

Konstrukce zařízení pro výrobu prototypových dílů

Petr Studenka

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Studenka**
Osobní číslo: **T12759**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce zařízení pro výrobu prototypových dílů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Navrhněte 3D tiskárnu, včetně volby řídicí jednotky a pohonu os.
3. Zkonstruujte a vyrobte 3D tiskárnu.
4. Ověřte výsledné vlastnosti vyrobených prototypových součástí a porovnejte kvalitu tisku.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 19. 5. 2014

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo prostudovat dostupné technologie Rapid Prototyping a následně vybrat a zkonstruovat zařízení na tvorbu 3D modelů. Rapid Prototyping umožňuje vymodelovat 3D objekt z CAD dat programu do fyzické podoby a poté tyto součásti slouží zejména jako vizuální prototypy, dále se dají použít na méně namáhané prvky konstrukce ve strojírenství, lékařství, automobilovém průmyslu, letectví, designu atd. Mezi velkou výhodou 3D tisku patří i to, že je možné vyrobit v podstatě součásti, které se jinou dostupnou technologií vyrobit nedají nebo by pro jejich výrobu bylo potřeba vyrobit nástroj a použít strojní zařízení. Zvolená konstrukce tiskárny vychází z projektu RepRap, který je rozšířen po celém světě a je volně dostupný. Základem je hliníkový rám a lineární vedení, které slouží k pohybu jednotlivých os. Velmi důležitou součástí je tisková hlava pracující na principu vytlačování roztaveného plastu z trysky, která tento materiál postupně nanáší v 3D prostoru a vytváří model po jednotlivých vrstvách. Závěrem je možno konstatovat, že takto vyrobená tiskárna je mnohem levnější než nynější komerční tiskárny jak z hlediska konstrukce, tak i z hlediska provozních nákladů a přitom je schopna dosáhnout podobné kvality vyráběných prototypů.

Klíčová slova: Prototyp, Rapid Prototyping, FDM, RepRap

ABSTRACT

The aim of this work was to study the available Rapid Prototyping technologies and then select and construct the device to create 3D models. Rapid Prototyping allows to model 3D object from CAD data program into the physical form and then these components are used mainly as a visual prototypes, also they can be used on less exposed structural elements in engineering, medicine, the automotive industry, aeronautics, design etc. Among a great advantage of 3D printing belongs also that it is possible to produce essentially components which can not be produced by another available technology or for their production it would be needed to produce a tool and use a machiner. The selected printer design is based on the RepRap project, which is spread throughout the world and is freely available . The base is an aluminum frame and straight lines that are used to move the separate axes. A very important part is a printhead working on the principle of extruding molten plastic from the nozzle, which gradually applies this material in 3D space and creates a model for single layer. In conclusion, it can be said that like this made printer is much more cheaper than current commercial printers both from the point of view of design and also from the point of view of operating costs and at the same time it is able to achieve a similar quality produced prototypes.

Keywords: Prototype, Rapid Prototyping , FDM , RepRap

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za odborné vedení, rady a čas, které mi po dobu této práce věnoval a také za vedení a podporu v účasti soutěže SVOČ. Dále bych chtěl taky poděkovat České zbrojovce Uherský Brod, za finanční podporu pro tento projekt.

Motto:

„Člověk může dělat to, co chce, ale nemůže chtít, aby chtěl.“

Arthur Schopenhauer

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 RAPID PROTOTYPING	12
1.1 HISTORIE.....	12
1.2 PRINCIP METODY.....	13
1.3 POUŽITÍ TECHNOLOGIE RP.....	13
1.4 ZÁKLADNÍ METODY RP.....	14
1.4.1 Stereolitografie (SLA).....	14
1.4.2 Selective Laser Sintering (SLS).....	15
1.4.3 Laminated Object Manufacture (LOM).....	16
1.4.4 Solid Ground Curing (SGC).....	17
1.4.5 PolyJet.....	18
1.4.6 Multi-Jet Modelling (MJM).....	19
1.4.7 Ballistic Particle Manufacturing (BPM).....	19
1.4.8 Fused Deposition Modeling (FDM).....	20
1.4.9 Materiál pro FDM tisk.....	21
2 REPRAP	23
2.1 ZÁKLADNÍ DRUHY TISKÁREN REPRAP.....	23
2.2 VÝCHOZÍ MATERIÁL DO TISKÁREN REPRAP.....	24
2.3 ZÁKLADNÍ PRVKY KONSTRUKCÍ TISKÁREN REPRAP.....	25
2.3.1 Lineární vedení.....	25
2.3.2 Tisková hlava.....	26
2.3.3 Ozubené řemeny.....	27
2.3.4 Krokové motory.....	27
2.3.5 Měření teplot.....	28
2.3.6 Řídící desky.....	29
2.3.6.1 Deska Ramps 1.4.....	29
2.3.7 Pololu A4988 – modul pro řízení krokových motorů.....	30
3 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE ČÁSTI PRAKTICKÉ	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
4 KONSTRUKCE 3D TISKÁRNY PRACUJÍCÍ NA PRINCIPU REPRAP	33
4.1 KONSTRUKCE.....	33
4.1.1 Hliníkové profily.....	34
4.1.2 Výroba rámu.....	35
4.2 MECHANICKÉ PRVKY TISKÁRNY.....	37
4.2.1 Lineární vedení os.....	37
4.2.2 Upevnění jednotlivých os ke konstrukci tiskárny.....	38
4.2.3 Pohyb os.....	41
4.2.4 Konstrukce tiskové hlavy.....	42
4.2.5 Konstrukce extruderu.....	44
4.2.6 Pojízdný stolek osy Y.....	46
4.2.7 Držák cívky tiskového materiálu.....	48

4.3	VOLBA ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKY	48
4.3.1	Krokové motory	48
4.3.2	Řídící deska	49
4.3.3	Ostatní elektronické prvky	50
5	CELKOVÁ KALKULACE	53
6	UKÁZKA SOFTWAREVÉHO PROSTŘEDÍ.....	54
7	POROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH VLASTNOSTÍ VYROBENÝCH SOUČÁSTÍ.....	56
8	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Již v prvopočátcích lidstva měl člověk potřebu vynalézat, vyrábět a objevovat nepoznané. Jen těžko si ovšem mohl představit, kam až se tyto věci můžou vyvinout. Nyní v 21. století již známe spoustu procesů od jednoduchého třískového obrábění, až po řezání laserem či vodním paprskem. Myšlenka, že bychom si mohli vytisknout skutečný reálný objekt, proběhla v hlavách určitě každému z nás. Dnes už je to skutečně možné! Technologie 3D tisku jako taková je již pár let známá, ovšem veřejností je často zmiňována až v dnešní době.

Rapid Prototyping využívá několik technik, pomocí kterých může být výsledný model vyhotoven. Jedná se o složitý proces, který by bez moderních počítačů a speciálního softwaru nemohl fungovat. Využití vyhotovování součástí, bez nutnosti úběru materiálu je v mnoha odvětvích a s neustálým pokrokem vývoje 3D tisku, se nám tato technologie stává dostupnější a je jen otázkou času, kdy se dostane i do běžných domácností.

Tato práce má za úkol získat základní přehled o problematice související s touto technologií a převážně se zabývá vlastním konstrukčním návrhem zařízení, které se dá sestavit za poměrně velmi levnou cenu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 RAPID PROTOTYPING

„Rapid Prototyping“, respektive rychlé zhotovení prvního modelu, je obrovský nástroj ve vývoji a přípravě výroby. Hlavním přínosem je, že místo virtuálního modelu je možné získat téměř ihned fyzický model, který reálně zobrazuje všechny skutečné vlastnosti, a je také možné porovnávat nejen vzhled, ale i ostatní požadované parametry jako funkčnost, mechanickou způsobilost apod.“ [1].

1.1 Historie

Vývoj Rapid Prototyping (RP) je úzce spjat s vývojem počítačových aplikací v průmyslu. Nárůstem v používání počítačů se urychlil pokrok v mnoha počítačových oblastech a souvisejících aplikací, včetně Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM) a numerickým programovým řízením (CNC) obráběcích strojů. Zejména vznik RP systémů nebyl možný bez existence CAD. Tabulka 1 znázorňuje historický vývoj příslušných technologií souvisejících s RP od předpokládaného data vzniku. [2]

Tab. 1 Přehled vývoje technologií [2]

Rok	Technologie
1770	Mechanika
1946	První počítač
1952	První číslicově řízený stroj
1960	První komerční laser
1961	První komerční robot
1963	První interaktivní grafický systém
1988	První Rapid Prototyping systém

1.2 Princip metody

Základem je 3D geometrický model vytvořený v CAD programu nebo odměřený prostorovým skenerem. Ten je převeden do příslušného formátu (nejčastěji STL). Takto připravená data jsou pak načtena do speciálního softwaru Rapid Prototyping. Virtuální (počítačový) model je rozřezán příčnými řezy s definovaným nastavením vzdálenosti jednotlivých vrstev. Dále je navržena podpůrná konstrukce pro vytváření modelu a pro oddělení modelu od nosné desky. Na rozdíl od konvenčních metod obrábění, u kterých je materiál z výchozího polotovaru odebírán, je u technologie Rapid Prototyping materiál po vrstvách přidáván. Součást je pro výrobu rozdělena na veliké množství jednotlivých vrstev o tloušťce v řádu setin až desetín milimetru, které je možné považovat v podstatě za dvoudimenzionální (2D). Každá vrstva má svůj 2D tvar. Kladením jednotlivých vrstev na sebe lze poměrně snadno vyrobit prostorové předměty značné geometrické složitosti. [3]

1.3 Použití technologie RP

V současné době se technologie Rapid Prototyping používá:

- pro vytvoření prostorových modelů složitých objektů s cílem získání názorné představy o celkovém provedení a tvaru;
- ke kontrole designu navrhovaného objektu;
- při vývoji výrobku, tzn., že navrhovanou součást je možno v kterékoli fázi vývoje snadno vyrobit a následně korigovat další vývojové fáze;
- k ověření a optimalizaci výrobku, mimo korekce tvaru, je možno např. snáze vybrat z konkurenčních návrhů ten nejlepší;
- v oblastech výroby forem a nástrojů;
- k simulacím v oblastech namáhání, proudění, koncepčního konstruování, designu a archivace 3D objektů. [3]

Mimo běžného užití 3D tisku pro výrobu průmyslových prototypů a designu probíhá značný vývoj i v dalších oblastech:

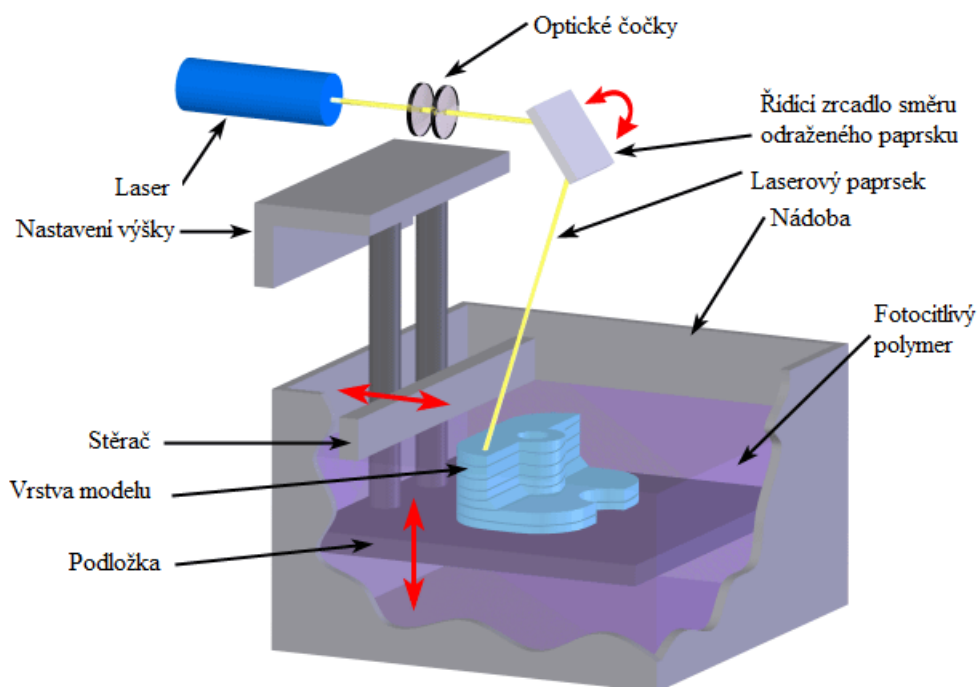
- stavebnictví a architektura – piliny vyztužené pojidlem, betonové směsi, popílek, sůl, hlína, měsíční prach;
- potravinářství – čokoláda a trvanlivé potraviny;

- medicína – kmenové buňky, uši, cévy, kosti, ortézy a dlahy, protetika, zubní protézy;
- módní průmysl – přesně padnoucí oblečení, obuv, doplňky;
- umění – hudební nástroje, výtvarná díla, šperky;
- archeologie – kopie artefaktů (nejznámější příklad – Tutanchamonova mumie);
- robotika – krytování funkčních částí;
- školství – modely strojů, anatomické modely, biochemické, geografické atd.;
- pomůcky pro slabozraké – ideální pro výuku. [4]

1.4 Základní metody RP

1.4.1 Stereolitografie (SLA)

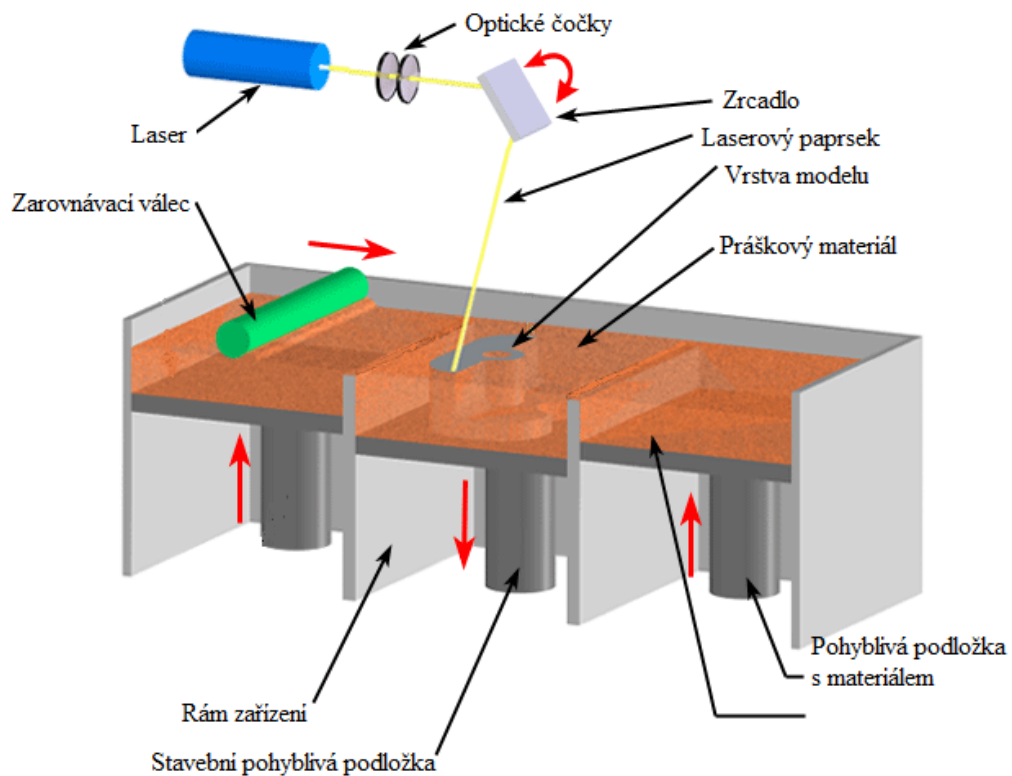
Je nejrozšířenější Rapid Prototyping technologie. Může produkovat vysoce přesné a detailní díly z polymeru. Využívá nízké spotřeby a je zaměřena na UV laser, který obkresluje po sobě průřezy trojrozměrného objektu v nádobě s kapalinou fotocitlivého polymeru. Vzhledem k tomu, že laser sleduje vrstvu, polymer ztuhne a přebytek plochy je ponechán jako kapalina. Když je vrstva dokončena, vyrovnávací čepel se pohybuje po povrchu, aby byl před uložením na další vrstvu hladký. Plocha je snížena o vzdálenost, která se rovná tloušťce vrstvy. Dále je pak následná vrstva vytvořena na horní části vrstvy získané dříve. Tento proces sledování a vyhlazování se opakuje, až je model kompletní. [5]



Obr. 1 Metoda Stereolitografie [27]

1.4.2 Selective Laser Sintering (SLS)

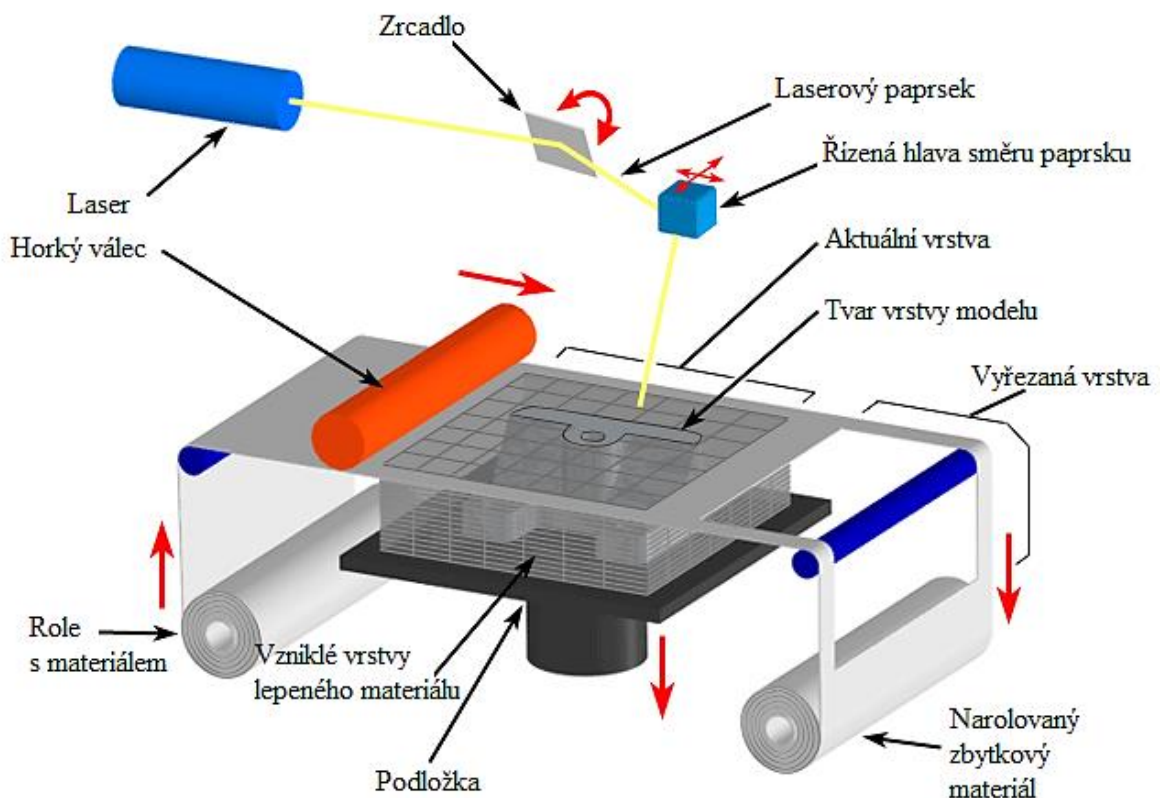
Na rozdíl od stereolitografie jsou modely vyrobené novější metodou Selective Laser Sintering velmi pevné. Selective Laser Sintering je technologie, při které je laserovým paprskem spékán do určitého tvaru slévárenský písek, plastový nebo kovový prášek. Přídavný materiál je nanášený na nosnou desku v inertní atmosféře po vrstvách. Podle vypočtených souřadnic bodů rovin řezů je řízená XY skenovací hlava, která vede laserový paprsek nad povrchem prášku, který je nasypáný ve vaně. V místě působení laseru se přídavný materiál buď zapeče nebo roztaví. Okolní neosvětlený materiál slouží jako nosná konstrukce. Výroba součástí probíhá po vrstvách, po vytvoření jedné vrstvy se nosná deska sníží o hodnotu odpovídající hloubce vrstvy. Na rozdíl od jiných metod je možné využívat široké spektrum materiálů. Principiálně je možné použít jakýkoliv prášek, který se působením tepla taví nebo měkne. V současnosti se v komerčních oblastech používají např. termoplastické materiály, jako jsou polyamid, polyamid plněný skelnými vlákny, polycarbonát, polystyrén, dále speciální nízkotavitelné slitiny z niklových bronzů nebo polymerem povlakovaný ocelový prášek. Většinou však není možno přecházet na stejném zařízení od jednoho materiálu k druhému, neboť jejich vytvrzení si vyžaduje výrazně odlišné podmínky. [6]



Obr. 2 Selective Laser Sintering [27]

1.4.3 Laminated Object Manufacture (LOM)

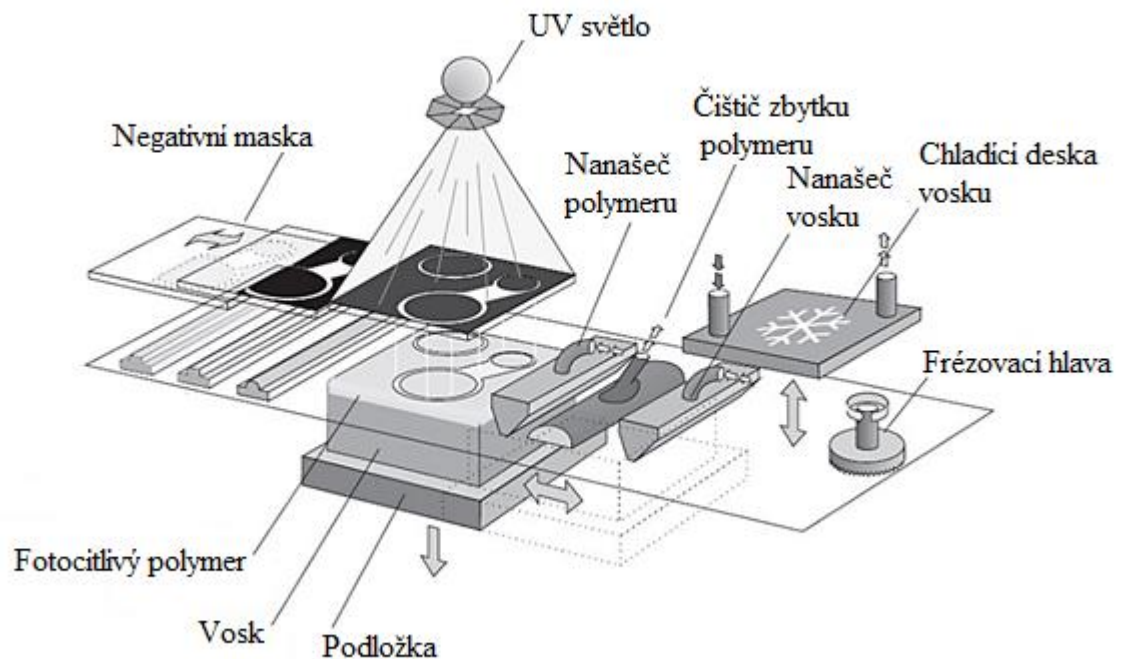
Tato metoda se od ostatních principů Rapid Prototypingu na první pohled odlišuje používaným polotovarem. Tím je nejčastěji papír z jedné strany potažený polyetylenem (polyetylen slouží jako pojivo při zažehlení), ale existují i varianty zpracovávající plastové nebo kovové folie. Tato folie je v každém kroku navinuta přes celý pracovní prostor, zažehlena válcem k již hotové části a poté je z ní laserem nebo nožem vyříznut obrys vrstvy. Obecné schéma takovéhoho stroje je na obrázku č. 3. Zařízení je také vybaveno čidlem přítlačné síly a teploty válce pro kontrolu podmínek výroby. Mezi největší výhody této technologie patří schopnost vyrábět i velké součásti a možnost zpracovat různé druhy materiálu jako je například papír, různé polymery nebo kovy. Další předností je rychlost výroby daná tím, že laser pouze vyřezává obrys a celá vrstva je zažehlena najednou zažehlovacím válcem. Problémem se můžou stát podpůrné konstrukce, které u této metody vznikají z oříznutých částí folie. Konstrukci je třeba upravit tak, aby bylo možné z dutin tyto nařezané části vyjmout. [7]



Obr. 3 Metoda Laminated Object Manufacture [27]

1.4.4 Solid Ground Curing (SGC)

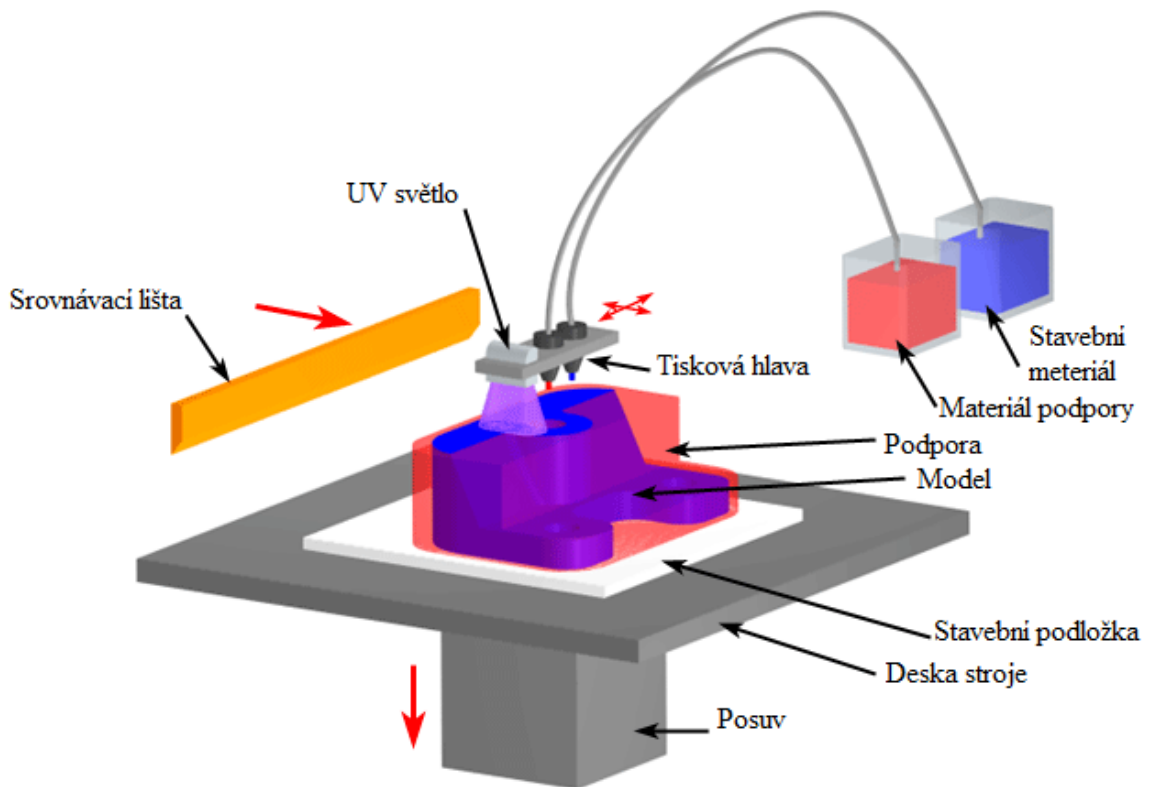
Metoda Ground Curing spočívá ve vytvrzování fotocitlivého polymeru. Tento princip byl vyvinut izraelskou firmou Cubital Ltd. Jako materiál používá také tekutý opticky vytvrditelný polymer jako stereolitografie, ale principem výroby se od ní liší. Rozdíl je v tom, že celá vrstva je zde vytvářena najednou, tj. na jedno osvětlení UV lampou. Osvícení se provádí přes negativní masku, která je nejčastěji tvořena skleněnou destičkou, na níž je vyznačen tvar vytvářené vrstvy. Vytváření součásti probíhá ve dvou oddělených současně probíhajících cyklech. Nejdříve je vytvořena negativní maska, a potom dojde k osvětlení polymeru. Osvícený polymer ztvrdne, neosvícený tekutý polymer je odsáván a vzniklý meziprostor se vyplní voskem. V dalším kroku je povrch vytvořené vrstvy ofrézován na požadovanou výšku vrstvy, a tím je připraven na nanesení další tenké vrstvy tekutého polymeru. Vosková výplň zůstane v dutinách vytvářené součásti jako podpůrná konstrukce až do konce procesu vytváření, potom je chemickou cestou (pomocí kyseliny citronové) odstraněna. [8]



Obr. 4 Metoda Solid Ground Curing [28]

1.4.5 PolyJet

Patentovaná inkoustová technologie PolyJet společnosti Objet pracuje na bázi nastříkávání nejnovějších fotoněkých materiálů na platformu v ultratenkých vrstvách, vrstva po vrstvě, až do vytvoření konkrétního dílu. Každá fotoněká vrstva je vytvrzena UV zářením okamžitě po nastříkání, což má za následek vytvoření vytvrzených modelů, jež je možné ihned použít bez nutnosti dalšího tvrzení. Podpurný materiál připomínající gel je speciálně navržen pro složité konstrukce a lze jej velmi snadno ručně odstranit vodou. Technologie PolyJet umožňuje vytváření horizontálních vrstev o pouhých 16 μm , jemných detailů a ultratenkých stěn o tloušťce až 0,6 mm v závislosti na geometrii. [9]



Obr. 5 Metoda PolyJet [27]

1.4.6 Multi-Jet Modelling (MJM)

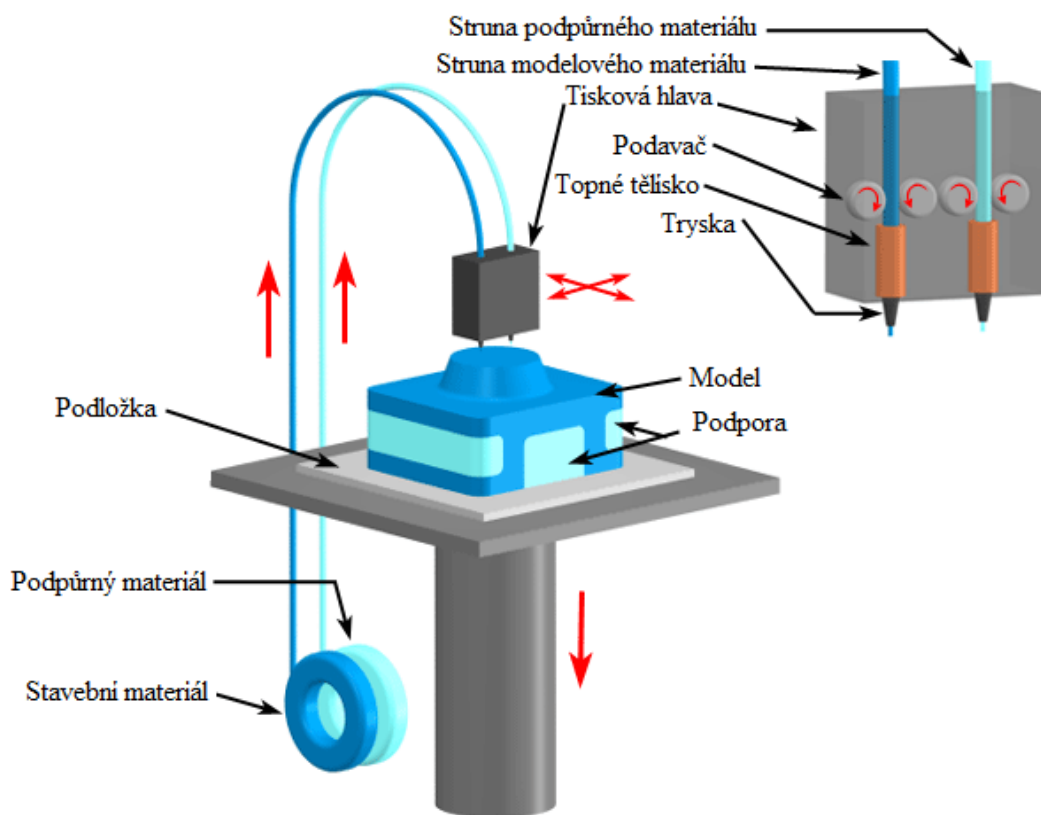
Princip metody je založený na nanášení jednotlivých vrstev termopolymeru postupně na sebe pomocí speciální tiskové hlavy. Tato speciální tisková hlava může být opatřena až 350 tryskami uspořádaných rovnoběžně vedle sebe. Tato metoda je efektivní a úsporná, díky velkému množství trysek je materiál nanášen rovnoměrně a tisk je velmi rychlý. Nevýhodou je ovšem malá přesnost modelu. [10]

1.4.7 Ballistic Particle Manufacturing (BPM)

Technologie BPM spočívá v nástřiku kapek termoplastu pomocí jedné pracovní hlavy. Vynalezl ji v roce 1987 Bill Masters, jenž v roce 1988 založil společnost Perception Systems, později přejmenovanou na BPM Technology, která se zabývá vývojem BPM systému. Technologie využívá principu inkoustových tiskáren. Je založena na tlakovém nanášení materiálu (termoplastu) ve formě kapek a jejich následném vytvrzení. Nanášení materiálu je docíleno tím, že jednotlivé malé kapky materiálu jsou vystřelovány z tlakové hlavy na pracovní plochu a tam, bezprostředně po dopadu, vytvrzeny. Cíleným nanášením dalších kapek na už nanesený materiál se vyrobí celá trojrozměrná součást. Technologie BPM pracuje pouze s jednou tiskovou hlavou, která má 5 stupňů volnosti. Tato metoda umožňuje vytvářet modely bez podpůrné konstrukce. [8]

1.4.8 Fused Deposition Modeling (FDM)

Proces nazývaný Fused Deposition Modelling (FDM) umožňuje vytváření trojrozměrných objektů přímo na základě 3D dat z CAD aplikace. Teplotou ovládaná hlava vytlačuje termoplastický materiál vrstvu po vrstvě. Proces FDM začíná importováním STL souboru konkrétního modelu do softwaru předběžného zpracování. Tento model je zaměřen a matematicky rozdělen do horizontálních vrstev o daných tloušťkách. V případě potřeby se vytvoří podpurná konstrukce na základě polohy a geometrie dílu. Po kontrole údajů o dráze a vygenerování drah nástrojů dojde k nahrání dat do FDM stroje. Systém pracuje na osách X, Y a Z, přičemž vykresluje každou vrstvu modelu zvlášť. Tento proces se podobá způsobu, jakým pistole na taveninové lepidlo vytlačuje roztavené kapky lepidla. Teplotou ovládaná vytlačovací hlava je zásobena termoplastickým modelovacím materiálem, který se ohřívá do částečně kapalného stavu. Hlava přesně vytlačuje a nanáší materiál v tenkých vrstvách na základnu bez upínek. Výsledkem vrstvení ztuhlého materiálu na předchozí vrstvu je plastický 3D model. Po dokončení tisku jsou všechny podpory odstraněny a je dokončena povrchová úprava. [11]



Obr. 6 Metoda Fused Deposition Modeling [27]

1.4.9 Materiál pro FDM tisk

ABS (akrylonitril-butadien-styren) je velmi odolný termoplast, jenž často využíváme pro vstřikovací stroje. Lze z něj vytvořit funkční prototypy a další výhodou je možnost různých barevných provedení. [12]

ABSi materiál umožňuje stavbu průsvitných prototypů v přírodní, jantarové a červené barvě. Lze tak vytvořit prototypy, které věrně napodobí konečný produkt a plně tak využít potenciál 3D tisku. Komponenty, které umožňují průchod světla, jsou hojně využívány v automobilovém, leteckém průmyslu nebo i v odvětvích kde je zapotřebí monitorovat tok tekutin (např. zdravotnictví). [29]

PC umožňuje konstruktérům využít spolehlivosti nejpoužívanějšího průmyslového termoplastu. Pomocí PC lze vyrábět funkční prototypy, nástroje a koncové součásti ze známého odolného materiálu a testování tak poskytuje větší důvěru. Vysoká pevnost v tahu a v ohybu je ideální pro náročné potřeby, nářadí a upínače nebo např. i šablony pro ohýbání. [29]

PC-ABS je jedním z nejvíce používaných průmyslových termoplastů, nabízející kombinaci těch nejlepších vlastností dvou velkých FDM termoplastů: pevnosti a tepelné odolnosti PC a pružnosti ABS. Tyto směsi jsou běžně používané v automobilovém průmyslu nebo pro elektronické a telekomunikační aplikace. PC-ABS je cenově dostupné řešení a vhodná volba všude tam, kde je nezbytná pevnost a tuhost ve spojení s mechanickou a teplotní odolností. [29]

PC-ISO je biokompatibilní termoplast, který umožňuje designérům farmaceutických a potravinářských obalů tisknout silné, tepelně odolné nástroje a příslušenství přímo z CAD dat. Co se FDM technologie týče, jde o nejsilnější, nejvíce tepelně odolný biokompatibilní materiál. [29]

PLA (polymléčná kyselina) je polyester na bázi kukuřičného škrobu, který je vázán na kyselinu mléčnou a vznikají tak makromolekuly tohoto polyesteru. Materiál je díky svému složení biologicky odbouratelný a za určitých podmínek dochází k jeho rozkladu na původní suroviny. V profesionálních zařízeních se nepoužívá, ale v případě provozu RepRap tiskárny v kancelářském nebo domácím prostředí je vhodnou alternativou. [12]

ULTEM 9085 materiál má pověst spolehlivosti. Jeho tepelné, mechanické a chemické vlastnosti ho činí nejlepším ve většině kategorií. ULTEM 9085 je díky jeho FST ratingu (flame, smoke, toxicity) ideální pro letecký a kosmický průmysl, automobilový průmysl a vojenské aplikace. Vhodný je rovněž pro všechny aplikace, kde je zapotřebí vysoký poměr pevnost/hmotnost. To umožňuje konstrukčním a výrobním inženýrům tisknout pokročilé funkční prototypy a koncové spotřební díly. [29]

PPSF/PPSU materiál je vhodný pro tisk dílů, odolných proti působení vyšších teplot a chemických látek, ať už v automobilovém, leteckém, kosmickém nebo zdravotnickém průmyslu. PPSF/PPSU nabízí nejvyšší tepelnou odolnost ze všech FDM termoplastů a zároveň dobrou mechanickou pevnost a odolnost. [29]

NYLON je ideální pro aplikace, které vyžadují vysokou únavovou odolnost, včetně cyklického namáhání nejrůznějších západek a vložek. Vhodný je do leteckého, či automobilového průmyslu, kde pokryje vlastní výrobu nástrojů, přípravků, krytů, apod. [29]

Tab. 2 Výhody a nevýhody metody FDM [12]

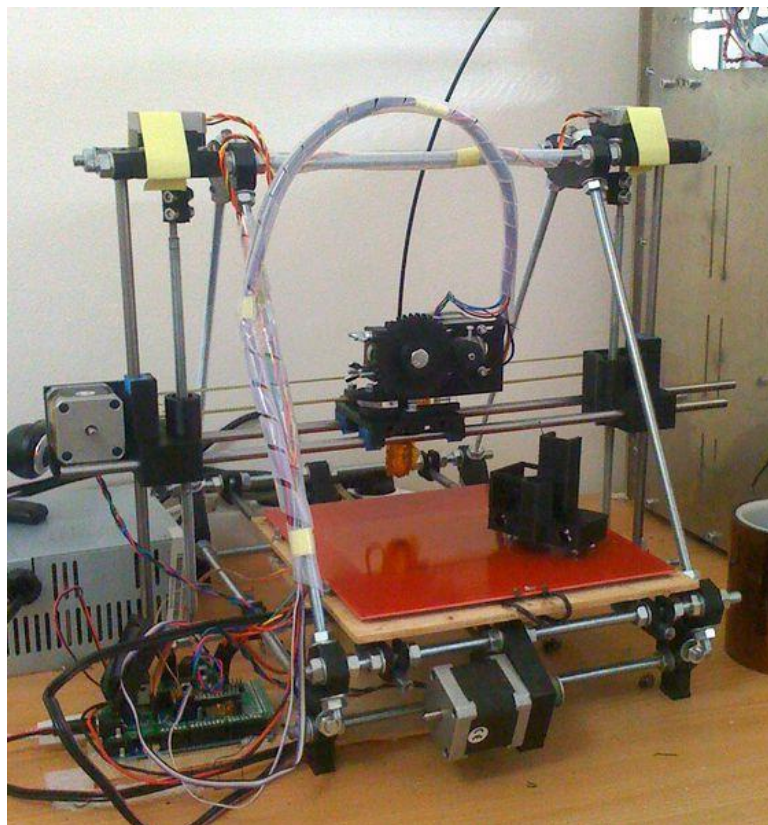
Výhody	Nevýhody
rychlejší zhotovení modelu (2 - 4 x rychlejší, než SLA)	některé tvary modelu vyžadují tvorbu podpor
poměrně velký počet materiálů na výběr	vytváření detailů (malé otvory nebo výstupky) je omezené
možnost tvorby funkčního modelu	nutnost povrchové úpravy modelu
některé materiály mají dobrou tepelnou odolnost	výhodné pouze při výrobě menšího počtu kusů
termoplasty mají dobré mechanické vlastnosti	některé tvary modelu vyžadují tvorbu podpor

2 REPRAP

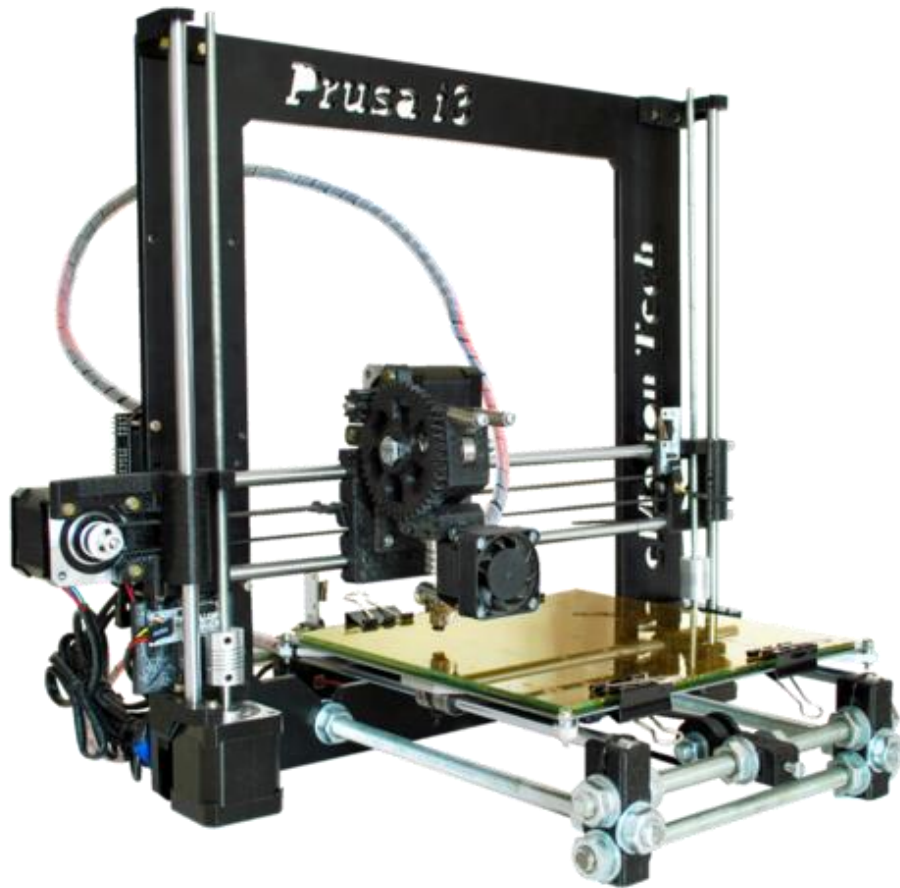
RepRap je název projektu, který dokáže tisknout většinu vlastních komponent, z kterých je stroj sestaven. Termín RepRap je zkrácená verze Rapid Replicating Prototyper. Využívá techniky vyvinuté z FDM a výroby rozvíjející se do FFF (fused filament fabrication) nebo-li výroby z taveného vlákna. Celý projekt je založen na „open source“ tzn., že každý si může vlastní RepRap postavit, vylepšit ho a svá vylepšení vrátit zpět komunitě. [13]

2.1 Základní druhy tiskáren RepRap

Většina RepRap tiskáren je zhotovena z plastových dílů, které jsou tištěny na již zhotovených 3D tiskárnách. Ostatní potřebné díly na stavbu jsou zejména závitové a lineární vodící tyče. Díky tomuto řešení jsou tyto konstrukce pro sestavení jednoduché a zároveň mají dostatečnou přesnost a tuhost celé soustavy pro daný 3D tisk. V dnešní době je nejpopulárnější konstrukce Prusa i3 (viz obr. 10), která vychází z konstrukcí předešlých verzí. Je vylepšena o hliníkový rám, který má za důsledek snížení složitosti a počtu použitých dílů. Jejím konstruktérem je Josef Průša. [13]



Obr. 7 Prusa Mendel [13]



Obr. 8 Prusa i3 [13]

2.2 Výchozí materiál do tiskáren RepRap

Tento typ materiálu je stejný jako u technologie FDM a je distribuován převážně v 1 kg nebo 2,3 kg cívkách. Je zde k dispozici celá škála barevných variant od světlé průhledné, až k tmavě neprůhledné. V závislosti na výtlačné hlavě, kterou disponuje tiskárna, je možné si vybrat průměr drátu mezi 1,75 mm a 3 mm. [14]



Obr. 9 Tiskový materiál [13]

2.3 Základní prvky konstrukcí tiskáren RepRap

2.3.1 Lineární vedení

Lineární vodící systém umožňuje regulovatelný pohyb v jedné ose, tedy po přímce. Vodící systémy jsou součástí lineárních vedení, které zajišťují fixaci pohybu vozíku do jedné osy. V lineární technice se jedná o vodící systémy tyčí a kuličkových či kluzných pouzder. Valivého vedení se začalo používat u nejpřednějších strojů a jeho použití se v době zavádění automatizace stále rozšiřuje a je používáno i u těchto typů tiskáren

Přednosti tohoto vedení jsou obdobné jako při použití valivých ložisek namísto kluzných pro uložení hřídelů. Je to především:

- celkově menší součinitel tření a nepatrný rozdíl mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu, což má velký vliv na odstranění trhavých pohybů při nepatrných rychlostech pohybu;
- minimální opotřebení a tím dlouhá životnost;
- možnost vymezení vůle a předeprnutí;
- přesnost pohybu i při náhlých rychlostech. [15] [16]



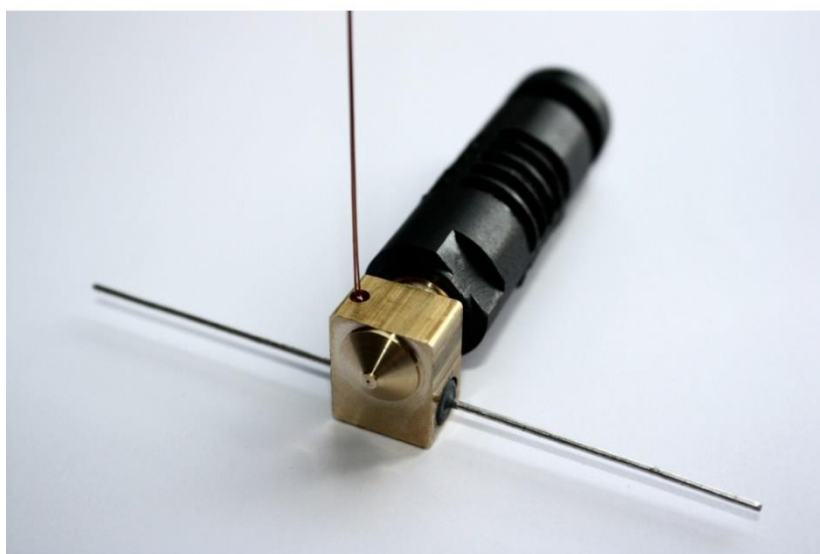
Obr. 10 Lineární vedení [30]

2.3.2 Tisková hlava

Kritickou součástí, pro vlastní kvalitu 3D tisku je tisková hlava. Podle typu použitého plastu je potřeba materiál zahřát na stabilní teplotu až 275°C. Stavební materiál je přitom do tiskové hlavy přiváděn ve formě drátu, obvykle o průměru 3, případně 1,75 mm. Dávkování materiálu tiskovou hlavou je prováděno posuvem tohoto materiálu do tiskové hlavy. Rychlost posuvu je dána jednak posuvovou rychlostí tiskové hlavy a jednak průměrem trysky a průměrem tiskového materiálu a může být určena dle vztahu

$$f_f = f_{min} \cdot \frac{d^2}{D^2}$$

kde f_f je rychlost posuvu tiskového materiálu, f_{min} je rychlost pohybu tiskové hlavy, d je průměr vytlačovaného materiálu a D je průměr výchozího materiálu. Tento vztah platí i zpětně, tj. vlivem posuvu tiskové hlavy je možné regulovat rovněž průměr nanášeného tiskového materiálu. Průměr vytlačeného materiálu nebývá totožný z průměrem trysky, často dosahovaný poměr je například: 0,3mm průměr vytlačeného materiálu, ku 0,4 mm průměru trysky. Rovněž rychlost vytlačování materiálu nebývá konstantní. Pro zajištění co nejvýhodnějších podmínek tisku má rozhodující vliv schopnost řídit, jak vytlačování samotného materiálu, tak jeho včasné zastavení. Abychom toho bylo dosaženo, snaží se udržovat ve viskózně-tekutém stavu co nejmenší část tiskového materiálu. [17]



Obr. 11 Tisková hlava [13]

2.3.3 Ozubené řemeny

Jedním z prostředků pro přenos pohybu na pohyblivé části, které se posouvají v obou směrech, jsou ozubené řemeny. Řemeny zprostředkují převod rotačního pohybu motoru na vratný pohyb v přímce čistě, bez mazání a vytahování. Nutné je předpětí řemenu, které zajistí, že odlehčená větev se při přenosu mechanického momentu neprověsí a že zuby řemenu nenaběhnou na zuby řemenic. Osvědčené předpětí má hodnotu, která při zatížení zajistí tah v odlehčené větvi alespoň 10 – 30% hnací síly. Dále řemen musí mít v záběru s řemenicí současně alespoň tři zuby. [18]

2.3.4 Krokové motory

Krokové motory umožňují jednoduché řízení rychlosti pohybu změnou frekvence vstupních impulsů a jednoduché řízení polohy registrací počtu impulsů. Při zvyšujícím se počtu vstupních impulsů kroutící moment klesá. Přesnost polohování a rychlosti pohybu závisí na počtu kroků na jednu otáčku a pracovní frekvenci. [19] Stator je obvykle vyroben z ocelových lamel opatřených drážkami, v nichž se nacházejí měděná vinutí. Jednoduché modely mají místo vinutí několik cívek (levnější navíjení). Rotor může být tvořen buď železným jádrem (variabilní reluktance), nebo permanentními magnety, nebo permanentní magnet může být vložen do pevného nebo laminovaného železného jádra (hybrid). 1,8 ° motor má 50 zubů v rotoru a často 48 nebo 50 zubů ve statoru. 50 zubů rotoru znamená, že rotor může mít čtyři různé pozice na zub. Má čtyři vinutí, které při unipolárním pohonu se připojují k napětím odděleně a při bipolárním pohonu se připojují dvě vinutí v sérii nebo paralelně. [20]



Obr. 12 Krokové motory [31]

2.3.5 Měření teplot

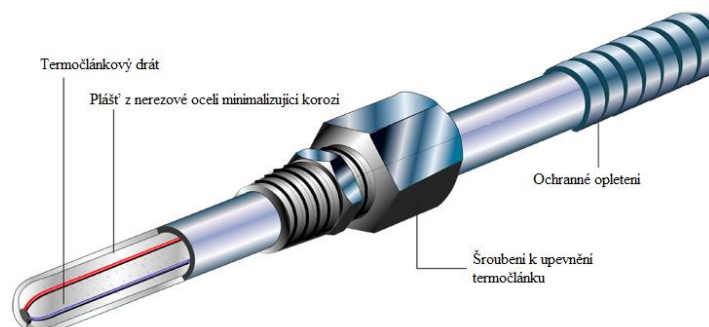
RepRap využívá k měření teploty tiskové hlavy, popřípadě vyhřívané podložky, polovodičové součástky zvané termistor. V novějších typech tiskáren se ale postupně přechází na měření pomocí termočláneku.

Termistor je polovodičová součástka, která má podle druhu amorfni (beztvarou) a polykrystalickou strukturu. Pro správnou funkci termistoru jako senzoru teploty je nutné napájet senzor proudem co nejmenším, aby se neohříval. Výrobci vyrábí termistory různých parametrů a tvarů. Především se jedná o parametr R_{25} , tj. o hodnotu odporu při 25°C , která bývá od 10 Ohm po 1 MOhm. [21]

Termočlánek využívá tzv. termoelektrického jevu. Tento jev využívá vzniku termoelektrického napětí (termoelektromotorické síly) v obvodu tvořeného dvěma různými vodiči, jejichž konce jsou spojeny. Velikost vznikajícího termoelektrického napětí však závisí i na druhu materiálů obou vodičů tvořících termočlánek, proto je k dispozici v různých kombinacích kovů nebo kalibrací. Nejpoužívanější kalibrace jsou J, K, T a E. [22] [23]



Obr. 13 Termistor



Obr. 14 Termočlánek

2.3.6 Řídící desky

Pro projekt RepRap se používá několik druhů řídicích jednotek vycházejících z Arduino, které umožňují zpracování G-kódu odeslaného z počítače a řízení pohybu os tiskárny. Jsou založeny na levných procesorech CPU, které jsou oproti dnešním počítačům jednoduché, ale na běh řídicího software postačující. Jako volně dostupný firmware těchto řídicích jednotek se nejčastěji používá:

- Marlin,
- Sprinter,
- Teacup. [13]

2.3.6.1 Deska Ramps 1.4

RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) je násuvná deska pro Arduino Mega, primárně určená pro řízení amatérské 3D tiskárny RepRap, ale samozřejmě použitelná i pro řízení jiných strojů a zařízení, které ke svému pohonu používají krokové motory. Shield RAMPS 1.4 je navržen tak, aby k němu bylo možno připojit pět krokových motorů, tři teplotní senzory, tři topná tělesa a šest koncových spínačů. Obsahuje pět driverů A4988. [24]



Obr. 15 Ramps 1.4 [24]

2.3.7 Pololu A4988 – modul pro řízení krokových motorů

Modul ovladače umožňuje řídit rychlost a směr otáčení jednoho bipolárního krokového motoru s proudem až 1 A na fázi. Jeho hlavní součástí je výkonový řídicí obvod A4988 s mikro krokováním a nadproudovou ochranou. Modul obsahuje všechny součásti potřebné pro správnou činnost řídicího obvodu. Ovladačem mohou být řízeny kromě bipolárních krokových motorů se čtyřmi vodiči i unipolární krokové motory se šesti vodiči a univerzální krokové motory s osmi vodiči. Pro unipolární krokové motory s pěti vodiči není tento ovladač vhodný.



Obr. 16 Pololu [25]

- Ovladač řídí pohyb krokového motoru signály STEP a DIR.
- K dispozici je pět různých režimů krokování: celokrok (1/1) a mikrokrokování s dělením kroku na 1/2, 1/4, 1/8 a 1/16
- Napájecí proud pro statorová vinutí motoru je možno nastavit plynule potenciometrem
- Inteligentní pulsní řízení proudu automaticky řídí způsob průběh odbuzení fázových vinutí
- Ve výkonovém obvodu jsou vestavěny ochrany proti přehřátí, podpětí a přepětí.
- Obvod je chráněn proti zkratu výstupu se zemí a proti zkratu na fázovém vinutí.

Kromě napájecího napětí pro motory, které může být v rozsahu +8 až 35 V, musí být k modulu připojeno ještě napětí o velikosti +3 až 5,5 V pro napájení vnitřních logických obvodů. Obě tato napětí je vhodné těsně u modulu blokovat proti vysokofrekvenčnímu rušení keramickými kondenzátory. Zdroj musí být schopen dodat odpovídající proud pro napájení motoru, nejméně tedy 2,5 A. [25]

3 SHRnutí TEoretické Části a Cíle Části Praktické

Cílem teoretické části bylo nastudování potřebných informací o 3D tisku. Popis základních metod umožnilo zvolit si konkrétní technologii, kterou bude zařízení používat. Podrobnějším prostudováním metody FDM se práce zaměřila na projekt RepRap, jelikož se zabývá problematikou stavby jednodušších zařízení určených ke tvorbě prototypů podobně pracující na této technologii. Zde byl získán přehled základních konstrukcí, použité řídicí elektroniky a jednotlivých částí těchto tiskáren. V praktická část se práce bude zabývat vlastním návrhem konstrukce a jejím zhotovením, které bude z RapRap vycházet, ovšem nebude založena na replikování sama sebe.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 KONSTRUKCE 3D TISKÁRNY PRACUJÍCÍ NA PRINCIPU REPRAP

Tato část se zabývá praktickým zhotovením celé tiskárny a to především její konstrukce a jednotlivých komponent. Výpočty potřebných tuhostí a jednotlivých působících sil se zde neprovádějí, poněvadž toto zařízení není obráběcí stroj a vzhledem k jeho rozměrům a velmi malým působícím reakcím se dají z logického hlediska uvážit potřebné konstrukční prvky o dané tuhosti. Celá konstrukce byla vyrobena v domácích podmínkách za pomoci stojanové vrtačky, která nahradila strojní frézku, a soustruhu. Za této situace mohlo být dosaženo výrobní přesnosti maximálně v řádech desetin milimetru.

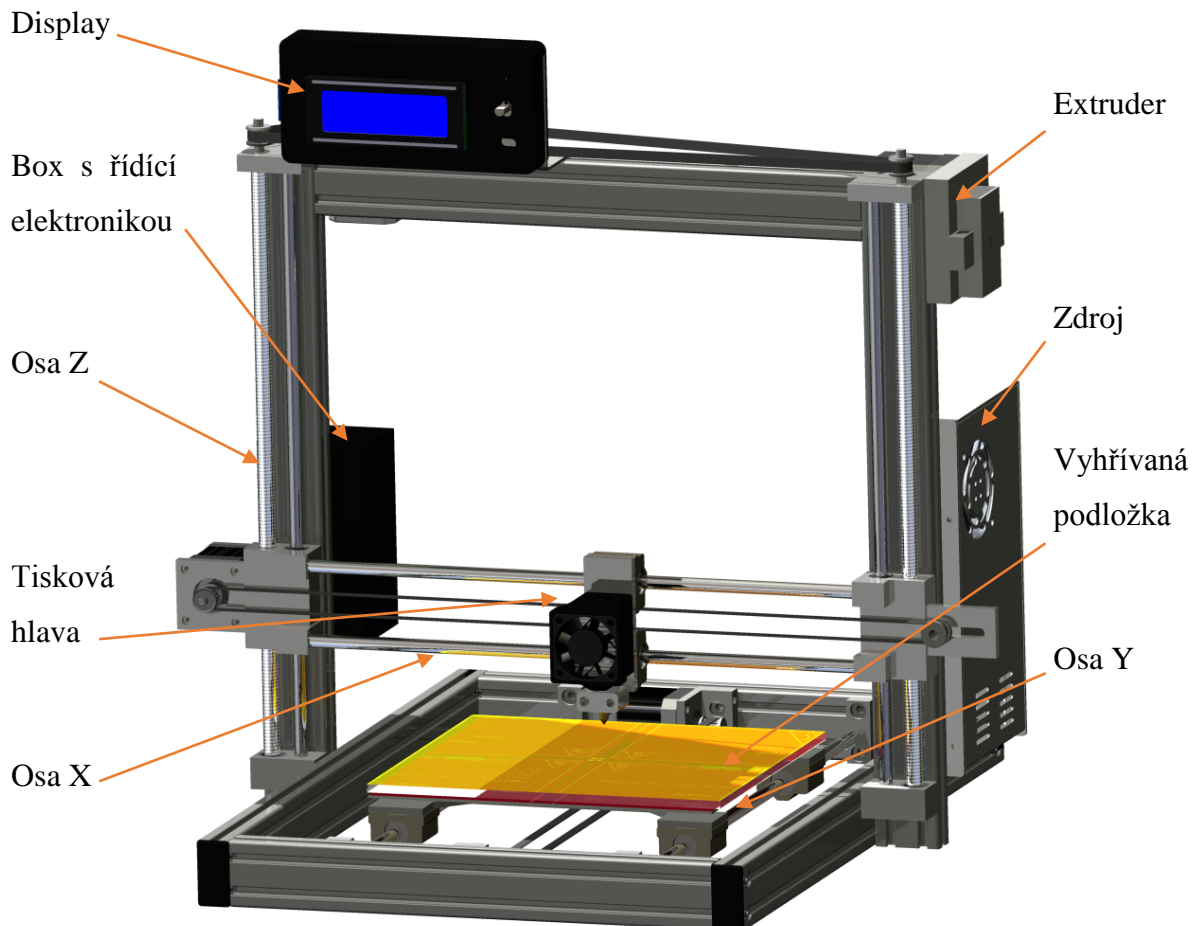


Obr. 17 Stojanová vrtačka použitá jako frézka

4.1 Konstrukce

Dle nastudování potřebných informací byl stanoven vizuální návrh ve formě 3D modelu v počítači. Ten dal tiskárně jak její virtuální podobu, tak i výsledné rozměry celého zařízení. Umožnil také rozmístění jednotlivých nosných součástí a elektroniky. Obsahuje tři samostatně řízené osy X, Y a Z. Osa Y řídí pohyb podložky, na kterou se tiskne výsledný model. Osa X má za úkol řídit pohyb tiskové hlavy v horizontální poloze a osa Z nastavuje potřebnou tloušťku jednotlivé tištěné vrstvy daného modelu, tedy řídí polohu tiskové hlavy ve vertikálním směru. Tímto způsobem je zaručeno nanášení vlákna v 3D prostoru. Dalším čtvrtým

číslicově řízeným prvem je extruder, který tlačí plastovou strunu do tiskové hlavy a vytlačuje toto roztavené vlákno plastu na vznikající model.

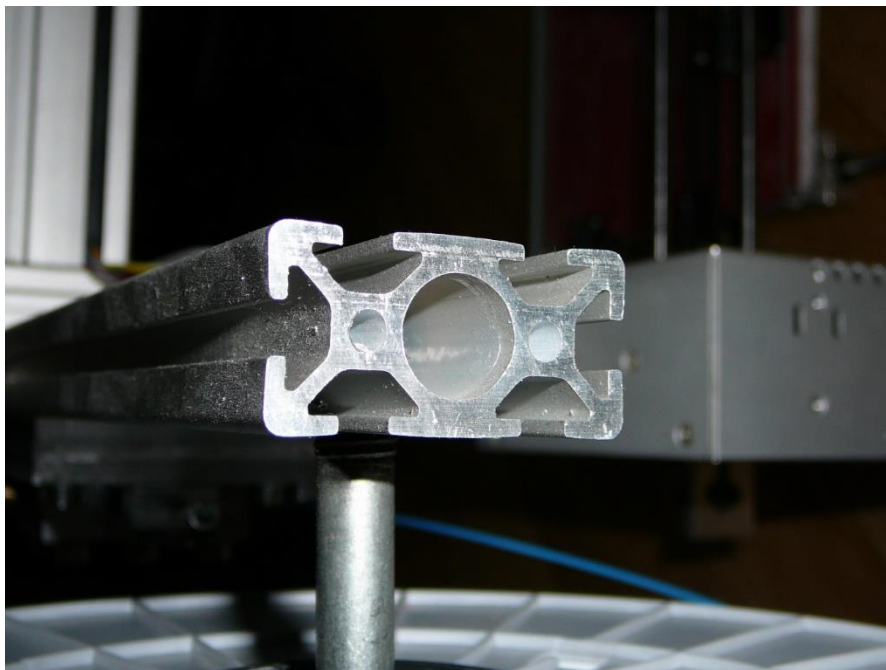


Obr. 18 Počítačový model vytvořený pomocí programu Autodesk Inventor

4.1.1 Hliníkové profily

Rámy tiskáren RepRap jsou konstruovány především ze závitových tyčí, které jsou snadno dostupné a levné. Na tuto tiskárnu ovšem byla použita nosná konstrukce z hliníkových stavebnicových profilů. Tyto profily zaručují tiskárně potřebnou tuhost a na rozdíl od závitových tyčí mají drážky a otvory, které umožňují relativně snadnou smontovatelnost a dobré uchycení potřebných komponent této tiskárny. Hliníkový profil byl zvolen o rozměrech 20x40 mm a o průřezu dle obrázku č. 19. Jednotlivé délky profilů poté vycházejí z rozměrů

konstrukce tiskárny. Drážky v profilu mají šířku 5mm a výrobcem udávaná hmotnost na 1 metr délky je 0,8 kg.



Obr. 19 Průřez hliníkového stavebnicového profilu o rozměrech 20x40

4.1.2 Výroba rámu

Rám je zhotoven ze dvou hlavních částí. Spodní část konstrukce obsahuje čtyři hliníkové profily o délkách 2x400 mm a 2x320 mm. Vertikální část tvoří dva svislé profily o délkách 2x400 mm a jeden horizontální profil v délce 340 mm. Profily byly nařezány z 3 m polotovaru obyčejnou ruční pilkou na železo nejprve nahrubo a následně byla jejich čela ofrézována na požadovaný přesný rozměr. Poté byly vyvrtány potřebné otvory pro spojení celé konstrukce a vyrobeny závity uvnitř děr profilů. K sešroubování dílů dohromady byly použity šrouby M5 s imbusovou hlavou a vertikální část ke spodní části byla uchycena pomocí upevňovacích úhelníků, které jsou běžně dostupné k montáži stavebnicových profilů. Toto řešení zajišťuje pozdější přesnou nastavitelnost polohy umístění osy X a taky snadnější rozebíratelnost zařízení.



Obr. 20 Postupné sestavování rámu tiskárny.



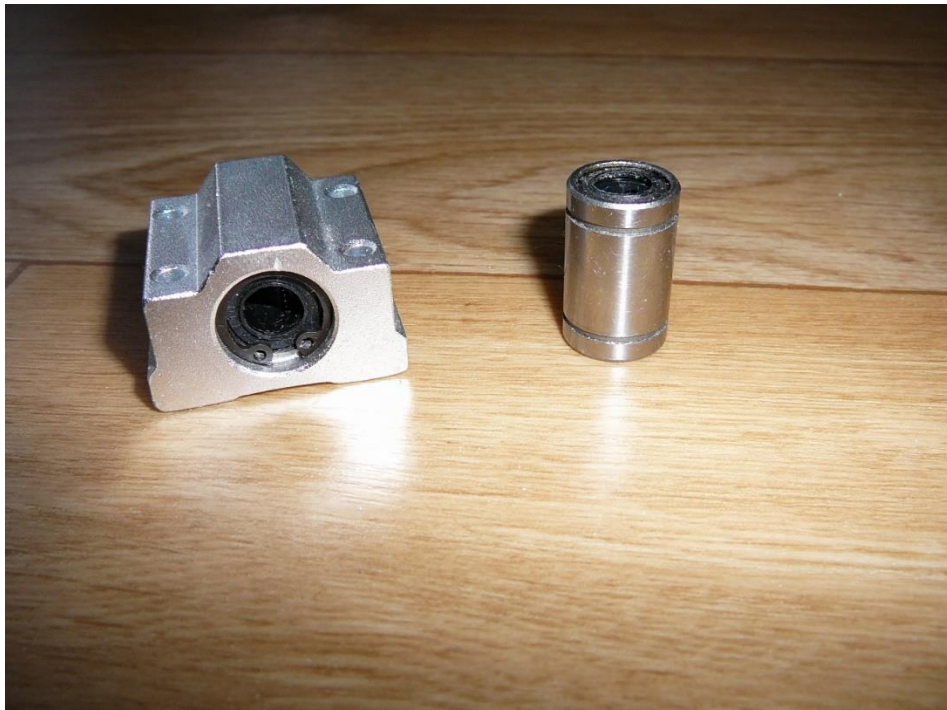
Obr. 21 Spojení vertikální části rámu se spodním dílem pomocí úhelníků

4.2 Mechanické prvky tiskárny

Mechanika tvoří nezbytnou součást tiskárny, jakož to všeobecně u všech CNC zařízení a strojních zařízení vůbec. Určuje pohyby tiskové hlavy a má významnou roli na přesnosti tisku. Nároky na zhotovení dílů a použitých vodících prvků byly podstatně větší, než-li na kvalitu zpracování výroby rámu.

4.2.1 Lineární vedení os

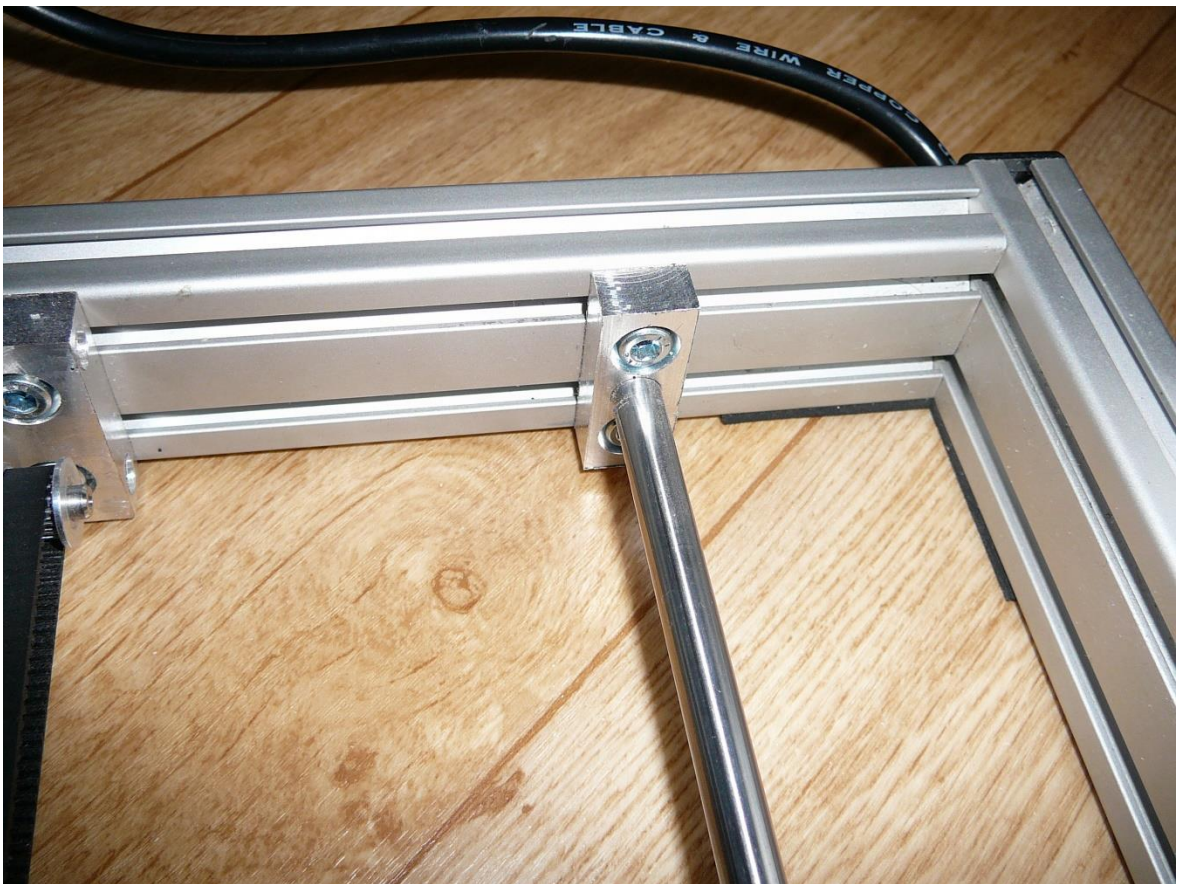
Jednotlivé vodící osy tiskárny jsou minimálně zatěžovány, a proto byly zvoleny lineární tyče o průměru 8 mm. Jsou povrchově zakaleny tvrdostí HRC 62 a broušeny na přesnost h6. Drsnost povrchu kvůli hladkému chodu ložisek, které se po něm budou pohybovat, je dána hodnotou Ra 0,25. Osa X byla vyhotovena v délkách 2 x 360 mm, Y 2 x 450 mm a osa Z 2 x 370 mm. Pojezdová kuličková pouzdra pro tyto osy byla zakoupena v z čínského internetového obchodu a to především kvůli jejich nízké ceně. I když se dá předpovídat snížená kvalita a životnost, tak s ohledem na mizivé zatěžující síly je jejich použití naprosto dostatečné. Pro osu X a Y byla zakoupena již v domečkách kvůli snadnější montáži. Pro osu Z se pouzdra zakomponovala do držáku osy X.



Obr. 22 Pojezdová lineární kuličková ložiska – vpravo s domečkem, vlevo samostatné ložisko bez domečku

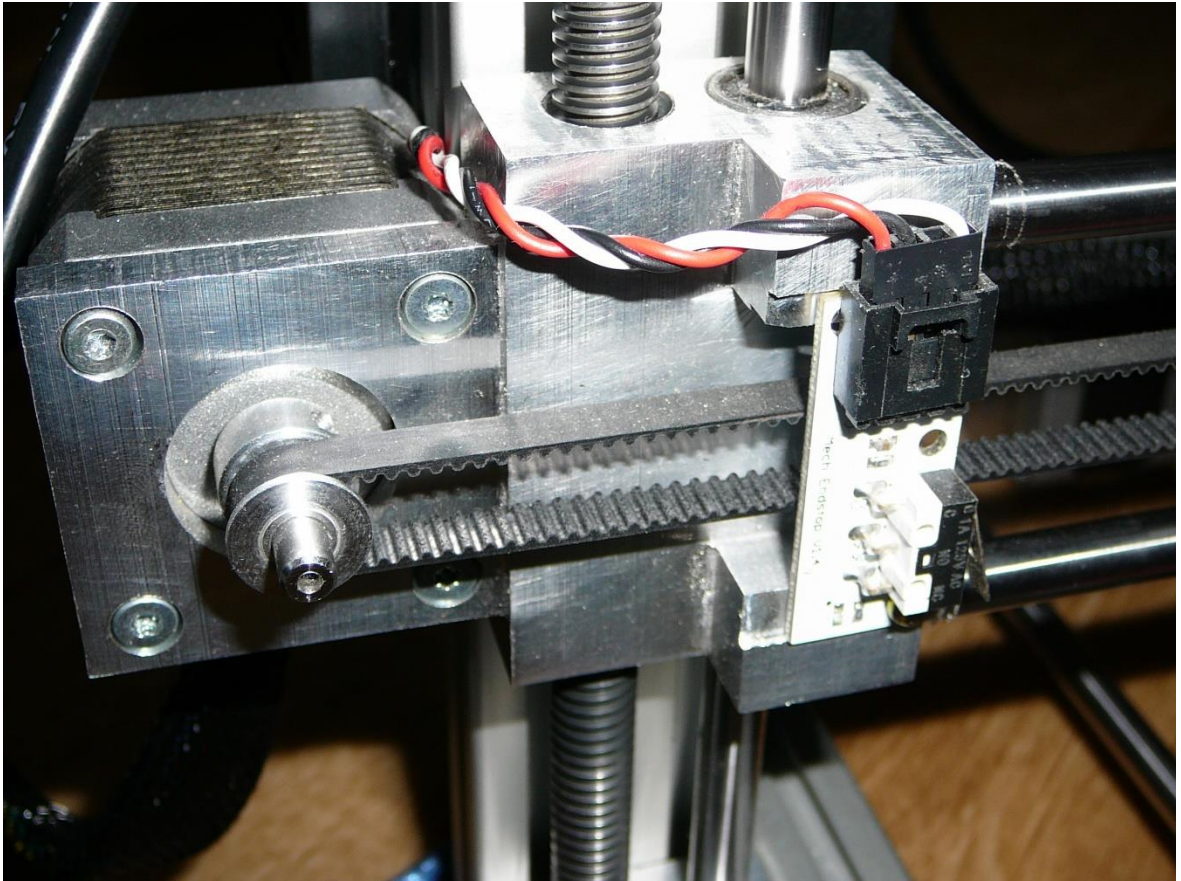
4.2.2 Upevnění jednotlivých os ke konstrukci tiskárny

Na rozdíl od RepRap řešení, kde jsou upevňovací díly vytištěny z plastového materiálu pomocí jiné tiskárny, zde byly individuálně navrženy a vyfrézovány díly z hliníku. Tato volba byla sice pracnější, ale zaručuje větší tuhost celé soustavy. Vše je navrženo tak, aby případné nepřesnosti šlo doladit finální montáží. Uchycení vodících tyčí pro osu Y není nikterak složité. Tvoří ji čtyři hranoly s vyvrtanými otvory jak pro lineární vedení, tak pro šrouby, pomocí kterých se uchytí do konstrukce tiskárny.



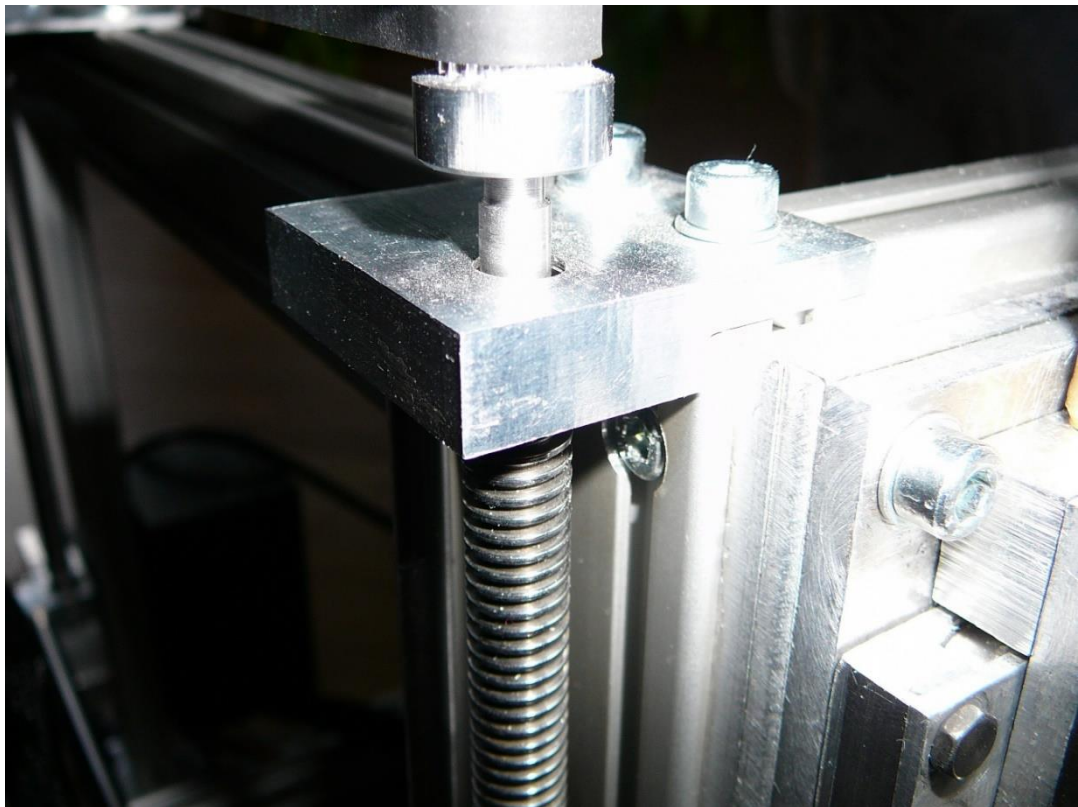
Obr. 23 Upevnění lineárních tyčí ke konstrukci rámu pro osu Y

Pro upevnění lineárních tyčí osy X byly navrženy dvě stejné speciální součásti. Ty nejenže umožňují jejich upevnění, ale také jsou domečkem pro ložiskové pouzdra osy Z. Následně do nich byly nalisovány trapézové matice, které zajišťují pohyb ve vertikálním Z směru. Dále součásti slouží jako držák krokového motoru, koncového spínače a kladky pro ozubený řemen.

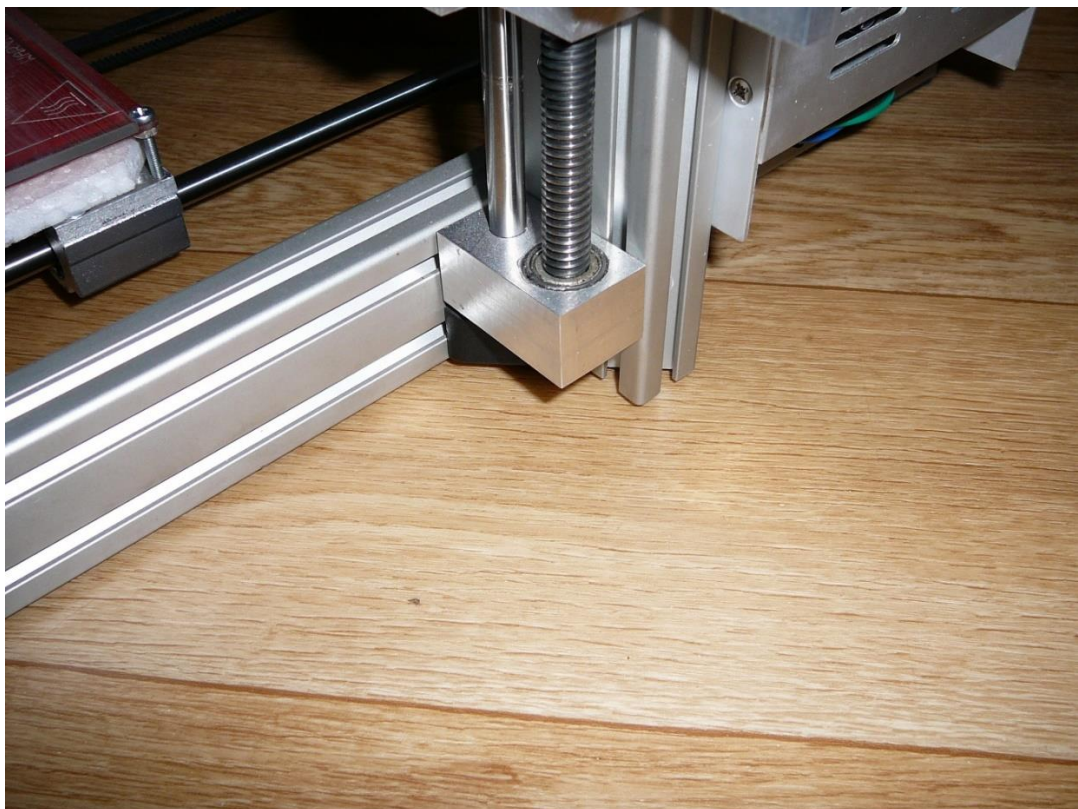


Obr. 24 Součást pro upevnění osy X – zároveň domeček pro lineární ložisko a trapézovou matici pro pohyb osy ve vertikálním směru

Vedení pro Z osu je řešeno pomocí hliníkových bloků. Ty v sobě mají vytvořeny díry na upevnění tyčí a taky otvory pro valivá kuličková ložiska, ve kterých jsou usazeny trapézové závitové tyče.



Obr. 25 Upevnění lineární tyče osy Z a trapézového šroubu v horní části rámu



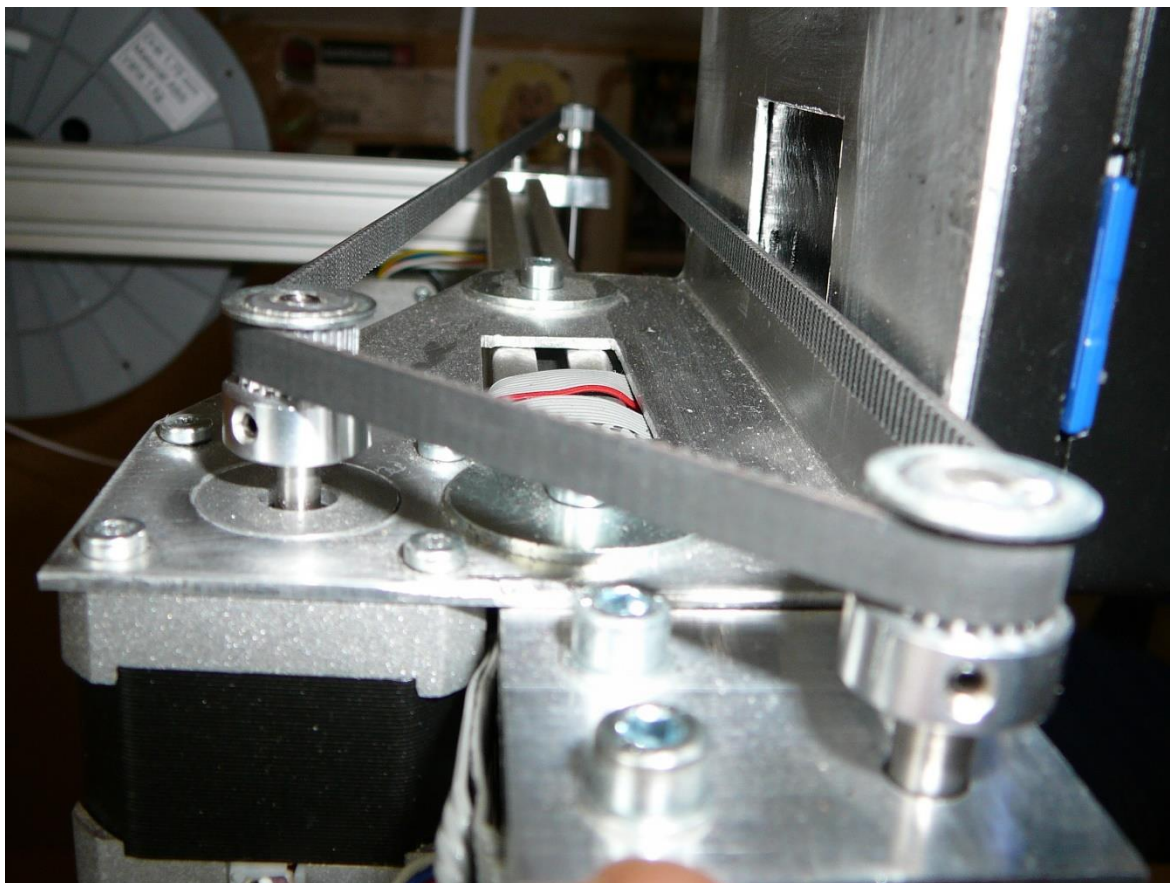
Obr. 26 Upevnění lineární tyče osy Z a trapézového šroubu ve spodní části rámu

4.2.3 Pohyb os

Pro pohyb v ose X a Y byly zvoleny ozubené řemeny. Toto řešení je vhodné z hlediska posuvu, kde na rozdíl od pohybových šroubů, lze dosáhnout vyšších posuvových rychlostí. Tyto rychlosti hrají velkou roli v celkovém čase tisku. U této volby byl brán ohled také na přesnost, a proto byl zvolen řemen o co nejmenší rozteči zubů T2. Řemeny jsou poháněny ozubenými řemenicemi a ty jsou napřímo přichyceny k osám krokových motorů. Opět u nich byl zohledněn požadavek na co nejmenší počet zubů (malý průměr), aby se souřadnicový pohyb co nejvíce zjemnil a zpřesnil. Nejmenší ozubené řemenice, které se podařilo zakoupit, byly s počtem šestnácti zubů.

Pro osu Z nebyl kladen nárok na vysoké posuvové rychlosti, ale bylo nutné zajistit přesný pohyb, kde musí být zaručen zdvih pouze v řádech setin milimetru. Je tomu tak proto, že postupně vrstvený model, který se skládá ze stovek vrstev, musí mít jednak finální požadovaný rozměr, ale hlavně i nanášený materiál by měl mít stejnou a neměnnou vzdálenost trysky od vznikajícího dílu. Proto byly do konstrukce navrženy pohybové trapézové šrouby. Z hlediska ceny jsou levnější, než-li šrouby kuličkové, ale dražší než obyčejné tyče s metrickým závitem. Ty se používají u většiny tiskáren RepRap, nejsou povrchově kaleny a na rozdíl od trapézových závitů ani uzpůsobeny z hlediska technologie k pohybu os strojů. Průměr šroubu byl vybrán dle nejmenší tabulkové hodnoty 10 mm a o stoupání 2 mm. Na soustruhu byla na jejich koncích vytvořena osazení pro ložiska a řemenice.

Inovací byla taky zvolená metoda pohonu těchto šroubů. Většina takovýchto tiskáren používá na každý šroub jeden krokový motor. To se projeví jednak na ceně, ale hlavně na pozdějším rozkalibrování tiskárny. Každý krokový motor bez encoderu má totiž při zapnutí tendenci cuknout. To znamená, že pokud dojde k takovéto situaci a každý motor se byť jen v malé odchylce pootočí na jinou stranu, tak v důsledku častého zapínání a vypínání poté dojde k výškovému rozladění na jedné a druhé straně konstrukce vzhledem k tiskové podložce. Řešením je propojení šroubů přes jeden ozubený řemen, který je poháněn jedním krokovým motorem.



Obr. 27 Pohon osy Z – pohyb jedním krokovým motorem pomocí ozubeného řemenu

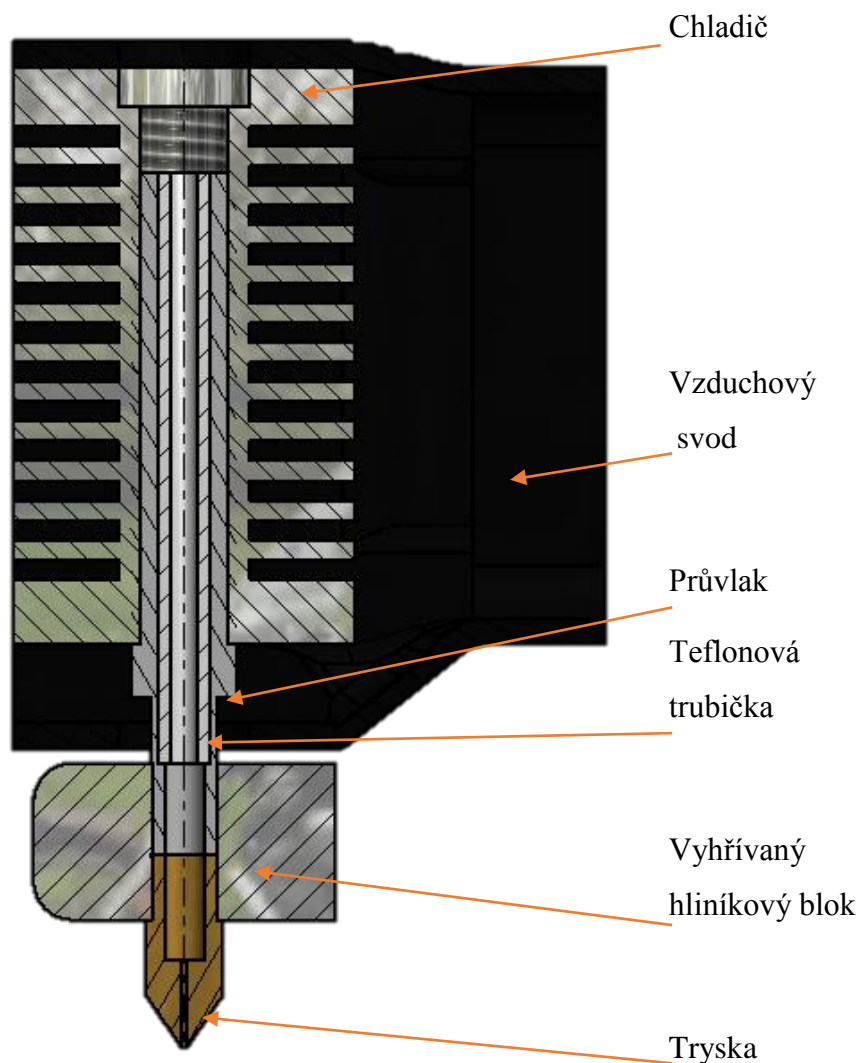
4.2.4 Konstrukce tiskové hlavy

Nejdůležitější součástí celého zařízení je tisková hlava. Ta má za funkci natavovat vtlačovaný materiál a následně jej pomocí trysky nanášet na vznikající model. U konstrukce se musel brát ohled na výrazné oddělení horké a studené části, aby nedocházelo k natavování již ve vstupu, kudy je plastová struna dopravována. Proto byl ze závitové tyče M8 vyroben průvlek s vnitřním otvorem 4 mm. Do tohoto otvoru byla umístěna teflonová trubička s vnějším průměrem 4 mm a vnitřním průměrem 2 mm. Ta odolává teplotám, které je nutno dosáhnout při tisku, a díky vhodným kluzným vlastnostem je ideální pro pohyb plastového drátu. Na tento průvlek je našroubován chladič a topná hliníková kostka. V místě oddělení chladiče od topného bloku je navíc vyroben na průvleku zápich, aby byla zmenšena teplotní výměna materiálem.

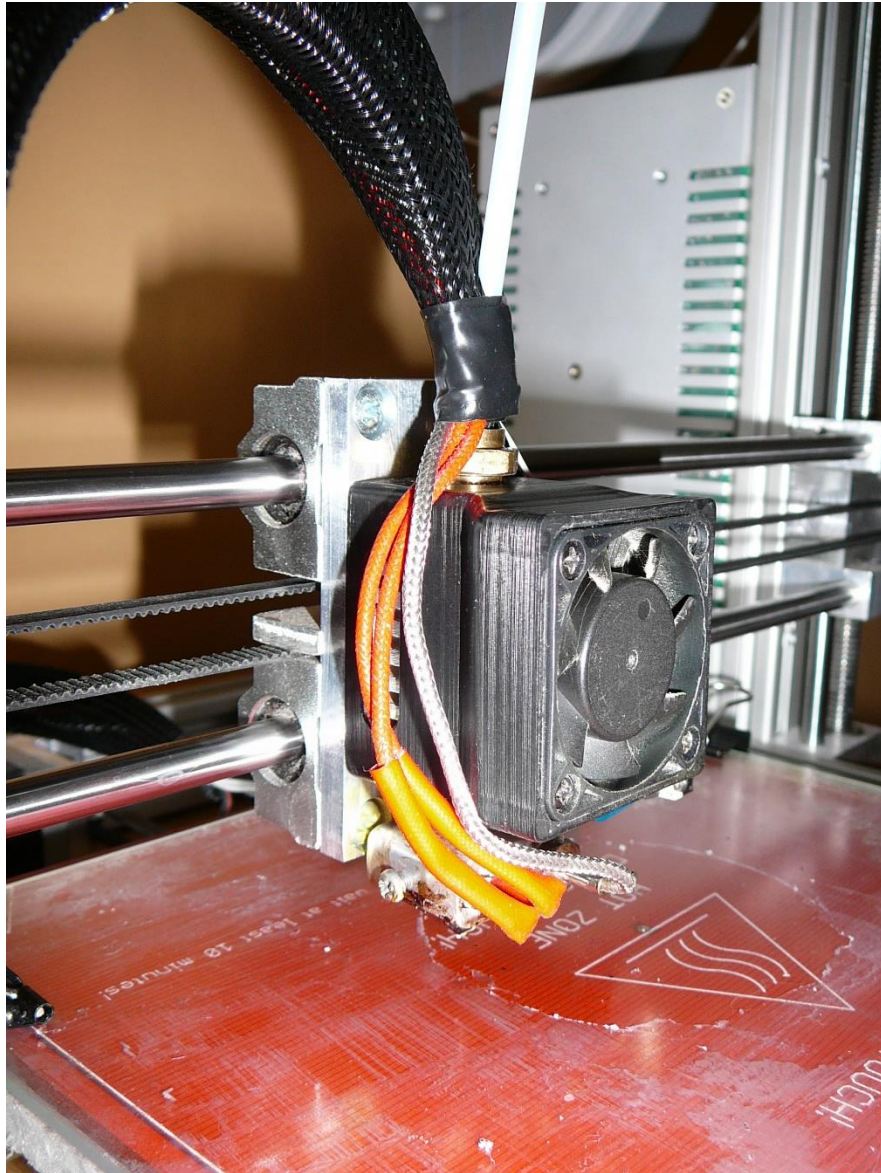
Chladič hlavy byl zhotoven z hliníkového bloku, do kterého se vyvrtal otvor a následně vytvořil závit M8. Jednotlivé chladičí drážky do něj byly vyřezány pomocí kotoučové frézy.

Do topného bloku byly vyvrtány otvory jak pro topné tělísko, tak i pro umístění termočlánku. Taky byl zhotoven otvor pro zašroubování průvlaku a mosazné trysky, která je vyměnitelná. Předpokládané průměry trysek používané u tohoto zařízení jsou od 0.2 do 0.5 mm.

Na celou tiskovou hlavu byl později pomocí této tiskárny vytisknut vzduchový svod, do kterého je umístěn ventilátor a celý je nasazen na chladič. Tímto způsobem je zvýšen ještě lepší odvod tepla. Hlava je následně přišroubována k pojezdové desce osy X, která je osazena dvěma lineárními ložisky s domečkem a přichycena k ozubenému řemenu.



Obr. 28 Průřez počítačového modelu tiskové hlavy

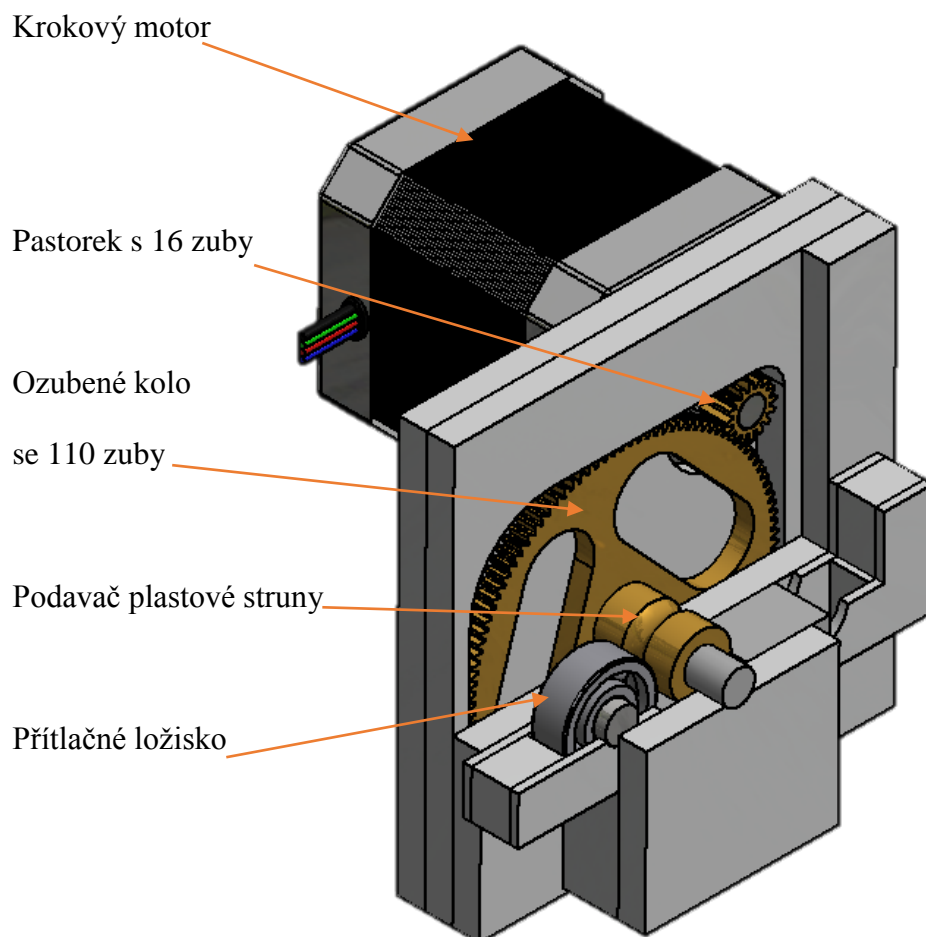


Obr. 29 Finální podoba tiskové hlavy

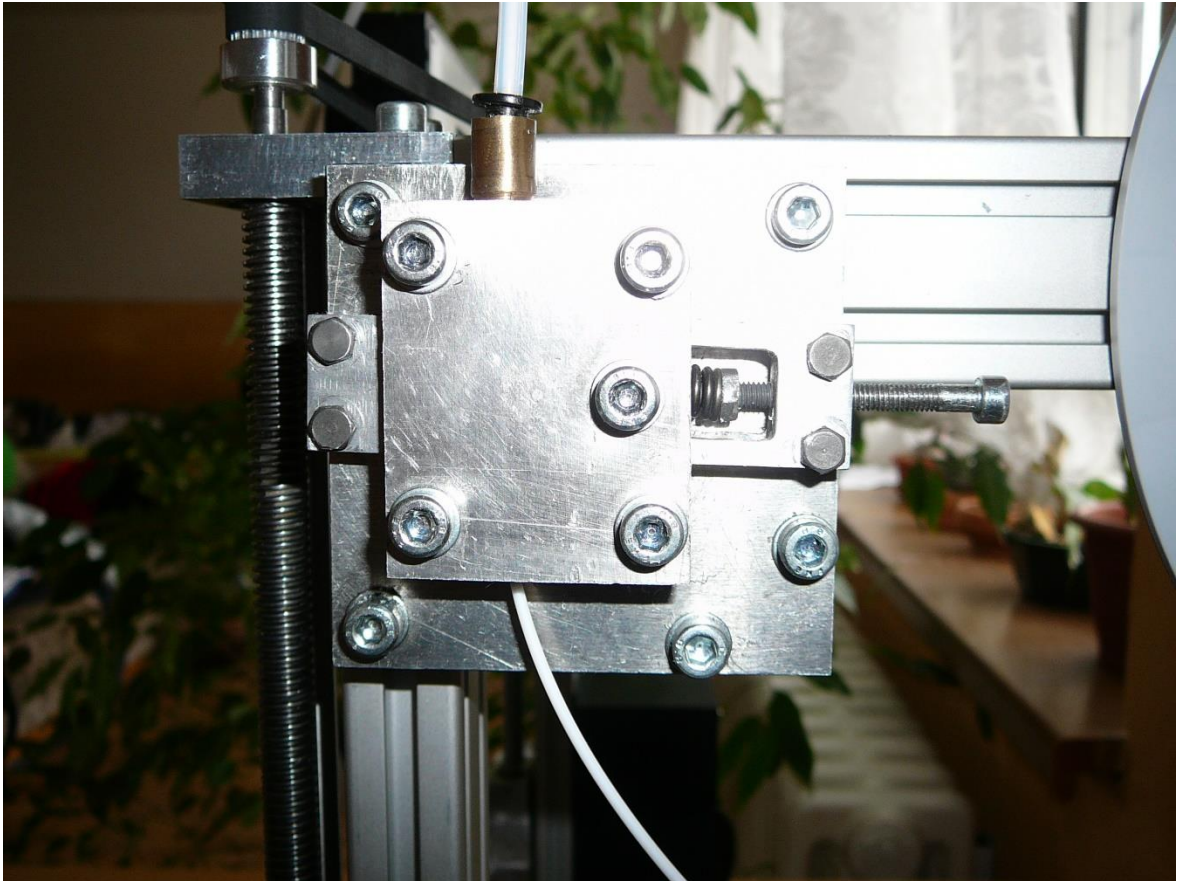
4.2.5 Konstrukce extruderu

Extruder byl zvolen bouddenový. To znamená, že je umístěn na konstrukci tiskárny a plastová struna je dopravována do tiskové hlavy pomocí teflonové trubičky. Touto metodou je tisková hlava odlehčena od krokového motoru a mechanismu posuvu, a proto je schopna dosáhnout rychlejších a přesnějších pohybů. Toto řešení je ovšem komplikovanější v softwarovém nastavování, jelikož v bouddenu vzniká pnutí a software s tímto problémem musí počítat. Extruder je vytvořen seskládáním jednotlivých hliníkových plechů požadovaných rozměrů a otvorů, do kterých je zakomponován převod, aby byla zajištěna dostatečná posuvová síla plastové struny. Tvoří ji ozubený pastorek na krokovém motoru s 16 zuby a velké ozubené kolo se 110 zuby. Výsledný převod je tedy 1:6,875. Na velkém kole je připevněn

válcový podavač, na kterém jsou pomocí závitníku vytvořeny drážky. Ty zvyšují tření. Celá struna je pak k tomuto podavači přitlačována ložiskem přes pružinový mechanismus, u kterého jde pomocí šroubu nastavovat síla přitlaku.



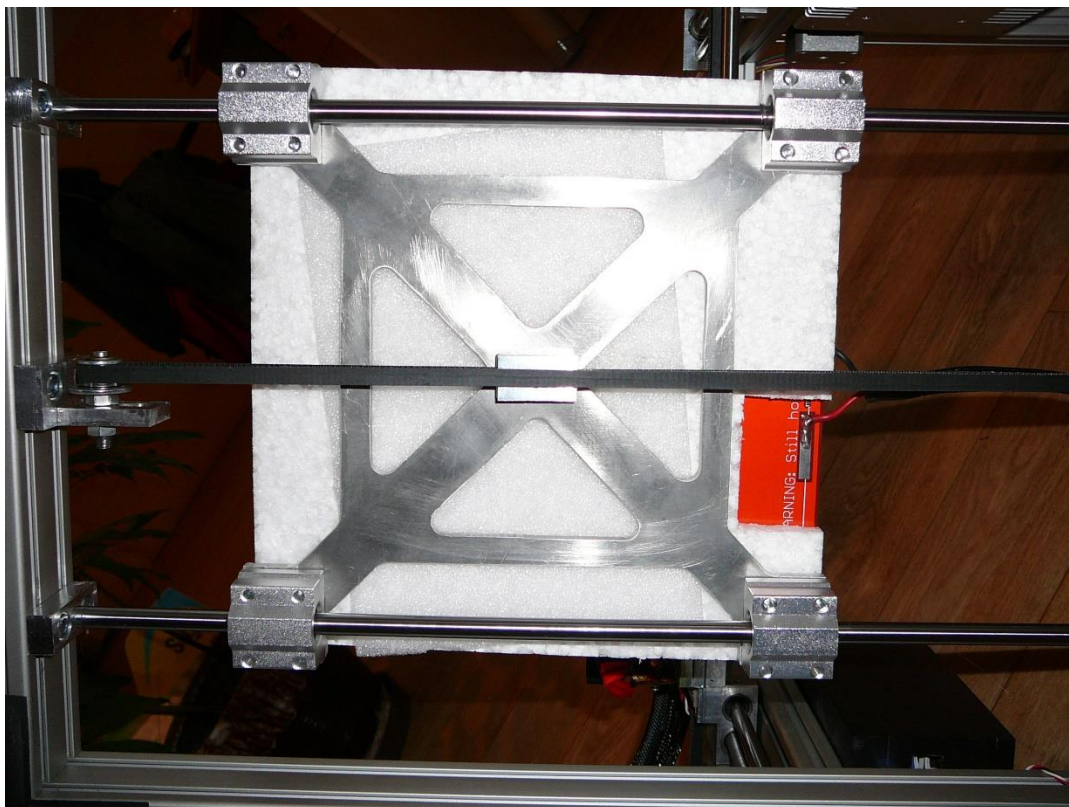
Obr. 30 Částečný řez počítačového modelu extruderu



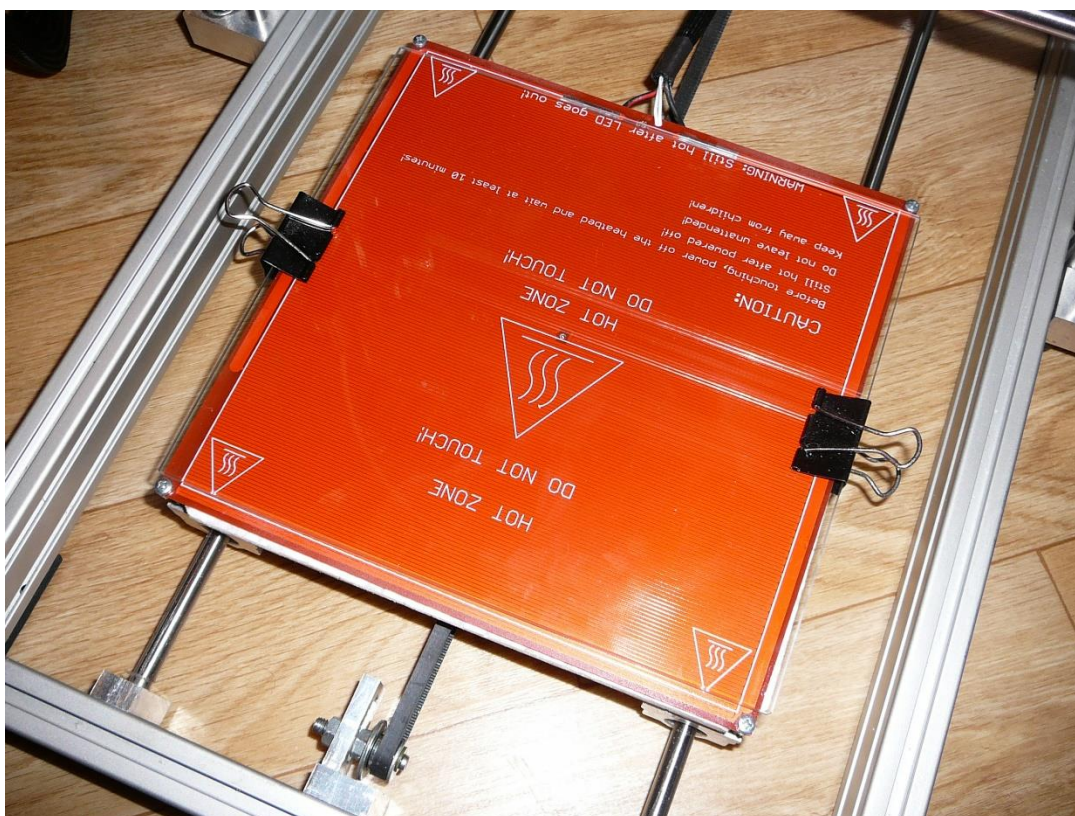
Obr. 31 Kompetně sestavený extruder

4.2.6 Pojízdny stolec osy Y

Tato součást slouží k uchycení vyhřívané desky, na které se vytváří tištěný díl. Při jeho výrobě byl kladen důraz na co nejmenší hmotnost, aby se zmenšily setrvačné síly. Je vyroben z hliníkového plechu o tloušťce 5 mm a odlehčen vybráním nepotřebného materiálu. Na takto vyhotovenou součást jsou přišroubovány 4 lineární ložiska s domečkem a upevněn ozubený řemen. Vyhřívaná deska je přichycena k tomuto vozíku čtyřmi šrouby a ve spodní části je izolována polystyrenovou deskou, kvůli rychlejšímu ohřevu na požadovanou teplotu. Na celou tuto sestavu je položeno běžné sklo o tloušťce 4 mm, které zaručuje dokonalou rovinnost celého stolku při tisku. Sklo k vyhřívané části je přichyceno pomocí kancelářských klipů.



Obr. 32 Pojízdný stolek osy Y



Obr. 33 Vyhříváná podložka s přichyceným sklem

4.2.7 Držák cívky tiskového materiálu

Ze zbytku materiálu hliníkového profilu byl zhotoven jednoduchý držák pro cívku s plastovou strunou. Na konci profilu je zašroubován šroub, na který byla pomocí tiskárny vytištěna válcová středící součást. Na tu jde zakoupená cívka s materiálem nasunout a při tisku se po této ose může snadno samovolně odvíjet. Celý držák je upevněn ke konstrukci rámu tiskárny.

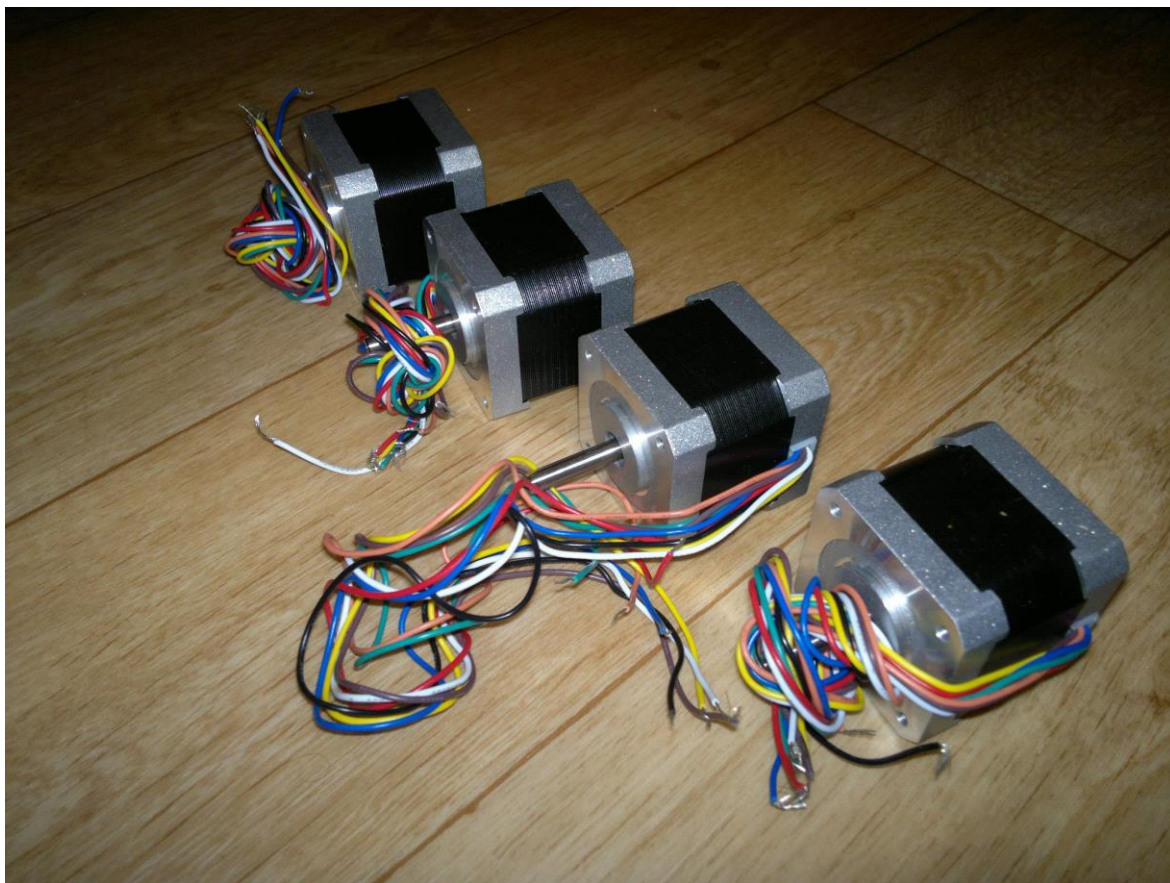


Obr. 34 Držák cívky s již nasazenou špulkou bílého materiálu ABS

4.3 Volba řídicí elektroniky

4.3.1 Krokové motory

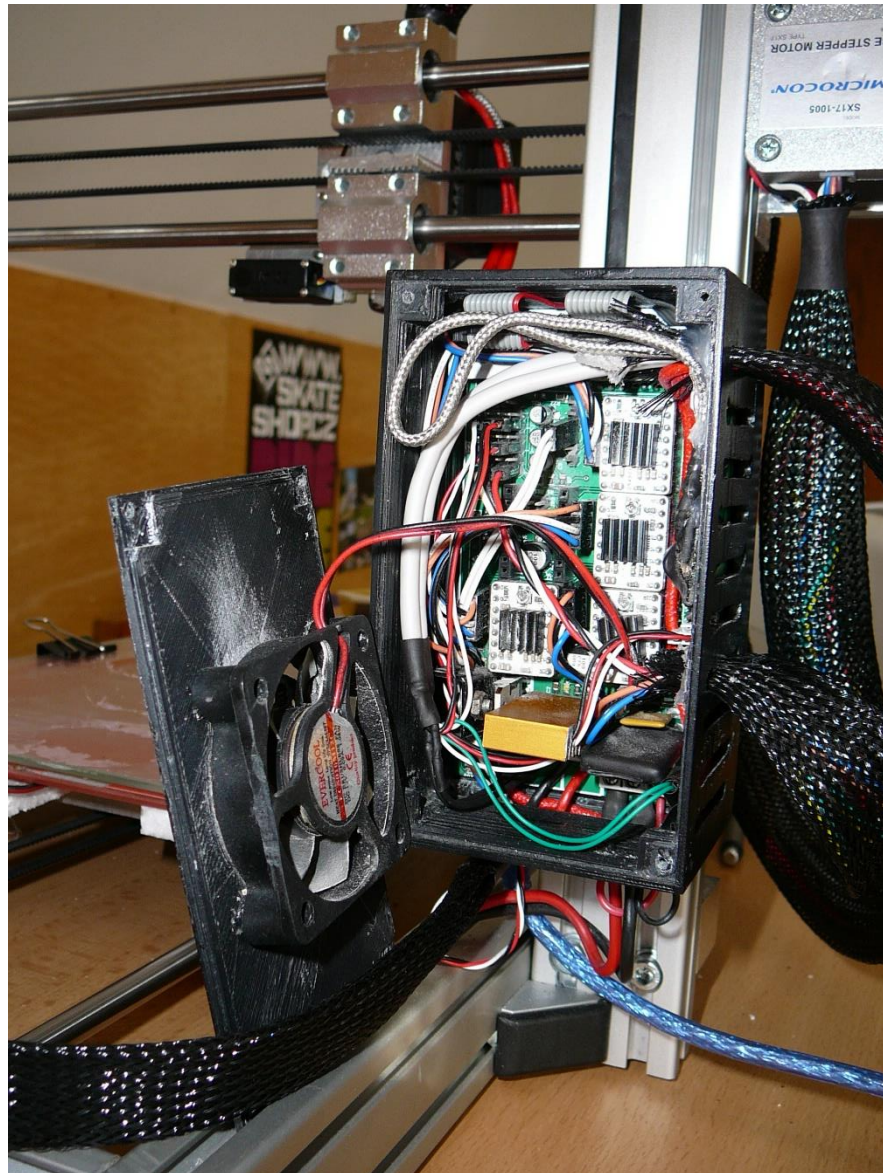
Krokové motory s označením SX17-1005 s přírubou Nema 17 k pohonu os a extruderu byly zvoleny od českého výrobce Microcon. Krouticí moment je udávám 0,5 Nm a velikost jednoho kroku činí 1,8°. Zapojení vinutí těchto motorů je bipolární do paralelní větve a proudový odběr je udáván mezi 1-2 A. Ke komponentům tiskárny jsou standardně přichyceny pomocí 4 šroubů.



Obr. 35 Krokové motory SX17-1005 od firmy MICROCON

4.3.2 Řídící deska

Pro tuto tiskárnu byla zakoupena řídící deska tvořená mikropočítačem Arduino Mega 2560 o celkové paměti 256kB. Do tohoto čipu byl nahrán zdarma dostupný firmware Marlin, hojně používaný pro projekt RepRap, ve kterém byly nastaveny individuální parametry přímo na toto zařízení. Na desku je připojena přes pinové konektory rozvodová deska Ramps 1.4 se zesílenými proudovými pojistkami a lepších chladičem spínacího tranzistoru, který slouží k zapínání a vypínání vyhřívané podložky. Drivery krokových motorů jsou použity čtyři Pololu A4988 a jsou všechny zapojeny na mikro krokování 1/16. To znamená, že každý krokový motor je rozdělen na 3200 kroků při jedné otáčce. Díky těmto krokům lze teoreticky počítat s přesností 0,01mm pro osu X a Y a 0,000625 mm pro osu Z. Celá tato elektronika je vložena do plastového boxu, který byl vytištěn opět pomocí této tiskárny a je osazen navíc ventilátorem, který ochlazuje jak chladič tranzistoru, tak i chladiče driverů krokových motorů.



Obr. 36 Umístěná řídicí deska do plastového boxu zhotoveného pomocí této tiskárny

4.3.3 Ostatní elektronické prvky

Celá tiskárna je napájena stabilizovaným průmyslovým 12 V zdrojem o výkonu 350 W, který je schopen dodávat proud až 30 A. Ten je přišroubován na rám konstrukce a zařízení je tedy celé kompaktní a mobilní. Největší podíl na odběru proudu tvoří vyhřívaná podložka, která při zahřívání má proudový odběr až 17 A. Její teplota se určuje dle použitého materiálu pro tisk. Například pro materiál ABS je to 110°C a pro PLA 60°C. Tato teplota je snímána pomocí termistoru, který je zapojen do řídicí desky.

Tisková hlava je vyhřívána topným tělískem s výkonem 40 W. To je schopné vyvinout až 300°C a je tedy dostačující pro běžně používané materiály, aby došlo k jejich natavení. Teplota hlavy je snímána pomocí termočlánku, který je odolný vůči takto vysokým teplotám. Kompatibilita termočlánku s řídicí deskou je zajištěna přes vyrobený termočlánekový modul (převodník), který zpracovává a zesiluje vstupní hodnoty termočlánku.

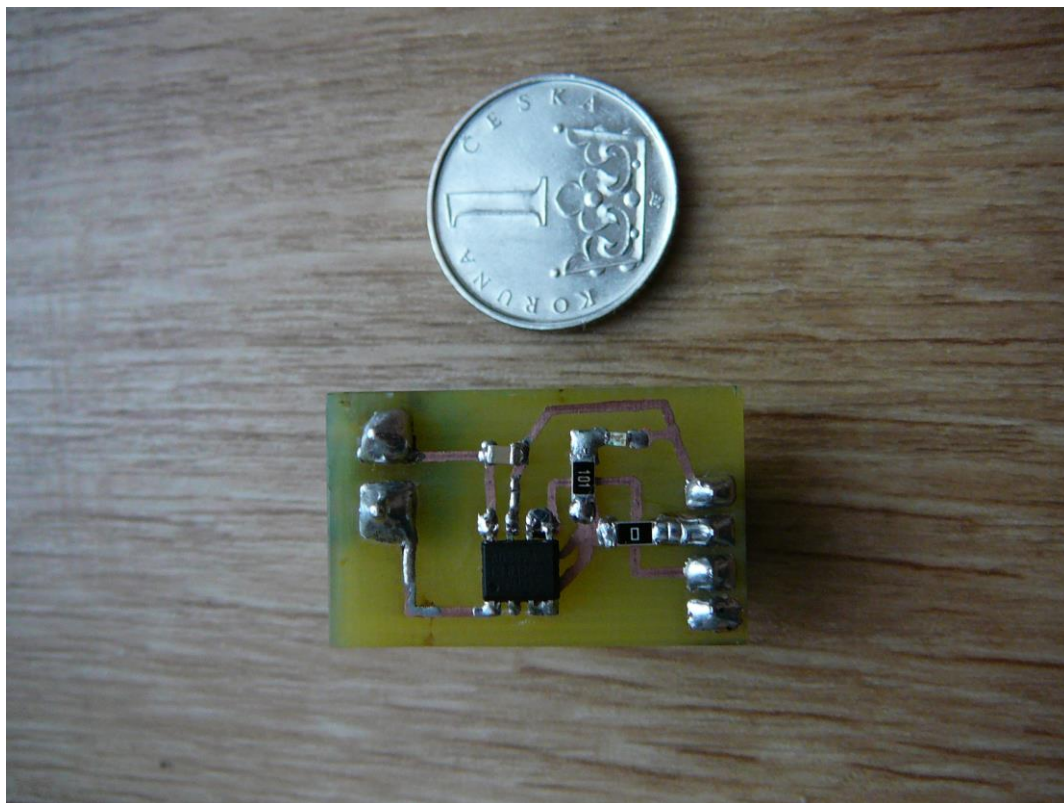
Dále je tiskárna osazena elektronickými spínačovými dorazy, které mají za funkci určovat nulové polohy jednotlivých os stroje.

Výstup všech dat, tj. polohy jednotlivých os, teplot, času tisku a procentu již zhotovené části z celku je odesíláno na LCD display, u něhož je opět vyrobeno krytování pomocí vytištěných dílů. Ten také umožňuje ovládání tiskárny a tisku z paměťové karty bez nutnosti připojení k počítači.

Celková kabeláž je ukryta do konstrukce rámu a vedení kabelů k pohyblivým součástím do nylonové ochranné bužírky.



Obr. 37 Průmyslový 12V zdroj o výkonu 350W



Obr. 38 Vyrobený termočláňkový modul tvořený pomocí integrovaného obvodu AD597



Obr. 39 LCD display

5 CELKOVÁ KALKULACE

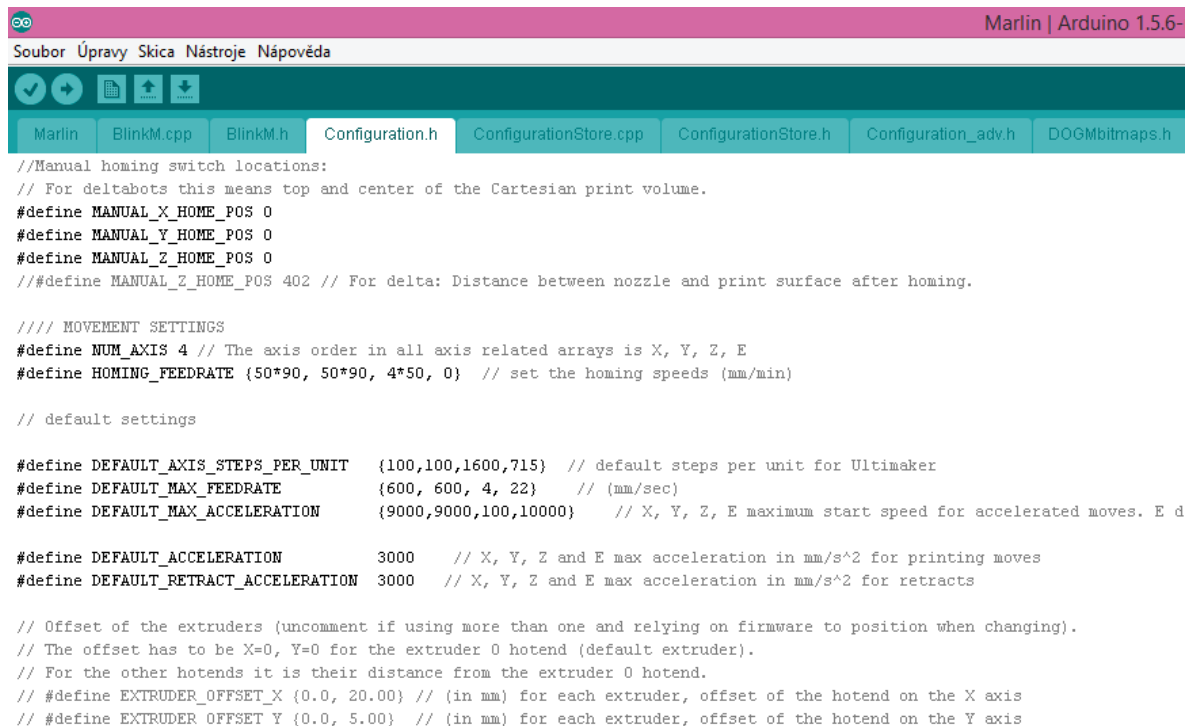
Při celkovém pohledu na výslednou hodnotu celého zařízení lze říci, že mezi nejdražší prvky tiskárny patřila jednoznačně řídicí elektronika. Ta byla zakoupena z internetového obchodu v Číně. Krokové motory a mechanické části konstrukce byly pořízeny v České republice. Jednotlivé upevňovací hliníkové součásti byly vyrobeny ze zbytků hliníkového hutního materiálu, který byl zdarma k dispozici. Vzhledem k tomu, že se jednalo o domácí výrobu a všechny pracovní a výrobní náklady na celkové zhotovení tiskárny nemusí být započítávány, můžeme kalkulovat pouze s těmito hodnotami jednotlivých potřebných komponent (viz Tab. 3).

Tab. 3 Celková kalkulace jednotlivých komponent zařízení

Hliníkové profily + spojovací komponenty	1555 Kč
Lineární vedení, ložiska a mechanické díly	2300 Kč
Krokové motory	1085 Kč
Řídicí jednotka a elektronika tiskárny	3680 Kč
Zdroj	600 Kč
Ostatní komponenty	427 Kč
Celkem	9647 Kč

6 UKÁZKA SOFTWAREVÉHO PROSTŘEDÍ

Jak už bylo zmíněno, tak 3D tiskárnu ovládá řídicí firmware Marlin. Jedná se programovací jazyk Arduino, který je založený na jazyku Wiring. K nastavování jednotlivých parametrů je potřeba nastudování základních informací, bez kterých by toto zařízení nemohlo správně fungovat. Nastavuje se zde například počet kroků na 1 mm, rozsah teplot, použitá elektronika atd.



```
//Manual homing switch locations:
// For deltabots this means top and center of the Cartesian print volume.
#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
#define MANUAL_Z_HOME_POS 0
//#define MANUAL_Z_HOME_POS 402 // For delta: Distance between nozzle and print surface after homing.

//// MOVEMENT SETTINGS
#define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E
#define HOMING_FEEDRATE {50*90, 50*90, 4*50, 0} // set the homing speeds (mm/min)

// default settings

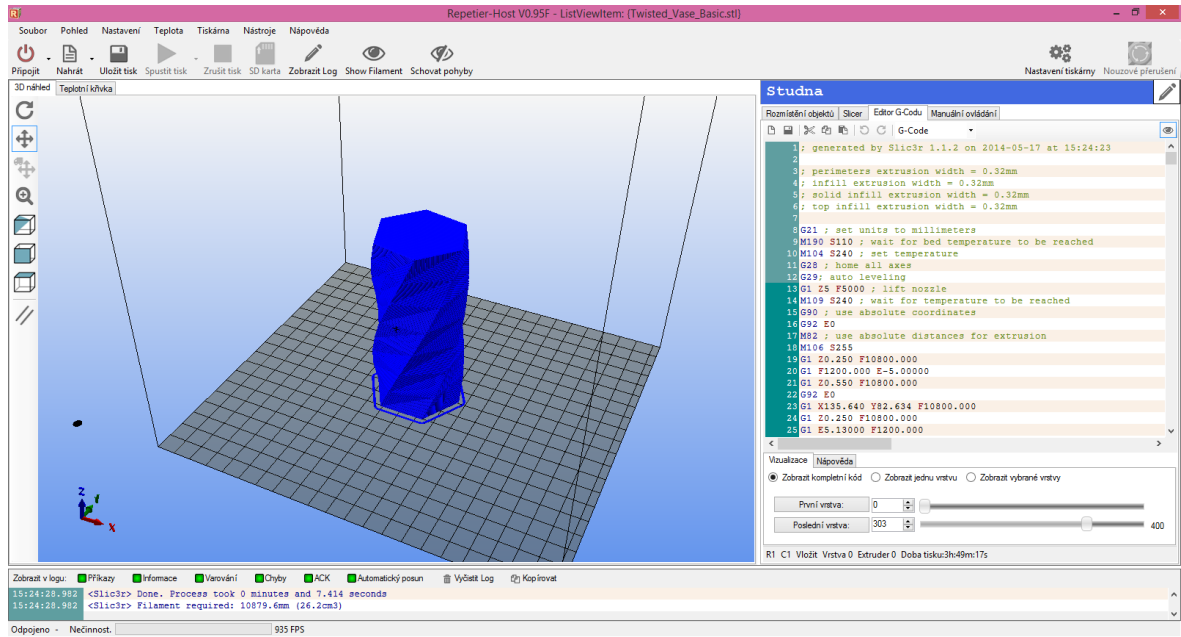
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {100,100,1600,715} // default steps per unit for Ultimaker
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {600, 600, 4, 22} // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {9000,9000,100,10000} // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves. E d

#define DEFAULT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts

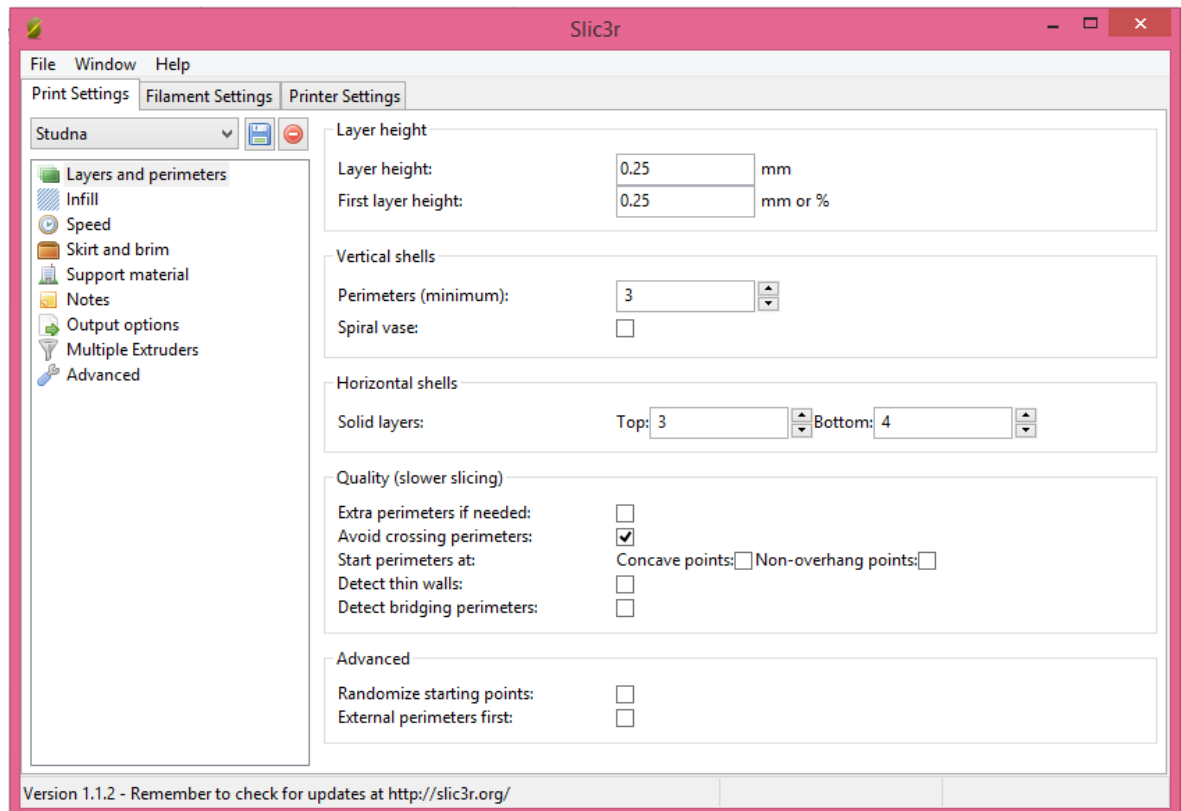
// Offset of the extruders (uncomment if using more than one and relying on firmware to position when changing).
// The offset has to be X=0, Y=0 for the extruder 0 hotend (default extruder).
// For the other hotends it is their distance from the extruder 0 hotend.
// #define EXTRUDER_OFFSET_X {0.0, 20.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the X axis
// #define EXTRUDER_OFFSET_Y {0.0, 5.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the Y axis
```

Obr. 40 Konfigurace firmwaru Marlin

Dalším softwarem, který vykresluje model v jednotlivých vrstvách a také umožňuje ovládání tiskárny přes USB kabel, byl zvolen Repetier Host. Jedná se o volně dostupnou aplikaci, která se hojně využívá u RepRap tiskáren. Tento program podporuje slicovací programy Slic3r a Skeinforge. Ty mají za úkol přepočítat model na jednotlivé vrstvy a vygenerovat řídicí g-kód. Skeinforge je poněkud složitější aplikací s mnoha možnostmi podrobného nastavení tisku, a tak je pro tisk využíván Slic3r, u kterého je snadnější konfigurace i příjemnější uživatelské prostředí.



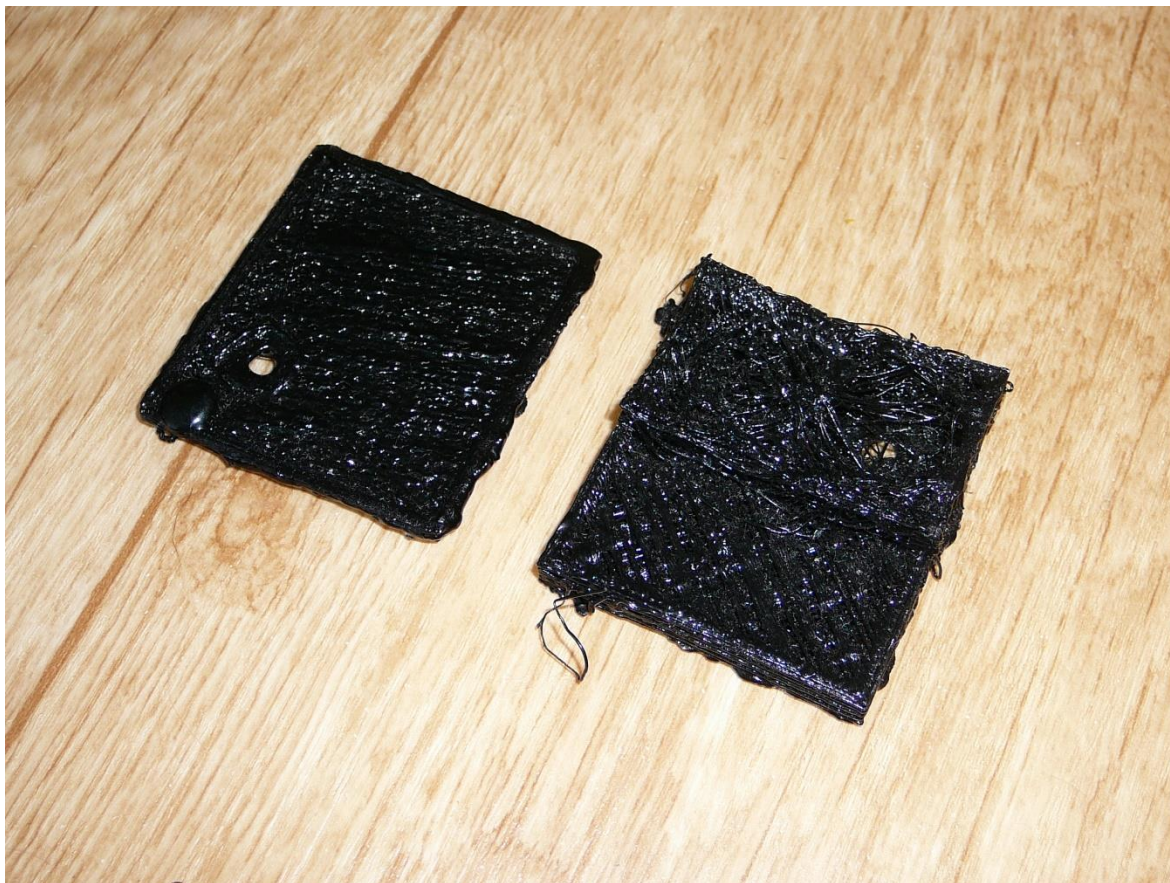
Obr. 41 Softwarové prostředí Repetier Host



Obr. 42 Softwarové prostředí Slic3r

7 POROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH VLASTNOSTÍ VYROBENÝCH SOUČÁSTÍ

Mechanické vlastnosti vytištěných dílů na tiskárně nejsou jednoznačně určité a jsou vždy odlišné z hlediska orientace působících sil. Vše se odvíjí zejména na použitém tiskovém materiálu. Správnost návrhu a softwarovém nastavení hraje ovšem také obzvláště velkou roli, např. výška vrstvy, směr a hustota nanášených vláken apod. Tyto stejné podmínky platí i u vlastností vzhledových. Například při prvních pokusech tisku vznikaly nevzhledné objekty, které se vlastní vahou bortily a nedržely ani svůj navržený tvar. Vše bylo způsobeno právě špatným nastavením řídicího programu. (viz obr. 38).



Obr. 43 První vytištěné součásti - způsobeno špatným softwarovým nastavením

Pro praktické zhodnocení a porovnání kvality tištěných součástí byl na komerčním školním zařízení a i na této tiskárně vyroben stejný prototyp. Komerční 3D tiskárna pracuje na totožném principu, ovšem její cena se pohybuje okolo 1 milionu korun českých.

Doba tisku na obou zařízeních byla téměř shodná. Jednalo se zhruba o 2,5 hodinový proces, kde objem součásti je vyplněn pouze mřížkovým žebrováním a výška jednotlivé vrstvy je

dána 0.25 mm. Výsledný tvar a vzhled je velmi podobný, rozměrově takřka stejný. Jedinou vadou výrobku vyrobeného pomocí této zkonstruované tiskárny, je vznik mírně nerovného povrchu na vyráběných dílech. Je to způsobeno právě ještě nedokonalým softwarovým nastavením, ale lze předpokládat, že tento problém bude postupem času odstraněn.



Obr. 44 Vytisknuté dílce k porovnání kvality tisku – vlevo součást vytvořena na komerčním zařízení, vpravo na vyrobené tiskárně

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při celkovém pohledu na celou stavbu tohoto zařízení lze říci, že již před samostatným návrhem konstrukce muselo být předem nastudováno mnoho informací. Bez nich by nebylo možné 3D tiskárnu sestavit. V této práci je většina úprav zařízení již aktuální, ale při konstrukčním řešení byly jednotlivé komponenty několikrát překreslovány a upravovány, dle požadovaných rozměrů celého zařízení. Také byly dokoupeny novější části konstrukce, které se předtím nepodařilo sehnat. Následně při výrobě docházelo k mnoha problémům z hlediska obrábění materiálu a přesnosti komponent, nejvíce u sousosti ložisek a lineárních tyčí.

Další konstrukční vadou byla tisková hlava. Ta musela být několikrát modifikována, protože v ní docházelo k zasekávání plastové struny a v důsledku toho materiál nebyl vytlačován, přehříval se a ucpával trysku hlavy.

Při volbě bodenového extruderu byla použita nejdříve snadno dostupná polyamidová trubička, ale jak se později ukázalo, její kluzné vlastnosti nebyly dostačující, a proto byla nahrazena teflonovou. Také u extruderu bylo zjemněno ozubení na válcovém podavači, aby nedocházelo k vytrhávání materiálu z plastové struny.

Diskutovat lze o pozdějším rozšíření tiskárny o další tiskovou hlavu, kde by bylo umožněno tisku podpor z jiného materiálu, který by se snadněji odstraňoval z vytištěných objektů.

I když se práce zabývá zejména pouze konstrukčním řešením, nelze opominout nastavení softwaru a elektroniky. Zde vznikaly např. problémy u měření teploty termočlánkem, kde sestavený převodník musel být navíc osazen kondenzátorem. Ten nebyl v původním elektronickém schématu zakreslen.

Na začátku byl tisk nevzhledný a pevnost dílců byla velmi malá. Proto musely být některé hodnoty v softwaru vícekrát nastavovány, někdy i pouze odhadem. Zde vzniká velký rozdíl mezi komerčními tiskárnami, u nichž je již vše kompatibilní a většinou tisk zvládne i běžný uživatel bez značných znalostí z oblasti strojírenství a elektrotechniky.

Cena je ovšem mnohonásobně vyšší. Kompletně sestavené zařízení typu RepRap, kde je nutné softwarové nastavování, začíná na ceně okolo 15 000 Kč. U tiskárny dodávané i s přesně nastaveným softwarem na ceně 40 000 Kč a dále se pak cena u komerčních strojů odvíjí dle přesnosti, velikosti prostoru pro tisk, značky a rozhraní stroje.

Také zde vzniká časová náročnost, při které se dá říci, že výroba konstrukce zabere pouze polovinu z celkového času, kdy je tiskárna schopna bez problému pracovat. Druhou polovinu tvoří právě zmiňovaná softwarová problematika.

Dále lze diskutovat o kvalitě vytištěných součástí. Ta na tomto zhotoveném zařízení může částečně konkurovat i výrobkům z tiskáren, na kterých při vývoji pracuje mnoho odborníků. Také u tohoto zařízení můžou být testovány nové materiály pro tisk, jako je například PLA, na rozdíl od komerčních strojů, kde musí být do zařízení dodávány materiály přesně definované výrobcem. Ten si proto může udržet celkem vysokou cenu těchto plastů. Finanční rozdíl se pohybuje v řádech několika tisíc korun a samozřejmě se od toho odvíjí cena vytištěných dílců.

3D tiskárna nemá ovšem široké použití, pokud chybí znalost CAD softwaru. Mnoho počítačových modelů lze stáhnout na internetu, ale pokud chceme vytvářet prototypové dílce, je nutné nejdříve 3D model virtuálně nakreslit.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo nastudování problematiky týkající se 3D tisku. V teoretické části byly zmíněny technologie, které se v současné době využívají a taky byl zde představen projekt RepRap. Praktická část, která se zabývala především vlastním návrhem konstrukce a jejím zhotovením, nám přinesla mnoho zkušeností nejen v celém konstrukčním vyhotovení, kde byla řešena veškerá problematika mechaniky a principu funkce jednotlivých komponent tiskárny, ale také softwarovém nastavování a „oživování“ zařízení. Záměrem bylo vyhotovit tiskárnu, která je schopna vytvářet prototypové dílce v podobné kvalitě, jak je to u drahých komerčních strojů. Dále byl také kladen důraz na minimální výrobní náklady. Po zhruba půl roční práci byl tento předpoklad splněn a lze říci, že takovéto zařízení lze sestavit v domácích podmínkách do 10 000 Kč.

Na základě těchto získaných zkušeností, lze uvažovat o další konstrukci zařízení větších rozměrů, které bude sice nákladnější na stavbu, ale bude schopno tisknout větší prototypové dílce za poměrně velmi nízkou cenu. To můžou ocenit jak velké firmy, tak hlavně i menší podniky, které si nemůžou v současné době drahý komerční tisk dovolit. Také lze tyto zařízení využít pro studijní účely na středních a vysokých školách.

Závěrem je nutno říci, že další rozvoj této technologie má určitě v blízké budoucnosti velký potenciál.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] POKORNÝ, Přemysl. Rapid Prototyping. *Úspěch - produktivita a inovace v souvislostech*. 2011, č. 4 [online]. 25. 10. 2013. [cit. 8. 12. 2013]. Dostupné z: <http://e-api.cz/page/70638.rapid-prototyping/>.
- [2] CHUA, Chee Kai, Kah Fai LEONG a Chu Sing LIM. *Rapid prototyping: principles and applications*. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010, xxv, 512 p. ISBN 98-127-7897-7.
- [3] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění 9. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2008, č. 11 [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>.
- [4] O 3D tisku. *Svět 3D tisku* [online]. 2013 [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://svet-3d-tisku.cz/o-3d-tisku/>.
- [5] Stereolithography. *Custompart* [online]. 2008 [cit. 2013-01-03]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>.
- [6] Selective Laser Sintering. NAVRÁTIL, Robert. *Rapid Prototyping* [online]. 2000 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/main06.html>.
- [7] 3D tisk-metody. *14220* [online]. 2013 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>.
- [8] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění 10. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2008, č. 12 [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>.
- [9] PolyJet. *Materialise* [online]. 2014 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.materialise.cz/polyjet-prototypu>.

- [10] Optimalizace výroby prototypů při využití technologií rapid prototyping [online]. 2013 [cit. 2013-12-28]. ISSN 1337-7094. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/25-2013/pdf/208-213.pdf>.
- [11] Fused Deposition Modelling. *Materialise* [online]. 2014 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.materialise.cz/fused-deposition-modelling-fdm>.
- [12] SYSEL, Karel. *Návrh a zefektivnění parametrů FMD tisku* [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/7629/N%C3%A1vrh%20a%20zefektivn%C4%9Bn%C3%AD%20parametr%C5%AF%20FDM%20tisku.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Oskar Zemčík.
- [13] RepRap. *RepRap* [online]. 2013 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/RepRap>.
- [14] SEHNÁLEK, Stanislav a Tomáš URBÁNEK. 3D tiskárna na bázi projektu RepRap - 1. část. *Posterus* [online]. 2013, roč. 6, č. 8 [cit. 2014-01-5]. DOI: 1338-0087. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=16065&output=pdf>.
- [15] Lineární vedení. *Matis* [online]. 2013 [cit. 2013-11-15]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/cs/kategorie/linearni-vedeni>.
- [16] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991, 214 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0361-6.
- [17] ZEMČÍK, Oskar a Jan DVOŘÁČEK. ROZLOŽENÍ TEPLITNÍHO POLE V FDM TISKOVÉ HLAVĚ. In: *Consulting point* [online]. 2010 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://cp.forever.cz/en/node/67>.
- [18] BROŽ, Václav. Řemeny pro přímočarý pohyb. *Technika a trh*. Brno: CCB, 2008, č. 5.
- [19] MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. *Výrobní stroje a zařízení*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 264 s. ISBN 978-80-7318-596-1.

- [20] Princip - Krokový motor. *Pohonnatechnika.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-11-15]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>.
- [21] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace III: (senzory, jejich principy a funkce)*. Vyd. 2. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2005, 118 s. ISBN 80-731-8315-3.
- [22] Úvod do termočlánků. *Omegaeng.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>.
- [23] Technologie 2 - 1 díl. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. 2007 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf.
- [24] Ramps 1.4. *Robodoupě* [online]. 2012 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2012/ramps-1-4/>.
- [25] Pololu A4988 - modul pro řízení krokových motorů . *Robodoupě* [online]. 2013 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2013/pololu-a4988-modul-pro-řízení-krokovych-motoru/>.
- [27] *Custompart* [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.custompart-net.com/>
- [28] Solid Ground Curing. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_Ground_Curing.
- [29] *Stratasys* [online]. 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.objet.cz/materialy/materialy-fdm>.
- [30] *Midol* [online]. 2008 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.midol.cz/midol-cz/linearni-technika/>.
- [31] *Regulační pohony* [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.reglacni-pohony.cz/>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvojdimenzionální rozměr.
3D	Trojdimenzionální rozměr
ABS	Akrylonitril-butadien-styren.
BPM	Ballistic Particle Manufacturing.
CAD	Computer Aided Design.
CAM	Computer Aided Manufacturing.
CNC	Computer Numerical Control.
CPU	Central Processing Unit.
FDM	Fused Deposition Modeling.
FFF	Fused Filament Fabrication.
FST	Flame, Smoke, Toxicity
LCD	Liquid Crystal Display.
LOM	Laminated Object Manufacture.
MJM	Multi-Jet Modelling
PC	Polykarbonát.
PLA	Polylactic acid.
PPSF/PPSU	Polyphenylsulfone.
RAMPS	RepRap Arduino Mega Pololu Shield.
RepRap	Replicating Rapid Prototyper.
RP	Rapid Prototyping.
SGC	Solid Ground Curing.
SLA	Stereolitografie.
SLS	Selective Laser Sintering.
UV	Ultrafialové záření.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Metoda Stereolitografie [27]	14
Obr. 2 <i>Selective Laser Sintering</i> [27]	15
Obr. 3 <i>Metoda Laminated Object Manufacture</i> [27].....	16
Obr. 4 <i>Metoda Solid Ground Curing</i> [28]	17
Obr. 5 <i>Metoda PolyJet</i> [27]	18
Obr. 6 <i>Metoda Fused Deposition Modeling</i> [27]	20
Obr. 7 <i>Prusa Mendel</i> [13].....	23
Obr. 8 <i>Prusa i3</i> [13].....	24
Obr. 9 <i>Tiskový materiál</i> [13].....	24
Obr. 10 <i>Lineární vedení</i> [30].....	25
Obr. 11 <i>Tisková hlava</i> [13]	26
Obr. 12 <i>Krokové motory</i> [31]	27
Obr. 13 <i>Termistor</i>	28
Obr. 14 <i>Termočlánek</i>	28
Obr. 15 <i>Ramps 1.4</i> [24]	29
Obr. 16 <i>Pololu</i> [25].....	30
Obr. 17 <i>Stojanová vrtačka použitá jako frézka</i>	33
Obr. 18 <i>Počítačový model vytvořený pomocí programu Autodesk Inventor</i>	34
Obr. 19 <i>Průřez hliníkového stavebnicového profilu o rozměrech 20x40</i>	35
Obr. 20 <i>Postupné sestavování rámu tiskárny</i>	36
Obr. 21 <i>Spojení vertikální části rámu se spodním dílem pomocí úhelníků</i>	36
Obr. 22 <i>Pojezdová lineární kuličková ložiska – vpravo s domečkem</i> ,	37
Obr. 23 <i>Upevnění lineárních tyčí ke konstrukci rámu pro osu Y</i>	38
Obr. 24 <i>Součást pro upevnění osy X – zároveň domeček pro lineární ložisko a trapézovou matici pro pohyb osy ve vertikálním směru</i>	39
Obr. 25 <i>Upevnění lineární tyče osy Z a trapézového šroubu v horní části rámu</i>	40
Obr. 26 <i>Upevnění lineární tyče osy Z a trapézového šroubu ve spodní části rámu</i> ..	40
Obr. 27 <i>Pohon osy Z – pohyb jedním krokovým motorem pomocí ozubeného řemenu</i>	42
Obr. 28 <i>Průřez počítačového modelu tiskové hlavy</i>	43
Obr. 29 <i>Finální podoba tiskové hlavy</i>	44
Obr. 30 <i>Částečný řez počítačového modelu extruderu</i>	45

<i>Obr. 31 Kompetně sestavený extruder</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 32 Pojízdňý stolek osy Y</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 33 Vyhříváná podložka s přichyceným sklem</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 34 Držák cívky s již s nasazenou špulkou bílého materiálu ABS</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 35 Krokové motory SX17-1005 od firmy MICROCON</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 36 Umístěná řídicí deska do plastového boxu zhotoveného pomocí této</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 37 Průmyslový 12V zdroj o výkonu 350W</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 38 Vyrobený termočlánekový modul tvořený pomocí integrovaného obvodu AD597.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 39 LCD display.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 40 Konfigurace firmwaru Marlin</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 41 Softwarové prostředí Repetier Host</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 42 Softwarové prostředí Slic3r</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 43 První vytištěné součásti - způsobeno špatným softwarovým nastavením.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 44 Vytištěné dílce k porovnání kvality tisku – vlevo součást vytvořena na komerčním zařízení, vpravo na vyrobené tiskárně</i>	<i>57</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Přehled vývoje technologií [2].....</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2 Výhody a nevýhody metody FDM [12]</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3 Celková kalkulace jednotlivých komponent zařízení</i>	<i>53</i>

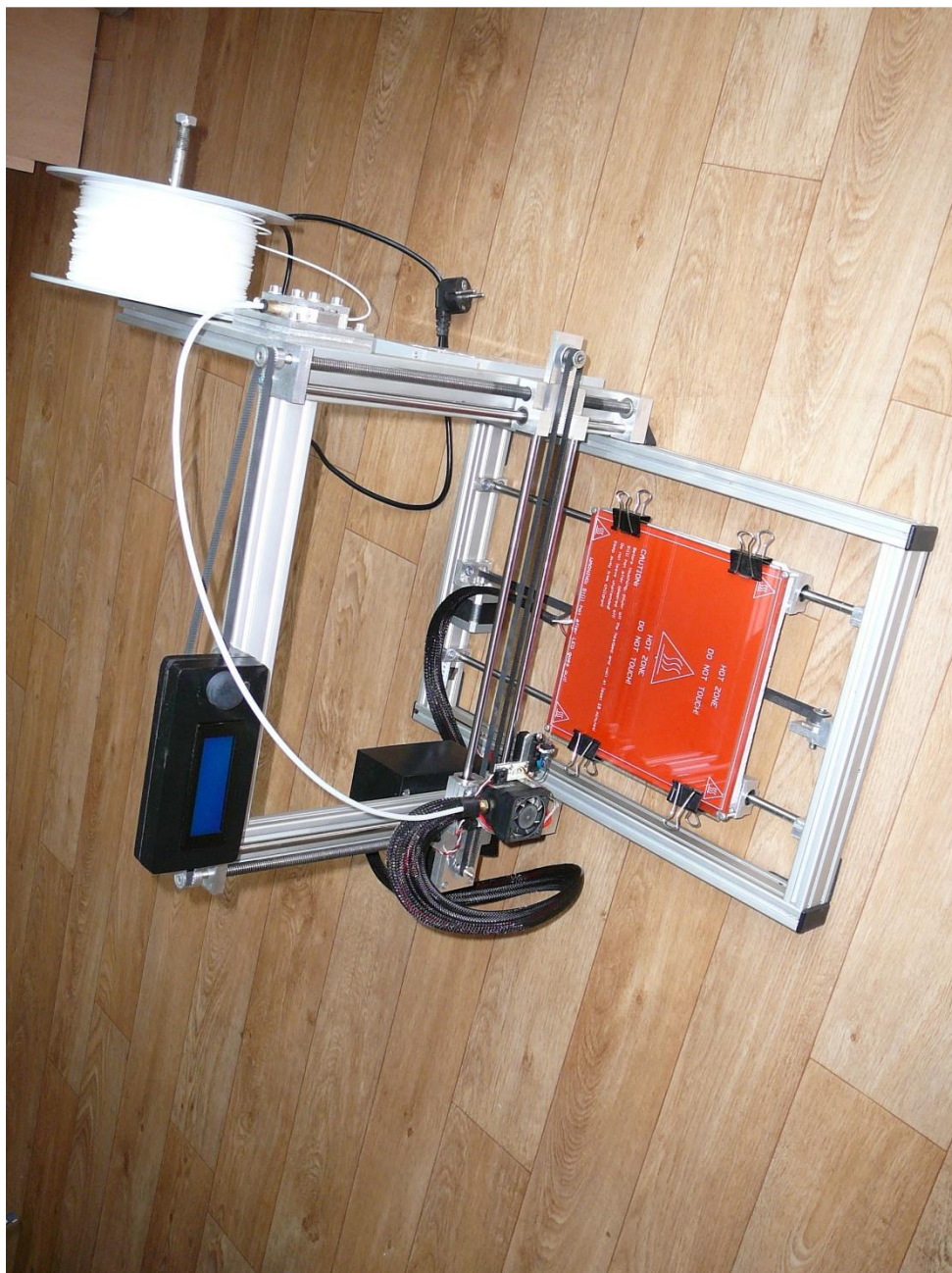
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Kompletně sestavená 3D tiskárna

Příloha P II: Ukázka modelu – Eiffelova věž

Příloha P III: CD – obsahuje bakalářskou práci, sestavu počítačového modelu 3D tiskárny v programu Autodesk Inventor 2014, dále firmware Marlin, model a vygenerovaný G-kód porovnávané součásti.

PŘÍLOHA P I: KOMPLETNĚ SESTAVENÁ 3D TISKÁRNA



PŘÍLOHA P II: UKÁZKA MODELU - EIFFELOVA VĚŽ

