

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R016 Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční návrh podavače tiskového materiálu pro 3D tiskárny

Autor: **Ladislav Vrbický**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle zákona o právu autorském. Č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Za pomoc a poskytování rad ohledně bakalářské práce, patří velké poděkování Doc. Josef Formánek. Dále všem, kteří se alespoň z části podíleli na pomoci při vypracování této bakalářské práce. A celé katedře KKS za výuku a předání znalostí studentům z oboru konstrukce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vrbický	Jméno Ladislav	
STUDIJNÍ OBOR	„Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční návrh podavače tiskového materiálu pro 3D tiskárny		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	38	TEXTOVÁ ČÁST	35	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Bakalářská práce se zajímá problematikou 3D tisku, a zkoumá výhodnost použití konkrétní technologie 3D tisku. Po výběru technologie 3D tisku, následuje konstrukční návrh podavače pro 3D tisk.
ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	
KLÍČOVÁ SLOVA	3D tisk, tiskárna, model, CAD, granulát, struna

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vrbický	Name Ladislav	
FIELD OF STUDY	„Design of machinery equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST – KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering design of the printer feeder for 3D printers		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	38	TEXT PART	35	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis is interest about 3D printing. Purpose is compare different technology of 3D printing and choose one more advantageous technology. Next step is design of the printer feeder for concrete 3D print technology.
KEY WORDS	3D print, printer, model, CAD, granules, filament

Obsah

1. Úvod.....	7
1.1. Cíle bakalářské práce	7
2. Teoretická část.....	8
2.1 Historie 3D tisku.....	8
2.2 3D tisk co to je?	8
2.3 Metody 3D tisku	9
2.3.1 FDM metoda.....	10
2.3.2 SLS metoda.....	11
2.3.3 SLA metoda.....	12
2.3.4 DLP metoda.....	13
2.3.5 Polyjet Matrix metoda	13
2.3.6 Laminační metoda LOM	14
3. Praktická část.....	15
3.1 Materiály pro tisk [9] [10] [11].....	15
3.2 Hlavní části tiskárny typu FDM	18
3.3 Návrh tiskové hlavy.....	21
3.3.1 Konstrukční návrh tiskové hlavy	22
3.3.2 Použité součásti	23
3.4 Technická specifikace tiskové hlavy	30
3.3.4 Ekonomické zhodnocení.....	31
4. Závěr.....	32
5. Seznam obrázků.....	33
6. Seznam tabulek.....	34
7. Seznam použitých zdrojů.....	35

Přehled použitých zkratk

3D Trojdimenzionální neboli trojrozměrný

FDM Fused deposition modeling

RepRap Replicating rapid prototyper

1. Úvod

V bakalářské práci se bude probírat problematika 3D tisku. 3D tisk je relativně nové odvětví výroby předmětů, které jsou navrženy pomocí CAD systému. V současné době existuje několik typů technologie 3D tisku. V této práci se nejvíce přiblížíme tisku na principu FDM, který bude ještě podrobně vysvětlen v teoretické části.

V praxi 3D tisk najde využití zejména u prototypů, kde je zapotřebí levně a relativně rychle vytvořit požadovaný tvar výrobku. Vlastnosti vytisknutého materiálu se nemusí podobat, finálnímu výrobku, který by se vyráběl například z kovu pomocí odlévání. Většinou se tiskne z polymerního materiálu, ale není to podmínkou. Tato bakalářská práce se bude zabývat právě tiskem z polymerních materiálů.

Mezi výhody patří určitě jednoduchost 3D tisku. Pokud je vytvořen CAD model, dojde k převedení dat do 3D tiskárny, která ihned může začít tisknout. Samozřejmě je nutné si předem stanovit jasné podmínky a očekávání od daného modelu. Zdáli je vhodný 3D tisk pro konkrétní příklad. Většinou se tiskne pouze z jednoho materiálu, ale již jsou i 3D tiskárny, kde se dá tisknout například i z více materiálu najednou.

1.1. Cíle bakalářské práce

Cílem je provést technický návrh podávacího mechanismu pro polymerový tiskový materiál využívaný u 3D tiskáren s principem tisku FDM. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledkem je základní konstrukční návrh podávacího zařízení tak, aby byla možnost jednoduché integrace na 3D tiskárnu pro možnost přímého tisku nebo jako samostatné zařízení pro výrobu tiskové struny.

2. Teoretická část

2.1 Historie 3D tisku

Za začátek 3D tisku, by se dal považovat rok 1986, kdy si Američan Chuck Hull nechal patentovat technologii zvanou stereolitografie značeno pod zkratkou SL nebo SLA. Metoda je založena na vytvrzování tekutého fotopolymeru pomocí laseru neboli UV záření. Jelikož laser je velmi tenký paprsek, tak tato metoda umožňuje tisknout velmi přesné tvary. Vytváření požadovaného tvaru se děje postupně vrstva po vrstvě jako u dalších typů 3D tisku. Více o této metodě bude rozebráno v kapitole rozdělení metod 3D tisku. Ke konci 90. let byl vytvořen přístroj, který byl určen také pro veřejnost. V té době se ještě nepoužíval termín 3D tiskárna. 3D tisk je poměrně nová technologie, a dalo by se říct, že se neustále vyvíjí. Chtěl bych upozornit, že téma této práce se neustále vyvíjí, proto předpokládám, že v budoucnu se hodnoty a parametry změní a 3Dtisk se posune velmi dopředu.

2.2 3D tisk co to je?

Vytváření neboli tisknutí požadovaného modelu, který je k dispozici v počítači ve formátu CAD, pomocí tiskárny v trojrozměrném poli jak napovídá název 3D. Tisknout se může z více materiálů, například i různé pokrmy jako jsou dorty, které se můžou na 3Dtiskárně vytisknout. Práce je zaměřená na tisk polymerů, tedy výrobků z plastů. Jedna z nejrozšířenějších metod je FDM, na této metodě jsou založeny tiskárny typu RepRap, tedy že dokážou vytisknout sami sebe. Obecně 3D tisk je nanášení materiálu, neboli tiskne se vrstva po vrstvě. Jednotlivé metody se od sebe liší ve způsobu nanášení, ale toto mají společné. 3D tisk je většinou pomalý, oproti jiným metodám výroby. Ale má tu výhodu, že pokud je model zhotovený v PC může se zadat do tiskárny program a ihned se vytiskne skutečný model. Každá tiskárna je omezena rozměry a přesností. Proto podle modelu a požadavků na přesnost se musí vybrat tiskárna. U nejrozšířenější metody FDM je zapotřebí struna s materiálem a lze většinou tisknout jednobarevné modely. Model má stejnou barvu jako struna. Tyto modely nejsou nejpresnější, ale základní funkci 3D tisku tato metoda perfektně splňuje. Tiskárny FDM jsou spíše vhodné pro domácí tisk neboli tzv. hobby z důvodu nízkých pořizovacích nákladů.

2.3 Metody 3D tisku

Metoda	vrstva	tryska	Přesnost-kvalita	Materiál	Rozměry tisknutého tvaru
FDM	0,05-0,3mm	1,75 nebo 3(2,85)mm	Hrubá struktura, velká tloušťka vrstvy, nerovný povrch	Modelovací a podpůrný ABS, PLA Minimální odpad Struna-pouze několik strun, malá škála barev	Obvykle: 220x220x220 Největší: 6,1 × 2,4 × 1,8m BAAM 100 Alpha Dimensions
SLS	0,1-0,2mm		Přesné a pevné výrobky-dochází ke spečení, ale také trochu pórovitý povrch	Materiál musí být v prášku, nanese se vrstva-mat se speče zase se nanese vrstva	Obvykle: 350x350x650 Největší: 800 × 400 × 500 Concept laser x line 2000r
SLA	0,025mm-0,1mm		Přesné výrobky s kvalitním povrchem, horší mechanické vlastnosti	Laser kreslí na hladinu polymerové tekutiny-plast musí být jako tekutina(tekutý fotopolymer)-není možný tisk více materiálů	Obvykle: 145 x 145 x 175 Největší: 2,1 × 0,7 × 0,8 Materialise Mammoth SL
POLYJET MATRIX	0,016-0,030mm		Pevné, stabilní kvalitní povrch,	Tekutá forma vytlačuje přes trysky materiál ve velmi tenké vrstvě vytvrzení přes UV záření-podobné klasické tiskárně	Obvykle: 500x400x200 Největší: 1000 × 800 × 500 stratasy Objet100 Plus
Laminační metody Technologie LOM			Model pevný, dá se opracovat dále, a barvit	Pouze 1 typ materiálu, nanese se vždy vrstva materiálu a ořízne se mechanicky nebo laserem a zase se nalaminuje další vrstva Používají se laminační pásy	Obvykle:160 x 210 x 135
DLP Digital LightProcessing	0,015-0,15mm		Úplně hladké a přesné	Mnoho materiálů velká přesnost detaily Tekutý fotopolymer vytvrzený světelným paprskem	Obvykle:110 x 150 x 210 Malé modely

Tabulka 1 Metody 3D tisku [1]

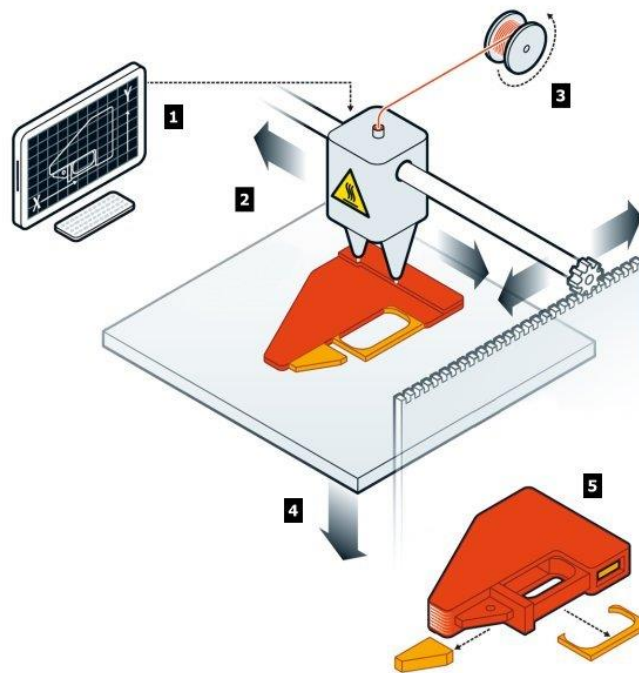
Každá metoda, která zde bude uvedena, je vhodná k něčemu jinému. Lze rozlišit 3D tisk na profesionální a hobby neboli tisk k domácímu použití. Dále lze na každé tiskárně nastavit určitá přesnost, čímž se ovlivňuje doba tisku. Pokud nezáleží na přesnosti je zbytečné, nastavit velké rozlišení a doba tisku by se tím prodloužila. Záleží, také na možnostech. Každá tiskárna má jinou pořizovací cenu, také omezený pracovní prostor. Kvalita je také dost důležitým parametrem, na některých typech je možnost tisknout ve velikosti nanočástic. Dnes se nejvíce mluví o tiskárnách typu FDM, které se po vypršení lhůty ochranné známky neboli patentu velmi rychle rozšířily.

2.3.1 FDM metoda

Celý název: fusion deposition modeling

Postup tisku: [2]

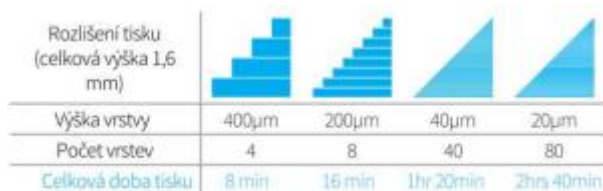
1. 3D data jsou zpracována v příslušném softwaru pracovní stanice
2. tiskové trysky se pohybují nad modelovací deskou
3. termoplast navinutý na cívce je natavován v tiskové hlavě
4. modelovací platforma se pohybuje v ose Z
5. model je sestaven ze dvou odlišných materiálů: modelového a podpůrného. Podpůrný je po dokončení stavby odstraněn.



Obrázek 1 FDM metoda [2]

První zmínka o metodě FDM byla v roce 1989, kdy si nechal S. Scott Crump patentovat tento způsob tisku. Jedná se tedy o 3D tisk, kdy jsou k dispozici 2 základní materiály podpůrný a stavební. Podpůrný materiál je použit jako podpora a drží tvar stavebního materiálu, který by jinak nedržel. Podpůrný materiál po dokončení tisku je odstraněn. Princip je založen na vytlačování roztaveného materiálu, většinou plastu, ale nemusí to být jen plast. Materiál je vytlačován z trysky neboli horkého vtoku. Tato tryska se nahřívá na určitou teplotu, aby roztavila vlákno. Vláknu se říká filament. Toto vlákno je odmotáváno z cívky pomocí odvíječe a je vtlačováno do trysky. Model se vytváří dle modelu, který je k dispozici v nějakém CAD programu. Lze tisknout tím způsobem, že se pohybuje jen tryska, nebo se pohybuje jen stůl v osách X,Y. O 3D tisku se začalo hojně mluvit po roce 2009, kdy vypršel po 20ti letech patent na FDM tisk a pro běžného uživatele se tiskárny stali dostupné. Vytvořil se projekt tzv. reprap z anglického názvu replicating rapid prototyper.

To znamená, že se tiskárna může tzv. seberekopírovat. Může vytvářet některé své komponenty a tím vytváří další 3D tiskárnu. Tyto tiskárny jsou cenově dostupné, prodávají se i jako stavebnice a každý si ji může sestavit. Při sestavení tiskárny je důležité dát si pozor na nějaké části a člověk musí být opatrný. Tryska v hlavě se zahřívá na vysokou teplotu a deska, na kterou se tiskne je také natápěna. 3D tiskárny jsou citlivé, je potřeba s nimi jemného zacházení. U této metody je více možností, lze tisknout například z jednoho vlákna i ze dvou, které budou tvořit stavební materiál. Je tu možnost vybrat si tloušťku filamentu, kdy tloušťka 1,75 mm je nejpoužívanější. Dále se používá 3mm (ve skutečnosti 2,85mm). U většího vlákna je důležité prohrát i prostřední části vlákna. Důležitý je také posuv v ose Z, který většinou odpovídá polovině šířky trysky. Např. pokud je konec trysky 0,4 mm vrstva by měla být 0,2mm, aby se dosáhlo správného spojení vláken a nedocházelo jen k bodovému styku. Tryska má vždy menší průměr než vlákno. Vlákna se prodávají už navinutá na cívkách o konstantním průměru a nejsou zrovna nejlevnější. Levnější variantou je granulát, ale tyto tiskárny mají svá úskalí při tisku. V této bakalářské práci bude tiskárna z granulovaných hmot jednou z možností návrhu.

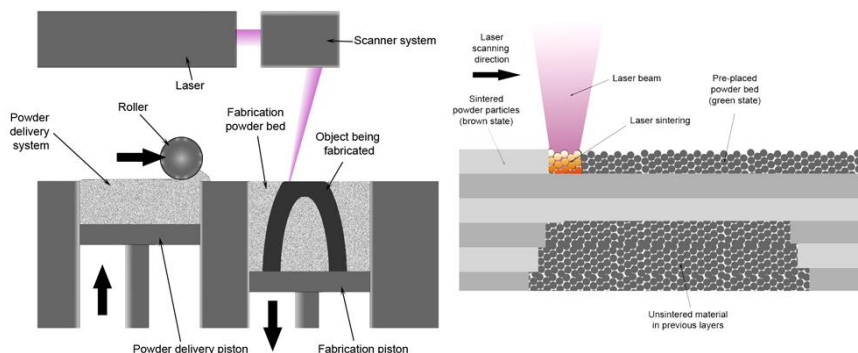


Obrázek 2 Rozlišení při různé tloušťce tisknuté vrstvy [3]

2.3.2 SLS metoda

Celý název: Selective laser sintering

Jedna z nejstarších metod, objevena a patentována Carlem Deckardem v polovině osmdesátých let. Tisknout lze jen práškové materiály, pokud je zapotřebí tisknout plast, tak je nutné ho mít v práškové podobě. Princip tisku je v nanášení vrstev prášku, kdy při nanášení jedné vrstvy laser vypálí tvar do prášku. Poté se nanese nová vrstva prášku a zase se vypálí požadovaný tvar. Vypálením dojde ke spečení materiálu. Není potřeba podpůrný materiál, protože tvar drží okolní nespečený materiál. Nevýhodou je pokud by bylo potřeba vytvořit uzavřenou dutinu, např. kouli. To není touto metodou možné, jelikož by zůstal nespečený materiál uvnitř koule. Používá se karbon-dioxidový zdroj paprsku, pořizovací cena je vysoká, tato metoda je také velmi energeticky náročná. Je spíše vhodná pro profesionální tisk. Výrobky jsou celkem pevné, jelikož dochází ke spečení materiálu. Parametry tisku jsou znázorněny v tabulce metod tisku.

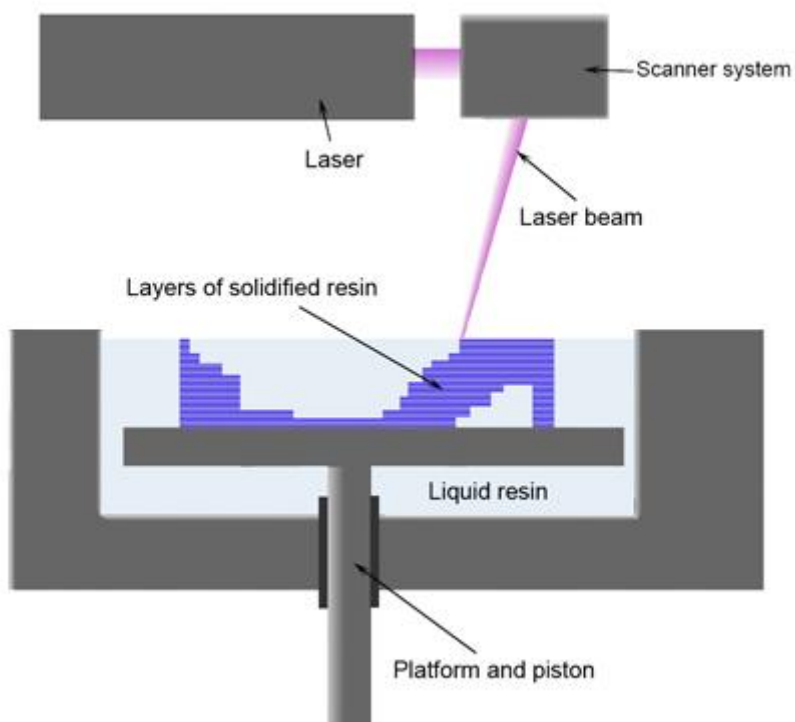


Obrázek 3 Princip SLS tisku [4]

2.3.3 SLA metoda

Celý název: stereolithography apparatus

První kdo tuto metodu použil byl japonský vědec Dr. Hideo Kodama na začátku 70.let minulého století, o patent se snažili i dva Francouzi, ale nebyl jim uznán patent a o 3 týdny později přišel s patentem Chuck Hull v USA a to v roce 1986. Princip metody je založen, na vytvrzení fotopolymerního materiálu pomocí UV laseru. Lze tedy použít jen fotopolymerní materiál. Technologie je zobrazena na obrázku, kdy po každé vytisknuté vrstvě, se model ponoří o tloušťku další vrstvy do tekutého fotopolymeru. A může se začít tisknout další vrstva. Použití tedy pouze jen jednoho materiálu. Výhodou je oproti SLS, že UV laser je méně energeticky náročný.

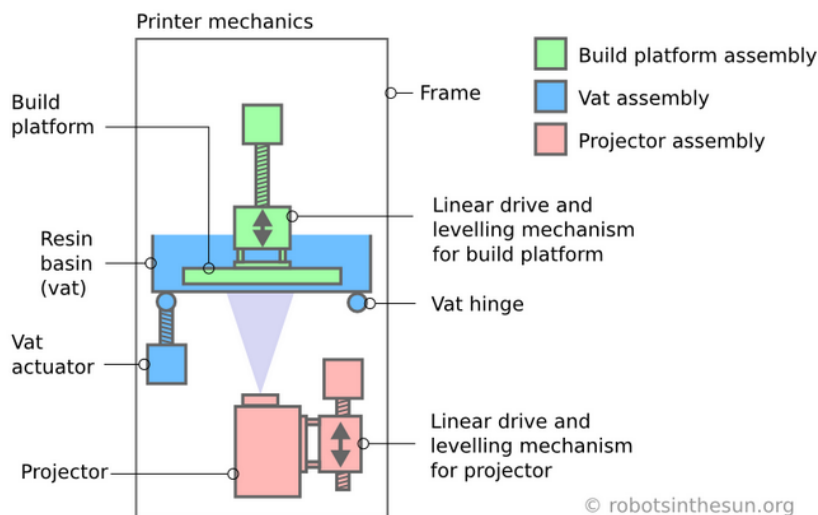


Obrázek 4 Princip SLA tisku [5]

2.3.4 DLP metoda

Celý název: Digital Light Processing

Metoda je podobná metodě SLA, protože u této metody se také tiskne fotopolymerní materiál. Jen se liší použitím světla k vytvrzení. SLA používá UV laser a DLP metoda používá DLP projektor, který vytvrzuje fotopolymer. Výtisky jsou velmi přesné, záleží na rozlišení projektoru.

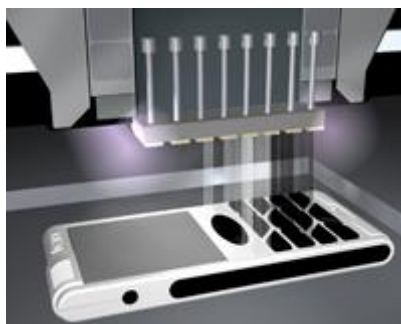


Obrázek 5 Princip DLP metody [6]

Osvit pouze ze spodní strany, kdežto u metody SLA lze použít osvit seshora nebo zespoda.

2.3.5 Polyjet Matrix metoda

Technologie vyvinuta izraelskou firmou Objet. Poměrně nová technologie, dají se jako na jediné tiskárně kombinovat dva materiály v jeden okamžik, vznikne tedy něco nového tzv. digitální materiál. Dále je možnost používat při tisku více druhů materiálů, dají se měnit materiály, z kterých se tiskne, jedná se o multimateriálový tisk. Tiskne se ve vrstvách až 16 mikronů, vytváří se tímto velmi realistické modely. Princip založen na nanášení různých materiálů pomocí dvou a více trysek do vrstev na pracovní plochu, kde je následně materiál vytvrzován UV zářením. Materiál je v tekuté formě, je to podobné klasické tiskárně.

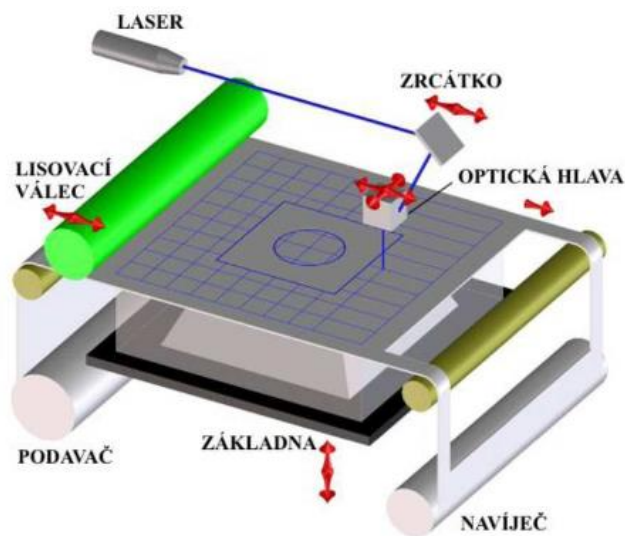


Obrázek 6 Princip tisku metody Polyjet Matrix [7]

2.3.6 Laminační metoda LOM

Celý název: Laminated Object Manufacturing

Metoda založena na nalepování pásů, které tvoří jednotlivé vrstvy. Používají se pásy k tomu určené. Po nanesení jednoho pásu tedy vrstvy se vyřízne pomocí laseru požadovaný tvar a pracovní stůl sjede o tloušťku vrstvy směrem dolů a nanese se další vrstva, tedy pás. Pás má z jedné strany lepidlo. Pomocí zahřátého válce se přilepí pás k předchozí vrstvě. Jelikož dochází pouze k ořezávání vnějšího tvaru, tak se ušetří čas i energie. Nemusí se osvítit každý bod v daném tělese, jako u jiných metod. Nevýhodou je přesné nastavení laseru, aby nedošlo k ořezání již vytvořených tvarů.



Obrázek 7 princip metody LOM [8]

3. Praktická část

Z popsaných metod v teoretické části, je vybrána metoda tisku FDM. Jednoznačným důvodem jsou nízké výrobní náklady, a i nízké provozní náklady. Metoda tisku FDM tiskne ve vrstvách 0,05-0,3mm, což je přijatelné pro výrobu základních konstrukčních prvků a prototypů, které nekladou veliký důraz na vysokou přesnost. Konstrukce tiskárny typu FDM je jednoduchá oproti ostatním typům 3D tiskáren. Tato tiskárna splňuje základní požadavky. Pro vylepšení a snížení nákladů se místo struny použije materiál ve formě granulátu. Tím odpadne nutnost výměny struny při tisknutí rozměrných 3D objektů.

3.1 Materiály pro tisk [9] [10] [11]

ABS (akrylonitrilbutadienstyren)

hustota: 1045 kg/m³

teplota tisku: 230-245 °C

teplota extrudéru: 150-210 °C , **teplota podložky:** 0-60 °C

PLA (polylactic acid - kyselina polymléčná)

hustota: 1250 kg/m³

teplota tisku: 185-235 °C

teplota extrudéru: 150-210 °C, **teplota podložky:** 0-60 °C

Použití: Je nejuniverzálnějším materiálem pro technologii tisku FDM, vhodným i pro tisk velkých předmětů. Vedle ABS je nejpoužívanějším materiálem pro 3D tisk metodou extruze termoplastu. Je pružný, tvrdý a odolný jako jiné plasty.

Doporučení: Materiál pohlcuje vlhkost, doporučuje se ho skladovat v suchém prostředí, jinak hrozí vytvoření bublinek na povrchu předmětu. Má minimální rozpínání při tavení. Výtisk je pevný a jednotlivé vrstvy jsou pevně spojené. Má nízký tavný bod, obrábění je nutné s chlazením.

Varianty PLA:

PLA – D (polylactic acid - kyselina polymléčná)

Parametr D určuje vyšší tvrdost oproti PLA-A a s tím spojenou i vyšší teplotu tuhnutí.

teplota tisku: 185-235 °C

Je využíván např. tiskárnou UK3DP

PLA SVÍTÍCÍ VE TMĚ – GLOW IN THE DARK

teplota tisku: 195-220 °C , **teplota podložky:** 50-60 °C

rychlost tisku: 40-100 mm/s

Materiál jemný na dotek, se zvýšenou elasticitou. Ve dne barvy krémové, v nofosforeskuje a svítí. Modifikováno PHA. Je 100% bioodbouratelný (šetří životní prostředí). Musí se skladovat v obalu, chránícím před vzdušnou vlhkostí. Nejobvyklejší barvy tohoto materiálu jsou zelená a červená (růžová).

STEEL PLA

teplota extrudéru: 195-220 °C, **teplota podložky:** 50 °C

Lze ho stejně snadno tisknout jako běžný PLA. Hotový výrobek lze leštit. Je ideální pro tisk šperků, podpěr, figurek a robotů.

PLA/PHA

Je tisková struna jemná na dotek se zvýšenou elasticitou, zaručuje vysokou kvalitu 3D tisku. Modifikováno PHA. Jedná se o 100% bioodbouratelný materiál (šetří životní prostředí). Musí se skladovat v obalu, chránícím před vzdušnou vlhkostí.

SROVNÁNÍ ABS A PLA

PLA je snadněji a rychleji zpracovatelný při stejných výchozích podmínkách, ale výrobky z něj jsou výrazně méně odolné vůči vyšším teplotám (začíná měknout již kolem 60 °C, zatímco ABS až na 100 °C). ABS je náchylnější k deformacím a vadám vlivem chladnutí vytištěného materiálu, vyžaduje tedy použití vyhřívané podložky. Podle některých domácích uživatelů je výhodou PLA fakt, že při tavení produkuje vůni připomínající smažení rostlinného oleje, zatímco ABS je při tavení cítit jako pálený plast. Výrobky z PLA jsou méně pružné, ale mají vyšší lesk. U ABS se snadněji odstraňují podpůrné prvky.

ASA (akrylonitril-styren-akry)

hustota: 1070 kg/m³

teplota tisku: 250-255 °C, **teplota podložky:** 60-100 °C

Použití: vhodný pro výrobu prototypů, strojírenských nástrojů i koncových výrobků pro běžné použití včetně využití pro tisk dílů pro venkovní aplikace. Tisk je ucelený a pevný, vhodný i na malé detaily, vytisknutý objekt je lesklý.

Doporučení: ASA má vyšší tuhost než ABS, a proto je vhodným materiálem pro náročné aplikace.

PVA (polyvinylalkohol)

hustota: 1270 kg/m³

teplota extrudéru: 180-200 °C, **teplota podložky:** 0-50 °C

Doporučení: Vyšší teplota vody urychlí rozpouštění, ale je schopný se rozpustit i ve vodě studené. Je dobrý pro tisk při nízkých teplotách. Má vynikající přilnavost na různé plasty, jako je PLA a ABS. Je citlivý na vlhkost - doporučujeme skladovat v uzavřeném obalu. Při tisku se nedoporučuje překročit teplotu 225 °C, protože potom PVA krystalizuje.

PET (polyethyléntereftalát)

hustota: 1350 kg/m³

teplota tisku: 220-260 °C

Jedná se o termoplastický polyester. Je velmi známý díky plastovým lahvám. Ve svém původním stavu PET vlákno je bezbarvý a křišťálově čistý materiál. Ale když se zahřeje nebo ochladí, změní svou transparentnost. Je poměrně tvrdý a odolný proti otřesům, takže je ideální pro lehké předměty.

Varianty PET:**PET – G** (polyethyléntereftalát – glykol)

teplota extrudéru: 210-235 °C, **teplota podložky:** 45-60 °C

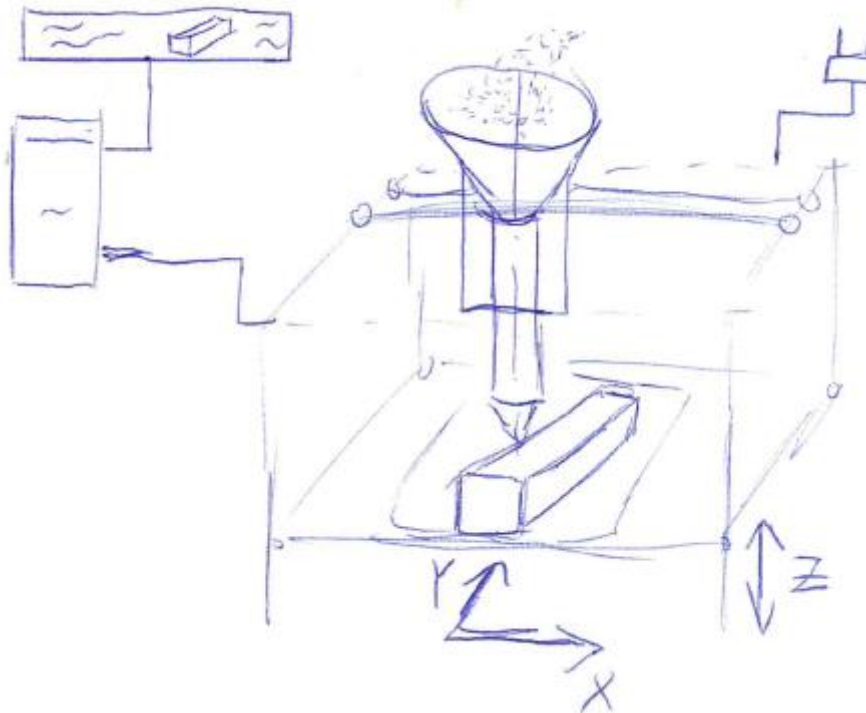
PETG je na rozdíl od jiných materiálů více odolný vůči kyselinám a rozpouštědlům, vysokým i nízkým teplotám. Je možné tepelně tvarovat z něj vytištěný předmět nebo jej leštit ohněm.

PET – G/CF

Má vyšší pevnost i tuhost než běžný PET – G. Tento materiál je doplněn o karbonové vlákno (uhlíkové), který mu dodává větší tuhost a odolnost a je pro ně typické černé "kovové" zbarvení.

3.2 Hlavní části tiskárny typu FDM

- Mechanická konstrukce – v tomto případě tisková hlava je na pevno a pojezd v osách X,Y,Z je zajištěn pohybem stolu po hlazených tyčích.
- Elektronika
- Extrudér - tisková hlava
- Software

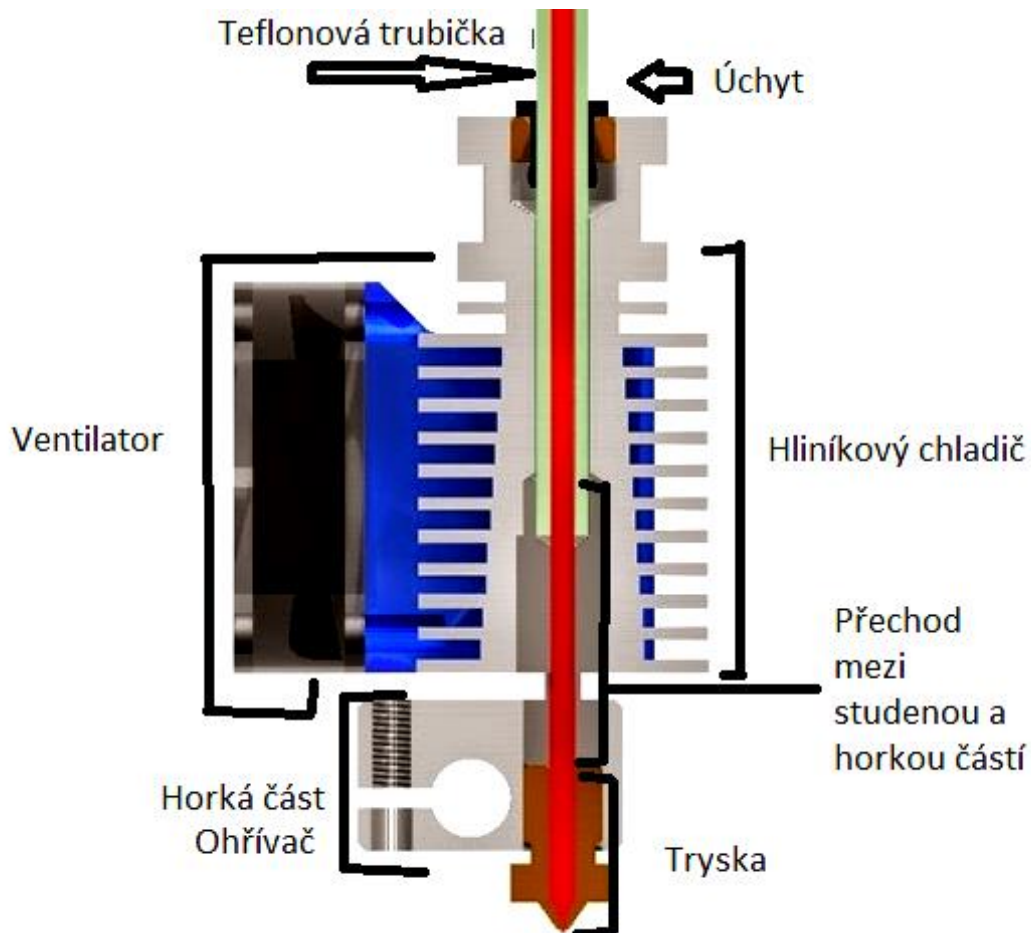


Obrázek 8 Hlavní části FDM tiskárny

V bakalářské práci je cílem navrhnout podavač pro 3D tiskárnu typu FDM. Proto se práce bude především zabývat typem tiskové hlavy.

Extrudér - tisková hlava

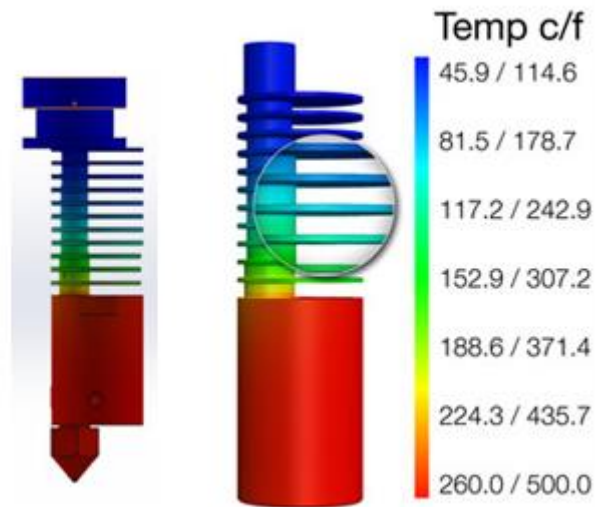
Klasická tisková hlava pro FDM tisk s podávacím zařízením pro strunu neboli vlákno:



Obrázek 9 Řez FDM tiskárny [12]

Teflon odděluje studenou část od horké, ke chlazení je použit hliníkový žebrovaný blok s ofukem z ventilátoru. V horké části je umístěn ohříváč, ten taví materiál a vytlačuje přes mosaznou trysku, která může být různých průměrů.

Přibližné rozložení teplot při tisku v tiskové hlavě:



Obrázek 10 Rozložení teplot [13]

Přechodová teplota materiálů mezi pevným a tekutým stavem:

Materiál	t[°C]
ABS	105
PLA	152
HDPE	130
PCL	65

Tabulka 2 Přechodová teplota [13]

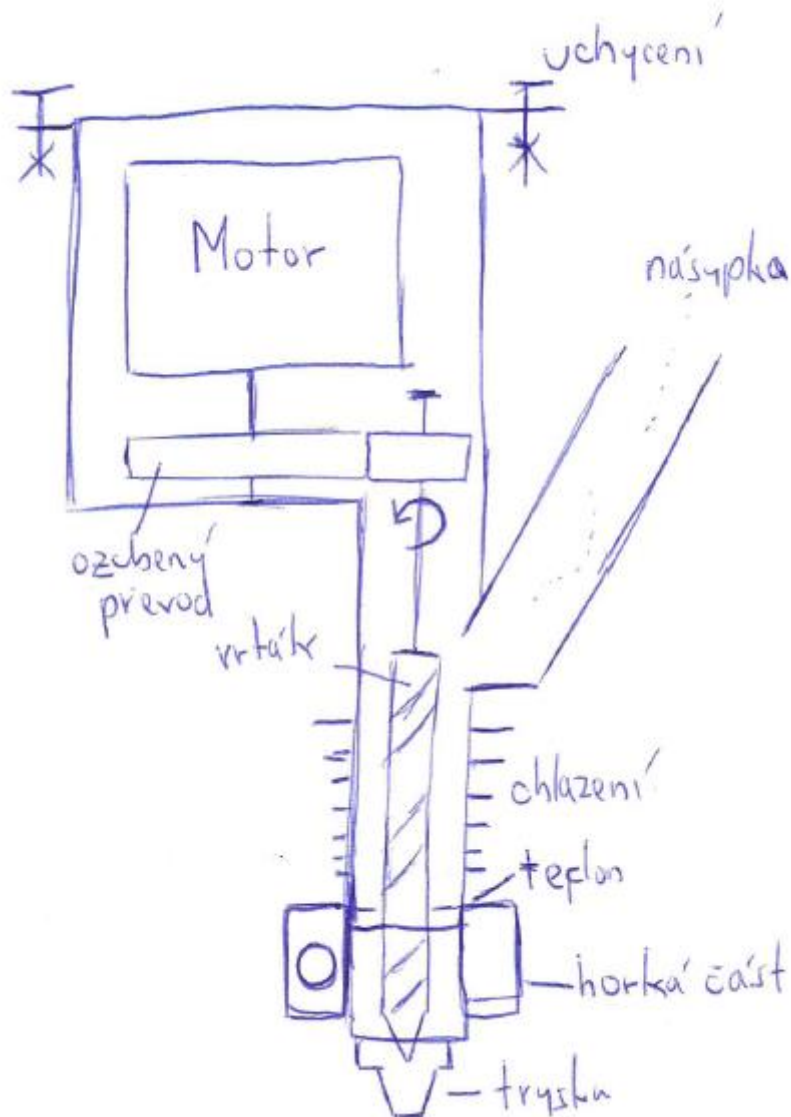
Průměry trysek pro filament o tloušťce 1,75mm.



Obrázek 11 Trysky [14]

Náčrt tiskové hlavy:

Pro náčrt posloužila jako předloha klasická tisková hlava typu FDM, která tiskne pomocí vlákna. V tomto případě je cílem odstranit komponenty související s principem tisku z vlákna a nahradit je komponenty určenými pro tisk z granulátu.

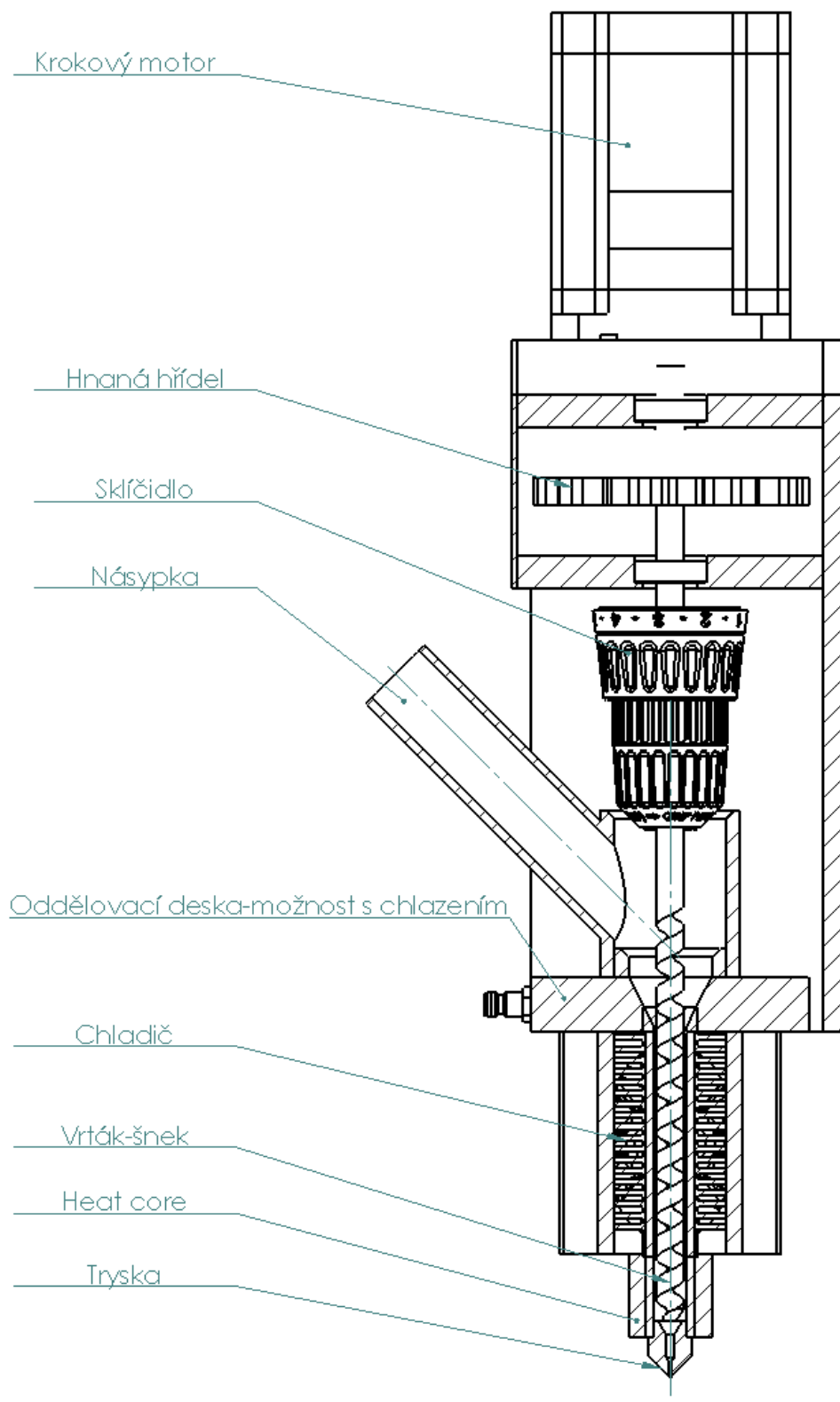


Obrázek 12 Hrubý náčrt

3.3 Návrh tiskové hlavy

Tisková hlava musí být schopna integrovat do již vyrobené konstrukce, která zajišťuje pohyb v osách X,Y,Z. Jako materiál bude použit polymer ABS, který je vhodný pro 3D tisk. Materiál bude ve formě granulí. Toto jsou podmínky, které jsou předem stanoveny.

3.3.1 Konstrukční návrh tiskové hlavy



Konstrukční návrh proveden v programu SolidWorks. Hlavním předpokladem je vsypání granulovaného ABS plastu do násypky. Vrták určený pro vrtání do dřeva, je upnut do klasického sklíčidla, které pohání krokový motor, přes ozubená plastová kola získáváme požadovaný převod. Vrták, který slouží, jako šnek dopravuje granule směrem k trysce. Tryska je normalizovaný díl, snadno dostupný v eshopech pro 3D tiskárny. Před tryskou je heatcore, které roztaví materiál, šnek vytlačuje tento roztavený materiál přes trysku na podložku 3D tiskárny, kde se vytváří 3D vytisknutý objekt.

3.3.2 Použité součásti

a. Krokový motor [15]

Jedná se o nakupovaný díl. Vybraný motor má označení NEMA SX17-1005VLQCEF



Obrázek 13 Krokový motor [15]

Popis:

Hybridní dvoufázový krokový motor řady SX dodáván v přírubě NEMA17 se vyznačuje vysokým přídržným momentem 0,52 Nm, vysokou účinností, malým momentem setrvačnosti a při zachování malých rozměrů a nízké hmotnosti i vysokou přesností. Standardní délka kroku je $1,8^\circ$ (tolerance $\pm 0,1^\circ$) s možností dalšího elektronického zmenšení.

- přídržný moment 0,52 Nm
- maximální proud 1A
- 4 flexibilní vývody o délce 100cm
- na konci vývodů konektor 2,54 mm Crimp Connector 1x4-Pin for Header Pins

Výrobce: Microcon

Cena: 300,-Kč

b. Hnaná + hnací hřídel-ozubení**Pastorek (krokový motor):****Dáno:**Modul $m=1\text{mm}$ Úhel profilu $\alpha_n=20^\circ$ Počet zubů $Z_2 = 15$ Šířka kola $b_1 = 5\text{mm}$ **Výpočet:**

Průměr roztečné kružnice:

$$D = Z_2 \cdot m = 15 \cdot 1 = 20\text{mm}$$

Výška hlavy zubu:

$$h_a = m = 1\text{mm}$$

Výška paty zubu:

$$h_f = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 1 = 1,25\text{mm}$$

Hlavová vůle:

$$c_a = 0,25 \cdot m = 0,25 \cdot 1 = 0,25\text{mm}$$

Výška zubu:

$$h = h_a + h_f = 1 + 1,25 = 2,25\text{mm}$$

Průměr hlavové kružnice:

$$D_a = D + 2 \cdot h_a = 20 + (2 \cdot 1) = 22\text{mm}$$

Průměr patní kružnice:

$$D_f = D - 2 \cdot h_f = 20 - (2 \cdot 1,25) = 17,5\text{mm}$$

Rozteč:

$$p = \pi \cdot m = \pi \cdot 1 = 3,142\text{mm}$$

Tloušťka zubu:

$$s = \frac{p}{2} = \frac{3,142}{2} = 1,571\text{mm}$$

Hnané kolo:**Dáno:**Modul $m=1\text{mm}$ Úhel profilu $\alpha_n=20^\circ$ Převodový poměr $i = 5:1$ Šířka kola $b_1 = 5\text{mm}$ Rozteč $p = 3,142\text{mm}$ Tloušťka zubu $s = 1,571\text{mm}$ **Výpočet:**

Počet zubů kola:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \Rightarrow Z_1 = \frac{Z_2}{i} = \frac{15}{0,2} = 75 \text{ zubů}$$

Průměr roztečné kružnice:

$$D = Z_2 \cdot m = 75 \cdot 1 = 75\text{mm}$$

Výška hlavy zubu:

$$h_a = m = 1\text{mm}$$

Výška paty zubu:

$$h_f = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 1 = 1,25\text{mm}$$

Hlavová vůle:

$$c_a = 0,25 \cdot m = 0,25 \cdot 1 = 0,25\text{mm}$$

Výška zubu:

$$h = h_a + h_f = 1 + 1,25 = 2,25\text{mm}$$

Průměr hlavové kružnice:

$$D_a = D + 2 \cdot h_a = 75 + (2 \cdot 1) = 77\text{mm}$$

Průměr patní kružnice:

$$D_f = D - 2 \cdot h_f = 75 - (2 \cdot 1,25) = 67,5\text{mm}$$

Osová vzdálenost

$$a_{12} = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{20 + 75}{2} = 47,5\text{mm}$$

Předpokládá se výroba plastových ozubených kol. Cena stanovena orientačně pro hnací ozubené kolo 450,-Kč a pro hnané ozubené kolo 900,- Kč.

c. Ložiska

Hřídelky ozubených kol jsou uložena v kuličkových ložiskách s označením 608ZZ

Vnitřní průměr 8mm

Vnější průměr 22mm

Šířka 7mm



Obrázek 14 Ložisko [23]

Cena: 23,-Kč

d. Sklíčidlo [16]

Rychloupínací sklíčidlo 2-13mm zakoupené z eshopu.



Obrázek 15 Rychloupínací sklíčidlo [16]

Cena: 204,- Kč

e. Násypka

Vyráběný díl. Viz výkres č. 2018-001. Tvar násypkové trubky závisí na tom, zdali se nasype materiál do násypky nebo se bude nasávat ze zásobníku či sila. V tomto případě se materiál pouze nasype do násypkové trubky.

Cena: 800,-Kč

f. Oddělovací deska

Vyráběný díl. Viz výkres č. 2018-002. Oddělovací deska spojuje násypku s horkou částí.

Cena: 500,- Kč

g. Chladič

Hliníkový chladič zakoupený z eshopu. K tomuto chladiči je přidělán ventilátor také zakoupený z eshopu.



Obrázek 16 Hliníkový chladič s ventilátorem[17]

Cena hliníkového chladiče je 149,-Kč

Cena ventilátoru je 65,-Kč.

h. Vrták-šnek

Jedná se o vrták do dřeva zakoupený z eshopu. Podle potřeby je upravená jeho špička.



Obrázek 17 Vrták [18]

Cena: 121,-Kč

i. Hot end

Horký konec se skládá z topného bloku, termistoru a topného tělesa. Všechny tyto součásti jsou zakoupeny z eshopu.

Topný blok:

Obrázek 18 Topný blok [19]

Cena: 799,- Kč

Termistor:

Snímá teplotu horkého konce.



Obrázek 19 Termistor [20]

Cena: 175,- Kč

Topné těleso:

Topné těleso o výkonu 30W.



Obrázek 20 Topné těleso [21]

Cena: 215,- Kč

j. Tryska

Zakončení tiskové hlavy je tryskou, která se vyrábí o různých průměrech. Je vyrobená z mosazi.



Obrázek 21 Tryska [22]

Cena: 219,- Kč

3.4 Technická specifikace tiskové hlavy

Tisknutelné rozměry: záleží na typu použité tiskárny („neomezené“)

Výška vrstvy: 0,05-0,3mm

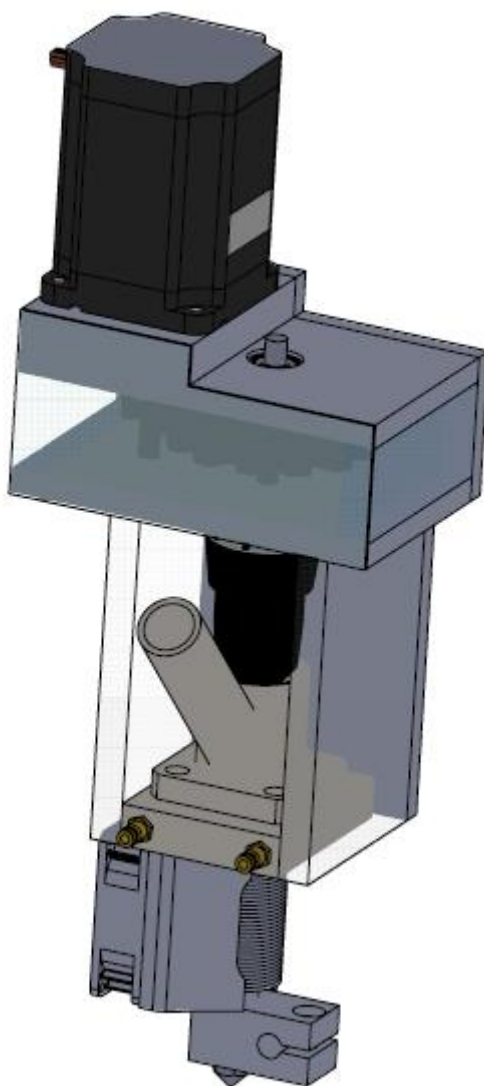
Hrot trysky: výměnný (0,4)

Tisk jednoho materiálu

Materiál: ABS, PLA, PVA, PET, ...

Hmotnost: 4,57kg

Maximální teplota trysky: 300°C



Obrázek 22 3D model tiskové hlavy

3.3.4 Ekonomické zhodnocení

Součást	Cena [Kč]
Krokový motor	300,-
Hnací ozubené kolo	450,-
Hnané ozubené kolo	900,-
Ložiska (4ks)	$4 \cdot 23 = 92,-$
Skřídlo	204,-
Násypka	800,-
Oddělovací deska	500,-
Chladič s ventilátorem	$149 + 65 = 213,-$
Vrták	121,-
Topný blok	799,-
Termistor	175,-
Topné těleso	215,-
Tryska	219,-
Tělo konstrukce	2000,-
Celkem	5426,-

Tabulka 3 Ekonomické zhodnocení

Celková cena tiskové hlavy je odhadnuta na 5426,-Kč.

4. Závěr

Cílem bylo navrhnout zařízení, které bude aplikováno do konstrukce 3D tiskárny a bude schopno tisknout 3D objekty z polymerního granulátu. Na výběr byla možnost mezi zařízeními, které bude produkovat strunu, která následně bude směřována do klasické 3D tiskárny typu FDM s tiskovou hlavou pro struny. Nebo mezi zařízeními do kterého se nasype granulovaný materiál, roztaví se v tomto zařízení a bude vytlačován z trysky. Podmínka byla, aby toto zařízení bylo schopno nepřetržitého provozu. Tedy nelze použít princip vytlačování pístem.

Podařilo se navrhnout konstrukční zařízení, které toto splňuje. Uvnitř zařízení se nachází vrták do dřeva, který je ručně upravený, tak aby plnil správnou funkci 3D tisku. Tento vrták slouží jako šnek pro přepravu studeného materiálu z násypky až k horkému konci, kde materiál je již roztavený a přes trysku je vytlačován na podložku, kde vzniká požadovaný 3D výrobek.

Konstrukce byla záměrně navržena tak, aby celé zařízení bylo co nejlevnější. Jsou použity pouze nezbytné součásti k provozuschopnosti zařízení. Pro komerční účely by bylo zapotřebí několika dalších součástí, které by zabezpečily bezpečnost provozu. U tohoto dílenského či laboratorního zařízení jsou tyto součásti zatím zanedbány. Tím se podařilo získat výslednou cenu 5426,-Kč pro všechny nakupované a vyráběné díly. Tato cena je příznivá a dala by se ještě zlevnit vyráběním vlastních dílů na 3D tiskárně.

V praxi zařízení najde využití určitě při výrobě prototypů, kde se neklade příliš důraz na kvalitní povrch. Výhodou 3D tisku je rychlost získaného výrobku. Při zaslání CAD dat do tiskárny, se ihned začne tisknout výrobek. Jedná se celkem o bezúdržbové a jednoduché zařízení. Při tisknutí z granulátu se cena materiálu sníží přibližně o 6násobek oproti tisknutí z vláken či struny. A z 3D tisku metodou FDM se po ekonomické stránce stává uživatelsky přijatelné zařízení, protože někteří uživatelé si stěžují na příliš drahý materiál ve formě struny.

Tisková hlava lze integrovat nejen do 3D tiskárny, jak je uvedeno v této práci. Ale je i možnost vložení tiskové hlavy do robota. Tím se dá považovat zařízení za univerzální oproti klasickým 3D tiskárnám.

5. Seznam obrázků

Obrázek 1 FDM metoda [2].....	10
Obrázek 2 Rozlišení při různé tloušťce tisknuté vrstvy [3].....	11
Obrázek 3 Princip SLS tisku [4].....	12
Obrázek 4 Princip SLA tisku [5]	12
Obrázek 5 Princip DLP metody [6].....	13
Obrázek 6 Princip tisku metody Polyjet Matrix [7]	13
Obrázek 7 princip metody LOM [8].....	14
Obrázek 8 Hlavní části FDM tiskárny	18
Obrázek 9 Řez FDM tiskárny [12]	19
Obrázek 10 Rozložení teplot [13].....	20
Obrázek 11 Trysky [14].....	20
Obrázek 12 Hrubý náčrt	21
Obrázek 13 Krokový motor [15]	23
Obrázek 14 Ložisko [23]	26
Obrázek 15 Rychloupínací sklíčidlo [16].....	26
Obrázek 16 Hliníkový chladič s ventilátorem[17]	27
Obrázek 17 Vrták [18].....	27
Obrázek 18 Topný blok [19]	28
Obrázek 19 Termistor [20]	28
Obrázek 20 Topné těleso [21]	28
Obrázek 21 Tryska [22].....	29

6. Seznam tabulek

Tabulka 1 Metody 3D tisku [1]	9
Tabulka 2 Přejíchodová teplota [13].....	20
Tabulka 3 Ekonomické zhodnocení	31

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] <http://www.3d-tisk.cz/nejvetsi-3d-tiskarny-aneb-kdyz-na-velikosti-zalezi/>
- [2] <http://www.objet.cz/3D-tiskarny/technologie-fdm>
- [3] <https://makerslab.cz/3d-tiskova-technologie-fdm/>
- [4] <https://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>
- [5] <http://3dinsider.com/3d-printer-types/>
- [6] <http://robotsinthesun.org/monkeyprint-an-open-source-3d-print-software/>
- [7] <http://www.objet.cz/3D-tiskarny/technologie-polyjet>
- [8] <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- [9] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>
- [10] <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- [11] http://www.3dstruny.cz/Prodavane-materialy-a5_9.htm
- [12] <http://www.mdpi.com/2504-4494/2/1/12>
- [13] <http://cp.forever.cz/node/67>
- [14] <http://fdmprint.cz/produkt/tryska-03/>
- [15] https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/krokovy-motor-nema-sx17-1005vlqcef/?gclid=Cj0KCQjwqYfWBRDPARIsABjQRYyekiZVBROZ3VeM9qpiRE5Jc75XxjGvW_ByOPwByrS-WjCMpCpFF9gaAv5rEALw_wcB
- [16] https://www.znackove-naradi.eu/rychloupinaci-sklicidlo-2-13-mm-1-2-20unf-adapter-sds-90655.html?gclid=Cj0KCQjwkpFwBRDZARIsAAfeXaqh16bODIfAp0f0M2JEDxDfS81cJKD8_Uu10hLoBaNMFpIR06LpLsaAnioEALw_wcB
- [17] <http://www.jprint3d.cz/e-shop/dily-reprap-prusa-i3/hlinikovy-chladic-tiskove-hlavy-e3d-v6-3d-tiskarny-reprap?zobrazit-zbozi=327>
- [18] <http://www.vrtaky.cz/cz/detail/hadovity-vrtak-se-sestihranem/4301-6/hadovite-vrtaky-do-dreva/>
- [19] <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/poniklovany-heater-block-v6-e3d>
- [20] <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/nahradni-sada-termistoru>
- [21] <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/topne-teleso-30w-12v>
- [22] <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/tryska-0-80-mm>
- [23] https://www.vsepro3dtisk.cz/p/lozisko-608zz-1?gclid=EA1aIQobChMI8rf4raj2wIVi5AYCh3dFggIEAQYASABEgIkOPD_BwE