

Posouzení rizik při práci 3D tiskárny na kov

Klára Žaludková

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Klára Žaludková
Osobní číslo: L21696
Studijní program: B1032A020002 Ochrana obyvatelstva
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Posouzení rizik při práci 3D tiskárny na kov

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši týkající se problematiky 3D tisku.
2. Vymezte možná rizika při práci s 3D tiskárnou na kov.
3. Popište způsoby minimalizace rizik při práci s 3D tiskárnou na kov.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. FEY, Marco. *3D Printing and International Security*. Frankfurt am Main: Peace Research Institute Frankfurt. 2017. ISBN 978-3-946459-17-0.
2. NEUGEBAUER, Tomáš. *Vyhledání a vyhodnocení rizik v praxi*. 3. vydání. Praha: Wolters Kluwer. 2018. ISBN 978-80-7552-072-2.
3. SHAHRUBUDIN, Nurhalida; CHUAN, Lee Tee; RAMLAN, Rohaizan. *An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications*. *Procedia Manufacturing*. 2019. ISSN 2351-9789.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucí práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Slavomíra Vargová, PhD.**
Ústav krizového řízení

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. května 2024**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 4. prosince 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

V Uherském Hradišti, dne: 3.5.2024

Jméno a příjmení studenta: Klára Žaludková

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je Posouzení rizik při práci 3D tiskárny na kov.

Teoretická část je složena ze čtyř kapitol, které se věnují problematice 3D tisku, 3D tisku a bezpečnosti, technologii 3D tisku kovu a rizikologii. Praktická část je zaměřená na vyhledání rizik a jejich posouzení. Identifikace rizik je zpracována pomocí Checklistu. Dále je využita Jednoduchá bodová metoda k vyhodnocení míry naleznutých rizik. Na závěr praktické části jsou navrženy možná opatření k redukci rizik.

Klíčová slova: 3D tisk, bezpečnost, ochrana, riziko, analýza, opatření

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to assess the risks in the operation of a metal 3D printer.

The theoretical part is composed of four chapters which deal with 3D printing, 3D printing and safety, 3D metal printing technology and riskology. The practical part focuses on risk identification and assessment. The identification of risks is handled by means of a Checklist. In addition, the Simple Scoring Method is used to evaluate the degree of risks found. At the end of the practical part, possible risk reduction measures are proposed.

Keywords: 3D printing, safety, protection, risk, analysis, measures

Moje poděkování směřuje k vedoucí práce Ing. Slavomíře Vargové Ph.D., za odborné vedení při zpracování práce. Také chci poděkovat za spolupráci bezpečnostnímu pracovníkovi společnosti.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PROBLEMATIKA 3D TISKU	11
1.1 HISTORIE 3D TISKU	11
1.2 JAK FUNGUJE 3D TISK	12
1.3 TECHNOLOGIE 3D TISKU	14
1.3.1 SLA	14
1.3.2 FFF (FDM).....	16
1.3.3 SLS.....	17
1.3.4 DMLS.....	18
1.4 MATERIÁLY PRO 3D TISK	19
1.4.1 Kovy.....	19
1.4.2 Polymery	19
1.4.3 Keramika	20
1.4.4 Další materiály	21
1.5 MOŽNOSTI PRAKTICKÉHO VYUŽITÍ 3D TISKU V PRAXI.....	21
1.5.1 Zdravotnictví	21
1.5.2 Automobilový průmysl	21
1.5.3 Letecký průmysl.....	22
1.5.4 Potravinářský průmysl	22
2 3D TISK A BEZPEČNOST	23
2.1 NEZÁKONNÝ 3D TISK.....	23
2.2 FORENZNÍ APLIKACE 3D TISKU.....	23
2.3 3D TISK VÝZKUM V ARMÁDĚ.....	24
3 TECHNOLOGIE 3D TISKU KOVU	25
4 RIZIKOLOGIE	26
4.1 ZÁKLADNÍ DEFINICE A KLASIFIKACE RIZIK	26
4.2 ŘÍZENÍ RIZIK ORGANIZACE PODLE ISO 31000	27
4.3 METODY VYHODNOCENÍ RIZIK	29
4.3.1 Metoda JBM.....	30
4.3.2 Metoda BOMECH	31
4.4 BOZP V 3D TISKU.....	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
5 POPIS PRÁCE V RÁMCI 3D TISKU KOVU	35
6 ZAJIŠTĚNÍ BOZP PŘI PRÁCI S 3D TISKEM	37
6.1 OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY	40
7 MOŽNÁ RIZIKA PŘI PRÁCI S 3D TISKÁRNOU NA KOV	41

7.1	METODA PRO ANALÝZU RIZIK	41
7.2	POSTUP METODY JBM.....	41
7.3	METODA JBM NA POSOUZENÍ RIZIK PŘI PRÁCI 3D TISKÁRNY NA KOV	44
8	MINIMALIZACE RIZIK PŘI PRÁCI S 3D TISKÁRNOU NA KOV.....	56
8.1	NÁVRH OPATŘENÍ PRO ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI PŘI 3D TISKU NA KOV	56
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	66

ÚVOD

V dnešní dynamické době, která je zaměřena na efektivitu, se ve velké míře rozšiřují technologie v oblasti aditivní výroby. Jednou z těchto rychle rostoucích technologií je 3D tisk kovu, jehož využití se najde jak v prototypování, tak i ve výrobě koncových produktů. S nástupem těchto technologií je kladen důraz na vysokou kvalifikaci a odbornost osob pracujících s těmito zařízeními. A to nejen v oblasti technologické, ale i bezpečnostní. Bakalářská práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou XY, která má dlouholeté zkušenosti s 3D tiskem a disponuje širokým technologickým parkem.

Cílem této práce je nalézt rizika ohrožující bezpečnost při práci 3D tiskárny na kov a na základě zjištění navrhnout možná opatření pro efektivní řízení těchto rizik.

Tato bakalářská práce se zabývá úvodem do historie aditivních technologií, rozdělením jednotlivých technologií dle materiálu, dle technologie samotné a dle možnosti praktického využití.

V neposlední řadě se teoretická část věnuje 3D tisku v oblasti bezpečnosti, kde je zmíněn nezákonný tisk, forenzní aplikace 3D tisku a výzkum 3D tisku v armádě.

Dále se bakalářská práce věnuje detailnímu procesu DMLS technologii 3D tisku kovu z prášku.

Závěr teoretické části je věnován rizikologii, ve které zmiňují definice rizik a metody využívané k analýze rizik.

V praktické části se práce zaměřuje na pracovní postup procesu tisku z kovového prášku technologii DMLS, na který následuje BOZP tisku z výše zmiňované technologie.

Na základě posouzení skutečného stavu s technikem na danou problematiku byla vytvořena analýza rizik metodou JBM, pomocí které byla vyhodnocena rizika a navržena následná bezpečnostní opatření.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PROBLEMATIKA 3D TISKU

V této kapitole je rozebrána problematika trojrozměrného (dále jen 3D) tisku od historie, přes proces 3D tisku, až po využívané technologie a materiály. 3D tisk řadíme do aditivní výroby, jenž funguje na principu vrstvení materiálu, ze kterého vznikají 3D fyzické modely. Vrstvení materiálu vzniká po jednotlivých vrstvách. V dnešní době je nejčastější využití 3D tisku v malosériových výrobcích při výrobě sériových produktů, což se činí jako ekonomicky výhodnější. (Fanta, 2020)

1.1 Historie 3D tisku

Již v 80. letech minulého století byl poprvé zmíněn náznak 3D objektů z digitálních dat. Jako první se pokusil získat patent Hideo Kodama v roce 1980, kdy podal první žádost na fotopolymerní rychlý prototypový systém, který využíval fotopolymerní materiál, což je polymer, u kterého je polymerace aktivována ultrafialovým (dále jen UV) zářením k vytvrzení. Tento pokus byl ovšem zamítnut z důvodu nekompletní specifikace. (3d-tiskni.cz, 2019)

V roce 1984 se pokusil Charles Hull o techniku nazvanou stereolitografie (dále jen SLA). SLA je metoda, která se využívá nejběžněji v aditivní výrobě na principu vstupního materiálu fotopolymeru neboli fotocitlivé polymerní pryskyřice, která je v tekuté formě a postupně se vytvrzuje, nejčastěji UV laserovým paprskem, vrstva po vrstvě. Tato technika se potvrdila a v roce 1986 získala patent, díky kterému byla založena firma 3D Systems. Tato firma vyvinula první přístroj pro 3D tisk nazvaný „stereolitografický aparát SLA-1“, tedy aparát dostupný do dnešní doby pro veřejnost ve Fordov muzeu v Dearbornu, Michigan. V této době nebyl pojem 3D tiskárna široce známý a tento produkt byl dostupný pouze vybraným zákazníkům, protože technologie byla tehdy zcela nová. Firma 3D Systems následně po dvou letech vyvinula prototyp SLA-250, oproti SLA – 1 byl však dostupný i pro veřejnost, která ho široce využívala, načež bylo roku 1996 prodáno dohromady 600 SLA 3D tiskáren. (3d-tiskni.cz, 2019)

Technický vývoj uvedl na trh novinky jako technika Selective Laser Sintering (dále jen SLS), jenž využívá laser, který spéká polymerní prášek a tvoří tak 3D objekty. (3d-tiskni.cz, 2019)

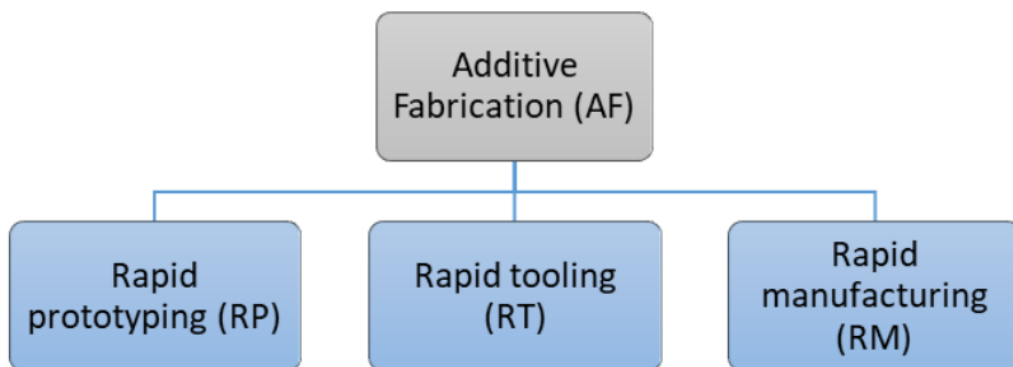
Další technika Fused Filament Fabrication (dále jen FFF), nebo také označována pod názvem Fused Deposition Modeling (dále jen FDM), funguje na principu natavování

polymerních vláken, které jsou nejčastěji v plastové struně neboli filamentu. Jak bylo řečeno, počátky 3D tiskáren byly stejně jako u jiných nových technologií ne moc rychlé. Tiskly se pouze jednoduché objekty, protože cenová relace byla poměrně vysoká a tisk trval i několik dní. Po nějaké době se začal 3D tisk více rozšiřovat, tudíž se stal dostupnější i pro lidi, kteří si začali pořizovat tiskárny do domácích podmínek. (3d-tiskni.cz, 2019)

1.2 Jak funguje 3D tisk

3D tisk řadíme do oblasti aditivní výroby, což znamená, že oproti konvenčním výrobním procesům se materiál přidává na místo ubírání a výsledný trojrozměrný objekt vzniká skládáním jednotlivých vrstev. Aditivní technologie výroby lze rozdělit do následujících třech kategorií:

Tabulka 1 – Okruhy aditivních technologií výroby (fs.cvut.cz)



V těchto oblastech se 3D tisk velmi využívá. V oblasti prototypové výroby, anglicky rapid prototyping (dále pouze RP) je využití ve výrobě prototypů, které mají výhodu úspornosti. Rapid tooling (dále jen RT) se specializuje na oblast, kde je výrobek navržen jako nástroj na podporu další technologie. V současné době je tato oblast spojována s využitím konformního chlazení, které je díky 3D tisku umístěno v blízkosti chladících ploch, kde by tyto plochy nebylo možné vyrobit pomocí běžných technologií. A jako poslední oblast Rapid manufacturing (dále jen RM) označuje díl jako již hotový výrobek. (fs.cvut.cz, neuvedeno)

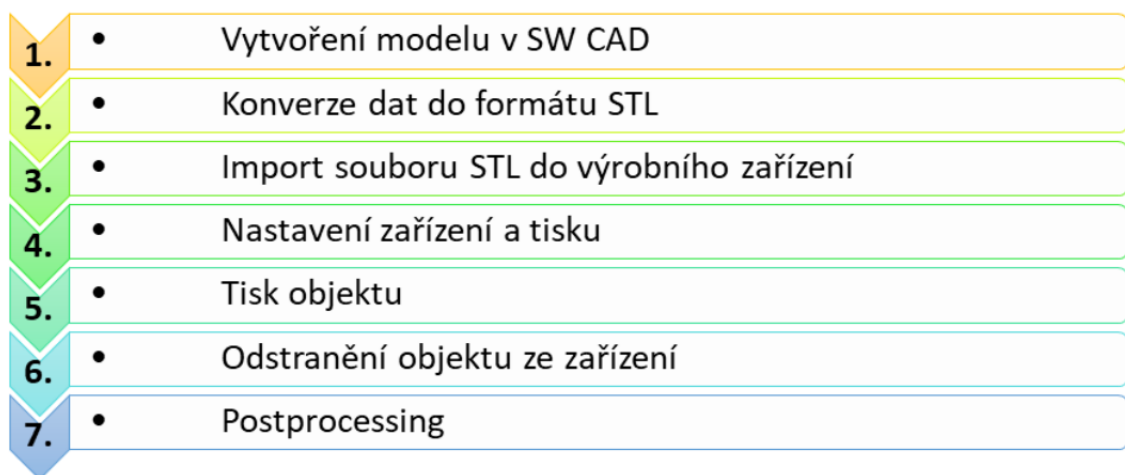
Lze říct, že 3D tisk je jeden z nejnovějších metod, jak se virtuální 3D model transformuje do fyzické podoby díky technologii, která pracuje s digitálními daty 3D modelů. Tyto údaje jsou zpracovány a využity na výtisk určeného fyzického 3D modelu. Tento model může být vytvořen pomocí 3D grafického softwaru computer-aided design (dále jen CAD), nebo s pomocí dalšího zařízení, a to takzvaně 3D skeneru, který umožní naskenovat

fyzický objekt a následně vytvořit jeho virtuální 3D model. Dle použitého materiálu a konstrukčních požadavků je zvolená vhodná technologie 3D tisku. (Hřava, 2015)

Proces 3D tisku se skládá z tvorby digitálního 3D návrhu, který je ve vhodném formátu převeden do sliceru určenému pro konkrétní 3D tiskárnu. (Průša, neuvedeno)

Slicer je klíčový nástroj v aditivní výrobě, který přeměňuje digitální 3D model na soubor instrukcí pro tiskárnu obvykle ve formátu G-code. Instrukce, které slicer vygeneruje, řídí pohyby tiskové hlavy, jakou rychlostí bude vytlačován materiál a v neposlední řadě určí teplotu. Správné nastavení sliceru je důležité pro úspěšný tisk, neboť určuje výsledný vzhled a pevnost konečného objektu. (3dstisk.cz, neuvedeno)

Ve sliceru dochází k orientaci dílů, tvorbě podpor a nastavení veškerých procesních parametrů, včetně rozřezání na jednotlivé vrstvy. Tiskové parametry závisí na geometrii, volbě materiálu a typu tiskárny. K samotnému procesu 3D tisku, kde se materiál v různých metodách nanáší vrstva po vrstvě. Po procesu 3D tisku obvykle následuje post processing, jehož součástí je odstranění podpor a úprava funkčních ploch a jiné – viz Obrázek 1. (Průša, neuvedeno)

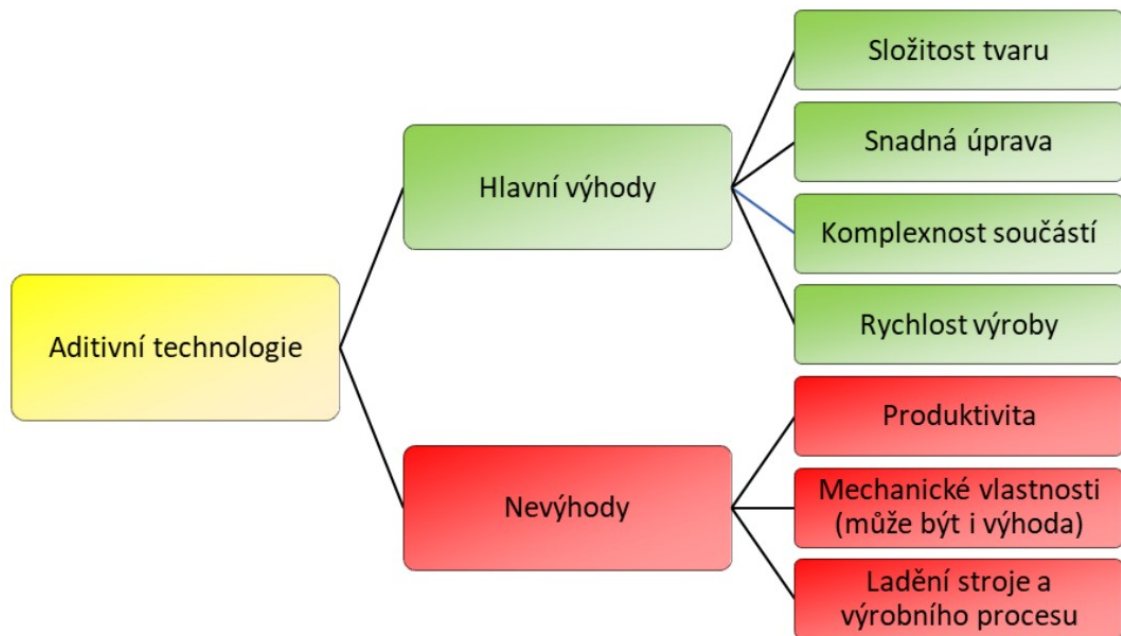


Obrázek 1 - Postup při výrobě součástí aditivními technologiemi. (fs.cvut.cz)

Nejhlavnější přínosy aditivní výroby zahrnují snadnou změnu výroby, schopnost vytvářet tvary, které by nebylo jinak vyrobit. Při konstrukci je možnost neohlížet se na složitost výroby, minimální dodací lhůty a také na minimální požadavky se zkušenostmi operátora ve výrobě. Mezi zápory lze zařadit:

- nižší produktivita,

- rozdílné mechanické vlastnosti, které mohou být i výhodou ve srovnání s konvenčními technologiemi (například pevnost, pórovitost, tažnost),
- použití podpěr a složitější ladění stroje – viz Obrázek 2. (fs.cvut.cz, neuvedeno)



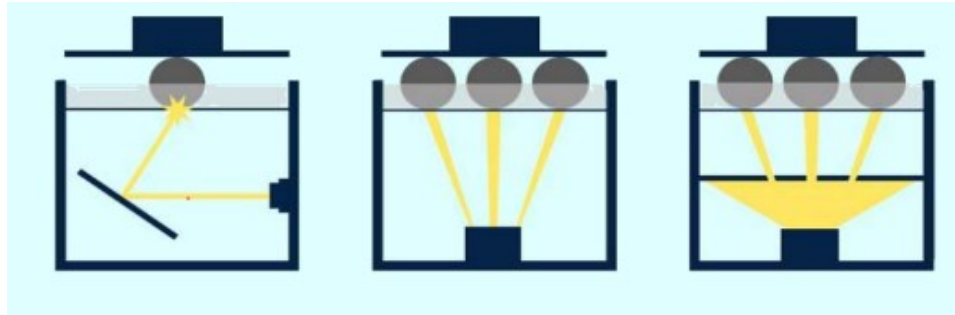
Obrázek 2 - Hlavní výhody a nevýhody aditivních technologií. (fs.cvut.cz)

1.3 Technologie 3D tisku

Jak bylo zmíněno v kapitole 1.1, 3D tisk není žádnou novinkou a v posledních 15 letech se značně rozšířil. Stále nejrozšířenější technologie jsou ty nejstarší, tedy technologie SLA, FFF (FDM) a SLS, ale existuje celá řada dalších technologií aditivní výroby. (Hřava, 2015)

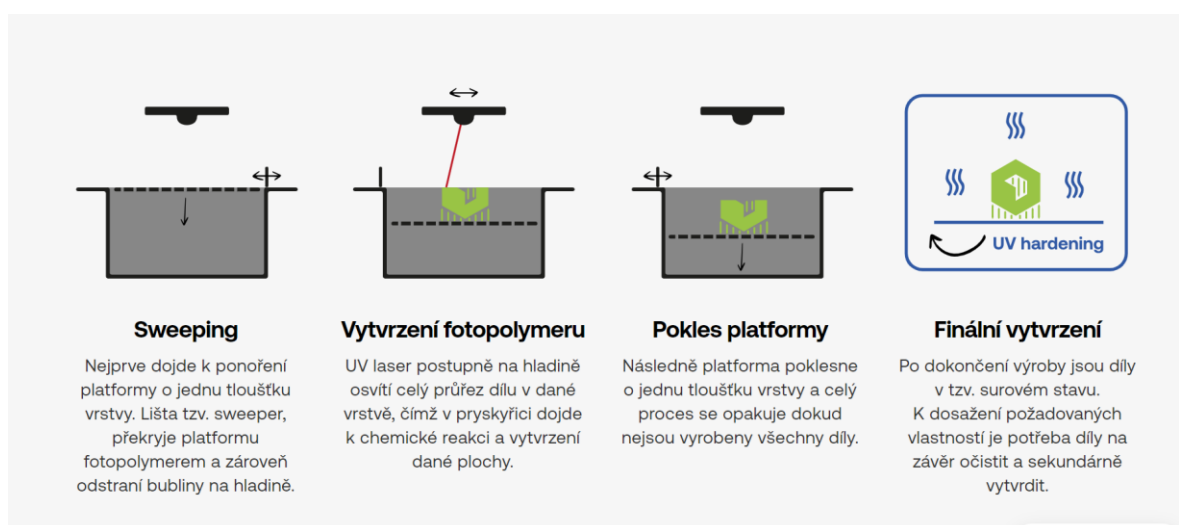
1.3.1 SLA

SLA neboli stereolitografie je jedna z nejstarších a zároveň nejpřesnějších metod vytvářející trojrozměrné objekty. Tato metoda 3D tisku vytvrzuje požadovaný objekt díky UV záření, které způsobuje zesíťování reaktoplastů – pryskyřice. UV záření může být emitováno laserovým zdrojem, UV lampou s Liquid Crystal Display (dále jen LCD), anebo digitálním projektorem – viz Obrázek 3. (Hřava, 2015)



Obrázek 3 - SLA UV záření s laserem, digitálním projektorem a projektorem s LCD displejem. (eshop.sharplayers.cz)

Jedná se komplikovaný proces, při kterém je pryskyřice vlévána do vaničky s průhledným dnem. Do vaničky z horní strany je nastavena stavící platforma do výšky stavěcí vrstvy. Následně je ze spodní strany laserem nebo digitálním projektorem vysvícena oblast tištěné vrstvy. Daná oblast se zasítuje, vytvrdne a přichytí se na stavící platformu. Následně stavěcí platforma vyjede výš o úroveň stavěcí desky a celý proces se opakuje s tím rozdílem, že se zesítovaná pryskyřice síťuje na již vytvrzenou vrstvu. Takto proběhne celý tiskový proces, dokud není vystavěn celý model. Dalším krokem je sejmutí platformy z 3D tiskárny a vložení do vymývacího zařízení, ve kterém se spláchnou veškeré zbytky pryskyřice, která nebyla vytvrzena. Po procesu mytí následuje sejmutí modelu z platformy a vložení do UV vytvrzovacího boxu, kde dochází k finálnímu vytvrzení vnějších ploch. Takto vytisknutý model je třeba zbavit podpor a případně provést další potřebné kroky post processingu – viz Obrázek 4. (Hřava, 2015)



Sweeping
Nejprve dojde k ponoření platformy o jednu tloušťku vrstvy. Lišta tzv. sweeper, překryje platformu fotopolymerem a zároveň odstraní bubliny na hladině.

Vytvrzení fotopolymeru
UV laser postupně na hladině osvítl celý průřez dílu v dané vrstvě, čímž v pryskyřici dojde k chemické reakci a vytvrzení dané plochy.

Pokles platformy
Následně platforma poklesne o jednu tloušťku vrstvy a celý proces se opakuje dokud nejsou vyrobeny všechny díly.

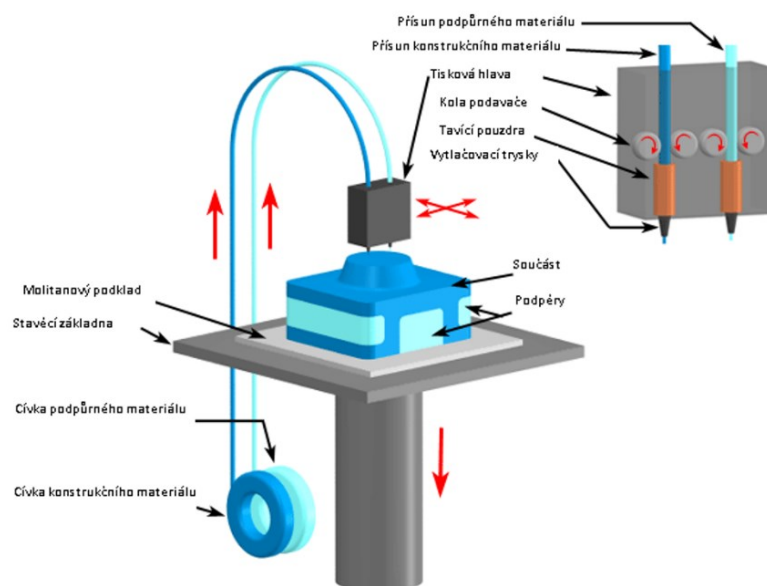
Finální vytvrzení
Po dokončení výroby jsou díly v tzv. surovém stavu. K dosažení požadovaných vlastností je potřeba díly na závěr očistit a sekundárně vytvrdit.

Obrázek 4 - Princip technologie SLA. (one3d.cz)

1.3.2 FFF (FDM)

Fused Filament Fabrication (dále jen FFF) nebo také FDM – tyto dvě zkratky jsou v podstatě synonyma. S tím rozdílem, že FDM je registrovaná ochranná značka společnosti Stratasys, což znamená, že ostatní výrobci tiskáren FDM nemohou tuto zkratku používat. (materialpro3d.cz, neuvedeno)

Tato technologie se nejčastěji používá pro tisk prototypových funkčních komponentů, a to za pomoci vytlačování termoplastického materiálu, kdy se materiál v podobě filamentu (struny) rozežře na teplotu tavení a vymáčkne ven pomocí extruderu přes malou trysku na stavěcí platformu – viz Obrázek 5. Ta je obvykle vyhřívána z důvodu přilnutí první vrstvy. Tímto postupem se model buduje ve vrstvách. Tryska pro podpurný materiál může být využita pro více komponentní tisk, což umožňuje vytisknout model kombinovaný ze dvou různých materiálů. V tomto případě jeden z modelovacích materiálů slouží i jako podpurný a musí být odstraněn mechanicky. U této technologie je možno využít další trysky pro tisk podpurně vymyvatelných materiálů pro stavbu podpor. Po vytisknutí dílu je objekt sejmут ze stavěcí podložky, jsou odstraněny podpory, buď mechanicky nebo procesem mytí, a tím je proces 3D tisku hotov. Nejčastějším materiálem na tisk technologií FFF je akrylonitributadienstyren (dále jen ABS), kyselinu polymléčnou (dále jen PLA) a akrylonitril styren akrylát (dále jen ASA), jejíž řadíme mezi polymery. (Hřava, 2015)



Obrázek 5 - Princip technologie FDM. (fs.cvut.cz)

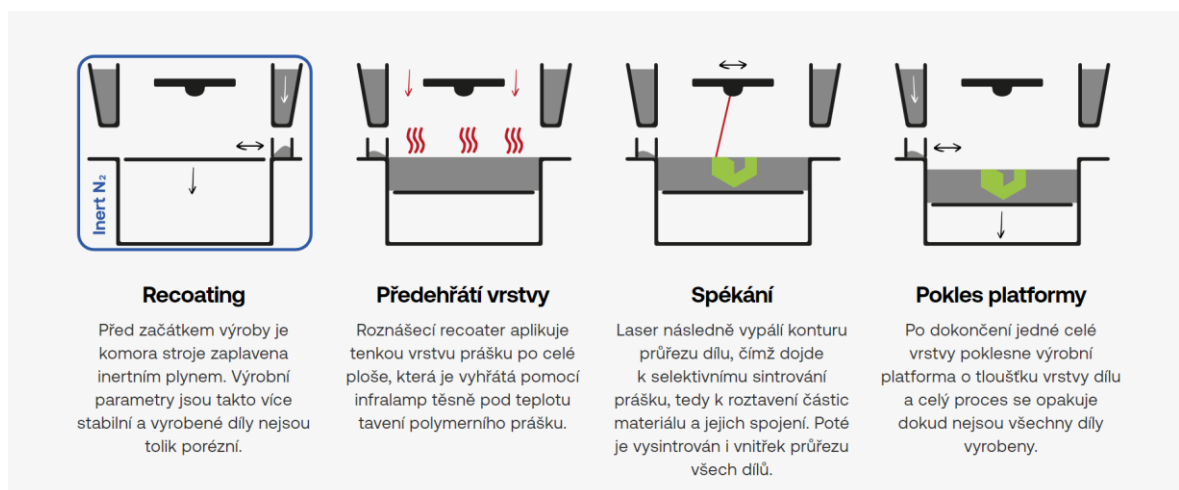
1.3.3 SLS

Tato technologie SLS je velmi účinná a rovněž využívaná pro prototypy do průmyslové aplikace. U této technologie máme více metod tisku, a to tisk z plastických, kovových nebo keramických prášků, nejčastěji tedy polyamidy ve formě prášku. (Kolodžejová, 2015)

Výroba touto metodou je rychlá a přesná. Využívá se pro výrobu prototypů, přesných koncových dílů a složitých geometrických tvarů, která jsou konvenčními technologiemi nedosažitelné. Tato technologie je vhodná jak pro prototypy, tak i průmyslovou výrobu. Mezi hlavní výhody se řadí:

- přijatelná cena,
- velmi dobré mechanické a chemické vlastnosti
- netřeba dodatečných podpor dílu. (one3d.cz, neuvedeno)

Tato technologie funguje na principu laseru, jenž podle digitálního 3D modelu spéká do daného tvaru polymerní prášek. Tento proces se odehrává ve výrobní komoře, kde se postupně nanáší prášek ve vrstvách po celé ploše – viz Obrázek 6. V každé vrstvě laser vytvrdí přesně ta místa, která jsou v definované oblasti podle tvaru dílu. Zbylý prášek, který funguje jako opora po celou dobu procesu, zůstává nezměněný a je po ukončení výrobního procesu recyklován. (one3d.cz, neuvedeno)

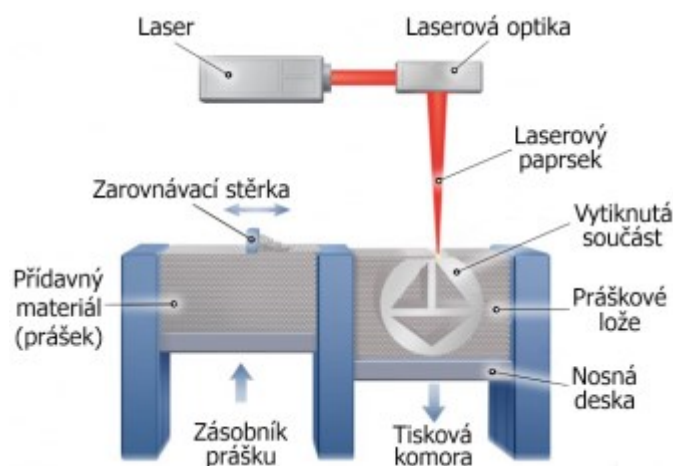


Obrázek 6 - Princip technologie SLS. (one3d.cz)

1.3.4 DMLS

Technologie Laser Powder Bed Fusion (dále jen LPBF), dříve známá taky pod názvem Direct Metal Laser Sintering (dále jen DMLS), používá materiál kovové slitiny ve formě prášku. Dochází zde k úplnému roztavení materiálu, oproti technologii SLS. Hlavní podmínka této technologie je rozprostření kovového prášku v tenké vrstvě na určenou plochu, kde rameno s břitem upraví vrstvu tak, aby byla rovnoměrná. Dále laser roztaví prášek při jeho bodu tání, a ten se přitaví na již ztuhlou vrstvu – viz Obrázek 7. Tento proces se opakuje tím, že se deska s materiálem posune níže a nanese se znovu kovový prášek. Vytvrzený objekt je upevněn na stavební desce, ze které se musí manuálně odstranit. Po celou dobu je v prostoru zachována ochranná atmosféra s obsahem zbytkového kyslíku nižším než 0,1 %. Aby se předešlo nechtěným reakcím kovového prášku s okolím, je přidáván do komory dusík nebo argon tedy inertní plyn podle materiálu, který zrovna používáme. Ze stavěcí platformy se zbylý prášek odstraní pomocí speciálního vysavače, který má mokrý odlučovač s certifikací ATEX (fs.cvut.cz)

K zbavení se přebytečného prášku ze stavěcí platformy se používá speciální vysavač, který má mokrý odlučovač s certifikací ATEX. Tato certifikace – ATEX se využívá v prostorech, kde hrozí výbuch. Filtry vysavačů s touto certifikací zvládnou vysát i jemné prachové částice a zabránit vzplanutí uvnitř vysavače díky mokrému odlučovači. (globaltek.cz, neuvedeno)



Obrázek 7 - Princip SLS/DMLS technologie.

(technickydenik.cz, 2020)

1.4 Materiály pro 3D tisk

Jak u každého výrobního procesu, tak i u 3D tisku je upřednostňován vysoce kvalitní materiál, aby finální výrobek byl efektivní a dlouho vydržel, proto musí dbát na určené specifikace. Specifikacemi se rozumí dodržení určených plánů, požadavků a také dohod týkajících se kontroly materiálu. A tímto se musí řídit každý člen, který se podílí na výtisku, takže dodavatel, odběratel i zákazník. Vzhledem k tomu, že technologie 3D tisku se velice rozrůstá, tak je schopna vytvářet kompletně funkční komponenty z mnoha různorodých materiálů, jako je například keramika, kovy, polymery, ale také z hybridů nebo tříděných materiálů. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

1.4.1 Kovy

Tento materiál má mnoho škál využití, a to jak na tisk lidských orgánů, tak také na určité díly v letectví, a to díky výborným fyzikálním vlastnostem. Mezi tyto kovové materiály se řadí slitina hliníku nebo slitina na bázi kobaltu, která má nejčastější využití v dentální sféře díky pevnosti, která drží i za vysokých teplot. Další slitina je na bázi niklu, která se používá u výroby leteckých dílů a to, protože jsou schopny odolávat teplotám až do 1200 °C a jsou extrémně odolné vůči korozi. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

Mezi nejčastěji používaný materiál spadá nerezová ocel, jenž má největší uplatnění v průmyslových aplikacích, a to díky skvělým vlastnostem. Technologie 3D tisku umožňuje vytisknout objekt také pomocí titanové slitiny. 3D tisk s titanem je levnější záležitost a mezi výhody taky můžeme zařadit výrazně menší odpad během výroby a materiál je hodně odolný vůči korozi nebo také oxidaci. Využití titanu je podobný jako využití slitiny na bázi niklu, tedy se soustředí na letecké díly a biomedicinský průmysl, ve kterém se pracuje s vysokými teplotami, což pro titan není problém. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

1.4.2 Polymery

Jako další materiál je často využíván polymer, ze kterého se zhotovují jak prototypy, tak i funkční součástky s náročnou geometrií. Tento materiál je určen i pro FDM technologii, která byla představena již v předchozí kapitole. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

Funguje na principu pokládání vrstev, které jsou postupně vytlačované termoplastickými vlákny. Termoplasty se přizpůsobují podle teplotních změn. To znamená přecházejí z tvrdého stavu do měkkého a tím se mohou formovat, aby dosáhly na požadovaný tvar. Mezi termoplastická vlákna řadíme kyselinu polymléčnou, (dále jen PLA), která je

nejčastěji plast využívaný v této technologii, a to díky nízké teplotě tání, nízké hmotnosti a cenové dostupnosti. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

Jako termoplast můžeme zmínit také akrylonitributadienstyren, (dále jen ABS). Je to velmi pevný a odolný plast, z kterého se vyrábí například rukojetě nožů, které mají silnou čepel, ale také jejich kryty. ABS má naopak od PLA odolnost proti teplotě. To znamená, že k měknutí dojde až u vyšších teplot. Další je termoplast polyethylen (dále jen PE), který se zhotoví polymerací ethenu. (technicke-plasty-tribon.cz, neuvedeno)

Jako kladné vlastnosti tohoto termoplastu se uvádí:

- odolnost proti mrazu,
- chemická odolnost,
- dlouhá životnost. (samosebou.cz, 2019)

V praxi můžeme vidět využité například na skluzavkách pro děti, igelitových taškách, ale také odpadkových košů.

Posledním nízkoteplotně tavitelným plastem je polypropylen (dále jen PP), který je charakteristický stejně jako pro PE, jeho chemickou odolností a pevností, i při nižší hmotnosti. Mezi jeho mínusy můžeme zařadit obtížné lepení, ale i přes to se používá na výrobu potrubních systémů nebo také bazénů. (samosebou.cz, 2019)

1.4.3 Keramika

Pomocí keramiky lze v dnešní době vytvořit 3D objekt s hladkým povrchem, bez jakýkoliv velkých pórů nebo trhlin díky optimalizaci parametrů a nastavení vhodných mechanických vlastností. Velmi výhodná vlastnost keramiky je její pevnost, odolnost a ohnivzdornost., ale také levnější a zrychlená forma 3D tisku. Keramiku můžeme využít pro stavební účely, nebo jakýkoliv konstrukce, protože tento materiál je před vytvrzením tekutý a díky tomu lze z ní vytvářet prakticky libovolné tvary a geometrie. Dále je keramický materiál významně používán pro stomatologické výrobky, kde se dokáže vytisknout objekt, který přizpůsobí například zubní náhradu tak, aby vypadala přirozeně a vydržela už do konce života. Oxid hlinitý je jedním z nejvýznamnějších keramických materiálů, a to díky jeho vysoké tvrdosti a odolnosti proti korozi. Objekty vytiskly oxidem hlinitým mají vynikající izolační odolnost. Jako další druh keramiky můžeme ještě zmínit hydroxyapatit,

fosforečnan vápenatý, nitrid křemíku, zirkon a v neposlední řadě keramika na bázi křemíku. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

1.4.4 Další materiály

Mezi poslední materiály můžeme zmínit kompozity, což jsou materiály, které mají nízkou hmotnost a další jejich kladné vlastnosti jsou odolnost proti korozi a nákladová efektivita. Dále chytré materiály, které mohou měnit geometrii a tvar objektu podle tepla a vody. Tento druh materiálu hledá své využití také v čtyřrozměrném (dále jen 4D) tisku. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

1.5 Možnosti praktického využití 3D tisku v praxi

Okruh 3D tisku se vyvíjí velmi rychle a jeho praktické využití nabízí dost možností, které nás mohou překvapit anebo také zjednodušit život. (nejlepsitonery.cz, neuvedeno)

1.5.1 Zdravotnictví

Jak bylo již uvedeno, 3D tisk se u nás objevil dávno a své využití našel i v zdravotnictví, a to nejen na edukační pomůcky, ale hlavně na operační pomůcky, orgány anebo také na kosti. 3D tisk můžeme využít i na tisk kůže, která nám pomáhá testovat farmaceutická léčiva a výsledky tak mohou být přesnější než testování na zvířecí kůži. V případě úrazu je schopen 3D tisk vytvořit náhradní kost, orgán anebo také známý zubní implantáty. Další schopnost 3D tisku je vytváření přezkoumávajících modelů nádorových tkání, což umožňuje urychlení výzkumu rakoviny z důvodu důvěryhodnějších údajů. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

Na pomoc při vývoji k lepším zdravotním postupům 3D tisku ve zdravotnictví vznikla v minulém roce Česká společnost pro 3D tisk ve zdravotnictví (fnbrno.cz, 2023).

V covidu jsme mohli zaznamenat výrobu ochranných štítů, které byli vytisknuty pomocí 3D tiskárny, na které byl Josef Průša (český vývojář 3D tiskáren) velmi hrdý. (Bulan, 2020)

1.5.2 Automobilový průmysl

Mezi největší výhodu trojrozměrného tisku v tomto průmyslu náleží minimalizace odpadu z výroby oproti obrábění. Tisk je zde využit na prototypy automobilů, které se pak testují, aby se ověřili jejich aerodynamické schopnosti. Další příklad užití najdeme na prezentacích

nových vozidel, kde se mohou tisknout levně i různé formy držáků, díky kterým se nemusí draze investovat do nástrojů a zmenšují se tak peněžní ztráty. (motofocus.cz, 2022)

1.5.3 Letecký průmysl

Poprvé se objevila 3D vytisknutá součástka v letadle, které stouplo do oblak roku 2014. Po tomto okamžiku se začalo usilovně pracovat na rozvoji 3D tisku v leteckém průmyslu, který měl smysl, jelikož dnes už létají letadla, která mají například vytisknuté součástky v motoru či hydraulice. A proč 3D tisk u letadel? Letadla mají snahu docílit co nejnižší hmotnost, a k tomu mají materiály 3D tiskárny nejideálnější předpoklady. (for3dtisk.cz, neuvedeno)

U motoru letadel je známé, že se často musí měnit, jelikož se snadno naruší. V této technologii je nejčastěji používaný materiál slitiny na bázi niklu, a to díky jejím tahovým vlastnostem a nepoddajnosti zrezivět. (Shahrubudin, Lee, Ramlan, 2019)

1.5.4 Potravinářský průmysl

Jak bylo zmíněno, 3D tisk je možný využít i v potravinářském odvětví. Vlastně je to na stejném principu jako u jiných materiálů. Do formy se místo nejedlého materiálu není vsune potravina a postup je stejný, jako u ostatních tisků. Použití této technologie je určeno ke zkrášlení potravin, aby dosáhly zajímavého designu. Jde o to, že potraviny mají odlišnou texturu, ale přesto imitují původní formy potravy. Tento způsob by se měl využívat například v domech s pečovatelskou službou, kam patří lidi s poruchami trávicího traktu. Ovšem celé je to vzdálená budoucnost z důvodu nedostatečné rychlosti. (prodejny.kaufland.cz, neuvedeno)

2 3D TISK A BEZPEČNOST

Aditivní výroba může být rizikem i pro nás, díky své technologii tisknout nástroje či součástky pro jaderné zbraně, letecké motory či klasické zbraně. Její výhoda je v rychlosti vývoje zbraní, v navrhnutí nových zbraní či peněžních nákladech. Úřady se ale potýkají s jinými problémy, jako jsou bezpečnostní opatření, a to ve smyslu detektorů kovů, díky kterým lze zbraň jednoduše odhalit. To ale neplatí u tisknutého modelu, kde je tedy detektor kovu zcela neúčinný. To znamená že by se mohl rozšířit černý trh s tisknutými zbraněmi, což by byl nejsnadnější způsob, jak je získat. Akteři by je získávali o mnoho rychleji, za nízkou cenu, a navíc s malou pravděpodobností dopadení. (Fey, 2017)

2.1 Nezákonný 3D tisk

Důvod nezákonného tisku je jednoduchý, je těžko zjištělný a snadno zneužitelný. 3D tiskárenská komunita má totiž otevřený zdrojový kód, což umožňuje uživatelům přístup k několika stránkám na webu s úložišti, kde je možnost stáhnout soubor návrhu místo toho, aby ho museli vytvářet sami. V průmyslu se chrání tím, že si vzory patentují či jinak chrání, aby se méně řešila trestná činnost v této oblasti. Ovšem stále se tady nachází mnoho souborů s otevřeným kódem, které se využívají na nelegální tisk zbraní či bomb, a to tak, že stačí vzít design či návrh nevinných předmětů a předělat na vlastní nelegální návrhy. (Chase, LaPorte, 2017)

2.2 Forenzní aplikace 3D tisku

Aby nedoprovázel 3D tisk v této kapitole jen samé minusy, zaměříme se i na jeho kladnou stránku, a tou je oblast bezpečnosti. V této oblasti je odborníky využíván k tisku replik důkazů nebo také míst činu, díky čemuž se zjednodušuje proces a zvyšuje se efektivita pro rekonstrukci například obličeje. Můžeme tím vytvořit repliky důkazů, které oproti odlitkům nejsou tak náchylné na rychlé zničení či zkažení. Na místě činu technici vyfotí fotografie otisků z různých úhlů, z kterých následně zhotoví přesný model otisku, a to díky softwaru, jenž je určený pro fotogrammetrii. Uvedeme si jeden příklad z praxe, kdy 3D tisk dokázal pomoci při vyšetřování jednoho velmi závažného zločinu v Anglii, který se stal v roce 2014, a to díky vytisknutí části těla místo použití reálných fotek. Vrah jménem Lorenzo Simon zabil muže, kterého následně rozřezal a dal do dvou kufřů, jenž se snažil zapálit, ale neúspěšně. Poté se to pokusil zamaskovat tím, že schoval kufry do kanálu, kde byly později nalezeny společně i s pažní kostí, která byla zahrabána na jeho zahradě. Po

nalezení byly některé kosti rentgenované a postupně naskenované, aby se vytiskly repliky těchto částí těla společně i s přesnými řezy – viz Obrázek 8. To se povedlo a vytisknuté modely byly předvedeny před porotu u soudu, která po tomto důkazu vraha odsoudila. (Chasem, LaPorte, 2017)



Obrázek 8 - Tisk pažní a stehenní kosti pomocí 3D tiskárny.

(Chasem LaPorte, 2017)

2.3 3D tisk výzkum v armádě

Studenti, kteří se zabývají výzkumem na Clemson Univeristy, která se nachází v Jižní Karolině, obdrželi finance od Velitelství rozvoje bojových schopností armády Spojených států amerických (dále jen USA), označovaného jako DEVCOM, aby vyvinuli technologii, která urychlí vývoj nových tištěných komponentů na 3D tiskárně, které budou sloužit pro vozidla, letadla nebo také munici. Celý tento výzkum bude používat tisk kovů či tisk plastů, ale ve vyspělejší technologii. Studenti, kteří mají výzkum pod sebou navrhli, že v projektu zhotoví platformu digitálního životního cyklu, která bude zahrnovat i umělou inteligenci, aby měli výrobní inženýři možnost rychle navrhovat komponenty. Až bude platforma dána do provozu, budou inženýři testovat nové komponenty bez potřeby jejich fyzického vytvoření. (Patrick. 2021)

3 TECHNOLOGIE 3D TISKU KOVU

Aditivní výroba kovových dílů spočívá v nanesení kovového prášku, který musí být v tenké vrstvě, většinou mezi 20 až 100 mikrometry (dále jen μm). Ten se nanese prostřednictvím zařízení, které je na to určeno na stavějící plochu, kde laserový paprsek speče vrstvu z kovového prášku. Po vrstvě vždy zbude prášek, který je nespečený, a tím se posune společně se stavějící plochou dolů, přidá se k tomu nová vrstva prášku a započne opět laserový proces. Tento proces se opakuje vrstvením, dokud se nám nevytiskne náš produkt, který jsme si namodelovali. Prášek, který zbyl a nebyl spečen, se využívá na další tisk. Načež prášek, který zbyl na stavěcí ploše se odstraní vysavačem s certifikací ATEX. (Zetková, 2017)

Jak bylo uvedeno již v jedné z kapitol, základním materiálem pro 3D tisk kovu je prášek, jehož velikost se pohybuje v rozmezí desítek μm jako malé zrno. Materiály pro 3D tisk kovu mají velkou škálu výběru. Každý dodavatel navrhuje vlastní prášek s vlastními specifikacemi. Mezi materiály řadíme například hliníkové slitiny, kobaltové slitiny, nástrojové oceli, niklové slitiny, nerezové oceli, titanové slitiny, slitiny mědi a v neposlední řadě drahé kovy jako je zlato či stříbro. (Zetková, 2017)

Podle výrobního zařízení probíhá tiskový proces v ochranném prostředí dusíku či argonu, které označujeme jako plyny. Argon má výhodu oproti dusíku, že nevytváří sloučeniny s kyslíkem a pomáhá přecházet oxidaci při tisku výrobku. Výběr mezi argonem a dusíkem řešíme podle použitého prášku na 3D tisk, a také podle zařízení, jenž má nastavený určitý software. Dusík je získáván z atmosféry, za to argon bývá obvykle dodáván z lahve. (Zetková, 2017)

Vraťme se ještě k materiálům, které vstupují do procesu jako první, a bez kterých by se to celé neobešlo. Funkčnost, kvalita a veškeré vlastnosti vytisknutého dílu se určují podle materiálu. Ty jsou dovezené od výrobců v barelech, jenž jsou uzavřené plombou. Je potřeba pečlivá manipulace a každý, kdo s materiály zachází se musí řídit bezpečnostními pokyny, které jsou vždy uvedeny na obalu. Materiál tedy vysypeme z barelů přímo do zásobníku přístroje, z něhož se během tisku postupně aplikuje ve spojitých vrstvách na platformu, kde se speče a vyrobí tím požadovaný výtisk. Pro tento proces je klíčový, aby po aplikaci byla vrstva co nejvíce homogenní, jelikož nejednotnost většinou vede k vytváření pórů. Na tento problém má vliv kvalita prášku a také uspořádání velikosti zrn v zásobníku. (Zetková, 2017)

4 RIZIKOLOGIE

4.1 Základní definice a klasifikace rizik

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci (dále jen BOZP) není jediný obor, kde nacházíme rizika a rovněž je i vyhodnocujeme. Tento proces je samostatná disciplína rizikového inženýrství, která má svoji vlastní terminologii, proto je důležité znát nejen terminologii BOZP, ale také i termíny, které se používají v oblasti analýzy rizik (Neugebauer, 2018).

Analýza rizika – jedná se o pochopení charakteru rizika a stanovení jeho úrovně (Neugebauer, 2018).

Hodnocení rizik – jedná se o daný proces, který posuzuje jak velikost, tak i přijatelnost rizika pro pracovníka. Používají se různé metody, které jsou schopny vyměřit odhad pravděpodobnosti poškození na lidském zdraví na pracovišti (Neugebauer, 2018).

Nebezpečí – je to situace, kde může nastat jakákoliv újma na zdraví člověka (Neugebauer, 2018).

Nebezpečný činitel – činitel může být stroj, látka, objekt, zařízení, nějaká technologie na pracovišti, která má možnost vyvolat škodu za daných okolností z důvodu alespoň jedné vlastnosti, která je nebezpečná, a díky které může nastat riziko pro osoby nebo majetek na pracovišti (Neugebauer, 2018).

Ohrožení – je to vlastnost například materiálu či zařízení, která má možnost způsobit škodu (Neugebauer, 2018).

Riziko – je to šance na výskyt nežádoucího jevu s negativními důsledky (zsbozp.vubp.cz).

Nebo také souhra pravděpodobnosti, kde se může vyskytnout nebezpečný děj společně s úrazem nebo poškozením zdraví, které může být vyvoláno vlivem této události (Neugebauer, 2018).

Riziko lze rozdělit na dvě části, a to jsou čisté a spekulativní. Riziko spekulativní zahrnuje jak možnost zisku, tak i možnost ztráty, přičemž čisté riziko je pak to, které představuje pouze možnost ztráty. Řadíme sem ještě následující rizika, jako jsou technická, výrobní, ekonomická, tržní anebo také finanční (Popelář, neuvedeno).

Zbytkové riziko – známé také pod názvem reziduální. Riziku říkáme zbytkové tehdy, pokud je stále náznak rizika i po využití bezpečnostních opatření. Je to z důvodu neviditelného rizika, které ještě nebylo objeveno (Neugebauer, 2018).

4.2 Řízení rizik organizace podle ISO 31000

Každá organizace čelí jak vnitřním, tak i vnějším vlivům, které způsobují nejistotu ohledně dosažení stanovených cílů. Díky řízení rizik lze organizacím napomáhat, a to identifikováním potencionálních hrozeb a příležitostí, určováním vhodné strategie a přijímáním informovaných rozhodnutí. Řízení rizik patří k nezbytné součásti správy a řízení organizace na všech úrovních a ve všech činnostech. Mezinárodní norma International Organization for Standardization (dále jen ISO) 31000 stanovuje zásady, rámec a postupy pro řízení rizik, aby bylo toto řízení účinné, efektivní a konzistentní. Řízení rizik označuje mnoho výhod pro organizace. Pomáhá organizacím včas odhalit nově vzniklá rizika, posuzovat hrozby extrémních situací, přizpůsobovat své strategie podle míry přijatelného rizika, systematicky shromažďovat a posuzovat všechna rizika a vytvářet v organizaci kulturu řízení rizik. (krucek.cz, neuvedeno)

Rizika, které jsou spojená s hrozbami a příležitostmi, kterým organizace čelí mohou zahrnovat:

- strategická – riziko poškození dobrého jména nebo pověsti, riziko selhání podnikatelského plánu,
 - finanční – riziko kolísání tržních cen, riziko likvidity,
 - souladu s požadavky zákonů, mnohých předpisů či norem – jako například riziko ochrany zdraví, riziko kvality a mnoho rizik environmentálních,
 - provozní – všechna rizika, které souvisí s prováděním procesů a postupů.
- (krucek.cz, neuvedeno)

Řízení rizik může být vyžadováno zákony, jako zákonem č. 320/2001 Sb., o finanční kontrole, dále také předpisy, mezi které řadíme úřední sdělení České národní banky (dále jen ČNB) ze dne 27. května 2011, a ten zahrnuje činnosti finančního trhu. Dál může být vynuceno i smluvními závazky či normami, do kterých řadíme i řízení rizik kontinuity podnikání podle ISO 22301 a jako poslední vnitřními požadavky organizace. (krucek.cz, neuvedeno)

Norma ISO 31000 stanovuje principy, rámec a proces pro řízení rizik. Tato norma poskytuje 6 kroků, které jsou potřeba k řízení rizik. Organizace by měly přijmout tyto principy na všech úrovních – strategické, provozní, programové nebo projektové – pro efektivní řízení rizik. Kromě toho by organizace měly implementovat rámec řízení rizik,

který podporuje účinné řízení rizik prostřednictvím definovaného procesu. (krucek.cz, neuvedeno)

Jak vyplývá z obrázku – viz Obrázek 9, proces managementu rizik zahrnuje jako první stanovení rozsahu a kritérií. Tento krok je významný pro identifikaci rizika. Dále představuje proces řízení rizik posuzování rizika, kde se nachází 3 činnosti, a to identifikace rizik, analýza rizik a hodnocení rizik. Identifikace rizik určuje hrozby, zranitelnost a následky. Následuje analýza rizik, kde se posuzují následky, pravděpodobnost výskytu a určení úrovně rizika. Poslední kategorie hodnocení rizika představuje posouzení úrovně rizika na základě kritérií hodnocení rizika. Poté přichází ošetření rizika, kde se naskytnou možnosti a plán ošetření společně s hodnocením zbytkového rizika. (krucek.cz, neuvedeno)

V řízení rizik je potřeba komunikovat a konzultovat, aby bylo upozorněno na rizika, s kterými se musí organizace vypořádat. Dále je potřeba vše monitorovat, kvůli pravidelné kontrole skutečného výkonu. Celé se to zaznamenává, aby se mohly rizika přezkoumávat. (krucek.cz, neuvedeno)



Obrázek 9 - ISO 31000. (advisera.com)

4.3 Metody vyhodnocení rizik

Vyhodnocení rizik při práci je vyváženo dvěma extrémny míry rizika, a tím je nadhodnocení a podhodnocení. Proto je klíčové, aby posuzování rizik prováděla osoba s patřičnou kvalifikací. Při veškerém vyhodnocení musíme mít na mysli, že v dnešní době BOZP není pouze o prevenci pracovních úrazů, proto z toho že se vyskytuje málo úrazů nebo jsou málo závažná, nesmíme automaticky usuzovat, že je zde nízké riziko. (Neugebauer, 2018)

Pro posouzení rizik při práci máme mnoho metod, která bude zvolena, je na osobě nebo týmu, který provádí vyhodnocení. Je však důležité, aby zvolená metoda za prvé vyhovovala hodnocené firmě a za druhé, aby odrážela jednotlivá rizika. (Neugebauer, 2018)

Na výběr máme z mnoha metod, jako jsou například jednoduchá bodová metoda (dále jen JBM), BOMECH, metoda ZHA společně s její alternativou – Čtvercovou metodou, nebo v neposlední řadě Kittsovu metodu. Je ovšem na každém, jakou metodu si zvolí. Je možnost zvolit vlastní způsob, kterým je sdělena míra nebezpečí každého rizika. (Neugebauer, 2018)

Pokud si zvolíme vlastní metodu, je důležité dodržet základní podmínky. V hodnotících kritériích je tedy nejdůležitější, aby byly zakomponovány tyto dvě položky rizika – předpokládaný následek a nějaká pravděpodobnost vzniku. Tyto dvě položky můžeme definovat funkcí. Aby výsledek dával smysl, je třeba vytvořit určité kategorie, do nichž budou zařazena rizika. (Neugebauer, 2018)

Mohli bychom říct, že by šly rizika dělit do tří skupin – nejmenší, střední a největší, ale toto by v praxi neuspělo, protože by byly v jedné kategorii činnosti s hodně odlišnou mírou závažnosti rizik a vedlo by to k nepřesnostem, tím pádem by nebyly adekvátní opatření ke snížení rizik. Z tohoto důvodu se doporučuje jako nejjednodušší metoda vyhodnocení rizik při práci využít pět kategorií pro obě hodnotící kritéria označená 1 až 5, tedy obdobné hodnocení jako ve škole – viz Tabulka 2. (Neugebauer, 2018)

Tabulka 2 - Hodnocení rizik (Neugebauer, 2018)

Pravděpodobnost vzniku a existence rizika	Možné následky zdroje rizika
1 – nahodilá	1 – poranění bez pracovní neschopnosti
2 – nepravděpodobná	2 – absenční úraz (s pracovní neschopností)
3 – pravděpodobná	3 – vážnější úraz vyžadující hospitalizaci
4 – velmi pravděpodobná	4 – těžký úraz (zranění) s trvalými následky
5 - trvalá	5 – smrtelný úraz

Ke zjištění míry rizika se hodnoty pravděpodobnosti a následků násobí. Tento postup vyhodnocení míry rizika je používán občas v praxi. Je naprosto jasné, že při analýze rizik lze použít jednu metodu pro vyhledání rizik a jinou zase pro jejich vyhodnocení. Například pokud bylo použita metoda BOMECH na vyhledání rizik, tak pro vyhodnocení můžeme zvolit metodu JBM. (Neugebauer, 2018)

4.3.1 Metoda JBM

Metoda JBM, ve které zkratka znamená jednoduchá bodová metoda, je jednoduchá a srozumitelná metoda, která lze snadno aplikovat a porozumět by ji měli i osoby, které nejsou znalé v této metodě, především pro vedoucí pracovníky, kteří budou s jejími výsledky manipulovat. Metoda je určena pro snadné vyhodnocení již identifikovaných rizik díky následným kritériím:

- pravděpodobnost nežádoucího důsledku, tedy jak často se může vyskytnout nežádoucí událost, díky které může být následná škoda,
- expozice rizika, tím rozumíme dobu, po kterou je zaměstnanec v práci vystaven riziku za rok,
- ochranná reakce při vzniku rizikové situace před ohrožením pracovníka zdraví,
- následky rizika. (Neugebauer, 2018)

Tato metoda se ověřila na více druzích pracovišť, jako je například výroba, montáže PC nebo také ve zdravotnictví a ve firmách, které provozují BOZP služby. V tabulce, kde najdeme vyhodnocení, jsou různým faktorům přiřazeny hodnoty bodového hodnocení jednotlivých kritérií. Po přiřazení hodnot pro příslušné rizikové situace se hodnoty

vynásobí, a tím se vypočítá míra rizika, podle které se určuje závažnost rizika a jak rychle je potřeba ho řešit. Čím je stupeň rizika vyšší, tím je neprodleně potřeba zavést opatření k minimalizaci rizik nebo nejlépe k eliminování. Metoda nabízí také kritérium, kde se uvádí počet zaměstnanců, kteří manipulují s rizikem a mohou být ohroženi. Není to myšleno na celkový počet zaměstnanců ve firmě na určitém pracovišti. (Neugebauer, 2018)

4.3.2 Metoda BOMECH

Tuto metodu vyvinul profesor L. Chundela na Strojní fakultě, která nese název České vysoké učení technické (dále jen ČVUT) v Praze, která byla určena pro hodnocení bezpečnosti strojů. Nezůstala jen u toho, ale začala se využívat i na vyhodnocení rizik při práci. Každé riziko je hodnoceno pomocí následujících kritérií:

- N – nejpravděpodobnější následek ohrožení, kde můžeme hodnotit od 0 (sem řadíme pouhé narušení pracovní pohody) až po hodnotu 100 (smrt),
- O – počet současně ohrožených osob za směnu, kde hodnotíme nejnižším číslem 0 jednu osobu až po největší hodnotu 60, kde řadíme více než 100 lidí,
- P – pravděpodobnost existence nebezpečného činitele, kde hodnotíme nevyšším číslem 60 trvalou existenci nebezpečného rizika až po nejmenší hodnotu 0, kde je prakticky vyloučená pravděpodobnost nebezpečného činitele,
- E – doba, po kterou je člověk v poli rizika (hodiny za rok), kde přiřazujeme nejvyšší hodnotu 50, pokud je více než 6000 hodin, a naopak nejmenší hodnotu 0 pokud je to 1 až 50 hodin za rok,
- R – možnost obranné reakce, pokud dojde ke vzniku nehody a je ochranná reakce snadná, přiřazujeme hodnotu 0, naopak pokud jde o nemožné odvrácení rizika, přidělujeme nejvyšší možnou hodnotu 40,
- Z – nároky na psychofyzické vlastnosti člověka při činnosti v poli rizika, kde přiřazujeme nejvyšší hodnotu 30, pokud jde o velmi vysokou až nepříjemnou zátěž, v opačném případě, pokud se jedná o nepatrnou zátěž, přiřazujeme hodnotu 0,
- K – nároky na bezpečnostní kvalifikaci, což znamená znalost předpisů či postupů v technickém směru, zde hodnotíme největší hodnotou 30, kde jsou velmi vysoké

nároky na bezpečnostní kvalifikaci, až po nejmenší hodnotu 0, kde je to zcela nepatrné,

- I – identifikovatelnost – poznatelnost rizikovosti vzniku úrazu, kde je nejvyšší hodnota 30 označována jako nemožné očekávání vzniku úrazu až po hodnotu 0, tedy kdy je to jasné, že zákonitým jevem nastane úraz,
- D – dynamičnost, tzn. změna nebezpečnosti nebezpečného činitele v čase, kde přidáváme hodnotu 20 jako nejvyšší, pokud rizikovost roste výrazně a hodnotu 0 jako nejmenší, v případě že rizikovost se nemění,

V – citlivost nebezpečnosti nebezpečného činitele na vliv pracovního prostředí, kde je nejvyšší možná hodnota 10, pokud se jedná o velkou citlivost, a nejmenší hodnotu 0, pokud se nejedná o žádnou citlivost. (Neugebauer, 2018)

Po ohodnocení jednotlivých kritérií se vypočte koeficient nebezpečnosti (dále jen k_N) tak, že sečteme body ve sloupcích pro každého nebezpečného činitele. (Neugebauer, 2018)

Dále se zařadí podle tabulky, jaká kategorie rizika hrozí. Pokud je to nad 200 bodů, řadí do kategorie rizika A – katastrofálního, který je nutno akutně řešit, protože hrozí nebezpečí. Následujících 151 až 200 bodů má kategorii B – kritickou, kde je potřeba řešit riziko také co nejdříve, z důvodu velkého nebezpečí. Mezi 101 až 150 body se nachází kategorie C – tedy střední, kde je doporučeno řešit brzy významné riziko. V rozmezí 51 až 100 bodů je kategorie D – mezní, kde je potřeba provést opatření podle pořadí důležitosti. V poslední kategorii E – rušivá, jsou body v rozmezí 0 až 50, tedy je zde malé riziko. (Neugebauer, 2018)

Další kroky jsou již počítání se vzorečky, kde jsou zahrnuta všechna rizika. Prvním koeficientem zjistíme, jak moc je pracoviště nebezpečné, a to díky součtu bodů koeficientu nebezpečnosti. Jako druhý koeficient ukazuje průměrnou nebezpečnost jednoho rizika, a to tak, že vydělíme koeficient nebezpečnosti pracoviště počtem identifikovaných rizik. Třetím koeficientem zjistíme, jaký je nejvíce nebezpečný prvek, který se nachází na pracovišti. A jako poslední, čtvrtý koeficient nám udá podrobné informace o riziku. Tady tyto koeficienty nám pomohou k hodnocení nebezpečnosti na pracovišti a jaká je nutnost začít pracovat na opatřeních. (Neugebauer, 2018)

4.4 BOZP v 3D tisku

BOZP se označují legislativou stanovená pravidla a opatření, které jsou zaměřené na prevenci ohrožení nebo poškození lidského života v pracovním prostředí. Cíl představuje minimalizaci rizik ohrožení zdraví při výkonu práce. Opatření mohou být technologická, technická, právní, organizační nebo administrativní. Tyto opatření dohromady se nazývají prevence rizik. Při plnění úkolů prevence rizik zaměstnavateli pomáhá odborně způsobilá osoba v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Tato osoba je nazývána bezpečnostní technik. (bozp.cz, 2015)

3D tisk se využívá pro domácí potřeby, ale větší zastoupení má v podnicích, kde je uplatňován pro malosériovou výrobu. V každém podniku je proto důležité dodržovat bezpečnostní pokyny ke každému stroji na 3D tisk, které mohou být již popsány u návodu stroje. V každém případě je potřeba, aby bezpečnostní technik v podniku proškolil pracovníky o bezpečnostních podmínkách a opatřeních, které musí dodržovat při použití stroje. (Filková, 2019)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS PRÁCE V RÁMCI 3D TISKU KOVU

Základní princip fungování 3D tisku kovu je téměř stejný jako u ostatních metod tisku – viz Obrázek 10. Podobně jako při použití plastových materiálů, i zde dochází k tavení a nanášení materiálu ve vrstvách podle návrhu v počítačovém programu. Rozdíl spočívá v použití speciálních kovových prášků pro metodu 3D tisku kovů, které laser roztaví a spojí do pevné hmoty. Tiskárna postupně vrství prášek a laserem ho taví, čímž vyrábí 3D produkt podle návrhu. Hlavním rozdílem oproti běžným technologiím 3D tisku je použití laserového paprsku k tavení a spojování kovových částí dohromady. (Uživatelská příručka, 2022)

Průběh procesu je následující – jako první se nastaví spuštění tisku, a to jednotkou USB, která má nahraný soubor pomocí softwaru. Vloženou jednotku přístroj automaticky pozná a uživatel může vybrat, který soubor chce nahrát. Po načtení souboru přichází kontrola tiskové platformy a nastavení do úrovně stavěcí komory. Nyní je důležité si připravit a nasadit OOPP. Dále se je nutné vyčistit sběrný zásobník a odpadní zásobník s práškem tak, aby byl zcela čistý a prázdný. (Uživatelská příručka, 2022)

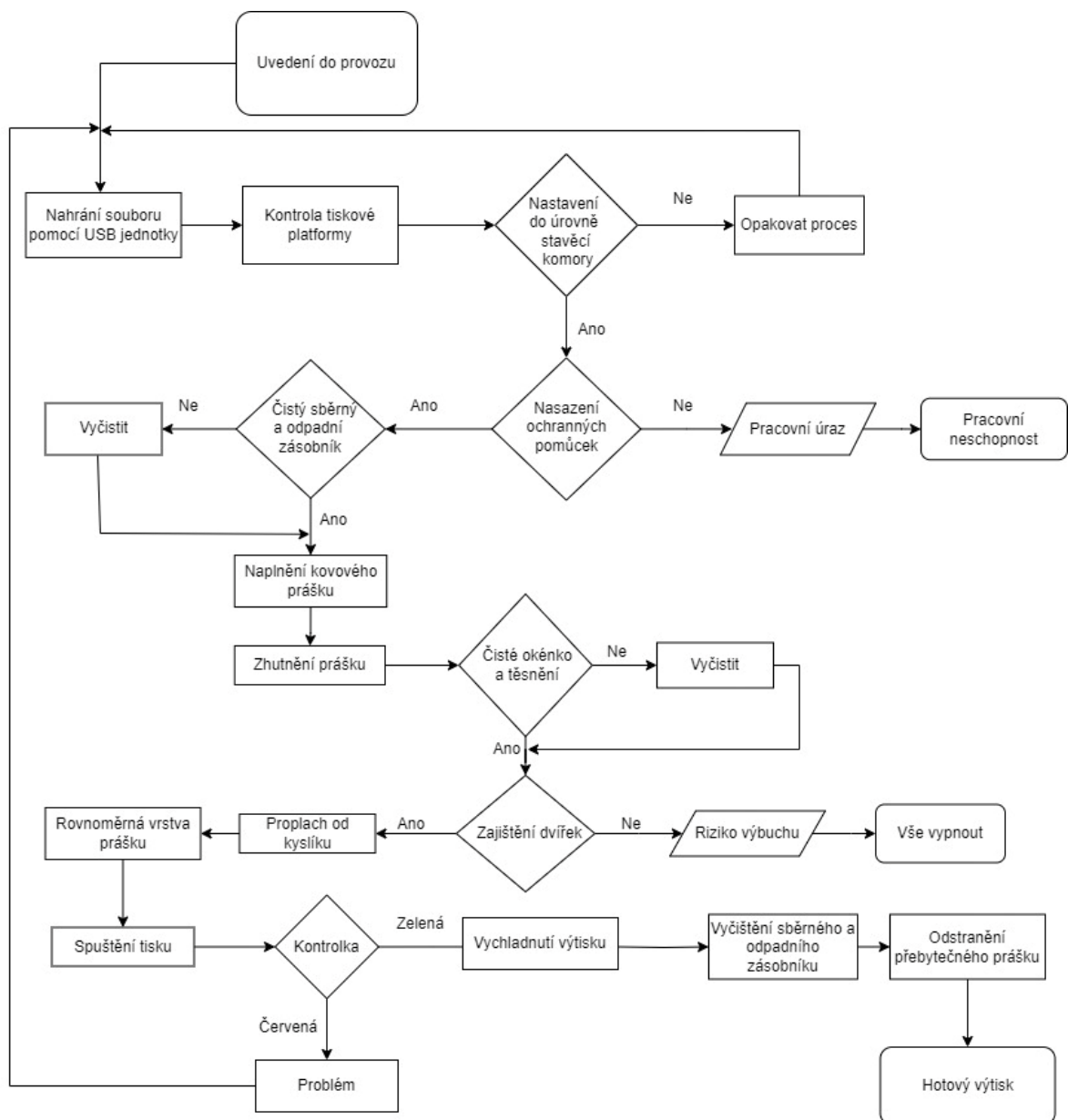
Dalším krokem je plnění tiskárny kovovým práškem, kde je důležité mít funkční respirátor, aby byla dodržena bezpečnostní opatření. Prášek se nasype do tiskárny a je potřeba ho zhutnit pomocí stěrky, která vyrovná prášek tak, aby byl v rovině společně s procesní komorou. Tento postup se opakuje do té doby, dokud není válec zcela plný a prášek není zhutněn. (Uživatelská příručka, 2022)

Před spuštěním tisku je nutné vyčistit ochranné okénko optiky pomocí utěrky, vyčistit těsnění a také povrch tiskové platformy. Následuje zavření procesní komory dveří a zatáhnutí za rukojeť, aby byly dvířka zajištěny. V dalším kroku se zahájí proplachování stroje od kyslíku, aby byl na přijatelné úrovni, která se pohybuje obvykle kolem 0,1 % nebo níž. Pokud hladina kyslíku vystoupá nad 2 %, ventilátor se vypne a proces je potřeba zopakovat. (Uživatelská příručka, 2022)

Nyní se nanese první vrstva prášku manuálně na stavební desku a zvedne se tisková platforma tak, aby recoat rovnoměrně rozprostřel prášek a vyrovnáme platformu, aby byla ve vodorovné poloze. Po dokončení kalibrace se spouští tisk, který je potřeba kontrolovat, kdyby nastala možná chyba. Pokud se vyskytne chyba, stroj změní indikátor stavu na červenou. (Uživatelská příručka, 2022)

Hotový tisk se nechá vychladnout na bezpečnou teplotu 50 stupňů Celsia, která je zobrazena na dotykovém displeji tiskárny. Po otevření komory je potřeba jako první vyprázdnit sběrnou nádobu na prášek a odpadní zásobník. (Uživatelská příručka, 2022)

Dále je potřeba odstranit přebytečný prášek z tiskové oblasti, to lze dvěma způsoby – manuálně a automaticky. Při manuálním odstranění se zvedne stavební válec a čistým štětcem se stírá prášek z tiskového válce do sběrného otvoru, který se nachází na pravé straně stroje. Nebo celý proces lze provést automaticky pomocí vysavače, který má mokrý odlučovač s certifikací ATEX. Hotový výtisk se zbaví prášku, a to buď v procesní komoře nebo v prostoru, který je určen na odprášení. (Uživatelská příručka, 2022)



Obrázek 10 - Algoritmus 3D tisku kovu. (vlastní)

6 ZAJIŠTĚNÍ BOZP PŘI PRÁCI S 3D TISKEM

3D tisk kovu funguje na principu skládání vrstvy na vrstvu, přičemž se kovový prášek taví pomocí silného laserového paprsku. Tento způsob tisku se postupně zdokonaloval tak, aby byl co nejbezpečnější a nejefektivnější.

Tiskárna DMLS pro 3D tisk kovu XM200G – viz Obrázek 11, ve společnosti XY, které se věnují v praktické části, se zdokonalila v mnoha ohledech. Z bezpečnostního hlediska je nejdůležitější upgrade pro tisk s reaktivním materiálem. Díky přidání nových senzorů pro monitorování tisku a upravení ventilačního systému je bezpečnostní riziko sníženo. K 3D tiskárně jsou vedeny bezpečnostní pokyny, které je nutno přísně dodržovat, aby nevznikala nebezpečná rizika.



Obrázek 11 – 3D tiskárna na kov XM200G. (vlastní)

BOZP u stroje vychází z uživatelské příručky, která byla dodána výrobcem stroje. Než se uvede 3D tiskárna do provozu, je důležité nainstalovat bezpečnostní program, který upozorní na nebezpečné materiály či postupy. Dále tento program popíše metody pro

postup při mimořádné události a jako poslední poskytne informace o všech rizicích, která mohou vzniknout společně s varováním před nimi. Při manipulaci se strojem je zakázáno otevírat dvířka během provozu.

Před zahájením provozu má obsluhvatel stroje povinnost zkontrolovat procesní komoru, zda se v ní nenachází žádné předměty. Je důležité dbát na to, že ve stroji se zpracovávají pouze kovové prášky, tedy je zakázáno používat jiné reaktivní materiály, které nejsou určeny pro tento typ tiskárny.

Při manipulaci s laserem je zakázané jakkoliv laserový modul upravovat či seřizovat z důvodu rizika vážného popálení. Při tisku je laser zabezpečený fólií, která chrání průnik laserového záření přes dvířka. Dalším zabezpečením proti laserovému záření jsou zamknutá otevírací dvířka. Všechna zařízení používaná při práci s kovovým práškem by měla být řádně uzemněna, aby se zabránilo hromadění statické elektřiny a výbojům. Během provozu tiskárny dochází k velkému uvolnění tepla, z toho důvodu se doporučuje místnost klimatizovat. Během procesu tisku by mohlo dojít ke vzplanutí, pokud by se mraky kovového prášku dostaly do kontaktu s kyslíkem. Aby se zabránilo k vzniku požáru, využívá se inertní plyn (v tomto případě argon), se kterým horký kovový prášek nevytváří oxidační reakci. Při tisku je důležité, aby byly veškeré ventily správně nastaveny, aby nedocházelo k úniku inertního plynu do místnosti. Důležitý krok před tiskem je zapnutí odtahu argonu. Pokud by k tomuto nedošlo nebo by byly ventily špatně nastaveny, na unikající argon by upozornily detektory, které jsou nonstop aktivní a signalizují zvýšené množství argonu ve vzduchu. Protože je argon těžší než kyslík, drží se více u země, a proto je vhodné v místnosti s 3D tiskem na kov umístit tento detektor co nejbližší k zemi – viz Obrázek 12.



Obrázek 12 - Detektor plynu. (vlastní)

Používání obyčejného vysavače je zakázáno z důvodu nebezpečí vzplanutí, proto je potřeba využívat vysavače s mokrou separací a certifikací ATEX – viz Obrázek 13. Vysavač musí splňovat požadavky týkající se nároků na odstranění vodivého a hořlavého prachu.



Obrázek 13 - Vysavač s ATEX. (vlastní)

Při procesu tisku je nutné mít u sebe monitor kvality ovzduší, který detekuje ve vzduchu částice kovového prachu a upozorňuje uživatele na zvětšený výskyt – viz Obrázek 14.



Obrázek 14 - Monitor ovzduší. (vlastní)

6.1 Osobní ochranné prostředky

Při práci s kovovým práškem je nařízené používat osobní ochranné prostředky (dále jen OOPP) jako například nitrilové rukavice, které se po použití zlikvidují. Zabraňují ulpívání prášku na kůži a kontaminaci prášku potem. Dále například chrání před ostrými hranami výtisku. Mezi další OOPP řadíme antistatickou obuv, která je při práci s 3D tiskárnou na kov potřeba. V případě že obsluhvatelé stroje nemají antistatickou obuv, je nutné, aby firma byla vybavena antistatickou podlahou. Dále sem patří oděv s dlouhými rukávy i nohavicemi, aby docházelo k co nejmenšímu kontaktu nežádoucího materiálu s pokožkou. Nejdůležitější OOPP je celoobličejový respirátor, nejdoporučovanější dýchací přístroj PAPR, který obsahuje čištění vzduchu s pohonem a filtry se jmenovitou hodnotou P100 na ochranu karcinogenního kovového prášku – viz Obrázek 15.



Obrázek 15 – Celoobličejový respirátor. (vlastní)

7 MOŽNÁ RIZIKA PŘI PRÁCI S 3D TISKÁRNOU NA KOV

Tato kapitola praktické části je složena ze zjištěných rizik prostřednictvím checklistu. Pro získání informací bylo důležité seznámení s pracovním prostředím 3D tisku kovu a s celým jeho procesem. Poté bylo možné nalezená rizika vložit do metody JBM, která odhalila u každého nebezpečného činitele míru rizika.

7.1 Metoda pro analýzu rizik

K vyhodnocení již vyhledaných rizik při práci byla zvolena JBM metoda neboli jednoduchá bodová metoda, která se již uplatnila v praxi na různých pracovištích. Metodu vyvinul odborník na BOZP a požární ochranu Tomáš Neugebauer. Metoda JBM je jednoduše použitelná metoda, která umožňuje snadné vyhodnocení již identifikovaných rizik pomocí stanovených kritérií. (Neugebauer, 2018)

Kritéria představují:

- Pravděpodobnost nežádoucího následku, jenž může způsobit nežádoucí událost.
- Expozici rizika, to znamená dobu, po kterou může být zaměstnanec vystaven riziku.
- Ochranné reakce při vzniku rizikové situace před ohrožením zdraví.
- Následky rizika. (Neugebauer, 2018)

Metoda JBM byla úspěšně aplikována v různých typech pracovišť, včetně výroby, ve tvorbě softwaru, ve zdravotnickém prostředí, stejně jako v montážích osobních počítačů. (Neugebauer, 2018)

7.2 Postup metody JBM

Ve vytvořené tabulce pro hodnocení rizik se k vyhledaným nebezpečným činitelům přidávají rizika, která byla vyhledaná, a jaký je možný nejhorší předpokládaný následek. Každému riziku jsou přidělovány bodové hodnoty na základě stanovených kritérií. (Neugebauer, 2018)

Pravděpodobnost nežádoucího následku:

- častý výskyt: **10,0**
- možný výskyt: **6,0**

- není běžné, ale je pravděpodobné: **3,0**
- někdy se vyskytne: **1,0**
- ještě se nevyskytl, je však možné: **0,5**
- prakticky nemožný: **0,2**
- vyloučený: **0,1.**

Expozice rizika:

- stále: **10,0**
- často: **6,0**
- příležitostně: **3,0**
- občas: **2,0**
- zřídka: **1,0**
- velmi zřídka: **0,5**
- není expozice: **0,0.**

Ochranná reakce:

- nemožná: **1,00**
- velmi obtížná: **0,95**
- obtížná: **0,90**
- možná: **0,85**
- snadná: **0,80.**

Následná rizika:

- katastrofické (mnoho smrtelných úrazů nebo škoda nad Kč 100 000 000,-): **100**
- velmi závažné (několik smrtelných úrazů nebo škoda nad Kč 10 000 000,-): **40**
- závažné (jeden smrtelný úraz nebo škoda nad Kč 1 000 000,-): **15**
- vážné (těžký úraz [zranění] nebo škoda nad Kč 100 000,-, případně nemoci z povolání): **7**

- lehké (úraz nebo škoda nad Kč 10 000,–, případně trvalé zhoršení zdravotního stavu – například očí): **3**
- zanedbatelné (drobné poranění nebo škoda, případně snížení pracovní pohody): **1**.

Pod pojmem škoda, vyjádřena finanční částkou, se rozumí škoda spojená s bezpečností a ochranou zdraví při práci. Ne škoda, která byla způsobena zařízením či objektům.

Jakmile vynásobíme hodnoty pro identifikovaná rizika, získáme hodnotu, která vyjadřuje míru rizika. Na základě této hodnoty se pak určí, jak moc je riziko závažné a jaká je potřeba jeho řešení. (Neugebauer, 2018)

Míra rizika

Závažnost rizika

větší než 400

velmi vysoké riziko, zastavit činnost,

200 až 400

vysoké riziko, potřeba okamžitého řešení,

70 až 200

značné riziko, potřeba řešení,

20 až 70

riziko, potřeba zvýšené pozornosti,

menší než 20

přijatelné riziko.

Metoda JBM rovněž umožňuje určit priority pro navržení opatření podle počtu zaměstnanců ohrožených rizikem. Za ohrožené zaměstnance jsou považovány osoby, které by mohly utrpět škodu nebo zhoršení pracovních podmínek v důsledku daného rizika. Ne každý zaměstnanec přítomný na daném pracovišti je považován za ohroženého. Minimální počet ohrožených zaměstnanců, pro které je prioritou provedení navržených opatření, je stanoven podle zjištěného stupně rizika. (Neugebauer, 2018)

Míra rizika

Počet ohrožených osob

200 až 400

více než 3 osoby

70 až 200

více než 10 osob "

20 až 70

více než 15 osob

méně než 20

více než 20 osob

Pokud by míra rizika přesáhla hodnotu 400, není stanoven konkrétní počet osob, jelikož v tomto případě je nutné ukončit veškerou činnost a bezodkladně řešit riziko. (Neugebauer, 2018)

7.3 Metoda JBM na posouzení rizik při práci 3D tiskárny na kov

Byl vytvořen kontrolní seznam neboli checklist, kde byly sestaveny otázky s pracovníkem a proškoleným uživatelem 3D tiskárny na kov, na něž bylo možno odpovědět ANO/NE. Checklist pomohl k identifikaci potencionálních rizik na nejmenovaném pracovišti s 3D tiskárnou na kov – viz Obrázek 16.

Č.	Otázka	ANO	NE
1.	Jsou pracovníci proškoleni BOZP?	ANO	
2.	Je školení obsluhvatelů 3D tiskárny na kov pravidelné?	ANO	
3.	Používají pracovníci doporučené OOPP v místnosti s 3D tiskárnou na kov?	ANO	
4.	Je v místnosti s 3D tiskárnou na kov únikový východ?	ANO	
5.	Je možné mít v dané místnosti jiné zařízení stejného typu?	ANO	
6.	Je možné mít v místnosti stroj na tisk plastu?	ANO	
7.	Je zabezpečené uschování a třídění prášku?	ANO	
8.	Je laserové záření škodlivé okolí?		NE
9.	Jsou snímače inertního plynu ve správné pozici? A řádně kalibrovány?	ANO	
10.	Mají pracovníci antistatickou obuv?		NE
11.	Je signalizové, že jede odtah argonu?		NE
12.	Je možné výtisk vytáhnout hned po tisku?		NE
13.	Mají obsluhvatelé stroje předepsanou pracovní obuv s pevnou špicí?		NE
14.	Je snadno vyjimatelný zásobník na použitý prášek?		NE
15.	Může se prášek během přesívání vysypat?	ANO	
16.	Čistí se těsnění po tisku?	ANO	
17.	Může vzplanout filtr během výměny?	ANO	
17.	Spustí se stroj, když obsluhující osoba nezavře nějaký ventil?		NE
18.	Může obsluha stroje použít obyčejné rukavice?		NE
19.	Je vhodné osvětlení v místnosti se strojem?	ANO	
20.	Vydává stroj tepelnou energii?	ANO	
21.	Indikuje celoobličejová maska stav baterie?	ANO	
22.	Je celoobličejová maska přetlaková?	ANO	
23.	Je pouze jedna celoobličejová maska dostačující?		NE
23.	Je stroj vhodně umístěn?		NE
24.	Je indikována hladina vody ve vysavači?	ANO	
25.	Je v místnosti s 3D tiskárnou hasičský přístroj?		NE
26.	Je indikováno, že stroj je v provozu?	ANO	
27.	Je možné v průběhu procesu tisku stroj zastavit v případě nějakého problému?	ANO	
28.	Je místnost s 3D tiskárnou zabezpečena proti vstupu neoprávněným osobám?		NE
29.	Je možné vysypat zbytkový odpadní prášek do komunálního odpadu?		NE
30.	Je v místnosti s 3D tiskárnou poplachový systém?	ANO	
31.	Je zabezpečen přístup k laserovým zdrojům při tisku?	ANO	
32.	Je tiskárna v hlučném prostředí?	ANO	
33.	Je používání OOPP kontrolováno?		NE

Obrázek 16 - Checklist. (vlastní)

Výsledky

Hned na začátku byla zmíněna jedna z nejdůležitějších otázek, a to zda jsou uživatelé 3D tiskárny na kov dostatečně proškoleni. Odpověď byla kladná. Jelikož proběhlo pořízení tohoto stroje v minulém roce, došlo ke vstupnímu školení při koupi, a další by mělo probíhat v tomto roce jako každoroční proškolení. Školení musí být pravidelné minimálně jednou za rok, i z důvodu zájmu využívání 3D tiskárny na kov dalších zaměstnanců nejmenované firmy.

Dále bylo v seznamu odsouhlaseno, že obsluhovatelé tiskárny používají OOPP, díky kterým chrání sebe i okolí. Díky checklistu bylo zjištěno, že z místnosti, kde se stroj nachází vede únikový východ.

V místnosti s 3D tiskárnou na kov se nachází i další druhy 3D tiskáren, kde probíhá tisk například z polymeru. Není sice zakázání, aby byla 3D tiskárna na kov i s dalšími 3D tiskárnami, ale z důvodu hrozícího nebezpečí a mnoha rizik, které vykazuje 3D tiskárna na kov, je vhodnější umístit tiskárnu do samostatné místnosti. Místnost není zabezpečena proti vstupu neoprávněným osobám, tedy dovnitř se dostane každý zaměstnanec.

Další otázka směřovala na kovový prášek, je-li zabezpečený při uschování a třídění. Je důležité mít kovový prášek celou dobu řádně uzavřen v barelu, aby se prachové částice nevířily v místnosti a barely by měly být popsány identifikačním názvem. V tomto případě je prášek v uzamčené skříni důkladně uzavřen a popsán.

V následující otázce, je-li laser nebezpečný pro okolí bylo odpovězeno - ne. Laser sám o sobě je velmi nebezpečný, ale u 3D tiskárny na kov je uživatel v bezpečí, díky ochranné folii, která je na dvířkách vstupní komory. Obsluha musí dbát zvýšené opatrnosti, aby při čištění dvířek nedošlo k jejich poškození. Při procesu tisku jsou dvířka zamknutá, tedy je zabezpečen přístup k laseru.

Poloha snímače inertního plynu, v tomto případě argonu, se nachází na správném místě. Jeden je situován u země, aby se plyn identifikoval v případě vypuštění do ovzduší co nejdříve. V případě poruchy tohoto snímače se v místnosti vyskytuje ještě jeden snímač inertního plynu. Ten se nachází o něco výše a obsahuje i zvukovou signalizaci při uniknutí inertního plynu.

Odtah argonu musí spustit osoba, která provádí tisk na 3D tiskárně na kov manuálně, tedy pokud to neudělá, začne unikat argon do vzduchu. Zapnutí či vypnutí odtahu není nějak

signalizováno, ale při unikání plynu do ovzduší se aktivují snímače inertního plynu. Další riziko uniknutí argonu do ovzduší je špatné vyčistění těsnění po procesu tisku.

Pracovníci, kteří obsluhují tiskárnu nemají předepsané antistatické boty, protože se v místnosti nachází antistatická podlaha.

Výtisk není možné hned po procesu vytáhnout, dosahuje totiž teploty 100 stupňů Celsia. Je potřeba počkat, až zchladne na 50 stupňů Celsia. Jakou teplotu má výtisk se dá zjistit na displeji tiskárny.

Zásobník na prášek je velmi těžko přístupný a váhově těžký, proto je zde riziko poranění či vysypání. Pracovníci nemají předepsanou ani pracovní pevnou obuv, která by je chránila před poraněním od zásobníku.

Rizikové je i přesívání, jak jsme zjistili z checklistu, že je možné prášek vysypat, a tím kontaminovat celou místnost. Další riziko se vyskytuje při výměně filtru tiskárny, kde se mohou nacházet horké částičky, které v kontaktu s kyslíkem začnou hořet, a tím může vzniknout požár.

Bezpečnostní systém tiskárny nezapne stroj, dokud nejsou řádně uzavřena dvířka. V místnosti s 3D tiskárnou se nachází ideální denní světlo.

Je zakázáno používat obyčejné rukavice, přes které by kovový prášek prošel a kontaminoval tak ruku. V OOPP jsou přímo určené rukavice – nitrilové. Mezi další OOPP řadíme celoobličejovou masku, která zabrání kovovým částicím, aby se dostaly do plic uživatele stroje. Navíc je na ní bezpečnostně opatřen indikátor, který ukazuje procenta baterie. Používání OOPP není žádnou osobou kontrolováno, je to každého bezpečnostní povinnost dbát pokynům a tyto prostředky využívat, jinak zde hrozí velké riziko pracovního úrazu.

Z důvodu vydávání tepelné energie ze stroje, je důležité mít místnost klimatizovanou, což v tomhle případě je splněno. V místnosti není umístěn žádný hasící přístroj. Nachází se zde pouze poplachový systém.

Při vysávání prášku u čerstvého výtisku je důležité hlídat indikátor hladiny vody na vysavači, kde je ukázáno množství vody měrkou.

Zbytkový odpadní prášek se nesmí vyhazovat do směsného odpadu, ale musí být důkladně uzavřen do barelu a následně poslán na ekologickou likvidaci.

Dále byly vypracovány tabulky metody JBM – viz Tabulka 3, Tabulka 4, Tabulka 5, Tabulka 6, ve kterých byla vyhledána míra rizika a navrženo opatření.

Tabulka 3- Metoda JBM 1/4. (vlastní)

Pracoviště: 3D printer room	Nebezpečný činitel (stroj, zařízení, objekt, pracov. prostor, činnosti, zvíře, člověk)	Zdroj rizika (vlastnost nebezpečného činitele)	Nejhorší předpokládaný následek působení zdroje rizika	Poř. číslo rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika					Vyhodnocení míry rizika	Navržené bezpečnostní opatření k omezení působení rizika, případně k odstranění rizika	Datum splnění opatření
					Pravděpo-dobnost	Expozice rizika	Ochranná reakce	Následek rizika	Míra rizika			
člověk	špatně provedená údržba		udušení, rakovina plic	1.	3,0	1,0	0,90	15,0	40,5	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	obsluhovačel tiskárny, který bude proškolený na údržbu, samolepky	
	nezkontrolování uzavření nádoby s práškem	2.	rakovina plic	6,0	2,0	0,85	7,0	71,4	značné riziko, potřeba řešení	určena jedna osoba na kontrolu, samolepky		
	nezkontrolování dvířek od komory tiskárny	3.	oslepnutí	0,5	1,0	0,95	7,0	7,3	přijatelné riziko	kontrola před spuštěním tisku		
	nezkontrolování detektor inertního plynu	4.	udušení	1,0	0,5	0,95	15,0	7,3	přijatelné riziko	kontrola detektoru inertního plynu před spuštěním tisku		
	nezapnutí odlahu argonu	5.	udušení	6,0	2,0	0,95	15,0	171,0	značné riziko, potřeba řešení	více detektorů, propojení zapnutí tiskárny společně s odlahem argonu		
	nezkontrolování baterie masky	6.	rakovina plic	6,0	2,0	0,90	7,0	75,6	značné riziko, potřeba řešení	kontrola před spuštěním tisku		
	nezapnutí detektoru částic	7.	rakovina plic	6,0	2,0	0,90	7,0	75,6	značné riziko, potřeba řešení	kontrola před spuštěním tisku		
	nedržení bezpečnostních pokynů - OOPP	8.	pracovní úraz, smrt	6	3	0,85	15	229,5	značné riziko, potřeba řešení	kontrola pracovníků, upozornění pracovníků		
	neproškolení obsluhy	9.	pracovní úraz, smrt	6,0	1,0	0,85	15,0	76,5	značné riziko, potřeba řešení	pravidelné školení		

Objekt: 3D tiskárna na kov

Tabulka 4 - Metoda JBM 2/4. (vlastní)

Nebezpečný činitel (stroj, zařízení, objekt, pracov. prostor, činnosti, zvře, člověk)		Zdroj rizika (vlastnost nebezpečného činitele)	Nejhorší předpokládaný následek působení zdroje rizika	Poř. číslo rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika					Vyhodnocení míry rizika	Navržené bezpečnostní opatření k omezení působení rizika, případně k odstranění rizika	Datum splnění opatření
					Pravděpo-dobnost	Expozice rizika	Ochranná reakce	Následek rizika	Míra rizika			
vysavač na kovový prášek		hořlavost - vzplanutí	popálení	10.	3,0	0,5	0,85	7,0	8,9	přijatelné riziko	nečistit vysavač hned po vysátí horlých kovových částic	
		propadnutí kalibrace	vzplanutí	11.	1,0	1,0	0,85	7,0	6,0	přijatelné riziko	pravidelná kontrola kalibrace	
		elektrostatická	elektrická rána	12.	1,0	0,5	0,85	3,0	1,3	přijatelné riziko	rukavice, antistatická obuv	
laser		únik kovového prášku	rakovina plic	13.	3,0	1,0	0,90	7,0	18,9	přijatelné riziko	použití OOPP - celoobličejovou masku, kontrola filtru vysavače, kontrola indikátoru vody	
		vysokoenergetické zařazení	popálení , oslepnutí	14.	0,5	0,5	0,85	7,0	1,5	přijatelné riziko	kontrola folie na dvířkách 3D tiskárny	

Objekt: 3D tiskárna na kov

Tabulka 5 - Metoda JBM 3/4. (vlastní)

Pracoviště: 3D printer room	Nebezpečný činiteľ (stroj, zařízení, objekt, pracov. prostor, činnosť, zvíře, člověk)	Zdroj rizika (vlastnost nebezpečného činitele)	Nejhorsí předpokládaný následek působení zdroje rizika	Poř. číslo rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika					Vyhodnocení míry rizika	Navržené bezpečnostní opatření k omezení působení rizika, případně k odstranění rizika	Datum splnění opatření
					Pravděpo-dobnost	Expozice rizika	Ochranná reakce	Následek rizika	Míra rizika			
3D tiskárna na kov	vysoká teplota prášku a výfisku	15.	popálení	6,0	3,0	0,85	7,0	107,1	značné riziko, potřeba řešení	dbát na OOPP, kontrola hotových výfisků až po sechládnutí		
	manipulační držák monitoru	16.	pracovní úraz	6,0	9,0	0,85	3,0	91,8	značné riziko, potřeba řešení	zvýšená pozornost, vracet monitor do původní polohy		
	koncové spínače	17.	pracovní úraz	3,0	6,0	0,85	3,0	45,9	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	zvýšená pozornost		
proces tisku	záření laseru	18.	oslepnutí	1,0	2,0	0,85	7,0	11,9	příjatelné riziko	kontrola fólie na dvířkách 3D tiskárny		
	únik argonu	19.	udušení	1,0	2,0	0,85	15,0	25,5	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	kontrola detektoru argonu, sledovat ho při tisku		
	hluk	20.	problém se sluchem	6,0	2,0	0,80	3,0	28,8	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	prothlukový sluchátka, špunty do uší		

Objekt: 3D tiskárna na kov

Tabulka 6 - Metoda JBM 4/4. (vlastní)

Nebezpečný činitel (stroj, zařízení, objekt, pracov. prostor, činnost, zvře, člověk)	Zdroj rizika (vlastnost nebezpečného činitele)	Nejhorší předpokládaný následek působení zdroje rizika	Poř. číslo rizika	Vyhodnocení závažnosti rizika					Vyhodnocení míry rizika	Navržené bezpečnostní opatření k omezení působení rizika, případně k odstranění rizika	Datum splnění opatření
				Pravděpo-dobnost	Expozice rizika	Ochranná reakce	Následek rizika	Míra rizika			
manipulace s výtisky	vyšoká teplota tisku	popálení	21.	6,0	3,0	0,85	3,0	45,9	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	počkat, až výtisk vychladne	
	ostré ořepky	pořezání	22.	6,0	3,0	0,85	3,0	45,9	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	dbát větší pozornosti, použít nitrilové rukavice	
	zbytkový prášek	rakovina plic	23.	3,0	2,0	0,85	7,0	35,7	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	mít neustále zapnut detektor vzduchových částic	
údržba	horké částice ve filtru	požár	24.	6,0	2,0	0,90	7,0	75,6	značné riziko, potřeba řešení	vyměnit filtr nejdřív den po procesu tisku	
	špatně dané těsnění v tiskárně	únik argonu - udušení	25.	3,0	1,0	0,90	15,0	40,5	riziko, potřeba zvýšené pozornosti	pravidelná kontrola před tiskem	
přesívání prášku	rozvíření velkého množství prášku do ovzduší	rakovina plic	26.	6,0	3,0	0,90	7,0	113,4	značné riziko, potřeba řešení	mít speciální místnost na přesívání	
	vniknutí na kůži rukou	kontaminace rukou	27.	3,0	2,0	0,85	3,0	15,3	příjeatelné riziko	použít nitrilové rukavice	

Objekt: 3D tiskárna na kov

V metodě na vyhledání míry rizika a následném navržení bezpečnostního opatření bylo zvoleno osm nebezpečných činitelů. Jako první se aplikoval jako nebezpečný činitel **člověk**, kterému byla přidělena hned několik rizik.

ČLOVĚK

Jako první riziko byla určena špatně provedená údržba, která může v nejhorším případě způsobit udušení či rakovinu plic. Pokud zodpovídající osoba, která vykonává tisk, neprovede před každým procesem tisku kontrolu údržby, může dojít například k úniku inertního plynu – argonu nebo kovového prášku do ovzduší. Je potřeba dbát zvýšené pozornosti. Bylo navrženo opatření, které by mohlo zabránit tomuto riziku, a to určit osobu, která by byla proškolená na údržbu daného stroje. K dalším opatřením můžeme zařadit i přidání bezpečnostních samolepek na stroj.

K dalším rizikům patří chybějící kontrola uzavřenosti nádoby s kovovým práškem, kdy špatné uzavření nádoby může způsobit únik prachových částic a ohrozit tak zdraví pracovníků. I v tomto případě lze snížit riziko pověřením osoby, která by zodpovídala za každodenní kontrolu uzavření barelu. Nebo by alespoň mohla být použita bezpečnostní samolepka, která by upozorňovala uživatele, aby barel vždy pečlivě zkontroloval.

Následující riziko bylo nalezeno v nedostatečné kontrole dvířek od komory tiskárny, přičemž by při procesu tisku mohlo dojít k oslepnutí z laserového záření. Ovšem toto riziko je přijatelné, protože systém nespustí tisk, dokud není vše řádně zavřené. Ale může se zde naskytnout riziko, že tento systém zkolabuje, proto je vždy důležité před tiskem vše pečlivě zkontrolovat.

Dále bylo zjištěno riziko v nezkontrolování detektoru inertního plynu, díky kterému obsluhující osoba pozná, že někudy uniká argon. Díky detektorům se jedná o přijatelné riziko, které je možno vyřešit pravidelnou kontrolou detektoru na inertní plyn před spuštěním tisku.

Následující riziko se týká opět inertního plynu – nezkontrolování odtahu argonu. V tomto případě může dojít k udušení obsluhující osoby. Riziko je označeno jako značné, které je potřeba řešit. Navrhnuté opatření bylo pořídit do místnosti více detektorů a propojit zapnutí tiskárny se zapnutím odtahu argonu.

Další riziko hrozí, pokud si obsluhující osoba nezkontroluje baterii na celoobličejové masce. Hrozí tak vybití masky během procesu tisku, a tím pádem může z nadýchaného

prášku vzniknout rakovina plic. Riziko je značné, tedy je ho potřeba řešit. Bylo navrženo opatření pravidelné kontroly stavu baterie před započítím tisku.

U nebezpečného činitele – člověka bylo nalezeno riziko nezapnutí detektoru částic neboli monitoru ovzduší. V tomto případě by hrozilo, že si uživatel nevšimne velkého množství kovových částic prachu ve vzduchu. Riziko je opět značné, a tím pádem je potřeba ho řešit takovým způsobem, že obsluhvatel musí před započítím tisku zkontrolovat, zda přístroj zapnul.

V případě, že osoba obsluhující stroj nedodrží bezpečnostní pokyny, jako například nevyužití OOPP, vystavuje se tak riziku úrazu na pracovišti nebo hrozící smrti. Ignorace OOPP bylo identifikováno jako nejzávažnější hrozící riziko. V tomto případě je potřeba důrazné upozornění pracovníků, jaká rizika jim hrozí, popřípadě pracovníky pravidelně kontrolovat.

Jako poslední riziko bylo nalezeno nedostatečné proškolení obsluhy stroje, které může způsobit jak pracovní úraz, tak i smrt. Jedná se o značné riziko, které je potřeba řešit pomocí pravidelného školení.

VYSAVAČ NA KOVOVÝ PRÁŠEK

Jako následující nebezpečný činitel byl nalezen **vysavač na kovový prášek**. Do prvního rizika spadá vzplanutí kovového prášku při čišťení filtru. V tomto případě může dojít k popálení, ovšem toto riziko bylo vyhodnoceno jako přijatelné. Je důležité dodržovat bezpečnostní opatření vychladnutí vysavače. Pokud by byl filtr čištěn ihned po vysátí, horké kovové částice by vzplanuly při kontaktu s kyslíkem.

Pokud by došlo k propadnutí kalibrace, hrozí zde riziko vzplanutí. Je to ovšem přijatelné riziko, které je možné řešit navržením opatření. Jako navržené bezpečnostní opatření bylo určena pravidelná kontrola kalibrace.

K dalším rizikům patří elektrostatika. Je zde riziko zásahu elektrickým nábojem, ale bylo vyhodnoceno jako přijatelné. K eliminaci tohoto rizika je již vybudována antistatická podlaha, přičemž bylo navrženo přidat k OOPP i antistatickou obuv.

Poslední riziko bylo nalezeno v uniknutí kovového prášku, který může způsobit rakovinu plic, pokud není použita celoobličejová maska. Riziko bylo vyhodnoceno jako přijatelné z důvodu nařízení používání OOPP – celoobličejové masky po celou dobu procesu. K návrhu opatření bylo určena pravidelná kontrola filtru vysavače a indikátoru vody.

LASER

Jako další nebezpečný činitel byl určen **laser**. Bylo zde nalezeno jedno riziko, a to vysokoenergetické záření, které proudí z laseru. Může způsobit jak popálení, tak i oslepnutí. Riziko bylo vyhodnoceno jako přijatelné a bylo navrženo bezpečnostní opatření – kontrola ochranné fólie na dvířkách tiskárny.

3D TISKÁRNA NA KOV

Jako následující nebezpečný činitel byla určena **3D tiskárna kov**. V tomto činiteli bylo nalezeno riziko například vysoké teploty prášku a výtisku, kdy může dojít k popálení obsluhující osoby. Riziko bylo vyhodnoceno jako značné, tedy je zde potřeba řešení. V návrhové části bylo doporučeno dbát na OOPP, především na používání nitrilových rukavic při vyjímání výtisku a sledování teploty na displeji stroje, zda je výtisk dostatečně vychladlý.

K dalším rizikům lze zařadit manipulativní držák monitoru, při kterém hrozí pracovní úraz. Riziko bylo vyhodnoceno jako značné, a je potřeba ho řešit. Jako bezpečnostní opatření byla navržena zvýšená pozornost a vracení držáku na monitor do původních poloh, tedy svisle se strojem, aby nebyl způsoben úraz z nedbalostí.

Jako následující riziko na 3D tiskárně kovu byly určeny koncové spínače, které mohou způsobit úraz rukou. Riziko bylo vyhodnoceno jako riziko zvýšené pozornosti a je potřeba ho řešit pouze zvýšenou opatrností.

PROCES TISKU

Nebezpečný činitel – **proces tisku**. V tomto případě bylo nalezeno riziko záření laseru přes poškozenou ochrannou folii, které může mít dopad na zrak až na oslepnutí. Riziko bylo identifikováno jako přijatelné a bylo navrženo opatření zvýšené kontroly folie na dvířkách od 3D tiskárny.

Následující riziko bylo nalezeno u úniku argonu, což může způsobit až udušení, pokud detektor inertního plynu neupozorní na jeho výskyt v ovzduší. Riziko bylo identifikováno k zvýšené pozornosti a jako opatření bylo navrženo zvýšení pozornosti.

MANIPULACE S VÝTISKY

Do dalšího nebezpečného činitele byla zahrnuta **manipulace s výtisky**. První riziko bylo nalezeno ve vysoké teplotě tisku, která může způsobit popálení na kůži. Míra rizika byla vyhodnocena jako potřeba zvýšené pozornosti. Jako bezpečnostní opatření bylo navrženo

zvýšit pozornost a kontrolovat na displeji tiskárny teplotu, dokud teplota výtisku neklesne alespoň na 50 stupňů Celsia. Poté je možno výtisk odejmout z tiskárny pod podmínkou, že má uživatel stroje nitrilové rukavice.

Následuje riziko ostrých otřepů, o které se může uživatel tiskárny pořezat. Riziko bylo opět vyhodnoceno jako potřeba zvýšené pozornosti. Do opatření bylo zahrnuto dbání na větší pozornost při manipulaci s výtiskem a používání nitrilových rukavic.

Poslední vyhledané riziko se nachází ve zbytkovém prášku, která způsobuje rakovinu plic. U rizika je nutné zvýšit pozornost. Jako navržené opatření bylo dbát na zapnutí monitoru ovzduší, který hlídá, kolik je kovových částic ve vzduchu a popřípadě pořídit minimálně ještě jeden monitor na víc.

ÚDRŽBA

Údržba jako nebezpečný činitel, u kterého se vyskytla dvě rizika. Jako první bylo identifikováno riziko horkých částic ve filtru, které mohou způsobit požár. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že se jedná o značné riziko, které je nutné řešit. Proto bylo navrženo jako opatření hlídat si teplotu vysavače a filtr měnit minimálně den po tisku, aby se horké částice kovového zbytkového prášku nevznítily. Neboť horké částice prášku při kontaktu s kyslíkem mají tendenci vzplanout, proto je při tisku využíván inertní plyn, který tomu zabráni vzhledem k jeho nepodléhajícím chemickým reakcím.

Další riziko bylo nalezeno v případě špatně daného těsnění v tiskárně, přes které by mohl ucházet inertní plyn. Riziko identifikujeme jako potřebné na zvýšenou pozornost. U návrhu opatření byla zvolena pravidelná kontrola před spuštěním tisku společně s kontrolou detektorů inertních plynů.

PŘESÍVÁNÍ PRÁŠKU

Do posledního nebezpečného činitele bylo zařazeno **přesívání prášku**, u kterého byly nalezeny dvě rizika. Jako první hrozilo rozvíření velkého množství, které způsobuje rakovinu plic. Díky tomu bylo riziko označené jako značné, které je potřeba řešit. Řešením může být speciální místnost, kde by se prášek přesíval, a tím se nekontaminovala místnost s tiskárnou. Jako poslední riziko u přesívání hrozí kontaminace kůže na ruku. Riziko je sice přijatelné, ale je nutné dodržovat používání nitrilových rukavic.

8 MINIMALIZACE RIZIK PŘI PRÁCI S 3D TISKÁRNOU NA KOV

Na závěr bylo doporučeno několik opatření, jež by mohly omezit negativní působení identifikovaných a vyhodnocených rizik. Nelze předpokládat, že fungující pracovní postup, na který jsou pracovníci řádně proškoleni bude trpět velkým množstvím chyb. Nejmenovaná firma má pevně zvládnuté BOZP v této oblasti, stejně tak je ale pořád co zlepšovat, jelikož je to nepřetržitý proces, který má za cíl ochranu zdraví pracovníků. Je proto velmi důležité procházet pravidelné školení a pečlivě dodržovat instrukce a bezpečnostní pokyny, které jsou vypracovány od výrobce stroje. Nelze zapomenout i na kontrolu obsluhovatelů stroje, jestliže využívají patřičné OOPP a zda pravidelně kontrolují stav opotřebení OOPP.

8.1 Návrh opatření pro zvýšení bezpečnosti při 3D tisku na kov

Tato kapitola bude zaměřena na návrhy opatření pro zvýšení bezpečnosti při procesu tisku z kovového prášku. Současný stav byl konzultován a budován s dodavatelem stroje a splňuje veškeré požadované podmínky dodavatele.

Jako první navrhované zlepšení bylo zvolena **separace stroje do vlastní místnosti (buňky)** – viz Obrázek 17, která zajistí, že se prášek nebude šířit a kontaminovat ostatní stroje v místnosti. Tato buňka může být vybudována v rámci stávajícího umístění stroje. V rámci stavby buňky je navrhován zabezpečený vstup pouze pro zaměstnance s oprávněním. Z důvodu kvalitní vzduchotechniky a klimatizace v místnosti by nebylo třeba vytvářet separátní okruh pro danou buňku. Buňka by byla sestavena z unifikovaných stavebních prvků.

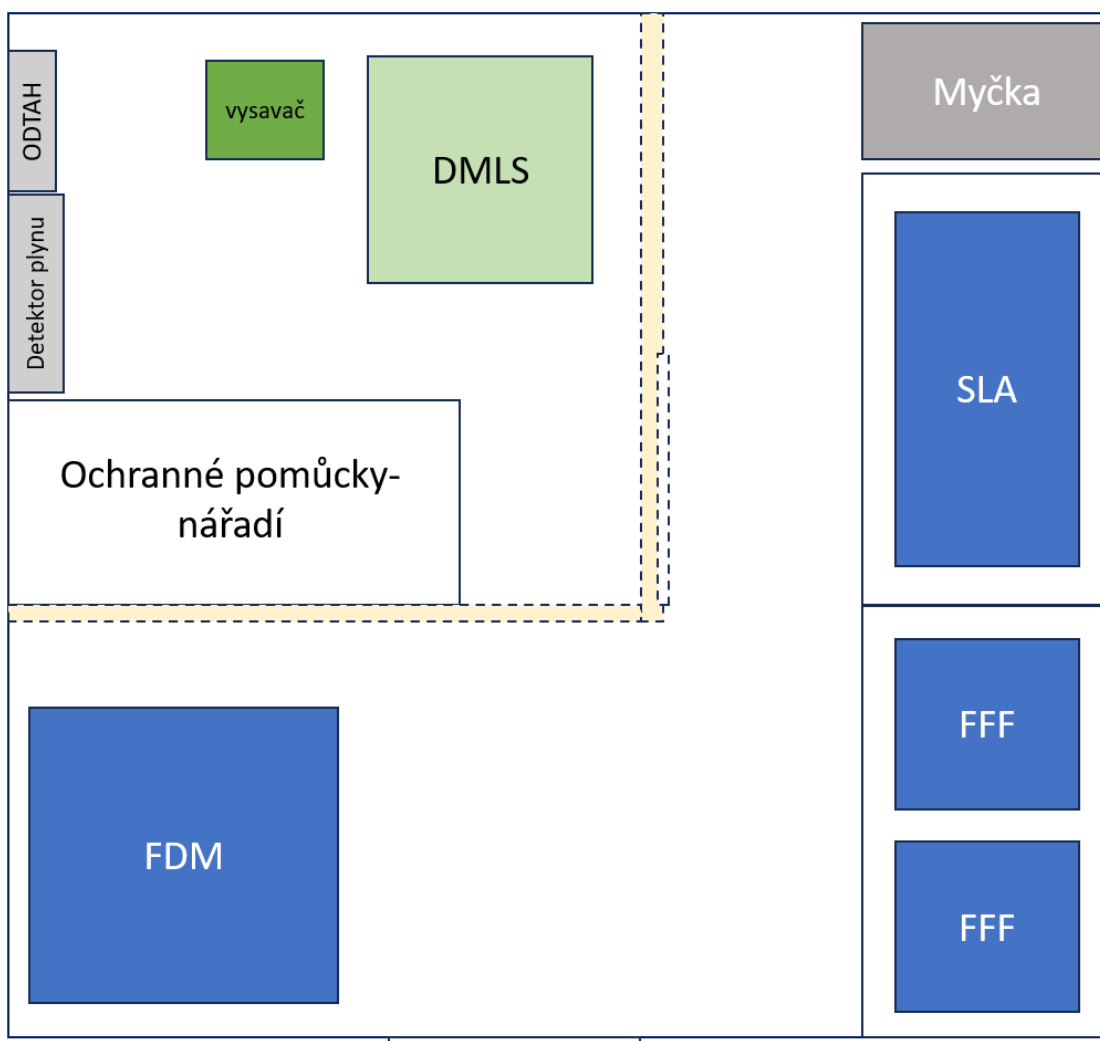
V dalším krou je navrženo **komunikační rozhraní mezi odtahovým systémem inertního plynu a tiskárnou**. Toto komunikační rozhraní by mělo zajišťovat automatické spuštění odtahu v době, kdy je inertní plyn aktivován, aby nedošlo k možnému úniku do místnosti.

Navrhované opatření **více masek** je relevantní pro současné umístění tiskárny, kde je možné se nacházet v inkriminovanou dobu u tiskárny ve více lidech. V případě buňky může být zajištěn vstup pouze jedné osoby, a tudíž není potřeba více masek. V současné době je možné provádět úkony údržby a post processingu ve více lidech, a proto by měl být počet masek navýšen.

Určením zodpovědné osoby se docílí kvalifikovanější a odbornější práce s tiskárnou. Dále se sníží riziko vzniku chyb při údržbě a manipulaci s tiskárnou, když s ní nebude

manipulovat více osob, u kterých je riziko neodborného přístupu. Osoba by měla porozumět fungování stroje z pohledu technologického, i bezpečnostního. Dále by měla zodpovědná osoba absolvovat veškeré školení s praktickou ukázkou. Úkolem osoby by měla být kontrola OOPP, dobrého technického stavu zařízení, skladu materiálu, manipulace s materiálem (jak novým, tak použitým), zajištěním likvidace odpadu a hlídat správu náhradních dílů.

Dále je doporučeno umístění **hasícího přístroje** do místnosti k 3D tiskárny na kov, který jednoduchým a rychlým způsobem pomůže minimalizovat škody při vzniku požáru. Hasící přístroj nesmí mít hasební látku vodu, kterou je zakázáno hasit spotřebiče pod napětím a kovové horké částice. Po diskusi s odborníkem přes požární bezpečnost se doporučilo pořízení minimálně jednoho práškového hasičského přístroje.



Obrázek 17 - Současné uspořádání místnosti s navrhovanou buňkou. (vlastní)

ZÁVĚR

Tato práce mi dala vhled do problematiky 3D tisku v mezinárodní korporátní firmě a rozšířila mé znalosti o praktické využití BOZP. V teoretické části bakalářské práce byla zpracována témata problematiky 3D tisku, bezpečnosti v oblasti 3D tisku, 3D tisk na kov a zaměření na rizikologii.

V praktické části byl popsán konkrétní proces 3D tisku kovu DMLS a BOZP ve firmě XY.

Následně byla identifikována rizika v daném výrobním procesu na základě fyzického pozorování, studia manuálu a norem ISO, společně s odborníky v dané oblasti.

Z metody analýzy rizik JBM vyšlo 27 rizik, z něhož bylo 9 středně závažných. Vážné riziko bylo odhaleno 1, a to nedodržení bezpečnostních pokynů pracovníka společně s nevyužitím OOPP. Navrhnuté opatření bylo zvýšit kontrolu pracovníků a zvolit systémové řešení zahrnující zodpovědnost za zařízení a práci sním danému technologovi. Mezi středně závažné riziko byla detekována možnost spuštění stroje bez odtahu inertního plynu, což způsobuje bezpečnostní riziko zdraví osob v dané místnosti. V návrhové části zmírnění rizika byla zvolena komunikace mezi řízením stroje a ovládaní odtahu. Jako další střední riziko bylo nalezeno v oblasti post processingu při zpracování použitého prášku z tisku. U manuálního přesívání prášku hrozí rozvíření velkého množství prachových částic do ovzduší, které mohou způsobit rakovinu plic. Bylo navrženo provádění úkonů v separátní místnosti nebo využití strojního přesívání zbytkového prášku. Následující 4 středně závažná rizika jako správné uzavření nádoby s práškem, stav baterie v celoobličejové masce, neaktivní detektor částic a poloha stavitelného držáku s monitorem mají společně navržené opatření ve formě fyzické kontroly zodpovědné osoby. V neposlední řadě bylo identifikováno středně závažné riziko v neproškolení obsluhy, které by mohlo mít dopad na pracovní úraz. Z tohoto důvodu je nutné provádět pravidelné školení. Následující středně závažné riziko bylo identifikováno ve vysoké teplotě prášku a výtisku po ukončení tisku, což může způsobit popáleniny při vyjímání výtisku ze stavební komory. Navrhované zmírnění rizika bylo dodržení OOPP a vyjímání výtisk až po zchladnutí. Teplota je zobrazována na displeji stroje. Jako poslední střední riziko bylo identifikováno riziko vzniku požáru po vyjmutí papírového filtru během údržby. Jako řešení zmírnění rizika bylo doporučeno měnit filtr minimálně den po procesu tisku a mít připravenou nádobu s vodou, do které je filtr po vyjmutí preventivně vložen. Zbývá rizika nevykazují dle metody JBM vysokou hodnotu nebezpečí.

Závěrem je firmě XY doporučeno vytvořit separátní buňku pro tiskárnu bez nutnosti stěhování tiskárny ze současné pozice včetně veškerých potřebných pomocných zařízení. Dále zvolit jednu zodpovědnou osobu, která bude mít na starosti údržbu a správu náhradních dílů a pomůcek. Dále bude zodpovědná za nastavení stroje včetně přívodu a odvodu inertního plynu. Bylo doporučeno vyhradit vstup do místnosti s tiskárnami pouze proškoleným osobám. Jako poslední doporučení bylo zvoleno přidání hasicího přístroje k blízkosti tiskárny a rozšíření OOPP, zejména znásobení celoobličejových masek.

Tato opatření byla předána facility managerovi ve firmě XY ke zhodnocení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

3D tisk jídla. In: Prodejny.kaufland.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://prodejny.kaufland.cz/online-magazin/radost-z-vareni/tiskarna-jidla.html>

3D tisk v automobilovém průmyslu, 2022. In: Motofocus.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/jine-info-zajimavosti/77360,3d-tisk-v-automobilovem-prumyslus>

3D tisk v leteckém průmyslu. In: For3dtisk.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://for3dtisk.cz/3d-tisk-v-leteckem-prumyslu-blog/>

3D tisk ve zdravotnictví: převratná technologie přesahující rozšířenou a virtuální realitu, 2023. In: Www.fnbrno.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.fnbrno.cz/3d-tisk-ve-zdravotnictvi-prevratna-technologie-presahujici-rozsirenou-a-virtualni-realitu/t7756>

BULAN, Petr, 2020. Různorodé přístupy k využití 3D tisku v praxi [online]. Praha [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/l0tckc/>. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Vedoucí práce Jan Bubeníček.

Co je BOZP? Definice, cíle, legislativa a principy, 2015. In: Www.bozp.cz [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/aktuality/co-je-bozp/>

Encyklopedie plastů: polypropylen (pp), 2019. In: Www.samosebou.cz [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/10/25/encyklopedie-plastu-polypropylen-pp/>

FANTA, Michal, 2020. Magazín o architektuře: Základy 3D tisku. In: Www.earch.cz [online]. [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.earch.cz/technologie/clanek/zaklady-3d-tisku>

FEY, Marco. *3D Printing and International Security*. Frankfurt am Main: Peace Research Institute Frankfurt. 2017. ISBN 978-3-946459-17-0.

FFF/FDM technologie. In: Www.materialpro3d.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/fff-fdm-technologie/>

FILKOVÁ, Nicole, 2019. Identifikace, analýza a hodnocení rizik spojených s implementací technologie 3D tisku do výrobních procesů [online]. Brno [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/Gu7ke>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Barbora Schüllerová.

HŘAVA, Jan, 2015. 3D tisk a jeho využití v technickém vzdělávání [online]. České Budějovice [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.petrpexa.cz/diplomky/hrava.pdf>. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českém Budějovicích. Vedoucí práce Petr Pexa

CHASE, Ruby J a Gerald LAPORTE. The Next Generation of Crime Tools and Challenges: 3D Printing. In: Nij.ojp.gov [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://nij.ojp.gov/topics/articles/next-generation-crime-tools-and-challenges-3d-printing#illicit-applications-of-3d-printing>

Klíčové termíny v 3D tisku a jejich význam: Slicer. In: 3dstisk.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://3dstisk.cz/klicove-termíny-v-3d-tisku-a-jejich-vyznam/>

KOLODŽEJOVÁ, Lucie, 2015. Problematika 3D tisku a jeho využití ve výuce na středních odborných školách. [online]. Brno [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/f7x8a/diplomova_prace_Lucie_Kolodzejova_363049.pdf. Diplomová práce. MASARYKOVA UNIVERZITA. Vedoucí práce Pavel Pecina.

LPBF [online]. In: . [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/o-projektu-3dtisk/>

NEUGEBAUER, Tomáš. *Vyhledání a vyhodnocení rizik v praxi*. 3. vydání. Praha: Wolters Kluwer. 2018. ISBN 978-80-7552-072-2.

PATRICK, Tara Romanella. Clemson University researchers to help advance 3D printing in partnership with U.S. Army Research Laboratory. In: News.clemson.edu [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://news.clemson.edu/clemson-university-researchers-to-help-advance-3d-printing-in-partnership-with-u-s-army-research-laboratory/>

Polyethylen – PE. In: Www.technicke-plasty-tribon.cz [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.technicke-plasty-tribon.cz/prodej-plastu/materialy-polotovaru/bezne-plasty/polyethylen>

Profesionální vysavače s certifikací do výbušného prostředí. In: Www.globaltek.cz [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.globaltek.cz/kategorie/vysavace-do-vybusneho-prostredi.html>

PRUŠA, Josef. Co je 3D tisk [online]. In: . [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>

První zmínky o 3D tisku, 2019. In: 3d-tiskni.cz [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.3d-tiskni.cz/84n-prvni-zminky-o-3d-tisku>

Řízení rizik organizace podle ISO 31000. In: Www.krucek.cz [online]. [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.krucek.cz/rizeni-rizik-organizace-s-vyuzitim-normy-iso-31000/>

Selective Laser Sintering (SLS). In: Www.one3d.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: https://www.one3d.cz/technologie/detail/selective-lasesr-sintering-sls/?_gl=1*_mugd4t*_up*MQ..&gclid=Cj0KCCQjwqdqvBhCPARIsANrmZhO7pS3wwkvI6XmkB9ZkKG2OcZTaViGiPFffSfyVNZuuvx-pO6D8fzcaAkbSEALw_wcB

SHAH RUBUDIN, Nurhalida; CHUAN, Lee Tee; RAMLAN, Rohaizan. *An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications*. Procedia Manufacturing. 2019. ISSN 2351-9789.

Uživatelská příručka: 3D tiskárna kovů XM200G, 2022. Revize A.

Využití 3D tisku v praxi. In: Www.nejlepsitonery.cz [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.nejlepsitonery.cz/blog/vyuziti-3d-tisku-v-praxi>

ZETKOVÁ, Ivana, 2017. Problematika výroby strojních kovových součástí 3D tiskem [online]. Plzeň [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/offvww/?isslhret=Problematika%3Bv%C3%BDroby%3B;zpet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3DProblematika%20v%C3%BDroby%20strojn%C3%ADch%20kovov%C3%BDch%20sou%C4%8D%C3%A1st%C3%AD%203D%20tiskem%26start%3D1>. Disertační práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce Jiří Česánek.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
4D	Čtyřrozměrný
ABS	Akrylonitributadienstyren
Apod.	A podobně
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CAD	Computer-aided design
Č.	Číslo
ČVUT	České vysoké učení technické
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
ISO	International Organization for Standardization
JBM	Jednoduchá bodová metoda
kN	Koeficient nebezpečnosti
LCD	Liquid Crystal Display
LPBF	Laser Powder Bed Fusion
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky
PC	Osobní počítač
PE	Polyethylen
PLA	Kyselina polyléčná
PP	Polypropylen
RM	Rapid manufacturing
RP	Rapid prototyping
RT	Rapid tooling
Sb.	Sbírka zákonů

SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
USA	Spojené státy americké
UV	Ultrafialové
μm	Mikrometry

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Postup při výrobě součástí aditivními technologiemi. (fs.cvut.cz).....	13
Obrázek 2 - Hlavní výhody a nevýhody aditivních technologií. (fs.cvut.cz)	14
Obrázek 3 - SLA UV záření s laserem, digitálním projektorem a.....	15
Obrázek 4 - Princip technologie SLA. (one3d.cz).....	15
Obrázek 5 - Princip technologie FDM. (fs.cvut.cz).....	16
Obrázek 6 - Princip technologie SLS. (one3d.cz)	17
Obrázek 7 - Princip SLS/DMLS technologie.	18
Obrázek 8 - Tisk pažní a stehenní kosti pomocí 3D tiskárny.	24
Obrázek 9 - ISO 31000. (advisera.com)	28
Obrázek 10 - Algoritmus 3D tisku kovu. (vlastní)	36
Obrázek 11 – 3D tiskárna na kov XM200G. (vlastní).....	37
Obrázek 12 - Detektor plynu. (vlastní)	38
Obrázek 13 - Vysavač s ATEX. (vlastní)	39
Obrázek 14 - Monitor ovzduší. (vlastní).....	39
Obrázek 15 – Celobličejevý respirátor. (vlastní).....	40
Obrázek 16 - Checklist. (vlastní)	45
Obrázek 17 - Současné uspořádání místnosti s navrhovanou buňkou. (vlastní)	57

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Okruhy aditivních technologií výroby (fs.cvut.cz).....	12
Tabulka 2 - Hodnocení rizik (Neugebauer, 2018)	30
Tabulka 3- Metoda JBM 1/4. (vlastní).....	48
Tabulka 4 - Metoda JBM 2/4. (vlastní).....	49
Tabulka 5 - Metoda JBM 3/4. (vlastní).....	50
Tabulka 6 - Metoda JBM 4/4. (vlastní).....	51