

Návrh konstrukce 3D tiskárny pro technologii FLM

Bakalářská práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

B0715A270008 Strojírenství

Jan Rychtářech

Ing. Petr Keller, Ph.D.

Katedra výrobních systémů a automatizace





Zadání bakalářské práce

Návrh konstrukce 3D tiskárny pro technologii FLM

Jméno a příjmení: **Jan Rychtářech**
Osobní číslo: S19000337
Studijní program: B0715A270008 Strojírenství
Zadávací katedra: Katedra výrobních systémů a automatizace
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je provést návrh konstrukce 3D tiskárny aditivní technologie FLM (FFF) uzavřené konstrukce s použitím hotových komponent (např. tisková hlava).

Zásady vypracování:

1. Seznamte se s principem aditivní technologie FLM (FFF) a proveďte stručný rozbor existujících řešení 3D tiskáren pro tuto technologii.
2. Navrhněte koncepci nové 3D tiskárny tak, aby bylo možné jednoduše zakrytovat pracovní prostor tiskárny s elektronikou řízení tiskárny umístěnou mimo tento prostor.
3. Na základě tohoto konceptu proveďte vlastní konstrukci 3D tiskárny včetně kusovníku a 3D modelů vyráběných dílů.
4. Proveďte zhodnocení konstrukčního řešení.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
cca 35 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] GEBHARDT, A. Understanding Additive Manufacturing. Munich: Verlag, 2011. ISBN 978-3-446-42552-1.
- [2] WIMPENNY, D. I., L. J. KUMAR a P. M. PANDEY. Advances in 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2016. ISBN 978-981-10-0811-5.
- [3] SRIVATSAN, T. S. a T. S. SUDARSHAN. Additive manufacturing: innovations, advances, and applications. Boca Raton: Taylor and Francis, 2016. ISBN 9781498714785.
- [4] REPRAP. RepRap Forums :: Czech RUG [online]. 2011 [cit. 2019-09-23]. Dostupné z: <http://forums.reprap.org/index.php?321>.
- [5] REBEL 3D. Diskuse o 3D tiskárnách Rebel, RepRap atp. [online]. 2014. [cit. 2019-09-23]. Dostupné z: <http://www.rebelove.org/>
- [6] STRATASYS LTD. Professional 3D Printing. [online]. 2015 [cit. 2019-09-23]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/>
- [7] KELLER, P. Duální tisková hlava pro technologii FLM [funkční vzorek]. KSA/17/2400/01, Technická univerzita v Liberci. 2017.

Vedoucí práce:

Ing. Petr Keller, Ph.D.
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání práce:

20. listopadu 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

20. května 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

2. ledna 2021

Jan Rychtářech

Poděkování

Rád bych toto poděkování věnoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za trpělivost, odborné rady a za čas věnovaný při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala celé studium a obzvláště při psaní této bakalářské práce.

**TÉMA: NÁVRH KONSTRUKCE 3D TISKÁRNY PRO
TECHNOLOGII FLM**

ANOTACE: Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce 3D tiskárny pro technologii FFF se zakrytáním tiskového prostoru. Součástí je také návrh výměnné tiskové hlavy. V úvodní části se práce věnuje představením nejčastěji používaných technologií aditivní výroby. Následuje seznámení s technologií FFF, poté rešerše prvků 3D tiskárny, konstrukčních řešení a stručný popis materiálu pro použití této technologie. Konstrukční část je zaměřena na vlastní konstrukční řešení 3D tiskárny, konstrukce, návrh výměnné tiskové hlavy, posuvy všech os, použité elektroniky a zakrytání celého tiskového prostoru. Závěrečná část se věnuje ekonomickému zhodnocení celé konstrukce 3D tiskárny.

KLÍČOVÁ SLOVA: FFF, 3D tiskárna, výměnná tisková hlava, lineární pojezd, zakrytání tiskového prostoru

**THEME: DESIGN OF 3D PRINTER CONTRUCTION FOR
FLM TECHNOLOGY**

ANNOTATION: The bachelor's thesis deals with the design of a 3D printer for FFF technology with covering of the printing space. A replaceable printhead design is also included. In the introductory part, the work deals with the introduction of the most commonly used technologies of additive production. This is followed by an introduction to FFF technology, followed by a search of 3D printer elements, design solutions and a brief description of the material for the use of this technology. The design part is focused on the own design solution of the 3D printer, construction, design of a replaceable print head, displacements of all axes, used electronics and covering the entire printing space. The final part is devoted to the economic evaluation of the entire design of a 3D printer.

KEYWORDS: FFF, 3D printer, replaceable printhead, linear travel, covering the printing area

Počet stran: 62

Počet příloh: 23

Počet obrázků: 39

Počet tabulek: 2

Počet modelů: 38

Obsah

Seznam obrázků	9
Úvod	12
1 Přehled nejčastějších technologií 3D tisku	13
1.1 FFF (Fused Filament Fabrication)	13
1.2 SLA (stereolitografie)	13
1.3 SLS (Selective Laser Sintering)	13
2 Jak funguje FFF technologie	15
2.1 Tisková hlava (extruder)	15
2.2 Vyhřívaná tisková podložka	16
2.3 Pohyb	16
2.4 Elektronika	17
3 Typy konstrukcí FFF technologie	19
3.1 Kartézská	19
3.1.1 Klasická konstrukce	19
3.1.2 Konstrukce cube	20
3.2 Delta	20
3.3 Polární	21
3.4 Scara	22
4 Materiály pro FFF technologii	23
4.1 PLA	23
4.2 PET-G	23
4.3 ABS	24
4.4 Nylon	24
4.5 Další materiály	24
5 Návrh konstrukce 3D tiskárny	25
5.1 Konstrukce cube	26
5.1.1 Pohon konstrukce cube	26
5.2 Konstrukce z hliníkových profilů	28
5.3 Návrh spojovacích dílů	29
5.3.1 Materiál spojníku	29
5.3.2 Upevnění spojníku	29
5.3.3 Spojníky přední a zadní	30

5.4	Návrh konstrukce tiskové plochy	31
5.4.1	Popis konstrukce tiskové plochy	31
5.4.2	Vyhřívání deska.....	31
5.4.3	Podložka vyhřívání desky.....	31
5.4.4	Kalibrace tiskové plochy	32
5.5	Návrh vyměnitelné tiskové hlavy	33
5.5.1	Popis tiskové hlavy	33
5.5.2	Vlastnosti tiskové hlavy	34
5.5.3	Systém Volcano	35
5.5.4	Konstrukce výměnné tiskové hlavy	35
5.5.5	Popis výměny tiskové hlavy.....	37
5.6	Návrh posuvu osy X	38
5.6.1	Variety řešení posuvu osy X.....	38
5.6.2	Vlastní řešení posuvu osy X	39
5.6.3	Konstrukce uchycení tiskové hlavy na vozíku osy X	40
5.7	Návrh posuvu osy Y	41
5.7.1	Konstrukce uchycení sestavy osy X na vozíku osy Y	41
5.8	Návrh posuvu osy Z	42
5.8.1	Vedení osy Z	42
5.8.2	Posuv osy Z	42
5.8.3	Uložení posuvu osy Z.....	42
5.8.4	Pohon osy Z	42
5.8.5	Zhodnocení řešení osy Z.....	43
5.9	Elektronika.....	44
5.9.1	Základní deska	45
5.9.2	Krokové motory.....	47
5.9.3	Drivery	47
5.9.4	Display	48
5.9.5	Koncové spínače	48
5.9.6	Topně těleso tiskové hlavy	48
5.9.7	Tisková podložka	48
5.9.8	Teplotní čidla	48
5.9.9	Moduly Mosfet	48
5.9.10	Zdroj.....	49

6	Návrh konstrukce zakrytování tiskárny	50
6.1.1	Návrh konstrukce pro upevnění krytů k rámu 3D tiskárny	50
6.1.2	Boční kryty 3D tiskárny	51
6.1.3	Zadní kryt 3D tiskárny.....	51
6.1.4	Horní kryt 3D tiskárny.....	51
6.1.5	Spodní kryt 3D tiskárny	52
6.1.6	Přední dvířka 3D tiskárny.....	52
7	Ekonomické zhodnocení.....	54
8	Závěr	56
	Literatura	57
	Seznam přílohy	60

Seznam obrázků

Obr. 1	Princip technologie FFF [2]	14
Obr. 2	Princip technologie SLA [3].....	14
Obr. 3	Princip technologie SLS [4]	14
Obr. 4	Tisková hlava [5]	16
Obr. 5	Tiskový stůl [6].....	16
Obr. 6	Krokový motor Nema 17 [7].....	17
Obr. 7	Schéma zapojení elektroniky [8]	18
Obr. 8	Tiskárna Prusa i3 MK3S [10]	19
Obr. 9	Konstrukce Cube.....	20
Obr. 10	Delta Kossel tiskárna [11]	21
Obr. 11	3D tiskárna konstrukce polar [13]	21
Obr. 12	Tiskárna konstrukce SCARA [15].....	22
Obr. 13	3D model 3D tiskárny	25
Obr. 14	Schéma systému CoreXY [16].....	27
Obr. 15	Řez taženým hliníkovým profilem	28
Obr. 16	Rám 3D tiskárny.....	28
Obr. 17	Řez spojovacího systému.....	29
Obr. 18	3D model vložky pro matici	30
Obr. 19	Spojník s řemenicemi	30
Obr. 20	Spojník pro uložení krokového motoru.....	30
Obr. 21	Sestava tiskového stolu	32
Obr. 22	Detail uchycení vyhřívané podložky	33
Obr. 23	3D model tiskové hlavy	34
Obr. 24	Heat-block typu E3DV6 [17]	35
Obr. 25	Heat-block typu Volcano [18].....	35
Obr. 26	Sestava tiskové hlavy.....	36
Obr. 27	Konektor Mini-Fit 5557-10R	37

Obr. 28 Schéma pojezdu MGN15H [19]	39
Obr. 29 Držák tiskové hlavy s napínacím systémem	40
Obr. 30 Držák na pojezdovém vozíku osy Y.....	41
Obr. 31 Schéma řešení pohonu osy Z.....	43
Obr. 32 Držák krokového motoru osy Z	43
Obr. 33 Připevnění elektroniky 3D tiskárny	45
Obr. 34 Schéma desky Bigtreetech SKR V1.3 [20].....	46
Obr. 35 Drivery TMC 2208 V3.0 [21]	47
Obr. 36 3D model modul Mosfet.....	49
Obr. 37 Řez uchycení vložky magnetu v profilu	51
Obr. 38 3D model sestavy spodního krytu	52
Obr. 39 3D model pantu předních dvířek.....	53

Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
FFF	Fused Filament Fabrication
FLM	Fused Deposition Modeling
MSLA	Mask Stereolithography
PEI	Polyetherimide
PET-G	Polyethylene terephthalate glycol
PLA	polylactic acid
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVA	Polyvinylalcohol
PWM	Pulse Width Modulation
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
TPU	Thermoplastic polyurethane
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter

P	[W]	Výkon
U	[V]	Elektrické napětí
I	[A]	Elektrický proud

Úvod

Práce se věnuje problematice 3D tisku a konstrukci 3D tiskárny, je tvořena sedmi hlavními kapitolami. První kapitola se věnuje stručnému popisu nejběžněji používaným aditivním technologiím 3D tisku, jejich limitům a požadavkům. Další kapitola obsahuje informace o technologii Fused Filament Fabrication (dále FFF), a stěžejním prvkům konstrukce této technologie. Další kapitola obsahuje informace a o typech používaných konstrukcí pro technologii FFF. Téma o vlastnostech materiálů a jejich využití pro tisk technologií FFF je uvedeno ve čtvrté části této práce.

Stěžejní částí této práce je návrh a konstrukce 3D tiskárny včetně jejího zakrytování. Tato část obsahuje řešení pro hardware, elektroniku a zakrytování 3D tiskárny. Obecnými požadavky navrhované konstrukce pro 3D tiskárnu je tisk technologií FFF s kvalitou tisku, která by byla srovnatelná s komerčními tiskárnami. Dalším požadavkem je možnost tisku velkých objektů a možnost tiskárnu opatřit krytem z důvodu ochrany tisku před vnějšími vlivy okolního prostředí a bezpečné manipulaci. Samozřejmostí je uživatelská jednoduchost pro používání a také cenová dostupnost. Závěrečná část se zabývá ekonomickým zhodnocením konstrukce 3D tiskárny a srovnáním ceny s komerčními tiskárnami.

1 Přehled nejčastějších technologií 3D tisku

3D Tisk je aditivní technologie postupného vrstvení materiálu, kde vzniká tímto vrstvením postupně reálný objekt z 3D modelu digitální předlohy v počítači.

1.1 FFF (Fused Filament Fabrication)

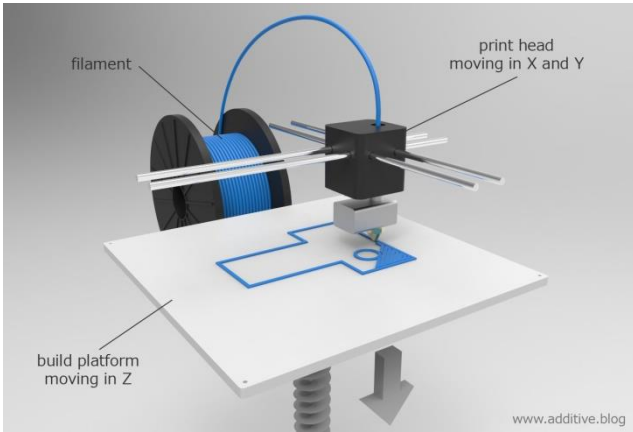
Technologie FFF (Fused Filament Fabrication) tisku je dnes nejrozšířenější technologie aditivní výroby. Jedná se o technologii, kde se postupně struna termoplastu tzv. filament (PLA, PET-G, ABS, Nylon) pomocí podavače vsouvá do tiskové hlavy, kde se následně roztaví a pomocí trysky a pohybů, jak hlavy, tak tiskového stolu postupně vrství a vytváří tištěný objekt, jak je zobrazeno na Obr. 1.

1.2 SLA (stereolitografie)

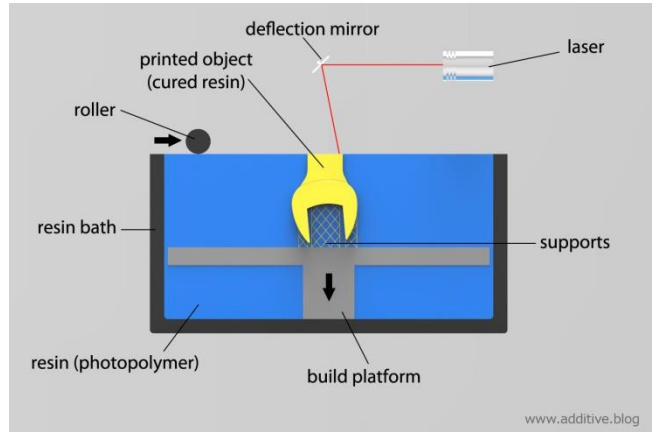
Stereolitografie zkratka SLA je nejstarší technologie 3D tisku, která se používá. Tato technologie využívá fotocitlivé, tekuté pryskyřice, která je vytvrzována pomocí laserového ultrafialového paprsku po vrstvách, kde tvar vytvrzené vrstvy odpovídá řezu modelu v daném místě, jak je zobrazeno na Obr.2. Výška vrstvy se pohybuje od 0,05 až do 0,15 mm. Po procesu vytvrzení se platforma přemístí ve vertikálním směru o výšku vrstvy, kde dochází k dalšímu vytvrzování pryskyřice. Pro vytvoření modelu technologií SLA je zapotřebí u každého modelu tisknutí podpor. Po dokončení tisku je dále zapotřebí výtisk očistit od zbytku tekuté pryskyřice a vložit do UV komory pro jeho dostatečné vytvrzení. Výhodou této technologie je možnost vytvářet velké modely s velice vysokou povrchovou kvalitou a lze je využít pro vytváření forem. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena takovéto tiskárny a její náplně. Obdobnou technologií SLA je technologie MSLA, která využívá místo laserového ultrafialového světla projekci, kde ultrafialové světlo je maskováno displayem. [1]

1.3 SLS (Selective Laser Sintering)

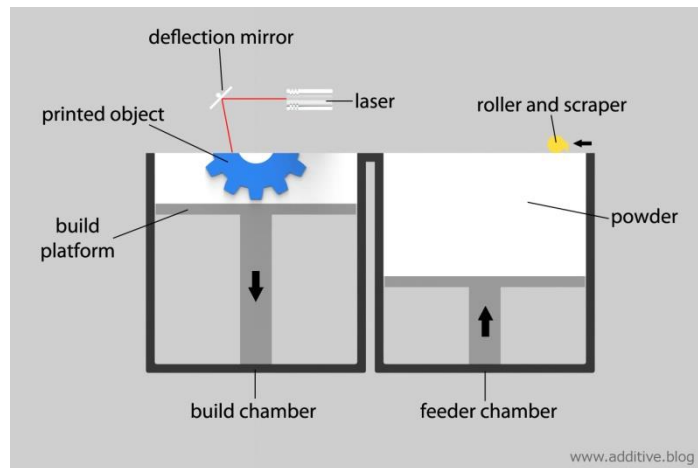
Technologie Selective Laser Sintering zkratka SLS je technologie, která využívá velmi silného laseru ke spékání práškového materiálu tzv. sintrování. Prášek může být tvořen materiály jako kov, plast, sklo či keramika. Výrobek je tvořen tavením prášku, který je spékán po vrstvách velice výkonným laserem. V první řadě je nanesena vrstva prášku na tiskové ploše, která se přehřeje těsně pod teplotu tání, aby se všechn výkon laseru spotřeboval na spečení materiálu. Jakmile skončí spékání dané vrstvy, tisková plocha se posune směrem dolu o výšku vrstvy a celý proces pokračuje dále stejným způsobem, jak je vyobrazeno na Obr. 3. U této technologie není zapotřebí dočasných podpor jako u technologie FFF či SLA. Oproti konvenčním technologiím lze touto technologií získat velice tvarově složité výrobky. [1]



Obr. 1 Princip technologie FFF [2]



Obr. 2 Princip technologie SLA [3]



Obr. 3 Princip technologie SLS [4]

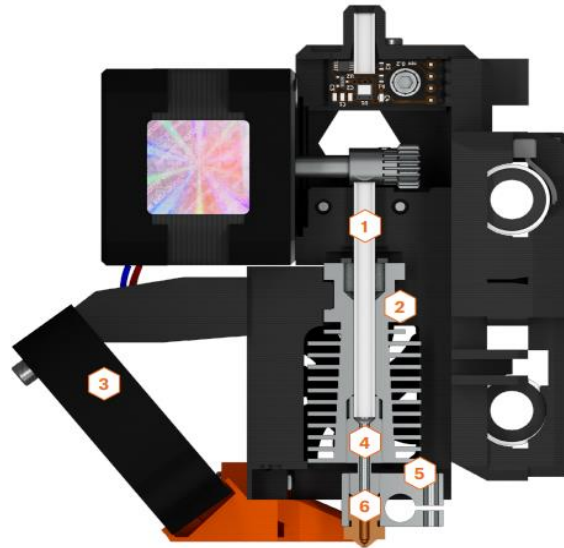
2 Jak funguje FFF technologie

FFF technologie je nejrozšířenější a nejdostupnější technologií 3D tisku na celém světě. Tato technologie se využívá jak pro tisk funkčních modelů, tak prototypů. Náplň FFF tiskárny je ve většině případů struna tvořená termoplastem. Roztavená struna je postupně vrstvena na sebe. Hlavní části tiskárny můžeme rozdělit na tiskovou hlavu, vyhřívanou tiskovou podložku, pohybové ústrojí a elektroniku. [5].

2.1 Tisková hlava (extruder)

Tisková hlava (Obr. 4), neboli extruder, je část tiskárny, kde dochází k roztavení tiskové struny. Skládá se z několika dílů. Do extruderu je filament zaveden skrze PTFE neboli teflonovou trubičku. Teflonová trubička je využívána především, díky vysoké teplotní odolnosti kolem 230°C, dále je velmi otěruvzdorná a samokluzná. V této chvíli má tisková struna pokojovou teplotu a je v pevném stavu. Tisková struna dále prochází přes chladič zvaný heat-sink, který má za cíl odvést teplo, které se šíří přes heat-break od tepelného tělesa a co nejvíce tak zmenšit oblast mezi pevnou a kapalnou fází tiskové struny. Pro zvýšení účinnosti je na heat-sink namontován axiální ventilátor. Heat-break je ve své podstatě dutý šroub, který je v polovině výrazně zúžený a to z důvodu zamezení přenosu tepla směrem k heat-sinku. Tepelné těleso tzv. heat-block je z materiálu, který dobře vede teplo. Nejčastěji se využívá hliník. V heat-blocku je umístěné elektrické topné těleso a teplotní senzor tzv. termistor pro zpětnou vazbu o aktuální teplotě. V heat-blocku je již tisková struna roztavená na danou teplotu a je vytlačována skrze trysku ven. Trysky jsou tvořeny z několika druhů materiálu a mají různé průměry. Ve většině případů se využívají trysky mosazné. Ty jsou využívány pro klasické materiály, ale jsou i trysky z kalené oceli, které se využívají pro tisk kompozitních materiálů, kde například uhlíková či skelná vlákna tvoří abrasivum a tím deformují trysku. Průměr tryšky se většinou využívá od 0.2 do 1 mm. Velikost průměru tryšky ovlivňuje kvalitu tisku. Poslední členem tiskárny je axiální ventilátor, který vytváří proud vzduchu pro rychlé zchlazení nově nanesené vrstvy. Pokud by se vrstva rychle nezchladila, tak při nanášení další vrstvy by mohlo dojít k deformaci nezatuhlé předchozí vrstvy. [5]

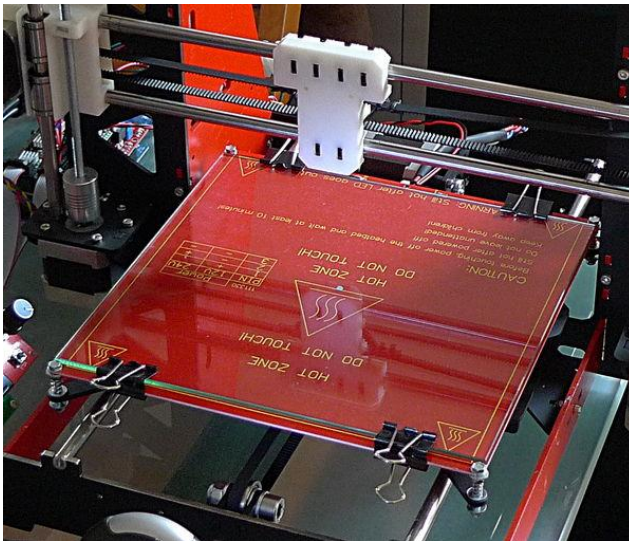
1. PTFE trubička
2. Heat-sink
3. Axiální ventilátor výtisku
4. Heat-block
5. Heat-break
6. Tryska



Obr. 4 Tisková hlava [5]

2.2 Vyhřívání tisková podložka

Vyhřívání podložka je nezbytnou součástí 3D tiskárny, protože se využívá při materiálech,



Obr. 5 Tiskový stůl [6]

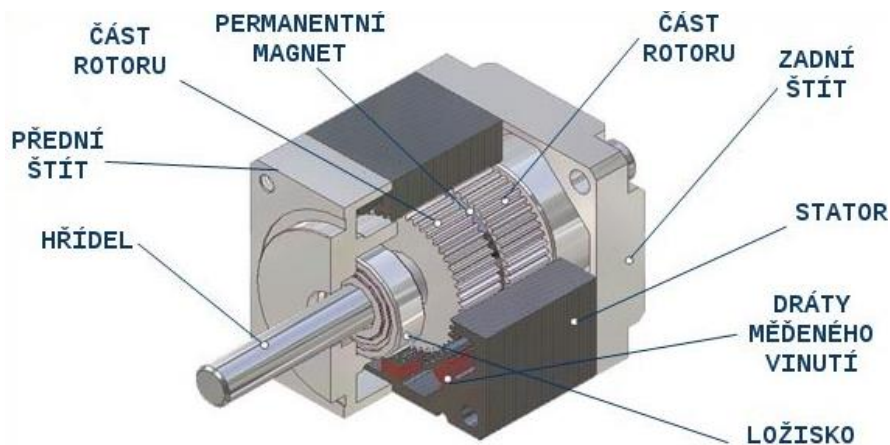
kteří mají velkou tepelnou deformaci. Je většinou tvořená tenkými měděnými cestičkami, které vytvářejí dlouhý odporový drát, zahřívající se průchodem elektrického proudu. Ve vyhřívání podložce je zabudován termistor pro zpětnou vazbu o teplotě. Tisk probíhá na sklo či zrcadlo s tenkou vrstvou PVA lepidla nebo „džusíkem“ (rozpuštěný materiál ABS v acetonu) pro lepší přilnavost. Některé tiskárny využívají tzv. tiskových plátů, které jsou tvořeny

tenkým ocelovým plátem potaženým materiálem PEI. Tato technologie je využívána například na 3D tiskárně Prusa MK3. Příklad vyhřívání tiskové podložky na Obr. 5.

2.3 Pohyb

Pohyb nástroje tzv. extrudéru a tiskové podložky je zajištěn pomocí soustavy řemenů a krokových motorů. V některých konstrukcích 3D tiskáren se využívá čtyř až šesti krokových motorů. Využití krokových motorů má několik důvodů. Mezi hlavní důvody řadíme například

jednoduchou konstrukci, velkou četnost kroků a cenovou dostupnost. Krokové motory jsou synchronní stejnosměrné motory, které jsou řízeny elektrickými impulzy. Elektrické impulzy se řízeně přepínají pro vytvoření krokování motoru. V komerčních 3D tiskárnách včetně návrhu konstrukce 3D tiskárny v této práci se využívají motory typu Nema 17 na Obr. 6. Krokové motory neobsahují senzory pro zpětnou vazbu polohy a jejich poloha je tak vypočítána podle počtu provedených kroků.



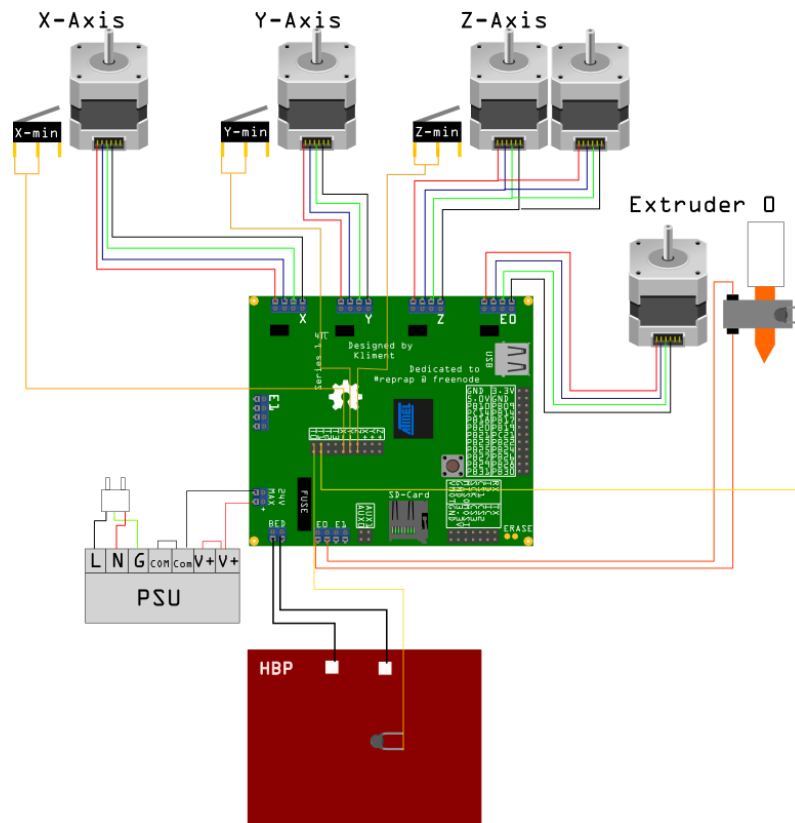
Obr. 6 Krokový motor Nema 17 [7]

2.4 Elektronika

3D tiskárna je napájena 12VDC nebo 24VDC spínaným zdrojem. Pro řízení 3D tiskárny se využívají základní desky na založené na systému Arduino. Elektronika 3D tiskáren doznala v posledních letech rozsáhlého vývoje. Ve většině případů se využívalo 8-bitových základních desek. V dnešní době jsou tyto desky považovány za zastaralé a využívají se desky, které mají až 32-bitů. Tyto desky mají rychlejší odezvu a mají lepší kvalitu tisku, díky možnosti provedení většího množství příkazů v kratším čase než je tomu u 8-bitových desek. Deska obsahuje mnoho vstupů a výstupů. Mezi vstupy patří napájení, zpětná vazba od tepelných čidel a spínačů nulové polohy. Mezi výstupy patří vyhřívání podložky, vyhřívání tiskové hlavy, PWM řízení ventilátorů a krokových motorů. Krokové motory jsou řízeny krokovými drivery, které jsou integrované v desce popřípadě zabudované do předem určených slotů. Tyto drivery mají výhodu v tom, že pokud se poškodí nebo jsou zastaralé stačí je pouze vyměnit, zatímco u integrovaných je nutné vyměnit celou základní desku. Firmware 3D tiskárny je tvořen dvěma nejvíce rozšířenými systémy Marlin nebo Repetier.

Pro zpětnou vazbu o teplotě tiskové hlavy a vyhřívané podložky se nám starají tepelná čidla (termistory), které v závislosti na teplotě mění svůj vnitřní odpor.

Pro zjištění domovské polohy tiskové hlavy a vyhřívané tiskové podložky slouží koncové spínače, které při sepnutí vynulují polohu v systému 3D tiskárny. Celé schéma zapojení elektroniky vyobrazeno na Obr. 7.



Obr. 7 Schéma zapojení elektroniky [8]

3 Typy konstrukcí FFF technologie

Nejdůležitější součástí 3D tiskárny je její konstrukce. Každá technologie 3D tisku má svá konstrukční řešení, některá jsou lepší, některá horší, ale v každém případě slouží pro ucelenou sestavu 3D Tiskárny.

Samotná technologie FFF má několik konstrukčních řešení, které mají své výhody či nevýhody. Účelem každé konstrukce je možnost pohybu tiskové hlavy a stolu do libovolného bodu v daném tiskovém prostoru za určitých rychlostí a různých směrů pohybů.

Nejrozšířenějším typem konstrukčního řešení pro technologii FFF je kartézský typ, který je stěžejní pro návrh konstrukce v této práci. Jedná se o nejjednodušší a nejefektivnější konstrukci FFF technologie. Pro tento typ konstrukce je také nejvíce přizpůsobeného softwaru pro přípravu tiskových dat. Pro tento typ konstrukce většinou volíme pravotočiví souřadný systém, kde osy X, Y jsou ve vodorovném směru a osa Z kladný směr nahoru. Dále se využívá konstrukcí typu delta, polární a scara, které jsou méně rozšířené. [9]

3.1 Kartézská

3D tiskárna s kartézskou konstrukcí je nejčastější typ konstrukce tiskárny na světě. Tento typ je tolik rozšířen, díky své jednoduchosti a lehkému ovládní. Pro tento typ konstrukce je také vytvořených nejvíce Slicerů. Všechny osy pohybu jsou na sebe kolmé. Pohyb je zajišťován pomocí lineárního vedení a soustavy řemenů, řemenic a trapézovými šrouby. [9]

3.1.1 Klasická konstrukce

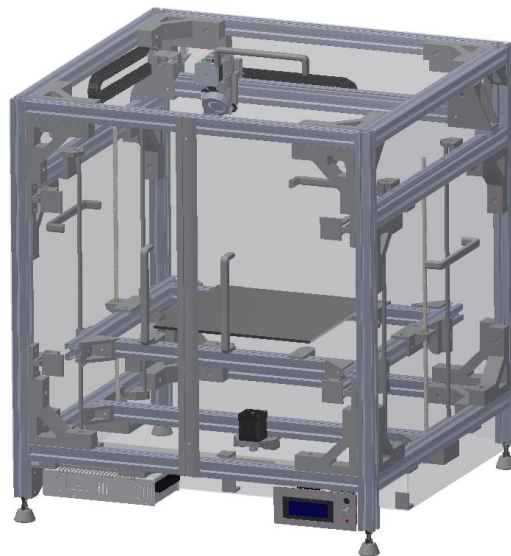
Jedním ze zástupců kartézské konstrukce je tiskárna „Prusa i3 MK3S“ (Obr.8). Konstrukce tiskárny je tvořena svislým obdélníkovým rámem spojeným s taženými hliníkovými profily. Na spodní konstrukci je umístěn tiskový stůl, který se pohybuje v ose Y. Do horního rámu konstrukce jsou připevněny pojezdové tyče a trapézové šrouby, které zajišťují pohyb tiskové hlavy v osách X a Z. [9]



Obr. 8 Tiskárna Prusa i3 MK3S [10]

3.1.2 Konstrukce cube

Konstrukce cube patří mezi kartézské typy tiskáren s odlišnou konstrukcí oproti klasické tiskárně. Hlavním rysem konstrukce cube je rám, který je tvořen ve většině případů taženými hliníkovými profily, které jsou poskládané do tvaru kostky (cube). Dalším rysem této tiskárny od klasické konstrukce je odlišný pohyb os. Tiskový stůl se pohybuje v ose Z a tisková hlava v osách X a Y. Výhodou pohybu tiskového stolu pouze v ose Z je oproti klasické konstrukci snížení namáhání konstrukce a zvýšení kvality tisku, jelikož váha tiskového stolu spolu s přibývajícím materiálem se pohybuje pouze ve svislém směru. Zakrytování této konstrukce je velice jednoduché, není zde potřeba externích konstrukcí a lze aplikovat přímo na rám. Především z výše uvedených důvodů je tento typ konstrukce použit v návrhu 3D tiskárny pro tuto práci.



Obr. 9 Konstrukce Cube

3.2 Delta

Delta tiskárny jsou další ze zástupců konstrukcí 3D tiskáren (Obr. 10). Jejich konstrukce je tvořena třemi rameny, kde na jejich konci je zavěšena tisková hlava. Změna pozice tiskové hlavy nastává posunem jednotlivých ramen ve svislé ose pomocí lineárního vedení. Výhoda této tiskárny je v rychlosti tisku. Nevýhodou je složitá kalibrace této tiskárny, její přesnost a možnost použití pouze bowden řešení tiskové hlavy. [9]



Obr. 10 Delta Kossel tiskárna [11]

3.3 Polární

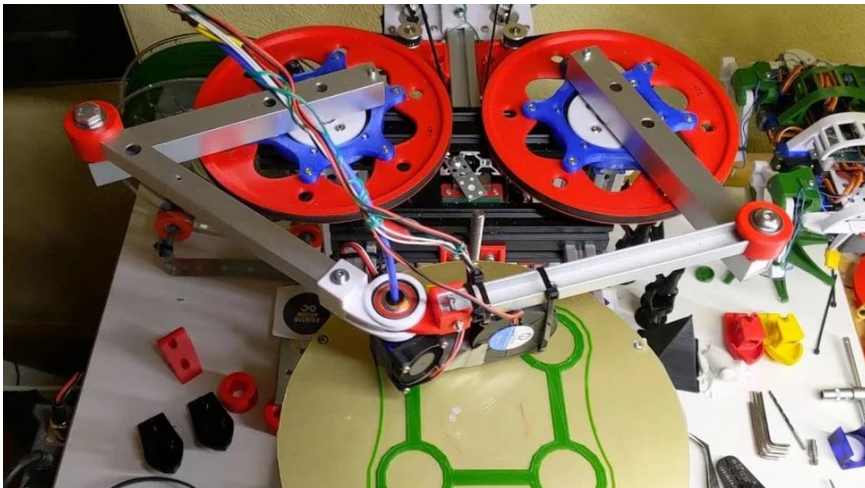
3D tiskárny tvořené polárním systémem využívají dvě osy pro pohyb tiskové hlavy v ose X a Z na lineárním vedení a využívají rotační podložky. Takový systém je jednodušší na sestavení oproti ostatním typům konstrukci, ale horší na ovládání navíc existuje pouze omezená část programů pro zpracování dat pro tento typ konstrukce a dokáží převádět 3D modely do křivek pro tisk. Vytlačování pomocí křivek má jisté výhody pro tisk vázovitých typů modelů. Konstrukce polárního systému zobrazena na Obr. 11. [12]



Obr. 11 3D tiskárna konstrukce polar [13]

3.4 Scara

Konstrukce 3D tiskárny typu Scara mají tiskovou hlavu propojenou s robotickými rameny. Tyto ramena jsou poháněna dvěma krokovými motory. Krokové motory jsou připojeny k vazbám, které pohybují tiskovou hlavou v rovině X a Y. Pro osu Z, je zapotřebí další krokový motor, který řídí její pohyb ve svislém směru, kde se mění výška vrstvy. Pohyb osy Z může být zajištěn posunem tiskového stolu popřípadě posunem celé konstrukce ramen rovin X a Y. Konstrukce scara zobrazena na Obr. 12. [14]



Obr. 12 Tiskárna konstrukce SCARA [15]

4 Materiály pro FFF technologii

Materiály pro FFF tisk se využívají formou struny tzv. filamentu a jsou dodávané namotané na cívkách, kde pro běžného uživatele jsou dodávány obvykle v hmotnosti 1 kg. Dříve se pro technologii FFF využívalo průměru struny 3 mm. Od tohoto průměru se již postupně odstupuje, jelikož je problém s přesným dávkováním materiálu. Dnes se ve velké míře používají tiskové struny, které mají průměr 1,75 mm s tolerancí $\pm 0,05$ mm dle výrobce.

Různé materiály mají různé chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti, které se dají využít pro různé aplikace. Každý materiál má od výrobce udané základní hodnoty tisku jako jsou teploty trysky a tiskové podložky. Tyto hodnoty jsou tím nejdůležitějším pro každého 3D tiskaře. Dále každý výrobce doporučuje základní hodnoty rychlosti tisku, ofuku výtisku a doporučení pro jakou aplikaci je materiál vhodný či nevhodný. Jak již bylo zmíněno, doporučené hodnoty od výrobce slouží jako počáteční hodnoty pro následné testování a vyhledávání optimálních hodnot pro tisk materiálů, jelikož podmínky ve kterých je 3D tiskárna umístěna jsou pro každého 3D tiskaře jiné.

4.1 PLA

Materiál PLA (Polylactid acid) je nejpoužívanějším materiálem pro tisk technologií FFF. Tento termoplast je vyráběn z kukuřičného či bramborového škrobu, proto při jeho použití může uživatel cítit nasládlou vůni. Tento materiál je základním materiálem 3D tisku, který je velmi jednoduchý a přívětivý pro začínající 3D tiskaře. Teplota trysky pro tisk materiálu PLA je od 190°C až do 220°C a tiskové plochy od 0°C až do 55°C. Materiál PLA nevyžaduje vyhřívání tiskové plochy, jelikož nemá takovou teplotní deformaci vlivem chladnutí vytištěného materiálu. Nevýhodou tohoto materiálu je malá teplotní odolnost, kdy dochází k deformaci výrobku již kolem 60°C. Výrobky PLA jsou velice tvrdé oproti výrobkům z ABS. [1]

4.2 PET-G

Materiál PET-G (polyethylene terephthalate glycol) je materiál, který má více účelové použití díky svým vlastnostem. Tento materiál je náhrada za PLA, kde jeho odolnost vůči teplotám je okolo 75°C. PET-G má podobné vlastnosti jako ABS, ale tiskne se jako PLA. Výhodou PET-G oproti materiálu ABS je jeho nízká tepelná roztažnost při chladnutí jednotlivých vrstev. Teplota trysky pro tisk PET-G je od 230°C až do 250°C a tiskové plochy od 70°C až do 90°C. Nevýhodou materiálu je jeho špatná soudržnost vrstev při tisku, z toho důvodu je nutné volit pomalejší tisk.

4.3 ABS

Materiál ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) je spolu s materiálem PLA nejpoužívanější materiál určený pro FFF technologii. Teplota trysky pro tisk materiálu ABS je od 240°C až do 260°C a tiskové plochy od 90°C až do 110°C. Při tisku materiálu ABS je již potřeba mít zakrytovanou 3D tiskárnu, jelikož tento materiál má vysoké tepelné deformace vlivem chladnutí vytištěného materiálu. Proto u tisku tohoto materiálu je zapotřebí ustálená teplota v tiskovém prostoru tiskárny a nesmí docházet k teplotním výkyvům. Teplotní nestálost v tiskovém prostoru může zapříčinit odlepení výtisku od tiskové plochy a jeho deformaci. Výrobky z ABS mají teplotní odolnost kolem 100°C a jsou velmi odolné vůči chemikáliím (kyseliny, uhlovodíky, oleje). Pomocí acetonu lze provádět povrchovou úpravu výrobku a slepovat jej k sobě. [1]

4.4 Nylon

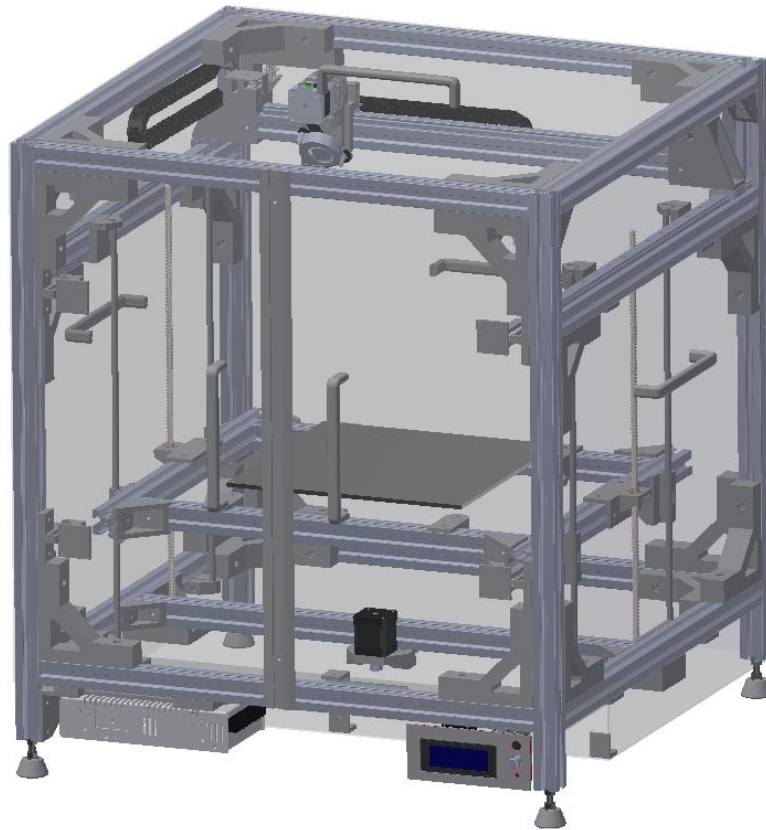
Nylon je materiál, který se používá pro tisk mechanicky namáhaných výtisků. Tento materiál má vynikající vlastnosti proti otěru a je vhodný pro tisk například ozubených kol. Má vysokou chemickou odolnost a jeho tepelná odolnost je až do 160°C. Teplota trysky pro tisk materiálu nylon je od 240°C až do 270°C a tiskové plochy od 100°C až do 120°C. Nylon je velice hygroskopický materiál a dokáže do sebe nasát spoustu vzdušné vlhkosti, proto je zapotřebí tento materiál před tiskem vysušit. Pokud je materiál hodně navlhlý, nelze jej použít k tisku.

4.5 Další materiály

Mezi další materiály pro 3D tisk patří různé materiály s příměsí. Nejčastější příměsí, které se přidávají do materiálů jsou různé kovy, sklo, dřevo a částičky uhlíkových vláken. Kovy a dřevo přidané do materiálu nemají primárně zlepšit jeho vlastnosti, ale pouze navodit kovový či dřevěný povrch výrobku. Částičky skla a uhlíkových vláken mají zlepšit mechanické vlastnosti materiálu, kde vzniká při tisku kompozit. Při tisku materiálu s příměsemi je zapotřebí zvolit trysku s průměrem kolem 0,5 mm aby nedocházelo k jejímu ucpávání. Tryska pro tisk materiálu s příměsí by měla být z kalené oceli, jelikož příměsí v materiálu během tisku fungují jako abrazivum a u mosazné trysky by mohlo dojít k zvětšení průměru trysky. Dalším materiálem pro tisk je TPU. TPU je termoplastický polyuretan, který má vlastnosti gumy.

5 Návrh konstrukce 3D tiskárny

Návrh 3D tiskárny můžeme rozdělit do několika částí, kterými jsou konstrukce rámu tiskárny, posuvy, tisková hlava, elektronika a celé zakrytování tiskárny.



Obr. 13 3D model 3D tiskárny

Požadavek na tiskárnu je její kompletní zakrytování, aby se zamezil vliv okolních vlivů na samotný 3D tisk a mohlo se využít i tisku termoplastů, které mají veliké tepelné deformace, jelikož nejvíce nežádoucí je průvan vzduchu či náhle, ale i postupné změny teplot, kdy může dojít k deformaci tištěného modelu či zastavení tiskárny z důvodu bezpečnosti, kde její software z náhlého zakolísání teploty odpojí vytápění tiskové hlavy a tiskové podložky.

Dalším požadavkem na 3D tiskárnu je mít zabudovanou elektroniku mimo tento zakrytovaný prostor.

Velikost konstrukce tiskárny se odvíjí od velikosti tiskové plochy a kompletního uložení elektroniky včetně pojezdů, soustavy řemenů a dalších doplňků. Pracovní prostor 3D tiskárny je 300x300x450 mm, je ovšem možnost následného upgradu a zvětšení tiskového prostoru na

velikost 450x450x450 mm, který je mnohem větší než u komerčních FFF tiskáren. Celková velikost tiskárny je 766x746x814 mm.

5.1 Konstrukce cube

Tento typ konstrukce se zdá být nejvhodnější. Výhoda konstrukce je její pevnost při tak velkém pracovním prostoru. Zároveň její zakrytování je daleko jednodušší oproti ostatním typům kartézských systémů FFF tiskáren, kde je zapotřebí externích konstrukcí.

U konstrukce cube se tisková hlava pohybuje v osách X, Y a tisková plocha se pohybuje pouze v ose Z. Tento typ konstrukce je v tomto případě nejvhodnější. Výhodou konstrukce je její pevnost v poměru k velikosti pracovního prostoru. Zakrytování je jednodušší oproti ostatním typům kartézských systémů FFF tiskáren, kde je nutnost využití externích konstrukcí.

U konstrukce cube se tisková hlava pohybuje v osách X, Y a tisková plocha se pohybuje pouze v ose Z. Jedná se o další z výhod v porovnání s klasickými kartézskými 3D tiskárnami, jelikož tyto konstrukce mají ve většině případů pohyb tiskové hlavy v ose X, Z a tiskový stůl v ose Y, který má sám o sobě vyšší hmotnost, ta se ovšem v průběhu tisku zvyšuje. Navyšování hmotnosti je způsobeno přibývajícím materiálem tísňeného modelu. Proto díky setrvačným silám může docházet k určité chybovosti v tisku a může docházet ke snížení kvality tisku.

5.1.1 Pohon konstrukce cube

Na konstrukci cube je možné mít více variant pohonu všech os. První varianta je tvořená krokovým motorem přímo na pojezdu tiskárny pro osu X zajišťující její pohon. Krokový motor pro osu Y je připevněn na konstrukci a jeho pohon je distribuován pomocí soustavy řemenu a řemenic spojených na dlouhou vzdálenost pomocí hřídelů, aby se sílu a moment podařilo přenést i na druhou stranu pojezdu a nebyla pouze poháněná jedna strana, kde by mohlo dojít k lámání a ohýbání pojezdu a nesymetrickému pohybu.

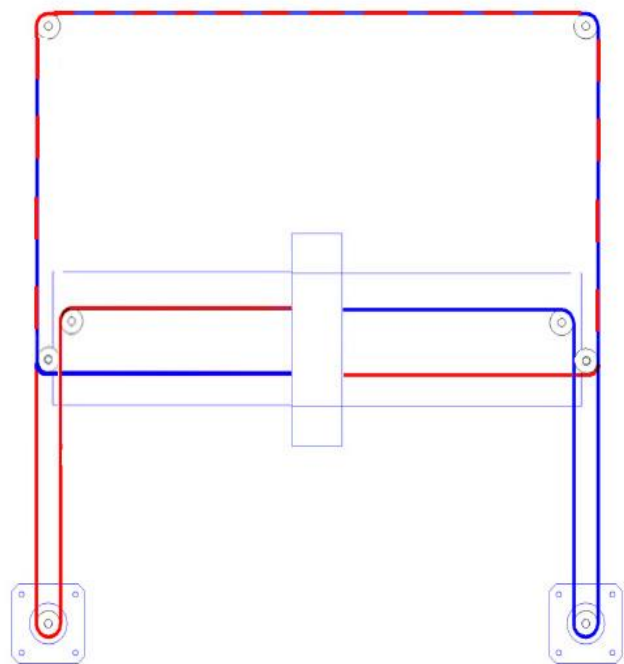
Další možnou variantou pro posuv osy X a Y v konstrukci cube je opět využití krokového motoru připevněného na ose X zajišťující její pohon a pro pohon osy Y využít krokových motorů na obou stranách konstrukce, kde dochází k pohonu každé strany zvlášť. Pro pohon na ose Y je využito pohonu pomocí řemenů a kladek. Pro zapojení krokových

motorů je možné využít dvou způsobů. První variantou je zapojení obou krokových motorů zvlášť, kde musí být zajištěný pro každý motor koncový spínač nulové polohy. Tento způsob je složitější na kalibraci, jelikož je zapotřebí mít koncové spínače stejně nastavené, aby byli krokové motory v přesné, stejné poloze. Druhým způsobem je propojení obou krokových motorů paralelně pomocí speciální propojky. Spojení krokových motorů pomocí propojky může způsobit nesynchronní pohyb obou motorů, díky různým délkám kabeláže vedoucí k samotným motorům. Další problém nastává při odpojení napájení krokových motorů, kde dojde k rozpadu magnetického pole a dochází k posunutí rotoru z mezikroku do stabilní polohy a tím může nastat rozdílná poloha obou motorů vůči sobě. Tento nesynchronní pohyb může způsobit křížení pojezdu, kde se může stát, že nebudou všechny osy na sebe kolmé.

Nevýhodou obou těchto variant je jejich složitost pohonu, jelikož je zde zapotřebí zajistit synchronní pohyb obou stran osy Y, aby nedocházelo k jejímu křížení. Další nevýhodou je přidání další hmotnosti na celý pojezd, kde tuto hmotnost přidává krokový motor pro osu X. V neposlední řadě by bylo zapotřebí složitějšího mechanismu napínání řemenů obou variant.

Poslední variantou je systém CoreXY, kde oba krokové motory pro pohon os X a Y jsou připevněné na konstrukci a pomocí řemenové soustavy je zajištěn pohyb vozíků v těchto osách. Schéma soustavy systému CoreXY vyobrazeno na Obr. 14. Pro tento návrh konstrukce tiskárny je tento systém nejvhodnější variantou, jelikož je zde nežádoucí na takovou velikost tiskové plochy mít motor pohonu přímo na pohybující se ose a využívat soustavu hřídelů, která může na takto velké vzdálenosti vytvářet při svém průměru rezonanční kmity, které mohou způsobit nadměrný hluk a rezonance celé konstrukce.

Pohyb tiskové hlavy v ose X a Y je zajištěn dvěma krokovými motory a soustavou řemenů. Každý krokový motor



Obr. 14 Schéma systému CoreXY [16]

má svůj vlastní řemen, který je z obou stran připojen k vozíku tiskové hlavy. Motory v podstatě pohybují s tiskovým vozíkem, tak že se navzájem řízeně přetahují.

5.2 Konstrukce z hliníkových profilů

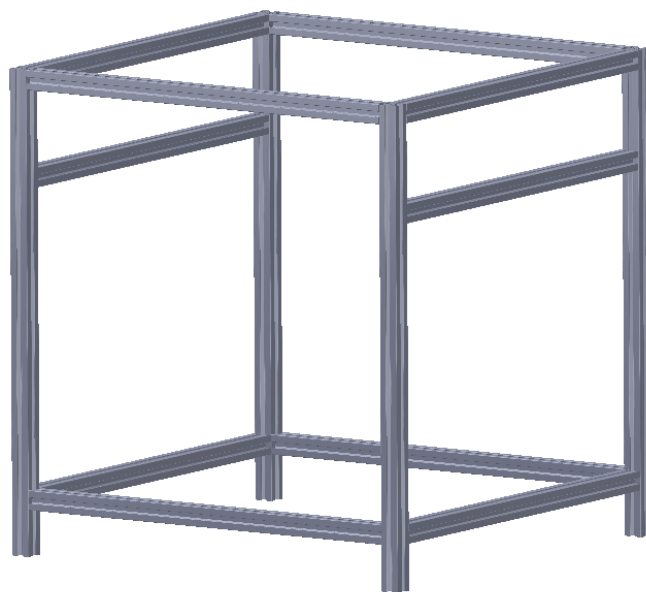
Konstrukce 3D tiskárny je tvořená z hliníkových tažených profilů o velikosti 30x30 mm. Hliníkové profily jsou nejvyužívanějším materiálem pro stavbu rámu 3D tiskáren, jelikož jsou velmi pevné, variabilní a modulární.

Rám tiskárny vyobrazen na Obr. 16, je navrhnut z 14 kusů těchto profilů a tvoří konstrukci o velikosti 690x672x660 mm. Profily využitě na rámu 3D tiskárny jsou v různých délkách. Čtyři profily dosahují délky 730 mm, další čtyři dosahují délky 632 mm a zbylých šest profilů dosahuje délky 612 mm.

Tento typ průřezu na Obr. 15, se velice hodí pro pevná a rozebíratelná spojení mezi jednotlivými profily, kde je možné variabilně posouvat jednotlivé profily vůči sobě a tím docílit správného složení celého rámu. Je možnost využít drážek pro uchycení všech možných dalších nosných prvků či lineárního vedení a dalších doplňků 3D tiskárny.



Obr. 15 Řez taženým hliníkovým profilem



Obr. 16 Rám 3D tiskárny

5.3 Návrh spojovacích dílů

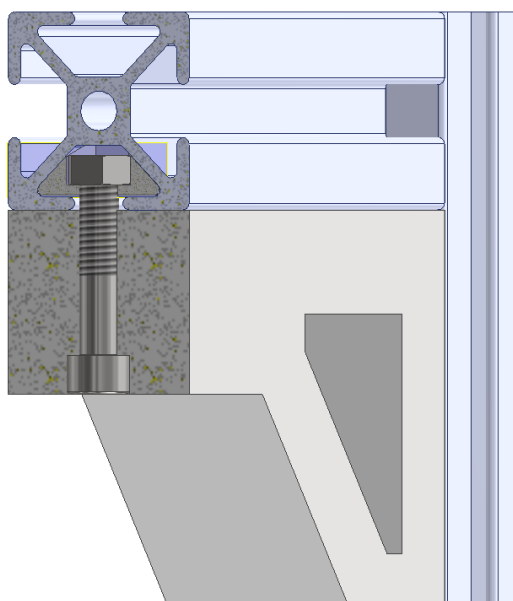
Hliníkové profily jsou spojeny pravoúhlými rohovými spojníky, které jsou zhotoveny z plastu. Díl spojníku je navrhnut tak, aby se dal lehce vyrobit a byl dostupný dalším uživatelům, jelikož při použití různých kovových spojníků může nastat situace, kdy dotyčný uživatel, který se rozhodne pro stavbu této tiskárny, nemusí dané spojníky sehnat.

5.3.1 Materiál spojníku

Předpoklad výroby rohových spojníků je pomocí 3D tiskárny. Doporučený materiál je ABS s vnitřní výplní 30%, jelikož deformace tohoto materiálu nastává cca při 95°C-100°C. Tyto díly budou vystavovány teplému vzduchu v uzavřené 3D tiskárně. Teplota sice nebude dosahovat těchto hodnot, ale je zde určitá rezerva, kdy tyto díly vydrží déle, jelikož nebudou tolik tepelně namáhané. Další důvod je, že uživatel si může nainstalovat do uzavřené komory samotné tepelné těleso, které bude udržovat vnitřní teplotu, která může dosahovat vyšších hodnot než teplota dosažená pouze teplem vyzářeným od tiskové hlavy a tiskového stolu. Tisk jednoho spojníku je okolo 2 hodin dle nastavení daného uživatele.

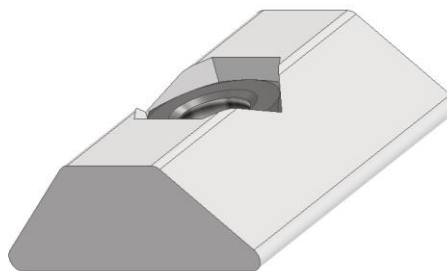
5.3.2 Upevnění spojníku

Spojník je přichycen k hliníkovým profilům pomocí zápusťného šroubu M6x30 s vnitřním šestihranem a maticí M6, která je vložena do přesně tvarované vložky podle drážky profilu, jak můžete vidět na Obr. 17, kde je sestava spojníku a profilů v řezu.



Obr. 17 Řez spojovacího systému

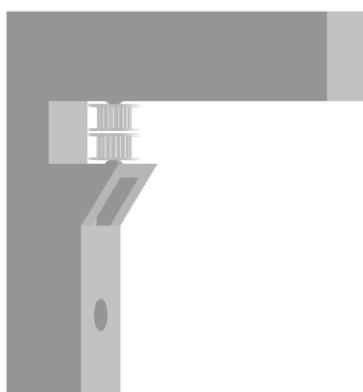
Vložka pro matici na Obr. 18 je taktěž vyrobena pomocí 3D tisku. Matice je uložena do vložky a obě části jsou vloženy do profilu. Po přiložení spojníku do rohu vytvořeným profily se vloží šroub, který se prostrčí skrz vložku a utáhne. Vložka má přesně tvarovanou šestihrannou díru pro matici a proto během spojování nemusí být matice nijak zajištěná. Tato vložka je využívána jak v konstrukci tiskárny, tak i v konstrukci tiskové plochy pro spojení profilů a různých doplňků.



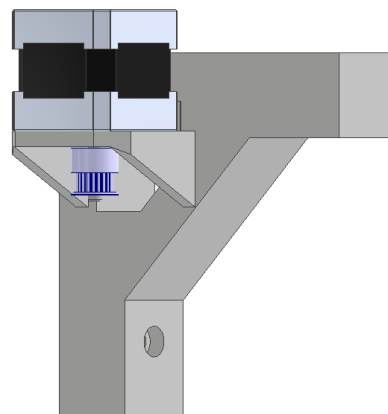
Obr. 18 3D model vložky pro matici

5.3.3 Spojníky přední a zadní

Dalším typem spojníků hliníkových profilů je umístěný v zadní, horní části 3D tiskárny. Tento typ spojníků na obr. 19, má trochu jiný tvar jelikož, zde bylo potřeba implementovat dvě řemenice pro systém CoreXY. Poslední typ spojníku na obr. 20, je umístěný v přední části nahoře po obou stranách. Jedná se o typ spojníku, kde je implementován držák pro krokové motory, které zajišťují pohyb osy X a Y.



Obr. 19 Spojník s řemenicemi



Obr. 20 Spojník pro uložení krokového motoru

5.4 Návrh konstrukce tiskové plochy

Tato kapitola se zabývá návrhem konstrukce vyhřívané tiskové plochy a použití materiálu pro tiskovou podložku.

5.4.1 Popis konstrukce tiskové plochy

Konstrukce tiskové plochy na Obr. 21, je navrhnutá z hliníkových profilů spojených pomocí plastových rohových spojníků. Na tuto konstrukci jsou využité čtyři hliníkové profily o délce 500 mm. Spojníky jsou navrženy opět pro 3D tisk z materiálu ABS pro snadnou výrobu.

5.4.2 Vyhřívaná deska

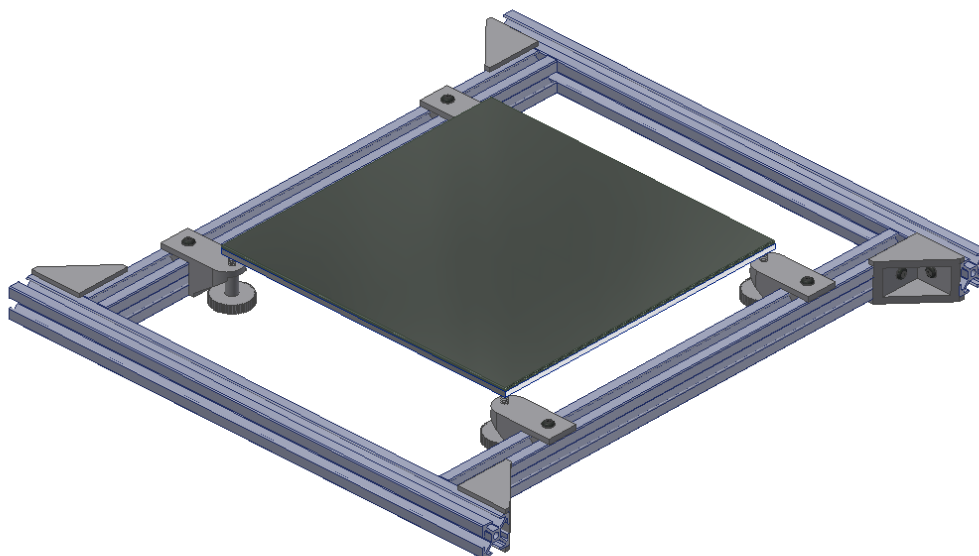
Vyhřívaná deska tiskové plochy má velikost 300x300 mm vyrobená z hliníku, která je mnohem dostupnější a není zapotřebí nutnosti zakázkové výroby. Velikost tiskové plochy je možné upgradovat na velikost 450x450 mm. Tato velikost již není standardní, nedá se zakoupit a je zapotřebí zakázkové výroby. Samozřejmě je po provedení upgradu zakoupit i výkonnější zdroj 3D tiskárny.

5.4.3 Podložka vyhřívané desky

Na vyhřívanou desku je umístěné klasické zrcadlo o tloušťce 3 mm se stejnou velikostí jako tisková plocha. Výhodou zrcadla je tepelná stálost, kdy během ohřívání tiskové plochy dochází k tepelné deformaci vyhřívané desky a tím není zajištěná rovinnost této plochy. Tuto vlastnost dokáže zrcadlo do jisté míry eliminovat. Další užitečný faktor je, že lze zrcadlo odejmout z vyhřívané desky, jelikož je přichyceno pomocí klipů na papír. Tato výhoda spočívá v tom, že lze zrcadlo s vytištěným modelem snadno vyjmout mimo tiskárnu a následně sundat například pomocí špachtličky, aniž by byla nějak namáhaná konstrukce tiskárny.

Další možností tiskové podložky je použití tzv. PEI plátů. Tyto pláty jsou tvořeny ze dvou dílů. Jeden díl je samotný PEI plát a druhý díl je tvořen samolepicí magnetickou podložkou. PEI plát je tvořen pružinovou ocelí, který je potažen tenkou vrstvou materiálu PEI, která tvoří vrstvu pro přilnutí první vrstvy výtisku na tiskový stůl. Tento plát je připevněn k druhé části pomocí magnetického působení obou dílů. Tento způsob připevnění je výhodný v jeho lehké demontáži z tiskového stolu a následné manipulaci. Tiskový plát je tenký a tudíž sundávání výtisku probíhá pouze prohnutím tohoto plátu, kdy dochází k oddělení výtisku od jeho povrchu.

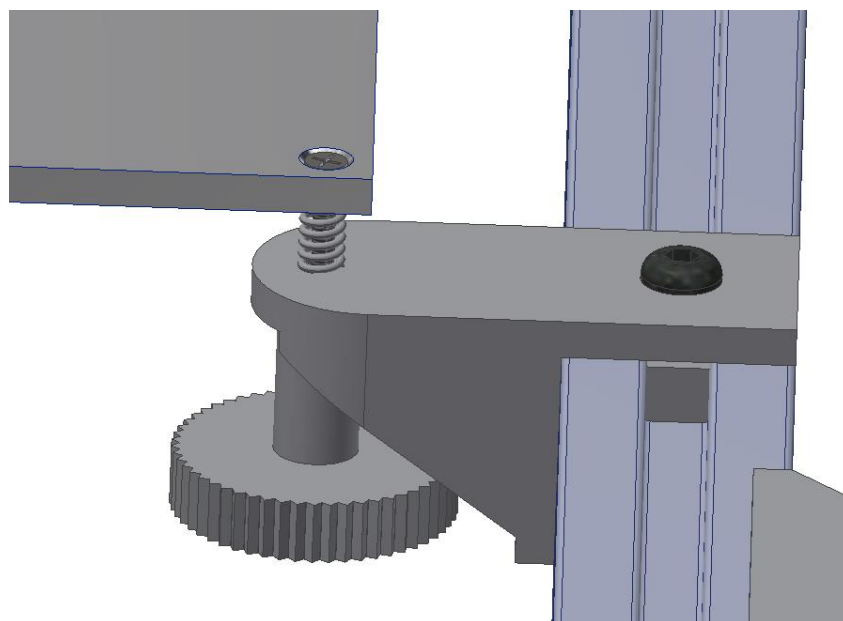
V tomto návrhu 3D tiskárny je použité zrcadlo z vlastních zkušeností, jelikož se může stát při vyšších teplotách, že magnetický spoj nemusí být spolehlivý a může dojít k oddělení tiskové plátu od tiskové plochy. Dalším důvodem pro nepoužití tiskového plátu jeho náročnost na údržbu a jednoduchého poškození.



Obr. 21 Sestava tiskového stolu

5.4.4 Kalibrace tiskové plochy

Návrh 3D tiskárny také obsahuje čidlo pro zjištění nulové polohy tiskové stolu a pro vyrovnání malých nesrovnalostí a deformací na tiskové ploše, kde malá sonda pomocí tzv. oťukání 12 různých bodů na ploše bude vyrovnávat křivost plochy. Tento způsob je schopen eliminovat mírné rovinné nesrovnalosti v řádu setin milimetru. Pro větší odchylky rovinnosti a kolmosti tiskové plochy vůči tiskové hlavě, je zde soustava čtyř šroubů, kterými lze nastavit výšku tiskové plochy a tím jí uvést do roviny. Tato soustava je vyobrazena na Obr. 22. Šrouby jsou umístěny v každém rohu tiskové desky. Šroub se zápusťnou hlavou je vložen do díry skrz tiskovou desku, kde je na něj nasazená pružina, která má za následek udržet tiskovou desku ve stálé poloze oproti rámu tiskové desky. Další funkcí této pružiny je vytvoření dostatečného tlaku na šroub a matici, aby se během tisku tento šroubový spoj nepovolil. Pružina má zásadní funkci při špatně nastavené výšce trysky vůči tiskovému stolu, kde při nárazu trysky se tisková plocha zatlačí a nedojde k poškození tiskárny. Šroub prochází skrz tištěný držák, který je připevněn na rám tiskové desky a na konci je našroubovaná matice, která je vložena do otočného držáku pro lepší manipulaci.



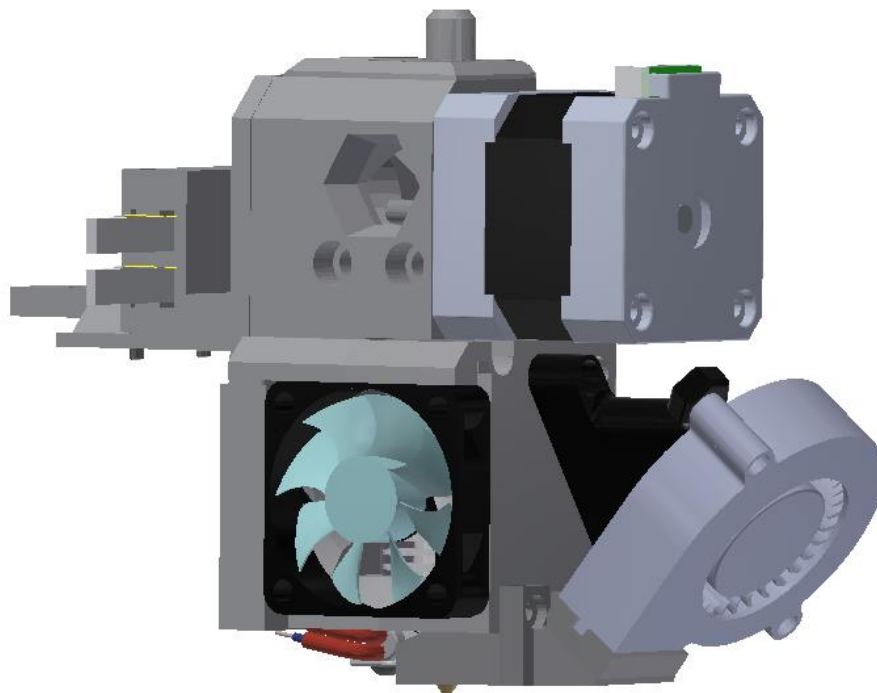
Obr. 22 Detail uchycení vyhřívané podložky

5.5 Návrh vyměnitelné tiskové hlavy

V této části práce je popsán návrh vyměnitelné tiskové hlavy pro tuto konstrukci, včetně jejího způsobu rychlé výměny.

5.5.1 Popis tiskové hlavy

Část tiskové hlavy na Obr. 23, je převzata z tiskárny Prusa MK3S. Tato tisková hlava je upravená pro její snadnou výměnu za další typ tiskové hlavy a tím eliminovat nutnost rozebírání, kde může dojít k mechanickému poškození. Celý tento princip zároveň zvětší variabilitu tiskárny, jelikož na každou aplikaci 3D tisku je zapotřebí jiné tiskové hlavy či jiného průměru trysky. Na detailní tisk je zapotřebí například tryska o průměru 0,2-0,4 mm a menší rychlosti tiskové hlavy, zatímco u prototypových tisků je zapotřebí vysoké rychlosti tiskové hlavy a větších průměrů trysek. Z tohoto důvodu se mění i konstrukce tiskové hlavy.



Obr. 23 3D model tiskové hlavy

5.5.2 Vlastnosti tiskové hlavy

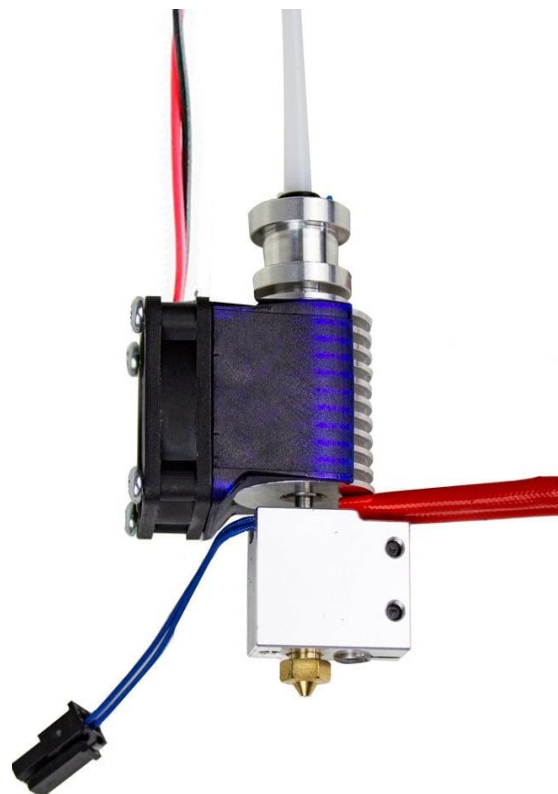
Klasická konstrukce topného tělesa, trysky a chladiče je pro pomalejší tisk na detaily. Je to dáno menší velikostí heat-blocku, kde se materiál pomocí topného tělesa zahřívá a přechází do tekutého stavu. V tomto ohledu heat-block omezuje rychlost 3D tiskárny na 130 mm/s, jelikož se při vyšších rychlostech materiál nestíhá rozehtřívát a začne se zasekávat v trysce, díky jeho vysoké viskozitě. Další problémem nastává použitím velkého průměru trysky. U průměrů do 0,8 mm se materiál stíhá protavit do tekutého stavu celkem dobře, ale při použití větších průměrů trysek může docházet k špatnému protavování materiálu, jelikož se materiál pouze rozehtřeje po stranách a uprostřed nikoli. Tím dochází opět k zasekávání tiskové struny v trysce či k problému s nanášením jednotlivých vrstev. Tento problém se nedá řešit ani zvýšením teploty trysky, jelikož má materiál při zvýšené teplotě úplně jiné vlastnosti pro tisk a může dokonce degradovat. Řešením je rapidní snížení rychlosti tisku, kde se bude materiál stíhat protavovat v heat-blocku nebo výměna klasického topného tělesa za systém Volcano.

5.5.3 Systém Volcano

Problémy s vyššími rychlostmi a protavitelností materiálu se dají vyřešit právě výměnou za odlišnou konstrukci topného tělesa (heat-blocku). Jedná se o typ Volcano, kde tento typ konstrukce je na první pohled odlišný v jeho velikosti. Zatím co klasický heat-block má rozměry 16x20x11,5 mm na Obr. 24, tak heat-block typu Volcano má rozměry 20x20x12 mm. Dalším rysem je atypické uložení heat-blocku. Klasický E3D heat-block je delšími stranami vodorovně, zatím co Volcano je delšími stranami svisle viz Obr. 25.



Obr. 25 Heat-block typu E3DV6 [17]



Obr. 24 Heat-block typu Volcano [18]

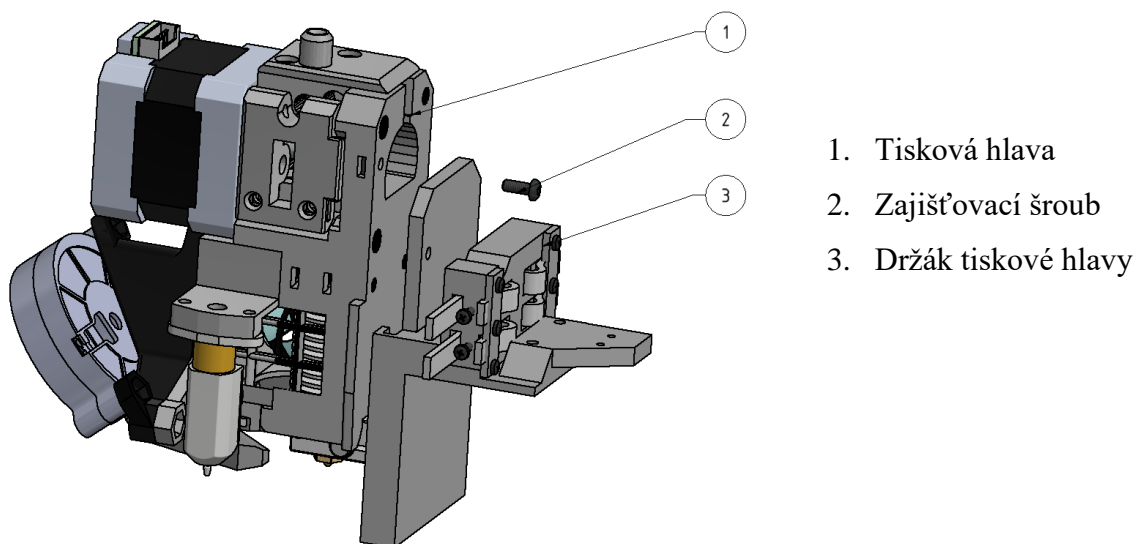
Tato konstrukce heat-blocku zajišťuje, že materiál je déle zahříván a dochází k jeho lepšímu protavení, při použití většího průměru trysky a větších rychlostí tisku.

5.5.4 Konstrukce výměnné tiskové hlavy

Konstrukce výměnné tiskové hlavy je navržena tak, aby se dala bez problému vytisknout. Samozřejmě je zapotřebí v některých místech tzv. supportů (podpor), které se dají lehce odstranit. Celá konstrukce je v podstatě stejná jako konstrukce tiskové hlavy Prusa MK3S s výjimkou uložení do vozíků. U originální konstrukce MK3S je tisková hlava uložena na konstrukci s použitím lineárních kuličkových ložisek s ocelovými tyčemi povrchově

kalenými. Tato konstrukce byla pozměněna z důvodu použití jiného typu pojezdu a jiného systému jeho pohonu. Dalším důvodem změny je již zmíněný systém výměny tiskové hlavy.

System je založený na jednoduchém principu. Konstrukce je navržena tak, že celá tisková hlava je zajištěna pouze jedním jisticím šroubem proti jejímu uvolnění. Tisková hlava je zasunutá do drážek, které jsou vytvořeny v držáku vozíku osy X.



Obr. 26 Sestava tiskové hlavy

Spojení elektroniky tiskové hlavy je zajištěno pomocí konektorů, které mají dostatečně vysokou proudovou odolnost. V tomto případě výkon topného tělesa je počítán 50 wattů při 24 Voltech.

Rovnice výpočtu průchozího proudu topného tělesa

$$P = U \cdot I \tag{1}$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50}{24} = 2,03 \text{ A} \tag{2}$$

Topné těleso je jediná věc na tiskové hlavě, která má nejvyšší odběr elektrického proudu. Dalším elementem je zde krokový motor. Pro pohon je vybrán krokový motor výrobce Microcon SX17-1005VLQCEF jehož maximální proud je jeden ampér. Radiální,

axiální ventilátory a teplotní čidlo mají odběr v řádu miliampér. Podle výše uvedeného odběru elektrického proudu je pro spojení všech vodičů využít konektor Mini-Fit 5557-10R na Obr. 27, který má maximální průchozí stejnosměrný proud 9A. Tento konektor obsahuje 10 pinů pro zapojení, což je ideální pro zapojení všech zařízení na tiskové hlavě. Další užitečnou vlastností konektoru je pojistka proti rozpojení a ochrana proti přepólování.



Obr. 27 Konektor Mini-Fit 5557-10R

5.5.5 Popis výměny tiskové hlavy

Pro výměnu tiskové hlavy bude zapotřebí sejmout vrchní kryt 3D tiskárny pro lepší manipulaci. Poté je zapotřebí v menu tiskárny zapnout funkci „Výměna tiskové hlavy“. Po tomto kroku se zobrazí na displayi tiskárny volba „Výměna trysky“ nebo „Výměna topného tělesa“. Při první volbě „Výměna trysky“ se tisková hlava posune do domovské polohy a poté přejede doprostřed tiskového prostoru, kde se tiskový stůl posune o 300 mm dolů. Následně je zapotřebí rozpojit konektory a povolit zajišťovací šroub. Po těchto úkonech stačí tiskovou hlavu vyjmout z uložení pojezdu a nahradit tiskovou hlavou s tryskou o jiném průměru. Po výměně tiskové hlavy, zajištění šroubem a zapojením příslušných konektorů, stačí pouze potvrdit výměnu. V tomto případě tisková hlava přejede zpět do domovské polohy. Poté stačí pouze vrátit zpět vrchní kryt a tiskárna je připravena pro další použití.

Pokud je vybraná volba „Výměna topného tělesa“ bude se jednat o výměnu tiskové hlavy pro změnu klasického topného tělesa za topné těleso Volcano či naopak. V tomto případě proběhne opět posun tiskové hlavy do domovské pozice a následné posunutí na střed tiskového prostoru tiskárny a posun osy Z o 300 mm směrem dolů. Po provedení výměny tiskové hlavy je zapotřebí výměnu potvrdit. Po potvrzení výměny se tisková hlava přesune do domovské polohy a tiskový stůl se posune směrem k tiskové hlavě, kde se posun zastaví 10 mm od domovské pozice. V tuto chvíli je zapotřebí potvrdit nahřívání tiskové hlavy a podložky. Nahřívání tiskové hlavy a podložky je spuštěno z důvodu přehřívání vzdálenosti trysky od tiskové plochy, jelikož při ohřevu dochází k teplotní roztažnosti materiálu. Po nahřátí tiskové hlavy a tiskové podložky je zapotřebí nastavit domovskou polohu tiskového stolu. Pomocí otočného tlačítka displaye se posune tiskový stůl do

požadované vzdálenosti od trysky a tato vzdálenost se potvrdí. Tímto se uloží offsetová vzdálenost do paměti 3D tiskárny a bude používána při každém posunu do domovské polohy.

Toto řešení výměny tiskové hlavy může uspořit až 60 % času při výměně klasického systému topného tělesa za systém Volcano, kde při klasické tiskové hlavě bez možnosti výměnného systému je zapotřebí celou tuto hlavu rozebrat. To znamená povolení všech šroubů pro uvolnění ventilátorů a těla tiskové hlavy pro vyjmutí heat-sinku a heat-blocku.

5.6 Návrh posuvu osy X

V této části práce jsou popsány možné varianty posuvu osy X a popsání jejich výhod a nevýhod.

5.6.1 Varianty řešení posuvu osy X

Posuv osy X na této 3D tiskárně je navržen tak, aby měl co nejmenší odpor. Většina komerčních tiskáren má osu X řešenou pomocí lineárních kuličkových ložisek uložených na ocelových tyčích povrchově kalených. Toto řešení je poměrně levné a při správné údržbě bezporuchové. Samozřejmě mohou u této varianty nastat i problémy. Pokud mají ložiska už od výroby špatně vymezené vůle, může docházet k radiálním pohybům ložiska a do jisté míry k vůlím celé osy, které jsou nežádoucí pro přesnost a kvalitu. Vůle může i nastat při použití nekvalitního materiálu uvnitř ložisek. Pokud jsou ložiska kvalitní, nedochází u nich k vymačkání materiálu a následným vůlím. Pokud jsou kvalitní ložiska často udržované, čili často čištěné a mazané kvalitními mazivy k tomu určenými, může se jejich životnost zvýšit. Tato ložiska jsou i přes veškerou údržbu velice hlučná.

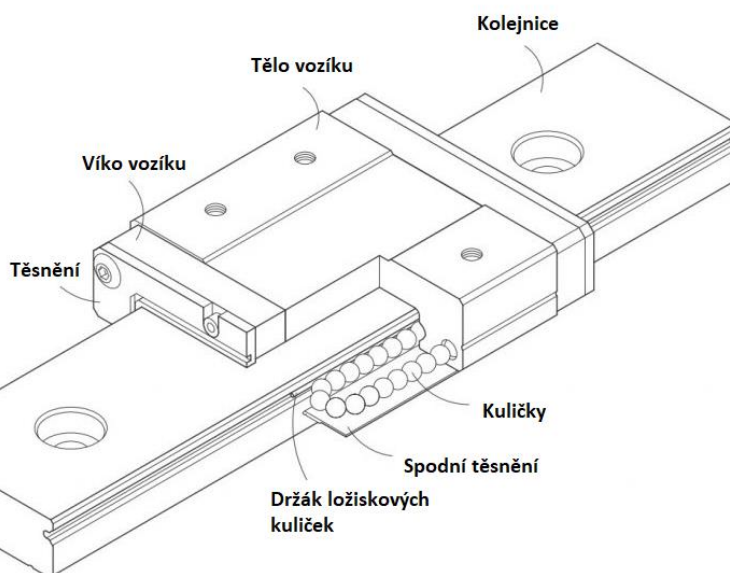
Místo kuličkových lineárních ložisek je možné použít ložiska lineární, ale třecí. Tyto ložiska vyrábí firma Igus. Využívají speciálního plastového materiálu, který je otěruvzdorný. Nevýhodou těchto ložisek je, že je zapotřebí velice přesných domečků pro uložení, protože při jejich velkém zmáčknutí dochází k velikému odporu ložiska při pohybu po tyči. Veliká výhoda je snížení hluku.

V neposlední řadě je zapotřebí kvalitních tyčí. Dnes se běžně používají ocelové tyče povrchově kalené, leštěné. Ač jsou tyče povrchově kalené, čili velice tvrdé na povrchu může dojít k jejich poškrábání a k zvýšení hlučnosti tiskárny. Takto poškozenou tyč lze opravit přeleštěním, ale už zde vznikají větší vůle mezi tyčí a ložiskem. Na pojezdech 3D tiskáren se používají dvě tyče na jednu osu, které mají ve většině případů průměr 8 mm či 10 mm.

Jedním z dalších řešení, které se dnes na trhu objevuje, je řešení pomocí gumových koleček, které přesně zapadnou do drážky taženého hliníkové profilu. Toto řešení pojezdu má svá úskalí. Po několika hodinách v řádech stovek, je zapotřebí výměna těchto gumových koleček, vzhledem k tření mezi profilem a gumovým kolečkem. Vzhledem k zátěži tiskárny a rychlosti posuvu je tato skutečnost na této konstrukci neakceptovatelná a tiskárna by se mnohem více servisovala a náklady tiskárny se zvyšovaly

5.6.2 Vlastní řešení posuvu osy X

Tato 3D tiskárna je konstruována tak, aby se všem těmto nevýhodám předešlo. Proto na konstrukci není použitý systém lineárních kuličkových ložisek uložených na ocelových tyčích, ale lineárního vedení s označení MGN15H. Tento typ lineárního pojezdu je ideální, jelikož je v podstatě bezúdržbový, má vysokou zatížitelnost je velice tichý, bez vůlí a posuv je s co nejmenším odporem. Na Obr. 28 je znázorněné schéma tohoto pojezdu.



Obr. 28 Schéma pojezdu MGN15H [19]

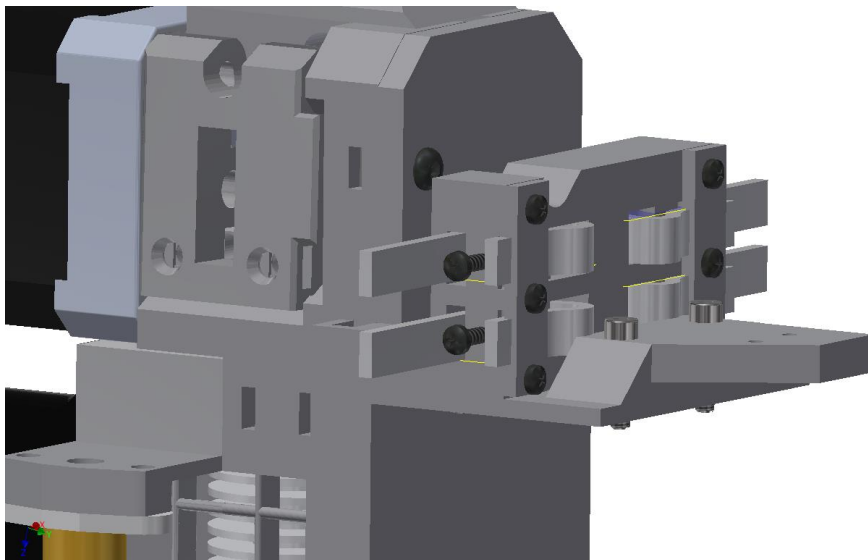
Tento typ pojezdu je tvořen ocelovou kalenou kolejnicí obsahující drážku na obou stranách pro uložení kuliček ložiska. Na tuto kolejnici je nasazen pojezdový vozík, ve kterém jsou uloženy dvě řady kuliček (na každé straně jedna), které při posuvu obíhají dráhu ve vozíku a tím tvoří valivé ložisko. Vozíky obsahují maznice pro vpravení maziva do kuličkových drah, pro zvýšení životnosti a hladšímu posuvu vozíku.

Celá konstrukce posuvu osy X je tvořená tímto pojezdem, který je umístěný na hliníkovém taženém profilu o velikosti 30x30 mm a jeho délce 610 mm. Pro uchycení

lineárního vedení jsou použité zápustné šrouby s vnitřním šestihranem o velikosti M3x12, které jsou zašroubovány do vložek s maticí pro pevný rozebíratelný spoj. Celá sestava pojezdu je upevněná v držácích umístěných na vozíčkách osy Y, které jsou vyrobené pomocí 3D tisku.

5.6.3 Konstrukce uchycení tiskové hlavy na vozíku osy X

Na vozíku lineárního pojezdu je přichycen pomocí čtyř šroubů M3x12 držák tiskové hlavy. Součástí držáků je i soustava napínacího mechanismu řemenů, kde jsou zároveň i upevněny. Řemeny se protáhnou skrze držák na Obr. 29 a zajistí v předem připravených drážkách. Pomocí stavěcích šroubů, které jsou samořezné, je požadovaný řemen možné co nejvíce napnout.



Obr. 29 Držák tiskové hlavy s napínacím systémem

Ozubené řemeny jsou s označením GT2, které mají rozteč zubů 2 mm musí být napnuté, aby nedocházelo k přeskokování mezi řemenem a řemenicí krokového motoru. V tomto případě by mohlo nastat, že během posuvu tiskové hlavy a rychlé změně dráhy by mohl řemen přeskočit a došlo by k výrobě zmetku. Tisk by pokračoval dále, ale již by mohli být posunuty jednotlivě nanášené vrstvy a takový výrobek by byl nepoužitelný. Řemeny by měli být napnuty tak, že po brknutí by měli znít jako zvuk napnuté struny.

Dále je držák tiskové hlavy konstruován tak, aby se k tomuto držáku dal připevnit tzv. energo řetěz, jehož úlohou je skrytí a ochrana elektrických vodičů, které vedou do tiskové hlavy.

5.7 Návrh posuvu osy Y

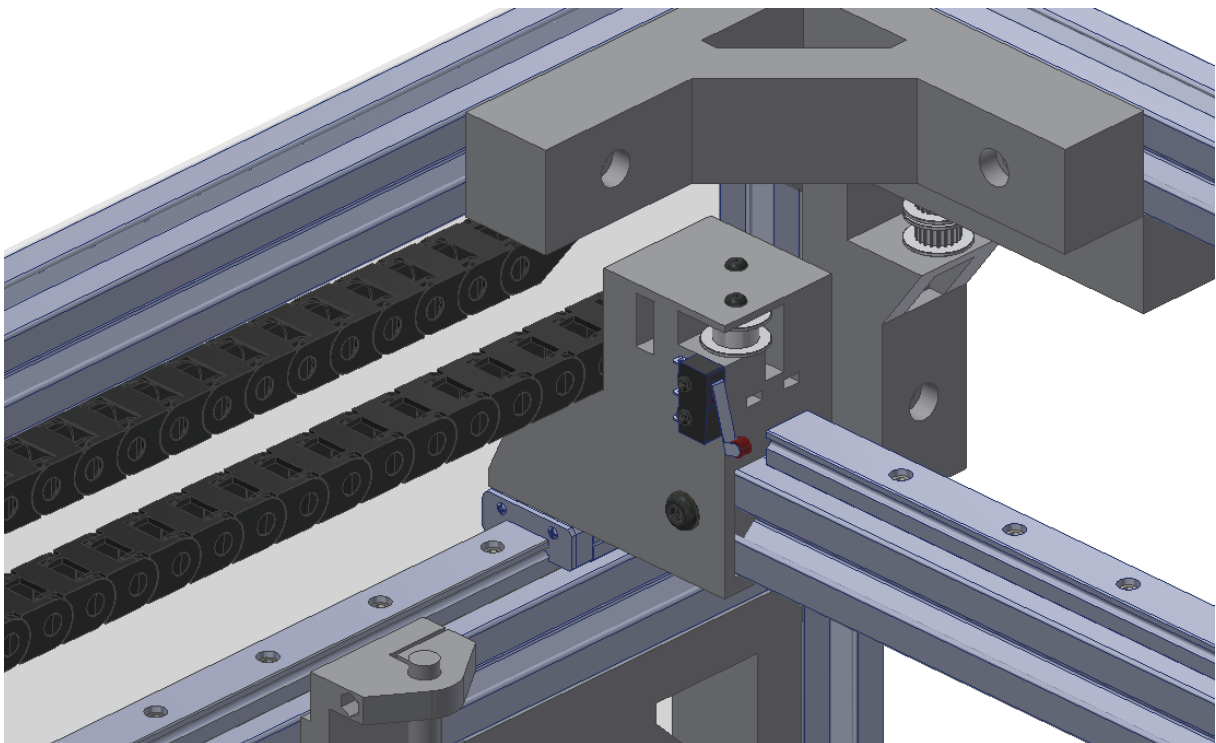
Posuv osy Y je konstruován obdobně jako posuv osy X. Opět zde není použité klasické řešení pomocí lineárních kuličkových ložisek uložených na leštěných tyčích povrchově kalených. Zde je znovu využito lineárního vedení na kolejnicích s označením MGN15H.

Tyto kolejnice jsou připevněny k hliníkovým taženým profilům 30x30 mm o délce 612 mm. Jejich spojení je zajištěno pomocí zápusťných šroubů s vnitřním šestihranem o velikosti M3x12, které jsou zašroubovány do vložek s maticí pro pevný rozebíratelný spoj.

5.7.1 Konstrukce uchycení sestavy osy X na vozíku osy Y

Vozík pojezdu je spojen s držákem pojezdu osy X, kde jak již bylo zmíněno je tento držák navržený pro 3D tisk. V tomto držáku je soustava kladek, které mají za funkci zajistit pohon osy X a Y, který je určen právě systémem CoreXY viz. Schéma Obr. 14 v kapitole Pohon konstrukce cube 5.1.1. Levý držák obsahuje navíc čtyři díry pro umístění micro-spínačů pro zjištění koncové polohy a bezpečného přejetí do nulové či domovské pozice osy X a Y.

Držák (Obr. 30) na vozíku obsahuje dále možnost montáže tzv. energo řetězu, ve kterém jsou chráněny a vedeny vodiče pro tiskovou hlavu a micro-spínače.



Obr. 30 Držák na pojezdovém vozíku osy Y

5.8 Návrh posuvu osy Z

Tato kapitola popisuje vedení osy Z včetně možných variant jejího pohonu. Je zde popsán vlastní návrh pohonu osy Z.

5.8.1 Vedení osy Z

Lineární vedení osy Z je řešeno pomocí lineárních kuličkových ložisek uložených na ocelových tyčích povrchově kalených. Tyto tyče mají průměr 10 mm a jejich délka je 530 mm. Celé vedení je poskládáno ze čtyř těchto tyčí. Na každé tyči jsou uložena dvě lineární ložiska s označením LM10UU do předem vytištěných domečků, které jsou připevněny ke konstrukci tiskové plochy. U osy Z je využito toto vedení z důvodu, že mají lineární kuličková ložiska a ocelové tyče pouze funkci vedení tiskového stolu ve správné svislé poloze. Ložiska nepřenáší žádné zatížení od tiskového stolu. Ocelové tyče jsou uloženy v držácích za pomoci svěrného spoje. Držáky jsou připevněny k rámu tiskárny pomocí šroubového spoje.

5.8.2 Posuv osy Z

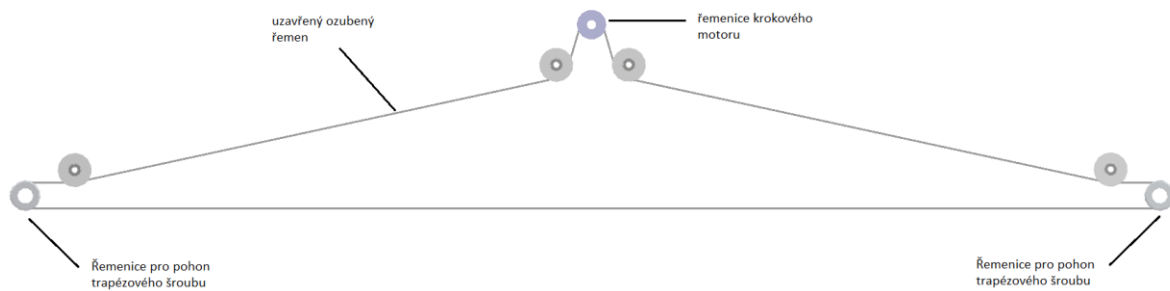
Tiskový stůl se pohybuje po ose pomocí dvou trapézových ocelových šroubů TR8x8 o délce 550 mm. Průměr šroubovice je 8 mm a stoupání 8 mm na otáčku. Jedná se o čtyřchodý závit. Pohyb tiskového stolu zajišťují dvě mosazné matice zasazené do držáků tiskového stolu.

5.8.3 Uložení posuvu osy Z

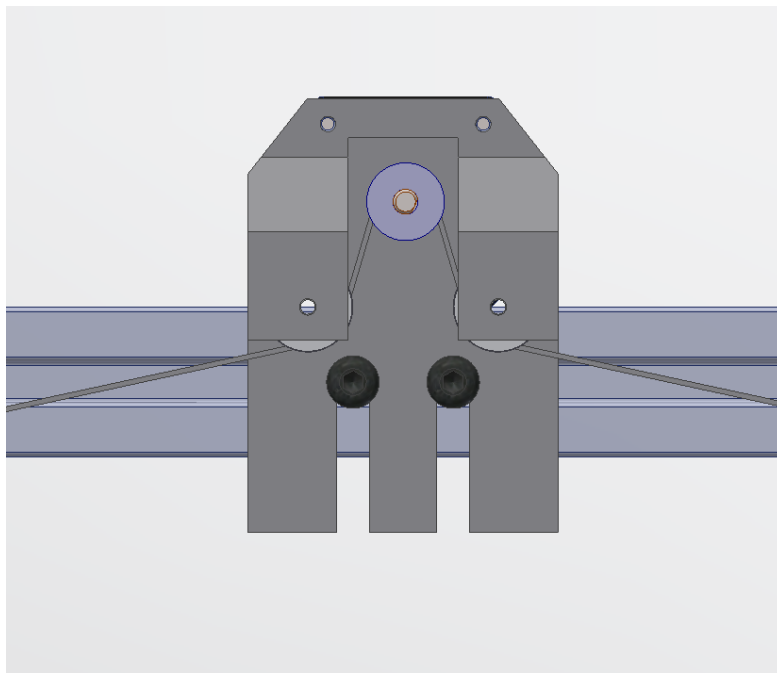
Trapézové šrouby jsou uloženy v ložiskách, které jsou uloženy v držácích ve spodní části tiskárny. Použitá ložiska jsou ČSN 024640 608ZZ. Tyto ložiska jsou krytá a tím dosahují vysoké životnosti. Zajištění trapézové šroubu proti axiálnímu pohybu je tvořeno pomocí připevněné řemenice pohonu a vlastní vahou tiskového stolu.

5.8.4 Pohon osy Z

Schéma pohonu osy Z je zobrazeno na Obr. 31. Systém pohonu osy Z obsahuje pouze jeden krokový motor, kde přenos jeho výkonu je přenášen pomocí uzavřeného řemenu. Krokový motor je umístěn na středu mezi trapézovými tyčemi z důvodu rozložení zatížení při napínání řemenu. Držák krokového motoru obsahuje další dvě řemenice pro lepší obepnutí řemenice krokového motoru, jak je vidět na Obr. 32.



Obr. 31 Schéma řešení pohonu osy Z



Obr. 32 Držák krokového motoru osy Z

Držák krokového motoru je upevněný na taženém hliníkovém profilu 30x30 mm o délce 632 mm. Tento držák má vytvořené drážky pro možnost posunu, který nám zajistí napnutí ozubeného řemenu GT2 s roztečí zubů 2 mm. Pokud by tato možnost napnutí řemenu nestačila, je možnost posunu hliníkové profilu. Tento profil primárně neslouží jako vyztužení rámu a není nosný. Hliníkový profil je připevněn k rámu tiskárny pomocí tištěných spojníků a v případě dopnutí stačí tyto spojníky povolit a celý hliníkový profil posunout.

5.8.5 Zhodnocení řešení osy Z

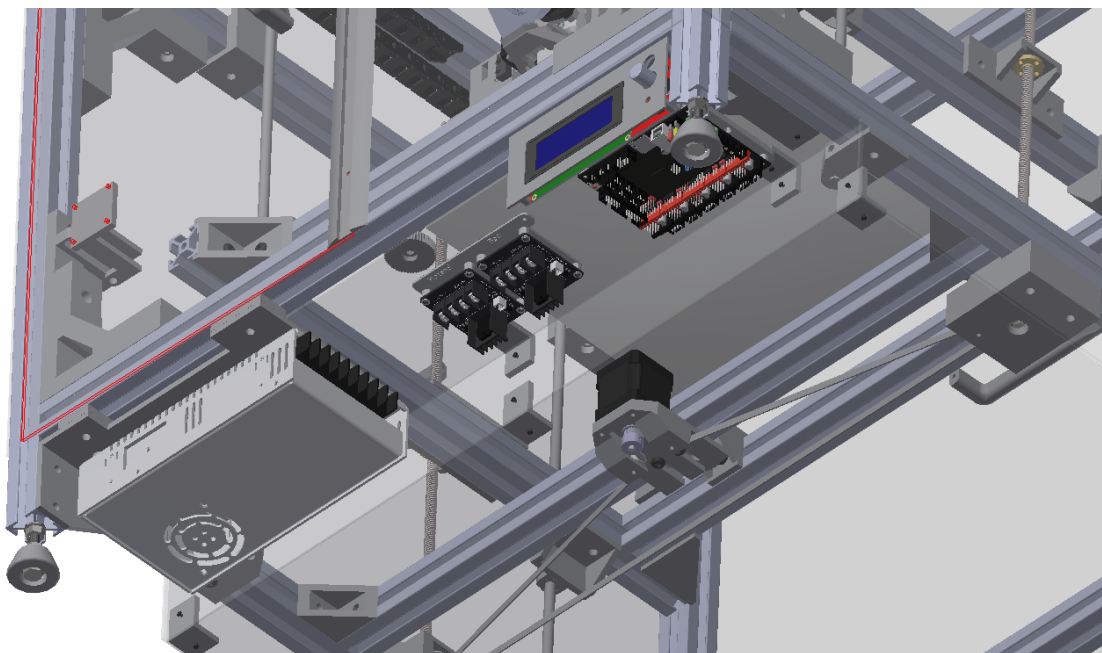
Jednodušším řešením by bylo využití dvou krokových motorů připojených na každou trapézovou tyč. Krokové motory by se pomocí elektrické rozdvojky propojili a připojili na jeden výstup hlavní desky. Toto řešení je jednodušší, ale nevýhoda tohoto řešení nastává při

vypnutí tiskárny či při vypnutí napájení krokových motorů při jejich nečinnosti. V této fázi by se mohlo stát, že by se tiskový stůl mohl vlastní vahou nerovnoměrně posunout dolů, jelikož trapézové tyče mají vysoké stoupání a jsou čtyřchodé. Tato situace by měla za následek křivost tiskové stolu. Při použití systému jednoho krokového motoru připojeného uzavřeným řemenem na obě trapézové tyče je možné tuto nevýhodu eliminovat. Tiskový stůl se sice může svojí vahou posunout směrem dolů, ale díky propojení obou trapézových tyčí dochází k posunu rovnoměrnému. Čili není zapotřebí tiskový stůl složitě vyrovnávat do vodorovné roviny.

5.9 Elektronika

Elektronika 3D tiskárny se skládá z mnoha elektrických zařízení. Mezi tyto zařízení patří základní deska, která má za cíl řídit všechny ostatní členy 3D tiskárny, jako jsou krokové motory, extruder, vyhřívání tiskové plochy a ohřev trysky. Elektronika tiskárny je napájena ve většině případů 12 VDC, ale dnes se přechází na napájení 24 VDC, jelikož elektrický proud se zvyšujícím se elektrickým napětím snižuje (pro návrh této tiskárny je využito právě 24 VDC). Tímto navýšením elektrického napětí můžeme snížit proudový nárok na kabeláž a konektory.

Základní deska, mosfety, display a zdroj jsou uloženy ve spodní části tiskárny, kde jsou uchyceny k rámu tiskárny pomocí vytvořených plastových držáků. Všechny tyto komponenty jsou uloženy mimo tiskový prostor tiskárny z důvodu snížení jejich tepelné náročnosti, jelikož narůstající teplota kolem komponentů by mohla mít za následek rapidní snížení životnosti a docházelo by k vyšší poruchovosti. Komponenty kromě zdroje, který má svůj vlastní aktivní ventilátor, jsou chlazeny pasivně. Z tohoto důvodu jsou všechny komponenty v otevřeném prostoru. Připevnění komponentů je vidět na Obr. 33.

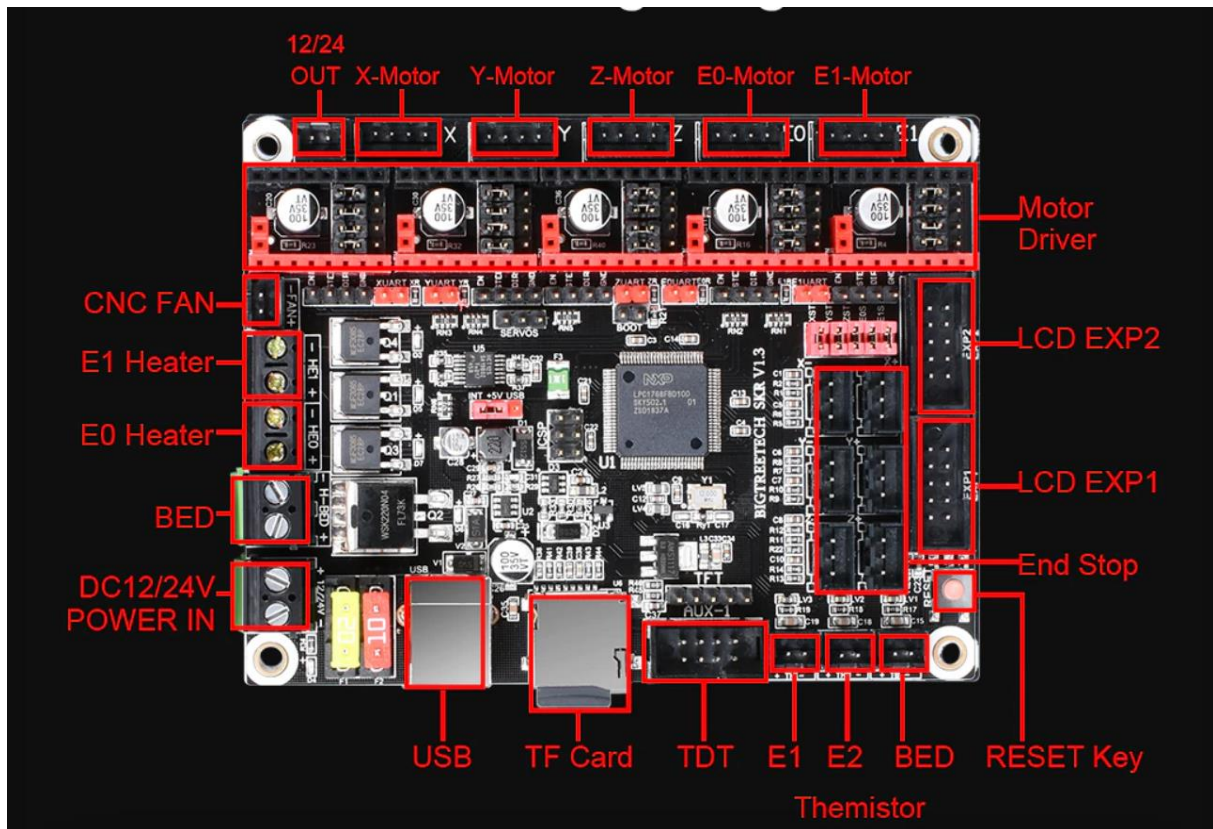


Obr. 33 Připevnění elektroniky 3D tiskárny

5.9.1 Základní deska

Základní deska je hlavní řídicí člen celé 3D tiskárny. Návrh 3D tiskárny počítá s použitím desky, která obsahuje 32-bitový čip pro její lepší komunikaci a rychlost zpracování příkazů tisku. Všechny příkazy a pohyby jsou řízeny příkazovým kódem, který určuje co má základní deska provést. Čtení příkazového kódu je zásadní pro kvalitu tisku. Starší základní desky založené na 8-bitových čipech mají problémy s rychlostí čtení příkazu a to v situaci například, kdy má být tištěn kruh. Tento tvar vyžaduje rychlé čtení příkazů z důvodu rychlých změn polohy tiskové hlavy. Příznakem tohoto problému jsou záseky pohybů 3D tiskárny a snížení kvality tisku. Tyto záseky nemusí být okem viditelné.

Deska použitá v návrhu 3D tiskárny je od výrobce Bigtreetech SKR 1.3. a obsahuje již zmíněný 32-bitový čip. Dalším důvodem použití této základní desky jsou osobní zkušenosti s touto deskou. Schéma na Obr. 34 ukazuje všechny vstupy a výstupy základní desky.



Obr. 34 Schéma desky Bigtreetech SKR V1.3 [20]

Deska obsahuje pět výstupů pro krokové motory. V tomto případě návrhu konstrukce jsou zapotřebí pouze čtyři výstupy. Pátý výstup slouží 3D tiskárnám k systému dual extruder, kde se využívá dvou tiskových hlav či dvou extrudérů na jedné tiskové hlavě.

- CNC FAN je výstup, který je řízen PWM signálem. Tento výstup slouží k ovládání rychlosti radiálního ventilátoru na tiskové hlavě. Řízení ventilátoru je zapotřebí k různým rychlostem tuhnutí materiálu, který je nanášen. Některé materiály se tisknou se spuštěným ventilátorem a u některých není zapotřebí.
- DC 24V OUT slouží k napájení malého ventilátoru o rozměrech 40x40 mm pro chlazení heat-sinku tiskové hlavy. Tento výstup není řízen PWM, protože tento ventilátor je zapotřebí, aby byl stále zapnutý.
- E1 a E0 HEATER slouží jako výstupy pro připojení topného tělesa a jsou spouštěny pomocí mosfetů, kde dochází k cyklickému zapínání a vypínání napájení tepelného tělesa pro regulaci požadované teploty. Řízení teploty je tvořeno PID regulátorem. Druhý výstup E1 není zapotřebí, jak již bylo zmíněno výše u výstupů pro krokové motory.

- BED výstup slouží k napájení ohřevu tiskové plochy. Pracuje na stejném principu jako výstup E1 a E0 HEATER.
- LCD EXP2 a EXP1 slouží pro připojení displaye, kterým se celá tiskárna ovládá.
- END STOP jsou vstupy sloužící pro připojení koncových spínačů, které po sepnutí určí domovskou pozici a vynulování polohy 3D tiskárny.
- E1, E2 a BED THERMISTOR jsou vstupy sloužící pro připojení tepelných čidel, které jsou umístěny na tiskové hlavě a tiskové podložce. Tyto vstupy slouží pro zpětnou vazbu o teplotě na daných místech.
- USB vstup slouží pro připojení 3D tiskárny k počítači, kde je možné ovládat 3D tiskárnu pomocí programů určených pro 3D tiskárny.
- TF CARD vstup slouží pro vložení micro-sd paměťové karty, která slouží pro nahrávání firmwaru 3D tiskárny či pro nahrávání tiskového kódu do tiskárny.

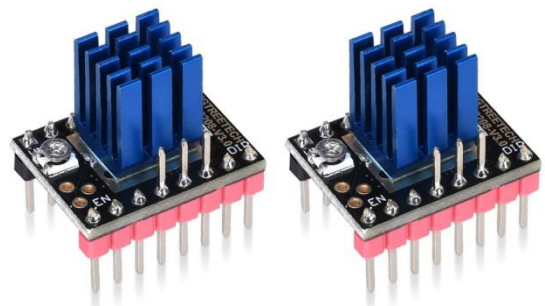
K této základní desce je také možné připojit wi-fi modul, který slouží k bezdrátovému připojení počítače k 3D tiskárně. Pomocí tohoto modulu je možnost tiskárnu ovládat ze vzdáleného přístupu a lze bezdrátově nahrávat do paměťové karty tiskové kódy.

5.9.2 Krokové motory

Na tiskárně jsou použity celkem čtyři krokové motory. Pro osu X, Y a extrudér jsou použity krokové motory nema 17 Microcon SX17-1005VLQCEF bipolární. Jejich statický moment je ve velikosti 0,52 Nm, jmenovitý proud je 1 A a úhel jejich natočení je 1,8°. Pro osu Z je použit krokový motor nema 17 42HD8011-01 bipolární. Jmenovitý proud je 1,5 A, statický moment ve velikosti 0,65 Nm a úhel natočení je 1,8°. Samozřejmostí je využití krokových motorů typu nema 17 se stejnými parametry od jiných výrobců.

5.9.3 Drivery

Drivery respektive ovladače krokových motorů jsou moduly, které jsou připojeny do základní desky. Některé druhy driverů jsou již implementované v základní desce a nelze je zaměnit. Tyto moduly nám ovládají pohyb krokových motorů pomocí řídicích impulsů.



Obr. 35 Drivery TMC 2208 V3.0 [21]

Pro tuto konstrukci 3D tiskárny byli

zvoleny drivery TMC 2208 v3.0 na Obr. 35. Tyto drivery jsou vyměnitelné a mají vynikající vlastnosti ovládání, jelikož není zapotřebí mechanického zásahu pro jejich následné nastavení. Disponují ovládáním pomocí rozhraní UART. Toto rozhraní zajišťuje změnu elektrického proudu na výstupu pro krokové motory pomocí ovládacího displaye v nastavení tiskárny. Starší typy driveru bylo zapotřebí nastavit pomocí malých trimrů přímo na desce s pomocí voltmetru, kde se pomocí velikosti napětí dopočítal požadovaný proud. Při špatné manipulaci mohlo dojít k nenávratnému poškození jak driveru, tak i základní desky. TMC 2208 v3.0 má i schopnost rozdělit pomocí softwaru krokování motoru a to až na 256 kroků. Při zapnutí této funkce se značně sníží hluk tiskárny. Dalším důvodem výběru pro tento návrh je osobní zkušenost s těmito drivery.

5.9.4 Display

Ovládání tiskárny je pomocí displaye, který je označen jako RepRapDiscount Smart Controller. Tento display obsahuje otočné digitální tlačítko, slot pro SD kartu, piezoreproduktor a resetovací tlačítko.

5.9.5 Koncové spínače

Pro zjištění polohy osy X a Y jsou použity mechanické mikro spínače. Osa Z obsahuje dotykové čidlo BLtouch, které je popsáno v kapitole 5.4.4.

5.9.6 Topně těleso tiskové hlavy

Topně těleso vložené do heat-blocku tiskové hlavy má jmenovité napětí 24 V a výkon 50 W.

5.9.7 Tisková podložka

Ohřev tiskové podložky má jmenovité napětí 24 V a výkon 240 W.

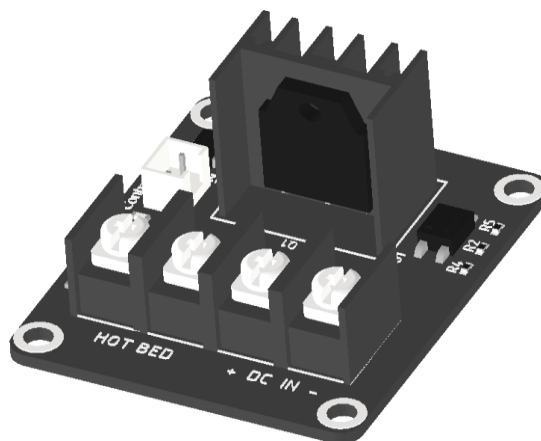
5.9.8 Teplotní čidla

Teplotní čidla tiskové hlavy a tiskové podložky jsou NTC termistory s jmenovitou hodnotou odporu 100 k Ω a s B faktorem 3950 K. Rozsah měření je -40°C až 300°C.

5.9.9 Moduly Mosfet

V návrhu tiskárny jsou použity dva moduly Mosfet na Obr 36. Tyto moduly obsahují výkonové polovodiče Mosfet, které mají za úkol odlehčit zatížení základní desky. Topně těleso a ohřev tiskové plochy jsou obecně připojené na výstupy základní desky. Při náročném používání 3D tiskárny dochází k velikému namáhání mosfetů přímo integrovaných na

základní desce. Může dojít k nenávratnému poškození těchto součástek a celé základní desky. Externí moduly výkonových mosfetů přebírají funkci těchto integrovaných součástek. Externí moduly jsou připojené na výstupy pro ohřev topného tělesa a tiskové plochy, kde z těchto výstupů dochází k řízení těchto modulů. Napájení topného tělesa a tiskové plochy je přemostěno a putuje rovnou ze zdroje tiskárny mimo základní desku.



Obr. 36 3D model modul Mosfet

5.9.10 Zdroj

Zdroj tiskárny se vstupním střídavým síťovým napětím 230 VAC a výstupním stejnosměrným napětím 24 VDC s výkonem 480 W a maximálním proudem 20 A.

6 Návrh konstrukce zakrytování tiskárny

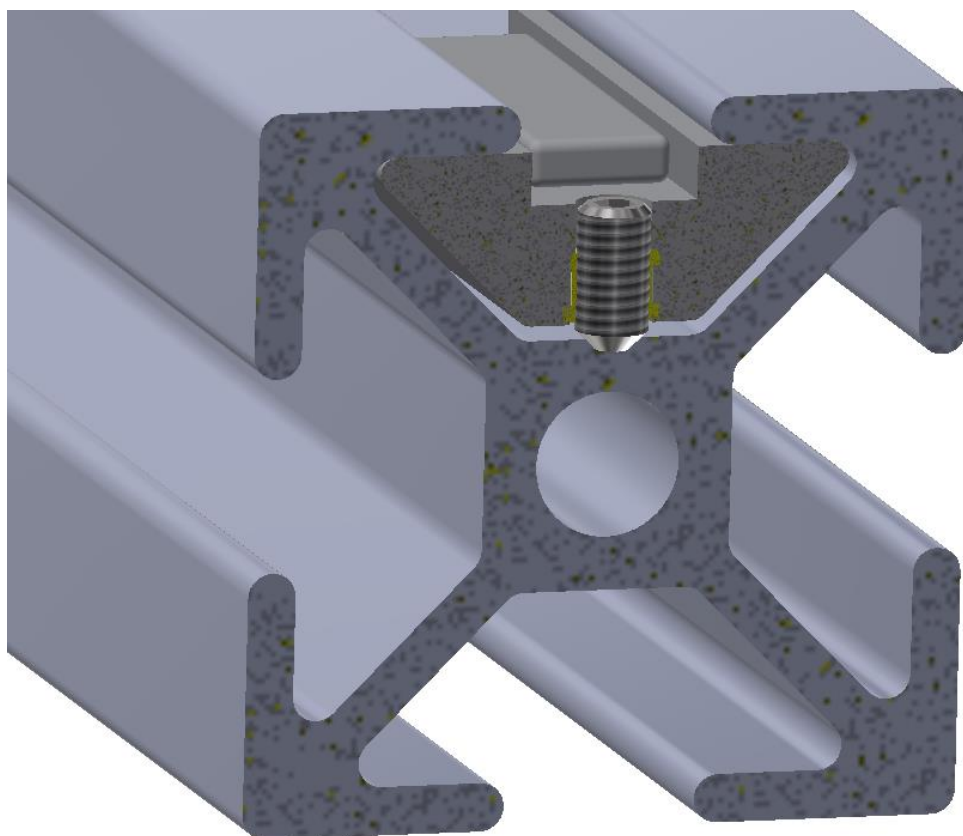
Návrh celé konstrukce je tvořen tak, aby bylo možné 3D tiskárnu zakrytovat. Zakrytování 3D tiskárny má za úkol chránit tiskový prostor před vnějšími vlivy. Mezi vnější vlivy patří snížená okolní teplota či průvan v místě, kde je 3D tiskárna umístěna. Pokud by se jednalo o tisk materiálu PLA, nebylo by zakrytování zapotřebí, ale návrh tiskárny počítá s tiskem materiálů, které jsou na okolní vlivy velice citlivé. Jedná se o materiály ABS, Nylon, Polykarbonát. Tyto materiály se vyznačují velkým tepelným smrštěním. To znamená, že při náhle změně okolní teploty může nastat oddělování výtisku od tiskové plochy, jeho deformaci a vytvoření zmetku.

Další vlastností zakrytování je samozřejmě ochrana před manipulací během tisku, aby nedošlo ke zranění, když je 3D tiskárna v pracovním provozu a tiskne.

Celé zakrytování tiskárny je tvořeno pomocí plexiskla o tloušťce 2 mm.

6.1.1 Návrh konstrukce pro upevnění krytů k rámu 3D tiskárny

Systém pro upevnění krytů je navržen tak, aby se dali kryty jednoduše odejmout z tiskárny, pokud by bylo zapotřebí servisu či výměny tiskové hlavy. Systém upevnění je navržen s použitím neodymových magnetů o velikosti 20x6x2 mm, které jsou připevněny lepeným spojem na speciálně navrženém držáku, který je vytvořen pomocí 3D tisku. Do tohoto dílu jsou vloženy samořezné vložky s vnitřním závitem M3. Tyto vložky slouží pro našroubování stavěcích šroubů ve velikosti M3x6 s vnitřním šestihranem. Celá tato sestava se vloží do drážky v hliníkovém taženém profilu a umístí se na danou pozici. Po utažení stavěcích šroubů se sestava zapře do drážky hliníkového profilu a tím zůstane upevněna na svém místě. Upevnění je vyobrazeno na Obr. 37.



Obr. 37 Řez uchycení vložky magnetu v profilu

6.1.2 Boční kryty 3D tiskárny

Boční kryty 3D tiskárny jsou identické. Jejich velikost je 672x730 mm. Pro přesné umístění magnetů na kryt tiskárny, je zapotřebí odměřit vzdálenost magnetů připevněných na konstrukci tiskárny. Spojení magnetu k plexisklu je tvořeno lepeným spojem. Uprostřed jsou vytvořené dvě díry pro uchycení madla krytu, které je vytvořeno pomocí 3D tisku. Uchycení je tvořeno pomocí samořezných šroubů. Pro vyřezání krytu, je vytvořen soubor typu DWG, který se následně zašle firmě zabývající se zpracováním plastu a podle souboru vyřeže určené kryty.

6.1.3 Zadní kryt 3D tiskárny

Zadní kryt 3D tiskárny má velikost 692x730 mm. Uchycení tohoto krytu je obdobné jako uchycení krytu bočních v kapitole 6.1.2.

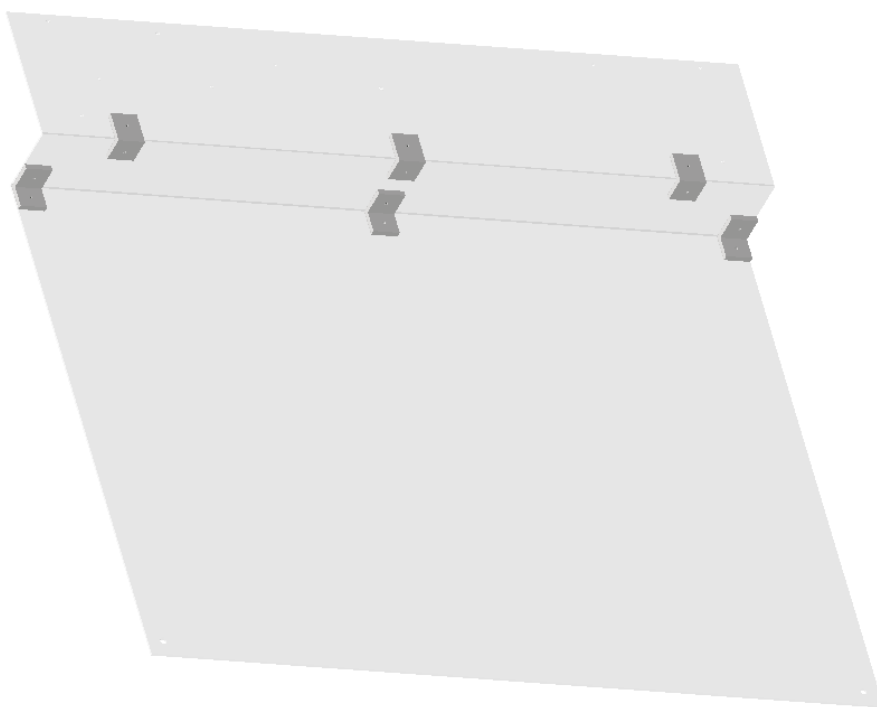
6.1.4 Horní kryt 3D tiskárny

Horní kryt 3D tiskárny má velikost 672x692 mm. Tento kryt má oproti předchozím krytům rozdílné upevnění. Předchozí kryty byly uchyceny pomocí magnetů. Horní kryt je uchycen pomocí 4 šroubů o velikosti M6x10 s vnitřním šestihranem. Tyto šrouby jsou

našroubovány do předem vyřezaných děr v hliníkových profilech. Uprostřed krytu je upevněné 3D tištěné madlo pro lepší manipulaci s krytem. Vyřezání krytu je stejné jako v kapitole 6.1.2.

6.1.5 Spodní kryt 3D tiskárny

Spodní kryt 3D tiskárny se skládá z více kusů plexiskla. Návrh je tvořen tak, aby bylo možné uložení elektroniky do spodní části tiskárny, aby byla mimo tiskový prostor. Spodní kryt je tvořen ze tří dílů, které jsou spojeny pomocí šesti spojníků, jak je vyobrazeno na Obr. 38.



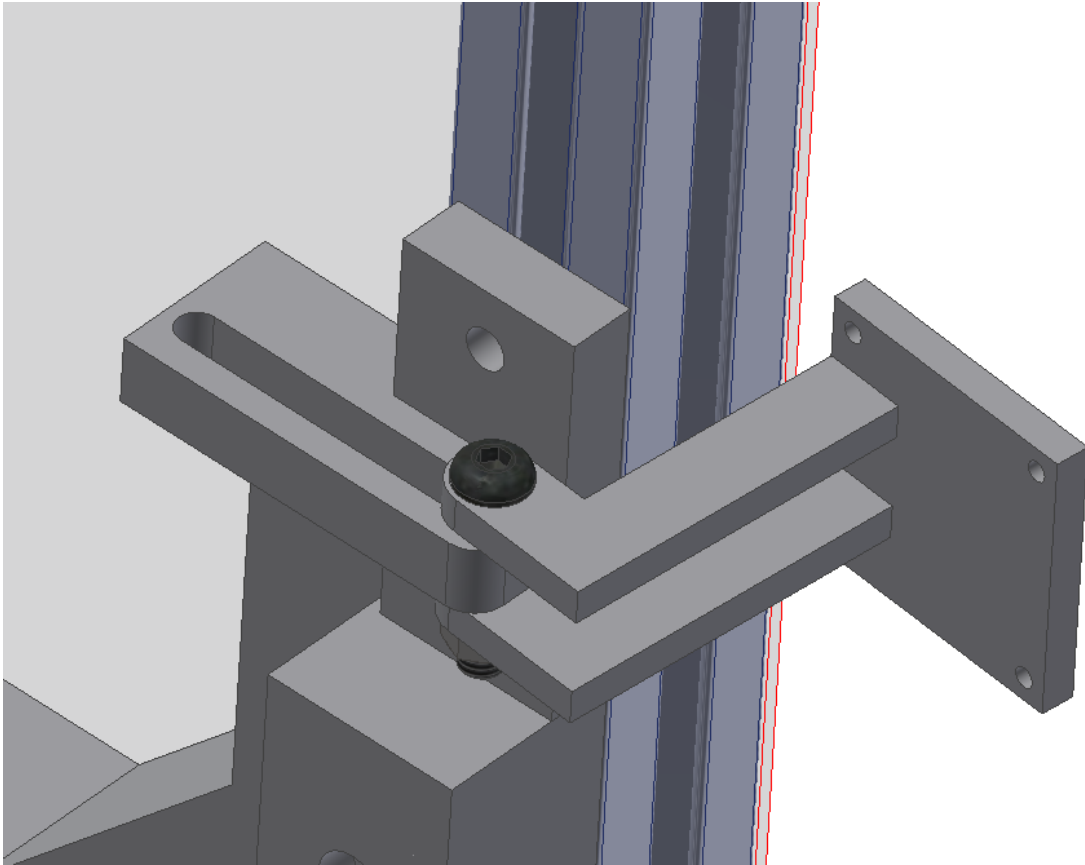
Obr. 38 3D model sestavy spodního krytu

Uchycení spodního krytu 3D tiskárny k rámu je tvořeno v zadní části tiskárny pomocí stavitelných gumových nožiček, které slouží pro vyrovnání 3D tiskárny do vodorovné roviny. V přední části je kryt uchycen pomocí předem připravených děr v krytu, kam se vloží samořezný šroub, který se zašroubuje do plastových rohových spojníků konstrukce rámu 3D tiskárny. Vyřezání krytu je stejné jako v kapitole 6.1.2.

6.1.6 Přední dvířka 3D tiskárny

V přední části 3D tiskárny je vytvořen kryt v podobě půlených dvířek, které se skládají ze dvou částí. Obě části dvířek mají identickou velikost, která činí 326x660 mm. Pro uchycení

a otevírání dvířek je navržen mechanismus pantů pro jejich snadné otevírání a zavírání. Dvířka je zapotřebí mít přilehlá ke konstrukci tiskárny, proto jsou navrženy specifické panty na Obr. 39, které řeší tento problém.



Obr. 39 3D model pantu předních dvířek

Při uchycení a zatažení za madlo, se dvířka prvně opřou o rám tiskárny a začnou se postupně otevírat a zároveň vysouvat. Mechanismus je navržen tak, aby se nestalo, že se dvířka zapříčí a nepůjdou otevřít. Při použití klasického pantu by dvířka tiskárny nepřiléhala k rámu. Další výhodou tohoto řešení je dostupnost pantů, jelikož tyto panty se dají vyrobit pomocí 3D tisku. Pro snížení úniku tepla z tiskového prostoru je na jedné části připevněna lišta, která při zavření dvířek zakryje mezeru mezi oběma částmi. Zavřená dvířka jsou zajištěna proti otevření připevněnými magnety na rámu tiskárny a samotných dvířkách.

7 Ekonomické zhodnocení

Každý stroj či zařízení by mělo být navrženo tak, aby svojí cenou bylo ve své kategorii konkurenceschopné na trhu mezi ostatními výrobci. Návrh každého stroje by měl splňovat požadavky spolehlivosti, kvality a jednoduchosti své konstrukce. Pro snížení ceny každého zařízení je zapotřebí co nejvíce nákupu sériově vyráběných dílů od různých výrobců, jelikož zakázková malosériová výroba každého dílu celé zařízení prodražují.

V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny ceny jednotlivých dílů sestavy 3D tiskárny, které se věnuje tato práce. Ceny tištěných dílů jsou velmi individuální, jelikož každý kdo vlastní 3D tiskárnu, tak bude tyto díly tisknout za cenu materiálu. Pro výpočet ceny tištěných dílů bylo využito průměrné ceny 3D tisku na trhu.

Součást	Počet kusů[-]	Cena [Kč]
3D tištěné díly (kompletní)	1	12 786
Tažený hliníkový profil 30x30 délka 730 mm	4	427
Tažený hliníkový profil 30x30 délka 632 mm	4	462
Tažený hliníkový profil 30x30 délka 612 mm	6	537
Lineární pojezd MGN15H	3	2800
Spojovací materiál	1	1150
Ocelová tyč povrchově kalená 530 mm	4	494
Kuličková ložiska lineární LM10UU	8	560
Trapézový šroub TR8x8	2	500
Mosazná matice pto TR8x8	2	160
Ložisko 608-2Z	2	26
Uzavřený ozubený řemen GT2 délka 1280 mm	1	209
Ozubený řemen GT2 2500 mm	2	500
Řemenice	12	700
Řemenice pro krokové motory	3	177
Řemenice pro trapézový šroub	2	152
Pružina tlačná délka 20mm vnější průměr 4,7 mm	4	100
Základní deska Bigtreetech SKR V1.3	1	990
Driver TMC 2208 v3.0	4	1098
Mosfet modul	2	184
Display- RepRapDiscount Smart Controller	1	299

Bl-touch senzor	1	1500
Radiální ventilátor tiskové hlavy- 40x40x10	1	169
Axiální Ventilátor- Ofuk výtisku	1	149
Konektor Mini-Fit 5557-10R (samec)	1	5,80
Konektor Mini-Fit 5559-10P (samice)	1	7,50
Mikrospínač koncové polohy	2	24
Zdroj 230AC/24DC V 480W	1	998
Energo řetěz délka 500 mm	2	1000
Krokový motor Microcon SX17-1005VLQCEF	3	945
Krokový motor 42HD8011	1	429
Vyhřívaná deska 300x300 mm	1	990
E3DV6- Kompletní sada hot-end	1	1900
Pružina tlačná extruder	2	78
Ozubené podávací kolečko filamentu- Ocel	1	178
Neodymové magnety 20x6x2	56	896
Plexisklo tloušťka 2 mm	2,9 m ²	1392
Celková cena stavebnice 3D tiskárny		34972,3 Kč
Celková cena sestavené 3D tiskárny		44945,3 Kč

V celkové ceně sestavené 3D tiskárny je i započítaná cena práce pro její sestavení a oživení. Konstrukce této tiskárny je konkurenceschopná, jelikož komerční tiskárny s daleko menší tiskovou plochou bez zakrytování tiskového prostoru jsou stejně drahé či mnohem dražší.

8 Závěr

Cílem této práce bylo se seznámit s problematikou aditivní technologie 3D tisku. Na základě analýzy problematiky a porovnání různých konstrukčních řešení technologie 3D tisku bylo úkolem navrhnout konstrukci 3D tiskárny a její zakrytování pro technologii Fused Filament Fabrication. Dalším úkolem bylo ponechat elektroniku 3D tiskárny mimo tento uzavřený tiskový prostor. Dalším požadavkem byla robustnost a pevnost celé konstrukce, nízká pořizovací cena a možnost tisku větších objektů.

V úvodní části této práce je stručné seznámení s nejčastějšími technologiemi využívanými v aditivní výrobě, jejich výhody a nevýhody. Dále se práce zabývá stručným popisem hlavních prvků 3D tiskárny a to tiskové hlavy, tiskového stolu, pohonu a elektroniky. V další kapitole se práce zabývá popisem různých konstrukčních řešení používaných u 3D tiskáren, jejich výhody, nevýhody a limity. V poslední části rešerše se nachází stručný popis využívaných materiálů pro technologii FFF.

V konstrukční části se práce zabývá návrhem konstrukce 3D tiskárny a výběrem elektroniky. Hlavním prvkem tiskárny jsou tažené hliníkové profily, lineární pojezdy a konstrukce osy Z. V tomto návrhu byla zároveň přepracována konstrukce tiskové hlavy pro její snadnou výměnu, která zajišťuje větší variabilitu a možnosti 3D tiskárny. V závěrečné části této kapitoly je popsán výběr elektroniky pro tuto 3D tiskárnu.

V předposlední kapitole se práce zabývá zakrytováním tiskového prostoru 3D tiskárny pro ochranu před vnějšími okolními vlivy. Je zde popsána konstrukce uchycení krytů tvořených z materiálu plexisklo k rámu tiskárny pomocí magnetů a konstrukce pantů pro pohodlné otevírání předních dvířek tohoto prostoru.

Závěrečná část této práce popisuje ekonomické zhodnocení 3D tiskárny. V této části jsou rozepsány ceny použitých prvků a to včetně ceny dílů, které jsou tvořeny pomocí 3D tisku. Z vycházející ceny dílů je tato konstrukce konkurenceschopná oproti komerčním výrobcům a jejich konstrukcím.

Literatura

- [1] **Homola, Jan.** Encyklopedie 3D tisku. *3D tisk.cz aditivní výroba & rapid prototyping*. [Online] Vydavatelství Nová média, s. r. o., © 2014. [Citace: 18. Prosinec 2020.] <http://www.3d-tisk.cz/encyklopedie-3d-tisku/>.
- [2] **ADDITIVE BLOG**, Filament Fused Fabrication. *ADDITIVE BLOG*. [Online] Copyright 2017. [Citace: 18. Prosinec 2020]. <https://www.additive.blog/wp-content/uploads/2017/03/FDM-FFF-3d-printer-how-works-scheme.jpg>
- [3] **ADDITIVE BLOG**. Stereolithography. *ADDITIVE BLOG*. [Online] Copyright 2017. [Citace: 18. Prosinec 2020]. <https://www.additive.blog/wp-content/uploads/2017/03/SLA-stereolithography-scheme-how-works.jpg>
- [4] **ADDITIVE BLOG**, Selective Laser Sintering. *ADDITIVE BLOG*. [Online] Copyright 2017. [Citace: 18. Prosinec 2020]. <https://www.additive.blog/wp-content/uploads/2017/03/SLS-laser-sintering-scheme-how-works-3d-printing.jpg>
- [5] **Průša, Josef a Průša, Michal.** *Základy 3D tisku*. [Online] 15. Prosince 2014. <http://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>.
- [6] **Wellpcb** – PCB Heatbed - *WellPCB* [Online]. Copyright ©c [Citace: 4. Listopad 2020]. <https://www.wellpcb.com/sites/default/files/PCB%20Heatbed2.png>
- [7] **Servodrive**. How does stepmotor work. *Servodrive s.r.o.* [Online]. [Citace: 18. Prosinec 2020]. https://www.servo-drive.cz/img/custom_steppers/how_does_it_work_cs_stepmotor_cutout_labeled.jpg
- [8] **REPRAP**. Wiring. *ReRapWiki* [Online]. 2011 [Citace: 4. Listopad 2020]. <https://www.reprap.org/wiki/4pi>
- [9] **FRYDRYCH, Martin.** *Návrh a konstrukce 3D tiskárny* [online]. Liberec, 2017 [Citace 4. Listopad 2020]. Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec.
- [10] **Průša, Josef.** 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S - Prusa Research. *Prusa Research s.r.o.* [Online] 2020 ©. [Citace: 4. Listopad 2020]. https://cdn.shop.prusa3d.com/1311-thickbox_default/3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s.jpg

- [11] **MakersLab** – 3D tiskárna Delta Kossel. *MakersLab*. [Online] © 2016. [Citace: 4. Listopad 2020.]. <https://makerslab.cz/wp-content/uploads/2016/08/delta-3d-printer-makerslab-250x250.jpg>
- [12] **MakersLab** - Typy 3D tiskáren. *MakersLab*. [Online] © 2016. [Citace: 4. Listopad 2020.]. <http://www.makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>.
- [13] **MakersLab** – 3D tiskárna polárního Typu. *MakersLab*. [Online] © 2016. [Citace: 4. Listopad 2020.]. <https://makerslab.cz/wp-content/uploads/2016/08/polar-3D-printer-makerslab-300x250.jpg>
- [14] **All3DP** –Scara technology 3D printer. *ALL3DP*. [Online] © 2016. [Citace: 4. Listopad 2020.]. <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
- [15] **All3DP** – 3D printer- Scara. *ALL3DP*. [Online] © 2016. [Citace: 4. Listopad 2020.]. https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2020/09/29171723/scara-technology-as-introduced-to-3d-printing-in-2-pontus-borg-via-youtube-200804_download.jpg
- [16] **Greg Hoge**- Corexy systém compare. *Greg Hoge* [Online]. Copyright © [Citace: 4. Listopad 2020]. <https://greghoge.files.wordpress.com/2014/07/corexy-compare.jpg>
- [17] **Printersolid**- E3D V6 HOT END KIT. *Printersolid* [Online]. Copyright © 2020 [Citace: 18. Prosinec 2020]. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0887/0138/products/e3dv6_grande.jpg?v=1516303656
- [18] **Niceshops GmbH**- Volcano Hotend Direct Drive. *3DJake Česká republika* [online]. Copyright © 2010 [Citace: 23.12.2020]. <https://cdn-3d.niceshops.com/upload/image/product/large/default/e3d-volcano-hotend-direct-drive-175-mm-288851-cs.jpg>
- [19] **Makerstore**- Linear Bearing-MG7H. *Scheme bear MGN* [Online]. Copyright © 2020 [Citace: 18. Prosinec 2020]. <https://www.makerstore.com.au/wp-content/uploads/2018/12/BEAR-MGN7C-00-1024x601.jpg>
- [20] **Alliexpress**- Bigtreotech- *SKR V1.3 motherboard* [Online]. Copyright © [Citace: 18. Prosinec 2020]. <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1cLjjL4YaK1RjSZFnq6y80pXa9.jpg>

[21] **Bigtreotech**- Driver TMC 2208 v3.0. *Bigtreotech* [Online]. Copyright © 2020
[Citace: 18. Prosinec 2020]. [https://www.bigtree-
tech.com/uploads/%E8%AF%A6%E6%83%85%E9%A1%B5_011.jpg](https://www.bigtree-tech.com/uploads/%E8%AF%A6%E6%83%85%E9%A1%B5_011.jpg)

Seznam přílohy

Výkresová dokumentace:

- 3-KSA-2021-01 (SPOJNÍK ŘEMENICE)
- 2-KSA-2021-02 (VEDENÍ OSY Z)
- 3-KSA-2021-03 (DRŽÁK POHONU OSY Z)
- 2-KSA-2021-04 (DRŽÁK TR8X8 ŠROUBU)
- 3-KSA-2021-05 (DRŽÁK KROKOVÉHO MOTORU)
- 2-KSA-2021-06 (SESTAVA TISKOVÉ PLOCHY)
- 3-KSA-2021-07 (PANTY)
- 2-KSA-2021-08 (DRŽÁK POJEZD LEVÝ)
- 3-KSA-2021-09 (DRŽÁK POJEZD PRAVÝ)
- 2-KSA-2021-10 (KRYT LEVÝ/PRAVÝ)
- 2-KSA-2021-11 (KRYT ZADNÍ)
- 2-KSA-2021-12 (KRYT HORNÍ)
- 2-KSA-2021-13 (DVÍŘKA PRAVÁ)
- 2-KSA-2021-14 (DVÍŘKA LEVÁ)
- 3-KSA-2021-15 (SESTAVA SPODNÍ KRYT)
- 2-KSA-2021-16 (SPODNÍ KRYT ČÁST 1.)
- 3-KSA-2021-17 (SPODNÍ KRYT ČÁST 2.)
- 3-KSA-2021-18 (SPODNÍ KRYT ČÁST 3.)
- 3-KSA-2021-19 (SESTAVA NOHY)
- 3-KSA-2021-20 (DRŽÁK MAGNETU)
- 2-KSA-2021-21 (TISKOVÁ HLAVA)
- 2-KSA-2021-22 (KONSTRUKCE 3D TISKÁRNY)
- 2-KSA-2021-23 (KRYTY A ELEKTRONIKA)

3D modely:

drzakosyxnavozíkuosyypravý.stl

držákbed.stl

držákdisplay.stl

držáklóžisek.stl

držákmagnet.stl

držákmosfet.stl

drzakosyxnavozíkuosyylevý.stl

držákpohonuosyz.stl

držákpromaticitr8x8.stl

držáktiskovéhlavy.stl

držáktrapézovéhošroubu.stl

držákyčehorní.stl

držákyčespodní.stl

držákventilátor.stl

držákzákladnídesky.stl

držákzdroj.stl

dvířkaproložisko.stl

gumovánožička.stl

hřidelproložisko.stl

krytkaextruder.stl

krytkaprofilů.stl

krytprohotend.stl

madlo.stl

napínákřemenu.stl

ofuk.stl

spojkazaženýchhliníkovýchrprofilů.stl

spojník.stl

spojníkmalý.stl

spojníknadkrokovýmotor.stl

spojníkplexispodnihokrytu.stl

spojníkřemenice.stl

spojníksdržákemmotoru.stl

tělotiskovéhlavy.stl

vložkamaticem6.stl

vložkamaticeproM3.stl

vnějšípant.stl

vnitřnípant.stl

zajištěnířemenů.stl