

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270011 - Obrábění, aditivní
technologie a zabezpečování kvality

Studijní specializace: Bez specializace

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výroba odvzdušňovače olejových par pomocí aditivních technologií

Autor: Bc. Pavel ŠLAJS

Vedoucí práce: Ing. Ivana ZETKOVÁ, Ph.D.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel ŠLAJS**
Osobní číslo: **S20N0073P**
Studijní program: **N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**
Studijní obor: **Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**
Téma práce: **Výroba odvzdušňovače olejových par pomocí aditivních technologií**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Návrh vlastního řešení a jeho realizace
4. Zhodnocení výsledků
5. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BEČVÁŘ, Josef. Tepelné turbíny. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968. 543 s.
- CHUA, Chee Kai a LEONG, Kah Fai. 3D printing and additive manufacturing: principles and applications. The 4th edition of Rapid prototyping: principles and applications. New Jersey: World Scientific, 2015. ISBN 978-981-4571-41-8.
- KUMAR, J., L., PANDEY, P., M., WIMPENNY, D., I. 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies. Singapur: Springer, 2018.
- STANĚK, J., NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: ZČU, 2005.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ivana Zetková, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultanti diplomové práce: **Ing. Pavel Hanzl**
Regionální technologický institut
Ing. Jiří Třináctý
Doosan Škoda Power s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Šlajs	Jméno Pavel	
SPECIALIZACE	Bez specializace		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zetková, Ph.D.	Jméno Ivana	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU – FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Výroba odvodušnovače olejových par pomocí aditivních technologií		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	86	TEXTOVÁ ČÁST	64	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Cílem předložené diplomové práce je nahrazení konvenční technologie výroby odvodušnovače olejových par pomocí aditivní technologie DMLS při dosažení minimálně stejných užitných vlastností dílu s ohledem na časovou a finanční náročnost.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Aditivní technologie, Direct Metal Laser Sintering, DMLS, Odvdušnovač olejových par</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Šlajs	Name Pavel	
SPECIALIZATION	Without specialization		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zetková, Ph.D.	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU – FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Production of venting device using additive technology		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	86	TEXT PART	64	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of the submitted diploma thesis is to replace the conventional technology of venting device production using the additive technology DMLS, while achieving at least the same useful properties of the part with respect to time and cost.
KEY WORDS	Additive manufacturing, Direct Metal Laser Sintering, DMLS, Venting device

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí své diplomové práce paní Ing. Ivaně Zetkové, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady, připomínky a věnovaný čas v průběhu psaní diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat všem kolegům ze společnosti Doosan Škoda Power s.r.o, kteří mi pomohli, třeba jen drobnou radou. A na závěr bych chtěl poděkovat rodině a všem přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Obsah

1	Úvod	14
1.1	Cíl práce.....	14
2	Rozbor současného stavu	15
2.1	Odvzdušňovač s nástavcem Tp450747.....	15
2.1.1	Odvzdušňovač 1PK-643/VD-61	17
2.1.2	Sestava nástavce Tp439544	19
2.2	Popis jednotlivých technologií původní výroby odvzdušňovače	23
2.2.1	Soustružení	23
2.2.2	Vrtání.....	23
2.2.3	Obrábění vodním paprskem	24
2.2.4	Pájení.....	25
2.2.5	Tažení	26
2.2.6	Lemování.....	26
2.2.7	Povrchová úprava - nátěr.....	27
2.3	Úvod do aditivní technologie	27
2.3.1	Rozdělení aditivní technologie.....	27
2.3.2	Postup výroby aditivní technologií	29
3	Návrh vlastního řešení a jeho realizace	31
3.1	Výrobní zařízení	31
3.1.1	Direct Metal Laser Sintering neboli DMLS	31
3.2	Materiály.....	32
3.3	Prototyp	33
3.3.1	Materiál	33
3.3.2	Umístění na platformě.....	33
3.3.3	Podpůrné struktury a geometrie dílu	34
3.3.4	Parametry a čas tisku.....	39
3.3.5	Post-processing.....	39
3.3.6	Ověření funkčnosti prototypu.....	40
3.4	Finální výrobek.....	43
3.4.1	Materiál	43
3.4.2	Umístění na platformě.....	44
3.4.3	Podpůrné struktury a geometrie dílu	45
3.4.4	Parametry a doba tisku	46
3.4.5	Post-procesing	46

3.4.6	Ověření funkčnosti finálního výrobku	51
4	Zhodnocení výsledků	54
4.1	Srovnání původní geometrie odvzdušňovače s nástavcem a výrobku vytvořeného pomocí aditivní technologie	54
4.2	Zhodnocení čistoty vyrobeného dílu	55
4.3	Zhodnocení funkčnosti	55
4.4	Nákladové zhodnocení	55
4.4.1	Původní technologie	55
4.4.2	Aditivní technologie	57
4.4.3	Srovnání nákladů na výrobu původní technologií a aditivní technologií.....	58
5	Závěr	60
6	Publikace.....	62
7	Přílohy	64

Přehled použitých zkratek

3D – Three dimension

AM – Additive manufacturing

CAD – Computer-aided design

ČSN – Česká technická norma

ČSN EN ISO – Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou normu identickou s mezinárodní normou ISO

DIN – Německé normy (Deutsche Normen)

DMLS – Direct Metal Laser Melting

DŠPW – Doosan Škoda Power s.r.o.

EN – Evropská norma (European Standard)

EOS – Electro Optical Systems

ISO – Mezinárodní norma ISO (ISO International Standard)

JEDU – Jaderná elektrárna Dukovany

JETE – Jaderná elektrárna Temelín

Kč – Koruna česká

ks – kus

LS – Ložiskový stojan

NT – Nízkotlakový

P - Plech

Poz. - Pozice

RTI – Regionální technologický institut

SK – Slinutý karbid

TRKR – Trubka kruhového průřezu

TG – Turbogenerátor

W. Nr. – Werkstoff number

ZČU – Západočeská univerzita v Plzni

Seznam obrázků

Obrázek 1: Řez turbínou	15
Obrázek 2: Olejové vložky - vůle X (vlevo v klidu, vpravo za provozu)	16
Obrázek 3: Odvzdušňovač s nastavcem	17
Obrázek 4: Odvzdušňovač s nastavcem	17
Obrázek 5: Odvzdušňovač 1PK-643/VD-61	18
Obrázek 6: Nastavec Tp439544	20
Obrázek 7: Nastavec Tp439545	21
Obrázek 8: Miska Tp439546.....	22
Obrázek 9: Přepážka Tp527912	23
Obrázek 10: Soustružení [17].....	23
Obrázek 11: Vrtání [18]	24
Obrázek 12: Řezání vodním paprskem s abrazivem [19].....	25
Obrázek 13: Pájení plamenem [6].....	25
Obrázek 14: Princip tažení s přídržovačem a bez přídržovače materiálu [20].....	26
Obrázek 15: Princip technologie a ukázka lemování [21]	27
Obrázek 16: Základní rozdělení aditivní technologie [12].....	28
Obrázek 17: Přehled metody Single-step AM pro kovové materiály [12].....	28
Obrázek 18: Přehled metody Multi-step AM pro kovové materiály, keramiku a komposity [12]	29
Obrázek 19: Základní schéma postupu výroby [2]	30
Obrázek 20: Stroj EOS M290 [15].....	31
Obrázek 21: Schéma principu technologie DMLS [2].....	32
Obrázek 22: Příklad správného a špatného umístění součásti na platformě [2].....	33
Obrázek 23: Znázornění umístění na platformě	34
Obrázek 24: Funkce podpor [2]	34
Obrázek 25: Základní typy podpůrných struktur [2].....	35
Obrázek 26: Pokročilé typy podpůrných struktur [2].....	35
Obrázek 27: Izometrický pohled na prototyp.....	36
Obrázek 28: Příčný řez prototypem	37
Obrázek 29: Podélný řez prototypem	37
Obrázek 30: Podélný řez prototypem	38
Obrázek 31: Příčný řez prototypem	38
Obrázek 32: Graf tepelného zpracování	39
Obrázek 33: Pohled na ložiskový stojan z boku.....	40

Obrázek 34: Pohled na ložiskový stojan z vrchu	40
Obrázek 35: Původní odvzdušňovač s nastavcem umístěný na víku ložiskového stojanu	41
Obrázek 36: Provozní znečištění původního odvzdušňovače	41
Obrázek 37: Demontovaný odvzdušňovač s nastavcem a namontovaný prototyp	42
Obrázek 38: Prototyp umístěný na víku ložiskového stojanu	42
Obrázek 39: Umístění 1 kusu na platformě.....	44
Obrázek 40: Umístění 5 kusů na platformě.....	44
Obrázek 41: Pohled zepředu na finální výrobek	45
Obrázek 42: Řez finálním výrobkem	46
Obrázek 43: Vytištěný odvzdušňovač po oddělení od platformy	47
Obrázek 44: Vytištěný odvzdušňovač po oddělení od platformy	47
Obrázek 45: Po odříznutí nosné podpěry	48
Obrázek 46: Po odříznutí nosné podpěry a odstranění zbytků prášku z dutin	48
Obrázek 47: Po zámečnickém odstranění podpěry a vyčištění od zbytků prášku.....	49
Obrázek 48: Upnutí pro strojní odstranění podpěr.....	49
Obrázek 49: Strojní odstranění podpěr.....	50
Obrázek 50: Před pískováním	50
Obrázek 51: Před pískováním	50
Obrázek 52: Po pískování	51
Obrázek 53: Po pískování	51
Obrázek 54: Znečištění nastavce.....	52
Obrázek 55: Znečištění odvzdušňovače.....	53
Obrázek 56: Původní odvzdušňovač s nastavcem.....	54
Obrázek 57: Finální výrobek (odvzdušňovač)	54
Obrázek 58: Grafické srovnání nákladu na jeden kus v závislosti na objemu výroby.....	59

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry stroje EOS M290 [14].....	31
Tabulka 2: Doba tisku odvzdušňovače z materiálu MS1	39
Tabulka 3: Kontrolní měření podtlaku	43
Tabulka 4: Doba tisku jednoho kusu odvzdušňovače z materiálu 316L.....	46
Tabulka 5: Doba tisku pěti kusů odvzdušňovače z materiálu 316L.....	46
Tabulka 6: Kontrolní měření podtlaku	52
Tabulka 7: Kalkulace speciálního nářadí	55
Tabulka 8: Kalkulace přípravy a podpory výroby	56

Tabulka 9: Kalkulace materiálu	56
Tabulka 10: Kalkulace strojních prací	56
Tabulka 11: Kalkulace zámečnických prací.....	57
Tabulka 12: Celková kalkulace původní technologie	57
Tabulka 13: Celková kalkulace aditivní technologie	58

1 Úvod

S rozmachem moderních technologií, zvyšujícími se nároky na rychlost a pružnost výroby, omezováním skladových zásob a zachování nebo mnohdy zvyšováním kvality, je zapotřebí neustále hledat nové možnosti jak tyto požadavky naplnit. Jednou z mnoha oblastí, kde je zapotřebí držet krok s požadavky moderní doby je i servis parních turbín. Servis parních turbín má u nás dlouholetou tradici a jde ruku v ruce s výrobou nových turbín. Oproti výrobě nových turbín, kdy je na výrobu dílů „relativně“ čas, servisní činnosti tvrdě narážejí na splnění termínu opětovného přifázování turbogenerátoru. Největší překážkou pro splnění požadavků dnešní doby jsou dlouhé dodací doby nenormalizovaných polotovarů, především výkovků a odlitků. Z toho důvodu je zapotřebí neustále hledat možnosti, jak tyto polotovary nahradit a tím zrychlit celý proces výroby. Jednou z možností, jak nahradit konvenční technologie výroby náhradních dílů a tím zkrátit dodací dobu, se jeví využití aditivních technologií.

Aditivní technologie jsou poměrně novou technologií, které jsou na trhu teprve cca 25 let. Nicméně v posledních letech udělaly tyto technologie neuvěřitelný pokrok a je zapotřebí se jim začít důkladně věnovat v průmyslové výrobě. Jednoznačnou výhodou aditivních technologií je jejich pružnost a rychlost, kdy pro výrobu požadované součásti stačují „pouze“ 3D data. Jednou ze slabších stránek aditivní technologie z pohledu energetického průmyslu jsou rozměry vyráběného dílů, které jsou značně limitovány pracovním prostorem stroje. I přes tuto slabší stránku mají aditivní technologie obrovský potenciál v energetickém průmyslu a především u servisních činnostech.

1.1 Cíl práce

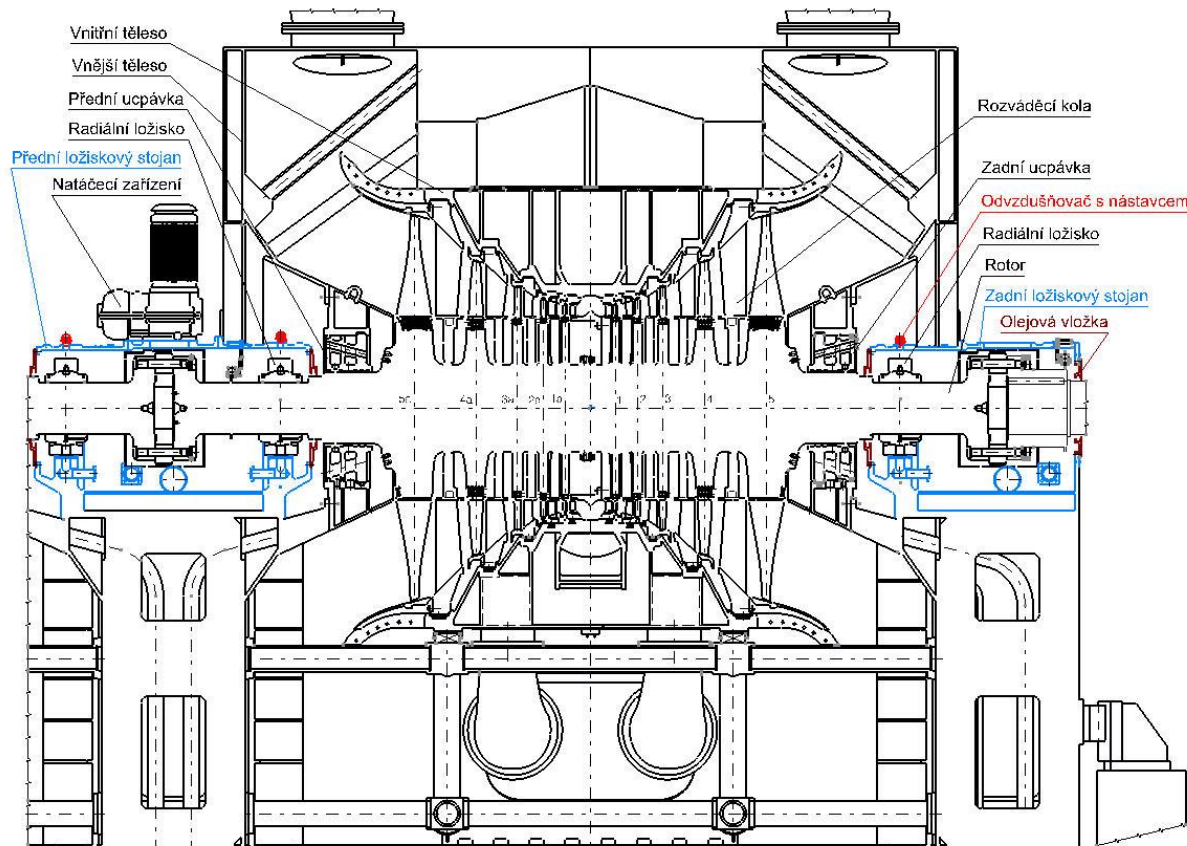
Hlavním cílem této diplomové práce bude nahrazení konvenční technologie výroby odvodušňovače olejových par pomocí aditivní technologie DMLS při dosažení minimálně stejných užitečných vlastností dílu s ohledem na časovou a finanční náročnost. V minulosti byl tento díl hojně používán, díky čemuž se vyráběl ve velkých sériích. V dnešní době je popisovaný díl využíván již jen pro potřeby servisu starších zařízení, na základě čehož se upustilo od jeho sériové výroby.

K dosažení hlavního cíle bude zapotřebí zdolat několik dílčích kroků. Hned prvním z nich bude volba vhodného materiálu pro uvažovanou aplikaci. Dále bude zapotřebí provést úpravu geometrie dílu dle požadavků aditivní technologie, která se od požadavků původní technologie výroby výrazně liší. Následovat bude výroba jednoho kusu, prototypu, který bude vyzkoušen v ostrém provozu. K výrobě odvodušňovače olejových par v požadovaném množství bude přistoupeno až po úspěšném vyzkoušení a ověření funkčnosti prototypu.

2 Rozbor současného stavu

2.1 Odvzdušňovač s nástavcem Tp450747

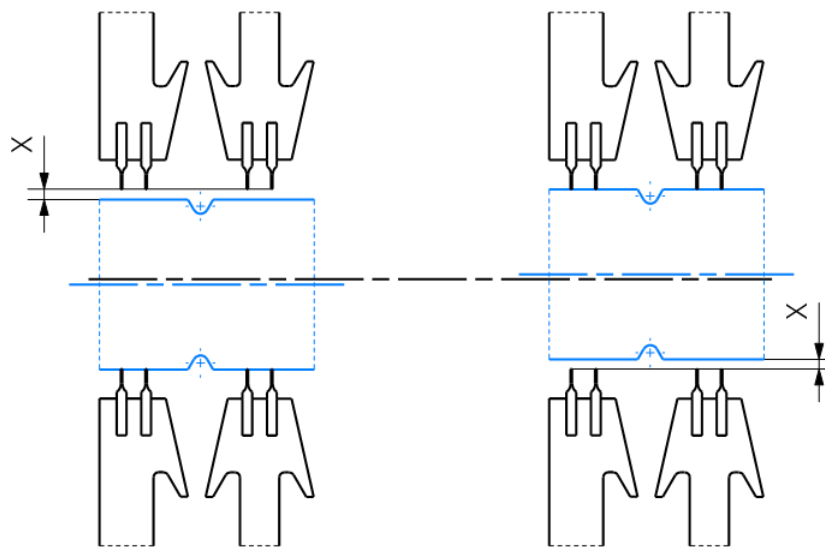
Odvzdušňovač s nástavcem je součástí olejového systému a je umístěn na víku ložiskového stojanu. Na funkčnosti olejového systému zcela závisí chod turbíny i generátoru. Olejový systém musí zajistit za všech provozních stavů bezpečnou dávku potřebného množství mazacího oleje pro mazání a chlazení ložisek. Při jeho výpadku by došlo k zásadnímu poškození rotorů z důvodu zadření nemazaných a nechlazených ložisek.



Obrázek 1: Řez turbínou

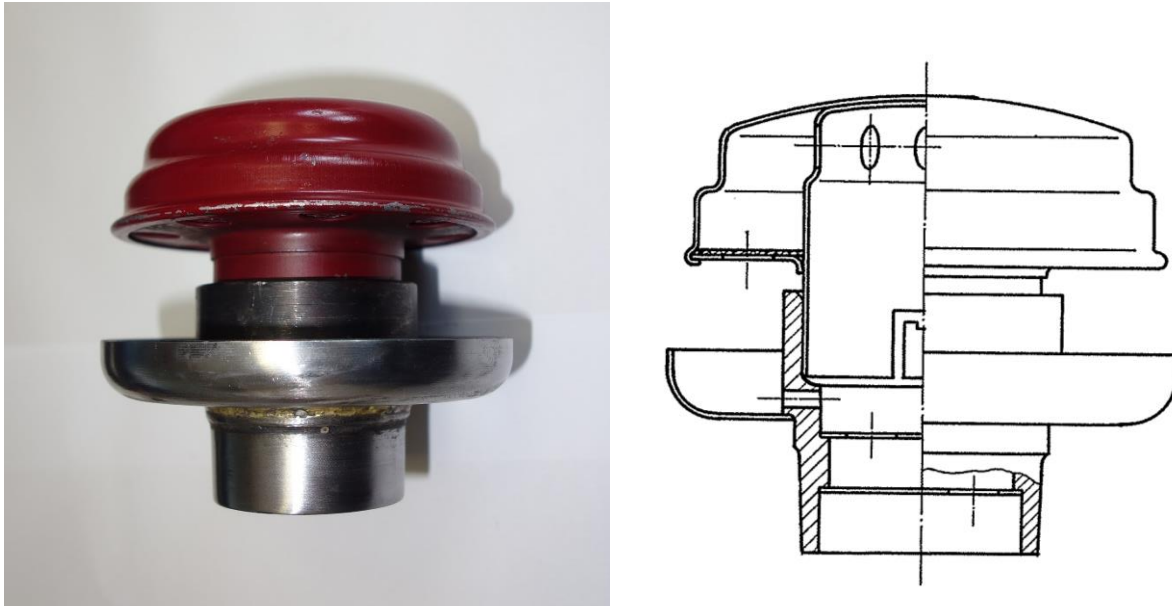
Primární funkcí ložiskových stojanů je uložení rotoru v ložiskách. U vysokotlakých a středotlakých dílů slouží stojany také jako podpora pro uložení vnějších těles parní turbíny. Z důvodu tepelné roztažnosti rotoru a těles (statoru) jsou stojany uloženy posuvně v podélném směru a v tomto směru také s vnějšími tělesy spojeny. Je zapotřebí vnější tělesa důkladně izolovat od ložiskových stojanů tak, aby se co nejvíce zamezilo přenosu tepelného toku z pláště vnějšího tělesa do ložiskového stojanu. U nízkotlakých dílů jsou obvykle stojany pevně spojeny s vnějším tělesem, viz obrázek 1. U nízkotlakých dílů se pod ložiskovými stojany většinou nachází pevný bod statoru, to znamená, že se turbína od tohoto bodu tepelně roztahuje. Dalšími funkcemi ložiskového stojanu je přívod a odvod oleje, ochrana ložiska před vniknutím vlhkosti nebo cizí látky a zabránění úniku maziva. Dále se také stojany využívají k umístění různých druhů měření a v neposlední řadě k umístění natáčecího zařízení.

Původní koncept odvodušovače s nástavcem vznikl v období šedesátých let minulého století a sloužil k vyrovnání tlaků mezi prostorem stroje (atmosférický tlak) a prostorem ložiskového stojanu (mírný přetlak). Neustálé vyrovnávání tlaků mělo za následek zabránění úniku oleje z prostoru ložiskového stojanu přes zatěsnění rotoru a tím zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti stroje. Zatěsnění rotoru je již od pradávna realizováno pomocí několikabřitého víka, olejových vložek, které slouží jako nepravý labyrint k zamezení úniku oleje, a olejových par z ložiskového stojanu po rotující části rotoru vystupujícího z ložiskového stojanu. Pro svou funkci musí mít vložka správně nastavené vůle mezi břitem olejové vložky a rotorem ($0,1 \div 0,2 \text{ mm}$) a musí mít dostatečně dimenzované odpadní otvory, aby nedošlo k jejich zahlcení odpadním olejem.



Obrázek 2: Olejové vložky - vůle X (vlevo v klidu, vpravo za provozu)

V další fázi vývoje, cca v devadesátých letech minulého století, bylo přistoupeno k doplnění olejového systému o odsávání olejových par, které má za účel vytvořit v prostoru ložiskového stojanu mírný podtlak a tím snížit riziko úniku oleje. Nicméně při doplnění tohoto zařízení byl odvodušovač spíše ke škodě, protože neustálým přisáváním vzduchu narušoval dosažení požadovaného podtlaku. Z tohoto důvodu bylo potřeba korigovat nasávané množství vzduchu - k tomuto účelu jsou v nástavci přepážky, které slouží jako clonky.



Obrázek 3: Odvodušňovač s nástavcem



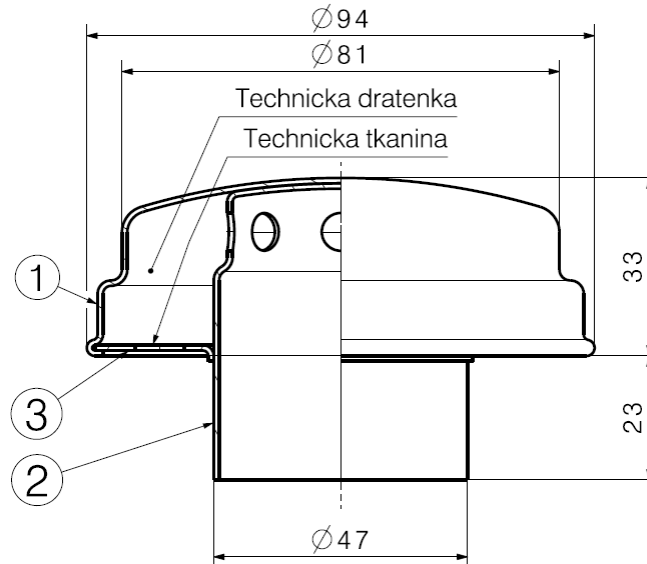
Obrázek 4: Odvodušňovač s nástavcem

V dnešní době se již od odvodušňovače úplně odstoupilo, a to právě ze zmiňovaného důvodu narušování požadovaného podtlaku olejového systému, tím došlo i ke zrušení jeho hromadné výroby. Nicméně, i když se odvodušňovač v dnešní době nepoužívá pro nové stroje, existuje stále mnoho starších strojů, které jsou neustále v provozu a které při servisních činnostech potřebují odvodušňovač vyměnit, zejména z důvodu jeho znečištění. Až doposud společnost Doosan Škoda Power s.r.o. čerpala pro tyto případy odvodušňovače z interní zásoby, nicméně již došlo k její vyčerpání, proto je potřeba najít alternativní technologii výroby, která v kusovém objemu výroby dosáhne požadované kvality a ceny.

2.1.1 Odvodušňovač 1PK-643/VD-61

Odvodušňovač 1PK-643/VD-61 je složen z pěti komponent, ze svrchního plechu pozice 1, z vnitřního plechu pozice 2, z plechu spodního pozice 3, technické tkaniny a technické drátěnky. Odvodušňovač slouží k filtraci nasávaného vzduchu a tím zabraňuje vniku nečistot do ložiskového stojanu a do olejového systému. Vnější obal složen z pozic 1, 2, a 3 je společně spojen lemovými spoji, které drží celou součást pohromadě. Technická tkanina je připevněna

ke spodnímu plechu ve vnitřní části odvzdušňovače a slouží k zachycení hrubých nečistot nasávaného vzduchu. Ve vnitřním prostoru odvzdušňovače, mezi svrchním plechem a vnitřním plechem, je vložena technická drátěnka, která slouží k filtraci nasávaného vzduchu a zachycení jemných nečistot.



Obrázek 5: Odvzdušňovač 1PK-643/VD-61

2.1.1.1 Plech svrchní – pozice 1

Materiál: 11321.21 (St13)

Polotovar: P1 (132 x 132)

ČSN Polotovar: 426312.32

ČSN Technické dodací podmínky: 420127.62

Technologie výroby: obrábění vodním paprskem, tažení

2.1.1.2 Plech vnitřní – pozice 2

Materiál: 11321.21 (St13)

Polotovar: P1 (180 x 180)

ČSN Polotovar: 426312.32

ČSN Technické dodací podmínky: 420127.62

Technologie výroby: obrábění vodním paprskem, tažení

2.1.1.3 Plech spodní – pozice 3

Materiál: 11321.21 (St13)

Polotovar: P1 (125 x 125)

ČSN Polotovar: 426312.32

ČSN Technické dodací podmínky: 420127.62

Technologie výroby: obrábění vodním paprskem

2.1.1.4 Technická tkanina

Materiál: 1.4301

Velikost oka: 0,415 mm

Průměr drátu: 0,22 mm

2.1.1.5 Technická drátěnka

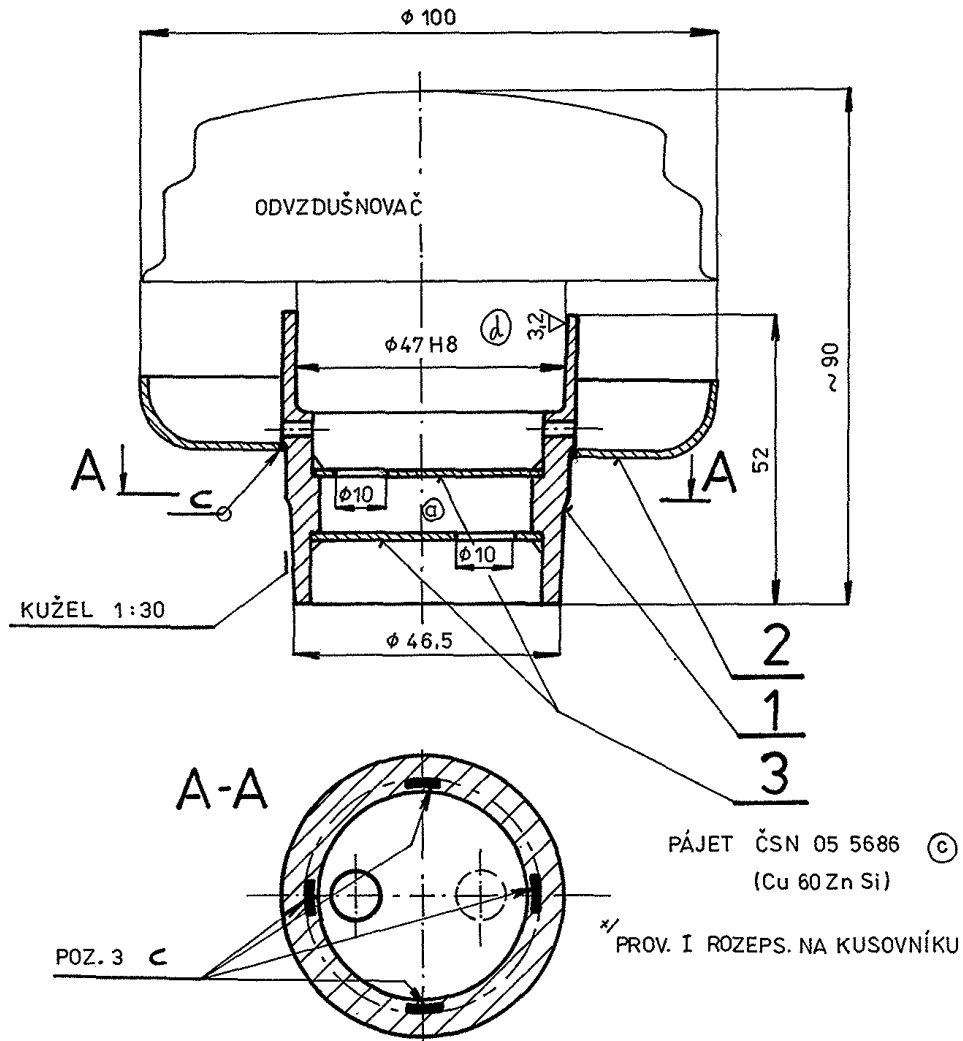
Materiál: 1.4301

Velikost oka: 0,415 mm

Průměr drátu: 0,22 mm

2.1.2 Sestava nástavce Tp439544

Sestava nástavce je složena ze čtyř komponent, z nástavce pozice 1, z misky pozice 2 a ze dvou přepážek pozice 3, které jsou k sobě vzájemně připájeny. Sestava nástavec slouží jako přechodný díl mezi odvzdušňovačem 1PK-643/VD-61 a víkem ložiskového stojanu. K upevnění na víko ložiskového stojanu slouží kuželová plocha s kuželovitostí 1:30 a vrcholovým průměrem 46,5 mm na nástavci pozice 1. Průměr 47H8 slouží k upevnění odvzdušňovače 1PK-643/VD-61, který slouží k filtraci nasávaného vzduchu a tím zabraňuje vniknutí nečistot do ložiskového stojanu a do olejového systému. Miska pozice 2 slouží k zachycení zkondenzovaných olejových par. Funkcí přepážky pozice 3 je přiškrcení nasávaného množství vzduchu do ložiskového stojanu.



Obrázek 6: Nástavec Tp439544

2.1.2.1 Nástavec Tp439545 – pozice 1

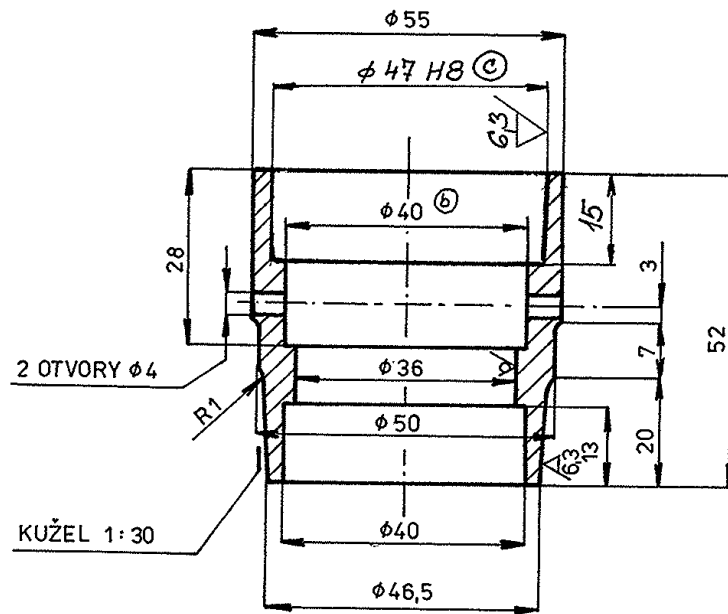
Materiál: 11453.1 (St45+N)

Polotovar: TRKR 60,3 x 12,5 – 56 mm

ČSN Polotovar: 425715.01

ČSN Technické dodací podmínky: 420250.12

Technologie výroby: soustružení, vrtání



Obrázek 7: Nástavec Tp439545

2.1.2.2 Miska Tp439546 – pozice 2

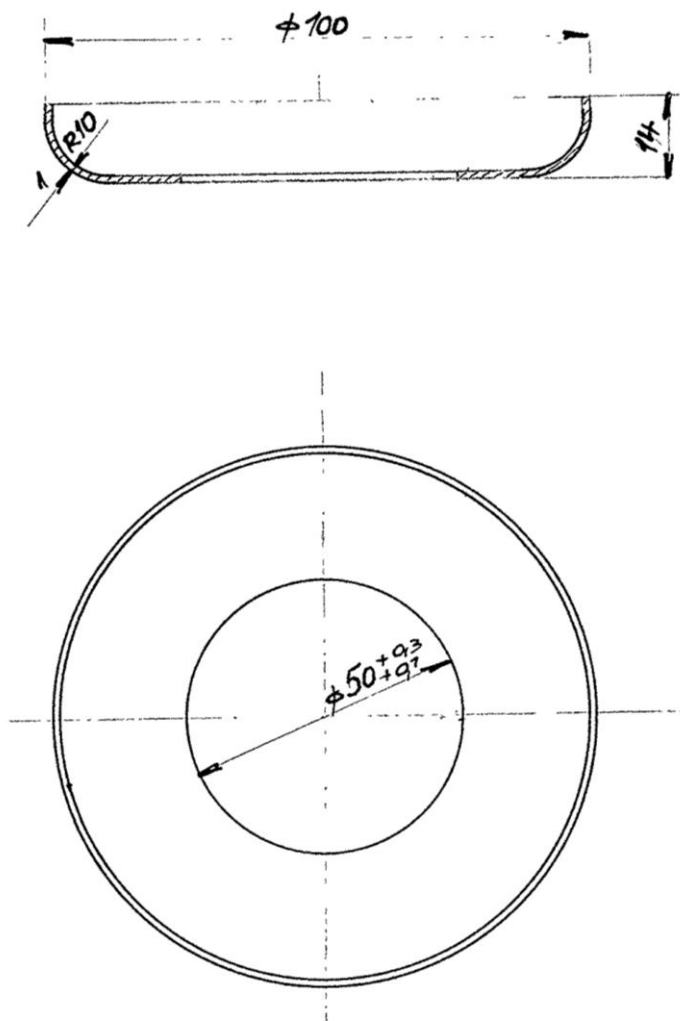
Materiál: 11321.21 (St13)

Polotovar: P1 (132 x 132)

ČSN Polotovar: 426312.32

ČSN Technické dodací podmínky: 420127.62

Technologie výroby: obrábění vodním paprskem, tažení



Obrázek 8: Miska Tp439546

2.1.2.3 Přepážka Tp527912 – pozice 3

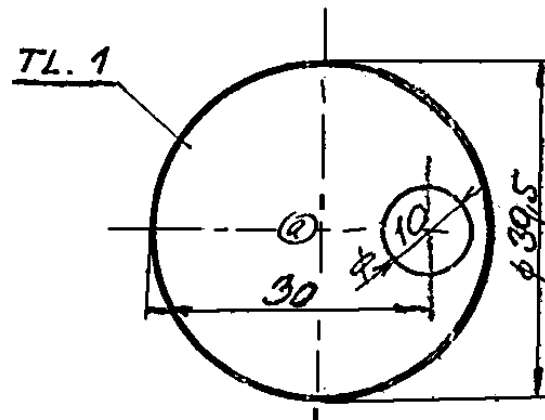
Materiál: 11321.21 (St13)

Polotovar: P1 (50 x 50)

ČSN Polotovar: 426312.32

ČSN Technické dodací podmínky: 420127.62

Technologie výroby: obrábění vodním paprskem

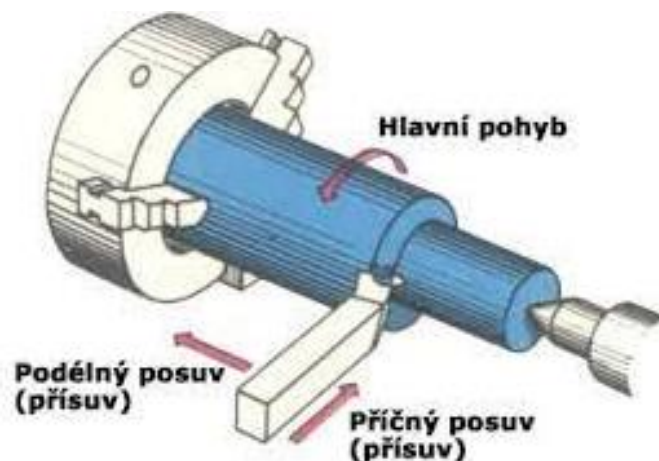


Obrázek 9: Přepážka Tp527912

2.2 Popis jednotlivých technologií původní výroby odvzdušňovače

2.2.1 Soustružení

Jedná se o technologii třískového obrábění, převážně rotačních dílů, kde hlavní pohyb vykonává obrobek – rotace, a vedlejší pohyb nástroj – posuv a přísuv. Nástrojem je soustružnický nůž a stroj se nazývá soustruh. Obrábět lze vnější a vnitřní plochy, válcové, kuželové, tvarové a rovinné (čelní) tvary. Soustružením lze dosáhnout přesnosti IT8 až IT7 s drsností povrchu $R_a = 16\mu\text{m}$ až $0,2\mu\text{m}$. Výhodou soustružení je jednoduchý obráběcí stroj a jednoduchý nástroj, nevýhodou je menší produktivita. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, jak pro kusovou, tak pro hromadnou výrobu. [8]

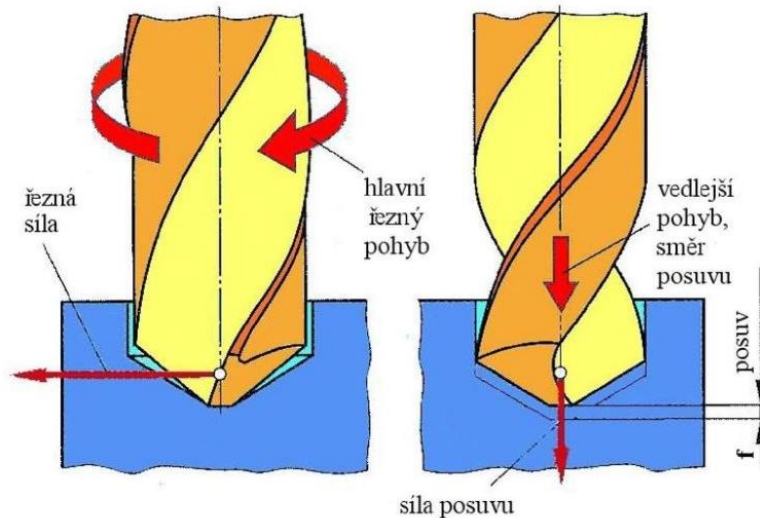


Obrázek 10: Soustružení [17]

2.2.2 Vrtání

Jedná se o technologii třískového obrábění, všech druhů dílů, hlavní pohyb vykonává nástroj – rotační, a vedlejší pohyb taktéž vykonává nástroj – posuv. Nástrojem je vrták a stroj se nazývá vrtačka. Vrtáním klasickými vrtáky z nástrojové oceli lze dosáhnout přesnosti IT14 až IT11 s drsností povrchu cca $R_a = 6,3\mu\text{m}$, při použití vrtáku s „S“ geometrií z SK lze dosáhnout přesnosti IT8 s drsností cca $R_a = 3,2\mu\text{m}$. Lepší kvality povrchu lze dosáhnou následným vyhrubováním otvoru – IT10 až IT9 s drsností povrchu $R_a = 6,3\mu\text{m}$ až $1,6\mu\text{m}$, nebo

vystružením otvoru – IT8 až IT6 s drsností povrchu $R_a = 1,6\mu\text{m}$ až $0,4\mu\text{m}$. Výhodou vrtání je poměrně vysoký výkon (produktivita, úběr) a jednoduchost nástroje, nevýhodou je malá tuhost nástroje, nulová řezná rychlost v ose nástroje a náročné ostření nástroje. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, jak pro kusovou, tak pro hromadnou výrobu. [9]



Obrázek 11: Vrtání [18]

2.2.3 Obrábění vodním paprskem

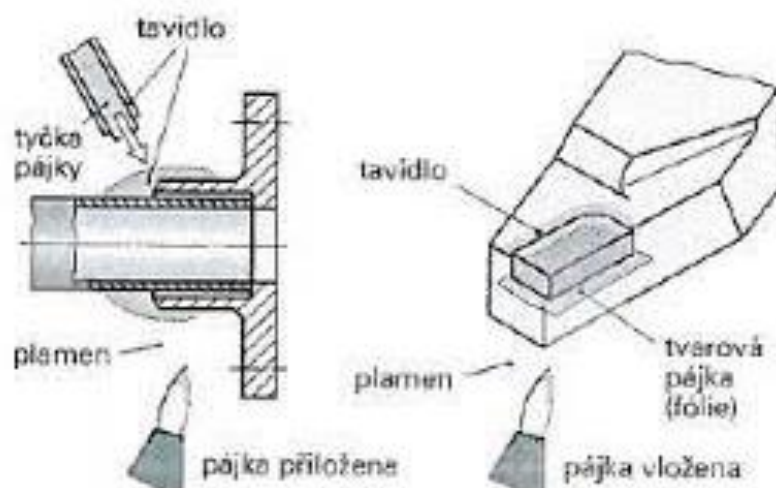
Jedná se o technologii erozivního obrábění, při němž k dělení materiálu dojde tlakem vodního paprsku. Hlavní řezný pohyb vykonává vodní paprsek a vedlejší pohyb – posuv vykonává řezací hlava. Vodní paprsek může být čistý bez příměsí, nebo s rozptýlenými zrny brusiva. Parametry vodního paprsku: tlak $200 \div 600\text{MPa}$, průměr paprsku $0,5 \div 2,0\text{mm}$, rychlost na výstupu z trysky $600 \div 1200\text{ m/s}$. Výhodou obrábění vodním paprskem je, že nedojde k tepelnému ovlivnění materiálu, řezat lze všechny druhy materiálů, při řezu nedochází k porušení povrchové úpravy a vysoká kvalita řezaného povrchu. Nevýhodou je, že lze řezat materiály pouze do určité tloušťky. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, jak pro kusovou, tak pro hromadnou výrobu. [10]



Obrázek 12: Řezání vodním paprskem s abrazivem [19]

2.2.4 Pájení

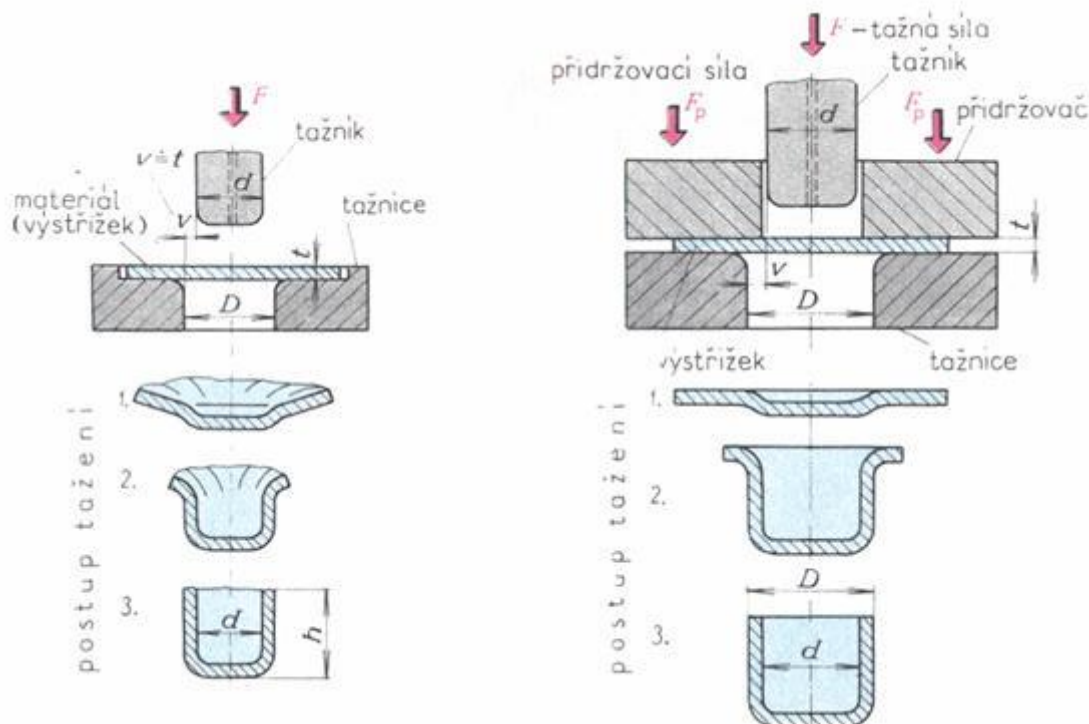
Jedná se o technologii nerozebíratelného spojování dvou, nebo více částí pomocí roztaveného kovu neboli pájecí slitiny - pájky. Pájecí slitina má nižší teplotu tavení než spojované části a dle teploty tavení se pájení dělí: měkké pájení – teplota tavení $< 450^{\circ}\text{C}$, nebo na tvrdé pájení – teplota tavení $> 450^{\circ}\text{C}$. Spojení funguje na principu styku povrchových atomů základního materiálu a atomů rozehřáté pájky v dostatečné vzdálenosti, tak aby došlo k účinku adhezních a kohezních sil. Nástrojem pro tavení pájky je páječka. Pro měkké pájení se například používají cínové pájky, jako tvrdé pájky se například používají slitiny stříbra, mědi, kadmia, niklu a zinku. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, jak pro kusovou, tak pro hromadnou výrobu. [16]



Obrázek 13: Pájení plamenem [6]

2.2.5 Tažení

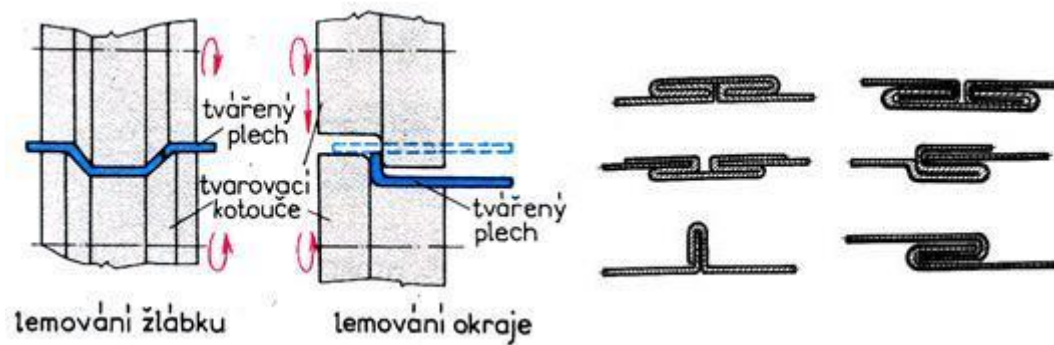
Jedná se o technologii tváření materiálu, plechů nebo pásů, při kterém dochází k tažení a tím vzniká prostorový výlisek nerovinného tvaru. Tažení se dělí na mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních, nerotačních a tvarových dílů. Tažení materiálů probíhá na lisovacích strojích a jsou k tomu zapotřebí speciální nástroje – tažník a tažnice, při čemž hlavní pohyb vykonává tažník, tlačení polotovaru skrz tažnici. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, spíše výhodnou pro hromadnou výrobu z důvodu vysoké ceny speciálních nástrojů pro tažení. [20]



Obrázek 14: Princip tažení s přidržovačem a bez přidržovače materiálu [20]

2.2.6 Lemování

Jedná se o technologii tváření materiálu, která vychází z teorie ohýbání. Ve své podstatě se jedná o ohnutí přesahujícího okraje rovinného nebo tvarového polotovaru – plechu, který je vzhledem k velikosti polotovaru považován za malý, o hranu matrice (ohybnice) za účelem vytvoření požadovaného tvaru. Lemování lze provádět ručně, anebo strojně na lisovacích strojích nebo lemovacích stolicích. K vytvoření požadovaného tvaru lemu je zapotřebí speciálního nářadí. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, jak pro kusovou, tak pro hromadnou výrobu, přičemž je však nutno počítat s náklady na speciální nářadí, které se odvíjí dle složitosti lemovaného tvaru. [7], [21]



Obrázek 15: Princip technologie a ukázka lemování [21]

2.2.7 Povrchová úprava - nátěr

Jako povrchová úprava je myšlen nátěr. Nátěr slouží k povrchové ochraně výrobku před poškozením, převážně před korozí, a k dosažení estetického výsledku. V dnešní době se jedná o běžně dostupnou technologii, jak pro kusovou, tak pro hromadnou výrobu.

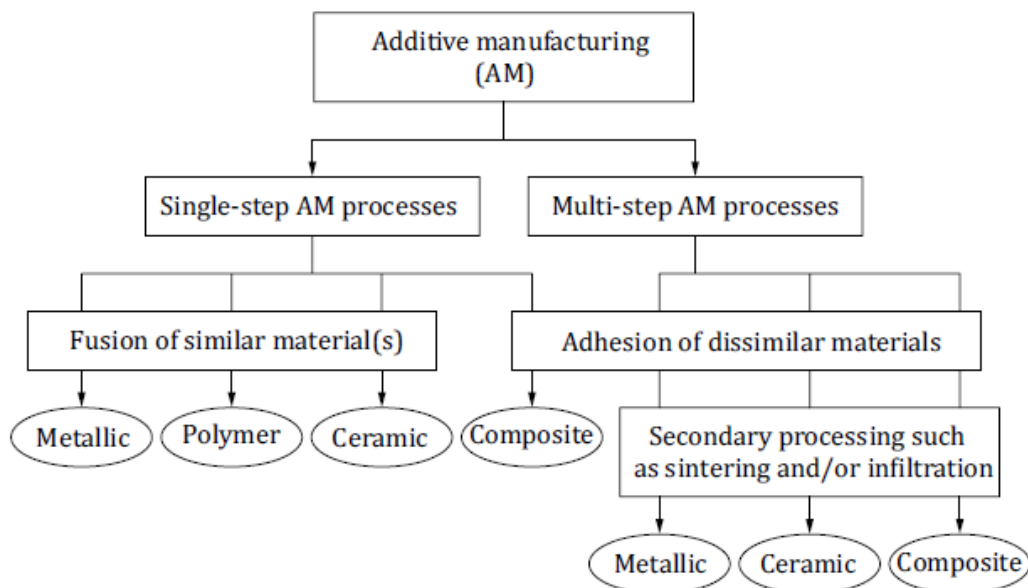
2.3 Úvod do aditivní technologie

Aditivní technologie je poměrně mladá technologie, která díky neustále se zvyšujícím nárokům trhu na rychlost, cenu a kvalitu produkce zaznamenala v posledních letech rapidní růst. Díky své rychlosti, kvalitě a ceně, lze aditivní technologii využít po výrobu prototypů při vývoji produktu, nebo pro výrobu plně funkčních částí pro komerční použití. Aditivní technologie je široce rozšířena nejen v oblasti strojírenství, ale také v medicíně, stavebnictví, zábavním průmyslu a dalších odvětvích. Během poněkud bouřlivého vývoje nesla aditivní technologie mnoho různých názvů, které ne vždy přesně definovaly její význam. Mezi nejvíce rozšířené a dodnes používané ekvivalenty označení aditivní technologie se řadí Rapid Prototyping a 3D tisk. [12], [13], [23],

Definice aditivní technologie dle normy ISO/ASTM 52900, „*process of joining materials to make parts from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing and formative manufacturing methodologies*“.

2.3.1 Rozdělení aditivní technologie

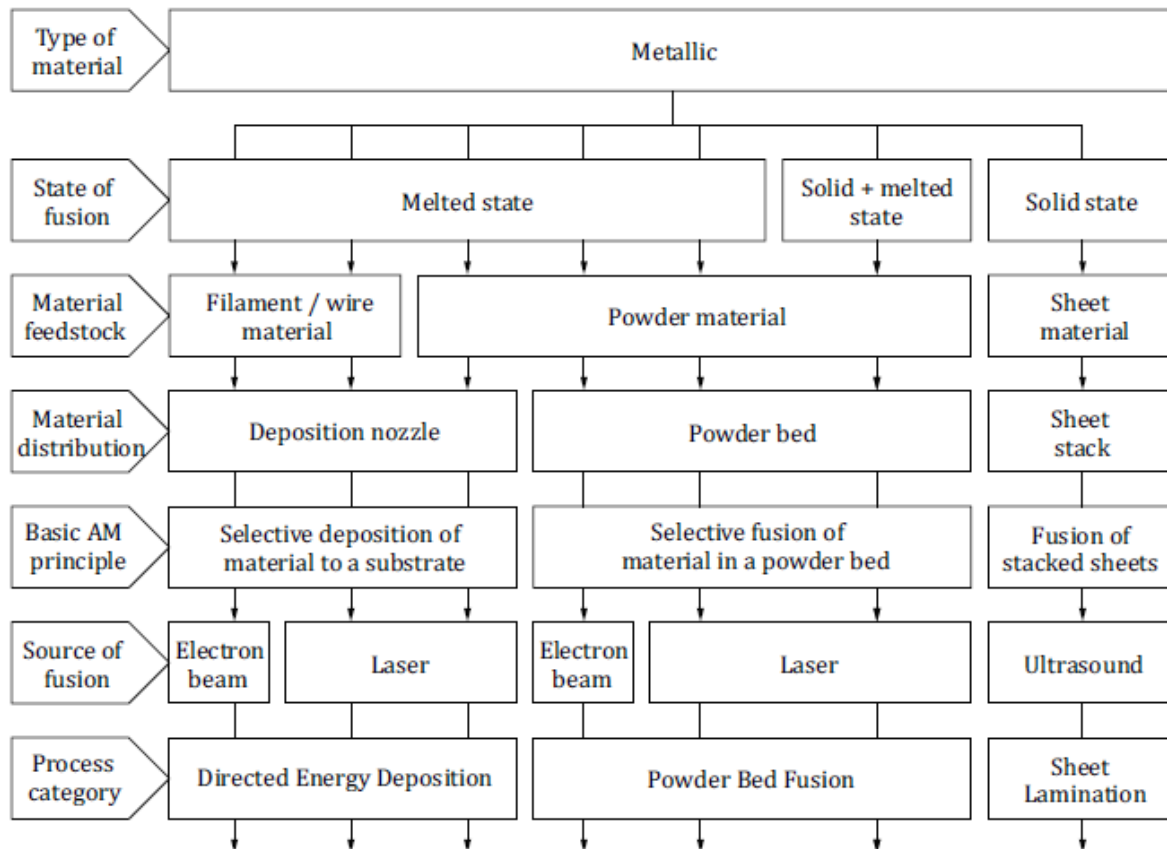
Aditivní technologie se dělí na dvě metody, a to na metodu Single-step a metodu Multi-step. Obě metody mají společný princip, formování trojrozměrných částí postupným přidáváním materiálu. Rozdíl metod spočívá ve způsobu dosažení požadovaných vlastností součásti. První zmíněnou metodou je dosažena požadovaná geometrie a materiálové vlastnosti součásti jedním krokem. Druhou metodou je nejdříve v prvním kroku získána požadovaná geometrie a posléze v dalších krocích požadované vlastnosti součásti. V obou případech je zapotřebí dokončovacích operací, při kterých dojde k odstranění podpěr a k dosažení požadované kvality povrchu. Dokončovací operace se dle normy ISO/ASTM 52900 nazývají post-processing a jsou definovány jako „*process steps taken after the completion of an additive manufacturing build cycle in order to achieve the desired properties in the final product*“. [12]



Obrázek 16: Základní rozdělení aditivní technologie [12]

2.3.1.1 Metoda Single-step

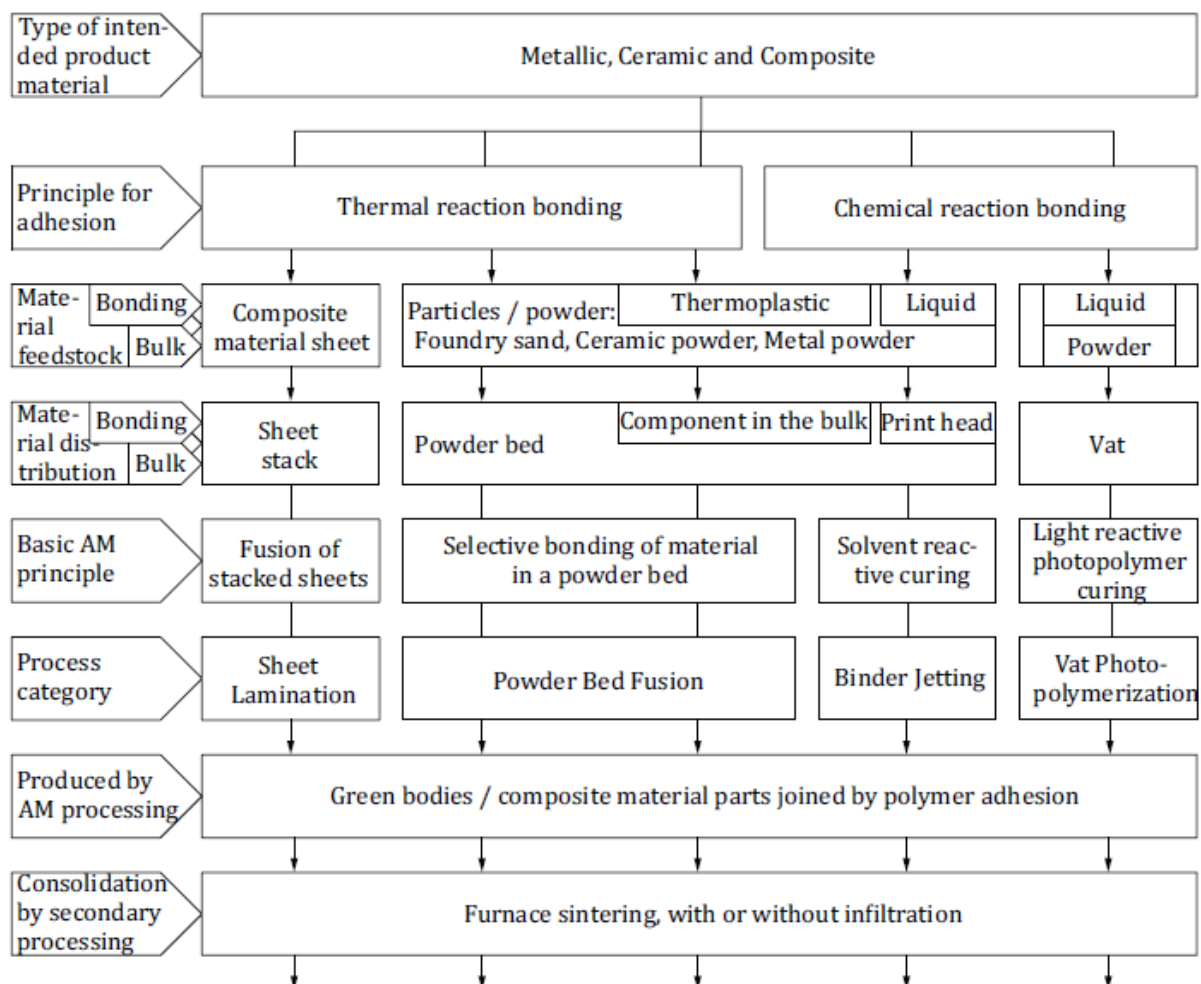
Součásti jsou vytvořeny jedinou operací, přičemž je současně dosaženo požadované geometrie a požadovaných vlastností materiálu. Na obrázku 14 je zobrazen přehled metody Single-step. [12]



Obrázek 17: Přehled metody Single-step AM pro kovové materiály [12]

2.3.1.2 Metoda Multi-step

Součásti jsou vytvořeny ve dvou nebo více operacích, přičemž první operace udává základní geometrický tvar a následnými operacemi jsou dosaženy požadované vlastnosti materiálu. Proces může být ukončen již po první operaci, kdy materiál součásti je již adhezně spojen. Na obrázku 15 je zobrazen přehled metody Multi-step. [12]

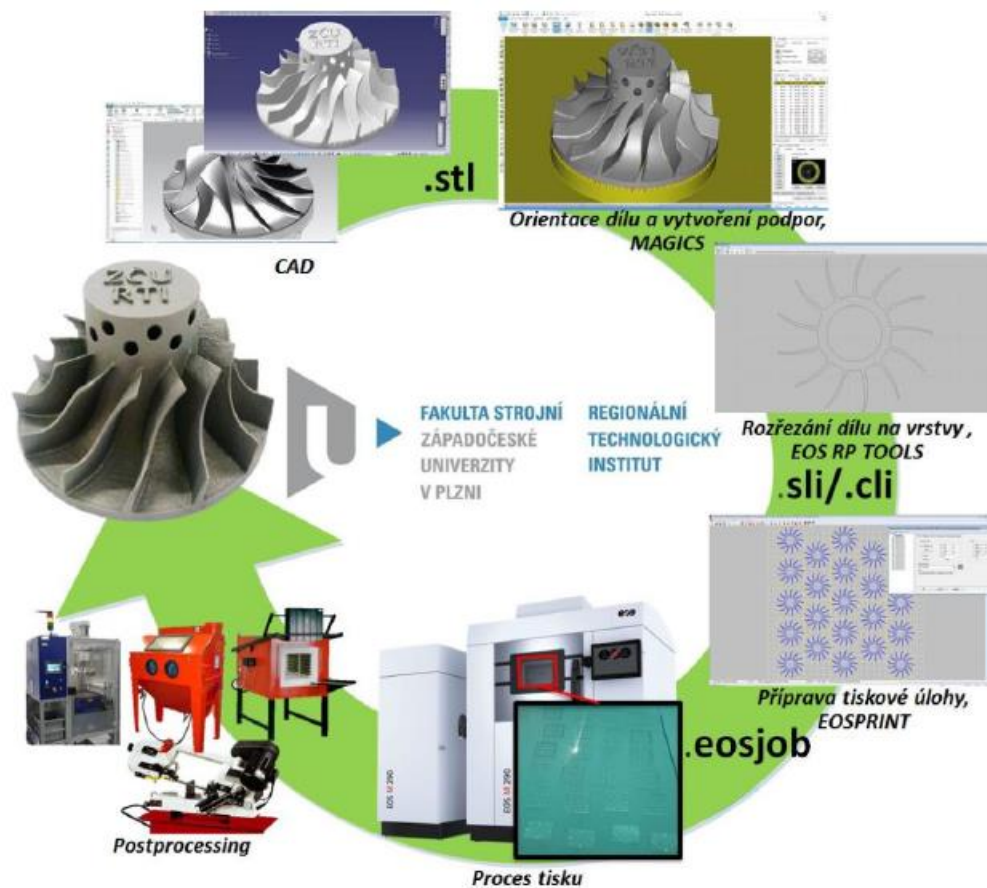


Obrázek 18: Přehled metody Multi-step AM pro kovové materiály, keramiku a kompozity [12]

2.3.2 Postup výroby aditivní technologií

Postup výroby lze rozdělit do několika kroků, viz obrázek 16, které ovlivňují výslednou kvalitu součásti. Na začátku procesu je myšlenka, výkres, nebo fyzický model, který je zapotřebí zdigitalizovat a převést na 3D data ve formě CAD modelu. CAD data, nejčastěji ve formátu .stl jsou dále zpracována, dle orientace a charakteru součásti jsou vygenerovány podpěry, tak aby bylo možné součást spolehlivě vytisknout. Pro tento krok je nejčastěji používán software Magics. V následném kroku dojde k „rozřezání“ modelu na jednotlivé vrstvy dle směru nanášeného prášku v závislosti na orientaci modelu vůči platformě, tento proces se nazývá Slicing. Ke zpracování zmíněných kroků se většinou používá externího počítače a až po finálním zpracování se data nahrají do zařízení na tisk. Před spuštěním tisku je zapotřebí zařízení řádně připravit, doplnit prášek, vyrovnat a ustavit platformu, předeřhát

platformu dle použitého materiálu, vytvořit potřebnou ochranu atmosféru atd. Až v momentě, kdy je zařízení připraveno lze spustit samotný tisk. Po dokončení tisku je zapotřebí vytištěnou součást vyjmout a zbavit přebytečného prášku, při čemž nespečený prášek je recyklován. Po očištění a oddělení součásti od platformy přichází na řadu post-processing, při kterém jsou odstraněny podpěry, může být provedeno tepelné zpracování a následně je součást upravena do finální podoby (obrobení funkčních ploch, broušení, pískování, atd.). [2], [12]



Obrázek 19: Základní schéma postupu výroby [2]

3 Návrh vlastního řešení a jeho realizace

3.1 Výrobní zařízení

Pro výrobu všech dílů byl použit stroj EOS M290 od společnosti EOS GmbH, který používá technologii výroby Direct Metal Laser Sintering neboli DMLS.



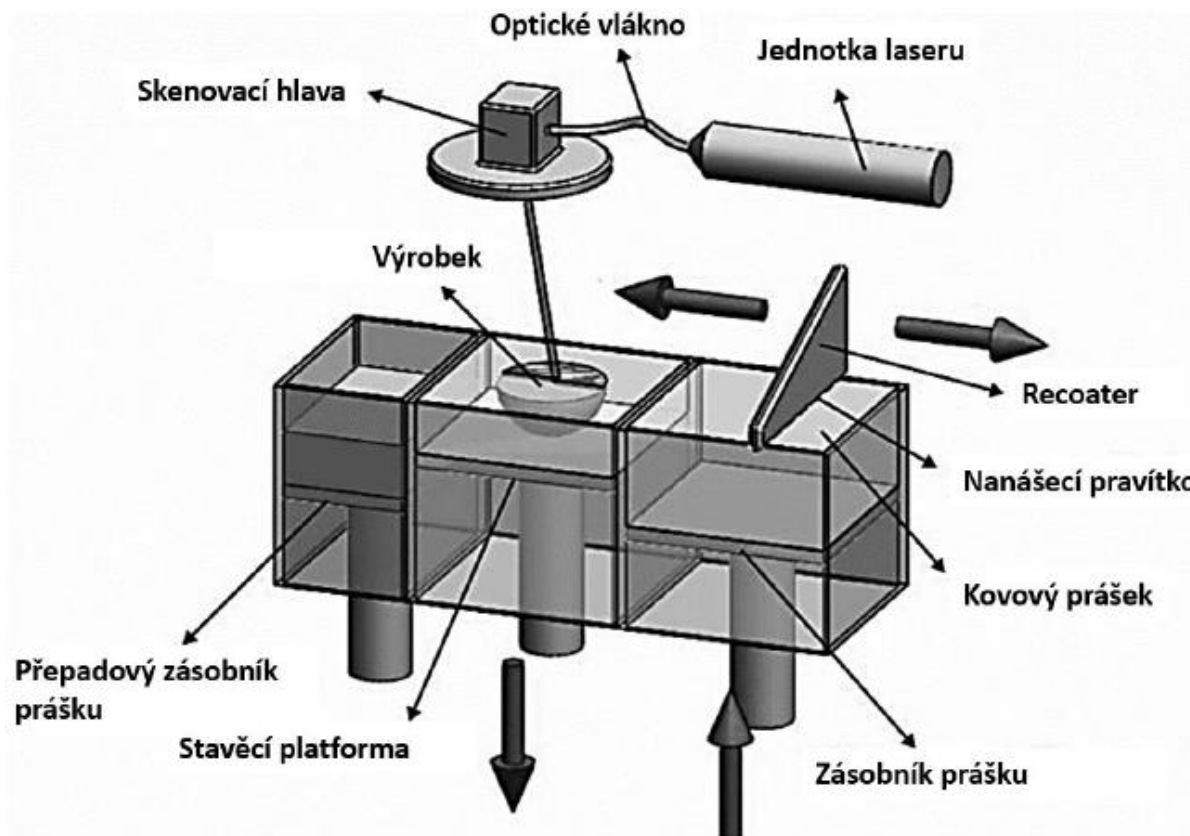
Obrázek 20: Stroj EOS M290 [15]

Tabulka 1: Parametry stroje EOS M290 [14]

Pracovní prostor	250 mm x 250 mm x 325 mm
Výkon laseru	400 W
Rychlost skenu	Až 7 m/s
Průměr laseru	100 μm
Software	EOSPRINT incl. EOS ParameterEditor, EOSTATE Everywhere, EOSCONNECT Core, EOSCONNECT MachinePark, Materialise Magics Metal Package and modules

3.1.1 Direct Metal Laser Sintering neboli DMLS

Jedná se o technologii německé společnosti EOS GmbH. Zkratka DMLS pochází z německého názvu této technologie *Direkt Metall Laser Schmelzen*, volně přeloženo tedy *přímé tavení kovu laserem*. Principem technologie je nanesení tenké rovnoměrné vrstvy kovového prášku na platformu a následné spečení této vrstvy v přesně definovaných bodech dle CAD modelu za pomoci laserového paprsku. Tento postup je následně opakován, vrstvu po vrstvě, dokud není požadovaný díl kompletně hotov. [22]



Obrázek 21: Schéma principu technologie DMLS [2]

3.2 Materiály

Pro výrobu odvzdušňovače byly na výběr tři níže uvedené materiály:

- EOS NickelAlloy IN718, jehož podrobný popis je uveden v příloze č. 1,
- EOS MaragingSteel MS1, jehož podrobný popis je uveden v příloze č. 2,
- EOS StainlessSteel 316L, jehož podrobný popis je uveden v příloze č. 3.

Při úvodní selekci materiálu byla první z variant, tedy EOS NickelAlloy IN718, z výběru vyřazena a to zejména z důvodu vysoké ceny. Dále bylo zhodnoceno, že tento materiál dosahuje zbytečně vysokých kvalit pro uvažovanou aplikaci.

Pro finální rozhodování tak zbyly další dvě uvedené varianty, přičemž z pohledu DŠPW se jako kvalitativně vhodným materiálem pro uvažovanou aplikaci jevil materiál EOS MaragingSteel MS1. Z tohoto materiálu byl také vyroben prototyp, na kterém společnost DŠPW verifikovala metodu 3D tisku této aplikace v praxi, přičemž proběhlo i testování v reálném provozu, a to na Jaderné elektrárně Temelín.

Nicméně, finální slovo ve výběru materiálu měl konečný zákazník, Jaderná elektrárna Dukovany, která preferovala poslední uvedený materiál, tedy EOS StainlessSteel 316L. Důvodem byl požadavek koncového zákazníka na výslovně nerezový materiál, a to z důvodu obav z možné koroze tohoto výrobku.

3.3 Prototyp

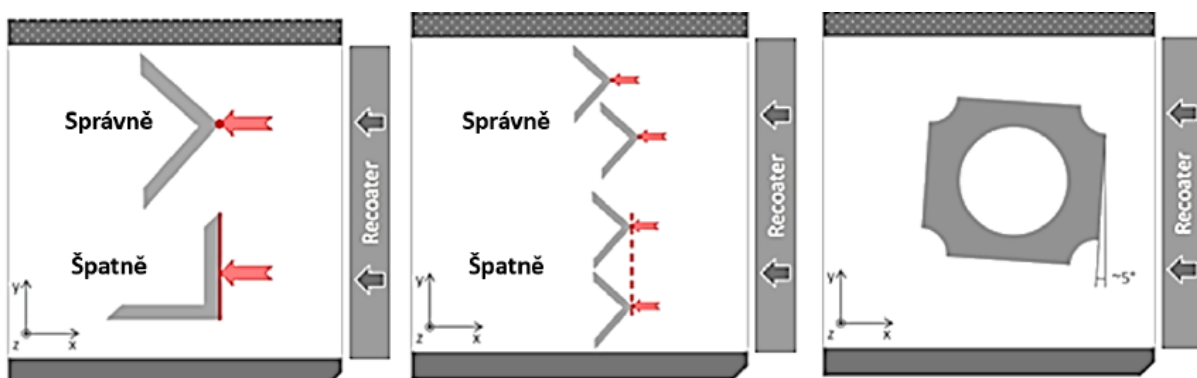
Norma ISO/ASTM 52900 definuje prototyp jako fyzické znázornění celého produktu nebo jeho části, které je v určitých směrech zjednodušeno a které slouží pro testování, analyzování a následný vývoj. Požadavky na vlastnosti prototypu jsou definovány mezi dodavatelem a koncovým uživatelem s ohledem na zamýšlené použití produktu a jeho testování.

3.3.1 Materiál

Pro výrobu prototypu odvodušovače byl použit materiál EOS MaragingSteel MS1 od Německé firmy EOS GmbH. Ocel MaragingSteel MS1 je známá pro svou vysokou pevnost, vysokou lomovou houževnatost, dobrou svařitelnost a rozměrovou stabilitou během stárnutí. Díky uvedené výborné kombinaci vlastností je tato ocel využívána pro aplikace u vysoce namáhaných součástí. Chemické složení oceli odpovídá materiálu dle W.Nr. 1.2709. Součásti vytištěné z tohoto materiálu jsou dobře opracovatelné a mohou být dodatečně precipitačně vytvrzeny na hodnotu 50 HRC. Díky vrstvenému způsobu výstavby trpí vytištěné součásti značnou anizotropií vlastností, která však může být zredukována nebo úplně odstraněna vhodným tepelným zpracováním. [24]

3.3.2 Umístění na platformě

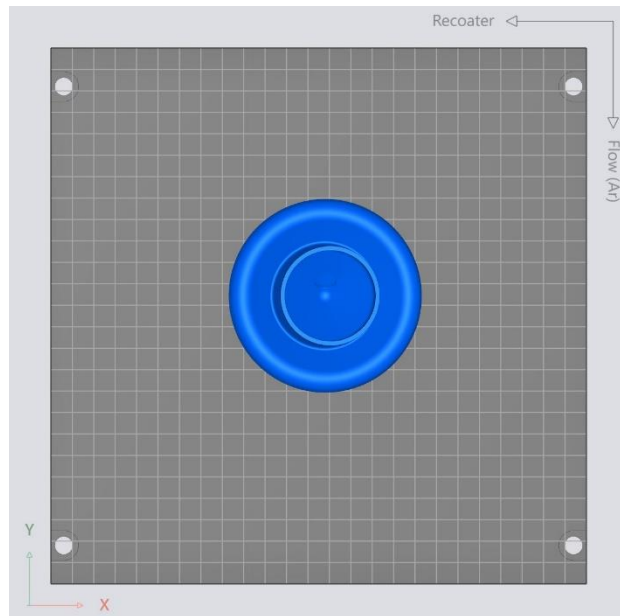
Z důvodu spolehlivosti tisku je potřeba pečlivě zvážit umístění dílů na stavěcí platformě. Díly by měly být umístěny tak, aby umožnily postupný náběh nanášecího pravítka. Z tohoto důvodu, výrobce doporučuje umístit díly s rovnými plochami pootočenými alespoň o 5° vůči směru pohybu recoateru. Za podmínky tisku více kusů, tyto díly nestavět do jedné roviny, ale tak, aby každý díl mohl začít v jiný okamžik. V případě umístění dílů do jedné roviny hrozí, že bude docházet k lokálnímu přehřívání, které povede ke zvýšenému vnitřnímu pnutí a to může způsobit místní deformaci. Jestliže se projeví místní deformace během tisku dojde k zamezení nanášení další vrstvy prášku a tím k přerušení tisku. [2]



Obrázek 22: Příklad správného a špatného umístění součásti na platformě [2]

Prostorové umístění prototypu na platformě je patrné z obrázku 22. Součást je vhodné z důvodu jejího tvaru tisknout převráceně v ose Z, dolní částí vzhůru. Díky takto zvolenému umístění a speciálně přizpůsobené geometrii dílu pro 3D tisk, dochází k eliminaci podpůrných

struktur a s tím související jejich následné složité odstranění. Umístění v osách X a Y lze díky symetrickému tvaru umístit libovolně.



Obrázek 23: Znárodnění umístění na platformě

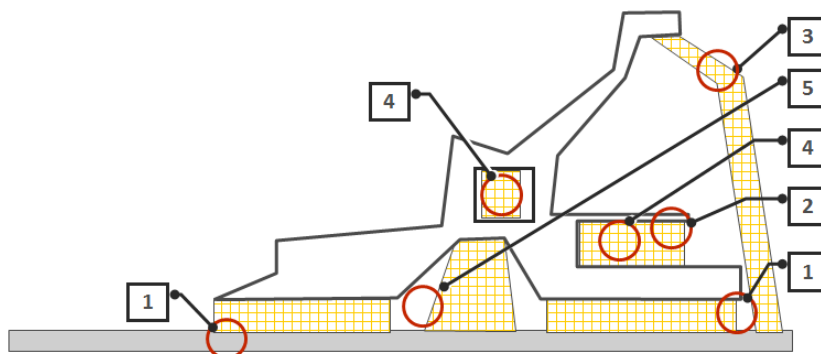
3.3.3 Podpůrné struktury a geometrie dílu

3.3.3.1 Podpůrné struktury

Volba podpůrných struktur vychází z funkce a orientace dílu a do značné míry je ovlivněna zkušenostmi operátora. Pro použití podpůrných struktur platí několik pravidel, které určují, kdy je nutné podpory použít a ve kterých případech lze díl tisknout bez nich. Úzkou vazbu na návrh podpůrných struktur má samotná geometrie dílu. Geometrie dílu by měla zohledňovat pravidla pro použití podpůrných struktur a tím jejich nutnost použití v co největší míře eliminovat. Použití podpůrných struktur má totiž významný dopad do doby samotného tisku a následně do post-procesingu, při kterém musí být podpůrné struktury odstraněny. [2]

Podpůrné struktury plní funkci:

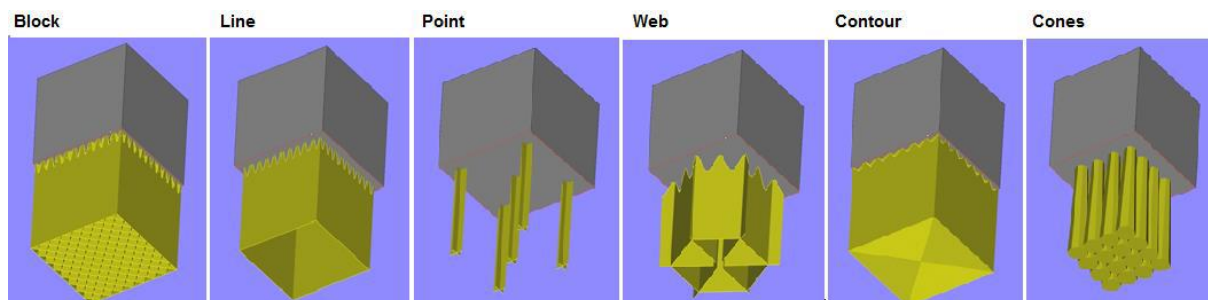
- spojení dílu se stavební platformou,
- odvodu tepla z dílu,
- podepření převislých konců.



Obrázek 24: Funkce podpor [2]

Podpůrné struktury mají rozdílné mechanické vlastnosti než tištěný díl, které jsou způsobeny rozdílnými parametry tisku. Podpory není potřeba používat u převislých konců menší než $0,3 \div 0,5$ mm, u stěn, které svírají s platformou úhel větší než $40 \div 45^\circ$, a pro otvory do průměru $6 \div 8$ mm, které mají horizontální osu. [2]

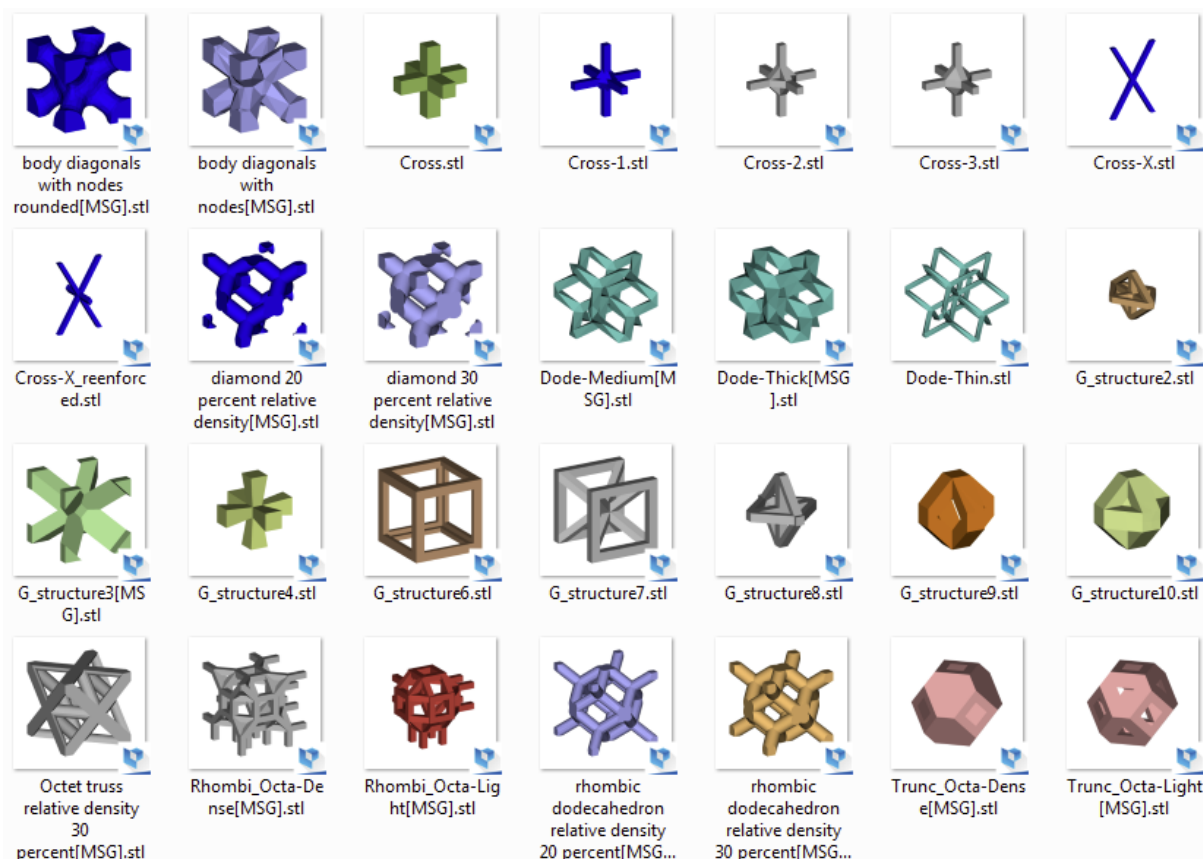
Na obrázku 25 jsou uvedeny základní typy podpůrných struktur.



Obrázek 25: Základní typy podpůrných struktur [2]

Existuje i řada pokročilejších struktur, které plní po vytisknutí dílu i jiné požadavky než ty obecné. Jeden z požadavků pokročilejších struktur může být nahrazení plnoobjemového materiálu a tím snížení hmotnosti dílu při zachování jeho vlastností. [2]

Na obrázku 26 jsou uvedeny typy pokročilejších podpůrných struktur.



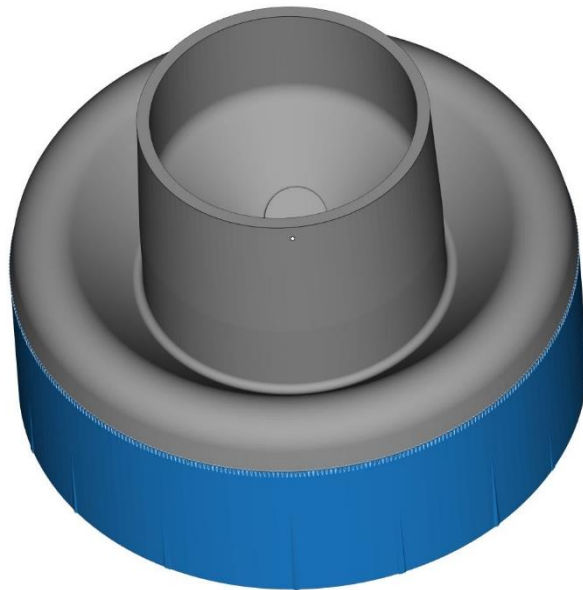
Obrázek 26: Pokročilé typy podpůrných struktur [2]

Pro tisk prototypu byly využity základní typy podpůrných struktur, konkrétně struktury typu block, point a line. Struktury typu block a point byly využity k podepření vnějšího pláště.

Struktura typu line byla využita k podepření misky na jejím převislém konci. Dále byla využita pokročilá podpurná struktura typu cross, kterou byla nahrazena původní drátěnka.

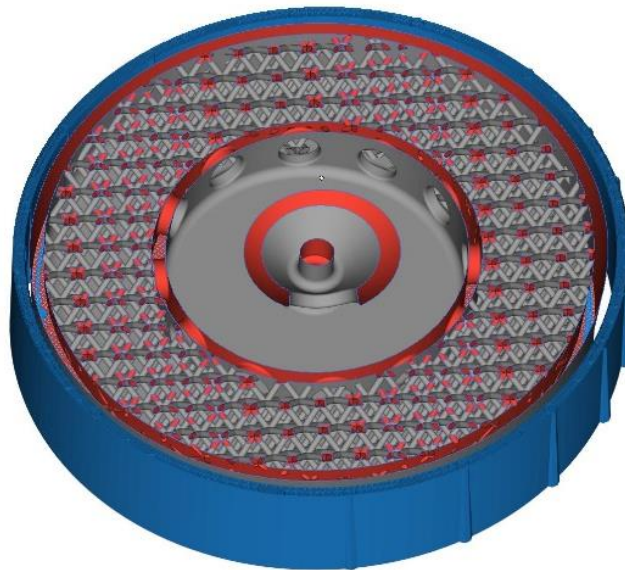
3.3.3.2 Geometrie dílu

Geometrie prototypu odvzdušňovače je patrná z obrázků 27 ÷ 31. Základní tvar dílu vychází z původní koncepce odvzdušňovače s nástavce a je upraven dle požadavků 3D tisku. Mezi hlavní rozdíly patří sloučení jednotlivých komponent nástavce a odvzdušňovače do jednoho dílu. Ke sloučení dílů bylo přistoupeno z důvodu zjednodušení a úspore materiálu. Sloučení dílů nemá žádný dopad do funkčnosti, historicky byly díly rozděleny pouze z důvodu technologického.



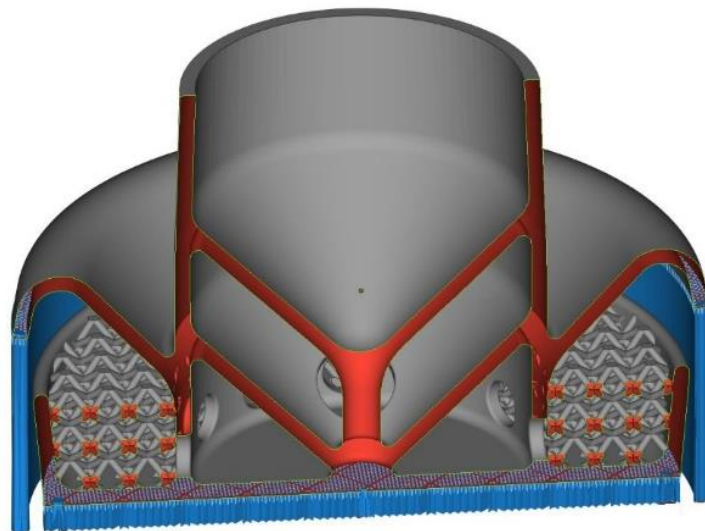
Obrázek 27: Izometrický pohled na prototyp

Jak již byla řečeno v úvodu, nástavec se stal nedílnou součástí odvzdušňovače. Integrace přinesla značnou úsporu materiálu, a tím doby tisku. Hlavní funkce nástavce, a to spoj mezi odvzdušňovačem a ložiskovým stojanem, zůstala zachována. Technologie 3D tisku si bez problémů poradila s kuželovou plochou o kuželovitosti 1:30 a jejími geometrickými požadavky, takže po vytištění nebylo potřeba dalších mechanických úprav.



Obrázek 28: Příčný řez prototypem

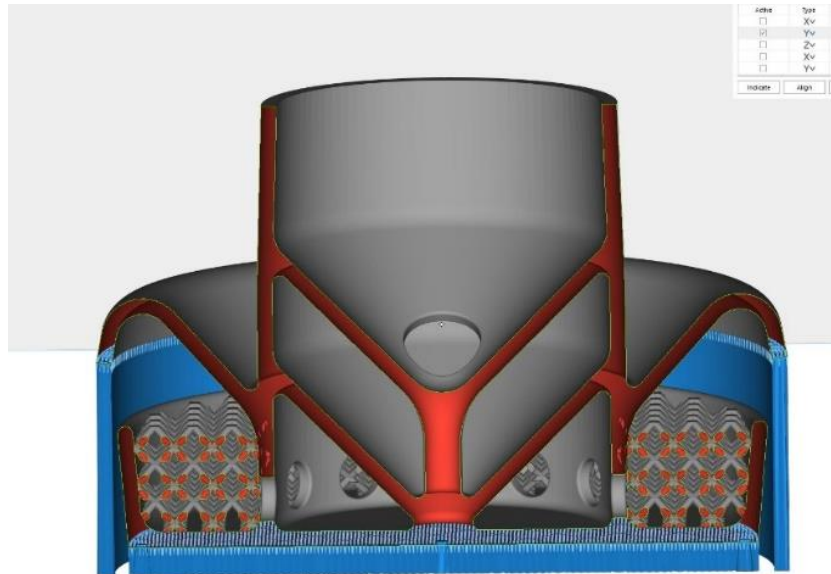
Ocelová drátěnka, která plnila funkci filtru nasávaného vzduchu, byla nahrazena pokročilou podpůrnou strukturou, která byla do dílu integrována. Využití podpůrné struktury pro tento účel přineslo hned řadu výhod. Jednou z výhod je, že se díl stal samonosným při tisku a nebylo potřeba vymýšlet žádné složité podpěry. Další výhodou je, že se podpěry po tisku nemusí odstraňovat a tím bylo dosaženo redukce objemu součásti. Nejhlavnější výhodou je fakt, že pokročilá podpůrná struktura bude v provozu sloužit jako filtr nasávaného vzduchu.



Obrázek 29: Podélný řez prototypem

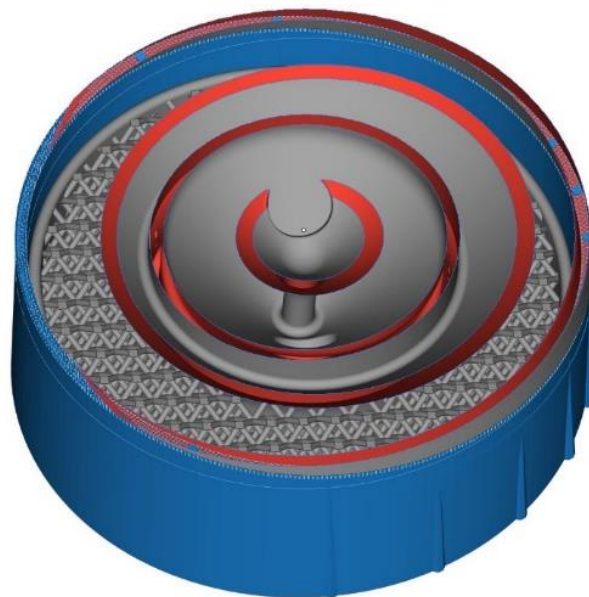
Beze změny nezůstala ani miska, která slouží k zachycení zkondenzovaných výparů. Miska byla uzpůsobena požadavkům 3D tisku, tak aby byla v co největší míře samonosná a přitom stále plnila svůj účel. Z obrázků je patrné, že úprava misky proběhla úspěšně a došlo

k požadované optimalizaci tvaru a tím využití pouze jedné podpůrné struktury na konci převisu. Tato úprava měla samozřejmě značný pozitivní dopad do výroby, především pak do post-processingu, při kterém došlo ke snadnému odstranění podpůrné struktury.



Obrázek 30: Podélný řez prototypem

Změny bylo potřeba také aplikovat na přepážky, které složí ke škrcení přísávaného množství vzduchu. Přepážky bylo potřeba uzpůsobit tak, aby po vtištění nebylo potřeba jejich dalšího opracování – odstranění podpěr. Tohoto účelu se docílilo vytvořením kuželovitých přepážek, které jsou na vrcholu vzájemně propojeny s pláštěm odvodušovače.



Obrázek 31: Příčný řez prototypem

3.3.4 Parametry a čas tisku

Parametry tisku byly zvoleny dle doporučení výrobce materiálu MS1, a to konkrétně výkon laseru 285 W, rychlost skenování 960 m/s a tloušťka vrstvy 40 μm . Z důvodu ochrany součásti před oxidací během tisku byla použita ochranná dusíková atmosféra. Ze stanovených procesních parametrů byl spočten celkový čas tisku, viz tabulka 2.

Tabulka 2: Doba tisku odvzdušňovače z materiálu MS1

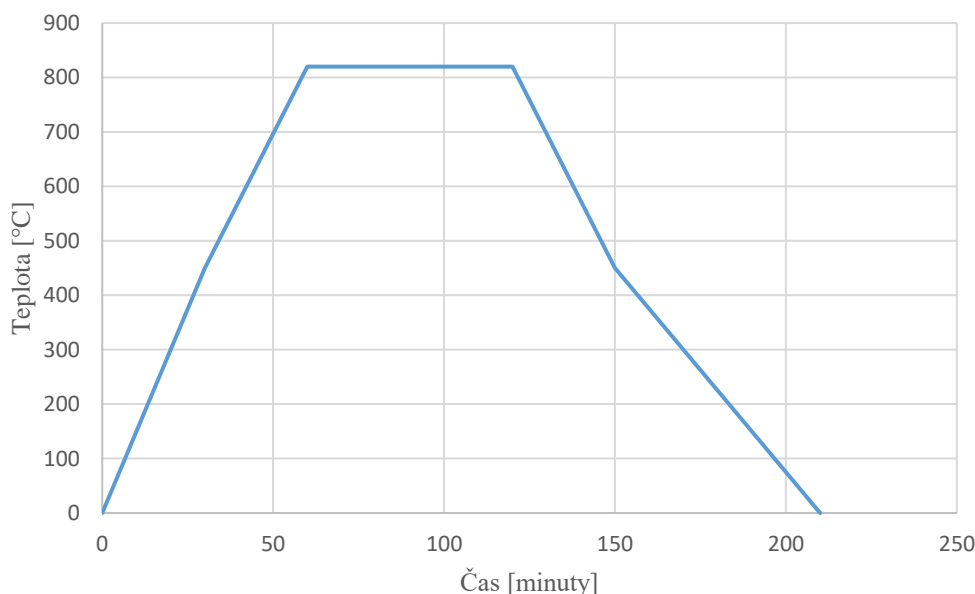
Čas tisku	
Exposure time [h]	10:50
Recouting time [h]	4:07
Celkem [h]	14:59
Počet vrstev	1647

3.3.5 Post-processing

Norma ISO/ASTM 52900 definuje post-procesing jako kroky dokončovacího procesu, které následují po vytištění výrobku za účelem dosažení požadovaných vlastností („*process steps taken after the completion of an additive manufacturing build cycle in order to achieve the desired properties in the final product*“).

3.3.5.1 Tepelné zpracování

K tepelnému zpracování bylo přistoupeno z důvodu vysokého zbytkového pnutí materiálu EOS MaragingSteel MS1. Tepelné zpracování bylo provedeno v ochranné Argonové atmosféře po dobu jedné hodiny při teplotě 820°C.



Obrázek 32: Graf tepelného zpracování

3.3.5.2 Oddělení od platformy

K oddělení součásti od platformy se ve většině případů využívá pásové pily, nicméně lze využít i technologii drátořezu, a to především pro obtížně obrobitelné materiály, jako je například NickelAlloy IN718, nebo v případě kdy je požadavek na přesné dělení materiálu s malým prořezem.

3.3.6 Ověření funkčnosti prototypu

Ověření funkčnosti prototypu tištěného odvodušňovače proběhlo po vzájemné dohodě mezi DŠPW a JETE a to přímo v ostrém provozu na Jaderné elektrárně Temelín. Testování probíhalo po dobu jednoho měsíce, konkrétně v termínu od 31. 10. 2018 do 4. 12. 2018.

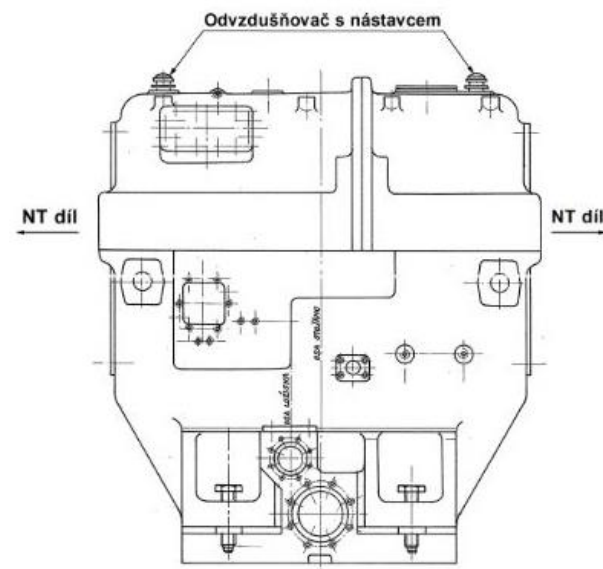
Pro účel testování byl využit ložiskový stojan mezi NT díly na bloku TG1. Testování potvrdilo nahraditelnost původní koncepce.

3.3.6.1 Podmínky měření

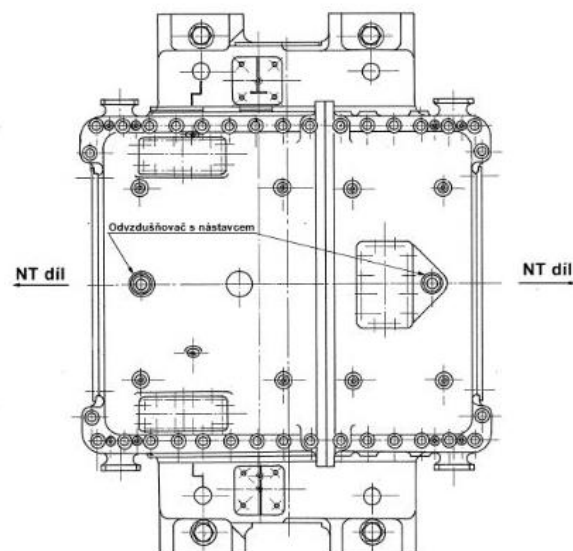
Pro ověření funkčnosti prototypu odvodušňovače nebylo potřeba žádných speciálních provozních podmínek, ověření tak proběhlo za ustáleného chodu stroje při jeho plném jmenovitém výkonu.

3.3.6.2 Umístění prototypu

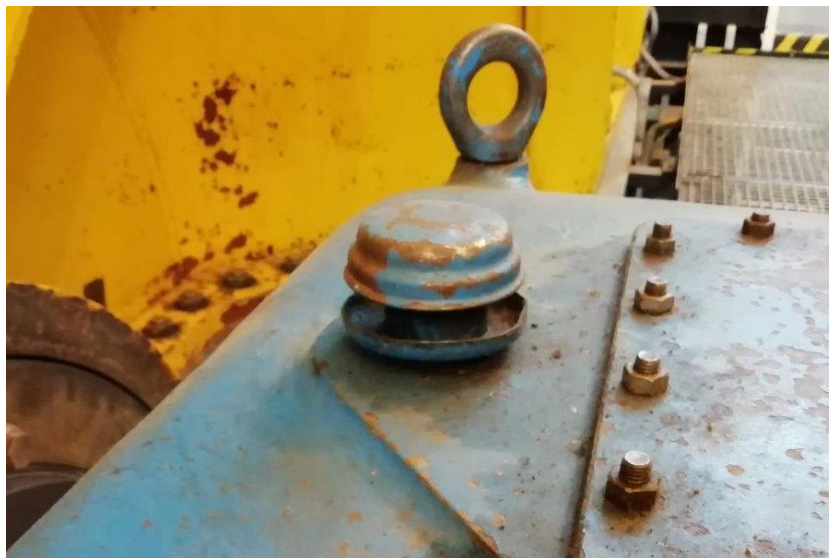
Tištěný odvodušňovač byl umístěn na místo původního odvodušňovače s nástavcem na víku ložiskového stojanu mezi NT díly.



Obrázek 33: Pohled na ložiskový stojan z boku



Obrázek 34: Pohled na ložiskový stojan z vrchu



Obrázek 35: Původní odvzdušňovač s nástavcem umístěný na víku ložiskového stojanu



Obrázek 36: Provozní znečištění původního odvzdušňovače



Obrázek 37: Demontovaný odvzdušňovač s nástavcem a namontovaný prototyp



Obrázek 38: Prototyp umístěný na víku ložiskového stojanu

3.3.6.3 Postup ověření funkčnosti

Ověření funkčnosti provedli techničtí pracovníci DŠPW zajišťující servisní služby na JETE dle předem dohodnutého postupu mezi DŠPW a JETE.

Ověření funkčnosti proběhlo záměnou původního odvzdušňovače s nástavcem za nový odvzdušňovač na víku ložiskového stojanu a pozorováním změn chování soustavy ložiskového stojanu. Hlavní pozornost byla věnována změnám hlučnosti a těsnosti ložiskového stojanu, přičemž pozorování probíhalo několikrát za den při pravidelných obchůzkách TG.

Na závěr zkušebního období bylo provedeno měření podtlaku ložiskového stojanu na ventilátoru olejových par. Byla provedena tři měření, přičemž první měření bylo provedeno s novým odvzdušňovačem, druhé měření bez odvzdušňovače a třetí měření bylo poté provedeno s vyčištěným původním odvzdušňovačem s nástavcem.

3.3.6.4 Vyhodnocení

Pozorování hluku:

- Během ověření nedošlo ke změnám hlučnosti zařízení, které by byly způsobeny prouděním vzduchu skrz nový odvzdušňovač.

Pozorování netěsností:

- Během ověření nedošlo ke změnám těsnosti ložiskového stojanu, zejména v oblasti zatěsnění rotorů, z toho lze usuzovat, že nový odvzdušňovač nijak negativně nezměnil množství vzduchu přiváděného do ložiskového stojanu.

Pozorování chování celé soustavy ložiskového stojanu:

- Během ověření funkčnosti nebyly zaznamenány žádné změny chování soustavy ložiskového stojanu, které by poukázaly na špatnou funkci nového odvzdušňovače.

Kontrolní měření podtlaku v ložiskovém stojanu:

- Kontrolní měření prokázalo správnou funkci nového odvzdušňovače. Výsledky měření jsou uvedeny v Tabulce 3. Z výsledků měření je patrné, že nový odvzdušňovač umožnil vytvoření vyššího podtlaku a tím snížil riziko netěsnosti ložiskového stojanu.

Tabulka 3: Kontrolní měření podtlaku

Měření podtlaku v ložiskovém stojanu	
Nový odvzdušňovač	-570 až -580 [kPa]
Původní odvzdušňovač s nastavcem	-560 až -570 [kPa]
Bez odvzdušňovače	-540 [kPa]

3.4 Finální výrobek

Na základě pozitivních výstupů z testování prototypu odvzdušňovače bylo ve společnosti DŠPW přistoupeno k reálné aplikaci výroby komponenty pomocí 3D tisku, a to během dodávky pěti kusů odvzdušňovačů na Jadernou elektrárnu Dukovany.

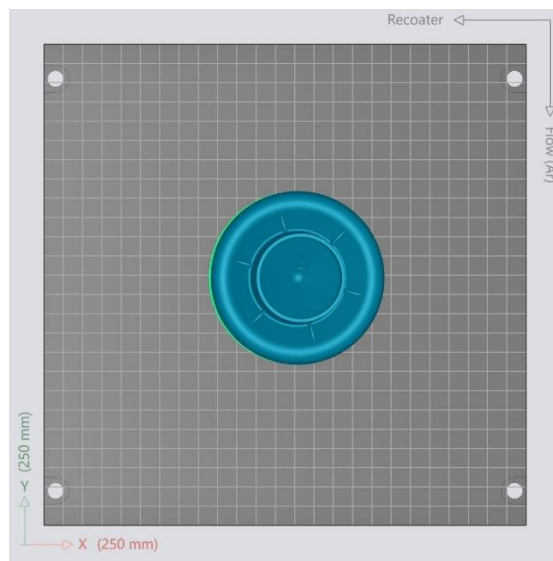
3.4.1 Materiál

Pro výrobu odvzdušňovače byl použit materiál EOS StainlessSteel 316L od Německé firmy EOS GmbH. Ocel StainlessSteel 316L je druhou nejpoužívanější austenitickou ocelí, hned za ocelí StainlessSteel 304. Díky své korozivzdornosti v agresivních prostředích je ocel hojně využívána ve zdravotnictví, v chemickém průmyslu a v energetice. Ocel se mimo jiné vyznačuje také dobrou svařitelností a dobrou obrobitelností. Ve většině případů dosahují vytištěné součásti požadovaných mechanických vlastností již po vytištění a z toho důvodu není potřeba dále provádět tepelné zpracování. Nicméně, díky vrstvenému způsobu výstavby mají

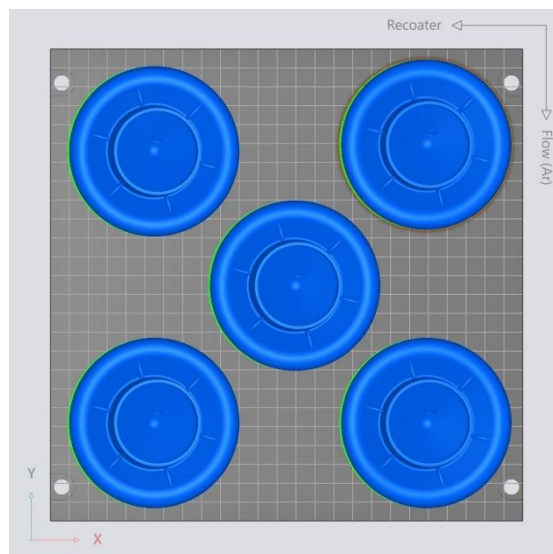
součásti z materiálu 316L určitou anizotropii vlastností, která může být v určitých aplikacích omezující.

3.4.2 Umístění na platformě

Prostorové umístění dílů na platformě je patrné z obrázku 40. Obrázek 39 je zde uveden pouze pro porovnání umístění prototypu a finálního výrobku. Díl je na platformě umístěn stejně, až na jednu drobnou změnu. Z důvodu vzniku deformací dílu během tisku, bylo potřeba díl naklonit cca o 5° od platformy, kolmo na osu nanášení prášku. Naklonění bylo provedeno za účelem rozložení přiváděného tepla při spékání a tím dosažení lepšího odvodu tepla z dílu a snížení rizika vzniku deformace.



Obrázek 39: Umístění 1 kusu na platformě

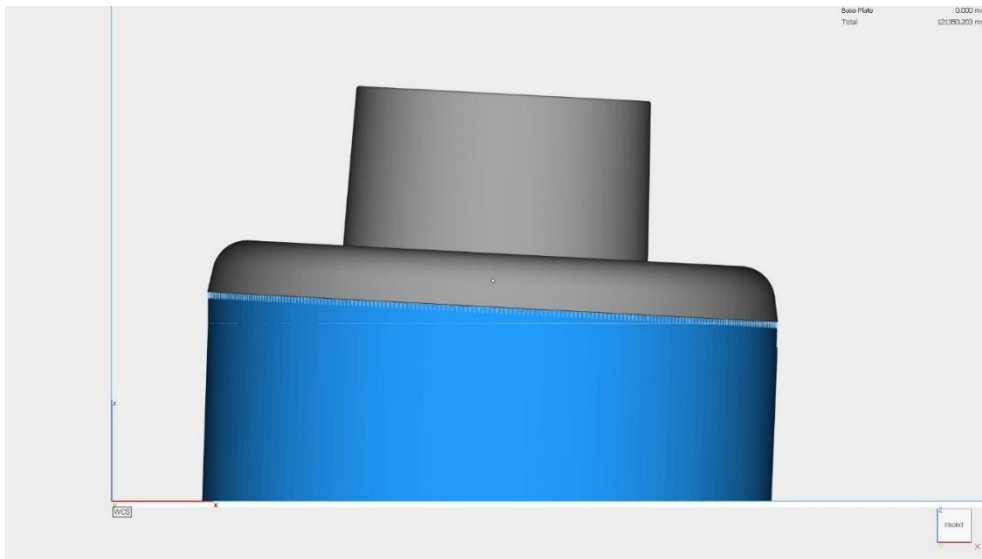


Obrázek 40: Umístění 5 kusů na platformě

3.4.3 Podpůrné struktury a geometrie dílu

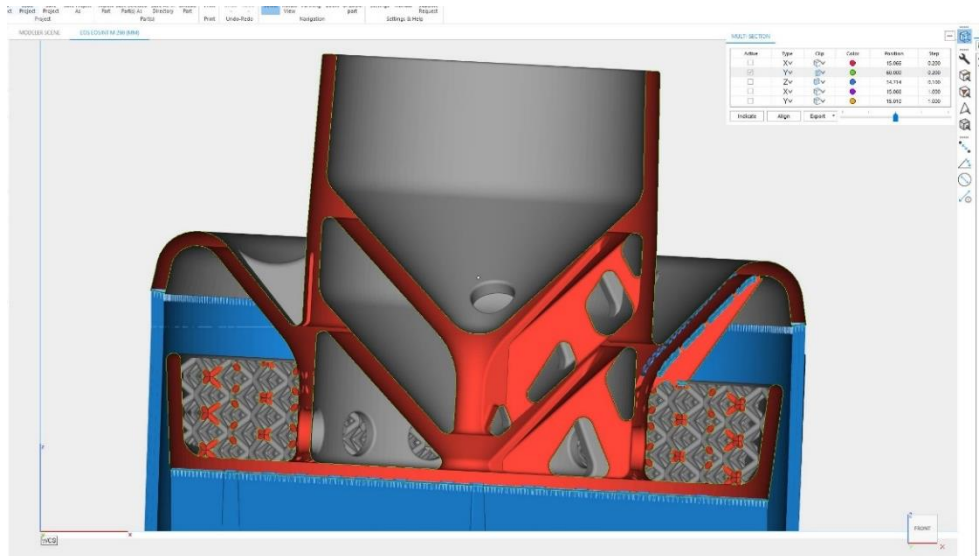
Pro tisk finálního výrobku byly využity základní typy podpůrných struktur, konkrétně struktury typu block, point a line. Struktury typu block a point byly využity k podepření vnějšího pláště. Struktura typu line byla využita k podepření misky na jejím převislém konci. Dále byla využita pokročilá podpůrná struktura typu cross, kterou byla nahrazena původní drátěnka.

Geometrie finálního výrobku se dočkala drobných změn a to především z důvodu tisknutelnosti materiálu EOS StainlessSteel 316L. Materiál EOS StainlessSteel 316L se během tisku původní geometrie deformoval a tak bylo potřeba díl vyztužit. Jedním z výztužných prvků je doplnění šesti žeber mezi vnějším povrchem nástavce a miskou. Žebra jsou patrná z obrázků 39 a 40.



Obrázek 41: Pohled zepředu na finální výrobek

Další výztužný prvek je patrný z obrázku 42, konkrétně doplnění žeber mezi přepážky. Mezi přepážky byla doplněna tři žebra, kolmá na osu nanášení prášku. Žebra byla doplněna z důvodů zvýšení tuhosti dílu při tisku, zamezení deformace v podobě přizvedávání a zvýšení odvodu tepla z dané oblasti.



Obrázek 42: Řez finálním výrobkem

3.4.4 Parametry a doba tisku

Parametry tisku byly zvoleny dle doporučení výrobce materiálu 316L, a to konkrétně výkon laseru 195 W, rychlost skenování 1083 m/s a tloušťka vrstvy 20 μm . Z důvodu ochrany součásti před oxidací během tisku byla použita ochranná argonová atmosféra. Ze stanovených procesních parametrů byl spočten celkový čas tisku, viz tabulka 4.

Tabulka 4: Doba tisku jednoho kusu odvzdušňovače z materiálu 316L

Čas tisku	
Exposure time [h]	21:05
Recouting time [h]	8:09
Celkem [h]	29:15
Počet vrstev	3265

Tabulka 5: Doba tisku pěti kusů odvzdušňovače z materiálu 316L

Čas tisku	
Exposure time [h]	109:16
Recouting time [h]	8:09
Celkem [h]	117:25
Počet vrstev	3265

3.4.5 Post-processing

Po vytištění dílu, očištění od zbytků prášku a vyjmutí ze stroje nebylo potřeba provádět tepelné zpracování, a tak se rovnou přistoupilo k oddělení od platformy a k dokončovací operacím. Mezi dokončovací operace se řadí odstranění podpěr, které se odstraní buď zámečnický, nebo strojně, odstranění zbytků prášku z vnitřních dutin a pískování. [2], [5]

3.4.5.1 Tepelné zpracování

Teplé zpracování komponent z materiálu EOS Stainless Steel 316L není zapotřebí, k uvolnění vnitřního pnutí dochází ve většině případů již v průběhu tisku a mechanické vlastnosti po vytištění jsou také ve většině případů dostačující. V případech, kdy je potřeba odstranit zbytkové vnitřní pnutí, je výrobcem doporučeno provést tepelné zpracování při výdrži na teplotě 900 °C po dobu dvou hodiny.

3.4.5.2 Oddělení součásti od platformy

K oddělení součásti od platformy byla použita pásová pila. Z obrázků 36 a 37 je patrné, že k dosažení požadovaného tvaru součásti je ještě zapotřebí odstranit podpěry, které sloužily ke spolehlivému vystavení součásti z prášku, a provést finální začištění.



Obrázek 43: Vytištený odvzdušňovač po oddělení od platformy



Obrázek 44: Vytištený odvzdušňovač po oddělení od platformy

3.4.5.3 Odstranění podpěr

Podpěry je zapotřebí odstranit k dosažení požadovaného tvaru dílu a děje se tak mechanickým opracováním, zámečnický nebo strojně. V našem případě lze proces odstranění podpěr rozdělit do tří fází. V první fázi došlo k zámečnickému odstranění podpěr misky a sražení ostrých hran z předchozí operace na pásové pile. K odstranění podpěr misky byla použita pneumatická stopková bruska, slangově označovaná jako „fortunka“, a ke sražení ostrých hran byl použit dílenský pilník.



Obrázek 45: Po odříznutí nosné podpěry



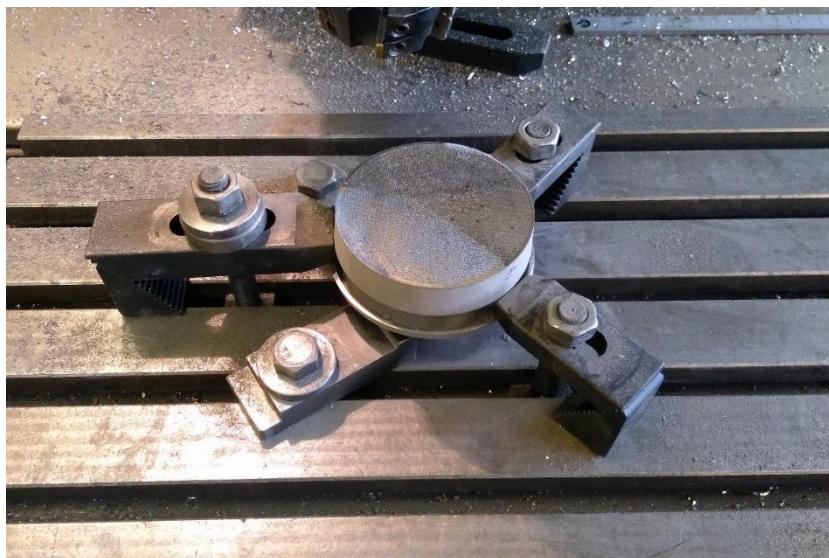
Obrázek 46: Po odříznutí nosné podpěry a odstranění zbytků prášku z dutin

V druhé fázi došlo k důkladnému vyčištění dílu od zbytku prášku, hlavní pozornost byla věnována pečlivému vyčištění vnitřních dutin, ve kterých nesmí zůstat žádný prášek, ani jiná nečistota. K čištění byl použit průmyslový vysavač, který sloužil k odsávání vyklepaného zbytku prášku.



Obrázek 47: Po zámečnickém odstranění podpěry a vyčištění od zbytků prášku

V poslední fázi došlo ke strojnímu odstranění podpěr z vrchu dílu, které sloužily ke spojení s platformou a jako základna pro samotný tištěný díl. Ke strojnímu opracování byla použita svislá konzolová frézka osazena rovinou frézou s vyměnitelnými reznými destičkami.



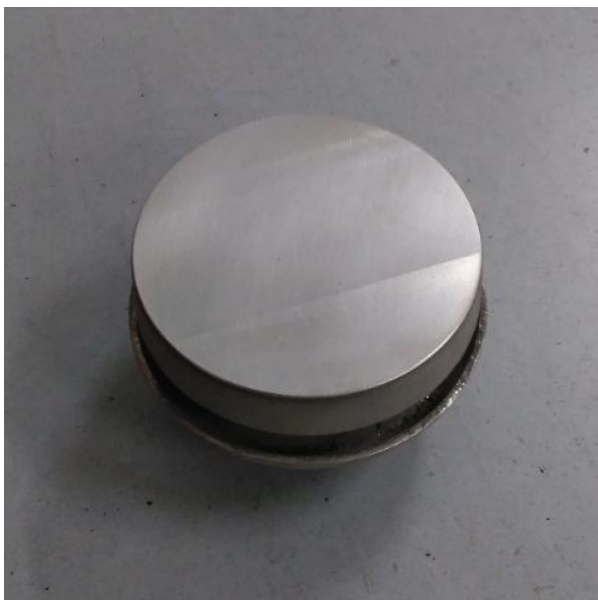
Obrázek 48: Upnutí pro strojní odstranění podpěr



Obrázek 49: Strojní odstranění podpěr

3.4.5.4 Pískování

Pískování bylo provedeno pro odstranění zbytků nečistot a dosažení finálního jednolitého povrchu. Pro pískování bylo použito zařízení Cabinet Sandblaster 420 od firmy INDUSTRIALIS Ltd. Na obrázcích 50 a 51 je vidět součást před pískováním, ve stavu po odstranění podpěr a na obrázcích 52 a 53 je součást po pískování a finálním vyčištění. Pro finální vyčištění byl použit stlačený vzduch a díl byl důkladně vyfoukán, s důrazem na vyčištění vnitřních dutin.



Obrázek 50: Před pískováním



Obrázek 51: Před pískováním



Obrázek 52: Po pískování



Obrázek 53: Po pískování

3.4.6 Ověření funkčnosti finálního výrobku

Kontrolní ověření funkčnosti tištěného odvodušňovače proběhlo po jeho instalaci na Jaderné elektrárně Dukovany. Pozorování proběhlo v délce jednoho měsíce a bylo zajištěno pracovníky DŠPW zajišťující servisní služby na JEDU. Pozorování mělo za účel sledovat změny v těsnosti olejových vložek, změny hlučnosti a chování ložiskového stojanu jako celku. Na začátku testování, před výměnou odvodušňovače, bylo provedeno kontrolní měření podtlaku v ložiskovém stojanu. Měření proběhlo ve třech krocích, s původním odvodušňovačem s nástavcem, bez odvodušňovače a s novým odvodušňovačem.

3.4.6.1 Podmínky měření

Pro kontrolní ověření funkčnosti odvodušňovače nebylo potřeba žádných speciálních provozních podmínek, ověření tak proběhlo za ustáleného chodu stroje při jeho plném jmenovitém výkonu.

3.4.6.2 Vyhodnocení

Kontrolní ověření funkčnosti potvrdilo výsledky z testování prototypu na Jaderné elektrárně Temelín a tím správnou funkčnost tištěného odvodušňovače. Po úspěšném zakončení kontrolního ověření byl nový odvodušňovač již natrvalo ponechán na pozici a bylo přistoupeno k výměně dalších třech kusů.

Měření podtlaku v ložiskovém stojanu:

- Měření podtlaku opět prokázalo, že nový odvodušňovač je dobře navržený a nedochází k zbytečnému maření podtlaku v ložiskovém stojanu.

Tabulka 6: Kontrolní měření podtlaku

Měření podtlaku v ložiskovém stojanu	
Nový odvzdušňovač	-570 [kPa]
Původní odvzdušňovač s nástavcem	-585 [kPa]
Bez odvzdušňovače	-535 [kPa]

Z měření původního odvzdušňovače je patrné jeho znečištění, zanešení mastnotou s prachem a tím zamezení jeho správné funkčnosti. Nicméně, jelikož je soustava olejového systému již doplněna o odsávání olejových, tak má znečištění odvzdušňovače příznivý vliv na velikost podtlaku v ložiskovém stojanu a tím dochází ke snížení rizika netěsnosti v oblasti olejových vložek.



Obrázek 54: Znečištění nástavce



Obrázek 55: Znečištění odvzdušňovače

Pozorování hluku:

- Během ověření nedošlo ke změnám hlučnosti zařízení, například pískání, které by byly způsobeny prouděním vzduchu skrz nový odvzdušňovač.

Pozorování netěsností:

- Během ověření nedošlo ke změnám těsnosti ložiskového stojanu, zejména v oblasti olejových vložek, z toho lze usuzovat, že nový odvzdušňovač nijak negativně nezměnil množství vzduchu přiváděného do ložiskového stojanu.

Pozorování chování celé soustavy ložiskového stojanu:

- Během ověření funkčnosti nebyly zaznamenány žádné změny chování soustavy ložiskového stojanu, které by poukázaly na špatnou funkci nového odvzdušňovače.

4 Zhodnocení výsledků

4.1 Srovnání původního geometrie odvzdušňovače s nástavcem a výrobku vytvořeného pomocí aditivní technologie

Z obrázků 56 a 57 jsou patrné rozdíly v konstrukci a geometrii jednotlivých dílů. Základní tvar finálního výrobku vychází z původní koncepce, ale s ohledem na jeho tisknutelnost bylo potřeba ho upravit. Největším rozdílem v obou variantách je integrace jednotlivých komponent původního odvzdušňovače s nástavcem v jeden monolitní díl. Integrací došlo k určité redukci objemu a tím i k úspoře materiálu. Další změnou, kterou bylo možné díky integraci udělat, je zjednodušení tvaru, které však respektuje původní koncept, především pak přípojný rozměr, které musely být zachovány. V případě opakování výroby v budoucnu by bylo vhodné provést určitou optimalizaci, a to především v oblasti vnitřního prostoru, který by bylo možné celý vyplnit pokročilejší podpůrnou strukturou a tím přispět k značné úspoře materiálu.



Obrázek 56: Původní odvzdušňovač s nástavcem



Obrázek 57: Finální výrobek (odvzdušňovač)

4.2 Zhodnocení čistoty vyrobeného dílu

Odvzdušňovač je součástí olejového systému a z toho důvodu musí splnit požadavek čistoty stupně II dle interní směrnice DŠPW. Stupeň čistoty II stanovuje, že povrch musí být čistý, zbavený nepřilnavých částí nečistot (okuje, třísky, prach, rez, ...), kapalin, tuků, které lze zjistit vizuálně nebo látek, které by mohly způsobit znehodnocení pracovního media a tím vést k zapříčinění poruchy stroje. [1]

Z výše uvedeného důvodu byla čistotě odvzdušňovače věnována extra péče. Odvzdušňovač byl důkladně vyčištěn od zbytků nespečeného prášku, opískován a následně pečlivě vyfoukán stlačeným vzduchem.

4.3 Zhodnocení funkčnosti

Funkčnost tištěného odvzdušňovače byla ověřena testováním prototypu v ostrém provozu na Jaderné elektrárně Temelín, podrobné informace viz kapitola 3.3.6., a následně byla potvrzena kontrolním testem po aplikaci finálního dílu v ostrém provozu na Jaderné elektrárně Dukovany, podrobné informace viz kapitola 3.4.6.. V obou případech odvzdušňovač potvrdil svou funkčnost a dokonce kontrolním měřením bylo prokázáno jisté zlepšení oproti původní koncepci odvzdušňovače, a to konkrétně v podobě zvýšení podtlaku v ložiskovém stojanu a tím snížení rizika netěsnosti olejových vložek.

4.4 Nákladové zhodnocení

4.4.1 Původní technologie

Kalkulace byly vytvořeny dle interních podkladů DŠPW. Ceny materiálu byly určeny dle cen na trhu poplatných při tvorbě kalkulace, náklady na samotnou výrobu byly poté vyčísleny pomocí času potřebného pro jednotlivé operace násobeného interní hodinovou zúčtovací sazbou. Vzhledem k tomu, že společnost DŠPW považuje interní hodinové zúčtovací sazby za tajné, není zde bohužel možné pracnost detailněji uvést a je zde tak uveden pouze finální náklad v Kč na níže uvedené jednotlivé technologické kroky.

4.4.1.1 Fixní náklady

„Fixní náklady jsou náklady nezávislé na vyráběném množství, vyplývají ze zvoleného technologického postupu.“ [11]

Tabulka 7: Kalkulace speciálního nářadí

Kalkulace speciálního nářadí		
Název nářadí	Množství [ks]	Náklad [Kč]
Tažník a tažnice - plech svrchní	1	64000
Tažník a tažnice - plech vnitřní	1	60000
Tažník a tažnice - miska	1	50000
Celkem	3	174000

Tabulka 8: Kalkulace přípravy a podpory výroby

Kalkulace přípravy a podpory výroby	
Profese	Náklad [Kč]
Konstrukce	8800
Technologie	8450
Režie	1600
Celkem	18850

4.4.1.2 Variabilní náklady

„Variabilní náklady jsou náklady, které rostou s růstem vyráběného množství a jejich hodnota na jednotku množství je konstantní.“ [11]

Tabulka 9: Kalkulace materiálu

Kalkulace materiálu						
Název dílu	Výkres	Polotovár	Rozměr [mm]	Materiál	Množství [ks]	Náklad [Kč]
Nástavec	Tp439545	TRKR60,3x12,5	56	11453.1	1	175
Miska	Tp439546	P 1	132x132	11321.21	1	180
Přepážka	Tp527912	P 1	50x50	11321.21	2	85
Plech svrchní		P 1	180x180	11321.21	1	265
Plech vnitřní		P 1	125x125	11321.21	1	155
Plech spodní		P 1	100x100	11321.21	1	125
Ocelová tkanina			100x100	1.4301	1	375
Ocelová drátěnka				1.4301	1	28
Celkem					9	1388

Tabulka 10: Kalkulace strojních prací

Kalkulace strojních prací	
Operace	Náklad [Kč]
Soustruh	550
Vrtačka	92,5
Řezání (vodní paprsek)	400
Lis	1275
Lemovačka	112,5
Celkem	2430

Tabulka 11: Kalkulace zámečnických prací

Kalkulace zámečnických prací	
Operace	Náklad [Kč]
Příprava pro sestavení	400
Pájení	400
Vyčištění	200
Povrchová úprava	200
Výrobní kontrola	205
Celkem	1405

4.4.1.3 Celkové náklady

Celkové náklady jsou tvořené součtem variabilních nákladů, které se liší dle vyrobeného množství a fixních nákladů, které jsou nezávislé na vyrobeném množství. [11]

$$CN = \sum FN + \sum VN \times q$$

Kde:

CN = celkové náklady [Kč]

FN = fixní náklady [Kč]

VN = variabilní náklady [Kč/ks]

q = objem výroby [ks]

Tabulka 12: Celková kalkulace původní technologie

Celková kalkulace										
Objem výroby [ks]	1	5	10	15	20	30	40	50	75	100
Náklad na 1 kus [Kč]	198073	43793	24508	18080	14866	11651	10044	9080	7794	7152

Z výše uvedené celkové kalkulace původní technologie je zřejmé, že výroba odvodušňovače olejových par je vysoce zatížena jednorázovými, resp. fixními náklady v podobě potřebného speciálního nářadí. Vzhledem k tomu, že se z pohledu dodávek společnosti DSPW aktuálně jedná zpravidla o kusové dodávky, není reálné kusové výrobní náklady snížit zvýšením vyráběného objemu produktu popisovaného v této diplomové práci. Výše uvedené vysoké jednotkové náklady stávající výrobní metody byly hlavním důvodem, proč byl pro testování aditivní technologie v praxi ve společnosti DSPW vybrán právě odvodušňovač.

4.4.2 Aditivní technologie

Kalkulace byly vytvořeny dle interních podkladů RTI. Ceny materiálu byly určeny dle cen na trhu poplatných při tvorbě kalkulace, náklady na samotnou výrobu byly poté vyčísleny pomocí času potřebného pro jednotlivé operace násobeného interní zúčtovací hodinovou sazbou.

4.4.2.1 Fixní náklady

Fixní náklady byly vyčísleny ve výši 2500 Kč a obsahují náklady na inženýring (přípravu 3D dat a přípravu programu).

4.4.2.2 Variabilní náklady

Variabilní náklady se odvíjí od počtu tištěných dílů, přičemž limitní počet pro jeden tisk je pět kusů, a to z důvodu zaplnění prostoru stroje. Variabilní náklady pro tisk jednoho kusu jsou 18500 Kč a pro tisk pěti kusů jsou 85500 Kč a obsahují náklady na přípravu stroje, materiál, tisk a post-procesing.

4.4.2.3 Celkové náklady

Celkové náklady jsou tvořeny součtem variabilních nákladů, které se liší dle vyrobeného množství a fixních nákladů, které jsou nezávislé na vyrobeném množství. [11]

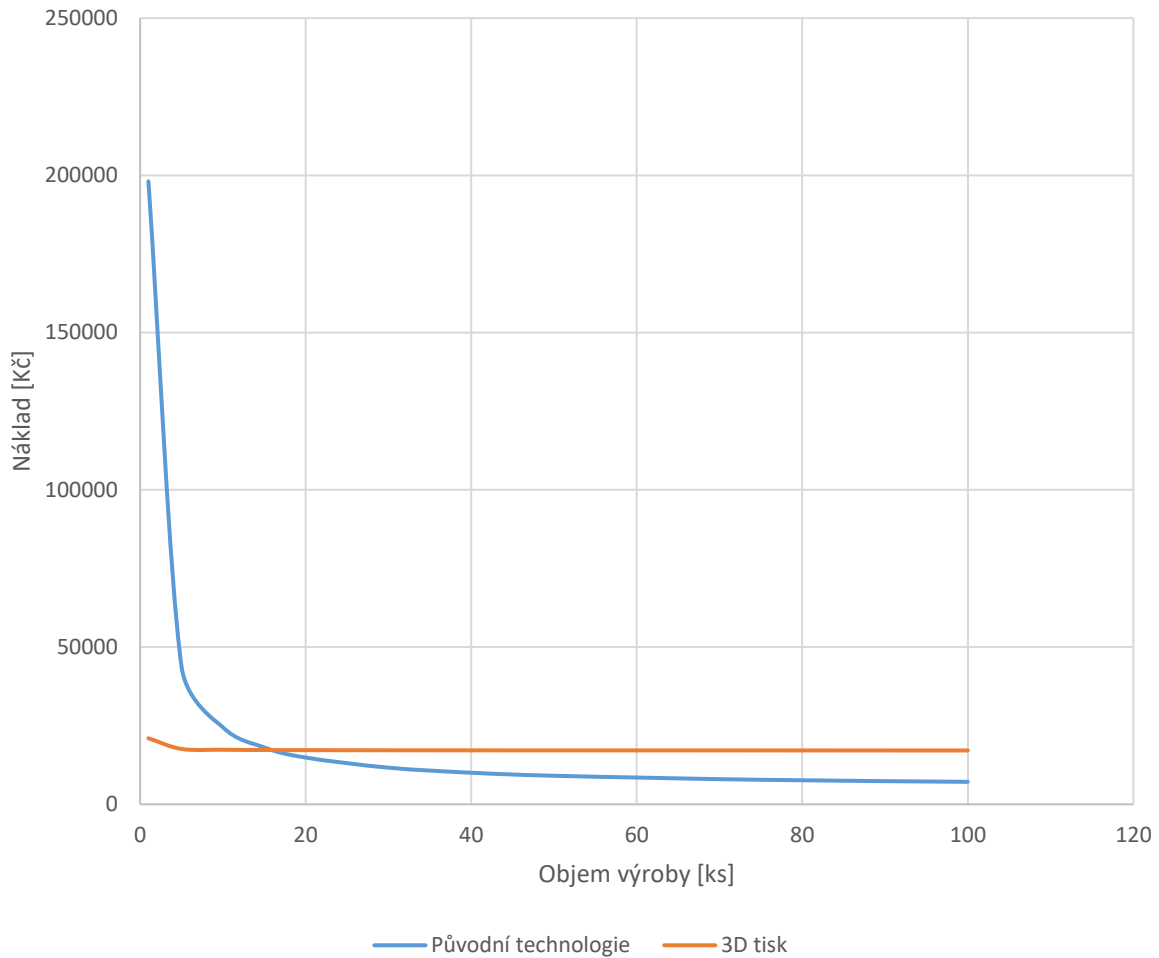
Tabulka 13: Celková kalkulace aditivní technologie

Celková kalkulace										
Objem výroby [ks]	1	5	10	15	20	30	40	50	75	100
Náklad na 1 kus [Kč]	21000	17600	17350	17267	17225	17183	17163	17150	17133	17125

Z výše uvedené celkové kalkulace aditivní technologie je zřejmé, že objem výroby nemá na cenu jednoho kusu výrobku příliš velký vliv, zejména díky nízkým flexibilním nákladům, které jsou v porovnání s variabilními náklady téměř zanedbatelné.

4.4.3 Srovnání nákladů na výrobu původní technologií a aditivní technologií

Ke srovnání původní technologie výroby a výroby pomocí aditivní technologie byla použita metoda stanovení pásem ekonomické výhodnosti, to znamená stanovení objemu výroby, při kterém daná varianty vykazuje nižší celkové náklady. K určení těchto pásem se využívá nákladových bodů zvratu. Nákladový bod zvratu je takový objem výroby, ve kterém jsou náklady obou variant totožné. [11]



Obrázek 58: Grafické srovnání nákladu na jeden kus v závislosti na objemu výroby

Z obrázku č. 13 je zřejmý markantní rozdíl nákladů obou výše popisovaných metod v oblasti kusové výroby (cca do 15 kusů). V případě sériové výroby by se aktuálně vyplatila původní výrobní technologie, pro reálné využití v DŠPW, kdy se jedná o kusovou výrobu, vychází výrazně výhodněji metoda aditivní technologie.

5 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo nahradit konvenční technologii výroby odvodušňovače olejových par pomocí aditivní technologie DMLS při dosažení minimálně stejných užitných vlastností dílu s ohledem na časovou a finanční náročnost. K aplikaci aditivní technologie na tento díl bylo přistoupeno z důvodu překonání původní technologie výroby, která v důsledku hlavně fixních nákladů, konkrétně počátečních nákladů na speciální nářadí, nemá šanci při kusové výrobě konkurovat aditivní technologii. Historicky k překonání původní technologie výroby došlo proto, že se odvodušňovač olejových par přestal vlivem vývoje olejových systému parních turbín používat a v dnešní době je již využíván pouze pro potřeby servisu starších zařízení.

Na úvod práce byl proveden rozbor současného stavu, který byl rozdělen do tří podkapitol. V první podkapitole byl popsán původní odvodušňovač olejových par, byla zde uvedena jeho funkce v olejovém systému a vliv na provoz parní turbíny. Dále byla krátce popsána jeho historie a bylo vysvětleno, proč se v dnešní době již nepoužívá. Na závěr první podkapitoly byla popsána konstrukce původního odvodušňovače olejových par s jeho rozpadem na jednotlivé komponenty. Druhá podkapitola byla věnována výrobním technologiím pro výrobu dle původní koncepce. Závěr úvodu práce byl věnován teorii aditivní technologie. Bylo uvedeno rozdělení aditivní technologie dle normy ISO/ASTM 52900 a byl zde popsán základní princip výroby aditivních technologií.

Hlavní část práce, návrh vlastního řešení a jeho realizace, nás postupnými kroky provedla vývojem odvodušňovače vyráběného aditivní technologií. Pro výrobu odvodušňovače byl použit stroj EOS M290 od společnosti EOS GmbH, který používá technologii výroby Direct Metal Laser Sintering neboli DMLS. Samotná výroba odvodušňovače proběhla ve dvou fázích, v první fázi byl vyroben prototyp a následně až po jeho odzkoušení bylo přistoupeno k jeho finální výrobě v požadovaném počtu pěti kusů. Prototyp odvodušňovače byl vyroben z materiálu EOS MaragingSteel MS1, který DŠPW akceptovala jako kvalitativně postačující pro uvažovanou aplikaci. Nicméně pro výrobu finálního odvodušňovače byl zvolen na přání koncového zákazníka, Jaderné elektrárny Dukovany, materiál EOS StainlessSteel 316L. Původní geometrie odvodušňovače s nástavcem také nezůstala bez úprav. Mezi hlavní změny patří sloučení nástavce a odvodušňovače do jednoho dílu a úprava jednotlivých komponent pro spolehlivé vytištění při zachování jeho funkčnosti a přípojných rozměrů. Funkčnost prototypu byla ověřena experimentálním testem v ostrém provozu na Jaderné elektrárně Temelín, přičemž bylo konstatováno, že nový odvodušňovač je funkční a nemá negativní vliv na chování stroje za provozu, ba naopak, kontrolním měřením na konci experimentu bylo prokázáno mírné zlepšení, které má přímý dopad do provozní spolehlivosti stroje. Tisk finálního výrobku se bohužel neobešel bez komplikací, z důvodu použití materiálu EOS StainlessSteel 316L bylo zapotřebí upravit parametry tisku oproti prototypu a samotný tisk bylo nutné provést po vrstvách 20 μm . Změna tloušťky tištěné vrstvy z původních 40 μm u prototypu a již zmíněná změna materiálu způsobila, že bylo zapotřebí finální odvodušňovač upravit. Úprava spočívala v doplnění výztužných žebér, která zvýšila tuhost dílu během tisku a zlepšila odvod tepla z nejvíce exponovaných míst. Finální odvodušňovač také prošel kontrolním ověřením

funkčnosti, a to hned po jeho aplikaci na Jaderné elektrárně Dukovany. Kontrolní ověření potvrdilo výsledky z testu prototypu, a tudíž lze odvzdušňovač považovat za funkční.

Na závěr práce bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení. Hned v úvodu bylo provedeno srovnání původního a nového odvzdušňovače z pohledu jeho geometrie. V další fázi bylo provedeno zhodnocení tištěného odvzdušňovače, přičemž byla věnována pozornost hodnocení doby tisku jednotlivých variant, funkčnosti a provedení čistoty, která je důležitá z důvodu provozní bezpečnosti stroje. Na konec bylo provedeno nákladové zhodnocení obou technologií výroby odvzdušňovače. Srovnání poukázalo na jasnou dominanci aditivní technologie v oblasti kusové výroby a na následnou dominanci původní technologie v oblasti sériové výroby, přičemž bod zvratu byl okolo 15 kusů.

Na základě závěrečného zhodnocení a zkušenosti z výroby odvzdušňovače olejových par, lze konstatovat, že využití aditivní technologie pro servisní činnosti v energetickém průmyslu, kde se jedná především o kusovou výrobu, je jednoznačně přínosem a do budoucna by se tato technologie měla začít využívat. Důvodem proč aditivní technologie ještě není hojně využívaná v tomto odvětví průmyslu, je pravděpodobně fakt, že energetický průmysl je značně konzervativní a nové technologie se v něm těžko prosazují.

6 Publikace

- [1] Interní materiály společnosti Doosan Škoda Power s.r.o.
- [2] ZETKOVÁ, Ivana. *Problematika výroby strojních kovových součástí 3D tiskem*. V Plzni, 2017. Disertační práce (Ph.D.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [3] HANZL, Pavel. *Vliv změny objemového podílu gyroidní struktury vyrobené z nástrojové oceli technologií DMLS na její únosnost*. V Plzni, 2016. Diplomová práce (Ing.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Miroslav Zetek.
- [4] FRANKO, Jaroslav. *Technologie pájení a vodivého lepení v elektronice*. V Plzni, 2016. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Martin Hirman.
- [5] HANZL, Pavel. *Využití metody spékání kovových prášků laserem pro konstrukci řezných nástrojů*. V Plzni, 2014. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ivana Česáková.
- [6] MACH, Martin. *Pájení v ochranné atmosféře*. Ve Zlíně, 2011. Bakalářská práce (Bc.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Jana Knedlová.
- [7] SOBOTKOVÁ, Kateřina. *Technologie lemování plechů*. V Brně, 2017. Bakalářská práce (Bc.). Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Eva Peterková.
- [8] ŘEHOŘ, Jan. *IV. Přednáška: Metody obrábění – soustružení*. Přednáška z předmětu KTO/STO. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [9] ŘEHOŘ, Jan. *VIII. Přednáška: Metody obrábění – vrtání, vyvrtávání*. Přednáška z předmětu KTO/STO. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [10] ŘEHOŘ, Jan. *XI. Přednáška: Metody obrábění – nekonvenční způsoby obrábění*. Přednáška z předmětu KTO/STO. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [11] KLEINOVÁ, Jana. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. V Plzni, 2019. Texty ke cvičení z předmětu KPV/EHV. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [12] ISO/ASTM 52900. *Aditivní výroba - Obecné zásady – Terminologie*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [13] ČSN EN ISO 17296. *Aditivní výroba - Základní principy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [14] Mid-Size Metal 3D Printer for all kind of materials. *Redirecting to <https://www.eos.info/en/>* [online]. Copyright © EOS [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-metal/eos-metal-systems/eos-m-290>
- [15] Medical 3D printer - EOS M 290 - EOS GmbH Electro Optical Systems - metal. *MedicalExpo - The B2B marketplace for medical equipment: medical material, medical imagery, hospital furniture, laboratory equipment, etc.* [online]. [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://www.medicaexpo.com/prod/eos-gmbh-electro-optical-systems/product-72628-866024.html>
- [16] Pájení – Wikipedie. [online]. [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1jen%C3%AD>

- [17] 301 Moved Permanently. *301 Moved Permanently* [online]. [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <http://osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
- [18] VRTÁNÍ. Vrtání je ruční, nebo strojní třískové obrábění válcových děr VRTÁKEM. - PDF Free Download. *Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací.* [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/amp/20384556-Vrtani-vrtani-je-rucni-nebo-strojni-triskove-obrabeni-valcovych-der-vrtakem.html>
- [19] Princip řezání vodním paprskem | Řezání CNC. *Řezání vodním paprskem na zakázku | Řezání CNC* [online]. Copyright © Copyright 2016 Morkus Morava s.r.o. Všechna práva vyhrazena [cit. 03.04.2021]. Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
- [20] Technologie II. *Technologie plošného tváření – tažení.* [online]. [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
- [21] Technologie II. *Technologie plošného tváření – ohýbání.* [online]. [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
- [22] DMLS Technology for Metal 3D Printer. *Redirecting to https://www.eos.info/en/* [online]. Copyright © EOS [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: <https://www.eos.info/en/industrial-3d-printing/additive-manufacturing-how-it-works/dmls-metal-3d-printing>
- [23] Wohlers Associates. *3D Printing | Wohlers Associates* [online]. Copyright © Wohlers Associates, Inc. All Rights Reserved. [cit. 08.05.2021]. Dostupné z: <https://wohlersassociates.com/2019-ExSum.htm>
- [24] (PDF) Study of 3D printing direction and effects of heat treatment on mechanical properties of MS1 maraging steel. *ResearchGate | Find and share research* [online]. Copyright © Springer [cit. 10.05.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325018758_Study_of_3D_printing_direction_and_effects_of_heat_treatment_on_mechanical_properties_of_MS1_maraging_steel

7 Přílohy

Příloha č. 1 – Materiálový list EOS NickelAlloy IN718

Příloha č. 2 – Materiálový list EOS MaragingSteel MS1

Příloha č. 3 – Materiálový list EOS StainlessSteel 316L

Příloha č. 4 – Výkres Tp450747, ODVZDUŠŇOVAČ S NÁSTAVCEM

PŘÍLOHA č. 1

Materiálový list EOS NickelAlloy IN718



Material data sheet

EOS NickelAlloy IN718

EOS NickelAlloy IN718 is a heat and corrosion resistant nickel alloy powder which has been optimized especially for processing on EOS M systems.

This document provides information and data for parts built using EOS NickelAlloy IN718 powder (EOS art.-no. 9011-0020) on the following system specifications:

- EOSINT M280 400W System with PSW3.6 and Parameter Set IN718_Performance 1.0
- EOS M290 400W System with EOSPRINT 1.0 and Parameter Set IN718_Performance 1.0

Description

Parts built from EOS NickelAlloy IN718 have chemical composition corresponding to UNS N07718, AMS 5662, AMS 5664, W.Nr 2.4668, DIN NiCr19Fe19NbMo3. This kind of precipitation-hardening nickel-chromium alloy is characterized by having good tensile, fatigue, creep and rupture strength at temperatures up to 700 °C (1290 °F).

This material is ideal for many high temperature applications such as gas turbine parts, instrumentation parts, power and process industry parts etc. It also has excellent potential for cryogenic applications.

Parts built from EOS NickelAlloy IN718 can be easily post-hardened by precipitation-hardening heat treatments. In both as-built and age-hardened states the parts can be machined, spark-eroded, welded, micro shot-peened, polished and coated if required. Due to the layerwise building method, the parts have a certain anisotropy - see Technical Data for examples.

Material data sheet

Technical data

General process data

Typical achievable part accuracy [1], [11]	
- small parts	approx. $\pm 40 - 60 \mu\text{m}$ approx. $\pm 1.6 - 2.4 \times 10^{-3}$ inch
- large parts	$\pm 0.2 \%$
Min. wall thickness [2], [11]	
	typ. $0.3 - 0.4 \text{ mm}$ typ. $0.012 - 0.016$ inch
Surface roughness [3], [11]	
- after shot-peening	$R_a 4 - 6.5 \mu\text{m}$, $R_z 20 - 50 \mu\text{m}$ $R_a 0.16 - 0.25 \times 10^{-3}$ inch, $R_z 0.78 - 1.97 \times 10^{-3}$ inch
- after polishing	R_z up to $< 0.5 \mu\text{m}$ R_z up to $< 0.02 \times 10^{-3}$ inch (can be very finely polished)
Volume rate [4]	
- Parameter Set IN718_Performance ($40 \mu\text{m}$)	$4 \text{ mm}^3/\text{s}$ ($14.4 \text{ cm}^3/\text{h}$) $0.88 \text{ in}^3/\text{h}$

[1] Based on users' experience of dimensional accuracy for typical geometries, e.g. $\pm 40 \mu\text{m}$ (1.6×10^{-3} inch) when parameters can be optimized for a certain class of parts or $\pm 60 \mu\text{m}$ (2.4×10^{-3} inch) when building a new kind of geometry for the first time. Part accuracy is subject to appropriate data preparation and post-processing, in accordance with EOS training.

[2] Mechanical stability is dependent on geometry (wall height etc.) and application#

[3] Due to the layerwise building, the surface structure depends strongly on the orientation of the surface, for example sloping and curved surfaces exhibit a stair-step effect. The values also depend on the measurement method used. The values quoted here given an indication of what can be expected for horizontal (up-facing) or vertical surfaces.

[4] Volume rate is a measure of build speed during laser exposure. The total build speed depends on the average volume rate, the recoating time (related to the number of layers) and other factors such as DMLS-Start settings.

Material data sheet

Physical and chemical properties of parts

Material composition	Ni (50 - 55 wt-%) Cr (17.0 - 21.0 wt-%) Nb (4.75 - 5.5 wt-%) Mo (2.8 - 3.3 wt-%) Ti (0.65 - 1.15 wt-%) Al (0.20 - 0.80 wt-%) Co (\leq 1.0 wt-%) Cu (\leq 0.3 wt-%) C (\leq 0.08 wt-%) Si, Mn (each \leq 0.35 wt-%) P, S (each \leq 0.015 wt-%) B (\leq 0.006 wt-%) Fe (balance)
Relative density	approx. 100 %
Density	min. 8.15 g/cm ³ min. 0.294 lb/in ³

Material data sheet

Mechanical properties of parts at 20 °C (68 °F)

	As built	Heat treated per AMS 5662 [5]	Heat treated per AMS 5664 [6]
Tensile strength [7]			
- in horizontal direction (XY)	typ. 1060 ± 50 MPa (154 ± 7 ksi)		
- in vertical direction (Z)	typ. 980 ± 50 MPa (142 ± 7 ksi)	min. 1241 MPa (180 ksi) typ. 1400 ± 100 MPa (203 ± 15 ksi)	min. 1241 MPa (180 ksi) typ. 1380 ± 100 MPa (200 ± 15 ksi)
Yield strength (Rp 0.2 %) [7]			
- in horizontal direction (XY)	typ. 780 ± 50 MPa (113 ± 7 ksi)		
- in vertical direction (Z)	typ. 634 ± 50 MPa (92 ± 7 ksi)	min. 1034 MPa (150 ksi) typ. 1150 ± 100 MPa (167 ± 15 ksi)	min. 1034 MPa (150 ksi) typ. 1240 ± 100 MPa (180 ± 15 ksi)
Elongation at break [7]			
- in horizontal direction (XY)	typ. (27 ± 5) %		
- in vertical direction (Z)	typ. (31 ± 5) %	min. 12 % typ. (15 ± 3) %	min. 12 % typ. (18 ± 5) %
Modulus of elasticity [7]			
- in horizontal direction (XY)	typ. 160 ± 20 GPa (23 ± 3 Msi)		
- in vertical direction (Z)		170 ± 20 GPa 24.7 ± 3 Msi	170 ± 20 GPa 24.7 ± 3 Msi
Hardness [8]			
	approx. 30 HRC approx. 287 HB	approx. 47 HRC approx. 446 HB	approx. 43 HRC approx. 400 HB

[5] Heat treatment procedure per AMS 5662:

1. *Solution Anneal* at 980 °C (1800 °F) for 1 hour, air (*Argon*) cool.
2. *Ageing treatment*; hold at 720 °C (1330 °F) 8 hours, furnace cool to 620 °C (1150 °F) in 2 hours, hold at 620 °C (1150 °F) 8 hours, air (*Argon*) cool.

Material data sheet

- [6] Heat treatment procedure per AMS 5664:
 - 1. *Solution Anneal* at 1065 °C (1950 °F) for 1 hour, air (/argon) cool.
 - 2. *Ageing treatment*; hold at 760 °C (1400 °F) 10 hours, furnace cool to 650 °C (1200 °F) in 2 hours, hold at 650 °C (1200 °F) 8 hours, air (/argon) cool
- [7] Tensile testing according to ISO 6892-1:2009 (B) Annex D, proportional test pieces, diameter of the neck area 5 mm (0.2 inch) , original gauge length 25 mm (1 inch).
- [8] Rockwell C (HRC) hardness measurement according to EN ISO 6508-1 on polished surface. Note that measured hardness can vary significantly depending on how the specimen has been prepared.

Material data sheet

Mechanical properties of parts at high temperature (649 °C, 1200 °F) [11]

	Heat treated per AMS 5662 [5]	Heat treated per AMS 5664 [6]
Tensile Strength (Rm) [9]		
- in vertical direction (Z)	min. 965 MPa (140 ksi) typ. 1170 ± 50 MPa (170 ± 7 ksi)	typ. 1210 ± 50 MPa (175 ± 7 ksi)
Yield strength (Rp 0.2 %) [9]		
- in vertical direction (Z)	min. 862 MPa (125 ksi) typ. 970 ± 50 MPa (141 ± 7 ksi)	typ. 1010 ± 50 MPa (146 ± 7 ksi)
Elongation at break [9]		
- in vertical direction (Z)	min. 6 % typ. (16 ± 3) %	typ. (20 ± 3) %
Stress-Rupture Properties [10]		
- in vertical direction (Z)	min. 23 hours at stress level 689 MPa (100 ksi)	
	51 ± 5 hours (final applied stress to rupture 792.5 MPa / 115 ksi)	81 ± 10 hours (final applied stress to rupture 861.5 MPa / 125 ksi)

[9] Elevated temperature tensile testing at 649 °C (1200 °F) in accordance with EN 10002-5 (92)

[10] Testing at 649 °C (1200 °F) in accordance with ASTM E139 (2006), smooth specimens. Test method as described in AMS 5662 (3.5.1.2.3.3): "The load required to produce an initial axial stress of 689 MPa (100 ksi) shall be used to rupture or for 23 hours, whichever occurs first. After the 23 hours and at intervals of 8 hours minimum, thereafter, the stress shall be increased in increments of 34.5 MPa (5 ksi)."

[11] Hint: these properties were determined on an EOSINT M 270 IM Xtended and EOSINT M 280-400W. Test parts from following machine types EOSINT M 270 Dual Mode, EOSINT M 280-200W and EOS M 290-400W correspond with these data.

Material data sheet

Thermal properties of parts

Heat treated per AMS 5662 [4]	
Coefficient of thermal expansion	
- over 25 - 200 °C (36 - 390 °F)	approx. 12.5 - 13.0 x 10 ⁻⁶ m/m°C approx. 6.9 - 7.2 x 10 ⁻⁶ in/in°F
- over 25 - 750 °C (36 - 930 °F)	approx. 16.6 - 17.2 x 10 ⁻⁶ m/m°C approx. 9.2 - 9.6 x 10 ⁻⁶ in/in°F
Maximum operating temperature for parts under load	approx. 650 °C approx. 1200 °F
Oxidation resistance up to [11]	approx. 980 °C approx. 1800 °F

[12] Based on literature of conventional Ni-alloy with identical chemistry

Abbreviations

typ.	typical
min.	minimum
approx.	approximately
wt	weight

Notes

The data are valid for the combinations of powder material, machine and parameter sets referred to on page 1, when used in accordance with the relevant Operating Instructions (including Installation Requirements and Maintenance) and Parameter Sheet. Part properties are measured using defined test procedures. Further details of the test procedures used by EOS are available on request.

The data correspond to our knowledge and experience at the time of publication. They do not on their own provide a sufficient basis for designing parts. Neither do they provide any agreement or guarantee about the specific properties of a part or the suitability of a part for a specific application. The producer or the purchaser of a part is responsible for checking the properties and the suitability of a part for a particular application. This also applies regarding any rights of protection as well as laws and regulations. The data are subject to change without notice as part of EOS' continuous development and improvement processes.

EOS[®], EOSINT[®] and DMLS[®] are registered trademarks of EOS GmbH.

© 2014 EOS GmbH – Electro Optical Systems. All rights reserved.

PŘÍLOHA č. 2

Materiálový list EOS MaragingSteel MS1

Material data sheet

EOS MaragingSteel MS1

EOS MaragingSteel MS1 is a steel powder which has been optimized especially for processing on EOSINT M systems.

This document provides information and data for parts built using EOS MaragingSteel MS1 powder (EOS art.-no. 9011-0016) on the following system specifications:

- EOSINT M 280 400W
with PSW 3.6 and EOS Original Parameter Set MS1_Performance 1.0 or MS1_Speed 1.0
- EOS M290 400W
with EOSPRINT 1.0 and Parameter Set MS1_Performance 1.0 or MS1_Speed 1.0

Description

Parts built in EOS MaragingSteel MS1 have a chemical composition corresponding to US classification 18% Ni Maraging 300, European 1.2709 and German X3NiCoMoTi 18-9-5. This kind of steel is characterized by having very good mechanical properties, and being easily heat-treatable using a simple thermal age-hardening process to obtain excellent hardness and strength.

Parts built from EOS MaragingSteel MS1 are easily machinable after the building process and can be easily post-hardened to more than 50 HRC by age-hardening at 490 °C (914 °F) for 6 hours. In both as-built and age-hardened states the parts can be machined, spark-eroded, welded, micro shot-peened, polished and coated if required. Due to the layerwise building method, the parts have a certain anisotropy, which can be reduced or removed by appropriate heat treatment - see Technical Data for examples.

Material data sheet

Technical data

General process data

Typical achievable part accuracy [1], [8]	
- small parts (< 80 x 80 mm)	approx. $\pm 20 \mu\text{m}$ approx. $\pm 0.8 \times 10^{-3}$ inch
- large parts	approx. $\pm 50 \mu\text{m}$ approx. ± 0.002 inch
Age hardening shrinkage [2], [8]	approx. 0.08 %
Min. wall thickness [3], [8]	approx. 0.3 - 0.4 mm approx. 0.012 - 0.016 inch
Surface roughness (approx.) [4]	
- as manufactured	
MS1 Performance (40 μm)	R_a 5 μm ; R_z 28 μm R_a 0.19 $\times 10^{-3}$ inch, R_z 1.10 $\times 10^{-3}$ inch
MS1 Speed (50 μm)	R_a 9 μm ; R_z 50 μm R_a 0.47 $\times 10^{-3}$ inch, R_z 2.36 $\times 10^{-3}$ inch
- after shot-peening	R_a 4 - 6.5 μm ; R_z 20 - 50 μm R_a 0.16 - 0.26 $\times 10^{-3}$ inch R_z 0.78 - 1.97 $\times 10^{-3}$ inch
- after polishing	R_z up to < 0.5 μm R_z up to < 0.02 $\times 10^{-3}$ inch (can be very finely polished)
Volume rate [5]	
- Parameter set MS1_Performance (40 μm)	4.2 mm^3/s (15.1 cm^3/h) 0.92 in^3/h
- Parameter set MS1_Speed 1.0 (50 μm)	5.5 mm^3/s (19.8 cm^3/h) 1.21 in^3/h

[1] Based on users' experience of dimensional accuracy for typical geometries, as built. Part accuracy is subject to appropriate data preparation and post-processing, in accordance with EOS training.

[2] Ageing temperature 490 °C (914 °F), 6 hours, air cooling

[3] Mechanical stability is dependent on geometry (wall height etc.) and application

Material data sheet

- [4] Due to the layerwise building, the surface structure depends strongly on the orientation of the surface, for example sloping and curved surfaces exhibit a stair-step effect. The values also depend on the measurement method used. The values quoted here given an indication of what can be expected for horizontal (up-facing) or vertical surfaces.
- [5] Volume rate is a measure of build speed during laser exposure of hatched areas. The total build speed depends on the average volume rate, the recoating time (related to the number of layers) and other geometry- and machine setting-related factors.

Physical and chemical properties of parts

Material composition	Fe (balance) Ni (17 - 19 wt-%) Co (8.5 - 9.5 wt-%) Mo (4.5 - 5.2 wt-%) Ti (0.6 - 0.8 wt-%) Al (0.05 - 0.15 wt-%) Cr, Cu (each \leq 0.5 wt-%) C (\leq 0.03 wt-%) Mn, Si (each \leq 0.1 wt-%) P, S (each \leq 0.01 wt-%)
Relative density	approx. 100 %
Density	8.0 - 8.1 g/cm ³ 0.289 - 0.293 lb/in ³

Material data sheet

Mechanical properties of parts at 20 °C (68°F) [8]

	As built
Tensile strength [6]	
- in horizontal direction (XY)	typ. 1200 ± 100 MPa typ. 160 ± 15 ksi
- in vertical direction (Z)	typ. 1100 ± 150 MPa typ. 160 ± 22 ksi
Yield strength (Rp 0.2 %) [6]	
- in horizontal direction (XY)	typ. 1100 ± 100 MPa typ. 1xx ± 22 ksi
- in vertical direction (Z)	typ. 930 ± 150 MPa typ. 145 ± 22 ksi
Elongation at break [6]	
- in horizontal direction (XY)	typ. (12 ± 4) %
- in vertical direction (Z)	x
Modulus of elasticity [6]	
- in horizontal direction (XY)	typ. 150 ± 25 GPa typ. 22 ± 4 Msi
- in vertical direction (Z)	typ. 140 ± 25 GPa typ. 20 ± 4 Msi
Hardness [7]	typ. 33 - 37 HRC

[6] Tensile testing according to ISO 6892-1:2009 (B) Annex D, proportional test pieces, diameter of the neck area 5mm (0.2 inch), original gauge length 25mm (1 inch).

[7] Rockwell C (HRC) hardness measurement according to EN ISO 6508-1 on polished surface. Note that measured hardness can vary significantly depending on how the specimen has been prepared.

[8] Hint: these properties were determined on an EOSINT M 280-400W. Test parts from machine type EOS M 290-400W correspond with these data.

Material data sheet

Thermal properties of parts

	As built	After age hardening [2]
Thermal conductivity	typ. $15 \pm 0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ typ. $104 \pm 6 \text{ Btu in/(h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F)}$	typ. $20 \pm 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ typ. $139 \pm 7 \text{ Btu in/(h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F)}$
Specific heat capacity	typ. $450 \pm 20 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ typ. $0.108 \pm 0.005 \text{ Btu/(lb }^\circ\text{F)}$	typ. $450 \pm 20 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ typ. $0.108 \pm 0.005 \text{ Btu/(lb }^\circ\text{F)}$
Maximum operating temperature		approx. $400 \text{ }^\circ\text{C}$ approx. $750 \text{ }^\circ\text{F}$

Abbreviations

typ.	typical
min.	minimum
approx.	approximately
wt	weight

Notes

The data are valid for the combinations of powder material, machine and parameter sets referred to on page 1, when used in accordance with the relevant Operating Instructions (including Installation Requirements and Maintenance) and Parameter Sheet. Part properties are measured using defined test procedures. Further details of the test procedures used by EOS are available on request. Unless otherwise specified, the data refer to the default job MS1_040_default.job or the equivalent parameter set MS1_Performance 2.0. The corresponding data for the default job MS1_020_default.job or the equivalent parameter set MS1_Surface 1.0 are approximately the same except where otherwise specified.

The data correspond to our knowledge and experience at the time of publication. They do not on their own provide a sufficient basis for designing parts. Neither do they provide any agreement or guarantee about the specific properties of a part or the suitability of a part for a specific application. The producer or the purchaser of a part is responsible for checking the properties and the suitability of a part for a particular application. This also applies regarding any rights of protection as well as laws and regulations. The data are subject to change without notice as part of EOS' continuous development and improvement processes.

EOS[®], EOSINT[®] and DMLS[®] are registered trademarks of EOS GmbH.

© 2014 EOS GmbH – Electro Optical Systems. All rights reserved.

PŘÍLOHA č. 3

Materiálový list EOS StainlessSteel 316L

Material data sheet

EOS StainlessSteel 316L

EOS StainlessSteel 316L is a corrosion resistant iron based alloy which has been optimized especially for processing on EOSINT M280 systems.

This document provides information and data for parts built using EOS StainlessSteel 316L powder (EOS art.-no. 9011-0032) on the following system specifications:

- EOSINT M280 200W System with PSW3.6 and Parameter Set 316L_Surface 1.0
- EOSINT M280 400W System with PSW3.6 and Parameter Set 316L_Surface 1.0
- EOS M290 400W System with EOSPRINT 1.0 and Parameter Set 316L_Surface 1.0

Description

The parts built from EOS StainlessSteel 316L have chemical composition corresponding to ASTM F138 "Standard Specification for Wrought 18Cr-14Ni-2.5Mo Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants (UNS S31673)". This kind of stainless steel is characterized having a good corrosion resistance and evidence that there are no leachable substances in cytotoxic concentrations.

This material is ideal in

- Lifestyle/Consumer, e.g. watches, other jewellery, spectacle frames, decorations
- Automotive/Industrial, e.g. non-corroding common material, food and chemical plants
- Aerospace/Turbine industry
- Entry-level material for Laser Sintering Technology, e.g. mounting parts, heat exchangers, functional elements in electronic housing and accessories

Parts built from EOS StainlessSteel 316L can be machined, shot-peened and polished in as-built or stress relieved (AMS2759) states if required. Solution annealing is not necessary because the mechanical properties of as-built state are showing desired values (ASTM A403). Parts are not ideal in temperature range 427°C - 816°C where precipitation of chromium carbides occurs. Due to layer-wise building method, the parts have a certain anisotropy which could be seen from mechanical properties.

Material data sheet

Technical data

General process data

EOS StainlessSteel 316L	
Typical achievable part accuracy [1], [7]	
- small parts	approx. ± 20 - $50 \mu\text{m}$ (± 0.0008 - 0.002 inch)
- large parts	approx. $\pm 0.2 \%$
Min. wall thickness [2], [7]	approx. 0.3 - 0.4 mm (0.012 - 0.016 inch)
Layer thickness	$20 \mu\text{m}$ (0.8×10^{-3} inch)
Surface roughness [3], [7]	
- as-manufactured	R_a $13 \pm 5 \mu\text{m}$; R_z $80 \pm 20 \mu\text{m}$ R_a $0.5 \pm 0.2 \times 10^{-3}$ inch; R_z $3.1 \pm 0.8 \times 10^{-3}$ inch
- after shot-peening	R_a $5 \pm 2 \mu\text{m}$; R_z $30 \pm 10 \mu\text{m}$ R_a $0.2 \pm 0.08 \times 10^{-3}$ inch; R_z $1.2 \pm 0.4 \times 10^{-3}$ inch
- after polishing	R_z up to $< 1 \mu\text{m}$ R_z up to $< 0.04 \times 10^{-3}$ inch (can be very finely polished)
Volume rate [4]	$2 \text{ mm}^3/\text{s}$ ($7.2 \text{ cm}^3/\text{h}$) $0.44 \text{ in}^3/\text{h}$

- [1] Based on users' experience of dimensional accuracy for typical geometries, e.g. $\pm 40 \mu\text{m}$ when parameters can be optimized for a certain class of parts or $\pm 60 \mu\text{m}$ when building a new kind of geometry for the first time. Part accuracy is subject to appropriate data preparation and postprocessing.
- [2] Mechanical stability is dependent on geometry (wall height etc.) and application
- [3] Due to the layerwise building, the surface structure depends strongly on the orientation of the surface, for example sloping and curved surfaces exhibit a stair-step effect. The values also depend on the measurement method used. The values quoted here given an indication of what can be expected for vertical surfaces.
- [4] Volume rate is a measure of build speed during laser exposure. The total build speed depends on the average volume rate, the recoating time (related to the number of layers) and other factors such as contour and Up-/DownSkin parameters.

Material data sheet

Physical and chemical properties of parts

EOS StainlessSteel 316L			
Material composition	Element	Min	Max
	Fe	balance	
	Cr	17.00	19.00
	Ni	13.00	15.00
	Mo	2.25	3.00
	C		0.030
	Mn		2.00
	Cu		0.50
	P		0.025
	S		0.010
	Si		0.75
	N		0.10
Relative density with standard parameters	approx. 100 %		
Density with standard parameters	min. 7.9 g/cm ³ min. 0.285 lb/in ³		

Material data sheet

Mechanical properties of parts (at room temperature) [7]

As built	
Ultimate tensile strength [5]	
- in horizontal direction (XY)	640 ± 50 MPa
- in vertical direction (Z)	540 ± 55 MPa
Yield strength, Rp0.2% [5]	
- in horizontal direction (XY)	530 ± 60 MPa
- in vertical direction (Z)	470 ± 90 MPa
Young's modulus [5]	
- in horizontal direction (XY)	typ. 185 GPa
- in vertical direction (Z)	typ. 180 GPa
Elongation at break [5]	
- in horizontal direction (XY)	40 ± 15 %
- in vertical direction (Z)	50 ± 20 %
Hardness [6]	typ. 89 HRB

[5] Machining and testing of the test bars according to ISO 6892 / ASTM E8M, proportional test pieces, diameter of the neck area 5 mm (0.2 inch), gauge length 4D = 20.0mm (0.79 inch), stress rate 10MPa/s, strain speed in plastic region 0.375 1/min.

[6] Rockwell hardness (HRB) measurement according to EN ISO 6508-1 on grinded surface.

[7] These properties were determined on an EOSINT M 280-400W. Test parts from following machine types EOSINT M 280-200W and EOS M 290-400W correspond with these data.

Material data sheet

Abbreviations

typ.	typical
min.	minimum
approx.	approximately
wt	weight

The quoted values refer to the use of these materials with EOSINT M 280 systems according to current specifications (including the latest released process software PSW and any hardware specified for the relevant material) and operating instructions. All values are approximate. Unless otherwise stated, the quoted mechanical and physical properties refer to standard building parameters and test samples built in vertical orientation. They depend on the building parameters and strategies used, which can be varied by the user according to the application.

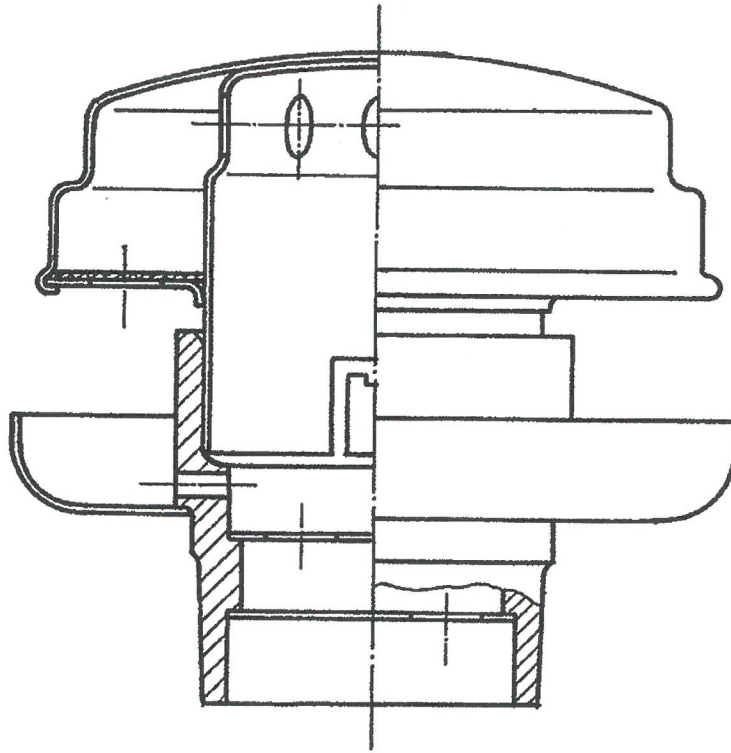
The data are based on our latest knowledge and are subject to changes without notice. They are provided as an indication and not as a guarantee of suitability for any specific application.

EOS[®], EOSINT[®], DMLS[®], DirectTool[®] and DirectPart[®] are registered trademarks of EOS GmbH.

© 2014 EOS GmbH – Electro Optical Systems. All rights reserved.

PŘÍLOHA č. 4

Výkres Tp450747, ODVZDUŠŇOVAČ S NÁSTAVCEM



		2	PŘEPÁŽKA	11327-21	ČSN 426342-32	001	0,005	Tp 527912/0	3	112-1215		
		1	MISKA	11324-21	ČSN 426342-32	001	0,08	Tp 439545	2	112-1215		
		1	NÁSTAVEC	11453-1	ČSN 425715-01	001	0,23	Tp 439545	1	226-2213		
		1	NÁSTAVEC	PODSESTAVA			0,32	Tp 439544/0	2	1-3		
		1	ODVZDUŠŇOVAČ 1PK-643/VD-61		EXT.		0,16		1			
IV	III	II	I	Název - Rozměr		Mat. konečný Mat. výchozí	Polotovary (číslo modelu, zápustky apod.)	Třída od- paďu	Č. hmota Hr. hmota	Číslo výkresu	Police Ozn. ks	Poznámka Tech. číslo
Poznámka				Celková čistá hmota kg 0,48								
Měřítka	Kteslil	Přezkoušel	Nořm. ref.	Vř. projedn.	Schválil	Dne	Č. snímku	Č. transp.	Změna	Datum	Podpis	Index změny
1:1	<i>Křížek</i>	<i>Kaněk</i>	<i>Müller</i>	<i>Kojík</i>	<i>Y. Kal</i>	3.1.1932						
ŠKODA		Typ	Skupina	Název				Starý výkres	Nový výkres			
				ODVZDUŠŇOVAČ S NÁSTAVCEM					Tp 450747			
								Počet listů	List			