



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH KONSTRUKCE TISKOVÉ HLAVY PRO  
MULTIMATERIÁLOVÝ TISK**

DESIGN OF PRINTHEAD FOR MULTIMATERIAL PRINT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Adam Szendi**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Mikuláš Szabari**

**BRNO 2021**



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Adam Szendi</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Mikuláš Szabari</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh konstrukce tiskové hlavy pro multimateriálový tisk

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student navrhne konstrukci tiskové hlavy, která bude schopna tisknout dva a více různých materiálů bez potřeby vyprázdnění neaktivní trysky. Účelem konstrukce je zabránit únikům tiskové hmoty (filamentu) z trysky a tím zredukovat odpadový materiál.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti tiskových hlav.

Rozbor řešené problematiky.

Vytvoření nejméně dvou návrhových variant, jejich hodnocení a výběr vhodné varianty na základě multikriteriální analýzy.

Konstrukční návrh vybrané varianty.

Návrhové výpočty.

Výkresová dokumentace vybraných dílů a výkresu sestavy.

Ekonomické zhodnocení.

Závěr a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

NOORANI, Rafiq. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection. 1. CRC Press, 2018. ISBN 9781498783750. Dostupné z: doi:10.1201/9781315155494

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cieľom tejto bakalárskej práce je navrhnuť konštrukciu 3D tlačovej hlavy pre multimateriálovú tlač tak, aby bol zabránený únik filamentu z neaktívnej trysky a tým zredukovaný odpadový materiál. Prvá časť práce popisuje jednotlivé komerčne dostupné viacmateriálové tlačové hlavy. Druhá časť sa zaoberá návrhom konštrukčných variantov a následným výberom vhodného variantu podľa multikriteriálnej analýzy. Ďalej nasleduje tvorba 3D modelov a výkresovej dokumentácie.

## **ABSTRACT**

The subject of this bachelor thesis is to design a 3D printhead for multimaterial printing, so as to prevent leakage of filament from the inactive nozzle and thus reduce waste material. The first part describes multi-material printheads that are available on the market. The second part deals with the design of variants and the subsequent selection of a suitable variant according to multicriterial analysis. Then follows the creation of 3D models and drawing documentation.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

viacmateriálová tlačová hlava, 3D tlač, FDM, maltézsky mechanizmus

## **KEYWORDS**

multimaterial printhead, 3D printing, FDM, geneva mechanism



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

SZENDI, Adam. *Návrh konstrukce tiskové hlavy pro multimateriálový tisk*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132549>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Mikuláš Szabari.





## **POĎAKOVANIE**

Rád by som sa poďakoval svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Mikulášovi Szabarimu za cenné rady, pomoc a odborné vedenie tejto práce a taktiež mojej rodine a blízkym, ktorí ma podporovali počas celého štúdia.



## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Mikuláša Szabariho a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 21.5.2021

.....

Szendi Adam



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>SÚČASNÝ STAV POZNANIA</b> .....	<b>17</b>
2.1	Popis postupu 3D tlače .....	18
2.2	Technológia multimateriálovej tlače .....	19
2.2.1	Technológia FFF.....	19
2.2.2	Stereolitografia .....	19
2.2.3	PolyJet .....	20
<b>3</b>	<b>TECHNOLÓGIA FFF</b> .....	<b>21</b>
3.1	Princíp technológie .....	21
3.2	Tlačová hlava.....	21
3.2.1	Chladiaca zóna.....	22
3.2.2	Prechodová zóna.....	22
3.2.3	Taviaca zóna .....	23
3.3	Prehľad možných typov tlačových hláv pre viacmateriálovú tlač.....	24
3.3.1	E3D Chimera .....	24
3.3.2	E3D Cyclops.....	25
3.3.3	E3D Toolchanger.....	25
3.3.4	Prusa MMU2S .....	26
3.3.5	Makertech: Dual switching extruder .....	26
3.3.6	Porovnanie tlačových hláv.....	27
3.4	Tlačové materiály .....	28
3.4.1	PLA.....	28
3.4.2	ABS .....	28
3.4.3	PETG .....	29
3.4.4	Elastické materiály.....	29
3.4.5	Podporné materiály.....	29
3.4.6	Porovnanie vybraných tlačových materiálov.....	30
<b>4</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR</b> .....	<b>31</b>
4.1	Formulácia problému.....	31
4.2	Formulácia cieľov a riešení.....	31
4.3	Systém podstatných veličín .....	31
<b>5</b>	<b>NÁVRH VARIANTOV</b> .....	<b>33</b>
5.1	Variant A.....	33
5.1.1	Výhody a nevýhody variantu A.....	34
5.2	Variant B.....	34
5.2.1	Výhody a nevýhody variantu B.....	35
<b>6</b>	<b>MULTIKRITERIÁLNA ANALÝZA</b> .....	<b>36</b>
6.1	Bodovacia metóda.....	36
6.2	Stanovenie parametrov .....	36
6.3	Priradené váhy stanoveným parametrom.....	37
6.4	Hodnotenie variantu A.....	37
6.5	Hodnotenie variantu B.....	38
6.6	Výber vhodného variantu.....	38

<b>7</b>	<b>KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE .....</b>	<b>39</b>
7.1	Spôsob uchytienia tlačových hláv .....	39
7.2	Návrh bodu otáčania.....	40
7.3	Voľba polohovacieho mechanizmu.....	41
7.3.1	Voľba pohonu.....	41
7.3.2	Kinematika maltézskeho mechanizmu.....	41
7.3.3	Konštrukcia polohovacieho mechanizmu .....	43
7.4	Voľba ďalších prvkov tlačovej hlavy .....	44
7.4.1	Ventilátory.....	44
7.4.2	Koncový spínač osi Z.....	44
7.4.3	Lineárne vedenie vozíka X.....	45
7.4.4	Spôsob upchatia neaktívnej trysky .....	45
7.5	Využitie pracovného priestoru .....	46
<b>8</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE.....</b>	<b>47</b>
8.1	Vyrábané komponenty.....	47
8.2	Nakupované komponenty .....	48
8.3	Celková cena tlačovej hlavy .....	49
<b>9</b>	<b>ZÁVER.....</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....</b>	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK.....</b>	<b>57</b>
11.1	Zoznam skratiek a symbolov .....	57
11.2	Zoznam tabuliek .....	58
11.3	Zoznam obrázkov .....	58
<b>12</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>59</b>
12.1	Prílohy .....	59
12.2	Externé prílohy .....	59

# 1 ÚVOD

V dnešnej dobe sa aditívna výroba začínala hrať významnú rolu v priemysle, vďaka čomu pojem „3D tlač“ už poznajú aj tí, ktorí sa s touto technológiou predtým ešte nestretli. Ľudia objavili, že výroba prototypov využitím technológie 3D tlače ušetrí veľké množstvo peňazí. Ako každá oblasť priemyslu, tak aj 3D tlač prešla obrovským vývojom v posledných desaťročiach. Najväčšiu zmenu priniesli tlačiarne „RepRap“, ktoré poskytli vysokú precíziu tlače za ľacnú cenu. S týmto krokom sa 3D tlač pomaly dostala do domácnosti bežného človeka. Síce obecná 3D tlačiareň s jednou hlavou celkom dobre zvládne tlač hocijakej súčiastky, existuje situácia kedy z dôvodu zložitosti geometrie modelu je potrebné použiť aj podporný materiál. V tomto prípade sa dostaneme k technológii multimateriálovej tlače. Tlač viacerých materiálov naraz sa väčšinou realizuje pomocou dvoch alebo viac trysok resp. tlačových hláv. Výroba súčiastok pomocou podporného materiálu však nesie so sebou niekoľko problémov, na ktoré sa výrobcovia neustále snažia nájsť dokonalé riešenia. V poslednej dobe oveľa urýchlili vývoj internetové platformy, kde ľudia majú priestor pre zdieľanie vlastných modelov alebo myšlienok. Výhody tohto spôsobu zdieľania nápadov našli aj výrobcovia 3D tlačiarňí, a začali organizovať súťaže, kde ocenia najlepšie riešenie na danú problematiku.

Prvá časť tejto bakalárskej práce sa zaoberá rozborom technológie 3D tlače a rešeršom v oblasti multimateriálových tlačových hláv.

Druhá časť práce sa venuje návrhu konštrukčných variantov a ďalej výberu vhodného variantu podľa multikriteriálnej analýzy. Hlavné porovnávacie parametre sú stanovené a pomocou bodovacej metódy sú vypočítané celkové hodnotenia jednotlivých variantov.

Poslednou časťou je rozbor konštrukčného riešenia multimateriálovej tlačovej hlavy, kde je popísaná a odôvodnená voľba komponentov a návrh ďalších súčiastok. Následne na základe získaných rozmerov je vytvorený 3D model a výkresová dokumentácia. Na konci práce sa nachádza celkový finančný odhad navrhutej konštrukcie.



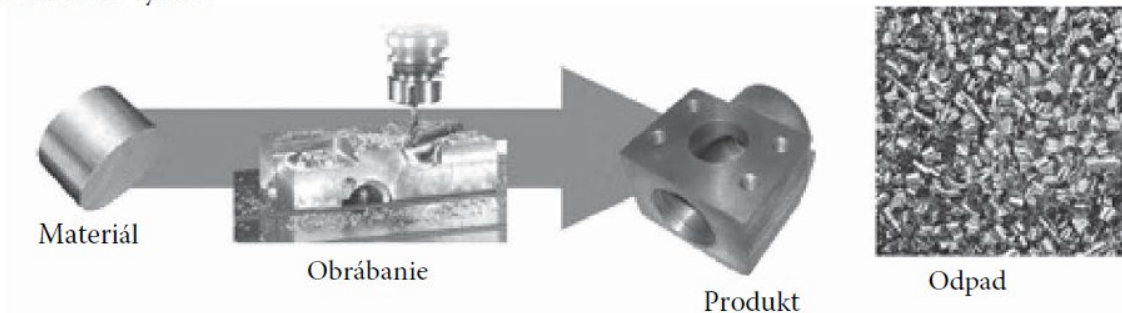


## 2 SÚČASNÝ STAV POZNANIA

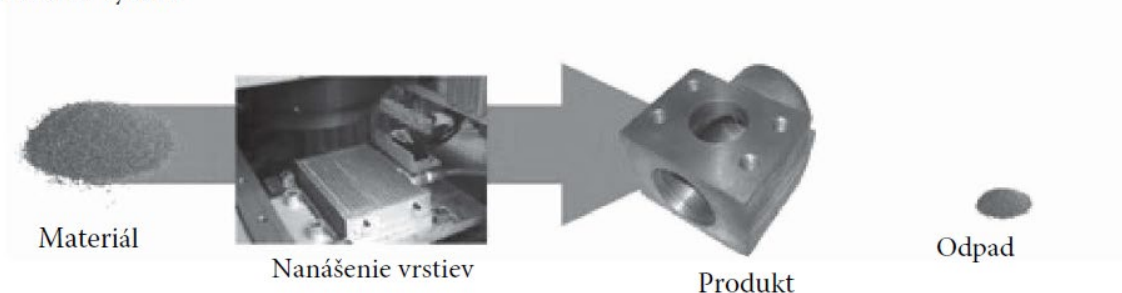
Aditívna výroba je formálnym termínom rapid prototypingu (RP), ktorá sa v ľudovej reči nazýva 3D tlač. RP sa používa v rôznych odvetviach priemyslu na rýchle vyhotovenie prototypu pred vydaním finálneho modelu. Inými slovami, dôraz je kladený na rýchle vyhotovenie základného produktu, z čoho budú odvodené ďalšie modely resp. konečný produkt. Základným princípom tejto technológie je priama výroba súčiastky a to už aj v kancelárii [1].

Na rozdiel od konvenčných (subtraktív) technológií, pri aditívnej výrobe vzniká oveľa menej odpadových materiálov. Ďalšou diferenciou medzi aditívnou a subtraktívnou výrobou je zložitosť modelu, ktorý je možné vyrobiť za určitý čas s danými technológiami. Keď sa bude vyrábať súčiastka so zložitou geometriou, typická konvenčná metóda ako napríklad trojosové CNC obrábanie nebude schopná vytvoriť všetky detaily a na výrobu tohto dielu bude potrebné použiť viacosový CNC stroj v spojení s inými špecializovanými zariadeniami. Už teraz je vidieť, že tento proces vyžaduje väčšie náklady a bude časovo náročnejší. Oproti tomu s technológiou 3D tlače je možné v relatívne krátkom čase vytvoriť tento diel so všetkými jeho detailmi pomocou jediného stroja. Samozrejme to funguje iba vtedy, keď situácia dovolí použiť materiály, ktoré sú dostupné aj pre 3D tlač [2].

- Konvenčná výroba



- Aditívna výroba



Obr. 1) Porovnanie výrobných technológií, upravené z [2]

## 2.1 Popis postupu 3D tlače

Proces 3D tlače v zásade využíva na výrobu fyzických dielov nasledujúcich päť základných krokov podľa zdroja [2]:

1. Vytvorenie CAD modelu
2. Premena CAD modelu do formátu STL
3. Krájanie súboru STL na vrstvy pomocou sliceru
4. Výroba dielu
5. Postprocessing

- **Vytvorenie CAD modelu**

Čo sa týka prvého kroku, vytvoriť 3D model na počítači už pomaly bude základnou znalosťou v živote. Na kreáciu žiadaného dielu si môžeme vybrať z viacerých programov, ako sú napríklad Autodesk Inventor, Solidworks, PTC Creo, atď. K väčšine týchto softwarov je možné získať prístup len s nákupom licencie. Našťastie už existujú aj freeware varianty, napríklad Autodesk Fusion360 alebo Tinkercad. Tieto programy sú určené predovšetkým pre parametrické modelovanie. Na modelovanie figúrok alebo iných foriem u ktorých nie je potrebné zadefinovať presné rozmery existujú programy Zbrush, Blender, Sculptris.

- **Premena CAD modelu do formátu STL**

Takmer každý CAD systém je schopný ukládať 3D model do súborového formátu STL. STL súbor popisuje vonkajšie povrchy pôvodného modelu pomocou trojuholníkov a vytvára základ pre výpočet rezanie vrstiev [2].

- **Krájanie súboru STL**

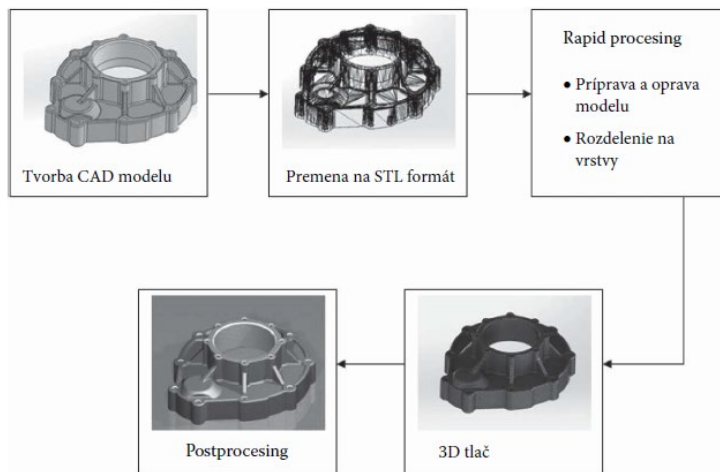
Pretože 3D tlačiarne nanášajú vrstvy filamentu, jednu na druhú, je potrebné rozdeliť model na jednotlivé rezy a vygenerovať cestu nástroja. Tieto informácie sa zahŕňajú do jedného súboru, ktorý sa nazýva gcode [3].

- **Vytlačenie dielu**

Jedná sa o automatizovaný proces a to znamená, že stroj môže pracovať bez kontinuálneho pozorovania. Je však doporučené aspoň v stanovených intervaloch skontrolovať, či nedošlo k nejakým chybám alebo poškodeniam. Také môžu byť napríklad odlepenie spodnej vrstvy z tlačovej podložky, výpadok elektriny alebo vyčerpanie tlačovej struny.

- **Postprocessing**

Posledným krokom je postprocessing. Cieľom tohto kroku je odstránenie prebytočných materiálov a vyčistenie dielu. Tento proces často vyžaduje špeciálne znalosti a skúsenosti, aby sa zabezpečilo, že sa diel nepoškodí. V opačnom prípade by mohlo dôjsť k poškodeniu výrobku a bude pravdepodobne potrebné ho znova vyrobiť.



Obr. 2) Schematické znázornenie jednotlivých krokov výroby, upravené z [2]

## 2.2 Technológia multimateriálovej tlače

Tlač predmetov pomocou niekoľkých materiálov naraz je kľúčovou schopnosťou v súčasnosti. Môže eliminovať potrebu montáže, znížiť potrebu postprocesingu (napr. zafarbenie) a môže podporiť efektívny dizajn multifunkčných objektov, nehovoriac o potenciálnych úsporách vo výrobnom čase a v nákladoch [4].

Pre výrobu komponentov z viacerých materiálov môžeme brať do úvahy najmenej tri rôzne metódy 3D tlače podľa zdroja [5]:

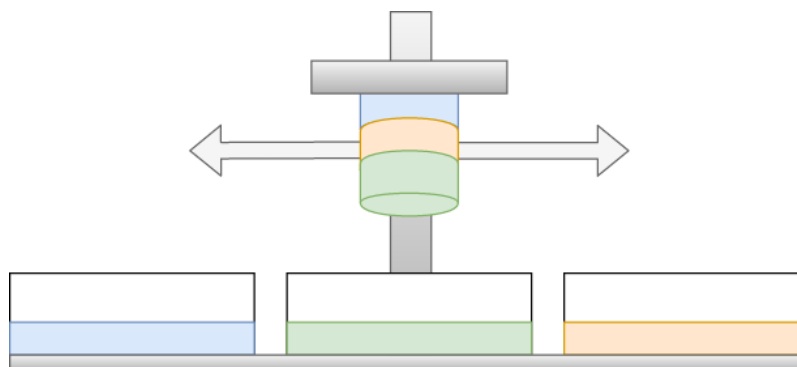
### 2.2.1 Technológia FFF

Vid' kapitola 3.

### 2.2.2 Stereolitografia

Väčšinou sa môžeme stretávať s označením SLA, čo je skratkou názvu technológie stereolitografie. Princípom tejto technológie je, že sa zameriava UV laser na vaňu naplnenú fotosenzitívnou živicom, a fotosenzitívne polyméry sa vďaka ultrafialovému svetlu vytvrdzujú, čím sa vrstvu po vrstve objavuje požadovaný model [6].

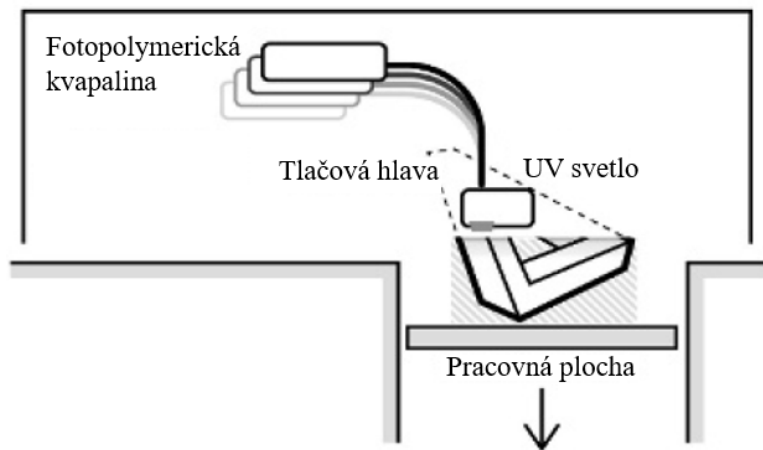
Výroba súčiastok sa uskutočňuje využitím viacerých nádržových systémov s rôznymi UV polymermi. Tieto systémy môžu poskytnúť vysoké rozlíšenie tlače, ale výmena materiálu výrazne spomalí proces. Nevýhodou ešte môže byť aj kontaminácia medzi nádržmi [7].



Obr. 3) Schematické znázornenie technológie SLA [8]

### 2.2.3 PolyJet

Tento spôsob 3D tlače pracuje na podobnom princípe ako atramentová tlačiareň. Namiesto ukladania atramentov na papier, tlačiareň PolyJet zanecháva kvapky fotopolymerických kvapalín, ktoré sa potom vytvrdzujú UV svetlom. Zatiaľ čo bežné papierové tlačiarne produkujú farebné pixely, PolyJet produkuje 3D jednotky materiálu, ktoré sa nazývajú voxely. Je to jedinečná technológia, lebo je možné používať širokú škálu materiálov, a to aj vo vzájomnej kombinácii, alebo dokonca s gradientovým efektom [9].



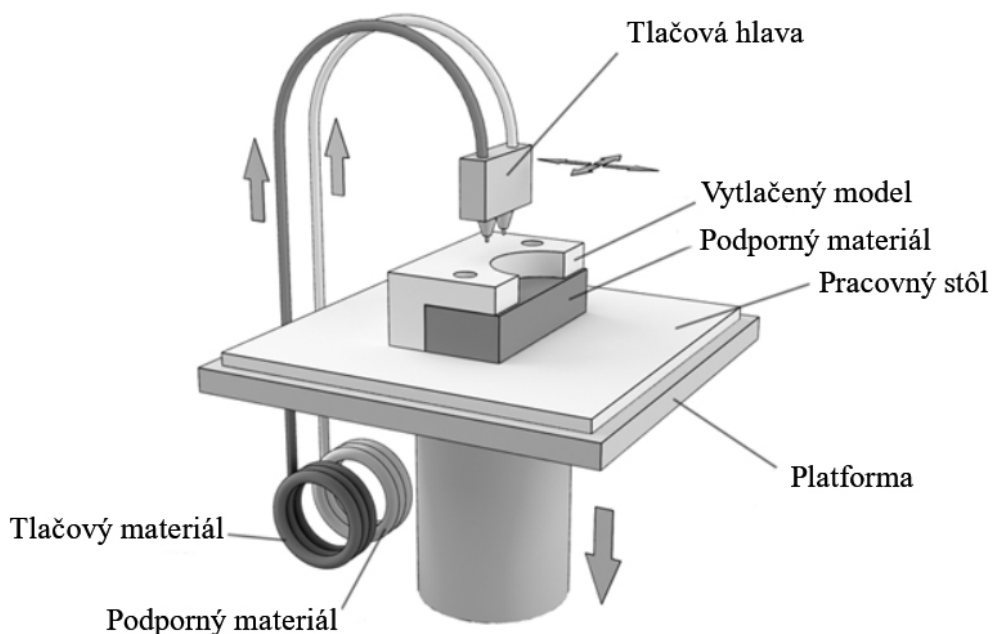
Obr. 4) Technológia PolyJet, upravené z [9]

## 3 TECHNOLOGIA FFF

Najrozšírenejšou metódou 3D tlače je Fused Filament Fabrication (FFF), iným názvom Fused Deposition Modeling (FDM). Názov FDM je chránený ochrannou známkou spoločnosťou Stratasys. Technologiu vyvinul v roku 1988 Scott Crump, zakladateľ spoločnosti Stratasys. Vďaka prijateľnej cene a jednoduchému mechanizmu sa stala najpopulárnejšou metódou 3D tlače [10] [11].

### 3.1 Princíp technológie

3D tlačiareň vytvára súčiastky zahrievaním termoplastického materiálu do polotekutého stavu a nanáša na pracovnú podložku. Akonáhle trysky dosiahnu požadovanú teplotu, krokový motor poháňa extrudér a tlačová struna začne posúvať do taviacej zóny. Potom sa tlačiareň začne pohybovať v rovine XY a roztavený materiál ukladá na požiadané miesto. Tam sa postupne ochladí, a zároveň stuhne. Keď je jedna vrstva hotová, tlačová hlava sa vzdiali v smeru osi Z a začne tlačiť druhú vrstvu. Keď 3D tlačiareň dokončí svoju prácu, používateľ vyberie vytlačený diel z pracovného priestoru. FDM používa na vykonanie viacmateriálovej tlačovej úlohy väčšinou dva materiály: modelovací materiál, ktorý predstavuje hotový kus, a podporný materiál, ktorý slúži ako suport. Namiesto podporného materiálu je možné vložiť strunu toho istého typu ako prvotný materiál, a takto realizovať viacfarebné diely [10] [12].

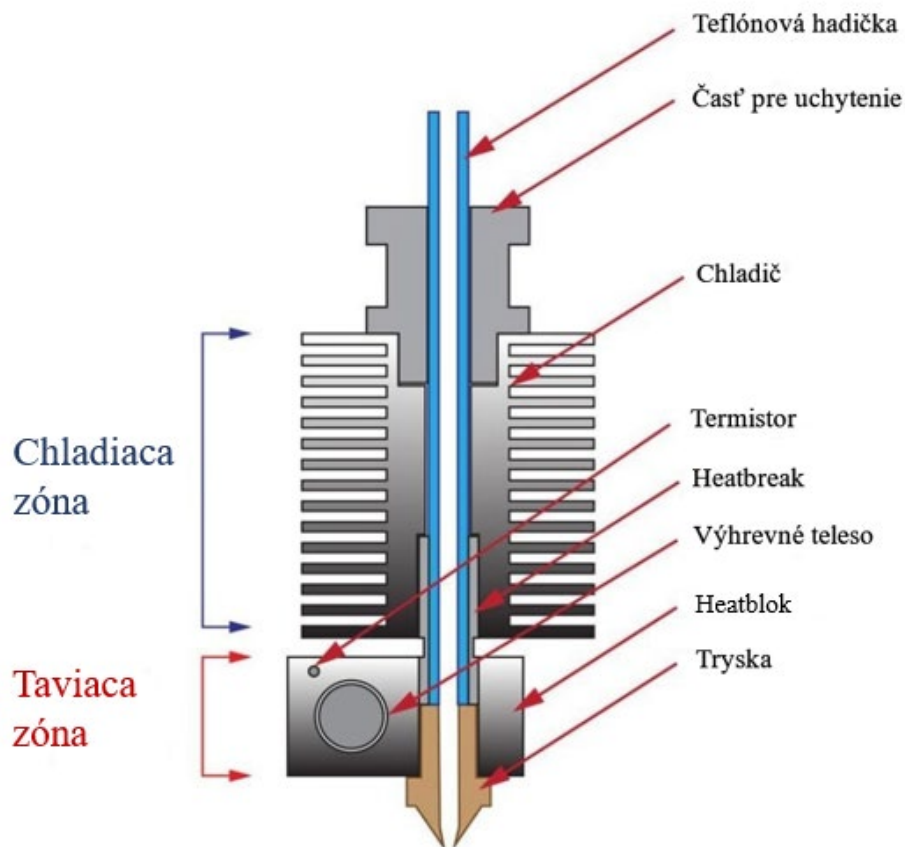


Obr. 5) Vytvorenie modelu pomocou FDM technológie, upravené z [13]

### 3.2 Tlačová hlava

Tlačová hlava, často nazývaná ako extrudér, je časťou FDM tlačiarne, ktorá vytlačí plastový filament v tekutej alebo polotekutej forme a ukladá ho na pracovný stôl pridávaním po sebe nasledujúcich vrstiev [14].

Je esenciálnym prvkom celej tlačiarni, preto si môžeme povedať, že kvalita hotového dielu zásadne závisí od nej. Pre dlhodobé fungovanie je potreba vykonávať kontrolu alebo údržbu v určitých intervaloch, čo sa prejavuje najmä vo vyčistení trysky. Pokiaľ stuhne naraz väčšie množstvo materiálu v hlave, tak môže dôjsť k poškodeniu jednotlivých častí alebo celej hlavy. Štruktúru tlačovej hlavy je možné vidieť na obr. 6).



Obr. 6) Tlačová hlava typu E3D V6, upravené z [14]

### 3.2.1 Chladiaca zóna

Často sa nazýva ako „coldend“. Názov dostal po jej funkcii, pretože odvádza teplo. Počas tlače je dôležité, aby si struna maximálne udržala svoju tuhosť pred dosiahnutím oblasti tavenia. V prípade použitia direct extrudérov je ďalšou dôležitou funkciou zabrániť prenosu tepla na podávací mechanizmus. Prechod medzi chladiacou a taviacou zónou musí byť čo najmenší. Často sa používa chladič s namontovaným ventilátorom pre efektívnejšie chladenie. Zriedkavejšou formou odvádzania tepla je vodné chladenie [15] [16].

### 3.2.2 Prechodová zóna

Túto oblasť tvorí vlastne len jeden diel, heatbreak. Avšak je to jedným hlavným prvkom celej tlačovej hlavy. Jeho funkciou je oddeliť taviacu a chladiacu zónu. Kvalita heatbreaku je veľmi dôležitá pri predchádzaní možným upchaniam. Vnútorňa povrchová úprava pomáha znižovať silu vytlačania filamentov a zvyšuje spoľahlivosť zasunutia. Vyrába sa z materiálu s nízkou tepelnou vodivosťou, ako je napr. nehrdzavejúca oceľ. Najkvalitnejšie môžu byť vyrobené z titánu alebo z bimetalu.

Môžeme rozlišovať 3 typov heatbreaku: teflonový (1), celokovový (2) a s 4,1 mm otvorom (3) [15] [17].



Obr. 7) Typy heatbreakov [18]

### 3.2.3 Taviaca zóna

Je to oblasť v ktorej materiál je úplne roztavený. Struna postupne mení svoj tvar, aby sa prispôbila priemeru trysky. V tejto zóne nájdeme trysku, heatblok a spodný koniec heatbreaku. Heatblok obsahuje výhrevné teleso a teplotný snímač [15] [19].

- **Heatblok**

Úlohou heatbloku je prenos tepla k tryske a na spodný koniec heatbreaku. Existujú dva typy: štandardný a vysokoteplotný. Štandardné sú vyrobené z hliníka, a odolávajú iba teplotám do 300 °C. Vysokoteplotné verzie sa vyrábajú z poniklovanej medi čím vydržia až 500 °C [15].

- **Výhrevné teleso**

V podstate sa jedná o odpor, ktorý premení energiu elektrického prúdu na teplo. Zvyčajne majú valcovitý tvar. Bežne sa môžeme stretávať s 12V alebo 24V variantami. Obe sa vyrábajú vo verziách 40W alebo 50W.

- **Teplotný snímač**

Umiestni sa do heatbloku, kde sleduje priebeh teploty. Je to rezistor, ktorý mení odpor so zmenou teploty. Hlavnou vlastnosťou je presne známa hodnota odporu pri každej teplote. 3D tlačiarne obvykle používajú nasledujúce typy snímačov: termistor, termočlánok alebo teplotná sonda [15] [20].

Termistor je najpopulárnejší vďaka dobrej cene. Dáva presné hodnoty teplôt, avšak je možné použiť len do 285°C.

Termočlánky môžu merať vysoké teploty s veľkou presnosťou, ale sú kalibrované len na konkrétny rozsah teplôt.

Teplotné sondy sú dobrými alternatívami namiesto termočlánkov. Maximálna teplota, čo dokážu merať je okolo 500°C, sú relatívne drahé oproti predhádzajúcim.

- **Tryska**

Je mechanickým prvkom 3D tlačiarňi, ktorá extruduje tlačovú hmotu. Pri výbere vhodnej trysky treba brať do úvahy nasledujúce charakteristiky: veľkosť, vnútorný priemer a materiál.

Všetky dnešné trysky sa vyrábajú z rôznych kovov. Mosadz (1) je najbežnejším, lebo ponúka skvelý prenos tepla za nízku cenu. Nevýhodou je ale citlivosť na opotrebenie. Nehrdzavejúca oceľ (2) je ďalším populárnym materiálom, pretože poskytuje lepšiu odolnosť proti opotrebovaniu. Taktiež bráni do istej miery nalepenie roztaveného plastu na vonkajší povrch trysky. Pre tlač abrazívnych materiálov je ale najlepšia voľba tvrdená oceľ (3). Trysky vyrobené z tohto materiálu ponúkajú dlhodobé použitie bez potreby výmeny. Nevýhodou je, že nemajú hladký vnútorný povrch, čo môže viesť k menej kvalitnej tlači. Najkvalitnejšou verziou je tryska zostavená z viacerých materiálov. Trysky tohto typu obsahujú vysokokvalitné materiály ako napr. rubín, ktoré však majú veľký vplyv na cenu [21].



Obr. 8) Trysky od výrobcu E3D [22]

### 3.3 Prehľad možných typov tlačových hláv pre viacmateriálovú tlač

Modely vyžadujúce rozpustné podpery alebo len viacfarebné prevedenie môžu byť vyrobené s využitím multimateriálovej technológie. Multimateriálová technológia nie je jednoduchá a pri tlači je možné naraziť na viaceré problémy. Táto kapitola popisuje najznámejšie multimateriálové tlačové hlavy alebo mechanizmy, ktoré sú momentálne dostupné na trhu.

#### 3.3.1 E3D Chimera

Hlavu Chimera sa jednoducho dá popísať tak, že má 2 vstupy a 2 výstupy. Trysky tejto hlavy musia byť výškovo presne nastavené, inak by došlo k nárazu neaktívnej trysky s tlačovou plochou alebo vytlačenou vrstvou. Nastavenie retrakcie je tiež podstatná, stiahnutie príliš veľkého množstva filamentu môže viesť k problémom po prepínaní aktívnej trysky. V druhom prípade s nedostačujúcou retrakciou bude vytekať roztavený materiál z neaktívnej hlavy [23] [24].

#### 3.3.2 E3D Cyclops

Cyclops funguje s použitím dvoch vstupných materiálov, ktoré sa striedajú počas tlače. Hlavnou výhodou je použitie iba jednej trysky, čím sa eliminujú problémy tlače s dvoma tryskami. Tento typ podporuje tlač materiálov iba s rovnakou, alebo veľmi podobnou teplotou tavenia. Nevýhodou tejto hlavy je plytvanie filamentom pri prepínaní, pretože je potrebné tlačíť tzv. „prime tower“ okolo modelu, aby premena materiálu bola kompletná. Bez vyprázdnenia predchádzajúceho materiálu by ďalšie vrstvy boli vytvorené zo zmesi rôznych farieb alebo materiálov. To má za následok nežiaduci vzhľad a tiež ovplyvňuje presnosť a kvalitu vytlačeného dielu [23] [25].

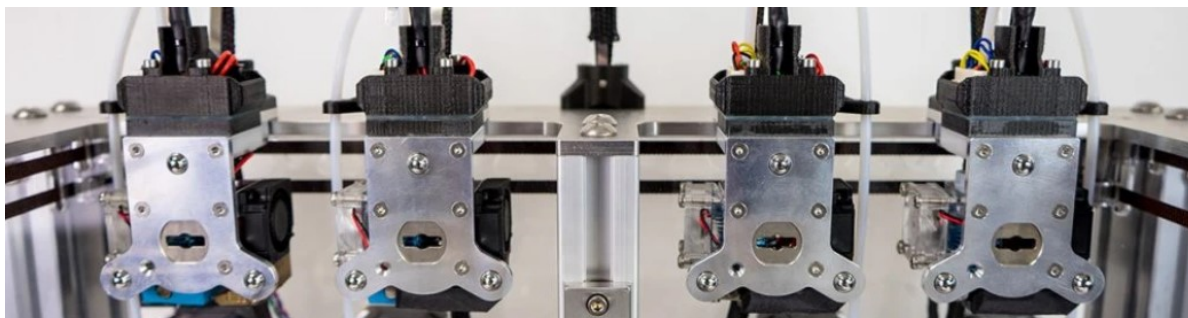




Obr. 9) E3D Chimera (naľavo) a Cyclops (napravo) [26] [27]

### 3.3.3 E3D Toolchanger

Kľúčovou mechanickou súčasťou tohto systému je Toolchanger Toolhead, ktorý je prichytený priamo na vozíku X a je zodpovedný za výmenu nástrojových hláv. Nástrojovú hlavu tvorí nástrojová doska na ktorej je priskrutkovaná tlačová hlava. Nástrojové hlavy sú dokované na ráme tlačiarne z ktorých je možné pridať aj viac. Na tlačiarňi vybavenou týmto mechanizmom sa dá použiť tak aj frézku alebo laserovú hlavu, ktoré prípadne umožňujú okamžitý postprocesing. Tento mechanizmus je oveľa drahší od ostatných typov, preto je predovšetkým určený pre priemyselné využitie [28].



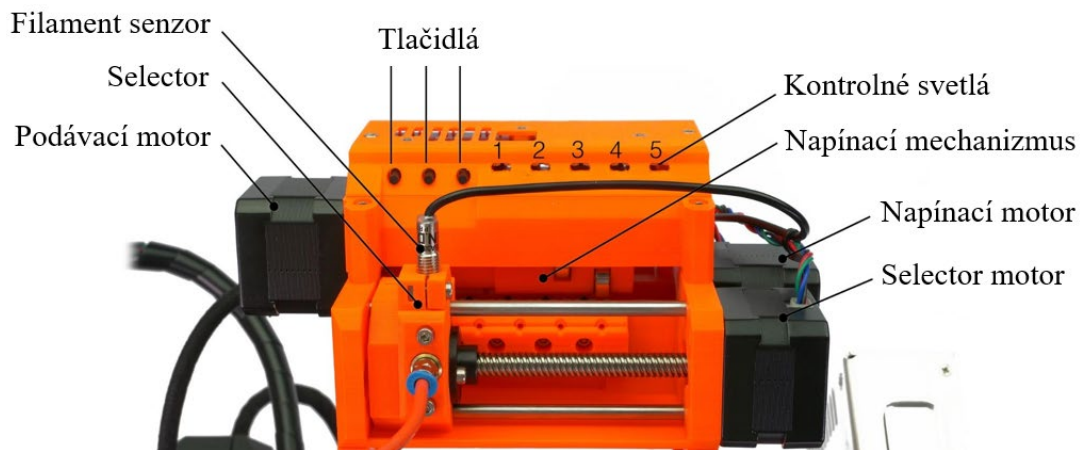
Obr. 10) Dokované nástrojové hlavy [28]

### 3.3.4 Prusa MMU2S

Riešenie od českého výrobcu bolo prvýkrát zahájené v roku 2017. O rok neskôr sa objavila vylepšená generácia, ktorá sa volá MMU2. Posledný upgrade bol v roku 2019 a nesie názov MMU2S. MMU2S prešiel veľkým vývojom od prvej verzie. Počet podporovaných filamentov sa zvýšil na päť, čím umožňuje tlač ešte zložitejších a farebnejších objektov.

Jedná sa o externý mechanizmus, ktorý sa namontuje na rám tlačiarne. Za pohon a výber vhodnej struny sú zodpovedný 3 krokové motory. Na osi prvého motora sú umiestnené ložiská excentricky, a tým že sa táto os otočí o definovaný uhol, jedno z ložísk pritlačí vybranú strunu na podávacie koliesko. Druhý motor podáva materiál a tretí poháňa „selector“, ktorou úlohou je nastaviť teflonovú trubičku do pozície pre vybraný materiál. Filament ďalej pokračuje cestou do tlačovej hlavy.

Výhodou je, že spolu s Prusa slicerom umožňuje veľa užitočných funkcií. Dá sa napríklad nastaviť, aby vyprázdnenie predchádzajúceho filamentu sa uskutočnilo do výplne modelu, a tým by sa zredukovalo množstvo odpadu. Kvôli potrebe neustálej výmeny struny je tlač časovo náročnejšia [29].



Obr. 11) Prusa MMU2S, upravené z [30]

### 3.3.5 Makertech: Dual switching extruder

Makertech je malá spoločnosť z Veľkej Británie, ktorá sa zaoberá výrobou 3D tlačiarňí, strún a tlačových hláv.

Tlačové hlavy sú uchytené otočene na nástrojovom držiaku pod určitým uhlom od seba. Držiak je namontovaný na vozíku X pomocou skrutky, ktorá slúži ako osa rotácie. Na vozíku sa ešte nachádza servomotor, ktorý vychýli držiak a spolu s tým aj hlavy z jednej pozície a zaisťuje v druhej. Neaktívna tryska vždy leží na plechu, čo zabráni úniku materiálu [31].

Ťažkosti sa môžu objavovať pri nastavení servomotora, lebo vyžaduje presnú kalibráciu koncových uhlov. V inom prípade môže dôjsť k preťaženiu elektroniky.



Obr. 12) Dual switching extruder od Makertech [31]

### 3.3.6 Porovnanie tlačových hláv

Pre prehľadné porovnanie je vytvorená Tab. 1). Hlavné porovnávacie body sú: počet vstupných materiálov, počet výstupov (trysok) a cena. Ceny sú uvedené podľa aktuálneho kurzu eura zo dňa 15.02.2021.

Tab. 1) Tlačové hlavy so základnými parametrami

	Chimera	Cyclops	Toolchanger	MMU2S	Dual sw. extruder
Vstup	2	2	4	5	2
Výstup	2	1	4	1	2
Cena	135€	154€	2696€	299€	74€

### 3.4 Tlačové materiály

Materiálom 3D tlačovej technológii FFF je filament. Filamenty sa predávajú vo forme struny navinuté na cievku. Typicky s priemerom 1,75mm alebo 3mm. Najčastejšie sa môžeme stretávať s baleniami od 0,2kg až do 3kg. Na výber je veľa rôznych druhov materiálu. Základné rozdelenie materiálov: termoplasty a elastomery. Najpopulárnejšie termoplasty sú napríklad PLA, ABS alebo PET. Najbežnejšie elastomery sú TPU a TPE [32].

Výberom kvalitnej struny je možné predísť rôznym problémom. Medzi vady patrí napríklad zle navinutá struna, kolísavý priemer vlákna alebo poškodenie balenia. Presný priemer struny je dôležitým parametrom tejto technológie, pretože extrudér je nastavený na podávanie určitého množstva filamentu, čím je nevyhnutné aby struna mala očakávaný priemer. Ak je zistená nepresnosť, nie je potreba vyhodiť celú cievku, lebo softwarovo sa dá nastaviť korekciu podávania. Pri skladovaní tlačovej struny je podstatné, aby bolo vo vákuovom balení, lebo tieto materiály sú náchylné absorbovať vlhkosť zo vzduchu.

V dnešnej dobe sa môžeme dostať už k hocíjakému typu tlačového materiálu. Výrobcovia sa snažia nepretržite zlepšiť svoje „recepty“ s pridávaním rôznych aditív. Preto sa označenia jednotlivých typov môžu líšiť medzi výrobcami. Bežne používané materiály sú napríklad:

#### 3.4.1 PLA (Polyactic Acid)

Kyselina polymliečna, všeobecne známa ako PLA, je dobrou voľbou pre začiatočníkov, pretože sa dá tlačiť na každej FFF 3D tlačiarne. Nevyžaduje vysokú teplotu hlavy (190-220°C) počas tlače a ani vyhrievanú podložku. Medzi výhodami ešte patrí vysoká pevnosť. Popularitu získala vďaka nízkej cene a širokej škále využitia. Je to jeden z najekologickejších filamentov na dnešnom trhu. Vyrába sa z rastlinných zdrojov, ako je napríklad kukuričný škrob. Preto je najdôležitejšou vlastnosťou biologická odbúrateľnosť. Síce je PLA všestranný materiál, ale napriek tomu má i svoje nevýhody. Je príliš krehký, preto nie je vhodný na použitie s veľkými deformáciami. Ďalšie nevýhodné vlastnosti sú slabá odolnosť voči UV žiareniu a nízka tepelná odolnosť [32] [33].

#### 3.4.2 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Tento materiál bol jedným z prvých plastov, ktoré sa začali používať v priemyselných 3D tlačiarnach. Ešte stále je veľmi obľúbeným materiálom vďaka nízkej cene a dobrým mechanickým vlastnostiam. Je známe svojou húževnatosťou a odolnosťou voči nárazom. ABS je reaktívny na acetón, vďaka tejto vlastnosti je možné upraviť hotové diely. Výsledkom je pekný hladký povrch. ABS má vyššiu teplotu skleneného prechodu, čo znamená, že vydrží omnoho vyššie teploty, než sa začne deformovať. Preto môže byť využitý aj pre vonkajšie aplikácie oproti PLA. Vyžaduje vyššiu teplotu (220-250°C) tlačovej hlavy. Tiež je nevyhnutná, aby vyhrievaná podložka dosiahla teplotu až 90-110°C. V inom prípade sa môže model ľahko odlepiť z podložky. Ďalej je nutné, aby tlač tohto materiálu sa uskutočnila v priestore s dobrým vetraním, lebo v priebehu tlače sa môžu uvoľniť škodlivé plyny. Nevýhodou je ešte tendencia na zmršťovanie, keď sa materiál začne ochladzovať. Aby sa teplota nezmenila rýchlo v okolí vytlačeného dielu, je výhodné používať tlačiarne s uzatvárateľným pracovným priestorom [33].

### 3.4.3 PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)

PETG je modifikovaná verzia široko používaného materiálu PET. Je to polotuhý materiál s dobrou odolnosťou voči nárazu. Má mäkkší povrch, čím je náchylný na opotrebovanie. Má dobré tepelné vlastnosti, preto môže byť vhodnou alternatívou namiesto ABS. Kvôli elastickému správaniu je potrebné správne nastaviť retrakciu ak je použitý bowdenový podávací mechanizmus. Výsledný povrch modelu je pomerne hladký. U tohto filamentu je tiež zásadný, aby bol skladovaný v suchu, lebo veľmi ľahko pohlcuje vzdušnú vlhkosť. Vyrába sa s rôznymi aditívami, ktoré sa líšia od výrobcu. Iné označenia môžu byť napríklad: PET, PETE, PETT. Doporučené nastavenia teplôt: tlačová hlava 230-250°C, vyhrievaná podložka 75-90°C [32] [33].

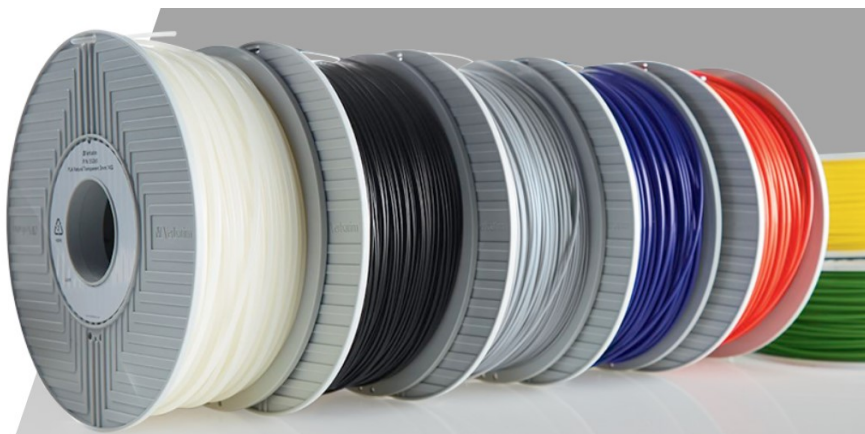
### 3.4.4 Elastické materiály

Keď chceme vytvoriť diel, ktorý odoláva vibráciám prípadne ich absorbuje, alebo len potrebujeme, aby mal protišmikový povrch, tak jedinou možnosťou je termoplastický elastomer (TPE). Je veľmi odolný a pružný oproti ostatným materiálom. TPE so svojimi vlastnosťami sa nachádza medzi tvrdým plastom a mäkkým gumeným materiálom. Tvrdosť termoplastického elastomeru sa označuje číslovaním medzi 0 a 100. Čím väčšie je číslo, tým tvrdší je filament. Existuje niekoľko druhov TPE, pričom medzi vláknami pre 3D tlač sa najčastejšie používa termoplastický polyuretán (TPU). Tlač elastomerov vyžaduje dobre kalibrovanú tlačiareň. Je odporúčané tlačiť s priamym podávacím mechanizmom kvôli pružnému správaniu [32] [33].

### 3.4.5 Podporné materiály

HIPS (High Impact Polystyrene) je rozpustný podporný materiál, ktorý sa bežne používa s ABS. Rozpustí sa v limonene, takže výsledný model nebude mať žiadne stopy spôsobené odstránením podpôr. HIPS má veľa spoločných tlačových vlastností s tlačovými vlastnosťami ABS, čo z neho robí logického partnera pre multimateriálovú tlač. Ale nie len kvôli tomu je odporúčané tlačiť tieto materiály spolu. Limonene je rozpúšťadlo, čo môže poškodiť ostatné typy filamentov okrem ABS [33].

PVA (Polyvinyl Alcohol) je mäkký a biologicky odbúrateľný polymér. Vo vode sa úplne rozpustí. Tlačí sa pri nižších teplotách, než HIPS. Pri tlači mimoriadne zložitých tvarov alebo tvarov s čiastočne uzavretými dutinami je možné použiť podpery z PVA a ľahko ich odstrániť rozpustením v teplej vode. Používa sa v situáciách kedy by bolo ťažké resp. nemožné odstrániť štandardné podpery. Pretože je to hydrofilný materiál, tým bude absorbovať vlhkosť oveľa rýchlejšie ako ostatné filamenty [33].



Obr. 13) Tlačové struny [34]

### 3.4.6 Porovnanie vybraných tlačových materiálov

Porovnávací tabuľka je vytvorená so základnými vlastnosťami materiálov. Jednotlivé hodnoty sú iba orientačné, lebo sa môžu líšiť medzi výrobcami. Presné vlastnosti udáva vždy výrobca na balení materiálu.

Tab. 2) Vybrané tlačové materiály so základnými vlastnosťami [35]

	PLA	ABS	PETG	TPE/TPU	HIPS	PVA
Medza pevnosti	65 MPa	40 MPa	53 MPa	26-43 MPa	32 MPa	78 MPa
Maximálna prevádzková teplota	52°C	98°C	73°C	60-74°C	100°C	75°C
Teplota hlavy	190-220°C	220-250°C	230-250°C	225-245°C	230-245°C	185-200°C
Teplota podložky	45-60°C	95-110°C	75-90°C	45-60°C	100-115°C	45-60°C
Cena (1 kg)	8-35€	8-35€	15-50€	25-60€	20-28€	30-90€

## 4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

V oblasti 3D tlače sa častokrát nastane situácia, kedy sa nedá vytlačiť súčiastku bez použitia podpier kvôli zložitej geometrie modelu. V tomto prípade je najlepšou voľbou využiť technológiu viacmateriálovej tlače, ktorá ale generuje rôzne problémy. Viacmateriálovú tlač je možné vykonať jednou alebo viac tryskami, nakoľko zo zadania je zrejmé, že úlohou tejto bakalárskej práce je navrhnúť tlačovú hlavu, pričom pri výmene materiálu nesmie byť vyprázdnená neaktívna tryska z dôvodu redukovania odpadového materiálu počas tlače. Z toho vyplýva, že konštrukčné riešenie musí byť prevedené s dvomi alebo viac tryskami.

Problémom použitia viac trysok je roztavený materiál vytekajúci z neaktívnej trysky. Taktiež sa môžu vyskytovať problémy so zavedením struny po prepínaní trysky, nastavením trysok do rovnakej výšky a korekciou vzdialenosti v smere osi X a Y.

### 4.1 Formulácia problému

Návrh konštrukcie multimateriálovej tlačovej hlavy, ktorá bude schopná tlačiť najmenej dva rôzne materiály bez vyprázdnenia neaktívnej trysky, pričom bude zabránený únik tlačovej hmoty z neaktívnej trysky, čím sa zredukuje odpadový materiál.

### 4.2 Formulácia cieľov a riešení

Ciele bakalárskej práce:

- Rešerš v oblasti tlačových hláv
- Tvorba dvoch návrhových variantov
- Výber vhodného variantu na základe multikriteriálnej analýzy
- Konštrukčný návrh vybraného variantu
- Návrhové výpočty
- Výkresová dokumentácia vybraných dielov a zostavy
- Ekonomické zhodnotenie
- Záver a doporučenie pre prax

### 4.3 Systém podstatných veličín

Táto podkapitola popisuje podmnožiny, ktoré sú podstatné pre riešenie vyššie stanovených problematík.

- **Okolie tlačovej hlavy**

Síce v zadaní nie je uvedené, ale s ohľadom na konkurencieschopnosť je predpokladané použitie navrhnutej tlačovej hlavy na komerčne dostupnom tlačiarňi, preto je dôležité dbať na priestor, ktorý bude schopná efektívne využiť.

- **Geometria a topológia tlačovej hlavy**

Predbežné požiadavky na geometriu a rozmery neboli stanovené, ale zohľadnením problematik je výhodné navrhnuť mechanizmus pre prepínanie medzi tryskami, ktorý bude možný používať na súčasne dostupných tlačiarniach.

- **Väzby tlačovej hlavy s okolím**

Vozík tlačovej hlavy sa pohybuje pozdĺž osi X, kde vedenie je sprostredkované lineárnymi ložiskami, profilovým alebo rolničkovým valivým vedením.

- **Pôsobujúce veličiny**

Dosažiteľnú tlačovú rýchlosť ovplyvňuje vlastná hmotnosť konštrukcie tlačovej hlavy. Medzi týmito veličinám patria ešte sily pôsobiace počas tlače (adhezívne sily) a gravitácia. Adhezívne sily sú zanedbateľné z hľadiska konštrukčného návrhu.

- **Ovplyvňujúce veličiny**

Do tejto množiny sú zaradené: teplota okolia, pohyb vzduchu v okolí a čistota pracovného priestoru.

- **Vlastnosti tlačovej hlavy**

Hlavnými vlastnosťami tlačovej hlavy sú: spôsob prepínania medzi tryskami, spôsob upchatia neaktívnej trysky, hmotnosť a rozmery.

- **Veličiny popisujúce procesy a stavy tlačovej hlavy**

Zvýšená hmotnosť vedie k nežiaducím zotrvačným silám. Gravitácia spôsobí vytečenie roztaveného materiálu z neaktívnej trysky.

- **Dôsledky**

Zohľadnením spomenutých faktorov je možné navrhnuť tlačovú hlavu, ktorá spĺňa požadované prerekvizity.



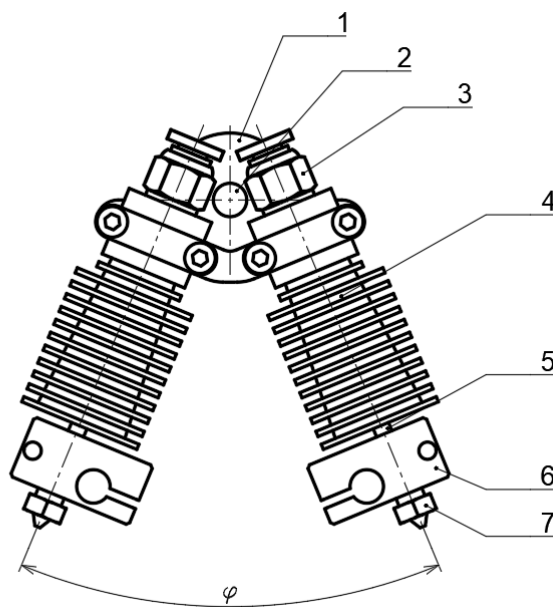
## 5 NÁVRH VARIANTOV

Viacmateriálová tlačová hlava je nevyhnutná pokiaľ chceme tlačiť zložité resp. viacfarebné modely, ktoré vyžadujú rozpustiteľné podpery. Ako už bolo spomenuté, existujú na trhu rôzne typy a riešenia tlačových hláv od rôznych výrobcov. Niektoré typy majú len jednu trysku, iné aj viac. Z rešerše vyplýva, že každá z komerčne dostupných hláv má svoje nevýhody. Cieľom tejto práce je navrhnúť tlačovú hlavu tak, aby množstvo odpadového materiálu bolo znížené.

Aby problémy, ktoré sa vyskytujú počas tlače s viacerými tryskami boli zredukované, je potrebné navrhnúť mechanizmus pre prepínanie trysok. Trysky je možné umiestniť paralelne vedľa seba, alebo na roztečnej kružnici pod daným uhlom. Pretože dôraz je kladený na jednoduchosť, tak najlepším spôsobom výmeny nástroja je rotačná výmena. Podľa toho sú navrhnuté dva otáčajúce sa varianty.

### 5.1 Variant A

Tento variant sa skláda z dvoch samostatných E3D V6 hláv, ktoré sú otočené od seba o určitý uhol. Tieto hlavy sú pripevnené na držiaku (1) pomocou drážok v horných častiach chladičov (4). Ďalej sa držiak umiestni na hriadeľ (2), ktorý slúži ako os rotácie. Hriadeľ sa namontuje na vozík, kde je pevne ukotvený, tým pádom rotačný pohyb vykonáva držiak spolu s hlavami. Pri návrhu tohto variantu je potrebné správne zvoliť uhol ( $\varphi$ ) medzi tlačovými hlavami. Príliš veľký uhol by mohol spôsobiť tok roztaveného filamentu späť do chladiacej zóny, kde materiál stuhne a upcháva otvor. Zase malým uhlom nebude dostatočne veľká vzdialenosť medzi hlavami. S ohľadom na spomenuté problémy, správna voľba bude niekde medzi uhlami  $20^\circ$  a  $60^\circ$ .



Obr. 14) Návrh tlačovej hlavy – Variant A: (1) Držiak, (2) Otvor pre hriadeľ, (3) Rýchlospojka, (4) Chladič, (5) Heatbreak, (6) Heatblok, (7) Tryska

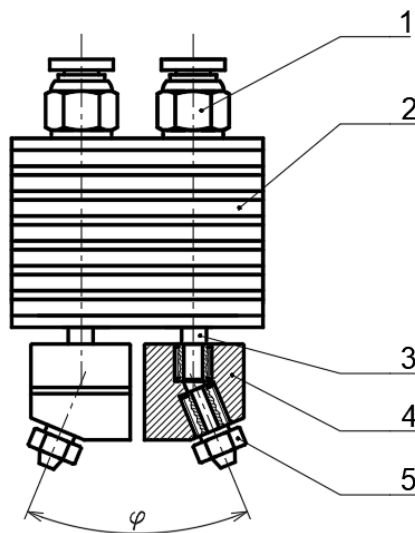
### 5.1.1 Výhody a nevýhody variantu A

V6 hlavy u variantu A sú prichytené k držiaku pomocou 2-2 skrutiek, čo zabezpečuje ľahkú montovateľnosť. Používanie dvoch samostatných hláv umožňuje separátnu reguláciu teplôt v taviacich zónach. To je veľká výhoda pokiaľ chceme tlačiť podporný materiál, ktorý niekedy vyžaduje inú taviacu teplotu, ako primárny filament. V6 hlavy zaručujú vysokú spoľahlivosť, pretože sa nachádzajú už dlhšiu dobu na trhu.

Podávanie filamentov je obmedzené na bowdenový typ, lebo namontovaním dvoch krokových motorov pre priame podávanie by sa príliš zvýšila hmotnosť celej konštrukcie. Nevýhodou tohto variantu je slabé využitie pracovného priestoru, lebo tento konštrukčný variant je dosť široký v smere osi X. Pracovná plocha oproti tlačovým hlavám s jednou tryskou sa môže zmenšiť až o 30%.

### 5.2 Variant B

Princíp fungovania je veľmi podobný k variantu A. Oproti variantu A je tento typ vybavený iba jedným chladičom (2). Prívod filamentov sa realizuje zvislo cez chladič až do spodného konca heatbreaku (3). Heatbreak spája chladič s heatblokom (4). Hlavným dielom celej hlavy je upravený heatblok. Otvor pre trysku (5) v heatbloku je vyvrtaný šikmo k osi prívodu. Vďaka tomu trysky môžu pracovať otočené, a tým nezávisle na seba. Heatbreaky sa pripevňujú na chladič buď lepením, alebo nastavovacími skrutkami zo zadnej strany. Na zadnej strane chladiča sa nachádzajú otvory pre pripevnenie na držiak. Spôsob uchytienia na držiaku je možné vidieť na prílohe č.2. Držiak môže byť uložený na hriadeli podobnými spôsobmi, ako u variantu A. Prepínanie aktívnej trysky sa vykonáva pomocou otočného mechanizmu.



Obr. 15) Návrh tlačovej hlavy – Variant B: (1) Rýchlospojka, (2) Chladič, (3) Heatbreak, (4) Heatblok, (5) Tryska

### 5.2.1 Výhody a nevýhody variantu B

Medzi výhody variantu B patrí predovšetkým užšia konštrukcia, čím vo vychýlenom stave neodoberá toľko miesta z pracovného priestoru, ako variant A. Zadná dosadacia rovina chladiča je plochá. To znamená, že pre uchytanie stačí tvarovo jednoduchší držiak.

Heatbloky tohto variantu nie sú normalizované, preto nie je možné ich získať na trhu. Je však možné ich vyrábať, ale to je cenovo náročnejšie pokiaľ nejde o sériovú výrobu. Ďalej môžu nastať problémy aj so zavedením filamentu do hornej časti trysky kvôli otočenej konštrukcii otvoru v heatbloku. To má negatívny vplyv na spoľahlivosť.

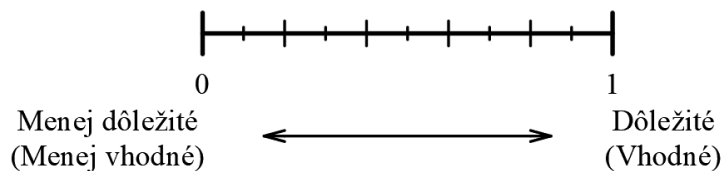
## 6 MULTIKRITERIÁLNA ANALÝZA

Multikriteriálna analýza (v anglickej literatúre často nazývana, ako MCA) je rozhodovací mechanizmus pre komplexné problémy, ktorý má viac typov. V tejto kapitole bude používaná bodovacia metóda [36].

### 6.1 Bodovacia metóda

Ku každému parametru je priradená váha  $V_{\alpha,i}$  podľa dôležitosti z hľadiska výberu vhodného návrhového variantu. Hodnoty váh sú stanovené z intervalu 0-1. Ďalej tieto parametre (kritéria) sú bodované  $B_{\alpha,i}$  podľa vhodnosti na danú problematiku tiež v rozmedzí 0-1. Nakoniec sú vypočítané výsledné hodnotenia  $\varepsilon_{\alpha}$  oboch návrhových variantov podľa vzorca:

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot B_{\alpha,i}}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$



Obr. 16) Bodovacia škála

### 6.2 Stanovenie parametrov

- P<sub>1</sub> – Spoľahlivosť:** fungovanie bez potreby častej údržby alebo výmeny mechanických a elektronických komponentov
- P<sub>2</sub> – Pracovný priestor:** využitie pracovného priestoru navrhnutou tlačovou hlavou na obecnej komerčne dostupnej 3D tlačiarni
- P<sub>3</sub> – Zložitosť výroby:** náročnosť výroby jednotlivých komponentov tlačovej hlavy
- P<sub>4</sub> – Cena:** cena všetkých komponentov, vrátane výrobných nákladov jednotlivých súčiastok
- P<sub>5</sub> – Hmotnosť:** hmotnosť celej konštrukcie

### 6.3 Priradené váhy stanoveným parametrom

Váhy jednotlivých parametrov a ich odôvodnenie je uvedené v Tab 3).

Tab. 3) Váhy stanovených parametrov

Parameter	Váha parametru	Odôvodnenie váhy
P <sub>1</sub>	V <sub>1</sub> = 1	Parameter je dôležitý pre dlhodobú funkčnosť.
P <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> = 0,8	Parameter charakterizuje využitie dostupného pracovného priestoru.
P <sub>3</sub>	V <sub>3</sub> = 0,7	Parameter charakterizuje zložitosť výroby, ktorá má veľký vplyv na výslednú cenu.
P <sub>4</sub>	V <sub>4</sub> = 0,6	Parameter ovplyvňuje úspešnosť na trhu.
P <sub>5</sub>	V <sub>5</sub> = 0,5	Parameter ovplyvňuje rýchlosť tlače.

### 6.4 Hodnotenie variantu A

Udelené body a ich odôvodnenie je uvedené v Tab. 4).

Tab. 4) Hodnotenie parametrov variantu A

Parameter	Body parametru	Odôvodnenie bodov parametru
P <sub>1</sub>	B <sub>A,1</sub> = 1	E3D V6 hlavy sa nachádzajú relatívne dlho na trhu a sú najlepšou voľbou z hľadiska spoľahlivosti.
P <sub>2</sub>	B <sub>A,2</sub> = 0,6	S týmto riešením sa môže zmenšiť využívaný pracovný priestor až o 30%.
P <sub>3</sub>	B <sub>A,3</sub> = 0,5	Tvar držiaka tlačových hláv je zložitejší.
P <sub>4</sub>	B <sub>A,4</sub> = 0,6	Náklady na výrobu značne zvyšujú výslednú cenu.
P <sub>5</sub>	B <sub>A,5</sub> = 0,6	Počet komponentov zvyšuje celkovú hmotnosť.

Celkové hodnotenie variantu A je vypočítané použitím vzťahu (1).

$$\epsilon_A = \frac{V_1 \cdot B_{A,1} + V_2 \cdot B_{A,2} + V_3 \cdot B_{A,3} + V_4 \cdot B_{A,4} + V_5 \cdot B_{A,5}}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}$$

$$\epsilon_A = \frac{1 \cdot 1 + 0,8 \cdot 0,6 + 0,7 \cdot 0,5 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 0,6}{1 + 0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,5} = 0,692$$

## 6.5 Hodnotenie variantu B

Udelené body a ich odôvodnenie je uvedené v Tab. 5).

Tab. 5) Hodnotenie parametrov variantu B

Parameter	Body parametru	Odôvodnenie bodov parametru
P <sub>1</sub>	B <sub>B,1</sub> = 0,2	Na rozhraní, kde materiál vystupuje z heatbreaku a vstupuje do trysky môže dôjsť k upchaniu otvoru.
P <sub>2</sub>	B <sub>B,2</sub> = 0,8	Využitie pracovného priestoru je lepšie kvôli užšej konštrukcii.
P <sub>3</sub>	B <sub>B,3</sub> = 0,6	Pripevnenie k držiaku nevyžaduje tvarovo zložité prvky, ale výroba vlastných heatblokov zvyšuje náklady.
P <sub>4</sub>	B <sub>B,4</sub> = 0,7	Náklady na výrobu zvyšujú výslednú cenu.
P <sub>5</sub>	B <sub>B,5</sub> = 0,7	Používa iba jeden chladič, čo má pozitívny vplyv na celkovú hmotnosť.

Celkové hodnotenie variantu B je vypočítané použitím vzťahu (1).

$$\varepsilon_B = \frac{V_1 \cdot B_{B,1} + V_2 \cdot B_{B,2} + V_3 \cdot B_{B,3} + V_4 \cdot B_{B,4} + V_5 \cdot B_{B,5}}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}$$

$$\varepsilon_B = \frac{1 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,8 + 0,7 \cdot 0,6 + 0,6 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,7}{1 + 0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,5} = 0,564$$

## 6.6 Výber vhodného variantu

Na základe multikriteriálnej analýzy bolo získané celkové hodnotenie návrhových variantov. Variant A dosiahol lepšie celkové hodnotenie, preto je lepšou voľbou pre danú problematiku. Pokiaľ porovnáme udelené body jednotlivým variantom, je vidieť, že oba majú svoje výhody a nevýhody. Variant A má oveľa lepšie hodnotenie v spoľahlivosti, ale dostal menej bodov za neefektívne využitie pracovného priestoru. Celkové výrobné náklady sú podobné u oboch variantov. Kým u variantu A zvyšuje cenu výroba tvarovo zložitého držiaka tlačových hláv, u variantu B výroba vlastného heatbloku. Variant B dosiahol horší výsledok u najdôležitejšieho parametru, čo najviac ovplyvnil celkové hodnotenie a tým aj výber.

Tab. 6) Celkové hodnotenie variantov

Variant	Celkové hodnotenie [%]	Poradie
A	69,2	1.
B	56,4	2.

## 7 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

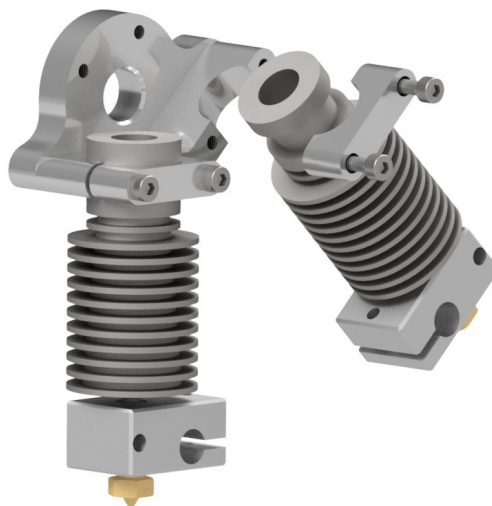
Táto kapitola bakalárskej práce sa zaoberá voľbou parametrov a návrhom súčastí multi-materiálovej tlačovej hlavy. Z predchádzajúcej časti je známe, že vybraný variant je vybavený s dvomi E3D V6 hlavami. Cieľom je navrhnúť konštrukciu na základe zvolených a vypočítaných parametrov.

Návrh konštrukcie začína s voľbou umiestnenia hláv a ich spojenia. Z tohto kroku budú známe parametre pre výpočet kinematiky prepínacieho mechanizmu. Nasleduje výber vhodného motora, ktorým účelom bude poháňať mechanizmus. Nakoniec so znalosťou všetkých rozmerov bude navrhnutý vozík X pre daný typ 3D tlačiarne.

### 7.1 Spôsob uchytenia tlačových hláv

Pretože zvolený variant používa dve samostatné hlavy na vykonanie tlačovej úlohy a to rotačným prepínaním, je potrebné zadefinovať uhol medzi nimi. Ako už bolo spomenuté v piatej kapitole pri návrhu variantu, správna voľba bude pravdepodobne v rozmedzí 20° a 60°. Voľbou menšej hodnoty by sa dalo zvýšiť efektívnosť využitia pracovného priestoru. Na druhej strane, keďže je potrebné použitie nejakej doplnkovej súčiastky pre upchatie neaktívnej trysky, je nutné jej nechať dostatočný priestor medzi tryskou a pracovnou plochou. Preto podľa vlastného uváženia je zvolený uhol  $\varphi = 45^\circ$ .

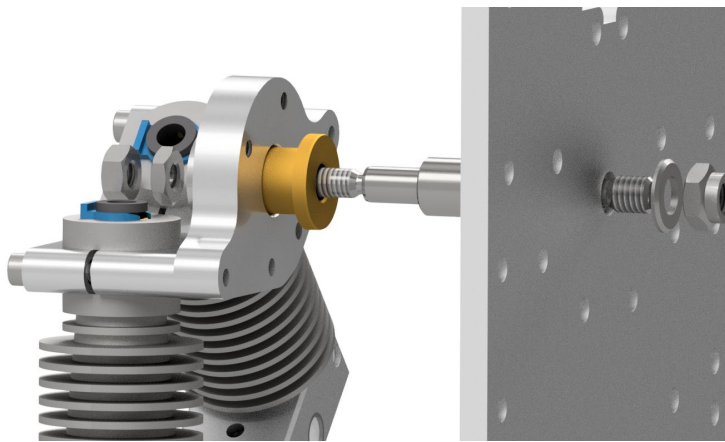
Pri návrhu držiaka pre tlačové hlavy bol v prvom rade zohľadnený ich spôsob upínania. Nakoľko V6 hlava má vytvorenú drážku na hornom konci žebrovaného chladiča, jediná možnosť pre bezpečné a pevné uchytenie je vytvorenie dosadacej plochy na držiaku, na ktorú bude pritlačená hlava protikusom a dvoma skrutkami. Pri výbere materiálu držiaka sa rozhodovalo medzi plastom a hliníkom. Pomocou 3D tlačiarne by sa dalo ľahko vytlačiť tento diel, ale kvôli slabým mechanickým vlastnostiam tlačových materiálov by bolo potrebné navrhnúť robustnejší držiak. Použitím hliníka (AlMgSi1,0) stačí vytvoriť menšiu a kompaktnjšiu súčiastku. Podľa vlastného názoru hliník je vhodnejšia voľba aj keď náklady na výrobu budú vyššie.



Obr. 17) Uchytenie tlačových hláv na držiaku

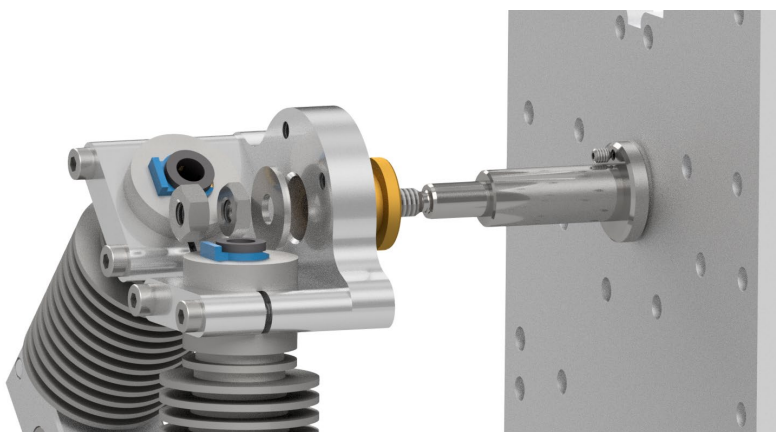
## 7.2 Návrh bodu otáčania

S ohľadom na jednoduchosť uloženia bolo rozhodnuté pre zabezpečenie otočného pohybu využiť nosný hriadeľ, ktorý je pevne uchytený vo vozíku osi X. Aby bolo možné zložiť a rozobrať tento spoj ručne, ale vôľa bola čo najmenšia, je zvolené prechodné uloženie typu H7/j6. To na priemere 6mm môže dovoliť 0,014mm maximálnu vôľu alebo na druhej strane 0,006 mm presah. Koniec hriadeľa je upravený podľa normy ČSN ISO 4755 pre vonkajší závit typu M5. Zaistenie vo vozíku je realizované pomocou poistnej matice DIN 985 a podložky. Zaistenie pootočenia hriadeľa vo vozíku sa predovšetkým uskutoční trecím momentom pod osadením a podložkou, a pre úplne zabezpečenie je ešte použitá nastavovacia skrutka DIN 914. Nastavovacia skrutka sa zaskrutkuje do diery o veľkosti M2 na osadení hriadeľa (Obr. 19).



Obr. 18) Uchytenie hriadeľa na vozíku osi X

Výberom vyššie uvedeného typu uloženia hriadeľa je známe z piatej kapitoly, že rotačný pohyb bude vykonávať držiak. Po zvážení dvoch parametrov, ktoré sú vlastná tiaž tlačových hláv a dostupný priestor pre uloženie ložiska, bolo zvolené klzné ložisko zo sintrovaného bronzu typu PSMF 050908 A51 od výrobcu SKF [37]. Klzné ložiská tohto typu sú označené ako samomazné a bezúdržbové vďaka pórovitej bronzovej matici impregnovanej mazivom. Impregnácia oleja zabezpečuje nízke trenie počas otáčania [38]. V technickom liste ložiska sú predpísané tolerancie pre uloženie. Z toho vyplýva, že hriadeľ s priemerom 5mm je potrebné vyrobiť po danej dĺžke s toleranciou h8. Podobne aj v držiaku bude vytvorený otvor s priemerom 9mm a s presnosťou H7. Držiak sa zafixuje v axiálnom smere pomocou matice a kontramatice.



Obr. 19) Uloženie držiaka na hriadelí



## 7.3 Voľba polohovacieho mechanizmu

K uskutočneniu prepínania medzi tlačovými hlavami a potom zaistenia aktívnej hlavy v pracovnej polohe je nutné navrhnuť vhodný mechanizmus. V tomto prípade bolo rozhodnuté o využití maltézskeho mechanizmu. Tento mechanizmus je určený v strojárstve na prevod rovnomerného rotačného pohybu na prerušovaný krokový pohyb. Pri výbere bol v prvom rade zohľadnený jednoduchý spôsob prepínania. Pohon hnacieho kola bude sprostredkovaný servomotorom. Vďaka princípu fungovania tohto typu mechanizmu, nie je potrebné brať do úvahy vôľu servomotora.

### 7.3.1 Voľba pohonu

Pri výbere pohonu polohovacieho mechanizmu bolo potrebné rozhodnúť medzi servomotorom a krokovým motorom. So zreteľom na súčasne dostupné elektromotory a na základné dosky, ktoré sa používajú u 3D tlačiarňi bol zvolený servomotor typu DS3218. Tento typ sa používa najmä v RC vozidlách a má dostatočný krútiaci moment pre naše využitie. Oproti krokovým motorom má výhodu v tom, že poháňanie servomotora nevyžaduje samotný driver na základnej doske, čím je možné ho jednoducho pripojiť na servopiny dosky. Pri výbere nemožno zabudnúť na maximálny uhlový rozsah v ktorom môže pracovať motor. Vzhľadom na použitie bol zvolený servomotor s uhlovým rozsahom 270° [39]. Servomotory tohto typu sa vyrábajú s kovovým alebo plastovým prevodovým systémom. Kvôli plánovanému dlhodobému využitiu bol zvolený servomotor DS3218 s kovovými ozubenými kolesami.



Obr. 20) Servomotor DS3218 [39]

### 7.3.2 Kinematika maltézskeho mechanizmu

Maltézsky mechanizmus sa skladá z hnacieho a hnaného člena. Hnaný člen sa často nazýva, ako kríž na ktorom sú vytvorené drážky pre kolík hnacej súčasti. V našom prípade účelom tohto mechanizmu bude vychýliť držiak do jedného smeru, potom do druhého, pričom stačí navrhnuť iba časť maltézskeho kríža.

Cieľom výpočtu kinematiky maltézskeho mechanizmu je stanovenie rozmerov jednotlivých členov a určenie uhlovej rýchlosti hnaného člena. Výpočet bude prevedený podľa zdroja [40]. Z údajového listu servomotora DS3218 vyplýva, že prevádzková rýchlosť pri napätí 5V je 0,12s/60°. S prevedením na rad/s dostaneme uhlovú rýchlosť hnacieho člena o veľkosti  $\omega_1 = 8,73 \text{ rad/s}$ .

Ako už bolo spomenuté, v našom prípade bude navrhnutá iba časť hnaného kola, teda len dve drážky, kde uhol medzi drážkami je  $\varphi = 45^\circ$ . Pre výpočet ďalších hodnôt je však potrebné stanoviť veličinu  $n_t$ , ktorá odpovedá teoretickému počtu drážok po celom hnanom kole.

$$n_t = \frac{360^\circ}{\varphi} = \frac{360^\circ}{45^\circ} = 8 \quad (2)$$

Ďalej sa vypočíta koeficient  $m$  pomocou rovnice (3).

$$m = \frac{1}{\sin \frac{180}{n_t}} = \frac{1}{\sin \frac{180}{8}} = 2,613 \quad (3)$$

Polomer kľuky hnacieho člena sa určuje z rovnice (4) dosadením hodnoty osovej vzdialenosti medzi členmi a koeficientu  $m$ .

$$a = \frac{b}{m} = \frac{35}{2,613} = 13,39mm \quad (4)$$

Priemer hnaného člena je určený pomocou rovnice (5), kde vstupuje parameter  $d_r$ , ktorý odpovedá zvolenému priemeru kolíka.

$$D_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{d_r^2}{4} + a^2 \cdot \cot^2 \left( \frac{180}{n_t} \right)} \quad (5)$$

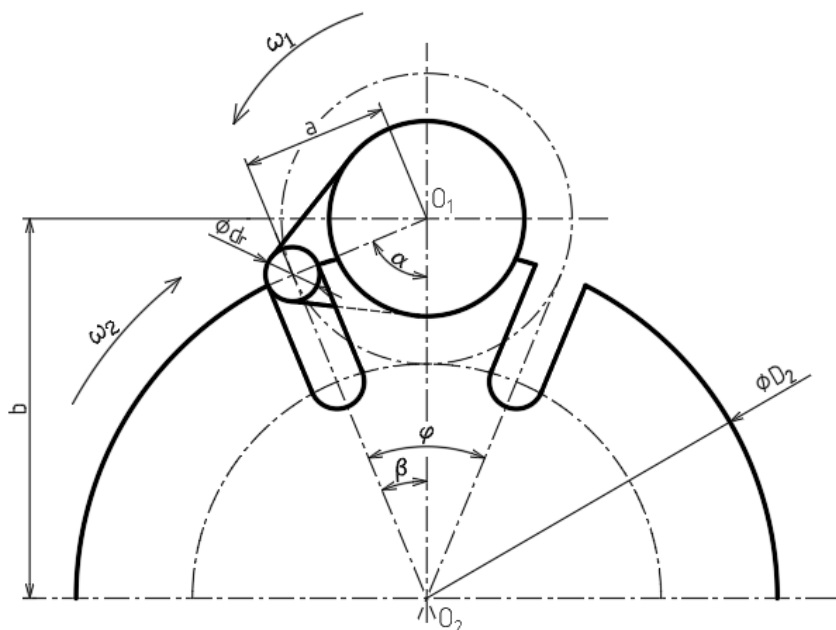
$$D_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{5^2}{4} + 13,39^2 \cdot \cot^2 \left( \frac{180}{8} \right)} = 68,84mm$$

Uhlo  $\beta$  je označený uhlový posun hnaného člena, ktorý závisí na uhlu  $\alpha$ . Uhol  $\alpha$  odpovedá uhlového posunu kľuky v čase  $t$ . Prvou deriváciou podľa času uhlového posunu  $\beta$  dostaneme uhlovú rýchlosť hnaného člena.

$$\frac{d\beta}{dt} = \omega_2 \cdot \left( \frac{m \cdot \cos(\alpha) - 1}{1 + m^2 - 2 \cdot m \cdot \cos(\alpha)} \right) \quad (6)$$

Maximálna uhlová rýchlosť nastane, keď uhlový posun kľuky sa rovná nule. Dosadením  $\alpha = 0^\circ$  do rovnice (6) dostaneme zjednodušenú rovnicu (7) pre výpočet rýchlosti.

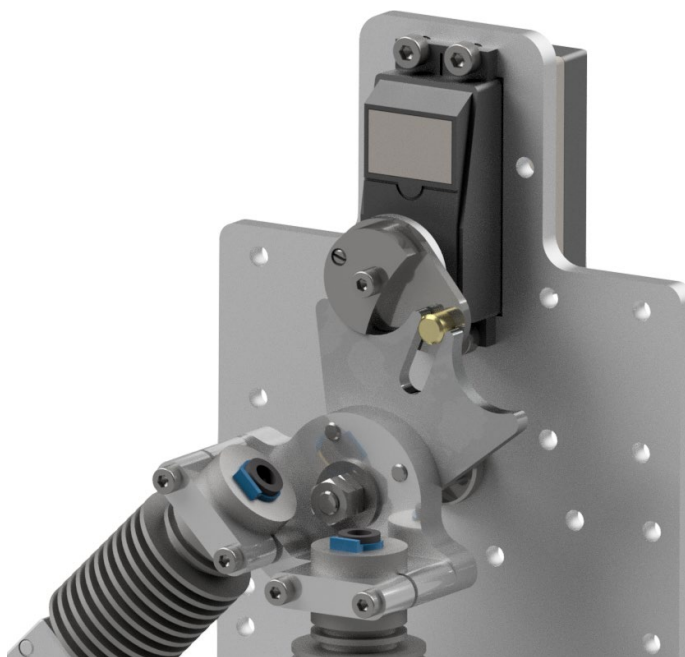
$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{m - 1} = \frac{8,73}{2,613 - 1} = 5,41rad/s \quad (7)$$



Obr. 21) Geometria maltézskeho mechanizmu

### 7.3.3 Konštrukcia polohovacieho mechanizmu

Na platňu vozíka X bude namontovaný servomotor pomocou štyroch skrutiek. Hnací člen maltézskeho mechanizmu je spojený jedným diskom, ktorý má v náboji vytvorené drážkovanie pomocou čoho sa zafixuje na výstupnom hriadeľi servomotora. Materiálom hnacieho aj hnaného člena bude oceľ (S235JR). Kolík, ktorý je zodpovedný za podávanie krútiaceho momentu na hnaný člen, je nalisovaný do hnacieho kola. Kolík sa vyrába z mosadze (CuZn39Pb3) kvôli zníženiu opotrebenia na dotykových plochách kríža. Kríž je pripevnený na držiak s dvomi skrutkami.



Obr. 22) Konštrukčné riešenie polohovacieho mechanizmu

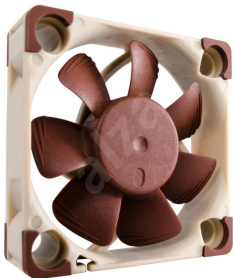
## 7.4 Voľba ďalších prvkov tlačovej hlavy

Táto podkapitola popisuje aké ďalšie elektronické a mechanické prvky budú použité na tlačovej hlave. Také môžu byť napríklad ventilátory, lineárne ložiská, snímače atd. Niektoré z nich sú len doplnkové avšak nepostrádateľné pre spoľahlivé a bezpečné fungovanie.

### 7.4.1 Ventilátory

Aktívne chladenie tlačových hláv je veľmi dôležité, lebo chladiče bez nafukovaného vzduchu nie sú schopné odvádzať dostatočné množstvo tepla. E3D V6 hlavy sa bežne predávajú axiálnym ventilátorom o priemeru 30 mm. Kvôli tomu, že v našom prípade sú hlavy relatívne blízko k sebe bol navrhnutý držiak ventilátora, ktorý rozdeľuje prúdenie vzduchu na dva prúdy. Držiak je navrhnutý pre tlač na 3D tlačiarňu a pre prichytenie na chladičoch je využitý jeho tvar a mierna flexibilita tlačového materiálu. Zvolený typ ventilátora je Noctua NF-A4 s priemerom 40 mm.

Chladiť je potrebné nie len súčiastky tlačových hláv, ale aj vytlačený diel na tlačovej ploche. Nafukovanie vzduchu na vytlačenú vrstvu podporuje rýchlejšie tuhnutie materiálu, čo je veľkou výhodou, keď chceme vytlačiť súčiastku s tenkými stenami. Na tento účel je zvolený radiálny ventilátor typu 5015, ktorý bude pripevnený na bočnú stenu 3D tlačeneho krytovania. Prívod vzduchu k výtlaku sa uskutoční tvarovým usmerňovačom, ktorý bude tiež vyrobený pomocou 3D tlače.



Obr. 23) Noctua NF A4x10 [41]



Obr. 24) Radiálny ventilátor 5015 [42]

### 7.4.2 Koncový spínač osi Z

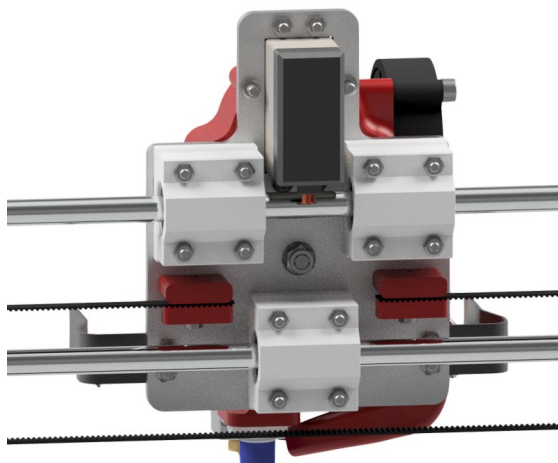
Pre detekovanie koncového bodu osi Z bolo potrebné rozhodnúť medzi dotykovým spínačom a bezdotykovým snímačom. Na rozdiel od mechanických spínačov, tieto umožňujú automatické korigovanie nepresnosti tlačovej plochy. Zatiaľ čo dotykový spínač (BL-touch) môže byť použitý na akúkoľvek tlačovú plochu, indukčný senzor nie je schopný zadetkovať sklenený povrch. Napokon po zvážení cien oboch variant bolo rozhodnuté využitie indukčného snímača typu LJ12A3.



Obr. 25) Indukčný snímač LJ12A3 [43]

### 7.4.3 Lineárne vedenie vozíka X

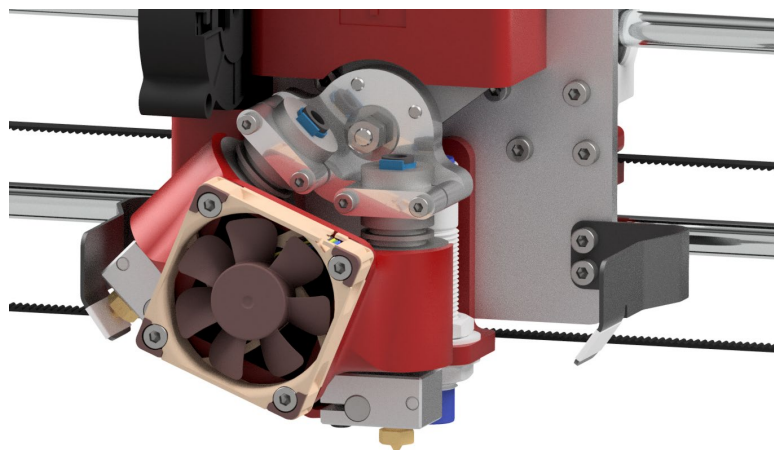
Lineárne vedenie slúži na presné vedenie vozíka pozdĺž osi X. So zreteľom na väčšiu hmotnosť a väčšie rozmery vozíka bolo vybrané vedenie pomocou lineárnych guľôčkových ložísk typu SC8UU. Lineárne vedenie tohto typu sa vyznačuje predovšetkým hladkým chodom po oceľových tyčiach a minimálnou vôľou. Na Obr. 26) je vidieť, že po hornej tyči budú kĺzať dve ložiská a po dolnej iba jedno. Dalo by sa umiestniť dve ložiská aj na dolnú tyč, ale to by sa prejavovalo len vo zvýšení hmotnosti, preto umiestnenie v trojuholníkovom tvare je postačujúce.



Obr. 26) Umiestnenie ložísk na zadnej strane vozíka

### 7.4.4 Spôsob upchatia neaktívnej trysky

Ako už bolo v bakalárskej práci uvedené, upchatie neaktívnej trysky bude vyhotovené pomocou ohnutých plechov. Na dotykovú plochu bude nalepená teflonová páska, ktorá zabráni únik filamentu a znižuje trenie čelnej plochy trysky na plechu. Použitím tohto riešenia nebude potrebné vytlačiť „prime tower“ vedľa alebo okolo súčiastky, čím bude zredukované množstvo odpadu. Táto „veža“ sa bežne využíva nielen pre zavedenie filamentu, a tým pre zabezpečenie žiadaného prietoku roztaveného materiálu pred zahájením danej vrstvy, ale aj na odtrhanie vytečeného a stuhnutého materiálu z neaktívnej trysky.



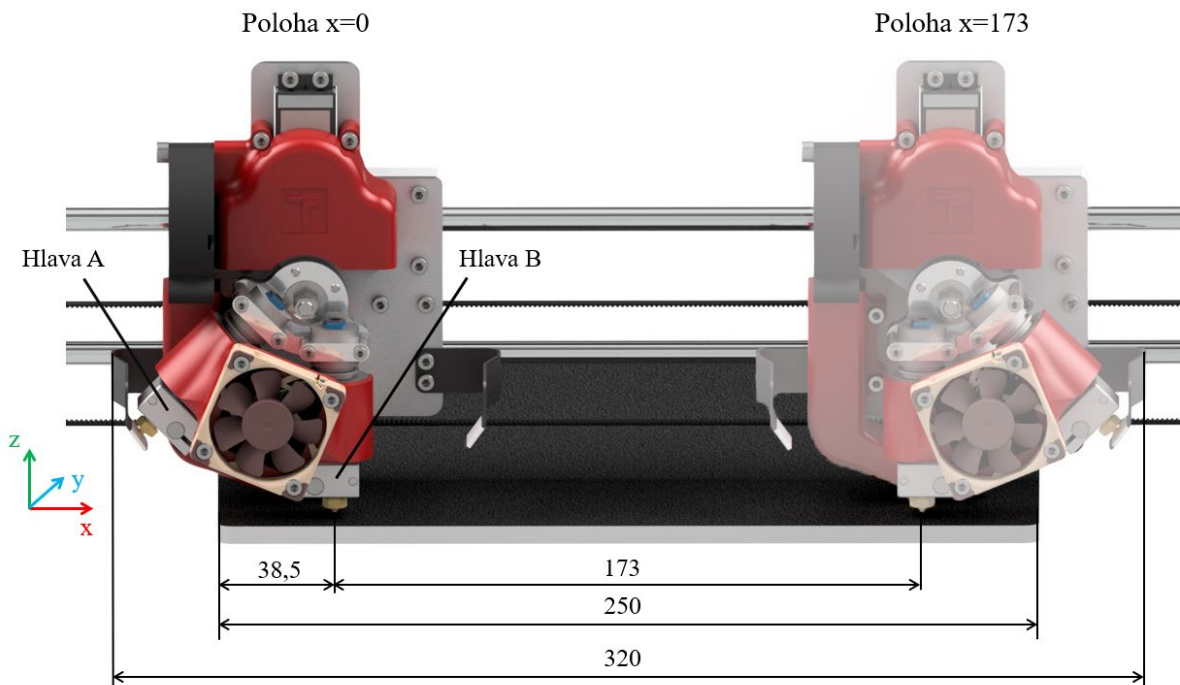
Obr. 27) Spôsob upchatia neaktívnej trysky

## 7.5 Využitie pracovného priestoru

Slabé využitie pracovného priestoru je jednou veľkou nevýhodou navrhnutej konštrukcie, ktorá vyplýva z použitia otočného mechanizmu. Umiestnenie tlačových hláv a použité ohnuté plechy zabráňujúce únik roztaveného materiálu značne zväčšujú celkovú šírku vozíka. Následkom môže byť kolízia s rámom tlačiarne, prípadne s elektronickými alebo mechanickými komponentmi. Predísť takémuto problému sa dá správnym umiestnením koncového spínača, ktorý však obmedzuje pohyb pozdĺž osi X.

Za predpokladu, že navrhnutá tlačová hlava bude namontovaná na komerčne dostupnú tlačiareň je možné odhadnúť rozmerové straty pracovného priestoru. Keď je daná tlačiareň s pracovným stolom o veľkosti 250x250mm a ďalej, že obecný vozík má šírku 70mm, ktorý môže pohybovať v rozmedzí 320mm je zrejmé, že širšia tlačová hlava nebude rovnako využiť tento priestor. Najväčšia šírka multimateriálovej tlačovej hlavy je 128mm, ktorá je meraná medzi vonkajšími stenami ohnutých plechov. Najkritickejší stav nastane, keď je aktívna „hlava B“, ktorá sa blíži k ľavej strane stola, alebo naopak, keď sa „hlava A“ blíži k pravej strane stola. V tomto prípade maximálna tlačová plocha sa znižuje na 173x250mm, teda o viac ako 30%.

Ďalším dôležitým faktorom je korekcia polohy v smere osi X medzi tlačovými hlavami A a B. Osi týchto hláv sa nepretínajú v bode otáčania, čo má za následok, že po prepínaní z hlavy A na B alebo opačne, tá druhá hlava sa bude nachádzať v inej vzdialenosti od nulového bodu. Korekcia je určená z geometrie a činí 19mm.



Obr. 28) Koncové polohy navrhnutej tlačovej hlavy

## 8 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Cieľom tejto kapitoly je odhadnúť približnú cenu nakupovaných a vyrábaných komponentov. Odhad finančných prostriedkov je dôležitý z hľadiska rozšírenia navrhutej tlačovej hlavy vo svete 3D tlače.

### 8.1 Vyrábané komponenty

Vyrábané komponenty je možné rozdeliť do dvoch skupín: 3D tlačené a obrábané prvky. U 3D tlačných súčiastok boli zahrnuté iba materiálové náklady. Najväčšiu časť celkovej ceny tlačovej hlavy tvoria obrábané komponenty. Výroba týchto dielov sa realizuje frézovaním, sústružením a vrtaním, u ktorých cenu ovplyvňujú najmä požadované geometrické a rozmerové tolerancie. Odhad presných nákladov na výrobu je bez konzultácie s výrobcami zložitý, preto celková suma, približne 290€, je len hrubým odhadom.

Tab. 7) Vyrábané komponenty

	Názov komponentu	Počet kusov	Odhadovaná cena (EUR) za kus
3D tlačené komponenty	Držiak axiálneho ventilátora	1	0,50
	Držiak senzora	1	0,10
	Kryt	1	0,30
	Protikus upínacej dosičky	2	0,05
	Upínacia dosička remeňa	2	0,05
	Usmerňovač vzduchu	1	0,40
Obrábané komponenty	Držiak tlačových hláv + upínky	1	110
	Hnací člen	1	50
	Hnaný člen	1	50
	Hriadeľ	1	40
	Kolík	1	8
	Ohnutý plech	2	5
	Platňa vozíka X	1	20
Celková cena vyrábaných komponentov			289,50

## 8.2 Nakupované komponenty

Odhadovaná cena nakupovaných komponentov je 175,78€. Ceny jednotlivých prvkov boli zistené z online obchodov a katalógov. Pri výbere súčiastok boli preferované české a slovenské obchody, ale v niektorých prípadoch bolo potrebné nájsť zahraničného dodávateľa.

Tab. 8) Nakupované komponenty

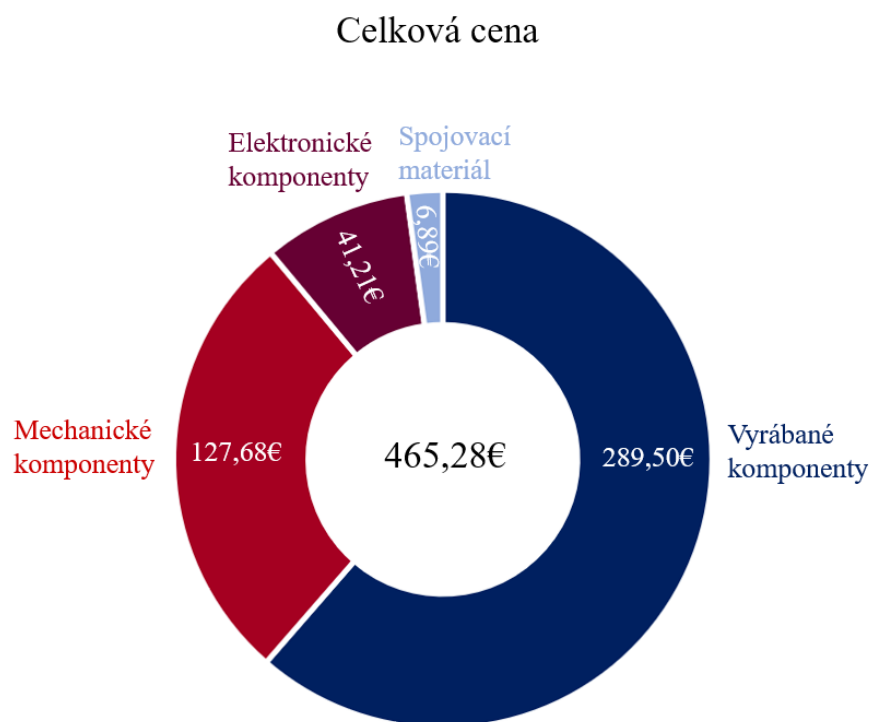
	Názov komponentu	Počet kusov	Odhadovaná cena (EUR) za kus
Mechanické komponenty	E3D V6 hlava	2	57,70
	Lineárne ložisko SC8UU	3	3,50
	Ložisko SKF PSMF 050908 A51	1	0,68
	Servo tanier 25T	1	1,10
Elektronické komponenty	Indukčný snímač LJ12A3	1	5,75
	Servomotor DS3218 270°	1	18,46
	Ventilátor - radiálny 5015	1	4,10
	Ventilátor Noctua NF-A4x10	1	12,90
Spojovací materiál	Matica ISO 4032 – M3	23	0,04
	Matica ČSN EN 24032 – M4	1	0,08
	Matica ČSN EN 24035 – M4	1	0,08
	Podložka ČSN 02 1702 – 5	1	0,02
	Podložka ČSN 02 1726 – 4	1	0,06
	Samoistná matica ISO 7040 - M5	1	0,11
	Skrutka DIN 4027 - M2x3	1	0,05
	Skrutka ISO 4026 – M3x8	1	0,03
	Skrutka ISO 4762 - M2,5x10	1	0,10
	Skrutka ISO 4762 - M2,5x16	4	0,11
	Skrutka ISO 4762 - M3x8	4	0,09
	Skrutka ISO 4762 - M3x10	8	0,09
	Skrutka ISO 4762 - M3x12	7	0,10
	Skrutka ISO 4762 - M3x25	13	0,18
	Skrutka ISO 4762 - M3x30	3	0,19
Skrutka ISO 4762 - M4x20	1	0,31	
Celková cena nakupovaných komponentov			175,78



### 8.3 Celková cena tlačovej hlavy

Celková cena tlačovej hlavy pri kusovej výrobe vychádza približne na 465,28€. Značnú časť nákladov tvoria obrábané a mechanické komponenty pri ktorých ceny spojovacích súčiastok sú zanedbateľné. Ako už bolo spomenuté, celková cena obrábaných komponentov závisí najmä na požadovaných toleranciách a bez konzultácie s výrobcami ide len o hrubý odhad. Medzi mechanickými prvkami sú zahrnuté originálne E3D hlavy, ktoré sami činia 57,70€ za kus.

Po porovnaní celkovej ceny navrhutej konštrukcie s cenami komerčne dostupných variantov je zrejmé, že celková suma je príliš vysoká. Nakoľko ponúka sa možnosť vybrať si z internetových e-shopov ekvivalentný variant ako mechanických, tak aj elektronických komponentov s trochu horšími technickými parametrami. Tiež je možné niektoré z obrábaných komponentov prispôbiť pre 3D tlač a takto by sa dalo znížiť celkové finančné náklady na zlomok pôvodne odhadovanej sumy.



Obr. 29) Celková odhadovaná cena



## 9 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bol návrh konštrukcie multimateriálovej tlačovej hlavy, ktorá je schopná tlačiť najmenej dva rôzne materiály bez potreby vyprázdnenia neaktívnej trysky, a ďalej zabrániť úniku tlačovej hmoty z trysky, čím sa zredukuje odpadový materiál.

Teoretická časť sa začína oboznámením technológie 3D tlače a popisom jednotlivých multimateriálových technológií, s ktorými sa môžeme stretávať v odbore. To nasleduje rozsiahly popis technológie FFF. V tejto kapitole sú popísané vybrané komerčne dostupné multimateriálové tlačové hlavy, ktoré slúžili ako inšpirácia pri návrhu vlastného konštrukčného riešenia.

Pred samotným návrhom variantov bola formulovaná problematika, ktorá sa týka tlače s viacerými materiálmi. Na základe stanovených problematik boli navrhnuté dva otáčajúce sa varianty. To znamená, že prepínanie medzi tryskami sa uskutoční rotačnou výmenou. Použitím otočného mechanizmu bolo možné navrhnuť jedinečnú konštrukciu tlačovej hlavy, ktorá spĺňa všetky prerekvizity. Multikriteriálnou analýzou bolo získané celkové hodnotenie z ktorého vyplýva, že variant A je vhodnejšia voľba na danú problematiku. Variant B tiež získal chválitebné hodnotenie, ale v najdôležitejšom porovnávacom bode dostal slabé hodnotenie, čo mal najväčší vplyv na výsledok.

Rozbor konštrukčného riešenia obsahuje popis dôležitých konštrukčných uzlov. Najprv bol navrhnutý držiak, na ktorom sú uchytené V6 hlavy. Uchytiť hlavy je možné cez drážky na horných koncoch chladičov s vhodnými upínkami. S ohľadom na tvar je výhodné vyrábať držiak a upínky v celku, a potom s vhodnou metódou oddeliť tieto súčiastky. Ďalej nasledoval návrh bodu otáčania, kde bol zvolený nosný hriadeľ, ktorý je ukotvený vo vozíku osi X. Uloženie držiaka na hriadeli je vytvorené klzným ložiskom zo sintrovaného bronzu. Za materiál hriadeľa bola zvolená konštrukčná oceľ z dôvodu, aby sa neopotreboval nadmerne od bronzového puzdra. Tiež by bolo možné vykonávať príslušnú povrchovú úpravu na hriadeli, a tým získať dostatočnú tvrdosť povrchovej vrstvy. Vzhľadom na malú záťaž je možné vynechať povrchovú úpravu, čím sa ušetrí značná časť nákladov na výrobu. Konštrukčné riešenie sa pokračovalo voľbou maltézskeho mechanizmu pre prepínanie medzi hlavami, kde za pohon bol zvolený servomotor typu DS3218. Pretože servomotory majú určitú vôľu v prevodoch, voľbou maltézskeho mechanizmu bolo možné sa vyhnúť problému nepresného polohovania. Síce vôľa sa môže vyskytovať aj v mechanizme, preto pri tvorbe výrobných výkresov hnacieho a hnaného člena je dôležité dbať na správny návrh tolerancií. Materiálom hnacieho a hnaného člena je konštrukčná oceľ, pričom kolík je vyrobený z mosadze kvôli zníženiu opotrebenia na dotykových plochách. Geometria maltézskeho mechanizmu bola kreslená v programe AutoCad na základe vypočítaných rozmerov. Dôležitým uzlom bol ešte návrh spôsobu upchatia trysky. Ten bol vyhotovený pomocou ohnutých plechov, na ktorých sa nalepí teflonová páska, jednak aby upchatie bolo dokonalé a na druhej strane, aby čelá trysok sa neopotrebovali trením na plechoch. Táto kapitola ešte obsahuje výber ďalších prvkov, ako sú napríklad ventilátory, koncový spínač a lineárne vedenie.

Celková cena sa skladá z cien nakupovaných a vyrábaných komponentov. Sčítaním cien všetkých dielov vyšla výsledná suma 465,28€. Značnú časť celkovej ceny tvoria vyrábané komponenty, kde náklady ovplyňovali najmä rozmerové a geometrické tolerancie. Ceny nakupovaných komponentov boli zistené z domácich a zahraničných internetových obchodov.

Dôležité je ešte spomenúť, že výsledná cena je len hrubým odhadom pre kusovú výrobu tejto hlavy. Sériovou výrobou by sa finančné náklady znížili na zlomok odhadovanej sumy.

Navrhnutá multimateriálová tlačová hlava z dôvodu vysokej ceny je určená predovšetkým pre priemyselné použitie. Vďaka hliníkovému prevedeniu a vybraným kvalitným komponentom ponúka užívateľom dlhodobú spoľahlivosť a funkčnosť. Pred prevádzkou je ale podstatné vykonávať kalibráciu a nastaviť trysky, aby pracovali presne v jednej rovine. Tiež je odporúčané mazať pohybujúce sa súčiastky. Síce výbrané bronzové puzdro je označené ako samomazné, bolo by výhodné v určitých intervaloch skontrolovať, či nedošlo k výrazne veľkému treniu na plochách, ktoré sú v kontakte s hriadeľom. Prvotný návrh vozíka X je určený pre tlačiarne používajúce lineárne ložiská. Nakoľko prepracovaním vozíka by sa dalo prispôbiť tvar a rozmery konštrukcie pre tlačiarne s profilovým alebo rolničkovým vedením.

## 10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] GIBSON, Ian, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies* [online]. New York, NY: Springer New York, 2015 [cit. 2021-05-08]. ISBN 978-1-4939-2112-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-2113-3
- [2] NOORANI, Rafiq. *3D Printing* [online]. CRC Press, 2017 [cit. 2021-05-08]. ISBN 9781315155494. Dostupné z: doi:10.1201/9781315155494
- [3] EVANS, Brian. *Practical 3D printers*. New York: Distributed to the book trade world wide by Springer Science+Business Media, 2012. ISBN 978-1-4302-4392-2.
- [4] *All3DP: Multi-Material 3D Printing Guide: Multi-Material 3D Printing Guide* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/multi-material-3d-printing-an-overview/>
- [5] KHATRI, Bilal, Marco FREY, Ahmed FAHMY, Marc-Vincent SCHARLA a Thomas HANEMANN. *Development of a Multi-Material Stereolithography 3D Printing Device. Micromachines*. 2020, **11**, 532. Dostupné z: doi:10.3390/mi11050532
- [6] *Stereolitografia (SLA)* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <http://www.sethal.sk/technologia/sla>
- [7] RAFIEE, Mohammad, Rouhollah D. FARAHANI a Daniel THERRIAULT. *Multi-Material 3D and 4D Printing: A Survey: A Survey. Advanced Science*. John Wiley & Sons, Ltd, 2020, **7**(12), 1902307. ISSN 2198-3844. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/advs.201902307>
- [8] *Wikipedia: Multi-material 3D printing* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-material\\_3D\\_printing#/media/File:A\\_SLA\\_multi-material\\_design.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-material_3D_printing#/media/File:A_SLA_multi-material_design.svg)
- [9] KILLI, Steinar. *Additive Manufacturing: Design, Methods, and Processes*. Pan Stanford Publishing Pte. Ltd, 2017. ISBN 978-981-4774-16-1.
- [10] REDWOOD, Ben, Filemon SCHÖFFER a Brian GARRET. *The 3D printing handbook: Technologies, design and applications*. Coers & Roest, 2017. ISBN 9789082748505.
- [11] Stratasys: FDM technology. *Stratasys* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/fdm-technology>
- [12] *Tech-labs: FDM technology* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://tech-labs.com/fdm-technology>
- [13] *Engatech: The Difference Between FDM And Polyjet Technology In 3D Printing* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <http://engatech.com/difference-fdm-polyjet-3d-printing/>
- [14] *Cults3D: PSA Hot End Cleaning and Assembly* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://cults3d.com/en/blog/articles/psa-hot-end-cleaning-assembly>

- [15] *Filament2print: How to choose the correct hotend* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: [https://filament2print.com/gb/blog/96\\_How-to-choose-the-correct-hotend.html](https://filament2print.com/gb/blog/96_How-to-choose-the-correct-hotend.html)
- [16] *RepRap: Extruders* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://reprap.org/wiki/Category:Extruders>
- [17] *3DJake: E3D V6 Titan Heatbreak* [online]. 2021 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.3djake.sk/e3d/v6-titan-heatbreak>
- [18] *Amazon* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/XIANYUNDIAN-Throat-All-Metal-Stainless-Printer/dp/B0892MDM18?th=1>
- [19] *HTA3D: The Hotend - Functioning and Zones* [online]. 2016 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.hta3d.com/en/blog/the-hotend-functioning-and-zones>
- [20] *RepRap: Thermistor* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://reprap.org/wiki/Thermistor>
- [21] *All3DP: 3D Printer Nozzle Guide* [online]. 2020 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-nozzle-size-material-what-to-know-which-to-buy/>
- [22] *E3D: V6 nozzles* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://e3d-online.com/collections/nozzles/products/v6-nozzles>
- [23] *Filastruder: Cyclops/Chimera (Dual Extrusion Hotends)* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.filastruder.com/products/chimera-cyclops>
- [24] *Wiki: E3D-online* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: [https://wiki.e3d-online.com/Cyclops\\_%26\\_Chimera\\_Documentation](https://wiki.e3d-online.com/Cyclops_%26_Chimera_Documentation)
- [25] *DIPERSIO*, Jessica Susan, Robert Daniels BOULANGER a Alex Joseph BEAUDOIN. Multihead 3D Printer. Worcester Polytechnic Institute, 2016. Dostupné také z: <https://digital.wpi.edu/show/db78td511>
- [26] *Ooznest: E3D Chimera+ Full Kit* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://ooznest.co.uk/product/e3d-chimera-full-kit/>
- [27] *E3D: Cyclops* [online]. 2021 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://e3d-online.com/products/cyclops>
- [28] *E3D: Toolchanger* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://e3d-online.com/blogs/news/toolchanger-the-update-youve-all-been-waiting-for>
- [29] *Prusa: MMU2S* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/original-prusa-i3-multi-material-2-0/>
- [30] *Prusa: Nastavení a kontrola MMU2S* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/nastaveni-a-kontrola-mmu2s\\_2233](https://help.prusa3d.com/cs/article/nastaveni-a-kontrola-mmu2s_2233)
- [31] *Makertech: Dual Switching Extruder* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.makertech3d.com/products/dual-switching-extruder-non-proforge>
- [32] *Alza.sk: 3D tlač* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.alza.sk/filamenty-3d-tlac>

- [33] *Simplify3D: Materials guide* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>
- [34] *Verbatim: 3D Printing* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.verbatim-europe.co.uk/en/3D/>
- [35] *Simplify3D: Materials guide: Properties table* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/>
- [36] *JANÍČEK, Přemysl a Emanuel ONDRÁČEK. Řešení problémů modelováním: téměř nic o téměř všem.* Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1233-x.
- [37] *SKF: Bushings* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/bushings/productid-PSMF%20050908%20A51>
- [38] *SKF: Designs and Variants* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/bushings/designs-variants>
- [39] *Banggood: DS3218* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.banggood.com/DSSERVO-DS3218-PRO-20KG-180-270-Waterproof-High-Speed-Metal-Gear-Digital-Servo-For-1-or-8-1-or-10-1-or-12-Scale-RC-Cars-p-1542162.html>
- [40] *SCLATER, Neil a Nicholas P. CHIRONIS. Mechanisms and mechanical devices sourcebook.* IV. BookMart Press, 2007. ISBN 978-0-07-146761-2.
- [41] *Alza.sk: Ventilátory* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.alza.sk/noctua-nf-a4x10-flx-d407726.htm?o=47>
- [42] *Turtle.sk: Ventilátory a chladienie* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.turtle.sk/sk/110/50/ventilator-12v-5015>
- [43] *Gme.sk: Indukčné snímače polohy* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.gme.sk/lj12a3-4-z-bx-m12-0-4-mm-npn-no-kabel>





# 11 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

## 11.1 Zoznam skratiek a symbolov

Skratka	Význam	Jednotka
a	polomer kľuky hnacieho člena	[mm]
b	osová vzdialenosť medzi členmi	[mm]
B <sub>A,1</sub>	body parametru 1 variantu A	[-]
B <sub>A,2</sub>	body parametru 2 variantu A	[-]
B <sub>A,3</sub>	body parametru 3 variantu A	[-]
B <sub>A,4</sub>	body parametru 4 variantu A	[-]
B <sub>A,5</sub>	body parametru 5 variantu A	[-]
B <sub>B,1</sub>	body parametru 1 variantu B	[-]
B <sub>B,2</sub>	body parametru 2 variantu B	[-]
B <sub>B,3</sub>	body parametru 3 variantu B	[-]
B <sub>B,4</sub>	body parametru 4 variantu B	[-]
B <sub>B,5</sub>	body parametru 5 variantu B	[-]
d <sub>r</sub>	priemer kolíka	[mm]
D <sub>2</sub>	priemer hnaného člena	[mm]
m	koeficient m	[-]
n <sub>t</sub>	teoretický počet drážok	[-]
P <sub>1</sub>	parameter 1	[-]
P <sub>2</sub>	parameter 2	[-]
P <sub>3</sub>	parameter 3	[-]
P <sub>4</sub>	parameter 4	[-]
P <sub>5</sub>	parameter 5	[-]
V <sub>1</sub>	váha parametru 1	[-]
V <sub>2</sub>	váha parametru 2	[-]
V <sub>3</sub>	váha parametru 3	[-]
V <sub>4</sub>	váha parametru 4	[-]
V <sub>5</sub>	váha parametru 5	[-]
α	uhlový posun kľuky v čase	[rad]
β	uhlový posun hnaného člena v čase	[rad]
ε <sub>A</sub>	hodnotenie variantu A	[-]
ε <sub>B</sub>	hodnotenie variantu B	[-]
φ	uhol medzi tlačovými hlavami/drážkami	[°]
ω <sub>1</sub>	uhlová rýchlosť hnacieho člena	[rad/s]
ω <sub>2</sub>	uhlová rýchlosť hnaného člena	[rad/s]

## 11.2 Zoznam tabuliek

Tab. 1)	Tlačové hlavy so základnými parametrami.....	27
Tab. 2)	Vybrané tlačové materiály so základnými vlastnosťami .....	30
Tab. 3)	Váhy stanovených parametrov .....	37
Tab. 4)	Hodnotenie parametrov variantu A.....	37
Tab. 5)	Hodnotenie parametrov variantu B.....	38
Tab. 6)	Celkové hodnotenie variantov.....	38
Tab. 7)	Vyrábané komponenty .....	47
Tab. 8)	Nakupované komponenty.....	48

## 11.3 Zoznam obrázkov

Obr. 1)	Porovnanie výrobných technológií, upravené z [2] .....	17
Obr. 2)	Schematické znázornenie jednotlivých krokov výroby, upravené z [2] .....	19
Obr. 3)	Schematické znázornenie technológie SLA [8] .....	19
Obr. 4)	Technológia PolyJet, upravené z [9].....	20
Obr. 5)	Vytvorenie modelu pomocou FDM technológie, upravené z [13] .....	21
Obr. 6)	Tlačová hlava typu E3D V6, upravené z [14].....	22
Obr. 7)	Typy heatbreakov [18] .....	23
Obr. 8)	Trysky od výrobcu E3D [22] .....	24
Obr. 9)	E3D Chimera (naľavo) a Cyclops (napravo) [26] [27].....	25
Obr. 10)	Dokované nástrojové hlavy [28].....	25
Obr. 11)	Prusa MMU2S, upravené z [30].....	26
Obr. 12)	Dual switching extruder od Makertech [31] .....	26
Obr. 13)	Tlačové struny [34] .....	29
Obr. 14)	Návrh tlačovej hlavy – Variant A .....	33
Obr. 15)	Návrh tlačovej hlavy – Variant B.....	34
Obr. 16)	Bodovacia škála .....	36
Obr. 17)	Uchytenie tlačových hláv na držiaku .....	39
Obr. 18)	Uchytenie hriadeľa na vozíku osi X.....	40
Obr. 19)	Uloženie držiaka na hriadeli.....	40
Obr. 20)	Servomotor DS3218 [39] .....	41
Obr. 21)	Geometria maltézskeho mechanizmu .....	43
Obr. 22)	Konštrukčné riešenie polohovacieho mechanizmu.....	43
Obr. 23)	Noctua NF A4x10 [41].....	44
Obr. 24)	Radiálny ventilátor 5015 [42] .....	44
Obr. 25)	Indukčný snímač LJ12A3 [43].....	44
Obr. 26)	Umiestnenie ložísk na zadnej strane vozíka.....	45
Obr. 27)	Spôsob upchatia neaktívnej trysky.....	45
Obr. 28)	Koncové polohy navrhutej tlačovej hlavy.....	46
Obr. 29)	Celková odhadovaná cena.....	49

## 12 ZOZNAM PRÍLOH

### 12.1 Prílohy

- Príloha č.1 Údaje servomotora DS3218 [39]  
Príloha č.2 Spôsob uchytenia variantu B na držiaku  
Príloha č.3 Konštrukčné riešenie tlačovej hlavy – predný pohľad  
Príloha č.4 Konštrukčné riešenie tlačovej hlavy – zadný pohľad

### 12.2 Externé prílohy

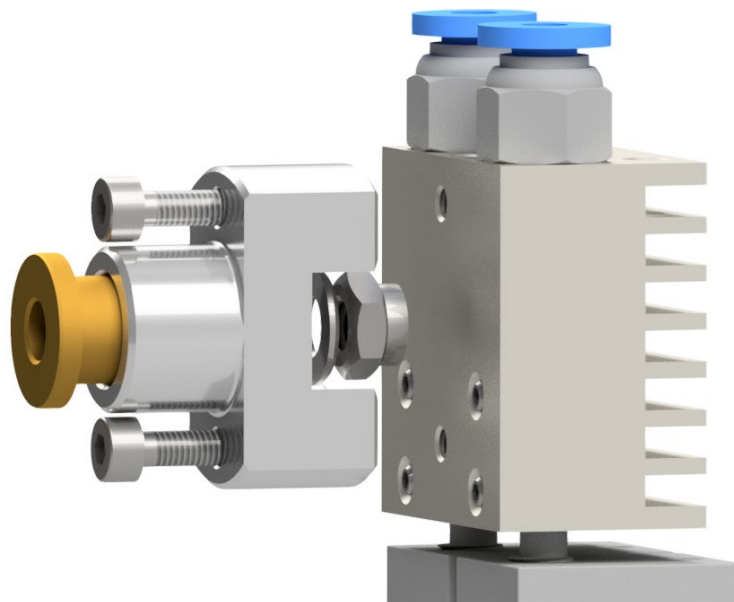
Príloha ext. č.1	Výkres zostavy	Tlačová hlava	209154-00 (formát A2)
Príloha ext. č.2	Kusovník	Kusovník-01	209154-00-KS-1 (formát A4)
Príloha ext. č.3	Kusovník	Kusovník-02	209154-00-KS-2 (formát A4)
Príloha ext. č.4	Kusovník	Kusovník-03	209154-00-KS-3 (formát A4)
Príloha ext. č.5	Výrobný výkres	Hnaný člen	209154-00-01 (formát A3)
Príloha ext. č.6	Výrobný výkres	Hriadel'	209154-00-02 (formát A3)



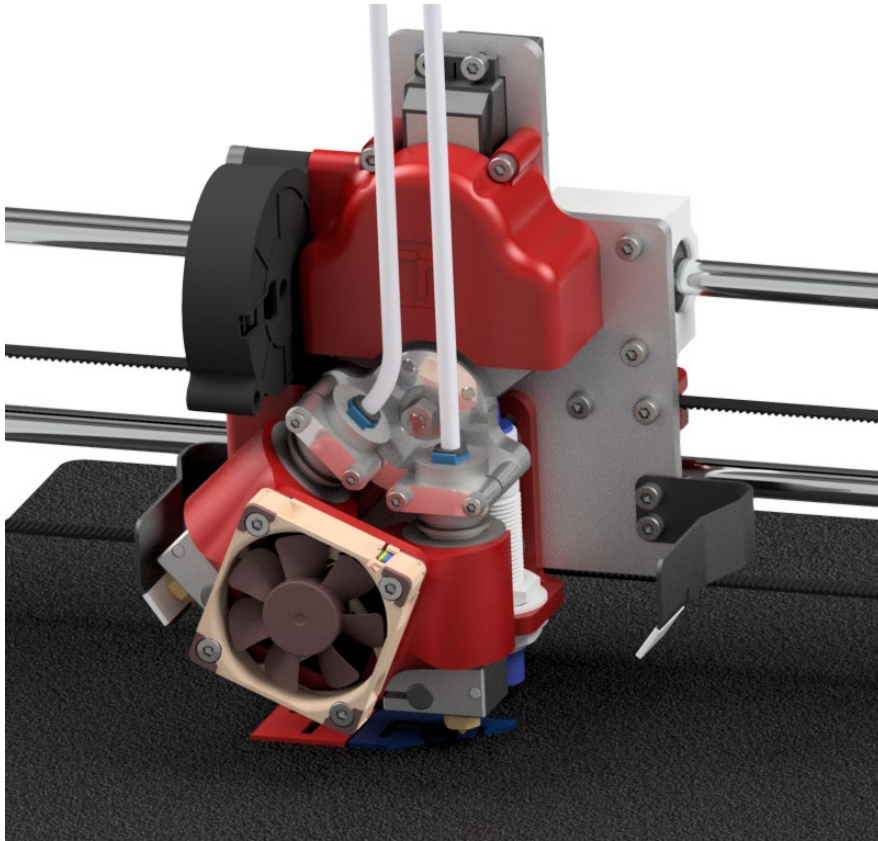
## PRÍLOHY

Dimensions	40x20x40,5mm
Weight	60g
Operating speed (5V)	0,12s / 60°
Operating speed (6,8V)	0,09s / 60°
Torque (5V)	21kg.cm
Torque (6,8V)	23,5kg.cm
Dead band width	3μs
Operation voltage	4,8 – 6,8V
Rotation	270° (PWM 500-2500μs)

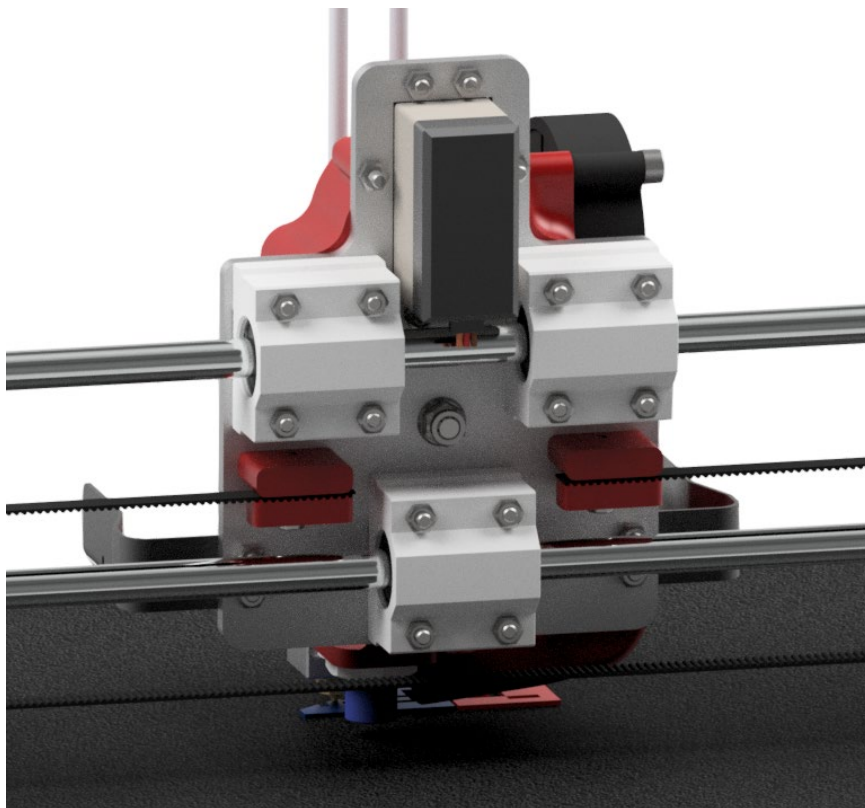
Příloha č.1 Údaje servomotora DS3218 [39]



Příloha č.2 Spôsob uchytenia variantu B na držiaku



Příloha č.3 Konštrukčné riešenie tlačovej hlavy – predný pohľad



Příloha č.4 Konštrukčné riešenie tlačovej hlavy – zadný pohľad