



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ÚPRAV KOMERČNÍ 3D TISKÁRNY

DESIGN OF MODIFICATION OF COMMERCIAL 3D PRINTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Klement

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Jakub Klement**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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

Návrh úprav komerční 3D tiskárny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout úpravu komerční tiskárny ZPrinter 650, která je určena pro sadrokompozitní tisk. Student se v rámci své práce nejprve seznámí s tiskárnou ZPrinter 650 a provede rozbor jejích řídicí a pohonné části. Následně student navrhne úpravy řídicího systému pro možnosti tisku jiným materiálem.

Téma bude vypracováno ve spolupráci s Odborem reverzního inženýrství a aditivních technologií, Ústavu konstruování.

Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše na téma pohonné části 3D tiskáren.

Seznámení s předloženou tiskárnou ZPrinter 650.

Rozbor pohonné a řídicí části předložené tiskárny.

Návrh úprav řídicího systému pro možnosti použití jiného materiálu.

Seznam doporučené literatury:

DRURY, B. Control techniques drives and controls handbook, 2nd edition. IET, 2001. ISBN 978--84919-013-8.

PRŮŠA, J. Základy 3D tisku [online]. 1. Praha: Pusa Research s.r.o., 2014 [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: <http://www.pusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. Brno: Naladatelství VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

ředitel ústavu

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

děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout úpravu komerční tiskárny ZPrinter 650. Práce je rozdělena do několika částí. V první části popisuje pohonné části 3D tiskáren obecně, s důrazem na motory. Ve druhé části detailněji rozebírá zadanou 3D tiskárnu ZPrinter 650 včetně fotografií. V poslední části se zabývá návrhy na vylepšení tiskárny, které by mohly zlevnit cenu tisku.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to propose improvements to commercial printer ZPrinter 650. The thesis is divided into several parts. The first part describes the propellant components of 3D printers in general with focus on their engines. The second part describes the assigned 3D printer ZPrinter 650, also including photographs. The final part then proposes some improvements to make the printing cheaper.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, pohonné části 3D tiskáren, kinematika pohybu, úpravy tiskárny

KEYWORDS

3D print, propellant components of 3D printers, motion kinematic, printer modifications

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KLEMENT, J. *Návrh úprav komerční 3D tiskárny*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 47 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu Ing. Rostislavu Huzlíkovi, Ph.D. za cenné rady při zpracovávání této práce a za veškerou pomoc a čas, který mi věnoval. Dále pak i doc. Ing. Davidu Palouškovi, Ph.D. za několik konzultací a za rady k praktické části. Nakonec celé rodině a všem těm, kteří mě podporovali při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Rostislava Huzlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. 5. 2019

.....

Klement Jakub

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	REŠERŠNÍ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	17
2.1	Tiskárny podle typu tisku	17
2.1.1	FDM.....	17
2.1.2	SLA.....	17
2.1.3	LOM	18
2.1.4	SLS	19
2.2	Kinematika pohybu a souřadnicové systémy.....	19
2.2.1	Kartézská kinematika pohybu	19
2.2.2	Delta kinematika pohybu	20
2.2.3	CoreXY – H-bot kinematika pohybu.....	21
2.2.4	Polární kinematika pohybu	22
2.2.5	Scara kinematika pohybu.....	23
2.3	Používané motory 3D tiskáren.....	24
2.3.1	Krokový motor	26
2.3.2	Stejnoseměrné motory	29
3	TISKÁRNA ZPRINTER 650	31
3.1	Technické parametry.....	31
3.2	Popis jednotlivých dílů tiskárny	32
3.3	Pohybový mechanismus	37
3.4	Řídící mechanismus	40
4	NÁVRH ÚPRAV TISKÁRNY	41
5	ZÁVĚR	43
6	CITOVANÁ LITERATURA	44
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	46

1 ÚVOD

V této bakalářské práci se budu zabývat především 3D tiskárnou ZPrinter 650. Pro lepší pochopení problematiky se v rešeršní části nejprve zaměřím na 3D tiskárny obecně. V první části rešerše si 3D tiskárny rozdělím do kategorií podle způsobu tisku a kinematiky pohybu. V dalších kapitolách si pak podrobněji rozeberu zadanou tiskárnu ZPrinter 650 a zkusím ji kategorizovat podle prvotní rešerše. V praktické části budu následně zjišťovat, jaké motory jsou použity k pohonům v zadané tiskárně. Tiskárnu se pokusím důkladně popsat i s fotkami nejen z manuálu této tiskárny. Cílem praktické části je navrhnout, jakým způsobem by bylo možné zadanou tiskárnu upravit tak, aby úprava vedla ke zlevnění tisku.

3D tisk, neboli RapidPrototyping, je relativně nová metoda, která se využívá především k výrobě prototypů, protože je levná a zároveň velmi rychlá. Firmy ji hojně využívají k testování požadovaných vlastností před tím, než se vyrobí finální produkt nebo forma.

V dnešní době popularita 3D tiskáren stoupá a začíná se využívat i na spoustu dalších účelů. Jedním z průkopníků u nás v České republice se stal Josef Průša, který se tiskárnám věnuje od roku 2009.

2 REŠERŠNÍ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

3D tiskárny lze rozdělit do několika kategorií. Než se tedy budu zabývat zadanou tiskárnou ZPrinter 650, je nutné se seznámit s jednotlivými metodami, materiály a především kinematikou pohybu, ve kterých 3D tiskárny pracují.

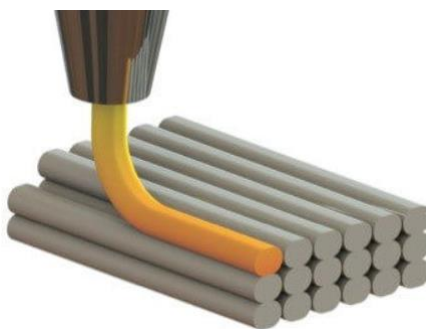
2.1 Tiskárny podle typu tisku

V dnešní době rozlišujeme několik druhů a typů tiskáren. V této kapitole se budu zabývat rozdělením podle způsobu, jakým tisknou a materiály, které jsou využívány k samotnému tisku.

2.1.1 FDM

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších technologií 3D tisku a to již od roku 1989, kdy ji vyvinul a patentoval S. Scott Crump. FDM je zkratka z anglického Fused Deposition Modeling, což v praxi znamená nanášení tekutého materiálu. Extruder, tedy tisková hlava, mívá zpravidla dvě trysky, přičemž jedna tiskne daný objekt a druhá pouze podpůrné části výsledného modelu. Tisknou se postupně jednotlivé vrstvy s tloušťkou řádově v desetinách milimetru, obvykle však 0,25 mm.

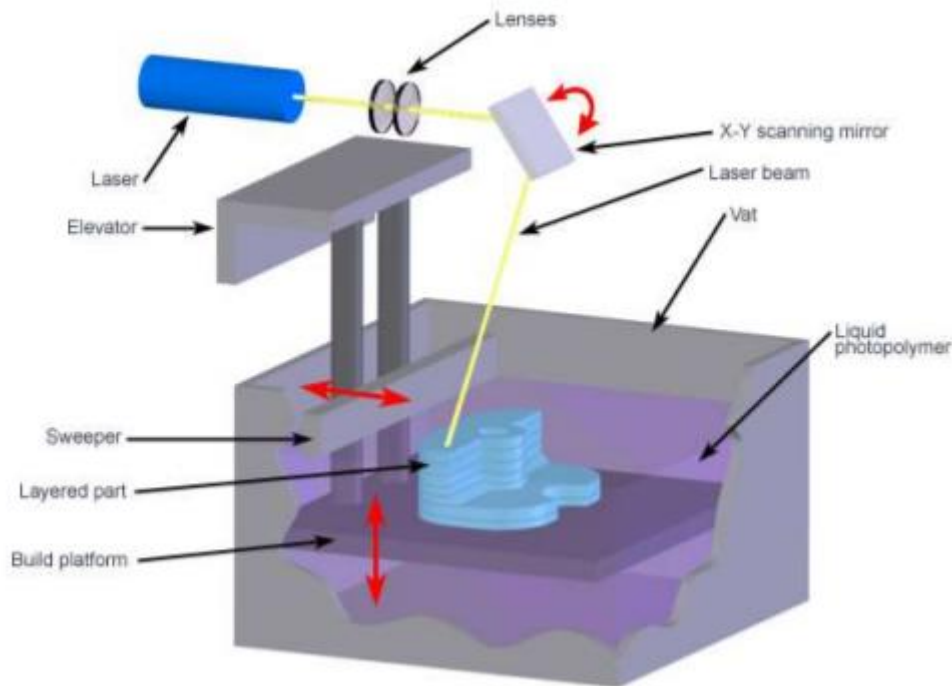
K tisku se nejčastěji používají termoplasty ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Tento materiál je vyráběn z ropy a vyznačuje se velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. Druhým nejpoužívanějším materiálem je pak PLA (Polylactic acid), který je vyráběn z bramborového nebo kukuřičného škrobu. Jeho mechanické vlastnosti, a to především pevnost, jsou o trochu horší než u termoplastů ABS, ale jednotlivé vrstvy se mezi sebou lépe spojují a výsledný povrch je pak kvalitnější. Dále se pak můžeme setkat s tiskem z PC (Polycarbonate), PA (Polyamide) nebo PS (Polystyrene). Výhodou tohoto tisku je minimální odpad, avšak tloušťka vrstvy je v porovnání s ostatními typy tisku relativně velká. Proto povrch nebývá tak kvalitní. [1] [2] [3]



Obr. 1) Princip fungování FDM tiskárny [4]

2.1.2 SLA

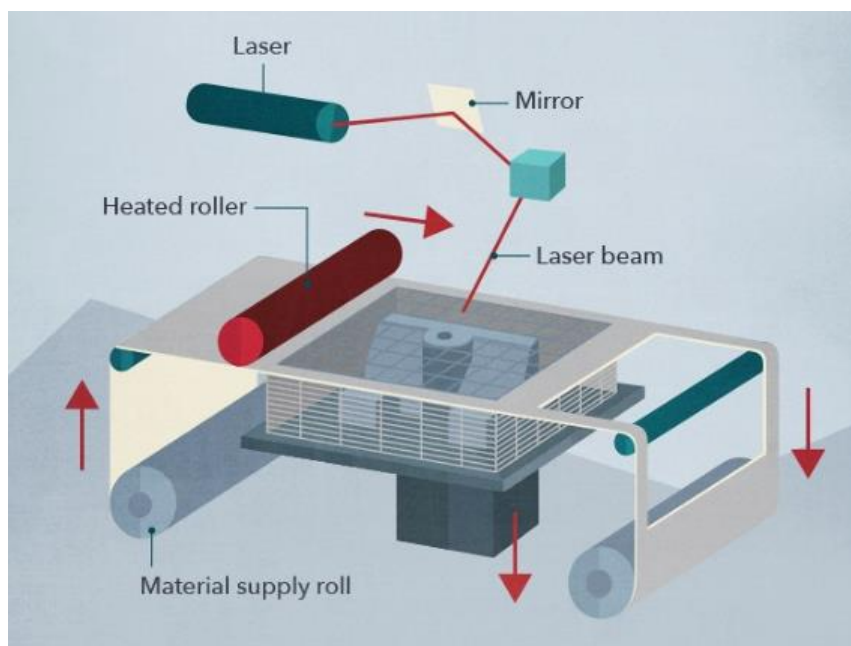
Zkratka SLA znamená v překladu Stereo litografie. Jedná se o nejstarší metodu 3D tisku, která pochází z roku 1984, kdy si ji nechal patentovat Chuck Hull. Tato metoda využívá především laser, který vytvrzuje fotosenzitivní polymer v jednotlivých vrstvách. Hotový výtisk se postupně vytahuje z lázně polymeru a je nutné ho omýt v izopropylalkoholu. Tato metoda se vyznačuje velmi dobrou kvalitou povrchu a řadí se tudíž mezi jedny z nejpřesnějších technologií. Velkou výhodou je i fakt, že není nutné používat podpůrné materiály pro vytvoření složitějších tvarů, protože tuto funkci plní samotná lázeň tohoto polymeru. [3] [5] [6]



Obr. 2) Princip fungování SLA tiskárny [7]

2.1.3 LOM

Metoda LOM, neboli Laminated Object Manufacturing, je jednou z novějších metod. Patent pochází z roku 1996. Využívá k tisku většinou folii nebo papír. Model je v grafickém editoru rozřezán do vrstev, které se následně vyřezou a jednotlivé vrstvy slepí na sebe. Nejedná se tedy o běžnou metodu tisku aditivní, kdy se materiál přidává, ale kombinuje se s metodou subtraktivní, při kterém se materiál ubírá. Tisk může být i barevný, jelikož řezaný materiál lze obarvit. Výhodou je tedy velmi kvalitní povrch a nízká cena materiálu, ze kterého se tiskne. Velkou nevýhodou této metody je však velké množství odpadu, který při tisku vzniká. [5] [8]



Obr. 3) Princip fungování LOM tiskárny [9]

2.1.4 SLS

Metoda Selective Laser Sintering je podobná metodě SLA. Rozdíl je ale v materiálu, ze kterého se tiskne, SLS totiž nepoužívá kapalinu, nýbrž prášek. SLS se dá také přeložit jako selektivní spékání laserem neboli sintrování. Metoda byla patentována v roce 1987 v Austinu. Tisk spočívá v nanesení vrstvy prášku na tiskovou plochu a laser následně spéká určená místa. Poté se nanese další vrstva a tento proces se opakuje. Velkou výhodou je levný materiál k tisku a také to, že nespečený prášek lze znovu použít. Z tohoto důvodu při této metodě nevzniká téměř žádný odpadní materiál. Povrch výtisku ovšem není tak kvalitní a tiskárny jsou docela drahé. [8]

2.2 Kinematika pohybu a souřadnicové systémy

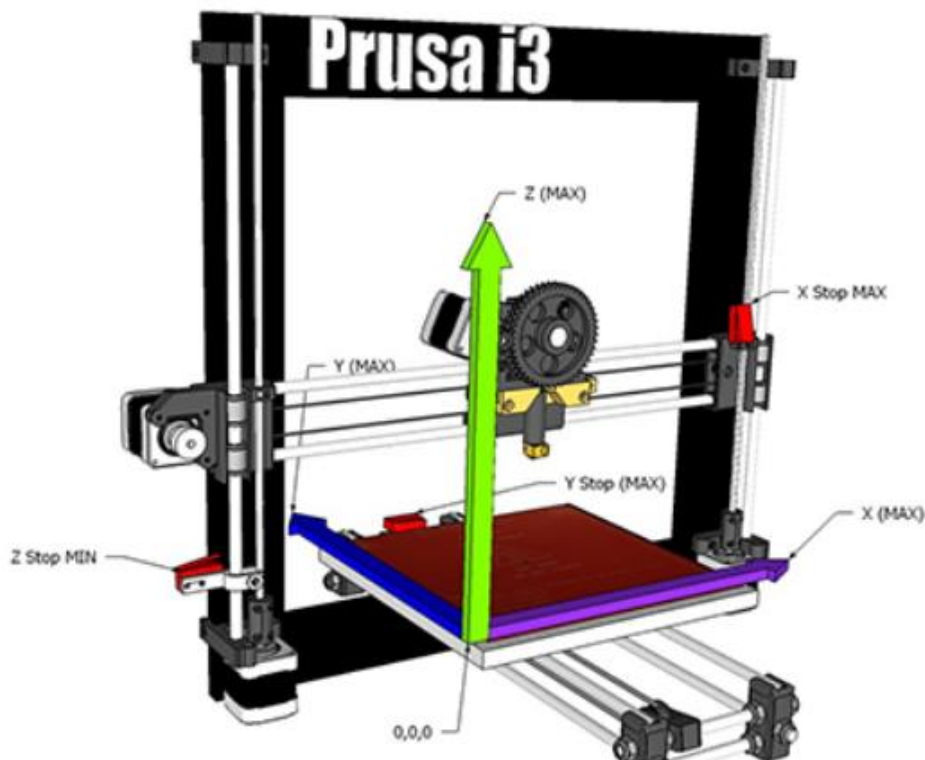
Kinematika pohybu dnešních 3D tiskáren se různí především podle velikosti a použití dané tiskárny. Nejobvyklejší však stále bývá kartézský souřadnicový systém, který používá většina stolních tiskáren. Jejich nevýhodou je však omezený pracovní prostor nebo pomalý tisk a proto se začínají rozšiřovat 3D tiskárny na principu robotických ramen, které mají pracovní prostor mnohem větší. Druhým nejrozšířenějším typem se v poslední době stávají tiskárny s delta kinematikou pohybu, protože jsou mnohem rychlejší než právě výše zmíněný kartézský typ pohybu. Jednotlivé souřadnicové systémy a jejich výhody a nevýhody popíši v následující kapitole.

2.2.1 Kartézská kinematika pohybu

Jak jsem již zmínil, jedná se o asi nejrozšířenější způsob kinematiky, který se v dnešní době používá k pohybu v 3D tiskárnách. Důvodem je jednoduchá konstrukce, která se skládá ze tří na sebe kolmých os X Y Z. Obvykle bývají osy X a Y orientovány v horizontálním směru a třetí osa Z ve směru vertikálním. Tímto způsobem lze řídit polohu tiskové hlavičky v pracovním prostoru, jak je znázorněno na obr. 3. U vyšších modelů však může docházet k nepřesnosti tisku uložení jednotlivých vrstev.

Výhodou je jednoduché řízení, protože jednotlivé pohyby po osách je možné řídit nezávisle na sobě. Tento způsob je oblíbený také díky své ceně. Jelikož konstrukce tiskárny bývá jednoduchá, jejich ceny tak začínají na tisícičkách korun.

Nevýhodou je však velmi omezený pracovní prostor. Motory, které zapříčiňují pohyb jednotlivých os, musí být umístěny na vedení, které je obvykle tvořeno rámem. Druhou velkou nevýhodou oproti dalším typům, jak již bylo zmíněno, je pomalejší tisk. Velkých zrychlení nelze dosahovat kvůli větší hmotnosti tiskové hlavy. Ta je zapříčiněna větší vahou součástí, na kterých jsou umístěny motory, které se musejí pohybovat. Proto tím vzrůstá moment setrvačnosti, který zabraňuje velkému zrychlení. [10]



Obr. 4) 3D tiskárna s kartézskou kinematikou pohybu [11]

2.2.2 Delta kinematika pohybu

V dnešní době ještě není tak rozšířená, jako právě kartézská, ale její popularita určitě narůstá. Delta tiskárny se skládají ze tří pohyblivých ramen, která jsou obvykle osazena pohyblivým lineárním vedením.

Osy pohybu lze opět rozdělit na X Y a Z. Pohyb v osách X a Y je umožněn třemi rameny, která jsou spojena v nejnižším bodě, kde se také nachází tisková hlava. Osa Z umožňuje pohyb vertikálním směrem. Obvykle bývá tištěný objekt statický a zmíněná ramena se pohybují též v ose Z na lineárních vedeních.

Velkou výhodou této metody je obrovské zrychlení tisku. Díky umístění pohonů na nepohyblivé konstrukci se sníží hmotnost a s ní spojený moment setrvačnosti tiskové hlavy. Pak lze tiskovou hlavou pohybovat s velkým zrychlením. Druhým důvodem, proč se používá tento typ kinematiky je fakt, že výšku tiskárny lze téměř libovolně nastavit a je tedy možné na ní tisknout velmi vysoké předměty.

Jednou z nevýhod je však nižší kvalita v detailech, jenž je zapříčiněna právě rychlým tiskem a též délkou ramen. Může docházet k nepatrným průhybům a na dlouhém rameni může být výchylka velmi znatelná. Druhou nevýhodou je i fakt, že výpočet pohybu tiskové hlavy je nutno řešit počítáním trigonometrických rovnic, a proto jsou tyto tiskárny náročnější na výpočetní techniku. [10] [12]

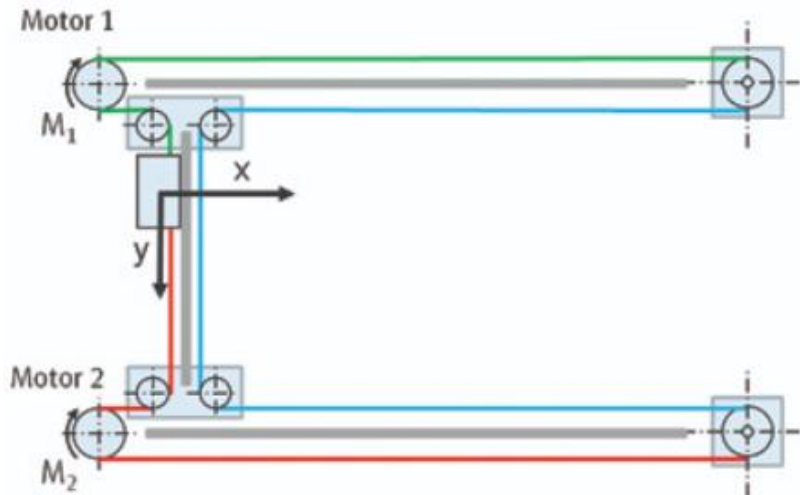


Obr. 5) 3D tiskárna s delta kinematikou pohybu [13]

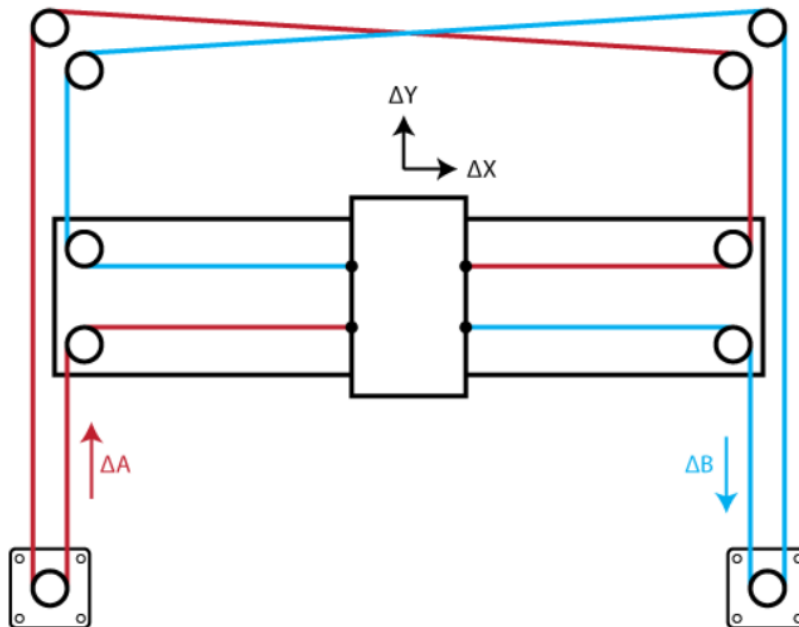
2.2.3 CoreXY – H-bot kinematika pohybu

Tiskárny s kinematikou pohybu CoreXY a H-bot jsou velmi podobné těm s kartézskou kinematikou pohybu, jelikož se pohybují ve stejném souřadnicovém systému. Obrovským rozdílem je zde ale fakt, že deska, na kterou se tiskne, se pohybuje pouze v ose Z a tisková hlava koná veškerý pohyb v osách X a Y. Obě tedy mají téměř nehybnou podložku, na kterou se tiskne a většinu pohybu vykonává tisková hlava.

Výhodou konstrukce těchto tiskáren bývá vyšší přesnost tisku, jelikož tiskárny bývají většinou uzavřené, či konstrukce bývá kvádrového tvaru. Druhou nespornou výhodou je rychlost tisku. Tisková hlava se může pohybovat s větším zrychlením díky uložení motoru na rámu konstrukce tiskárny. Posuv je pak realizovaný pomocí řemenů, které však musí být velmi dobře napnuté, aby nedošlo k prokluzu či přeskoku. Pak by došlo k dekalibraci a tiskárna by mohla tisknout nepřesně. [10]



Obr. 6) 3D tiskárna s H-bot kinematikou pohybu [14]

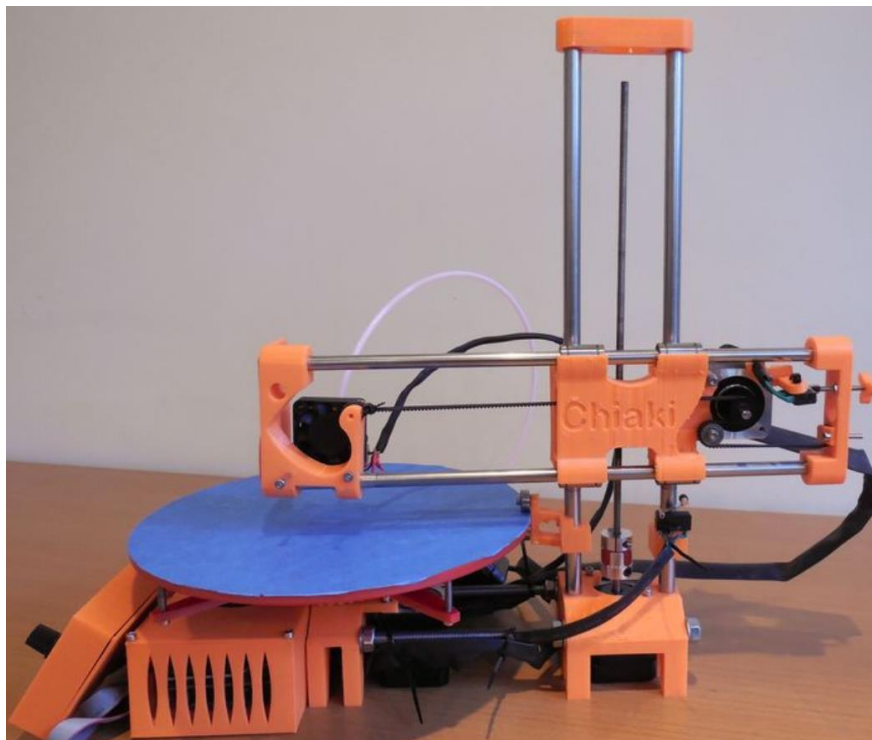


Obr. 7) 3D tiskárna s CoreXY kinematikou pohybu [14]

2.2.4 Polární kinematika pohybu

Tiskárny s polární kinematikou se řadí mezi zařízení s velmi jednoduchou a lehkou konstrukcí. Pohyb však už tak jednoduchý není. Jak podložka, na kterou se tiskne, tak i hlava tiskárny jsou pohyblivé. Hlava se pohybuje ve dvou směrech. První je vertikální směr osy Z, který udává tloušťku jedné vrstvy. Druhý směr X je v horizontální ose. Podložka koná rotační pohyb okolo své vertikální osy. Tímto způsobem je umožněn pohyb do kteréhokoliv místa nad podložkou.

Výhodou této kinematiky je její nenáročnost. I z obrázku je patrné, že její konstrukce je velmi jednoduchá. Bohužel je téměř nereálné mít u tohoto typu tiskárny vyhřívanou podložku, neboť by se napájecí kabel podložky brzy ukrotit právě neustálým natáčením desky. [10] [15]



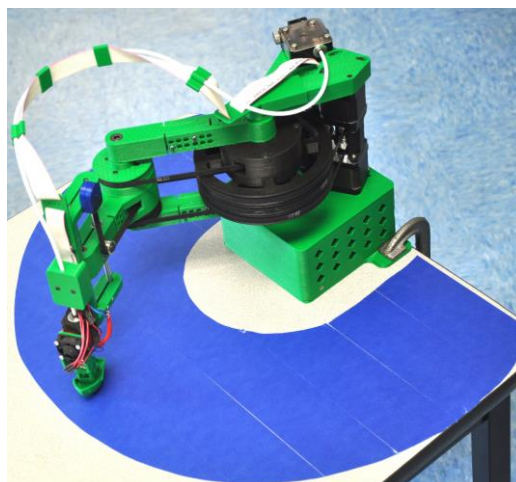
Obr. 8) 3D tiskárna s polární kinematikou pohybu [16]

2.2.5 Scara kinematika pohybu

Pojem scara je zkratka z anglických slov Selective Compliance Assembly Robot Arm. V podstatě se jedná o jedno či dvě robotická ramena, která mají obvykle 4 stupně volnosti.

Motory pohánějící rameno bývají obvykle čtyři. Tři z nich pohybují ramenem a čtvrtý celým mechanismem v ose Z, díky tomu je tak zaručena stále kolmá poloha tiskové hlavy vůči podložce. Dosah takové tiskárny je limitovaný jen délkou ramen. Velkou výhodou je možnost tisku téměř okolo celé tiskárny v rozsahu 360° vyjma středu, kde je tiskárna umístěna, jak je vidět na obr. 9. Proto ji lze využít na tisk objemných rotačních součástí s prázdným středem.

Díky jednoduché konstrukci není cena těchto tiskáren nikterak vysoká a řádově bývají v cenové kategorii hobby tiskáren. [10] [17]



Obr. 9) 3D tiskárna s polární kinematikou pohybu [18]

2.3 Používané motory 3D tiskáren

Následující kapitola vychází ze zdrojů [19] [20] V dnešních 3D tiskárnách se až na občasné výjimky používají především krokové motory, kartáčové nebo bezkartáčové stejnosměrné motory. Největší výhodou krokových motorů je to, že u nich lze velmi přesně definovat polohu otočení rotoru. V této kapitole tedy popíšu jednotlivé rozdělení těchto motorů, které můžeme dělit podle různých specifikací a použití.

Pro detailnější popsání krokového motoru je nejdříve potřeba definovat jednotlivé pojmy.

Stator

Je nepohyblivá část motoru a zpravidla bývá vně rotoru. Obvykle se skládá z několika dvojic cívek. Čím více jich je, tím lepší jsou pak krokové charakteristiky (zmenší se úhel pootočení) a zvýší se tedy přesnost. Cívky mohou být zapojeny různými způsoby.

Rotor

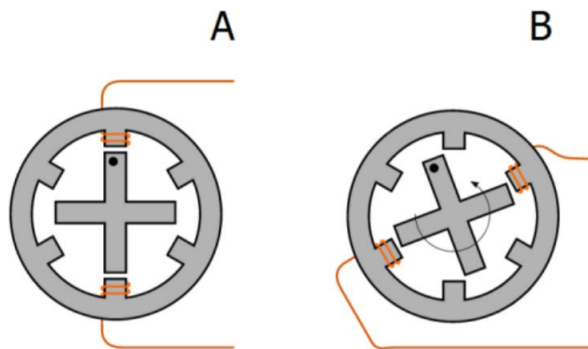
Na rozdíl od statoru se jedná o pohyblivou součást motoru, která koná rotační pohyb. Obvykle se jedná o válec z magneticky tvrdého či měkkého materiálu. Proto se tyto motory dále dají dělit a to právě podle materiálu, ze kterého je rotor vyrobený.

Ovladač krokového motoru

Ovladač je jednou z nejdůležitějších částí krokového motoru. Funguje na principu buzení fází na vinutí krokového motoru. K tomu slouží výkonná část a komutátor. Výkonnou část tvoří spínací prvky, kterých je stejný počet, jako má krokový motor fází. Komutátor pak pomocí elektrických impulsů tyto spínače zapíná a vypíná v závislosti na natočení tak, aby se rotor pootočil vždy o jeden krok.

Krok

Krok je jedno mechanické pootočení rotoru a to z výchozí polohy do nejbližší magneticky klidové polohy. Jedná se o nejmenší možný kontrolovatelný posuv a je znázorněn na obrázku 1, kde se rotor z polohy A pootočí do polohy B. Klidová poloha je taková, při které je výsledná síla od statického úhlu zátěže roven nule.



Obr. 10) Princip fungování krokového motoru [19]

Velikost kroku (α)

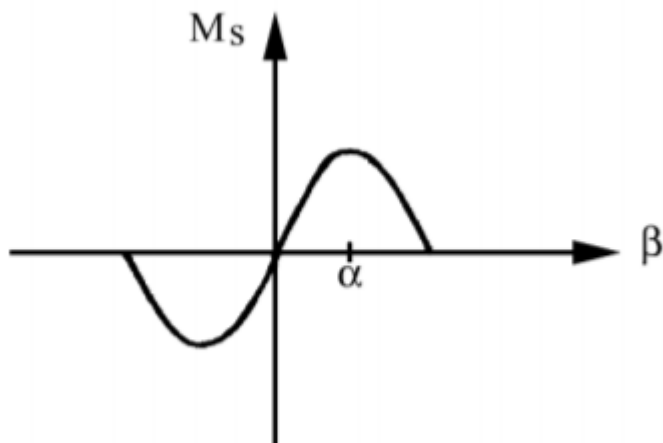
Protože každý motor má jiný počet cívek, je nutné definovat tuto veličinu. Nejjednodušší způsob je kontrolovat jednotlivá úhlová pootočení.

Statický úhel zátěže (β)

Jedná se o úhel, o který se pootočí hřídel s rotorem, když motor zatížíme tak, že ještě zůstane v klidové poloze.

Statický moment (M_s)

Podobně jako u statického úhlu zátěže je statický moment definován na zatíženém motoru v klidovém stavu. Maximální hodnoty nabývá právě tehdy, když je tak velký, že se rotor natočí o jednu velikost kroku.



Obr. 11) Závislost statického úhlu zátěže na statickém momentu a znázornění velikosti kroku α [19]

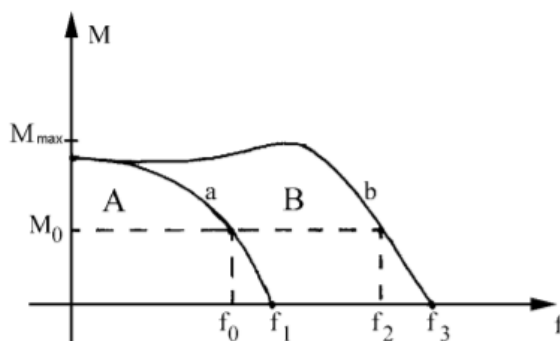
Otáčky rotoru (n)

Otáčky rotoru se definují jako počet kroků rotoru okolo statoru krokového motoru za sekundu. Často se používá i slovo kmitočet, podobně jako u ovladače, jehož kmitočet řídicího signálu musí být stejný jako právě kmitočet kroků. Pokud ne a stane se, že kmitočet řídicího signálu je větší než kmitočet kroku, pak dojde k takzvané ztrátě kroku.

Momentová charakteristika krokového motoru

Momentová charakteristika je závislost kroutícího momentu na frekvenci kmitočtu kroků. Na obr. 12 jsou vyznačeny dvě křivky. Křivka „a“ je rozběhová a je závislá na momentu setrvačnosti zátěže motoru. Křivka „b“ znázorňuje provozní podmínky.

Tyto dvě křivky vymezují v grafu dvě oblasti. Oblast „A“ je takzvaná rozběhová. Jedná se o oblast se stavy motoru, do kterých se mohou dostat bez ztráty kroku. Oblast „B“ je oblastí omezené říditelnosti.



Obr. 12) Momentová charakteristika krokového motoru [19]

2.3.1 Krokový motor

Tato kapitola je zpracovaná ze zdrojů [21] [22]

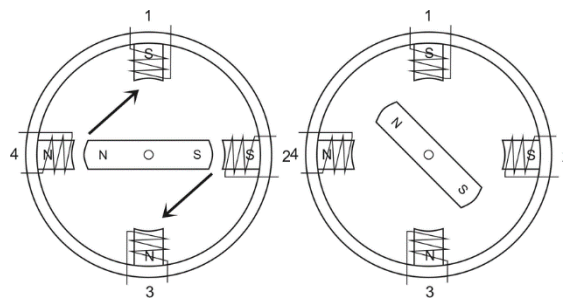
Krokový motor s aktivním rotorem

Princip fungování krokového motoru s aktivním rotorem lze velmi jednoduše vysvětlit na modelu, kdy rotor představuje permanentní magnet s vyniklými póly a čtyřmi cívkami, které jsou vůči sobě pootočené o 90° , jak je vidět na obr. 3, kde jsou označeny na pozicích 1-4. Tento stav lze označit za klidový, přestože síly od cívky 1 a 3 působí na rotor přitažlivou silou, lze ji zanedbat, protože je mnohonásobně menší než síly od cívek 2 a 4.

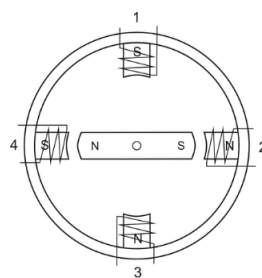
Aby se rotor rozpochoyboval, musí dojít ke změně buzení cívek, jak je znázorněno na obr. 13. V tento moment se rotor dá do pohybu, a to v tomto případě ve směru hodinových ručiček, protože magnet je přitahován k opačným pólům. Nakonec se opět ustálí v klidovém stavu obr. 5.

Pokud se tento proces opakuje dostatečně rychle, lze dosáhnout téměř plynulého pohybu rotoru, tedy nebude se vůbec zastavovat v klidových stavech.

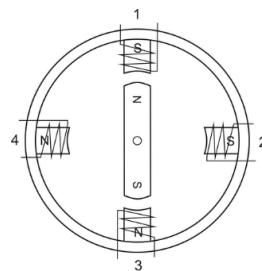
Výhodou těchto motorů je větší kroutící moment než u motorů s pasivním rotorem a také fakt, že může setrvat v klidových stavech, i když není motor napájen a to především díky permanentním magnetům v rotoru. Motory tohoto typu se vyznačují velmi vysokou přesností kroku, která se pohybuje v jednotkách či desítkách stupňů. Záleží ale především na počtu pólů motoru, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole.



Obr. 13) Změna buzení cívek [19]



Obr. 14) Klidový stav krokového motoru s aktivním rotorem [21]

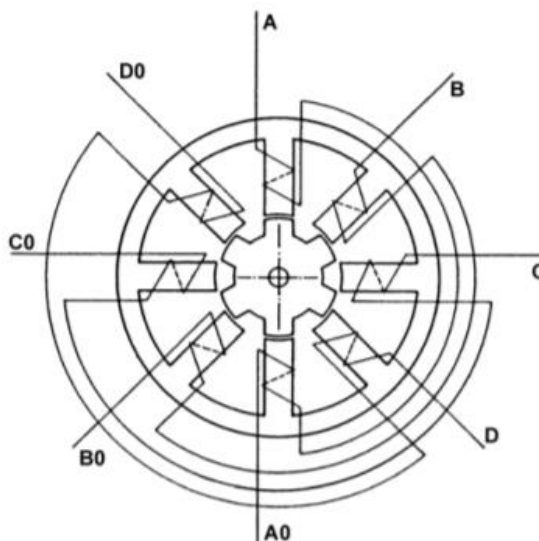


Obr. 15) Nový klidový stav [21]

Krokový motor s pasivním rotorem

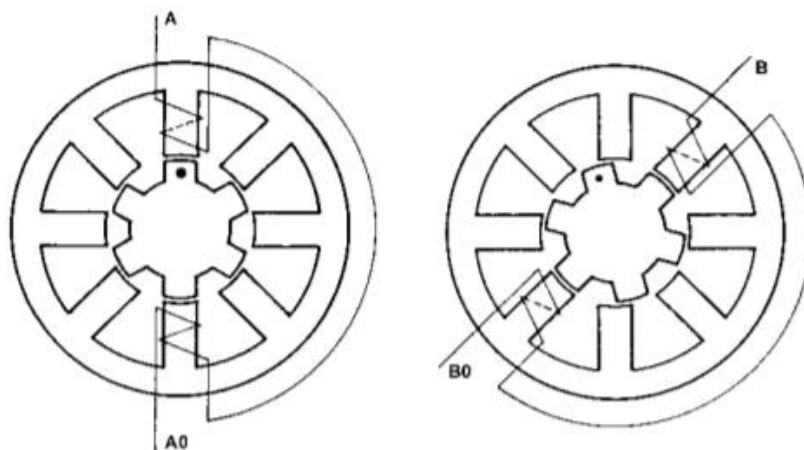
Krokové motory s pasivním rotorem bývají označovány též jako reakční motory, případně reluktanční. Princip fungování je podobný jako u krokového motoru s aktivním rotorem, s tím rozdílem, že se zde nevyužívají přitažlivé a odpuzivé síly, nýbrž změny reluktance magnetického obvodu při otáčení rotoru, což je magnetický odpor.

Stator na obr. 16 je tvořený 8 cívkami. Ty tvoří 4 fáze, v tomto případě označeny A, B, C, D. Rotor žádná vinutí neobsahuje a je tvořený svazkem několika plechů a jak je patrné z obrázku, má 6 pólů. Pořadí, v jakém jsou následně buzeny jednotlivé fáze, určuje komutátor.



Obr. 16) Zjednodušený řez krokového motoru s pasivním rotorem [21]

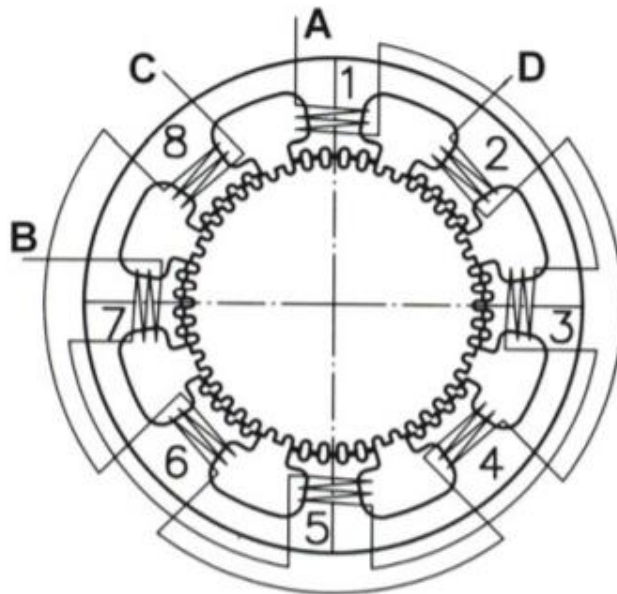
Princip fungování se pokusím vysvětlit na čtyřtaktním způsobu ovládání krokového motoru po jedné fázi. Na obr. 17 vlevo lze vidět, že je buzena fáze A. To znamená, že touto fází protéká proud, kdežto fázemi B, C a D nikoliv. Rotor zaujme polohu, ve které klade nejmenší magnetický odpor. V této klidové poloze zůstane do doby, než komutátor přepne řídicím impulsem tok proudu z cívky A do cívky B. Pak se rotor opět pootočí tak, aby se nejbližší plech dostal do klidové polohy. Pokud bude přepínání fází probíhat dostatečně rychle, lze dosáhnout plynulého rotačního pohybu.



Obr. 17) Vlevo buzena fáze A, Vpravo buzena fáze B [21]

Hybridní krokový motor

Jak už napovídá název, tak hybridní krokový motor je kombinací obou dvou předcházejících typů. Rotor je složený z permanentního magnetu, který je nasazený na osu z nemagnetického materiálu. Následně jsou na oba póly nasazeny nástavce se zuby z měkkého železa, jak lze vidět na obr. 18.

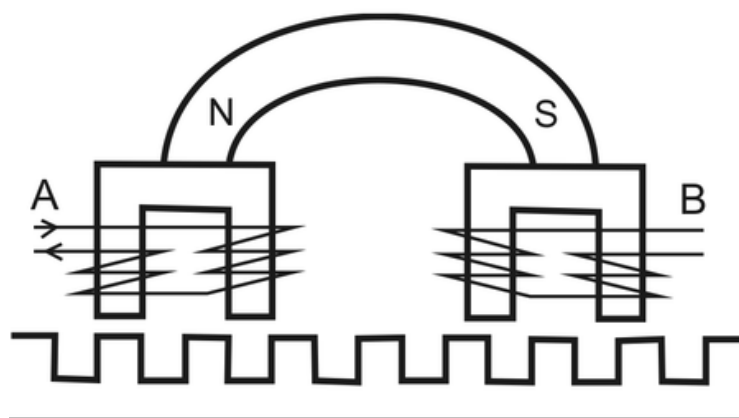


Obr. 18) Hybridní krokový motor [21]

Cenově je o něco dražší než předchozí dva zástupci krokových motorů, oproti nim však má mnohem jemnější krokování, dosahuje větších kroutcích momentů a rychlostí.

Lineární krokový motor

Tento druh krokového motoru je poněkud specifický. Na rozdíl od ostatních není stator kruhového tvaru, ale je rozvinutý po přímce. Pohyblivá část, která bývá označována, jako rotor se zde pohybuje po přímce a koná tak lineární pohyb.



Obr. 19) Lineární krokový motor [21]

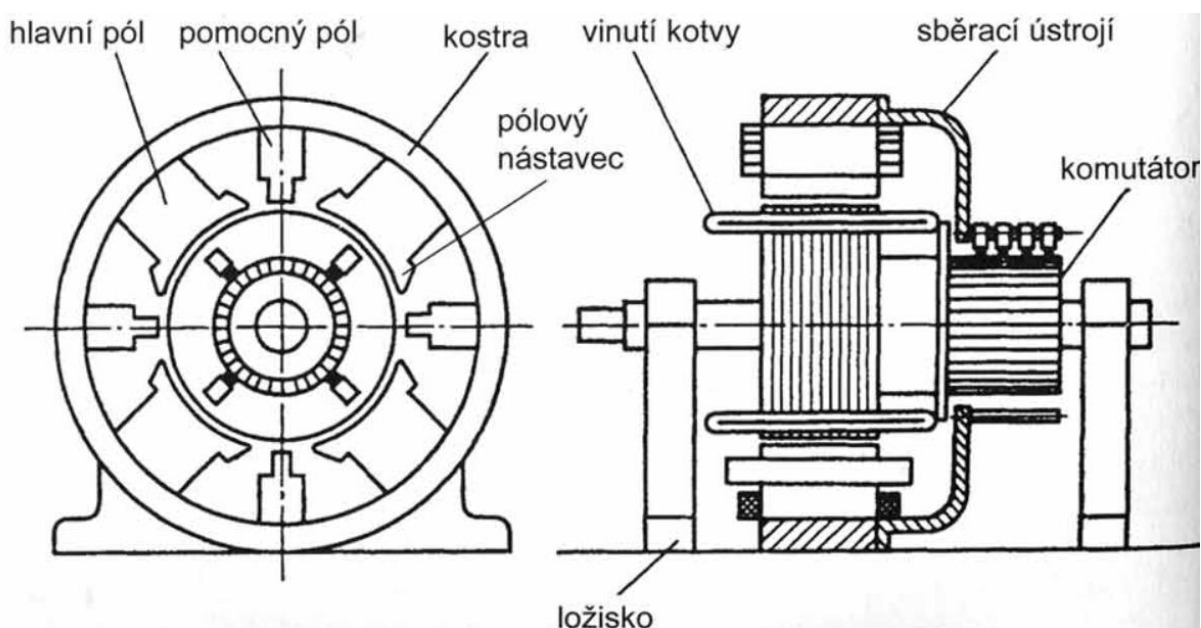
2.3.2 Stejnoseměrné motory

V této kapitole využívám zdroje [23] [24] [25]

Obdobně jako u krokových motorů je stejnosměrný, neboli DC motor, složený ze dvou hlavních částí. Tou jsou stator a rotor, též nazývaný kotva.

Na statoru jsou po obvodu navinuty cívky, které se pravidelně střídají. Mezi dvěma hlavními póly, které mají vždy opačnou orientaci, může být u větších motorů pomocný pól. Ten má vždy stejnou polaritu jako hlavní pól, který je vedle něj v protisměru otáčení. Na obr. 20 by označené póly měli stejnou polaritu, pokud by se kotva otáčela po směru hodinových ručiček.

Kotva je tedy pohyblivá část. Jsou na ni navinuty cívky, které jsou připojeny k mechanickému komutátoru. Ten obdobně jako u krokových motorů slouží ke změně proudu, který prochází do cívek navinutých na kotvě, aby se vytvářel točivý moment. Komutátory mohou být dvojího druhu. Jsou buď kartáčové - brushed nebo bezkartáčové - brushless. Podle toho se pak dělí motory do dvou skupin, které nyní popíši.

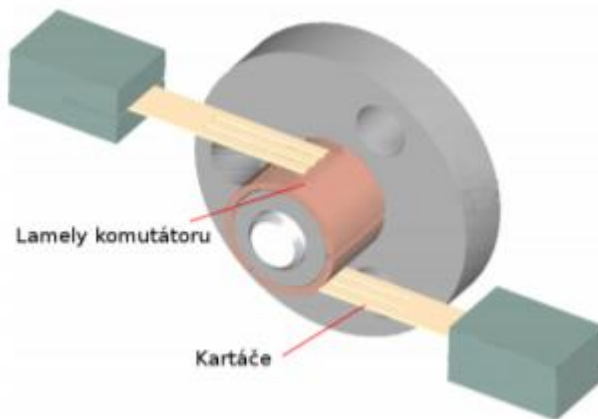


Obr. 20) DC motor [21]

Brushed – kartáčové motory

Jak už napovídá název, tak se jedná o motory, které mají mechanický (kartáčový) komutátor. Ten bývá obvykle z uhlíku a nepohyblivě připojen s kostrou motoru. Jak je vidět na obr. 21, kartáče se mechanicky dotýkají lamel komutátor.

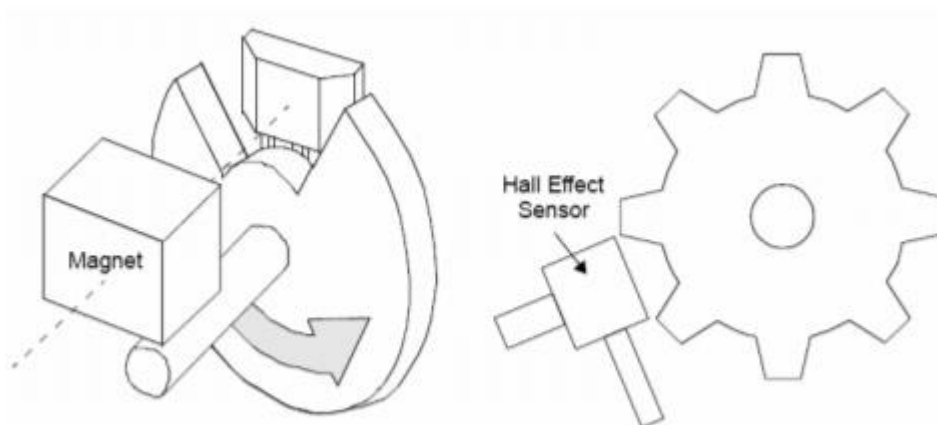
Motor s kartáčovým komutátorem má obvykle mnohem větší kroutící moment než bezkartáčový. Napájen je pomocí dvou drátů, které mohou přehozením poloh obrátit směr otáčení kotvy.



Obr. 21) Mechanické kartáče [21]

Brushless – bezkartáčové motory

Bezkartáčové motory jsou svojí skladbou trochu odlišné. Nemají totiž komutátor, který by měnil polaritu cívek na statoru, tvořeném permanentním magnetem. Měnění polarity je proto potřeba provádět externě elektronicky. K tomu je zapotřebí znát polohu natočení kotvy. To obvykle provádějí Hallové senzory. Proto lze tyto motory poznat podle počtu přívodních kabelů, které obvykle bývají tři. Dva slouží k napájení, stejně tak jako u kartáčových motorů, kdežto třetí slouží k přenosu informací o poloze kotvy.



Obr. 22) Bezkartáčový motor – umístění senzoru pohybu [26]

3 TISKÁRNA ZPRINTER 650

V této kapitole jsem čerpal primárně z manuálu k tiskárně [27]

Tato tiskárna je vyrobena firmou ZCorporation a jedná se o modelový typ tiskárny z roku 2008. K výrobě této tiskárny vedla poptávka uživatelů po možnosti výroby větších objektů s vyšším rozlišením (myšleno menší tištěnou vrstvou). Dalším požadavkem bylo, aby tiskárna byla schopna automaticky doplňovat prášek k tisku a zároveň ho zpětně recyklovat, protože při tisku se používá jako podpurný materiál, což vysvětlím v následujících podkapitolách.

3.1 Technické parametry

Tiskárna ZPrinter 650 je jedna z objemnějších tiskáren. V zavřeném stavu (při tisku) jsou její rozměry 193x76x145 cm. Je však potřeba prostor na otevření k vyjmutí výtisku. Při otevření se její rozměry zvětší na 193x91x188 cm. Celá tiskárna bez jednotlivých náplní váží 340 kg.

Tato tiskárna je rozdělená na dvě hlavní části. V první (levé) části je realizován samotný tisk, kdežto v druhé (pravé) části dochází k odstraňování přebytečného nevytvrzeného prášku. Proto je zde integrované odsávání, které umožňuje návrat tohoto prášku zpět do zásobníku.

Tiskárnu lze připojit k síti pomocí TCP/IP 100/10 Base T portu.

Pro tisk jsou předepsány teploty s rozmezím od 10 °C do 26,6 °C, avšak doporučuje se pohybovat v rozmezí od 12,7 °C do 23,9 °C. Co se týče vlhkosti vzduchu, tak by se měla pohybovat od 20 % do 55 %, avšak podle výrobce lze tisknout i v podmínkách, kdy vlhkost dosahuje hodnot 15 % až 60 %.

Samotný tisk je realizovaný v uzavíratelném boxu. Tiskárna je schopna vytvořit výtisky s maximálními rozměry 254 mm x 381 mm x 203 mm. Rychlost tisku se pohybuje od dvou do čtyř vrstev za minutu, v závislosti na rozlišení, velikosti tištěného kusu a požadované kvalitě povrchu. Tloušťka jedné vrstvy může být od 0,089 mm až po 0,102 mm. Samotné rozlišení pak dosahuje hodnoty 600x540 dpi.

Co se týče hluchnosti, tak ta může dosahovat až 72 dB a to při odsávání přebytečného prášku z tisku.

Prášek a pojivo

Tiskárna používá jako prášek materiál zp@150 Powder. Tento prášek je vhodný na výrobu dílů s velkým rozlišením. Modely vytištěné z tohoto materiálu mohou být ještě upraveny povrchově pomocí vody. Stačí smíchat vodu se solí a tímto roztokem posprejovat vytisknutý model. Po osušení by měl být povrch hladší. Používá se na:

- Vytváření prototypů
- Ergonomické testování modelů
- Prezentační modely
- Prodejní modely
- Rychlé vytváření nástrojů

Cena jednoho kilogramu zp@150 Powder se pohybuje okolo 15 Kč, v závislosti na dovozcí a velikosti zakoupeného balení. [28]



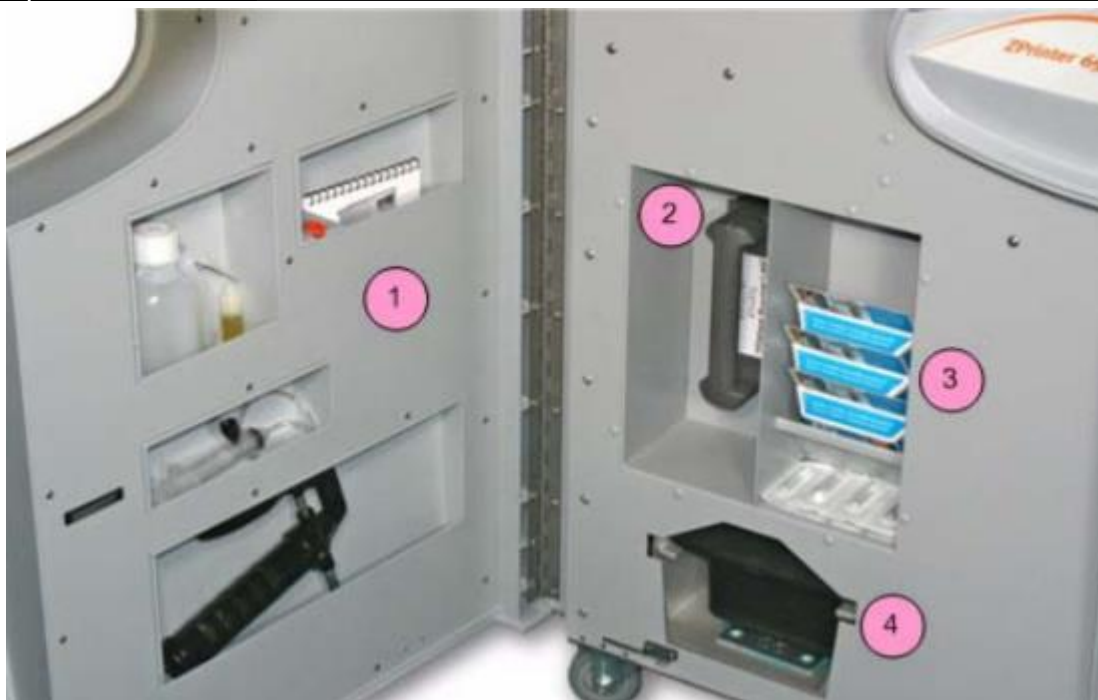
Obr. 24) Otevřený box tiskárny [27]

1. Cartridge s pojivem
2. Zbytkový separátor
3. Odtah tepla
4. Hadice od vysavače
5. Čistící stanice tiskové hlavy
6. Nepohyblivá část stolu
7. Držák tiskové hlavy a pohyblivá část
8. Podložka, na kterou se tiskne
9. Přední přepad prášku
10. LCD display
11. Ovládací kolečko



Obr. 25) Jednotka na zpracování po tisku [27]

1. Vzduchová pistole
2. Matice hlídající tlak vzduchu
3. Vzduchová hadice
4. Odtah tepla
5. Filtr pevných částic
6. Děrovaný stůl na očištění výtisku
7. Přídavný stůl



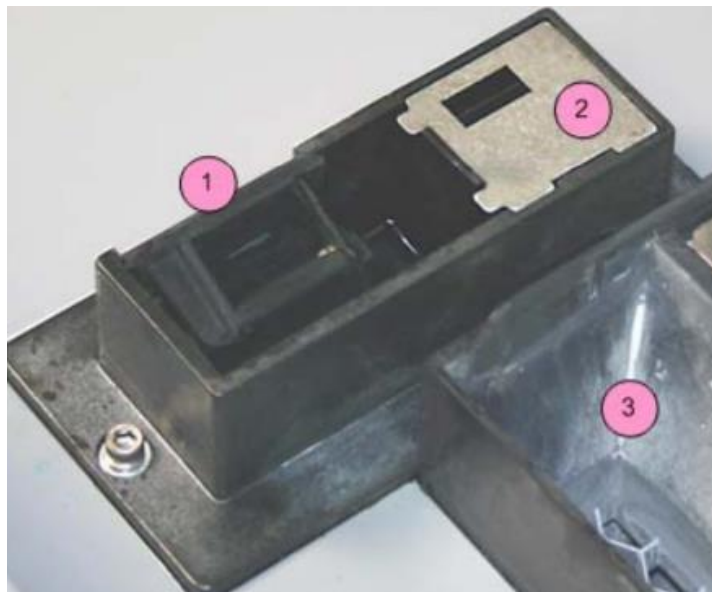
Obr. 26) Úložný prostor na potřebné věci k tisku [27]

1. Prostor na uschování nástrojů a příslušenství
2. Cartridge s čisticím roztokem
3. Zásobník na tiskové hlavy
4. Zásobník na odpad



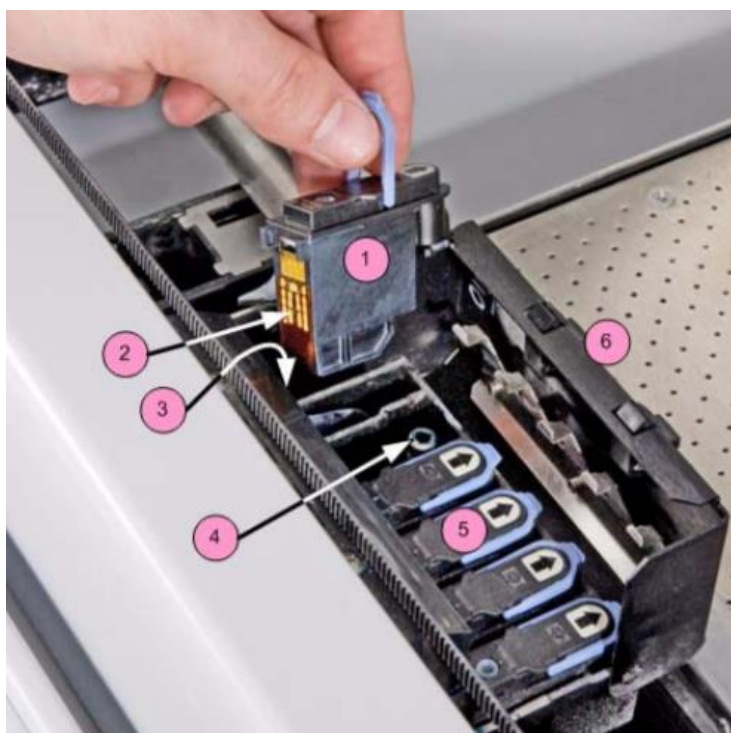
Obr. 27) Připojení k periférii [27]

1. Tlačítko na zapnutí/vypnutí
2. Zdrojový kabel
3. Připojení ethernet
4. Ostatní připojení



Obr. 28) Servisní stanice tiskové hlavy [27]

1. Stěrka
2. Odkapávač
3. Přední přepad na zbytkový prášek



Obr. 29) Box s tiskovými hlavami [27]

1. Vyjmutá tisková hlava
2. Kontakty tiskové hlavy
3. Vnitřní kontakty k připojení tiskové hlavy
4. Septum
5. Zapojená tisková hlava
6. Kryt tiskových hlav

3.3 Pohybový mechanismus

Tiskárna ZPrinter 650 se pohybuje pomocí několika motorů. Souřadnicový systém neboli kinematika pohybu je využita kartézská. Tisková hlava se pohybuje v souřadnicích X a Y. V ose Z se pak pohybuje celý stůl, na který se tiskne a tím se tvoří nové vrstvy. Poslední pohyb pak vykonává rameno na shrnování a nanášení nových vrstev prášku. Všechny motory jsou typu Brushed DC a jsou na fotkách níže. Na obr. 33 je vyfocený pouze box, pod kterým se nachází motor k pohybu stolu v ose Z.



Obr. 30) Motor k pohonu celého ramene tiskové hlavy



Obr. 31) Motor k pohonu tiskové hlavy po rameni



Obr. 32) Motor k pohonu dávkování prášku



Obr. 33) Zakrytovaný motor ke zvedání stolu

3.4 Řídicí mechanismus

Všechny motory a elektronické části jsou připojeny skrz sběrnice do základní desky viz obr. 34 a 35. Ta je umístěna v zadní části tiskárny a tvoří uzavřený panel, který lze vyjmout.



Obr. 34) Připojení k řídicímu mechanismu



Obr. 35) Připojení k řídicímu mechanismu

4 NÁVRH ÚPRAV TISKÁRNY

Hlavním důvodem, proč je třeba zabývat se návrhy úprav tiskárny ZPrinter 650 je především velmi drahý tisk. Nejnákladnějším prvkem je zde pojivo, které je drahé a také se rychle spotřebovává. Na rozdíl od prášku, který stojí pár korun za centimetr krychlový, může cena nové cartridge s barvou dosahovat několik desítek tisíc.

Bohužel tiskárna spotřebovává pojivo, i když zrovna netiskne. Příčinou je občasné pročišťování tiskové hlavy, aby v ní pojivo nezatuhlo. Tímto způsobem tedy zbytečně dochází k plýtvání tímto velmi drahým materiálem.

Po identifikování hlavních problémů nákladného tisku nyní vyjmenuji několik návrhů, jak jej zlevnit. U každého z nich popíši, jak by daná úprava vypadala a co všechno by obnášela.

Přemostění systém kontroly pojiva

Prvním ze způsobů, jak zlevnit tisk, je využívat levnější pojivo. Jak jsem již zmínil, tak nové cartridge stojí několik desítek tisíc korun. Na trhu se však nachází náplně se stejnými, či velmi podobnými vlastnostmi. Jenomže software tiskárny si dokáže pohlídat originalitu vložené cartridge. Pokud některá z nich chybí, či je její doba expirace prošlá, tiskárna nezačne pracovat a bude hlásit chybu. Navrhovaná úprava spočívá ve vložení jiného hardwaru, například Arduina.

Tisk jen průhlednou barvou

Druhý ze způsobů je podobný tomu prvnímu. Jedná se o softwarové odpojení barevných cartridge obr. 33, protože jsou mnohem dražší než číré pojivo. Jeden litr čírého pojiva stojí podle výrobce v přepočtu 7000 Kč, kdežto jedna barva v přepočtu na stejný objem téměř 9000 Kč. Řešení tímto způsobem by bylo asi nejlevnější. Stačilo by zjistit, jaký signál přijímá řídicí systém z cartridge. Pak, stejně jako v prvním případě, by stačilo vložit nějaké zařízení mezi cartridge a kontrolní systém, které by simulovalo vloženou cartridge, i když by tam reálně nebyla.



Obr. 36) Zadní strana cartridge

Změna metody tisku

Třetí způsob, kterým by šlo tiskárnu upravit, aby její tisk nebyl tak nákladný je asi nejradikálnější. Známé metody tisku jsou popsány v rešerši. Úprava by spočívala v úplném odpojení originálního řídicího systému tiskárny a nahrazení vlastním. Jedna z vhodných možností je nahradit barvy a tiskovou hlavu laserem a udělat tak z tiskárny typ SLM (Selective Laser Melting). Jedná se asi o nejdražší způsob úpravy. Náklady na tisk by se ale rapidně snížily. Jediné, co by bylo nutné doplňovat, by byl právě nějaký kovový prášek, který by byl kompatibilní s touto metodou tisku.

5 ZÁVĚR

Tato práce navrhuje úpravy 3D tiskárny ZPrinter 650, které mají za cíl zlevnění tisku. Návrhům předcházela důkladná rešerše nejen zadané tiskárny, ale také dalších 3D tiskáren obecně dostupných na trhu.

V první část práce jsem rozdělil tiskárny podle typu tisku a poté se zabýval jejich kinematikou pohybu. Došel jsem k závěru, že 3D tiskárny nejčastěji využívají kartézskou kinematiku pohybu, která je i použita v tiskárně ZPrinter 650. Co se týče přesnosti, tak nejlépe dopadly menší pomalé tiskárny, které pracují na bázi kartézské kinematiky.

Následně jsem popsal různé druhy motorů, které se v současné době využívají v pohonných součástech 3D tiskáren. Jedná se o krokové motory a stejnosměrné elektromotory. Zjistil jsem, že v zadané tiskárně jsou použity právě motory stejnosměrné s kartáčovým komutátorem. Celou zadanou tiskárnu jsem také nafotil a všechny důležité části náležitě popsal a okomentoval.

Na závěr jsem měl za úkol navrhnout nějaké způsoby, kterými by bylo možné tisk zlevnit. Největším problémem bylo velmi drahé pojivo. Dospěl jsem k závěru, že jsou k dispozici tři varianty. První dva způsoby řešení jsou softwarového typu a to přemostění kontrol systému cartridge a jejich odpojení. Třetí způsob je nejradiálnější a asi i nejnákladnější na realizaci, spočívá ve výměně tiskové hlavy za laser a tak by se změnil úplně typ tisku.

6 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] HAMOLA, Jan. *Fused Deposition Modeling* [online]. b.r. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
- [2] *FFF/FDM TECHNOLOGIE* [online]. b.r. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/fff-fdm-technologie/>
- [3] LUKAČOVIČ, Peter. *SPOLEHLIVOST HOBBY 3D TISKÁREN REP-RAP* [online]. b.r., , 51 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127729
- [4] POHOŘELSKÝ, Zbyněk. *FDM technologie (Fused Deposition Modeling)* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.inventor3dblog.cz/fdm-technologie/>
- [5] *3D TISK, PRINCIPY, TECHNOLOGIE* [online]. b.r. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/o-3d-tisku-neprehlednete/115-3d-tisk-principy-technologie>
- [6] *Formlabs Form 2* [online]. b.r. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/3d-tiskarny/sla-dlp/formlabs-form-2/>
- [7] KŮST, Martin. *VLIV PARAMETRŮ STEREOLITOGRAFICKÉHO 3D TISKU NA DOBU TISKU* [online]. b.r., , 63 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/getFile/1268/kust_2017_3.pdf
- [8] *Přehled technologií 3D tisku* [online]. b.r. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>
- [9] *Additive manufacturing* [online]. b.r. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://scanandmake.com/additive-manufacturing#collapse5>
- [10] *3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna?* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457-2>
- [11] *Reprap forum* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://reprap.org/forum/list.php?406>
- [12] ROCHOLL, Johann. *Reprap forum - Rockstock* [online]. b.r. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://reprap.org/wiki/Rostock>
- [13] MORRIS, Bryan. *Grabcad community forum* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/kossel-delta-configuration-3d-printer-1>
- [14] *PROJECT NOTE* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://fabacademy.org/archives/2015/eu/students/pugliese.gianluca/project02.html>
- [15] *Reprap forum* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://reprap.org/wiki/R_360
- [16] *Allabout3dprinting* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://allabout3dprinting.com/tag/r-360/>

- Low-cost SCARA robotic arm for 3D printing, milling & dispensing, now on*
- [17] *Kickstarter* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z:
<http://www.3ders.org/articles/20140917-flx-arm-low-cost-scara-robotic-arm-for-3d-printing.html>
- RepRap HELIOS Gallery* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z:
- [18] <https://hackaday.io/project/21355/gallery#15c78d9c69be30559e38dca6e3975ffe>
- KROKOVÝ MOTOR* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z:
- [19] <http://isst.hys.cz/images/N2S/KM1.PDF>
- Druhy krokových motorů* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z:
- [20] <https://www.kvd.zcu.cz/cz/materialy/POS/HTML/57/default.htm>
- Princip pohybu krokových motorů* [online]. b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z:
- [21] <https://www.kvd.zcu.cz/cz/materialy/POS/HTML/61/default.htm>
- RYDLO, Pavel. *Krokové motory a jejich řízení* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19].
- [22] Dostupné z: <http://cis.wz.cz/elz/krok2.pdf>
- Princip stejnosměrných motorů: forum elektrika.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru>
- DRURY, B. *Control techniques drives and controls handbook*. Druhé. 2001.
- [24] ISBN 978-1-84919-013-8.
- LEPKA, Jaroslav a Pavel GRASBLUM. *Použití mikroprocesorů pro řízení pohonů s BLDC motory* [online]. b.r., , 72 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z:
http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_09_1111.pdf
- LEPKOWSKI, Jim. *Motor Control Sensor Feedback Circuits. Microchip*
- [26] [online]. b.r. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00894a.pdf>
- Manuál tiskárny ZPrinter 650* [online]. b.r. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z:
- [27] http://infocenter.3dsystems.com/product-library/system/files/legacy/3DSCentral%20-%20Legacy%20Products/650/Custom/2210_09577%20ZPrinter%20650%20User%20Manual.pdf
- User Guide* [online]. b.r. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z:
- [28] <http://www.fpm.ues.rs.ba/wp-content/uploads/2015/12/ZP150-User-Guide.pdf>

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1) PRINCIP FUNGOVÁNÍ FDM TISKÁRNY [4]	17
OBR. 2) PRINCIP FUNGOVÁNÍ SLA TISKÁRNY [7]	18
OBR. 3) PRINCIP FUNGOVÁNÍ LOM TISKÁRNY [9]	18
OBR. 4) 3D TISKÁRNA S KARTÉZSKOU KINEMATIČOU POHYBU [11]	20
OBR. 5) 3D TISKÁRNA S DELTA KINEMATIČOU POHYBU [13]	21
OBR. 6) 3D TISKÁRNA S H-BOT KINEMATIČOU POHYBU [14]	22
OBR. 7) 3D TISKÁRNA S COREXY KINEMATIČOU POHYBU [14]	22
OBR. 8) 3D TISKÁRNA S POLÁRNÍ KINEMATIČOU POHYBU [16]	23
OBR. 9) 3D TISKÁRNA S POLÁRNÍ KINEMATIČOU POHYBU [18]	23
OBR. 10) PRINCIP FUNGOVÁNÍ KROKOVÉHO MOTORU [19]	24
OBR. 11) ZÁVISLOST STATICKÉHO ÚHLU ZÁTĚŽE NA STATICKÉM MOMENTU A ZNÁZORNĚNÍ VELIKOSTI KROKU A [19]	25
OBR. 12) MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA KROK. MOTORU [19]	25
OBR. 13) ZMĚNA BUZENÍ CÍVEK [19]	26
OBR. 14) KLIDOVÝ STAV KROKOVÉHO MOTORU S AKTIVNÍM ROTOREM [21] 26	
OBR. 15) NOVÝ KLIDOVÝ STAV [21]	26
OBR. 16) ZJEDNODUŠENÝ ŘEZ KROKOVÉHO MOTORU S PASIVNÍM ROTOREM [21]	27
OBR. 17) VLEVO BUZENA FÁZE A, VPRAVO BUZENA FÁZE B [21]	27
OBR. 18) HYBRIDNÍ KROKOVÝ MOTOR [21]	28
OBR. 19) LINEÁRNÍ KROKOVÝ MOTOR [21]	28
OBR. 20) DC MOTOR [21]	29
OBR. 21) MECHANICKÉ KARTÁČE [21]	30
OBR. 22) BEZKARTÁČOVÝ MOTOR – UMÍSTĚNÍ SENZORU POHYBU [26]	30
OBR. 23) EXTERIÉR TISKÁRNY ZPRINTER 650 [27]	32
OBR. 24) OTEVŘENÝ BOX TISKÁRNY [27]	33
OBR. 25) JEDNOTKA NA ZPRACOVÁNÍ PO TISKU [27]	34
OBR. 26) ÚLOŽNÝ PROSTOR NA POTŘEBNÉ VĚCI K TISKU [27]	35
OBR. 27) PŘIPOJENÍ K PERIFERII [27]	35
OBR. 28) SERVISNÍ STANICE TISKOVÉ HLAVY [27]	36
OBR. 29) BOX S TISKOVÝMI HLAVAMI [27]	36
OBR. 30) MOTOR K POHONU CELÉHO RAMENE TISKOVÉ HLAVY	37
OBR. 31) MOTOR K POHONU TISKOVÉ HLAVY PO RAMENI	38

OBR. 32) MOTOR K POHONU DÁVKOVÁNÍ PRÁŠKU	38
OBR. 33) ZAKRYTOVANÝ MOTOR KE ZVEDÁNÍ STOLU	39
OBR. 34) PŘIPOJENÍ K ŘÍDÍCÍMU MECHANISMU	40
OBR. 35) PŘIPOJENÍ K ŘÍDÍCÍMU MECHANISMU	40
OBR. 36) ZADNÍ STRANA CARTRIDGE	41