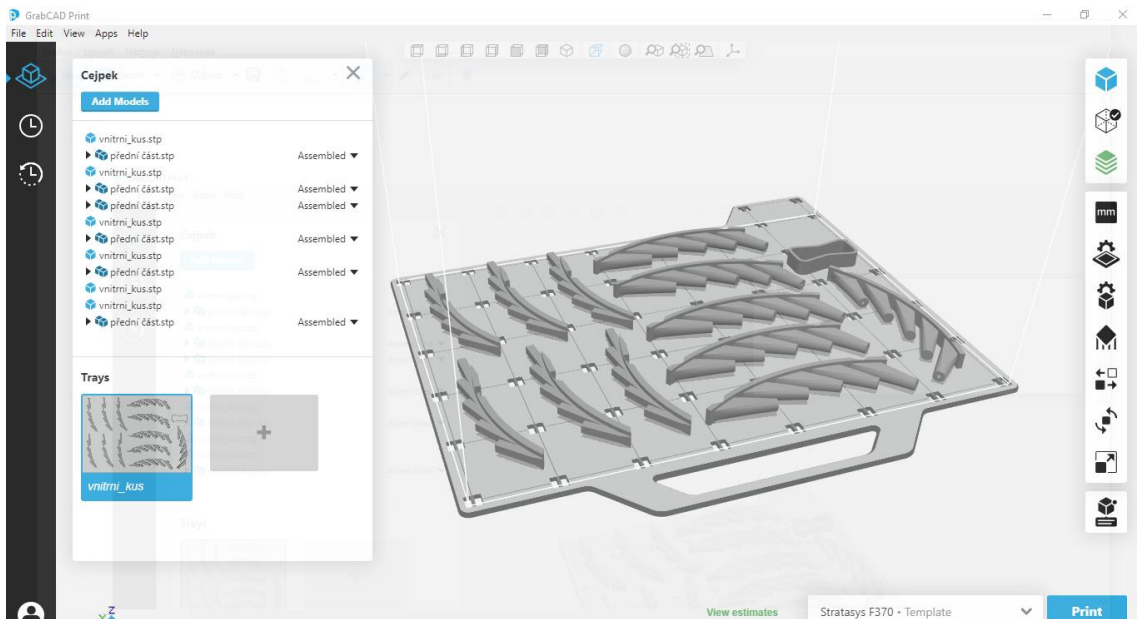


Obrázek 35 Dělení trubky upínacím nožem

7.5 Výroba – krycí segmenty

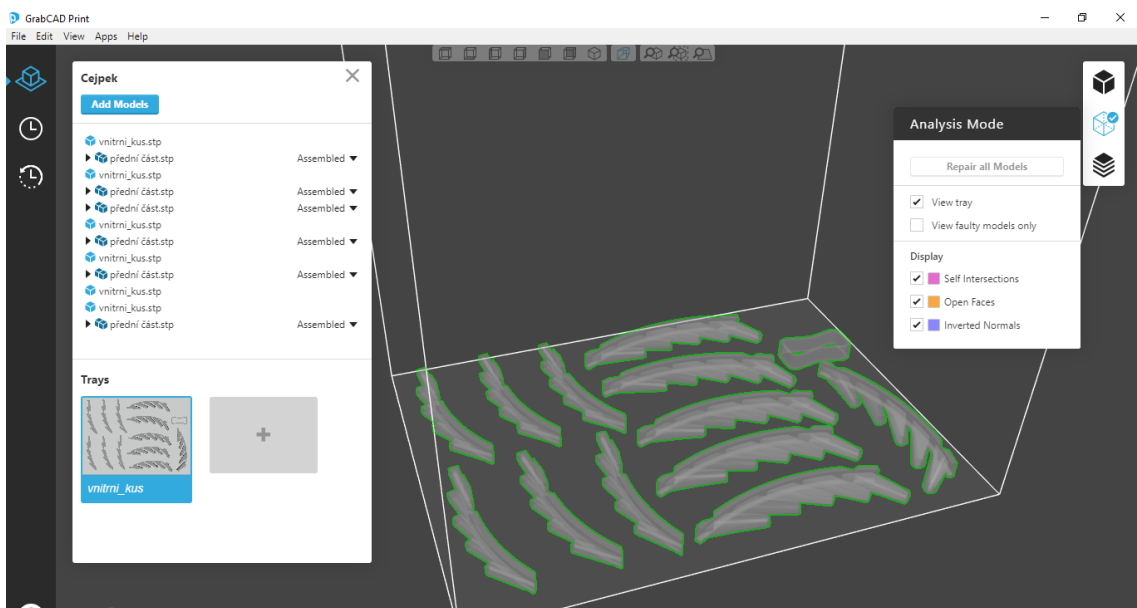
Pro výrobu krycích segmentů je vzhledem ke složitosti vnitřního i vnějšího dílu možná jen výroba pomocí 3D tisku. Výroba probíhá ve třech stádiích. Při návrhu 3D tisku se nejprve pracuje se softwarem, v případě 3D tiskárny použité při této výrobě od firmy Stratasys, GrabCAD.

V první fázi tisku se v GrabCADu nejprve navrhne optimální rozložení na pracovní desce, tak aby se tam vešlo co nejvíc tištěných součástí včetně čistícího segmentu trysky (obrázek č.36). Při rozložení součástí je nutné dbát na správné navržení orientace dílu na základní desce z hlediska podpůrných materiálů. Poté se nastavují parametry tisku. Volba tisknutého materiálu, tloušťka tištěné vrstvy, volba podpůrného materiálu, struktura výplně tištěného materiálu a další. Tištěný materiál je v mém případě zvolen ABS s tloušťkou vrstvy 0,1778 mm, podpůrný materiál QSR. Struktura výplně je volena typ SOLID, což je nejpevnější možná struktura výplně. Tisknuté segmenty budou muset odolávat poměrně velkému horku, vibracím a velké hmotnosti. Z těchto důvodů je typ SOLID nejlepší.



Obrázek 36 Rozmístění součástí pro tisk

V druhé fázi software analyzuje, zda jsou díly na desce správně nahrány. V případě, že jsou v modelu nějaké chyby, které software nedokáže přijmout, sám je opraví. Až se všechny díly na desce zelenají, může se přejít do třetí fáze.



Obrázek 37 Opravené součásti pro tisk

Třetí fáze softwaru je simulace. Zde software ukáže výsledný tisk včetně podpor.

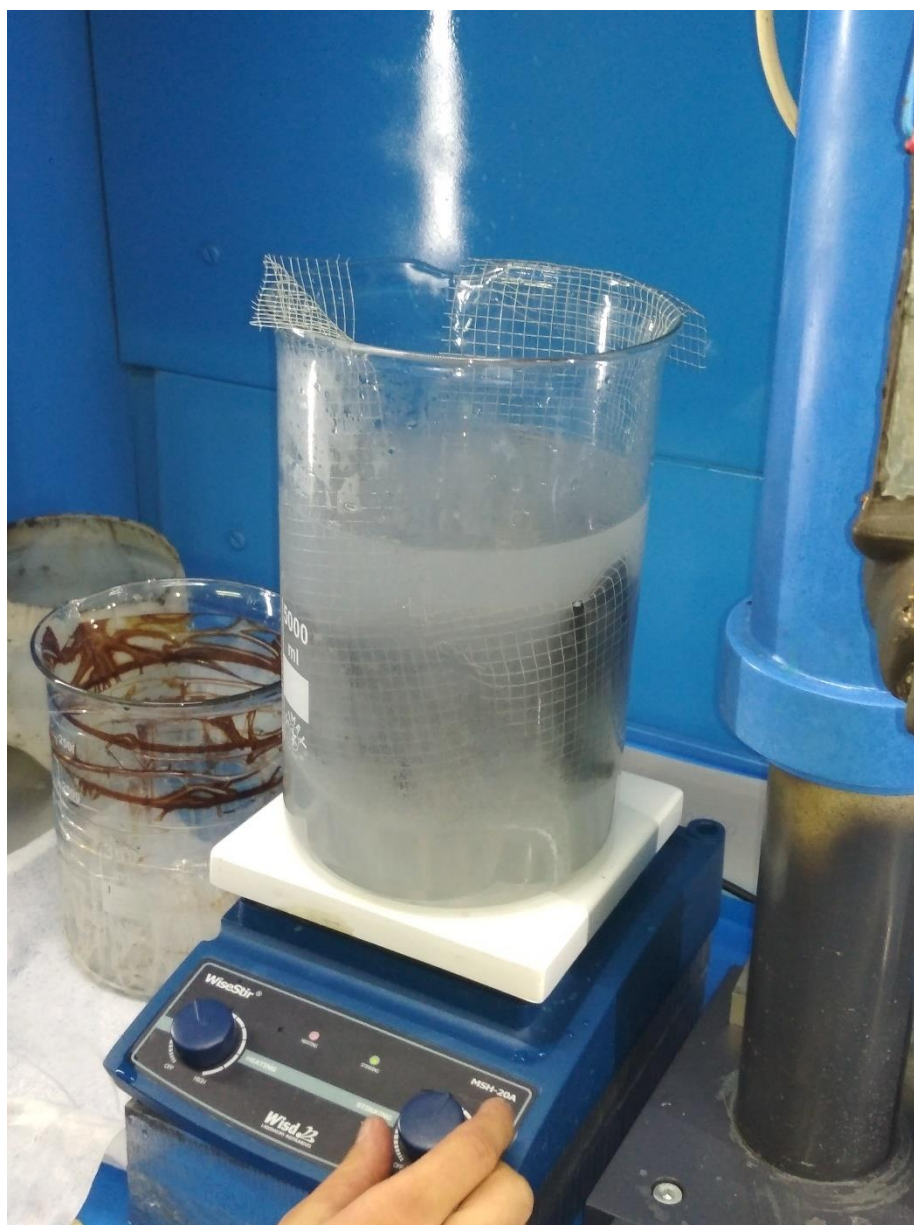


Obrázek 38 Simulace celého tisku

Samotný tisk segmentů trvá zhruba 14 hodin. Po vyjmutí desky z 3D tiskárny následuje fáze odstranění podpurných materiálů. Podpurný materiál, který tvoří základnu segmentů lze odstranit ručně pomocí kleští. Jelikož jde o segmenty, které nemají dekorativní využití, není nutné brát v potaz poškození škrábnutím.

Problém nastává při odstranění podpurného materiálu z dvou děr každého segmentu. Jedná se o díry o průměru 3 mm. Díky tisku podpor z materiálu QSR, což je rozpustný podpurný materiál, lze tyto díry vyčistit pomocí rozpuštění v roztoku hydroxidu sodného.

V odměrné kádince je namíchán roztok hydroxidu sodného. Segmenty jsou v kádince umístěné v provizorně udělané mřížce z pletiva, to aby byly všechny segmenty pořádkem ponořené. Kádinka je postavena na magnetické míchačce, která roztok zahřívá a zajišťuje jeho míchání (obrázek č.39).



Obrázek 39 Segmenty v roztoku hydroxidu sodného

Segmenty byly v roztoku hydroxidu sodného přes 20 hodin. Po dvaceti hodinách se podpůrný materiál celý nerozpustil. Avšak dvacet hodin v roztoku naboural integritu podpůrného materiálu natolik, že materiál bylo možno z děr odstranit vrtáním pomocí vrtačky.



Obrázek 40 Vnější segment



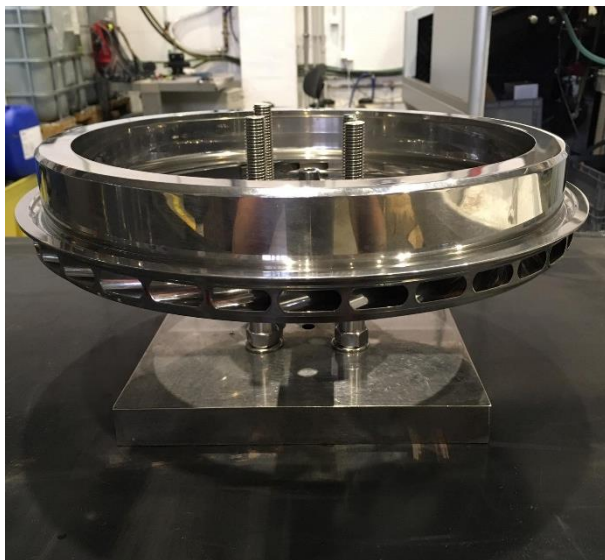
Obrázek 41 Vnitřní segment

7.6 Kompletace přípravku

Nejprve se zkompletoval držák kola difuzoru. Do základové desky se našroubovaly závitové tyče, které se dotáhly k základní desky pomocí matek M12 z nerezové oceli. Na

závitové tyče se posléze nasunuly distanční trubky, které dosedly na matice u základny, jelikož matice mají větší průměr, než je šířka trubky. Na závitové tyče je poté umístěna Nosná kostka, která je pomocí matek s podložkami dotáhnuta, aby dosedla na trubky. Dotažení probíhá ve svěráku, jelikož kostka musí opravdu pevně dosednout na trubky, aby byla dosažena velká tuhost celého přípravku.

Kompletace kola difuzoru probíhá nejprve usazením a spojením vnitřního a vnějšího segmentu děr. Oba segmenty se vůči sobě nasadí, poté se dírami protáhne závitová tyč o průměr 2,5 mm a na obou koncích se spojí a utáhne pomocí matek. Takto se nasadí 6 vnitřních a 6 vnějších segmentů. Po nasazení a utažení krycích segmentů se na kolo difuzoru nasadí vrchní a spodní část pro uchycení do zbytku přípravku. Spojovací části se utáhnou pomocí šroubů s vnitřním šestihranem M10, čímž se zajistí možnost uchycení kola difuzoru k železné kostce. Takto sestavené kolo difuzoru je poté pomocí šroubů s vnitřním šestihranem M12 spojen s železnou kostkou a po dosažení je vertikální přípravek zkompletován.



Obrázek 42 Horizontální rozložení přípravku



Obrázek 43 Vertikální rozložení přípravku

Pro horizontální uchycení se do základové desky našroubují závitové tyče dlouhé 150 mm, které se opět utáhnou šrouby. Na závitové tyče se nasunou trubky dlouhé 50 mm. Na trubky se nasadí už sestavené kolo difuzoru z předchozí montáže. Kolo difuzoru se na závitové tyče upevní pomocí šroubů s podložkami a opět dotáhne ve svěráku. Dotažení

ve svěráku probíhá opět kvůli výsledné tuhosti celého přípravku, aby spojovací části kompletně dosedly na distanční trubky.

7.7 Realizace na stroji

Po sestavení celého přípravku se celý přípravek vložil do leštícího stroje SPM LPG 1 (obrázek č.44). Přípravek byl zakryt pouze šesti segmenty, aby se mohlo určit, jestli v dané poloze dochází k leštění nebo ne. Nejprve se kolo difuzoru do stroje vložilo v horizontální poloze.

Tabulka 14 Technické parametry SPLM LPG 1 [37]

Technické parametry	
Pracovní plocha	500 x 500 x 600 mm
Užitná plocha	448 x 448 x 350 mm
Maximální výška leštění	350 mm
Výkon	16kW



Obrázek 44 SPM LPG 1 [37]

Po prvním čtyřhodinovém cyklu, kdy docházelo ke změně směru toku leštícího média každých 20 minut, nebyl leštící účinek nijak zvlášť výrazný. Nutno dodat, že celý přípravek včetně segmentů vytištěných na 3D tiskárně, po tomto cyklu fungoval perfektně. Jelikož povrch v hloubených dírách nebyl příliš kvalitně vyleštěn, dal se přípravek se stejnými odkrytými segmenty do stroje na desetihodinový cyklus.

Po desetihodinovém cyklu již byl leštící efekt větší. Vzhledem k velkému příkonu stroje a práci po dobu 10 hodin bohužel nevydržely všechny segmenty vytisknuté na 3D tiskárně. Nejspíše zato může nedokonalé utažení segmentů pomocí závitových tyčí a matek, což zvládlo cyklus o čtyřech hodinách, bohužel o 10 hodinách už ne. Druhým

problémem je určitě tepelné namáhání vytištěných segmentů, jelikož některé segmenty zůstaly v leštícím médiu úplně deformované (obrázek č.45).

I když výsledek leštění vypadal po celkových 14 hodinách ve stroji velmi dobře, po očištění a umytí součásti nakonec nebyl výsledek úplně dokonalý. Proto se přípravek dal do stroje na dalších 10 hodin. Po nichž už jde vidět rapidní rozdíl v drsnosti povrchu před a po leštění (obrázek č.46).



Obrázek 45 Deformace vnějšího segmentu



Obrázek 46 Přípravek ve stroji

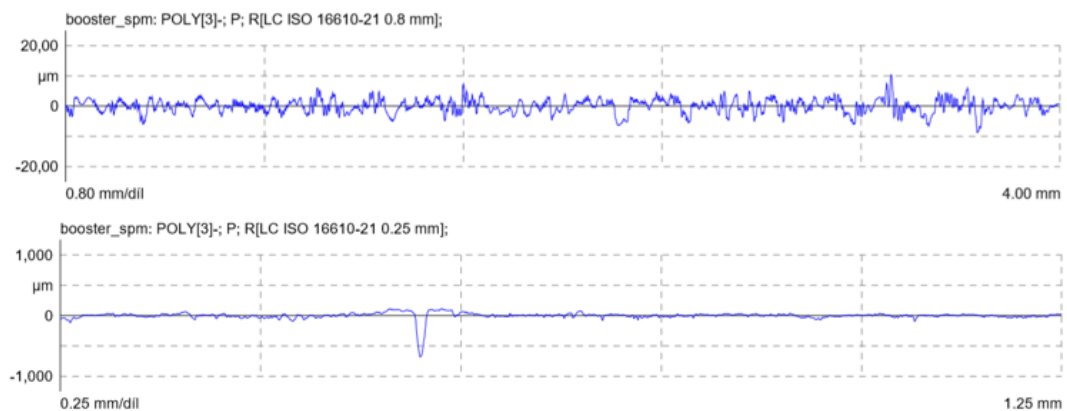
K datu odevzdání této diplomové práce se z důvodu časového vytížení SPM leštícího stroje bohužel nestihla druhá varianta umístění přípravku, a to v horizontální poloze.

Pro vyhodnocování kvality povrchu po leštění se využilo zařízení pro dotykové měření kontur a drsností MarSurf LD 120 s měřícím snímačem LDC 2,2-10-2/60°. Vyleštěné kolo difuzoru se umístilo do svěráku měřícího zařízení a pomocí měřícího snímače se změřila drsnost hloubených děr a obvodu kola (obrázek č.48). Drsnost se měřila na jedné z pěti děr, které prošly procesem leštění nejdelší dobu (24 hodin). Vzhledem k atypickému tvaru děr měřící snímač dokázal změřit drsnost jen ve vzdálenosti 25 mm. Velikost drsnosti obvodu kola sice nebyla cílem procesu, ale pro představu je zde vidět, jak jsou leštěny malé otvory i velké plochy.

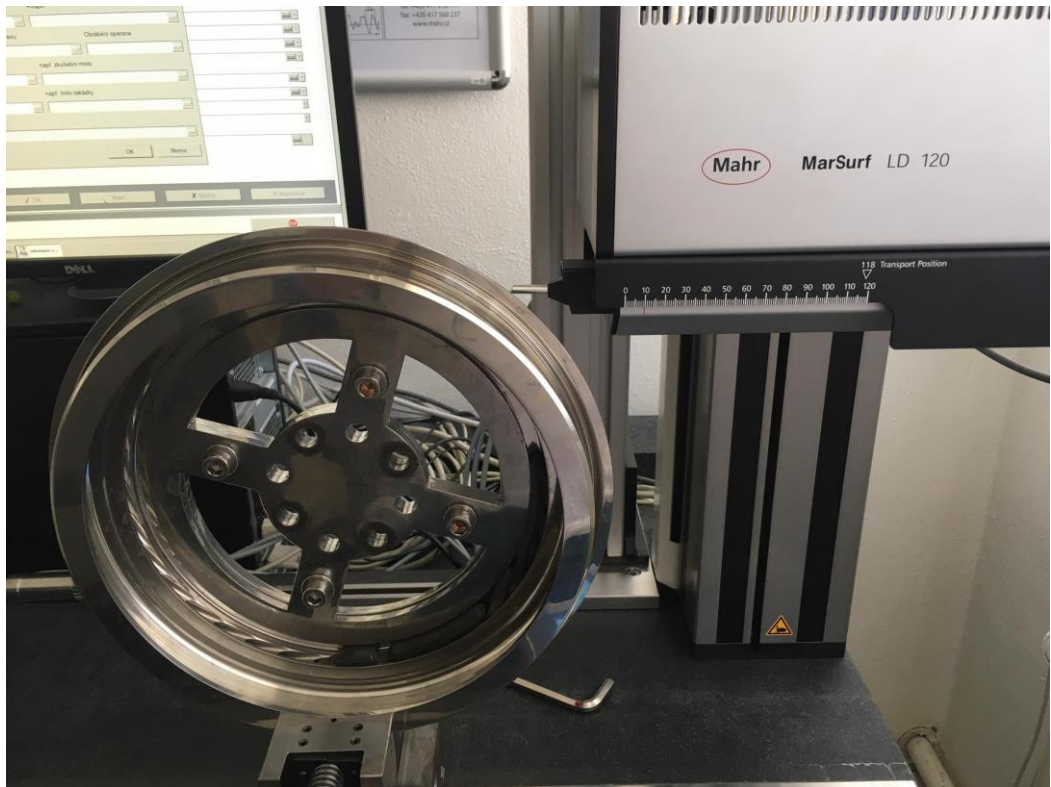
Měření probíhalo při mezní vlnové délce L_c 0,25 mm, rychlosti měření 0,1 mm/s a s měřícím intervalem 0,5 μm .

Tabulka 15 Měření drsnosti hloubených děr

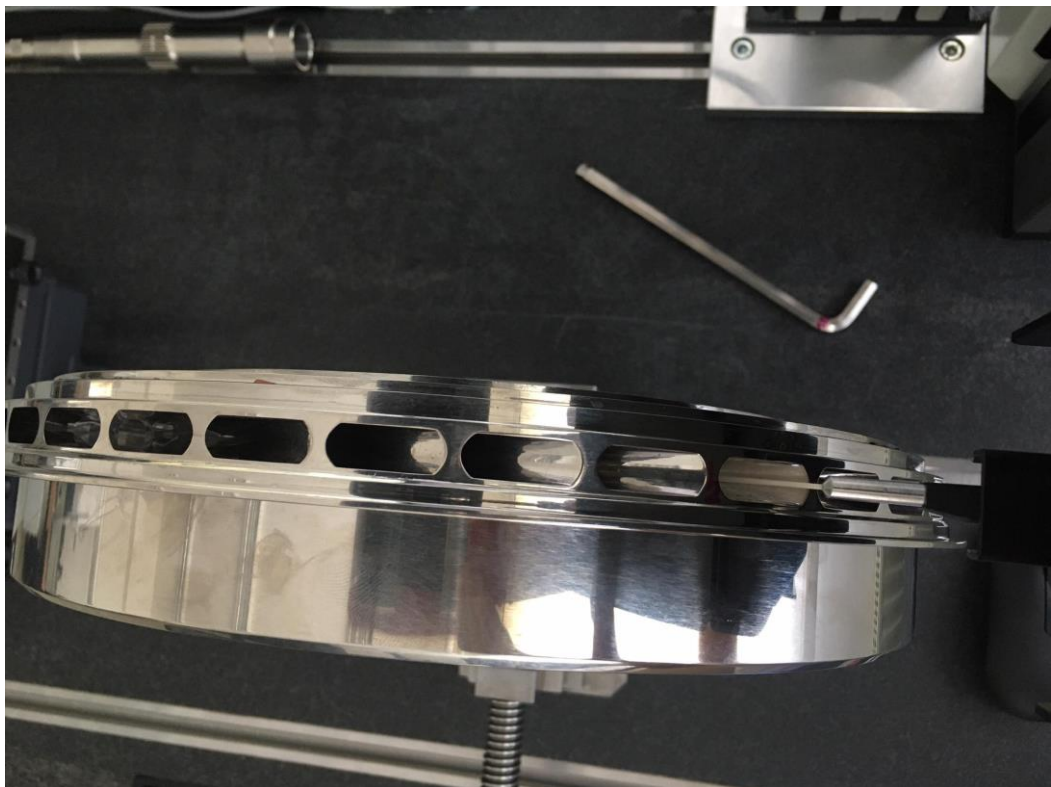
Měření drsnosti hloubených děr			Měření drsnosti obvodu kola
	Po EDM hloubení [μm]	Po SPM leštění [μm]	Po SPM leštění [μm]
Ra	1,770	0,027	0,023
Rz	13,221	0,273	0,220
Rmax	19,135	0,792	0,368
Rv	6,480	0,208	0,143



Obrázek 47 Graf struktury povrchu před a po leštění



Obrázek 48 Měření drsnosti hloubených děr



Obrázek 49 Vyleštěné hloubené díry

8 Závěr

Cílem této práce byl návrh a výroba přípravku na dokončování kola difuzoru. V první části mé práce jsem uvedl přehled možných technologií 3D tisku pro výrobu krytí hloubených děr kola difuzoru, což je hlavní součást celého přípravku, a popsal metodu SPM leštění jako nejlepší variantu pro povrchovou úpravu takto tvarovaných děr. V druhé části práce jsem se zaměřil na návrh krycích dílů pro díry po EDM hloubení, návrhu celého přípravku a jeho správnou orientaci ve stroji. Poslední stěžejní část byla výroba navrhovaného přípravku, včetně jeho ozkoušení v leštícím stroji.

Při návrhu přípravku se vycházelo z možností využití strojů, které jsou k dispozici ve školních dílnách fakulty strojní. Proto se volil co nejjednodušší styl a sestavení jak vertikálního, tak horizontálního přípravku. Když byla možnost, využívalo se materiálů, které byly k dispozici na hale (například nosná kostka).

Při použití přípravku v SPM leštícím stroji se ukázalo, že vertikální rozložení přípravku splňuje svoji funkci a bezpečně udrželo kolo difuzoru ve vertikální poloze po celých 24 hodinách v procesu leštění. Krycí segmenty pro hloubené díry splnili též svoji funkci. Jak se ovšem ukázalo, musí se dbát větší důraz na utažení vnitřního a vnějšího segmentu k sobě. To se ukázalo jako největší problém při desetihodinovém cyklu, kdy většina segmentů nebyla dostatečně utažena a nevydržela celý cyklus.

Z výsledků měření drsnosti hloubených děr ve vertikálním rozmístění přípravku lze vidět, že při vertikálním uchycením kola difuzoru je možné dosáhnout leštěného povrchu. Drsnost po SPM leštění byla naměřena $0,027 \mu\text{m Ra}$.

Takto měřená drsnost je však omezená vůči dostupnosti kanálu pro dotykové měření. Měřicí snímač použit pro měření drsnosti, neprojde celou hloubenou dírou a nezměří tedy celkovou drsnost. Pro přesné a spolehlivé změření drsnosti v kanálu je potřeba otevřít kanál drátovým řezáním.

9 Seznam použité literatury

- [1] *Informace o technologiích 3D tisku* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiech-3d-tisku/>
- [2] *Přehled technologií 3D tisku* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>
- [3] *Technologie 3D tisku* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/blog/technologie-3d-tisku>
- [4] *Introduction to SLS 3D printing* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing>
- [5] *Jak funguje stolní 3D tiskárna: Základní technologie 3D tisku* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.tonerpartner.cz/clanky/jak-funguje-stolni-3d-tiskarna-zakladni-technologie-3d-tisku-24967cz39332/>
- [6] *Introduction to FDM 3D printing* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>
- [7] *Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/fused-deposition-modeling-fdm>
- [8] *What is a DLP 3D printer? - Simply Explained* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-a-dlp-3d-printer-3d-printing-simply-explained/>
- [9] *What is Laminated Object Manufacturing?* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>
- [10] *LOM (Laminated Object Manufacturing): 3D Printing with Layers of Paper* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/lom-definition>
- [11] *What Is Material Jetting? – 3D Printing Simply Explained* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-material-jetting-3d-printing-simply-explained/>
- [12] *What Is Binder Jetting? – 3D Printing Simply Explained* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-binder-jetting-3d-printing-simply-explained/>

- [13] *Direct Metal Laser Sintering (DMLS) – Simply Explained* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/direct-metal-laser-sintering-dmls-simply-explained/>
- [14] *ABS* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/abs_5005
- [15] *ASA* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/asa_5075
- [16] *PLA* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/pla_5061
- [17] *PETG* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_5019
- [18] *FLEX* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/flex_4991
- [19] *ABSi* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/absi>
- [20] *ABS M30* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/abs-m30>
- [21] *ABS M30i* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/abs-m30i>
- [22] *POLYCARBONATE THERMOPLASTIC* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/pc>
- [23] *ABS-ESD7* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/abs-esd7>
- [24] *PC-ABS* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/pc-abs>
- [25] *PC-ISO* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/pc-iso>
- [26] *ULTEM™ 9085 Resin* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/ultem9085>
- [27] *FDM Support Removal* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://support.stratasys.com/en/materials/fdm-materials/fdm-support-materials>

- [28] PVA [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pva/>
- [29] Zobrazit větší Verbatim BVOH rozpustné podpory 500g [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: https://shop.prusa3d.com/cs/special/161-verbatim-bvoh-rozpustne-podpory-500g.html?search_query=BVOH&results=1
- [30] Nový podpůrný materiál pro 3D tisk od Verbatim [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/component/content/article/8048.html>
- [31] BRAND, Terrance Alan, Andrew Lee TRIMMER a Kevin Lee SHATLEY. *POLISHING METHOD FOR TURBINE COMPONENTS*. US. 2017 / 0361422 A1. Uděleno 21/12/2017.
- [32] Hrotový soustruh SV18 RA [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/soustruh/sv18/>
- [33] VRTAČKA RADIÁLNÍ VR4 [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://repoz.cz/vrtacka-radialni-vr4>
- [34] FNGJ 40 A [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fngj40-a.pdf>
- [35] *Technologie obrábění - Používané CNC stroje* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <http://technologie.fs.cvut.cz/provide/obrabeni>
- [36] STRATASYS F123 SERIES PRINTERS [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/3d-printers/f123>
- [37] LPG1 500/2310 MAG GLASS [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <http://www.spm-polish.com/products.php?id=5>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Princip SLS tisku [4]	11
Obrázek 2 Postup FDM tisku [6]	12
Obrázek 3 Schéma DLP tiskárny [2].....	14
Obrázek 4 Princip LOM technologie [2].....	15
Obrázek 5 Schéma MJP tiskárny [2]	16
Obrázek 6 Schéma BJ tiskárny [2]	18
Obrázek 7 Schéma DMPS tiskárny [2].....	19
Obrázek 8 Schématický průřez leštícím strojem.....	30
Obrázek 9 Příklad tvaru kovových třísek	31
Obrázek 10 Možnost uchycení.....	35
Obrázek 11 Atypický tvar leštěných děr	36
Obrázek 12 CAD návrh základní desky	37
Obrázek 13 CAD návrh železné kostky	38
Obrázek 14 CAD návrh vnější a vnitřní části uchycení kola difuzoru	39
Obrázek 15 CAD návrh vnějšího krycího segmentu děr	40
Obrázek 16 CAD návrh vnitřního krycího segmentu děr	41
Obrázek 17 Horizontální a vertikální umístění přípravku.....	41
Obrázek 18 Soustruh SV-18 [32]	42
Obrázek 19 Radiální vrtačka VR 4 [33]	42
Obrázek 20 Frézka FNGJ 40 [34]	43
Obrázek 21 CNC frézka VMC 500 [35]	43
Obrázek 22 Stratasys F370 [36]	44
Obrázek 23 Soustružení čela desky.....	45
Obrázek 24 Frézování kontury základní desky.....	45
Obrázek 25 Frézování dosedací plochy železné kostky.....	46
Obrázek 26 Vrtání průchozích děr železné kostky	47
Obrázek 27 Měření nulového bodu železné kostky.....	47
Obrázek 28 Polohování vřeteníku nad díru	48
Obrázek 29 Řezání závitů železné kostky	48
Obrázek 30 Soustružení drážky pro upínací část	49

Obrázek 31 Vrtání děr pro závit	50
Obrázek 32 Polohování vřeteníku nad díru	50
Obrázek 33 Řezání závitů.....	51
Obrázek 34 Odstranění otřep	52
Obrázek 35 Dělení trubky upínacím nožem	52
Obrázek 36 Rozmístění součástí pro tisk.....	53
Obrázek 37 Opravené součásti pro tisk.....	53
Obrázek 38 Simulace celého tisku.....	54
Obrázek 39 Segmenty v roztoku hydroxidu sodného	55
Obrázek 40 Vnější segment	56
Obrázek 41 Vnitřní segment	56
Obrázek 42 Horizontální rozložení přípravku	57
Obrázek 43 Vertikální rozložení přípravku	57
Obrázek 44 SPM LPG 1 [37]	58
Obrázek 45 Deformace vnějšího segmentu.....	59
Obrázek 46 Přípravek ve stroji	59
Obrázek 47 Graf drsnosti před a po leštění.....	60
Obrázek 48 Měření drsnosti hloubených děr	61
Obrázek 49 Vyleštěné hloubené díry	61

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti ABSi [19]	25
Tabulka 2 Mechanické vlastnosti ABS M30 [20]	26
Tabulka 3 Mechanické vlastnosti ABS M30i [21]	26
Tabulka 4 Mechanické vlastnosti PC [22]	26
Tabulka 5 Mechanické vlastnosti PC [23]	27
Tabulka 6 Mechanické vlastnosti PC-ABS [24]	27
Tabulka 7 Mechanické vlastnosti PC-ISO [25]	28
Tabulka 8 Mechanické vlastnosti Ultem 9085 [26]	28
Tabulka 9 Technické parametry soustruhu SV-18 [32]	42
Tabulka 10 Technické parametry radiální vrtačky [33]	42
Tabulka 11 Technické parametry frézky FNGJ 40 [34]	43
Tabulka 12 Technické parametry CNC frézky VMC 500 [35]	43
Tabulka 13 Technické parametry STRATASYS F370 [36]	44
Tabulka 14 Technické parametry SPLM LPG 1 [37]	58
Tabulka 15 Měření drsnosti hloubených děr	60

12 Seznam použitých zkratk

SLS – Selective laser sintering

FDM – Fused deposition modeling

BJ – Binder Jetting

MJP – Multijetprinting

DLP – Digital light processing

LOM – Laminated object manufacturing

DMLS – Direct metal laser sintering

ABS – Acrylonitrile butadiene styrene

ASA – Acrylonitrile styrene acrylate

PLA – Polylactic acid

PETG – Polyethylene terephthalate glycol-modified

ABSi – Acrylonitrile Butadiene Styrene – Biocompatible

PC – Polycarbonate

ABS-ESD7 – Acrylonitrile butadiene styrene-electrostatic dissipative

PEI – Polyetherimid

MPa – Mega Pascal

J/m – Joul na metr

HDT – Heat Deflection Temperature

SR – Soluble release

BASS – Breakaway support structures

PVA – Polyvinyl alcohol

BVOH – Butenediol vinyl alcohol copolymer

HIPS – High impact polystyrene

Ra – Průměrná aritmetická hodnota drsnosti

Rz – Hloubka drsnosti

Rmax – Maximální hloubka drsnosti

Rv – Hloubka největší prohlubně

13 Seznam příloh

- A. Výkres základní desky
- B. Výkres nosné desky
- C. Výkres vnější části uchycení kola difuzoru
- D. Výkres vnitřní části uchycení kola difuzoru
- E. Výkres vnějšího krycího segmentu
- F. Výkres vnitřního krycího segmentu
- G. Výkres vertikálního rozložení přípravku
- H. Výkres horizontálního rozložení přípravku